

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Facultad de Ciencias e Ingeniería



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

Diseño de un sistema mecatrónico para la separación de envases defectuosos de vidrio mediante la lectura del número de molde

**Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecátrónico,
que presenta el bachiller:**

Antonio Rafael Granda Salvador

ASESORA: Mónica Lucía Abarca Abarca

Lima, Abril del 2016

RESUMEN

Actualmente, en toda empresa de manufactura se requiere un estricto control de la calidad del producto final; por ello, constantemente, se desea implementar equipos de inspección que proporcionen un mayor detalle sobre las evaluaciones requeridas por el cliente. En el caso de las empresas de manufactura de botellas de vidrio, los controles de calidad deben ser los más rigurosos posibles; debido a que, el producto final tiene contacto directo con el cliente.

Los envases de vidrio cuentan con un código en la parte inferior, que los identifica según el número de molde en el cual han sido fabricados. Si bien no se puede detectar el 100% de los tipos de defectos, sí se puede detectar este código con el cual según las evaluaciones realizadas en planta, se puede determinar que durante un periodo de tiempo definido, todos los envases pertenecientes a una moldura en particular, cuentan con defectos. Por ello, la propuesta del proyecto es un equipo que lea el número de molde de los envases en una línea de producción y según los requerimientos de planta se programe el descarte de los envases que cuenten con el número de molde que contengan defectos.

El objetivo del proyecto es el diseño de un sistema mecatrónico que minimice la cantidad de posibles filtraciones de envases defectuosos en el empaque enviado al cliente. Esto involucra mitigar los problemas con los clientes y la reducción del alto sobre costo utilizado en personal externo a la empresa que se dedica a la inspección de cada envase dentro de un lote designado como defectuoso.

TRABAJO DE FIN DE CARRERA PARA OPTAR**EL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

Título	: Diseño de un sistema mecatrónico para la separación de envases de defectuosos de vidrio mediante la lectura del número de molde.
Asesor	: Mónica Abarca Abarca
Alumno	: Antonio Rafael Granda Salvador
Código	: 20102325
Tema N°	:
Fecha	: 17/11/2015

Descripción y Objetivos

Actualmente, en toda empresa de manufactura se requiere un estricto control de la calidad del producto final; por ello, constantemente, se desea implementar equipos de inspección que proporcionen un mayor detalle sobre las evaluaciones requeridas por el cliente. En el caso de las empresas de manufactura de botellas de vidrio, los controles de calidad deben ser los más rigurosos posibles; debido a que, el producto final tiene contacto directo con el cliente.

En este caso, los envases de vidrio cuentan con un código en la parte inferior, que los identifica según el número de molde en los cuales han sido fabricados. Si bien, no se puede detectar el 100% de los tipos de defectos a encontrarse, si se puede detectar este código que, según las evaluaciones realizadas en planta, se puede determinar que, durante un periodo de tiempo definido, todos los envases pertenecientes a una moldura en particular, cuentan con defectos. Por ello, la propuesta del proyecto es un equipo que lea el número de molde de los envases en una línea de producción y, según los requerimientos de planta, se programe el descarte de los envases que cuenten con el número de molde que contengan defectos.

El objetivo del proyecto es el diseño de un sistema mecatrónico que minimice la cantidad de posibles filtraciones de envases defectuosos en el empaque mediante la separación, rotación, lectura del número de molde y, el rechazo de envases defectuosos.



Se lo dedico a mis padres que en todo momento me brindaron su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia por el apoyo brindado durante el desarrollo del presente trabajo de tesis. A mi asesora Mónica Abarca por los conocimientos compartidos, el apoyo brindado, el seguimiento continuo al desarrollo del trabajo de tesis y los comentarios para la mejora del presente documento. A mi próximo colega Edward Salinas por el aporte de conocimiento que apoyó con el desarrollo del trabajo de tesis. A mis compañeros de la carrera que dedicaron tiempo en compartir sus conocimientos.



INDICE DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	i
PRESENTACIÓN DE TEMA DE TESIS	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
INDICE DE TABLAS	vii
INDICE DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xi
I. PRESENTACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.....	12
II. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA MECATRONICO Y PRESENTACIÓN DEL CONCEPTO	15
2.1 Requerimientos de seguridad.....	15
2.2 Requerimientos mecánicos-estructurales	16
2.3 Requerimientos neumáticos	16
2.4 Requerimientos eléctricos.....	16
2.5 Requerimientos de control	16
2.6 Requerimientos de mantenimiento	17
2.7 Requerimientos ergonómicos	17
2.8 Bosquejo del concepto	18
III. SISTEMA MECATRÓNICO	21
3.1 Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico	22
3.2 Controlador, sensores, actuadores e interfaz	24
3.2.1 Controlador	24
3.2.2 Sensores	26
3.2.2.1 Fococélula	26
3.2.2.2 Sensor ultrasónico	27
3.2.2.3 Sensor de final de carrera de cilindro	28
3.2.3 Actuadores	29

3.2.3.1 Motores eléctricos	29
3.2.3.2 Cilindros neumáticos	30
3.2.3.3 Motores neumáticos	31
3.2.3.4 Electroválvulas	32
3.2.3.5 Variador de velocidad	33
3.2.3.6 Fuente de alimentación	34
3.2.3.7 Transductor	35
3.2.3.8 Controlador de presión.....	35
3.2.3.9 Llave térmica	36
3.2.3.10 Pulsadores	37
3.2.4 Interfaz	37
3.2.4.1 HMI.....	37
3.3 Planos del sistema mecatrónico	38
3.4 Diagrama de conexiones neumáticas	46
3.5 Diagrama de conexiones de los circuitos del sistema mecatrónico.....	49
3.6 Diagramas de flujo de control del sistema mecatrónico	58
IV. COTIZACIONES	67
V. CONCLUSIONES	69
BIBLIOGRAFIA	71
A N E X O S	
Anexo A : Estado del arte.....	1
Anexo B : Patentes	3
Anexo C : Evaluación de conceptos.....	5
Anexo D : Cálculos	12
Anexo E : Información técnica de controlador, sensores y actuadores.....	31
Anexo F : Cotizaciones	91

INDICE DE TABLAS

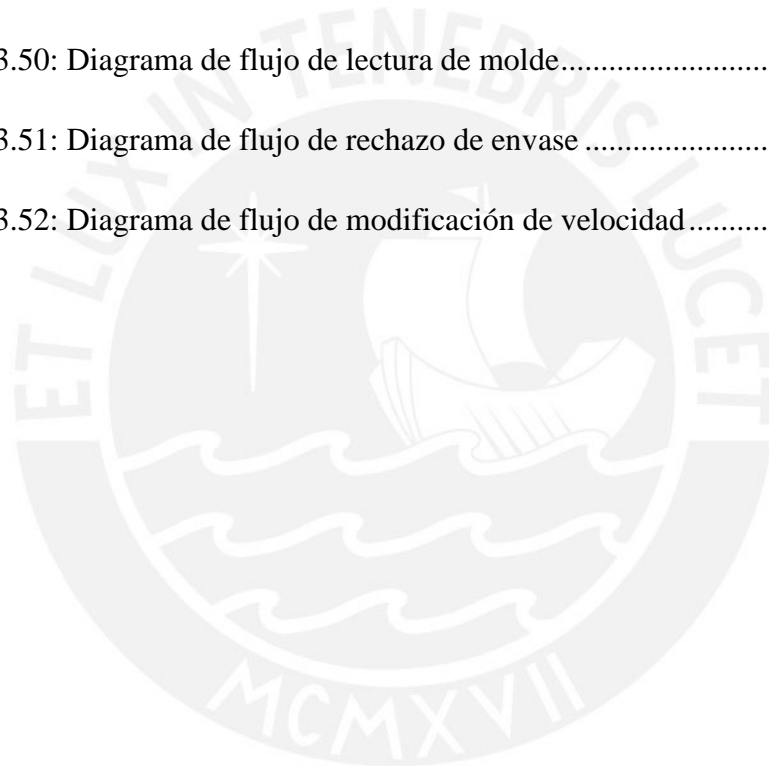
	Pág.
Tabla 3.1: Características de PLC CPX	25
Tabla 3.2: Características de Terminal CMPX	25
Tabla 3.3: Características de Fococelda	26
Tabla 3.4: Características de Sensor Ultrasónico de Lector de Número de Molde ...	27
Tabla 3.5: Características de Sensor Ultrasónico de Altura.....	28
Tabla 3.6: Características de Sensor de Fin de Carrera	29
Tabla 3.7: Características de Motorreductor	30
Tabla 3.8: Características de Cilindro con sistema de medición integrado	31
Tabla 3.9: Características de Cilindro de Rechazo	31
Tabla 3.10: Características de Motor Neumático.....	32
Tabla 3.11: Características de Electroválvula VPWP.....	33
Tabla 3.12: Características de Electroválvula MEBH	33
Tabla 3.13: Características de Variador de Frecuencia.....	34
Tabla 3.14: Características de Fuente de Alimentación.....	34
Tabla 3.15: Características de Transductor	35
Tabla 3.16: Características de Controlador de presión	36
Tabla 3.17: Características de Llave Térmica	36
Tabla 3.18: Características de HMI Touch	37
Tabla 3.19: Cuadro de costos	68

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1: Bosquejo Inicial del Lector de Número de Molde	18
Figura 2.2: Representación final del sistema	20
Figura 3.1: Diagrama de Funciones del Sistema.....	22
Figura 3.2: PLC CPX Festo	25
Figura 3.3: Terminal CMPX	25
Figura 3.4: Fotocelda	26
Figura 3.5: Ubicación de fotocelda	26
Figura 3.6: Sensor ultrasónico de lector de molde	26
Figura 3.7: Ubicación de sensor ultrasónico	27
Figura 3.8: Sensor ultrasónica de altura	28
Figura 3.9: Ubicación de sensor ultrasónico de altura	28
Figura 3.10: Sensor de final de carrera	29
Figura 3.11: Motorreductor	30
Figura 3.12: Ubicación de motorreductor	30
Figura 3.13: Cilindro con sistema de medición integrado	31
Figura 3.14: Ubicación de cilindro con sistema de medición integrado	31
Figura 3.15: Cilindro de rechazo.....	31
Figura 3.16: Ubicación de cilindro de rechazo	31
Figura 3.17: Motor neumático.....	32
Figura 3.18: Ubicación de motor neumático.....	32
Figura 3.19: Electroválvula VPWP.....	33

Figura 3.20: Electroválvula MEBH	33
Figura 3.21: Variador de frecuencia.....	34
Figura 3.22: Fuente de alimentación.....	34
Figura 3.23: Transductor.....	35
Figura 3.24: Controlador de presión	36
Figura 3.25: Llave térmica	36
Figura 3.26: Pulsadores.....	37
Figura 3.27: HMI touch	37
Figura 3.28: Plano de ensamble general	38
Figura 3.29: Plano de ensamble de transportador	39
Figura 3.30: Plano de ensamble de separador.....	41
Figura 3.31: Plano de ensamble de regulador de altura	42
Figura 3.32: Plano de ensamble de estructura de rotador	43
Figura 3.33: Plano de ensamble de conjunto rotador	44
Figura 3.34: Plano de ensamble de rechazador.....	45
Figura 3.35: Diagrama de conexiones neumáticas.....	46
Figura 3.36: Diagrama esquemático general.....	49
Figura 3.37: Diagrama de conexión de sensor reflectivo.....	52
Figura 3.38: Diagrama de conexión de final de carrera.....	53
Figura 3.39: Diagrama de conexión de sensor de lectura de molde.....	54
Figura 3.40: Diagrama de conexión de sensor de regulación de altura	54
Figura 3.41: Diagrama de conexión de llave térmica	54
Figura 3.42: Diagrama de conexión de variador de frecuencia	55

Figura 3.43: Diagrama de conexión de electroválvula VPWP	56
Figura 3.44: Diagrama de conexión de transductor	56
Figura 3.45: Diagrama de conexión de encoder de cilindros.....	56
Figura 3.46: Diagrama de conexión de controlador de presión	57
Figura 3.47: Diagrama de flujo general	58
Figura 3.48: Diagrama de flujo de cambio de tipo de envase	60
Figura 3.49: Diagrama de flujo de inspección de envase.....	61
Figura 3.50: Diagrama de flujo de lectura de molde.....	64
Figura 3.51: Diagrama de flujo de rechazo de envase	65
Figura 3.52: Diagrama de flujo de modificación de velocidad.....	66



LISTA DE SÍMBOLOS

F	: Fuerza de empuje vertical [N]
F_n	: Fuerza normal a la superficie [N]
P	: Presión de la cámara 1 [N/mm ²]
T	: Intervalo de muestreo [s]
W	: Trabajo [w]
β	: Ángulo de salida en la cuchilla [°]
ω_n	: frecuencia natural [rad/s]
V	: Voltaje [V]
DC	: Corriente continua
AC	: Corriente alterna
Mm	: Milimetro [mm]
PNP	: Positivo-Negativo-Positivo
Ms	: Milisegundos [ms]
A	: Amperios [A]
mA	: Miliamperios [mA]
Hz	: Frecuencia [Hz]
Bar	: Bares [Bar]
L	: Litro [l]
GND	: Ground (descarga a tierra)
VCC	: Voltaje de corriente continua [V]
W1, W2, W3	: Tres fases de alimentación de energía eléctrica
L1, L2, L3	: Tres fases de alimentación de energía eléctrica
WH	: Blanco
BN	: Marrón
BK	: Negro
BU	: Azul
PLC	: Controlador Lógico Programable
BPM	: Botellas por minuto



CAPÍTULO 1

PRESENTACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

Actualmente, en toda empresa de manufactura se realiza un control exhaustivo de la calidad del producto final, este puede ser de forma automática o manual. En los últimos años, han aumentado las empresas que se dedican a desarrollar máquinas que otorgan una alta confiabilidad en el control de calidad dentro del proceso; sin embargo, las máquinas aún se encuentran en constante desarrollo debido a las rigurosas especificaciones técnicas requeridas por los clientes. En el caso de las empresas de manufactura de envases de vidrio este proceso requiere ser controlado minuciosamente debido a que cualquier defecto en la botella puede ocasionar daño directo al consumidor; como por ejemplo, rajaduras en la boca de la botella, pedazos de restos de vidrio dentro del envase, entre otros.

Existen equipos que detectan diversos defectos en los envases mas no el 100% de estos defectos ni otorgan una confiabilidad óptima a lo largo de la campaña de producción debido a la variabilidad de imperfecciones durante el proceso del formado del envase. Por ello, el control de la calidad del producto tiene que ser lo más acertado posible. En las empresas de manufactura de envases de vidrio, se realizan tres auditorías cada ocho horas a un grupo seleccionado de envases antes de que sean inspeccionados por los equipos. Si en alguno de estos se evidencia algún defecto que no se encuentre calibrado en la máquina entonces se retiene el pallet por posible filtración de dicho defecto. En consecuencia a ello, si existe alguna posibilidad de filtración de tan solo un envase defectuoso al empaque, todo el pallet formado de botellas debe ser retenido y posteriormente, inspeccionado con la finalidad de eliminar los riesgos de calidad del producto final.

El proceso de inspección de un pallet observado comprende la revisión de cada envase individualmente. En promedio, cada pallet cuenta con 2000 envases que son inspeccionados de acuerdo al defecto encontrado durante la producción del tipo de botella. Este proceso se realiza de manera manual por personal externo a la empresa generando un sobre costo de producción de miles de nuevos soles anuales; además, el tiempo de inspección de un pallet de botellas tiene una duración de aproximadamente 12 horas diarias realizadas por una persona. Por ello, se desea automatizar este proceso de reselección, en donde el enfoque es encontrar los envases con el defecto detectado durante la campaña de producción.

Debido a que existe una gran variedad de defectos con posible filtración, el diseño de una máquina que logre detectar todos los defectos comprendería diversos módulos de inspección para la gran gama de posibles defectos a encontrarse y, aun así, no se lograría el control requerido pues cada uno de estos debe ser calibrado específica y minuciosamente. El tipo de imperfección se genera en los envases dependiendo del molde al que correspondan durante el formado de los mismos. Todos los productos finales, es decir envases, tienen un código de identificación conocido como código "CID" que proviene del molde en el cual fueron formados. Por lo que, se propone el diseño de un sistema mecatrónico que descarte los envases según el número de molde, tras una inspección manual previa en la cual se detectó algún defecto en dicho molde. De un pallet de 2000 envases se descartarían aproximadamente 100 envases que pertenezcan al molde en donde se encontró el defecto.

Se presenta el diseño de un sistema que automatice el proceso manual de reselección de envases; es decir, se desarrolla un equipo de inspección que puede separar los envases defectuosos de los buenos mediante la lectura del número de molde de los

mismos. La principal ventaja es la reducción de sobrecostos en mano de obra externa producidos por la reselección o revisión de envases defectuosos dentro de un lote determinado. Adicionalmente, este equipo disminuiría el tiempo que toma la reselección de envases y las demoras en los despachos para cumplir con las exigencias con el cliente.

Este sistema propone una confiabilidad por encima del sistema utilizado actualmente en la línea de producción. También, puede abarcar la medición de alrededor del 99% de los tipos de envases producidos, adecuarse a las velocidades de producción necesarias, una sostenibilidad de medición a lo largo de toda la campaña de producción y cumplir con los requerimientos planteados.



CAPÍTULO 2

REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA MECATRÓNICO Y PRESENTACIÓN DEL CONCEPTO

Se desea diseñar una máquina que sea capaz de leer el número de molde de un envase de vidrio durante la rotación del mismo respecto a su propio eje. Además, el sistema cuenta con un sistema automático de rechazo del envase defectuoso, de regulación según el diámetro del envase y de control de velocidad del equipo dependiendo del estado de la línea de producción.

Dentro de los requerimientos del sistema mecatrónico, se tiene en consideración los siguientes aspectos:

2.1 Requerimientos de Seguridad

- El equipo se mantendrá en rotación en todo momento, es necesario la implementación de guardas de protección para evitar atascos tanto de los implementos de seguridad o de otros elementos que puedan causar daños en el operador o a la máquina.
- Se requiere de un interruptor de parada de emergencia frente al equipo y con la visibilidad necesaria para cualquier evento.

2.2 Requerimientos Mecánicos – Estructurales

- Se debe disponer de un espacio entre 2500mm de longitud, 1500mm de largo y 2000mm de altura para el posicionamiento de los dispositivos a utilizar en el sistema.
- Se requiere contar con una base que soporte a los sistemas tanto de toma de datos (sensores ultrasónicos y reflectivos), como a los actuadores (Cilindros y motores). Este soporte requiere de un anclaje al piso para minimizar vibraciones y error en la medición.
- Es necesario una sección hueca en la parte lateral del transportador para desechar hacia una bandeja los envases defectuosos. Cabe resaltar que la bandeja debe ser forrada con caucho para evitar posibles filtraciones de trozos de vidrio dentro de otros envases.

2.3 Requerimientos Neumáticos

- Para el movimiento de los actuadores, se debe contar con una línea de aire de entrada con una presión manométrica entre 6 a 8 bares.

2.4 Requerimientos Eléctricos

- se requiere de una fuente que convierta de 440 V AC a 24 V DC para la alimentación y control de los componentes electrónicos como las electroválvulas, sensores, procesador, entre otros.
- Se requiere tener un previo cableado al lugar trabajo. Para el movimiento de los motores, se solicita un cableado a una caja de paso de cable de categoría 12 AWG

con 4 hilos para todas las fases. Para el sistema de control y sensores, se requiere cable de categoría 18 AWG con la misma cantidad de hilos. Además, un rollo de 50m como parte de los consumibles.

- El sistema de control requiere protección, por ello, se debe contar con un tablero de control de aproximadamente 30x30x10 cm con 2 rieles DIN estándar en su interior para adosar los dispositivos.

2.5 Requerimientos de Control

- El controlador a utilizar debe tener la capacidad de procesamiento de información en un tiempo menor a 2 ms. Dado que el tiempo de respuesta del sensor seleccionado es de 0.9ms, lo que comprende por lo menos un periodo de muestreo de 1.8ms para no generar solapamiento de la señal.
- El sistema debe poder inspeccionar a una velocidad entre 50-100 BPM dependiendo de los diferentes formatos realizados en la línea de producción.
- El tiempo mínimo de duración de la inspección debe ser de 0.6 segundos para cumplir con las velocidades necesarias.
- El sistema debe de ser capaz de realizar como mínimo dos lecturas del código CID como corroboración de la veracidad de la lectura, esto implica tener la capacidad de hacer girar al envase en por lo menos dos vueltas completas.
- El sistema debe poder analizar el código CID y otorgar el correcto valor de número de molde al envase inspeccionado.
- Debe contar con una interfaz HMI con una pantalla de 10”.
- La transmisión de datos se hará con comunicación Ethernet IP y RS232.
- Se requiere de una interfaz adaptativa para el operador con los comandos diferenciados por colores.

2.6 Requerimientos de Mantenimiento

- La máquina debe contener los subsistemas de forma modular para fácil instalación y separación cuando se requiera realizar una limpieza o revisión del estado de los equipos electrónicos o partes mecánicas.

2.7 Requerimientos Ergonómicos

- Tanto el tablero de control del operador como el HMI deben estar situados a una altura entre 110 a 120 cm medida desde el piso, para garantizar una fácil maniobrabilidad de los pulsadores y visión de la pantalla.

2.8 Bosquejo del Concepto

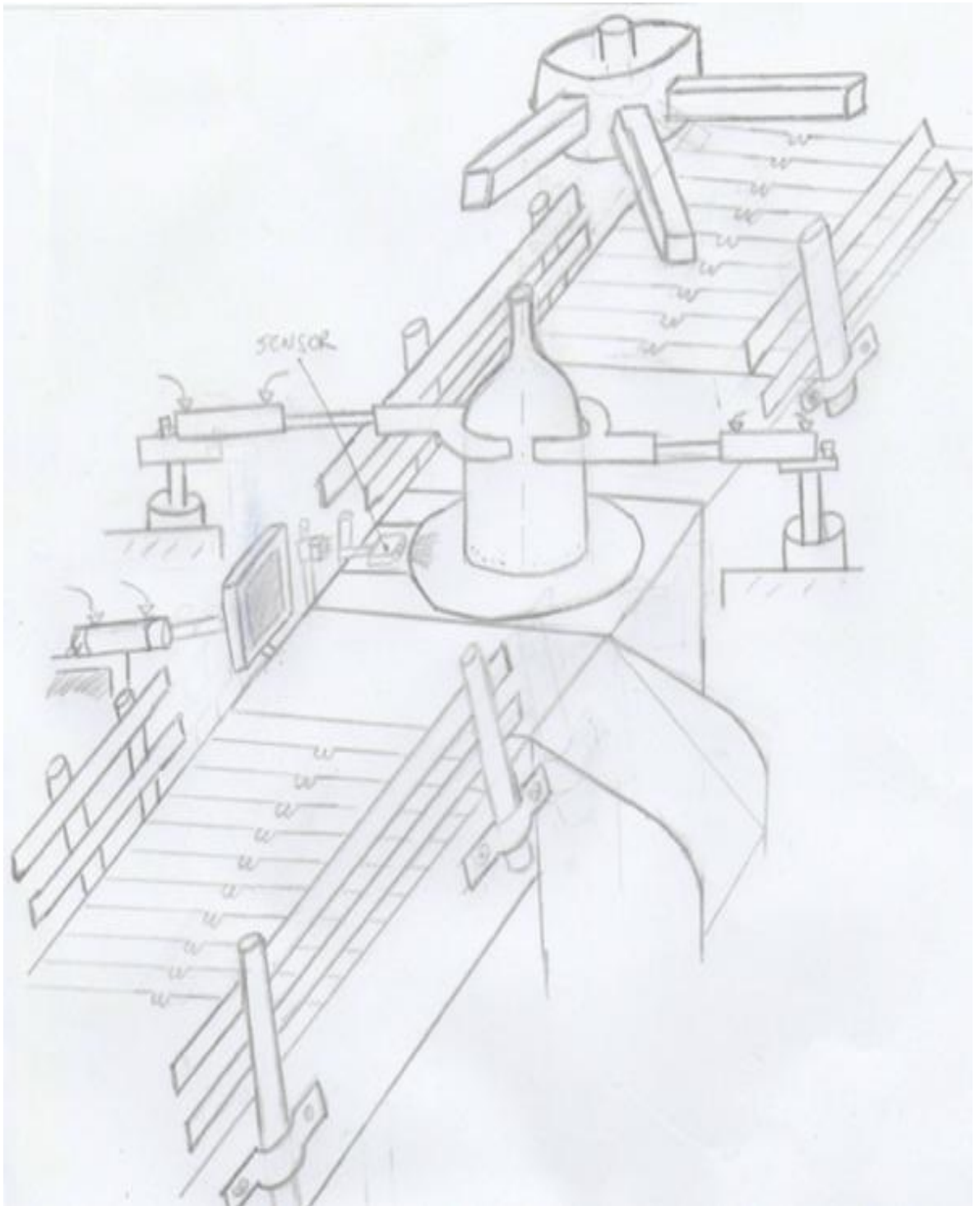


Figura 2.1 Bosquejo Inicial del Lector de Número de Molde
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 2.1 se presenta el bosquejo inicial de la propuesta seleccionada que cumple en mayor proporción con los requisitos establecidos. La comparación, análisis y conceptos solución de las propuestas desarrolladas se puede visualizar en el Anexo C.

Inicialmente, el sistema cuenta con un separador de envases en la faja transportadora previa a la inspección, en donde se genera el espacio necesario entre botellas que comprende el intervalo de duración de la medición del equipo. Luego, el envase continúa su flujo a través del transportador hasta la estación de medición, durante este proceso se activa uno de los sensores reflectivos que confirma el ingreso de un envase.

Posteriormente, se realiza la sujeción del envase en la parte del cuerpo y la boca utilizando cilindros acoplados con rotadores y garras adaptable a diversos diámetros de envases para lograr el giro del mismo sobre su propio eje y evitar desviaciones en la medición.

Se realiza la medición con el sensor ultrasónico con el objetivo de medir las variaciones de longitud de las perlas al ser localizadas mediante un procesamiento del espectro obtenido se compara la medición con patrones definidos para obtener el número de molde de la botella inspeccionada.

Una vez realizada la medición y contrastar con el número de molde programado por el operador mediante el HMI, el envase sale de la zona de inspección mediante la faja transportadora. A la salida de este último, se encuentra una fotocélula para confirmar si el envase ha sido retirado. Mediante el cilindro rechazador se descarta el envase hacia una bandeja de envases defectuosos; de no ser un envase defectuoso, el envase sigue directamente su flujo por la faja transportadora hasta el paletizador automático.

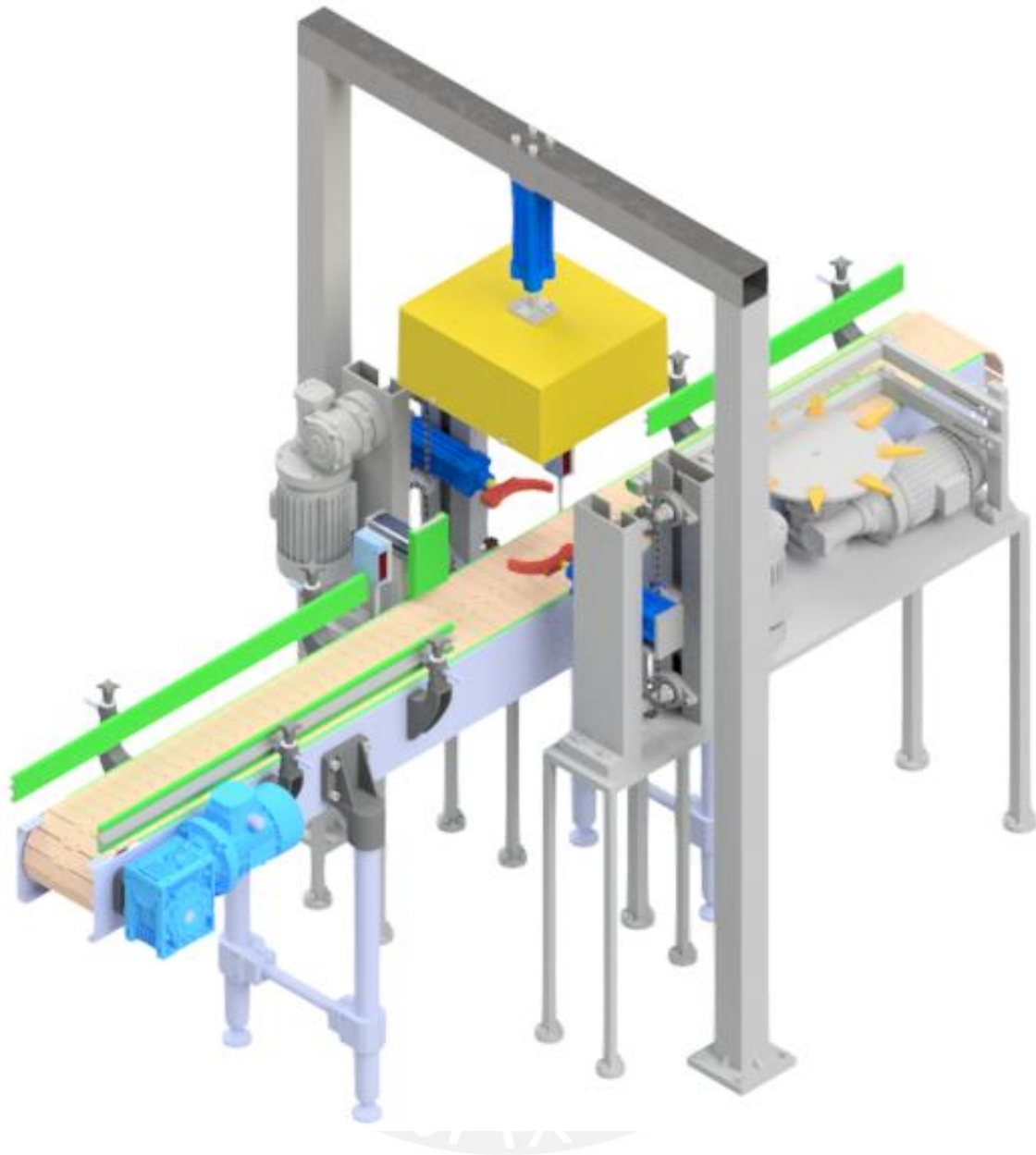


Figura 2.2 Representación final del sistema

Fuente: Elaboración Propia



3.1 Diagrama de Funcionamiento del Sistema Mecatrónico

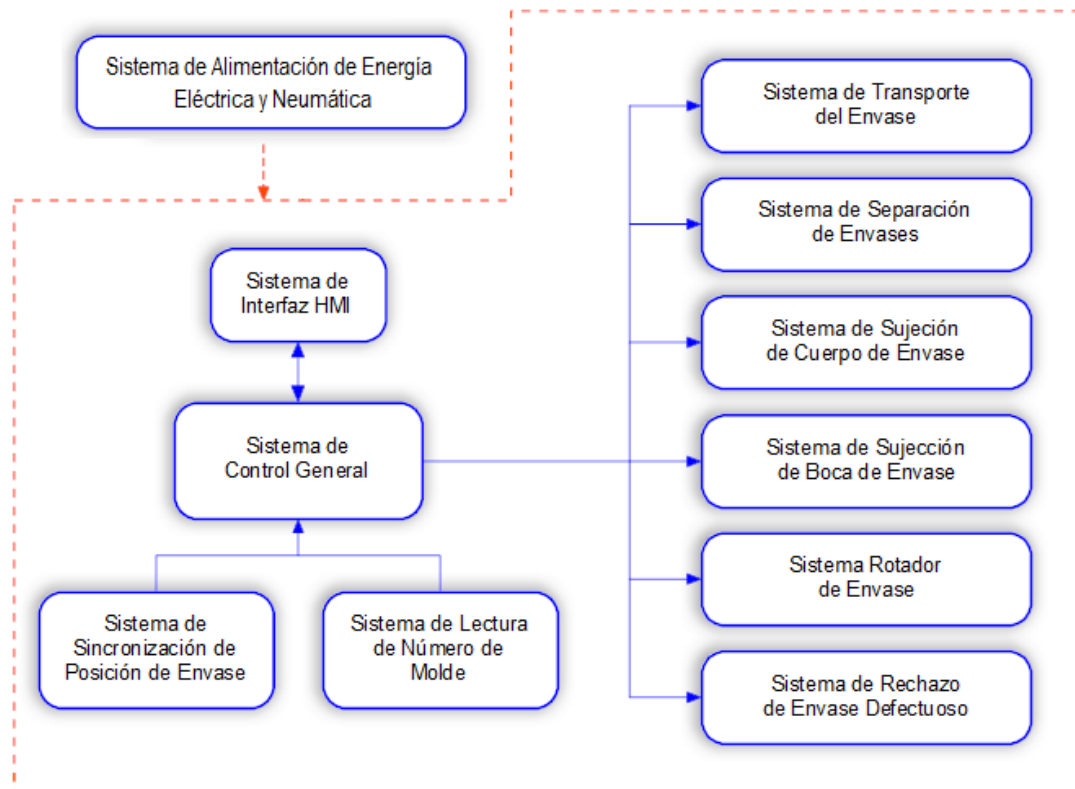


Figura 3.1 Diagrama de Funciones del Sistema
 Fuente: Elaboración Elaboración Propia

En la figura 3.1 se observa el diagrama general de funcionamiento del sistema mecatrónico. Se comienza por el Sistema de Alimentación de Energía. En este proyecto, se utiliza dos tipos de energía, Eléctrica y Neumática. La primera se utiliza para el accionamiento de todos los motores y el control de los dispositivos electrónicos como el controlador, sensores y actuadores. La segunda se utiliza para el movimiento de los mecanismos neumáticos lineales como los cilindros y el motor neumático.

La interacción entre el operador y el equipo se realiza a través del panel HMI, en el cual, se debe ingresar el código del envase para que el sistema regule los parámetros necesarios. Si el envase es nuevo para el sistema, se presentará una lista de datos requeridos en el panel y se ingresará a la base de datos. Además, en el HMI se puede visualizar los indicadores de operación del equipo, el espectro de la señal de lectura en movimiento, alarmas de fallas, monitoreo de parámetros como voltaje y amperaje, recepción de información de sensores durante ciclo del sistema, entre otros.

El sistema de control general consiste en un PLC CPX FESTO, en es te caso todas las señales tanto analógicas como digitales son recibidas, controladas, guardadas y procesadas por este PLC. Adicionalmente, el protocolo de comunicación que se

maneja para el envío y recepción de las señales será Ethernet IP debido a su alta velocidad de transmisión de datos.

El sistema de transporte consiste una faja de cadena de tablillas de ancho de 7.5 pulgadas el cual transportará el envase a través de todo el equipo.

El sistema de separación de envases consiste en una estrella con estaciones que dependiendo de la velocidad de giro, genera un espacio entre botella y botella en la faja. La estrella ingresa en el espacio entre botellas, previa a la separación y mantiene la presión del flujo de entrada de envases durante su giro.

El sistema de sujeción del envase consiste en dos cilindros, cada uno con una garra alojada al inicio del vástago, ambos cilindros son ubicados en las partes laterales de la plataforma para sujetar el envase durante el giro del mismo y así generar el giro sobre su propio eje.

El sistema de regulación de altura de garras de sujeción tiene como fin automatizar el cambio de envase. Este comprende el movimiento vertical de los cilindros dependiendo de la altura del envase se transporta a lo largo de una cremallera mediante el giro de un motor reductor controlado directamente desde el PLC.

El sistema de giro del envase comprende una plataforma giratoria que se activa una vez sujeto y posicionado el envase.

El sistema de rechazo del envase consiste en una flauta neumática. El control de este viene dado directamente desde el PLC hacia la electroválvula reguladora de presión y que, ha determinado tiempo, se genera la eyección del aire que rechaza el envase hacia una bandeja de envases defectuosos. Se utiliza una válvula reguladora debido a que dependiendo del peso del envase se necesita variar la presión de rechazo.

El sistema completo de sincronización de posición del envase durante toda la trayectoria del mismo está dado por fotocélulas en cada estación de trabajo del sistema. Estos sensores son especiales debido a que la sensibilidad del láser que emiten puede ser regulado para no generar reflexiones debido a la transparencia del vidrio.

Finalmente, el sistema de lectura del número de molde consiste en un sensor ultrasónico que envía al PLC una señal analógica dependiendo de la longitud capturada. Lo que se pretende con este sistema es medir las variaciones de distancia dadas en las posiciones de las perlas del código de moldura del envase, una vez obtenido el espectro de la señal en el tiempo, se procesará la separación entre los picos dados en dicha medición.

3.2 Controlador, Sensores, Actuadores e Interfaz

3.2.1 Controlador

El proyecto se plantea implementar y desarrollar dentro de un ámbito industrial específicamente de una planta manufacturera. En este caso, debido a la facilidad operativa, intercambiabilidad y mantenibilidad de los elementos utilizados como parte de un proceso productivo, se requiere de dispositivos electrónicos robustos que transmitan señales fáciles de procesar o que definan estados dentro del equipo que permitan la toma de decisiones rápida y efectiva. Debido a que estas señales proporcionan información de partes específicas dentro del sistema, se puede decir que se encuentran discretizadas. Por esta razón, se requiere de un controlador con una alta velocidad de procesamiento y que interprete todo tipo de señales: un PLC.

Las operaciones necesarias para el PLC son las siguientes:

- A) Procesamiento de señales digitales, provenientes de los sensores fotoeléctricos. La señal dada por estos sensores comprende los cambios de estados lógicos que proporcionan información sobre la posición del envase en el transportador.
- B) Dependiendo de la cantidad de amperaje o voltaje que detecten dichos sensores se utilizarán los estados máximos y mínimos; es decir, prendidos o apagados.
- C) Lectura de posicionamiento y/o distancias. Para esta aplicación, los sensores utilizados son los ultrasónicos y potenciómetros. Estos sensores proporcionan la información deseada transformada a una variación de voltaje o amperaje dentro de un rango permitido; por ejemplo, la lectura de una distancia de 0.5 metros se convierte a una señal análoga de 10 mA.
- D) Procesamiento de una señal continua. Se desea discretizar las variaciones de las mediciones dadas por el sensor, generando un espectro de la señal dentro de un periodo de muestreo. De esta forma, se genera una señal variable en el tiempo que es, posteriormente, comparada con un patrón seleccionado dentro de una base de datos.

Adicionalmente, la mayor cantidad de actuadores utilizan energía neumática. En esta aplicación, se requiere un control sobre el posicionamiento de los cilindros y demás actuadores que dependen del flujo y presión del aire. Para ello, se seleccionó el PLC Festo de la gama “CPX” presentado en la Figura 3.2. Este tiene el terminal CMPX en la figura 3.3 que contiene integrada la función del control de velocidad y fuerza axial para cilindros y demás tipos de actuadores neumáticos.



Figura 3.2 PLC CPX FESTO
Fuente: [17]

Voltaje de Operación	Comunicación	Ventaja
24V DC	Ethernet IP	Motion Control

Tabla 3.1 Características de PLC CPX



Figura 3.3 Terminal CMPX
Fuente: [17]

Comunicación	Voltaje de Operación	Corriente de Operación
Ethernet IP	18-30V DC	80mA

Tabla 3.2 Características de Terminal CMPX

3.2.2 Sensores

3.2.2.1 Fotocélulas

Es necesario tener un sensor que indique la posición de los envases en cada parte del transportador que atraviesa el equipo, para discernir la acción a realizar. En este caso, se utilizan fotocélulas, estos sensores son detectores de presencia de objetos.

El principio de funcionamiento de las fotocélulas consiste en que el sensor emite y recibe su señal generando una barrera entre el emisor (sensor) y el receptor (sensor o espejo). Al cortarse la barrera y, generar una pérdida de la señal, se entiende que se tiene la presencia de un objeto.

En el caso de las fotocélulas seleccionadas en la figura 3.4, se tiene en consideración que, estas deben tener un supresor de fondo y no generar un pulso o detección de objeto debido a perturbaciones o pequeñas variaciones de la señal dada por la reflexión de los envases del tipo Flint (vidrio transparente); por ello, la señal enviada por el sensor debe ser constante y con alta iluminación.



Figura 3.4 Fotocelda
Fuente: [1]

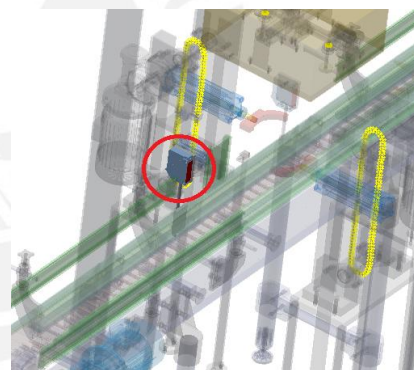


Figura 3.5 Ubicación de fotocelda
Fuente: Elaboración Propia

Rango de Trabajo	Voltaje de Entrada	Tipo de Salida	Tiempo de respuesta
0-450mm	10-30V DC	PNP	0.25 ms

Tabla 3.3 Características de las fotoceldas

3.2.2.2 Sensor Ultrasónico

Se eligieron dos tipos de sensores ultrasónicos para dos diferentes aplicaciones dentro del proyecto:

A) Lectura del Número de Molde

El principio de funcionamiento planteado para la detección del número de molde del envase consiste en inspeccionar cada envase haciéndolo girar sobre su propio eje mientras que se envía una señal a la altura del talón del envase, donde se encuentra el código CID que nos da el número de molde.

El espectro de la señal a obtener es una variación de ocho amplitudes progresivas. Un periodo de la señal, dada la separación entre las crestas de los pulsos generados, se compara con una base de datos para obtener el número de molde del envase inspeccionado y decidir sobre su posterior descarte. Para la generación de la señal requerida, se necesita de un sensor ultrasónico que asegure la lectura en un rango de diámetro de como mínimo 4 mm y, pueda discernir en un rango de medición de longitudes de 2mm como mínimo pues la profundidad de las perlas en los envases oscila entre 3.5 y 4.5 mm.

Para ello, se selecciona el sensor del tipo ultrasónico OADM 12I6460/S35A presentado en la figura 3.6.



Figura 3.6 Sensor Ultrasónico de Lector Número de Molde
Fuente: [5]

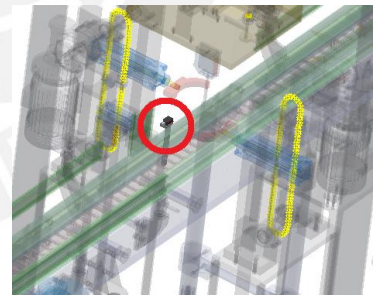


Figura 3.7 Ubicación de Sensor Ultrasónico
Fuente: Elaboración Propia

Rango de trabajo	Tiempo de respuesta	Corriente máxima	Rango de señal de salida
16-120mm	<0.9ms	100mA	4-20mA

Tabla 3.4 Características de Sensor Ultrasónico de Lector de Número de Molde

B) Regulación de sujetador de cuerpo

Durante el periodo de regulaciones y/o posicionamiento de los subsistemas que actúan sobre el envase, dependiendo de sus características físicas, se requiere de la regulación de la altura del sujetado de cuerpo. Este sistema de sujeción consiste en un par de cilindros que atrapan una sección del cuerpo del envase definida por el operador. De esta manera, al tener dos puntos de sujeción, terminado y cuerpo, se logra el giro del envase sobre su propio eje.

El sensor ultrasónico para esta aplicación debe poder dar una lectura de distancia entre el envase de menor y mayor altura. Además, debe poder convertir la distancia medida en una señal de 4-20 mA y tener una repetitividad de su medición de no menor a 100um. En la figura 3.8 se presenta el sensor seleccionado.



Figura 3.8 Sensor Ultrasónico de Altura
Fuente: [2]

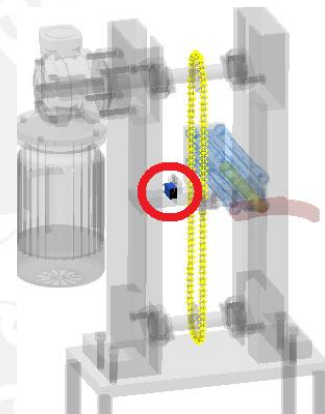


Figura 3.9 Ubicación de Sensor ultrasónico de altura
Fuente: Elaboración Propia

Rango de trabajo	Resolución	Voltaje de Operación	Máximo consumo
20-250mm	> 0.1 mm	10-30V DC	1.2 W

Tabla 3.5 Características de Sensor ultrasónico de altura

3.2.2.3 Sensor de Final de Carrera de Cilindro

En el caso del sistema de rechazo, si bien tan solo es necesario el ingreso y salida total del vástago para realizar el rechazo, se requiere de sensores que indiquen la posición en la que se encuentra el mismo. Para ello, se seleccionaron los sensores inductivos de la figura 3.10 que son posicionados dentro de las ranuras del cilindro destinado para esta aplicación.



Figura 3.10 Sensor de Fin de carrera

Fuente: [3]

Voltaje de Entrada	Corriente máxima	Máximo consumo
24V DC	100 mA	1 W

Tabla 3.6 Características de Sensor de fin de carrera

3.2.3 Actuadores

3.2.3.1 Motores Eléctricos

Inicialmente, el movimiento del envase a lo largo del equipo de inspección se realiza sobre un transportador que, a base de piñones y cadenas de tablillas, logran desplazar el envase por la línea de producción hasta su posterior empaque.

Para esta aplicación, requerimos de un motor reductor de corriente continua de tres fases con una reducción de salida entre de 20-70 RPM con diámetro de eje de salida de 25mm. Los cálculos realizados para la correcta selección de los motores se encuentran en el Anexo D en donde se obtiene las potencias necesarias a las velocidades establecidas del sistema de transporte de envases y del motor de subida y bajada de los sujetadores de cuerpo.

También se requiere unos motores para el sistema de regulación de altura de sujetadores de cuerpo. Cada vez que sea necesario regular este subsistema, es necesario que se mantenga la posición definida por el usuario. Por esta razón, estos motores deben contar con un freno y el control interno necesario para accionarlo (bobina y rectificador). Además, la velocidad de salida del motor reductor a la frecuencia estándar debe ser de 20 RPM para lograr una mayor exactitud al momento de modificar la altura. Este último tipo de motores también será utilizado en el separador de envases. En las figura 3.11 se presenta el tipo motor seleccionado.



Figura 3.11 Motorreductor
Fuente: [4]

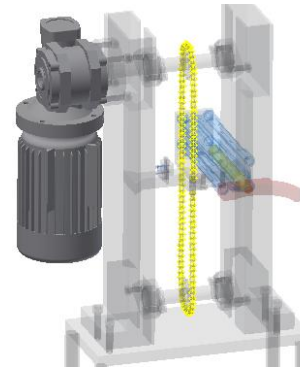


Figura 3.12 Ubicación de motorreductor
Fuente: Elaboración Propia

Factor de reducción	Voltaje de Operación	Frecuencia	Potencia
44	440V AC	60 Hz	0.18-1.86 KW

Tabla 3.7 Características de Motorreductor

3.2.3.2 Cilindros neumáticos

Los sub sistemas de sujeción en el terminado y cuerpo, subida y bajada de bloque rotador y rechazador requieren de un movimiento lineal que será proporcionada por cilindros neumáticos.

Para la selección del tipo de cilindro en cada una de las aplicaciones, los parámetros necesarios son: la longitud total de las carreras necesarias, las presiones máximas que soportan los elementos, los diámetros internos y el tipo de accionamiento. La presión máxima proporcionada por la línea de aire que ingresa al sistema es de 6 Bar; entonces, se podría elegir esta como la presión máxima que deberían soportar los cilindros. El cálculo de las presiones de operación necesarias para los requerimientos del sistema mecatrónico se presentan en el Anexo D.

Las carreras de los cilindros deben poder abarcar las sujeciones de los envases de mayor y menor diámetro, siendo 150 y 40 mm respectivamente.

Lo que se requiere con este tipo de dispositivos es poder controlar la longitud y velocidad de salida de los vástagos pues actúan directamente sobre los envase; para ello, se requiere de cilindros con sistema de medición integrado. Esta medición se convierte a través de un transductor a energía eléctrica dentro de un rango de valores de voltaje que, son detectados y procesados por el PLC seleccionado.

En el caso del rechazo, se necesita, tan solo, un cilindro con una sección pequeña para realizar el rechazo a alta velocidad. En las figuras 3.13 y 3.15 se presentan los

cilindros de los subsistemas que requieren medición de salida del vástago y de rechazo, respectivamente.



Figura 3.13 Cilindro con sistema De medición integrado
Fuente: [6]

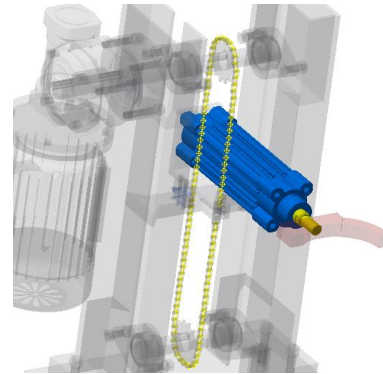


Figura 3.14 Ubicación de cilindro de medición integrado
Fuente: Elaboración Propia

Funcionamiento	Carrera	Presión de trabajo	Velocidad máxima
Doble efecto	10-550mm	0-12 Bar	1.5 m/s

Tabla 3.8 Características de cilindro con sistema de medición integrado



Figura 3.15 Cilindro de rechazo
Fuente: [7]

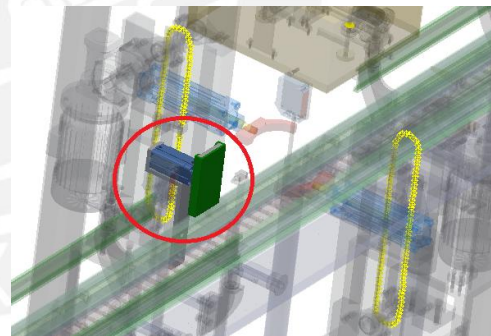


Figura 3.16 Ubicación de cilindro de rechazo
Fuente: Elaboración Propia

Funcionamiento	Carrera	Presión de trabajo
Doble efecto	100 mm	0-10 Bar

Tabla 3.9 Características de cilindro de rechazo

3.2.3.3 Motores Neumáticos

Uno de los propósitos del proyecto es poder realizar la inspección del envase durante su transporte en la línea de producción, sin generar acumulación o pérdida de envases.

Por ello, para poder obtener el número de molde del envase, se tiene que recorrer toda la parte del talón del mismo para recolectar la información necesaria. En un principio, debido a la alta variabilidad entre diámetros de envases, se requiere de dispositivos variables ajustados a dichos diámetros. Debido a que esta idea queda descartada, lo que se propone es hacer girar el envase en una estación de trabajo mientras que, se procede a la lectura del código. Ya que, el giro debe ser realizado por un actuador que estará sometido a un movimiento oscilatorio de altura; primero, se tiene en consideración que se cuenta con una línea de abastecimiento de aire ilimitada con una presión variable entre 0-6 Bar que, dependiendo de su caudal, influiría directamente sobre la velocidad que otorgaría el dispositivo. La presión de operación necesaria para hacer girar al envase a las condiciones deseadas se presenta en los cálculos del Anexo D.

Finalmente, el problema de elección del motor era la adaptabilidad del sistema a un conjunto rotador de pequeñas dimensiones. Por ello, se elige un motor neumático que es presentado en la figura 3.17.



Figura 3.17 Motor Neumático
Fuente: [8]

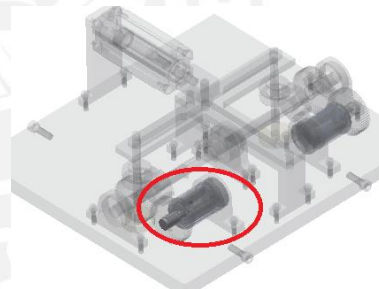


Figura 3.18 Ubicación de Motor neumático
Fuente: Elaboración Propia

Funcionamiento	Presión de trabajo	Tamaño
Doble efecto	0-10 Bar	100mm

Tabla 3.10 Características de motor neumático

3.2.3.4 Electroválvulas

Para poder realizar los cambios de sentido de movimiento axial de los cilindros se requiere de un dispositivo que pueda accionar la entrada y salida del aire a los cilindros. Además, como se debe poder controlar la velocidad y carrera de los vástagos, se requiere de un elemento que genere un lazo de realimentación con el PLC para saber las presiones de entrada y salida.

Para esta aplicación existen las electroválvulas posicionadoras VPWP que cuentan con sensores de presión integrados, presentadas en la figura 3.19.

En el caso de la unidad de rechazo, se requiere una válvula simple de cambio de estado general. Para ello, en la figura 3.20 se presenta la electroválvula distribuidora MEBH 5/2.



Figura 3.19 Electrovalvula VPWP
Fuente: [9]

Caudal Nominal	Resolución de presión	Voltaje de Operación	Corriente máxima
350-2000 l/min	0.01 Bar	18-30V DC	500mA

Tabla 3.11 Características de Electrovalvula VPWP

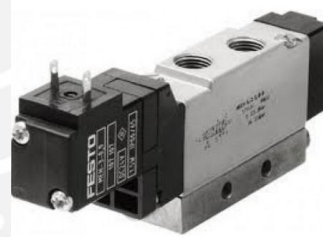


Figura 3.20 Electrovalvula MEBH
Fuente: [16]

Voltaje de Operación	Presión de trabajo	Máximo consumo
24V DC	2.5-8 Bar	3 W

Tabla 3.12 Características de Electrovalvula MEBH

3.2.3.5 Variador de Velocidad

Se requiere controlar la velocidad del sistema general según desee el operador. Para el caso del motor del transportador, la variación de velocidad nos indicaría la variación general del sistema en aumento o disminución de inspección de botellas por minuto. Para los reguladores de altura de sujetadores de cuerpo, se desea realizar

la modificación de velocidad según sea necesario para lograr el punto de calibración elegido por el operador.

En ambos casos, se eligen los variadores de velocidad PowerFlex 525 ilustrados en la figura 3.21 que, modificando la frecuencia de trabajo hacer variar la velocidad de los motores. Según los motorreductores seleccionados, debe de abarcar el rango de potencias máximas de trabajo; por lo que, se elige el variador de potencia de 3HP que va a poder contener cualquier sobrecarga dada en el motor.



Figura 3.21 Variador de Frecuencia
Fuente: [10]

Voltaje de Operación	Corriente máxima	Potencia
380-440V AC	5A	3 HP

Tabla 3.13 Características de Variador de Frecuencia

3.2.3.6 Fuente de Alimentación

Dentro de una planta, las líneas de alimentación proporcionadas son de 220-480V AC pero los dispositivos electrónicos a utilizar requiere entre 0-24 V DC para ello, necesitamos un equipo que convierta la energía de entrada a 24V AC y, luego, lo rectifique para obtener 24V DC; para esta aplicación, se utiliza una fuente de alimentación que cumple con ambas funciones y, es ilustrada en la figura 3.22.



Figura 3.22 Fuente de Alimentación
Fuente: [12]

Voltaje de Operación	Frecuencia	Corriente de Operación	Salida	Potencia
400-500V AC	50-60Hz	1.2A	24V DC	480W

Tabla 3.14 Características de la Fuente de alimentación

3.2.3.7 Transductor

En el caso de los cilindros a utilizar, estos otorgan un valor de posición que tiene que ser convertido a una unidad de medida que pueda detectar el PLC; es decir, amperaje o voltaje.

Para ello, se utilizan los transductores que son dispositivos que le realizan conversiones entre tipo de energía; en esta situación, energía mecánica a eléctrica. Como resultado, se obtiene el valor de voltaje o amperaje dentro de un rango seleccionado que indica la posición de salida del vástago del cilindro. Con esto podemos generar la retroalimentación para el control de los cilindros. En la figura 3.23 se presenta en transductor a utilizar.

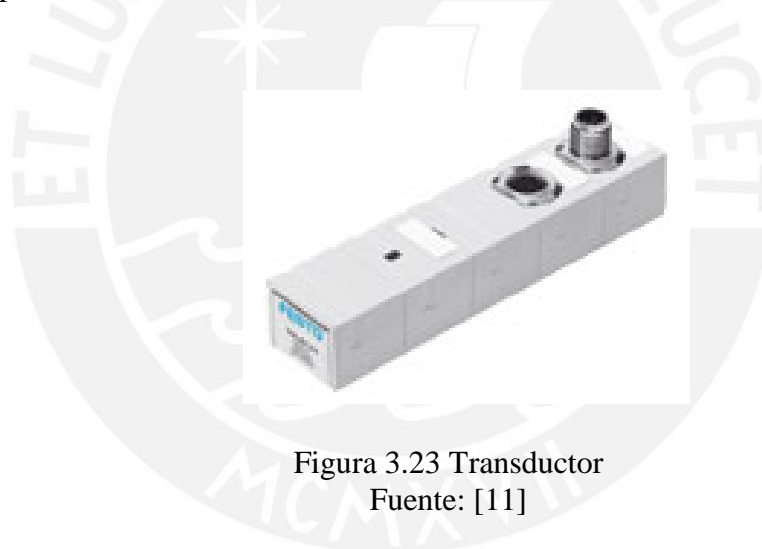


Figura 3.23 Transductor
Fuente: [11]

Funcionamiento	Voltaje de Operación	Corriente de Operación
Analógica	24V DC	40-50mA

Tabla 3.15 Características del Transductor

3.2.3.8 Controlador de Presión

Debido a la variabilidad de diseños y tamaños de envases, estos varían su masa. Por lo que, se requiere de la variación constante de la presión a utilizar durante el rechazo del envase y, para aumentar o disminuir la velocidad de los rotadores. Por ello, se ha seleccionado el dispositivo “Proportion Air” que permite el control de la presión de suministro de una línea de aire y que mide el valor del mismo en tiempo real y, devuelve el valor al PLC. En la figura 3.24 se ilustra el dispositivo mencionado.



Figura 3.24 Controlador de Presión

Fuente: [15]

Voltaje de Operación	Corriente de Operación	Rango de señal de salida	Presión de trabajo
15-24V DC	250mA	4-20mA	0-10.3 Bar

Tabla 3.16 Características de controlador de presión

3.2.3.9 Llave Térmica

Se requiere de sistema de protección de los motores por posibles calentamientos de los mismos durante el proceso. El funcionamiento de estos guarda motores o llaves térmicas consiste en detener al motor al alcanzar la corriente máxima permitida. En la figura 3.25 se ilustra el dispositivo seleccionado para el proyecto. Los parámetros de selección en este caso son la potencia máxima del motor que es de 1 HP y, el amperaje máximo que resiste el guarda motor debe ser como mínimo 5 A.



Figura 3.25 Llave térmica

Fuente: [13]

Voltaje de Operación	Corriente de Máxima
440V AC	0-5A

Tabla 3.17 Características de llave térmica

3.2.3.10 Pulsadores

Todo sistema debe tener, como mínimo, tres pulsadores: Encender, Apagar y Parada de Seguridad. Estos son alimentados con 24v para habilitar la transmisión de su estado directamente conectado al PLC. En la figura 3.26 se muestra los dispositivos antes mencionados a utilizar.



Figura 3.26 Pulsadores
Fuente: [13]

3.2.4 Interfaz:

3.2.4.1 HMI (Interfaz Humano Máquina)

Para las regulaciones y, presentación de los indicadores se requiere de una interfaz en la cual pueda interactuar el operador con la máquina. La interfaz para esta aplicación requiere ser gráfica para un mayor entendimiento del operador y, donde se pueda enviar y presentar mensajes y alarmas ocasionadas durante la operación del equipo.

Además, se debe poder presentar todos los puntos necesarios para calibrar el sistema al tipo de envase a inspeccionar. Por este motivo, se ha elegido una interfaz que se encuentra en el rango estándar de equipos por temas de facilidad de reemplazo. En la figura 3.27 se presenta el panel SIMATIC Touch de la marca Siemens.



Figura 3.27 HMI Touch
Fuente: [14]

Voltaje de Operación	Corriente de Operación	Tamaño
24V DC	230mA	9"

Tabla 3.18 Características de HMI Touch

3.3 Planos del Sistema Mecatrónico

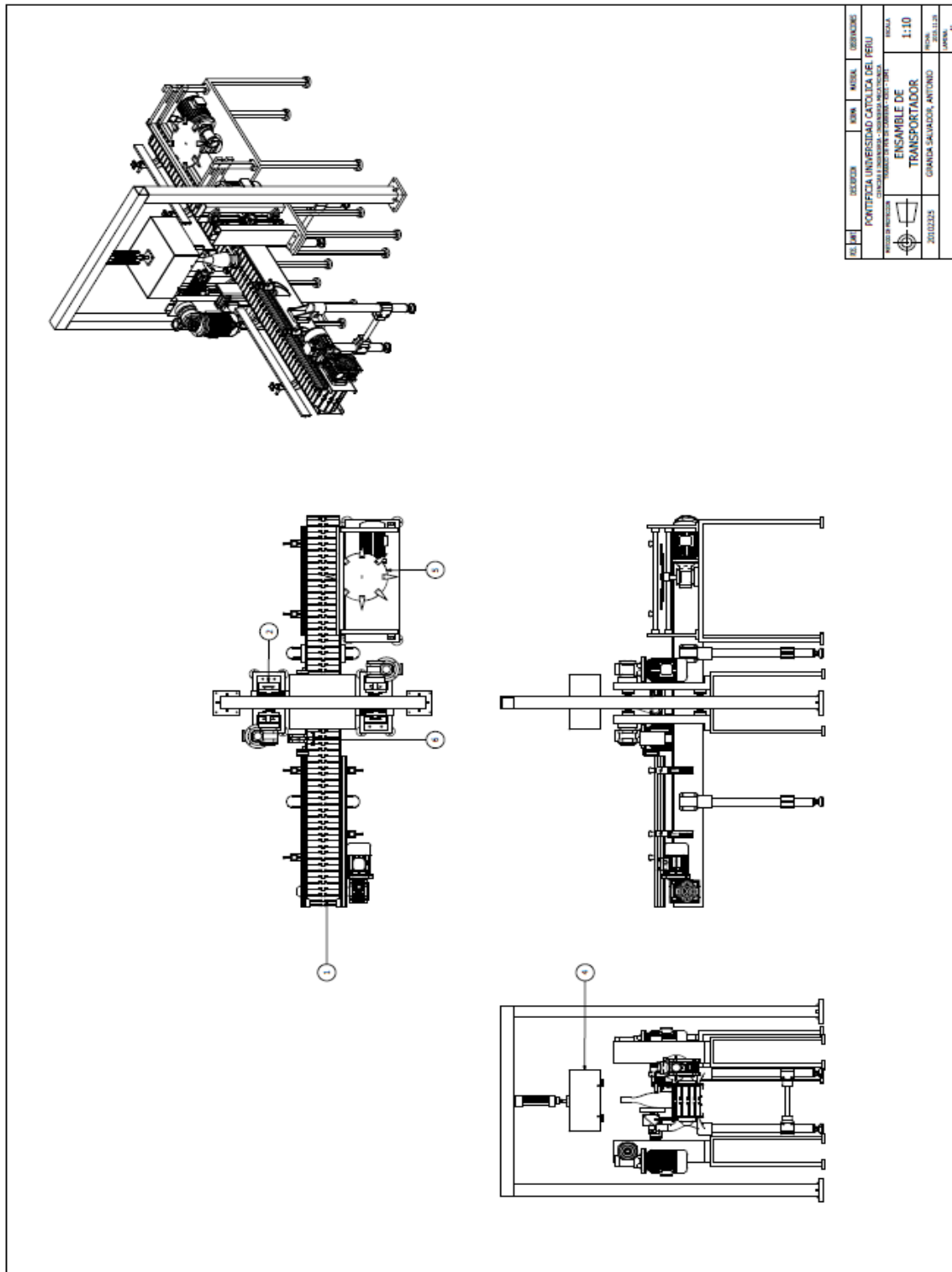


Figura 3.28 Plano de Ensamble General
Fuente: Elaboración Propia

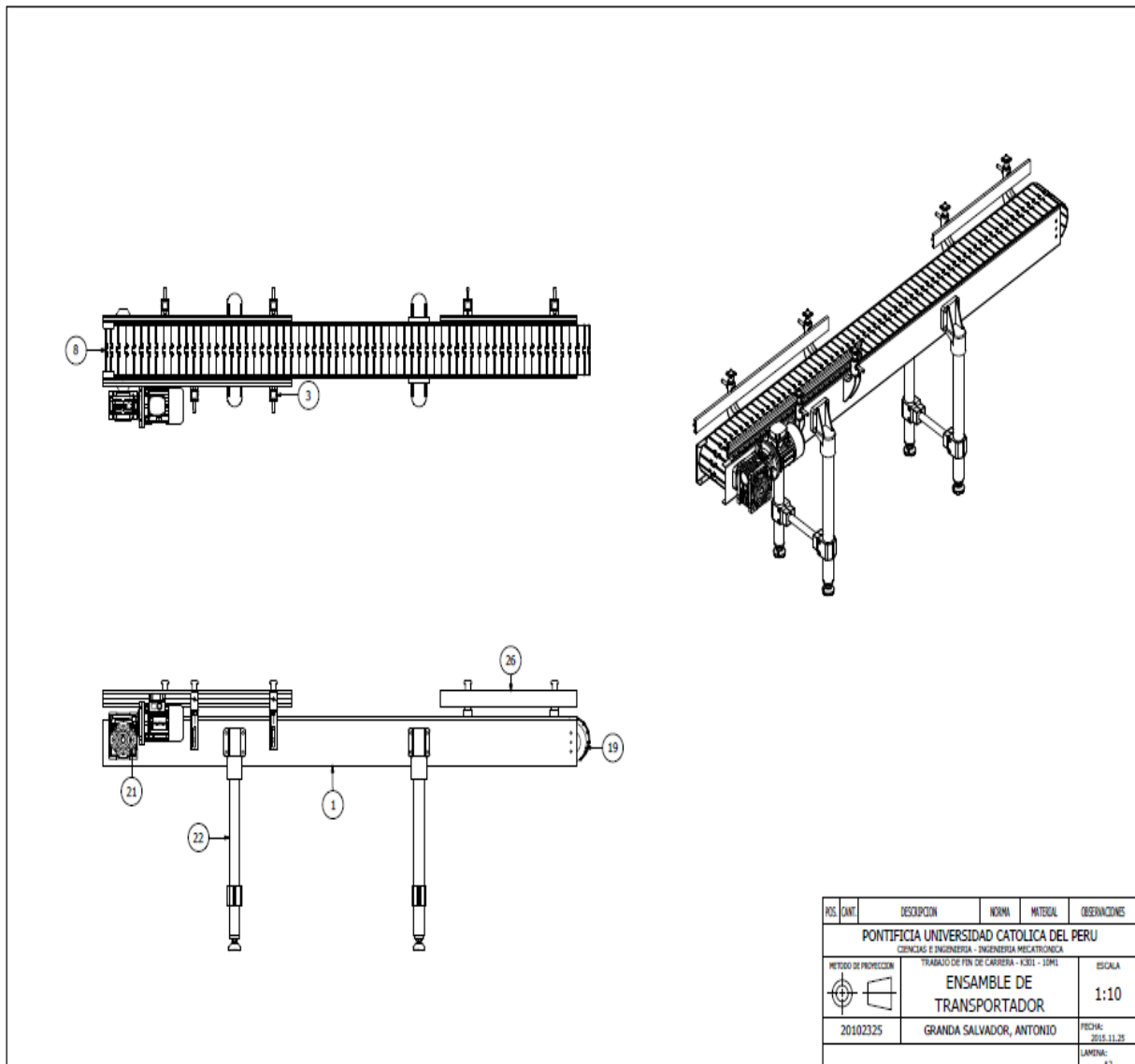


Figura 3.29 Plano de Ensamble de Transportador
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 3.28 se presenta la vista isométrica general del sistema diseñado. Esto último, comprende diversos subsistemas que ejecutan una acción determinada sobre el envase para lograr el objetivo del control de la calidad de la producción. Según los indicadores presentados en el plano, tenemos los siguientes subsistemas:

- Transportador de envases.
- Separador de envases.
- Conjunto de sujetador de cuerpo.
- Conjunto rotador de envases.
- Rechazador de envases.

En la figura 3.29 Se presenta el transportador de envases. Como se puede observar en el plano se tiene los componentes que en conjunto forman el sistema de transporte de envase. Entre estos tenemos a la cadena de tablillas plásticas recta que soportan al envase y lo dirigen a lo largo de la línea de producción. Estas últimas tienen un ancho de 7.5” que abarca la gran variabilidad de diámetros de envases que pueden ser transportador por este sistema. El sistema de transmisión de la cadena se da a través de los piñones plásticos rectos de 21 dientes y eje de 25mm de diámetro.

La cadena es soporta en las planchas metálicas en forma de “L” que, se cubren con una plancha de caucho de espesor de 2mm en su parte superior que disminuye la fricción y desgaste de la cadena de tablillas durante su funcionamiento continuo. Luego, se tienen los soportes verticales que se unen entre la estructura y al piso para descargar las vibraciones del sistema hacia tierra, asegurar el correcto anclaje y, sostener toda la masa del sistema.

Adicionalmente, uno de los elementos cruciales del sistema, que permiten el movimiento continuo de las cadenas, es el motor reductor que trabaja sobre el piñón conductor y, genera la transmisión del sistema. En este caso, se utiliza un reductor con eje de salida de 25mm y una velocidad de salida de 30 rpm a una frecuencia nominal de 60Hz. Esta velocidad será modificada con el variador de frecuencia según se requiera dependiendo de la forma del envase y/o requerimientos del cliente.

Finalmente, se tiene las guías laterales que soportan al envase para su transporte en línea recta y, evitar pérdidas por botellas caídas por los lados del transportador. Asu vez, esta guías son sujetadas a unos soportes reguladores que pueden abrirse o cerrarse según los requerimientos del cliente con el objetivo de mejorar el manejo del envase durante su transporte, según su geometría. Las guías plásticas tienen una forma en “C” y son acopladas a una baranda metálica que se unen a los soportes mediante pernos. Esto último, debido a que, no debe haber contacto de metal con envase por temas de control de calidad. Además, de tener contacto el envase con la guía plástica, esta permite trabajar con un coeficiente de fricción menor que el acero.

En la figura 3.30 se ilustra el separador de envases. La acción de la separación de los envases tiene como función principal la creación del espacio de inspección. Esto quiere decir, que el espacio generado entre botella y botella contiene un tiempo determinado que dura la lectura del número de molde del mismo. Inicialmente, consiste en un plato giratorio que contiene empernado ocho triángulos separadores de manera equidistante. Estos triángulos se insertan entre los envases, a medida que gira el plato. La idea de la separación se da cuando el plato giratorio tiene una velocidad menor al caudal de envases de entrada al sistema. Esto quiere decir que en la cara derecha de cada triangulo, se genera una presión de contención que disminuye el caudal envases a la salida del conjunto separador. Esto último puede entenderse que el separador puede representarse como un regulador de caudal de envases que genera un espacio entre los mismos.

Para completar el sistema anterior, debido a que el agarre debe realizarse en la sección de mayor estabilidad del envase, estos triángulos separadores deben estar a la altura del cuerpo. Por ello, se tienen las guías divididas en una parte superior e inferior que pretender mantener la estabilidad de los envases durante la separación.

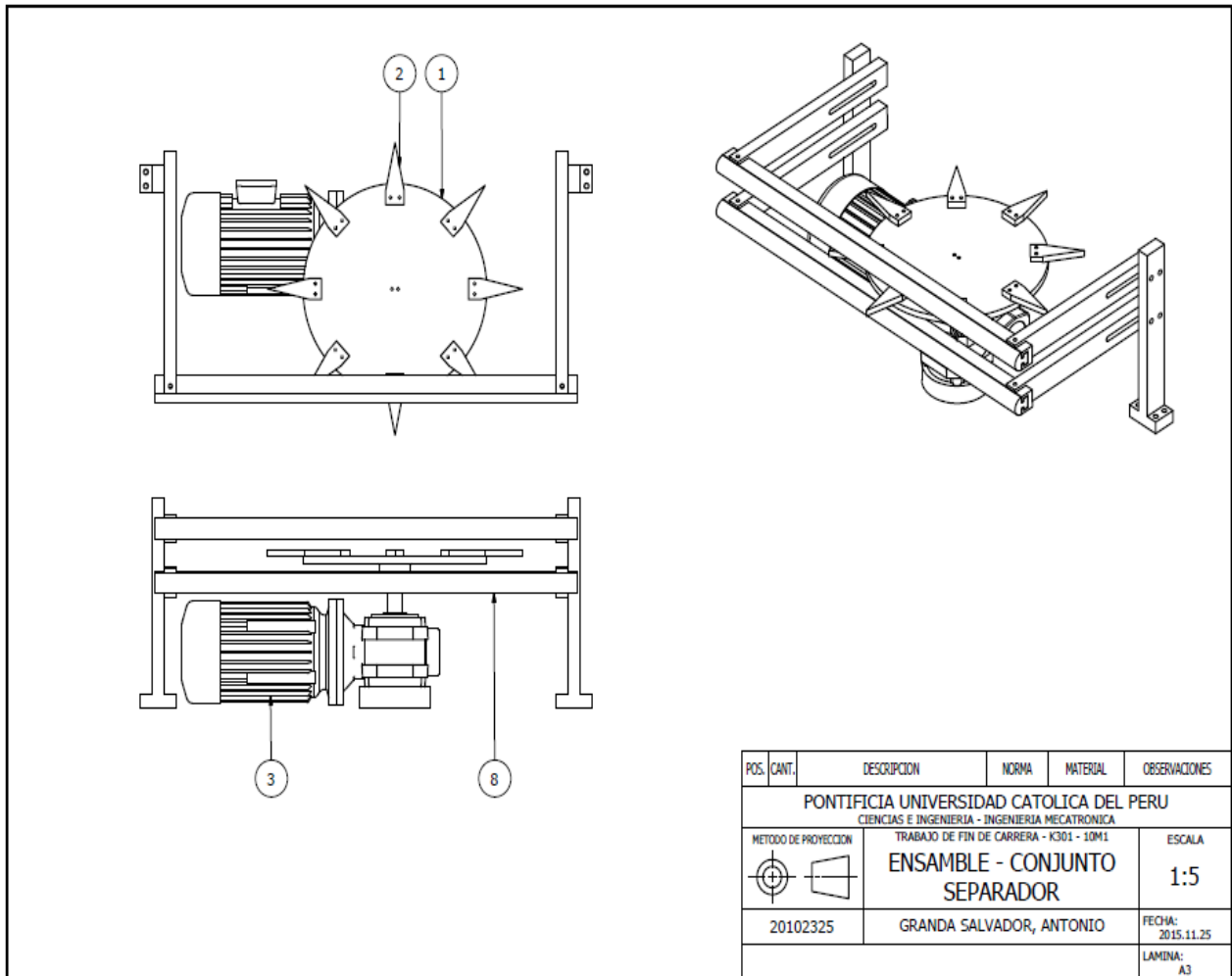


Figura 3.30 Plano de Ensamble de Separador
Fuente: Elaboración Propia

La figura 3.31 presenta el sistema de sujetadores de cuerpo con su respectivo regulador de altura. El propósito de este sistema es sujetar al envase en su sección de mayor estabilidad para mitigar las pérdidas de la señal leída del código CID mediante la generación del giro sobre su propio eje.

Principalmente, se tiene el cilindro con una garra acoplada al final de su vástago que sirve como soporte de sujeción del envase durante su giro. Este cilindro neumático se acopla a una base que mediante una guía de milano en sus bordes se puede deslizar por los canales laterales del sistema.

La regulación de altura de los sujetadores de cuerpo se da a través del movimiento vertical de dicha base. Esta última, se acopla a la cadena de transmisión mediante una argolla especial que tira de la base por su parte superior al momento de subir y por su parte inferior al momento de descender. La cadena de transmisión que se utiliza es de paso de 12.7 mm de paso (½ pulgada). Los piñones que generan la transmisión de subida y bajada de los sujetadores, son de $Z=14$, paso de 12mm y diámetro interior de 25mm.

El motor reductor utilizado para la regulación de subida y bajada del sistema es del tipo de transmisión de tornillo sin fin y corona, esto generando una mayor precisión de la altura deseada. Esto último, en conjunto con el variador de frecuencia, otorgan una estabilidad al sistema. Finalmente, se tiene el sensor ultrasónico que permite la retroalimentación del sistema para tener la medición de la altura a la que se encuentran los sujetadores. De desviarse la medición por las vibraciones, el sistema se mantiene en constante regulación de sus parámetros establecidos.

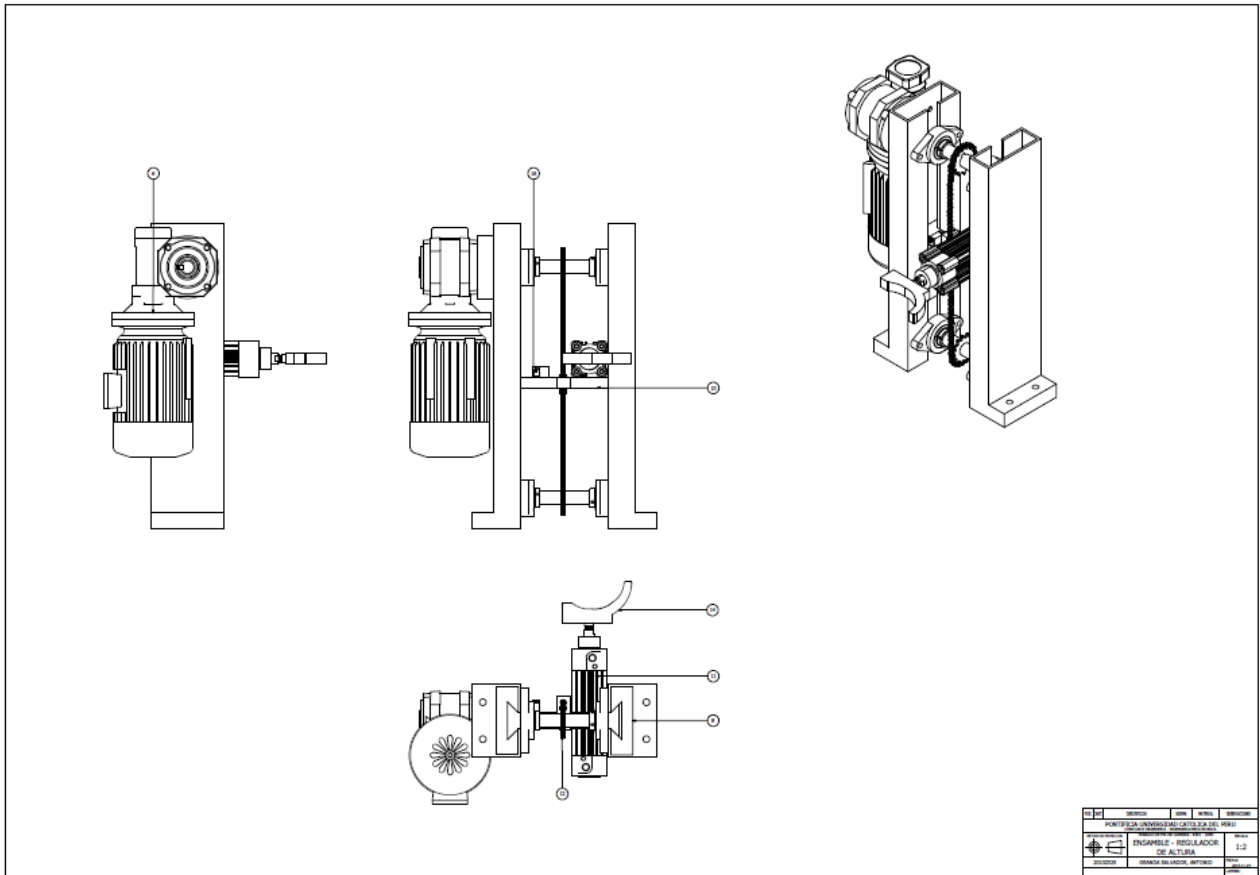


Figura 3.31 Plano de Ensamble de Regulador de Altura
Fuente: Elaboración Propia

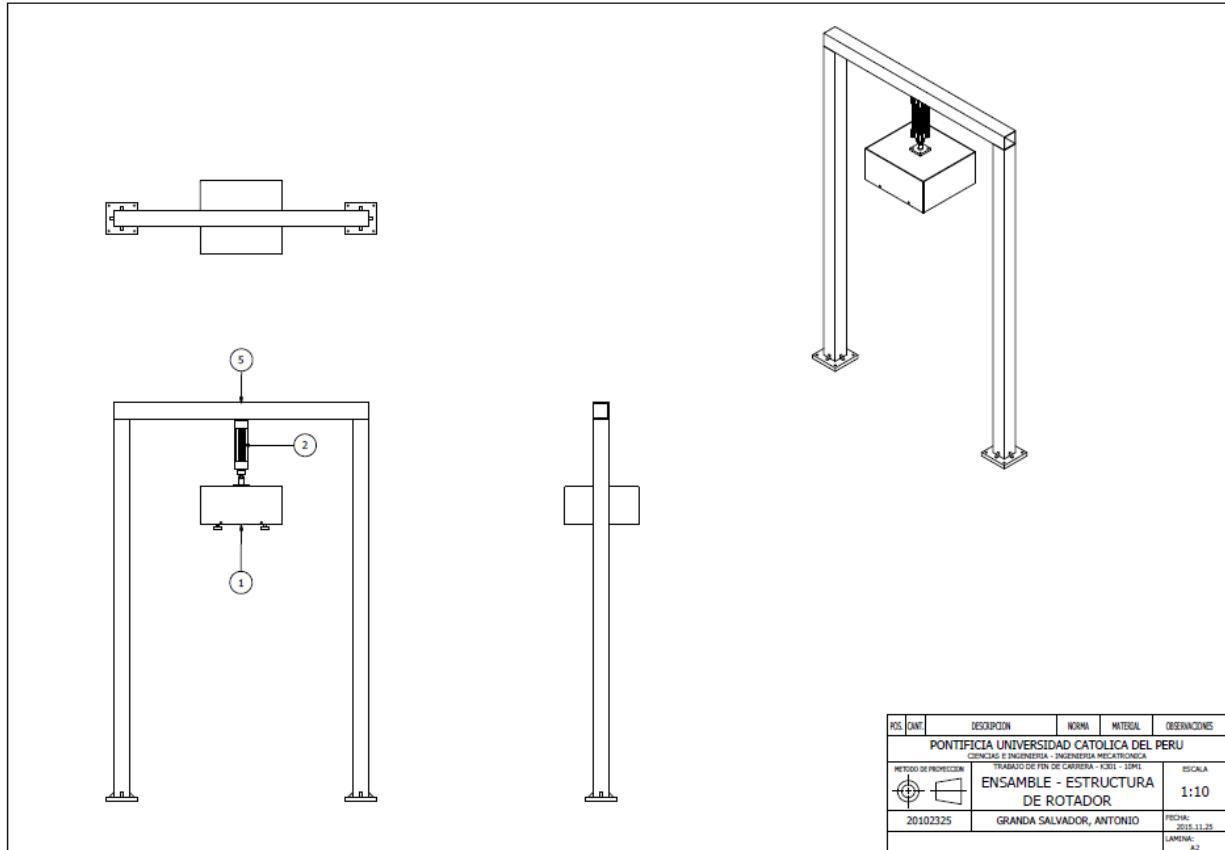


Figura 3.32 Plano de Ensamble de Estructura de rotador
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 3.32 se presenta el sistema de rotación del envase y la estructura que lo soporta. Se puede apreciar en la figura anterior que el sistema comprende tres partes. La primera, es la estructura que soporta al conjunto rotador del envase. Esto comprende un tubo cuadrado de longitud de lado de 75mm y espesor de 3mm. Se señala que las barras se anclan al piso del área de trabajo destinada.

Posteriormente, se tiene el cilindro que contiene el sistema de medición integrada y varia la altura del conjunto rotador dependiendo de la altura del envase configurado por el operador. Para esta aplicación, se consideró que la altura del rango de envases utilizados en planta varía entre 70-300 mm; por lo que, la longitud normalizada de la carrera total del cilindro neumático es de 250mm.

Finalmente, se tiene el conjunto rotador presentado a detalle en la figura 3.33 El propósito general de este subsistema es poder adaptarse a la altura del envase para sujetarlo desde la parte en donde termina la rosca de la boca para hacerlo girar y obtener la lectura del número de molde que se encuentra alrededor de la superficie del envase.

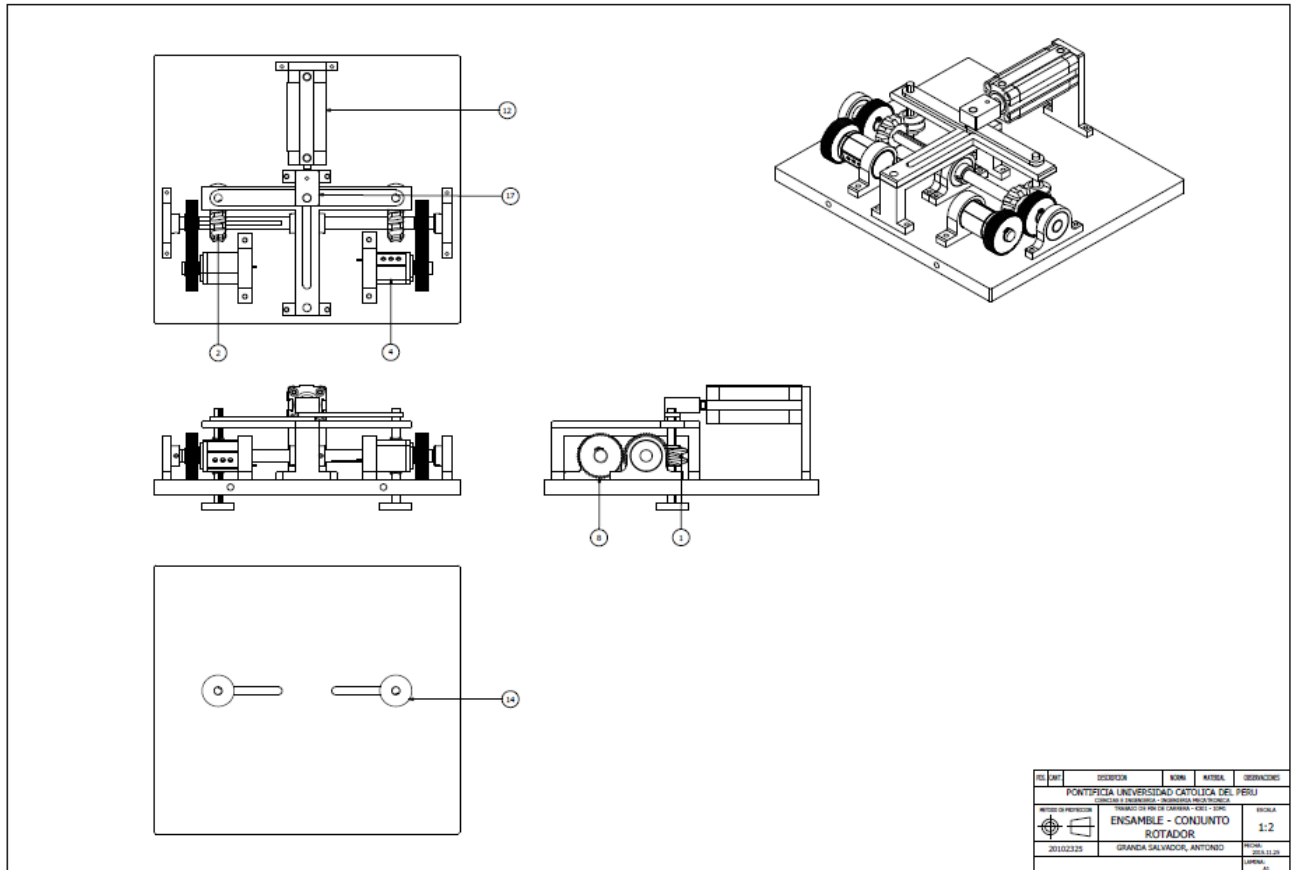


Figura 3.33 Plano de Ensamble de Conjunto Rotador
Fuente: Elaboración Propia

En la vista superior del plano anterior, se puede apreciar los tres actuadores utilizados para hacer girar al envase. Estos últimos siendo los motores neumáticos y el cilindro con medidor de carrera integrado. En el caso del primer dispositivo, su función es hacer girar a los rotadores presentados en la vista inferior que están forrados en su superficie de contacto con una caucho que permite un mejor agarre con el vidrio y la fricción necesaria para hacerlo girar sin dañarlo. El segundo dispositivo es el cilindro neumático que varía la apertura de los rotadores. En los alrededores de la boca del envase de vidrio se tiene una rosca que sirva para acoplar una tapa al mismo. Debajo de la rosca es donde los rotadores sujetan al envase para transmitir el giro.

La transmisión de giro de los rotadores se inicia en un engranaje recto de $Z=55$ y diámetro interno de 15mm. Posteriormente, la conversión de transmisión horizontal a vertical se da a través de un sistema de tornillo sinfín y corona.

En el caso de la apertura continua de los rotadores, se tiene un sistema de barras que utilizan pasadores que se transportan a través de unos canales predeterminados que aseguran el movimiento lineal de los mismos y de forma sincronizada.

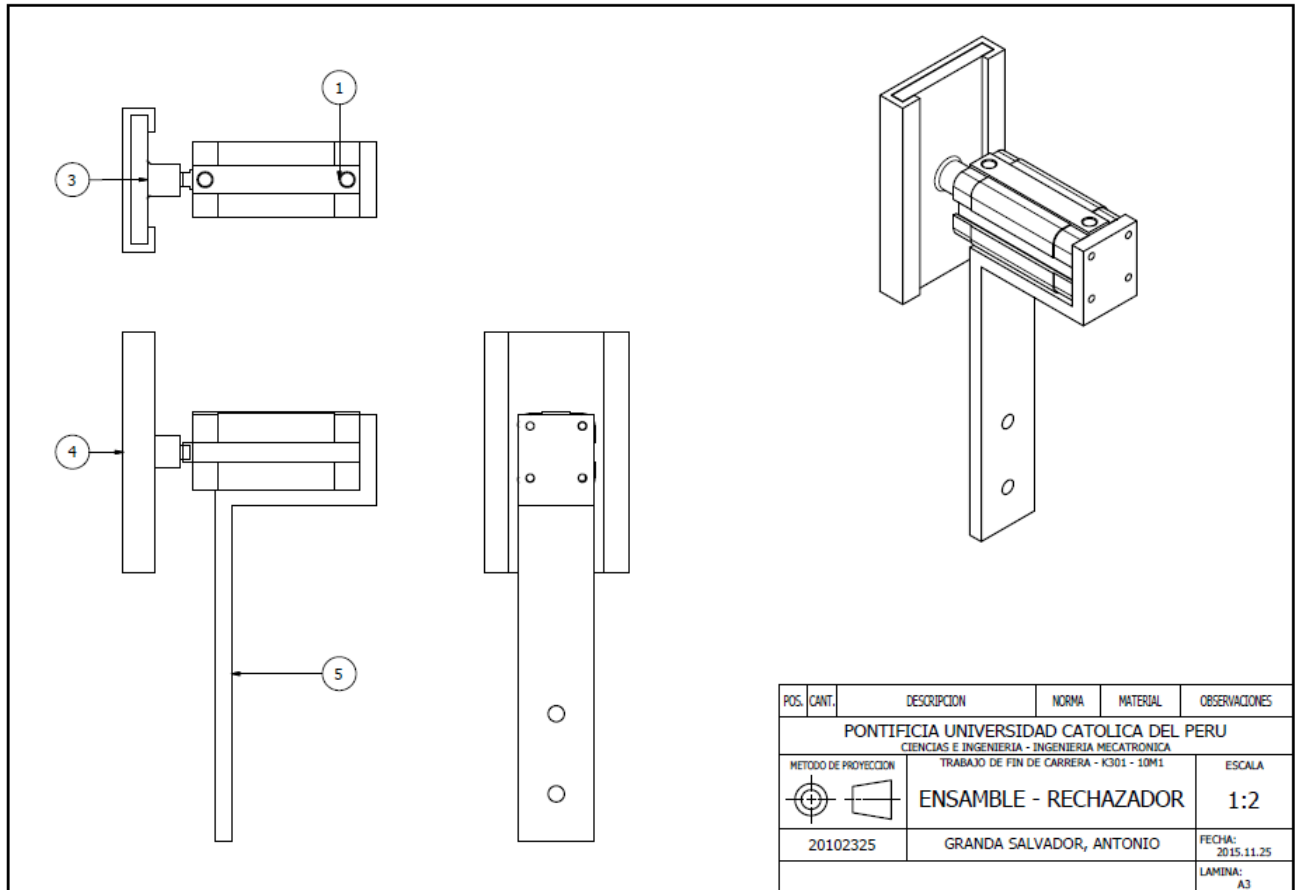


Figura 3.34 Plano de Ensamble de Rechazador
Fuente: Elaboración Propia

El siguiente subsistema es el del bloque rechazador dado en la figura 3.34. En la imagen anterior se tienen las cuatro partes del sistema. Primero, para realizar el movimiento de rechazo se tiene el cilindro neumático convencional de doble efecto que, contiene sensores de finales de carrera del vástago que indican cuando debe retraerse el mismo. La velocidad o presión de rechazo se da con la regulación del controlador de presión analógico destinado a este subsistema.

Posteriormente, se tienen los elementos que tienen contacto con el envase, estos siendo la guía plástica y la guía soportada de acero que se acopla a la salida de vástago del cilindro rechazador. La idea de este último conjunto de componentes es generar un área de contacto con el envase y empujar el mismo hacia una bandeja de rechazos.

Finalmente, se tiene la estructura que soporta al conjunto de rechazo. Esta última tiene forma de “S” que cuenta con tres propósitos. El primero, anclar al cilindro en su parte posterior como se muestra en la vista lateral derecha. La segunda soportar al cilindro y mantener un movimiento horizontal del mismo. Y, la tercera, para anclar al transportador en la posición necesaria.

3.4 Diagrama de conexiones neumáticas

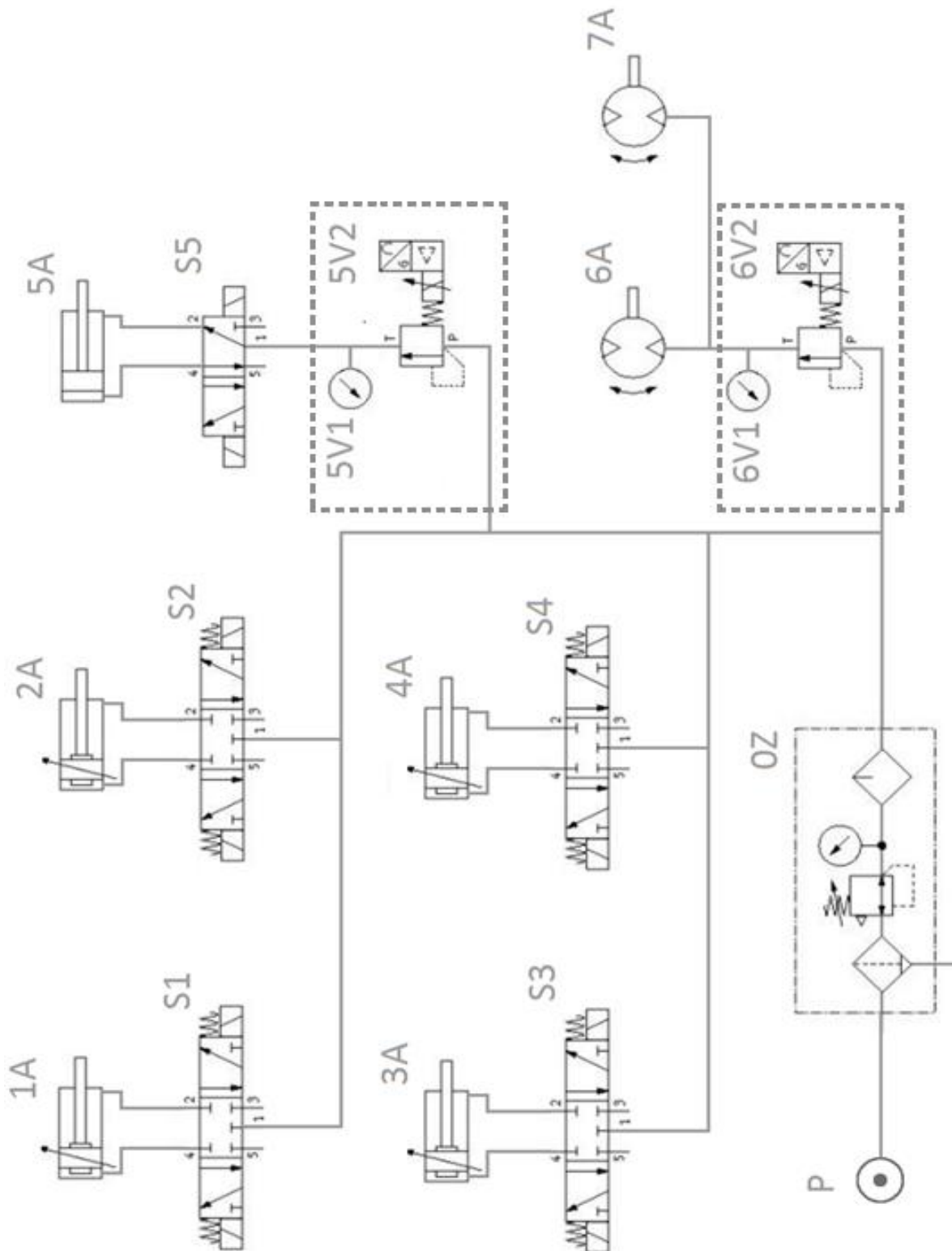


Figura 3.35 Diagrama de conexiones neumáticas
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 3.35 se presenta el diagrama de conexiones de los componentes neumáticos para el sistema mecatrónico. En lo concerniente a la nomenclatura del plano presentado, se tiene lo siguiente:

- 1A, 2A, 3A y 4A cilindros con medición de posición DDPC-Q-80-125-D-P-A Festo.
- 5A cilindro simple de doble efecto ADNGF-100-25-P-A-S2 Festo.
- 6A y 7A motores neumáticos DRD-100-F10-Q8-FS-0-NPT Festo.
- S1, S2, S3 y S4 electroválvulas 5/3 VPWP Festo.
- S5 electroválvula 5/2 con accionamiento por bobina MEBH-5/2-S-B Festo.
- 5V1 y 6V1 medidores de presión QB3 TANICCZP100BRA Proportion Air.
- 5V2 y 6V2 reguladores de presión QB3 TANICCZP100BRA Proportion Air.
- 0Z filtro regulador lubricador.
- P entrada de aire de planta.

Básicamente, el circuito comienza con la entrada de aire que es proporcionada por el compresor de la planta, llegando al lugar de trabajo con una presión de trabajo entre 6-9 Bares. Posteriormente, se tiene el filtro regulador lubricador o, también llamado, unidad de mantenimiento. Este último, acondiciona el aire de entrada a los equipos obteniendo un aire de operación óptimo para el funcionamiento y mantenibilidad de los instrumentos. Inicialmente, el aire pasa por un proceso de filtrado que, indica que se retienen la mayor cantidad de partículas o impurezas que contenga el aire. Luego, se regula la presión de trabajo a lo requerido que según los requerimientos técnicos se solicita de una presión mínima de entrada de 5 Bares. Finalmente, se tiene el proceso de lubricación que, se combina el aire purificado con cierto nivel de lubricante especial para disminuir la fricción durante la operación y, por ende, aporta durabilidad a los equipos utilizados.

Las electroválvulas S1, S2, S3 y S4, se utilizan para el control del posicionamiento de los cilindros que actúan directamente para la inspección del envase. Como se presentó el diagrama de conexiones eléctricas, la señal de comando de estas electroválvulas viene directamente desde el PLC. Este tipo de dispositivos permite el control de la carrera del cilindro que, se utiliza para la sujeción del envase según los valores de diámetros que posean; es decir, con estos instrumentos se pretende el diseño de un sistema que puede ser ajustable dependiendo de la geometría del envase a inspeccionar. El funcionamiento consiste en la variación de pulsos que generan intercambios de estados en la electroválvula para generar la entrada y salida del vástago según se requiera.

Posteriormente, se tiene la conexión hacia los cilindros neumáticos con dispositivo de medición integrado, este siendo un encoder. Estos últimos, serán utilizados para la sujeción del cuerpo y de la boca del envase para poder obtener el giro del mismo sobre su propio eje y garantizar una óptima lectura del código CID de cada envase.

El Bloque de A5 y S5 comprenden el rechazador de envases programados. En este caso, se utiliza una electroválvula biestable simple para la salida y/o retracción del vástago del cilindro de doble efecto simple. Esto quiere decir que cuando se detecta un envase programado como defectuoso el PLC activa la bobina de la electroválvula que genera la salida del vástago y empuja el envase hacia una bandeja de rechazos. Al haberse completado la salida se da la confirmación mediante un sensor de final de

carrera introducido en la ranura del cilindro. Esto último indica la confirmación de que el cilindro debe ser retraído y dejar pasar los envases buenos a lo largo del transportador.

Los dispositivos 6A y 7A representan los motores neumáticos. Estos últimos se utilizan para hacer girar al envase por debajo de la boca del mismo; mientras que, lo sujeta uno de los cilindros antes mencionados. En este punto, cabe resaltar que, los rotadores que atrapan al envase contienen una capa elástica delgada que genera la fricción necesaria con el envase. El objetivo de estos motores es hacer girar al envase en por lo menos dos vueltas durante la etapa de inspección para obtener, con seguridad, un periodo completo de la señal requerida. La velocidad de estos es controlada directamente con la variación de presión de entrada.

Los sistemas 5V1, 5V2 y, 6V1, 6V2 comprenden el regulador de presión analógico. Cada bloque; es decir, 5V1 y 5V2 forman un controlador de presión que, su valor de apertura de la válvula depende de la señal de entrada en el rango de 4-20mA. En primer lugar, se tiene la válvula proporcional regulador de presión que, estrangula la entrada de aire para obtener una variación de presión a la salida y, luego, se tiene el manómetro interno en el sistema que devuelve la medición real de presión previamente establecida. De esta forma, se puede tener un control de retroalimentación de lazo cerrado para el control de la presión de trabajo en estos dispositivos. Esto último, se utiliza como aplicación para variar la velocidad de rotación del envase y la velocidad de rechazo de las botellas defectuosas para los motores neumáticos y el cilindro rechazador, respectivamente.

3.5 Diagramas de conexiones de los circuitos del sistema mecatrónico

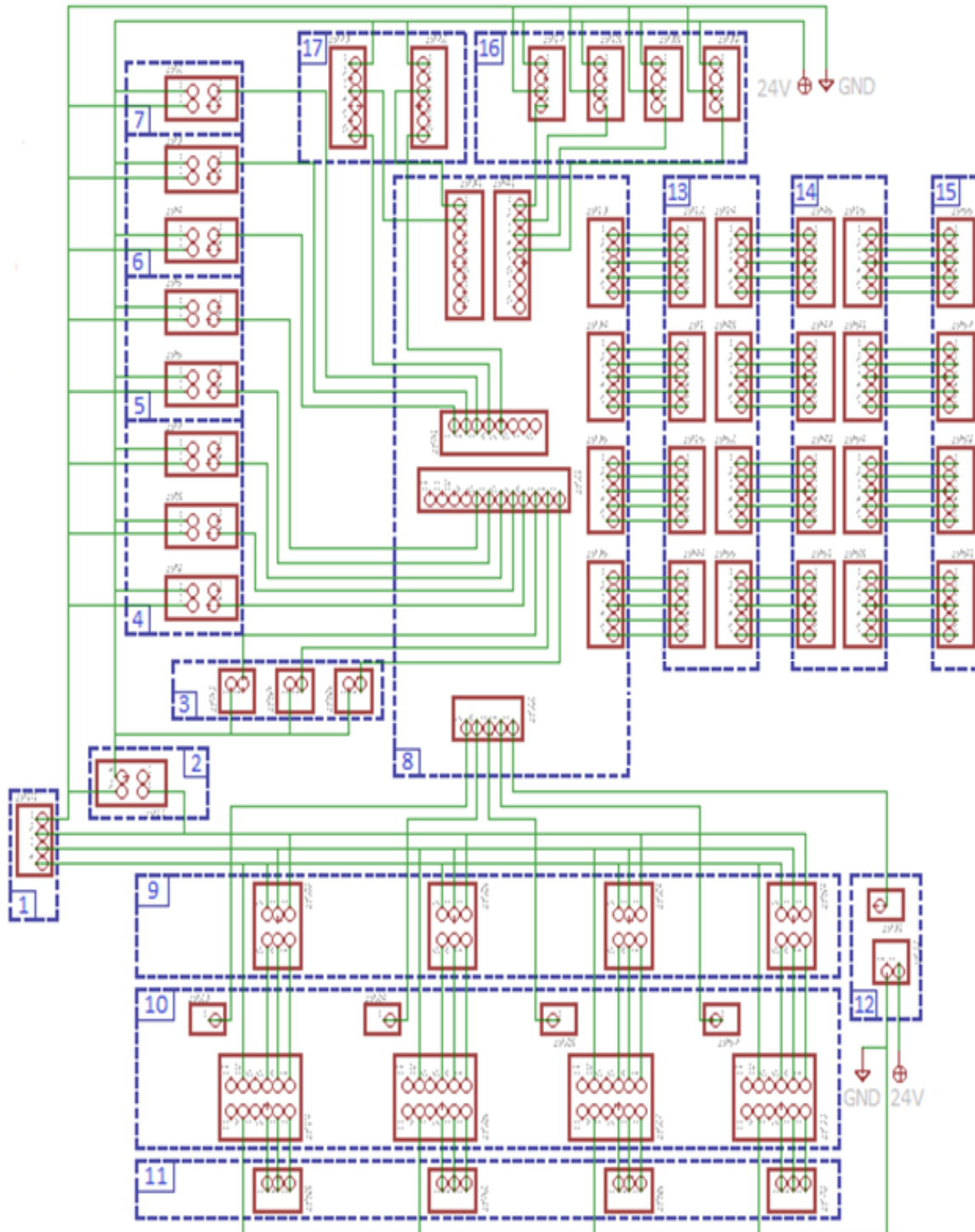


Figura 3.36 Diagrama Esquemático General
Fuente: Elaboración Propia

La figura 3.36 muestra el diagrama de esquemático del plano electrónico general del sistema mecatrónico, en donde se especifican las conexiones entre los sensores, actuadores y el control general del sistema. Las partes del sistema son las siguientes:

- El Bloque N°1 corresponde a la alimentación de energía suministrada por la planta.
- El Bloque N°2 corresponde a la fuente SITOP Modular PSU8200 Siemens
- El Bloque N°3 corresponde a los pulsadores de contacto normalmente abierto.
- El Bloque N°4 corresponde a los sensores reflectivos del tipo WT100L-F2141 Laser.
- El Bloque N°5 corresponde a los finales de carrera SME-10-KL-LED-24 Festo.
- El bloque N°6 corresponde a los sensores ultrasónicos UC12-11231 sick.
- El Bloque N°7 corresponde al sensor ultrasónico de lectura OADM 12I6460/S35A.
- El Bloque N°8 corresponde al rack de terminales y PLC Festo CPX-CMPX.
- El Bloque N°9 corresponde a los relés térmicos 193-ED1CP Allen Bradley.
- El Bloque N°10 corresponde a los variadores de frecuencia PowerFlex 525.
- El Bloque N°11 corresponde a los motorreductores MVF44L1P160P63B5B3.
- El Bloque N°12 corresponde al HMI KTP900 Basic 9" Siemens.
- El Bloque N°13 corresponde a las electroválvulas VPWP 5/3 Festo.
- El Bloque N°14 corresponde a la interfaz del encoder CASM-S-D3-R7 Festo.
- El Bloque N°15 corresponde a los cilindros DDPC-Q-80-125-D-P-A Festo.
- El Bloque N°16 corresponde a las bobinas de las electroválvulas MEBH-5/2-S-B.
- El Bloque N°17 corresponde a los reguladores de presión QB3TANICCZP100BRA.

La línea de fuerza suministrada por la planta se obtiene desde el bloque N°1. En este último, se cuenta con un voltaje de suministro de 440V AC, con las tres líneas necesarias para la conexión directa a los motores. Adicionalmente, se tiene una bornera de conexión directa al UPS de la línea general para la descarga a tierra de todos los dispositivos electrónicos utilizados.

El bloque N°2 comprende la utilización de la fuente reguladora de voltaje; en este caso, tan solo es necesaria la alimentación desde una de las líneas de fuerzas de la central. Como resultado, este dispositivo proporciona la línea de 24V DC que requieren los dispositivos electrónicos para energizarse

Los primeros dispositivos de control son los pulsadores de encendido, arranque y parada, dados en el bloque N°3. El primer pulsador genera que el sistema se energice, el segundo el arranque de los motores y la confirmación de que los actuadores lineales están listos y, finalmente, el tercero es para detener el sistema según se requiera. Cabe resaltar que, este último, funciona como pulsador de parada de emergencia. En todos estos, se genera conexión directa al pin N°1, energizándolo a 24V DC y el pin N°2 se conecta a la tarjeta de entradas digitales del PLC. Al momento de presionar el pulsador, se cierra el contacto abierto y, se genera el paso de la corriente a través del pin N°2 que, posteriormente, llega al PLC.

Luego, se tiene la parte de los sensores. En el bloque N°4, se representan los sensores de presencia utilizados a lo largo del transportador de envases. En este caso, se tienen tres fotocélulas. La conexión de estos dispositivos se mantiene según el estándar lo que indica que el pin N°1 se conecta a la línea de alimentación de 24V DC, el pin N°4 manda la conmutación de la señal a la tarjeta de entradas digitales del PLC al momento de cerrarse el contacto durante la detección del envase y el pin N°3 representa la descarga a tierra que se utiliza en el cambio de estado lógico.

Para completar el conjunto de sensores de señal de salida digital, el bloque N°5 presenta los sensores de proximidad que, indican los finales de carrera del vástago del cilindro de rechazo, estos siendo entrada y salida completa. En este caso, se utiliza estos sensores como señal de confirmación de haberse completado el rechazo del envase programado. La conexión es igual que los sensores del bloque N°4, el pin N°1 se conecta a entrada de 24V DC, el pin N°2 es la señal que va directa al PLC y, el pin N°3 se conecta a tierra.

Los bloques N°6 y N°7, corresponden a los sensores ultrasónicos. Los primeros se utilizan para la regulación de la altura de los sujetadores de cuerpo y, el segundo para la medición del número de molde del envase. La conexión es igual que los sensores de presencia, el pin N°1 se conecta a 24V como alimentación, el pin N°2 se conecta a la tarjeta de entradas analógicas del PLC, esto en un rango de 4-20mA y el pin N°3 es la descarga a tierra.

El Bloque N°8 comprende todo el rack de conexiones del control central del equipo; es decir, el PLC Festo FPX. Inicialmente, se cuenta con las tarjetas de entradas y salidas tanto digitales como analógicas. Luego, se tiene los terminales CMPX que contienen el control integrado para la posición de los cilindros neumáticos, el conexionado es directo al rack y se comunican mediante el bus de datos. Además, este cuenta con su fuente de alimentación que rectifica los valores necesarios de voltaje. Finalmente, se requiere de un grupo de terminales Ethernet IP para el control de los variadores de frecuencia de los motores y el HMI utilizados, este terminal se conecta directamente al puerto de Ethernet IP del propio PLC y funciona como un centro de bifurcación del protocolo de comunicación utilizado.

Luego, se conectan a los relés térmicos del bloque N°9. Estos últimos controlan la corriente máxima generada por el motor. El conexionado se da directamente entre entrada y salida; es decir, W1 a L1, W2 a L2 y W3 a L3.

Los variadores de frecuencia se presentan en el bloque N°10. Estos se conectan directamente al PLC mediante los puertos Ethernet IP antes mencionados, esto permite una alta velocidad y precisión al control de los motores. Estos cuentan con un puerto de alimentación dado en la bornera N°23, considerando entrada de voltaje de 440 AC y, salida en la bornera N°24 como tierra. Adicionalmente, se tiene la entrada de la línea de fuerza que viene de los relés térmicos y que se dirigen hacia los motores a en las borneras N°1,3 y 5 y, la salida de la misma desde las borneras N°2,4 y 6.

Los motores se ilustran en el bloque N°11, se resalta que todos los motores son similares con accionamiento de freno. La conexión de la fuerza es directa en la caja de borneras en las posiciones 1,2 y 3 según las líneas L1, L2 y L3, respectivamente..

El bloque N°12 presenta la conexión del PLC con interfaz humano máquina. El control del panel se da directamente con la conexión a uno de los puertos de Ethernet IP. Además, requiere de una alimentación de 24V DC y una salida a tierra, estos dados en las borneras 1 y 2 respectivamente.

En el bloque N°13 se encuentran las electroválvulas. La conexión entre estos equipos y el terminal que va al rack general del PLC, se da a través de un conector de cinco pines. En esta configuración, el pin N°1 y N°3 son para la alimentación al dispositivo, considerando 24V DC y 0V respectivamente. Por otro lado, el pin N°2 corresponde a la señal de control de apertura de la electroválvula según 0-24V DC, considerando un rango de voltaje, siendo la apertura máxima 24 VDC y, la valvula cerrada a cero voltios. Los pines 4 y 5 sirven para la entrada y salida del tipo de comunicación que se utilizan entre estas interfaces, conocido con el nombre de “CAN” ; los cuales no se toman en consideración pues no serán utilizados para el proyecto.

La conexión presentada entre en el bloque N°13 y N°14 comprende las interfaces entre los medidores de carrera de los cilindros neumáticos y las electroválvulas. Esta conexión se da igualmente en un conector de cinco pines. El pin N°1 se conecta al voltage de operación nominal 24V DC, el pin N°3 a cero. Los pines 4 y 5 continúan siendo para la comunicación tipo “CAN” que no se utilizarán.

En el bloque N°15 se presentan los medidores de carrera o encoders integrados en los cilindros neumáticos. Esta conexión se da con los transductores del bloque N°13 a través de conectores de cinco pines. El pin N°1 devuelve la medición del encoder convertida en una señal analógica que se dirige, posteriormente, hacia el PLC. En los pines N° 3 y 4 se tiene los voltajes de referencia 0 y 24V DC, respectivamente. Finalmente, en el pin N°5 es la entrada analógica que devuelve el encoder hacia el transductor.

El bloque N°16 comprende las bobinas que realizan el cambio de estado en las electroválvulas del cilindro de rechazo y del motor neumático. La conexión es similar a las fotocélulas, se tiene el pin N°1 y 3 como voltaje de suministro de 24V DC y tierra, respectivamente. El pin N°4 se conecta a la tarjeta de salidas digitales del PLC.

Finalmente, el bloque N°17 se tienen las valvulas reguladoras de presión con entrada analógica. Este comprende un conector de seis pines. El pin N°6 se conecta a la línea de alimentación de 24V DC. El pin N°4 se conecta a la señal de comando analógica de 4-20mA dada en la tarjeta de salidas analógicas del PLC. El pin N°5 se conecta a la tarjeta de entradas analógicas para realimentación y monitoreo de la válvula.

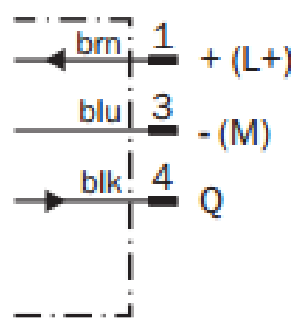


Figura 3.37 Diagrama de conexión de sensor reflectivo
Fuente: [1]

En la figura 3.37 se presenta el diagrama de conexiones de los sensores reflectivos utilizados para la detección de las posiciones del envase a lo largo del transportador. El funcionamiento del sensor se da con los dos estados lógicos; es decir, abierto o cerrado. Básicamente, la fotocelda funciona como un contacto normalmente cerrado. Al detectarse un envase, se corta la recepción de la luz enviada por el mismo sensor, lo que indica el cambio de estado de '1' a '0' lógico y, por ende, se tiene un contacto abierto. De esta manera, se tiene la sincronización de las posiciones del envase dentro del equipo.

En el caso de las fotoceldas utilizadas, la primera detecta el ingreso de flujo de envases al equipo, de no ingresar envases, este último se detiene. La segunda indica que se encuentra un envase en la zona de inspección y que la siguiente acción es la lectura de molde del mismo; adicionalmente, este sensor sirve para realizar el cálculo de la eficiencia que, involucra la cantidad de envases de entrada y salida del equipo. Finalmente, la tercera fotocelda sincroniza el sistema con el envase a la salida para el cálculo de la cantidad de rechazos; además, al no cambiar de estado esta fotocelda en el tiempo determinado indica que ha habido algún problema dentro del equipo y, por ende, el equipo se detiene y espera la intervención del operador.

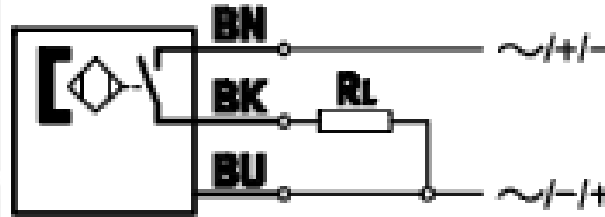


Figura 3.38 Diagrama de conexión de final de carrera
Fuente: [3]

El diagrama de los finales de carrera de los cilindros se presenta en la figura 3.38. Estos sensores son necesarios en esta aplicación pues, físicamente, indican la posición del cilindro y, debido a la velocidad del equipo, este debe mantenerse en la posición correcta. Según la velocidad establecida y el masa del envase a rechazar, se tiene un tiempo determinado en el cual estos sensores deben confirmar su cambio de estado; de no darse de esta manera, se detiene el equipo y se muestra un mensaje en el HMI con la alarma "Falla de final de carrera de rechazo", lo cual involucra la intervención del operador. El accionamiento de este tipo de sensores se da cuando se detecta parte del embolo del cilindro y, se genera un corte del campo magnético que cierra el contacto y se procede al paso de la corriente que, se entiende por el PLC como un "1" lógico. Se entiende las conexiones BN, BK y BU como 24V DC, señal lógica de cambio de estado y descarga a tierra respectivamente.

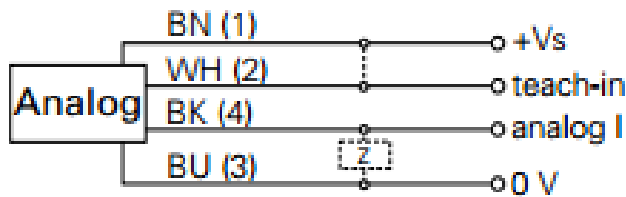


Figura 3.39 Diagrama de conexión de Sensor de lectura de número de molde
Fuente: [5]

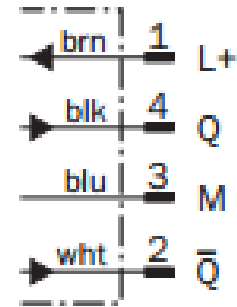


Figura 3.40 Diagrama de conexión de regulación de altura
Fuente: [2]

En las figuras 39 y 3.40 se muestran los diagramas de conexión de los sensores ultrasónicos utilizados. En la primera imagen, se utiliza el sensor de la marca SICK para la regulación de la posición de los sujetadores de cuerpo y, en la segunda, el sensor de la marca Baumer para la lectura del número de molde del envase. En la segunda aplicación antes mencionada, se requiere de un sensor que tenga la precisión y resolución alta para lograr obtener el espectro de la variación de longitud al momento de medir las perlas que indican el código de cada envase. La diferencia entre ambos radica en el tiempo de respuesta de la señal. Esto último, se toma en consideración como un dato especial para la definición del periodo de muestreo del espectro de la variación de distancias a lo largo de una circunferencia alrededor del envase que, indica la lectura del número de molde. En ambos casos, estos sensores entregan una señal analógica al PLC que varía entre 4-20mA dependiendo de la distancia del objeto y el alcance del sensor.

La conexión en ambos casos es similar, se tiene la alimentación de 24V DC, la puesta a tierra y la señal analógica de 4-20mA en los pines 1,3 y 4, respectivamente.

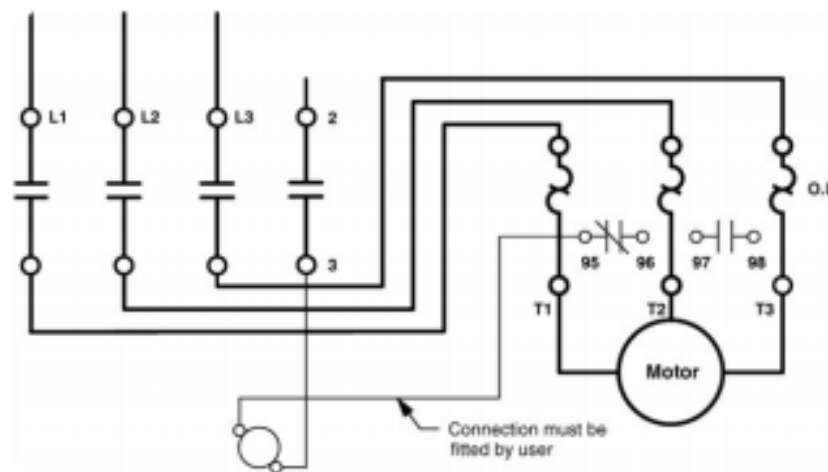


Figura 3.41 Diagrama de conexión de llave térmica
Fuente: [13]

En la figura 3.41 se muestran el diagrama de conexión de las llaves térmicas utilizadas. Según el ejemplo dado, en el diagrama anterior, las líneas L1, L2 y L3 ingresan a la llave térmica y, T1, T2 y T3 salen de la misma. Al generarse una sobrecarga en el motor, la llave abre el contacto eliminando el paso de la línea de fuerza hacia los motores para prevenir el progresivo aumento de la corriente y proteger los sistemas. En esta aplicación, las líneas de salida se conectan a los variadores de frecuencia y, luego hacia los motores; esto último, para tener un control sobre la velocidad de los equipos.

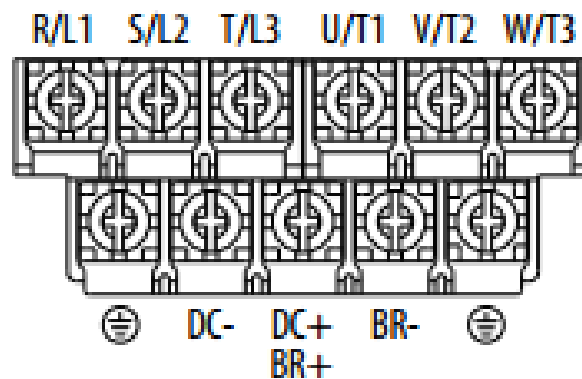


Figura 3.42 Diagrama de conexión de variador de frecuencia

Fuente: [10]

En la figura 3.42 se presenta el diagrama de las borneras de conexión de los variadores PowerFlex 525. Inicialmente, se debe generar el paso de la línea de fuerza hacia los motores con tres líneas de entrada y, las tres líneas de salida con la frecuencia modificada según se requiera; esto último, modificando la velocidad de giro del motor. Las líneas de entrada se conectan en las borneras L1, L2 y L3 que concuerda con el diagrama general en la figura 3.36. En las borneras N°2,4 y 6, respectivamente. Al igual que las entradas las salidas se obtienen de las borneras T1, T2 y T3 que, se representan en el diagrama general en las borneras N°1,3 y 5, respectivamente. Finalmente, para alimentar el variador de frecuencia, se utilizan los puertos tierra y DC+ para 0V y una línea de 440V AC, respectivamente. Estos últimos dados en el diagrama general como las borneras N°9 y 10 respectivamente.

La conexión entre los dispositivos de control del PLC se dan adosando los mismos directamente al rack de conexiones y la transmisión de la información se da a través del bus de datos.

En lo concerniente a los dispositivos de control de posicionamiento de los cilindros neumáticos, para estos se utiliza unos conectores de cuatro y cinco pines con las configuraciones mostradas en las figuras 3.43 y 3.44. En la primera, solo se utilizan los puertos D0 e In que se utilizan para enviar la señal de comando de apertura de la electroválvula y recibir la medición de la posición del cilindro, respectivamente. En la segunda figura se tiene la conexión de los pines entre la interfaz y el encoder integrado en los cilindros.

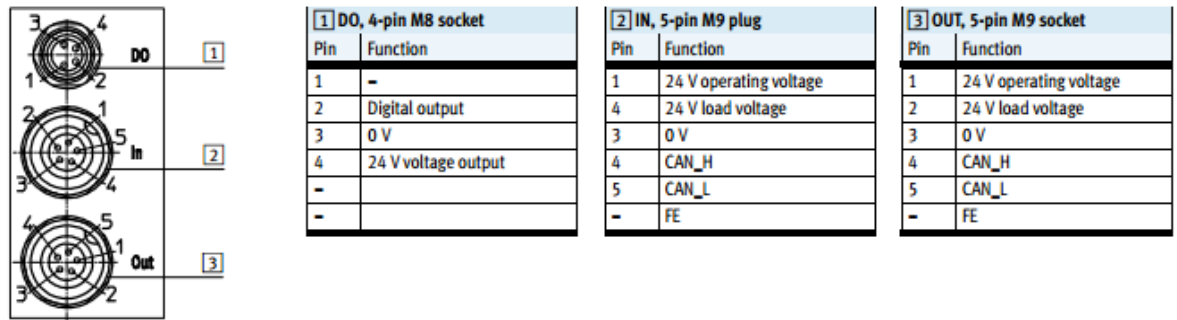


Figura 3.43 Diagrama de conexión de electroválvulas VPWP

Fuente: [9]

Plug S2 CASM-S-D2-R3 For analogue, absolute displacement encoder

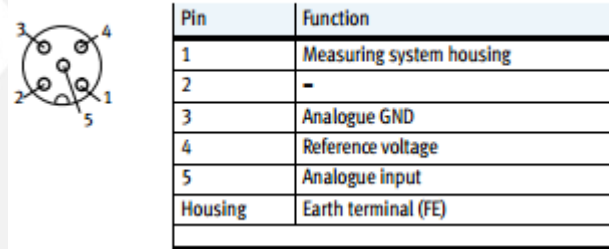


Figura 3.44 Diagrama de conexión de Transductor

Fuente: [11]

Para el accionamiento de los solenoides de las electroválvulas del motor neumático y cilindro rechazados, se utiliza la configuración presentada en la figura 3.45. En este caso, la señal que envíe el PLC para la activación de la solenoide y se realice el cambio de estado de la electroválvula se da en el pin N°4, lo cual cierra el contacto entre este punto y el pin N°3 que es la descarga a tierra.

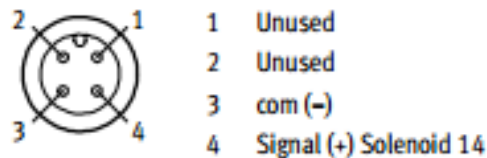


Figura 3.45 Diagrama de conexión de Encoder de cilindros

Fuente: [6]

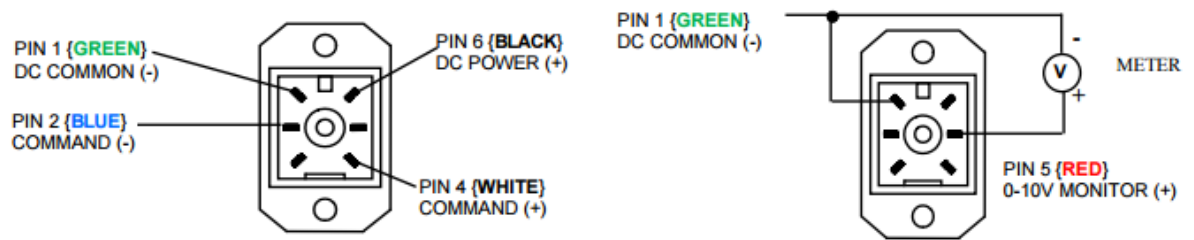


Figura 3.46 Diagrama de conexión de Controlador de Presión
Fuente: [15]

Finalmente, se tienen los conectores de los reguladores de presión analógicos QB3 en la figura 3.46. La configuración para la activación del dispositivo se da a partir del pin N°6 que energiza al sistema con un voltaje de 24V DC. Luego, lo necesario para cumplir el lazo de retroalimentación y, conocer el valor de la presión de trabajo, se da en los pines N°4 y 5. El primero define el valor de la presión en un rango de 0-10 Bar dependiendo del rango de la salida analógica de 4-20mA. Mientras que, el segundo, realimenta el valor en la misma escala hacia el PLC para monitorear el valor y, por ende, tener el valor de presión real.

3.6 Diagramas de flujo de control del sistema mecatrónico

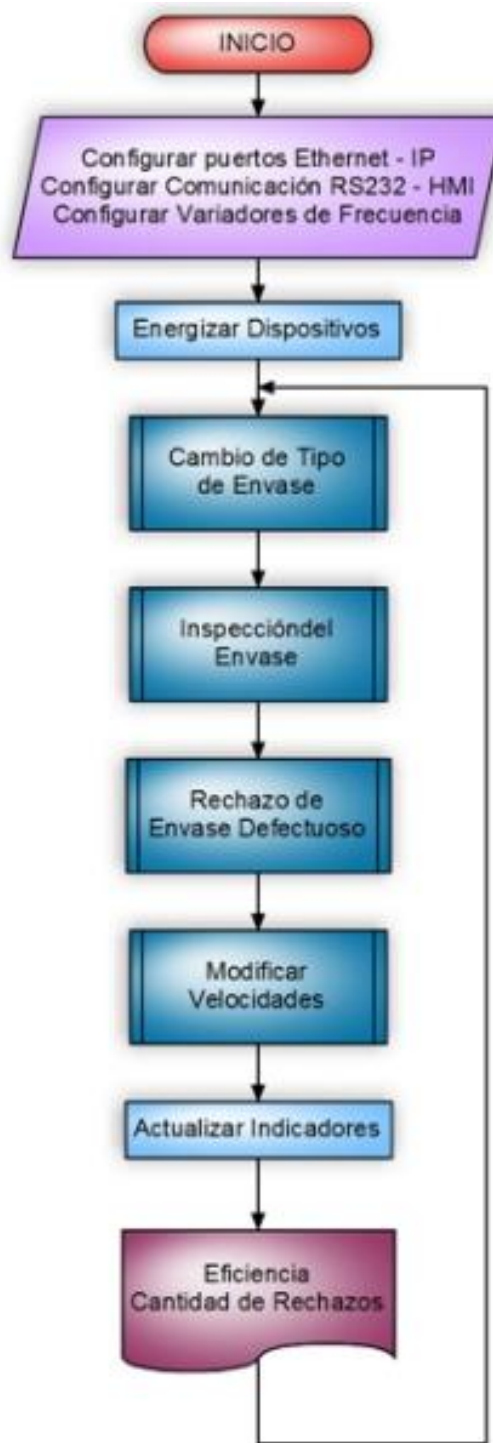


Figura 3.48 Diagrama de Flujo General
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 3.47 se presenta el diagrama de flujo general para el control total de la máquina. El control del equipo se centraliza en un PLC Festo CPX-CMPX que cuenta con los protocolos de comunicación Ethernet IP y RS232 que serán utilizados para interconectarse con los variadores de frecuencia y el HMI, respectivamente. Adicionalmente, es necesario configurar todos los puertos de Ethernet IP dados en el Switch Stratix 2000 para identificar cada componente en el PLC y, transmitir y recibir la información necesaria.

Al iniciar el programa de control, lo primero que se solicita es energizar todos los sistemas pues el equipo se apaga después de un tiempo para no generar un gasto innecesario de energía y ofrecer una mayor durabilidad de los materiales tanto mecánicos como electrónicos.

El proceso realizado por el equipo se mantiene constante hasta que el usuario decida modificar algún parámetro de control en cualquier momento; por ello, se desarrolló el programa para que pueda ser interrumpido cuando se desee. Dentro de la primera interrupción tenemos el diagrama de flujo del Cambio de tipo de envase:

En el diagrama de flujo presentado en la Figura 3.48, se interrumpe el funcionamiento de la máquina y se detienen los actuadores para regular el sistema a las posiciones necesarias para la correcta inspección del nuevo envase según sus especificaciones técnicas solicitadas.

El ingreso de los datos solicitados se da a través del HMI Simatic MP Touch. Se presentará una pantalla en el HMI indicando cada ítem que para su modificación. Una vez ingresadas las modificaciones necesarias como el ancho del terminado, ancho del envase, altura, peso y el número de molde que se desea rechazar se procede a configurar los tiempos que darán las posiciones del envase a lo largo del transportador para su respectiva inspección o descarte. Además, se regularan las carreras y velocidades de los cilindros y motores. Una vez configurado todo, se presenta el mensaje de confirmación que indica el término de las regulaciones del sistema y comenzar a inspeccionar el envase.

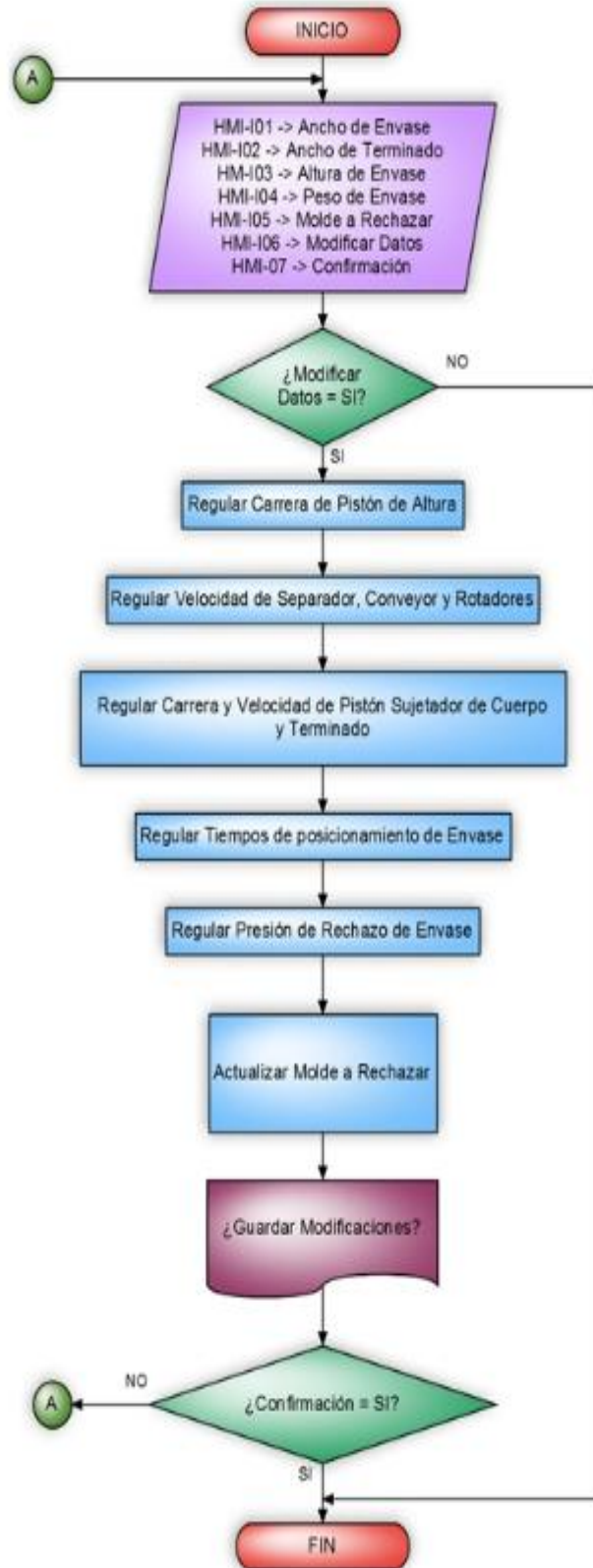


Figura 3.48 Diagrama de Flujo de Cambio de Tipo de Envase
Fuente: Elaboración Propia

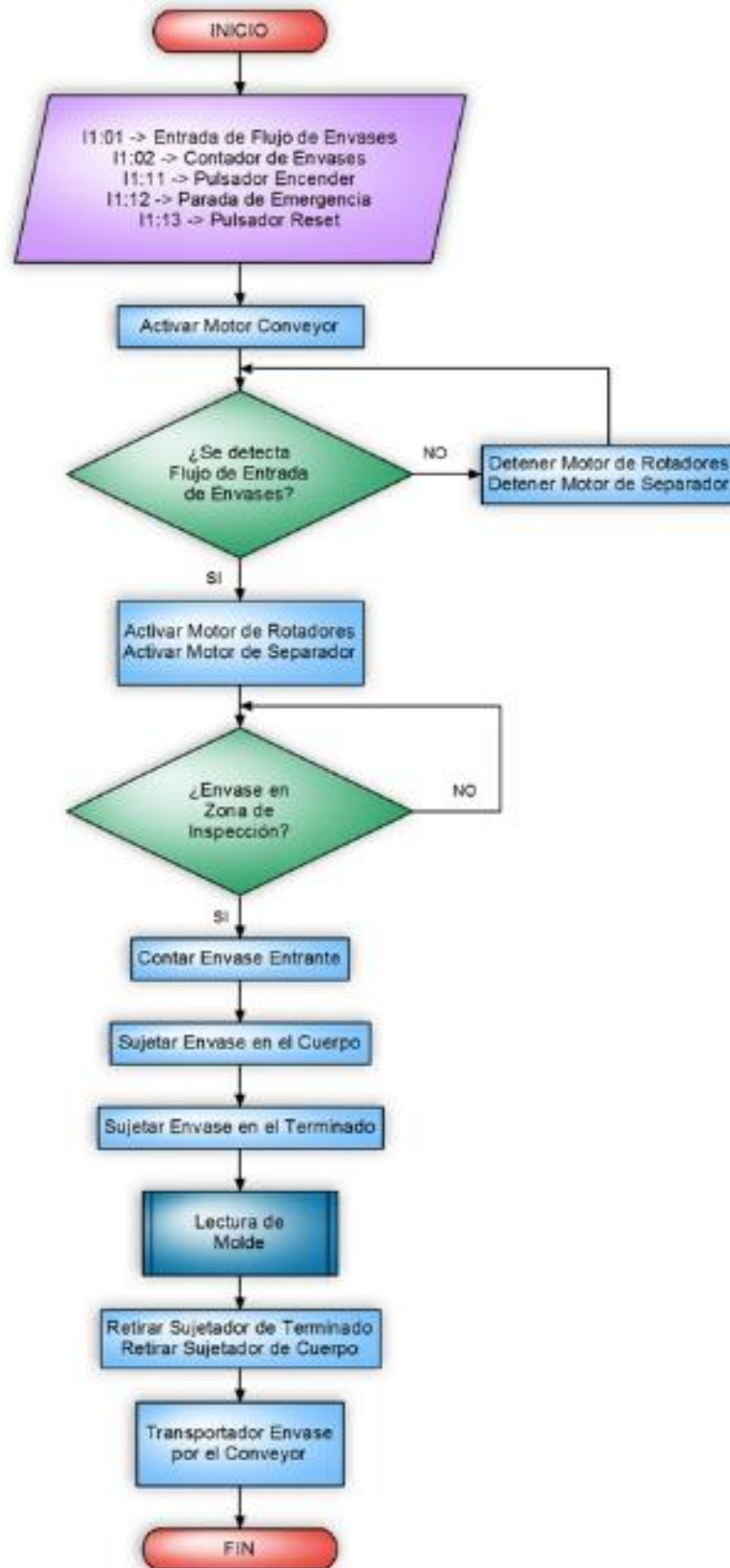


Figura 3.49 Diagrama de Flujo de Inspección de Envase
Fuente: Elaboración Propia

Continuando con el flujo del diagrama general de control, se ingresa a la interrupción de la inspección del envase, este bloque se realizará en cada envase que ingrese al sistema.

En la figura 3.49 se presenta el diagrama de flujo del bloque de inspección del envase. Inicialmente, el proceso comienza con el arranque del transportador de envases que nos ayuda a identificar, mediante un sensor fotoeléctrico, la existencia de un flujo de envases previo al separador; pues, de no haber entrada de envases, se deben de apagar los motores para no generar un gasto innecesario de energía. Una vez corroborado que existe flujo de envases al ingreso de la máquina, se procede a generar la separación entre envases que será otorgada según la velocidad de giro establecida en el motor del separador que, también, puede ser modificada según se requiera. Este espacio entre botellas es igual al tiempo que dura la inspección de cada envase, por ello, al modificar la velocidad del separador, se modifican las velocidades y tiempos de los demás subsistemas; dando así, la modificación de la velocidad total de la máquina en la unidad de medida de botellas por minuto que se calcula entre las botellas que ingresan y salen del sistema.

Una vez generada la separación de envases a la velocidad deseada, se genera un conteo de los mismos para utilizar como indicador de velocidad, eficiencia y cantidad de rechazos generados por el sistema. Luego, se procede a posicionar el envase en la zona de inspección. En esta sección, se sujeta al envase de la parte más estable del cuerpo y, posteriormente, de la parte inferior del terminado o boca del envase y se hace girar mediante el motor neumático sobre su propio eje.

Dentro de este lazo de control, se tiene al subprograma que da la lectura del envase, en la figura 3.50. Como ingreso al sistema, se tiene lo(s) moldes seleccionados por el operador designados a ser descartados. Debido a que el PLC solo recibe señal digitales, y el sensor ultrasónico nos manda una señal de 4-20mA dependiendo de la longitud de la onda, se tiene que discretizar la señal en un periodo de muestreo de 4ms, pues el sensor toma información cada 2ms y es necesario cumplir con el teorema de Nyquist para no tener solapamiento de la señal.

Lo esperado en un periodo de la señal es encontrar ocho picos pues el código CID se comprende de ocho perlas que según el espacio entre ellas se designa un código de número de molde. Por ello, existen dos tipos de lecturas:

- A) Lectura errónea: no se detectan los 8 picos necesarios, pues indica que por alguna deformación en el envase o condición en la máquina no se tiene una correcta lectura. Por ello, este envase se considera como un envase defectuoso o que no puede identificarse y, por temas de calidad, no se puede filtrar al empaque final y debe ser descartado.
- B) Lectura correcta: se identificaron los 8 picos, en este caso, se realiza un ajuste a la curva gaussiana dada en cada pico para realizar un promedio y hallar la distancia entre crestas en un periodo de la señal. Una vez obtenida estas distancias, se comparan con los códigos CID dados en la base de datos y se identifica el número de molde de la botella inspeccionada.

En una lectura correcta, también, se tienen dos casos. El primero, se refiere a que se logró obtener los ochos picos de la señal mas no se encuentra se encuentra una concordancia con alguno de los códigos en la base de datos y se considera como molde número cero y se descarta. En el segundo, se encuentra el número de molde perteneciente al envase, se compara con el número programado para rechazo y, de ser iguales, este envase es rechazo; de no ser igual, continua siendo transportado en la línea de producción.

Posteriormente, una vez realizada la inspección del envase, se decide si este es rechazado o no. Para que el envase sea retirado de la zona de inspección, se retiran los sujetadores de terminado y cuerpo y continua su transporte por la faja de transportadora.

En la figura 3.51 se presenta el diagrama de funcionamiento del rechazado de envases. Como información de entrada, se tiene la variable “Rechazar”, que indica al subsistema la activación o no del sistema. La posición del envase desde la zona de inspección hasta el rechazador se da a través de un conteo de tiempo que es modificado según la velocidad del sistema y la presión de rechazo se regula dependiendo el peso y altura del envase.

En el último bloque de interrupción del programa, se encuentra la modificación de velocidad del sistema. Cabe resaltar que la velocidad del sistema se calcula en botellas por minuto. En la figura 3.52 se presenta el diagrama de funcionamiento.

Debido a que este subprograma es una interrupción al sistema, primero, se realiza la confirmación con la entrada del HMI para modificar la velocidad, de no ser así, se continúa con el flujo del diagrama general. Si se desea modificar la velocidad, se ingresa la velocidad deseada y, dependiendo de ello, se procede a regular el flujo de aire y presión en los motores de los rotadores, la frecuencia en el motor del separador, la velocidad de entrada y salida de los cilindros sujetadores y, el tiempo y espacios dados para el transporte y posicionamiento del envase en el rechazador. Con ellos, se genera una re sincronización total del sistema para la velocidad deseada. Finalmente, con el sensor contador y la cantidad de rechazos realizados, se procede a actualizar los indicadores de operación como la cantidad de rechazos, velocidad y eficiencia total del sistema que, son proyectados en el HMI.

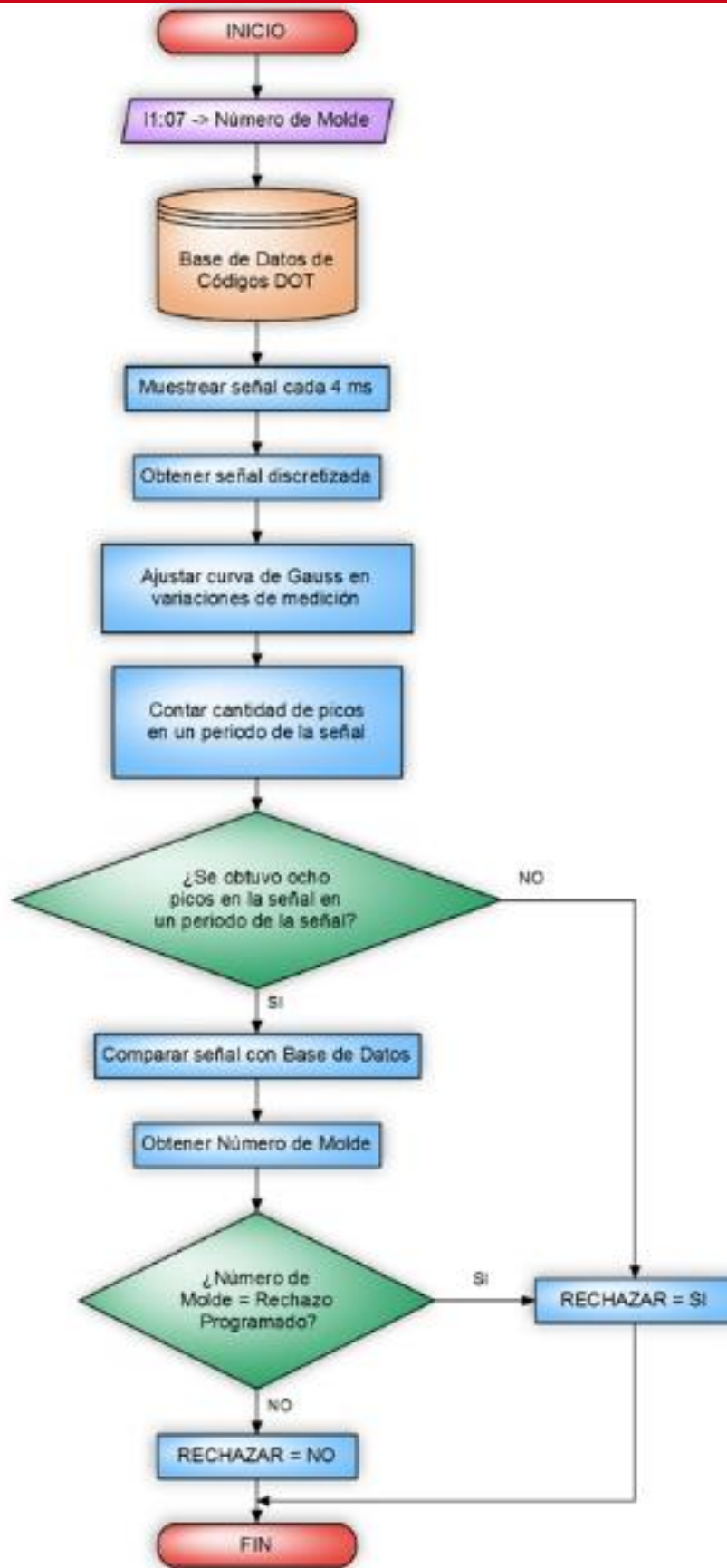


Figura 3.50 Diagrama de Flujo de Lectura de Molde
Fuente: Elaboración Propia

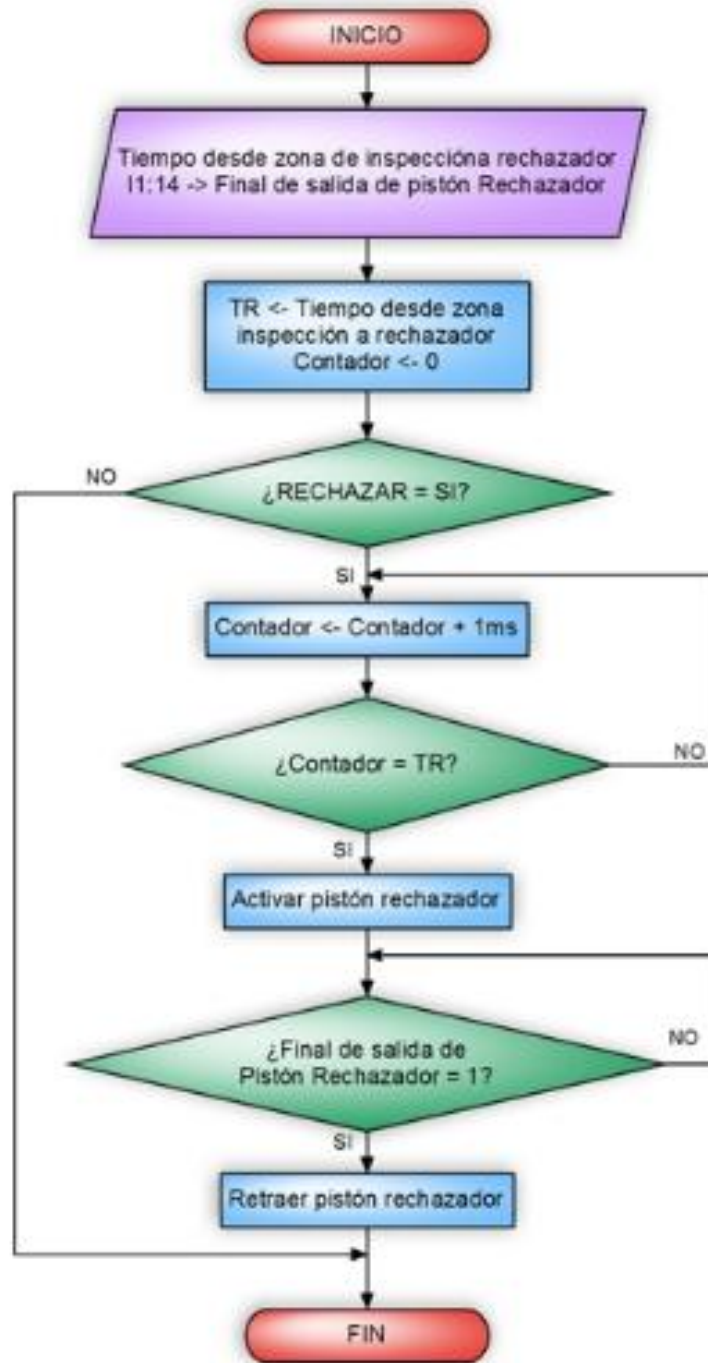


Figura 3.51 Diagrama de Flujo de Rechazo de Envase
Fuente: Elaboración Propia

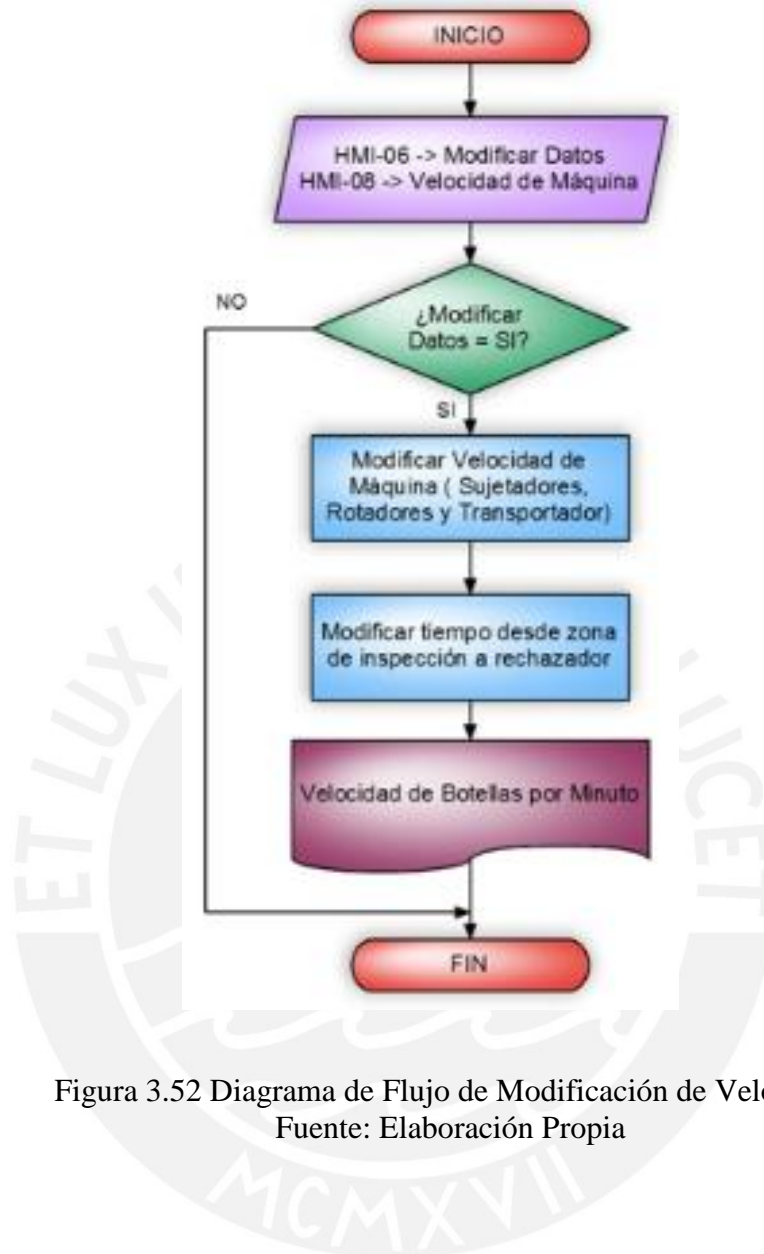


Figura 3.52 Diagrama de Flujo de Modificación de Velocidad
Fuente: Elaboración Propia



CAPÍTULO 4

COTIZACIONES

Dispositivo o Conjunto	C/U (USD)	Cantidad	SubTotal
Motor Neumático	1200	2	2400
Válvula controladora de presión - Proportion Air	1500	2	3000
Sensor ultrasónico de lectura de número de molde	1862	1	1862
Sensor ultrasónico de regulador de altura	342	2	684
Sensor fotoeléctrico	171	3	513
PLC CPX	3480	1	3480
Terminal CMPX	490	4	1960
Sensor de final de carrera	70	2	140
Motorreductor	438	3	1314
Cilindro con encoder carrera de 125	870	3	2610
Cilindro con encoder carrera de 300	1270	1	1270
Cilindro de rechazo	429	1	429
Electroválvula VPWP	440	4	1760
Electroválvula MEBH	252	1	252
Variador PF525	645	3	1935
Fuente de Alimentación	400	1	400
Transductor	515	4	2060
Llave térmica	57	3	171
Pulsadores	32	3	96
HMI	1800	1	1800
Spider	1112	1	1112
Racores	110	1	110
Cables especiales	219	4	876
Filtro regulador lubricador	321	1	321
Tubo flexible	145	1	145
Regulador de altura	559	2	1118
Rechazador	58	1	58
Soporte de fotocelda	89	3	267
Soporte de rotador	206	1	206
Transportador	1700	1	1700
Conjunto rotador	780	1	780
		Total	34829

Tabla 4.1 Cuadro de costos

Fuente: Elaboración propia

Según el cuadro presentado en la tabla 4.1 se tiene que el costo total para la elaboración del proyecto es de 34'829 dólares americanos.



CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

- El diseño propuesto del sistema de inspección será capaz de detectar y procesar el número de molde de cada envase a una velocidad de producción de 100 botellas por minuto considerando la alta gama de variabilidad en la geometría y masa de los envases de vidrio deseados.
- Se concluye que el sistema propuesto logrará una mantenibilidad operativa generando una confiabilidad por encima del 90% debido a la estabilidad otorgada por el tipo de sujeción y rotación diseñado para el envase. En este caso, se sujeta al envase por ambos lados manteniéndolo verticalmente lo que proporciona una lectura de información de defectos correcta. Adicionalmente, se podrá adaptar a las variaciones de altura de los envases fabricados hasta los 300 mm.
- El sistema propuesto podrá realizar la medición del número de molde botellas de vidrio mediante un sensor ultrasónico que proporcionará una mayor durabilidad de la medición de la señal. Debido a que los demás sistemas depende del ángulo de reflexión, en este caso siempre se tiene un relieve en las perlas del código de la botella que se utilizará como variación de la señal que siempre tendrá el envase y mantendrá la consistencia del equipo.
- Debido al diseño de los sujetadores de cuerpo y los rotadores, el sistema puede lograr el giro del envase sobre su propio eje y el equipo puede llevarse a un mayor nivel de inspección. Esto último, involucrando un mayor control de la calidad del producto incorporando módulos de medición de grietas, espesor de pared, verticalidad, ovalicidad, entre otros.
- Debido a la alta variabilidad de la geometría del envase se concluye que es necesario implementar un inventario con las variaciones de los sujetadores de cuerpo que adopten la forma del envase en donde se puede tener la estabilidad necesaria para la lectura óptima de los dispositivos.
- El sistema cuenta con el protocolo de comunicación Ethernet IP; por lo que, este puede ser monitoreado en todo momento por el SCADA que tenga la empresa. Además, los indicadores pueden ser incluidos en los programas de control de producción para la visualización completa de los parámetros de funcionamiento definidos en el equipo.



- [1] SICK
2015 “WT100L-F2141 Hoja de datos”, WaldKirch
<https://www.sick.com/media/pdf/5/45/845/dataSheet_WT100L-F2141_6030703_es.pdf>
- [2] SICK
2015 “UC12-11231 Hoja de datos”, WaldKrich
<https://www.sick.com/media/pdf/9/79/379/dataSheet_UC12-11231_6029831_es.pdf>
- [3] FESTO
2015 “Proximity sensors SMT/SME-10, for C-Slot”
<https://www.festo.com/cat/engb_gb/data/doc_ENGB/PDF/EN/SMX10_EN.PDF>
- [4] BONFIGLIOLI
2015 “Bonfiglioli Riduttori sier VF-W Reductores de tornillo sin fin”
<http://www.bonfiglioli.com/media/filer_public/1b/99/1b999775-800f-4039-98c7-be7b1f454cb3/br_cat_vf-w_std_spa_r03_0.pdf>
- [5] BAUMER
2015 “Distance sensors OADM 12I6460/S35A”
<http://pfinder.baumer.com/pfinder_sensor/downloads/Produkte/PDF/Datenblatt/Optoelektronische_Sensoren/OADM_12I6460_S35A_web_EN.pdf>
- [6] FESTO
2015 “Cilindros normalizados DDPC con transductor DADE”
<https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_ES/PDF/ES/DDPC-MEASURE_ES.PDF>

- [13] ROCKWELL AUTOMATION
2015 “Bulletin 193 E1 Plus Solid-State Overload Relays”
<https://www.mcmc.com/ASSETS/DOCUMENTS/ITEMS/EN/3495_ABZ19_specsheet.pdf>
- [14] SIEMENS
2015 “Data sheet 6AV2124-2JB03-0AX0”
<http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/1300000-1399999/001359104-da-01-en-SIMATIC_HMI__KTP900_BASIC.pdf>
- [15] PROPORTION-AIR
2015 “QB3 installation & maintenance instructions”, Indiana.
<<http://www.proportionair.com/literature/installation-guides/QB3-Installation.pdf>>
- [16] FESTO
2015 “Electrválvulas, válvulas neumáticas, midineumática”
<https://www.festo.com/cat/es_es/data/doc_es/PDF/ES/MIDI_ES.PDF>
- [17] FESTO
2015 “Terminal electric modular CPX”
<https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_ES/PDF/ES/CPX_ES.PDF>
- [18] LOGISMARKEDES
s/f “Etiquetador automatic para productos cilíndricos”
<<http://1080plus.com/gvUp4Pv6r90.video>>
- [19] YOUTUBE
2010 “Separador de botellas”
<<https://www.youtube.com/watch?v=ieZzisdOLZ4>>

- [20]
“Transportador de botellas con separadores de cepillo”. Consulta: 11 de septiembre del 2015.
< <http://patentados.com/invento/transportador-de-botellas-con-separadores-de-cepillo.html>>
- [21] VIDRIOMECANICA
“Empujador de botellas”. Consulta: 15 de septiembre del 2015.
<<http://www.vidromecanica.com/es/empujador-de-botellas>>
- [22] BLETTNER ENGINEERING
“ mk Side Gripper Conveyor”. Consulta: 15 de septiembre del 2015.
<<http://www.blettnerinc.com/news.php?item.26>>
- [23] WORKSMECH
“Avance No. 5”. Consulta: 15 de septiembre del 2015.
<<http://worksmech.blogspot.pe/>>
- [24] NEWMAPAK
“Side gripper elevator / lowerator”. Consulta: 17 de septiembre del 2015
<<http://newmapak.com/produits/side-gripper-elevator-lowerator/>>
- [25] NORLAND INT’L INC
“SpectarPak: Cinta transportadora de acumulación”. Consulta: 25 de septiembre del 2015
< http://www.norlandintl.com/spanish/accum_sp.htm>
- [26] BANNER
“Inspección de Frascos de Vidrio”. Consulta: 30 de septiembre del 2015.
< <http://www.bannerengineering.com/es-MX/products/application/86/449/1375>>

- [27] BUCHER EMHART GLASS
“Flexinspect M”. Consulta: 30 de septiembre del 2015.
<<http://www.emhartglass.com/products/container-inspection/in-line-inspection/flexinspect-m>>
- [28] GEPII
“OEM”. Consulta: 30 de septiembre del 2015.
<<http://www.geppia.com/geppia/easysite/geppia-int/en-us/members/original-equipment-manufacturers/msc-sgcc>>
- [29] KIRIN
“Molde number reader”. Consulta: 19 de agosto del 2015.
<http://www.kirintech.co.jp/eng/purpose/mold_no_leader.html>
- [30] TIAMA
“MX4”. Consulta: 25 de septiembre del 2015.
<<http://www.tiama.eu/pages/en/1114/mx-4.html>>
- [31] HEYE
2015 “HiShield SmartLine”
<http://www.hey-international.com/newsletter/pdf/ISM_EN_ebook.pdf>
- [32] HEYE
2015 “Mold number reader”
<https://www.heyinternational.com/fileadmin/user_upload/Bilder/2_HiSHIELD/4_Datenblaetter/33_Mould_Number_Reader_5451.pdf>
- [33] Ross L. Hobler
1976 “Method and apparatus for identifying a bottle”. Consulta: 25 de septiembre del 2015.
<<http://www.google.com/patents/US3991883>>

- [34] Mark P. Claypool
1991 “Device for Reading a mold code on a glass bottle”. Consulta: 25 de septiembre del 2015.
< <http://www.google.com/patents/US5028769>>
- [35] James A. Ringlien
1990 “Indentification of a molded container with its mold of origin”.
Consulta: 25 de septiembre del 2015.
< <http://www.google.com/patents/US4967070>>

