



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTACIÓN
MECATRÓNICA MODULAR DIDÁCTICA, QUE INTEGRE
CONTENIDOS DE APRENDIZAJE EN ÁREAS DE
AUTOMATIZACIÓN, ELECTRÓNICA, MECÁNICA Y
CONTROL”**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

EDWIN PAÚL PÉREZ PROAÑO

DIRECTOR: PhD. DANIEL MIDEROS

Quito, Enero 2015

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2015
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo **EDWIN PAÚL PÉREZ PROAÑO**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

EDWIN PAÚL PÉREZ PROAÑO

C.I. 1717841132

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Diseño y Construcción de una estación Mecatrónica modular didáctica para el laboratorio de Ingeniería Mecatrónica**”, que, para aspirar al título de **Ingeniero en Mecatrónica** fue desarrollado por **Edwin Paúl Pérez Proaño**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.

PhD. Daniel Mideros

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 1713177325

DEDICATORIA

Dedicado especialmente a mí familia por su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos, a todos quienes fueron son y serán parte del camino.

Paúl Pérez

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1 HISTORIA DE LA MECATRÓNICA	4
2.2 SISTEMAS MECÁNICOS	6
2.2.1 MOTORES	7
2.2.2 MOTORES PAP	7
2.3 SISTEMAS NEUMÁTICOS	8
2.3.1 AIRE COMPRIMIDO.....	8
2.3.2 PISTONES NEUMÁTICOS.....	8
2.3.3 ELECTROVÁLVULAS	9
2.4 SISTEMAS ELECTRÓNICOS	9
2.4.1 SENSORES.....	10
2.5 SISTEMAS DE CONTROL	10
2.5.1 MICROCONTROLADORES	10
2.5.2 ARDUINO	11
2.5.3 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE	11
2.6 ESTACIÓN MECATRÓNICA	11
2.7 PRODUCCIÓN MODULAR	12
2.8 LLENADO DE FRASCOS.....	13
2.8.1 LLENADORAS A NIVEL.....	13
2.8.2 LLENADORAS VOLUMÉTRICAS	13
2.8.3 LLENADORAS PONDERALES	14
2.9 TAPADO DE FRASCOS.....	15
2.9.1 TAPADO PRESIÓN.....	15
2.9.2 TAPADO ROSCADO	15
2.10 SISTEMAS DINÁMICOS	16
3. METODOLOGÍA	18

3.1 DISEÑO MECATRÓNICO	18
3.2 NECESIDADES DE DISEÑO	18
3.3 ANALISIS DE REQUERIMIENTOS	19
3.3.1 REQUERIMIENTOS MECÁNICOS	20
3.3.2 REQUERIMIENTOS ELECTRÓNICOS.....	21
3.4 MATERIALES	21
3.4.2 MOTOR PAP	21
3.4.1 MOTOR DC	22
3.4.2 SENSORES.....	23
3.4.3 ARDUINO	23
3.4.5 PLC.....	24
3.4.6 PISTONES NEUMÁTICOS.....	25
3.4.7 ELECTROVÁLVULAS NEUMÁTICAS.....	25
4. DISEÑO	28
4.1 BANCADA	28
4.1.1 MESA	28
4.1.2 ESTRUCTURA	29
4.2 MÓDULO DE TRASPORTE	30
4.3 MÓDULO DISPENSADOR DE FRASCOS.....	33
4.4 MÓDULO DE LLENADO	34
4.4.1 ACTUADOR LINEAL	34
4.5 MÓDULO DE TAPADO	39
4.5.1 SISTEMA NEUMÁTICO DEL MÓDULO DE TAPADO	42
4.6 MÓDULO DE SELLADO.....	43
4.7 SISTEMA NEUMÁTICO DE LA ESTACIÓN MECATRÓNICA.....	43
4.8 SISTEMA ELECTRÓNICO DE LA ESTACIÓN MECATRÓNICA	44
4.9 SISTEMA DE CONTROL DE LA ESTACIÓN MECATRÓNICA.....	46
4.9.1 DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL CONTROL.....	46
4.9.2 TABLEROS DE CONTROL	49
4.10 SISTEMA ELÉCTRICO DE LA ESTACIÓN MECATRÓNICA.....	50
4.11 ESTACIÓN MECATRÓNICA	55
4.12 CONSTRUCCIÓN DE LA ESTACIÓN MECATRÓNICA.....	56
4.12.1 MÓDULO DE TRANSPORTE.....	56
4.12.2 MÓDULO DISPENSADOR DE FRASCOS.....	57

4.12.3 MÓDULO DE LLENADO	58
4.12.4 MÓDULO DE TAPADO	59
4.12.5 MÓDULO DE SELLADO	60
4.12.6 TABLEROS DE CONTROL	62
5. ANALISIS DE RESULTADOS.....	70
6.1 CONCLUSIONES	71
6.2 RECOMENDACIONES.....	72
BIBLIOGRAFÍA	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de la ingeniería mecatrónica.....	5
Figura 2: Principios de operación de los motores PAP unipolares.....	7
Figura 3: Componentes de los cilindros neumáticos.....	9
Figura 4: Flujo de producción del sistema Modular.....	12
Figura 5: Sistema de llenado por nivel.....	13
Figura 6: Sistema de llenado volumétrico.....	14
Figura 7: Sistema de llenado ponderal.....	14
Figura 8: Tapado a presión.....	15
Figura 9: Tapado roscado.....	16
Figura 10: Diseño Mecatrónico.....	18
Figura 11: Componentes de un sistema Mecatrónico.....	19
Figura 12: Motor paso a paso bipolar Epson Em-258.....	22
Figura 13: Motor DC de la banda transportadora.....	22
Figura 14: Sensores fotoeléctricos marca Omron.....	23
Figura 15: Arduino nano.....	23
Figura 16: Arduino mega.....	24
Figura 17: PLC Telemecanique.....	25
Figura 18: Cilindro neumático marca SMUK.....	25
Figura 19: Electroválvula AIRTAC.....	26
Figura 20: Dimensiones de aluminio estructural.....	28
Figura 21: Mesa.....	29
Figura 22: Estructura.....	29
Figura 23: Modelado de la estructura.....	29
Figura 24: Eje y chumacera para la cinta transportadora.....	30
Figura 25: Medidas del eje secundario cinta trasportadora.....	30
Figura 26: Diagrama de fuerzas en el eje.....	31
Figura 27: Eje principal de la cinta transportadora.....	32
Figura 28: Dispensador de frascos.....	33
Figura 29: Módulo dispensador.....	34
Figura 30: Actuador lineal del módulo de llenado.....	35
Figura 31: Bancada del actuador lineal.....	35
Figura 32: Diagrama Electrónico del actuador lineal.....	36
Figura 33: Shield L298N para motor a pasos.....	37
Figura 34: Tarjeta de control del motor del actuador lineal.....	38
Figura 35: Bancada del contenedor de líquido.....	38
Figura 36: Diagrama de conexión entre la bomba de agua y la electroválvula.....	39
Figura 37: Funcionamiento actuador giratorio neumático.....	39
Figura 38: Actuador giratorio neumático de marca FESTO.....	40
Figura 39: Base de tapas.....	40
Figura 40: Medidas de la bancada para el motor y base de tapas.....	41
Figura 41: Dispensador de tapas.....	41
Figura 42: Bancada del actuador giratorio neumático FESTO.....	42

Figura 43: Diagrama del circuito neumático para la ventosa	43
Figura 44: Bancada módulo de sellado	43
Figura 45: Circuito neumático de la estación mecatrónica	44
Figura 46: Diagrama funcionamiento sensores fotoeléctricos	45
Figura 47: Circuitos de entrada para Arduino. A: Pull-down B: Pull-up	45
Figura 48: Tarjeta de entradas para el Arduino	45
Figura 49: Shield arduino Mega	46
Figura 50: Diagrama de flujo de automatización	48
Figura 51: Tablero de control TC001	49
Figura 52: Tablero de control TC002 Y TC003	50
Figura 53: Conexiones de bornera eléctrica BE001	51
Figura 54: Conexiones de la bornera eléctrica BE002	51
Figura 55: Conexiones de relés del tablero TC001	52
Figura 56: Conexiones bornera BV001	52
Figura 57: Conexiones del PLC001	53
Figura 58: Conexiones tarjeta electrónica TE002	53
Figura 59: Conexiones de la tarjeta TE001	54
Figura 60: Conexiones bornera BE003	54
Figura 61: Conexiones de RA001	55
Figura 62: Conexiones de RA002	55
Figura 63: Estación mecatrónica	56
Figura 64: Módulo de transporte	57
Figura 65: Módulo dispensador	57
Figura 66: Actuador Lineal	58
Figura 67: Módulo de llenado	58
Figura 68: Módulo de tapado	59
Figura 69: Módulo de tapado	60
Figura 70: Módulo de sellado	61
Figura 71: Estructura módulo de sellado	62
Figura 72: Tablero de control TC002	63
Figura 73: Tablero de control TC001	63
Figura 74: Estación Mecatrónica	64
Figura 75: Comparación llenado dinámico y estático	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de ventajas y desventajas de actuadores.....	6
Tabla 2. Voltaje y componentes.....	21
Tabla 3. Especificaciones técnicas motor PAP Epson Em-258	22
Tabla 4. Especificaciones módulo L298N.....	37
Tabla 5. Tiempos de ciclo entre el llenado dinámico y el llenado estático.....	70
Tabla 6. Tiempos de ciclo entre el llenado dinámico y el llenado estático.....	70

RESUMEN

La estación mecatrónica es una herramienta que ayuda a relacionar el conocimiento teórico de manera práctica al simular un proceso industrial, utilizando componentes actuales de automatización. El diseño de la estación abarca temáticas de: automatización industrial, montaje de componentes electrónicos y mecánicos, programación y planificación en la automatización, puesta en marcha de sistemas mecatrónicos, control de líneas productivas, mantenimiento y reparación de averías. El funcionamiento de la estación mecatrónica contempla el proceso de llenado de frascos dividido en módulos. Transporte que moviliza al frasco por toda la línea de producción. Dispensador que alimenta de manera controlada el ingreso individual de los frascos al sistema de transporte. Llenado tiene un tanque de reserva y un sistema dispensador de líquido al frasco, el dispensador está formado por una bomba sumergida en el tanque de reserva, encargada de drenar el líquido por una manguera de distribución hacia una electroválvula que activa el paso de líquido al frasco, montada a un actuador lineal que se desplaza en el eje z para el llenado dinámico de los frascos controlado mediante sensores de posición, un arduino nano y un driver de motores a pasos. Tapado que tiene la función de colocar una tapa sobre el frasco y sellado que contiene un pistón que ejerce presión en la tapa que se encuentra sobre el frasco, esta fuerza los oprime y logra sellar el frasco. El control de la estación mecatrónica es mediante una tarjeta arduino mega acoplado a tarjetas electrónicas que sirven como interfaz entre las entradas y salidas del sistema o un PLC marca Telemecanique modelo modicom MP340, además está diseñado un manual de usuario para utilizar la estación mecatrónica y alargar su vida útil. Con el sistema dinámico de llenado se pretende generar una nueva idea de componentes mecatrónicos diseñados para: reducir costos y tiempo de producción, disminuir el manejo de materiales y gasto energético, aumentar los volúmenes de producción.

ABSTRACT

The station is a mechatronics tool that helps relate the theoretical knowledge in a practical way to simulate an industrial process, using existing automation components. The station design includes events: industrial automation, assembly of electronic and mechanical components, programming and automation planning, commissioning of mechatronic systems, control production lines, maintenance and troubleshooting. The operation of station mechatronics contemplates the filling of vials divided into modules. Of transport that moves the bottle throughout the production line. Dispenser which feeds a controlled manner the individual income of the bottles to the transport system. Filling consisting of a reservoir tank and a liquid dispenser to the flask system, the dispenser consists of a submerged pump in the storage tank, responsible for draining the liquid through a delivery hose to a solenoid which activates the passage of liquid to the bottle mounted to a linear actuator that moves in the z-axis for dynamic filling bottles controlled by position sensors, and nano Arduino driver stepper motors. Capping which has the function of placing a cap on the bottle and sealing containing a piston that presses the lid is on the bottle, the pressing force is achieved and seal the bottle. Mechatronics control station is using a card arduino mega coupled to electronic cards that serve as an interface between the inputs and outputs of the system or PLC Telemecanique brand model MODICOM MP340 is also designed a manual for use mechatronics and lengthen station life. With dynamic filling system is intended to generate a new idea of mechatronic components designed to: reduce costs and production time, reduce material handling and energy costs, increase production volumes.

1. INTRODUCCIÓN

“Una línea de producción de una empresa puede estar formada por células de producción individuales. Cada célula tiene una función específica en el proceso (distribución, verificación, procesamiento, manipulación, montaje, almacenamiento)”. (Recuperado de www.festo-didactic.com)

La integración del concepto de Sistema de producción modular y el concepto de Mecatrónica, generan una concepción actual sobre la automatización de la producción industrial, la eliminación de personal dentro del proceso de manufactura hace que las industrias reduzcan sus costos, incrementen la productividad, generen productos de calidad.

Las estaciones mecatrónicas son herramientas que facilitan la formación profesional orientada a la industria de los estudiantes mediante maquetas que representan procesos automatizados con componentes adecuados a fines didácticos todos con funcionamiento similar a los que se encuentran dentro de las industrias.

Además ayudan a promover un pensamiento y una capacidad de actuar integral, con un enfoque moderno que permite desarrollar una visión global del alcance de la ingeniería Mecatrónica, integrando en un sistema todos los contenidos de aprendizaje de las áreas de la tecnología de automatización, involucrando áreas de:

- Diseño de Ingeniería Mecatrónica.
- Montaje de componentes electrónicos, mecánicos y de control.
- Programación y planificación.
- Puesta en marcha de sistemas Mecatrónicos.
- Control y monitoreo de líneas productivas.
- Mantenimiento y reparación de averías en sistemas Mecatrónicos.
- Interconectividad y Comunicaciones.

La falta de equipos que integren el concepto “mecatrónica” de manera práctica, genera un carente conocimiento sobre las tendencias de automatización dentro de las Industrias. Es necesario tener claro un conocimiento sobre diseño mecatrónico,

montaje de componentes electrónicos y mecánicos, programación y planificación, puesta en marcha de sistemas Mecatrónicos, control de líneas productivas, mantenimiento y reparación de averías. Un prototipo de estación Mecatrónica se convierte en herramienta fundamental para poner en práctica todo el conocimiento teórico de mecatrónica, mediante la simulación de un proceso industrial y la integración de varios componentes de automatización.

Objetivo general

Diseñar y construir una estación mecatrónica didáctica, que integre en un sistema, contenidos de aprendizaje en áreas de automatización, electrónica, mecánica y control.

Objetivos específicos

- Diseñar y construir un prototipo de estación mecatrónica que contenga elementos actuales de automatización.
- Montar componentes electrónicos y mecánicos, de fácil sustitución dentro del prototipo.
- Diseñar y construir el sistema dinámico para el llenado de los frascos.
- Poner en marcha el prototipo de estación mecatrónica.
- Realizar pruebas y correcciones del sistema automatizado.
- Analizar la productividad de la estación con y sin el sistema dinámico de llenado de frascos.
- Diseñar un manual de usuario para la estación mecatrónica

Alcance

La dimensión global de la estación 800x145x60[mm], se construirá con perfil de aluminio. Los frascos utilizados tendrán capacidad de 250[ml], para el sistema de almacenaje del líquido se necesita 750[ml] adicionales a los 1000[ml] necesarios para que la bomba este sumergida. La velocidad de llenado es directamente proporcional a la velocidad de la bomba de succión, el llenado de un frasco de

250[ml] no debe exceder los 5[s], así la velocidad máxima de la cinta transportadora es de 50[mm/s].

2. MARCO TEÓRICO

Los sistemas mecatrónicos conjugan en un diseño integral tecnología de sensores, transductores, acondicionamiento de señales de entrada y salida, sistemas de presentación de datos, sistemas neumáticos e hidráulicos, actuadores mecánicos y eléctricos, modelos digitales y analógicos, sistemas de control continuos y discretos, controladores de lazo cerrado y lazo abierto, tecnología de desarrollo de microprocesadores y microcontroladores, controladores de lógica programable, robótica, inteligencia artificial, redes neuronales, lógica difusa, interfaces, comunicación Industrial. La interdisciplinariedad de la Mecatrónica la convierte en una ciencia capaz de resolver cualquier problema de automatización desde una perspectiva integral y moderna.

2.1 HISTORIA DE LA MECATRÓNICA

En la segunda mitad del siglo XVIII, países como Inglaterra y Francia, sufren el mayor conjunto de transformaciones sociales, económicas, tecnológicas y culturales de su historia, etapa denominada REVOLUCIÓN INDUSTRIAL.

La matriz productiva basada en trabajo manual fue sustituida por otra dominada por la industria y manufactura automatizada, la revolución industrial comenzó con la mecanización de la industria textil, lo que abrió puertas al avance tecnológico. (Escudero, 2009) El aumento del consumo de productos, y el incremento de requerimientos de calidad, hizo necesario un avance tecnológico posterior al marcado por la revolución industrial, el campo de la electrónica tuvo una evolución relevante con la creación de componentes semiconductores. La miniaturización de los componentes electrónicos acoplados en circuitos integrados, dieron origen a la lógica digital, este invento cambio totalmente el pensamiento de la sociedad y de la industria.

El avance electrónico, mecánico e informático, se podía visualizar en la interacción conjunta de estas especialidades en las máquinas de producción. El desarrollo tecnológico y la correlación de varias disciplinas en el ámbito de la automatización, dio origen a una disciplina que conjuga todos estos tipos de tecnologías en una, la mecatrónica. “La palabra Mecatrónica la acuñaron por primera vez ingenieros de la Yaskawa Electric Company”. (Cetinkunt, 2007) El concepto original del termino mecatrónica derivaba de la unión de “meca”, de mecanismo, y “trónica”, de

electrónica. Con el desarrollo del conocimiento y la necesidad de contar con equipos controlados de manera automática, se adhirió la ingeniería informática y el control a la mecatrónica como se observa en la figura 1.

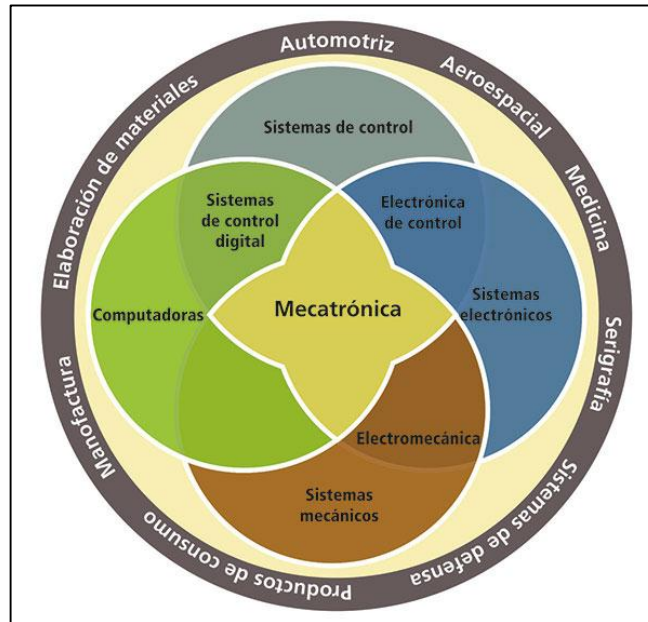


Figura 1: Diagrama de la ingeniería mecatrónica
Fuente: (Reyes, 2013)

Con el pasar del tiempo y la aplicación de la ideología de la mecatrónica en el diseño de máquinas, se constató que este nuevo enfoque generaba: equipos más precisos, facilidad de control en las máquinas y diseños estéticos. Por esta razón paso de ser un concepto a ser ingeniería la cual tiene el propósito de sustituir el diseño individual de los componentes de una maquina por un diseño global, logrando obtener sistemas más eficientes, confiables y flexibles, enfocados en un menor costo y menor tiempo de diseño y construcción. En la actualidad la mecatrónica es una ciencia de rápida evolución por su naturaleza innovadora e interdisciplinaria, apoderándose de varios campos como: automatización industrial, biomecánica, control inteligente, control numérico computarizado, manufactura y diseño asistido por computador, medicina, robótica. Un sistema mecatrónico típico consiste en una estructura mecánica, actuadores, sensores, controladores, dispositivos de acondicionamiento y modificación de señal, dispositivos de interfaz, fuentes de energía, equipo digital de hardware y software.

A nivel nacional la ingeniería mecatrónica está obteniendo más aceptación dentro del medio laboral, a pesar de estar en un país en el cual el desarrollo de productos mecatrónicos esta obstaculizado por los altos costos de producción. La mecatrónica nacional está enfocada en realizar actividades de control de procesos industriales, automatización de líneas de producción y ensamblado. Mediante tecnología de vanguardia, aplicados a industrias como: la química, del petróleo, farmacéutica, medicina, alimenticia, energética, textil, papelera, metalúrgica, embotelladora, electrónica, biomédica, aeronáutica, automotriz, etc. (UTE)

2.2 SISTEMAS MECÁNICOS

Todos los mecanismos y elementos del sistema mecánico, cumplen un propósito específico, transmitir o transformar movimiento. El diseño de un sistema mecánico exige escoger el mecanismo o componente, especificando su función, material y medida. Dentro de la mecatrónica el sistema mecánico, puede agrupar distintos tipos de actuadores, mecánicos, neumáticos, hidráulicos (Norton, 2004).

Los actuadores son elementos físicos que están conectados con la interfaz de salida de los sistemas Mecatrónicos, encargados de interactuar con el medio, y cumplir las funciones que la arquitectura de control demande. Existen diferentes tipos de actuadores, entre los más importantes destacan los actuadores eléctricos, neumáticos e hidráulicos, su uso dependerá de la acción a desempeñar, fuerza requerida y velocidad necesaria, la tabla 1 representa las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de actuadores.

Tabla 1. Comparación de ventajas y desventajas de actuadores.

Actuador	Ventaja	Desventaja
Eléctrico	Bajo costo Silencioso Recargables	Potencia Limitada
Hidráulico	Alta capacidad de carga	Poco económico Ruidosos Instalaciones costosas
Neumático	Bajo costo Rapidez Fácil instalación	Requieren instalación costosa Ruidosos

2.2.1 MOTORES

Son dispositivos compuestos por varias máquinas simples destinadas a transformar diversas formas de energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. (Zinoviev, 1969)

2.2.2 MOTORES PAP

Funcionan al enviar pulsaciones eléctricas secuenciadas a los terminales del motor generando movimientos rotacionales, la rotación angular es precisa y específica para cada pulsación, por esto los motores PAP son usados para construir mecanismos que requieren alto grado de precisión. (Bolton, 2010) Según el tipo de bobinado del estator, podemos encontrar 2 tipos diferentes de motores PAP: Bipolares y unipolares. Los motores bipolares tienen 2 estatores, y requieren de 2 fuentes de poder o una fuente de polaridad conmutable. Los motores unipolares son similares a los bipolares desde el punto de construcción, presenta un punto medio en cada bobina del motor y requieren solo una fuente de poder, en la figura 2 se observa el principio de operación de motor PAP unipolar.

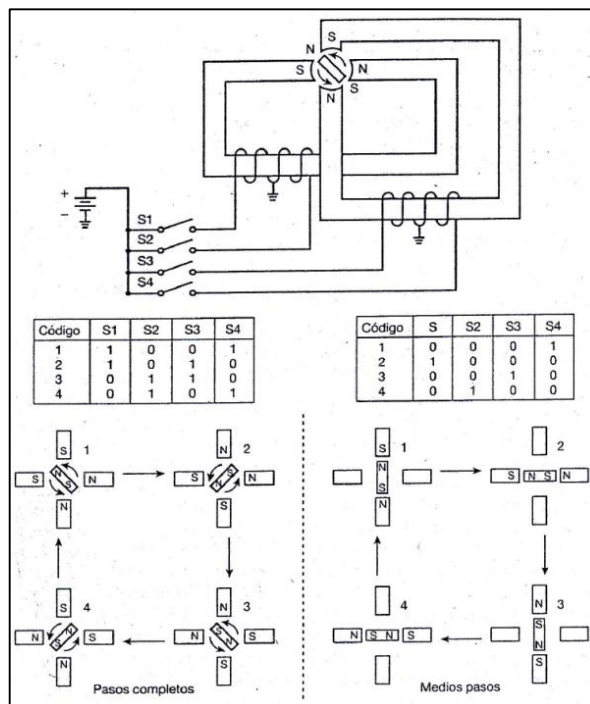


Figura 2: Principios de operación de los motores PAP unipolares

Fuente: (Cetinkunt, 2007)

2.3 SISTEMAS NEUMÁTICOS

Emplean aire comprimido como medio de transmisión de energía, para accionar mecanismos.

2.3.1 AIRE COMPRIMIDO

El aire es la fuente energética principal de los sistemas neumáticos, puede ser comprimido al aplicarle una fuerza manteniendo la compresión y con la capacidad de devolver la energía acumulada cuando se le permite expandirse.

El aire es comprimido en una máquina que aprisiona el aire mecánicamente, transforma la presión atmosférica del aire de 1 bar hasta 414 bares.

2.3.2 PISTONES NEUMÁTICOS

Los cilindros neumáticos son actuadores lineales que transforman la energía potencial del aire en energía cinemática, generalmente movimiento rectilíneo existen diferentes tipos de cilindros neumáticos. (Bolton, 2010)

- Cilindro de simple efecto, el movimiento generalmente es en dirección de avance y para regresar al estado inicial cuenta con un resorte.
- Cilindro de doble efecto, controla 2 tipos de movimientos de extensión y contracción del vástago, tiene dos puertos para aire.
- Cilindro de rotación, utilizan el aire para generar movimiento rotatorio.

Para calcular la fuerza de empuje del vástago utilizamos una ecuación que asocia la presión del aire y el área del vástago

$$F = P * A$$

Ec 1

Dónde:

F: Fuerza de empuje del vástago

P: Presión manométrica del aire

A: Área del pistón

En la figura 3 se observan los componentes de los cilindros neumáticos, su funcionamiento es mediante aire comprimido, la fuerza del aire ingresa en la cámara positiva y propulsa al embolo, que esta sujetado al tubo cerrado, al moverse el embolo el vástago avanza, al mismo tiempo el aire comprimido en la cámara positiva sale del tubo cerrado.

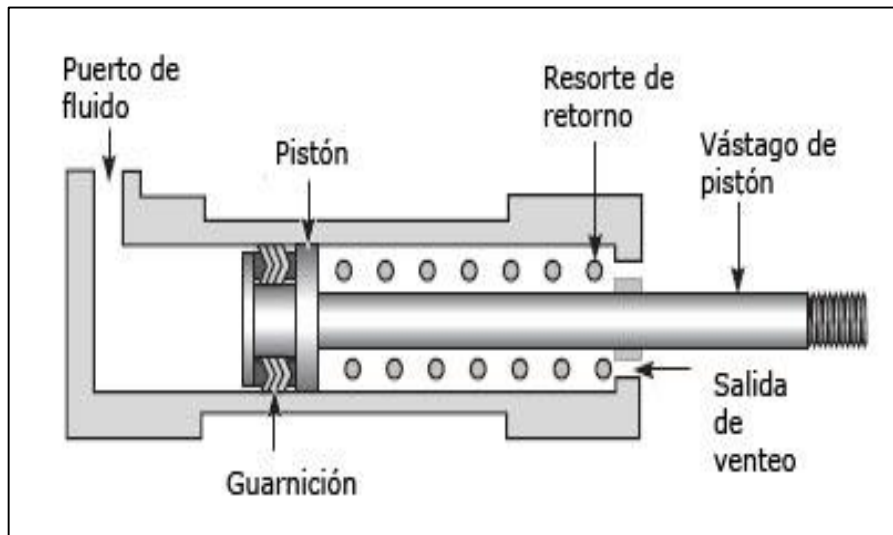


Figura 3: Componentes de los cilindros neumáticos

Fuente: (Bruno, 2010)

2.3.3 ELECTROVÁLVULAS

Las electroválvulas neumáticas controlan el paso de aire del compresor a los pistones neumáticos, regulan el avance, retroceso y paso del vástago. Estos componentes neumáticos, son representados en los planos mediante cuadrados, la cantidad de cuadrados yuxtapuestos indica el número de posiciones de la válvula. El funcionamiento se representa esquemáticamente en el interior de los cuadros representativos, las flechas simbolizan el sentido de circulación del aire, las líneas horizontales representan el cierre.

2.4 SISTEMAS ELECTRÓNICOS

Contienen componentes y circuitos interconectados por conductores que interactúan de manera conjunta. Todos los sistemas Mecatrónicos tienen circuitos

y componentes electrónicos destinados a cumplir una función específica como control, adquisición de datos.

2.4.1 SENSORES

Son elementos que transforman un parámetro físico o químico, en una señal eléctrica, que puede ser procesada por un sistema Mecatrónico. (Alciatore, 2007)

Los sensores son dispositivos que son fabricados mediante la utilización de componentes pasivos y activos (resistencias variables, PTC, NTC, LDR, etc.) Todos aquellos componentes que varían su magnitud en función de alguna variable.

2.5 SISTEMAS DE CONTROL

Las arquitecturas de control hacen referencia a elementos físicos y virtuales dentro del sistema Mecatrónico, estos elementos relacionan las señales de entrada y las señales de salida. Un diseñador puede elegir entre un amplio espectro de arquitecturas de control, que van desde el simple control de lazo abierto hasta el complejo control con retroalimentación. Entre las diferentes arquitecturas de control podemos encontrar: Circuitos lógicos, circuitos analógicos, microcontroladores o DSP, SBC, PLC, DCS, secuenciación y temporización, algoritmos de control, comunicación, etc.

2.5.1 MICROCONTROLADORES

Son compuestos creados para el control, medición e instrumentación, integrando en un solo chip varios componentes semiconductores capaces de ejecutar órdenes grabadas en su memoria, mediante bloques funcionales destinados a cumplir una tarea específica. Basados en la arquitectura de Harvard, conocidos en el año 1980 aproximadamente, constituidos en su interior por tres principales unidades funcionales de un computador, unidad central, memoria y periféricos de entrada y salida. (Bishop, 2006)

2.5.2 ARDUINO

Contienen un microcontrolador, cuenta con una plataforma de programación propia mediante un lenguaje basado en Wiring y un entorno de desarrollo basado en Processing. Las características de software y hardware del Arduino simplifican el proceso de diseño electrónico basado en microcontroladores ATMEGA 8 y ATMEGA168 de Atmel. Multiplataforma ya que el software de arduino se ejecuta en varios sistemas operativos, cuenta con un entorno de programación sencilla de usar y un código reducido comparado al de otros entornos de programación, y lo más importante es de acceso libre. (Sebastian, Vizcaíno, & Rafael, 2013)

2.5.3 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Son dispositivos aplicados en industrias para la automatización de procesos, son inmunes al ruido eléctrico, tienen rigidez dieléctrica, resistentes a temperaturas altas, humedad, vibraciones y radiofrecuencias, especializados para servir como interfaz y control entre los sensores y actuadores. (Alciatore, 2007)

Posee las herramientas necesarias de software y hardware para controlar dispositivos externos, tiene interfaz de entrada encargada de captar señales eléctricas de un medio, estas señales son procesadas por un CPU, que genera una respuesta por medio de la interfaz de salida.

2.6 ESTACIÓN MECATRÓNICA

Conjugan dispositivos que simulan un proceso de producción con un enfoque didáctico, integran todos los conceptos de aprendizaje en el área de automatización, convirtiéndose en una herramienta importante al transponer el conocimiento teórico a la práctica.

La integración del concepto producción modular y Mecatrónica, generan la concepción actual sobre automatización de la producción industrial, la eliminación de personal dentro del proceso de manufactura hace que las industrias reduzcan sus costos, incrementen la productividad y generen productos de calidad.

2.7 PRODUCCIÓN MODULAR

Es un método de manufactura en serie con flujo continuo, donde toda la producción está dividida en estaciones, las cuales realizan actividades específicas que contribuyen a la formación del producto, las estaciones están conformadas por una dotación de maquinaria y procesos, manteniendo el balance de las líneas de producción, en la figura 4 se observa el flujo de un sistema de producción modular. (Chapman, 2006)

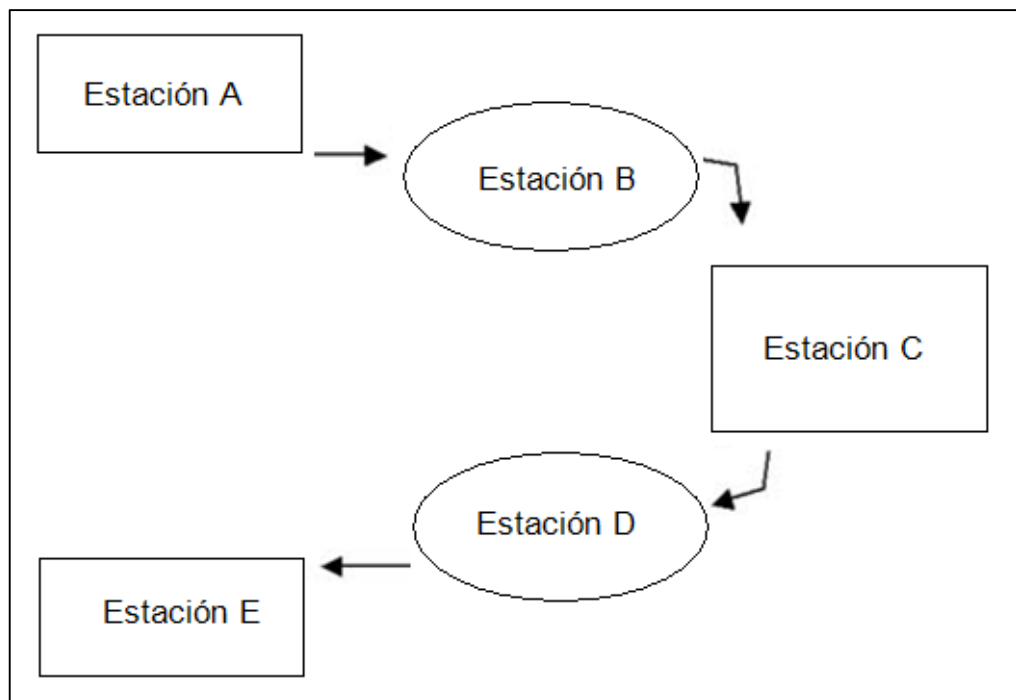


Figura 4: Flujo de producción del sistema Modular

El constante crecimiento de la competencia y la necesidad de flexibilidad dentro de la producción, generan el concepto de manufactura modular como una solución, junto a la combinación de técnicas modernas extraídas de la filosofía JUST IN TIME, logrando eliminar desperdicios y recursos dentro de la producción.

Logrando objetivos como:

- Reducción costos y plazos de entrega.
- Incremento del nivel de eficiencia y calidad del producto.
- Mejor aprovechamiento de la superficie de la planta.
- Reducción de los índices de rotación.

2.8 LLENADO DE FRASCOS

Consiste en transferir líquido del tanque de reserva al envase. Existen diferentes tipos de tecnología para el llenado, las diferencias radican en el método de medición del volumen de líquido a ser transferido. (Bolzoni, Folli, Cima, Nucci, & Battistini)

2.8.1 LLENADORAS A NIVEL

En la figura 5 se observa el proceso de llenado por nivel. Son sistemas tradicionales y de aplicación común en los sistemas de llenado, el control de nivel se lo realiza midiendo la longitud del líquido, dentro del envase, esta medición puede ser mediante diferentes dispositivos como, cánula que se introduce dentro del frasco y detecta el nivel del líquido mediante contacto directo, detectores de proximidad que detectan el nivel dependiendo de la distancia entre el sensor y el líquido. (Bolzoni, Folli, Cima, Nucci, & Battistini)

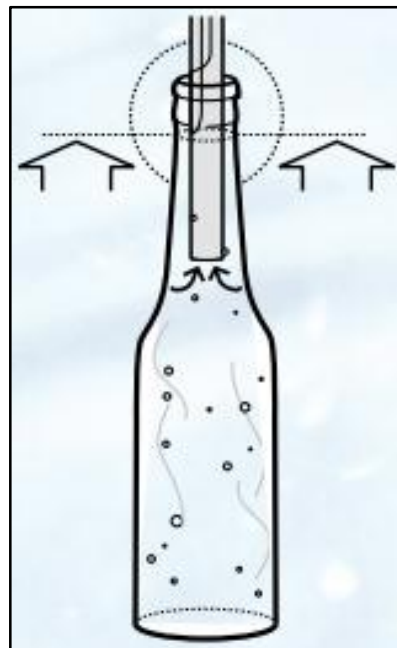


Figura 5: Sistema de llenado por nivel
Fuente: (Bolzoni, Folli, Cima, Nucci, & Battistini)

2.8.2 LLENADORAS VOLUMÉTRICAS

En la figura 6 se observa el proceso de llenado volumétrico. Este tipo de sistemas de llenado se basan en la medición del volumen de líquido, que se trasfiere al envase mediante un medidor de caudal, instalado en la boca del dispensador de líquido. (Bolzoni, Folli, Cima, Nucci, & Battistini)

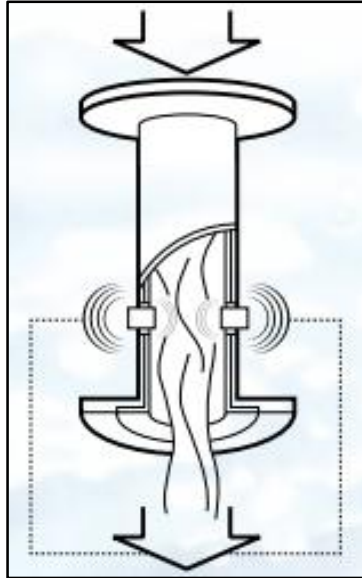


Figura 6: Sistema de llenado volumétrico
Fuente: (Bolzoni, Folli, Cima, Nucci, & Battistini)

2.8.3 LLENADORAS PONDERALES

En la figura 7 se observa el proceso de llenado ponderal. Este tipo de Llenadoras se basa en pesar el envase con líquido, mediante un transductor que convierta la cantidad física de peso por una cantidad de corriente, resistencia o voltaje eléctrico. El sensor de peso debe estar calibrado dependiendo del envase y la cantidad de líquido que contiene. (Bolzoni, Folli, Cima, Nucci, & Battistini)

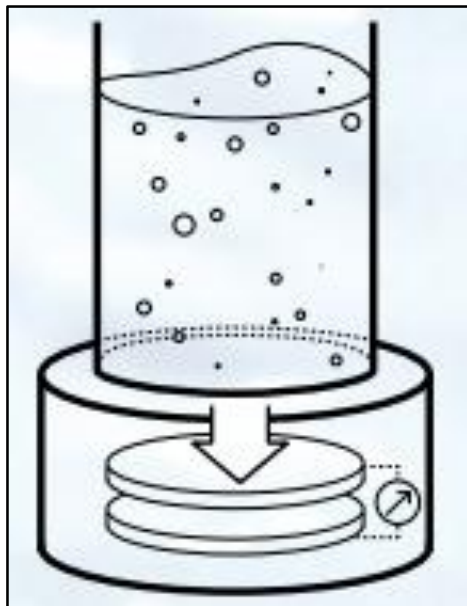


Figura 7: Sistema de llenado ponderal
Fuente: (Bolzoni, Folli, Cima, Nucci, & Battistini)

2.9 TAPADO DE FRASCOS

El procedimiento, tecnología y equipo, necesario para el proceso de tapado es determinado por el tipo de tapa. Existen 2 tipos de métodos para el tapado, presión y roscado.

2.9.1 TAPADO PRESIÓN

Se basa en la aplicación de una fuerza perpendicular a la tapa y el frasco, esta fuerza comprime al frasco con la tapa, logrando una sujeción entre los 2 componentes como se observa en la figura 8. Este procedimiento se lo realiza mediante pistón neumático, rueda tracción o rueda loca, su elección depende de la velocidad, fuerza y forma de la tapa

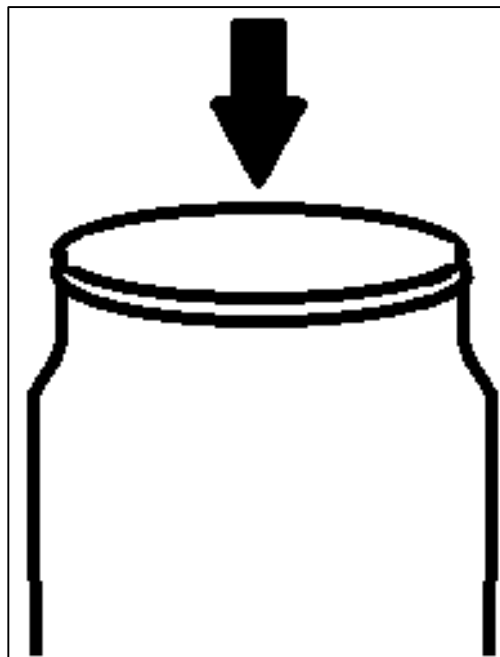


Figura 8: Tapado a presión

2.9.2 TAPADO ROSCADO

Los equipos para el procedimiento de tapado roscado, son más complejos a comparación de los equipos aplicados en el procedimiento de tapado a presión, se requiere aplicar una fuerza tangencial, generando un torque en la tapa, esta fuerza genera un movimiento circular de la tapa en el frasco como se observa en la figura 9. Este procedimiento se lo realiza mediante mecánica de ruedas, cabezales actuados mecánica o eléctricamente, o cabezales neumáticos.

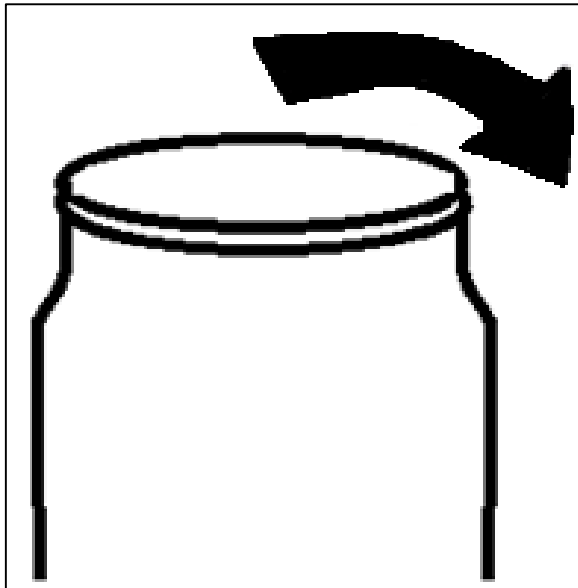


Figura 9: Tapado roscado

2.10 SISTEMAS DINÁMICOS

"El movimiento de un cuerpo ocurre cuando todas sus partículas se desplazan a lo largo de trayectorias equidistantes de un plano". (Hibbeler, 2010)

Los sistemas dinámicos o continuos, son procesos que se realizan sin pausa y sin transición entre operaciones.

La tecnología, máquinas y herramientas en el sistema de producción continua, son altamente especializadas dispuestos en formación lineal y secuencial.

Características producción continúa:

- Producción de grandes volúmenes.
- Reducción de costos y tiempo de ciclo de producción.
- Disminución de manejo de materiales y almacenaje.
- Alta precisión en el diseño y acabo de productos.

3. METODOLOGÍA

3.1 DISEÑO MECATRÓNICO

El diseño mecatrónico sustituye el enfoque individual y secuencial del diseño de sistemas automatizados, por un enfoque integral y paralelo como se observa en la figura 10. Con el propósito de generar sistemas más eficientes, confiables y flexibles, enfocados en un menor costo y menor tiempo de diseño y construcción.

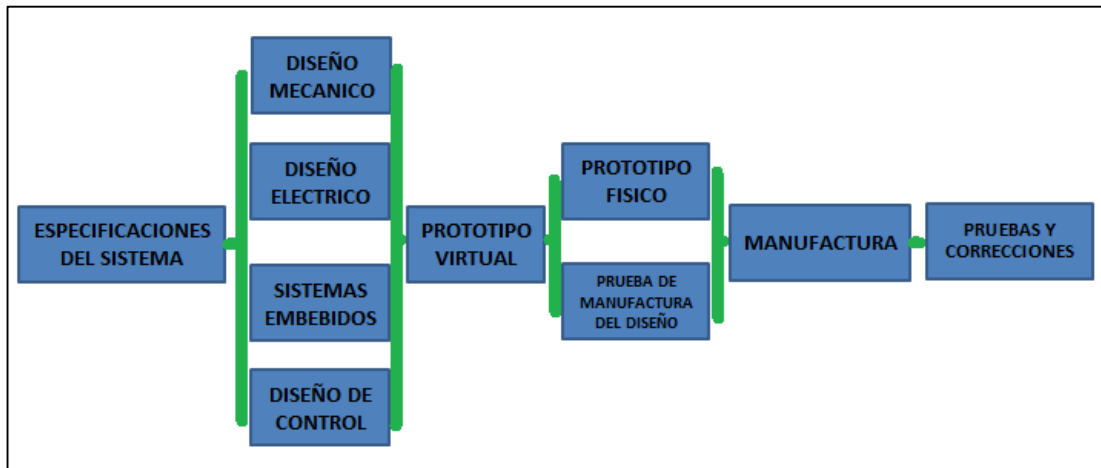


Figura 10: Diseño Mecatrónico

Tradicionalmente al construir una maquina se utilizaba una concepción secuencial para el diseño, extendiendo el tiempo de fabricación. La mecatrónica representa un diseño integral de todos los sistemas, acortando el tiempo de fabricación y diseño.

3.2 NECESIDADES DE DISEÑO

Las estaciones mecatrónicas son prototipos a escala de un proceso industrial, que incluyen elementos iguales o similares a los de un proceso real cumpliendo las mismas funciones, con el objetivo de tener un sistema mecatrónico destinado a la aplicación del conocimiento teórico de manera práctica.

Basados en el esquema de componentes de un sistema mecatrónico como se observa en la figura 11, la estación mecatrónica debe contar con un sistema mecánico, un sistema electrónico y un sistema de control. A nivel comercial existen varias marcas fabricantes de estaciones mecatrónicas de diferentes procesos como: sellado, empaçado, manipulación y clasificación de objetos, verificación de fallas, sistemas de distribución, sistemas de transporte. En los que se aplican varias

técnicas de automatización como neumática, control mediante PLC, sensorica, control de motores, montaje de componentes, electrónica, hidráulica, robótica.

Con el objetivo de diseñar una estación mecatrónica que contenga varias técnicas de automatización, se seleccionó el proceso de llenado de frascos. Este proceso a nivel industrial es amplio, va desde la recolección y lavado de botellas hasta el empaclado final. Para contar con un sistema visualmente completo y no extendido se limitó este proceso industrial, en un sistema encargado de llenar y tapar frascos.

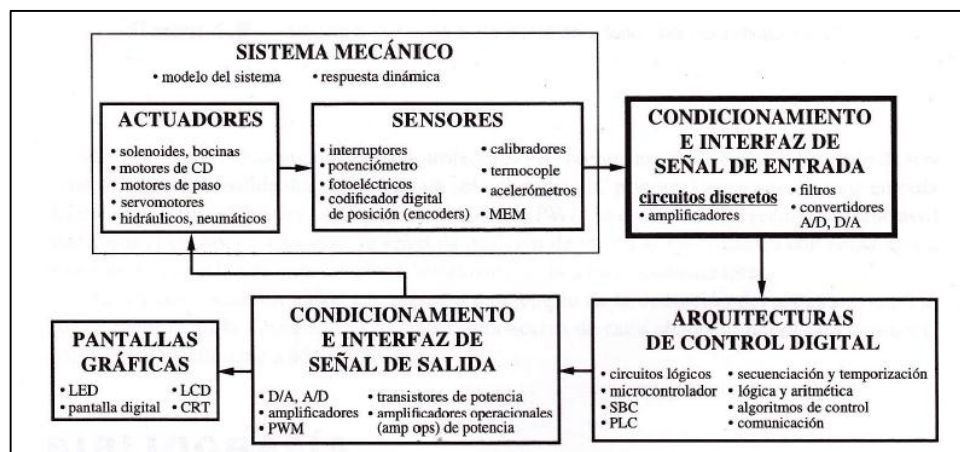


Figura 11: Componentes de un sistema Mecatrónico.

Fuente: (Alciatore, 2007)

3.3 ANALISIS DE REQUERIMIENTOS

Cantidad de líquido para el tanque de reserva: Los frascos utilizados tienen una capacidad de 250[ml], para el sistema de almacenaje del líquido se necesita 750[ml] adicionales a los 1000[ml] necesarios para que la bomba este sumergida.

Velocidad de llenado de los frascos: La velocidad de llenado es directamente proporcional a la velocidad de la bomba de succión, el llenado de un frasco de 250[ml] no debe exceder los 5[s], así la velocidad máxima es de 50[mm/s].

Cantidad de frascos: 3 frascos es la cantidad máxima que soporta la estructura vertical del módulo dispensador de la estación mecatrónica.

Fuerza del pistón: para determinar la fuerza del pistón se toma en cuenta el área de la tapa 12.6 [mm²] y la presión para tapar el frasco 300 [Pa], la fuerza mínima necesaria es 378 [N].

Velocidad de la banda: Para calcular la velocidad máxima del motor se toma en cuenta el tiempo de llenado 5[s] y la distancia que el sistema dinámico recorre en el proceso 220[mm]. Con la ecuación 2 obtenemos la velocidad lineal de la banda 44[mm/s].

$$v = \frac{d}{t} \quad \text{Ec 2}$$

v= velocidad lineal

t= tiempo

d= distancia

Para el cálculo del motor aplicamos la ecuación 3

$$W = \frac{v}{r} \quad \text{Ec 3}$$

r= radio del eje

w= velocidad angular

La velocidad para el motor 0,1294[r/s].

3.3.1 REQUERIMIENTOS MECÁNICOS

Para cumplir con las expectativas actuales de diseño la estructura de la estación mecatrónica debe basarse en una arquitectura modular. Las ventajas de contar con una estructura modular son reducción de costos, tiempo y flexibilidad en la construcción, facilidad de sustitución de componentes defectuosos, escalabilidad del sistema.

Para diseñar la estructura de la banda se toma en cuenta las dimensiones de los frascos 60x60 [mm], con un sistema mecánico ajustado a estas medidas se lograra que los frascos mantengan una posición constante al movimiento horizontal producido por la banda transportadora.

Para el modulo dispensador se debe diseñar un almacén que contenga máximo 3 frascos, para lograr que el proceso general resulte vistoso al momento de puesta en marcha.

3.3.2 REQUERIMIENTOS ELECTRÓNICOS

El diseño electrónico en la estación mecatrónica se centra en 2 parámetros, el diseño de las fuentes de voltaje para los distintos dispositivos y el diseño de tarjetas para el funcionamiento de los componentes de control arduino. Es necesario diseñar varias fuentes de voltaje dependiendo del componente en la tabla 2 se presentan los valores de los distintos voltajes y el componente.

Tabla 2. Voltaje y componentes

Voltaje	Componentes
5 [v]	Tarjeta Arduino nano Relés sistema de control
12 [v]	Electroválvulas neumáticas Relés del tablero de control
24 [v]	Electroválvulas neumáticas
9 [v]	Motor a pasos
110 [v]	Electroválvula Bomba de agua

Las tarjetas que se deben diseñar para el control con arduino son:

Tarjeta de entradas: El diseño de esta tarjeta debe contener un arreglo de resistencias y borneras para la entrada de voltaje alto o bajo al arduino mega.

Tarjeta de montaje arduino MEGA: Tiene borneras para interconectar las entradas al arduino mediante cable y regleta hembra para facilitar el montaje y desmontaje del arduino mega.

Tarjeta de montaje arduino nano: Contiene un arreglo de resistencias para las entradas del sistema de llenado, regleta para el montaje y desmontaje del arduino nano y el controlador del motor a pasos.

3.4 MATERIALES

3.4.2 MOTOR PAP

Motor a pasos ubicado en el sistema dinámico de llenado, bipolar marca Epson modelo Em-258 como se observa en la figura 12.



Figura 12: Motor paso a paso bipolar Epson Em-258

De alta precisión y bajo consumo de corriente eléctrica, las especificaciones técnicas motor están en la tabla 3.

Tabla 3. Especificaciones técnicas motor PAP Epson Em-258

Especificaciones	
Voltaje nominal	7 V
Corriente	0.7 A
Resistencia (Ohms)	10
Par (en onzas)	44.4
Torque (kg * cm)	3.2
Alambres	4
Pasos / Revolución	200
Peso	175 gramos
Step Size (grados)	1.8
Dimensiones	4.5 x 4.5 x 2.5 cm

3.4.1 MOTOR DC

Motor DC Conectado al eje de la banda transportadora, en la figura 13 se ilustra el motor.



Figura 13: Motor DC de la banda transportadora
Fuente: (KING RIGHT MOTOR)

3.4.2 SENSORES

La función de los sensores es generar una señal eléctrica al momento de llegada de los frascos a una posición determinada.

Existen distintos métodos para sensar la presencia de objetos, el más sencillo y habitual son los sensores infrarrojos como el de la figura 14, emiten un haz de luz a través de un emisor y captada por un receptor, la superficie del frasco refleja el haz de luz.



Figura 14: Sensores fotoeléctricos marca Omron
Fuente: (uk.farnell)

3.4.3 ARDUINO

Destinados al control de distintos sistemas de la estación mecatrónica, para el módulo de llenado dinámico se utilizara un arduino nano figura 15 tiene: 14 entradas digitales y 8 entradas analógicas. Esta tarjeta está destinada para el control del motor a pasos que generara avance y retroceso de la electroválvula.

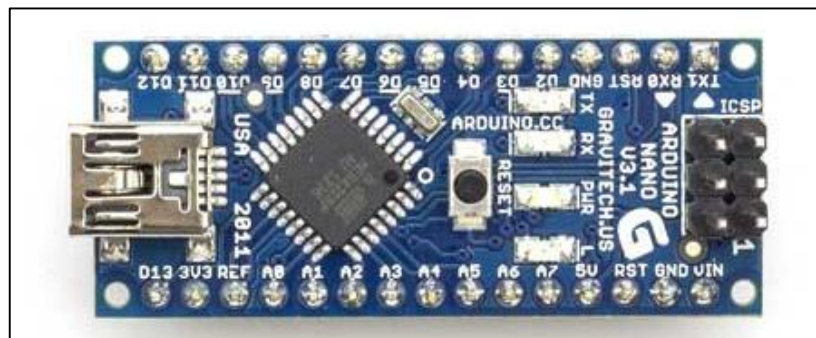


Figura 15: Arduino nano
Fuente: (Arduino)

La tarjeta arduino mega se observa en figura 16, tiene: 54 entradas/salidas digital, 16 estradas analógicas, 4 puertos UARTs, un cristal de 16[MHz], procesador ATmega1280. Está tarjeta está destinada al control general de toda la estación mecatrónica, su función es recibir la señal de los sensores y controlar la operación de los diferentes actuadores.

El Atmega2560 tiene 256 KB de memoria flash para el almacenamiento de código de los cuales 8 KB se utiliza para el gestor de arranque, 8 KB de SRAM y 4 KB de EEPROM que puede ser leído y escrito con la librería EEPROM. (Arduino)



Figura 16: Arduino mega
Fuente: (Arduino)

3.4.5 PLC

La función del controlador lógico programable es idéntica a la función de la tarjeta arduino uno, el propósito de uso de ambos componentes de control es la aplicación de los dos distintos tipos de programación de cada componente, el PLC utilizado es marca Telemecanique modelo Modicom MP340 como el de la figura 17.



Figura 17: PLC Telemecanique
Fuente: (unimat)

3.4.6 PISTONES NEUMÁTICOS

La figura 18 muestra el pistón neumático usado en el módulo dispensador, marca SMUK modelo SDA 12-25, cilindro de doble efecto, diámetro del vástago 6 [mm], carrera 25 [mm], presión máxima de 1.0 [Mpa]. Tamaño total 25x25x45 [mm], el material de construcción es aleación de aluminio y peso total de 54 [gr].



Figura 18: Cilindro neumático marca SMUK

3.4.7 ELECTROVÁLVULAS NEUMÁTICAS

La electroválvula utilizada en la construcción de la estación mecatrónica se observa en la figura 19, marca AIRTAC modelo 4v110-06, soportan una presión máxima de

8 [kgf/cm²], tensión de trabajo 12[v], tamaño total de 135x100x67 [mm], material exterior metal, plástico y latón, peso neto 735[gr].



Figura 19: Electroválvula AIRTAC

4. DISEÑO

El diseño de la estación mecatrónica debe cumplir el requerimiento de un sistema para llenar y tapar frascos de manera secuencial y automatizada, para facilitar el diseño la estación se divide en módulos con una función específica en el proceso general.

La estructura de la estación Mecatrónica es sólida, donde se anclan todos los componentes del sistema; sensores, pistones neumáticos, chumaceras, componentes de control, circuitos electrónicos, electroválvulas, motores. El material escogido para la construcción de la estructura es aluminio estructural por sus características: Ligero al ser considerado el metal más ligero del mercado y por su resistencia mecánica.

En la figura 20 se puede observar las medidas del tubo de aluminio estructural, la forma del tubo permite diseñar estructuras modulares ofreciendo flexibilidad, funcionalidad y facilidad al operario para manipular de manera sencilla los componentes y reubicarlos a posiciones adecuadas para el funcionamiento general.

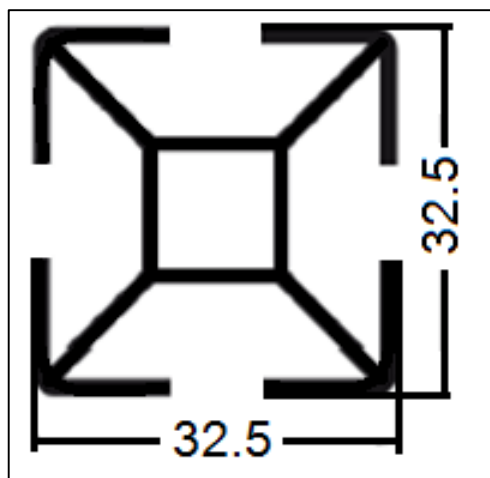


Figura 20: Dimensiones de aluminio estructural
Fuente: (Gallardo F, 2011)

4.1 BANCADA

4.1.1 MESA

La mesa es la base donde están acopladas todas las estructuras y componentes de los módulos. La mesa tiene las dimensiones y forma que se observa en la figura 21.

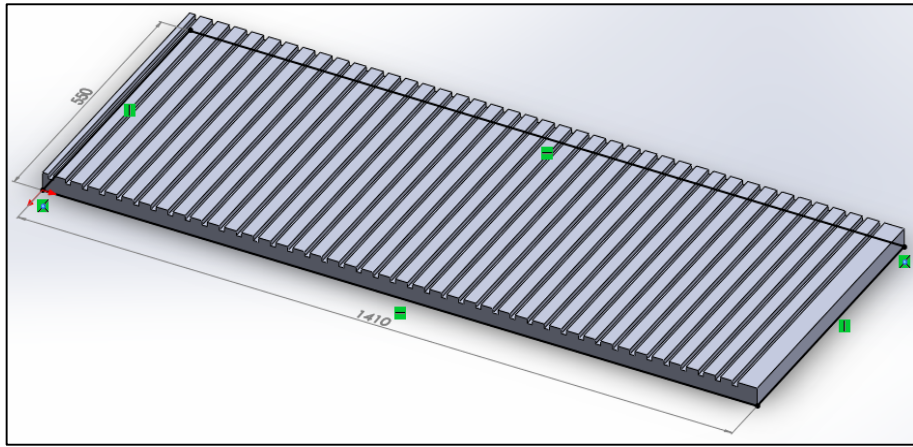


Figura 21: Mesa

4.1.2 ESTRUCTURA

En la figura 22 se observan las medidas de la bancada, en esta estructura se anclan todos los componentes del sistema y estructuras de algunos módulos. En la figura 23 está el modelado de la estructura, la separación entre las 2 estructuras es 65 [m] espacio en el cual se ubica el frasco.

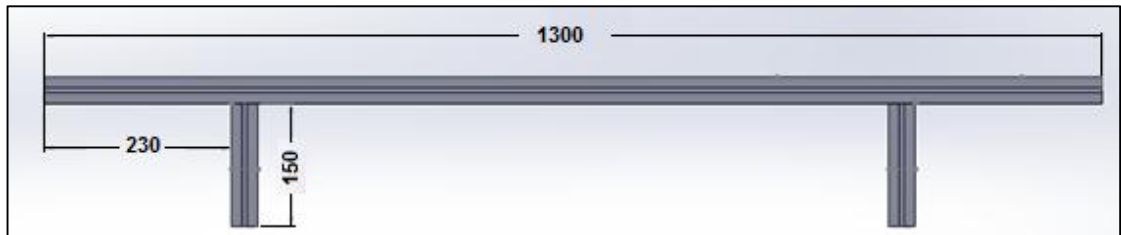


Figura 22: Estructura

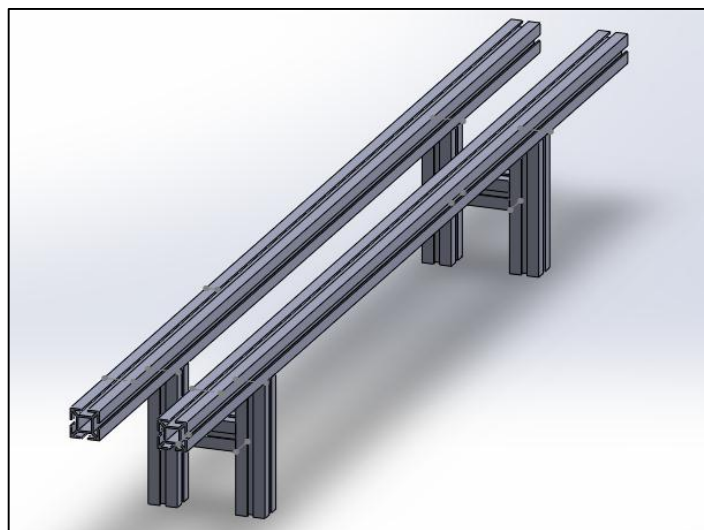


Figura 23: Modelado de la estructura

4.2 MÓDULO DE TRASPORTE

El Sistema de transporte de frascos, es una cinta transportadora lineal de aproximadamente 900[mm] de recorrido, accionada por un motor DC conectado mediante acople a un eje que transmitirá el movimiento a la cinta, los 2 ejes están anclados en chumaceras como se observa en la figura 24. La cinta cuenta con un tope mecánico al final de su recorrido lo que servirá como impedimento para que el frasco se desborde de la cinta.

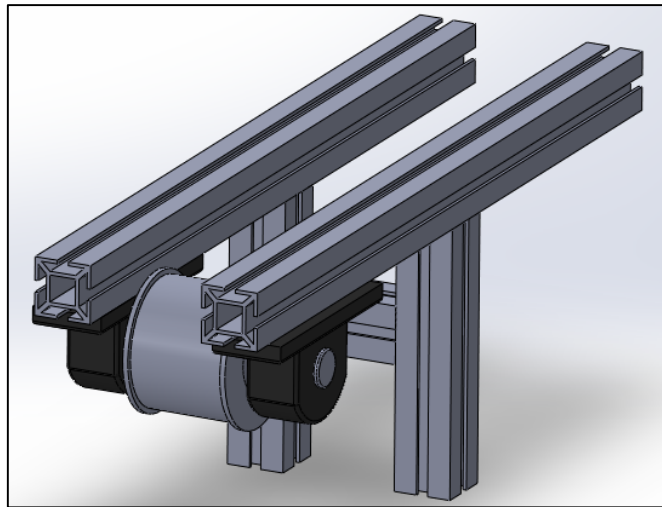


Figura 24: Eje y chumacera para la cinta transportadora

Las medidas de diseño de los ejes están condicionadas por criterios de estética, pero serán sometidas a cálculos para certificar su funcionamiento. El diseño parte de la chumacera donde están anclados los ejes, existen varias medidas comerciales de diámetro interno del rodamiento, el diámetro elegido es de 214mm, las medidas del eje secundario está en la figura 25.

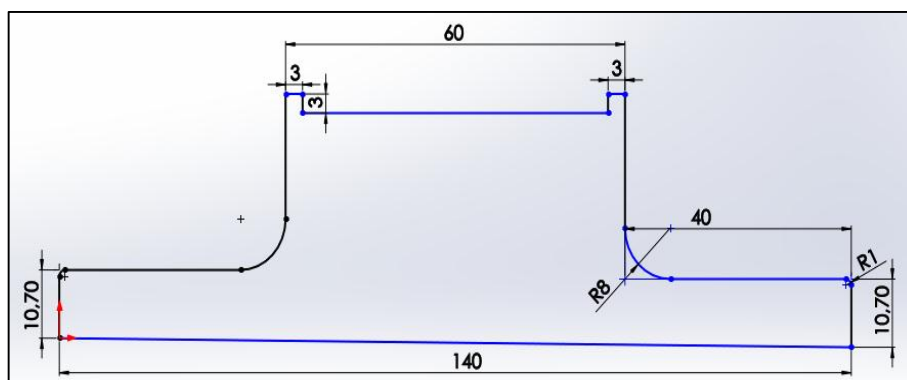


Figura 25: Medidas del eje secundario cinta transportadora

Datos motor:

Velocidad: 118 [RPM]

Voltaje de entrada: 12.1 [V]

Potencia: 92 [W]

Con la ecuación Ec 4 se transforma la potencia del motor de watts [W] a caballos de fuerza [Hp]

$$P_{Hp} = \frac{P_W * 75}{100000} \quad \text{Ec 4}$$

P = 0,069 [Hp]

Para calcular el torque se utiliza la ecuación Ec 5 donde:

P = potencia del motor en Hp

n = numero de revoluciones por minuto

$$T = \frac{6300 * P}{n} \quad \text{Ec 5}$$

T = 3,68 [lb/pul]

El cálculo de las fuerzas restantes es mediante momentos, en la figura se observa el diagrama de las fuerzas ejercidas en el eje, la ecuación Ec 6 se utiliza para calcular la fuerza Rby y Rdy ya que el diseño del eje es simétrico.

En el diseño del eje principal se agrega una pequeña extensión como se ve en la figura 26, aquí está anclado el motor DC mediante un acople.

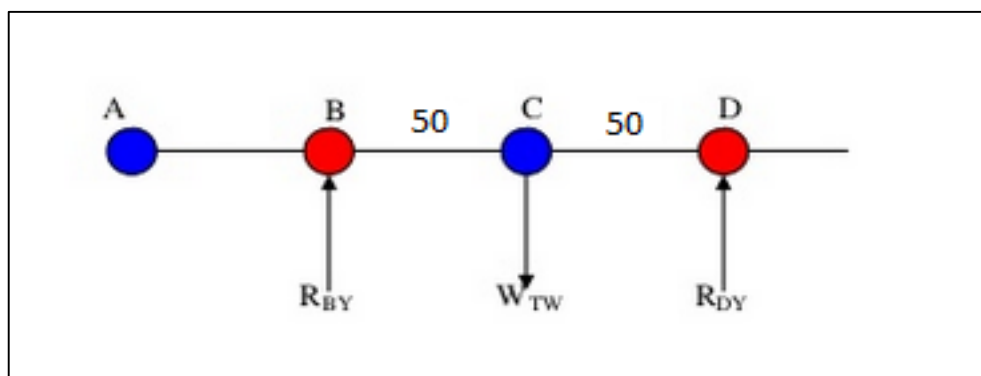


Figura 26: Diagrama de fuerzas en el eje

$$R_{BY} = \frac{W_{TW} * 1,97}{3,94} \quad \text{Ec 6}$$

$$R_{by} = 1,84 \text{ [lb]}$$

La resistencia del material utilizado en el diseño del eje es 230[Kg/cm²] o 22,5[Mpa]. Para el cálculo del diámetro del eje utilizamos la ecuación Ec 7, donde Td se calcula con la ecuación Ec 8.

$$\frac{\pi * D^3}{16} = \frac{T}{Td} \quad \text{Ec 7}$$

$$Td = \frac{0,5 * Sy}{n} \quad \text{Ec 8}$$

$$Td = 1,595 \text{ [lb/pul}^2\text{]}$$

$$D = 2,27 \text{ [pul]}$$

La velocidad y potencia del motor utilizadas para calcular el diámetro son las máximas que puede otorgar, para la cinta transportadora de la estación mecatrónica se requieren índices muy bajos de velocidad y potencia por lo que el diámetro sería mucho más pequeño que el calculado. La medida del eje en la estación es de 4 [pul] por lo cual cumple perfectamente con el requerimiento. En la figura 27 está el eje principal de la cinta transportadora.

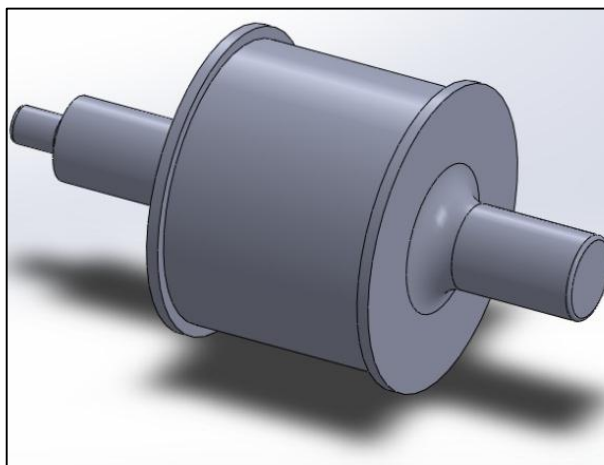


Figura 27: Eje principal de la cinta transportadora

4.3 MÓDULO DISPENSADOR DE FRASCOS

En la figura 28 se muestra el dispensador y las medidas.

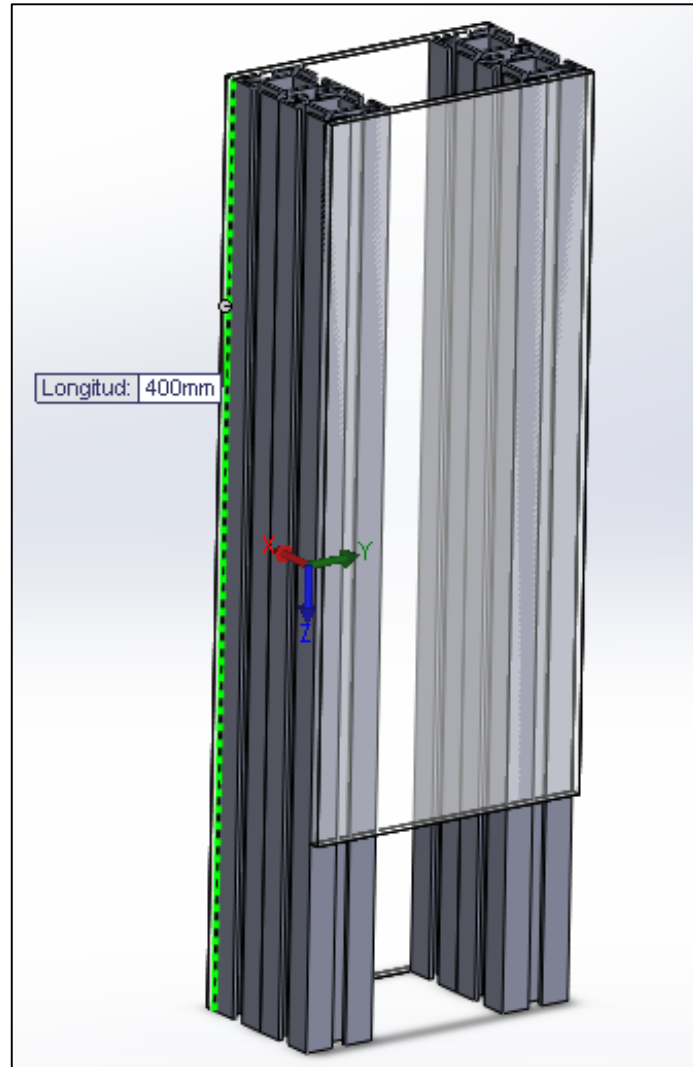


Figura 28: Dispensador de frascos

El módulo dispensador tiene por objetivo alimentar de manera controlada el ingreso individual de los frascos al sistema de transporte. El diseño es de una estructura vertical, ocupa poco espacio y requiere 2 actuadores para realizar su función.

Los frascos son alimentados por gravedad e ingresados a la cinta transportadora, el control del ingreso de los envases es mediante 2 pistones neumáticos, la función del pistón 1 es detener la caída de los frascos y la función del pistón 2 es impedir el avance de los frascos en la cinta.

En la figura 29 se muestra el módulo dispensador con todos los componentes.

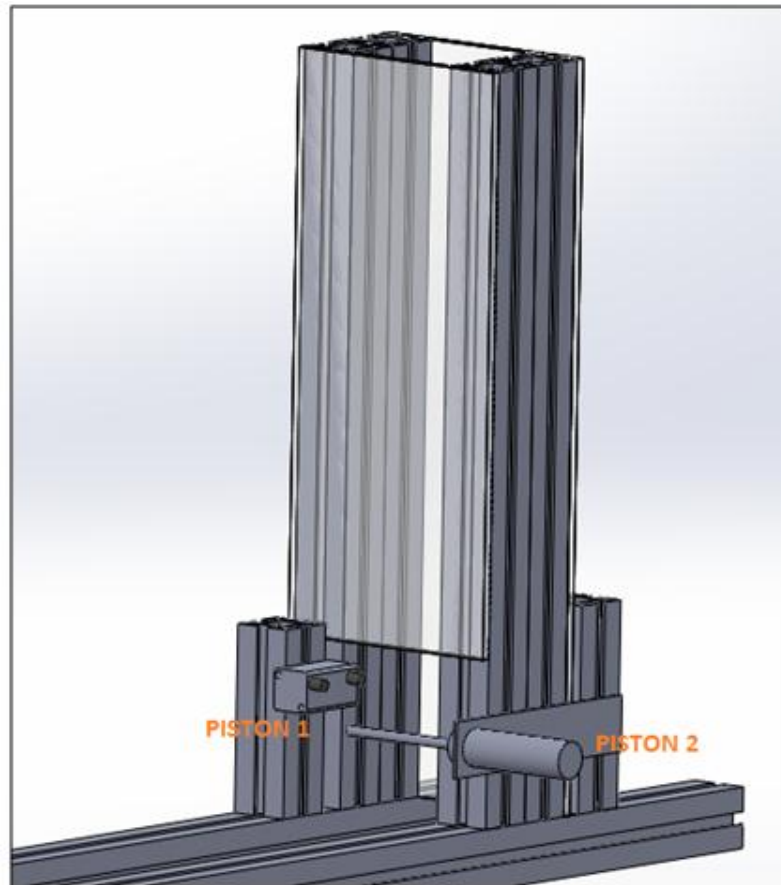


Figura 29: Módulo dispensador

4.4 MÓDULO DE LLENADO

Consta de un tanque de reserva y un sistema dispensador de líquido al frasco, el dispensador consta de una bomba sumergida en el tanque de reserva, encargada de drenar el líquido por una manguera de distribución hacia una electroválvula que activa el paso de líquido al frasco, montada a un actuador lineal que se desplaza en el eje z para el llenado dinámico de los frascos.

4.4.1 ACTUADOR LINEAL

El actuador lineal tiene la función de generar un movimiento paralelo a la banda del módulo de transporte, el sistema para generar un movimiento lineal, se basa en motor y cinta suspendida por un eje y polea, extendida a lo largo de una base como se observa en la figura 30. Sobre la cinta está anclado un soporte plástico que contiene la electroválvula.

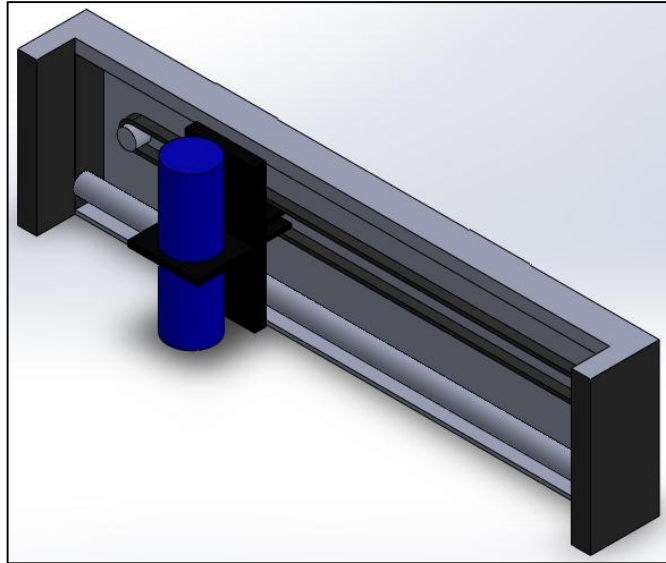


Figura 30: Actuador lineal del módulo de llenado

La estructura de la bancada del actuador lineal esta sobre 2 piezas de tubo lo que permite ubicar la electroválvula sobre el frasco como se observa en la figura 31.

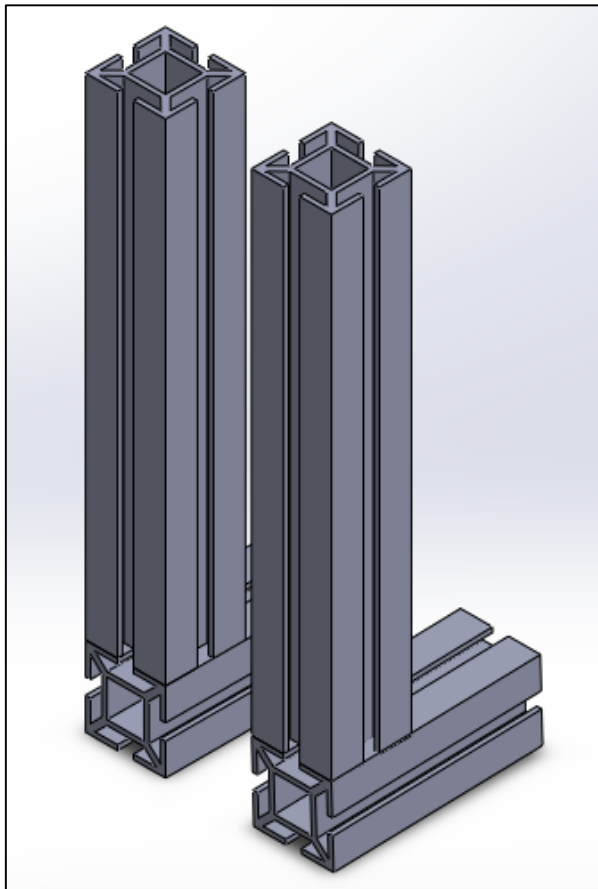


Figura 31: Bancada del actuador lineal

4.4.1.1 Sistema electrónico del actuador lineal

El actuador lineal tiene la función de controlar el movimiento del motor de pasos. El sistema de control es mediante sensores de posición, un arduino nano y un driver de motores a pasos, conjuntamente controlan el avance, retroceso y velocidad del motor. En la figura 32 está el diagrama electrónico para el actuador lineal, dividido en 3 bloques. El bloque entradas digitales está diseñado con lógica inversa, el controlador recibe una señal de 5v. Al activarse un sensor se cierra el circuito entre la terminal de entrada del controlador y tierra, generando que toda la corriente fluya de la resistencia a GND, en ese momento la entrada del controlador pasa de un estado 1 a 0 lógico, con este cambio el controlador podrá efectuar cualquier tarea estipulada en su programa. Secciones de la figura 32 A: entradas digitales B: controlador C: fuente motor a pasos

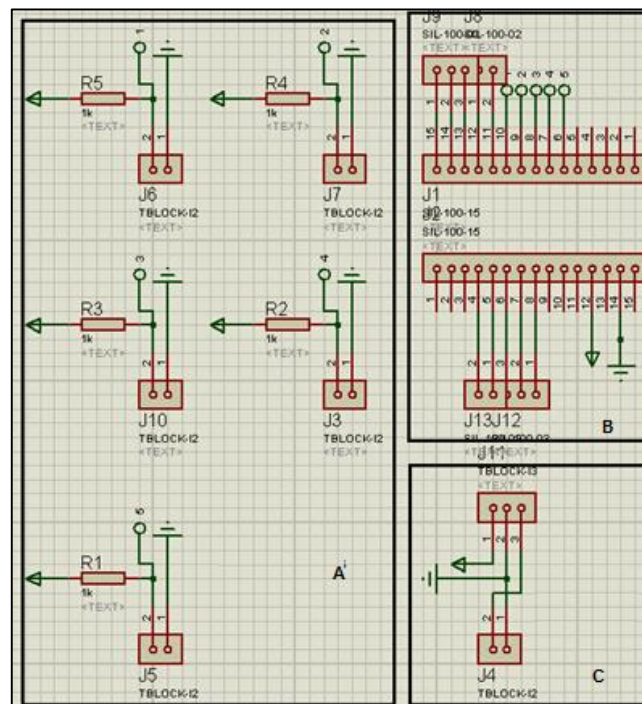


Figura 32: Diagrama Electrónico del actuador lineal.

El bloque de fuente contiene la conexión de 5v para el driver del motor paso a paso, una fuente directa para el motor y GND. El bloque del controlador tiene todas las conexiones del bloque de entradas digitales y la fuente. Los motores a pasos tienen la desventaja de necesitar componentes periféricos para funcionar, se necesita un componente que controle la secuencia de pasos del motor, la velocidad y el sentido de giro. Además se requiere componentes externos como el L298N como se observa en la figura 33

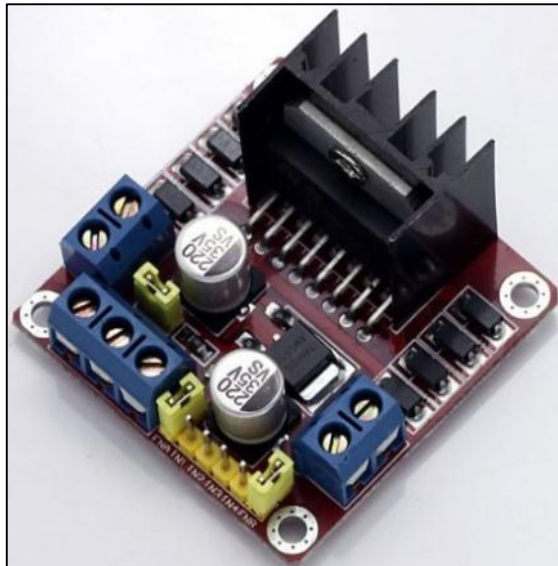


Figura 33: Shield L298N para motor a pasos

Cuenta con cuatro entradas para las secuencias, tres entradas para la alimentación GND, 5V para la lógica y entrada de hasta 48V para el motor.

El módulo L298N contiene todos los componentes electrónicos y conexiones necesarias para el funcionamiento correcto. En la tabla 4 están las especificaciones técnicas módulo L298N.

Tabla 4. Especificaciones módulo L298N

Especificaciones	
Voltaje de alimentación	5.5 - 24 V
Pico de corriente soportado	2 ^a
Voltaje terminales de control	3 - 5,5 V
Potencia de consumo	25 W
Dimensiones	4.5 X 4.5 X 3 cm
Peso	26 Gr

En la figura 34 se observa la tarjeta electrónica para el control del motor del actuador lineal.

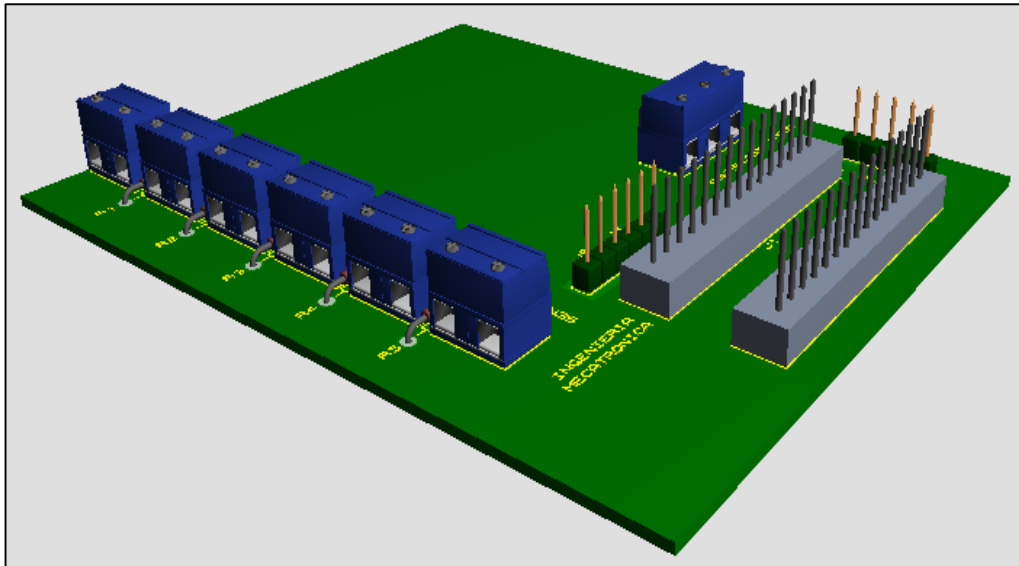


Figura 34: Tarjeta de control del motor del actuador lineal

El contenedor de líquido tiene capacidad de 4[l] y una bancada basada en sus medidas, altura 260mm y diámetro de 150mm como se observa en la figura 35.

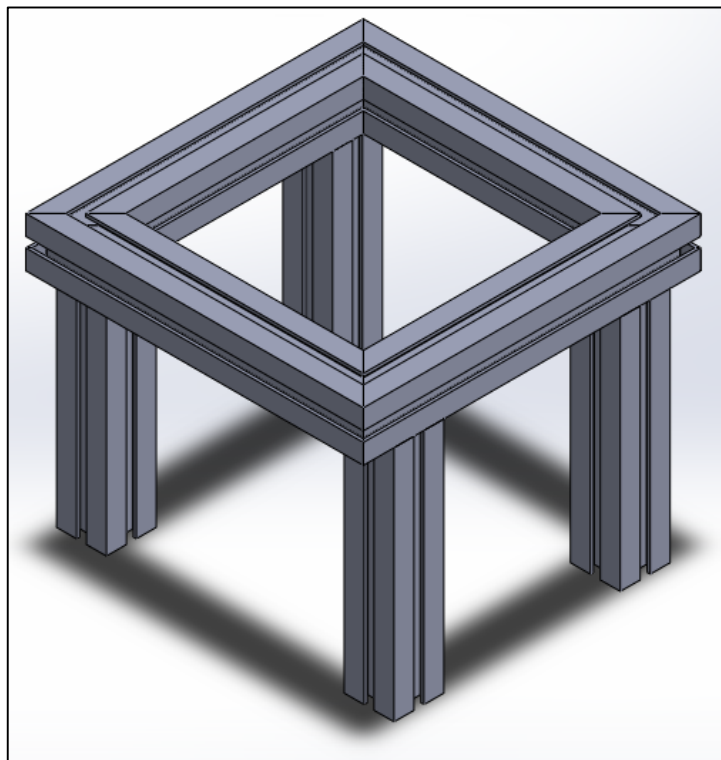


Figura 35: Bancada del contenedor de líquido

En la figura 36 está el diagrama de conexión hídrica entre la bomba de succión de agua y la electroválvula, adicional tiene un estrangulador para regular el flujo de líquido.



Figura 36: Diagrama de conexión entre la bomba de agua y la electroválvula

4.5 MÓDULO DE TAPADO

El módulo de tapado tiene la función de colocar una tapa sobre el frasco para su posterior sellado. Consta de un actuador giratorio que contiene una ventosa la cual manipulara la tapa.

El método para colocar la tapa sobre el frasco consiste en un actuador neumático giratorio, una ventosa de succión estará sujeta en el extremo del actuador giratorio, la misma que trasportara la tapa de la posición A a la posición B como se observa en la figura 37.

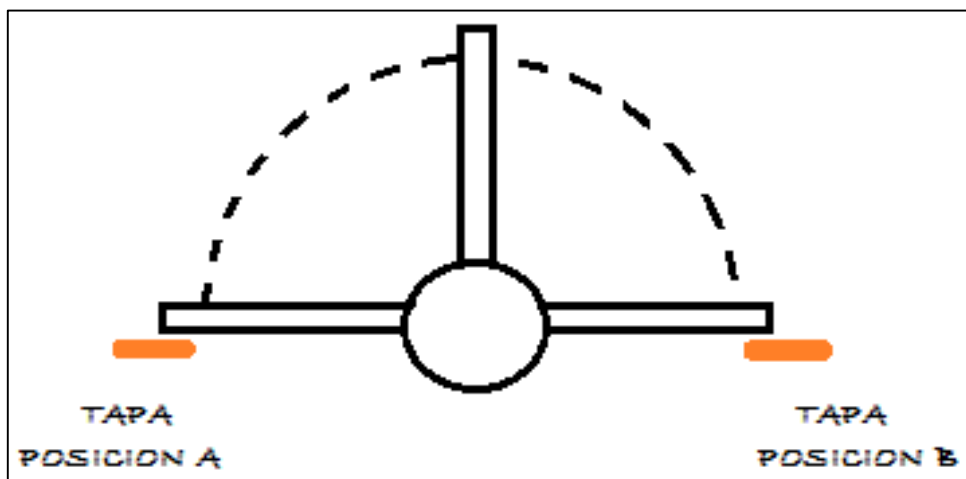


Figura 37: Funcionamiento actuador giratorio neumático

En la figura 38 está el actuador giratorio neumático de marca FESTO.



Figura 38: Actuador giratorio neumático de marca FESTO.

El módulo de tapado requiere de un mecanismo el cual tiene la función de distribuir individualmente las tapas a la posición A del actuador giratorio neumático para su posterior posicionamiento.

El diseño de este mecanismo consiste en un dispensador giratorio que colocara una tapa en la posición A cada vez que el sistema lo requiera.

En la figura 39 se observa la base sobre la cual se encuentran las tapas, la base esta sobre un motor que generara el movimiento giratorio para la distribución individual de las tapas.

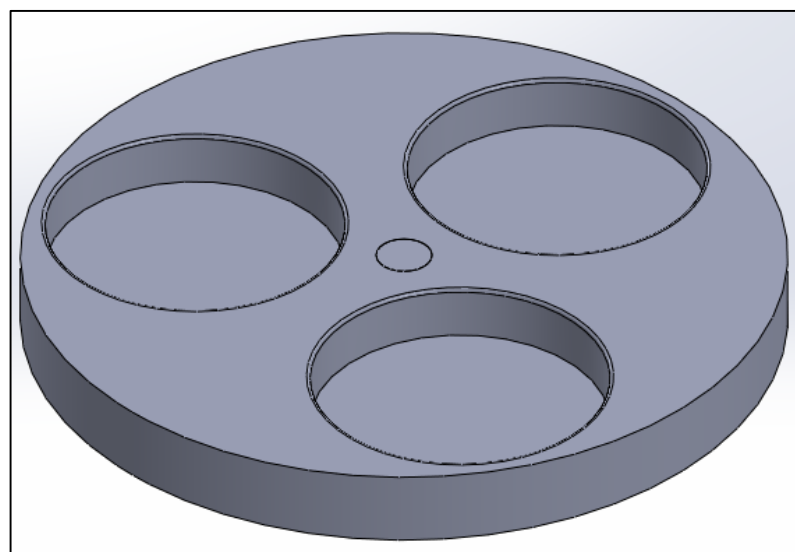


Figura 39: Base de tapas

Para el actuador giratorio neumático y la base de tapas son necesarios dos bancadas en las que se sujeten estos componentes.

En la figura 40 se observan las medidas de la bancada que suspenderán al motor al cual se encuentra sujeta la base de las tapas.

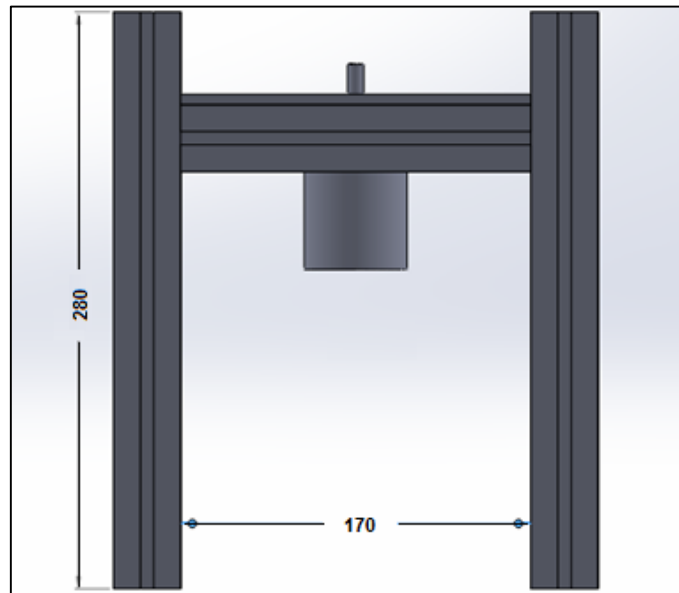


Figura 40: Medidas de la bancada para el motor y base de tapas

La figura 41 está el CAD de todo el mecanismo para el dispensador de tapas.

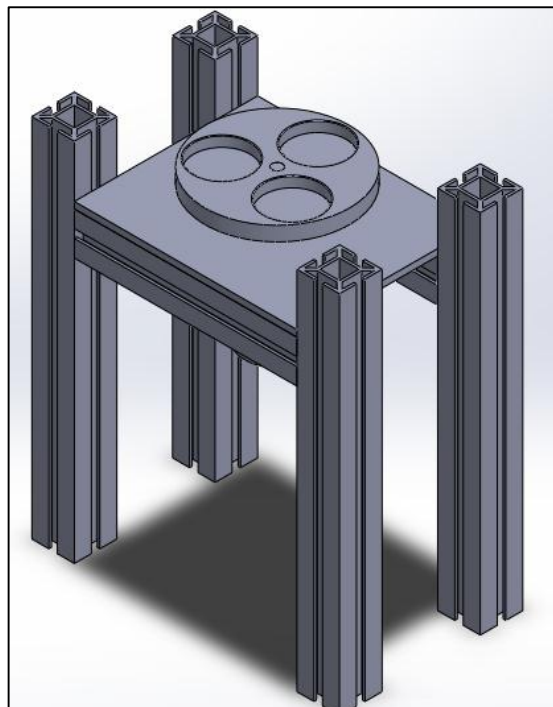


Figura 41: Dispensador de tapas

La bancada para el actuador giratorio marca FESTO está en la figura 42, la barra horizontal permite el desplazamiento del actuador para facilitar su posicionamiento.

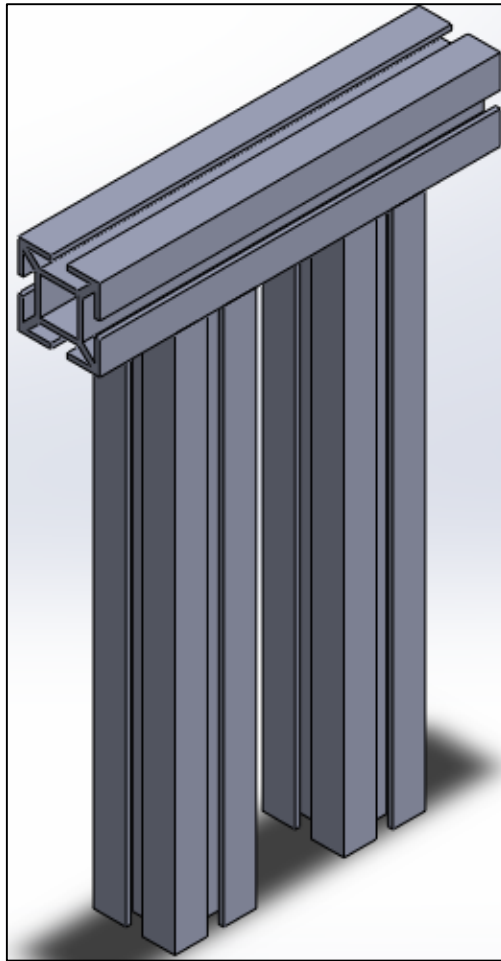


Figura 42: Bancada del actuador giratorio neumático FESTO

4.5.1 SISTEMA NEUMÁTICO DEL MÓDULO DE TAPADO

Para mover un cuerpo se necesita aplicar una fuerza que genere un movimiento proporcional y se efectúa según la línea recta en dirección de la cual se imprime dicha fuerza. La ventosa es el componente que genera una fuerza para trasladar la tapa de un lugar a otro mediante succión.

En la figura 43 está el diagrama del circuito neumático para la ventosa, el aire ingresa controladamente a través de una electroválvula conectada a una válvula de succión, el método por el cual se genera succión es por vacío al generar una fuerza vertical opuesta a la tapa.

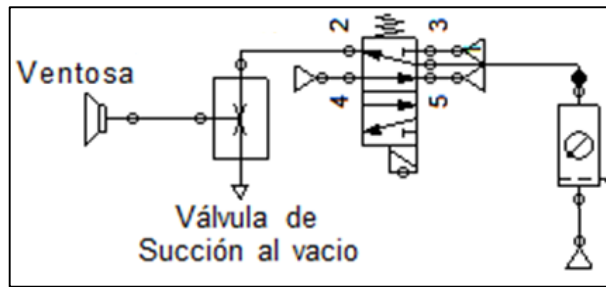


Figura 43: Diagrama del circuito neumático para la ventosa

4.6 MÓDULO DE SELLADO

Contiene un pistón que ejerce presión en la tapa que se encuentra sobre el frasco, esta fuerza los oprime y logra sellarlos. El diseño mecánico consiste en una bancada simple sobre la cual se ubicara verticalmente el pistón que sella el frasco. En la figura 44 se muestra la bancada, el pistón se ancla en la barra horizontal.

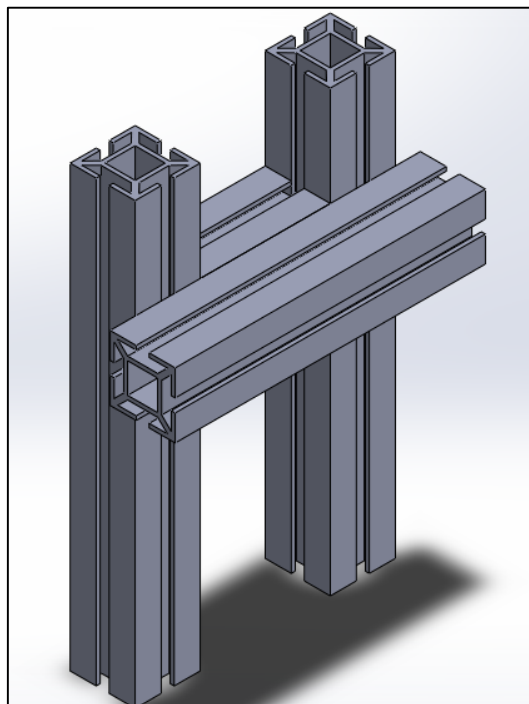


Figura 44: Bancada módulo de sellado

4.7 SISTEMA NEUMÁTICO DE LA ESTACIÓN MECATRÓNICA

La estación mecatrónica tiene 7 actuadores neumáticos ubicados en los distintos módulos. En la figura 45 se observa el circuito neumático de la estación mecatrónica.

Los pistones son de doble efecto lo que permite controlar el avance y retroceso del vástago mediante las electroválvulas 5/2, tienen 5 conexiones de aire y 2 posiciones de control. Cuando es activada mediante 24 [v], la posición A controla el flujo de aire, la entrada 5 recibe aire desde el compresor y fluye hacia la conexión 4, el aire de la conexión 2 fluye a la conexión 3 que es una salida de aire. Cuando se deja de alimentar la bobina de la electroválvula pasa a la posición B, donde el aire fluye de la conexión 1 a 2, y el aire de la conexión 4 sale por la conexión 5. La posición A puede controlar el avance del pistón y la B el retroceso o viceversa.

El actuador giratorio tiene de 2 entradas de aire, cada una controla la dirección del movimiento.

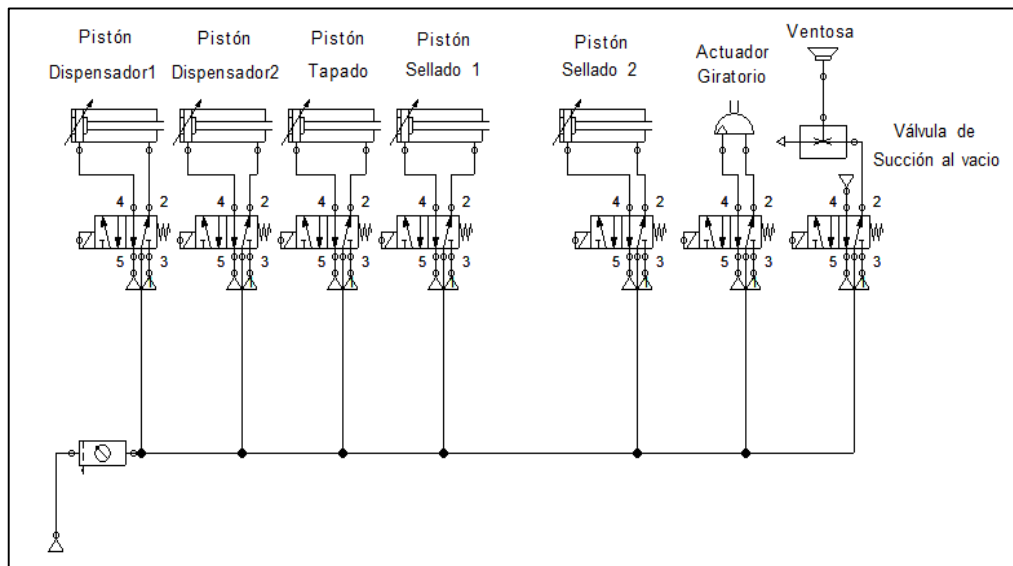


Figura 45: Circuito neumático de la estación mecatrónica

4.8 SISTEMA ELECTRÓNICO DE LA ESTACIÓN MECATRÓNICA

La estación mecatrónica tiene 4 sensores fotoeléctricos marca Omron modelo E3JK-R2M1-US, en la figura 46 está diagrama del funcionamiento de estos sensores, se basan en un led encendido que genera un haz de luz, la diana retrorreflectiva refleja el haz hasta una fotorresistencia, al interrumpir el paso de la luz se genera una variación eléctrica en el circuito interno del sensor, lo que acciona una bobina.

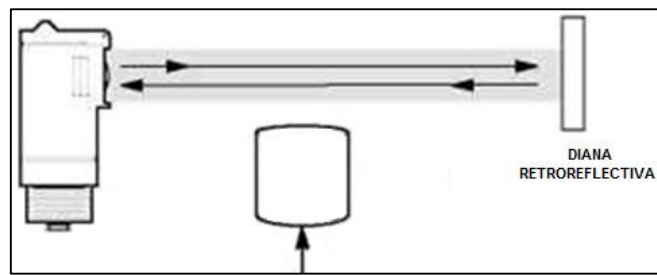


Figura 46: Diagrama funcionamiento sensores fotoeléctricos

El control de la estación mecatrónica es mediante una tarjeta Arduino MEGA, para lograr procesar una entrada en este tipo de dispositivos se necesita un circuito electrónico. La señal proveniente de los sensores es binaria 1 o 0, alto o bajo. En la figura 47 esta las dos posibilidades de diseño electrónico para la entrada del controlador.

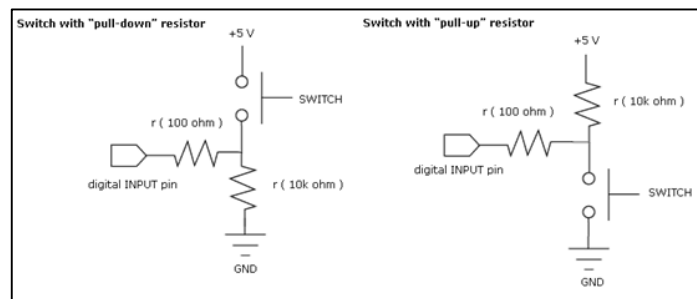


Figura 47: Circuitos de entrada para Arduino. A: Pull-down B: Pull-up
Fuente: (ADRIANMB, 2011)

En la figura 48 está la tarjeta electrónica (TE001) para las entradas al arduino MEGA, diseñada para enviar señales digitales al activarse los sensores fotoeléctricos.

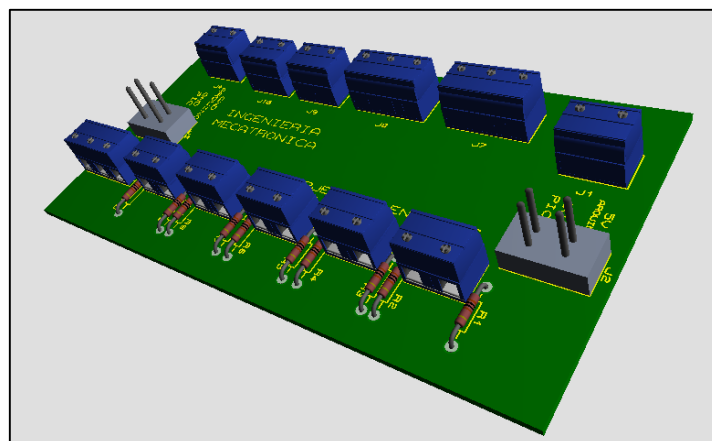


Figura 48: Tarjeta de entradas para el Arduino

La tarjeta eléctrica (TE002) de la figura 49 está diseñada para facilitar el trabajo de conexión eléctrica al arduino Mega, las borneras azules tienen un tornillo en la parte superior para sujetar al cable, además tiene un diseño montable y desmontable a la tarjeta arduino.

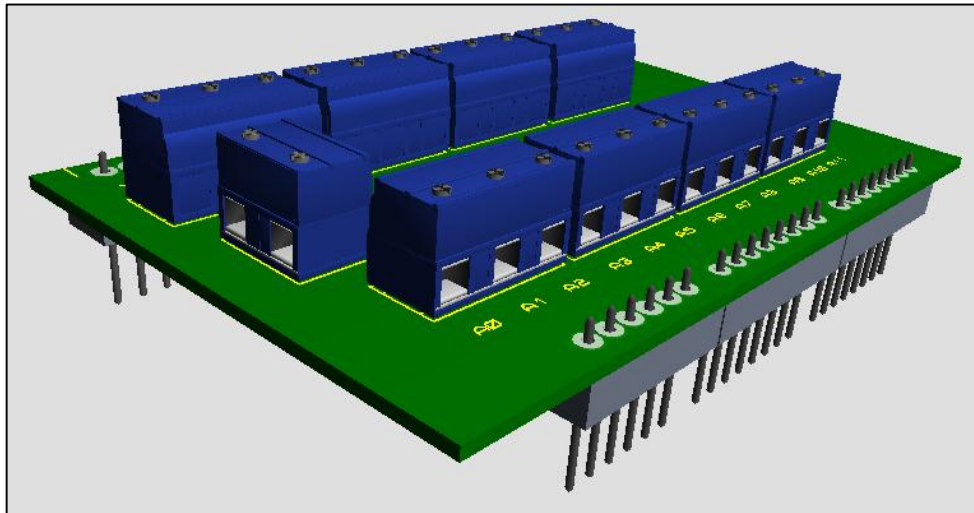


Figura 49: Shield arduino Mega

4.9 SISTEMA DE CONTROL DE LA ESTACIÓN MECATRÓNICA

La estación mecatrónica tiene 2 componentes distintos para el control PLC y arduino Mega, manejan distintos software y lenguajes de programación, pero basados en el mismo diagrama de flujo de procesos como esta en la figura.

4.9.1 DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL CONTROL

El inicio del proceso lo marca un pulsador. El diseño mecánico limita a la estación a llenar 3 frascos cada vez que se active el pulsador de inicio, la condición de $n < 3$ es programada mediante un contador ascendente, n es el número de frascos llenados. Al cumplir la condición la estación mecatrónica se detendrá, de no ser así continuara con el flujo del proceso.

El motor de la banda (M_T) y el pistón 1 del módulo dispensador (P1_D) se activan, al pasar un tiempo de 500[ms] P1_D se desactiva deteniendo la caída de los frascos y el pistón 2 del módulo dispensador (P1_D) se activa permitiendo que el frasco se desplace sobre la cinta transportadora. El frasco se desplace hasta activar el sensor fotoeléctrico en el módulo de llenado

(S_LL), esta señal activa al actuador lineal (AL_LL) y la electroválvula (EV_LL), el tiempo que está activada la electroválvula depende de la velocidad de llenado. Al cumplir dicho tiempo E_LL y AL_LL se desactivaran cortando el flujo de líquido y P2_D impidiendo el ingreso de frascos a la cinta. Al detectar la presencia de un frasco el sensor del módulo de tapado (S_T), activa el pistón de dicho modulo (P_T) impidiendo el avance del frasco. Al mismo tiempo se activa la ventosa de succión (VS_T), para asegurar que el actuador neumático giratorio (AG_T) no se active sin antes lograr una perfecta sujeción entre la ventosa y la tapa, se incluye un timmer que al trascurso de 400 [ms] activara el AG_T. Otro timmer desactivara AG_T para regresarlo a la posición A, en el tiempo que se efectúa esta acción la base de las tapas (M_T) debe girar y colocar una nueva tapa en la posición A. Cuando todo este proceso termina se desactiva VS_T y AG_T. Un timmer de 200 [ms] debe activarse antes de desactivar P_T, este tiempo es para cerciorar que la ventosa no esté en contacto con la tapa e impedir que este roce cambie la posición de la tapa sobre el frasco. El avance del frasco en la cinta transportadora interfiere el campo del sensor del módulo de sellado (S_S), esta señal activa el pistón 1 (P1_S) del módulo, con el frasco detenido se activa una secuencia “for” en la que está programado el avance y retroceso del pistón 2 (P2_S) del módulo, dicha acción ejerce una fuerza entre el pistón y la tapa logrando un sellado a presión. Al cumplirse la secuencia 3 veces el P1_S se desactiva, el contador n aumenta, y el programa se repite.

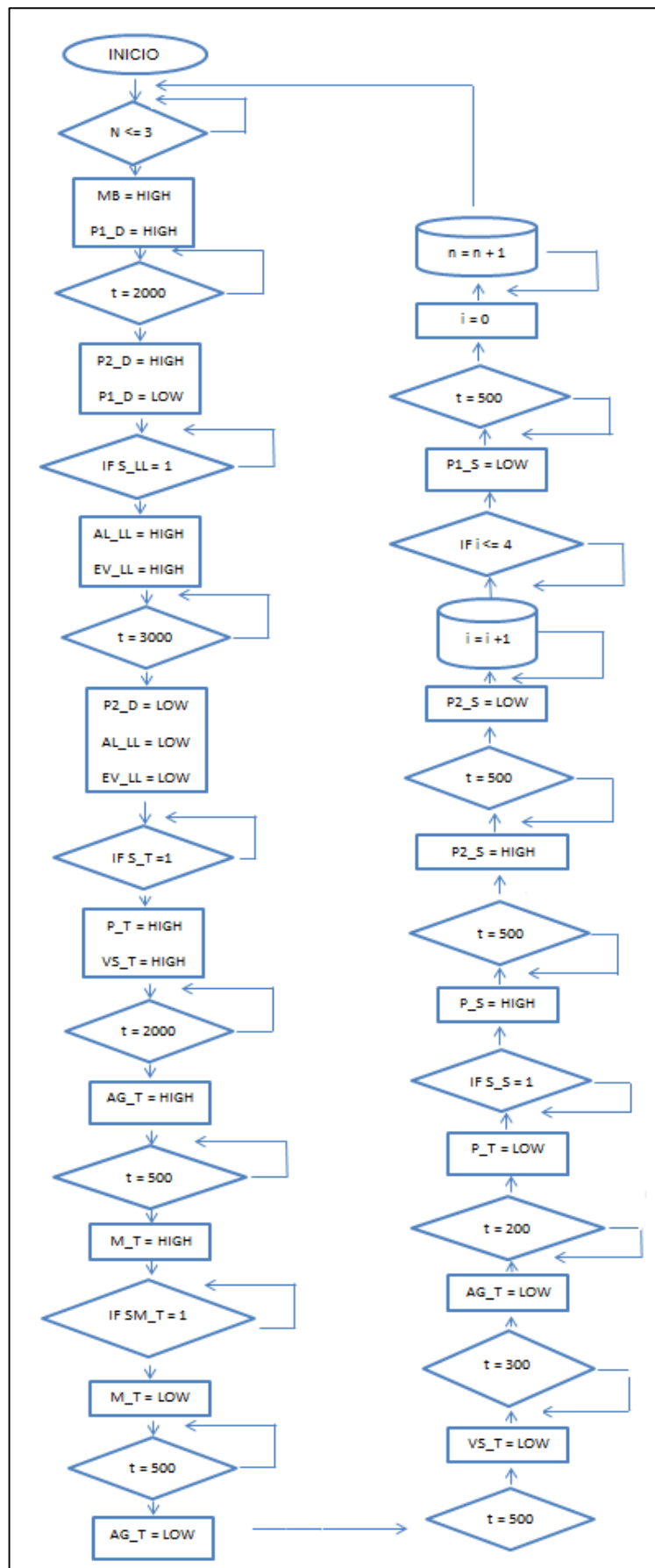


Figura 50: Diagrama de flujo de automatización

4.9.2 TABLEROS DE CONTROL

Para facilitar la conexión de todos los componentes de la estación mecatrónica el sistema de control está dividido en 2 tableros, el tablero de control TC001 que contiene todos los elementos para activar o desactivar los actuadores y enviar las señales de los sensores, y el tablero TC002 que contiene todos los componentes de control. En la figura 51 está el tablero de control TC001, la bornera BV001 contiene todas las conexiones eléctricas de la estación, estas líneas de control se transmiten a través de un cable a la bornera BV002 o BV003 ubicadas en el tablero de control TC002.

En bornera BE001 están las conexiones de los sensores y algunas fuentes de voltaje para los actuadores. En la bornera BE002 están los terminales de las electroválvulas neumáticas de la estación mecatrónica.

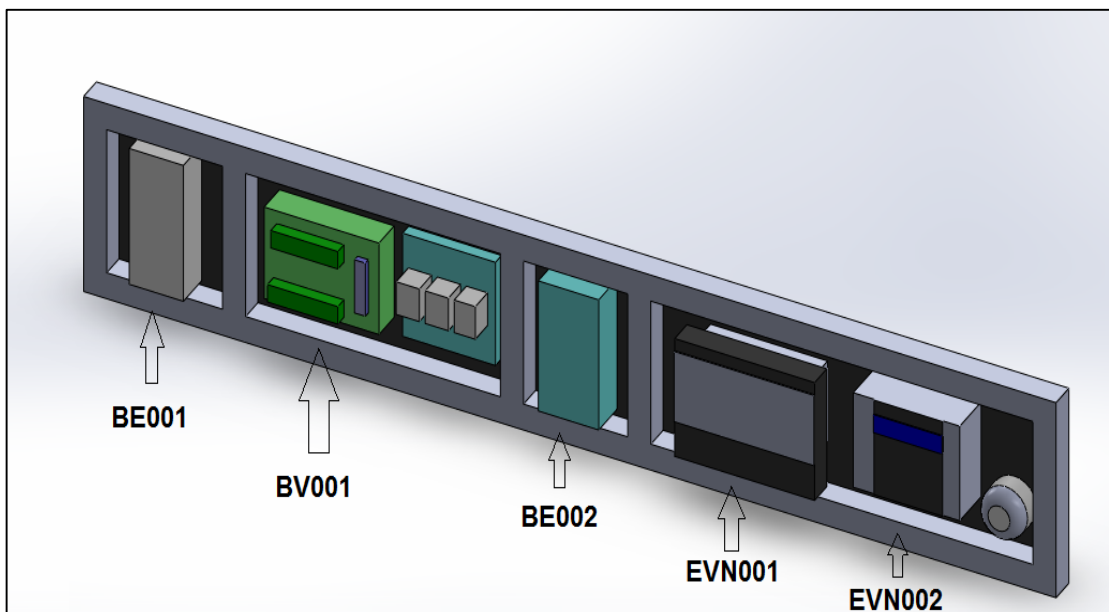


Figura 51: Tablero de control TC001

En la figura 52 está el diseño CAD del tablero de control TC002, contiene los componentes para el control, Arduino MEGA, PLC, BV002, BV003, TE001, TE002, RA001, RA002, PC001, BE003.

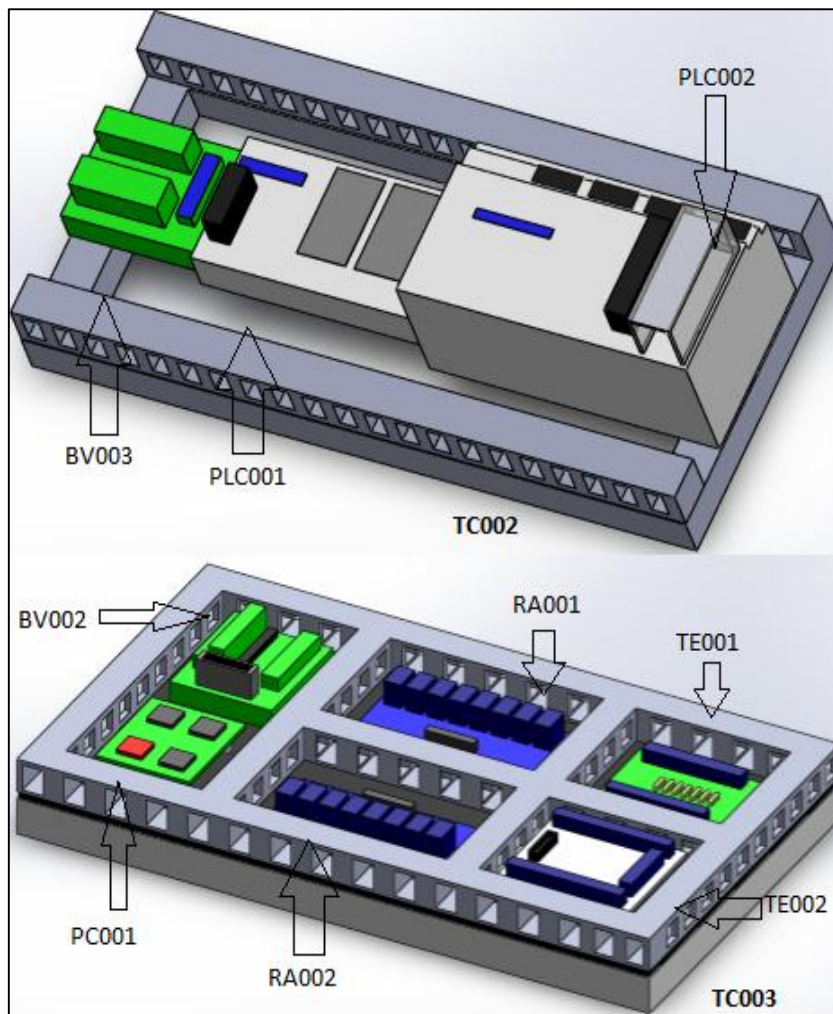


Figura 52: Tablero de control TC002 Y TC003

La bornera BV002 está conectada a los componentes del arduino, todas las salidas son controladas mediante las tarjetas de relés RA001 y RA002. Los sensores van conectados a TE001 que sirve como interfaz para que el arduino pueda procesar las señales de los sensores. El panel de control PC001 tiene 2 botones para iniciar el proceso de llenado y detener el proceso en caso de emergencia.

4.10 SISTEMA ELÉCTRICO DE LA ESTACIÓN MECATRÓNICA

Todas las conexiones eléctricas de los actuadores y sensores de la estación mecatrónica están conectadas a los componentes del tablero de control TC001, y las conexiones de control están en el tablero TC002.

En la figura 53 se observan las conexiones de la bornera BV001, los sensores tienen 4 hilos, 2 de alimentación y 2 de salida de relé. El cable blanco es el común para los relés y el cable gris es la señal de cada sensor. En esta bornera está la fuente de 12[v] para los sensores y de 24[v] para las electroválvulas y los relés.

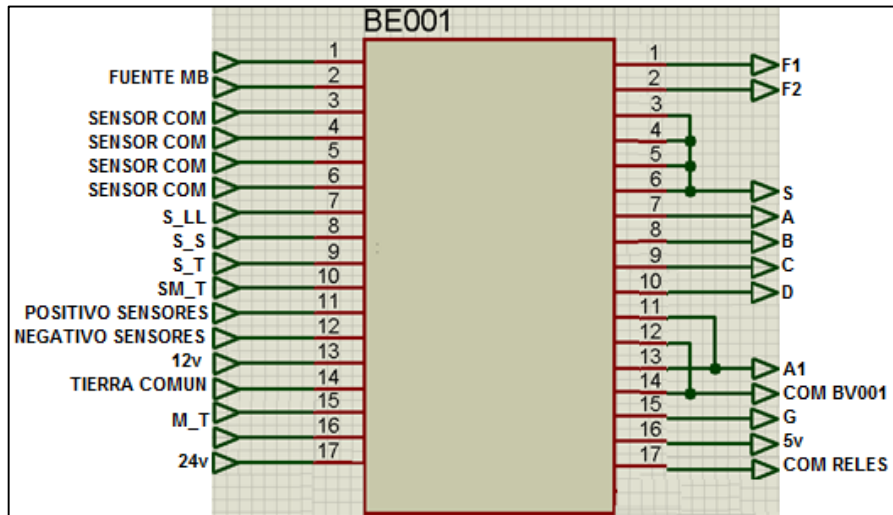


Figura 53: Conexiones de bornera eléctrica BE001

En la figura 54 se observan las conexiones de la bornera BE002, las bobinas de las electroválvulas neumáticas, la fuente del motor PAP y la señal de control del actuador lineal están conectadas en esta bornera. El común de las electroválvulas es 24[v].

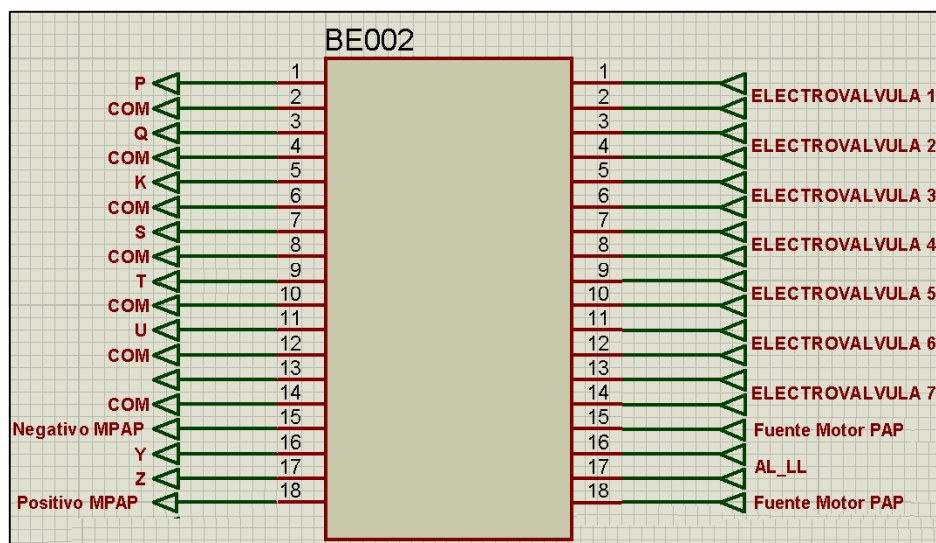


Figura 54: Conexiones de la bornera eléctrica BE002

En la figura 55 se observan las conexiones de los relés del tablero TC001, para la bomba y EV_LL la alimentación es 110[v] AC, los relés celestes funcionan con 24[v] y el relé amarillo con 12[v].

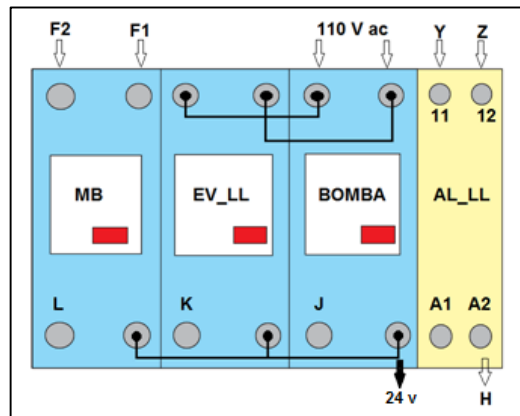


Figura 55: Conexiones de relés del tablero TC001

En la figura 56 se observan las conexiones de la bornera BV001, todas las conexiones para el control terminan en esta bornera, las líneas se transmiten a través de un cable hacia la BV002 o BV003, dependiendo del equipo de control que se desee utilizar.

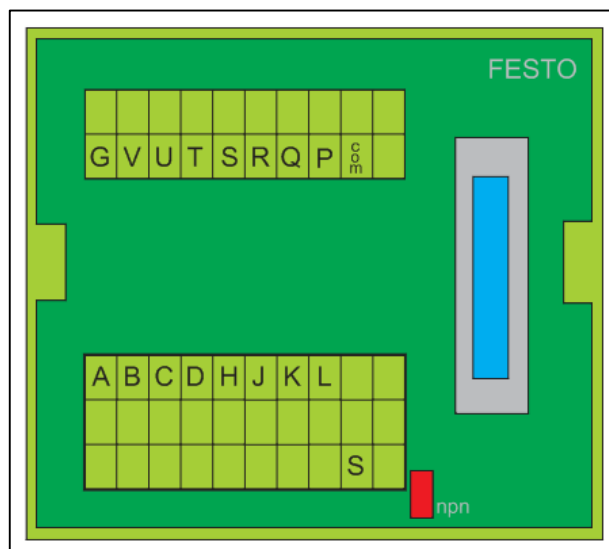


Figura 56: Conexiones bornera BV001

En la figura 57 se observan las conexiones del PLC001, el controlador está conectado directamente a la bornera BV003, los 24[v] de la alimentación van conectados al común de los sensores S.

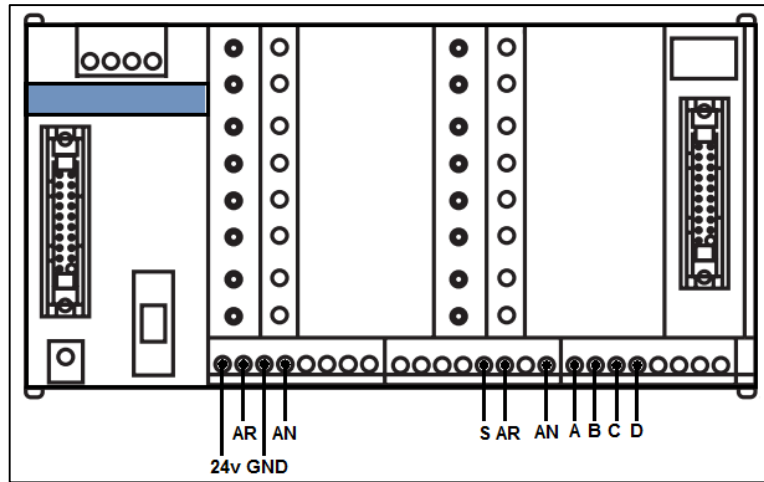


Figura 57: Conexiones del PLC001

En la figura 58 se observan las conexiones para PLC002, este es el módulo de salida digitales del PLC Modicom M340.

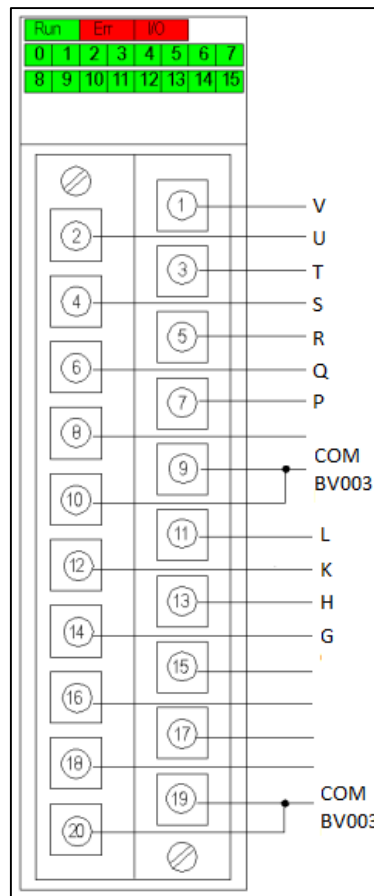


Figura 58: Conexiones tarjeta electrónica TE002

En la figura 59 se observan las conexiones de la tarjeta TE002, el diseño de esta tarjeta permite montarla sobre el Arduino mega para facilitar las conexiones.

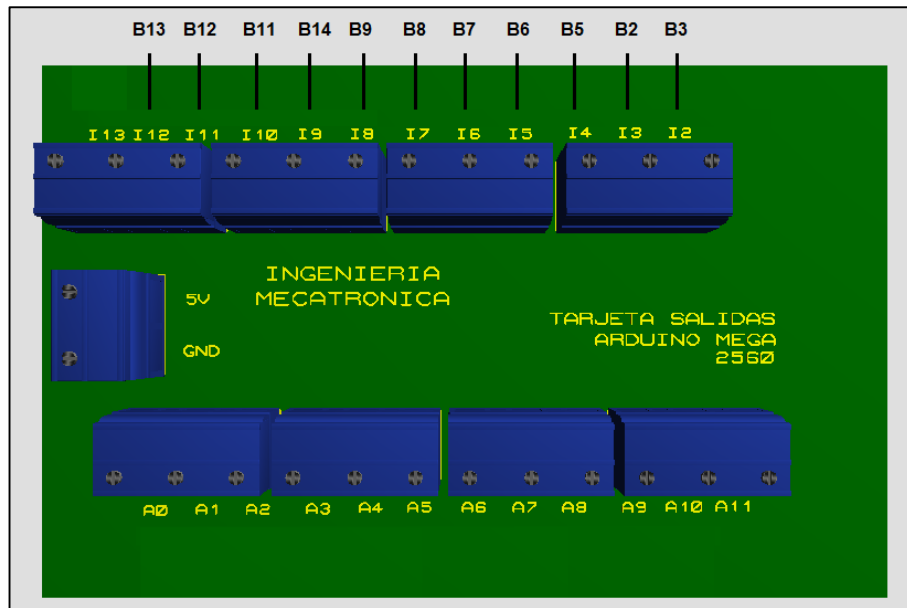


Figura 59: Conexiones de la tarjeta TE001

En la figura 60 se observan las conexiones de la tarjeta TE001, el diseño de esta tarjeta contiene un arreglo de resistencias necesarias para procesar las señales de entrada al Arduino mega, la tarjeta envía una señal inversa para el control.

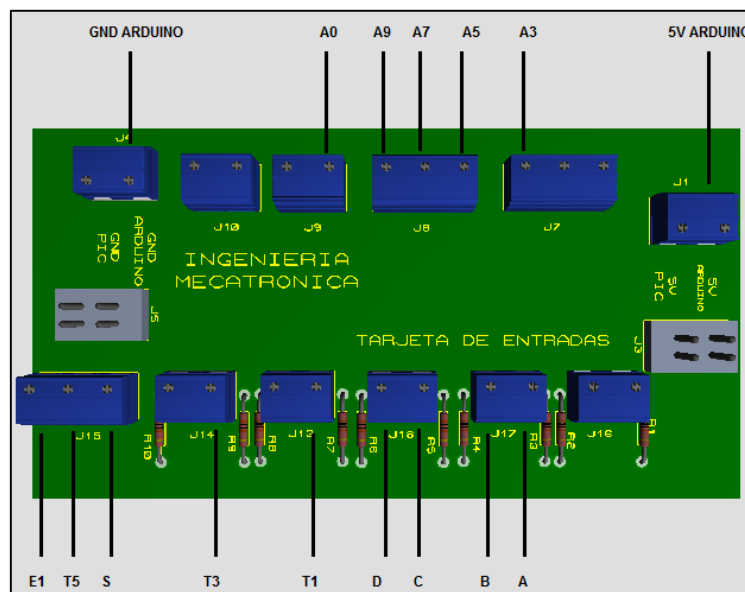


Figura 60: Conexiones bornera BE003

En las figuras 61 y 62 se observan las conexiones de las tarjetas RA001 y RA002, el común de todos los relés esta puentado y conectado a COM de la bornera BV002.

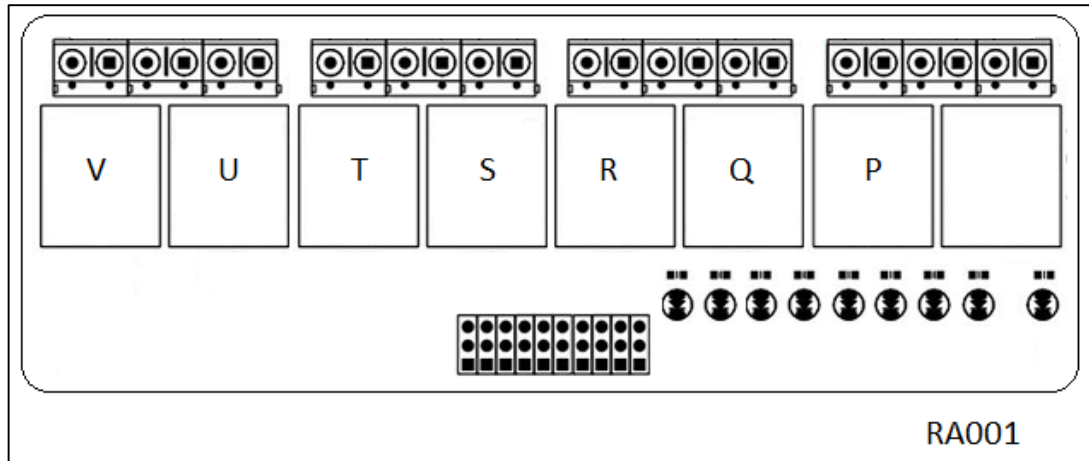


Figura 61: Conexiones de RA001

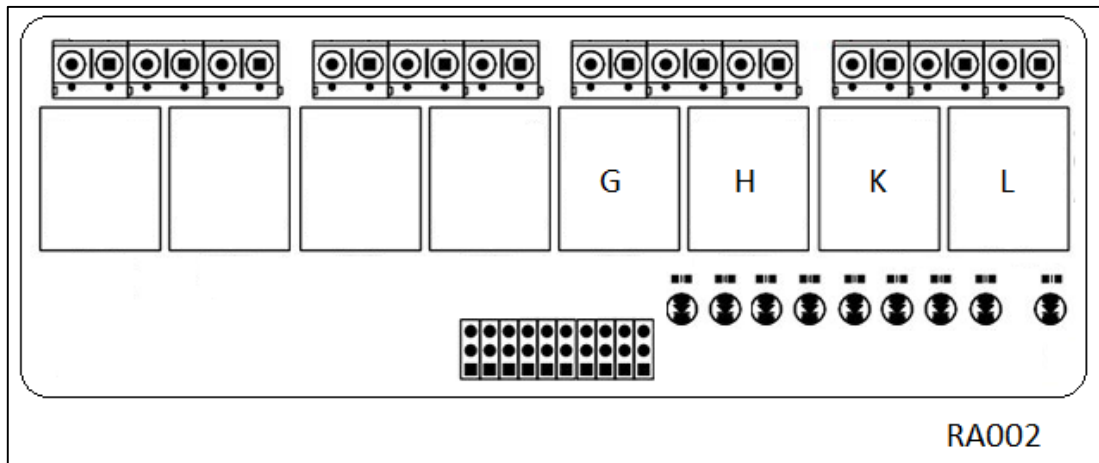


Figura 62: Conexiones de RA002

4.11 ESTACIÓN MECATRÓNICA

En las figuras 63 se observa las vistas isométricas de la estación mecatrónica, en el diseño propuesto se utiliza 12795[mm] de perfil de aluminio estructural, 5

pistones neumáticos, 4 sensores fotoeléctricos, 3 motores, 4 chumaceras, 67 borneras de tornillo, 7 electroválvulas neumáticas.

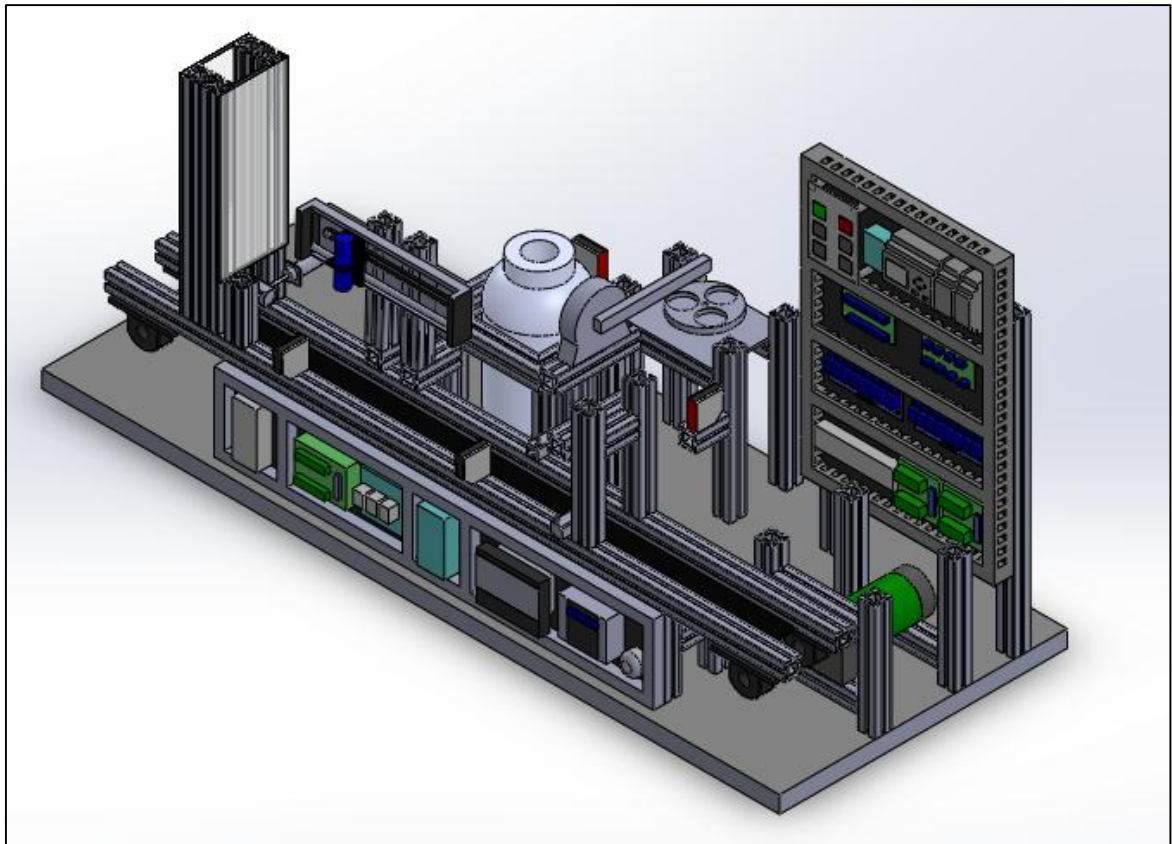


Figura 63: Estación mecatrónica

4.12 CONSTRUCCIÓN DE LA ESTACIÓN MECATRÓNICA

En las imágenes se observa la estación mecatrónica, todas las estructuras están construidas con aluminio estructural gris. La dimensión global de la estación es 800x145x60[mm].

4.12.1 MÓDULO DE TRANSPORTE

En la figura 64 se visualiza la conexión entre el motor y el eje principal de la banda, el material del acople es acero maquinado en torno para certificar precisión en la trasmisión de torque. Los ejes están diseñados en solidworks, el material de construcción es duralón.



Figura 64: Módulo de transporte

4.12.2 MÓDULO DISPENSADOR DE FRASCOS

En la figura 65 se observa el modulo dispensador de frascos, el material utilizado en las paredes del dispensador es acrílico, lo que facilita la visibilidad de los frascos ubicados, dentro del dispensador del módulo.



Figura 65: Módulo dispensador

4.12.3 MÓDULO DE LLENADO

En la figura 66 se observa el actuador lineal es un sistema de motor y banda, la base para la electroválvula es de plástico adherida a la banda y direccionada mediante un tubo guía generando un movimiento lineal proporcional al movimiento giratorio del motor a pasos.

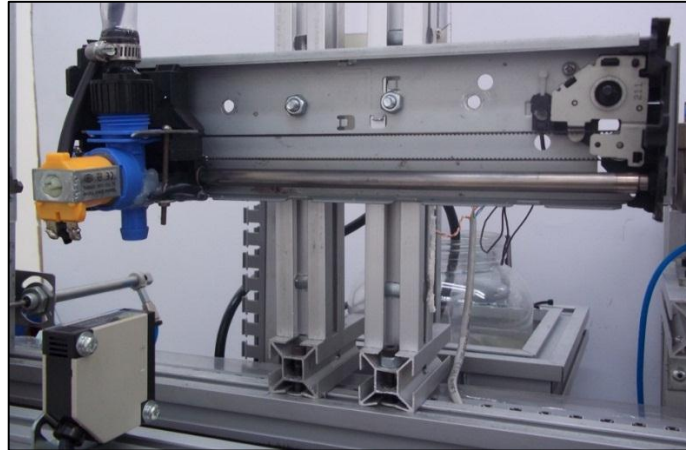


Figura 66: Actuador Lineal

En la figura 67 está la tarjeta electrónica para el control del actuador, dentro del contenedor de agua está la bomba conectada a la electroválvula a través de una manguera de 55[mm].



Figura 67: Módulo de llenado

4.12.4 MÓDULO DE TAPADO

El módulo de tapado se observa en la figura 68 y figura 69, la estructura de la base para las tapas está diseñada en solidworks y manufacturada en una impresora 3D el material de construcción es de plástico ABS.

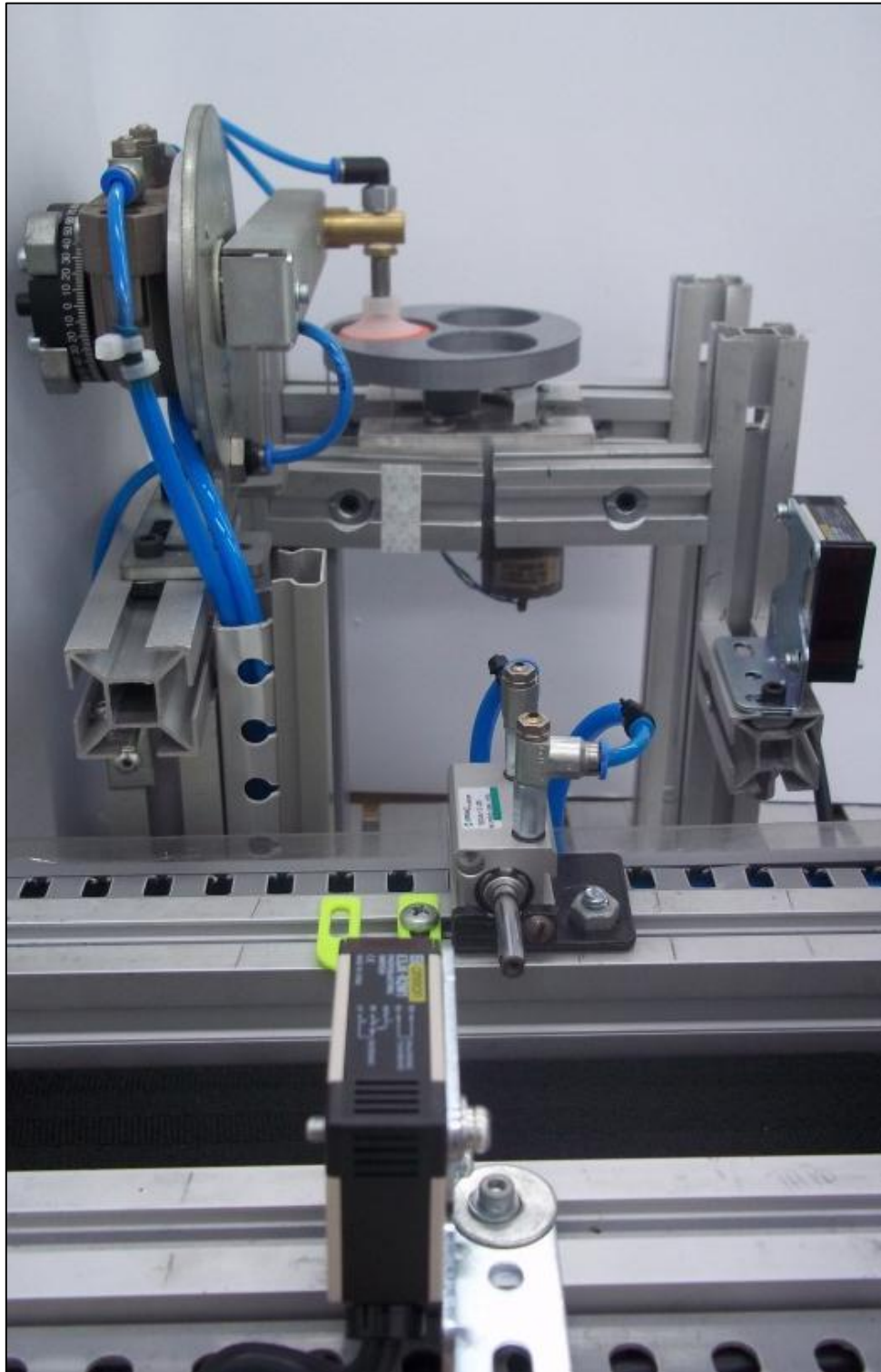


Figura 68: Módulo de tapado



Figura 69: Módulo de tapado

4.12.5 MÓDULO DE SELLADO

En la figura 70 están los pistones y la estructura del módulo de sellado.



Figura 70: Módulo de sellado

Para evitar el pandeo de la banda transportadora al momento de accionar el pistón P2_T una estructura está adherida a la bancada de la estación mecatrónica como se observa en la figura 71.



Figura 71: Estructura módulo de sellado

4.12.6 TABLEROS DE CONTROL

En la figura 72 está el tablero de control TC001 y en la figura 73 el tablero TC002, las bases de los tableros están construidas de madera MDF con los extremos recubiertos de canaleta para ocultar los cables.

El PLC, las borneras BV001, BV002, BV003, BE001, BE002, BE003 están montados sobre riel DIN.



Figura 72: Tablero de control TC002



Figura 73: Tablero de control TC001

En la figura 74 está la estación mecatrónica con todos los componentes.



Figura 74: Estación Mecatrónica

5. ANALISIS DE RESULTADOS

El análisis de la estación mecatrónica se fundamenta en la aplicación del sistema dinámico de llenado, típicamente en las líneas de producción la banda transportadora debe detenerse mientras la botella es llenada, con el sistema dinámico, se pretende reducir el tiempo de producción y eliminar el gasto eléctrico que genera el arranque del motor cada vez que se llene un frasco.

En la tabla 5 está el tiempo de producción por frasco, el tiempo reducido en cada ciclo es aproximadamente 4 segundos, lo que teóricamente evidencia que la aplicación de este sistema mecatrónico ayudaría a incrementar la productividad en una línea de llenado de botellas.

Tabla 5. Tiempos de ciclo entre el llenado dinámico y el llenado estático.

	Tiempo de ciclo 1	Tiempo de ciclo 2	Tiempo de ciclo 3	Tiempo total
LLENADO DINAMICO	34[s]	35[s]	35[s]	104[s]
LLENADO ESTATICO	39[s]	39[s]	40[s]	118[s]

Se realizar 3 pruebas con 3 frascos cada una para comprobar la repetitividad en el tiempo de productividad, en la tabla 6 se visualizan los resultados.

Tabla 6. Tiempos de ciclo entre el llenado dinámico y el llenado estático.

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
LLENADO DINAMICO	104[s]	105[s]	104[s]
LLENADO ESTATICO	118[s]	118[s]	119[s]

En la figura 75 se observa el rango de separación en los tiempos de producción aplicando el sistema dinámico (color azul) y el sistema estático (color rojo), en cada ciclo el tiempo economizado es aproximadamente 4 segundos y el tiempo de producción con el sistema estático es aproximadamente 39 segundos,

evidenciando que la aplicación del sistema dinámico ayuda a economizar aproximadamente el 11% del tiempo global de producción

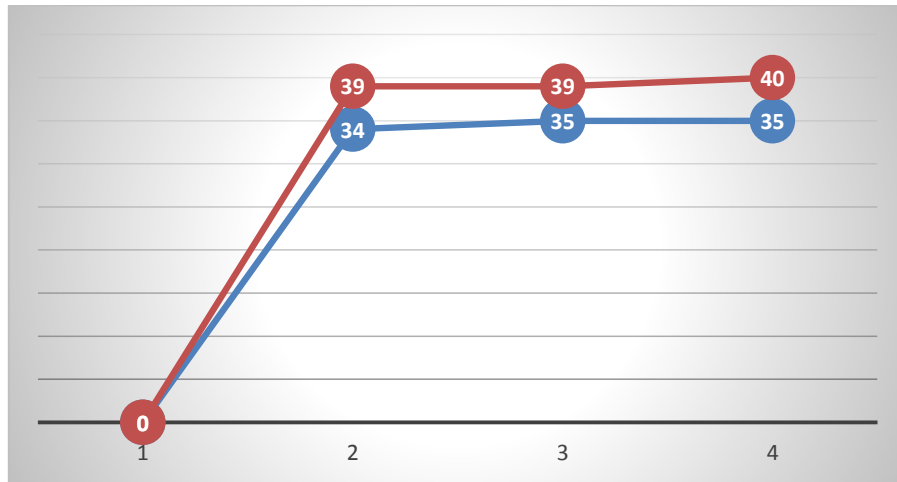


Figura 75: Comparación llenado dinámico y estático

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- El proyecto analizado cumple con el objetivo principal de diseñar y construir una estación Mecatrónica didáctica, que integre en un sistema, contenidos de aprendizaje en áreas de Automatización, Electrónica, Mecánica y Control.
- Los componentes electrónicos y mecánicos de la estación mecatrónica son fácil sustitución en caso de avería.
- El perfil aluminio utilizado permite diseñar estructuras fáciles de montar y desmontar, facilitando la construcción y rediseño de los módulos de la estación mecatrónica.
- Con la puesta en marcha de la estación mecatrónica se obtiene el tiempo aproximado para llenar la botella que es 4[s].
- Para lograr un alineamiento entre la botella y la electroválvula, la velocidad lineal aproximada de la banda debe ser 62.5 [mm/s].
- El tiempo de ciclo aproximado para llenar un frasco con el sistema dinámico es 35[s] y sin el sistema dinámico es aproximadamente 39[s].
- La aplicación de un sistema dinámico en la línea de producción de la estación mecatrónica genera un ahorro de tiempo aproximadamente de 4[s] por cada frasco, es decir el 11,5% del tiempo de producción.
- Considerando que la estación mecatrónica funciona 1[h], la aplicación del sistema dinámico incrementaría la producción en un 10%.

6.2 RECOMENDACIONES

- Para un buen funcionamiento de la estación mecatrónica se recomienda seguir los siguientes pasos antes de ponerla en marcha:
 - Comprobar el voltaje en la fuentes de la estación mecatrónica
 - Calibrar la velocidad entre el motor del actuador lineal y el motor de la cinta transportadora.
 - Verificar que la manguera del módulo de llenado este completamente llena de agua, caso contrario activar la bomba y la electroválvula hasta lograr el paso de agua.
 - Comprobar que el sistema este alimentado con aire comprimido.
 - Constatar que la base para las tapas en el módulo de tapado, este correctamente posicionado y con el sensor SM_T activado.
 - Alimentar de frascos al módulo dispensador y de tapas a la base en el módulo de tapado.

- El cable de datos entre el panel de control PC001 y PC002 debe estar desconectado durante el proceso de carga de programa al Arduino o al PLC.

- Es necesario cambiar constantemente el agua en el tanque de reserva del módulo de llenado, para evitar daños en la bomba y la electroválvula por utilizar agua descompuesta.

- Para un buen funcionamiento se debe realizar un mantenimiento en el módulo de transporte limpiando, ajustando, lubricando y alineando los ejes y la cinta.

BIBLIOGRAFÍA

- ADRIANMB. (26 de Diciembre de 2011). make-a-tronik.com. Recuperado el 24 de Noviembre de 2014, de <http://blog.make-a-tronik.com/tutorial-arduino-entradas-salidas-digitales/>
- Alciatore, D. (2007). Introducción a la mecatrónica y los sistemas de medición. Mexico: McGrawHill.
- Arduino . (s.f.). Recuperado el 18 de Octubre de 2014, de <http://www.arduino.cc/>
- Bishop, R. (2006). Mechatronics an introduction. Texas: Taylor & Francis.
- Bolton, W. (2010). MECATRÓNICA Sistemas de control electrico en ingeniería mecánica y electrica. Alfaomega.
- Bolzoni, M., Folli, G., Cima, G., Nucci, C., & Battistini, E. (s.f.). sistema de llenado para el sector de bebidas. Recuperado el 4 de Marzo de 2013, de http://www.ocme.it/adm/Media/gallery/Llenadora_es.pdf
- Bruno, L. (26 de Julio de 2010). Ingeniería Eléctrica Explicada. Recuperado el 15 de Febrero de 2013, de <http://ingenieriaelectricaexplicada.blogspot.com/2010/07/introduccion-los-cilindros-neumaticos.html>
- Cetinkunt, S. (2007). Mecatrónica. Chicago: Grupo editorial Patria.
- Chapman, S. (2006). Planificación y control de la producción. Mexico: Pretiende Hall.
- Escudero, A. (2009). La revolución industrial. Madrid: Anaya.
- Gallardo F, H. E. (2011). Diseño e implementación de un sistema modular didáctico para el control y monitoreo de un proceso de tapado de café para la escuela de ingeniería electrónica de la ESPOCH. Riobamba: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.
- Hibbeler, R. (2010). Ingeniería mecánica dinámica. México: Pretice Hall.
- KING RIGHT MOTOR. (s.f.). Recuperado el 18 de Octubre de 2014, de http://www.kingright.com.tw/es/2_2711_73233/product/Spur_Gear_Motor_id396677.html
- NationalInstruments. (7 de Febrero de 2008). Mecatrónica – Cinco Retos y Soluciones de Diseño para Constructores de Máquinas. Recuperado el 8 de Marzo de 2013, de <http://www.ni.com/white-paper/145/es/>
- Norton, R. (2004). Diseño de maquinaria. Massachusetts: McGrawHill.

- Reyes, F. (2 de Febrero de 2013). <http://www.saberesyciencias.com.mx/>. Recuperado el 14 de Enero de 2015, de <http://www.saberesyciencias.com.mx/>: <http://www.saberesyciencias.com.mx/sitio/component/content/article/10-portada/277-mecatronica>
- Sebastian, P., Vizcaíno, L., & Rafael, J. (2013). Sistemas integrados con arduino. MARCOMBO, S.A. .
- uk.farnell. (s.f.). <http://uk.farnell.com/>. Recuperado el 20 de Octubre de 2014, de <http://uk.farnell.com/omron-industrial-automation/e3jk-r2m1-us/photoelectric-sensor/dp/4616200>
- unimat. (s.f.). www.unimat.com. Recuperado el 20 de Octubre de 2014, de <http://www.unimat.com.cn/en/news.asp?ID=59>
- UTE. (s.f.). <http://www.ute.edu.ec/>. Recuperado el 16 de Enero de 2015, de <http://www.ute.edu.ec/Default.aspx?&idCategoria=118&idSeccion=152&idCarrera=6>
- Zinoviev, V. (1969). Teoria de los mecanismos y máquinas. Moscú: MIR.