



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

“CONSTRUCCIÓN DE UN BRAZO ELEVADOR NEUMÁTICO PALETIZADOR CONTROLADO DE FORMA MANUAL PARA TRASLADAR CAJA DE CACAO FERMENTADO”

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTOR:

WILSON DANIEL BASTIDAS BARRAGÁN

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

“CONSTRUCCIÓN DE UN BRAZO ELEVADOR NEUMÁTICO PALETIZADOR CONTROLADO DE FORMA MANUAL PARA TRASLADAR CAJA DE CACAO FERMENTADO”

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTOR: WILSON DANIEL BASTIDAS BARRAGÁN

DIRECTOR/A: Ing. ANDRÉS FERNANDO MOROCHO CAIZA M. Sc.

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Wilson Daniel Bastidas Barragán

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Wilson Daniel Bastidas Barragán, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

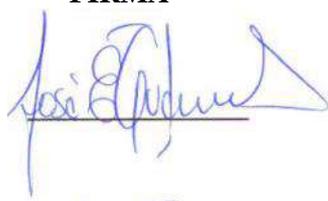
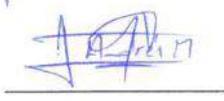
Riobamba, 15 de noviembre de 2022



Wilson Daniel Bastidas Barragán
150115633-3

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

El Tribunal de Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular, Tipo: Proyecto Técnico; **CONSTRUCCIÓN DE UN BRAZO ELEVADOR NEUMÁTICO PALETIZADOR CONTROLADO DE FORMA MANUAL PARA TRASLADAR CAJA DE CACAO FERMENTADO**; realizado por el señor **WILSON DANIEL BASTIDAS BARRAGÁN**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. José Enrique Guerra Salazar M. Sc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-11-15
Ing. Andrés Fernando Morocho Caiza M. Sc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-11-15
Ing. José Luis Tinajero León M. Sc. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-11-15

DEDICATORIA

El presente Trabajo de Integración Curricular se lo dedico a Dios, por darme la sabiduría y perseverancia en este camino, a toda mi familia, en especial a mi Madre, Edith, quien fue la persona que confió en mi desde en el inicio, me acompañó en mi enfermedad, me dio su mano en mis tropiezos, me apoyo en mis proyectos y nunca perdió la esperanza en mí; a mis abuelitos, por darme el ejemplo de trabajo y constancia; finalmente a mis amigos, quienes me acompañaron en mis actividades académicas, deportivas y sociales.

Wilson Daniel Bastidas Barragán

AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera especial a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por acogerme y poder seguir en camino del conocimiento profesional, también a Kallari por abrirme sus puertas para poder construir mi Trabajo de Integración Curricular en sus instalaciones, finalmente quiero agradecer a mi tutor y miembro del trabajo de integración curricular Ing. Andrés Morocho e Ing. José Tinajero, por su dedicación continua y sobre todo a sus sabios consejos tanto académicos como personales en todo mi trayecto.

Wilson Daniel Bastidas Barragán

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. ANTECEDENTES.....	2
1.2. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	3
1.3. JUSTIFICACIÓN APLICATIVA.....	3
1.4. OBJETIVO GENERAL.....	5
1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.6. METODOLOGÍA.....	5

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Asociación Kallari.....	7
2.1.1. <i>Proceso de producción de granos de cacao en Kallari</i>	7
2.1.2. <i>Infraestructura de la zona de fermentado y secado</i>	9
2.1.3. <i>Proceso de transporte del cacao entre zonas</i>	10
2.2. Sistemas de elevación y paletizado de cajas.....	12
2.2.1. <i>Brazo pescante de acero inoxidable marca Tawi</i>	12

2.2.2.	<i>Brazo manipulador de columna QLA 100i</i>	13
2.2.3.	<i>Dispositivo de elevación Micropartner con base transpallet</i>	14
2.3.	Sistemas neumáticos	15
2.3.1.	<i>Componentes de un sistema neumático</i>	15
2.3.2.	<i>Dimensionamiento del depósito de aire comprimido</i>	19
2.3.3.	<i>Dimensionamiento para un actuador neumático lineal</i>	19
2.4.	Unidad de control para un sistema neumático	20
2.4.1.	<i>Controlador lógico programable PLC</i>	20
2.4.2.	<i>Lógica cableada</i>	22
2.4.3.	<i>Análisis comparativo de los sistemas de control</i>	23
2.5.	Motores eléctricos	25
2.5.1.	<i>Motores de corriente directa</i>	25
2.5.2.	<i>Motores de corriente alterna</i>	26
2.6.	Mecanismos de transmisión de movimiento	27
2.6.1.	<i>Transmisión por correa</i>	27
2.6.2.	<i>Transmisión por cadena</i>	28
2.7.	Baterías	28
2.7.1.	<i>Baterías de plomo-ácido</i>	28
2.7.2.	<i>Baterías de iones de litio</i>	29
2.8.	Materiales para la construcción de la estructura mecánica del brazo	30
2.8.1.	<i>Acero</i>	30
2.8.2.	<i>Aluminio</i>	30
2.8.3.	<i>Acero inoxidable</i>	31
2.9.	Descripción de requerimientos y funcionamiento del dispositivo	31
2.9.1.	<i>Requerimientos del sistema</i>	31
2.10.	Concepción de la arquitectura general del sistema	33
2.11.	Diseño de bloques del sistema	35
2.11.1.	<i>Diagrama de bloques para brazo neumático</i>	35
2.11.2.	<i>Diagrama de bloques para la caja móvil</i>	36

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	37
3.1.	Diseño mecánico del sistema	37
3.1.1.	<i>Estructura mecánica del brazo neumático</i>	37
3.1.2.	<i>Estructura mecánica de la caja móvil</i>	39
3.1.3.	<i>Mecanismo de transmisión de movimiento para la caja móvil</i>	41
3.2.	Diseño neumático del brazo	42
3.2.1.	<i>Dimensionamiento y selección de componentes neumáticos</i>	42
3.2.2.	<i>Diagrama esquemático del circuito neumático</i>	48
3.3.	Diseño eléctrico y de control para el brazo neumático y caja móvil	50
3.3.1.	<i>Selección y dimensionamiento de componentes eléctricos para el brazo</i>	50
3.3.2.	<i>Selección y dimensionamiento de componentes eléctricos para la caja móvil</i>	53
3.3.3.	<i>Selección y dimensionamiento de componentes eléctricos del sistema</i>	57
3.3.4.	<i>Esquemas de conexiones para el tablero eléctrico del brazo</i>	61
3.3.5.	<i>Esquemas de conexiones para tablero eléctrico de la caja móvil</i>	67
3.4.	Diseño de software para el sistema	70
3.4.1.	<i>Entorno de desarrollo integrado LOGO Soft Comfort</i>	70
3.4.2.	<i>Diagrama de flujo para el algoritmo para el brazo</i>	70

CAPITULO IV

4.	ANÁLISIS E INTEPRETACIÓN DE RESULTADOS	73
4.1.	Carga máxima que eleva el brazo neumático	73
4.2.	Área de trabajo del brazo neumático	74
4.3.	Pruebas de lazo de instrumentación para brazo neumático y caja móvil	76
4.4.	Consumo del motor y autonomía de la batería	79
4.5.	Tiempo de recarga de la batería	80
4.6.	Evaluación de tiempos de trabajo del proceso asistido y manual	80
4.7.	Carga máxima de transporte/hora	82

4.8.	Funcionamiento general del sistema brazo neumático con caja móvil	82
4.9.	Evaluación económica	85

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	88
5.1.	CONCLUSIONES	88
5.2.	RECOMENDACIONES	90

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Especificaciones de fabricación estándar para cilindros neumáticos	17
Tabla 2-2:	Análisis comparativo de fabricantes de cilindros	18
Tabla 3-2:	Análisis comparativo de fabricantes de válvulas	19
Tabla 4-2:	Análisis comparativo entre el control por lógica cableada y PLC	24
Tabla 5-2:	Análisis comparativo entre PLCs Logo, Micro810 y Zelio Logic	25
Tabla 6-2:	Análisis comparativo de fábricas de motores DC	27
Tabla 7-2:	Análisis comparativo de fabricantes de baterías	30
Tabla 1-3:	Datos técnicos de los cilindros neumáticos para elevar/bajar y sujetar/soltar la caja	43
Tabla 2-3:	Datos técnicos de la válvula solenoide neumática SMC 4/2.....	44
Tabla 3-3:	Datos técnicos de la válvula reguladora de caudal Legris 7130.....	45
Tabla 4-3:	Datos técnicos del compresor 2HP/25 L 115PSI BP	46
Tabla 5-3:	Datos técnicos de la unidad de mantenimiento Truper UNI-LL-1/4.....	47
Tabla 6-3:	Elementos del circuito neumático para el brazo.....	49
Tabla 7-3:	Datos técnicos del elemento PLC Siemens Logo! 12/24RCE.....	51
Tabla 8-3:	Datos técnicos del módulo de ampliación Siemens DM8 12/24R	51
Tabla 9-3:	Datos técnicos del relé CSC 8 PIN 2P 10A.....	52
Tabla 10-3:	Datos técnicos de la fuente de poder CliQ	53
Tabla 11-3:	Datos técnicos de motor de DC Jin Le ZD23AF.....	55
Tabla 12-3:	Datos técnicos de batería Kaiser BC02-24-65	56
Tabla 13-3:	Datos técnicos de los pulsadores eléctricos marca Camsco	57
Tabla 14-3:	Datos técnicos del selector CSC de 3 posiciones	58
Tabla 15-3:	Datos técnicos del elemento disyuntor magnético Easy9	61
Tabla 16-3:	Elementos del esquema de conexiones del brazo neumático	62
Tabla 17-3:	Descripción de etiquetas para el cableado de entradas y salidas con el Logo.	63

Tabla 18-3:	Elementos en distribución del tablero y en la botonera del brazo neumático	64
Tabla 19-3:	Borneras de conexión para el tablero del brazo neumático.....	66
Tabla 20-3:	Elementos del esquema de conexiones para caja móvil.....	67
Tabla 21-3:	Elementos de la distribución del tablero para caja móvil.....	68
Tabla 22-3:	Borneras de alimentación eléctrica para tablero de caja móvil	70
Tabla 1-4:	Comparación entre medias reales e ideales del área de trabajo.....	76
Tabla 2-4:	Pruebas de lazo de instrumentación para el brazo neumático	77
Tabla 3-4:	Pruebas de lazo de instrumentación para la caja móvil.....	78
Tabla 4-4:	Consumo de corriente del motor con una carga de trabajo de 165 kg	79
Tabla 5-4:	Datos de tiempo del proceso asistido por brazo neumático vs manual	81
Tabla 6-4:	Evaluación económica de brazo elevador neumático y caja móvil.....	86
Tabla 7-4:	Comparación entre el brazo neumático y caja móvil con el dispositivo de elevación Micropartner	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Dimensiones en centímetros de la caja para granos de cacao	8
Figura 2-2:	Distribución de cajas en la fermentadora	9
Figura 3-2:	Marquesina de Kallari para el secado del cacao.....	10
Figura 4-2:	Dimensiones en metros de la zona de secado y fermentado	10
Figura 5-2:	Traslado de los granos de cacao fermentado entre cajas	11
Figura 6-2:	Trabajadores empujando la caja móvil con granos de cacao fermentado ...	11
Figura 7-2:	Trabajadores empujando la caja móvil dentro de la marquesina	12
Figura 8-2:	Brazo pescante marca Tawi.....	13
Figura 9-2:	Brazo manipulador de columna QLA 100i	14
Figura 10-2:	Dispositivo de elevación Micropartner con base transpallet.....	14
Figura 11-2:	PLC S71200 de la marca Siemens	21
Figura 12-2:	Ejemplo de tablero eléctrico con dispositivos de lógica cableada	22
Figura 13-2:	Concepción de la arquitectura general del sistema	34
Figura 14-2:	Diagrama de bloques para el brazo neumático.....	35
Figura 15-2:	Diagrama de bloques para la caja móvil	36
Figura 1-3:	Modelo 3D de la estructura mecánica del brazo neumático.....	38
Figura 2-3:	Dimensiones en milímetros del brazo neumático ensamblado.....	39
Figura 3-3:	Modelo 3D de la estructura mecánica para la caja móvil.....	40
Figura 4-3:	Dimensiones en mm de la caja móvil ensamblado.....	41
Figura 5-3:	Mecanismo de transmisión piñon-cadena	42
Figura 6-3:	Cilindro neumático marca Festo	43
Figura 7-3:	Válvula solenoide neumática SMC 4/2	44
Figura 8-3:	Válvula reguladora de caudal Legris7130.....	45
Figura 9-3:	Compresor BP 25 Litros.....	46
Figura 10-3:	Unidad de Mantenimiento Truper UNI-LL-1/4	47
Figura 11-3:	Racor roscado QS-1/8-6.....	47
Figura 12-3:	Manguera de poliuretano.....	48

Figura 13-3:	Diagrama esquemático del circuito neumático para el brazo.....	49
Figura 14-3:	PLC Siemens Logo! 12/24RCE	50
Figura 15-3:	Módulo de ampliación Siemens DM8 12/24R	51
Figura 16-3:	Relé CSC 8 PIN 2P 10A	52
Figura 17-3:	Fuente de poder CliQ DIN 24V	53
Figura 18-3:	Motor de CC Jin Le.....	55
Figura 19-3:	Batería Kaiser de 12V	56
Figura 20-3:	Pulsadores eléctricos marca Camsco.....	57
Figura 21-3:	Selector CSC	58
Figura 22-3:	Disyuntor Magnético Easy9	60
Figura 23-3:	Esquema de conexiones del tablero para brazo neumático	61
Figura 24-3:	Esquema de cableado de la unidad de control.....	63
Figura 25-3:	Distribución de componentes en el tablero para el brazo neumático	64
Figura 26-3:	Distribución interna de componentes para tablero del brazo neumático.....	65
Figura 27-3:	Esquema de conexiones del tablero para el control de la caja móvil	67
Figura 28-3:	Distribución de componentes en la tapa del tablero para la caja móvil	68
Figura 29-3:	Distribución de componentes dentro del tablero para la caja móvil	69
Figura 30-3:	Diagrama de flujo para la unidad de control PLC.....	71
Figura 31-3:	Diagrama de flujo para la operación de la caja móvil	72
Figura 1-4:	Área de trabajo del brazo neumático.....	74
Figura 2-4:	Vista lateral del área de trabajo del brazo neumático.....	75
Figura 3-4:	Cargador de materias Palettrans modelo LE 60 hz	80
Figura 4-4:	Posicionamiento de la garra sobre la caja de cacao fermentado	83
Figura 5-4:	Elevación de la caja de cacao	84
Figura 6-4:	Posicionamiento del cacao sobre la caja móvil	84
Figura 7-4:	Transporte de los granos sobre la caja móvil al interior de la marquesina..	85

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A:	Hoja de especificaciones Logo! 12/24RCE
ANEXO B:	Hoja de especificaciones módulo de ampliación DM8
ANEXO C:	Hoja de especificaciones fuente de poder CliQ
ANEXO D:	Hoja de especificaciones de la unidad FLR
ANEXO E:	Hoja de especificaciones disyuntor térmico Easy9
ANEXO F:	Hoja de especificaciones selector de 3 posiciones
ANEXO G:	Hoja de especificaciones relé CSC
ANEXO H:	Diagrama <i>Ladder</i> para el control del brazo neumático
ANEXO I:	Planos de construcción de la caja móvil
ANEXO J:	Planos para la construcción del brazo neumático
ANEXO K:	Planos para perforaciones del gabinete para la caja móvil
ANEXO L:	Hoja de especificaciones de batería Kaiser
ANEXO M:	Datos para la prueba de carga máxima
ANEXO N:	Certificado de instalación del sistema en Kallari
ANEXO O:	Hoja de especificaciones de pinza amperimétrica Fluke 325
ANEXO P:	Imágenes de construcción del brazo neumático y la caja móvil

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2:	Consumo de un actuador neumático lineal.....	19
Ecuación 2-2:	Fuerza de salida del émbolo	20
Ecuación 1-3:	Segunda ley de Newton.....	54
Ecuación 2-3:	Torque para mover del reposo a la caja móvil	54
Ecuación 3-3:	Definición de potencia en HP a partir del torque	54
Ecuación 4-3:	Ley de Ohm para la corriente eléctrica	55
Ecuación 5-3:	Corriente total de consumo	59
Ecuación 1-4:	Expresión que define el área de la vista lateral del brazo	75
Ecuación 2-4:	Diferencial de volumen para el área de trabajo	75

RESUMEN

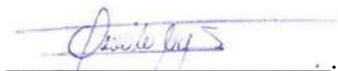
El objetivo de este proyecto técnico fue la construcción de un brazo elevador neumático paletizador controlado de forma manual para trasladar cajas de cacao fermentado dentro de la asociación Kallari. Para esto, se diseñaron dos dispositivos: un brazo neumático con 5 grados de libertad que permite transportar cajas de una zona a otra. La estructura está elaborada en acero, posee un sistema neumático conformado por válvulas solenoides 4/2, tres cilindros de doble efecto y para el control se tiene un LogoV8. El otro dispositivo es una a caja móvil cuya función es desplazar el cacao dentro del área de secado, su estructura está elaborada en acero y aluminio, cuenta con un motor acoplado a un mecanismo piñón-cadena y alimentado por un banco de dos baterías conectadas en serie. Para validar el funcionamiento de los dispositivos se realizaron siete pruebas utilizando la metodología de observación, comparación y estadística. En base a las pruebas se determinó que el brazo neumático es capaz cubrir un volumen de trabajo de $11,1856\text{m}^3$, pudiendo levantar una carga máxima de 166kg. La autonomía del banco de baterías en la caja móvil es de 10,35h y su tiempo de recarga es de 2,35h por batería. Los dispositivos en conjunto pueden transportar una masa neta de $1\ 620\frac{\text{kg}}{\text{h}}$. Todo lo anterior se traduce en una optimización del tiempo de transporte del 73%, permitiendo procesar 30 cajas de cacao fermentado del centro de acopio en 2h, concluyendo que el proceso con los dispositivos desarrollados es 4 veces más rápido que el realizado manualmente. Como trabajo futuro para la producción en masa del brazo neumático se recomienda diseñar una garra universal que pueda adaptarse a diferentes tipos de elementos a elevar, tales como: sacos, jabs, cartones, entre otros, con la finalidad de diversificar su usabilidad.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA DEL CONTROL AUTOMÁTICO>, <BRAZO ELEVADOR>, <CAJA MÓVIL>, <LOGOV8 (HARDWARE)>, <TRANSPORTE DE CACAO>, <PALETIZADO>.

ABSTRACT

The objective of this technical project was the construction of a manually controlled palletizing pneumatic lifting arm to move boxes of fermented cocoa beans within the Kallari association. For this, two devices were designed: a pneumatic arm with 5 degrees of freedom that allows boxes to be transported from one area to another. The structure is made of steel, it has a pneumatic system made up of 4/2 solenoid valves, three double-acting cylinders and a LogoV8 for control. The other device is a mobile box whose function is to move the cocoa beans within the drying area, its structure is made of steel and aluminum, it has a motor coupled to a sprocket-chain mechanism and is powered by a bank of two batteries connected in Serie. To validate the functioning of the devices, seven tests were carried out using the observation, comparison and statistical methodology. Based on the tests, it was determined that the pneumatic arm is capable of covering a work volume of 11,1856m³, being able to lift a maximum load of 166kg. The autonomy of the battery bank in the mobile box is 10.35h and its recharge time is 2.35h per battery. The devices together can transport a net mass of 1,620. All of the above translates into a 73% optimization of transport time, allowing the processing of 30 boxes of fermented cocoa from the collection center in 2 hours, concluding that the process with the devices developed it is 4 times faster than the one done manually. As future work for the mass production of the pneumatic arm, it is recommended to design a universal claw that can be adapted to different types of elements to be lifted, such as: bags, crates, cartons, among others, in order to diversify its usability.

Keywords: <AUTOMATIC CONTROL TECHNOLOGY>, <LIFTING ARM>, <MOVING BOX>, <LOGOV8 (HARDWARE)>, <COCOA BEANS TRANSPORTATION>, <PALLETIZING>



Lic, Nelly Padilla P.
0603818717
DOCENTE FIE

INTRODUCCIÓN

Los orígenes de la industria cacaotera en Ecuador se remontan a la segunda mitad del siglo XVI en Guayaquil, donde esta planta tropical era cultivada y cosechada en afluentes río arriba del río Guayaquil, de este hecho, proviene el nombre de la variedad más conocida y de mayor reconocimiento internacional, el Cacao de Arriba (Guerrero, 2013). Con el pasar de los años, específicamente en 1911, Ecuador se convirtió en uno de los mayores exportadores de cacao a nivel mundial, siendo la variedad CCN-51 y el tipo Arriba las de principal cultivo y exportación (Guerrero, 2013). Cabe mencionar que la variedad Arriba está clasificada como granos finos de aroma, estos representan entre el 6 y 8% de la producción mundial de cacao, de la cual, Ecuador provee el 54% (Acebo, 2016). La exportación de cacao en Ecuador es casi en su totalidad en forma de granos, por lo que los esfuerzos de esta industria en el país se orientan a su tratamiento desde el cultivo hasta el ensacado, este es un proceso complejo que implica en forma general las siguientes etapas: cultivo, cosecha, fermentado, secado, añejamiento y almacenamiento (Perfect Daily Grind, 2018). Cada etapa presenta sus particularidades, en especial las etapas de fermentado y secado, las cuales tienen una estrecha relación entre sí y son de vital importancia, pues en ellas se definen el sabor y aroma de los granos de cacao, en consecuencia, la calidad de estos, lo que a su vez determina el valor monetario de los granos en el mercado (Fundación PIAF, 2018). Además, en estas etapas surgen dificultades de logística en temporadas donde la producción de cacao aumenta, puntualmente, en el transporte de los granos de cacao desde la zona de fermentado hacia la de secado, por lo que este proyecto técnico se centra en el análisis y construcción de un sistema capaz de agilizar y facilitar el transporte de los granos de cacao de la zona de fermentado a la de secado, para la asociación productora de cacao Kallari. De aquí en adelante se lo enunciará solo por su nombre a la asociación.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

En este capítulo se explica el origen del problema que el presente proyecto técnico se plantea resolver, se da a conocer la relevancia de este mediante la exposición de la justificación teórica donde se identifica que este proyecto es necesario, pues la producción de cacao en Ecuador aumenta, además en la justificación aplicativa se resalta la necesidad de mejorar la eficiencia del tiempo en el transporte de los granos en las etapas de fermentado/secado. En esta sección también, se presenta el alcance del trabajo y se da a conocer la institución hacia quien está dirigida la solución desarrollada.

1.1. ANTECEDENTES

La industria cacaotera del Ecuador está concentrada principalmente en las provincias de la región litoral y las provincias del resto del territorio nacional aportan en menor medida. Una de las estrategias que han tomado los pequeños productores para ser competitivos, ha sido optar por la creación de asociaciones productoras de cacao, como Kallari del Tena provincia de Napo, la cual está conformada por 850 productores en su mayoría familias kichwas (Kallari, 2022). Las principales actividades de Kallari son la producción de granos de cacao y de chocolate desde el año 1997, cuyos procesos de producción continúan siendo artesanales y manuales, en especial, en lo que respecta a la producción y tratamiento de los granos de cacao, como por ejemplo el transporte de las cajas con granos desde la zona de fermentado hacia la de secado (Kallari, 2022). Las cajas en las que se fermentan los granos de cacao son elaboradas en madera de laurel, cuyas dimensiones son: 60 cm de largo, 60 cm a lo ancho y 60 cm de alto, con una capacidad de almacenamiento de 90 kg. El proceso de transporte de las cajas implica vaciar los granos de la caja de fermentado en una caja móvil, luego esta es empujada por un pasillo con superficie irregular hasta una marquesina donde se vierten los granos para el proceso de secado. Estas actividades son realizadas por dos personas, a las cuales les toma 20 min transportar cada caja con granos de cacao fermentado. Lo descrito anteriormente, llega a ser un impedimento para el flujo del proceso en el tratamiento de los granos, sobre todo en los meses de mayor producción que, según Carlos Pozo presidente de Kallari, se presenta entre los meses de enero y agosto. En esta temporada para mantener un tratamiento y producción de granos de cacao con estándares de calidad, Kallari contrata hasta siete personas para que realicen el transporte de los granos entre las estaciones de fermentado y

secado, e incluso, se ven en la necesidad de arrendar espacios para el almacenamiento de los granos previo al fermentado.

1.2. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

El cacao ecuatoriano tiene creciente demanda en países como Indonesia y Malasia, además, desde 2020 se han recuperado las ventas en Estados Unidos, como consecuencia, las exportaciones han crecido un 11% en 2021, pasando de 91 821 a 101 605 toneladas. En términos monetarios, el aumento es de 223,3 a 262,5 millones de dólares (La Hora, 2021). Durante el año 2020, en medio de la pandemia, se alcanzó un total de 345 000 toneladas comercializadas, lo que representó el mayor nivel de los últimos cinco años (La Hora, 2021). Debido al aumento en la demanda de granos de cacao las asociaciones productoras del Ecuador, como Kallari se esfuerzan por adaptarse a dicho crecimiento. Según Carlos Pozo, presidente de Kallari, entre el mes de enero y agosto es la temporada de cosecha del cacao, en donde se receiptan todo tipo de granos, alrededor de tres a cuatro mil quintales, en especial grano húmedo, el cual es fermentado en cajones a desnivel logrando de esta manera un ciclo de fermentado rápido, posteriormente, los granos se trasladan a las marquesinas para su secado. El transporte de los granos de cacao desde la zona de fermentado a la de secado se hace de manera manual entre dos personas, las mismas que emplean 20 min en promedio para concretarla (Kallari, 2022). En muchas ocasiones, el traslado de cacao fermentado a la zona de secado retrasa las demás actividades que se realizan en el proceso de producción, puesto se desperdicia tiempo en dicha actividad, al ser llevado a cabo íntegramente con personas (Kallari, 2022). Otra problemática relacionada con estas etapas de la producción del cacao es la falta de espacio en la zona de fermentado, la misma que se ha solucionado con el arriendo momentáneo de áreas de secado de otras empresas dedicadas a la misma razón social, sin embargo, esta opción acarrea costos económicos y de tiempo. Para agilizar y facilitar el traslado del cacao de la zona de fermentado a la de secado, en este trabajo se propone la construcción de un brazo elevador neumático paletizador a partir de teorías relacionadas con diseño de mecanismos, neumática, eléctrico y electrónica, cabe aclarar que este trabajo no explora la creación de nuevas teorías.

1.3. JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

Llevar a cabo el transporte de las cajas de cacao fermentado hacia la zona de secado de manera manual, impone limitaciones en la eficiencia de la producción de granos de cacao, pues al realizarlo de esa manera, se desperdician recursos humanos, económicos y de tiempo, en especial, en la temporada de cosecha. Además, la eficiencia en el proceso de fermentado de los granos y su posterior secado es de vital importancia, pues es en dichas etapas ocurren las transformaciones

químicas mediante las cuales estos adquieren su sabor y aroma, lo que se traduce en última instancia en su calidad y valoración en el mercado (Fundación PIAF, 2018). Debido a lo mencionado anteriormente, este proyecto técnico presenta la construcción de un brazo elevador neumático paletizador a ser operado manualmente por una persona, cuya fuente de movimiento es aire comprimido, el brazo tiene como soporte para sus componentes una estructura mecánica elaborada en acero con 5 grados de libertad, capaz de girar 180° y alcanzar una caja hasta una distancia de 4 m. Gracias a este equipo, se optimiza el tiempo de transporte de las cajas de cacao, además, permite que dicha actividad sea llevada a cabo por el mismo personal tanto en temporada de producción normal como cuando existe sobreproducción. El brazo elevador neumático paletizador que presenta este trabajo está constituido por un controlador lógico programable, encargado de procesar las señales de entrada provenientes de una botonera y generar señales que comandan conjuntos de válvulas solenoides, empleadas para activar un arreglo de tres cilindros neumáticos, ellos están encargados de sujetar, elevar, y trasladar las cajas con cacao desde la zona de fermentado a la de secado. Como paso intermedio en el transporte de los granos, existe una caja móvil en donde se deposita el cacao fermentado, luego, gracias al brazo elevador neumático paletizador se coloca sobre un carro de transporte llamado caja móvil, el cual, tiene un motor de corriente directa con una caja reductora, este paso intermedio se realiza con el fin de agilizar el traslado de las cajas de cacao y a su vez facilitar al operador la tarea de transportar la caja de cacao dentro de la marquesina para el secado de los granos. El proyecto se prevé instalar en el centro de acopio de productos orgánicos de Kallari, ubicada en la provincia de Napo, Parroquia Tena.

1.4. OBJETIVO GENERAL

Construir un brazo elevador neumático paletizador controlado de forma manual para trasladar caja de cacao fermentado.

1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los requerimientos del espacio disponible donde se va a instalar el brazo elevador neumático para el traslado de la caja de cacao fermentado.
- Diseñar el sistema del brazo elevador neumático paletizador para su implementación en base a los requerimientos del espacio disponible y al dimensionamiento de los instrumentos industriales.
- Desarrollar la caja móvil para el traslado el cacao fermentado dentro de la zona de secado mediante la necesidad del lugar.
- Verificar el funcionamiento del brazo elevador neumático paletizador y de caja móvil para el traslado de cacao fermentado mediante la activación de los instrumentos industriales.

1.6. METODOLOGÍA

A continuación, se presentan los métodos que se proyectan a utilizar para el desarrollo del presente Trabajo de Integración Curricular:

Métodos teóricos

Revisión bibliográfica: consiste en la recopilación y estudio de información proveniente de fuentes bibliográficas como: artículos científicos, libros, revistas, etc. respecto a la construcción de sistemas para elevación y transporte.

Sistematización: analizar y sintetizar la información recopilada con la finalidad de establecer los requerimientos de diseño adecuados para los dispositivos propuestos.

Evaluación: realizar pruebas para definir el adecuado funcionamiento de los dispositivos y en base a sus resultados cuantitativos, establecer en base a ellos las conclusiones de este trabajo junto con sus recomendaciones.

Métodos empíricos:

Consulta a expertos: se basa en la consulta a personas que tienen grandes conocimientos sobre el diseño mecánico de estructuras metálicas y en la construcción de maquinaria agrícola.

Observación: verificación de los sistemas propuestos.

Medición y comparación: validar los parámetros de diseño y funcionamiento de los dispositivos propuestos, cotejando los resultados de las pruebas realizadas con equipos patrón de las variables a medir.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se menciona brevemente la historia de Kallari, en donde se implementa este proyecto técnico, posteriormente, se describen las etapas del proceso que dicha institución emplea durante la postcosecha de granos de cacao. En la segunda parte, se presentan dispositivos desarrollados para el transporte y paletizado de cajas, luego, se hace una introducción a la neumática industrial en la que se abarca: el estudio, ecuaciones para dimensionamiento y criterios de selección para elementos principales. Seguidamente, se realiza un estudio y análisis comparativo de: los tipos de control para sistemas neumáticos, motores eléctricos, mecanismos de transmisión, baterías y materiales de construcción para estructuras mecánicas. Por último, se presentan los requerimientos, funcionamiento y la concepción de la arquitectura general del sistema junto con su diseño de bloques.

2.1. Asociación Kallari

La producción de cacao orgánico fino de aroma en la Amazonía ecuatoriana es realizada por la Kallari, la cual, es una institución no gubernamental que surge dada la necesidad de incrementar los ingresos económicos de las comunidades Kichwas por la producción y venta de cacao, café y otros productos. Kallari está ubicada en el cantón Tena, provincia del Napo y está conformada por 19 trabajadores dentro de la asociación, 21 comunidades de 850 familias de productores de grano y 5 000 beneficiarios directos en el mencionado cantón. Además de la producción y comercialización de cacao en grano y café, Kallari ofrece los siguientes productos: nibs de cacao, licor de cacao, manteca de cacao, polvo de cacao, barras de chocolate, trufas y bombones, todos ellos son comercializados en tiendas y supermercados a nivel nacional e internacional. Cabe mencionar que las barras de chocolate se comercializan bajo las marcas Sacha y Kallari (Kallari, 2022).

2.1.1. *Proceso de producción de granos de cacao en Kallari*

Kallari produce granos de cacao de las siguientes variedades: Arriba, Trinitario y Criollo, cuya producción en promedio se traduce en los siguientes datos: las 850 familias producen de 1 a 3 kg por familia, estimándose así un total máximo de 2550 kg, esto cada año. Es importante mencionar

que para finales del año 2022 según Carlos Pozo presidente de Kallari, se estima llegar a la producción de 136 078 kg.

El proceso de postcosecha que Kallari realiza consta de las siguientes etapas: fermentación, secado, clasificado y embalado (Kallari, 2022). De ellas, se describen solamente las etapas de fermentado y secado haciendo énfasis en la infraestructura de las zonas donde se desarrollan debido a que este proyecto técnico interviene en las mismas. También, se describe el proceso de transporte que llevan a cabo los trabajadores.

Fermentación: Su objetivo es dotar a los granos de cacao de sus características organolépticas mediante la interacción balanceada de temperatura, ácidos, pH, alcoholes y humedad (Fundación PIAF, 2018). Las cajas en las que tiene lugar la fermentación varían en su tamaño en función a su capacidad de almacenamiento. Kallari, para este proceso utiliza cajas de madera de laurel, cuyas dimensiones son: 60 cm a lo ancho, 60 cm a lo largo y una altura de 60 cm, el grosor de la madera es de 4cm, como se observa en la figura 1-2, con estas dimensiones la caja es capaz de almacenar 90 kg de granos de cacao (Kallari, 2022).

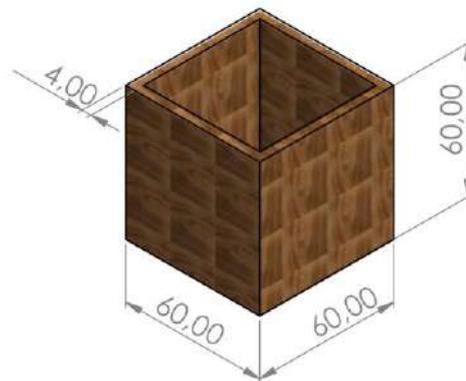


Figura 1-2: Dimensiones en centímetros de la caja para granos de cacao

El proceso de fermentación en Kallari tiene una duración de 5 días en total, los granos pasan por tres cajones diferentes agrupados en filas, primero reposan por dos días en la primera y segunda fila, finalmente un día en la última, desde donde se vacían los granos de cacao fermentado en la caja móvil para ser trasladados hacia la marquesina donde son secados (Kallari, 2022).

Secado: En esta etapa el objetivo es reducir la humedad de los granos de cacao, por lo general, hasta el 6 u 8 %, estos valores de humedad son los que marcan su fin, en ella la formación del sabor y aroma del chocolate finalizan (Fundación PIAF, 2018). Kallari realiza el proceso de secado en una marquesina (Kallari, 2022).

2.1.2. Infraestructura de la zona de fermentado y secado

El área donde se realiza la fermentación del cacao está constituida por una construcción de bloque y cemento no cerrada por lo que se encuentra a merced de las condiciones de humedad y temperatura de la zona, su cubierta está compuesta por planchas de zinc a desnivel. En este espacio se encuentran un total de 30 cajas de fermentado, divididas por gradas en dos grupos de 15, de ellas, intervienen 5 en el proceso de traslado entre estaciones, aquellas que conforman la última fila de los grupos, es decir, las más cercanas al pasillo que divide la zona de fermentado y secado. La distancia que deben recorrer los granos de cacao desde la zona de fermentado hasta la marquesina para el secado es de 1,95 m. La distribución de cajas descrita se observa en la figura 2-2.



Figura 2-2: Distribución de cajas en la fermentadora

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Por otra parte, la construcción de la zona de secado es una marquesina, la cual es similar a un invernadero, pues su estructura y suelo están elaborados en madera, su cubierta junto con el perímetro está rodeado por lonas de plástico. Dicha construcción se observa en la figura. 3-2.



Figura 3-2: Marquesina de Kallari para el secado del cacao

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Las dimensiones de la fermentadora son: 4,64 m por 7,35 m como se observa en la parte derecha de la figura 4-2, y de la marquesina son: 24,10 m por 7,30 m, como se observa la parte izquierda de la misma figura. Existe también un pasillo con superficie irregular cuyo ancho es de 1,95 m.

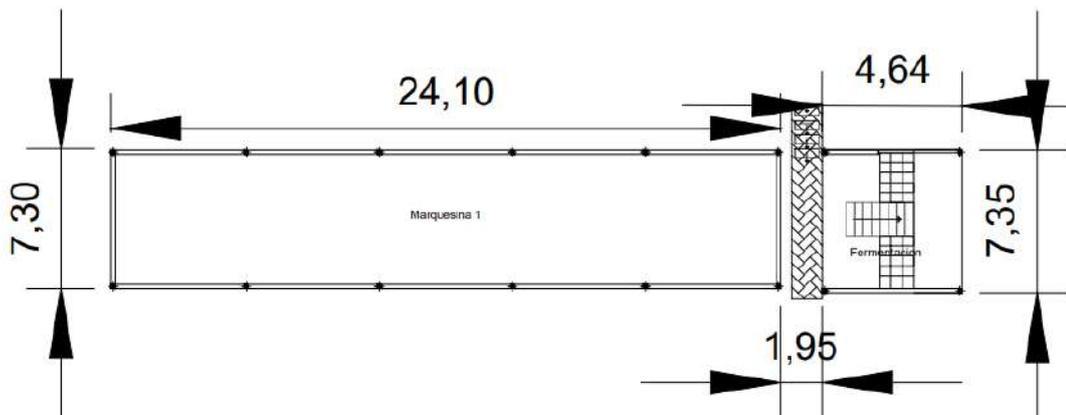


Figura 4-2: Dimensiones en metros de la zona de secado y fermentado

Realizado por: Bastidas, W. 2022

2.1.3. *Proceso de transporte del cacao entre zonas*

Este procedimiento consiste en colocar una caja móvil en frente del cajón que contiene los granos fermentados, luego, dos trabajadores trasladan los granos de cacao de un caja a otra utilizando un recipiente flexible, como se muestra en la figura 5-2.



Figura 5-2: Traslado de los granos de cacao fermentado entre cajas

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Una vez la caja móvil se encuentra llena con los granos fermentados, los trabajadores la empujan por el pasillo con superficie irregular que divide el zona de fermentado y secado como se observa en la figura 6-2.



Figura 6-2: Trabajadores empujando la caja móvil con granos de cacao fermentado

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Por último, la caja móvil se empuja al interior de la marquesina hasta donde se requiera como se observa en la figura 7-2. Todo el proceso descrito se realiza entre dos personas y en temporadas de cosecha se llegan a emplear hasta siete operarios.



Figura 7-2: Trabajadores empujando la caja móvil dentro de la marquesina

Realizado por: Bastidas, W. 2022

En los párrafos anteriores se ha descrito y analizado el proceso de transporte de los granos de cacao fermentado, en el cual se identifican las siguientes problemáticas:

- Mayor de tiempo en el traslado entre la zona de fermentado y secado por incremento de descanso.
- Trasladar la caja móvil por el pasillo que divide las zonas con superficie irregular contribuye a retrasar el transporte de los granos.
- Incremento de personal para el traslado de los granos en tiempo de cosecha.

2.2. Sistemas de elevación y paletizado de cajas

Estos sistemas tienen la finalidad de trasladar objetos sobre un eje vertical y horizontal, permitiendo que este proceso sea eficiente en lo que respecta al tiempo empleado en la tarea, así como también, facilita el trabajo del operario (TAWI, 2022). En las siguientes secciones se presentan sistemas de elevación que son tomados como referencia para el desarrollo de este proyecto técnico, en lo que respecta a la estructura mecánica del brazo.

2.2.1. Brazo pescante de acero inoxidable marca Tawi

Las especificaciones de este dispositivo son las siguientes: permite una oscilación de hasta 360 grados de libertad, un alcance máximo de 4 m y es capaz de elevar cargas de hasta 1 000 kg. Su estructura mecánica está elaborada en acero inoxidable, haciéndolo idóneo para aplicaciones en

industrias de alimentos, productos químicos y farmacéuticos. El mecanismo que utiliza para sujetar y elevar el material es gracias a un sello hermético entre la garra del brazo y el material, producido por una bomba de vacío que funciona con energía eléctrica (TAWI, 2022), en la figura 8-2 se puede observar el brazo pescante levantando un saco.



Figura 8-2: Brazo pescante marca Tawi

Fuente: TAWI, 2022

2.2.2. Brazo manipulador de columna QLA 100i

Este dispositivo de elevación es construido por Binar, tiene una configuración de columna como se observa en la figura 9-2. El accionamiento de sus grados de movilidad son una combinación de sistemas neumáticos, eléctricos y servoaccionamientos. Está diseñado para aplicaciones de elevación de cargas de hasta 100 kg, su radio de acción es de 2,7 m como máximo. Entre sus ventajas se encuentran: la ergonomía, capacidad de respuesta independientemente de la carga, seguridad, alta fiabilidad y bajo consumo de energía (Binar Handling AB, 2022).



Figura 9-2: Brazo manipulador de columna QLA 100i

Fuente: Binar Handling AB, 2022

2.2.3. *Dispositivo de elevación Micropartner con base transpallet*

Es un dispositivo diseñado para elevar y transportar bobinas de hilo metálico por Dalmecc, el cual se muestra en la figura 10-2. Entre sus múltiples ventajas se destaca la capacidad de intercambiar la garras de sujeción, permitiendo así elevar bobinas de múltiples tamaños. Posee controles a posición múltiple telescópicos, los cuales permiten al operador elevar la carga. Gracias a su base autoestable, el dispositivo puede ser trasladado de manera manual a diferentes áreas de trabajo (Dalmecc, 2022).



Figura 10-2: Dispositivo de elevación Micropartner con base transpallet

Fuente: Dalmecc, 2022

En los tres sistemas mencionados anteriormente, se aprecia que todos están conformados por estructuras mecánicas metálicas, algunas de aluminio o hierro y otras de acero inoxidable. Otra similitud es su capacidad de moverse en espacios de trabajos con una amplitud hasta de 4m. Se nota también que los tres diseños optan por un mecanismo con los siguientes componentes: base, antebrazo, brazo y garra, los cuales van a ser considerados para fabricar el brazo.

2.3. Sistemas neumáticos

El estudio del aire comprimido y su aplicación para transmitir energía o realizar trabajo es llevado a cabo por la neumática, esta disciplina ha encontrado diversas aplicaciones dentro del entorno industrial, siendo una las opciones más utilizadas para automatizar procesos repetitivos por las siguientes ventajas (FESTO, 1991):

- Limpieza.
- Baja combustibilidad.
- Alta velocidad de funcionamiento.
- Fácil almacenamiento.
- Baja susceptibilidad al aumento de temperatura.
- Costo económico en comparación a otras formas de transmisión de energía y control.

Un inconveniente que presenta la utilización del aire comprimido es el ruido que produce al accionar los elementos neumáticos, dicho inconveniente puede ser solventado parcialmente usando silenciadores (FESTO, 1991).

2.3.1. Componentes de un sistema neumático

Estos sistemas están compuestos por: compresor y depósito, unidad de preparación de aire con filtro regulador lubricador, válvulas reguladoras de presión y/o válvulas de control direccional, circuito de control y actuadores neumáticos (Parker Products, 2019). Los mismos que se detallan a continuación.

Compresor: los actuadores neumáticos para funcionar deben recibir aire comprimido limpio y seco, el cual es producido a partir de un compresor. Los tipos más comunes de compresor son el de émbolo y de tornillo, ambos tipos, generalmente incluyen dispositivos adicionales que permiten reducir la humedad, el aceite, las impurezas y la temperatura del aire comprimido. Luego

de que el aire haya sido comprimido y procesado, se envía hacia un depósito cuyas funciones son: amortiguar las fluctuaciones de presión según el consumo de aire, permite reducir los ciclos de funcionamiento del compresor, proporciona un caudal regular de aire a los componentes del sistema y ayuda mantener frío el aire comprimido (Parker Products, 2019):.

Del compresor de tornillo se pueden enunciar las siguientes ventajas: adecuado para funcionar de manera continua, alta eficiencia, configurable en función a la carga de trabajo, larga vida útil, compacto y bajo nivel de ruido, sin embargo, sus costos de inversión al igual que su servicio son elevados (Chicago Pneumatic, 2022).

Por otra parte, las principales ventajas de un compresor de émbolo son: bajo costo de inversión y servicio, fácil de transportar con funcionamiento sencillo, sin embargo, su baja eficiencia que es de alrededor del 65 al 70% suelen hacer que el costo del aire comprimido sea considerable en aplicaciones de uso continuo (Chicago Pneumatic, 2022).

El uso del compresor en la aplicación desarrollada por este proyecto técnico es el de suministrar aire comprimido para transportar un determinado número de cajas, esto implica un uso discontinuo del compresor pues su funcionamiento está en función al número de cajas, por lo que utilizar un equipo de émbolo es lo adecuado, al ser este de bajo costo y relativamente eficiente en el tipo de aplicación mencionada.

Unidad de preparación de aire: tiene la finalidad de retener las partículas de suciedad del aire para evitar obstruir el paso del aire comprimido a través de válvulas, racores y otros elementos neumáticos, también elimina la humedad ya que esta puede causar oxidación. Permite regular la presión de aire del sistema y añadir una neblina de aceite al aire comprimido. La lubricación no debe ser empleada en aplicaciones textiles, de alimentos o cualquier otra aplicación que exija condiciones sanitarias. La unidad de mantenimiento contiene cuatro componentes principales: elemento filtrante, vaso de condensado con purga, regulador de presión y lubricador (FESTO, 1991).

Su selección está determinada por el flujo de aire que demanden los actuadores del sistema, es importante además, que el flujo de procesamiento del FRL sea mayor en al menos un 20% al demandado por los actuadores para un filtrado adecuado (Frank Ebel, Siegfried Idler, Georg Prede, 2010, p 25).

Actuadores neumáticos lineales: es el actuador que con más frecuencia se utiliza, convierte la energía del aire comprimido en movimiento lineal (FESTO, 1991). Las especificaciones estándares sobre las que se fabrican y se seleccionan los cilindros neumáticos se indican en la tabla 1-2.

Tabla 1-2: Especificaciones de fabricación estándar para cilindros neumáticos

Parámetro del cilindro	Rango de dimensiones
Diámetro del émbolo	6-320 mm
Carrera	1-2000 mm
Fuerza	2-50000 N
Velocidad del pistón	0,02 a 1 m/s

Fuente: FESTO, 1991

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Los cilindros neumáticos pueden ser de simple y doble efecto. El primero realiza trabajo únicamente al momento del empuje, mientras que el otro, lo hace tanto en el empuje como en la retracción del émbolo (FESTO, 1991).

En base a lo expuesto se seleccionan como actuadores a los cilindros de doble efecto, pues debido a la aplicación de este proyecto es necesario que se realice trabajo al momento del avance del émbolo es decir, al momento de bajar controladamente la carga y también cuando este se retrae, con el fin de elevar la carga del piso.

Una vez seleccionado el tipo de cilindro, a continuación se realiza un análisis comparativo de marcas que fabrican este componente expuesto en la tabla 2-2. Por la variedad en el tamaño del émbolo se selecciona la marca Festo y por la variedad en la carrera del vástago se selecciona también la marca Pneumatic.

Tabla 2-2: Análisis comparativo de fabricantes de cilindros

Características / Marcas	Festo	Xcpc	Pneumatic
Presión de trabajo 6 BAR	Sí	Sí	Sí
Partes de anclaje incorporado	Sí	No	No
Variedad de carrera de vástago	Sí	No	Sí
Diverso tamaño de émbolos de gran tamaño	Si	No	No
Disponibilidad del mercado	Sí	Sí	Sí
Precio accesible	No	Sí	Sí

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Fuente: (Pneumatic, 2022; XCPC, 2022; FESTO, 2021)

Válvulas neumáticas: son elementos que cumplen un amplio abanico de funciones como por ejemplo: abrir o cerrar flujos de aire, regular presiones, ajustar caudales, dirigir el flujo de aire a diferentes conductos y otras (FESTO, 1991).

El dispositivo neumático que se desarrolla en este trabajo demanda el uso de cilindros de doble efecto, por lo tanto, esto implica el uso de válvulas direccionales 4/2 o 5/2. Se selecciona la primera, debido a su disponibilidad en el mercado y también porque son de fácil fabricación lo cual las hace económicas, además, se seleccionan válvulas reguladoras de caudal en función a la presión de trabajo y el diámetro del puerto de entrada, son necesarias para controlar de manera manual la velocidad de accionamiento de los cilindros (FESTO, 2021).

Una vez seleccionado el tipo de válvula, a continuación, se realiza un análisis comparativo para determinar el tipo de marca adecuada para el proyecto. En la tabla 3-2 se detallan las características consideradas. Se selecciona la marca SMC ya que cumple con los siguientes criterios de selección: capacidad expansión, alimentación AC, fácil mantenimiento, precio accesible y disponibilidad en el mercado.

Tabla 3-2: Análisis comparativo de fabricantes de válvulas

Características / Marcas	Festo	Xcpc	SMC
Capacidad de expansión	Sí	No	Sí
Alimentación AC	No	No	Sí
Fácil mantenimiento	No	No	Sí
Disponibilidad en el mercado	Sí	Sí	Sí
Variedad de acoples	No	Sí	Sí
Pecio accesible	No	Sí	Sí

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Fuente: (Pneumatic, 2022; XCPC, 2022; FESTO, 2021)

2.3.2. Dimensionamiento del depósito de aire comprimido

Para calcular la capacidad del depósito se utiliza la ecuación 1-2, que define el consumo del aire comprimido por parte de los actuadores neumáticos en litros, por lo que el volumen del depósito es la suma del consumo de los actuadores lineales calculados a partir de dicha ecuación en donde (Frank Ebel, Siegfried Idler, Georg Prede, 2010, p.25):

- Q : Consumo de aire en litros.
- d_1 : Diámetro del émbolo.
- d_2 : Diámetro del vástago.
- h : Carrera.
- p : Presión mínima de trabajo.

$$Q = \frac{\pi}{4}(d_1^2 - d_2^2)(h)(p)10^{-6}$$

Ecuación 1-2: Consumo de un actuador neumático lineal

2.3.3. Dimensionamiento para un actuador neumático lineal

La importancia de utilizar los cilindros adecuados para cada aplicación es significativa desde el punto de vista de la eficiencia energética y su consecuente repercusión en los costos de funcionamiento. Existen múltiples metodologías para dimensionar un actuador neumático y un enfoque general para ello, es seleccionar el diámetro del émbolo en función a la fuerza y presión

de trabajo. Esta tarea puede llevarse a cabo utilizando un diagrama de presión-fuerza o la ecuación 2-2, en dicha expresión se tienen los siguientes parámetros (FESTO, 1991):

- F : es la fuerza efectiva del émbolo en Newtons.
- p : es la presión de funcionamiento en BAR.
- A : es la superficie del émbolo en cm^2 .
- R : es una fuerza de fricción que disminuye la fuerza efectiva del cilindro, su valor es de alrededor del 10% de la fuerza de trabajo.

$$F = (p * A) - R$$

Ecuación 2-2: Fuerza de salida del émbolo

Otros dos parámetros que deben ser definidos para seleccionar un cilindro neumático son la carrera del émbolo, el cual está en función a los requerimientos de la aplicación y disponibilidad de los fabricantes. El rango de carrera para cilindros estándar se puede observar en la tabla 1-2, descrita en los párrafos anteriores.

2.4. Unidad de control para un sistema neumático

En este apartado se presentan y comparan dos opciones para el control de los actuadores en sistemas neumáticos, específicamente se analizan las ventajas e inconvenientes de realizar el control utilizando un PLC (*Controlador Lógico Programable, por sus siglas en inglés*) y la lógica cableada.

2.4.1. Controlador lógico programable PLC

Es un sistema electrónico de funcionamiento digital diseñado para aplicaciones industriales como por ejemplo automatismos neumáticos. Entre las tareas que debe cumplir se encuentran: implementar funciones lógicas específicas, secuenciación, temporización, conteo, aritmética, controlar entradas y salidas digitales o analógicas; todas ellas dentro del contexto de un proceso y en base a un programa almacenado en una memoria programable, el mismo que debe ser diseñado por el usuario (International Electrotechnical Commission, 2003). Un PLC de la marca alemana Siemens se observa en la figura 11-2.



Figura 11-2: PLC S71200 de la marca Siemens

Fuente: SIEMENS, 2021

Una vez presentada la definición de PLC, es necesario tener en cuenta varios criterios que permiten dimensionar correctamente un autómata programable, así el PLC seleccionado no se queda corto en prestaciones, ni con funcionalidades extras que encarecen el dispositivo. Los criterios necesarios para la selección correcta se enlistan a continuación (International Electrotechnical Commission, 2003):

- Definir el número de entradas y salidas, tanto digitales como analógicas.
- Capacidad de programa y memoria.
- Protocolos de comunicación.
- Escalabilidad.
- *Software* de desarrollo.
- Precio.
- Servicio técnico.

Las ventajas de un PLC dentro de un sistema de control son las siguientes (International Electrotechnical Commission, 2003):

- Bajo costo, respecto a un sistema de lógica convencional especialmente en aplicaciones complejas.
- Facilidad para integrarse con otros dispositivos de control.
- No requiere espacios amplios.
- Confiabilidad y versatilidad.
- No requieren de mantenimiento periódico.
- Fácil instalación, programación y detección de fallas.
- Compatibilidad con sensores y actuadores.

- Capacidad de integrar redes industriales.

2.4.2. *Lógica cableada*

También conocida como lógica convencional a la forma de diseñar automatismos a partir de contactores, temporizadores, relés y otros dispositivos electromecánicos, todos ellos son colocados al interior de un tablero eléctrico, como se observa en la figura 12-2 (International Electrotechnical Commission, 2003).



Figura 12-2: Ejemplo de tablero eléctrico con dispositivos de lógica cableada

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Esta variante de control permite crear sistemas automáticos robustos con capacidad para ejecutar tareas secuenciales, sin embargo, debido a la naturaleza de los dispositivos que se usan para su implementación, este tipo de sistemas de control tienen una flexibilidad nula. A pesar de su antigüedad siguen siendo empleados por muchas empresas en países en vías de desarrollo, esto debido a las siguientes ventajas (International Electrotechnical Commission, 2003):

- Los dispositivos para la implementación tienen alta disponibilidad en el mercado.
- Existe gran documentación para el diseño e instalación.

- Todos los elementos para su implementación son de carácter industrial.
- Planes de mantenimiento de rápida adaptación para los técnicos.

También es importante señalar las principales desventajas que se presentan en los procesos o automatismos controlados por este tipo de sistema de control, las cuales son enlistadas a continuación (International Electrotechnical Commission, 2003):

- El costo de un sistema de lógica convencional es alto, el cual incrementa en función al tamaño del proceso que se requiera automatizar.
- Al requerir de un gran número de elementos para su implementación, generalmente ocupan espacios amplios.
- Debido a que sus elementos poseen partes móviles el mantenimiento debe ser constante y periódico.
- El proceso de detección, diagnóstico y reparación de fallas es laborioso y complejo.
- La confiabilidad del sistema disminuye con el paso del tiempo, al incrementar la probabilidad de fallos.
- Los dispositivos que se utilizan no son capaces de generar ni detectar señales de alta frecuencia.
- En tableros eléctricos de gran tamaño el consumo de energía es significativo.

2.4.3. Análisis comparativo de los sistemas de control

En las secciones anteriores se presentaron las ventajas e inconvenientes de los sistemas de control para comandar actuadores neumáticos. En este punto es necesario hacer una comparación entre dichos sistemas de control, con el fin de optar por una opción adecuada para el dispositivo neumático que se desarrolla en este trabajo. Como se observa en la tabla 4-2 el control con PLC es la opción más adecuada para el automatismo que se desarrolla en este proyecto, debido a las siguientes características: flexibilidad, espacio reducido, mantenimiento no periódico, disponibilidad en el mercado, además, por su funcionalidad extra que permite futuros trabajos la digitalización de datos y control remoto.

Tabla 4-2: Análisis comparativo entre el control por lógica cableada y PLC

Característica	Lógica cableada	Control con PLC
Flexibilidad	No	Sí
Bajo costo	Sí	No
Espacio reducido	No	Sí
Manteniendo no periódico	No	Sí
Disponibilidad de elementos en el mercado local	Sí	Sí
Capacidad de control y monitoreo remoto, digitalización de datos	No	Sí
Bajo costo	Sí	No

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Fuente: (International Electrotechnical Commission, 2003)

Una vez seleccionado el tipo de control, a continuación, se realiza un análisis comparativo para determinar el tipo de controlador adecuado. Se descarta el uso de PLCs como los S7 1200/1500 de Siemens o los Modicon de Schneider, debido a que este proyecto demanda de baja capacidad de procesamiento, cantidad de entradas/salidas y complejidad del algoritmo de control, sin embargo, existen marcas que ofertan dispositivos de control para aplicaciones como la desarrollada en este proyecto, los cuales se detallan en la tabla 5-2. La marca seleccionada es Siemens, esto porque en la categoría de controladores de bajas prestaciones su controlador, porque tiene alimentación AC/DC, su *software* de desarrollo es gratuito, no necesita cables de programación especiales y su precio es accesible

Tabla 5-2: Análisis comparativo entre PLCs Logo, Micro810 y Zelio Logic

Características / Marcas	Siemens Logo	Allen Bradley Micro810	Schneider Zelio Logic
Alimentación AC y DC	Sí	No	Sí
<i>Software</i> de programación gratuito	Sí	No	Sí
Capacidad de expansión de entradas y salidas digitales	Sí	Sí	Sí
Interfaz para cable de programación RJ45	Sí	No	No
Soporte técnico gratuito	Sí	Sí	Sí
Disponibilidad en el mercado local	Sí	No	Sí
Precio accesible	Sí	No	No

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Fuente: (Siemens, 2022; Schneider, Electric 2022b; Allen-Bradley, 2022)

2.5. Motores eléctricos

La selección de una tecnología de motor eléctrico es determinada por la aplicación y las especificaciones técnicas necesarias de la misma, entre las que se encuentran: la potencia, el par y la velocidad de rotación. A la hora de seleccionar se deben tener en cuenta también: el espacio disponible, tipo de montaje, entorno de funcionamiento y la eficiencia energética (Direct Industry, 2022). Para este caso se establece como criterio de selección el par, el entorno de funcionamiento y la potencia del motor.

2.5.1. Motores de corriente directa

Un motor DC (*Direct Current, por sus siglas en inglés*) transforma energía eléctrica en energía mecánica (Mora, 2003, p.514). La principal desventaja de esta máquina radica en su coste de fabricación y necesidad de mantenimiento periódico. Por otra parte, su principal ventaja es que su control de velocidad y par son más flexibles en comparación de los motores AC, por lo que este tipo de máquinas encuentra aplicaciones en tracción eléctrica. Otras ventajas se enlistan a continuación (Mora, 2003, p.479):

- Alto par de arranque.
- Amplio rango de velocidades.
- Característica de torque-velocidad variable.
- Rápida aceleración, desaceleración y cambio de sentido de giro.

2.5.2. Motores de corriente alterna

Son máquinas eléctricas que convierten energía eléctrica AC (*alternating current, por sus siglas en inglés*) en energía cinética, dicha transformación se realiza gracias al fenómeno de inducción electromagnética. Su principal ventaja se debe a que su construcción no es compleja, por lo que su fabricación no es costosa, además al no requerir de colector y escobillas su mantenimiento es mínimo. Son idóneos en aplicaciones donde el movimiento es continuo y con pocos cambios de velocidad, sin embargo, su desventaja es la difícil portabilidad, pues para aplicaciones móviles este tipo de motores requieren que la energía eléctrica almacenada en acumuladores sea transformada mediante inversores y demás elementos extra (Mora, 2003, pp. 260-261).

Después de lo expuesto en las secciones 2.5.1 y 2.5.2, se establece como tecnología motriz aquella que emplea corriente directa. Es la adecuada para este proyecto por su alto torque, tamaño reducido y su capacidad de cambiar de sentido de giro, debido a que el motor está destinado a brindar tracción en un equipo con ruedas que traslada cargas de carga considerable.

En la tabla 6-2 se comparan características relevantes de diversas marcas del motor DC a utilizar en este proyecto. Los criterios de selección que se deben cumplir son: disponibilidad en el mercado, diferentes voltajes de alimentación, amplio rango de potencia, tamaño reducido y su precio accesible, porque se selecciona la marca Jin Le.

Tabla 6-2: Análisis comparativo de fábricas de motores DC

Características / Marcas	Weg	Sumitomo	Jin Le
Disponibilidad en el mercado local	Sí	No	Sí
Diferentes voltajes de alimentación	Sí	Sí	Sí
Amplio rango de potencias	No	Sí	Sí
Tamaño reducido	Sí	Sí	Sí
Precio accesible	No	No	Sí

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Fuente: (Weg, 2022; Sumitomo, 2022; Jin Le, 2022)

2.6. Mecanismos de transmisión de movimiento

Se utilizan engranes, correas o cadenas, para impulsar un eje giratorio a partir de otro, además de lo mencionado, son utilizados para incrementar o disminuir la velocidad, así como también, cambiar la dirección del movimiento (Myszka, 2012, p. 260).

2.6.1. Transmisión por correa

Opera con eficiencia a distancias grandes y pequeñas entre centros de los ejes, pueden encontrarse comercialmente con las siguientes formas: plana, en V, en V múltiple, corrugada y de distribución, cada tipo de correa es usada de acuerdo con los requerimientos de la aplicación. Se caracteriza por transmitir el movimiento giratorio y el torque de manera suave, sin ruido, además, su costo de compra es económico. Este tipo de transmisión posee además las ventajas que se enlistan a continuación (Myszka, 2012, pp. 302-303):

- Comparadas con las transmisiones de cadena y engranes, son menos costosas.
- A grandes velocidades de funcionamiento no producen ruido considerable.
- El deslizamiento que se produce en su funcionamiento puede utilizarse para evitar daños por sobre cargas.
- No es necesario realizar lubricación.
- Su instalación y ensamblaje es sencillo, además no necesitan mantenimiento periódico.

2.6.2. Transmisión por cadena

Proporciona la flexibilidad en aplicaciones donde la distancia entre centros de los ejes es grande, además, está bien adaptada para aplicaciones donde se requiere baja velocidad con torque grande. Los tipos de cadenas que se pueden encontrar comercialmente de acuerdo con la forma de sus eslabones son: cadena de rodillos, cadena de rodillos de tramos múltiples, cadena de rodillos con barra central descentrada y cadena silenciosa de diente invertido. A continuación, se enlistan otras ventajas de este tipo de transmisión (Myszka, 2012, pp. 308- 309).

- En comparación con la transmisión por correas, es más eficiente y no sufre deslizamiento.
- A bajas velocidades su eficiencia en la transmisión de potencia es mayor que la transmisión por correas.
- No requieren un tensado inicial.
- No se deterioran con el calor y el aceite, por lo que su vida útil es considerable.
- No requiere ajustes frecuentes.

2.7. Baterías

La función que desempeña una batería es servir como acumulador de energía eléctrica, así como también, suministrarla a una carga para que realice un determinado trabajo, por ejemplo, la tracción eléctrica (Peña, 2011), además cabe mencionar que dicha aplicación es en la que se enfoca este trabajo. Los tipos de baterías que se utilizan generalmente en tracción eléctrica se describen a continuación junto con sus ventajas.

2.7.1. Baterías de plomo-ácido

Esta tecnología de baterías tiene gran presencia en el mercado y su principal aplicación es en el sector automotriz. Se comercializan generalmente en voltajes de 6 y 12 V, sus celdas alcanzan un voltaje de 2 V. Su principal ventaja es que poseen una gran capacidad de descarga, pero únicamente en periodos cortos de tiempo y como principales desventajas se encuentran su elevado peso y necesidad de mantenimiento periódico. A continuación, se enlistan otras ventajas de este tipo de batería (Peña, 2011, pp. 22-33):

- Alta disponibilidad en el mercado local.
- Capacidad de suministrar picos de corriente durante la descarga.

- Baja tasa de autodescarga, alrededor del 5%.
- Alta eficiencia, generalmente por encima del 80%.
- Son reciclables.

2.7.2. Baterías de iones de litio

Las baterías de iones de litio se caracterizan por su gran capacidad de almacenamiento con poco peso, sin embargo, es la tecnología más cara en el mercado (Peña, 2011, pp. 27-30). El voltaje de las celdas de esta tecnología es de 3,3 a 3,7 V, también cabe mencionar, que la estructura de las celdas es frágil por lo que para las aplicaciones donde se utilizan este tipo de baterías es necesario un circuito que limite el voltaje máximo de carga en cada celda y el voltaje mínimo de descarga. A continuación, se enlistan las ventajas de este tipo de baterías (Peña, 2011, pp. 27-30):

- Alta densidad de energía.
- No necesitan mantenimiento.
- No tienen efecto memoria.
- Baja autodescarga.

El acumulador de energía para el dispositivo de transporte debe tener las siguientes características: suministrar picos de corriente, alta capacidad de almacenamiento, baja tasa de autodescarga y debe ser estar disponible el mercado local, por lo tanto, la tecnología de plomo-ácido es la adecuada para la aplicación de este proyecto.

Una vez seleccionada la tecnología de plomo-ácido, a continuación, se realiza un análisis comparativo para determinar la marca de batería adecuada. Este proyecto, necesita un sistema de alimentación capaz de trabajar con motores DC, por lo que mediante las características expuestas en la tabla 7-2, se selecciona la marca Kaiser, debido a su optimización de espacio, peso reducido, además de tener garantía mínima de 1 año y precio accesible.

Tabla 7-2: Análisis comparativo de fabricantes de baterías

Características / Marca	Bosh	Kaiser	Elektra
Alimentación de 12 V	Sí	Sí	Sí
Optimización de espacio	No	Sí	Sí
Peso reducido	No	Sí	No
Soporte técnico Gratuito	Sí	Sí	Sí
Garantía mínima de 1 año	Sí	Sí	No
Precio accesible	No	Sí	Sí

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Fuente: (Bosch, 2022; Kaiser, 2022; Elektra, 2022)

2.8. Materiales para la construcción de la estructura mecánica del brazo

En esta sección se describen materiales de construcción para estructuras mecánicas que son considerados para la elaboración de las diferentes partes que conforman el dispositivo que desarrolla este proyecto técnico.

2.8.1. Acero

Este material es una aleación de hierro y carbono, es el más empleado en la industria debido a que puede ser fabricado en grandes cantidades y a costos bajos. Entre sus principales ventajas se encuentra su resistencia mecánica, ductilidad y tenacidad. Se pueden clasificar en tres grandes grupos: aceros de construcción, de herramienta e inoxidables. De este grupo, el de interés es el acero de construcción el cual es empleado para la elaboración de estructuras mecánicas. Siendo el acero con menos de 0,25% de carbono el grupo más utilizado para la construcción de edificios, puentes, estructuras y otros (Belzunce, 2001).

2.8.2. Aluminio

Es un metal muy ligero debido a su baja densidad relativa la cual es $2,7 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ otra ventaja que destaca este material sobre los otros es su resistencia a la corrosión por oxidación, ya que al contacto con el aire este material forma una capa superficial de óxido de aluminio, otra característica propia del aluminio es su alta rigidez de 26 GPa (Ruiz, Garay y Marínez, 2017).

2.8.3. Acero inoxidable

Es una aleación de hierro, carbono y cromo, es principalmente apropiado cuando los procesos industriales exigen altos requisitos sanitarios, como cuando se manipulan productos químicos, farmacéuticos y alimentos, pero también en entornos hostiles donde se requiere una resistencia al óxido (TAWI, 2022). Su principal ventaja frente a otros materiales ferrosos es su alta resistencia a la corrosión, la cual se debe a la formación de una capa de óxido de cromo en la superficie del acero. Se puede mejorar la resistencia a la corrosión y otras características físicas del acero inoxidable agregando a la aleación elementos como níquel o molibdeno, las principales ventajas del acero inoxidable se enlistan a continuación (Ibarra, Núñez y Huerta, 2010):

Por lo expuesto en las secciones 2.8.1, 2.8.2 y 2.8.3 el material seleccionado para la fabricación de las estructuras mecánicas es el acero inoxidable, pero por su construcción bajo pedido en grandes medidas, además de su alto precio, se descarta, por lo cual, se elige al acero, ya que no entrara en contacto directo con los granos de cacao, además, su disponibilidad en el mercado y su bajo precio, de igual forma para su protección se coloca una pintura anticorrosiva que protegerá al material de posibles óxidos.

2.9. Descripción de requerimientos y funcionamiento del dispositivo

En esta sección se describen las tareas que desempeña el brazo neumático junto con los requerimientos que debe cumplir de acuerdo con la aplicación a la que está enfocada su uso, es decir, al transporte de cajas de cacao fermentado.

2.9.1. Requerimientos del sistema

La problemática de este proyecto técnico se centra en reducir el tiempo durante el proceso de transporte de las cajas con granos de cacao, desde la fermentadora hacia la marquesina, esto debido al área irregular entre las zonas de tratamiento de los granos. El sistema propuesto para resolver la problemática planteada establece el diseño de dos dispositivos: un brazo neumático y una caja móvil los cuales deben cumplir los siguientes requerimientos:

- El sistema debe transportar 30 cajas diarias en la jornada laboral.
- La masa total de la caja junto con los granos de cacao es de 115 kg como máximo, donde la masa de los granos de cacao es de 90 kg.

- Sus partes son base, antebrazo, brazo y garra, cuyas medidas de general son: alto 1,91 m, ancho 0,79 m, 3,98m de largo; estas dimensiones se establecen de acuerdo con el área de trabajo presentada en la figura 4-2.
- El brazo debe estar ubicado en la zona de fermentado, el cual está fabricado en acero con un espesor de 3 mm, un ancho de 100 mm, su base está fabricada en acero circular cuyo espesor es de 5 y 170 mm de diámetro interior, esto último por el asesoramiento de expertos en estructuras mecánicas.
- El sistema neumático contiene un compresor de 6 BAR, con un depósito capaz de almacenar aire comprimido para tres cilindros neumáticos de doble efecto.
- Los cilindros neumáticos son de doble efecto capaces de elevar una carga de 115kg, los cuales deben ser comandados por válvulas solenoides 4/2.
- Los grados de movilidad del brazo neumático son 5, esto con el fin de trasladar la caja en los ejes vertical y horizontal, además de girar sobre su eje vertical.
- La caja móvil está compuesta por una estructura tubular con una base de perfiles de acero cubierta por una plancha corrugada de aluminio, cuyas de forma general son: altura 1,28 m, ancho 0,80 m y 1,51 m de largo. Estas dimensiones están función de la caja cuyas dimensiones se presentaron en la sección 2.1.1. Y está ubicada en la marquesina.
- El sistema de debe contar con dos tableros de control eléctrico, uno para el brazo neumático y otro para la caja móvil.
- Los tableros de control deben contar con protecciones termomagnéticas, pulsadores y luces piloto para indicar si los dispositivos están en inicio y paro.
- El tablero del brazo neumático tiene como unidad de control un PLC con 5 entradas y 6 salidas.
- El tablero de control de la caja móvil debe contener un selector de tres posiciones para mover la caja móvil hacia adelante, atrás o deshabilitar la alimentación del motor.
- La jornada de trabajo de los operarios son de 8 h por lo tanto la capacidad de la batería en la caja móvil debe abastecer ese tiempo.
- El sistema debe ser competitivo en costo con dispositivos desarrollados de características semejantes.

2.10. Concepción de la arquitectura general del sistema

En los siguientes párrafos se presentan las capas que describen el funcionamiento del sistema:

- **Capa de elevación:** está conformada por el brazo neumático cuya estructura mecánica está elaborada en acero, un tablero de control encargado de procesar entradas de pulsadores y generar salidas que accionan válvulas solenoides, las últimas, encargadas de activar y desactivar cilindros neumáticos alimentados por un compresor de aire, estos sirven para elevar/bajar la caja de cacao, además de sujetar/soltar. Con la ayuda de un operario se lleva la caja sujeta por el brazo neumático hacia la entrada de la zona de secado, en donde se baja y se suelta.
- **Capa de transporte:** se encarga de trasladar la caja de cacao dentro de la zona de secado, consta de la caja móvil en forma de carrito cuya estructura mecánica está elaborada en acero y aluminio, tiene un tablero de control encargado de activar y desactivar un motor DC de acuerdo con la posición de un selector, para su alimentación tiene un banco de baterías.

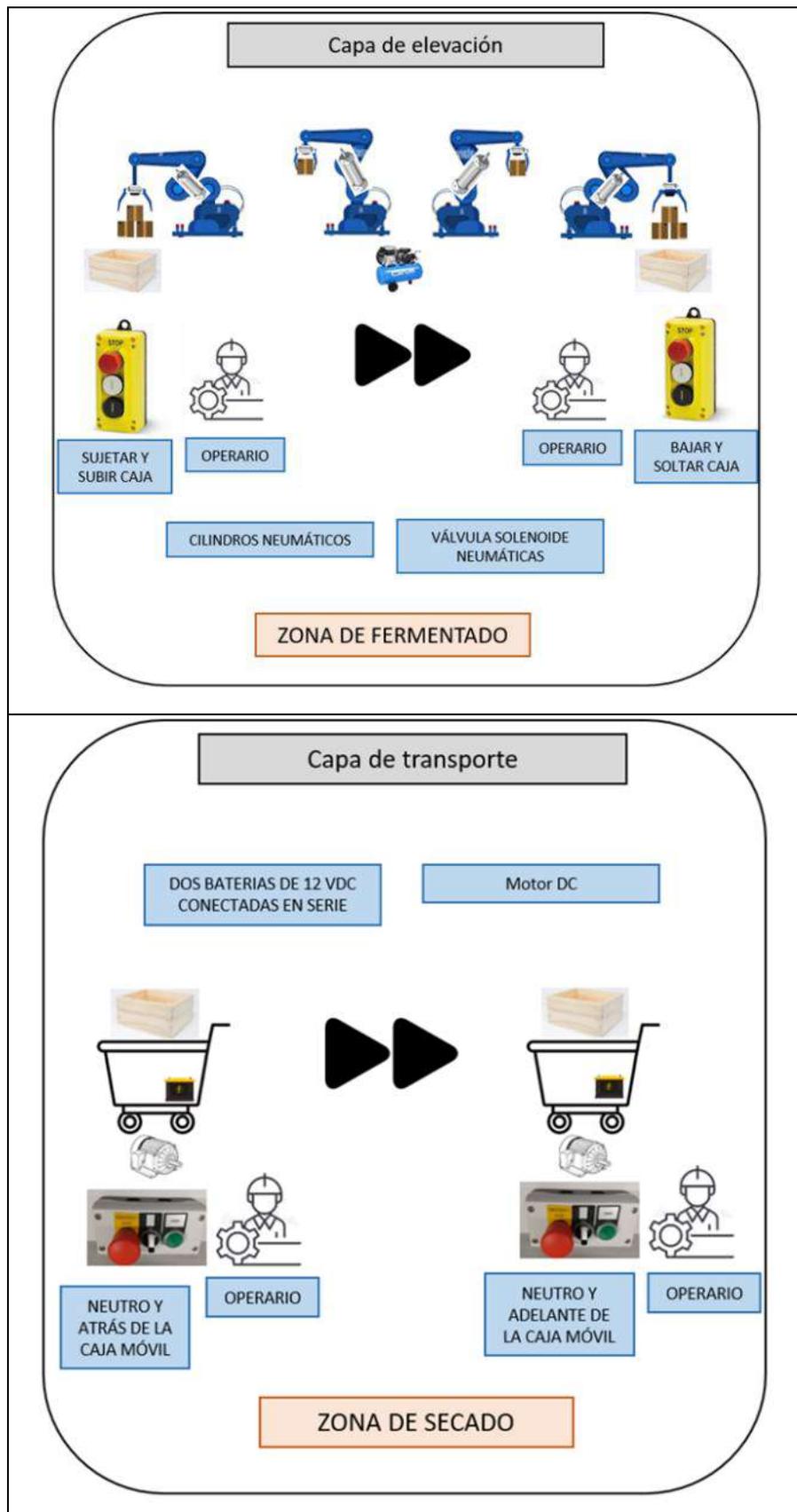


Figura 13-2: Concepción de la arquitectura general del sistema

Realizado por: Bastidas, W. 2022

2.11. Diseño de bloques del sistema

En esta sección el funcionamiento de los dispositivos desarrollados se describe mediante dos diagramas de bloques, en el primero se puede identificar la interacción del sistema eléctrico y neumático para comandar los actuadores en el brazo neumático. En el otro se describe la caja móvil, allí se observa la interacción del bloque de control con el de actuadores.

2.11.1. Diagrama de bloques para brazo neumático

Los componentes del sistema presentados en la figura 14-2 se describen a continuación:

Bloque de suministro energético: tiene la función de entregar la energía eléctrica necesaria a todos los componentes eléctricos y electrónicos del brazo neumático.

Bloque de suministro de aire comprimido: tiene la función de proveer a los actuadores neumáticos el aire comprimido para su accionamiento.

Bloque de control: es la unidad central del sistema, encargada de recibir las señales de los dispositivos electrónicos de entrada ubicados en el tablero de control y enviar señales hacia el bloque de actuadores.

Bloque de actuadores: recibe las señales enviadas por el bloque de control para accionar los cilindros responsables de los movimientos del brazo neumático.

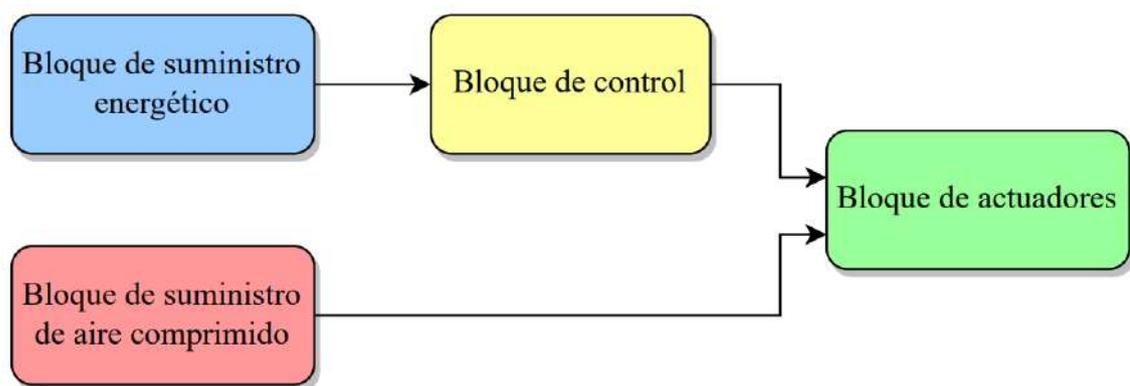


Figura 14-2: Diagrama de bloques para el brazo neumático

Realizado por: Bastidas, W. 2022

2.11.2. Diagrama de bloques para la caja móvil

Los componentes del sistema presentados en la figura 15-2 tienen se describen a continuación:

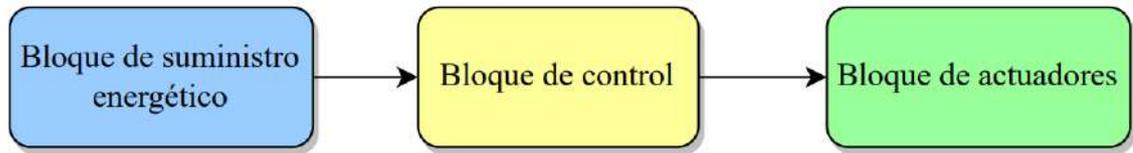


Figura 15-2: Diagrama de bloques para la caja móvil

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Bloque de suministro energético: tiene la función de entregar la energía eléctrica necesaria a todos los componentes eléctricos y electrónicos la caja móvil.

Bloque de control: se ubican pulsadores y selectores para enviar señales al bloque de actuadores.

Bloque de actuadores: recibe las señales enviadas por el bloque de control para accionar el motor DC encargado del transporte de la caja móvil.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se presenta el diseño mecánico para la estructura del brazo neumático y la caja móvil, seguidamente se detalla el diseño neumático para el brazo, luego se describe el diseño eléctrico de los dos dispositivos. En cada sección se realiza el dimensionamiento y selección del *hardware* de los elementos principales junto con la descripción de los esquemas de conexión correspondientes, finalmente se expone el diseño de *software* mediante un diagrama de flujo para el algoritmo de control cargado al PLC del brazo neumático y otro que describe el funcionamiento de la caja móvil.

3.1. Diseño mecánico del sistema

En esta sección se presentan los modelos 3D tanto del brazo neumático como de la caja móvil, ambos realizados en SolidWorks, sus planos de construcción se encuentran en los anexos I y J correspondientemente.

3.1.1. Estructura mecánica del brazo neumático

El diseño del brazo neumático fue realizado empleando el *software* de diseño CAD 3D SolidWorks 2020 (Systems, 2022). El brazo neumático consta de 5 grados de libertad los cuales dotan del movimiento necesario para que el dispositivo pueda trasladar la caja de cacao fermentado hasta posicionarla en la caja móvil. El material utilizado es acero de espesor 3 mm y está cubierto con pintura anticorrosiva para evitar la oxidación esto debido a la opinión de expertos en construcción de estructuras mecánicas

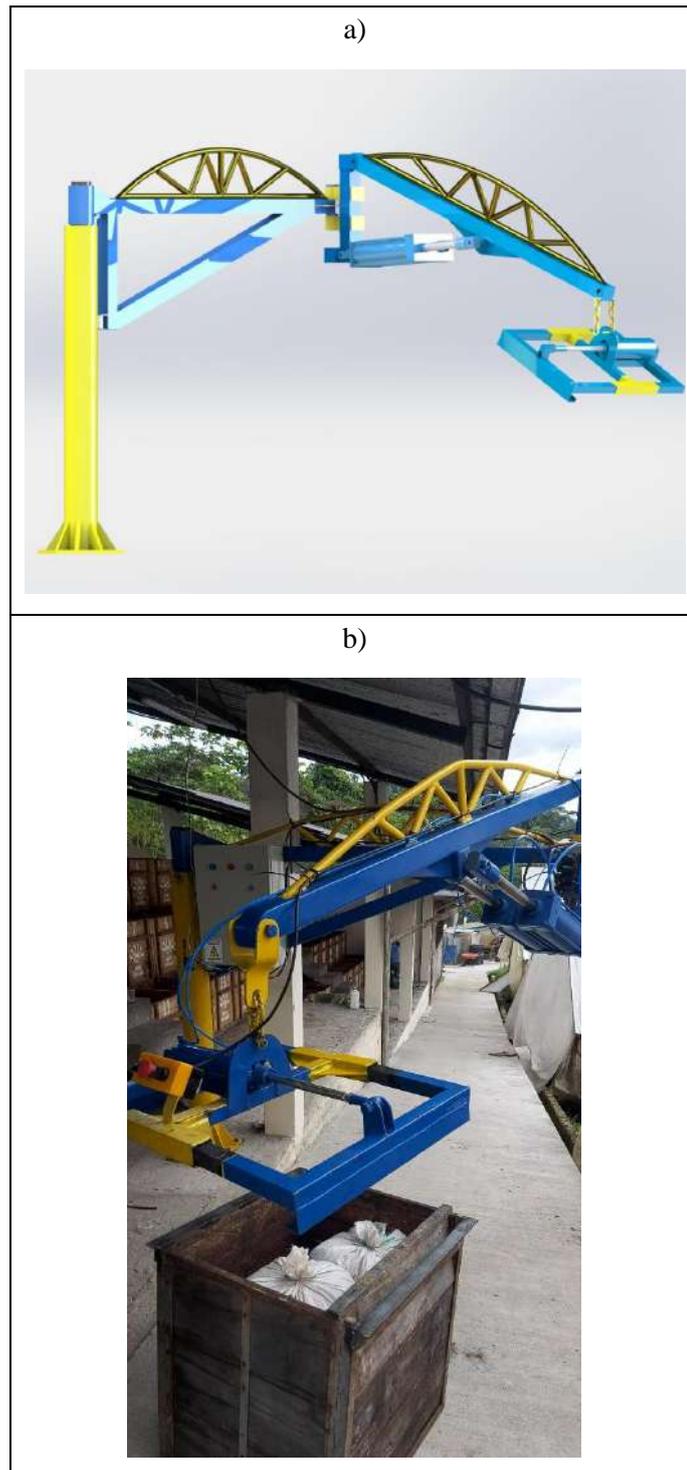


Figura 1-3: Modelo 3D de la estructura mecánica del brazo neumático

Realizado por: Bastidas, W. 2022

En la figura 1-3a se presenta el modelo 3D creado en SolidWorks y en la parte b su construcción física. Las cuatro partes que conforman el brazo neumático se describen a continuación:

- **Base:** formada de una columna fija empotrada sobre el suelo del espacio de trabajo, encargada de sostener al resto de partes del brazo neumático. Sus medidas son: 1,91 m de alto y 0,36 m de ancho
- **Antebrazo:** estructura fija montada sobre la base del mecanismo, en cuyo extremo se encuentra conectada la estructura del brazo por medio de una parte móvil que permite el movimiento del brazo 180 grados horizontalmente. Sus medidas son: 0,7 m de alto y 2 m de largo.
- **Brazo:** estructura móvil montada en el antebrazo, sobre la cual, se ubican dos cilindros neumáticos de doble efecto que permiten subir o bajar la estructura del brazo verticalmente. Sus medidas son: 0,62 m de alto y 1,98m de largo.
- **Garra o garra:** constituye el efector final del mecanismo y se encuentra conectada a la estructura del brazo, está formada por un cilindro neumático de doble efecto que permite abrir o cerrar la garra para sujetar o soltar las cajas de cacao fermentado. Sus medidas son 0,76 m de largo por 0,7 m de ancho.

Los valores de los parámetros de la estructura presentados anteriormente están en función del área de trabajo descrita en la sección 2.1.2. En la figura 2-3 se observan las dimensiones del brazo ensamblado, todas las piezas que lo conforman junto con sus medidas se detallan en el anexo J.

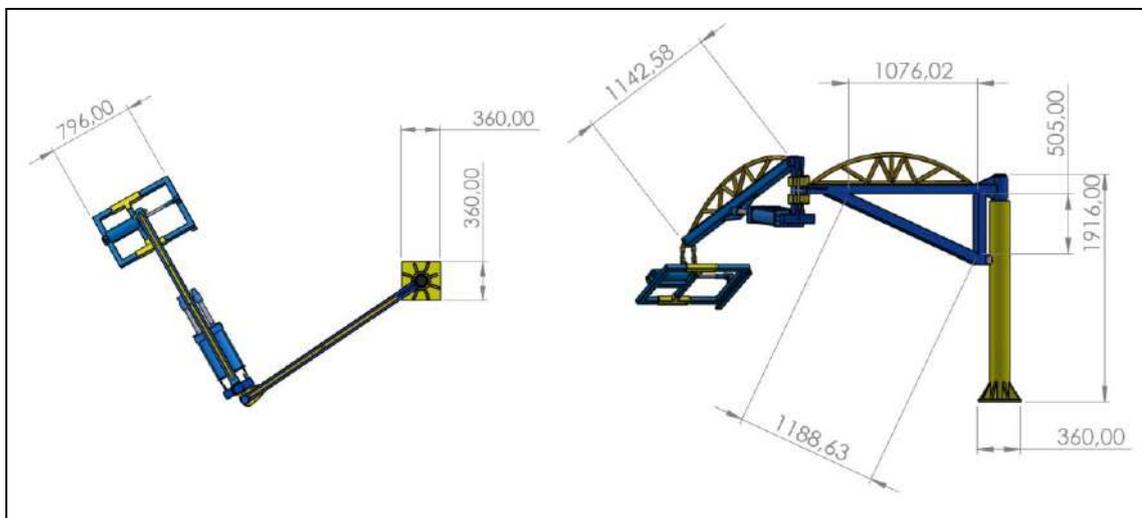


Figura 2-3: Dimensiones en milímetros del brazo neumático ensamblado

Realizado por: Bastidas, W. 2022

3.1.2. Estructura mecánica de la caja móvil

El diseño de la estructura mecánica de la caja móvil fue realizado mediante el *software* de diseño CAD 3D SolidWorks 2020 (Systems 2022), el cual se observa en la figura 3-3a y en la parte b está

la construcción física. La estructura mecánica, está fabricada en acero tubular y cuenta con una plataforma de 1,2 m de largo por 0,8 m de ancho con el fin de tener el espacio necesario para que el brazo neumático ubique las cajas de cacao fermentado y sean transportadas dentro de la marquesina. Sobre esta plataforma, también se ubica un compartimiento cerrado en cuyo interior se encuentran dos baterías que además en este lugar se ubica un cargador de estas. En la parte posterior de la caja móvil se ubica el tablero de control que permitirá ejecutar acciones sobre el motor de tracción.

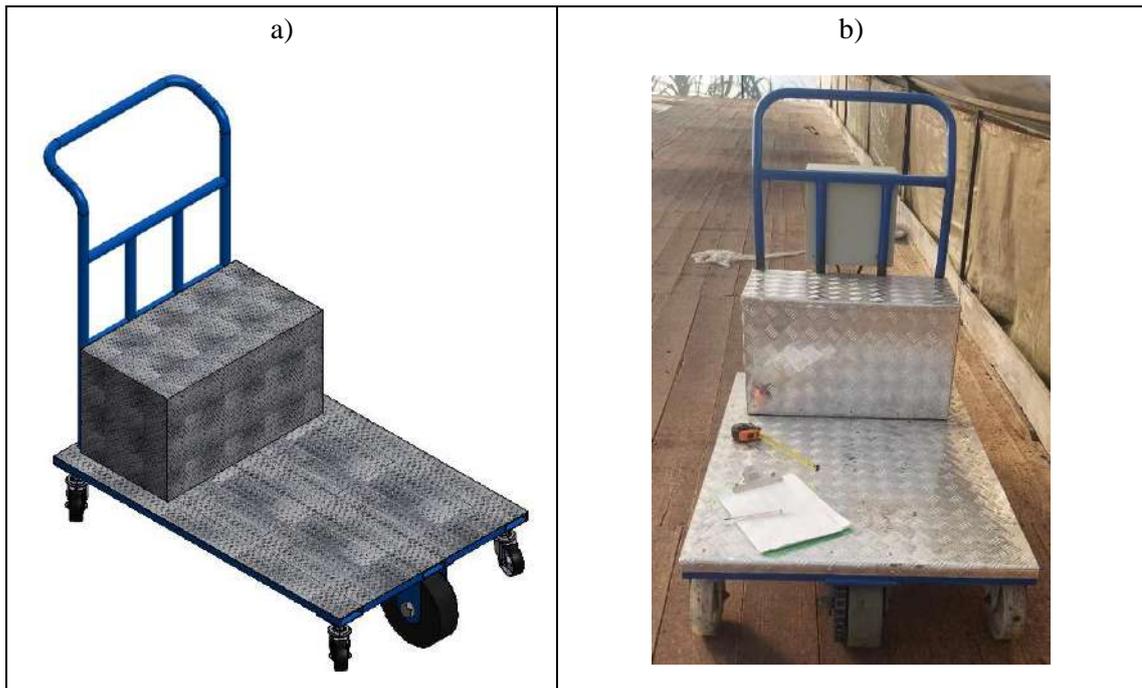


Figura 3-3: Modelo 3D de la estructura mecánica para la caja móvil

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Por debajo de la plataforma de la caja móvil, se ubican 4 ruedas laterales encargadas de mantener el equilibrio de la estructura y dar dirección a la caja móvil, en la mitad de las ruedas delanteras se ubica una quinta rueda, la cual está conectada al motor por medio de una transmisión de piñón-cadena, esta rueda transmite a la estructura la acción ejercida por el motor dotando de movimiento a la caja móvil, por último, se encuentra una base soldada para sujetar al motor DC con su caja reductora de velocidad.

Las medidas de la caja móvil ensamblada son: 1,28 m de alto, 0,8 m de ancho y 1,51 m de largo como se indican en la de la figura 4-3. También se muestra la estructura tubular donde se monta el cuadro de control y mediante la cual el operador direcciona el dispositivo. Los planos de construcción de la caja móvil con piezas complementarias se encuentran en el anexo I.

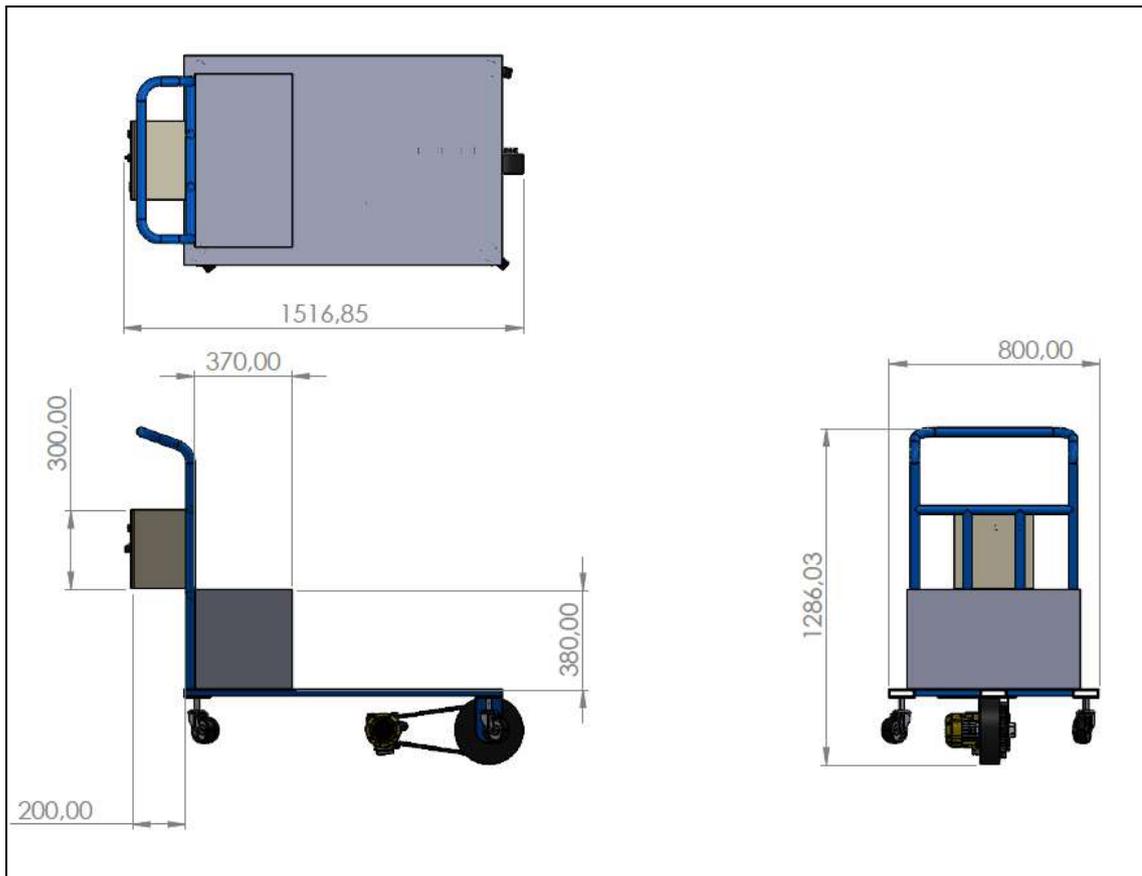


Figura 4-3: Dimensiones en mm de la caja móvil ensamblado

Realizado por: Bastidas, W. 2022

3.1.3. *Mecanismo de transmisión de movimiento para la caja móvil*

Para transmitir la energía mecánica del motor hacia la quinta rueda encargada de la tracción de la caja móvil, se utiliza un mecanismo de transmisión por piñón-cadena en base a lo expuesto en la sección 2.6, descartando el uso de transmisión por correas, tren de engranes u otros. La construcción fue llevada a cabo por un experto en el área y su resultado final se presenta en la figura 5-3.

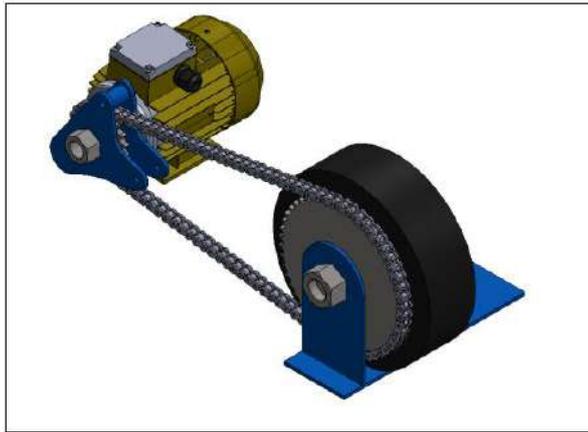


Figura 5-3: Mecanismo de transmisión piñon-cadena

Realizado por: Bastidas, W. 2022

3.2. Diseño neumático del brazo

En esta sección se presenta el proceso de dimensionamiento, selección para los elementos que componen el sistema neumático, los criterios para su selección y esquema de conexión.

3.2.1. Dimensionamiento y selección de componentes neumáticos

En este apartado se define el consumo de aire en los actuadores neumáticos y sus parámetros de construcción que permiten elevar la carga cumpliendo con los requerimientos establecidos en la sección 2.9.

Cilindro neumáticos Festo DNC-100-320-PPV-A y Pneumatic SL40x150

El sistema neumático del brazo está compuesto por dos cilindros de doble efecto Festo DNC-100-320-PPV-A encargados de subir y bajar las cajas de cacao fermentado, también por un cilindro Pneumatic SL40x150 de doble efecto que cumple la función de abrir y cerrar la garra del brazo, las consideraciones de dimensionamiento para estos elementos son las siguientes:

- Presión de trabajo para ambos cilindros es 6 BAR.
- La masa de carga a elevar es de 140 kg, dicho valor considera la masa de la caja, el cacao, parte del antebrazo y garra, lo que equivale a 1 372,93 N.
- La fuerza por vencer por el cilindro de sujeción es de 980 N.
- El valor de la fuerza de fricción que disminuye la fuerza efectiva del cilindro es de 0,1 N.

A partir de los valores de parámetros enlistados anteriormente y su sustitución en la ecuación 2-2, se define el área del émbolo para el cilindro de elevación/posicionamiento en $251,7068 \text{ cm}^2$, a partir de este valor se define el diámetro del émbolo a adquirir el cual es de 18 cm. Tomando en cuenta estas consideraciones y ajustándose a las características de los cilindros neumáticos que ofrece el mercado, se seleccionan dos cilindros neumáticos Festo DNC-100-320-PPV-A con las siguientes especificaciones: 10 cm de diámetro de émbolo y 32 cm de carrera. Con ellos se cumple la función a realizar por el cilindro dimensionado inicialmente.

Para dimensionar el cilindro encargado de abrir y cerrar la garra del brazo, se sigue el proceso descrito anteriormente cambiando la fuerza a vencer por 980 N. Dando como resultado la selección de un cilindro Pneumatic SL40x150 cuyo diámetro de émbolo sea 4 cm.

En la figura 6-3 se muestra uno de los cilindros neumáticos Festo DNC-100-320-PPV-A, mientras que en la tabla 1-3 se observan los datos de los cilindros neumáticos utilizados.



Figura 6-3: Cilindro neumático marca Festo

Fuente: FESTO, 2021

Tabla 1-3: Datos técnicos de los cilindros neumáticos para elevar/bajar y sujetar/soltar la caja

Marca / Modelo	Reseña	Información	
Pneumatic SL40x150	Cilindro neumático de doble efecto, para cerrar la garra	Carrera	150 mm
		Émbolo	40 mm
		Vástago	25 mm
Festo DNC-100-320-PPV-A	Cilindro neumático de doble efecto, para elevar/bajar la caja	Carrera	320 mm
		Émbolo	100 mm
		Vástago	60 mm

Fuente: FESTO, 2021

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Válvula solenoide neumática SMC VS7-6-FG-SIN

Para el sistema neumático del brazo neumático se necesita emplear cuatro válvulas de 4/2, con ellas se controlan el movimiento de los cilindros de doble efecto. El dimensionamiento de estos elementos se realiza considerando la presión de trabajo establecida en 6 BAR. Las válvulas neumáticas 4/2 seleccionadas son las SMC VS7-6-FG-SIN, contienen una bobina solenoide que permite la apertura o cierre de aire. A continuación, en la figura 7-3 se observan las válvulas solenoides utilizadas y en la tabla 2-3 se aprecian los datos técnicos del dispositivo.



Figura 7-3: Válvula solenoide neumática SMC 4/2

Fuente: SMC, 2022

Tabla 2-3: Datos técnicos de la válvula solenoide neumática SMC 4/2

Marca / Modelo	Reseña	Información	
SMC VS7-6-FG-S- 1N(AC110V)-Q	Válvula de 4 vías y 2 posiciones, accionada mediante un solenoide y montada mediante base	Presión máx. de trabajo	7 BAR
		Presión min. de trabajo	1,5 BAR
		Tensión nominal	110 VAC
		Consumo de potencia	0,35 W
		Corriente de consumo	3,20 mA

Fuente: SMC, 2022

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Válvula reguladora de caudal LEGRIS 7130

Este componente controla el aire comprimido que llega a los actuadores neumáticos, se utilizan dos componentes de este tipo. La válvula seleccionada es la LEGRIS 7130, posee un dial de bloqueo de inserción-extracción de mayor tamaño que ayuda a un ajuste preciso, su dimensionamiento está en función a la presión de trabajo, es decir, 6 BAR. La figura 8-3 muestra el regulador de caudal utilizado y en la tabla 3-3 se muestran los datos del elemento.



Figura 8-3: Válvula reguladora de caudal Legris7130

Fuente: SMC, 2022a

Tabla 3-3: Datos técnicos de la válvula reguladora de caudal Legris 7130

Marca / Modelo	Reseña	Información	
Legris 7130	Regulador utilizado en tuberías o en conexiones neumáticas dentro del sector industrial	Diámetro	10 mm
		Material	Latón niquelado

Fuente: SMC, 2022a

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Compresor BP 25 L/6 BAR

El dimensionamiento del compresor se hace a partir de la ecuación 1-2 y las características de los cilindros seleccionados. Por lo que la demanda de aire para el par de cilindros encargados de elevar/bajar la carga es 15,0796 L, por otra parte, el consumo de aire del cilindro de sujeción de la carga es de 0,7533 L. Por lo tanto, el consumo total del sistema es de 15,9329 L.

Con la finalidad de garantizar la disponibilidad del aire, se opta por sobredimensionar un 20% el volumen de almacenamiento del depósito, resultando así, en la selección de un compresor con

depósito de 25 L. En la figura 9-3 se observa el compresor utilizado y en la tabla 4-3 se muestran los datos técnicos del elemento.



Figura 9-3: Compresor BP 25 Litros

Fuente: BP, 2022

Tabla 4-3: Datos técnicos del compresor 2HP/25 L 115PSI BP

Marca / Modelo	Reseña	Información	
		Capacidad	25 L
BP 25 L, 6 BAR	Compresor con difusor de calor, arranque automático y manual, 2 manómetros de aire y filtro plástico	Potencia	2 HP
		Voltaje	110 V
		Corriente	6,78 A
		Presión	6 BAR

Fuente: BP, 2022, p.53

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Unidad de mantenimiento Truper UNI-LL-1/4

Este componente, permite el filtrado de partículas y humedad, además, tiene la capacidad de lubricación en herramientas neumáticas, cuenta con un regulador con manómetro para controlar la presión y salida de aire. Su dimensionamiento está en función de la presión del sistema, es decir 6 BAR y al consumo de aire del sistema el cual es de 25 L. En la figura 10-3 se aprecia la unidad de mantenimiento seleccionada la cual es la Truper UNI-LL-1/4 y en la tabla 5-3 se aprecian los datos técnicos del elemento.



Figura 10-3: Unidad de Mantenimiento Truper UNI-LL-1/4

Fuente: TRUPER, 2022

Tabla 5-3: Datos técnicos de la unidad de mantenimiento Truper UNI-LL-1/4

Marca / Modelo	Reseña	Información	
Truper UNI-LL-1/4	Filtro regulador de aire para partículas y humedad, con módulo de lubricación	Presión máxima	10 BAR
		Rango de escala	0-10 BAR
		Cuerda	¼" NPT

Fuente: (TRUPER, 2022)

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Racores QS-1/8-6

Con el fin de interconectar y distribuir el aire comprimido de la red de suministro con los cilindros y las válvulas neumáticas se utilizan los racores presentados en la figura 11-3. Para su dimensionamiento se parte de la presión máxima de trabajo correspondiente a 6 BAR, por esta razón se considera utilizar racores de 10 mm que tienen una presión máxima de trabajo de 10 BAR suficiente para cumplir las condiciones demandadas.



Figura 11-3: Racor roscado QS-1/8-6

Fuente: FESTO, 2021

Mangueras de conexión

El sistema neumático debe operar con una presión de trabajo de 6 BAR, por lo tanto, la red de aire comprimido para el sistema neumático del brazo es dimensionada considerando esta presión máxima. Partiendo de esta premisa y para cumplir las condiciones de trabajo establecidas en la sección 3.2.1, se utiliza la manguera de poliuretano de 10 mm de diámetro exterior, mostrada en la figura 12-3, estas distribuyen el aire comprimido a los cilindros de doble efecto encargados de subir y bajar la caja de cacao fermentado. Para alimentar el cilindro de doble efecto que controla el movimiento de la garra del brazo neumático se emplea manguera de 4 mm de diámetro exterior. Ambas mangueras soportan una presión máxima de 10 BAR (Frank Ebel, Siegfried Idler, Georg Prede, 2010, pp.34-35).



Figura 12-3: Manguera de poliuretano

Fuente: FESTO, 2021

3.2.2. Diagrama esquemático del circuito neumático

Fue elaborado utilizando el *software* FluidSIM V4.5 para creación, simulación y diseño de circuitos electroneumáticos de la marca Festo (FESTO, 2022). El esquema de las conexiones y elementos neumáticos que forman parte del brazo neumático se muestran en la figura 13-3. En la tabla 6-3 se detalla el significado de los elementos del diagrama mencionado.

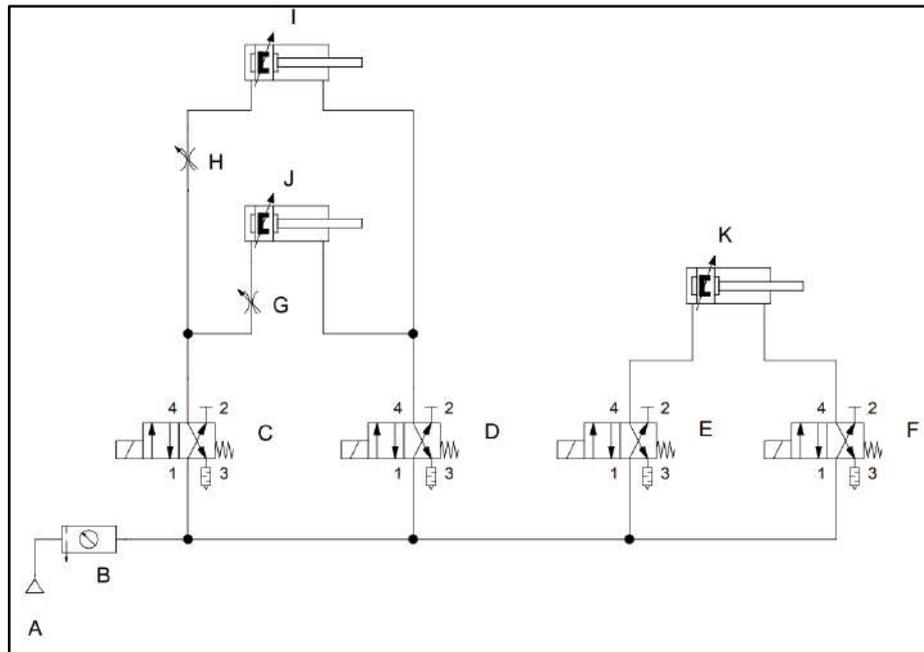


Figura 13-3: Diagrama esquemático del circuito neumático para el brazo

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Tabla 6-3: Elementos del circuito neumático para el brazo

Etiqueta	Significado del elemento
A	Fuente de aire comprimido
B	Unidad de mantenimiento
C	Válvula de 4/2 vías
D	Válvula de 4/2 vías
E	Válvula de 4/2 vías
F	Válvula de 4/2 vías
G	Válvula reguladora de caudal 1
H	Válvula reguladora de caudal 2
I	Cilindro neumático doble efecto
J	Cilindro neumático doble efecto
K	Cilindro neumático doble efecto

Realizado por: Bastidas, W. 2022

3.3. Diseño eléctrico y de control para el brazo neumático y caja móvil

En este apartado se aborda la selección de los dispositivos que demandan energía eléctrica, es decir, el dimensionamiento del motor, la batería, los conductores de potencia y control del sistema junto con sus protecciones termomagnéticas, se exponen también los diagramas de conexiones de los tableros para el brazo y la caja móvil.

3.3.1. Selección y dimensionamiento de componentes eléctricos para el brazo

En esta sección se muestran los dispositivos empleados en la construcción del tablero de control para el brazo neumático.

Controlador lógico programable Logo 12/24RCE y módulo de E/S DM8

La selección del elemento de control se justifica en base lo expuesto en la sección 2.4.3. Sin embargo, para cumplir con el requerimiento de entradas y salidas expuesto en la sección 2.9.1 es necesario el uso de un módulo de ampliación E/S DM8.

Se justifica la selección del módulo de E/S ya que el costo combinado con el Logo es de 290\$ (Siemens, 2021), el cual, si se compara con el precio de un PLC con un mayor número de entradas y salidas como por ejemplo el S7 1200 1214C de Siemens cuyo costo es 450\$ (Siemens, 2021), el uso de Logo con su modulo DM8 es conveniente desde el punto de vista económico, conservando además, todas las características extras de conectividad que pueden ser aprovechadas en futuros trabajos. En la figura 14-3 se puede observar el Logo V8.3 12/24RCE, en la figura 15-3 el módulo DM8, además un resumen de sus principales especificaciones técnicas se detalla en la tabla 7-3 y 8-3 correspondientemente, sus fichas técnicas con información complementaria se encuentran en el anexo A y B.



Figura 14-3: PLC Siemens Logo! 12/24RCE

Fuente: Siemens, 2021

Tabla 7-3: Datos técnicos del elemento PLC Siemens Logo! 12/24RCE

Marca / Modelo	Reseña	Información	
		Entradas digitales	8
Siemens Logo 12/24RCE	Cuenta con entradas y salidas digitales expandibles a través de módulos de E/S, posee un <i>display</i> , se programa con <i>Logo Soft Comfort</i> y permite implementar proyectos con conexión a la nube	Salidas digitales	4
		Corriente	1,2 A
		Alimentación admisible	10,8-28,8 VDC
		Versión	8,3
		Temperatura	-20°C - 55°C

Fuente: (Siemens, 2021)

Realizado por: Bastidas, W. 2022



Figura 15-3: Módulo de ampliación Siemens DM8 12/24R

Fuente: Siemens, 2011

Tabla 8-3: Datos técnicos del módulo de ampliación Siemens DM8 12/24R

Marca / Modelo	Reseña	Información	
		Entradas digitales	4
Siemens DM8 12/24R	Módulo amplificador de E/S digitales compatible con El PLC Logo! 12/24RCE	Salidas digitales	4
		Corriente	1,2 A
		Alimentación	10,8-28,8 VDC
		Temperatura	0°C - 55°C

Fuente: Siemens, 2011, p. 45

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Relé sin enclavamiento CSC 8 PIN 2P 10A

Se emplean relés de marca CSC que permiten accionar las válvulas solenoides de 110V AC que comandan los cilindros neumáticos mediante las salidas del Logo. En la figura 16-3 se observa el relé utilizado y en la tabla 9-3 se resumen sus datos técnicos.



Figura 16-3: Relé CSC 8 PIN 2P 10A

Fuente: CAMSCO, 2022

Tabla 9-3: Datos técnicos del relé CSC 8 PIN 2P 10A

Marca/ Modelo	Reseña	Información	
CSC LY2-24 VDC	Relé industrial electromagnético con una capacidad de carga de 10A/110 VCA con soporte para montaje sobre riel	Voltaje de bobina	24 V DC
		Contactos conmutados	2NA – 2NC
		Corriente máx. resistiva	15 A
		Corriente máx. inductiva	10 A

Fuente: CAMSCO, 2022, p. 18

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Fuente de poder conmutada Delta CliQ 24 V

Para la alimentación de los equipos eléctricos y electrónicos, se utiliza una fuente de poder conmutada de 24 VDC que permite alimentar al Logo, el módulo DM8, pulsadores y relés, cuya demanda de corriente en conjunto es de 4A. En base a esta corriente de carga se selecciona la fuente Delta CliQ mostrada la figura 19-3 y en la tabla 12-3 se presentan sus respectivos datos técnicos.



Figura 17-3: Fuente de poder CliQ DIN 24V

Fuente: DELTA, 2018

Tabla 10-3: Datos técnicos de la fuente de poder CliQ

Marca / Modelo	Reseña	Información	
		Potencia	120 W
Delta CliQ din rail	Fuente de poder conmutada resistente a choques y vibraciones de acuerdo con la norma estándar IEC 60068-2.	Tensión de entrada	85-264 VAC
		Tensión de salida	24 VDC
		Corriente de salida	5 A
		Frecuencia nominal	50-60 Hz
		Corriente nominal de consumo	1 A

Fuente: DELTA, 2018, p. 46

Realizado por: Bastidas, W. 2022

3.3.2. Selección y dimensionamiento de componentes eléctricos para la caja móvil

En esta sección se detalla el dimensionamiento de la potencia del motor utilizado en la construcción de la caja móvil a partir de la masa de carga a transportar, la cual es 165 kg. En este valor están consideradas las siguientes masas: cacao, caja de madera, caja móvil; siendo su valor de 90, 25 y 50 kg respectivamente.

Dimensión y selección de motor DC

Mediante la segunda ley de Newton, expresada por la ecuación 1-3 (Young D., 2009, p.143), se calcula la fuerza que el motor debe realizar para mover la carga. En dicha ecuación se consideran los siguientes parámetros:

- m: masa de la carga de trabajo es 165 kg.
- a: aceleración definida por la gravedad, es decir $9,8 \frac{m}{s^2}$.
- F: fuerza de fricción entre las ruedas y el piso es de 0,1 N.

$$F = m \cdot a$$

Ecuación 1-3: Segunda ley de Newton

Determinando así una fuerza de 161,7 N la cual, debe traducirse a torque con la finalidad de facilitar la selección del motor, esto se realiza mediante la ecuación 2-3 (Young D., 2009, p.293). En donde:

- d: es el radio de la rueda acoplada al motor mediante el mecanismo cadena-piñón en este caso 0,105 m.
- F: la fuerza ejercida por la carga a transportar su valor es de 161,7 N respectivamente.

$$\tau = F \cdot d$$

Ecuación 2-3: Torque para mover del reposo a la caja móvil

Por lo tanto, se determina un torque de $1,731 \frac{kg}{m}$. Finalmente, aplicando la ecuación 3-3 (Slemon G.R., 1980) para el cálculo de potencia del motor en HP, donde:

- τ : el torque obtenido anteriormente de la carga de trabajo.
- rpm: velocidad del motor proporcionada por una caja reductora de 10:1 acoplada al motor, su valor es de 180 rpm.

$$Hp = \frac{\tau \cdot rpm}{716}$$

Ecuación 3-3: Definición de potencia en HP a partir del torque

Se obtiene una potencia de 0,4301 HP, cuyo valor equivalente en watos 324,45. A la potencia dimensionada se le aplica un factor de corrección del 30% (Slemon G.R., 1980), esto con la finalidad de proteger al motor de sobre calentamientos al trabajar siempre a plena carga y debido a la escasa disponibilidad en el mercado nacional de motores con potencias inferiores a un 1 HP, se

selecciona el motor CC Jin Le de 1 HP a 24V mostrado en la figura 20-3. En la tabla 14-3 se presenta su datos técnicos.



Figura 18-3: Motor de CC Jin Le

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Tabla 11-3: Datos técnicos de motor de DC Jin Le ZD23AF

Marca / Modelo	Reseña	Información	
		Jin Le ZD23AF	Motor de corriente continua, de 1 HP, 24 V y con altas RPM
		Potencia	746 W
		Voltaje	24 V
		Corriente	32 A

Fuente: JIN LE, 2022

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Dimensionamiento y selección de la batería

La corriente demandada por el motor está establecida por la potencia exigida para romper la inercia en reposo de la carga a transportar, esta se determinó en 324,45 W, y considerando que el voltaje de alimentación del motor seleccionado es 24 V DC, la corriente que la batería aporta en el arranque es 13,5518 A. Esto por la ley de Ohm para la corriente eléctrica definida en la ecuación 4-3 donde (Charles K. 2006):

- I : corriente del motor en A.
- V : voltaje del motor en V.
- P : potencia del motor en W.

$$I = \frac{P}{V}$$

Ecuación 4-3: Ley de Ohm para la corriente eléctrica

Ahora bien, luego de este pico inicial, la corriente demandada se estabiliza en el 65% de su valor de arranque, como lo indica (Champan J., 2005, p.372), por lo que el valor de corriente de operación se establece en 8,1111 A. Multiplicando este valor por las 8 horas de jornada laboral del transporte de cajas, la autonomía del acumulador de energía eléctrica es de 64,8897 Ah. Sin embargo, la disponibilidad del mercado de dicha capacidad no existe, los valores cercanos son de 70 Ah y el siguiente es de 100 Ah, descartándose este último, por su capacidad exagerada para la aplicación y costo es elevado.

Por lo expuesto en el párrafo anterior y para cumplir con el voltaje de alimentación del motor se seleccionan dos baterías de plomo ácido del fabricante Kaiser seleccionado en la sección 2.7, de 12V y 70 Ah, las cuales son capaces de suministrar la corriente inicial de arranque gracias a su HCA de 525 A. Ellas se conectan en serie para formar un banco de baterías. En la figura 21-3 y en la tabla 14-3 se resumen los datos técnicos de una de las baterías. Los datos completos de este componente se encuentran en el anexo L.



Figura 19-3: Batería Kaiser de 12V

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Tabla 12-3: Datos técnicos de batería Kaiser BC02-24-65

Marca / Modelo	Reseña	Información	
		KAISER BC02-24-65	Batería automotriz de arranque, con capacidad de arranque en frío de 525 A y reserva de 103 minutos
		Voltaje	12 V
		HCA	525 A
		Celdas positivas	5
		Celdas negativas	6
		Polaridad	Normal/Invertida

Fuente: KAISER, 2022

Realizado por: Bastidas, W. 2022

3.3.3. Selección y dimensionamiento de componentes eléctricos del sistema

En este apartado se expone las características técnicas de elementos eléctricos en común de los dispositivos, después se dimensionan los conductores para las conexiones de potencia y control, finalmente se selecciona la protección termomagnética para el tablero de control del brazo neumático y la caja móvil.

Pulsadores Camsco

El tablero de control eléctrico del brazo neumático y la caja móvil cuentan con un pulsador de marcha, paro y emergencia. El primero de ellos, el botón de inicio, en ambos dispositivos habilita la alimentación de los elementos de control y accionamiento. El botón de paro en el cuadro de control del brazo neumático deshabilita la ejecución del programa cargado en el PLC, y en la caja móvil, deshabilita la alimentación del motor. El pulsador de emergencia además de lo anterior deshabilita, en el tablero del brazo neumático, la marcha hasta que la emergencia sea atendida, y en la caja móvil, desconecta al motor de la batería. Se consideran los pulsadores de marca CAMSCO mostrados en la figura 20-3 y sus datos técnicos en la tabla 13-3.



Figura 20-3: Pulsadores eléctricos marca Camsco

Fuente: CAMSCO, 2022

Tabla 13-3: Datos técnicos de los pulsadores eléctricos marca Camsco

Marca / Modelo	Reseña	Información	
Camsco/FPB-EA1	Pulsador tipo NA de 22 mm de color verde, hecho de plástico	Voltaje entrada	24 VDC
Camsco /FPB-EA2	Pulsador tipo NA de 22 mm de color rojo, hecho de plástico	Voltaje entrada	24 VDC
Camsco /LMB-ES5	Pulsador tipo NC de 22 mm tipo hongo de giro con retención	Voltaje entrada	24 VDC

Fuente: CAMSCO, 2022, p. 12

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Selector CSC de 2 y 3 posiciones

Este componente tiene funciones distintas según el cuadro de control en el que esté ubicado. En el brazo neumático se utilizan dos selectores de dos posiciones, uno de ellos está encargado de enviar la señal para abrir o cerrar la garra. El otro, se encarga de subir o bajar el brazo.

En el cuadro de control de la caja móvil el selector utilizado posee 3 posiciones colocadas a 45°, y con enclavamiento en cada posición, sus funciones son indicar el sentido de giro del motor o desconectarlo de la alimentación.

Los selectores seleccionados tienen la apariencia mostrada en la figura 21-3 y sus datos técnicos se muestran en la tabla 14-3.



Figura 21-3: Selector CSC

Fuente: (CAMSCO 2022)

Tabla 14-3: Datos técnicos del selector CSC de 3 posiciones

Marca / Modelo	Reseña	Información	
		Diámetro	
CSC LOS-BJ53	Selector luminoso de 3 posiciones fijas, cada posición se encuentra a +/- 45°	Diámetro	22 mm
		Composición de contactos	1 NA 1 NC
		Tensión de alimentación	24 V AC/DC

Fuente: CAMSCO 2022, p. 15

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Dimensionamiento de conductores eléctricos

Para calcular el calibre de estos elementos es necesario conocer la corriente total de consumo de los circuitos eléctricos expresada en la ecuación 5-3 (Iza et al. 2018, p. 11).

$$I_T = \sum_{n=1}^m i_n$$

Ecuación 5-3: Corriente total de consumo

Donde:

I_T : Corriente total de consumo del circuito.

i_n : Corriente de consumo de cada componente eléctrico.

- Consumo de corriente del circuito eléctrico del brazo neumático:

$i_1 = 0,90$ A (Válvulas solenoide neumática).

$i_2 = 1,2$ A (PLC Logo), ver anexo A.

$i_3 = 1,2$ A (Módulo de expansión DM8), ver anexo B.

$i_4 = 0,4$ A (Elementos de control), ver anexos F y G.

Utilizando los datos de consumo de corriente para el circuito eléctrico del brazo neumático y sustituyéndolos en la ecuación 1-3 se obtiene un valor de 3,7 A.

- Consumo de corriente del circuito eléctrico de la caja móvil:

$i_1 = 8,111$ A (Motor DC)

$i_2 = 0,3$ A (Elementos de control)

Utilizando los datos de consumo de corriente para el circuito eléctrico de la caja móvil y sustituyéndolos en la ecuación 1-3 se obtiene un valor de 8,4111 A.

Para el tablero del brazo neumático se calculó una corriente de consumo de 3,7 A, por lo que se seleccionan conductores de cobre tipo TFF de calibre 18 AWG, cuya corriente máxima es de 6 A, para conectar los dispositivos y componentes de control. El conductor para la alimentación AC

de los elementos del tablero es el THHN de calibre 12 AWG como se indica en la norma ecuatoriana para la construcción (Iza et al., 2018, p. 9).

Para el dimensionamiento del cableado del tablero eléctrico y de control de la caja móvil se considera la corriente de consumo de 8.4111A, por lo que se seleccionan conductores de cobre tipo THHN de calibre 14 AWG y conductores de cobre flexible tipo TFF de calibre 18 AWG (Iza et al., 2018, p. 9), el primero se utiliza para conectar el motor de tracción eléctrica y tienen una capacidad de corriente máxima de 25 A, el segundo conductor se utiliza para conectar los dispositivos y componentes de control que corriente máxima admisible de 6 A (Iza et al., 2018, p. 9).

Disyuntor termomagnético Easy9

El diseño del tablero eléctrico requiere de la utilización de dispositivos de protección que son los elementos encargados de proteger al circuito eléctrico de posibles fallos a causa de cortocircuitos o sobrecargas. Los dispositivos de protección que se requieren utilizar en el tablero eléctrico del brazo neumático y la caja móvil son disyuntores magnetotérmicos cuya corriente de trabajo se calculó anteriormente. Para el tablero del brazo neumático se selecciona un disyuntor Easy9 1P 6kA 4A con curva de disparo C de Schneider Electric de una corriente nominal de 4 A. Y en el tablero de la caja móvil se selecciona un disyuntor Easy 9 6kA 10A con curva de disparo D de una corriente nominal de 10 A, capaz de resistir el pico inicial de arranque del motor.

En la figura 22-3 se observa el elemento de protección seleccionado y en la tabla 15-3 se presentan sus características eléctricas.



Figura 22-3: Disyuntor Magnético Easy9

Fuente: Schneider Electric, 2022

Tabla 15-3: Datos técnicos del elemento disyuntor magnético Easy9

Marca / Modelo	Reseña	Información	
Schneider / Easy9 1P 6kA	Disyuntor magnético para un polo en sistemas de distribución	Número de polos	1
		Código de Curva	C-D
		Corriente Nominal	4-10 A
		Frecuencia de red	60 Hz
		Tensión nominal	127-230 VAC

Fuente: Schneider Electric, 2022, p. 46

Realizado por: Bastidas, W. 2022

3.3.4. Esquemas de conexiones para el tablero eléctrico del brazo

Fueron realizados empleando el *software* de diseño de esquemas de controles eléctricos AutoCAD *Electrical* 2022 (Autodesk 2022). El esquema de conexiones generales se observa la figura 23-3, allí se detallan los componentes que integran el tablero del brazo neumático y en la tabla 16-3 se describe su significado.

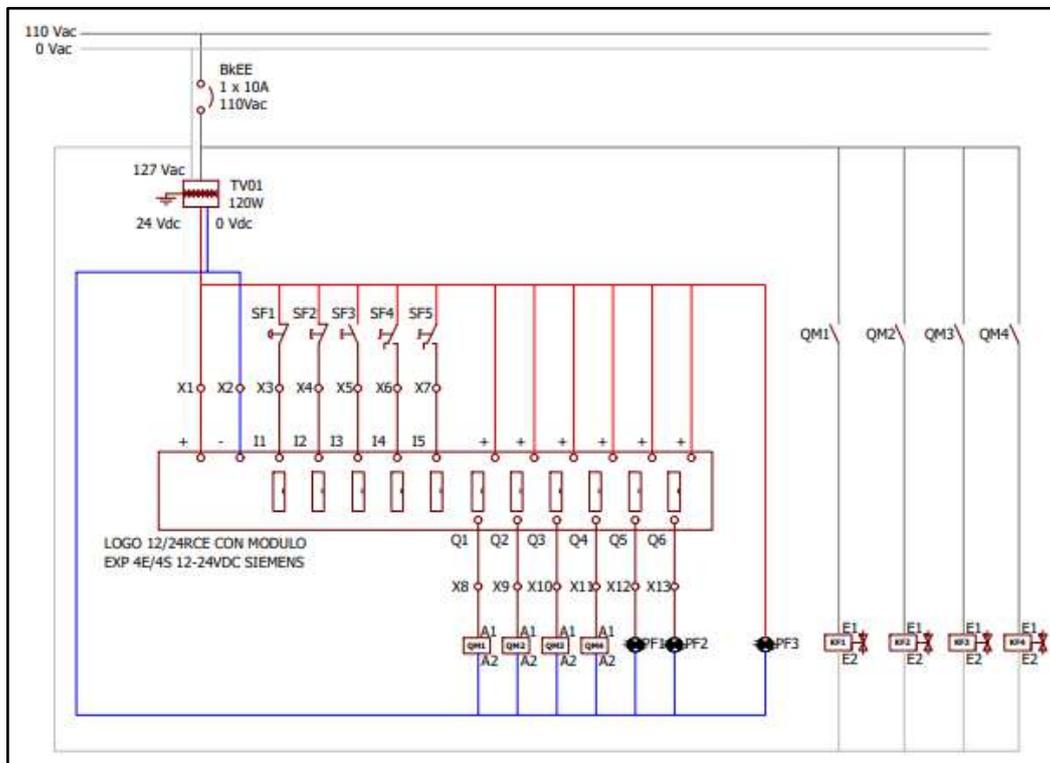


Figura 23-3: Esquema de conexiones del tablero para brazo neumático

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Tabla 16-3: Elementos del esquema de conexiones del brazo neumático

Etiqueta	Significado del elemento
SF1	Pulsador de emergencia
SF2	Pulsador de paro
SF3	Pulsador de inicio
SF4	Selector de subida y bajada
SF5	Selector de abrir y cerrar garra
PF1	Luz indicadora roja
PF2	Luz indicadora verde
PF3	Luz indicadora azul
QM1	Relé para subida
QM2	Relé para bajada
QM3	Relé para abrir garra
QM4	Relé para cerrar garra
KF1	Bobina 1 de válvula solenoide neumática
KF2	Bobina 2 de válvula solenoide neumática
KF3	Bobina 3 de válvula solenoide neumática
KF4	Bobina 4 de válvula solenoide neumática

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Esquema de conexiones de entrada E/S del Logo con módulo DM8

En la figura 24-3 se presenta el cableado de las entradas y salidas con la unidad de control ubicada en el tablero del brazo neumático. La descripción de cada etiqueta para los dispositivos eléctricos y electrónicos de mando que se encuentran conectados al Logo se muestran en la tabla 17-3.

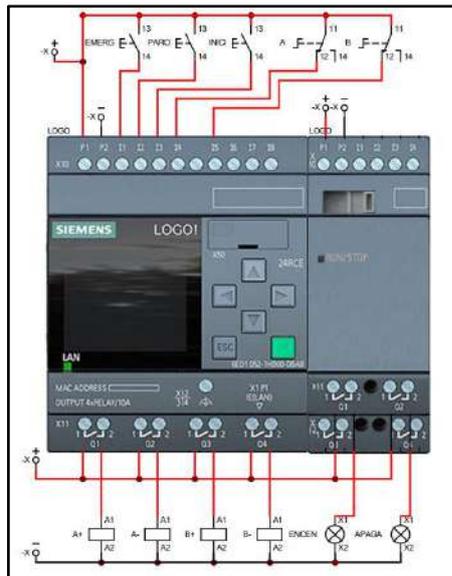


Figura 24-3: Esquema de cableado de la unidad de control

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Tabla 17-3: Descripción de etiquetas para el cableado de entradas y salidas con el Logo

Entradas			Salidas		
Asignación	Tipo	Etiqueta	Asignación	Tipo	Etiqueta
I1	Digital	SF1	Q1	Digital	QM1
I2	Digital	SF2	Q2	Digital	QM2
I3	Digital	SF3	Q3	Digital	QM3
I4	Digital	SF4	Q4	Digital	QM4
I5	Digital	SF5	Q5	Digital	PF1
			Q6	Digital	PF2

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Ubicación de elementos en el tablero para brazo neumático

En la figura 25-3a se muestra la vista frontal del tablero eléctrico con la botonera de control del brazo neumático diseñado en AutoCAD *Electrical* 2022 (Autodesk 2022) y en la parte b se observa su construcción física. En dicha figura, se observa la distribución de los pulsadores junto con selectores empleados. En la tabla 18-3 se detallan las etiquetas de los componentes con su significado.

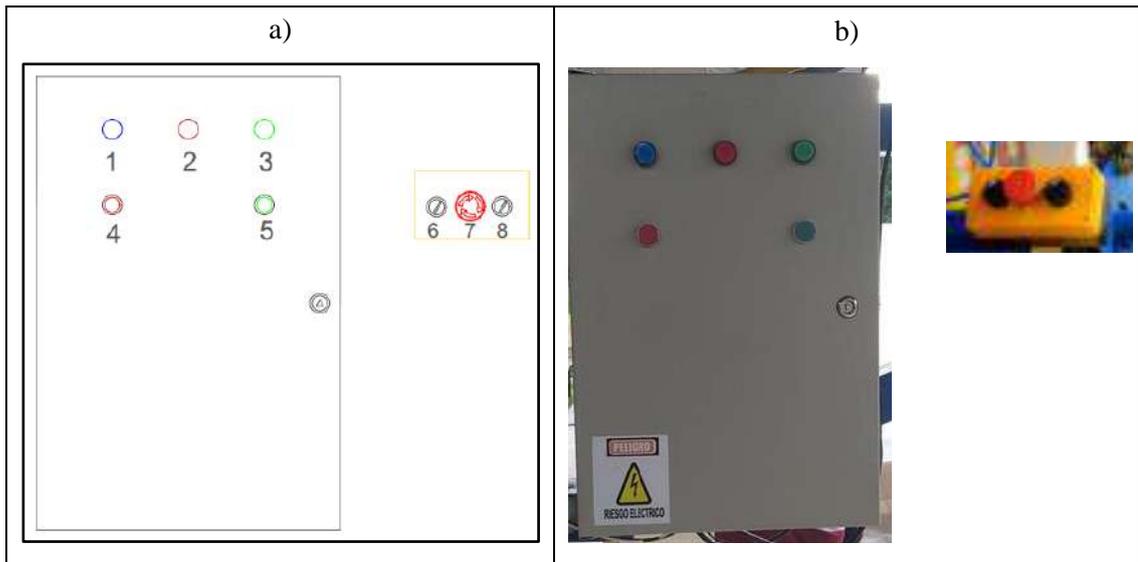


Figura 25-3: Distribución de componentes en el tablero para el brazo neumático

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Tabla 18-3: Elementos en distribución del tablero y en la botonera del brazo neumático

Etiqueta	Significado del elemento
1	Luz indicadora azul
2	Pulsador de paro
3	Luz indicadora verde
4	Pulsador de emergencia tablero
5	Pulsador de inicio
6	Selector de dos posiciones
7	Pulsador de emergencia botonera
8	Selector de dos posiciones (abrir y cerrar garra)

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Finalmente, en la figura 26-3a se muestra la distribución interna de los componentes eléctricos y electrónicos del tablero del brazo neumático diseñado en *AutoCAD Electrical* y en la parte b su construcción física, así mismo en la tabla 19-3 se presenta el significado de cada una de las borneras de conexión mostradas en el tablero eléctrico.

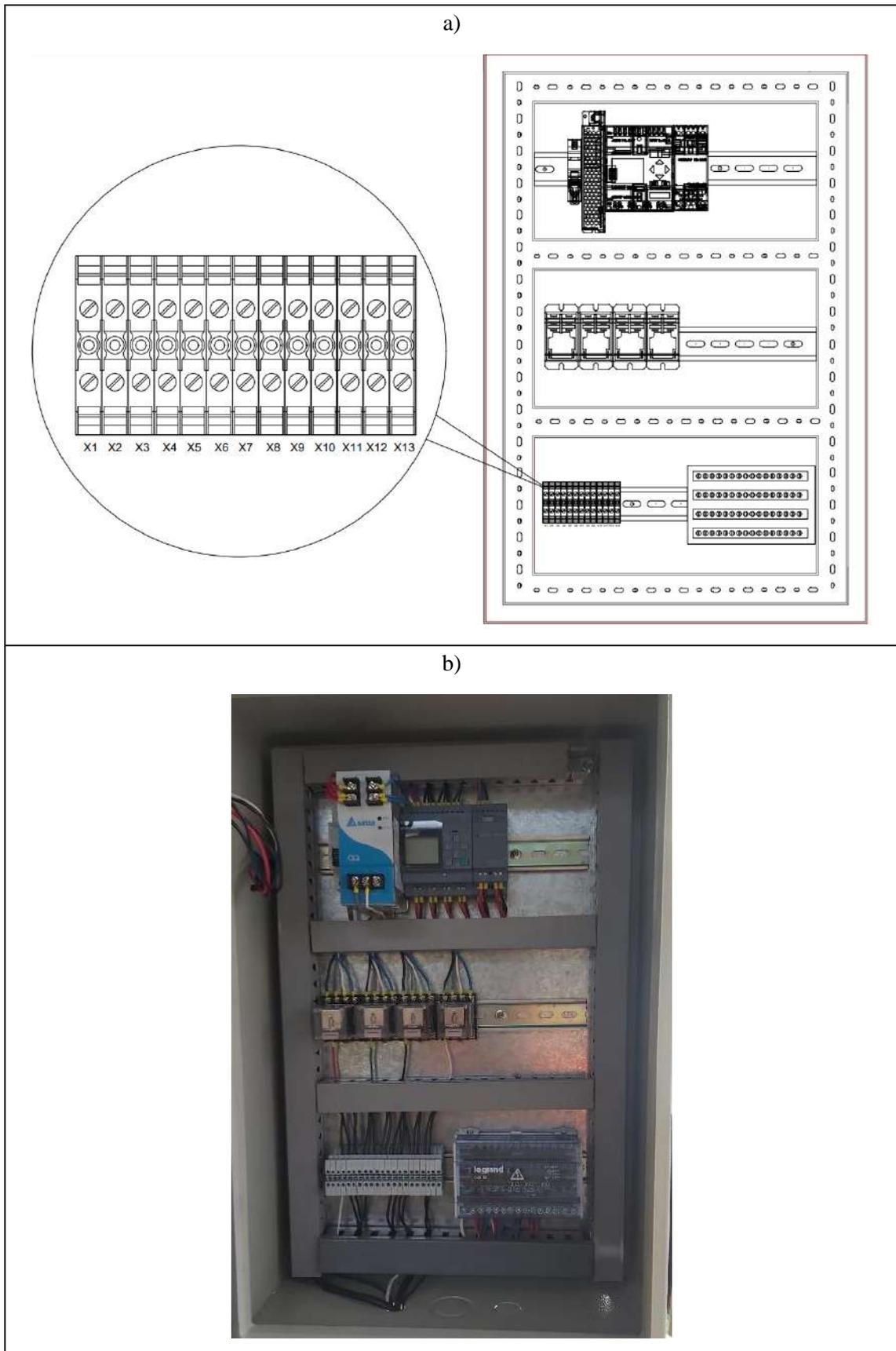


Figura 26-3: Distribución interna de componentes para tablero del brazo neumático

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Tabla 19-3: Borneras de conexión para el tablero del brazo neumático

Etiqueta	Significado del elemento
X1	Positivo
X2	Neutro
X3	Entrada PLC I1
X4	Entrada PLC I2
X5	Entrada PLC I3
X6	Entrada PLC I4
X7	Entrada PLC I5
X8	Salida PLC Q1
X9	Salida PLC Q2
X10	Salida PLC Q3
X11	Salida PLC Q4
X12	Salida PLC Q5
X13	Salida PLC Q6

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Esquemas de conexiones para tablero eléctrico de la caja móvil

El diagrama esquemático fue realizado empleando el *software* de diseño de esquemas de controles eléctricos AutoCAD *Electrical* 2022 (Autodesk, 2022). En la figura 27-3 se encuentra el diagrama de conexiones generales de los dispositivos y componentes que integran el tablero de la caja móvil y la tabla 20-3 relaciona la lista de elementos descritos.

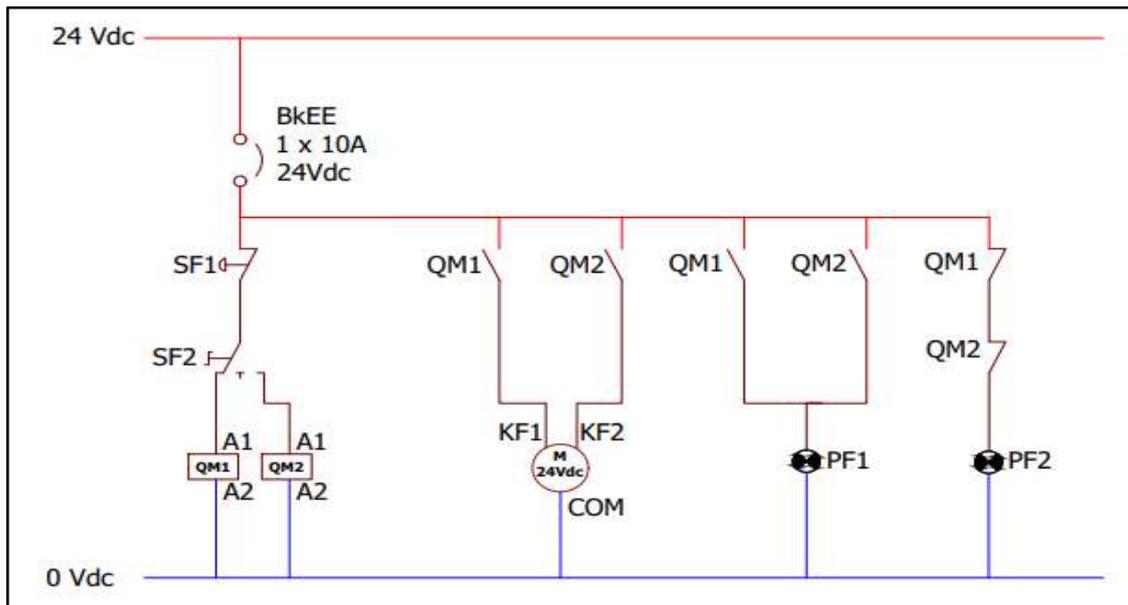


Figura 27-3: Esquema de conexiones del tablero para el control de la caja móvil

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Tabla 20-3: Elementos del esquema de conexiones para caja móvil

Etiqueta	Significado del elemento
SF1	Pulsador de emergencia
SF2	Selector derecha, izquierda, apagado
PF1	Luz indicadora verde
PF2	Luz indicadora roja
QM1	Relé dirección derecha
QM2	Relé dirección izquierda
KF1	Motor derecha
KF2	Motor izquierda

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Ubicación de elementos en el tablero para caja móvil

En la figura 28-3a se muestra la vista frontal del tablero de la caja móvil diseñado en Autocad donde se observa la distribución con la disposición de los componentes y en la figura 28-3b, su respectiva etiqueta se detalla en la tabla 21-3.

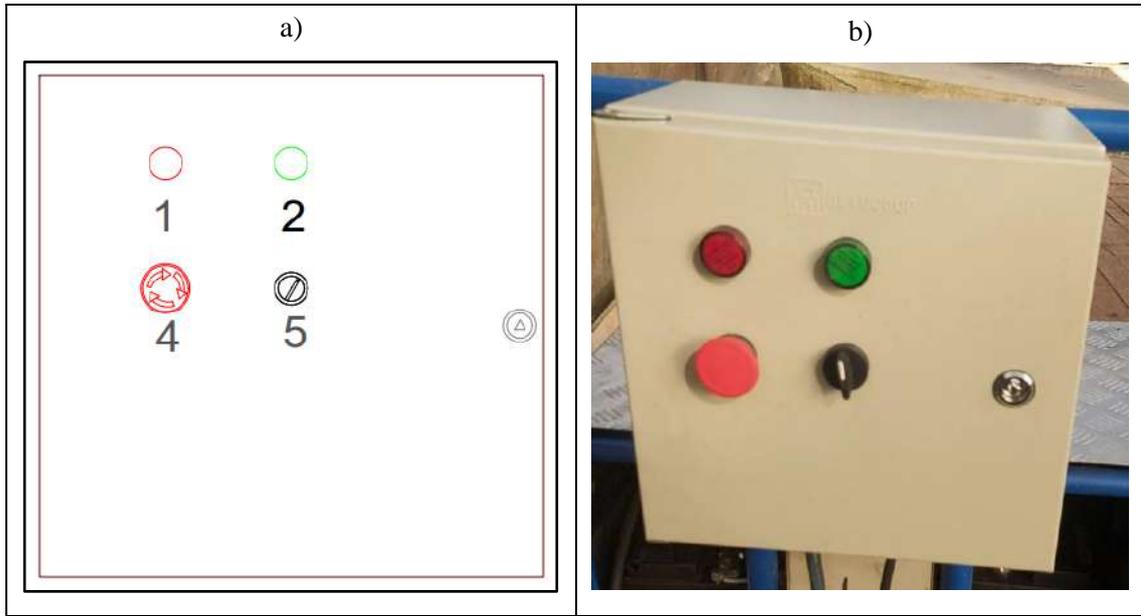


Figura 28-3: Distribución de componentes en la tapa del tablero para la caja móvil

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Tabla 21-3: Elementos de la distribución del tablero para caja móvil

Etiqueta	Significado del elemento
1	Luz indicadora roja
2	Luz indicadora verde
4	Pulsador de emergencia tablero
5	Selector de tres posiciones motor

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Finalmente, en la figura 29-3a se muestra la distribución interna de los componentes del tablero de la caja móvil diseñado en AutoCAD *Electrical* y en la parte b su construcción física, así mismo en la tabla 22-3 se presenta el significado de cada una de las borneras de conexión mostradas.

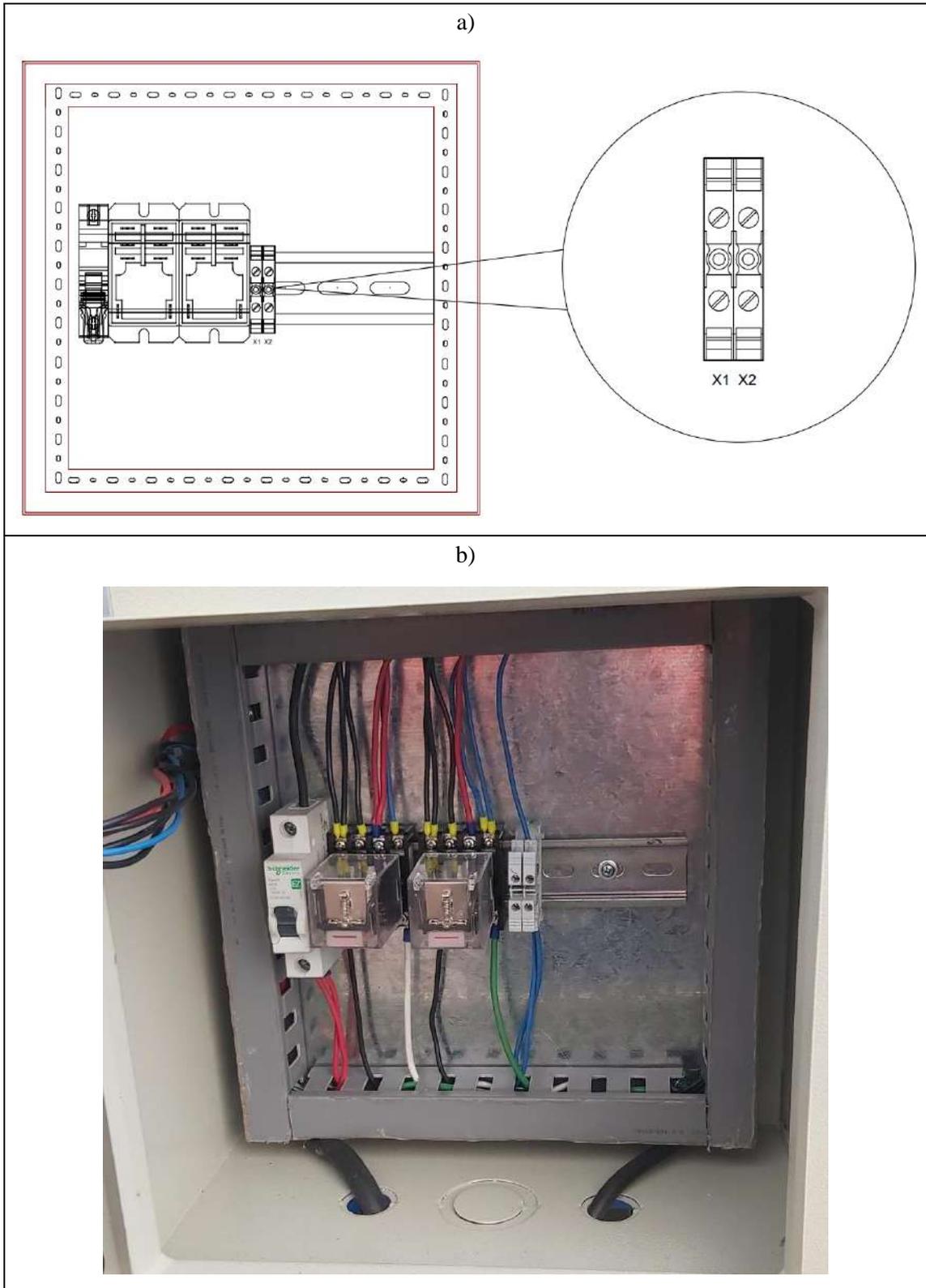


Figura 29-3: Distribución de componentes dentro del tablero para la caja móvil

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Tabla 22-3: Borneras de alimentación eléctrica para tablero de caja móvil

Etiqueta	Significado del elemento
X1	Positivo
X2	Neutro

Realizado por: Bastidas, W. 2022

3.4. Diseño de *software* para el sistema

En esta sección se describe el *software* Logo *Soft Comfort* utilizado para desarrollar el algoritmo de control que comanda los actuadores neumáticos del brazo, la descripción del algoritmo se realiza mediante un diagrama de flujo y su esquema Ladder se encuentra en el anexo H, finalmente se describe el funcionamiento general de la caja móvil.

3.4.1. Entorno de desarrollo integrado LOGO *Soft Comfort*

Permite diseñar aplicaciones a través de un computador, su arquitectura está compuesta por: editor de código, compilador, depurador y constructor de interfaz gráfica. Para desarrollar el programa que es cargado al Logo encargado de comandar todas las acciones de control sobre el brazo neumático se utiliza como herramienta de programación el *software* LOGO *Soft Comfort* (Siemens, 2021).

3.4.2. Diagrama de flujo para el algoritmo para el brazo

La programación de la unidad de control Logo del brazo neumático fue realizada en lenguaje de *Ladder*. La botonera de control del brazo neumático posee dos selectores de dos posiciones que tienen las siguientes tareas respectivamente:

- Activan las salidas del Logo conectadas a las bobinas de las válvulas solenoides 4/2 de los cilindros de doble efecto ubicados en paralelo para subir o bajar el brazo neumático si el selector es colocado en su posición derecha o izquierda respectivamente.
- Activan las salidas del Logo conectadas a las bobinas de las válvulas solenoides 4/2 del cilindro de doble efecto ubicado en la garra para abrir o cerrar si el selector es colocado en su posición derecha o izquierda respectivamente.

La figura 30-3 muestra un diagrama de flujo que permite comprender la programación realizada y las funciones que cumplen los selectores de la botonera de control para elevar/bajar el brazo neumático y abrir/cerrar su garra. En el anexo H se muestra el diagrama *Ladder* de la programación.

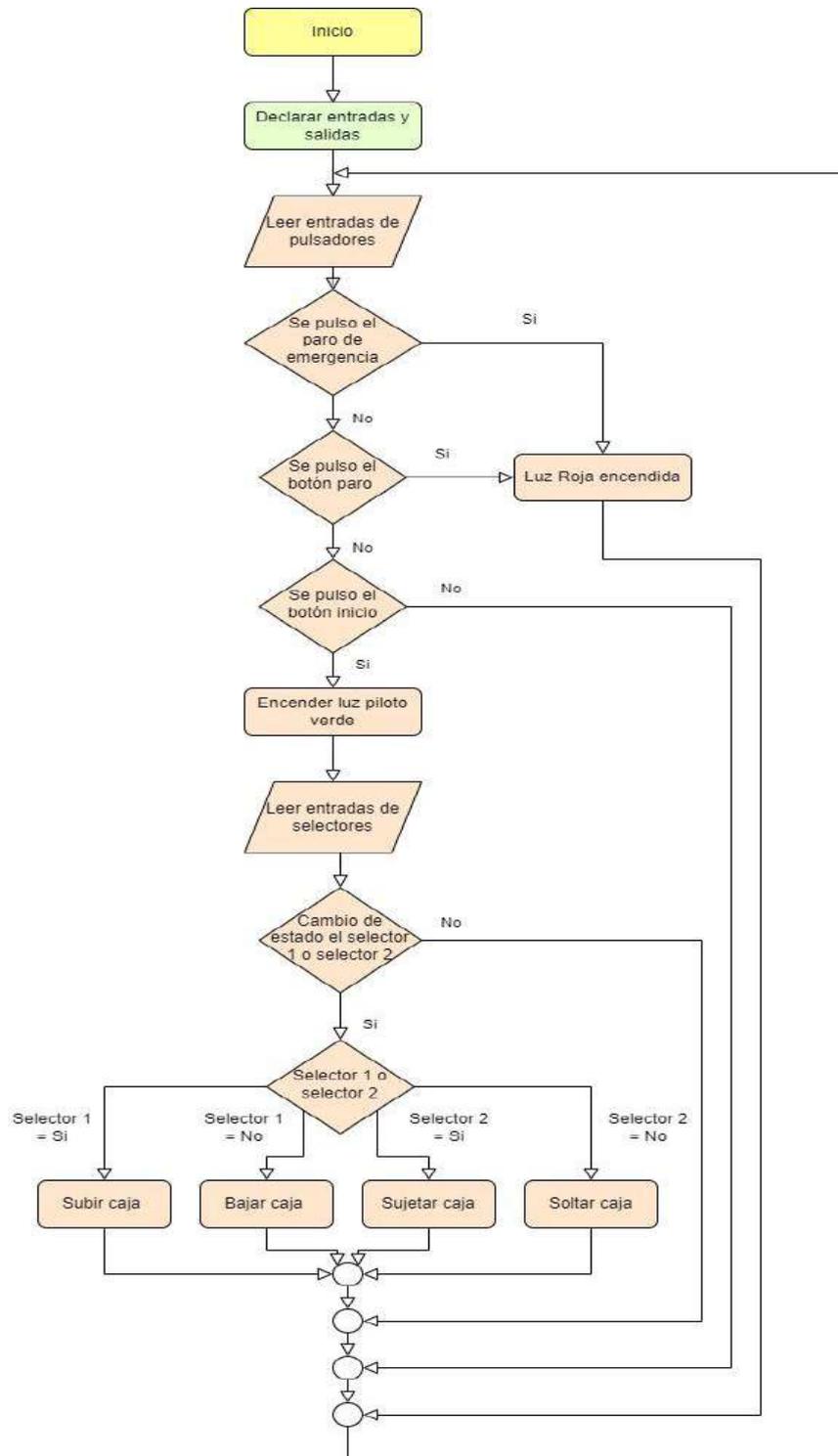


Figura 30-3: Diagrama de flujo para la unidad de control PLC

Realizado por: Bastidas, W. 2022

3.4.3. Diagrama de flujo para la caja móvil

En el diagrama de flujo de la figura 31-3 se describe la puesta en marcha y operación de la caja móvil. En primer lugar, se verifica si el sistema no presenta algún evento de emergencia mediante la evaluación del pulsador de emergencia, si componente no está accionado, el proceso continuo con la evaluación del selector de accionamiento del motor, el cual puede tener tres posibles estados: selector a la derecha, a la izquierda y centro. Dependiendo de la posición de este último elemento el motor se pone en marcha alguno de sus dos sentidos de giro y se enciende una luz piloto de color verde. Esto continua hasta que el selector se posiciona en el centro o en caso de que se accione el pulsador de emergencia, encendido una luz piloto de color rojo.

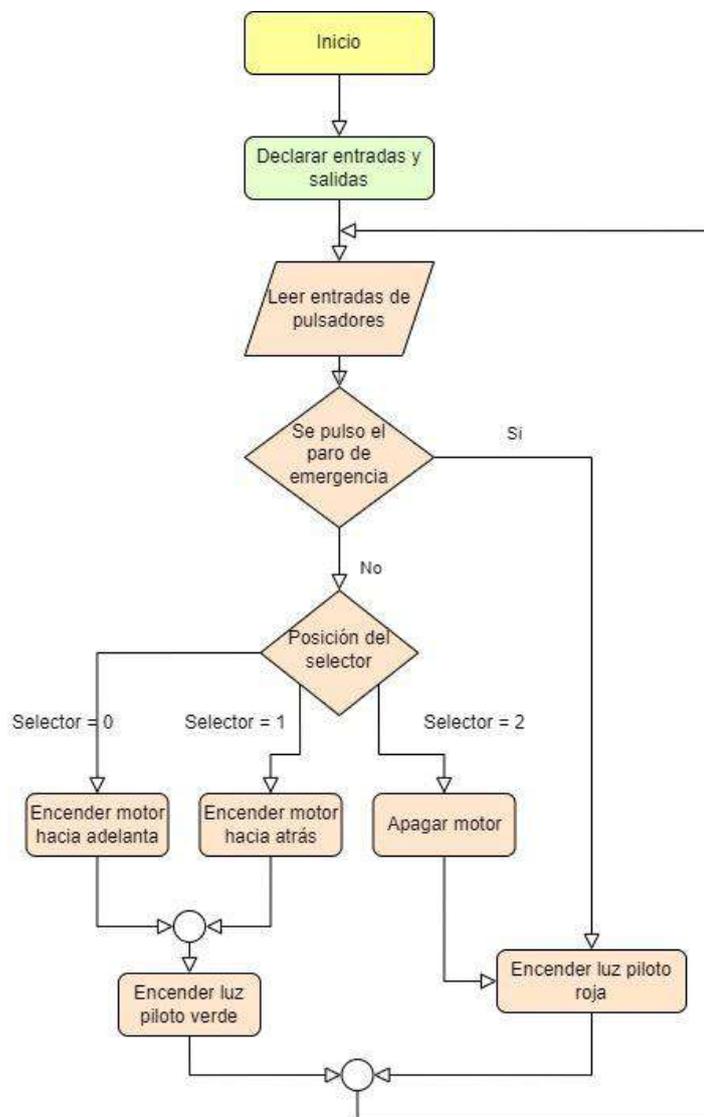


Figura 31-3: Diagrama de flujo para la operación de la caja móvil

Realizado por: Bastidas, W. 2022

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS E INTEPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se evaluó y validó el funcionamiento brazo neumático con la caja móvil, a partir de los métodos de observación, comparación con equipos patrón y estadística descriptiva. Se realizó siete pruebas, la primera de ellas definió la carga máxima que puede elevar el brazo neumático, la segunda verificó que el área de trabajo especificada es cubierta, luego se comprobó el correcto conexionado eléctrico y acciones generadas por pulsadores, también de selectores. En la caja móvil, se validó la corriente del motor, la autonomía de la batería se determinó el tiempo de carga. Seguidamente se determinó la optimización del tiempo de transporte utilizando el brazo neumático y caja móvil, además se describió de manera breve de la operación del sistema por parte de un trabajador de Kallari. El capítulo finaliza con una evaluación económica del sistema.

4.1. Carga máxima que eleva el brazo neumático

La finalidad de esta prueba es determinar la carga máxima en kg que se puede transportar con la ayuda del brazo neumático. Para ello se pone en operación el dispositivo, es decir, se eleva, transporta y posiciona una caja, considerando su masa constante y diferentes cargas de cacao. La carga de trabajo considera la masa del cacao, la caja de madera, la garra y un parte del brazo. Se inicia con una carga de 112 kg y se incrementa la carga en 1 kg. La prueba finaliza al observar que el brazo no es capaz de elevar la caja (Gallardo y Moreno, 1998, p.51).

En la tabla del anexo M se muestran los datos obtenidos para esta prueba, en la que se realizaron 57 muestras, de los cuales se puede extraer la siguiente información:

- El brazo neumático trabaja sin esfuerzo cuando eleva cargas entre 112 y 166 kg.
- El brazo neumático presenta sobre esfuerzos en su estructura mecánica, como flexión en el antebrazo a partir de los 167 kg.
- El brazo neumático no es capaz de elevar una carga de 167 kg.

Luego de realizada la prueba, se observa que la carga máxima a elevar con ayuda del brazo neumático diseñado es inferior a 167 kg pues con esta masa se observa que la estructura tiende a

flexionarse en el antebrazo, estableciéndose, por tanto, una carga de trabajo máxima de 166 kg, de los cuales 50 kg corresponden a la masa de la caja de madera, garra y parte del brazo.

Concluyendo así, que la masa máxima de cacao fermentado que el dispositivo puede elevar es de 116 kg, cumpliendo con el requerimiento de 90 kg establecido por Kallari.

4.2. Área de trabajo del brazo neumático

Tiene como objetivo definir el área de trabajo del brazo neumático mediante el método del volumen de revolución de discos y comparar el valor de este parámetro con las medidas de área cubierta por el brazo neumático construido obtenidas a partir del flexómetro *Gripper Truper* (Truper, 2022), que cumple con la norma NOM-046-SCFI (Ambiental, 2001, p.22) con el cual se medirá la longitud en los puntos especificados en el área de trabajo de la figura 1-4, ocupando como punto centro a la base de la máquina. En primera instancia se debe determinar el área de trabajo, para ello se considera la medida del antebrazo que es de 2 m y del brazo 1,98 m, determinado así el alcance del brazo neumático es de 3,98 m. La rotación que puede ejecutar el brazo es de 180° como se observa en la figura 1-4.

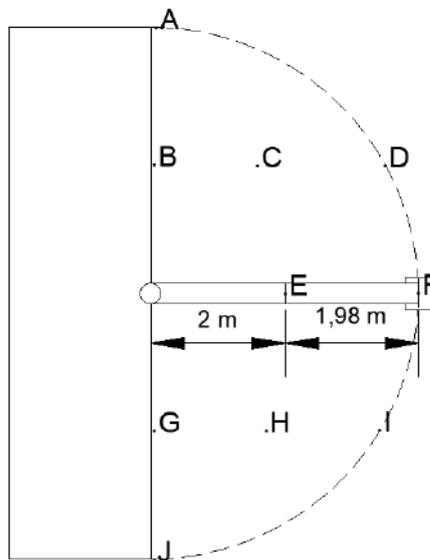


Figura 1-4: Área de trabajo del brazo neumático

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Además, se debe tener en cuenta el desplazamiento que realiza el brazo de arriba hacia abajo, el cual se establece en 0,6 m. En la figura 2-4 se observa la vista lateral del área en la que el brazo puede moverse.

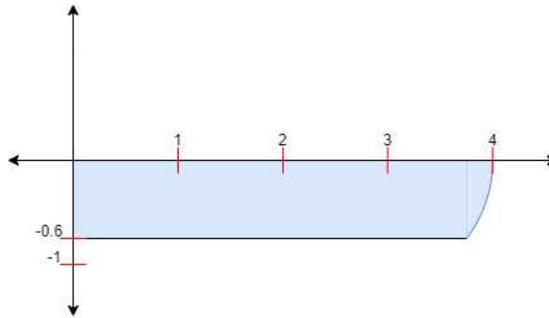


Figura 2-4: Vista lateral del área de trabajo del brazo neumático

Realizado por: Bastidas, W. 2022

El área de la vista lateral se puede expresar mediante la ecuación 1-4, la cual está definida por dos rectas y una media circunferencia. En donde el valor de $y = -0,6$ m.

$$x = 2 + \sqrt[2]{3,98 - y^2}$$

Ecuación 1-4: Expresión que define el área de la vista lateral del brazo

Para definir el volumen del área de trabajo se utiliza el método de discos para sólidos de revolución tomando como radio la ecuación 1-4 y una altura dy , obteniendo la expresión 2-4.

$$dv = \pi \cdot \left(2 + \sqrt[2]{3,98 - y^2}\right)^2 \cdot dy$$

Ecuación 2-4: Diferencial de volumen para el área de trabajo

Para determinar el volumen completo se integra la expresión 2-4 en el intervalo de 0 m-0,6 m y se reemplaza definiendo así el área de trabajo en $22,3712m^3$, sin embargo, este valor corresponde a un ángulo de rotación de 360° , por lo que el valor real de volumen es de $11,1856 m^3$, correspondiente a un ángulo de rotación de 180° .

Tabla 1-4: Comparación entre medias reales e ideales del área de trabajo

Punto	Radio real [m]	Radio ideal [m]	Altura real [m]	Altura ideal [m]
A	3,97	3,98	0,59	0,60
B	1,94	1,96	0,58	0,60
C	2,49	2,50	0,60	0,60
D	3,98	3,98	0,59	0,60
E	2,00	2,01	0,57	0,60
F	3,97	3,98	0,59	0,60
G	2,07	2,10	0,58	0,60
H	2,70	2,70	0,60	0,60
I	3,98	3,98	0,59	0,60
J	3,97	3,98	0,59	0,60

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Como se puede observar en la tabla 1-4 el brazo neumático tiene una ligera variación entre el radio ideal con el real y la altura ideal con la real, los cuales definen un error de 0,75% y 5% respectivamente, lo cual es un valor óptimo y aceptable de trabajo, con ello se concluye que el brazo neumático trabaja libremente por su eje, para poder transportar la caja de la zona de fermentado a la de secado, cumpliendo con el requerimiento del brazo elevador.

4.3. Pruebas de lazo de instrumentación para brazo neumático y caja móvil

Aquí se busca comprobar que no existen conexiones eléctricas defectuosas en los tableros, así como también, confirmar que las señales de mando y control para los actuadores neumáticos se ejecutan según los requerimientos establecidos en la sección 3.3. Para tal fin, la correcta conexión se verifica mediante la medición de continuidad eléctrica entre los componentes interconectados usando la pinza amperimétrica Fluke 325, cuyas especificaciones técnicas se encuentran en el anexo O. Por otra parte, el accionamiento de cada pulsador y selector de mando se comprueba mediante la observación de la activación por parte de las luces pilotos correspondientes.

En la tabla 2-4 se puede observar resultados de esta prueba para el brazo neumático y en la tabla 3-4 para la caja móvil, en ambas, se presentan las acciones y observaciones obtenidas.

Tabla 2-4: Pruebas de lazo de instrumentación para el brazo neumático

Elemento de mando/control	Acción del elemento mando/control	Descripción	Cumple		Existe continuidad	
			Si	No	Sí	No
SF1	PF1	El pulsador de emergencia SF1 activa la luz indicadora roja PF1 cuando es accionado poniendo en pausa el proceso y mostrando un mensaje de alerta en el PLC	✓		✓	
SF2	PF1	El pulsador de paro SF2 activa la luz indicadora roja PF1 cuando es accionado deteniendo completamente el proceso	✓		✓	
SF3	PF2	El pulsador de inicio SF3 activa la luz indicadora verde PF2 cuando es accionado permitiendo iniciar el proceso	✓		✓	
SF4	QM1/QM2	El selector de dos posiciones SF4 activa los relés QM1/QM2 para subir o bajar el brazo mostrando además un mensaje en el PLC donde se	✓		✓	

		informa de esta acción				
SF5	QM3/QM4	El selector de dos posiciones SF5 activa los relés QM3/QM4 para abrir o cerrar la garra del brazo mostrando además un mensaje en el PLC donde se informa de esta acción	✓		✓	

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Tabla 3-4: Pruebas de lazo de instrumentación para la caja móvil

Elemento de mando/control	Acción del elemento mando/control	Descripción	Cumple		Existe continuidad	
			Sí	No	Sí	No
SF1	PF2	El pulsador de emergencia SF1 activa la luz indicadora roja PF2 cuando es accionado deteniendo el avance de la caja móvil	✓		✓	
SF2	QM1/QM2 PF1	El selector de tres posiciones SF2 activa los relés QM1/QM2 para hacer girar la dirección de la caja móvil a la derecha o izquierda encendiendo además la luz indicadora verde PF1	✓		✓	

Realizado por: Bastidas, W. 2022

En base a la tabla 2-4 y la tabla 3-4 se establece que existe una continuidad de conexionado, tanto del brazo neumático como el de la caja móvil, además se cumple con la acción descrita para cada

elemento de mando. Con lo cual se concluye que el dispositivo no va a presentar fallas en el funcionamiento.

4.4. Consumo del motor y autonomía de la batería

Con esta prueba se tiene la finalidad de medir el consumo de corriente de la caja móvil en funcionamiento y compáralo con el valor dimensionado, esto para determinar si el requerimiento de autonomía para las ocho horas de jornada laboral es atendido. Para cumplir el mencionado objetivo, mediante la pinza amperimétrica Fluke 325 se toman 10 muestras (DANE 2008), que definen el consumo de corriente en cada ensayo. La carga de trabajo con la que se toman las medidas es de 165 kg, pues es su carga máxima de trabajo, la cual considera 90kg de cacao, 25kg de la caja de madera y 50 kg de la caja móvil.

Tabla 4-4: Consumo de corriente del motor con una carga de trabajo de 165 kg

Número de muestra	Consumo de corriente [A]
1	6,78
2	6,75
3	6,73
4	6,77
5	6,79
6	6,81
7	6,75
8	6,71
9	6,74
10	6,79
Promedio de consumo	6,76

Realizado por: Bastidas, W. 2022

En base a los datos expuestos en la tabla 4-4 se concluye que la corriente de consumo real de la caja móvil a plena carga es de 6,76 A, por lo que se determina, la autonomía de la batería en 10,35 h concluyendo así que el dimensionamiento fue correcto, pues se cumple con el requerimiento de

las ocho horas de jornada laboral y se cuenta con dos horas extras de autonomía, puesto que la corriente real es menor a la calculada.

4.5. Tiempo de recarga de la batería

Tiene como objetivo medir el tiempo de carga completa de una batería utilizada en la caja móvil. Para cuantificarlo es necesario agotar las baterías en su totalidad. Cada batería tiene un corte de descarga de 9,5 V y una carga máxima de 14 V, con una capacidad máxima de corriente de 70 Ah, valores obtenidos en su hoja de especificaciones detalladas en el anexo L. El procedimiento es el siguiente: se cronometra el tiempo necesario para que la batería llegue a su voltaje de carga máximo, usando como cargador Palettrans modelo LE 60 hz de la marca Luffe mostrado en la figura 3-4 (Luffe ,2022). Mastervolt recomienda para las baterías de plomo ácido, una corriente de carga mínima de 25 y máxima de 50% en referencia a la corriente nominal de la batería (Mastervolt, 2022).



Figura 3-4: Cargador de materias Palettrans modelo LE 60 hz

Realizado por: Bastidas, W. 2022

La corriente de carga promedio de la prueba fue 27,8 A correspondiente el 39,71 % de corriente nominal, porcentaje de corriente de carga seguro según lo recomendando por Mastervolt, dando como resultado un tiempo de carga de 2,52 h por batería.

4.6. Evaluación de tiempos de trabajo del proceso asistido y manual

Aquí se compara el tiempo del proceso asistido por brazo neumático con caja móvil con el proceso manual con el fin de determinar la reducción de tiempo en el transporte de las cajas. Para ello se

toma el tiempo al trasladar cada una de las 30 cajas de cacao de la zona de fermentado a la de secado de forma asistida por el brazo neumático y la caja móvil, posteriormente, se repite el proceso de manera manual. Las mediciones de tiempo son realizadas con el cronometro digital del *smartphone* realme 35y.

Tabla 5-4: Datos de tiempo del proceso asistido por brazo neumático vs manual

Muestras	Nro. de caja	Tiempo proceso manual [min]	Tiempo proceso brazo neumático [min]	Mejora porcentual proceso
1	1	10,10	3,20	68,32%
2	2	10,15	3,20	68,47%
3	3	10,30	3,20	68,93%
4	4	10,50	3,20	69,52%
5	5	11,20	3,20	71,43%
6	6	11,30	3,40	69,91%
7	7	11,50	3,40	70,43%
8	8	12,20	3,40	72,13%
9	9	12,30	3,40	72,36%
10	10	12,45	3,40	72,69%
11	11	13,50	4,00	70,37%
12	12	14,10	4,00	71,63%
13	13	14,25	4,00	71,93%
14	14	14,50	4,00	72,41%
15	15	15,20	4,00	73,68%
16	16	15,55	4,20	72,99%
17	17	16,15	4,20	73,99%
18	18	16,50	4,20	74,55%
19	19	17,15	4,20	75,51%
20	20	17,45	4,20	75,93%
21	21	18,35	4,40	76,02%

22	22	18,40	4,40	76,09%
23	23	18,50	4,40	76,22%
24	24	19,10	4,40	76,96%
25	25	19,45	4,40	77,38%
26	26	19,50	5,00	74,36%
27	27	19,55	5,00	74,42%
28	28	19,55	5,00	74,42%
29	29	20,10	5,00	75,12%
30	30	20,15	5,00	75,19%
Tiempo Promedio		15,30	4,03	73,11%

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Al analizar los datos recopilados en la tabla 5-4, se puede observar que el tiempo de ejecución del proceso de forma manual aumenta con cada caja transportada, empleando en promedio 15,30 min.

Por otra parte, se puede ver que el tiempo de ejecución del proceso asistido por el brazo neumático y la caja móvil se mantiene sin una variación considerable, empleando en promedio para el transporte de 4,03 min lo que se traduce en una mejora porcentual promedio de 73,11%.

4.7. Carga máxima de transporte/hora

En esta prueba se busca definir la cantidad de cacao que puede transportar el sistema brazo neumático y caja móvil en una hora. Para ello se contabilizan el número de cajas transportadas a la marquesina en el tiempo establecido para la prueba. Teniendo como resultado los datos expuestos en la tabla 5-4 de la sección anterior, el brazo neumático en conjunto con la caja móvil puede trasladar 18 cajas de cacao fermentado en una hora, lo cual equivale a 1620 kg de cacao neto. Tomando en cuenta que el total de inventario por día es de 2700 kg de cacao, se concluye que en 2 h aproximadamente se traslada el total de cajas de la zona de fermentado a la de secado. Lo que indica una reducción aproximada de 6 h en el traslado de cajas.

4.8. Funcionamiento general del sistema brazo neumático con caja móvil

Las pruebas realizadas en las secciones anteriores evidencian el correcto funcionamiento del brazo neumático y caja móvil. Para finalizar este capítulo a continuación se presenta el proceso

de transporte cajas asistido por el sistema brazo neumático y caja móvil operado por un trabajador de Kallari.

El primer paso en el proceso de transporte es verificar que no esté presionado el pulsador paro de emergencia o que una luz piloto indique un evento de dichas características, caso contrario, atender la emergencia, desactivar el mismo y activar el botón inicio. Luego el operario debe posicionar la garra sobre la caja llena de cacao fermentado, con la ayuda del selector 1 la abre y seguidamente baja el brazo con la ayuda del selector 2 hasta que esté la posición deseada, como se observa en la figura 6-4.



Figura 4-4: Posicionamiento de la garra sobre la caja de cacao fermentado

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Luego cierra la garra con el selector 1, eleva la caja con el selector 2 y la empuja sobre el pasillo que divide las zonas hasta colocarla en el interior de la marquesina como se observa en la figura 5-4.



Figura 5-4: Elevación de la caja de cacao

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Seguidamente el operario empuja la garra hasta la entrada de la zona de secado, donde le espera la caja móvil, bajando el brazo neumático con la ayuda del selector 2, hasta el punto de posicionar el cacao sobre la caja móvil como se observa en la figura 6-4, posteriormente debe abrir la garra con el selector 1 y luego subir el brazo.



Figura 6-4: Posicionamiento del cacao sobre la caja móvil

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Por último, debe activar la caja móvil con el selector de 3 posiciones para que el carro avance o retroceda hasta la posición requerida por el operario. Como se observa en la figura 7-4.



Figura 7-4: Transporte de los granos sobre la caja móvil al interior de la marquesina

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Además, como constancia de la instalación, prueba y evaluación dentro de Kallari en el anexo N se encuentra un documento proporcionado por dicha institución, que certifica lo antes mencionado.

4.9. Evaluación económica

En la tabla 6-4 se realiza el análisis de costos del sistema, donde se define un valor total de fabricación para ambos dispositivos de 4 325 dólares, de los cuales el 72,71 % representa al brazo elevador, el 15,72% corresponde a la caja móvil, y el restante a la ingeniería aplicada en el proyecto.

Tabla 6-4: Evaluación económica de brazo elevador neumático y caja móvil

Dispositivo	Detalle	Cantidad	Precio Unitario [\$]	Total [\$]
Brazo neumático	Cilindro neumático Festo DNC-100-320-PPV-A	2	510	1020
	Cilindro neumático Pneumatic SL40x150	1	105	105
	Electroválvula SMC VS7-6-FG-SIN	4	50	200
	Compresor BP 25 L/6BAR	1	1210	210
	PLC Logo 12/24 RCE	1	190	190
	Módulo de expansión DM8	1	70	70
	Material eléctrico	1	70	200
	Estructura mecánica	1	1150	1150
Costo del brazo neumático				3145
Caja móvil	Batería Kaiser BC02-24-65	2	90	180
	Motor Jin Le ZD23AF	1	200	200
	Material eléctrico	1	100	100
	Estructura mecánica	1	200	200
Costo de la caja móvil				680
Gastos totales de material				3825
Costo de ingeniería				500
Total				4325

Realizado por: Bastidas, W. 2022

Con el costo total del brazo neumático y caja móvil, se realiza una tabla de comparación de costo-beneficio entre los dispositivos desarrollos y el equipo de elevación con similares características; Micropartner con base transpallet (Dalmeç, 2022). Esto se detalla en la tabla 7-4.

Tabla 7-4: Comparación entre el brazo neumático y caja móvil con el dispositivo de elevación Micropartner

Características	Brazo neumático y caja móvil	Micropartner con base transpallet
Carga máxima [kg]	166	150
Acoplado al entorno de trabajo	Sí	No
Altura máxima [m]	1,91	2,52
Distancias máximas de traslado por el brazo [m]	4	3,50
Distancia máxima de elevación [m]	0.59	0.55
Tecnología de control	Logo V8.3	Lógica cableada
Flexibilidad	Sí	No
Disponibilidad en el mercado local	Sí	No
Soporte técnico local	Sí	No
Capacidad de monitoreo y digitalización de datos	Sí	No
Tracción en las ruedas	Sí	No
Fácil ensamble	Sí	No
Costos incluido importación [\$]	4 325	12 281

En la tabla 7-4 se observa que el costo del brazo neumático y la caja móvil es de 35,21 % más económico en comparación con el dispositivo de elevación Micropartner, además de ello, sus ventajas respecto del equipo comercial son: mayor capacidad de carga, tracción en las ruedas, fácil ensamble, acoplado al entorno de trabajo, posee una tecnología de control de Logo V8.3, lo cual permite flexibilidad, capacidad de monitoreo y digitalización de datos, asimismo, su disponibilidad en el mercado facilita el soporte técnico, mantenimientos y no acarrea costos de importación, con lo cual se concluye que el brazo neumático y la caja móvil son competitivos con respecto a equipos comerciales, tanto en costo como en características, cumpliendo así con el requerimiento de bajo costo.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación, se enlistan las conclusiones del estudio de acuerdo con los objetivos y pruebas realizadas, finalmente, se mencionan las recomendaciones junto los trabajos futuros derivados de este proyecto técnico.

5.1. CONCLUSIONES

Se construyó un brazo elevador neumático paletizador controlado de forma manual para trasladar cajas de cacao de la zona de fermentado a la de secado y una caja móvil para movilizarlo dentro de la marquesina en base a los requerimientos planteados en el proyecto.

En base a los requerimientos de trabajo y el espacio disponible para implementar el brazo elevador neumático y caja móvil se determinó que pueda transportar 30 cajas de cacao fermentado considerando una carga de trabajo de 115 kg de los cuales se divide en 25 kg correspondientes a una caja de madera y 90 kg al cacao fermentado.

Para diseñar el sistema el brazo neumático se tomó como carga total 140 kg y 6 BAR como presión de trabajo, en función de lo cual se seleccionaron dos cilindros neumáticos de 10 cm de diámetro en su émbolo y 32 cm de carrera ubicados en paralelo permitiendo subir o bajar el brazo, un cilindro de 4 cm de diámetro en su émbolo y 15 cm de carrera que cumple la función de abrir o cerrar la garra.

Para desarrollar la caja móvil se tomó en cuenta la carga máxima de 165 kg, correspondiente a la masa del dispositivo, caja de madera y de cacao fermentado, además de las 8 horas de jornada laboral, con ello se seleccionó un motor DC de 1 HP, con un banco de baterías en serie de 12 V y 70 Ah para cubrir la necesidad que garantizan una autonomía de 10,35 h.

El funcionamiento del brazo elevador neumático paletizador fue verificado realizando pruebas de carga máxima, la cual es de 167 kg, correspondiente a 25 kg de la máquina, 25 kg de caja y 116 kg de cacao fermentado, al igual que las pruebas de área de trabajo que demuestran que existe una pequeña variación entre los datos reales e ideales, de manera porcentual es 0,75 % y 5%, los

cuales se encuentra en el rango de optimo y aceptable respectivamente, además se realizaron pruebas de lazo de instrumentación que comprueban el correcto el conexionado funcionamientos de pulsadores y selectores.

Para verificar el funcionamiento de caja móvil se realizaron pruebas para determinar la corriente real, el cual es 6,76 A con una carga total de 165 kg, esto representa el 83,35 % del consumo de corriente teórico que es 8,11 A, además de pruebas de carga y descarga se concluye que la descarga de baterías es de 10,35 h, su carga es de 2,52 h por batería, además se realizaron pruebas de lazo de instrumentación que comprueban el correcto funcionamiento de pulsadores y selectores.

En conjunto se realizaron pruebas para evaluar el tiempo de transporte manual y asistido, dando como resultado un tiempo de 15,30 y 4,03 min respectivamente, concluyendo que el tiempo de transporte se optimizó un 73%. Además, en base a la prueba de carga máxima de transporte/hora, se determinó que pueden trasladar aproximadamente 1620 kg de cacao fermentado en 1 h, tomando que cuenta que el total de inventario por día es de 2700 kg, el proceso de transporte se completa en 2 horas aproximadamente.

La fabricación del brazo neumático y caja móvil presenta ventajas con respecto a la adquisición de equipos comerciales como el Micropartner con transpallet, ya sea en el costo de fabricación de los dispositivos es 37,5 %, como también de mejores características, lo que comprueba que es competitivo con equipos comerciales.

5.2. RECOMENDACIONES

Conectar el proceso con una interfaz inteligente para el Internet de las Cosas como el módulo Simatic IOT2000, para recoger, analizar y transferir información sobre la producción de cacao a una base de datos.

Estudiar la posibilidad de implementar autonomía en el brazo neumático y caja móvil.

Para la producción en masa de brazo neumático se recomienda diseñar una garra universal que pueda adaptarse a diferentes tipos de elementos a elevar, tales como: sacos, jabs, cartones, entre otros, con la finalidad de diversificar su usabilidad.

Incorporar un *hardware* en la garra para incluir un sistema de visión artificial que permita determinar, clasificar y seleccionar el caco que encuentra en un estado óptimo de fermentación con la finalidad de mejorar la calidad del producto.

BIBLIOGRAFÍA

ACEBO, M., *Industria de Cacao*. [en línea]. Guayaquil: 2016. [Consulta: 6 Abril 2022]. Disponible en: <https://www.espae.espol.edu.ec/wp-content/uploads/2016/12/industriacacao.pdf>.

AMBIENTAL, C., *Norma oficial mexicana, instrumentos de medición cintas métricas de acero y flexómetros de calidad*. [en línea]. México: 2001. [Consulta: 3 Mayo 2022]. Disponible: [//efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://legismex.mty.itesm.mx/normas/scfi/scfi046.pdf](http://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://legismex.mty.itesm.mx/normas/scfi/scfi046.pdf)

AUTODESK, *AutoCAD. Download free trial of AutoCAD 2023* [en línea]. 2022. [Consulta: 14 Junio 2022]. Disponible en: <https://www.autodesk.com/products/autocad/free-trial>.

BELZUNCE, F., *Aceros y Fundiciones: Estructuras, Transformaciones, Tratamientos Térmicos y Aplicaciones* [en línea]. Universidad de Oviedo, 2001. [Consulta: 6 Abril 2022]. Disponible en: <https://aceroplatea.es/docs/documento138.pdf>

BINAR HANDLING AB, *Brazo manipulador de columna QLA 100i*. [en línea]. 2022. [Consulta: 29 Abril 2022]. Disponible en: <https://www.directindustry.es/prod/binar-handling-ab/product-27493-481278.html>.

BP, *Compresor 2HP Tanque 25 LTS 115PSI BP*. [en línea]. 2022. [Consulta: 17 Junio 2022]. Disponible en: <https://proferret.com.ec/producto/compresor-2hp-tanque-25-lts-115psi-bp/>.

CAMSCO, *Componentes Eléctricos*. [en línea]. 2022. [Consulta: 12 Junio 2022]. Disponible en: <https://www.camSCO.com.tw/spa/control-components/control-components-ck-type.html>.

CHARLES K., S.O., *Fundamentos de Circuitos eléctricos*. 2006. Segunda. México: McGraw Hill. ISBN ISBN 970-10-5606-X.

CHICAGO PNEUMATIC, *Diferencias entre un compresor de pistón y uno de tornillo*. [en línea]. 2022. [Consulta: 11 julio 2022]. Disponible en: <https://compressors.cp.com/es-latinamerica/expert-corner/blog/diferencias-entre-compresor-de-piston-y-tornillo>.

DALMEC, *Dispositivo de elevación con base autoestable*. [en línea]. 2022. [Consulta: 18 Abril 2022]. Disponible en: https://www.dalmec.com/es/dispositivo_elevacion/.

DANE, *Estimación e Interpretación del Coeficiente de Variación de la Encuesta Cocensal* [en línea]. 2008. S.l.: s.n. Disponible en: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/buletines/censo/est_interp_coefvariacion.pdf.

DELTA, *CliQ M DIN Rail Power Supply 24V 81.6W 1 Phase / DRM-24V80W1PN*. [en línea]. 2018. [Consulta: 27 Junio 2022]. Disponible en: <https://www.deltapsu.com/en/products/download/Datasheet/DRM-24V80W1PN>.

DIRECT INDUSTRY, *¿Qué motor eléctrico elegir?* [en línea]. 2022. [Consulta: 8 Junio 2022]. Disponible en: <https://guide.directindustry.com/es/que-motor-electrico-elegir/#:~:text=Debido%20a%20su%20funcionamiento%2C%20que,y%20pocos%20cambios%20de%20velocidad>.

FESTO, *Fundamentos de Neumática*. 1991. [en línea]. [Consulta: 8 Junio 2022]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=v-vv4gcjGHA>.

FESTO, *Cilindro normalizado DNC-100-500-PPV-A*. Datasheet [en línea]. 2021. [Consulta: 6 Junio 2022]. Disponible en: https://ftp.festo.com/Public/PNEUMATIC/SOFTWARE_SERVICE/DataSheet/ES_ES/163476.pdf.

FESTO, *FluidSim. Uptodown* [en línea]. 2022. [Consulta: 20 Junio 2022]. Disponible en: <https://fluidsim.en.uptodown.com/windows>.

FRANK EBEL, SIEGFRIED IDLER, GEORG PREDE, D.S., *Neumática y Electro neumática*. 2010. Festo Didactic. Denkendorf: s.n.

FUNDACIÓN PIAF, E.C., *Guía logística para la cosecha, transporte y almacenamiento en centros de acopio*. [en línea]. Bolivia-La Paz: Ideas Gráficas, 2018. [Consulta: 19 Abril 2022]. Disponible en: <https://answers.practicalaction.org/our-resources/download/60877>.

GALLARDO, Y. & MORENO, A., *Recolección de la Información* [en línea]. 1998. Tercera. Bogotá: ICFES. ISBN 958-9279-14-7. Disponible en: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://academia.utp.edu.co/grupobasicoclinicayaplicadas/files/2013/06/3.-Recolección-de-la-Información-APRENDER-A-INVESTIGAR-ICFES.pdf.

GUERRERO, G., *El Cacao ecuatoriano Su historia empezó antes del siglo XV*. [en línea]. 2013. [Consulta: 31 Mayo 2022]. Disponible en: <https://www.revistalideres.ec/lideres/cacao-ecuatoriano-historia-empezo-siglo.html>

IBARRA, M., NÚÑEZ, E. & HUERTA, J., *Manual: Aceros Inoxidables*. [en línea]. Cerrillos-Chile: 2010. [Consulta: 01 Junio 2022]. Disponible en: <https://www.indura.com.ec/Descargar/Manual%20de%20Aceros%20Inoxidables?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fec%2Fbiblioteca%2F76c04d6268cc493f8a071902e5baeab5.pdf>

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, *IEC 61131-1 Programmable controllers – Part 1: General information* [en línea]. 2003. Geneva: IEC. [Consulta: 30 Abril 2022]. Disponible en: https://d1.amobbs.com/bbs_upload782111/files_31/ourdev_569647.pdf.

IZA, M., FRANKLIN, M., PARRA, C. & et. al., *Norma Ecuatoriana de la Construcción: Instalaciones Eléctricas*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda [en línea]. 2018. pp. 25. Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-SB-IE-Final.pdf>.

CHAPMAN J., *Máquinas eléctricas*. 2005. Tercera. México: McGraw Hill. ISBN 978-607-15-0724-2.

KALLARI, *HISTORIA KALLARI CHOCOLATE*. [en línea]. 2022. [Consulta: 8 Abril 2022]. Disponible en: <https://www.kallari.com.ec/historia-kallari/>.

LA HORA, *Exportaciones de cacao crecieron 11% en 2021*. [en línea]. 2021. [Consulta: 8 Abril 2022]. Disponible en: <https://www.lahora.com.ec/los-rios/exportaciones-de-cacao-crecieron-11-en2021/#:~:text=Como%20consecuencia%2C%20las%20exportaciones%20han,millones%20a%20%24262%2C5%20millones.>

LUFFE, *Cargador de baterías Palettrans* [en línea]. 2022. S.l.: s.n. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://luffe.com.br/wpcontent/uploads/2020/07/LE-1215-1.pdf>.

MASTERVOLT, *Carga de las baterías*. [en línea]. 2022. [Consulta: 14 Septiembre 2022]. Disponible en: <https://www.mastervolt.es/carga-de-las-bateras/>.

MOLINA, J. & GARCÍA, E., Diseño y simulación de una caja reductora de velocidad [en línea]. Trabajo de titulación. Quito: Universidad Internacional SEK. 2016. [Consulta: 10 Junio 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/1612>.

MORA, J., *Máquinas Eléctricas*. 2003. 5. Madrid: McGraw Hill. ISBN (84-481-3913-5), pp. 260-514.

MYSZKA, D., *Máquinas y Mecanismos* [en línea]. Cuarta. México: Pearson Educación. 2012. [Consulta: 8 Junio 2022]. Disponible en: <https://pavisva.files.wordpress.com/2016/01/mc3a1quinas-y-mecanismos-4-ed-david-h-myszka.pdf>.

PARKER PRODUCTS, *Neumática Industrial, ¿Cómo Trabaja un Sistema Neumático?* [en línea]. 2019. [Consulta: 12 Marzo 2022]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=Wee85cI6wwQ>.

PEÑA, C., *Estudio de Baterías para Vehículos Eléctricos* [en línea]. Trabajo de titulación. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid. 2011. [Consulta: 10 Junio 2022]. Disponible en: https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC_Carlos_Pena_Ordonez.pdf.

PÉREZ, S., *Kallari, historia de un grupo de artesanos y agricultores emprendedores y patriotas de la provincia de Napo*. [en línea]. Ecuador. 2011. [Consulta: 10 Abril 2022]. Disponible en: <http://www.conectadel.org/wp-content/uploads/downloads/2013/01/casoasockallariecuador-121228102754-phapp01.pdf>

PERFECT DAILY GRIND, *Explicación paso a paso: la cosecha y el procesamiento del cacao*. [en línea]. 2018. [Consulta: 8 Abril 2022]. Disponible en: <https://perfectdailygrind.com/es/2018/03/06/explicacion-paso-paso-la-cosecha-y-el-procesamiento-del-cacao/>.

RUIZ, M., GARAY, C. & MARÍNEZ, R., *El aluminio, material trascendente en la historia humana. Temas de Ciencia y Tecnología.* vol. 21, 2017. pp. 3–9.

SCHEIDER ELECTRIC, Llave térmica Easy9 1P 16A 6kA 230/400V AC curva tipo C. [en línea]. 2022. [Consulta: 8 Junio 2022]. Disponible en: <https://www.se.com/pe/es/product/EZ9F56116/llave-t%C3%A9rmica-easy9-1p-16a-6ka-230-400v-ac-curva-tipo-c/>.

SIEMENS, *Descarga para LOGO! 8.3 - Upgrade del software. LOGO* [en línea]. 2022. [Consulta: 26 Junio 2022]. Disponible en: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109783154/descarga-para-logo!-8-3-upgrade-del-software?dti=0&lc=es-EC>.

SIEMENS, C., Hoja de datos del producto 6ED1052-1FB00-0BA7. [en línea]. 2022. [Consulta: 29 Junio 2022]. Disponible en: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/ww/Catalog/Product/6ED1052-1FB00-0BA72011>.

SIEMENS, C., *LOGO! 12/24RCE.* [en línea]. 2021. [Consulta: 14 Mayo 2022]. Disponible en: https://media.automation24.com/datasheet/es/6ED10521MD080BA1_es.pdf.

SLEMON G.R., *Electric Machines.* 1980. S.l.: Reading Mass.

SMC, *Electroválvula neumática SMC, Serie SY, Función 4/2, Solenoide, Montaje en base.* [en línea]. 2022a. [Consulta: 11 Junio 2022]. Disponible en: <https://cl.rsdelivers.com/product/smc/syj3143-5lou-q/electrovalvula-neumatica-smc-serie-sy-funcion-4/2-solenoide-montaje-en-base/8434956>.

SMC, *Electroválvula neumática SMC, Serie VS7-6.* [en línea]. 2022b. [Consulta: 8 Junio 2022]. Disponible en: <https://es.rs-online.com/web/p/valvulas-neumaticas-de-accionamiento-electrico/6827022>.

SYSTEMS, D., *SolidWorks. SolidWorks* [en línea]. 2022. [Consulta: 6 Junio 2022]. Disponible en: <https://www.solidworks.com/>.

TAWI, *Brazo pescante de acero inoxidable* 2022. [Consulta: 27 Abril 2022]. Disponible en: <https://www.tawi.com/es/equipos/pescantes-de-soporte-en-columna-o-pared/brazo-pescante-de-acero-inoxidable/>.

TRUPER, *Filtro y regulador de aire con módulo de lubricación*. [en línea]. 2022. Disponible en: <https://www.truper.com/unidad-de-limpieza-y-lubricacion-cuerda-1-4-npt.html>.

YOUG D & FREEDMAN A., *Física Universitaria I*. 2009. Decimosegunda. México: Pearson Educación. ISBN 978-607-442-288-7.

ANEXOS

ANEXO A: Hoja de especificaciones Logo! 12/24RCE



Figura similar

LOGO! 12/24RCE, mód. lógico, display FA/E/S: 12/24 V DC/relé, 8 DI (4 AI)/4 DO, mem. 400 bloques, posibilidad de ampliación modular, Ethernet, servidor web integrado, Datalog, páginas web personalizadas, tarjeta microSD estándar para LOGO! Soft Comfort a partir de V8.3, proyectos anteriores ejecutables conexión a la nube en todos los aparatos base LOGO! 8.3

Display	
Con display	Sí
Diseño/montaje	
Montaje	sobre perfil normalizado de 35 mm, 4 módulos de ancho
Tensión de alimentación	
Valor nominal (DC)	
• 12 V DC	Sí
• 24 V DC	Sí
Rango admisible, límite inferior (DC)	10,8 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Hora	
Programadores horario	
• Cantidad	400; Máx. 400, según la función
• Reserva de marcha	480 h
Entradas digitales	
Nº de entradas digitales	8; de ellas, 4 aptas como E analógicas (0 a 10 V)
Salidas digitales	
Número de salidas	4; Relé
Protección contra cortocircuito	No; requiere protección externa
Intensidad de salida	
• para señal "1" rango admisible para 0 a 55 °C, máx.	10 A
Salidas de relé	
Poder de corte de los contactos	
— con carga inductiva, máx.	3 A
— con carga resistiva, máx.	10 A

ANEXO B: Hoja de especificaciones módulo de ampliación DM8



LOGO! DM8 12/24R MOD. DE AMPL.,
AL/E/S: 12, 24V/12V/24V/RELE,
2 MODULOS, 4 ED/ 4 SD PARA LOGO! 8

Diseño/montaje	
Montaje	sobre perfil normalizado de 35 mm, 2 módulos de ancho
Tensión de alimentación	
12 V DC	Si
24 V DC	Si
Rango admisible, límite inferior (DC)	10,8 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Entradas digitales	
Nº de entradas digitales	4
Tensión de entrada	
Tipo de tensión de entrada	DC
para señal "0"	< 5 V DC
Intensidad de entrada	
para señal "0", máx. (intensidad de reposo admisible)	0,88 mA
para señal "1", tip.	4,2 mA

ANEXO C: Hoja de especificaciones fuente de poder CliQ



Highlights & Features

- Universal AC input voltage range
- Power will not de-rate for the entire input voltage range
- Power Boost of 150% for 3 seconds
- Full corrosion resistant aluminium casing
- SEMI F47 certified
- Conforms to harmonic current IEC/EN 61000-3-2, Class A
- Conformal coating on PCBAs to protect against common dust and chemical pollutants
- Hazardous Locations approval to ATEX and Class I, Div 2
- Certified according to IEC/EN/UL 62368-1

Safety Standards



CB Certified for worldwide use

Model Number: DRP024V120W1AA
Unit Weight: 0.54 kg (1.19 lb)
Dimensions (L x W x D): 121 x 50 x 118.7 mm
 (4.76 x 1.97 x 4.67 inch)

General Description

The DRP024V120W1AA is part of the CliQ DIN rail power supply series from one of the world's leading power supply companies, Delta Electronics Group. The rugged metal is both shock and vibration resistant according to IEC 60068-2 standard. The product operates within a wide temperature range from -20°C to +80°C. The DRP024V120W1AA features universal AC input voltage range from 85 Vac to 264 Vac and the power will not de-rate for the entire input voltage range. The single phase power supply unit includes overvoltage, overcurrent, over temperature and short circuit protections. The product features built-in Power Boost of 150% for 3 seconds. Such feature enables reserve power to be always available for reliable startup of loads with high inrush current, thus eliminating the need of a more expensive power supply unit at higher power rating. Another great feature is the conformal coating on the PCBA which allows DRP024V120W1AA to be certified to ATEX and Class I, Div 2 for use in hazardous locations.

Model Information

CliQ DIN Rail Power Supply

Model Number	Input Voltage Range	Rated Output Voltage	Rated Output Current
DRP024V120W1AA	85-264 Vac (120-375 Vdc)	24 Vdc	5.00 A

Model Numbering

DR	P	024V	120W	1	A	A
DIN Rail	Power Supply	Output Voltage	Output Power	Single Phase	CliQ Series	Metal Case

ANEXO D: Hoja de especificaciones de la unidad FLR

TRUPER



CÓDIGO: 19238 CLAVE: UNI-LL-1/4

Filtro y regulador de aire con módulo de lubricación, Truper

- Filtra partículas y humedad
- Recomendado para lubricar herramientas neumáticas
- Presión máxima **140 psi**

Especificaciones

Presión máxima	140 psi
Rango de escala	0 -10 Bar
Cuerda	1/4" NPT
Empaque individual	Caja
Inner	2
Master	20

ANEXO E: Hoja de especificaciones disyuntor térmico Easy9

Ficha técnica del producto

Especificaciones



Llave térmica Easy9 1P 16A 6kA 230/400V AC curva tipo C

EZ9F56116

Principal

Gama	Easy9
Aplicación del dispositivo	Distribución
Tipo de producto o componente	Interruptor automático en miniatura
Nombre corto del dispositivo	Easy9 MCB
Poles	1P
Número de polos protegidos	1
Corriente nominal (In)	16 A
Tipo de red	CA
Tecnología de unidad de disparo	Térmico-magnético
Código de curva	C
Poder de corte	6000 A Icn en 230 V CA 50/60 Hz acorde a IEC 60898-1 10000 A Icn en 127 V CA 50/60 Hz acorde a IEC 60898-1
Apto para seccionamiento	Sí acorde a IEC 60898-1

ANEXO F: Hoja de especificaciones selector de 3 posiciones



Selector luminoso rojo 3 posiciones fijas 24v ac/dc 1na 1



XB4BK134B5

Principal

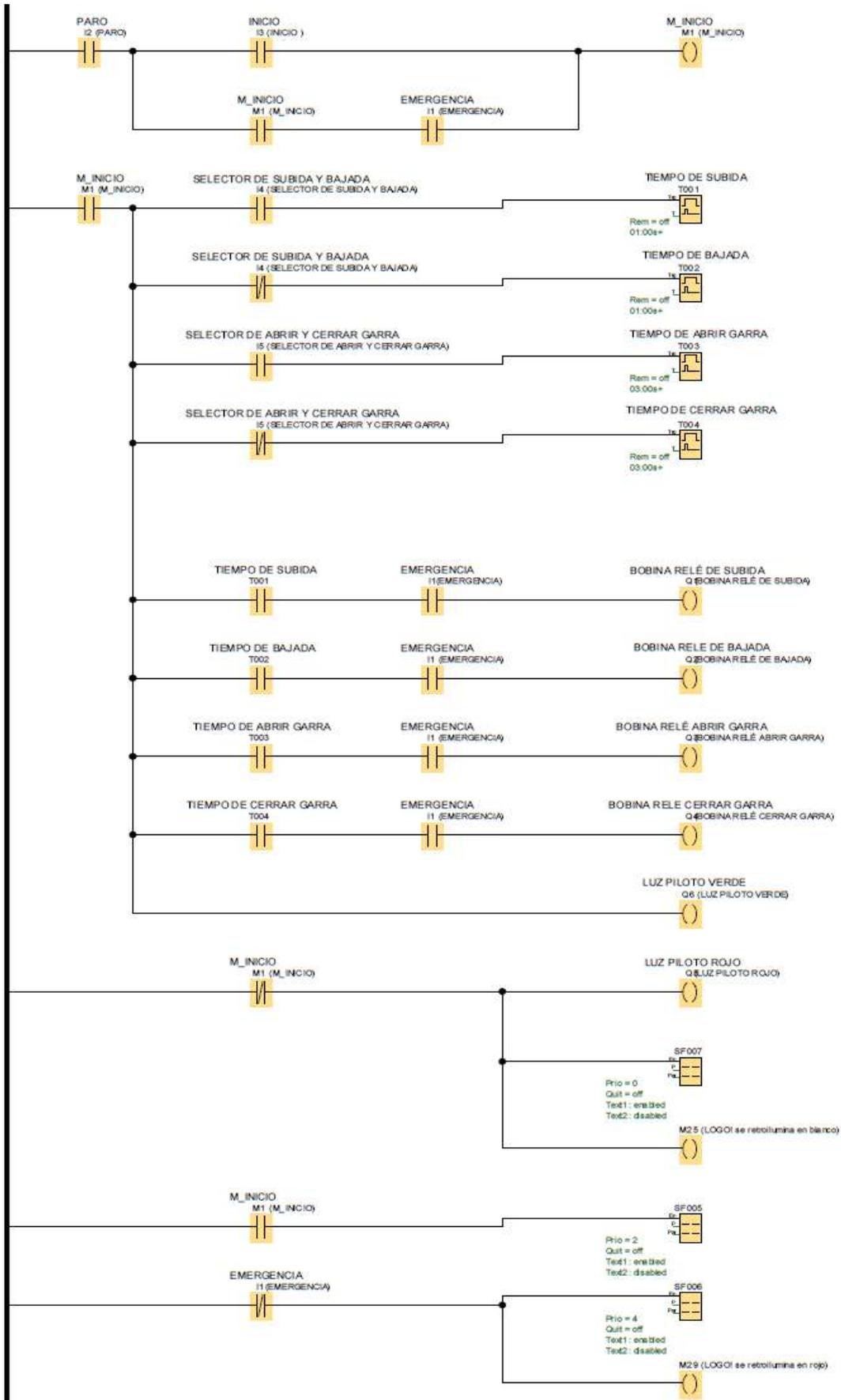
Gama de producto	Harmony XB4
Tipo de producto o componente	Selector luminoso
Nombre corto del dispositivo	XB4
Material del bisel	Metal cromado plateado
Material del anillo fijación	Zamak
Tipo de cabeza	Estándar
Diámetro de montaje	22 mm
Se vende en cantidades indivisibles	1
Forma de la cabeza de señalización	Circular
Tipo de operador	Fijas
Perfil del operador	Rojo maneta estándar
Información de posición del operador	3 posiciones de +/- 45°
Tipo y composición de contactos	1 NA + 1 NC
Funcionamiento de contacto	Ruptura lenta
Conexiones - terminales	Bornas tornillo, <= 2 x 1.5 mm ² con terminal acorde a EN/IEC 60947-1 Bornas tornillo, >= 1 x 0.22 mm ² sin terminal acorde a EN/IEC 60947-1
Fuente de luz	LED protegido
Base de bombilla	LED integrado
[Us] Tensión nominal de alimentación	24 V AC/DC en 50/60 Hz

ANEXO G: Hoja de especificaciones relé CSC

RELAYS ENCAPSULADOS

Imagen	Referencia	Voltaje	Corriente (amperios) resistivo - inductivo		Contactos Conmutados	Empaque
 MK3-P-1	Tipo: 8 pines redondos/serie MK					
	MK2P-1-12VDC	12 VDC	10 A.	7 A.	2NA - 2NC	20
	MK2P-1-24VDC	24 VDC	10 A.	7 A.	2NA - 2NC	20
	MK2P-1-12VAC	12 VAC	10 A.	7 A.	2NA - 2NC	20
	MK2P-1-24VAC	24 VAC	10 A.	7 A.	2NA - 2NC	20
	MK2P-1-110VAC	110 VAC	10 A.	7 A.	2NA - 2NC	20
	MK2P-1-220VAC	220 VAC	10 A.	7 A.	2NA - 2NC	20
	TC-085A	Base De 8 Huecos Redondos Para MK-2P				
 MK3-P-1	Tipo: 11 pines redondos/serie MK					
	MK3P-1-12VDC	12 VDC	10 A.	7 A.	3NA - 3NC	20
	MK3P-1-24VDC	24 VDC	10 A.	7 A.	3NA - 3NC	20
	MK3P-1-12VAC	12 VAC	10 A.	7 A.	3NA - 3NC	20
	MK3P-1-24VAC	24 VAC	10 A.	7 A.	3NA - 3NC	20
	MK3P-1-110VAC	110 VAC	10 A.	7 A.	3NA - 3NC	20
	MK3P-1-220VAC	220 VAC	10 A.	7 A.	3NA - 3NC	20
	PF-113AE	Base De 11 Huecos Redondos Para MK-3P				
 MY-2	Tipo: 8 pines planas/serie MY					
	MY-2-12 VDC	12 VDC	5 A.	3 A.	2NA - 2NC	50
	MY-2-24 VDC	24 VDC	5 A.	3 A.	2NA - 2NC	50
	MY-2-12 VAC	12 VAC	5 A.	3 A.	2NA - 2NC	50
	MY-2-24 VAC	24 VAC	5 A.	3 A.	2NA - 2NC	50
	MY-2-110 VAC	110 VAC	5 A.	3 A.	2NA - 2NC	50
	MY-2-220 VAC	220 VAC	5 A.	3 A.	2NA - 2NC	50
	PYF-08AE	Base De 8 Huecos Planos Para MY-2				
 MY-4	Tipo: 14 pines planas/serie MY					
	MY-4-12 VDC	12 VDC	5 A.	3 A.	4NA - 4NC	50
	MY-4-24 VDC	24 VDC	5 A.	3 A.	4NA - 4NC	50
	MY-4-12 VAC	12 VAC	5 A.	3 A.	4NA - 4NC	50
	MY-4-24 VAC	24 VAC	5 A.	3 A.	4NA - 4NC	50
	MY-4-110 VAC	110 VAC	5 A.	3 A.	4NA - 4NC	50
	MY-4-220 VAC	220 VAC	5 A.	3 A.	4NA - 4NC	50
	PYF-14AE	Base De 14 Huecos Planos Para MY-4				
 LY-2-12 VDC	Tipo: 8 pines planos/serie LY					
	LY-2-12 VDC	12 VDC	15 A.	10 A.	2NA - 2NC	50
	LY-2-24 VDC	24 VDC	15 A.	10 A.	2NA - 2NC	50
	LY-2-12VAC	12 VAC	15 A.	10 A.	2NA - 2NC	50
	LY-2-24 VAC	24 VAC	15 A.	10 A.	2NA - 2NC	50
	LY-2-110 VAC	110 VAC	15 A.	10 A.	2NA - 2NC	50
	LY-2-220 VAC	220 VAC	15 A.	10 A.	2NA - 2NC	50
	PTF-08AE	Base De 8 Huecos Planos Para LY-2				

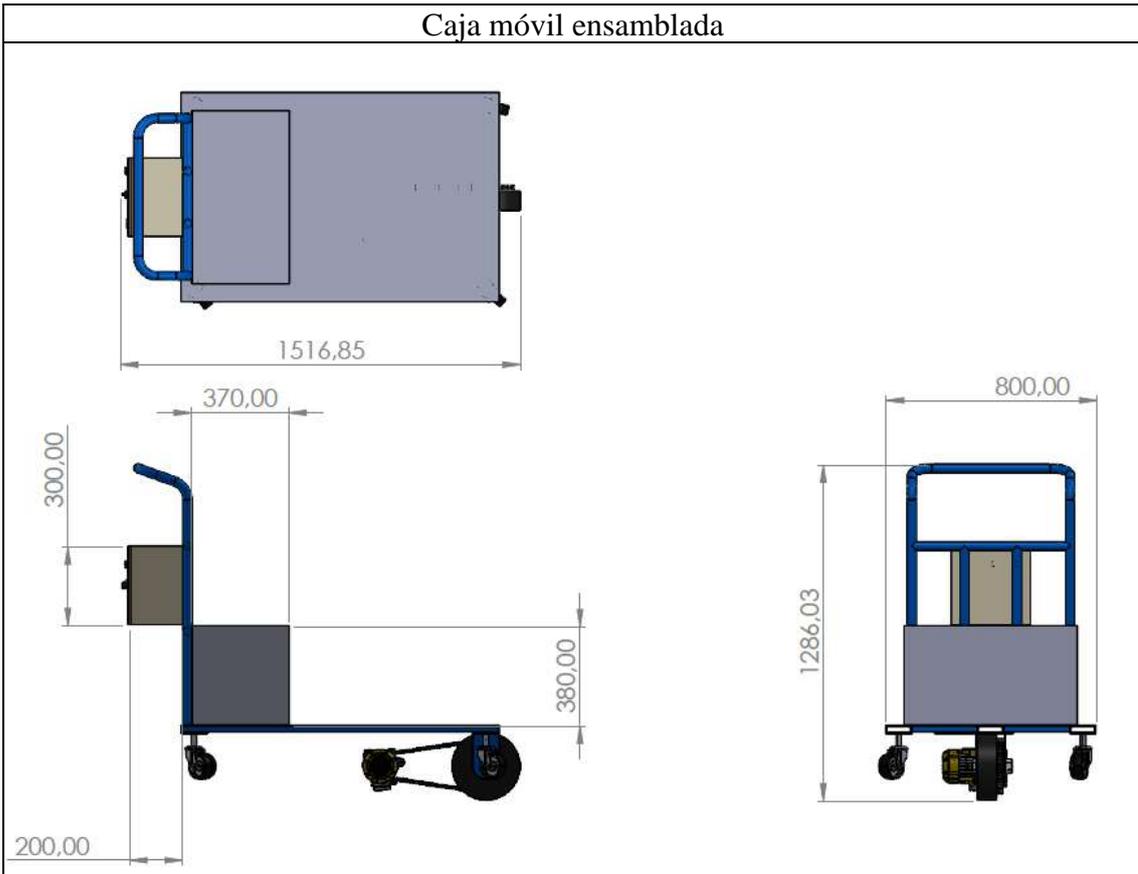
ANEXO H: Diagrama *Ladder* para el control del brazo neumático



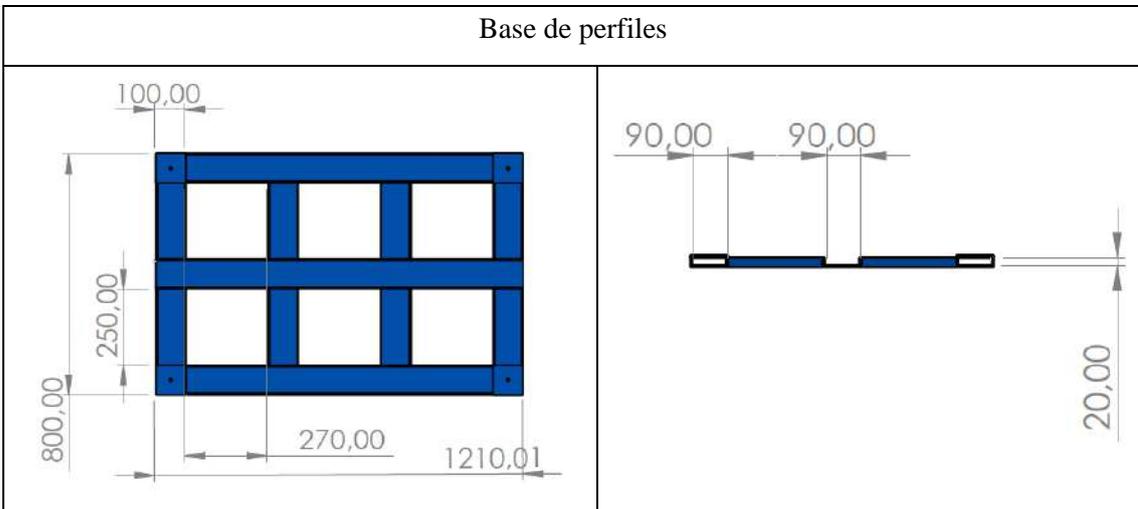
ANEXO I: Planos de construcción de la caja móvil

 <p>Escuela Superior Politécnica de Chimborazo</p>	Proyecto: BRAZO ELEVADOR NEUMÁTICO PALETIZADOR	
	Plano: CAJA MOVIL	Lámina:
	Asesor: ING. ANDRÉS MOROCHO	16
	Dibujado: WILSON BASTIDAS	
	Ubicación: TENA - NAPO	
ESCALA: 1:50	Fecha: 06/08/2022	

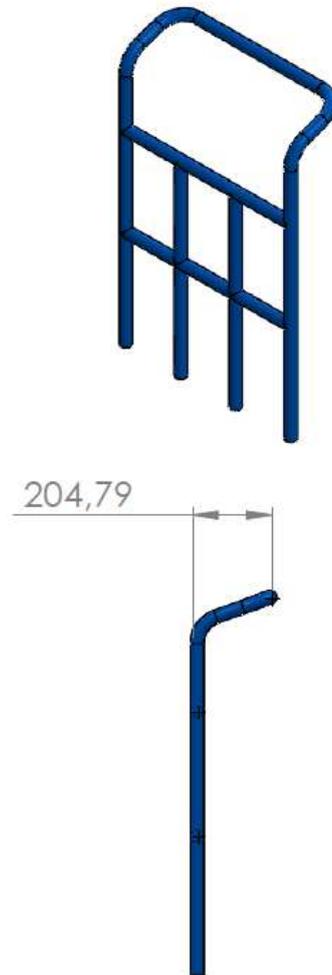
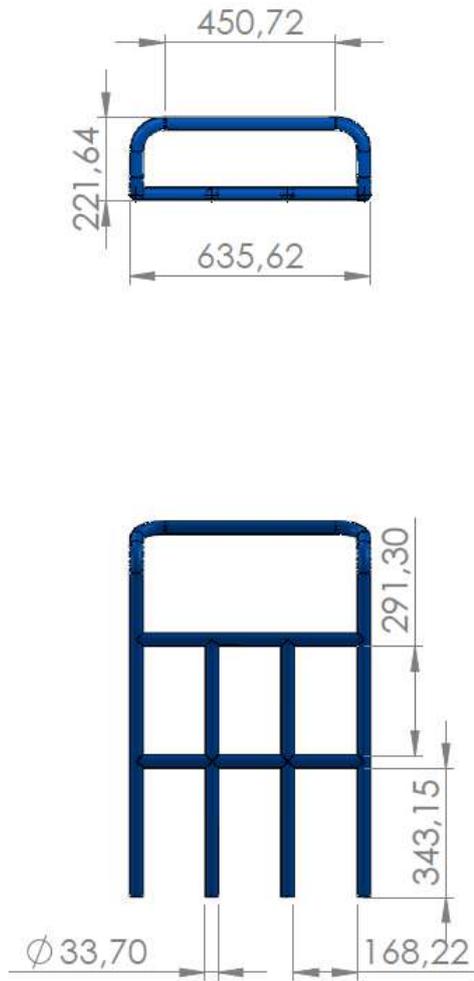
Caja móvil ensamblada



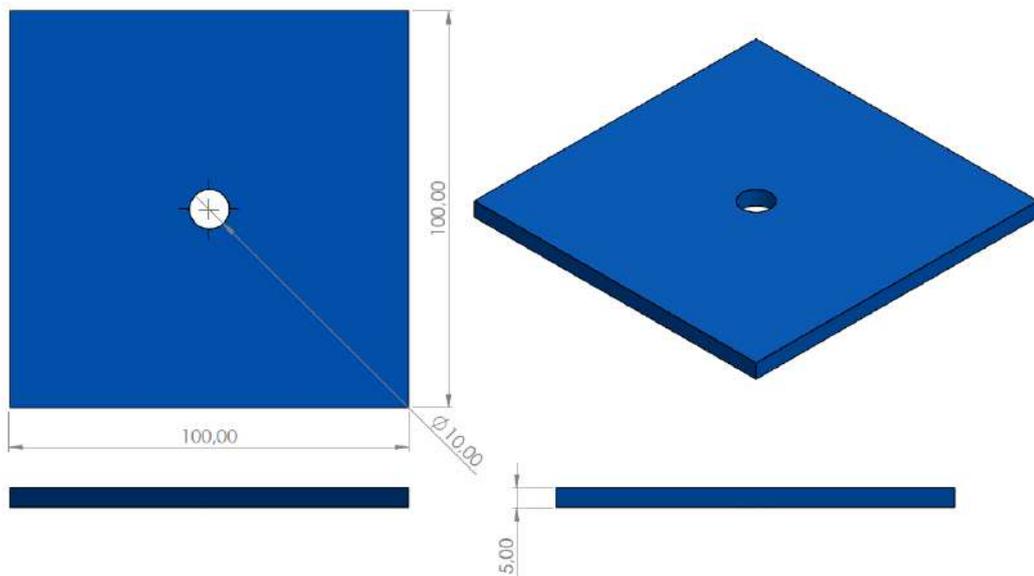
Base de perfiles



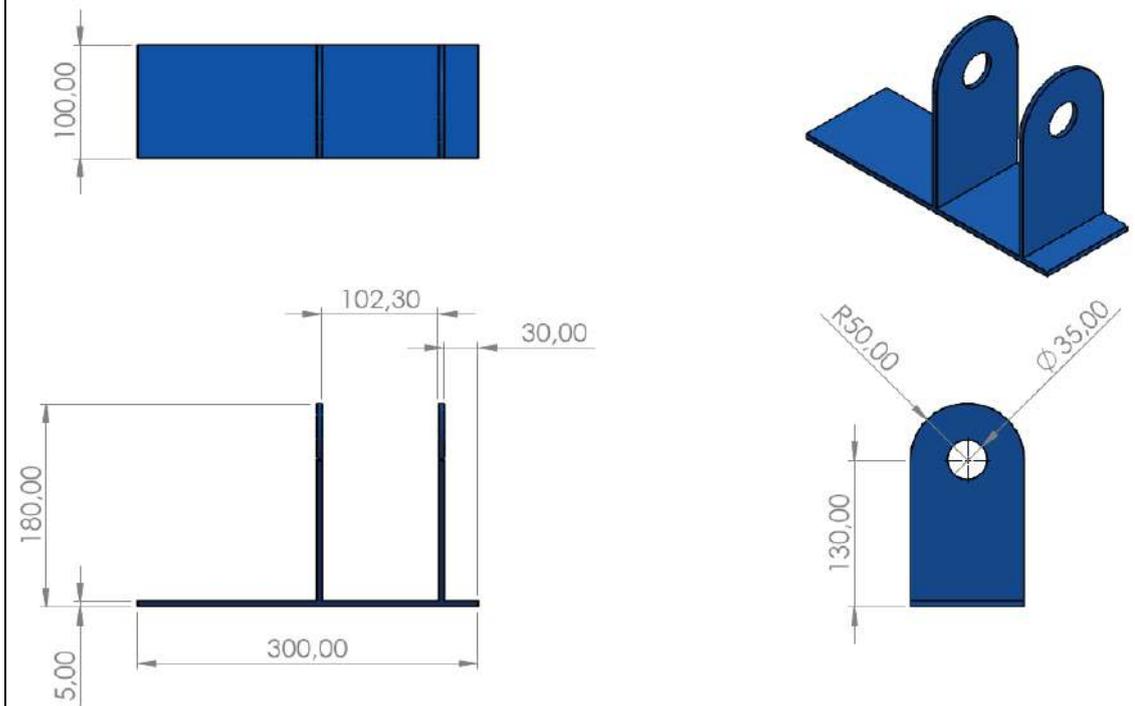
Estructura tubular



Base para soldar las tuercas que sostienen las ruedas

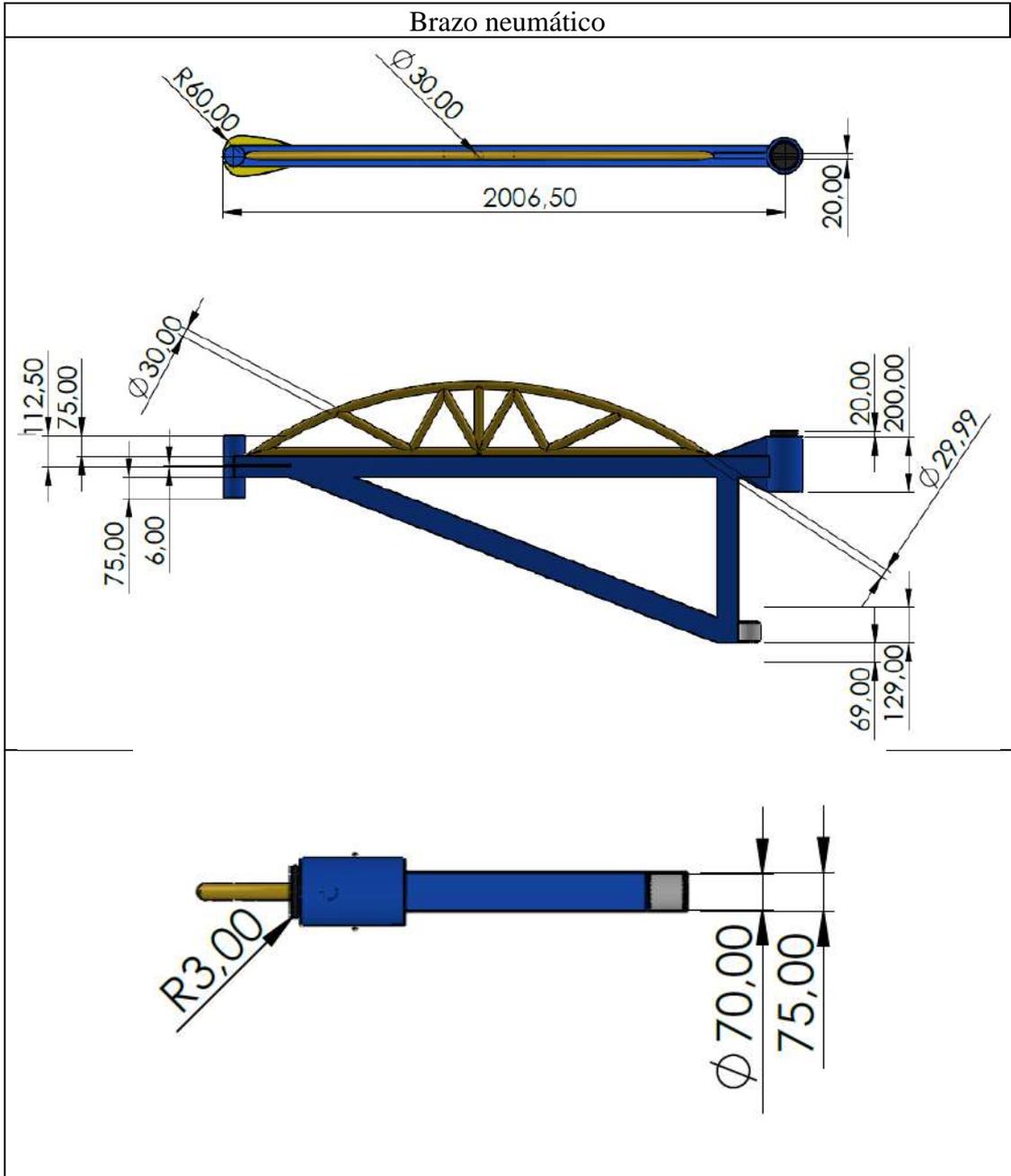


Base para eje del motor y soporte de rueda de tracción

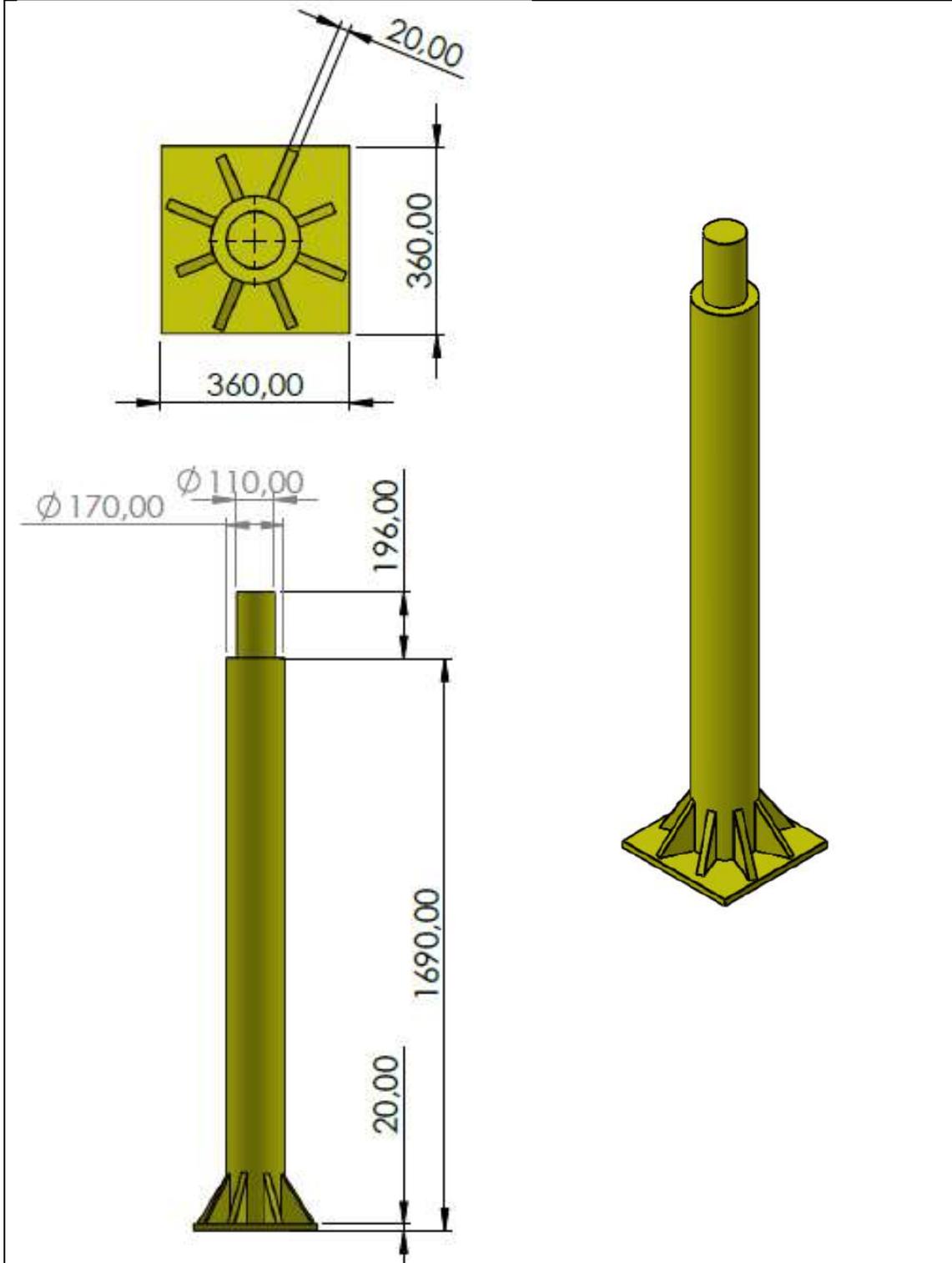


ANEXO J: Planos para la construcción del brazo neumático

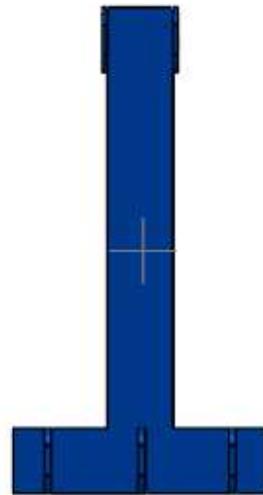
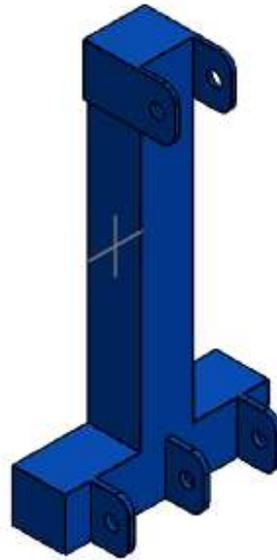
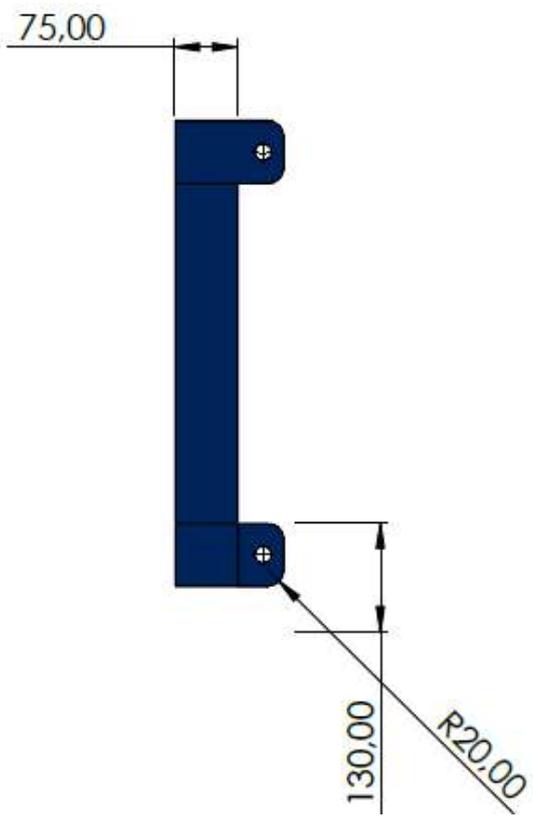
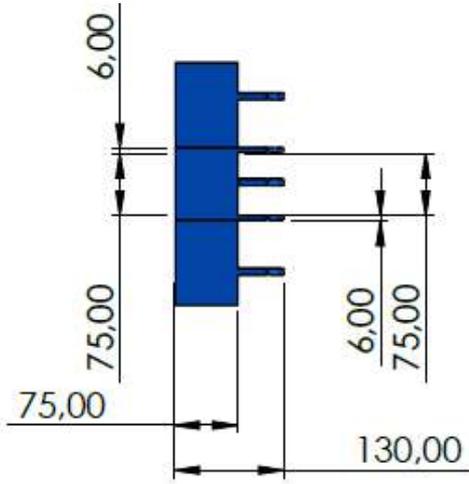
 <p>Escuela Superior Politécnica de Chimborazo</p>	Proyecto:	BRAZO ELEVADOR NEUMÁTICO PALETIZADOR	
	Plano:	BRAZO ELEVADOR	Lámina:
	Asesor:	ING. ANDRES MOROCHO	09
	Dibujado:	WILSON BASTIDAS	
	Ubicación:	TENA - NAPO	
ESCALA:	1:20	Fecha:	06/08/2022



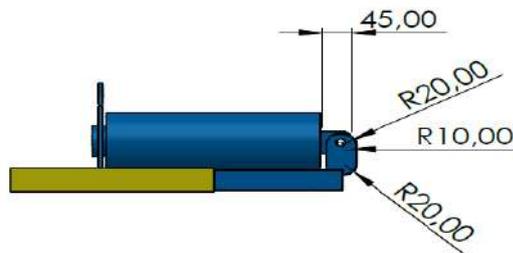
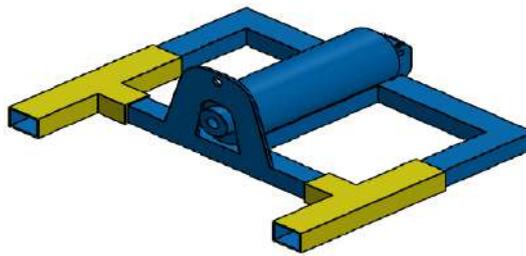
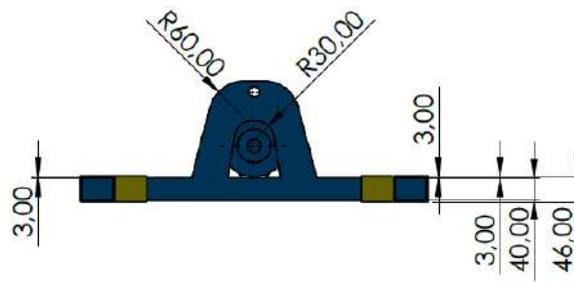
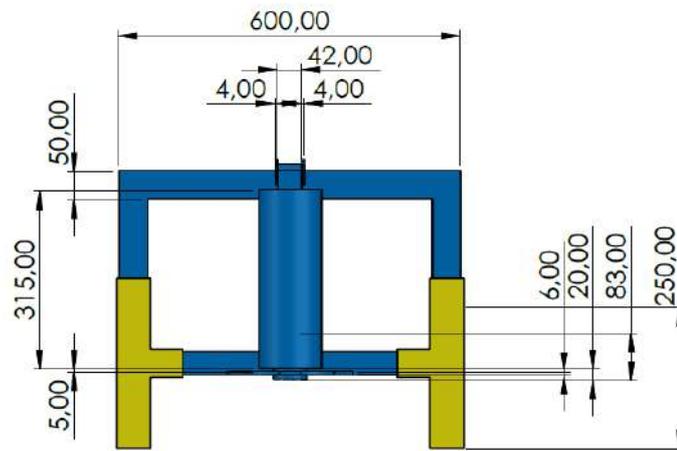
Base de brazo neumático



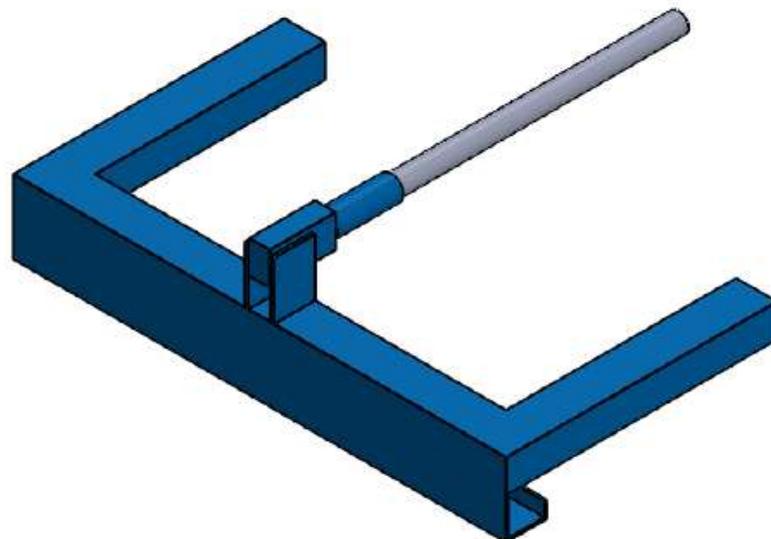
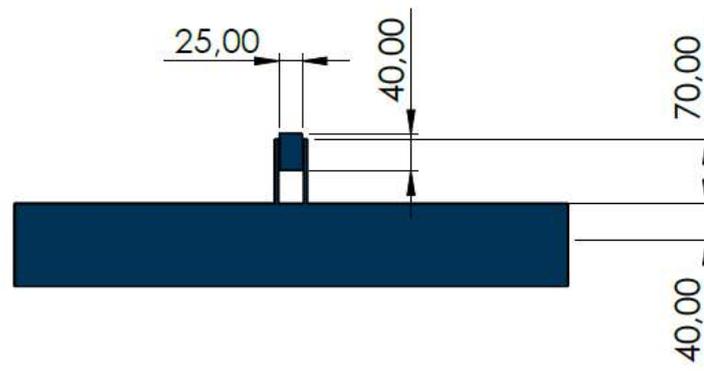
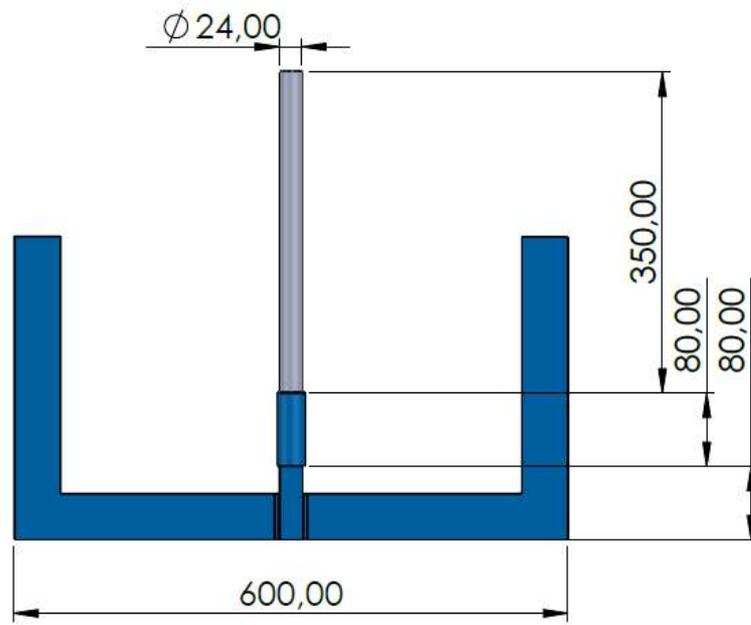
Base de cilindros

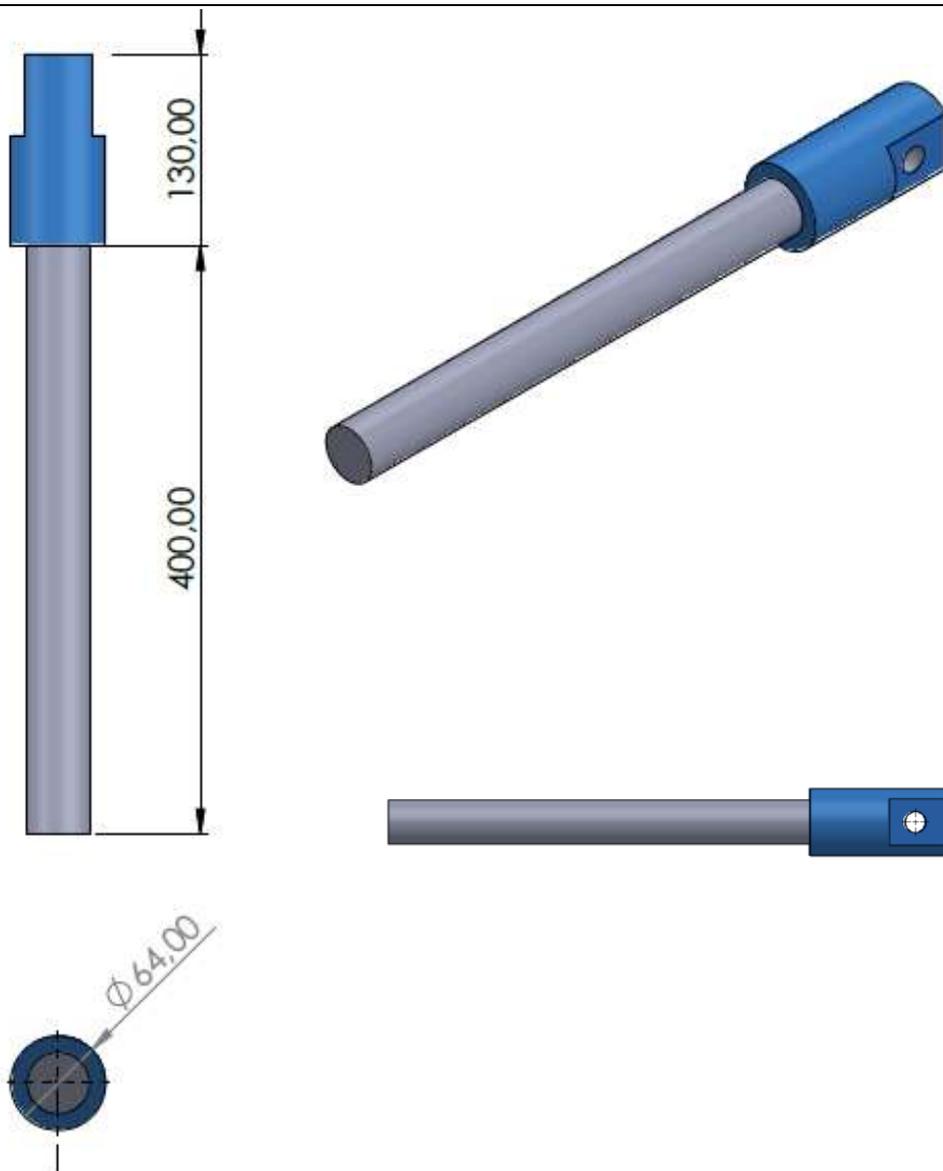
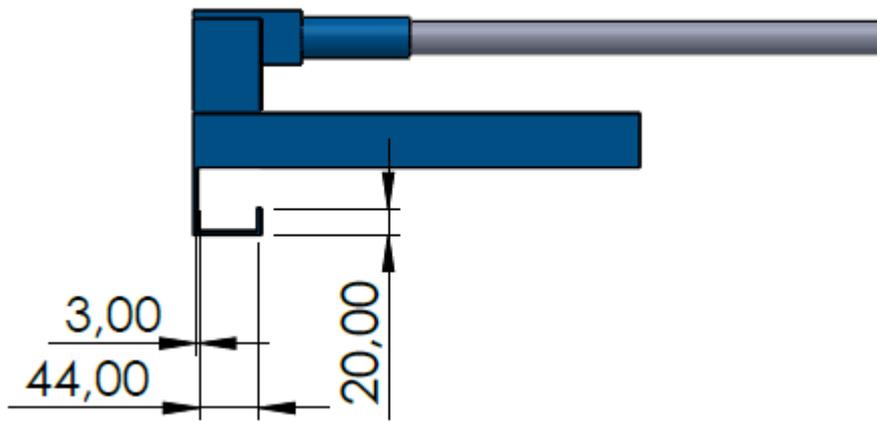


Parte fija de garra

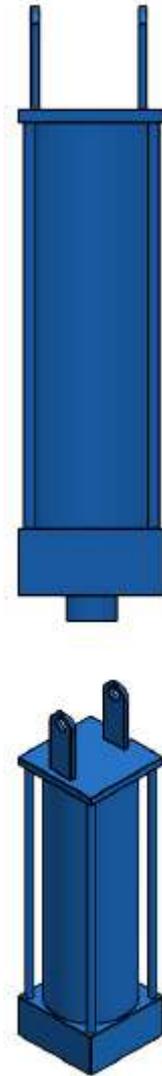
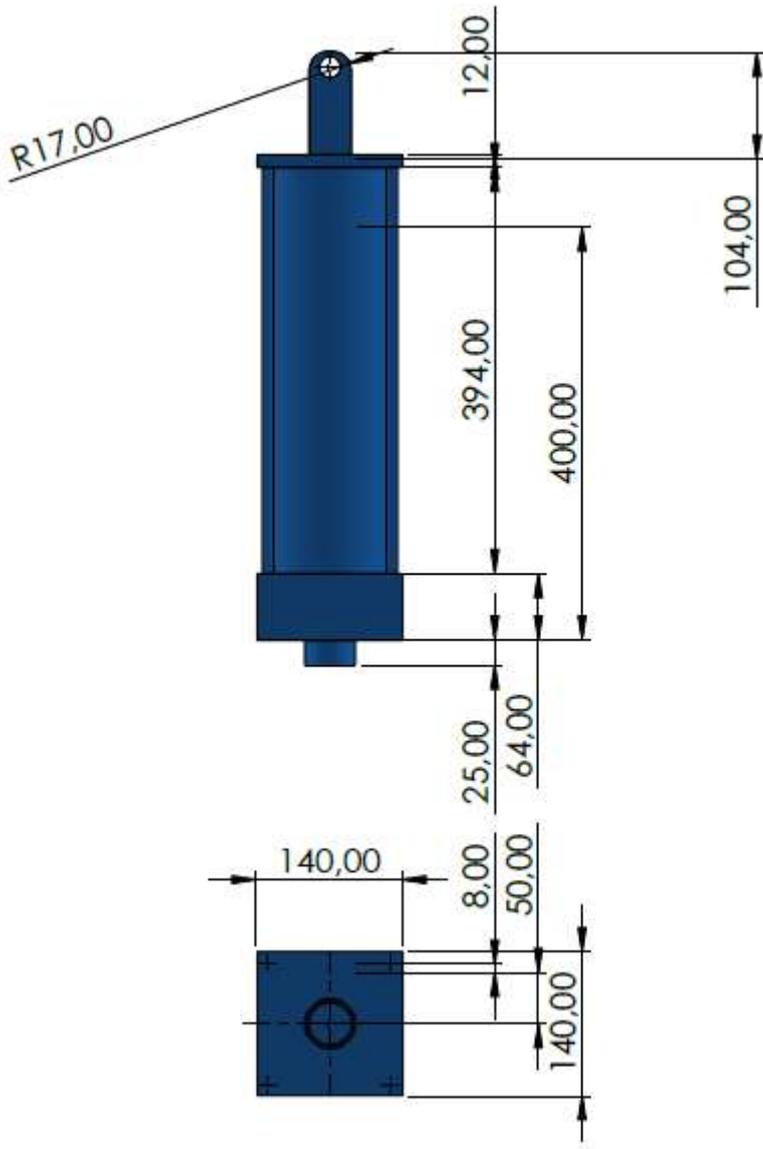


Parte móvil de garra

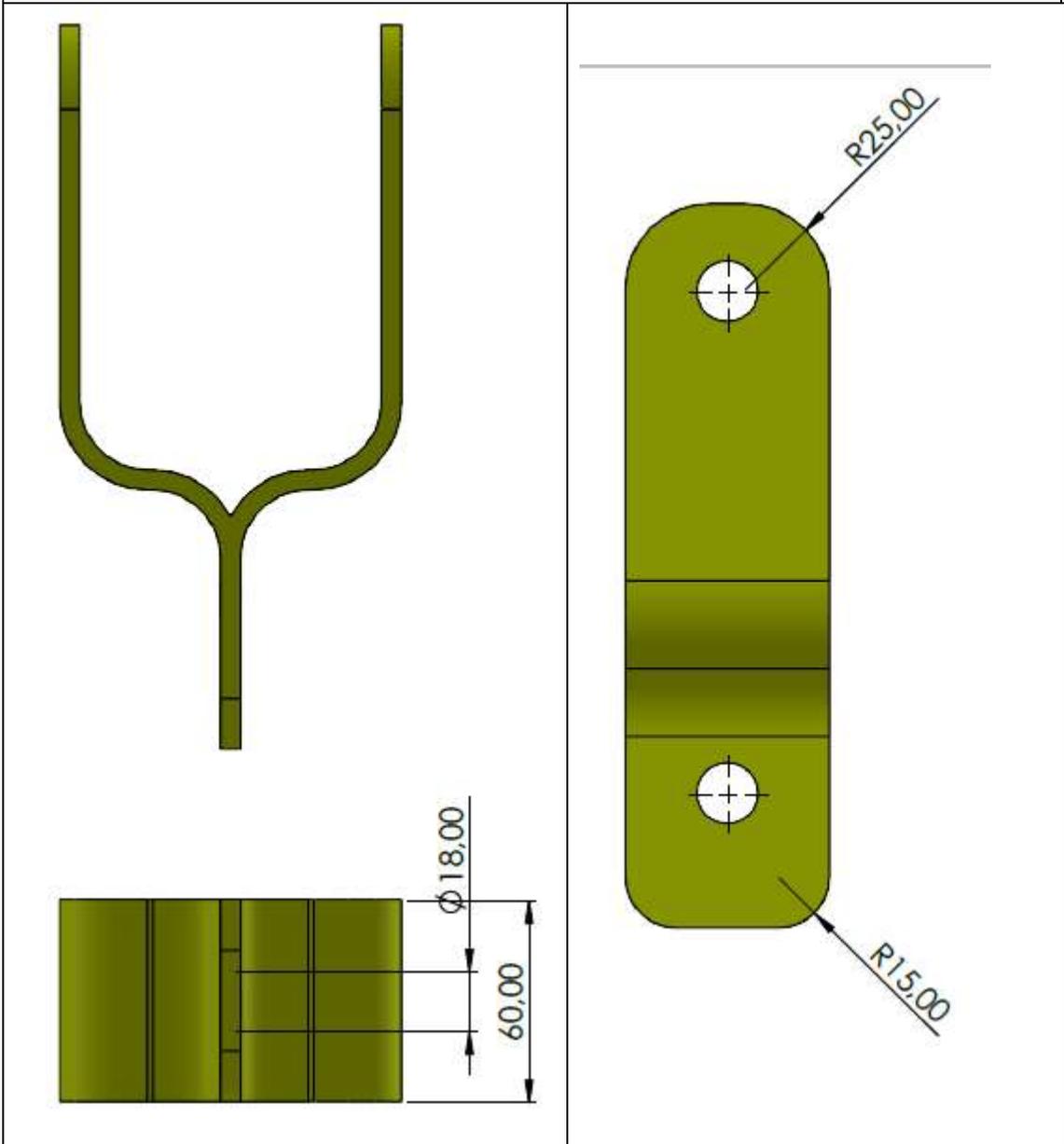




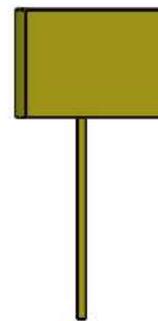
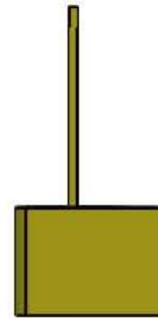
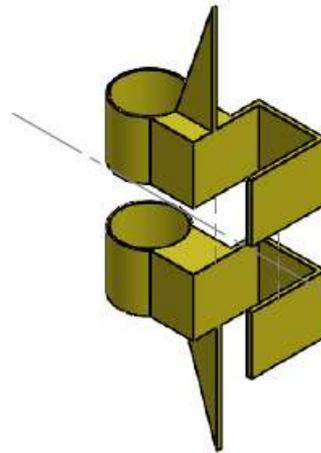
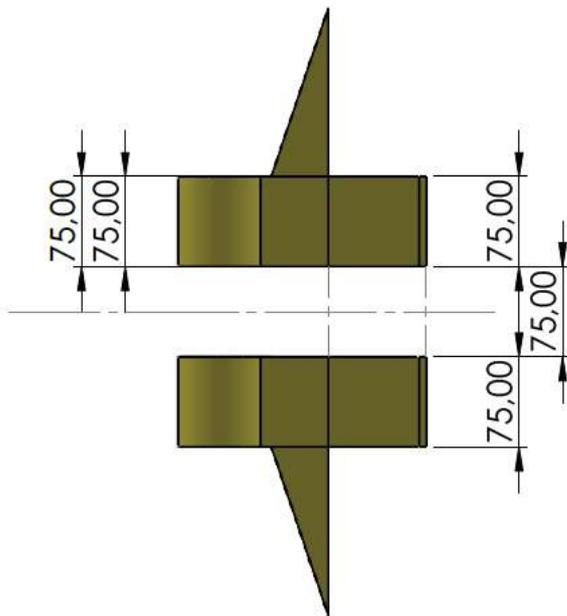
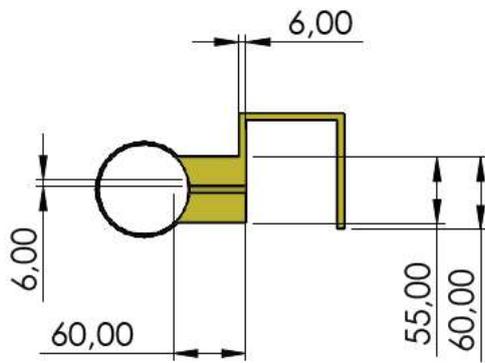
Cilindros neumáticos



Y de sujeción

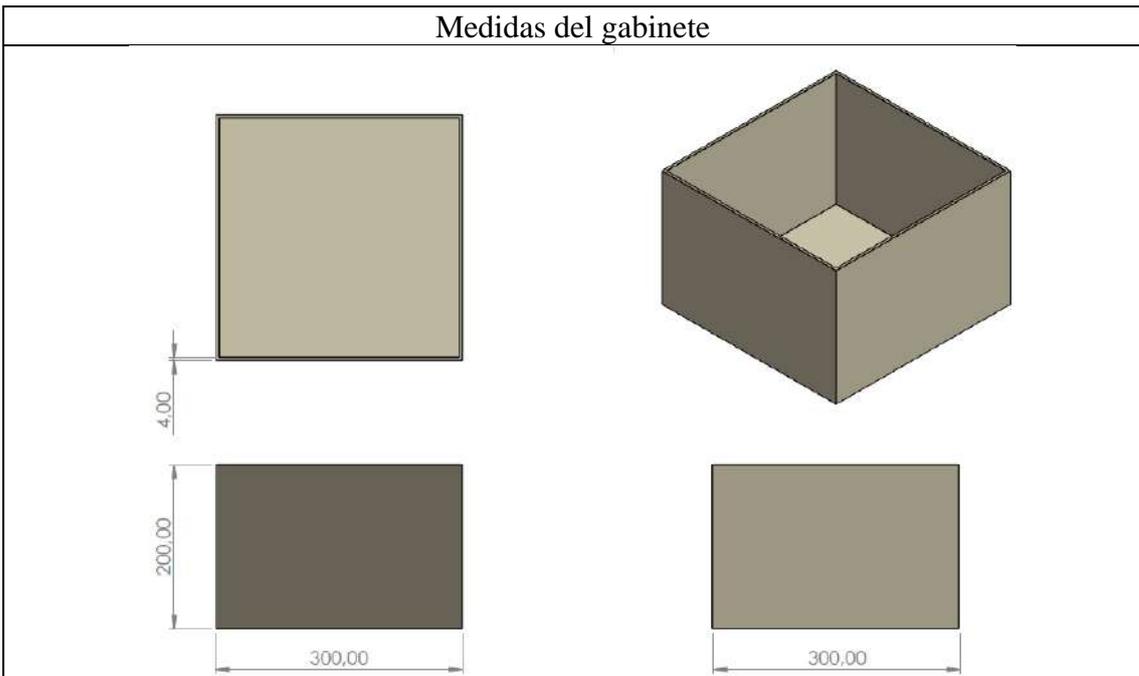
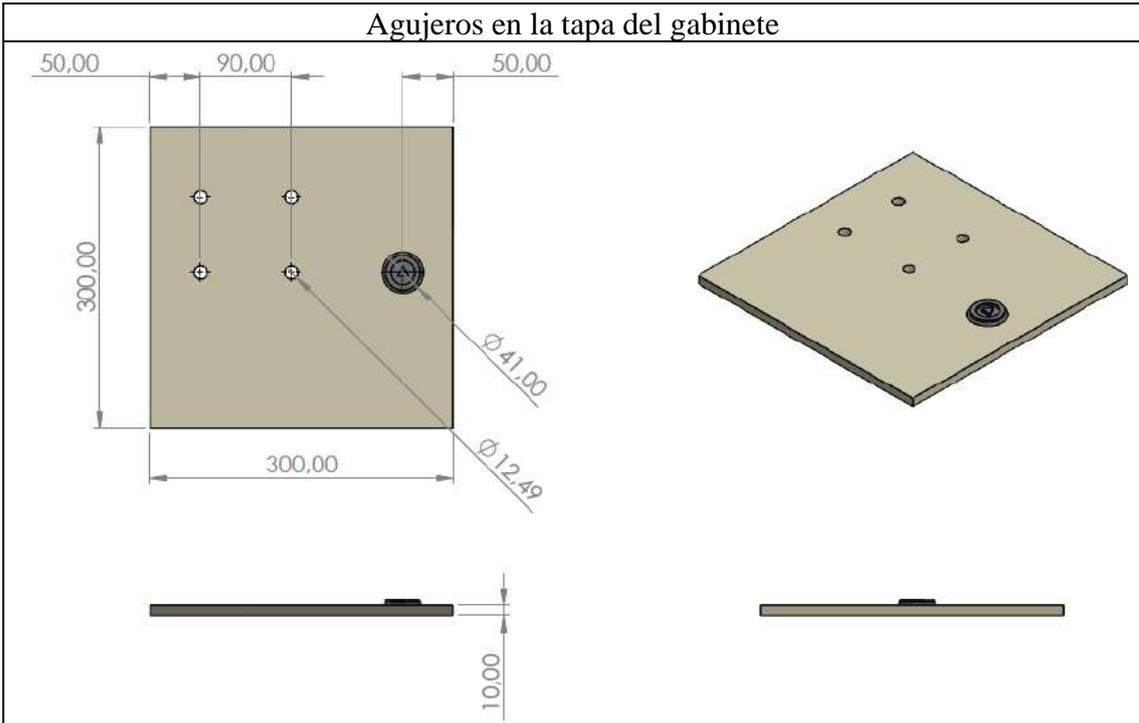


Bisagra



ANEXO K: Planos para perforaciones del gabinete para la caja móvil

 <p>Escuela Superior Politécnica de Chimborazo</p>	Proyecto:	BRAZO ELEVADOR NEUMÁTICO PALETIZADOR	
	Plano:	GABINETE PARA CARRO DE CACAO	Lámina:
	Asesor:	ING. ANDRES MOROCHO	14
	Dibujado:	WILSON BASTIDAS	
	Ubicación:	TENA - NAPO	
ESCALA:	1:5	Fecha:	06/08/2022



ANEXO M: Datos para la prueba de carga máxima

Muestra	Carga de Trabajo [kg]	Levanta la carga		Observaciones
		Sí	No	
1	112	✓		Ninguna
2	113	✓		Ninguna
3	114	✓		Ninguna
4	115	✓		Ninguna
5	116	✓		Ninguna
6	117	✓		Ninguna
7	118	✓		Ninguna
8	119	✓		Ninguna
9	120	✓		Ninguna
10	121	✓		Ninguna
11	122	✓		Ninguna
12	123	✓		Ninguna
13	124	✓		Ninguna
14	125	✓		Ninguna
15	126	✓		Ninguna
16	127	✓		Ninguna
17	128	✓		Ninguna
18	129	✓		Ninguna
19	130	✓		Ninguna
20	131	✓		Ninguna
21	132	✓		Ninguna
22	133	✓		Ninguna
23	134	✓		Ninguna
24	135	✓		Ninguna
25	136	✓		Ninguna
26	137	✓		Ninguna

27	138	✓		Ninguna
28	139	✓		Ninguna
29	140	✓		Ninguna
30	141	✓		Ninguna
31	142	✓		Ninguna
32	143	✓		Ninguna
33	144	✓		Ninguna
34	145	✓		Ninguna
35	146	✓		Ninguna
36	147	✓		Ninguna
37	148	✓		Ninguna
38	149	✓		Ninguna
39	150	✓		Ninguna
40	151	✓		Ninguna
41	152	✓		Ninguna
42	153	✓		Ninguna
43	154	✓		Ninguna
44	155	✓		Ninguna
45	156	✓		Ninguna
46	157	✓		Ninguna
47	158	✓		Ninguna
48	159	✓		Ninguna
49	160	✓		Ninguna
50	161	✓		Ninguna
51	162	✓		Ninguna
52	163	✓		Ninguna
53	164	✓		Ninguna
54	165	✓		Ninguna
55	166	✓		Ninguna
56	167		✓	Se observa que la estructura tiende a flexionarse

57	168		✓	Se observa que la estructura tiende a flexionarse
----	-----	--	---	---

ANEXO N: Certificado de instalación del sistema en Kallari



**ASOCIACIÓN AGRO ARTESANAL DE PRODUCCIÓN DE BIENES
AGRÍCOLAS PECUARIOS Y PISCÍCOLAS DE NAPO KALLARI**

Acuerdo Ministerial No. 03-597 (MRCIP), de diciembre 10 de 2003
Resolución No. SEPS-ROEPS-2013-003677, de Julio 23 del 2013
Tena - Napo - Ecuador
RUC: 1591702021001

Tena, 08 de noviembre de 2022

Presente
De mi consideración:

Con un atento y cordial saludo, por medio de la presente, "Asociación Agro Artesanal KALLARI", nos permitimos notificar que el trabajo de integración curricular denominado: "CONSTRUCCIÓN DE UN BRAZO ELEVADOR NEUMÁTICO PALETIZADOR CONTROLADO DE FORMA MANUAL PARA TRASLADAR CAJA DE CACO FERMENTADO", realizado por **Wilson Daniel Bastidas Barragán** con C.I.: 1501156333 estudiante de la carrera de Electrónica y Automatización de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo dentro de nuestra instalación, ubicada en Napo-Tena, sector huertos familiares, ha sido analizado y probado continuamente hasta comprobar su correcto funcionamiento.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, autorizando al portador dar uso del presente certificado como creyere conveniente

Atentamente,



PRESIDENTE DE LA ASOCIACIÓN AGRO ARTESANAL KALLARI

+593 62847050

+593 987213955

info@kallari.com.ec

www.kallari.com.ec

Calle Huachiyacu y sin nombre. Barrio San Jorge.

Tena - Napo - Ecuador

ANEXO O: Hoja de especificaciones de pinza amperimétrica Fluke 325

Especificaciones

Máximo voltaje entre cualquier terminal y tierra	600 V
Rango	
323	400,0 A
324, 325	(40,00, 400,0) A
Pilas	2 AAA, NEDA 24A, IEC LR03
Temperatura de funcionamiento	-10 °C a +50 °C
Temperatura de almacenamiento	-30 °C a +60 °C
Humedad de funcionamiento	Sin condensación ($\leq 10^{\circ}\text{C}$)
	≤ 90 % de HR (a 10 °C hasta 30 °C)
	≤ 75 % de HR (a 30 °C hasta 40 °C)
	≤ 45 % de HR (a 40 °C hasta 50 °C)
	(sin condensación)
Altitud de funcionamiento	2000 metros
Altitud de almacenamiento	12.000 metros
Tamaño (L x An x Al)	(207 x 75 x 34) mm

Corriente CC con mordaza (325)

Rango	(40,00, 400,0) A
Resolución	(0,01, 0,1) A
Precisión	2,0% \pm 5 dígitos

Voltaje CA

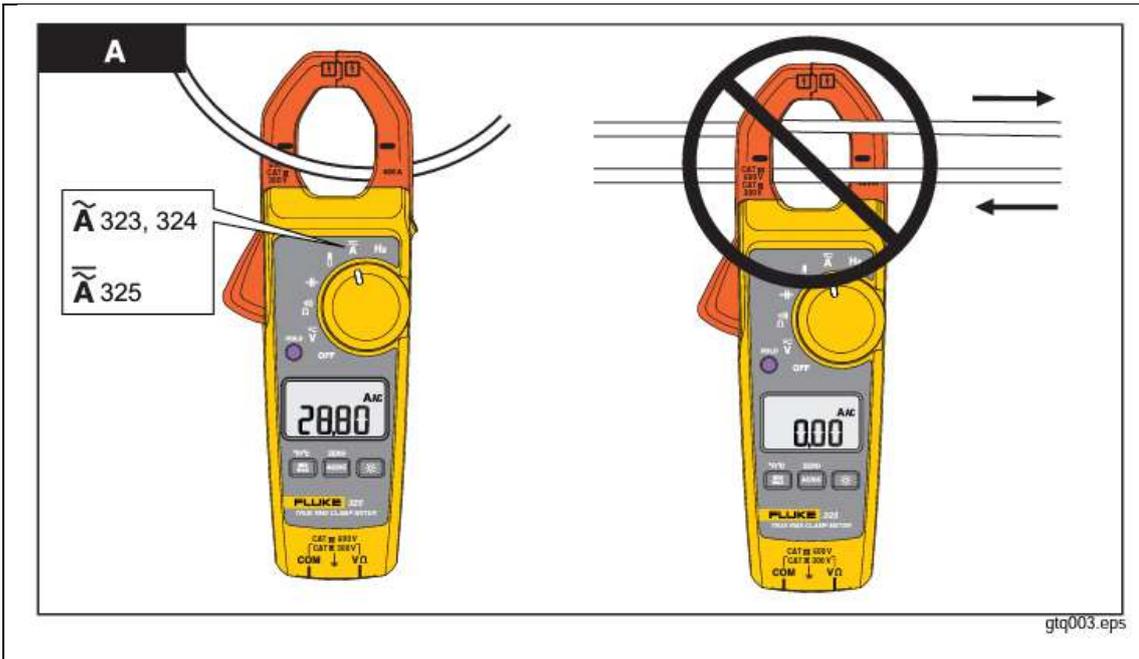
Rango	600,0 V
Resolución	0,1 V
Precisión (45 Hz– 400 Hz)	1,5 % \pm 5 dígitos

Voltaje CC

Rango	600,0 V
Resolución	0,1 V
Precisión	1 % \pm 5 dígitos

Resistencia

Rango	
323, 324	(400,0 4000) Ω
325	(400,0, 4000, 40000) Ω
Resolución	(0,1, 1, 10) Ω
Exactitud	1% \pm 5 dígitos



ANEXO P: Imágenes de construcción del brazo neumático y la caja móvil









**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**



**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE**

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 16 / 12 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR	
Nombres – Apellidos: Wilson Daniel Bastidas Barragán	
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL	
Facultad: Informática y Electrónica	
Carrera: Electrónica y Automatización	
Título a optar: Ingeniero en Electrónica y Automatización	
f. Analista de Biblioteca responsable:	 Ing. Fernanda Arévalo M.

