



Diseño y construcción de una máquina dosificadora por desbordamiento variable para el llenado de botellas de aceite de palma en la empresa MEGACONTROL ubicada en la parroquia de Tumbaco.

Guanín Morán, Erick Gustavo y Torres Chuquimarca, Miguel Ángel

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Trabajo de Unidad de Integración Curricular, previo a la obtención del Título de Ingeniero en
Mecatrónica

Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

26 de Febrero del 2024

Latacunga



Plagiarism and AI Content Detection Report

Guanín Erick_Torres Miguel_Dosifica...

Scan details

Scan time: February 23th, 2024 at 12:42 UTC
 Total Pages: 99
 Total Words: 24642

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	1.5%	363
Minor Changes	0.7%	170
Paraphrased	1.4%	350
Omitted Words	6.7%	1660

AI Content Detection



Text coverage		Words
AI text	0.8%	187
Human text	99.2%	22795

[LEARN MORE](#)

Alerts: (1)

Cross Language: Same Document Language

Submitted language and cross-language text are the same language. No credits were used.

2/5 Severity



Plagiarism Results: (59)

Copleaks Internal Database

1%

CARLOS LEOVALDO LOAIZA JIMENEZ
 Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Copleaks Internal Database

0.5%

CARLOS LEOVALDO LOAIZA JIMENEZ
 No introduction available.

Copleaks Internal Database

0.5%

CARLOS LEOVALDO LOAIZA JIMENEZ
 No introduction available.

Firma:

Ing. Constanze Prócel, Patricia Nataly

Director



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de unidad de integración curricular: "Diseño y construcción de una máquina dosificadora por desbordamiento variable para el llenado de botellas de aceite de palma en la empresa MEGACONTROL ubicada en la parroquia de Tumbaco" fue realizado por los señores **Guanín Morán, Erick Gustavo** y **Torres Chuquimarca, Miguel Ángel**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 26 de febrero del 2024

Firma:

Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

C.C 0503354029



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Guanín Morán, Erick Gustavo**, con cédula de ciudadanía n° 1724141625 y **Torres Chuquimarca, Miguel Angel**, con cédula de ciudadanía n° 1718005042 declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de unidad de integración curricular: **Diseño y construcción de una máquina dosificadora por desbordamiento variable para el llenado de botellas de aceite de palma en la empresa MEGACONTROL ubicada en la parroquia de Tumbaco** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 26 de febrero del 2024

Firma

Guanín Morán, Erick Gustavo
C.C.: 1724141625

Firma

Torres Chuquimarca, Miguel Angel
C.C.: 1718005042



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Autorización de Publicación

Nosotros **Guanín Morán, Erick Gustavo**, con cédula de ciudadanía n° 1724141625 y **Torres Chuquimarca, Miguel Angel**, con cédula de ciudadanía n° 1718005042, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de unidad de integración curricular: **Diseño y construcción de una máquina dosificadora por desbordamiento variable para el llenado de botellas de aceite de palma en la empresa MEGACONTROL ubicada en la parroquia de Tumbaco**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 26 de febrero del 2024

Firma

Guanín Morán, Erick Gustavo
C.C.: 1724141625

Firma

Torres Chuquimarca, Miguel Angel
C.C.: 1718005042

Dedicatoria

A mi padre Silvio que nunca me dejó de apoyar a lo largo de toda mi vida universitaria, a mi madre Flor que siempre me llena de fuerza cuando ya me encuentro cansado, a mi hermano Mateo por depositar su confianza en mí, a mi hermano Jeremy por ser siempre la alegría de la casa y al resto de mi familia que siempre hemos compartido buenos momentos y tener fuertes vínculos, gracias por acompañarme a lo largo de mi vida universitaria hicieron que este pequeño momento sea una entretenida aventura.

Guanín Morán, Erick Gustavo

Agradecimiento

Principalmente a mi familia, mi padre Silvio, mi madre Flor, siempre me dieron ánimos en mis más duras caídas, a mis hermanos Mateo y Jeremy, por siempre brindarme su compañía y al resto de mi familia por brindarme siempre su ayuda cuando más lo necesitaba.

A la empresa MEGACONTROL por darnos la oportunidad de trabajar en la máquina, a las personas que componen esta empresa que supieron guiarnos a lo largo de nuestro trabajo de titulación y brindarnos su conocimiento y experiencia lo cual enriquece más nuestro crecimiento como futuros ingenieros.

Agradecimiento a nuestra tutora, la Ingeniera Patricia Constante por su gran trabajo a lo largo de la ejecución del proyecto de titulación, sus enseñanzas e indicaciones lograron encaminarnos a una correcta realización del presente proyecto, y a aquellos ingenieros que supieron brindar su correcto conocimiento a lo largo de la universidad, gracias a ellos he logrado crecer como futuro ingeniero

Agradezco a la Ingeniera Karina Novillo que realizó un gran trabajo al asesorarnos en cada momento que avanzábamos a lo largo del proyecto de titulación, gracias a ella logramos solventar muchas dudas y errores presentes.

Un agradecimiento extra al ingeniero Luis Fredy Basantes, su asesoramiento y sus conocimientos en estadística fueron una gran ayuda en el proyecto de titulación.

Y a aquellos amigos que acompañaron y compartieron los momentos felices y tristes, fáciles y difíciles a lo largo de la carrera en Mecatrónica

Guanín Morán, Erick Gustavo

Dedicatoria

Dedico este proyecto de titulación a mis padres, Rosa y Rene quienes tuvieron fe en mi para lograr llegar hasta este punto de mi vida y forjándome un camino a la superación

A mis hermanos Fabricio y Andrea que supieron apoyarme y darme fuerzas para alcanzar nuevas metas que sin ellos no podría haber cumplido.

Torres Chuquimarca, Miguel Ángel

Agradecimiento

A mis padres Rosa y Rene que nunca se rindieron conmigo, por estar siempre a mi lado en todo momento a pesar de las dificultades económicas, salud y muchas otras cosas que hemos tenido que superar a lo largo de esta trayectoria. Agradezco el esfuerzo infinito que han hecho para verme triunfar.

Agradezco a la empresa MEGACONTROL y a todos sus empleados y familias por brindarnos esta oportunidad de diseñar una máquina que no solo aumentará la productividad, sino que también mejorará la calidad de vida del operario y al ser una maquina hecha en Ecuador abrirá nuevas oportunidades tanto de empleo como de fabricación.

A mis docentes que se tomaron la molestia de impartir su conocimiento han logrado formar profesionales capacitados y competitivos en el mundo laboral. En especial a la Ingeniera Patricia Constante por su compromiso, paciencia y siempre guiarnos en la trayectoria de nuestra titulación

un agradecimiento especial para la ingeniera Karina novillo, la cual nos guio por el camino a tomar en lo que respecta al diseño del formato escrito de nuestro tema de titulación y un pequeño agradecimiento también al ingeniero Luis Fredy Basantes quien nos ayudó a solventar nuestras dudas, con ese empeño y dedicación que caracterizan a un buen docente.

Torres Chuquimarca, Miguel Ángel

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula	1
Reporte de verificación del contenido.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	7
Dedicatoria	8
Agradecimiento.....	9
Índice de contenido	10
Índice de figura	17
Índice de tablas.....	20
Resumen.....	22
Abstract	23
Capítulo I: Planteamiento del problema	24
Introducción.....	24
Objetivos del proyecto	25
<i>Objetivo general.....</i>	25
<i>Objetivos específicos</i>	25
Hipótesis	25

<i>Variables de investigación</i>	26
<i>Variables dependientes</i>	26
<i>Variables independientes</i>	26
Capítulo II: Fundamentación Teórica e Investigación	27
Línea de llenado	27
<i>Llenado en cabeza</i>	27
<i>Llenado a fondo</i>	27
Dosificación y llenado de botellas	27
<i>Llenadoras o dosificadoras por desbordamiento</i>	28
<i>Llenadoras o dosificadoras volumétricas</i>	29
<i>Llenadoras o dosificadoras gravimétricas</i>	30
Palma y aceite de palma	32
Requerimientos y especificaciones	33
Componentes principales	33
<i>Tablero de control</i>	33
<i>Sistema de transporte por placas articuladas</i>	34
<i>Tanques de almacenamiento</i>	35
<i>Sistemas de control y automatización</i>	35
<i>Controladores lógicos programables (PLC)</i>	36
<i>Interfaz humano-máquina HMI</i>	36
<i>Fuente de poder</i>	37
<i>Sistemas de protección</i>	38

	12
<i>Sensores fotoeléctricos</i>	38
<i>Variador de frecuencia</i>	39
<i>Electroválvulas neumáticas</i>	39
<i>Cilindros neumáticos</i>	40
<i>Roscador neumático</i>	41
Programación	41
<i>Grafcet</i>	41
<i>Lenguajes de programación en PLC</i>	42
KOP.	42
AWL.....	42
FUP.....	42
Capítulo III: Selección de materiales	43
Diseño conceptual	43
<i>Requerimientos</i>	43
<i>Probables etapas y mecanismos para el llenado de botellas</i>	43
<i>Necesidades del cliente</i>	44
<i>Material aportado por la empresa</i>	44
Sistemas y subsistemas	45
Diseño del sistema de dosificado	47
<i>Diseño mecánico</i>	47
<i>Sistema eléctrico y electrónico</i>	48
Parámetros del PLC (Controlador lógico programable).	48

Selección del PLC.....	50
Parámetros del HMI (Interfaz Humano Máquina).....	51
Selección del HMI.....	52
<i>Sistema neumático</i>	53
Parámetros del Pistón para abrir boquillas llenadoras por desbordamiento.	53
<i>Selección del Pistón</i>	54
<i>Parámetros de las electroválvulas</i>	56
<i>Selección de la electroválvula</i>	56
<i>Parámetros del variador de frecuencia</i>	58
<i>Selección del variador de frecuencia</i>	58
Diseño del sistema de transporte	60
<i>Requerimiento del concepto para cada elemento principal de cada subsistema</i>	62
<i>Selección del concepto para los elementos principales de cada subsistema</i>	63
Capítulo IV: Diseño y selección del sistema de llenado y monitoreo del aceite de palma	66
Diseño Mecánico	66
<i>Estructura base</i>	66
<i>Cálculos de la estructura mecánica</i>	67
<i>Porta boquillas</i>	73
<i>Sujeta porta boquillas</i>	77
Diseño eléctrico.....	79
<i>Elementos de seguridad</i>	80
<i>Dimensión de protección para los variadores de frecuencia entrada bifásica-salida trifásica</i>	81

<i>Dimensionamiento de protección para la fuente de voltaje y el PLC</i>	83
<i>Dimensionamiento de protección para el circuito del PLC</i>	866
Diseño del sistema electro-neumático.....	89
<i>Diagrama neumático</i>	93
Algoritmo de programación.....	93
Capítulo V: Implementación del sistema de llenado y monitoreo del aceite	96
Construcción de la parte mecánica.....	96
Implementación del sistema electrónico	98
Implementación del sistema electroneumático.....	100
Programación e Implementación de la interfaz de control y monitoreo.....	101
<i>Estructura del HMI</i>	101
<i>Pantalla de inicio</i>	102
<i>Pantalla de información (Información)</i>	103
<i>Pantalla de Menú (Menú)</i>	104
<i>Pantalla del modo Manual (Manual)</i>	104
<i>Pantalla del modo Automático (Auto)</i>	105
<i>Pantalla de Tiempos (Tiempos)</i>	106
<i>Pantalla de Botellas (BOTELLAS)</i>	106
Configuración del sistema.....	107
<i>Programa principal “Main”</i>	107
<i>Bloque de función “Manual”</i>	108
<i>Bloque de función “Automático”</i>	109

<i>Bloque de función “Salidas”</i>	110
Capítulo VI: Análisis de pruebas y resultados	112
Prueba preliminar	112
<i>Fase inicial</i>	112
<i>Calibración</i>	112
Tiempo de llenado.....	113
Velocidad de banda transportadora.....	115
Pruebas de peso de cada botella	117
<i>Botella de 100 cc</i>	118
<i>Botella de 350 cc</i>	119
<i>Botella de 600 cc</i>	120
<i>Botella de 1000 cc</i>	121
<i>Botella de 1100 cc</i>	122
Pruebas del cumplimiento de ciclo	123
<i>Botella 350 cc</i>	123
<i>Botella 600 cc</i>	124
<i>Botella 1000 cc</i>	125
Pruebas sin la máquina	126
<i>Pruebas de tiempo</i>	126
<i>Pruebas de peso</i>	127
Validación de hipótesis	128
<i>Mejora de eficiencia</i>	128

<i>Precisión del proceso de envasado</i>	129
<i>Aumento de la productividad</i>	135
<i>Reducción de costos de mano de obra</i>	135
Capítulo VII: Conclusiones y recomendaciones	136
Conclusiones	136
Recomendaciones	138
Bibliografía	139
Anexos	144

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Cabezal de llenado</i>	29
Figura 2 <i>Llenado de contenedores</i>	30
Figura 3 <i>Llenadora gravimétrica</i>	31
Figura 4 <i>Palma africana</i>	32
Figura 5 <i>Tablero de control</i>	34
Figura 6 <i>Banda transportadora</i>	34
Figura 7 <i>Tanque de almacenamiento</i>	35
Figura 8 <i>PLC</i>	36
Figura 9 <i>HMI</i>	37
Figura 10 <i>Fuente de poder</i>	37
Figura 11 <i>Fusible industrial</i>	38
Figura 12 <i>Sensor fotoeléctrico</i>	38
Figura 13 <i>Conexión de un variador de frecuencia</i>	39
Figura 14 <i>Electroválvula neumática de 3/2 vías</i>	40
Figura 15 <i>Cilindro de doble efecto</i>	40
Figura 16 <i>Roscador neumático</i>	41
Figura 17 <i>Dimensiones en mm de la boquilla de desbordamiento</i>	47
Figura 18 <i>Mesa giratoria</i>	60
Figura 19 <i>Banda transportadora</i>	61
Figura 20 <i>Componentes de transmisión por rodillo, por cinta y por cadena, respectivamente</i> ..	61
Figura 21 <i>Motor trifásico DELPHI 63C-4</i>	65
Figura 22 <i>Estructura principal</i>	66
Figura 23 <i>Fuerzas que intervienen</i>	68
Figura 24 <i>Distribución de Fuerza en la Banda</i>	69
Figura 25 <i>Distribución de fuerza</i>	69

Figura 26 <i>Carga distribuida con desplazamiento</i>	70
Figura 27 <i>Sección transversal cuadrada</i>	71
Figura 28 <i>Diagrama de porta boquillas</i>	73
Figura 29 <i>Diagrama de cálculos</i>	75
Figura 30 <i>Análisis de viga empotrada con voladizo</i>	77
Figura 31 <i>Convertidor de frecuencia CFW300 y convertidor de frecuencia SV004iG5A</i>	81
Figura 32 <i>Interruptor termomagnético EBS6BN y Fuente de voltaje DR-120-24V</i>	83
Figura 33 <i>Tipos de cables</i>	85
Figura 34 <i>Circuito de potencia</i>	86
Figura 35 <i>Porta fusibles 32 A y Fusible cerámico</i>	88
Figura 36 <i>Diagrama del circuito del PLC</i>	89
Figura 37 <i>Valores del compresor</i>	90
Figura 38 <i>Diagrama neumático</i>	93
Figura 39 <i>Graficet del sistema</i>	95
Figura 40 <i>Estructura de la base</i>	96
Figura 41 <i>Banda Transportadora</i>	97
Figura 42 <i>Separación porta boquillas</i>	97
Figura 43 <i>Colector</i>	98
Figura 44 <i>Riel din y canaletas</i>	99
Figura 45 <i>Componentes ubicados en el trasfondo del tablero</i>	99
Figura 46 <i>Componentes conectados</i>	100
Figura 47 <i>Válvula solenoide de 4 puertos</i>	100
Figura 48 <i>Pistones del sistema neumático</i>	101
Figura 49 <i>Estructura del HMI</i>	102
Figura 50 <i>Pantalla de inicio</i>	103
Figura 51 <i>Pantalla de información</i>	103

Figura 52 <i>Pantalla MENÚ</i>	104
Figura 53 <i>Pantalla del modo Manual</i>	105
Figura 54 <i>Pantalla de modo Automático</i>	105
Figura 55 <i>Pantalla de tiempos</i>	106
Figura 56 <i>Pantalla de botellas</i>	107
Figura 57 <i>Fragmento del programa principal</i>	108
Figura 58 <i>Fragmento del bloque de función “Manual”:</i>	109
Figura 59 <i>Fragmento del bloque de función “Automático”:</i>	110
Figura 60 <i>Programación de las salidas</i>	111
Figura 61 <i>Llenado de botellas</i>	112
Figura 62 <i>Rango de aceptación y el rango de rechazo para la hipótesis nula</i>	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Requerimientos del cliente</i>	44
Tabla 2 <i>Métricas</i>	45
Tabla 3 <i>Sistemas y Subsistemas</i>	46
Tabla 4 <i>Parámetros del PLC (Controlador lógico programable)</i>	49
Tabla 5 <i>Criterios de selección y alternativas para la selección del PLC</i>	50
Tabla 6 <i>Parámetros del HMI (Interfaz Humano Máquina)</i>	51
Tabla 7 <i>Criterios de selección y alternativas para el HMI del sistema eléctrico y electrónico</i>	52
Tabla 8 <i>Parámetros de los cilindros para abrir las boquillas por desbordamiento</i>	54
Tabla 9 <i>Criterios de selección y alternativas para el cilindro neumático del sistema neumático</i>	55
Tabla 10 <i>Parámetros de las electroválvulas</i>	56
Tabla 11 <i>Selección de la electroválvula</i>	57
Tabla 12 <i>Parámetros de los variadores de frecuencia</i>	58
Tabla 13 <i>Selección del Variador de Frecuencia</i>	59
Tabla 14 <i>Evaluación de los requerimientos de los elementos principales de los subsistemas</i> ..	62
Tabla 15 <i>Selección del concepto para los elementos principales de cada subsistema</i>	63
Tabla 16 <i>Propiedades Mecánicas de AISI 316</i>	67
Tabla 17 <i>Parámetro de pistón</i>	74
Tabla 18 <i>Propiedades de perfil</i>	76
Tabla 19 <i>Principales componentes que actúan en la máquina</i>	80
Tabla 20 <i>Consumo de corriente</i>	82
Tabla 21 <i>Consumo de corriente</i>	84
Tabla 22 <i>Consumo de corriente de los componentes del sistema de control</i>	87
Tabla 23 <i>Componentes neumáticos</i>	89
Tabla 24 <i>Características de los pistones</i>	91
Tabla 25 <i>Nomenclatura del GRAFCET</i>	94

Tabla 26 Prueba de llenado de botella 350cc.....	113
Tabla 27 Prueba de llenado de botella 600cc.....	114
Tabla 28 Prueba de llenado de botella 1000cc.....	114
Tabla 29 Frecuencia para botellas de 350cc.....	115
Tabla 30 Frecuencia para botellas de 600cc.....	116
Tabla 31 Frecuencia para botellas de 1000cc.....	117
Tabla 32 Equivalencias en gramos para cada botella sometidas a las pruebas de peso.....	118
Tabla 33 Pruebas de peso para botellas de 100 cc.....	118
Tabla 34 Prueba de peso para botellas de 350 cc.....	119
Tabla 35 Prueba de peso para botellas de 600 cc.....	120
Tabla 36 Prueba de peso para botellas de 1000 cc.....	121
Tabla 37 Prueba de peso para botellas de 1100cc.....	122
Tabla 38 Pruebas de cumplimiento de ciclo con botellas de 300cc.....	123
Tabla 39 Pruebas de cumplimiento de ciclo con botellas de 600cc.....	124
Tabla 40 Pruebas de cumplimiento de ciclo con botellas de 1000cc.....	125
Tabla 41 Pruebas de tiempo a mano.....	126
Tabla 42 Pruebas de peso a mano.....	127
Tabla 43 Tiempos de llenado con máquina vs sin máquina.....	129
Tabla 44 Media aritmética y Desviación estándar: 100, 350, 600, 1000, y 1100 cc.....	131
Tabla 45 Hipótesis nula y alternativa para los volúmenes de 100, 350, 600, 1000 y 1100 cc.....	132
Tabla 46 Chi calculado para los volúmenes 100, 350, 600, 1000, 1100 cc.....	133
Tabla 47 Aceptar de hipótesis nula/alternativa para botellas: 100, 350, 600, 1000 y 1100 cc.....	134

Resumen

El aceite de palma, un componente fundamental en las dietas de América Latina y el sudeste asiático, es extraído de la palma africana. Ante esta demanda creciente, la empresa MEGACONTROL, especializada en la fabricación de maquinaria de grado alimenticio, identificó una oportunidad estratégica en el mercado de empresas dedicadas a la producción de aceites y mantequillas. Con el objetivo de contribuir al desarrollo de futuros ingenieros en el país, se solicitó la colaboración de dos estudiantes de ingeniería mecatrónica para diseñar y construir una máquina dosificadora por desbordamiento variable. La máquina desarrollada tiene la capacidad de llenar botellas de 100 cc hasta 1000 cc, abordando así diversas necesidades del mercado. Mediante el aprovechamiento de los conocimientos de los estudiantes y la utilización de diferentes softwares, así como la implementación de un control lógico programable, se logró diseñar un sistema capaz de llenar simultáneamente hasta 6 botellas. El proceso de desarrollo incluyó rigurosas pruebas que evaluaron la precisión y eficiencia de la máquina. Estos ensayos permitieron no solo verificar el rendimiento del equipo, sino también mejorar la productividad global. La implementación de esta maquinaria no solo facilita el trabajo del operario en el proceso de llenado, sino que también contribuye a la reducción de contaminación y desperdicio, mejorando así la calidad de vida del personal involucrado en la producción. En resumen, la iniciativa de MEGACONTROL no solo se enfoca en la innovación tecnológica, sino también en la sostenibilidad y mejora de procesos para beneficio del medio ambiente y la sociedad.

Palabras clave: palma africana, máquina dosificadora, desbordamiento variable, control lógico programable.

Abstract

Palm oil, a fundamental component in the diets of Latin America and Southeast Asia, is extracted from the African palm. Faced with this growing demand, the company MEGACONTROL, specialized in the manufacture of food grade machinery, identified a strategic opportunity in the market for companies dedicated to the production of oils and butters. With the aim of contributing to the development of future engineers in the country, the collaboration of two mechatronic engineering students was requested to design and build a variable overflow dosing machine. The developed machine has the capacity to fill bottles from 100 cc up to 1000 cc, thus addressing various market needs. By taking advantage of the students' knowledge and the use of different software, as well as the implementation of programmable logic control, it was possible to design a system capable of simultaneously filling up to 6 bottles. The development process included rigorous testing that evaluated the machine's precision and effectiveness. These tests allowed not only to verify the performance of the equipment, but also to improve overall productivity. The implementation of this machinery not only facilitates the work of the operator in the filling process, but also contributes to the reduction of contamination and waste, thus improving the quality of life of the personnel involved in production. In summary, the MEGACONTROL initiative not only focuses on technological innovation, but also on sustainability and process improvement for the benefit of the environment and society.

Keywords: African palm, dosing machine, variable overflow, programmable logic control.

Capítulo I

Planteamiento del problema

Introducción

El aceite de palma es un producto que proviene del continente africano, en el cual su mayor auge fue en el año de 1960 en donde proporcionaba el 80% de las exportaciones al mundo entero, pero en la década de los 70, tanto América Latina como el Sudeste Asiático lograron establecer un mercado global en rápida expansión, en torno al aceite de palma y a la soya. (Hirsch, 2000; Follin, 2000).

Debido a esto en la dieta occidental se ha ido ingresando los aceites comestibles, edulcorantes, lo cual ha tenido un gran impacto en el suministro mundial de alimentos, por lo que automatizar el proceso de producción mediante máquinas de aspecto industrial y gobernados por un Controlador lógico programable (PLC), estos PLC's se utilizan para automatizar una muy grande variedad de procesos industriales, ya que se pueden cambiar el comportamiento del sistema sin cambiar los sistemas eléctricos de esta. (Abashar et al., 2017; Basu, 2015)

El método de llenado por desbordamiento es muy común al momento de llenar botellas tanto de vidrio como de plástico, además permite dosificar siempre un determinado nivel de líquido sin crear fugas o derramar material y también de poder manipular el nivel del líquido deseado. (Abashar et al., 2017)

El proceso de dosificado es una parte importante en la fabricación del producto terminado ya que es necesario que este mismo se mantenga en contenedores que pueden ser de vidrio o plástico, y debido a que en el mercado se exige calidad y cantidad, los PLC's son una tecnología de los sistemas industriales modernos, estos llegan a automatizar procesos que van desde campos de petróleos hasta sistemas de llenado, o en este caso dosificado, tienen

cierto rango de mejora y debido a su conexión con la interfaz humano-máquina (HMI) el operador tiene cierto control y monitoreo en las diferentes operaciones que se llegan a dar en el proceso o procesos industriales, debido a sus diferentes formas de conexión con respecto al HMI y a la facilidad de ajustarse a cualquier cambio no tan significativo para la operación del proceso se considera una opción muy flexible y óptima. (Abashar et al., 2017)

Objetivos del proyecto

Objetivo general

Diseñar y construir una máquina dosificadora por desbordamiento variable para el llenado de botellas de 100cc a 1000cc de aceite de palma en la empresa MEGACONTROL ubicada en la parroquia de Tumbaco.

Objetivos específicos

- Diseñar y construir una máquina dosificadora por desbordamiento variable mediante la aplicación de un software CAD para la selección de los materiales.
- Diseñar el sistema de control mediante la implementación de un software grafico para el control de las diferentes variables.
- Construir la máquina dosificadora mediante los diferentes procesos de producción para el ensamble de la máquina de llenado de 6 boquillas.
- Realizar pruebas de verificación por medio de diferentes funcionamientos repetitivos para la adquisición de datos y el mejoramiento del sistema de control.

Hipótesis

Se plantea que diseñar y construir una máquina dosificadora por desbordamiento variable para el llenado de botellas de 100cc a 1000cc de aceite de palma en la empresa MEGACONTROL, ubicada en la parroquia de Tumbaco, mejorará la eficiencia y precisión del proceso de envasado, aumentando la productividad y reduciendo los costos de mano de obra.

Variables de investigación

Para el desarrollo del presente proyecto de investigación se ha establecido el uso de variables dependientes e independientes.

Variables dependientes

Llenado de botellas de 100cc a 1000cc

Variables independientes

Máquina dosificadora por desbordamiento variable

Capítulo II

Fundamentación Teórica e Investigación

Línea de llenado

En la industria alimenticia se hace mención a el conjunto de equipos y maquinarias diseñadas para el llenado de envases con determinado producto, es indispensable tener en consideración puntos como: el pesaje, manipulación de recipientes llenos o vacíos y el transporte del producto final obtenido. Para un correcto llenado, se utiliza una serie de tuberías conectado a un sistema de bombeo para la circulación del producto líquido hasta su estación de dosificado, de esta manera se las pérdidas de presión y velocidad al mínimo. La sección final de una línea de llenado es una válvula de control esta mediante señales eléctricas o electrónicas que generan los sensores permiten la habilitación o el cerrado del paso del fluido.

Dependiendo la complejidad del proceso las válvulas que se utilizan en las líneas de llenado pueden ser gobernadas de manera eléctrica, neumática o hidráulica. Existen dos tipos de sistemas de llenado: de boquilla en cabeza o en fondo. (Salguero, 2011)

Llenado en cabeza

Es un sistema de uso general utilizado para la mayoría de llenado de productos, su uso radica más en materiales viscosos o suspensiones.(Salguero, 2011)

Llenado a fondo

Se utiliza para líquidos de baja viscosidad, con un punto de inflamación de 37.8 °C, en lugares que se utilice electricidad estática y en productos que generen cuando se manipula productos que producen efervescencia. (Salguero, 2011)

Dosificación y llenado de botellas

La dosificación es el proceso mediante el cual se envasa o llenan las botellas para las diversas ramas de la industria manufacturera, es poner una cantidad determinada de material

en un envase de producción industrial, este método se llega a realizar al final de la línea de producción. (Hidalgo, 2005; Salguero, 2011)

Para el proceso de dosificación manual, el operario llena cada botella o envase por sí mismo, en este tipo de procedimiento existe el riesgo de fugas y por ende de contacto directo entre el operario y el material líquido, la precisión de volumen tiene un rango amplio de error y la velocidad de llenado de la botella o recipiente por minuto depende mucho de la capacidad del usuario, es por eso que las máquinas automatizadas son una opción factible si se desea mejorar la calidad, menores tiempos de producción, disminuir los riesgos de fuga y un alto índice de precisión en el dosificado de líquidos. (Salguero, 2011)

Existen 3 tipos de dosificadoras a nivel industrial: llenadoras o dosificadoras por desbordamiento, llenadoras o dosificadoras volumétricas y llenadoras o dosificadoras gravimétricas.(Abashar et al., 2017)

Llenadoras o dosificadoras por desbordamiento

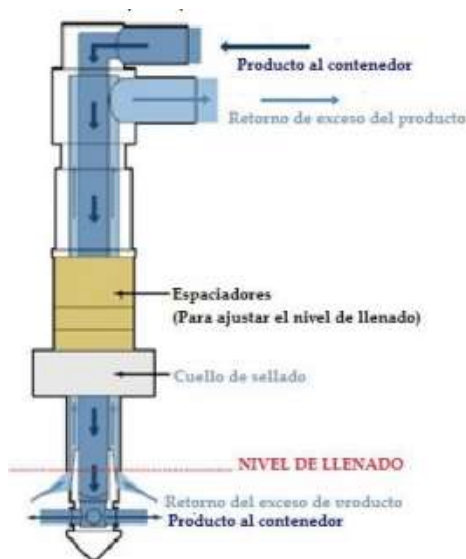
Las dosificadoras por desbordamiento son muy usadas para recipientes o botellas plásticas de consumo individual como aguas minerales, gaseosas, medicamentos embotellados, entre otros. Este tipo de llenado se caracteriza por no utilizar un volumen específico, pero requieren que todos los recipientes se llenen a una altura estándar, son ideales para líquidos espumosos puesto que operan en circuito cerrado a altas velocidades. Sin embargo, existen ciertas limitaciones entre ellas el no poder operar con líquidos con viscosidades mayores a 25000 cP y para productos que sean mayores al diámetro de 1/16. (Salguero, 2011)

En la Figura 1, se indica una dosificadora por desbordamiento el líquido entra en un contenedor mediante una válvula controlada, y a medida que el nivel aumenta, el exceso fluye sobre un desbordamiento conectado a un conducto de salida. La dosificación se controla

ajustando la velocidad de entrada con la válvula, lo que regula la cantidad de líquido que fluye sobre el desbordamiento. Este método proporciona una dosificación precisa y controlada en procesos químicos, alimentarios y farmacéuticos, donde es esencial medir con precisión la cantidad de líquido utilizado.

Figura 1

Cabezal de llenado



Nota. Tomado de (Salguero, 2011)

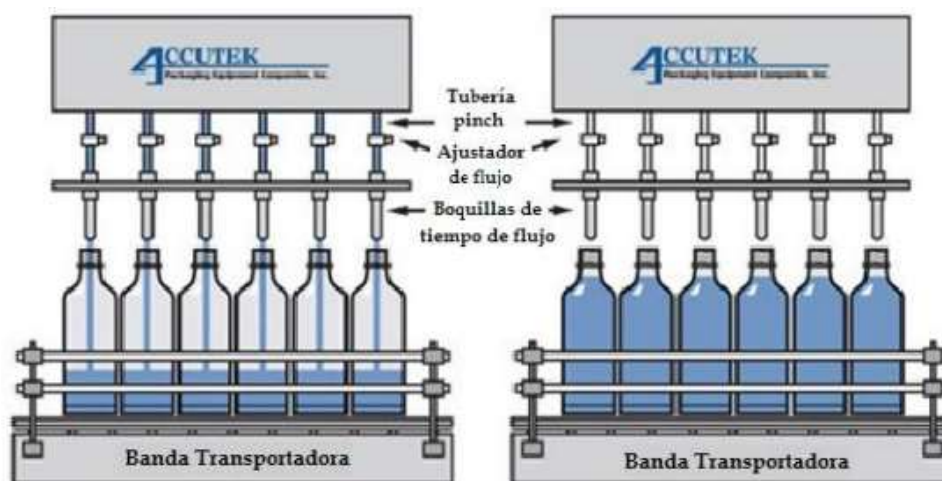
Llenadoras o dosificadoras volumétricas

Las dosificadoras volumétricas son dispositivos utilizados en procesos industriales para medir y dispensar cantidades específicas de material, ya sea líquido, polvo o gránulos, basándose en el volumen del material. Estas dosificadoras están diseñadas para proporcionar una dosificación precisa y consistente, asegurando una distribución uniforme del material en el proceso de producción. Para controlar el volumen del material colocado en cada dosificado es necesario modificar el tiempo, este puede controlarse por medio de un controlador, si se conoce la presión de la bomba y el diámetro interior. (Salguero, 2011)

Las dosificadoras volumétricas operan mediante un contenedor que almacena el líquido a dosificar. Incorpora un sistema de medida, como un cilindro o pistón, que mide con precisión el volumen del líquido. La entrada y salida del líquido se regulan mediante una válvula de control, y se ajusta la cantidad exacta a dosificar en cada ciclo. Una vez medida la cantidad adecuada, la dosificadora libera el líquido hacia el proceso de producción. Este proceso asegura una dosificación precisa y repetible de líquidos, siendo crucial en industrias como la alimentaria, farmacéutica o química, donde las proporciones exactas son esenciales para la calidad del producto final.(Salguero, 2011)

Figura 2

Llenado de contenedores



Nota. Tomado de (Salguero, 2011)

Llenadoras o dosificadoras gravimétricas

Las llenadoras o dosificadoras gravimétricas de líquidos son dispositivos industriales diseñados para medir y dispensar líquidos utilizando el peso como referencia. Su funcionamiento implica la medición precisa de la masa del líquido para lograr una dosificación exacta, entre los productos de alto nivel de manufactura se encuentran: “adhesivos, pinturas y metales preciosos disueltos en ácido”(Salguero, 2011)

El funcionamiento de este tipo de llenadora es de naturaleza simple en la Figura 3, se presenta una llenadora o dosificadora gravimétrica de líquidos que opera mediante un ciclo el cual comienza con la colocación de un contenedor en la plataforma de pesaje. Inicialmente, se registra el peso del contenedor vacío. A continuación, el líquido se dosifica de manera controlada en el contenedor y la plataforma de pesaje mide constantemente el peso total del contenedor y su contenido. La información de peso se envía al controlador de la llenadora este compara el peso actual con el objetivo predefinido. En base a esta comparación, el controlador ajusta dinámicamente la velocidad de dosificación para alcanzar la cantidad exacta de líquido deseada. Este proceso de realimentación en tiempo real y ajuste dinámico asegura una dosificación precisa y consistente. Una vez que se ha alcanzado el peso objetivo, la dosificación se detiene, y el contenedor lleno se retira de la plataforma de pesaje, dando paso al inicio de un nuevo ciclo con un nuevo contenedor. Esta metodología garantiza un control preciso del peso del líquido dosificado, siendo especialmente útil en industrias donde se requiere cumplir con estándares de calidad y regulaciones específicas. (Salguero, 2011)

Figura 3

Llenadora gravimétrica



Nota. Tomado de (Salguero, 2011)

Palma y aceite de palma

La palma africana es una especie de palma originaria del África tropical, aunque actualmente se cultiva en diversas regiones tropicales del mundo como se dice en (Mingorance & Minelli, 2004): “La palma de aceite o africana es una planta monocotiledónea perteneciente a la familia de las Palmaceae; es el cultivo oleaginoso que mayor cantidad de aceite produce por unidad de superficie.”. (Mingorance & Minelli, 2004)

Luego de haber sido extraído la materia prima del aceite, se obtienen dos tipos de productos: la oleína y la estearina, la primera, de naturaleza líquida, se usa para productos comestibles, la segunda, de naturaleza sólida, se usa para productos no comestibles. El Aceite de palma, que se hace a partir de la oleína, se usa principalmente en la cocina y también para producir mantequillas con bajo porcentaje de grasas trans, y es un ingrediente indispensable para la industria en la panadería, confitería, pastelería, etc.(Mingorance & Minelli, 2004)

Figura 4

Palma africana



Nota. Tomado de (Mingorance & Minelli, 2004)

Requerimientos y especificaciones

Las máquinas llenadoras o dosificadoras por desbordamiento variable tienen ciertos requerimientos o necesidades generales a cumplirse como:

- Ser una máquina automática
- Dosificar en variabilidad de envases
- Registrar el número de envases dosificados
- Ser flexible
- Ser una máquina de alta producción
- Dosificar productos viscosos
- Tener un rango de ampliación en sus cabezales (Rojas, 2006)

Por otro lado, su estructura, tiempo de llenado y control de volumen tienen que ver más con el modelo y con qué tipo de necesidades que se quiere cubrir, sin embargo, hay especificaciones que se cumplen en cada máquina dosificadora por desbordamiento, una de estas es el tipo de material que se utiliza para la estructura la gran mayoría de máquinas usan acero inoxidable AISI 306, deben tener una caja de control donde se encuentran las conexiones eléctricas y el controlador generalmente en el campo industrial se utilizan los PLC's, es necesario un sistema de transporte para las dosificadoras de envases lineales sus dimensiones cambian dependiendo de los requerimientos del cliente, debe existir un sistema de dosificación conformados por tanques de almacenamiento, por mangueras de grado sanitario y por boquillas llenadoras por desbordamiento variable. (Rojas, 2006; Gallegos, 2015)

Componentes principales

Tablero de control

Es una herramienta en la que se puede realizar todo tipo de conexión eléctrica y electrónica para ejecutar los procesos de control que gobiernan la máquina, el tablero de

control debe estar construido de tal forma que garantice la seguridad tanto del operario como de los componentes electrónicos, una vez que se haya energizado la maquinaria, un ejemplo de cómo debe verse el interior del tablero de control se observará en la Figura 5. (Cumbal & Fuentes, 2013)

Figura 5

Tablero de control



Nota. Tomado de (SERPIMETAL, 2023)

Sistema de transporte por placas articuladas

Un sistema de transporte por placas articuladas es un tipo de sistema de transporte industrial que es utilizado para mover materiales de gran tamaño, peso, que son demasiado calientes o afilados para las cintas transportadoras convencionales. Estos sistemas son robustos y resistentes al desgaste, y están diseñados para soportar condiciones adversas. Las placas articuladas son piezas de metal unidas entre sí, formando una cadena que se mueve a lo largo de un camino definido, transportando los materiales de un lugar a otro. (Gallegos, 2015)

Figura 6

Banda transportadora



Nota. Tomado de (Gallegos, 2015)

Tanques de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento son recipientes o depósitos utilizados para guardar y preservar líquidos manteniéndolos en un lugar seguro al producto o material para hacer uso de este en procesos como la dosificación y comercialización. Los tanques pueden mantener determinada presión dentro de ellos, por lo general son de características cilíndricas y de fondo plano se dividen en dos tipos: cilíndricas horizontales y cilíndricas verticales de fondo plano, en la Figura 7, se observará un tanque de almacenamiento horizontal. (Salguero, 2011)

Figura 7

Tanque de almacenamiento



Nota. Tomado de (INOXI, 2018)

Sistemas de control y automatización

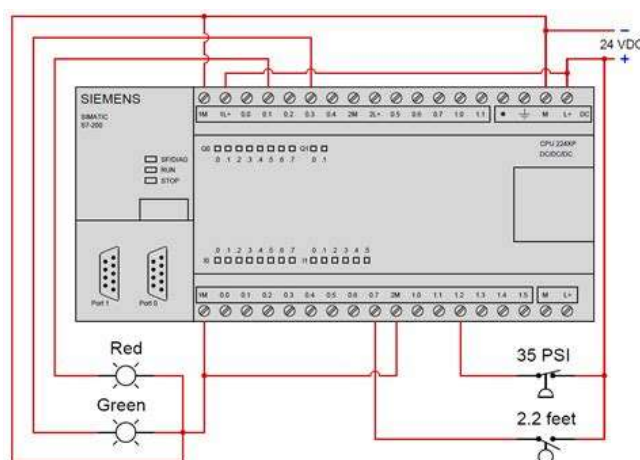
La automatización es la cualidad que poseen los procesos de aspecto físico de realizar tareas de manera autónoma, en el área de la automatización industrial el concepto se aplica a la autonomía de los procesos industriales y donde la intervención humana es mínima. (Huerta & Torres, 2019)

Controladores lógicos programables (PLC)

El controlador lógico programable, mejor conocido como PLC o autómeta programable, es la computadora de los procesos industriales, y tiene por objetivo proporcionar un control preciso y confiable en los procesos de esta manera se ofrece a la industria adaptabilidad y mejora en la eficiencia de la producción, en la Figura 8, se observa el diagrama de un PLC SIEMENS. (Mora, 2019)

Figura 8

PLC



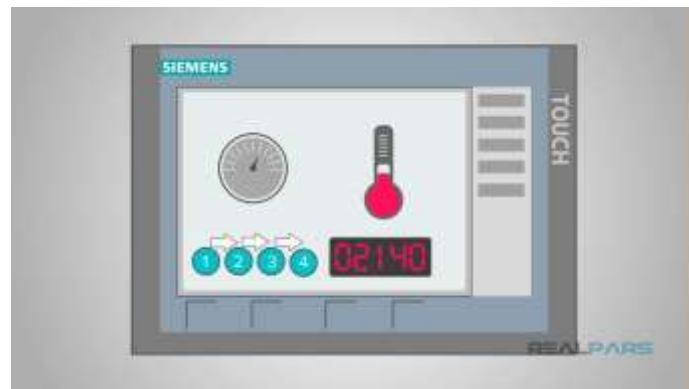
Nota. Tomado de (Staff, 2017)

Interfaz humano-máquina HMI

La interfaz humano-máquina, es un sistema que permite la interacción entre los usuarios y los sistemas automatizados, juegan un papel crucial en la automatización industrial facilitando la comunicación bidireccional entre humanos y máquinas. El operador puede controlar o monitorear la maquinaria desde la HMI, puede incluir información como temperatura, presión, pasos de proceso productivo, cálculo de materiales necesarios, posiciones exactas de las líneas de producción, control de los niveles de los tanques con materias primas entre otras muchas más funciones (Mora, 2019)

Figura 9

HMI



Nota. Tomado de (Measurement, 2019)

Fuente de poder

Una fuente de poder, también conocida como fuente de alimentación, es un dispositivo electrónico que suministra energía eléctrica a un dispositivo o sistema. Su función principal es transformar la energía eléctrica de una forma a otra para proporcionar la tensión y corriente necesarias para alimentar componentes electrónicos. Existen distintos tipos de voltajes los cuales son: corriente alterna y continua, estos pueden ser estáticos o regulables, el voltaje más común es de 24VDC, la función que realizan es de dar alimentación energética, se puede tomar como ejemplo de una fuente de poder la Figura 10. (Pérez, 2018)

Figura 10

Fuente de poder



Nota. Tomado de (T.I.M, 2020)

Sistemas de protección

Los sistemas de protección son conjuntos de mecanismos y dispositivos diseñados para prevenir y responder a situaciones de riesgo para los equipos, con el objetivo de minimizar los daños causados por fallas sobre la maquinaria, de esta manera se aíslan los componentes que podrían ocasionar fallas. En la Figura 11 se puede apreciar un sistema de seguridad conocido comúnmente como fusibles. (FIGUEROA, 2021)

Figura 11

Fusible industrial



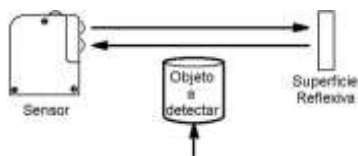
Nota. Tomado de (User, 2021)

Sensores fotoeléctricos

Son sensores que reaccionan a los diferentes tipos de radiación luminosa: ultravioleta, infrarroja, visible, etc. Un ejemplo de esto sería las celdas solares debido a que, al estar en presencia de la luz ultravioleta, el material conductor crea una corriente eléctrica. Existen otros sensores que tienen distintos estímulos a los que reaccionan. Véase el funcionamiento en la Figura 12 (Guarella, 2011)

Figura 12

Sensor fotoeléctrico



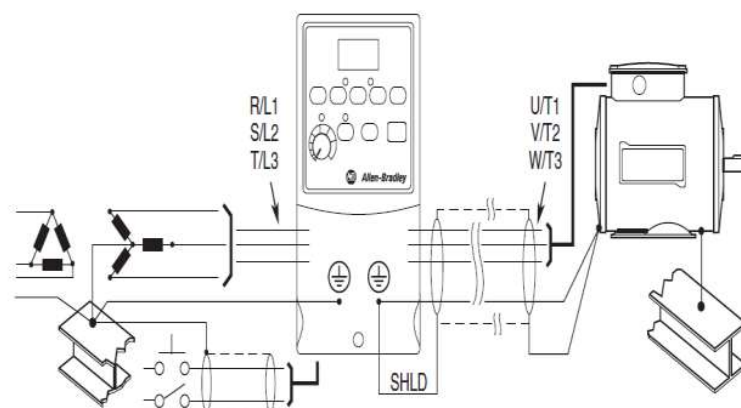
Nota. Tomado de (Mansuera, 2015)

Variador de frecuencia

Conocido como variador de velocidad o inversor de frecuencia, es un dispositivo electrónico utilizado para controlar la velocidad y el par de un motor eléctrico al variar la frecuencia y la tensión suministrada al motor. Estos dispositivos son comúnmente utilizados en aplicaciones industriales y comerciales para controlar la velocidad de motores eléctricos, utilizados en bombas, ventiladores, transportadores y otras maquinarias, La Figura 13 indica la conexión de un variador de frecuencia. (Erazo, 2012)

Figura 13

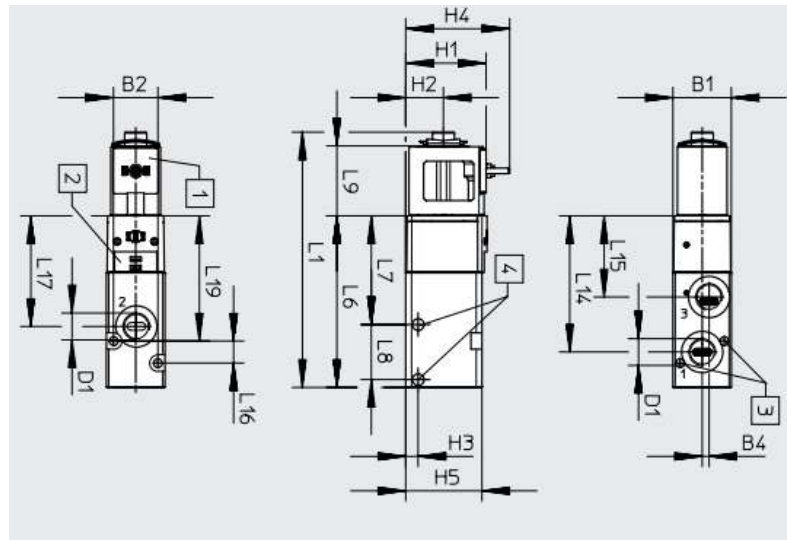
Conexión de un variador de frecuencia



Nota. Tomado de (Rojas, 2006)

Electroválvulas neumáticas

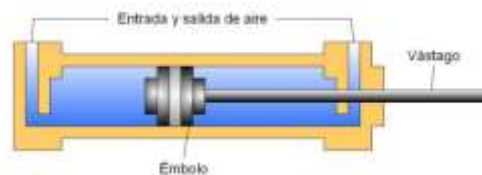
Las electroválvulas neumáticas son dispositivos utilizados para controlar el flujo de aire en sistemas neumáticos mediante la acción de una bobina electromagnética. Estas válvulas son comúnmente utilizadas en la automatización industrial y sistemas de control que operan con aire comprimido, en la Figura 14, se puede apreciar una electroválvula de 3/2 vías. (Beltrán, 2011)

Figura 14*Electroválvula neumática de 3/2 vías*

Nota. Modificado de (FESTO, 2023)

Cilindros neumáticos

Los cilindros neumáticos son dispositivos mecánicos utilizados en sistemas neumáticos para realizar movimientos lineales mediante la aplicación de presión de aire. Estos cilindros convierten la energía de aire comprimido en movimiento mecánico. El cilindro neumático funciona aprovechando la presión del aire comprimido. Cuando el aire se introduce en el cilindro, genera una fuerza que empuja o tira de un émbolo, produciendo un movimiento lineal. La Figura 15 indica el funcionamiento de un cilindro doble efecto. (SERRANO, 2010)

Figura 15*Cilindro de doble efecto*

Nota. Tomado de (Gallegos, 2015)

Roscador neumático

Un roscador neumático es una herramienta que utiliza energía neumática para realizar el roscado de tornillos o pernos en materiales como metal, plástico o madera. Este elemento se encuentra al final del dosificado y su función es realizar el sellado de los envases previamente dosificados, es de naturaleza neumática, lo que significa estar conectado a una red de aire comprimido, una vez que se encuentra realizando la presión sobre el sello o la tapa, el roscador neumático se lo puede observar en la Figura 16.(Gallegos, 2015)

Figura 16

Roscador neumático



Nota. Tomado de (Gallegos, 2015)

Programación

La programación se refiere al proceso de diseñar e implementar un conjunto de instrucciones que una computadora puede seguir para realizar una tarea específica. Estas instrucciones están escritas en un lenguaje de programación y se utilizan para crear software, que puede abordar una amplia variedad de aplicaciones y funciones. (RODRIGUEZ & FERRARIS, 2010)

Grafcet

Mientras la evolución de los controladores lógicos programables o PLC, avanzaban también lo hacían las necesidades, ya que en algún momento era necesario presentar un controlador lógico robusto con gran número de salidas y entradas, a este punto era necesario describir la secuencia de los estados de un sistema de eventos discretos, tener en cuenta que

algunos subsistemas son parcialmente independientes, pocas entradas afectan un estado y pocas salidas pueden cambiar y tener conocimiento completo del comportamiento de entrada-salida de un controlador lógico.(René, 1995)

El modelo Grafset surgió de estas necesidades, tiene su origen en las redes de Petri. Las redes de Petri son una herramienta gráfica que permiten modelar el comportamiento secuencial y la concurrencia. Un lugar en una red de Petri (PN) corresponde a un componente del Estado. De ello se deduce que cuando un solo cambia el componente, cambia el estado.(René, 1995)

Lenguajes de programación en PLC

KOP. Son operaciones lógicas con bits, estas operan con dos estados, 1 y 0. Estos dos dígitos son la base del sistema binario. Cuando se refiere a los contactos y bobinas, un 1 tiene la nominación de: activado "conductor" y 0 tiene la nominación de: desactivado "no conductor".(Morales, 2019)

AWL. Lenguaje textual orientado al CPU. Las instrucciones son pasos de acción por los que la máquina realiza el programa y se pueden agrupar por segmentos. Mediante este lenguaje es posible editar bloques S7 de forma incremental o crear su programa en una fuente AWL con un editor orientado a la fuente para compilarlo luego en bloques.(Morales, 2019)

FUP. Lenguaje gráfico que por medio de cuadros del álgebra booleana llega a representar la lógica. Puede realizar funciones complejas (por ejemplo, funciones matemáticas) usando cuadros lógicos. Si existe mucha lógica booleana en serie, es más compacto y más fácil de ver el segmento completo.(Morales, 2019)

Capítulo III

Selección de materiales

En este capítulo se presenta requerimientos, necesidades del cliente, de esta manera se generará las métricas y se realizará la selección de componentes para la construcción y el ensamblaje de la parte mecánica, eléctrica-electrónica y de control.

Diseño conceptual

Requerimientos

Los requerimientos para el diseño son los siguientes:

- Compatibilidad con botellas que en un rango entre 100cc hasta 1000cc.
- Capacidad de producción mínimo 12 botellas x minuto.
- Distribución de componentes.
- Peso total
- Una interfaz gráfica que pueda manipular los parámetros de la máquina.

Probables etapas y mecanismos para el llenado de botellas

Al no disponer de la idea original sobre cómo operará una máquina, se procede a reconocer las fases potenciales que llevará a cabo dicho dispositivo, las cuales son:

- Traslado de botellas
- Llenado del embace de alimentación
- Elevar el número correcto de botellas
- Suministrar el líquido en las botellas en un tiempo definido
- Regresar las botellas al sistema de traslado

Necesidades del cliente

Los requerimientos que se encuentran en la Tabla 1 son solicitados por parte de la empresa MEGACONTROL, estos serán fundamentales en la parte de construcción y diseño de la máquina llenadora de botellas, cada requerimiento es calificado de 1 a 5, donde 1 es de menor importancia y 5 de mayor importancia.

Tabla 1

Requerimientos del cliente

N°	Necesidades	Importancia
1	Dosificación de productos viscosos	5
2	Alta velocidad de producción	4
3	Variabilidad en envases de 100cc a 1000cc	4
4	Área de trabajo de 2500x400	3
5	De fácil uso	5
6	Peso moderado	2
7	Mesa lineal	4
8	Grado alimenticio	5
9	Capacidad de producción	5
10	Bajo costo	4
11	Fácil mantenimiento	4

Mediante los Requerimientos de la Tabla 1 se realiza las métricas de mayor importancia para cumplir con los requerimientos del cliente.

Material aportado por la empresa

La empresa MEGACONTROL, especializada en el diseño y construcción de maquinaria industrial para el sector alimenticio, proporcionó varios materiales necesarios para la ejecución del proyecto. Los detalles específicos de estos materiales se encuentran detallados en la Tabla 2.

Tabla 2*Métricas*

N° métrica	N° Requerimiento	Métrica	Unidad
1	1,8,7,11	Acero inoxidable	HRB
2	1,2,9	Velocidad de producción	N° botellas/min
3	4,7	Dimensiones	mm
4	5	Interfaz gráfica	subj
5	6	Peso	Kg
6	2,9	Tiempo de dosificado	s
8	10,5	Precio	\$
9	3	Adaptación de volumen	%

La claridad en los requisitos del cliente facilita la selección de materiales, ya que proporciona una visión más concreta del diseño de la máquina. Esto permite abordar con mayor precisión cada sistema y subsistema dentro de la maquinaria.

Sistemas y subsistemas

La máquina dosificadora se encargará de llenar botellas plásticas PET con aceite de palma, utilizando el método de llenado por desbordamiento, un proceso común en la industria. Este proceso estará bajo control mediante parámetros ajustables en la Interfaz Humano-Máquina (HMI), brindando al usuario un control total sobre el llenado.

La máquina dosificadora por desbordamiento variable, diseñada específicamente para el envasado de aceite de palma en botellas, estará compuesta por dos sistemas principales: el Sistema de Transporte y el Sistema de Dosificado. La organización detallada de estos sistemas, junto con sus respectivos subsistemas y elementos generales, se encuentra en la Tabla 3 para una comprensión más clara y detallada.

Tabla 3*Sistemas y Subsistemas*

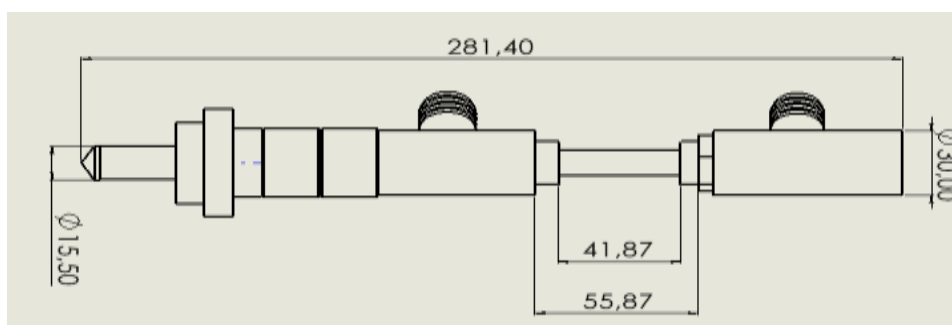
N°	Sistema	Subsistema	Elementos
1	Sistema de transporte	Estructura	Estructura mecánica
		Sistema eléctrico	Motor
			Variador
		Componentes de transmisión	Banda de transmisión
			Piñones
			Sufridores
		Elementos de guía	
2	Sistema de dosificado	Estructura	Estructura mecánica
		Sistema electrónico y control	Fuente de alimentación
			Sensores
			PLC
			HMI
		Sistema neumático	Actuadores
Unidad de mantenimiento			
		Electro válvulas	

Diseño del sistema de dosificado

Con el objetivo de diseñar el sistema de dosificado, se ha establecido inicialmente que se empleará el método de dosificado o llenado por desbordamiento variable. Dado que la empresa MEGACONTROL ya cuenta con boquillas por desbordamiento, se optó por utilizar estas boquillas existentes para optimizar costos. Las dimensiones específicas de la boquilla para este proyecto se presentan en la Figura 17.

Figura 17

Dimensiones en mm de la boquilla de desbordamiento



Diseño mecánico

Las boquillas provenientes de Shanghai OK MachineryCo, una compañía china, revela que el proveedor no aplica la presión suficiente para abrir dichas boquillas. Las pruebas realizadas en envases PET de aceite de palma demostraron deformaciones en todos los casos, considerando que la resistencia máxima a la tracción del PET es de 150 MPa, según (Connor, 2021). Dado que todos los envases de este material se deformaron antes de que la boquilla pudiera abrirse por completo, se deduce que se requiere una presión superior a la máxima tracción del PET para lograr la apertura.

Para abordar este problema, se propone una solución que consiste en la colocación de dos placas de acero inoxidable AISI 316 de 1 metro por 0.15 metros, con un espesor de 6 mm, dispuestas en paralelo. Estas placas permitirían que las bocas roscadas de las botellas

PET pasen entre ellas, manteniéndose ajustadas y evitando la deformación al distribuir la presión en la rosca durante el proceso de dosificado o llenado. Este enfoque busca evitar la deformación de los recipientes al utilizar el diseño convencional de una máquina dosificadora para este tipo de botellas.

Para el diseño de la estructura, se sigue la norma ISO 8442-2:1997. La selección del material se basa en las características y especificaciones de la empresa, optando por el Acero inoxidable AISI 316 de grado alimenticio. Las dimensiones de la estructura mecánica se ajustan al espacio de trabajo necesario para la llenadora de botellas, que es de 2400 mm de largo y 600 mm de profundidad, resultando en dimensiones de 1200 x 600 x 1800 mm.

Sistema eléctrico y electrónico

Para la selección de los componentes, se inicia detallando los parámetros del elemento. Posteriormente, se presenta una serie de tres opciones diferentes. A partir de estas alternativas, se elige un componente específico que será utilizado en la construcción y ensamblaje de la máquina.

Parámetros del PLC (Controlador lógico programable). La selección de un PLC (Controlador Lógico Programable) implica considerar diversos parámetros que se ajusten a los requerimientos de la máquina y a las necesidades del cliente. Uno de los aspectos fundamentales es la elección del lenguaje de programación, ya sea KOP (Control de Contactos en alemán) o Ladder, los cuales son comúnmente utilizados en entornos industriales, asimismo, el costo se presenta como un factor crucial en la decisión de seleccionar un PLC. La eficiencia económica y la relación costo-beneficio son determinantes, especialmente al evaluar el presupuesto disponible para el proyecto.

La importancia de cada parámetro se clasifica en una escala del 1 al 5, donde 1 indica el menor grado de relevancia y 5 señala la máxima importancia. La Tabla 4 detalla estos

parámetros fundamentales para la selección del PLC, proporcionando una guía para evaluar y ponderar las opciones de manera efectiva.

Tabla 4

Parámetros del PLC (Controlador lógico programable)

Parámetro	Importancia
Dimensiones que ocupa debe ser pequeño	3
Comunicación vía ethernet	2
Bajo costo	4
Usar Lenguaje de programación KOP o Ladder	3
Que posea más de 5 salidas digitales	4
Que tenga más de 6 entradas digitales	4

Nota. En la Tabla 4, se indica los parámetros necesarios para la selección de un PLC

(Controlador lógico programable)

Los parámetros que más tienen importancia son que posean un bajo costo, y que tenga suficientes entradas y salidas digitales, de esta manera poder cubrir con el control de todos los componentes electrónicos necesarios para el funcionamiento de la máquina.

Selección del PLC. Para la selección del PLC, se consideraron los modelos: PLC Simatic S7-1200 6S7212-1BE40-0XB0, ¡Módulo lógico programable LOGO! 8 6D1052-1FB08-0BA0 y El controlador micro programable ivc1 en la Tabla 5 se procede a realizar la evaluación de estos tipos de PLC para poder concluir la superioridad de uno de los dos con respecto a los parámetros establecidos.

Tabla 5

Criterios de selección y alternativas para la selección del PLC

Criterio de selección	Peso	PLC Simatic S7-1200 6S7212-1BE40-0XB0		Módulo lógico programable LOGO! 8 6D1052-1FB08-0BA0		Controlador micro programable ivc1	
		Cal.	Evaluación Ponderada	Cal.	Evaluación ponderada	Cal.	Evaluación ponderada
Dimensiones	0.15	9	1.35	10	1.5	9	1.35
Com. Ethernet	0.1	10	1	10	1	0	0
Bajo costo	0.20	7	1.4	8	1.6	10	2.0
Lenguaje KOP	0.15	10	1.5	9	1.35	10	1.5
S. digitales > 5	0.2	10	2	9	1.8	10	2
E. digitales > 6	0.2	9	1.8	10	2.0	10	2.0
Total	1		9.05		9.25		8.85
¿Selección?			no		si		no

Nota. En la Tabla 5 se utilizan las abreviaturas: Cal = Calificación; Com. Ethernet = Comunicación Ethernet; S. Digitales = Salidas Digitales; E. Digitales = Entradas Digitales.

Por lo tanto, la alternativa más adecuada resulta ser el Módulo lógico programable LOGO. No obstante, la empresa ya disponía de un PLC Simatic S7-1200 6S7212-1BE40-0XB0. Esta elección se fundamentó en la intención de evitar la adquisición de un componente adicional, aprovechando los recursos existentes en la empresa. Es relevante señalar que las puntuaciones finales para ambos módulos no mostraban una diferencia significativa, ya que el módulo Siemens S7-1200 obtuvo una puntuación de 9.14, mientras que la puntuación en el módulo LOGO fue 9.19.

Parámetros del HMI (Interfaz Humano Máquina). Para la selección de parámetros del HMI es importante considerar que este componente suele cambiar mucho el precio dependiendo de la marca, por lo que el precio es parámetro importante al momento de abaratar costos, también es necesario la flexibilidad de conexión, esto quiere decir, que no solo se conecte por ethernet, sino que también lo pueda hacer por R232, de ser el caso. En la Tabla 6 se puede apreciar los parámetros enlistados y con una importancia que va desde el 1 al 5 donde el 1 es de menor importancia hasta el 5 de mayor importancia

Tabla 6

Parámetros del HMI (Interfaz Humano Máquina)

Parámetro	Importancia
Dimensiones	3
Comunicación Ethernet	5
Bajo costo	4
Peso ligero	2

Se aprecia que los parámetros más destacables son: la comunicación ethernet y su bajo costo estos son los más importantes al momento de seleccionar una pantalla HMI

Selección del HMI. Para la elección del HMI (Interfaz Hombre-Máquina), se han establecido criterios que incluyen la comunicación Ethernet y un costo accesible. En este contexto, las opciones que se consideran son el Panel de Operación SIMATIC HMI KTP700 PN Basic y el Kinco HMI Green Series GL070E, Pantalla táctil serie VK VT070-N0CX-N. La evaluación detallada de estos tipos de HMI se presenta en la Tabla 7. Esta evaluación proporciona una base sólida para tomar una decisión informada entre las dos opciones mencionadas.

Tabla 7

Criterios de selección y alternativas para el HMI del sistema eléctrico y electrónico

Criterio de selección	Peso	SIMATIC HMI KTP400 PN Basic		Kinco HMI Green Series GL070E		Pantalla táctil serie VK VT070- N0CX-N	
		Cal.	Evaluación Ponderada	Cal.	Evaluación Ponderada	Cal.	Evaluación ponderada
Dimensiones	0.2	10	2	9	1.8	9	1.8
Com. Ethernet	0.40	10	4	10	4	0	0
Bajo costo	0.25	5	1.25	10	2.5	8	2
Peso ligero	0.15	8	1.2	9	1.35	10	1.5
Total	1		8.45		9.65		5.3
¿Selección?			no		si		No

Nota. En la Tabla 7 se utilizan las abreviaturas: Cal. = calificación; Com. Ethernet = comunicación ethernet.

Como se evidencia, la elección más favorable resultó ser la Kinco HMI Green Series GL070E. Este modelo no solo destaca por su asequibilidad superior, sino que también cuenta con la ventaja de contar con una conexión Ethernet. Esta característica resulta crucial para establecer una comunicación eficiente con el PLC seleccionado previamente.

Sistema neumático

El sistema neumático consta de varios componentes que llevarán a cabo diversas acciones en el circuito neumático. Por lo tanto, los parámetros de cada componente serán distintos; solo serán similares aquellos componentes que tengan una acción directa sobre otro.

Parámetros del Pistón para abrir boquillas llenadoras por desbordamiento. La consideración de los cilindros que participan en el sistema de abertura de las boquillas por desbordamiento requiere una evaluación cuidadosa de sus características clave. Aspectos como el diámetro, el recorrido del pistón y la presión necesaria para abrir las boquillas son elementos fundamentales a tener en cuenta. Es crucial destacar que los parámetros significativos para estos cilindros difieren de aquellos asociados con los cilindros ocupados en la bandeja de antigoteo.

En la Tabla 8 se presentan detalladamente los parámetros más relevantes, junto con su nivel de importancia. Esta escala de importancia varía de menor a mayor, siendo calificada del 1 al 5, proporcionando así una guía clara para la evaluación y priorización efectiva de estos elementos.

Tabla 8

Parámetros de los cilindros para abrir las boquillas por desbordamiento

Parámetro	Importancia
Diámetro del émbolo (40 a 63mm)	3
Presión ejercida (754 a 1870j)	5
Dimensiones	2
Carrera del pistón	4
Bajo costo	3
Conexión neumática G3/8	2

Selección del Pistón

En el proceso de selección del pistón, se encuentran disponibles tres tipos distintos: el Cilindro normalizado DSBC conforme a ISO 15552, el Cilindro redondo CRHD fabricado en acero inoxidable, y el Cilindro normalizado DSBF-C. La elección de la opción más adecuada en función de los parámetros de diseño se realiza mediante la consulta de la Tabla 9, la cual proporciona una comparativa detallada para facilitar la toma de decisiones.

Tabla 9

Criterios de selección y alternativas para el cilindro neumático del sistema neumático

Criterio de selección	Peso	Cilindro normalizado DSBC, ISO 15552		Cilindro redondo CRHD, acero inoxidable		Cilindro normalizado DSBF-C	
		Cal.	Evaluación Ponderada	Cal.	Evaluación ponderada	Cal.	Evaluación ponderada
D. del émbolo	0.15	10	1.5	10	1.5	10	1.5
Presión ejercida	0.30	10	3	9	2.7	9	2.7
Dimensiones	0.10	10	1	10	1	10	1
Bajo costo	0.15	9	1.35	8	1.2	8	1.2
Carrera del pistón	0.20	10	2.0	10	2.0	10	2.0
Conexión G3/8	0.10	10	1	10	1	10	1
Total	1		9.85		9.4		9.4
¿Selección?			Si		no		no

Nota. En la Tabla 9 se utilizan las abreviaturas: Cal. = calificación; D. del émbolo = diámetro del émbolo.

En el proceso de selección del pistón, se encuentran disponibles tres tipos distintos: el Cilindro normalizado DSBC conforme a ISO 15552, el Cilindro redondo CRHD fabricado en acero inoxidable, y el Cilindro normalizado DSBF-C. La elección de la opción más adecuada en función de los parámetros de diseño se realiza mediante la consulta de la Tabla 9, la cual proporciona una comparativa detallada para facilitar la toma de decisiones.

Parámetros de las electroválvulas

Cuando se evalúan los parámetros de las electroválvulas, resulta crucial que estas dispongan de una conexión eléctrica que permita la manipulación de la conmutación mediante un PLC. Asimismo, se considera esencial que el tiempo de conmutación no sea excesivamente prolongado, y que la presión de funcionamiento se mantenga alrededor de los 4 bares aproximadamente, asegurándose de que el rango de operación cubra este valor.

La importancia de cada parámetro se ha categorizado en la Tabla 10, asignándoles un valor del 1 al 5, donde 1 indica menor relevancia y 5 indica mayor importancia, proporcionando así una guía para la evaluación de las electroválvulas.

Tabla 10

Parámetros de las electroválvulas

Parámetro	Importancia
Conexión eléctrica	2
Tiempo de conmutación	4
Dimensiones	4
Presión	3
Bajo costo	5
Fácil uso	2

Selección de la electroválvula

La elección de la electroválvula es esencial y se busca específicamente electroválvulas monoestables de 5 vías y 2 posiciones. Entre las opciones disponibles, se consideran tres

elementos potenciales: la Electroválvula MN2H/JMN2H ISO 15407-1, la Electroválvula VSVA ISO 15407-1 y la Electroválvula Compact Performance CPE. La selección entre estas opciones se detalla en la Tabla 11.

Tabla 11

Selección de la electroválvula

Criterio de selección	Peso	Electroválvula 4GA210R/4GA310R		Electroválvula VSVA, ISO 15407-1		Electroválvula Compact Performance CPE	
		Cal.	Evaluación Ponderada	Cal.	Evaluación ponderada	Cal.	Evaluación ponderada
C. Eléctrica	0.1	10	1	10	1	10	1
Tiempo de C.	0.20	9	1.8	8	1.6	10	2.0
Dimensiones	0.20	10	2.0	10	2.0	10	1.8
Presión	0.15	9	1.35	9	1.35	8	1.2
Bajo costo	0.25	10	2.5	9	2.25	8	2
Fácil uso	0.1	10	1	9	0.9	9	0.9
Total	1		9.65		9.1		8.9
¿Selección?			Si		No		No

Nota. En la Tabla 11 se utilizan las abreviaturas: Cal. = calificación; C. eléctrica = conexión eléctrica; Tiempo de C. = tiempo de conmutación.

La mejor opción para las electroválvulas es: Electroválvula 4GA210R/4GA310R, debido a su calificación total de 9.77, lo que significa que cubre mejor los requerimientos que las otras dos opciones.

Parámetros del variador de frecuencia

Los variadores de frecuencia deben de poseer una entrada bifásica y una salida trifásica, para que de esta manera se puedan utilizar para controlar tanto al motor trifásico como la bomba de material.

La importancia de cada parámetro se ha categorizado en la Tabla 12, asignándoles un valor del 1 al 5, donde 1 indica menor relevancia y 5 indica mayor importancia, proporcionando así una guía para la evaluación de los variadores de frecuencia

Tabla 12

Parámetros de los variadores de frecuencia

Parámetro	Importancia
Entrada bifásica	5
Salida trifásica	3
Dimensiones pequeñas	2
Corriente baja	2
Fácil uso	3

Selección del variador de frecuencia

Para la selección del variador de frecuencia se facilita tres modelos diferentes: Variador de Frecuencia CFW300, variador de frecuencia SV004iG5A-2 y el variador de frecuencia CFW500, la selección de las opciones se puede apreciar en la tabla 13

Tabla 13*Selección del Variador de Frecuencia*

Criterio de selección	Peso	Variador de Frecuencia CFW300		Variador de frecuencia SV004iG5A-2		Variador de frecuencia CFW500	
		Cal.	Evaluación Ponderada	Cal.	Evaluación ponderada	Cal.	Evaluación ponderada
E. Bifásica	0.30	10	3	10	3	10	3
S. Trifásica	0.20	10	2	10	2	10	2
D. Pequeñas	0.15	10	1.5	9	1.35	5	0.75
Corriente B.	0.15	9	1.35	10	1.5	8	1.2
Fácil uso	0.20	9	1.8	9	1.8	9	1.8
Total	1		9.65		9.65		8.75
¿Selección?			si		Si		No

Nota. En la Tabla 13 se utilizan las abreviaturas: Cal.= calificación; E. bifásica = entrada bifásica; S. Trifásica = salida trifásica; D. Pequeñas = Dimensiones pequeñas; Corriente B. = Corriente Baja.

Como se pudo apreciar existen dos variadores de frecuencia, Variador de Frecuencia CFW300 y el variador de frecuencia SV004iG5A-2, que fueron seleccionados, como los requisitos para controlar el motor trifásico de la banda y la bomba de alimentación son iguales, entonces se procede a distribuir uno al motor trifásico en este caso Variador de Frecuencia CFW300, y el otro a la bomba de alimentación, variador de frecuencia SV004iG5A-2

Diseño del sistema de transporte

Al abordar el diseño del sistema de transporte, es imperativo considerar los tres subsistemas fundamentales: la estructura, el sistema eléctrico y los componentes de transmisión. Es esencial iniciar el proceso con la selección del concepto adecuado.

En cuanto a la estructura, se requiere una definición precisa de la configuración de transporte que se ajuste perfectamente al sistema de dosificado. Entre las opciones disponibles, se destaca la mesa giratoria. Este enfoque implica cambios direccionales en el avance del producto, como se ilustra en la Figura 18.

Figura 18

Mesa giratoria

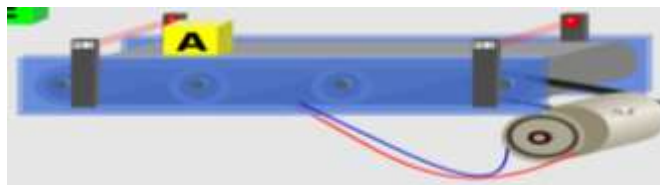


Nota. Tomado de (CZECH, 2020)

La configuración de transporte que se adoptada en este caso se basa en el uso de una banda transportadora lineal. Este sistema se elige cuando no se requieren cambios de dirección en el avance del producto, proporcionando así una solución eficiente y rápida para el desplazamiento de materiales de un punto a otro. La Figura 19 ilustra un ejemplo visual de una banda transportadora en funcionamiento.

Figura 19

Banda transportadora



Nota. Tomado de (CEPILLOTÉCNICO, 2019)

El subsistema de transmisión consta de un componente principal: la banda de transmisión, y ofrece tres opciones: cadena, rodillo y cinta. La elección entre estos tres tipos de transmisión depende de las características específicas del transporte. La transmisión por cadena se utiliza preferentemente para el transporte de envases plásticos de diversos tipos, brindando una gran resistencia y durabilidad. Por otro lado, la opción de transmisión por rodillo se destaca por su economía, siendo una elección común en diversas industrias, cuando se busca estabilidad a lo largo de todo el recorrido, la transmisión por cinta se presenta como la opción adecuada. Cada tipo de transmisión cumple con requisitos específicos, y en la Figura 20 se ilustran visualmente estas tres alternativas de transmisión de fuerza.

Figura 20

Componentes de transmisión por rodillo, por cinta y por cadena, respectivamente



Nota. a) transmisión por rodillo, obtenido de(ComercialPacífic, 2021); b) transmisión por cinta, obtenido de(Klipartz, 2022); c) Transmisión por cadena, obtenido de (Canny, 2023)

En el subsistema eléctrico, el componente de mayor relevancia es el motor. Para este proyecto, se contempla la opción de utilizar tanto un motor monofásico como uno trifásico. En cuanto a la potencia, los motores monofásicos abarcan desde 0 hasta 5 hp, mientras que los motores trifásicos tienen la capacidad de alcanzar hasta 20 hp.

Requerimiento del concepto para cada elemento principal de cada subsistema

A continuación, se realiza la evaluación de todos los requerimientos para el concepto de los tres diferentes elementos de los subsistemas. Véase en la Tabla 12.

Tabla 14

Evaluación de los requerimientos de los elementos principales de los subsistemas

Requerimiento	prioridad
Ingreso de Botella	5
Producción	5
Costo bajo	4
Mantenimiento sencillo	3
Salida de botella	3
Velocidad de Llenado alta	4
Velocidad de Transporte	4
Carga Máxima	3
Potencia	3
Consumo Eléctrico	2

Selección del concepto para los elementos principales de cada subsistema

Para la configuración del sistema de transporte, se presentan dos opciones: una mesa giratoria y una banda transportadora. La elección entre estos dos tipos de configuración impacta directamente en el diseño y la construcción de la estructura. En cuanto a los elementos de transmisión, las opciones incluyen rodillos, cintas y cadenas, siendo estos los más comunes en una banda transportadora utilizada para el desplazamiento de productos de un punto a otro.

En lo que respecta a la fuerza de transmisión, se dispone de dos tipos de motores para considerar: el motor monofásico y el motor trifásico. En la Tabla 13 se presenta una sección conceptual que detalla los elementos principales de cada subsistema, proporcionando una guía para la toma de decisiones en la configuración del sistema de transporte.

Tabla 15

Selección del concepto para los elementos principales de cada subsistema

Criterio de Selección	Conceptos						
	Configuración de Transporte		Elemento de Transmisión			Fuerza de Transmisión	
	Mesa Giratoria	Banda Trans	Rodillo	Cinta	Cadena	Motor Mono.	Motor Tri.
In. de Botella	+	+	+	+	+		
Producción	-	+	0	0	0	0	0
Costo bajo	+	0	+	-	0	0	-
Man. sencillo	0	0	0	+	+	+	0
Salida de botella	+	+	+	+	+		
Vel. de Llenado	-	+					
Vel. de Trans.			0	0	0	0	+

Criterio de Selección	Conceptos						
	Configuración de Transporte		Elemento de Transmisión			Fuerza de Transmisión	
	Mesa Giratoria	Banda Trans	Rodillo	Cinta	Cadena	Motor Mono.	Motor Tri.
Carga Máxima			-	0	+	0	+
Potencia						-	+
Consumo Eléc.						+	0
Suma +	3	4	3	3	4	2	3
Suma 0	1	2	3	3	3	4	3
Suma -	2	0	1	1	0	1	1
Evaluación neta	1	4	2	2	4	1	2
Lugar 1	1	2	3	3	3	4	3
¿Continuar?	No	Si	No	No	Si	No	Si

Nota. En la Tabla 13 se utilizan las abreviaturas: In. de botellas = Ingreso de botellas; Man. Sencillo = Mantenimiento sencillo; Vel. de llenado = Velocidad de llenado; Vel. de trans. = Velocidad de transporte; Consumo Eléc. = Consumo eléctrico; Motor Mono. = Motor Monofásico; Motor Tri. = Motor Trifásico.

Es relevante destacar que el cambio en el elemento para el concepto del subsistema de la fuerza de transmisión no genera un impacto significativo. A pesar de que el motor monofásico es considerado la opción óptima con una evaluación neta de 2, el motor trifásico también es aceptable, ya que su evaluación neta es de 1. Esta aceptación se fundamenta en que las evaluaciones no difieren considerablemente o que la evaluación del motor trifásico no se encuentra en números negativos.

Figura 21

Motor trifásico DELPHI 63C-4



Nota. Tomado de (motive, 2021)

Capítulo IV

Diseño y selección del sistema de llenado y monitoreo del aceite de palma

En este capítulo se realizará el diseño del sistema de llenado y monitoreo del aceite de palma, por medio de diferentes cálculos y software de simulación tanto para la parte mecánica, neumática y electrónico.

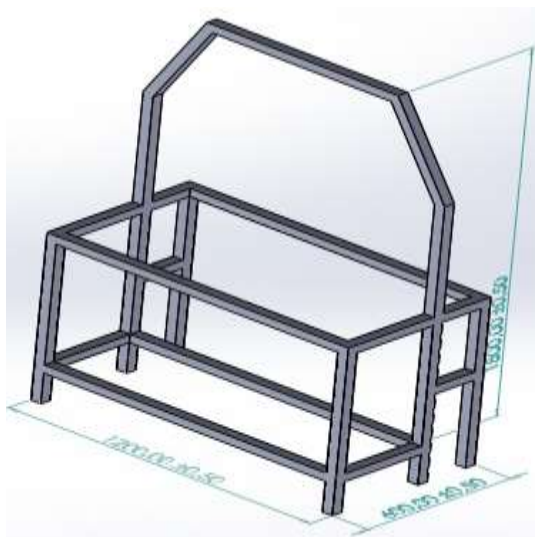
Diseño Mecánico

Estructura base

En el proceso de diseñar la estructura mecánica para la máquina llenadora de botellas, el componente central que participará activamente es la estructura que albergará el sistema de transporte, el sistema de llenado de las botellas y el llenado del tanque de almacenamiento. Es crucial que esta estructura presente una estabilidad robusta y posea un peso adecuado para resistir las diversas fuerzas que actuarán sobre ella durante su funcionamiento.

Figura 22

Estructura principal



En lo referente a la estructura y la selección del material, se tienen en cuenta las características y especificaciones entregadas por la empresa. Dado que el espacio de trabajo

necesario para la llenadora de botellas es de 2400 mm de largo y 600 mm de profundidad, las dimensiones de la estructura mecánica se establecen en 1200 x 600 x 1800 mm.

Cálculos de la estructura mecánica

La estructura destinada para la llenadora de botellas con seis boquillas requiere una resistencia cuidadosamente definida para soportar eficazmente el peso aplicado por los componentes y garantizar su estabilidad frente a movimientos repetitivos. De acuerdo con las especificaciones de la empresa, se ha determinado que la estructura debe ser robusta. En este sentido, se optó por utilizar acero inoxidable AISI 316, un material ampliamente reconocido y utilizado en el país, este material no solo cumple con los estándares de la normativa NTE INEN-ISO 8442-2, sino que también presenta la ventaja de contar con tubos cuadrados.

La Tabla 14 proporciona información detallada sobre las propiedades del material seleccionado, brindando una visión clara y completa de las características que respaldan la elección del acero inoxidable AISI 316 para la estructura de la llenadora de botellas.

Tabla 16

Propiedades Mecánicas de AISI 316

Propiedades	Valor
Resistencia máxima S_{μ}	550MPa
Resistencia a la cadencia S_y	240MPa
Módulo de Elasticidad E	193GPa
Elongación	70%

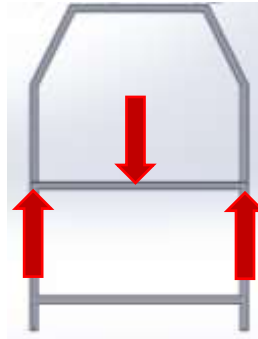
Nota. Tomado de (Mundial, s. f.)

Según: (Mott, 2009), se sugiere iniciar el proceso definiendo un factor de diseño específico. Este factor se determina en función de la situación particular, basándose en la experiencia del diseñador y en el análisis de las condiciones previas. El diseñador tiene la responsabilidad de proporcionar un factor de seguridad para el componente, así como una solución efectiva que se ajuste al presupuesto disponible.

Posteriormente, para evaluar la deformación máxima en el sistema, se recurre al diagrama de cuerpo libre representado en la Figura 23. Este enfoque se utiliza como una herramienta efectiva para analizar y comprender las fuerzas y tensiones presentes en el sistema, permitiendo una evaluación más precisa y detallada de la deformación máxima que podría ocurrir.

Figura 23

Fuerzas que intervienen



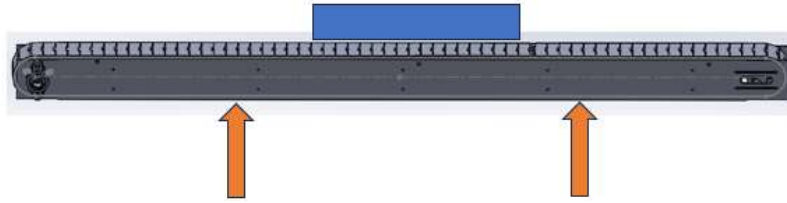
La estructura que albergará la banda transportadora de la Figura 23 constará de dos puntos de apoyo en su interior. La fuerza puntual, que es la fuerza que incide en el sistema, requiere un análisis inicial de la deformación de la banda transportadora, como se observa en la Figura 24.

Para este análisis, se considera una carga uniformemente distribuida sobre la banda, compuesta por botellas llenas con un peso de 18 kg, y la propia carga de la banda transportadora, que es de 70 kg. Al considerar la fuerza gravitatoria, obtenemos los siguientes valores respectivamente $176.4 \frac{N}{m}$ y $686 \frac{N}{m}$.

Se toma en cuenta, según las necesidades del proyecto que tendrá 10 boquillas.

Figura 24

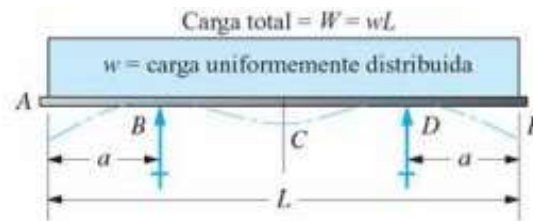
Distribución de Fuerza en la Banda



Se realiza el principio de superposición para el análisis separado del peso de la banda Transportadora y de las botellas, según el apéndice A-23h de (Mott, 2009), en la Figura 25 y como se resuelve en la ecuación (1)

Figura 25

Distribución de fuerza



Nota. Tomado de(Mott, 2009), apéndice A-23 (h)

$$R_B = R_D$$

$$R_B = R_D = \frac{wL}{2} \quad (1)$$

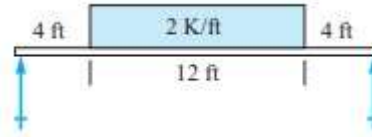
$$R_B = R_D = \frac{686 \frac{N}{m} * 2.4m}{2}$$

$$R_B = R_D = 823.2N$$

Se procede a realizar un análisis similar en relación con las botellas, considerándolas como una carga uniformemente distribuida ubicada precisamente en el centro de la banda, tal como se define en la Figura 26. Para llevar a cabo este análisis, se utilizará la ecuación (1).

Figura 26

Carga distribuida con desplazamiento



Nota. Tomado de (Mott, 2009)

$$R_A = R_B$$

$$R_A = R_B = \frac{176.4 \frac{N}{m} * 1m}{2}$$

$$R_A = R_B = 88.2N$$

Al momento de llenar las botellas reciben una carga similar por lo que la ecuación (2) se toma en cuenta este aspecto:

$$R_A + R_B = R_T \quad (2)$$

$$R_T = 823.3N + 88.2N + 88.2N$$

$$R_T = 999.6N$$

Una vez obtenidas las reacciones que intervienen en la banda, se considera como una viga empotrada en ambos lados, se toma la ecuación (3) y el esfuerzo de diseño como punto de partida y considerando el factor de diseño de $N = 2$

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N} \quad (3)$$

$$\sigma_d = \frac{240}{2} MPa$$

$$\sigma_d = 120MPa$$

Para obtener el límite de la deflexión recomendada, se toma el límite general de una máquina, mediante la ecuación (4).

$$y_{maxd} = \frac{L}{360} \quad (4)$$

$$y_{maxd} = \frac{400}{360}$$

$$y_{maxd} = 1.11 \text{ mm}$$

La viga se comporta como una viga con doble empotramiento y una carga desplazada por lo que se usa las ecuaciones del apéndice A-23 f (Mott, 2009), las cuales son las ecuaciones (5) y (6)

$$R_T = 999.6N \approx P \quad (5)$$

$$M_A = M_B = M_C = \frac{PL}{8} \quad (6)$$

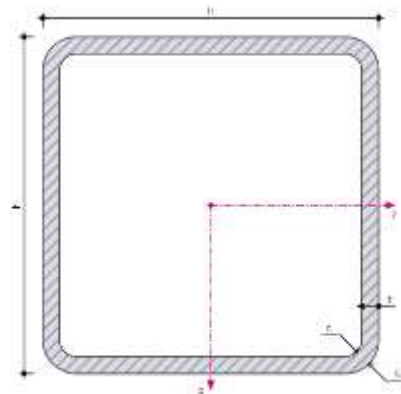
$$M_A = M_B = M_C = \frac{999.6N * 400mm}{8}$$

$$M_A = M_B = M_C = 49980Nmm$$

Para el diseño es necesario el módulo de la siguiente sección transversal Figura 27 y mediante la ecuación (7)

Figura 27

Sección transversal cuadrada



$$S = \frac{A^4 - (A - e)^4}{6A} = \frac{M_A}{\sigma_d} \quad (7)$$

$$S = \frac{49980Nmm}{120MPa}$$

$$S = 416.5mm^3$$

El espesor de la sección del tubo es de 2 mm, el valor extremo del tubo cuadrado se determina por la ecuación (8)

$$S = \frac{8A^3 - 24A^2 + 32A - 16}{6A} \quad (8)$$

$$416.5\text{mm}^3 = \frac{8A^3 - 24A^2 + 32A - 16}{6A}$$

Despeja el valor de A, y así obtener la dimensión externa que debe tener el tubo cuadrado

$$8A^3 - 24A^2 + 32A - 16 = 6A(416.5\text{mm}^3)$$

$$8A^3 - 24A^2 + 32A - 16 - 2449A\text{mm}^3 = 0$$

$$8A^3 - 24A^2 - 16 - 2467A\text{mm}^3 = 0$$

$$A \approx 19.13 \text{ mm}$$

$$A \approx -16.12 \text{ mm}$$

$$A \approx -0.006 \text{ mm}$$

Según los cálculos y ya que la sección transversal debe ser positiva el único adecuado es el de $A \approx 19.13 \text{ mm}$

Para evitar cualquier falta por deflexión de la estructura es necesario realizar el diseño en función a la deflexión máxima permitida, mediante la ecuación (9)

$$y_{max} = -\frac{PL^3}{192EI} \quad (9)$$

$$I = -\frac{PL^3}{192Ey_{maxd}}$$

$$I = \frac{(999.6\text{N})(400\text{mm})^3}{192(193\text{GPa})(1.11 \text{ mm})}$$

$$I = 1555.33 \text{ mm}^4$$

$$I = \frac{A^4 - (A - e)^4}{12}$$

$$1555.33\text{mm}^4 = \frac{A^4 - (A - e)^4}{12}$$

$$8A^3 - 24A^2 + 32A - 18680.05\text{mm}^4 = 0$$

$$A \approx 14.24\text{mm}$$

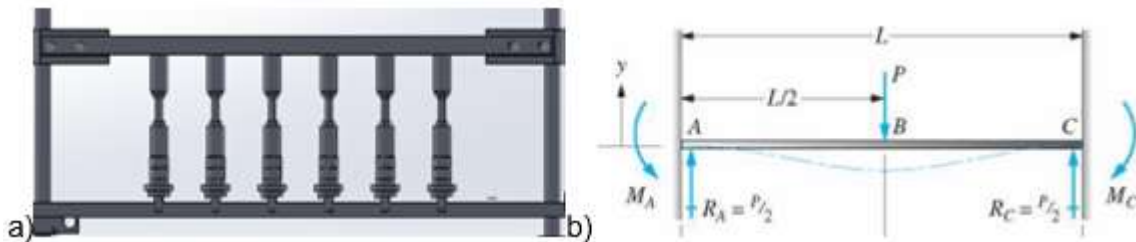
Se deberá seleccionar un tubo cuadrado de material AISI 316 con dimensiones de longitud de lado de 14.24mm y un espesor de 2mm .

Porta boquillas

Para comenzar con los cálculos, se considera que el porta boquillas se comporta como una viga con doble empotramiento. Se aplican seis fuerzas equitativamente distribuidas, y mediante el principio de superposición, podemos identificar el diagrama y las fórmulas que intervienen, como se muestra en la Figura 28.

Figura 28

Diagrama de porta boquillas



Nota. a) Diagrama con 6 Boquillas, b) Apéndice A-25 (f)

Con respecto a la Figura 28 y aplicando el apéndice para cada una de las boquillas, utilizando las ecuaciones (10) y (11)

$$R_A = \frac{Pb^2}{L^3}(3a + b) \quad (10)$$

$$R_C = \frac{Pa^2}{L^3}(3b + a) \quad (11)$$

La fuerza que interviene en el porta boquillas viene dada por la tabla 16 y mediante la ecuacion (12)

Tabla 17

Parámetro de pistón

Descripcion	Valor
Diametro embolo \emptyset	$\emptyset 20$
Maxima presion de trabajo P_r	1Mpa

$$P_T = \frac{\pi * \emptyset^2}{4} * P_r MPa \quad (12)$$

$$P_T = \frac{\pi * 20^2}{4} * 1MPa$$

$$P_T = 314.16N$$

Esta fuerza es dividida para el número de boquillas que van a intervenir en el sistema, siendo su valor $P_i = 52.36N$

Para P_1 , usando las ecuaciones (10) y (11)

$$R_{AP1} = \frac{(52.36)(125.7)^2}{751.4^3} (3(625.7) + 125.7)$$

$$R_{AP1} = 3.91N = R_{CP6}$$

$$R_{CP1} = \frac{(52.36)(625.7)^2}{751.4^3} (3(125.7) + 625.7)$$

$$R_{CP1} = 48.45N = R_{AP6}$$

Para P_2

$$R_{AP2} = \frac{(52.36)(225.7)^2}{751.4^3} (3(525.7) + 225.7)$$

$$R_{AP2} = 11.33N = R_{CP5}$$

$$R_{CP2} = \frac{(52.36)(525.7)^2}{751.4^3} (3(225.7) + 525.7)$$

$$R_{CP2} = 41.03N = R_{AP5}$$

Para P_3

$$R_{AP3} = \frac{(52.36)(325.7)^2}{751.4^3} (3(425.7) + 325.7)$$

$$R_{AP3} = 20.98N = R_{CP4}$$

$$R_{CP3} = \frac{(52.36)(425.7)^2}{751.4^3} (3(325.7) + 425.7)$$

$$R_{CP3} = 31.38N = R_{AP4}$$

Con los cálculos anteriores, se obtiene las reacciones totales en los lados empotrados

$$R_{AT} = 3.91 + 11.33 + 20.98 + 31.38 + 41.03 + 48.45$$

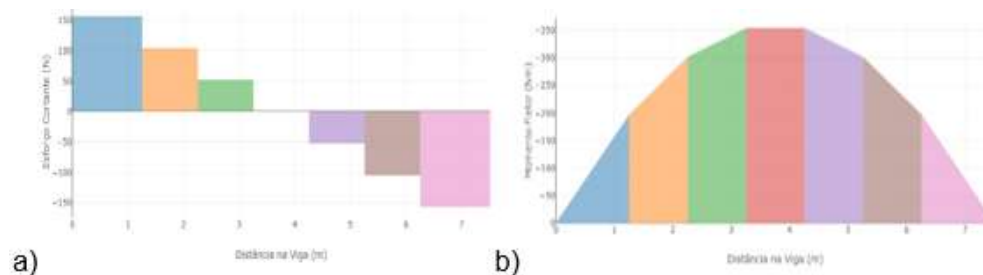
$$R_{AT} = 157.08N$$

$$R_{AT} = R_{CT}$$

$$R_{CT} = 157.08N$$

Figura 29

Diagrama de cálculos



Nota. a) Diagrama fuerza cortante, b) Diagrama de momento flector

En la Figura 29 el momento máximo es definido por los esfuerzos cortantes por medio de las áreas según la ecuación (13)

$$Mb_{p1} = b * h = A1 \quad (13)$$

$$Mb_{p1} = 157.08N * 125.7mm$$

$$Mb_{p1} = 19744.956Nmm = Mb_{p6}$$

$$Mb_{p2} = Mb_{p1} + A2$$

$$Mb_{p2} = 19744.956Nmm + (104.72N * 100mm)$$

$$Mb_{p2} = 30216.956Nmm = Mb_{p5}$$

$$Mb_{p3} = Mb_{p2} + A3$$

$$Mb_{p3} = 30216.956Nmm + (52.36N * 100mm)$$

$$Mb_{p3} = 35452.956Nmm = Mb_{p4}$$

Una vez encontrado el momento máximo que interviene en el sistema se realiza el análisis de la sección transversal, se supone que es el perfil L25.1x25.1x4, los valores de importancia están definidos en la tabla (17).

Tabla 18

Propiedades de perfil

Descripción	Valor
Módulo de sección S	586mm ³
Inercia I	10200mm ⁴

Se encuentra el esfuerzo, mediante la ecuación (7) y usando el momento máximo, donde interviene el módulo de sección.

$$S = \frac{M}{\sigma}$$

Se despeja el esfuerzo

$$\sigma = \frac{35452.956Nmm}{586mm^3}$$

$$\sigma = 60.5MPa$$

Para determinar el factor de seguridad se utiliza la ecuación (14), en la cual el sistema es con carga repetitiva.

$$\sigma_d = \frac{S_u}{2N} \quad (14)$$

Se despeja N

$$N = \frac{550MPa}{2 * 60.5MPa}$$

$$N = 4.55$$

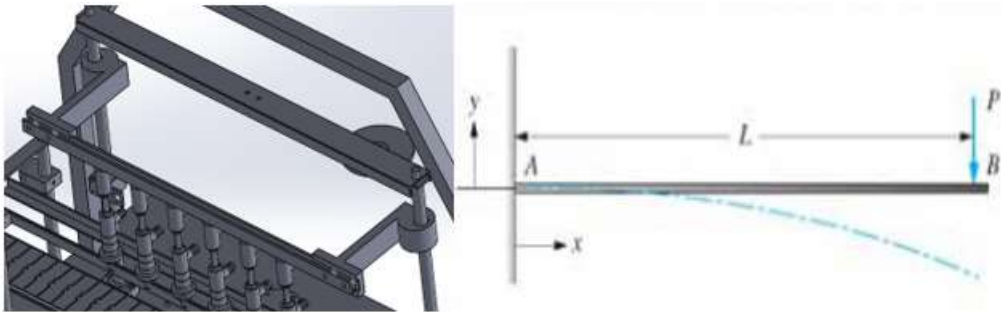
Con este factor de seguridad, se confirma que el perfil escogido es seguro.

Sujeta porta boquillas

Las piezas encargadas del desplazamiento, son de suma importancia por lo cual se realiza el análisis, considerando como una viga empotrada con voladizo, demostrada en la Figura 30.

Figura 30

Análisis de viga empotrada con voladizo



Se resuelve en la ecuación (3) el esfuerzo de diseño como punto de partida y considerando el factor de diseño de $N = 4$ al ser una carga repetitiva.

$$\sigma_d = \frac{S_y}{8} \quad (3)$$

$$\sigma_d = \frac{550MPa}{8}$$

$$\sigma_d = 68.75MPa$$

Para obtener el límite de la deflexión recomendada, se toma el límite general de una máquina, mediante la ecuación (4).

$$y_{maxd} = \frac{L}{360} \quad (4)$$

$$y_{maxd} = \frac{189.25}{360}$$

$$y_{maxd} = 0.53 \text{ mm}$$

La viga cuenta con una fuerza de:

$$P = 314.16N$$

$$M = 35452.956Nmm$$

Para el diseño es necesario el módulo de la siguiente sección transversal Figura 28 y mediante la ecuación (7)

$$S = \frac{M}{\sigma_d} \quad (7)$$

$$S = \frac{35452.956Nmm}{68.75MPa}$$

$$S = 523.29mm^3$$

El espesor de la sección, se asume con un espesor de 16.5 mm, el valor extremo del módulo de la sección se determina por la ecuación (8)

$$S = \frac{Ah^2}{24} \quad (8)$$

$$523.29mm^3 = \frac{Ah^2}{24}$$

Despeja el valor de A, y así obtener la dimensión externa que debe tener el tubo cuadrado

$$Ah^2 = 24(523.29mm^3)$$

$$A = \frac{12558.96}{16.5^2}$$

$$A = 46.13mm$$

Según cálculos, la sección transversal es $A \approx 46.13 \text{ mm}$

Para evitar cualquier falta por deflexión de la estructura es necesario realizar el diseño en función a la deflexión máxima permitida, mediante la ecuación (9)

$$y_{max} = -\frac{PL^3}{3EI} \quad (9)$$

$$I = -\frac{PL^3}{3Ey_{maxd}}$$

$$I = \frac{(314.16 \text{ N})(189.25 \text{ mm})^3}{3(193 \text{ GPa})(0.53 \text{ mm})}$$

$$I = 6939.12 \text{ mm}^4$$

$$I = \frac{Ah^3}{36}$$

$$6939.12 \text{ mm}^4 = \frac{Ah^3}{36}$$

$$\frac{6939.12 \text{ mm}^4 * 36}{16.5^3} = A$$

$$A \approx 55.61 \text{ mm}$$

Se deberá seleccionar una sección transversal de longitud de lado de 55.61 mm y un espesor de 16.5 mm .

Diseño eléctrico

El diseño eléctrico se compone de elementos fundamentales, tales como el contactor, la fuente de voltaje, el variador de frecuencia y el PLC. Estos constituyen los componentes esenciales necesarios para iniciar el motor trifásico, propiciar el movimiento de la banda transportadora, activar la bomba de aceite y supervisar los elementos que ejecutan las funciones de la máquina. La tabla proporciona una descripción detallada de estos componentes que tienen un impacto directo en el funcionamiento de la máquina.

Tabla 19*Principales componentes que actúan en la máquina*

Componentes	Descripción
1 PLC	Controlador lógico programable encargado de realizar el control del proceso
Contactador trifásico	Sirve para poder controlar el accionamiento de elementos que requieren alimentación 220 VAC
Interruptor termomagnético	Impide el paso de la corriente si se llega a calentar
Convertidor de frecuencia	Permite controlar la velocidad de elementos como motores y bombas
Relés de 5 pines entrada de 24-12VDC, salida de 200-240VAC	Encargados de abrir y cerrar sus contactos
Porta fusibles	Mantiene al fusible conectado
Fusible	Se abre instantáneamente si detecta sobre corriente
Hongo de emergencia	Energiza el proceso
2 borneras para sensores	Conectan con los pines de los sensores
Salida de la fuente de 24 VDC	Da energía a los componentes que necesiten voltaje en DC

Elementos de seguridad

Los elementos de seguridad son necesarios para dar protección a los componentes que ejercen fuerza de trabajo como los motores o realizan control como

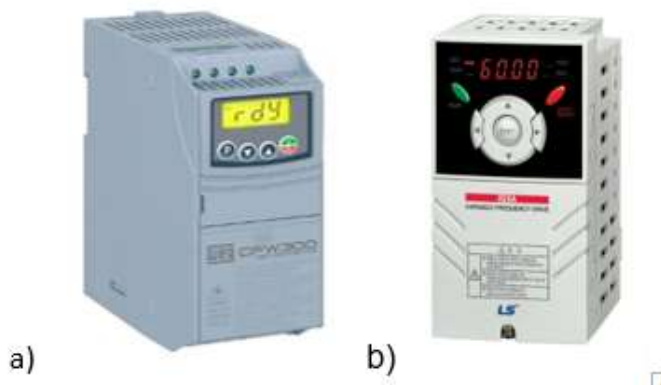
variadores de frecuencia, la correcta selección de cada elemento de seguridad garantiza una protección hacia los componentes de potencia, los elementos de seguridad a utilizar son: fusible, porta fusibles e interruptor termomagnético, estos elementos se encuentran descritos en la tabla 15.

Dimensión de protección para los variadores de frecuencia entrada bifásica-salida trifásica

El variador de frecuencia de modelo CFW300, posee una corriente nominal de 5A para una alimentación de 220V, lo mismo se aplica para el variador de frecuencia SV004iG5A, que también posee una corriente nominal de 1.25 A para una alimentación de 220V, y es necesario conocer los parámetros para poder realizar el dimensionamiento correcto de los interruptores termomagnéticos, en la figura 31 se pueden apreciar los dos convertidores de frecuencia.

Figura 31

Convertidor de frecuencia CFW300 y convertidor de frecuencia SV004iG5A



Nota. a) Convertidor de frecuencia CFW300, Obtenido de (WEG, 2022), b) convertidor de frecuencia SV004iG5A, Obtenido de (Kovář, 2020)

En la tabla 20 se detalla el consumo de corriente de los convertidores de frecuencia

Tabla 20*Consumo de corriente*

Componente	Consumo de corriente
Convertidor de frecuencia CFW300	$I_{V.frecuencia} = 5A$ $Hz = 50/60 Hz$
Convertidor de frecuencia SV004iG5A	$I_{V.frecuencia} = 1.25A$ $Hz = 0.1/400 Hz$

Como se especifica en: (José Martín Requena Torpo, s. f.), el interruptor termomagnético debe ser escogido con más del 25% de la corriente obtenida por lo que se procede a realizar la siguiente ecuación:

$$I_{I.Termo} = I_{Variador} \times 1.25 \quad (10)$$

$$I_{I.Termo_1} = 5A \times 1.25$$

$$I_{I.Termo_1} = 6.25$$

$$I_{I.Termo_2} = 1.25A \times 1.25$$

$$I_{I.Termo_2} = 1.56$$

La selección de los interruptores termomagnéticos se realiza mediante la corriente calculada en la ecuación (10), en la Figura 32 (a) se puede apreciar el interruptor

termomagnético que cumple con los requisitos de corriente 6.25 A y 1.56 A, para los dos convertidores de frecuencia.

Figura 32

Interruptor termomagnético EBS6BN y Fuente de voltaje DR-120-24V



Nota. a) Tomado de (EBASEE, 2019); b) Tomado de (LogicBus, 2021)

Sus especificaciones relevantes que cubren las necesidades de los variadores de frecuencia se pueden apreciar en el anexo 3.

Dimensionamiento de protección para la fuente de voltaje y el PLC

La fuente de voltaje seleccionada para el sistema debe aceptar una entrada en el rango de 200VAC a 240VAC y generar una salida constante de 24VDC, como se ilustra en la Figura 24 b. El PLC Simatic S7-1200 6S7212-1BE40-0XB0, con una alimentación de 220VAC, comparte la misma protección eléctrica con la fuente de voltaje.

Esta fuente de voltaje desempeña un papel esencial al alimentar todos los componentes del circuito de control, como relés y sensores. Las características detalladas de la fuente se presentan en la Tabla 18 para una referencia más precisa. Para determinar el último interruptor termomagnético necesario, es vital calcular la corriente total que fluirá entre la fuente de poder

y el PLC, ya que ambos componentes serán energizados. La Tabla 21 proporciona información detallada sobre el consumo de corriente de estos componentes, lo que facilita el cálculo necesario.

Tabla 21

Consumo de corriente

Componente	Consumo de corriente
PLC Simatic S7-1200 6ES7212-1BE40-0XB	2.1A
Fuente de poder de 24V DR-120-24	2.6A

Ya obtenida la corriente de cada elemento se sigue con la sumatoria de estas, para de esta forma poder tener la corriente total que va a circular por el circuito.

$$I_{Total} = I_{PLC} + I_{Fuete} \quad (11)$$

$$I_{Total} = 2.1A + 2.6A$$

$$I_{Total} = 4.7A$$

Para poder dimensionar el interruptor termomagnético es necesario utilizar la ecuación (10), ya que es vital que el interruptor sea escogido con más del 25% de la corriente necesaria.

$$I_{I.Termo} = 4.7A \times 1.25$$

$$I_{I.Termo} = 5.875$$

El tipo de interruptor termomagnético va a ser el mismo que se seleccionó para el variador de frecuencia, que se encuentra en la Figura 32 (a). Una vez seleccionados todos los

elementos de seguridad para el circuito de potencia, se procede a seleccionar el tipo de cable para todos los componentes. Los tipos de cables, en la Figura 33 se encuentran los tipos de cables.

Figura 33

Tipos de cables

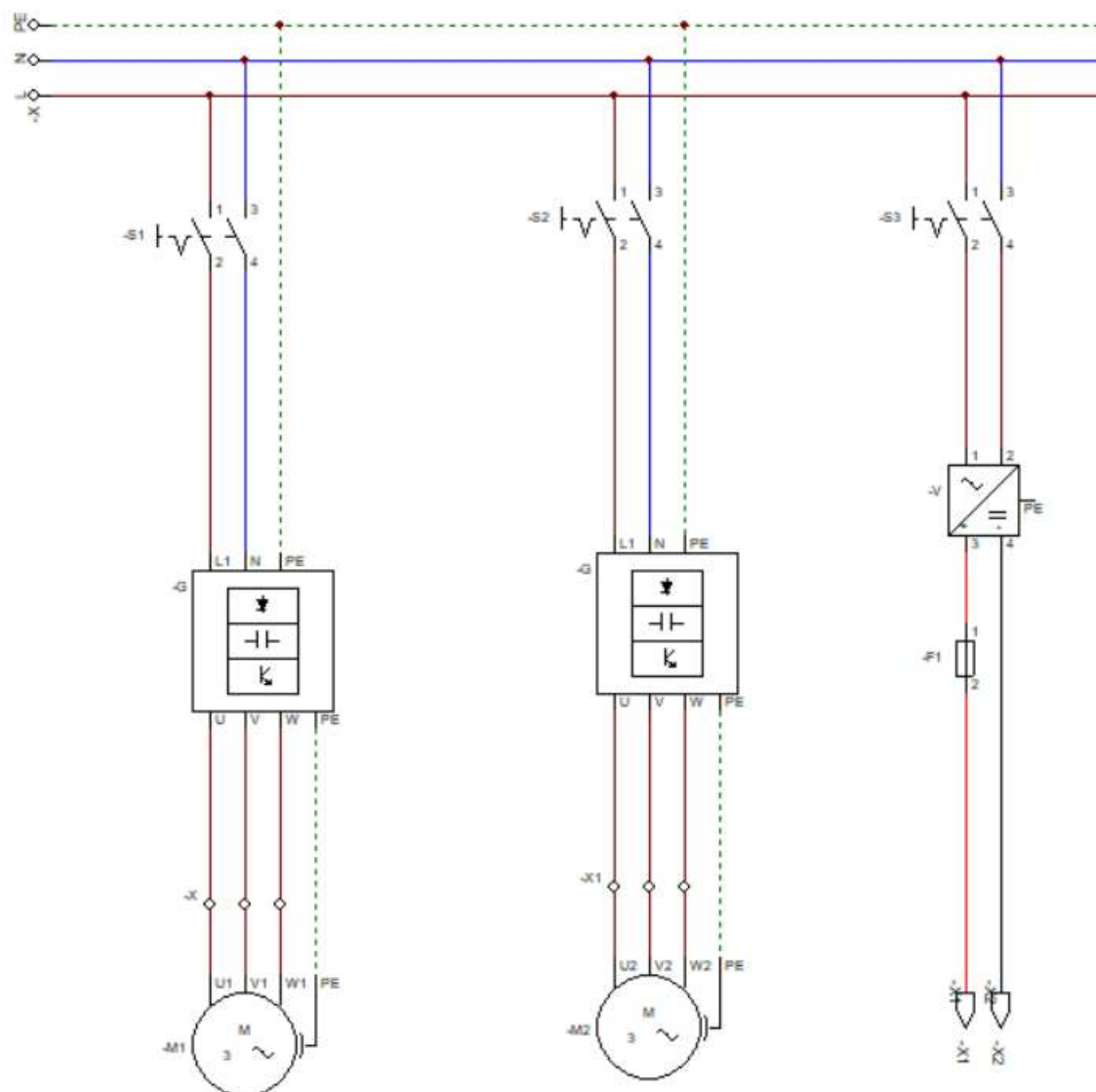
AMPERAJE - CABLE DE COBRE			
Tipo de aislante	TW	RHW,THW, THWN	THHN,XHHW-2 THWN-2
Nivel de temperatura	60°C	75°C	90°C
Calibre de cable	Amperaje soportado		
14 AWG	15 A	15 A	15 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A
3 AWG	85 A	100 A	115 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A
1 AWG	110 A	130 A	145 A
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A

Nota. Tomado de (Riel, 2018)

El tipo de cable seleccionado es de calibre 14, para el amperaje nominal que se encuentra en todo el circuito. En la figura 34 se observa un esquemático del circuito de potencia

Figura 34

Circuito de potencia



Dimensionamiento de protección para el circuito del PLC

Después de haber realizado la dimensión inicial del interruptor termomagnético para el PLC y la fuente de voltaje, se avanza en la tarea de dimensionar las protecciones restantes, tales como los fusibles y los portafusibles. Este proceso se lleva a cabo considerando el consumo de corriente asociado al PLC, los relés, las borneras y el botón de emergencia. Los detalles específicos de estos cálculos se encuentran presentados en la Tabla 22.

Tabla 22

Consumo de corriente de los componentes del sistema de control

Componente	Consumo de corriente
Fuente de voltaje 24VDC	$I_{Fuente} = 5A$
PLC	$I_{PLC} = 2.1A$
Hongo de emergencia	$I_{H.emergencia} = 1.1A$
Borneras de sensores	$I_{Borneras} = 0.021A \times 2 _ Borneras = 0.042A$
Relé de 5 pines	$I_{Bobina} = 0.052A \times 6 _ Bobinas = 3.12A$

Ya conociendo las diferentes corrientes se procede a realizar la suma para obtener la corriente total, esta corriente es la que deberá encontrarse en el fusible.

$$I_{Total} = I_{H.emergencia} + I_{Bornrs} + I_{Bobina} + I_{Fuente} \quad (12)$$

$$I_{Total} = 1.1A + 0.042A + 3.2A + 5A$$

$$I_{Total} = 9.262A$$

Una vez obtenido la corriente total la cual es la nominal se procede a realizar la resolución de la ecuación (10), para que la porta fusible y el fusible tengan un 25% más de la corriente calculada.

$$I_{Fusible} = 9.262A \times 1.25$$

$$I_{Fusible} = 11.578A$$

El fusible debe de ser uno cerámico de $\varnothing 10 \times 38$ de una corriente nominal de 15 A, esta protección llega a dispararse bastante rápido lo cual hace que los elementos del sistema de control se encuentren más protegidos, en la figura 35 a, se puede apreciar el fusible.

Figura 35

Porta fusibles 32 A y Fusible cerámico



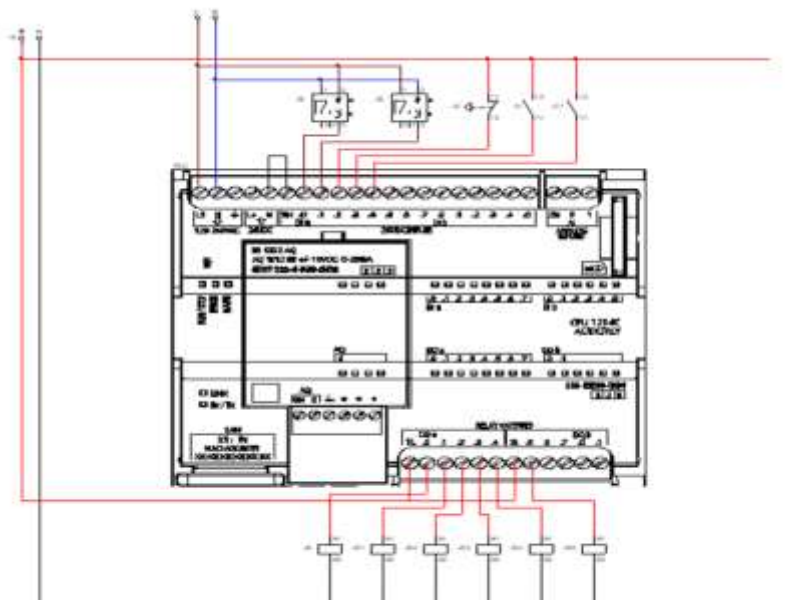
Nota. a) Tomado de (Ebasee, 2020); b) Tomado de (Ebasee, 2023)

La porta fusibles es el encargado de conectar el fusible al circuito y el que mantiene en una posición estable al mismo, en la figura 34 b se muestra la porta fusible seleccionado de 32 A. Como el PLC tiene 2.1 A de corriente nominal se utilizará un fusible cerámico de $\varnothing 10 \times 38$ de una corriente nominal de 15 A el mismo que se encuentra en la figura 34 a y otra porta fusibles de 32 amperios como se puede ver en la figura 35 b.

El esquemático del circuito para el sistema de control se ve detallado en la Figura 36

Figura 36

Diagrama del circuito del PLC



Diseño del sistema electro-neumático

Los elementos que se van a utilizar para el sistema neumático, como son los pistones, electroválvulas, sistema de mantenimiento, tuberías y demás se aprecia en la tabla 23

Tabla 23

Componentes neumáticos

Componente	Descripción
Electroválvulas 5/2 (4)	Son los que permiten el paso de aire para activar los pistones
Pistón de abertura de boquillas	Abre las boquillas para comenzar la dosificación
Pistón antigoteo	Evita el goteo una vez terminado la dosificación
Pistón entrada-salida de banda (2)	Permiten la entrada y la salida de los pistones

Componente	Descripción
Sistema de mantenimiento	Es el que regula la presión de entrada y mantiene en buen estado las tuberías
Terminales de conexión (12)	Conectan las mangueras a las electroválvulas
Silenciadores (8)	Anulan el ruido generado por el sistema

En la figura 37 se puede apreciar los valores del compresor, teniendo en cuenta que se va a trabajar con 70 psi gracias al sistema de mantenimiento

Figura 37

Valores del compresor



Se posee un caudal de 4.1 CFM, realizando la conversión se tiene 116.1 L/min, se necesita un pistón de abertura de boquillas, de 125mm de carrera, dos pistones de entrada y salida con un aproximado de carrera de 100mm y dos pistones de antigoteo de 50mm de carrera, la ecuación (13) es necesaria para calcular el consumo de estos pistones, en la tabla 24 se aprecia las características de los pistones

Tabla 24*Características de los pistones*

	Pistón entrada- salida	Pistón antigoteo	Pistón abertura de boquillas
Marca	SCWR-L-CC-25-100	SCWR-LCC25-50	SCWP2-63B125
Diámetro del cilindro	25mm	25mm	63mm
Carrera del cilindro	100mm	50mm	125mm

$$Q = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times c \times n \times P \times N \times 10^{-6} \quad (13)$$

- Q: consumo de aire [NI/min]
- d: diámetro del cilindro [mm]
- c: carrera del cilindro [mm]
- n: ciclos por minuto
- P: Presión absoluta
- N: número de efectos del cilindro

Se debe para este caso calcular con el consumo en condición normal, a 273° k, un valor de presión atmosférica de 1.01 bar y con humedad relativa de 0%. Mediante la ecuación (14) se obtiene la presión absoluta (bar), mediante la presión relativa de trabajo, 70 psi, que en bares da: 4.266 bar, sumando la presión atmosférica 1.01 bar.

$$\text{Presión absoluta} = \text{Presión atmosférica} + \text{Presión relativa de trabajo} \quad (14)$$

$$\text{Presión absoluta} = 1.01 \text{ bar} + 4.27 \text{ bar}$$

$$\text{Presión absoluta} = 5.28 \text{ bar}$$

Una vez obtenido la presión absoluta se procede a obtener el caudal de los pistones de: abertura de boquillas, entrada-salida y antigoteo mediante la ecuación (13), reemplazando sus respectivos valores.

Pistón abertura de boquillas:

$$Q = \frac{\pi}{4} \times (63\text{mm})^2 \times 125\text{mm} \times 2 \times 5.28\text{bar} \times 2 \times 10^{-6}$$

$$Q = 0.823 \frac{\text{Nl}}{\text{min}}$$

Pistón antigoteo

$$Q = \frac{\pi}{4} \times (25\text{mm})^2 \times 50\text{mm} \times 2 \times 5.28\text{bar} \times 2 \times 10^{-6}$$

$$Q = 0.052 \frac{\text{Nl}}{\text{min}}$$

Pistón entrada-salida

$$Q = \frac{\pi}{4} \times (25\text{mm})^2 \times 100\text{mm} \times 2 \times 5.28\text{bar} \times 2 \times 10^{-6}$$

$$Q = 0.103 \frac{\text{Nl}}{\text{min}}$$

Para los pistones de entrada-salida y los pistones antigoteo que poseen un consumo de 0.103 Nl/min y 0.52 Nl/min respectivamente, se multiplican por 2 ya que son dos de estos para las funciones de: entrada-salida y antigoteo, el consumo final es: 0.206 Nl/min y 0.104 Nl/min respectivamente, una vez obtenido los valores se suman para tener el consumo total, mediante la ecuación (15) y después se compara con el caudal producido por el compresor, mediante la ecuación (16).

$$Q_{C.Total} = Q_{Abridora} + Q_{E/S,Botellas} + Q_{Antigoteo} \quad (15)$$

$$Q_{C.Total} = 0.823 \frac{\text{Nl}}{\text{min}} + 0.206 \frac{\text{Nl}}{\text{min}} + 0.104 \frac{\text{Nl}}{\text{min}} = 1.133 \frac{\text{Nl}}{\text{min}}$$

$$Q_{C.Total} = 1.133 \frac{\text{Nl}}{\text{min}}$$

El caudal que da el compresor es de 116.1 L/min, se debe convertir a caudal normal, esto se obtiene restándole el 15% que da en realidad, por lo que se obtiene: 98.685 Nl/min, se procede a realizar la comparación por medio de la ecuación (16)

$$Q_{C.Total} < Q_{C.Total} \quad (16)$$

$$1.133 \frac{Nl}{min} < 98.685 \frac{Nl}{min}$$

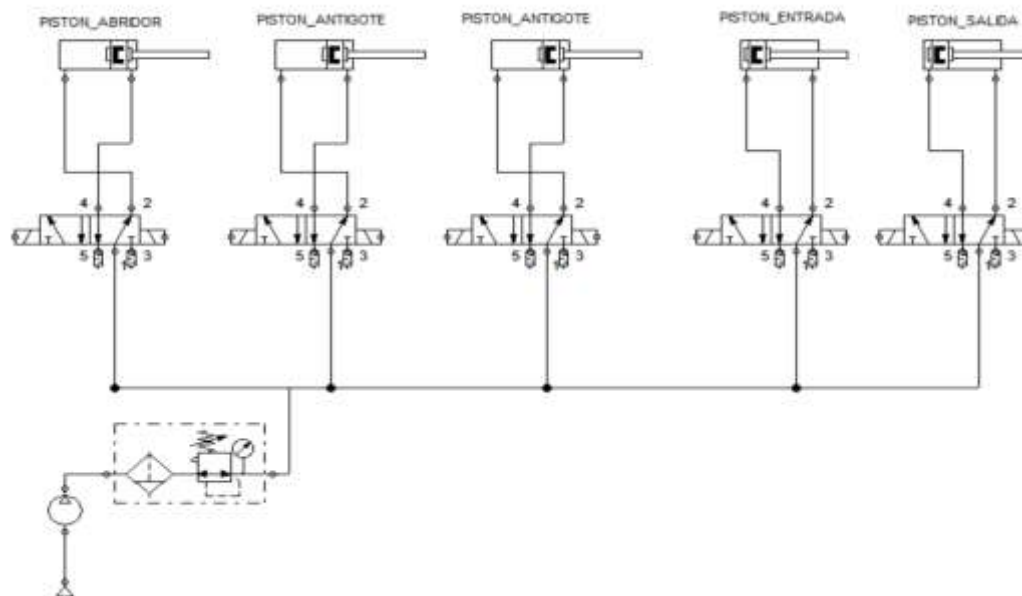
El consumo total de todos los cilindros es menor al caudal proporcionado por el compresor por lo que es factible usar los compresores CKD, disponibles en el mercado

Diagrama neumático

El control deberá ser para 5 cilindros neumáticos de doble efecto, uno funciona para abrir las boquillas para la dosificación, otro es para expandir o retraer la bandeja de antigoteo y dos son para permitir la entrada y salida de botellas por medio de la banda transportadora, en la figura 38 muestra su diagrama

Figura 38

Diagrama neumático



Se alimentan por un mismo compresor el cual conecta con las cuatro electroválvulas.

Algoritmo de programación

En la Figura 37 se presenta el Grafcet del proceso, este presenta el proceso de entrada y salida de botellas, el proceso de dosificación, el movimiento de la bandeja antigoteo y el

monitoreo de la cantidad de botellas ingresadas y en la Tabla 25 se encuentra su nomenclatura.

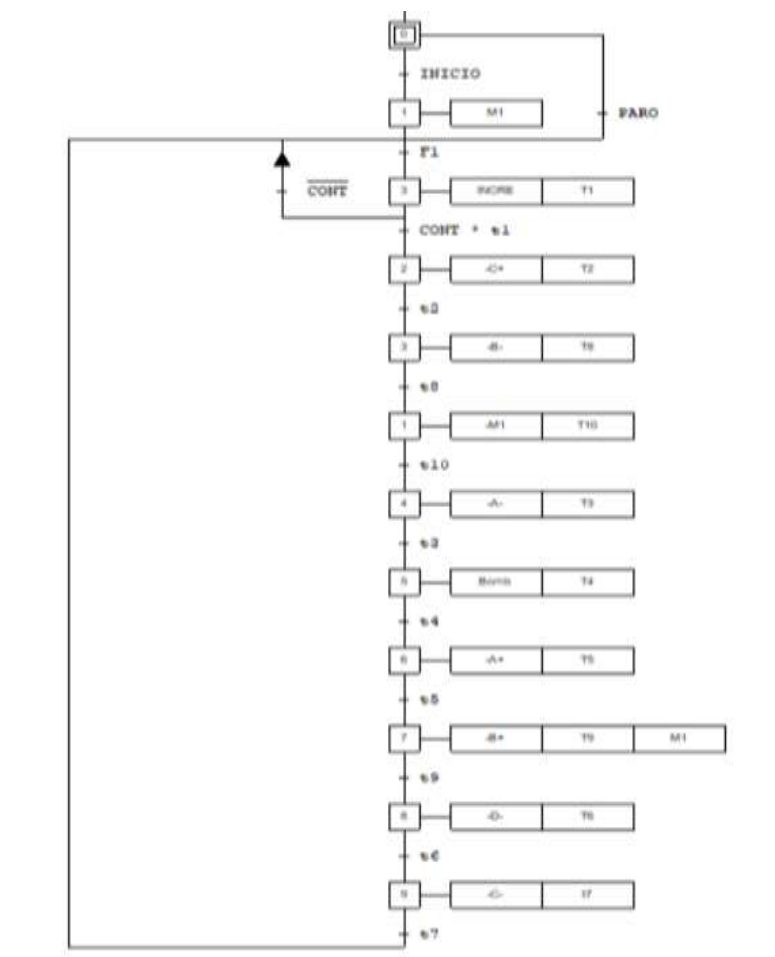
Tabla 25

Nomenclatura del GRAFCET

Descripción	Descripción
INICIO = botón de inicio	T6 = Temporizador de retracción del pistón salida
M1 = Motor de la Banda	T7 = Temporizador de retracción del pistón entrada
CONT = contador de botellas	-A+ = Pistón abridor de boquillas expandido
INCRE = incrementador del número de botellas	-A- = Pistón abridor retraído
F1 = Sensor foto eléctrico de entrada	-B+ = Pistón antigoteo expandido
F2 = Sensor fotoeléctrico de salida	-B- = Pistón antigoteo retraído
T1 = Temporizador de entrada de botellas	-C+ = Pistón entrada expandido
T2 = Temporizador de terminación de entrada de botellas	-C- = Pistón entrada salida
T3 = Temporizador de retracción del pistón de abertura de boquillas	-D+ = Pistón salida expandido
T4 = Temporizador de dosificación de aceite	-D- = Pistón entrada retraído
T5 = Temporizador de expansión del pistón de abertura de boquillas	Bomb = bomba para verter aceite
T8 = Temporizador retracción de antigoteo	T9 = Temporizador expansión de antigoteo
T10 = Temporizador de detención de motor	-M1 = Motor apagado

Figura 39

Grafcet del sistema



Siguiendo el grafcet del sistema, se realiza la programación en lenguaje Ladder utilizando el software TIA Portal V16. El programa consta de cuatro partes fundamentales: el modo automático, las salidas, el modo manual y el bloque principal (main). En el bloque principal, el programa está organizado en bloques de funciones, específicamente para el modo automático, el modo manual y las salidas. El modo automático mantiene un ciclo continuo de llenado de botellas hasta que se detiene este modo. El modo manual permite activar individualmente todos los actuadores del sistema de forma independiente, mientras que las salidas contienen todas las salidas directas del PLC.

Capítulo V

Implementación del sistema de llenado y monitoreo del aceite

Construcción de la parte mecánica

La construcción de la estructura mecánica diseñada previamente en el capítulo anterior se llevó a cabo conforme a los parámetros establecidos. En la Figura 40, se presenta la configuración principal de la máquina, la cual fue sometida a un análisis mecánico.

Durante el proceso de soldadura de la estructura base, se identificó y ubicó una placa de acero inoxidable destinada a albergar el eje con el volante principal, así como las guías laterales que complementarán el movimiento de dosificación, tal como se muestra en la Figura 40.

Figura 40

Estructura de la base

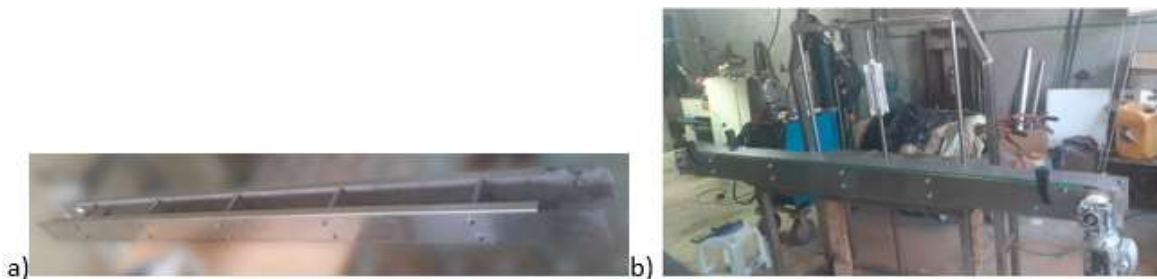


Nota. a) Estructura soldada y placa, b) posición de las guías y volante

Luego de haber colocado el pistón central y los ejes guía se procede con la instalación de la banda transportadora, la cual fue diseñada desde cero y colocado los planos en los anexo 1 en la Figura 41 se observar la posición final de la banda dentro de la estructura principal y sujeta.

Figura 41

Banda Transportadora

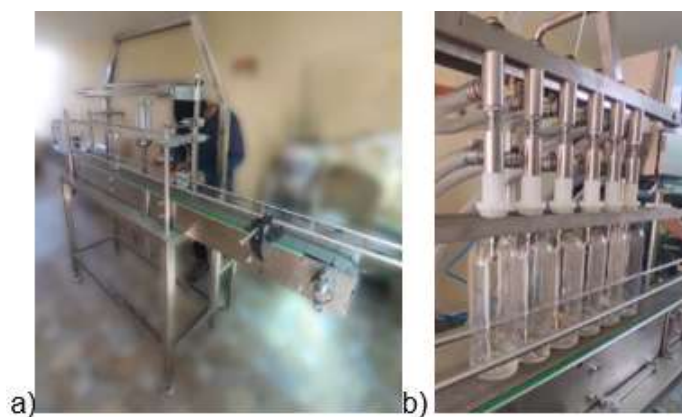


Nota. a) Estructura de la banda, b) posición de la banda en la estructura

De la misma manera se realiza el montaje de la porta boquillas donde abarcar longitudes entre las botellas con una distancia especificada, como en la Figura 42

Figura 42

Separación porta boquillas



Nota. a) Posición de porta boquillas, b) Separación de las Boquillas

Para terminar en la parte mecánica se observa en la Figura 43 la colocación del tanque (manifold) que administra el fluido principal al sistema, así como el sistema de tuberías conectadas que lo suministra.

Figura 43

Colector



Nota. el tanque se coloca en la parte superior del sistema para que este tenga la altura necesaria para que el flujo sea constante.

Se realiza la conexión de las tuberías que suministran a las boquillas que van a llenar las botellas y de la boquilla al tanque, según la Figura 43

Implementación del sistema electrónico

Para implementar el sistema eléctrico es necesario tener un tablero de tamaño 400 de alto, 400 de largo Y 200 de ancho. Este tamaño es más que suficiente para albergar elementos eléctricos, que actuarán para el funcionamiento de la máquina.

El montaje de los elementos se realizará por el riel din, es un elemento de sujeción necesario para que los diferentes componentes eléctricos puedan ser colocados y mantenerse firmes dentro del tablero eléctrico, El tipo de riel din utilizado se puede observar en la Figura 44.

Figura 46

Componentes conectados

**Implementación del sistema electroneumático**

En la Figura 47, se observa la válvula solenoide de 4 puertos que se coloca al posterior de la estructura, para cómodo alcance.

Figura 47

Válvula solenoide de 4 puertos



A su vez este se encarga de administrar a los diferentes pistones del sistema como se muestra en la Figura 48 y verificando las posiciones adecuadas para cada uno de los mismos.

Figura 48

Pistones del sistema neumático



Programación e Implementación de la interfaz de control y monitoreo

En la interfaz humano-máquina mejor conocido como HMI se tiene visualización de los procesos principales y posee controles como parada, marcha del modo automático y los diferentes accionadores de la pantalla manual, para el desarrollo del HMI se utilizó el software KinkoDtools, la versión 4.0.0, el cual es el programa de edición y creación de interfaces oficial de Kinko, el cual es muy amigable con una gran gama de PLC's, el cual está incluido el S7-1200 de Siemens.

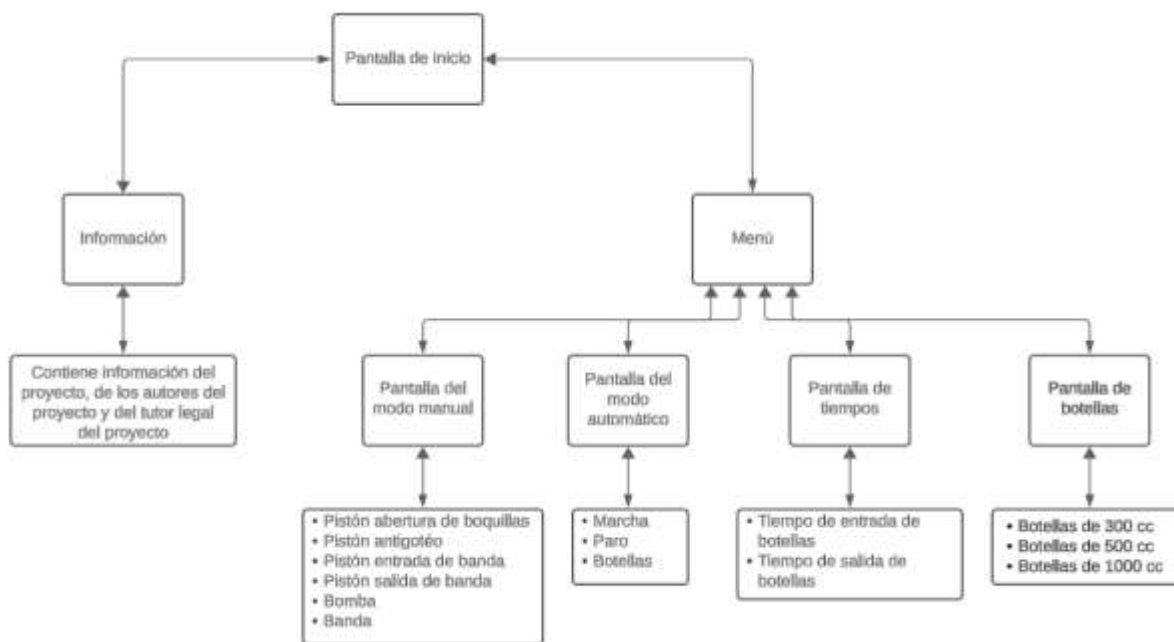
Estructura del HMI

La estructura del HMI muestra como están relacionada cada pantalla y la ruta de acceso para cada una de estas, las más importantes son: Pantalla de inicio, Menú, Pantalla modo del

manual (Manual), Pantalla del modo automático (Auto) y la Pantalla de tiempos (Tiempos), se puede observar en la figura 49 la estructura del HMI

Figura 49

Estructura del HMI



Pantalla de inicio

La pantalla que se presenta al encender la máquina exhibe una breve animación del proceso y muestra diversos logotipos, entre ellos, los de la Universidad de las Fuerzas Armadas E.S.P.E., la carrera en Mecatrónica y la Industria MEGACONTROL. Estos logotipos se repetirán en cada pantalla. En la interfaz se distinguen dos botones: uno destinado a la pantalla de información y otro para acceder al menú. Esta disposición se visualiza en la Figura 50 siguiente.

Figura 50

Pantalla de inicio



Pantalla de información (Información)

En la presente pantalla mostrada en la Figura 51, se aprecia la información tanto del proyecto, como de sus integrantes y tutora.

Figura 51

Pantalla de información

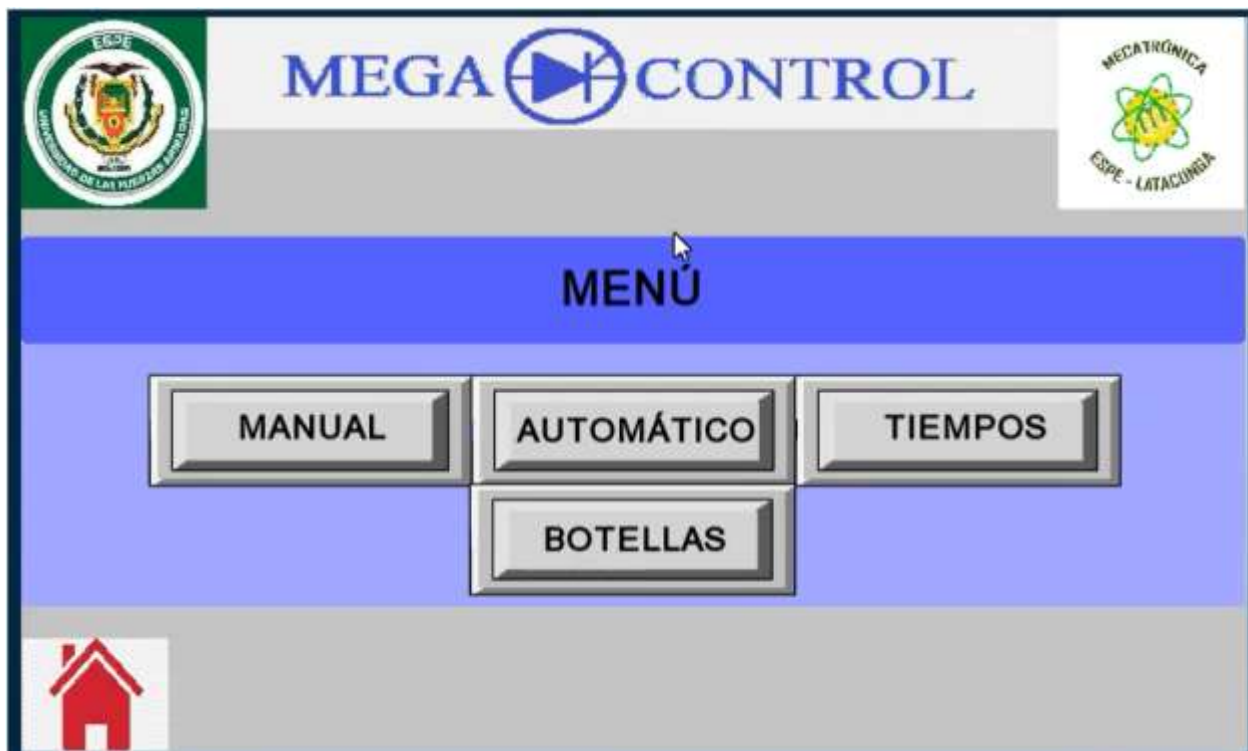


Pantalla de Menú (Menú)

Es la pantalla en donde se selecciona a que otras pantallas se desea acceder, se muestra diferentes botones: MANUAL, AUTO, TIEMPOS, BOTELLAS y también en la esquina inferior izquierda un botón de home, para regresar a la pantalla de inicio, se puede apreciar en la Figura 52.

Figura 52

Pantalla MENÚ



Pantalla del modo Manual (Manual)

Es la pantalla la cual va a dar marcha a los diferentes actuadores que se encuentran presentes en la máquina, los botones son 6: Pistón abertura de boquillas, Pistón antigoteo, Pistón entrada de banda, pistón salida de banda, Bomba y Banda, en la Figura 53 se puede apreciar la pantalla

Figura 53*Pantalla del modo Manual***Pantalla del modo Automático (Auto)**

En la presente pantalla se va a apreciar el proceso automático de la máquina, se puede apreciar una imagen, compuesta de varias imágenes de tres botellas una banda transportadora, muy parecida a la que se posee, tres diferentes lámparas de luz los cuales van de izquierda a derecha y son del sensor de entrada, dosificador y el sensor de salida correspondientemente, posee 2 botones uno para dar marcha y otro para parar el sistema automático, y un visualizador de la cantidad de botellas que entran a la máquina, en la Figura 54 se aprecia la pantalla

Figura 54*Pantalla de modo Automático*

Pantalla de Tiempos (Tiempos)

La pantalla presente va a servir para poder manipular los tiempos más importantes, los cuales son tres: tiempo de dosificado, el cual va a servir para regular el tiempo que se va a necesitar en el proceso de dosificación, tiempo de entrada de botellas, es el tiempo en el cual se va a dar para que puedan entrar la cantidad de botellas pertinentes y tiempo de salida de botellas es el tiempo que las botellas tienen para salir una vez terminado el proceso de dosificación, como se muestra en la Figura 55

Figura 55

Pantalla de tiempos



Pantalla de Botellas (BOTELLAS)

Se presenta la pantalla de botellas en donde se puede seleccionar 3 diferentes, 300 cc, 500 cc, y 1000 cc, aquí es en donde se colocan los tiempos de dosificados probados para cada uno, no hay la opción de 100 cc ya que este se la realiza con el modo manual, y si se desea botellas entre 300 cc y 500 cc o entre 500 cc y 1000 cc, como una botella de 350 cc o de 600 cc, estas trabajarían perfectamente con el valor de botella anterior a este, es decir que si se desea llenar una botella de 350 cc se trabajaría seleccionando la de 300 cc y si se desea

trabajar con una de 600 cc se selecciona la opción de 500 cc, en la figura 56 se presenta esta pantalla.

Figura 56

Pantalla de botellas



Configuración del sistema

En la configuración del sistema se va a encontrar una descripción más detallada del programa y de sus 4 diferentes partes los cuales son: el Main, el Modo manual, el Modo automático y las salidas.

Programa principal "Main"

El programa principal es en donde se pueden encontrar los 3 diferentes bloques de funciones, se utilizó este tipo de programación en bloques por su facilidad de incluir memorias locales, las cuales se usan muy seguido a lo largo del programa. Los tres diferentes bloques de función separan la programación en modo manual, la programación en modo automático y las salidas del programa, esto por una mayor facilidad al momento de redactar los comandos, el programa principal se observa en la Figura 57 y presenta una fracción del programa mostrando los segmentos 1 y 2 en el cual se encuentran los bloques de función del Modo "Manual" y las "Salidas".

Figura 57
Fragmento del programa principal

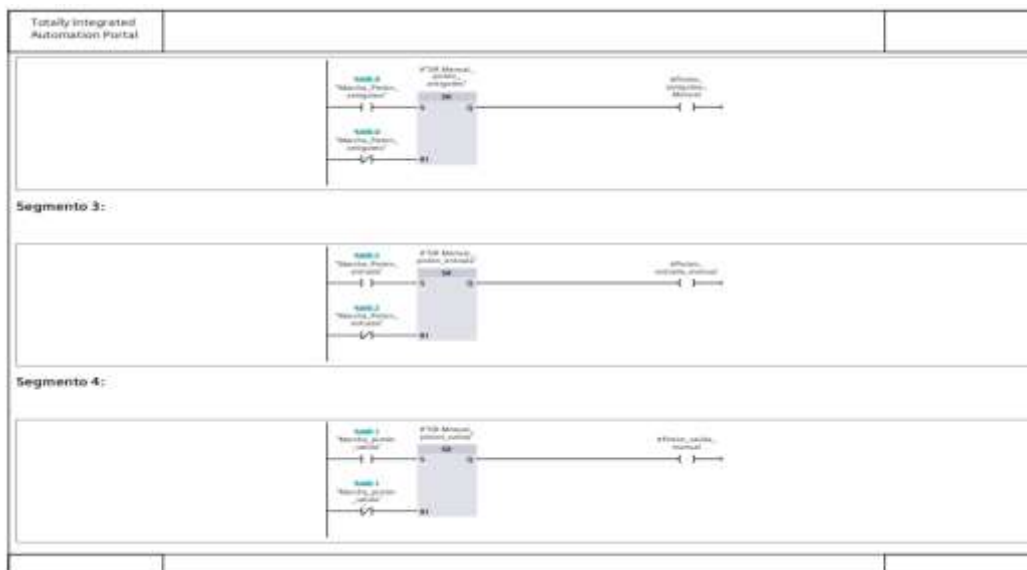


Nota. Segmentos 1 y 2 del main

Bloque de función “Manual”

El bloque de función “Manual” se encuentra hecho para que el operador pueda probar cada actuador como son los pistones de antigoteo, los pistones de entrada y salida, el pistón dosificador, la bomba de producto y la banda transportadora, cada uno de estos puede trabajar de manera individual a excepción de los pistones antigoteo y el pistón dosificador, estos poseen un temporizador, esto para evitar colisiones, en la figura 58 se presenta un fragmento del bloque de función “Manual”, se presentan los segmentos 2, 3 y 4, donde se encuentran las programaciones para el funcionamiento manual del pistón antigoteo, pistón entrada y pistón salida.

Figura 58
 Fragmento del bloque de función “Manual”:

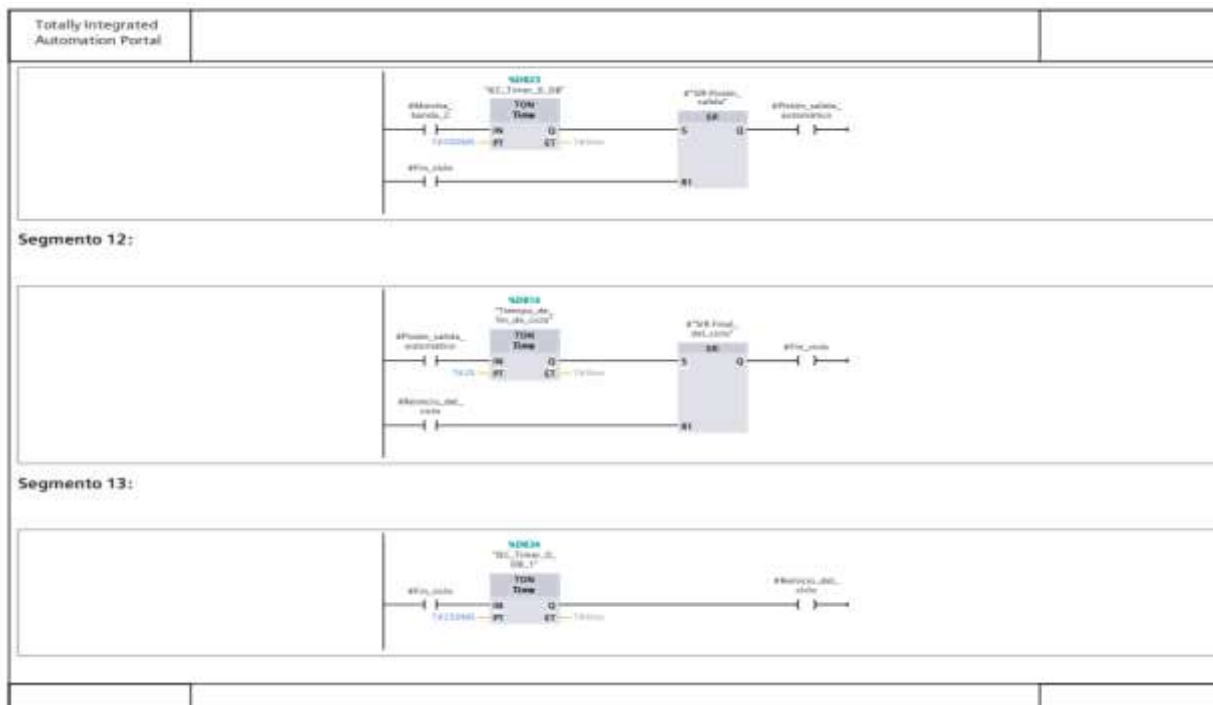


Nota. Segmentos 2, 3 y 4 de la función manual

Bloque de función “Automático”

El Bloque de función “Automático” sigue el ciclo de mantener la banda transportadora activada esperando a que el sensor cuente las 6 botellas, se activa en pistón entrada, para que de esa forma se dé un tiempo para que la banda lleve las 6 botellas hasta el pistón de salida y se pare la banda, de esta forma da inicio al sistema de dosificación retrayendo los pistones antigoteo, luego activando el pistón dosificador y por último la bomba de producto, esta se para después de un tiempo y sube el pistón dosificador, una vez el pistón dosificador se encuentre en la parte de arriba se procede a extraer la bandeja antigoteo, y por último una vez que las botellas se encuentren llenas, se da un tiempo para que la banda transportadora se active y empiece a andar, lo cual permite al pistón de salida retraerse, dar un tiempo para que salgan las botellas, extraerse de nuevo y desactivar el pistón entrada, estando listo para otro ciclo de dosificado, en la Figura 59 se puede apreciar un fragmento de la programación del bloque de función “Automático”, se presentan los segmentos 11, 12 y 13, donde se activa el pistón de salida y las bobinas “Fin_ciclo” y “Reinicio_del_ciclo”.

Figura 59
 Fragmento del bloque de función “Automático”:



Nota. Segmentos 11, 12 y 13 bloque de función Automático

Bloque de función “Salidas”

El bloque de función “Salidas” se realizó para que el Bloque de función “Manual” y Bloque de función “Automático” no interfirieran entre ellos por ejemplo si se activaba el pistón de salida, en el bloque de función “Manual”, este no debería dar marcha a ningún ciclo del bloque de función “Automático”, es por eso que las diferentes memorias locales del automático no interfieren con el manual y se dirigen al bloque de función “Salidas” donde están programados de forma ordenada como se puede ver en la figura 60 un fragmento del bloque de función “Salidas”, donde se presentan los segmentos 1 y 2 en los cuales se encuentran programados la salidas “Q0.0” y “Q0.1”, “Pistón_antigoteo” y “Bomba” respectivamente

Figura 60
Programación de las salidas

Totally Integrated Automation Portal									
Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Retención	Accesible desde HMI/OPC UA/Web API	Escribible desde HMI/OPC UA/Web API	Visible en HMI Engineering	Valor de ajuste	Supervisión	Comentario
Constant									
Segmento 1:									
Segmento 2:									

Nota. Segmento 1 y 2 de la función salidas.

Capítulo VI

Análisis de pruebas y resultados

En este capítulo se realiza las pruebas base del sistema de dosificación, considerando como variables la velocidad de llenado y el volumen que corresponde a los diferentes tamaños botella, se debe considerar que simultáneamente se llenan 6 botellas a la vez.

Prueba preliminar

Fase inicial

Una vez, ensamblado el sistema, se llena el tanque inicialmente de agua, para verificar si en el sistema existen fugas al estar sin energía, luego se energiza el sistema y se le da arranque con esto se evitará el desperdicio inicial del producto a embotellarse y el ajuste de la distancia de las boquillas como se muestra en la Figura 61.

Figura 61

Llenado de botellas



Calibración

Para la calibración del sistema se realiza 2 pruebas diferentes:

- Tiempo de llenado
- Velocidad de banda transportadora

Tiempo de llenado. El tiempo necesario para que el producto alcance el nivel requerido será evaluado durante las pruebas de llenado, las cuales se llevan a cabo en tres volúmenes distintos de botellas.

Botella 350cc

Para la prueba por lote, se va a implementar una medida de tiempo, la que iniciara con la botella vacía hasta que el producto alcance el nivel deseado. Véase en la Tabla 26.

Tabla 26

Prueba de llenado de botella 350cc

Prueba por lote (6 botellas)	Tiempo (s)	Frecuencia bomba (Hz)	Observaciones
1	6:39	30	El flujo de botella es muy lento
2	4:45	35	Mejora el flujo, sigue lento
3	2:34	40	Llenado eficiente, tiempo corto
4	2:05	45	Desborde excesivo, tiempo corto

En la Tabla 26 se observan las distintas pruebas realizadas al variar la frecuencia de la bomba. La frecuencia fue ajustada según el sistema montado para la calibración, con un rango aceptable de 40 Hz a 55 Hz. La frecuencia más alta permite reducir los tiempos de producción, pero conlleva un mayor riesgo de desbordamiento, superando el tiempo ideal para el llenado de la botella. En cambio, una frecuencia de 40 Hz mejora el flujo, asegura un llenado uniforme de las botellas y evita desbordamientos. El tiempo requerido para llenar las 6 botellas de 350 cc a esta frecuencia es de 2 minutos y 34 segundos.

Botella 600cc

Para la prueba por lote, se va a implementar una medida de tiempo que empezará desde la botella vacía hasta llegar al nivel deseado, obsérvese la Tabla 27.

Tabla 27*Prueba de llenado de botella 600cc*

Prueba por lote (6 botellas)	Tiempo (s)	Frecuencia bomba (Hz)	Observaciones
1	8:30	30	El flujo de botella es muy lento
2	7:30	35	Mejora el flujo, sigue lento
3	4:50	40	Flujo óptimo, reduce tiempo
4	3:03	45	Rebose, reducción de gota

Para la elaboración de la Tabla 27, se llevaron a cabo las mismas pruebas, considerando que previamente se realizó la calibración y posicionamiento de las boquillas, así como la alineación del riel que sujeta el cuello de las botellas. El rango efectivo para este tipo específico de botellas oscila entre 40 y 45 Hz, siendo el más eficiente a 40 Hz, lo cual demuestra ser el flujo adecuado para el llenado de botellas con este volumen. El tiempo necesario para llenar las 6 botellas de 500 cc a esta frecuencia es de 4 minutos y 50 segundos.

Botella 1000cc

Para la prueba por lote, se implementará una medida de tiempo, la cual empieza desde que la botella está vacía hasta alcanzar el nivel deseado. Véase en la Tabla 28.

Tabla 28*Prueba de llenado de botella 1000cc*

Prueba por lote (6 botellas)	Tiempo (s)	Frecuencia bomba (Hz)	Observaciones
1	15:20	30	El flujo de botella es muy lento
2	10:45	35	Mejora el flujo, sigue lento
3	8:50	40	Mejora flujo, disminuye tiempo
4	7:17	45	Flujo rápido, brinca gotas a levantar

Se procede a realizar de igual manera las diferentes pruebas, luego de su calibración para la Tabla 27, se llegó a la conclusión que el rango de funcionamiento va de 40 a 45, no se consideran los 45 Hz, el pico de la boquilla no se sumerge al estar lleno, se levanta la botella y brincan varias gotas fuera de la botella por lo cual no es aceptable, el valor de 40Hz es el más efectivo para el llenado de botella se mejora el flujo y es más rápido permitiendo mejorar la producción, el tiempo que permite el llenado de las 6 botellas de 1000 cc es 8:50 s.

En vista de que para las botellas de 1000 cc, 600 cc y 350 cc se obtuvo que la frecuencia de bomba (Hz) óptima fue de 40 Hz, se va a implementar este valor.

Velocidad de banda transportadora. Para realizar las pruebas, se cuenta con un variador de frecuencia, el que se encarga de regular la velocidad con la que entran las botellas hasta el punto de las boquillas, y se toma en cuenta el tiempo en el que se van a llenar las botellas, en dónde el cumplimiento correcto va a ser colocado con un “Ok” y el incorrecto con una “X”.

Botella 350cc

Para la prueba por lote, se variará la frecuencia del motor, el tiempo de llegada y el cumplimiento de su llegada, estos datos se presentan en la Tabla 29.

Tabla 29

Frecuencia para botellas de 350cc

Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)	Cumplimiento	Observaciones
10	6:27	Ok	Llegada completa de botella
15	4:01	Ok	Retardo de botellas
20	3:35	Ok	Mucho tiempo
24	2:56	Ok	Tiempo optimo

Para la Tabla 28 se realiza la prueba de la velocidad con la que entran las botellas al sistema hasta el punto de dosificación, al ser la botella de 300cc relativamente pequeña esta se

acopla a la perfección con respecto a los rieles y al sistema de sujeción del cuello, el valor de 20 a 24 Hz del motor son los adecuados, siendo los 24 Hz la mejor velocidad para esta botella.

Botella 600cc

Para la prueba por lote, se variará la frecuencia del motor, el tiempo de llegada y el cumplimiento de su llegada, estos datos se observan en la Tabla 30.

Tabla 30

Frecuencia para botellas de 600cc

Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)	Cumplimiento	Observaciones
15	6:30	Ok	Dos botellas se retrasan
20	5:05	Ok	Reducción de tiempo
25	3:34	Ok	Óptimo tiempo
30	2:50	X	Caída primera botella

La Tabla 28 abarcará un rango de frecuencia de 20 a 25 Hz. Dado que se trata de una botella de mayor volumen, se observó que a 30 Hz la botella entra en colisión con el sistema de sujeción del cuello de las botellas, lo cual la descalifica para el proceso. Es importante señalar que cualquier ausencia de botellas o error después de contabilizar las seis unidades podría llevar a que la máquina dosifique de manera inadecuada, generando un riesgo de accidente. Por esta razón, se establece una frecuencia aceptable de 25 Hz, donde se mantiene un flujo continuo y se previene cualquier eventualidad.

Botella 1000cc

En la prueba por lote, se procederá a modificar la frecuencia del motor, el tiempo de llegada y verificar el cumplimiento de su llegada. Estos datos específicos se encuentran detallados en la Tabla 31.

Tabla 31*Frecuencia para botellas de 1000cc*

Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)	Cumplimiento	Observaciones
20	4:45	Ok	Llegada correcta y completa
25	3:57	Ok	Tiempo adecuado
30	3:00	X	Velocidad adecuada, se atascan
35	2:20	X	Atasco de botellas

Para la Tabla 31, la botella que se usará cuenta con mayor volumen y una mayor altura por lo cual es inestable al estar vacía, razón por la cual podrían ocurrir accidentes, el rango aceptable es de 20 a 25 Hz, siendo el óptimo de 25 Hz.

Los valores óptimos para las botellas de 1000 cc, 500 cc, y 300 cc son: 25, 25 y 24 Hz respectivamente, la frecuencia a la cual se va a implementar la banda transportadora va a ser de 25 Hz esto debido a que este valor se repite para las botellas de 1000 cc, 500 cc y las de 300 cc solo presenta 1 Hz de diferencia.

Pruebas de peso de cada botella

Se implementa el tiempo y los Hz de la bomba, para poder llenar cada botella y de esta manera poder pesar cada una en gramos, en el orden en el que salieron de la máquina. Los centímetros cúbicos de cada botella (cc) en la que se van a realizar las pruebas deberán de ser transformadas a gramos, esto se lo realiza multiplicando la densidad, la cual es 0.891 gr/cc, obtenido de: (Las Valdesas, 2023), en la Tabla 32 se aprecian los valores en gramos de cada botella usada en las pruebas.

Tabla 32

Equivalencias en gramos para cada botella sometidas a las pruebas de peso

Centímetros cúbicos	Gramos
100 cc	89.1 gr
350 cc	311.85 gr
600 cc	534.6 gr
1000 cc	891 gr
1100 cc	980 gr

Botella de 100 cc

Para realizar las pruebas de botellas de 100 cc, se emplearon botellas de 350 cc, dado que en el momento no se contaba con las de 100 cc. A pesar de esta diferencia en el tamaño de las botellas, es importante destacar que el producto dosificado es el mismo. Además, es relevante señalar que estas pruebas se llevaron a cabo en modo manual, dado que la regulación mecánica no puede ser para 100 en automático, y sus mediciones de peso se encuentran detalladas en la Tabla 33. En este tipo de botellas, se acepta una deficiencia tolerable de +/- 4.5 gramos, obtenido de la norma ubicada en el anexo 2, tomando como referencia el valor más alejado del valor real.

Tabla 33

Pruebas de peso para botellas de 100 cc

Prueba	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	Valor real	Error Máximo	Aceptable
1	88	87	86	86	88	87	89.1	$89.1 - 86 = 3.1$	Ok
2	85	88	88	92	87	90	89.1	$89.1 - 85 = 4.1$	Ok
3	89	89	90	92	88	91	89.1	$89.1 - 92 = -2.3$	Ok
4	90	91	93	93	91	90	89.1	$89.1 - 93 = 3.1$	Ok
5	89	89	88	89	88	90	89.1	$89.1 - 90 = -0.9$	Ok
6	91	89	89	91	90	88	89.1	$89.1 - 91 = -1.9$	Ok
7	89	90	87	91	91	89	89.1	$89.1 - 87 = 2.1$	Ok

Prueba	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	Valor real	Error Máximo	Aceptable
8	89	91	88	92	87	90	89.1	$89.1 - 92 = -2.9$	Ok
9	92	90	90	90	85	91	89.1	$89.1 - 85 = 4.1$	Ok
10	88	91	87	88	91	89	89.1	$89.1 - 87 = 2.1$	Ok

Mediante los valores de error presentados para la botella de 100 cc se encuentra que en la prueba número 2 y 9 se tiene un error aproximado de 4.1 gr, siendo este el error más grande medido posible y tomando en cuenta la tolerancia de +/- 4.5 gr se tiene que se mantiene dentro de la deficiencia tolerable permitida

Botella de 350 cc

Se utilizarán botellas de 350 cc para llevar a cabo las pruebas, cuyos resultados están detallados en la Tabla 34. Es importante destacar que este margen de error se mantiene dentro de los límites establecidos por la norma en el anexo 2, que para las botellas de 350 cc es de +/- 9 gramos.

Tabla 34

Prueba de peso para botellas de 350 cc

P.	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	T.(s)	Valor real	Error máximo	Aceptable
1	310	309	309	312	309	305	2:34	311.85	$311.85 - 305 = 6.89$	Ok
2	310	310	309	312	310	307	2:34	311.85	$311.85 - 307 = 4.89$	Ok
3	309	310	310	311	311	306	2:34	311.85	$311.85 - 306 = 5.89$	Ok
4	310	310	308	310	309	305	2:34	311.85	$311.85 - 305 = 6.89$	Ok
5	310	309	310	311	310	306	2:34	311.85	$311.85 - 306 = 5.89$	Ok
6	310	309	309	311	310	306	2:34	311.85	$311.85 - 306 = 5.89$	Ok
7	310	310	309	311	310	305	2:34	311.85	$311.85 - 305 = 6.89$	Ok
8	310	309	310	311	309	305	2:34	311.85	$311.85 - 306 = 5.89$	Ok
9	309	309	310	311	309	306	2:34	311.85	$311.85 - 306 = 5.89$	Ok
10	309	310	310	310	309	305	2:34	311.85	$311.85 - 305 = 6.89$	Ok

Nota. P.=Prueba; T.(s) = Tiempo de llenado (s)

Según la información proporcionada en la Tabla 33, se evidencia un error de 6.89 gr como máximo este error se repite para la botella 6. Teniendo en consideración la tolerancia máxima permitida por la normativa, que asciende a 9 g, se puede concluir que el peso de las botellas se encuentra dentro del rango aceptable.

Botella de 600 cc

Se utilizarán botellas de 600 cc para llevar a cabo las pruebas, cuyos resultados están detallados en la Tabla 35. Es importante destacar que este margen de error se mantiene dentro de los límites establecidos por la norma en el anexo 2, que para las botellas de 600 cc es de +/- 15 gramos.

Tabla 35

Prueba de peso para botellas de 600 cc

P.	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	T.(s)	Valor real	Error máximo	Aceptable
1	521	521	523	521	521	520	4:50	534.6	$534.6 - 520 = 14.6$	Ok
2	521	521	522	521	521	521	4:50	534.6	$534.6 - 521 = 13.6$	Ok
3	521	521	522	521	519	520	4:50	534.6	$534.6 - 519 = 15.6$	X
4	521	520	523	521	521	521	4:50	534.6	$534.6 - 520 = 14.6$	Ok
5	520	521	522	521	521	521	4:50	534.6	$534.6 - 520 = 14.6$	Ok
6	521	521	522	521	521	521	4:50	534.6	$534.6 - 521 = 13.6$	Ok
7	521	520	522	520	520	521	4:50	534.6	$534.6 - 520 = 14.6$	Ok
8	520	521	523	520	519	521	4:50	534.6	$534.6 - 519 = 15.6$	X
9	521	520	522	520	521	521	4:50	534.6	$534.6 - 520 = 14.6$	Ok
10	520	521	522	520	521	520	4:50	534.6	$534.6 - 520 = 14.6$	Ok

Nota. P.=Prueba; T.(s) = Tiempo de llenado (s); Botellas fuera de la norma: B5 en dos pruebas la 3 y la 8

De acuerdo con la información proporcionada en la Tabla 35, se aprecia una variación máxima en el error de 15.6 gr en las pruebas 3 y 8, en la botella 5. Al considerar la tolerancia máxima permitida por la normativa, con un límite de 15 g, se concluye que el peso de la botella

5 en las pruebas 3 y 8 no se encuentra dentro del tolerancia máxima, sin embargo, en las demás pruebas se presenta un error de máximo de 14.6 el cual se encuentra en la tolerancia máxima.

Botella de 1000 cc

Se utilizarán botellas de 1000 cc para llevar a cabo las pruebas, cuyos resultados están detallados en la Tabla 36. Es importante destacar que este margen de error se mantiene dentro de los límites establecidos por la norma en el anexo 2, que para las botellas de 600 cc es de +/- 15 gramos.

Tabla 36

Prueba de peso para botellas de 1000 cc

P.	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	T.(s)	Valor real	Error Máximo	Aceptable
1	883	900	887	878	876	882	8:50	891	$891 - 876 = 15$	Ok
2	877	886	882	880	876	881	8:50	891	$891 - 876 = 15$	Ok
3	878	901	883	880	877	882	8:50	891	$891 - 877 = 14$	Ok
4	878	885	882	878	879	883	8:50	891	$891 - 878 = 13$	Ok
5	878	885	884	879	878	882	8:50	891	$891 - 878 = 13$	Ok
6	877	884	882	877	879	883	8:50	891	$891 - 877 = 14$	Ok
7	876	885	883	878	875	882	8:50	891	$891 - 875 = 16$	X
8	877	900	887	878	877	881	8:50	891	$891 - 877 = 14$	Ok
9	877	901	884	877	878	883	8:50	891	$891 - 877 = 14$	Ok
10	878	886	887	880	875	883	8:50	891	$891 - 875 = 16$	X

Nota. P.=Prueba; T.(s) = Tiempo de llenado (s); Botellas fuera de la norma: B5 en dos pruebas la 7 y la 10

De acuerdo con la información proporcionada en la Tabla 36, se aprecia una variación máxima en el error de 16 g. Al considerar la deficiencia tolerable permitida por la normativa, con un límite de 15 g, se concluye que el peso de la botella 5 en las pruebas 7 y 10 no se encuentra

dentro del rango aceptable, sin embargo, en las demás pruebas se tiene una variación máxima de error de 15 g el cual se encuentra dentro de la deficiencia tolerable.

Botella de 1100 cc

Se realizará las pruebas para botellas de 1100 cc, debido a una petición de la empresa para futuras promociones del 10 %, y los resultados se evidenciarán en la Tabla 36, el valor real necesario se obtiene de la multiplicación de la densidad del aceite de palma 0.891, y el valor deseado de 1100 cc, con esto poder calcular el error el cual se lo va a realizar restando el valor real y el valor más alejado de este, para poder verificar que los valores presentados se encuentren dentro de la deficiencia tolerable el cual para botellas de 1100 cc es de 15 gr se visualiza esta norma en el anexo 2.

Tabla 37

Prueba de peso para botellas de 1100cc

P.	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	T.(s)	Valor real	Error Máximo	Aceptable
1	993	992	994	994	991	995	8:50	980.1	$980.1 - 995 = -14.9$	Ok
2	992	993	994	995	996	995	8:50	980.1	$980.1 - 996 = -15.9$	X
3	992	992	995	995	990	994	8:50	980.1	$980.1 - 995 = -14.9$	Ok
4	993	993	993	995	991	995	8:50	980.1	$980.1 - 995 = -14.9$	Ok
5	991	992	994	995	990	995	8:50	980.1	$980.1 - 995 = -14.9$	Ok
6	992	992	994	995	989	995	8:50	980.1	$980.1 - 995 = -14.9$	Ok
7	993	993	995	995	996	994	8:50	980.1	$980.1 - 996 = -15.9$	X
8	992	992	993	994	991	993	8:50	980.1	$980.1 - 994 = -13.9$	Ok
9	993	994	995	994	992	995	8:50	980.1	$980.1 - 995 = -14.9$	Ok
10	990	991	994	995	991	995	8:50	980.1	$980.1 - 995 = -14.9$	Ok

Nota. P.=Prueba; T.(s) = Tiempo de llenado (s); Botellas fuera de la norma: B5 en dos pruebas la 2 y la 7

En base a la Tabla 37, se observa que existe una variación máxima de 15.9g tomando en cuenta la deficiencia tolerable de 15 g permitida por la normativa, el peso de las botellas no

se encuentra dentro del rango aceptable en las pruebas 2 y 7, y las dos pruebas erran en la misma botella, la cual es la 5, sin embargo, en el resto de pruebas se encuentran dentro de la deficiencia tolerable permitida.

Pruebas del cumplimiento de ciclo

Una vez completa la calibración y verificación para cada uno de los pesos de las botellas, por separado, se unificará en una sola prueba que abarca desde el ingreso, dosificado y salida de la botella.

La “O” marcada significará que no hubo inconvenientes o problemas y una “X” indicará al usuario que existen errores aceptables.

Botella 350 cc

En esta prueba tomará en cuenta los problemas existentes en cada fase, donde “P. entrada” es pistón de entrada, “B. antigoteo” es bandeja antigoteo y “P. salida” es pistón salida, y se incluirá estos procesos para las botellas de 350 cc.

Tabla 38

Pruebas de cumplimiento de ciclo con botellas de 300cc

Prueba	1	2	3	4	5
Entrada	O	O	X	X	O
P. entrada	O	X	O	O	O
B. antigoteo	O	O	O	O	O
Llenado	O	O	O	O	O
P. salida	O	O	O	O	O
Salida	O	O	O	O	X
Observación	Flujo continuo y correcto	Golpea la botella al pistón de entrada	Retraso en el ingreso	Al ingresar se retrasa uno botella	Se choca con los rieles

Como se observa en la Tabla 35, en la prueba 1 no hubo inconvenientes al completar el ciclo, mientras que en las pruebas de la 2 a la 5 existieron diferentes problemas, en la prueba 2 se presentó un golpe del pistón de entrada, en la prueba 3 y 4 se encontraron pequeños retrasos al ingreso de las botellas y en la prueba 5 al salir se localizó una colisión con los rieles superiores, sin embargo, estos inconvenientes no suponen un problema mayor al momento de completar los ciclos

Botella 600 cc

En esta prueba se va a tomar en cuenta si existen problemas en cada fase, donde “P. entrada” es pistón de entrada, “B. antigoteo” es bandeja antigoteo y “P. salida” es pistón salida, y se van a tomar en cuenta estos procesos para las botellas de 600 cc.

Tabla 39

Pruebas de cumplimiento de ciclo con botellas de 600cc

Prueba	1	2	3	4	5
Entrada	O	O	O	O	O
P. entrada	X	O	O	X	O
B. antigoteo	O	O	O	X	O
Llenado	O	O	O	O	O
P. salida	O	O	O	O	O
Salida	O	O	O	O	O
Observación	No contó primera botella	Ciclo completo	Ciclo completo, con desplazo de botella	Pequeño desfase de tiempo. Unas gotas caen	Ciclo completo

En la Tabla 36, en las pruebas 2, 3 y 5 no hubo inconvenientes al completar el ciclo, mientras que en las pruebas de la 1 y 4 existieron diferentes problemas, en la prueba 1 se presentó la falta de una botella al no estar bien calibradas las guías de la banda transportadora

y en la prueba 4 se encontró un desfase de tiempo en la bandeja antigoteo lo que generó una fuga de gotas de aceite, sin embargo, estos inconvenientes no suponen un problema mayor al momento de completar los ciclos.

Botella 1000 cc

En esta prueba se tomará en cuenta si existen problemas en cada fase, donde “P. entrada” es pistón de entrada, “B. antigoteo” es bandeja antigoteo y “P. salida” es pistón salida, y se van a tomar en cuenta estos procesos para las botellas de 1000 cc.

Tabla 40

Pruebas de cumplimiento de ciclo con botellas de 1000cc

Prueba	1	2	3	4	5
Entrada	O	O	O	O	O
P. entrada	O	O	O	O	X
B. antigoteo	O	O	O	O	O
Llenado	O	O	O	O	O
P. salida	O	O	O	O	O
Salida	O	O	O	O	O
Observación	Ciclo completo	Ciclo completo	Ciclo completo	Ciclo completo	Retraso de ultima botella

Para la Tabla 37, en las pruebas de la 1 a la 4 no hubo inconvenientes al completar el ciclo, mientras que en la prueba 5 se presentó un retraso en la última botella, este inconveniente no supone un problema mayor al momento de completar los ciclos.

La máquina se diseñó para botellas de 100 a 1000 cc, sin embargo, a que las nuevas necesidades de la empresa MEGACONTROL radicaban en el dosificado de botellas que van desde 350 a 1000 cc, se le dio más importancia a este tipo de botellas, pero la máquina puede realizar la dosificación de botellas de 100 cc en el modo manual, se consideró a las botellas de 100 cc como probetas de muestra de producto.

Pruebas sin la máquina

Las pruebas sin la máquina son necesarias para poder realizar la comparación de los datos obtenidos por la máquina y los de un operario haciendo las mismas acciones.

Pruebas de tiempo

En las pruebas de tiempo se va a realizar que cada prueba representará el llenado de la cantidad de botellas necesarias en 1 ciclo 6 botellas y se tomará el tiempo desde que comienza el llenado hasta que termina, en la Tabla 38 se presentan todos los datos obtenidos

Tabla 41

Pruebas de tiempo a mano

	Prueba	Tiempo (s)
350 cc	1	48.22
	2	41.97
	3	39.55
	4	45:20
	5	38:50
	6	44:60
	\bar{x}	43:01
600 cc	1	58.22
	2	60:15
	3	46:20
	4	50:20
	5	48:20
	6	55:30
	\bar{x}	53:04
1000 cc	1	125:02
	2	115:12
	3	130:50
	4	127:50

Prueba	Tiempo (s)
5	124:45
6	119:50
\bar{x}	123:68

En las pruebas de tiempo de llenado, se obtuvieron los siguientes promedios de tiempos para distintos volúmenes de botellas: botellas de 350 cc con un promedio de 43.75 segundos, botellas de 600 cc con un promedio de 63.39 segundos y botellas de 1000 cc con un promedio de 124.54 segundos.

Pruebas de peso

Para llevar a cabo las pruebas de tiempo, se utilizarán las botellas llenadas manualmente en las pruebas previas, abarcando los volúmenes de 350 cc, 600 cc y 1000 cc.

Tabla 42

Pruebas de peso a mano

	Prueba	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6
350 cc	1	320	325	321	319	316	320
	2	318	320	314	316	310	315
	3	320	322	315	320	322	327
	4	319	321	320	322	315	316
	5	322	328	321	321	315	316
	6	323	323	315	320	317	321
600 cc	1	530	535	521	525	532	533
	2	522	525	531	524	528	537
	3	521	530	512	522	524	530
	4	526	521	532	521	526	514
	5	531	522	525	526	530	525
	6	525	526	532	530	525	526
1000 cc	1	1005	1000	1012	997	1014	1009

Prueba	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6
2	1015	999	998	1010	999	998
3	1006	1011	1003	1009	999	997
4	1013	998	999	1008	1010	1006
5	1016	1010	1005	1010	1005	1015
6	1010	1005	1010	1005	1003	1010

En las pruebas de peso, se establecen los siguientes rangos para diferentes volúmenes de botellas: botellas de 350 cc con un rango de peso entre 310 y 327 gramos, botellas de 600 cc con un rango de peso que va desde 512 hasta 537 gramos, y botellas de 1000 cc con un rango de peso que abarca desde 997 hasta 1015 gramos.

Validación de hipótesis

La hipótesis general: Se plantea que diseñar y construir una máquina dosificadora por desbordamiento variable para el llenado de botellas de 100cc a 1000cc de aceite de palma en la empresa MEGACONTROL, ubicada en la parroquia de Tumbaco, mejorará la eficiencia y precisión del proceso de envasado, aumentando la productividad y reduciendo los costos de mano de obra, para validar esta hipótesis, se llevará a cabo una lista de cotejo que permitirá abordar cada una de las variables independientes identificadas:

- Mejora de eficiencia
- precisión del proceso de envasado
- aumento de la productividad
- reducción de costos de mano de obra

Mejora de eficiencia

En cuanto a la mejora de la eficiencia, se consideran los diversos tiempos involucrados en el proceso de llenado. Estos tiempos se detallan en la Tabla 43, donde se realiza una comparación entre los promedios de los tiempos de llenado con y sin la máquina dosificadora, para las botellas de 350, 600 y 1000 cc, los promedios de tiempos de las botellas según su volumen son: 2.34, 4.50 y 8.50 respectivamente.

Tabla 43*Tiempos de llenado con máquina vs sin máquina*

Botellas	Tiempo de llenado con máquina (s)	Tiempo de llenado sin máquina (s)
350 cc	2.32	43.01
600 cc	4.50	53.04
1000 cc	8.50	123.68

Nota. se utilizó los promedios de tiempos en cada volumen de botella

Se presenta diferencia en los tiempos de trabajo al emplear la máquina en comparación con trabajar sin ella. Para las botellas de 350 cc, el proceso es 18.54 veces más rápido con la máquina que sin ella. Para las botellas de 600 cc, el proceso es 11.79 veces más rápido con la máquina, y para las botellas de 1000 cc, es 14.55 veces más rápido trabajar con la máquina que sin ella. Debido a los datos presentados se nota una evidente eficiencia al implementar la máquina.

Precisión del proceso de envasado.

A lo que respecta a la precisión de la máquina y guiándose en la norma ubicada en el anexo 2 se procede a realizar una prueba de hipótesis de varianza, aplicada a cada uno de los volúmenes con los cuales trabaja la máquina, para este caso se toma como punto de partida a la botella de 100 cc. En la cual se realiza todo el procedimiento necesario y por consiguiente los demás volúmenes sus datos van a ser presentados en la Tabla 33.

Para el primer paso se necesita la desviación estándar de cada uno de los volúmenes en este caso del volumen de 100 cc. mediante la ecuación (17)

$$\sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum f(x_i - \bar{x})}{n - 1}} \quad (17)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum f(x_i - \bar{x})}{n - 1}}$$

Donde:

S = desviación estándar

x_i = cada uno de los datos de botella obtenido

\bar{x} = media aritmética

n = número de muestras

para obtener el dato de la media aritmética se emplea la ecuación (18)

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (18)$$

Donde:

\bar{x} = Media aritmética

$\sum x_i$ = sumatoria de todos los valores de peso en gramos

n = número de muestras

$$\bar{x} = \frac{1}{60} \left(\begin{array}{l} 88 + 87 + 86 + 86 + 88 + 87 + 85 + 88 + 88 + 92 + 87 + 90 + 89 + 89 + 90 \\ + 92 + 88 + 91 + 90 + 91 + 93 + 93 + 91 + 90 + 89 + 89 + 88 + \\ 89 + 88 + 90 + 91 + 89 + 89 + 91 + 90 + 88 + 89 + 90 + 87 + 91 + \\ 91 + 89 + 89 + 91 + 88 + 92 + 87 + 90 + 92 + 90 + 90 + 90 + 85 + \\ 91 + 88 + 91 + 87 + 88 + 91 + 89 \end{array} \right)$$

$$\bar{x} = \frac{5356}{60}$$

$$\bar{x} = 89.267$$

$$s = \sqrt{\frac{(88 - 89.267)^2 + (87 - 89.267)^2 + (86 - 89.267)^2 + (86 - 89.267)^2 + (88 - 89.267)^2 + (88 - 89.267)^2 + (92 - 89.267)^2 + (87 - 89.267)^2 + (85 - 89.267)^2 + (88 - 89.267)^2 + (88 - 89.267)^2 + (92 - 89.267)^2 + (87 - 89.267)^2 + (90 - 89.267)^2 + (89 - 89.267)^2 + (89 - 89.267)^2 + (90 - 89.267)^2 + (90 - 89.267)^2 + (91 - 89.267)^2 + (90 - 89.267)^2 + (91 - 89.267)^2 + (93 - 89.267)^2 + (93 - 89.267)^2 + (91 - 89.267)^2 + (90 - 89.267)^2 + (89 - 89.267)^2 + (89 - 89.267)^2 + (88 - 89.267)^2 + (89 - 89.267)^2 + (88 - 89.267)^2 + (90 - 89.267)^2 + (91 - 89.267)^2 + (89 - 89.267)^2 + (89 - 89.267)^2 + (91 - 89.267)^2 + (90 - 89.267)^2 + (88 - 89.267)^2 + (89 - 89.267)^2 + (90 - 89.267)^2 + (87 - 89.267)^2 + (91 - 89.267)^2 + (91 - 89.267)^2 + (89 - 89.267)^2 + (89 - 89.267)^2 + (91 - 89.267)^2 + (88 - 89.267)^2 + (92 - 89.267)^2 + (87 - 89.267)^2 + (90 - 89.267)^2 + (92 - 89.267)^2 + (90 - 89.267)^2 + (90 - 89.267)^2 + (90 - 89.267)^2 + (85 - 89.267)^2 + (91 - 89.267)^2 + (88 - 89.267)^2 + (91 - 89.267)^2 + (87 - 89.267)^2 + (88 - 89.267)^2 + (91 - 89.267)^2 + (89 - 89.267)^2}{60 - 1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{203.733}{59}}$$

$$s = 1.858$$

Siendo esta la desviación estándar de los volúmenes de 100 cc y para los demás volúmenes se presentan en la Tabla 44

Tabla 44

Media aritmética y Desviación estándar: 100, 350, 600, 1000, y 1100 cc

Volúmenes	Media aritmética	Desviación estándar (s)
100 cc	89.267	1.858
350 cc	309.133	1.789
600 cc	520.917	0.829
1000 cc	881.833	6.006
1100 cc	993.267	1.696

Nota. s = desviación estándar

Para la prueba de hipótesis de varianza, se plantea una hipótesis nula y una alternativa para cada uno de los volúmenes como se indica en la Tabla 45.

Tabla 45

Hipótesis nula y alternativa para los volúmenes de 100, 350, 600, 1000 y 1100 cc

Volúmenes	Hipótesis nula	Hipótesis alternativa
100 cc	$\sigma > 4,5$	$\sigma < 4,5$
350 cc	$\sigma > 9$	$\sigma < 9$
600 cc	$\sigma > 15$	$\sigma < 15$
1000 cc	$\sigma > 15$	$\sigma < 15$
1100 cc	$\sigma > 15$	$\sigma < 15$

Las hipótesis nula y alternativa, toman en consideración los rangos de tolerancia según la norma en el anexo 2, para cada uno de los volúmenes.

Se calcula el chi cuadrado de 100 cc para aplicar la ecuación (19) donde el nivel de significancia es de $\alpha = 0.05$

$$x_{cal}^2 = \frac{(n - 1) * s^2}{\sigma^2} \quad (19)$$

Donde:

x_{cal}^2 = Chi cuadrado calculado.

n = Número de muestras.

s = Desviación estándar.

σ = Tolerancia

$$x_{cal}^2 = \frac{(60 - 1) * (1.858)^2}{(4.5)^2}$$

$$x_{cal}^2 = 10,058$$

Para los demás volúmenes el chi cuadrado calculado se encuentra en la Tabla 46

Tabla 46

Chi calculado para los volúmenes 100, 350, 600, 1000, 1100 cc

Volúmenes	Chi calculado
100 cc	10.058
350 cc	2.331
600 cc	0.180
1000 cc	9.459
1100 cc	0.754

Una vez obtenido los valores de chi para cada uno de los volúmenes, en la Figura 62 donde se encuentra el rango de aceptación y el rango de rechazo para la hipótesis nula, es necesario saber cuál es el grado de libertad según la ecuación (20)

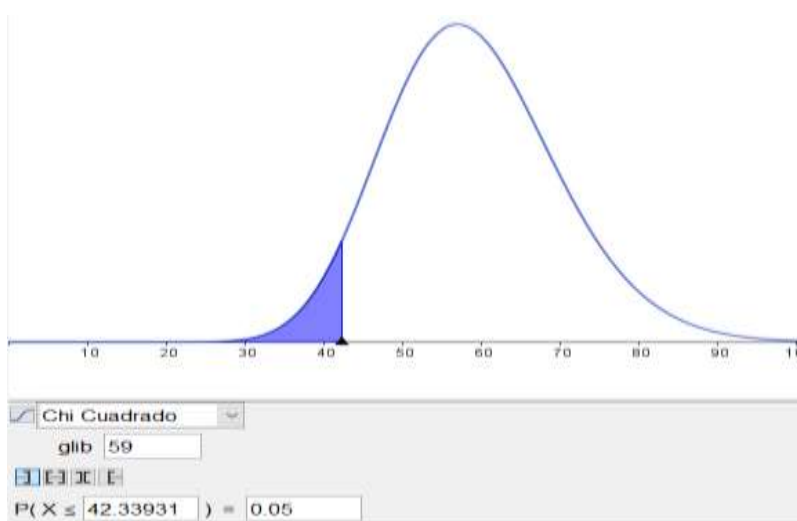
$$gdl = n - 1 \quad (20)$$

$$gdl = 60 - 1$$

$$gdl = 59$$

Figura 62

Rango de aceptación y el rango de rechazo para la hipótesis nula



Nota. la parte resaltada en azul es la región de rechazo y la parte blanca es la región de aceptabilidad de la hipótesis nula

Se utiliza el nivel de significancia para separar la aceptación y el rechazo de la hipótesis nula, debido a esto se tiene que:

- Si $x_{cal}^2 < x_{Fig}^2 \rightarrow H_o$ se rechaza
- Si $x_{cal}^2 > x_{Fig}^2 \rightarrow H_o$ se acepta

Entonces según los valores obtenidos se presenta la Tabla 47

Tabla 47

Aceptación de hipótesis nula/alternativa para botellas de: 100, 350, 600, 1000 y 1100 cc

Volúmenes	$x_{cal}^2 < x_{Fig}^2; x_{cal}^2 > x_{Fig}^2$	Hipótesis nula/alternativa
100 cc	10.058 < 42.339	Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa
350 cc	2.331 < 42.339	Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa
600 cc	0.180 < 42.339	Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa
1000 cc	9.459 < 42.339	Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa
1100 cc	0.754 < 42.339	Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa

Los valores de chi cuadrados calculados se encuentran en la región de rechazo por lo cual en todos los volúmenes se rechaza la hipótesis nula planteada y se acepta la hipótesis alternativa, dejando en claro que posee una gran precisión al momento del envasado.

Aumento de la productividad

La eficiencia y precisión de la máquina impactan positivamente en la productividad, ya que su desempeño supera al trabajo manual en términos de eficiencia y exactitud en el envasado. Cuando la máquina opera con rapidez y precisión, se incrementa significativamente la productividad.

Reducción de costos de mano de obra

Siendo que la máquina es precisa, eficiente y productiva, esta mejora el estilo de vida del operario siendo que evita que este entre en contacto con el producto directamente y evita colisiones o accidentes, de esta manera evitando gastos por parte de la empresa.

Una vez que se han confirmado las variables independientes, como la mejora de la eficiencia y la precisión del proceso de envasado, junto con el aumento de la productividad y la reducción de los costos de mano de obra, no hay razón para rechazar la hipótesis general propuesta: "Se plantea que diseñar y construir una máquina dosificadora por desbordamiento variable para el llenado de botellas de 100cc a 1000cc de aceite de palma en la empresa MEGACONTROL, ubicada en la parroquia de Tumbaco, mejorará la eficiencia y precisión del proceso de envasado, aumentando la productividad y reduciendo los costos de mano de obra".

Capítulo VII

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Se diseñó y construyó una máquina dosificadora por desbordamiento variable, cuyas dimensiones son de 1200 x 600 x 1800 mm. Esta máquina consta de un sistema de transporte y un sistema de dosificado, ambos compuestos por estructuras robustas, sistemas eléctricos, sistemas neumáticos y componentes de transición. Los volúmenes de dosificación pueden variar desde 100 cc hasta 1000 cc. Es importante destacar que, para fines de calibración y ajuste, se incluye un volumen de 100 cc, representado por una probeta, en la cual no se implementa la función automática de la máquina. La empresa MEGACONTROL brinda soluciones precisas y confiables para la dosificación en diversos volúmenes, asegurando un control total en cada proceso.
- Se llevó a cabo el diseño y la construcción de la estructura de la máquina dosificadora por desbordamiento variable utilizando el software Inventor Student. Durante este proceso, se logró una selección precisa de los materiales adecuados, los cuales cumplen con los estándares de grado alimenticio establecidos por la normativa NTE INEN-ISO 8442-2.
- Se desarrolló un programa Ladder utilizando el PLC Simatic S7-1200 6ES7212-1BE40-0XB0 para facilitar la comunicación entre el operador y la máquina. Este programa permite una interacción intuitiva a través de una interfaz gráfica utilizando la pantalla Kinco HMI Green Series GL070E. Mediante esta interfaz, es posible ajustar parámetros y seleccionar el volumen de trabajo deseado. Además, el programa permite la manipulación de tiempos de entrada, salida y dosificado, así como el control de los diferentes pistones y el accionamiento del motor de la banda transportadora y la bomba

de producto. Esta integración de tecnologías garantiza un control preciso y eficiente de la máquina dosificadora por parte del operador.

- La construcción de la máquina se realizó empleando perfiles de tubo cuadrado de 1 ½ pulgadas, los cuales fueron seleccionados mediante cálculos precisos. Para unir estos perfiles, se utilizó el proceso de soldadura TIG, conocido por no generar escoria y por prevenir la oxidación. Se optó por el uso del material AISI 316 para la fabricación de la mayoría de los componentes de la máquina, debido a sus propiedades resistentes a la corrosión y su idoneidad para aplicaciones industriales. Esta elección asegura la durabilidad y la fiabilidad de la máquina en diversas condiciones de trabajo.
- Se llevaron a cabo pruebas con tres diferentes volúmenes en modo automático: 350 cc, 600 cc y 1000 cc, centrándonos en la precisión y eficiencia como puntos clave de análisis. Estas pruebas se realizaron para verificar el cumplimiento con la normativa. Es importante destacar que las pruebas realizadas en las probetas de 100 cc no se tuvieron en cuenta, dado que no se ejecutaron en modo automático. El objetivo principal fue asegurar que la máquina dosificadora cumple con los estándares de precisión y eficiencia establecidos por la normativa relevante, garantizando su funcionamiento óptimo en la dosificación de diferentes volúmenes.
- Debido a las diferentes pruebas de llenado se puede apreciar que 2 botellas presentan errores en cada tipo de volumen de estas, por lo que se llega a señalar que la boquilla por desbordamiento si bien no presenta un error constante en cada lote, ya que en 10 lotes de 6 botellas cada uno, solo llegó a presentar dos errores, es necesario una calibración más fina para esta boquilla.

Recomendaciones

- Es recomendable que la guía de las boquillas de las botellas que no cuente con pandeo y sea firme para garantizar un rango de aceptación adecuado por parte de la máquina, especialmente considerando las variadas formas de las botellas. Esto ayuda a evitar atascos y posibles colisiones durante el proceso de dosificación.
- Para cambiar y configurar la máquina para dosificar botellas de 100 cc, 350 cc, 600 cc o 1000 cc, es esencial que las guías, así como las alturas de la bandeja antigoteo y las boquillas de desbordamiento, estén calibradas correctamente. Se recomienda realizar varias pruebas en el modo manual, activando la banda transportadora, los pistones y la bomba de producto, para garantizar que no haya ninguna colisión cuando se cambie al modo automático. Esta verificación es crucial para evitar problemas durante la operación automática y asegurar un proceso de dosificación sin contratiempos.
- Es necesario colocar un tope en las guías paralelas cuando la máquina se le quite la fuente de aire comprimido, ya que la posición inicial del pistón dosificador es expandida al igual que los pistones antigoteo por lo cual sin el tope colisionarían y deformarían la bandeja antigoteo y en consecuencia sus correspondientes pistones.

Bibliografía

- Abashar, A. I., Mohammedeltoum, M. A., & Abaker, O. D. (2017). Automated and monitored liquid filling system using PLC technology. *2017 International Conference on Communication, Control, Computing and Electronics Engineering (ICCCCEE)*, 1-5.
<https://doi.org/10.1109/ICCCCEE.2017.7866699>
- Basu, S. (2015). The transitional dynamics of caloric ecosystems: Changes in the food supply around the world. *Critical Public Health*, 25(3), 248-264.
<https://doi.org/10.1080/09581596.2014.931568>
- Beltrán, J. C. (2011). *Automatización de máquina cortadora de latón para forja utilizando un PLC para la fábrica Esacontrol* [bachelorThesis, QUITO/EPN/2011].
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2753>
- Canny, R. (2023, octubre 3). *Sistemas de transporte de rodillos—Transportadores de gravedad*.
<https://www.ultimationinc.com/es/sistemas-de-transporte-industrial/transportador-de-rodillos/>
- CEPILOTÉCNICO. (2019, septiembre 29). Limpieza de las bandas transportadoras. *FÁBRICA CEPILLO INDUSTRIAL Cepillos Técnicos Industriales Cepillería industrial Fabricación cepillo industrial a medida Cepillo strip burlete Cepillo cilíndrico*.
<https://cepillotecnico.com/2019/09/limpieza-de-las-bandas-transportadoras/>
- ComercialPacific. (2021, noviembre 12). *Bandas modulares y cadenas plásticas | Comercial Pacific*. <https://www.cpacific.cl/bandas-y-correas/bandas-modulares-y-cadenas>
- Cumbal, W. V. V., & Fuentes, I. A. (2013). TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA. *BIBLIOTECA UNIVERSITARIA*.
- CZECH. (2020, julio 16). *BFL-MB1200: Línea de llenado automático a contrapresión para 1200 botellas/hora*. Czech Brewery System.
<https://eshop.czechminibreweries.com/es/product/bfl-mb1200/>

- Ebasee. (2019). *EBS6BN Miniature Circuit Breaker*. Shanghai Ebasee Electric Co.,Ltd.
<https://www.ebasee.com/product/ebs6bn-miniature-circuit-breaker/>
- Ebasee. (2020, diciembre 20). *RT18 Low Voltage Cylindrical Fuse Links*. Shanghai Ebasee Electric Co.,Ltd. <https://www.ebasee.com/product/rt18-low-voltage-cylindrical-fuse-links/>
- Ebasee. (2023, diciembre 15). *RT18 Low Voltage Fuse Holder*. Shanghai Ebasee Electric Co.,Ltd. <https://www.ebasee.com/product/rt18-low-voltage-fuse-holder/>
- Erazo. (2012). *Diseño y Construcción de un Módulo de Laboratorio con Variador de Frecuencia para el Control de un Sistema de Bombeo y Determinación del Ahorro Energético*. [bachelorThesis]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1881>
- Festo. (2023, noviembre 26). *Comprar Electroválvula VUVS online | Festo CO*.
https://www.festo.com/co/es/p/electrovalvula-id_VUVS/?tab=HIGHLIGHTS
- FIGUEROA. (2021). *PROTECCIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS*. Instituto Universitario politécnico.
- Follin, J.-C. (2000). Enjeux de la recherche sur le palmier à huile en Afrique. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 7(2), 138-139. <https://doi.org/10.1051/ocl.2000.0138>
- Gallegos, I. M. S. (2015). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA ENVASADORA Y DOSIFICADORA DE REFRESCOS PARA LA INDUSTRIA DE LÁCTEOS SANTILLÁN "PRASOL*.
- Guarella. (2011, septiembre 28). *Apunte Sensores Y Actuadores - Sensores y actuadores en motores Comisión 1: Juan E. Guarella Juan - Studocu*. <https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-tecnologico-superior-de-libres/mecanica-de-fluidos/apunte-sensores-y-actuadores/14727183>
- Hidalgo, I. P. C. (2005). *JAVIER PATRICIO DAQUI SALAO*.
- Hirsch, R. (2000). Evolution et perspectives de la demande intérieure de corps gras en Afrique subsaharienne. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 7(2), 147-154.
<https://doi.org/10.1051/ocl.2000.0147>

- Huerta & Torres. (2019). *Implementación de una estación de entrenamiento del controlador de automatización programable para la carrera de Ingeniería en Control y Automatización*. Instituto Politécnico Nacional. <https://www.repo-ciie.dfie.ipn.mx/pdf/516.pdf>
- INOXI. (2018, diciembre 1). *Tanque de Almacenamiento 1,279L*. Inoximexico. <https://www.inoximexico.com/producto/355/tanque-de-almacenamiento-1000-litros-1>
- José Martín Requena Torpo. (s. f.). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE UNA PLANTA DE LAVADO DE ZANAHORIA DE 10 t/h*.
- Klipartz. (2022, mayo 21). *Sistema de transportador cinta transportadora eje de línea rodillo transportador para fines de lucro educación plástico, carbón, diverso, ángulo, Universidad png | Klipartz*. <https://www.klipartz.com/es/sticker-png-dgmat>
- Kovář, R. (2020, marzo 17). *LS Industrial Systems SV004iG5A-4 Starvert iG5A-4 0,4 kW - Tento měnič nahrazuje novější typ LSLV0004G100-4EOFN*. shopelektro.cz. <https://www.shopelektro.cz/frekvencni-menice-elektricke-pohony/lis-industrial-systems/menice-starvert-ig5a-0,4-22-kw/lis-industrial-systems-sv004ig5a-4-starvert-ig5a-4-04-kw-tento-menic-nahrazuje-novejsi-typ-lslv0004g100-4eofn>
- Las Valdesas. (2023, marzo 15). *¿Cuál es la densidad del aceite? | Las Valdesas*. <https://www.aceitedelasvaldesas.com/faq/varios/densidad-del-aceite/>
- LogicBus. (2021, diciembre 5). *Fuente de poder fija de 24V montaje en riel DIN DR-120-24*. <https://www.logicbus.com.mx/fuente-de-poder-DR-120-24.php>
- Mansuera. (2015, noviembre 12). *Sensor fotoeléctrico. Control Real Español*. <https://controlreal.com/es/sensor-fotoelectrico/>
- Measurement. (2019, noviembre 8). *HMI là gì ? Chức năng của HMI trong tự động hoá. Cảm biến báo mức nước - Báo mức Silo*. <https://cambienbaomuc.com/hmi-la-gi/>
- Mingorance, F., & Minelli, F. (2004). *El Cultivo de la Palma Africana en el Chocó*.

- Mora. (2019). *Diseño, dimensionamiento y simulación de un sistema automático de CIP para el área de envasado de jugos hit en la planta de gaseosas Lux postobón Bogotá*.
<http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/22511>
- Morales, T. C. (2019). Propuesta de metodología para programación de plc en lenguaje ladder. *Universidad Privada Antenor Orrego*.
<https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/4749>
- motive. (2021, febrero 14). *Motores trifásicos DELPHI 56-132*. <https://www.motive.it/es/p-1-motores-trifsicos-delphi-56-132.html>
- Mott, R. L. (2009). *Resistencia De Materiales 5ta Edicion*.
<http://archive.org/details/ResistenciaDeMaterialesRobertL.Mott5taEdicion>
- Mundial, M. (s. f.). *Acero Inoxidable 316 Ficha Tecnica, Acero AISI 316 Propiedades, Inox 316 S. Material Mundial Grados*. Recuperado 23 de enero de 2024, de <https://www.materialmundial.com/inox-ss316-aisi-astm-acero-inoxidable-316-ficha-tecnica-propiedades-ss/>
- Pérez. (2018). *Sistema de control automático contra heladas en huertos de paltos con Raspberry PI 3 y Arduino Uno por medio de Wifi*.
<https://repositorio.unab.cl/xmlui/handle/ria/9431>
- René, D. (1995). Grafset: A powerful tool for specification of logic controllers. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 3(3), 253-268. <https://doi.org/10.1109/87.406973>
- Riel, J. L. (2018, abril 29). CABLES ELECTRICOS | Tipos de cables, colores y aislantes. *247 Tecno*. <https://247tecno.com/cables-electricos-tipos-partes-colores-aislantes/>
- RODRIGUEZ, A. R., & FERRARIS, L. F. (2010). *Fundamentos de informática y programación en C*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- Rojas, I. H. F. (2006). *Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar el título de Ingeniero Mecatrónico*.

- Salguero. (2011). *Diseño de una línea de envasado de herbicida en presentación líquida para futuras instalaciones de planta nacional formuladora de agroquímicos*. [Thesis, Universidad del Valle de Guatemala].
<https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/handle/123456789/1607>
- SERPIMETAL. (2023, enero 15). *Tablero de Control para Intemperie*.
<http://www.serpimetal.com/es-es/Productos/TableroControllntemperie>
- SERRANO, A. (2010). *Neumática práctica*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- Staff, E. (2017, agosto 30). *Programmable Logic Controller (PLC) Questions and Answers—13*. Inst Tools. <https://instrumentationtools.com/programmable-logic-controller-plc-questions-and-answers-13/>
- T.I.M. (2020, febrero 5). *Meanwell TDR-240-24 Power supply 3 Phase 10A 24vdc*. The Industry Mart. <https://www.theindustrymart.com/product/meanwell-tdr-240-24-power-supply-3-phase-10a-24vdc>
- User, S. (2021, enero 28). *Fusibles Industriales*. ci-inpaca.com. <https://ci-inpaca.com/index.php/fusibles-industriales>
- WEG. (2022, octubre 2). *Convertidor de Frecuencia CFW300 |*. WEG.
https://www.weg.net/catalog/weg/MX/es/Drives/Convertidores-de-Frecuencia/Micro-y-Mini-Drives/Convertidor-de-Frecuencia-CFW300/Convertidor-de-Frecuencia-CFW300/p/MKT_WDC_GLOBAL_VARIABLE_SPEED_DRIVE_CFW300

Anexos