



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE MECATRÓNICA

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO MECATRÓNICO DE UN SISTEMA
COMANDADO A DISTANCIA PARA EL CONTROL DE GRUPOS
HIDRÁULICOS DE UNA GRÚA ARTICULADA**

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTOR: JOSE EDUARDO GARCIA CANGUA

TUTOR: ING. ÁNGEL EUGENIO CÁRDENAS CADME MSC.

COTUTOR: ING. PAÚL ANDRÉS CHASI PESÁNTEZ MSC.

Cuenca – Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jose Eduardo Garcia Cangua con documento de identificación N° 0105999288; manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 31 de julio del 2025

Atentamente,



Jose Eduardo Garcia Cangua
0105999288


CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Jose Eduardo Garcia Cangua con documento de identificación N° 0105999288, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Dispositivo tecno-lógico: "Diseño de un prototipo mecatrónico de un sistema comandado a distancia para el control de grupos hidráulicos de una grúa articulada", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 31 de julio del 2025

Atentamente,



Jose Eduardo Garcia Cangua

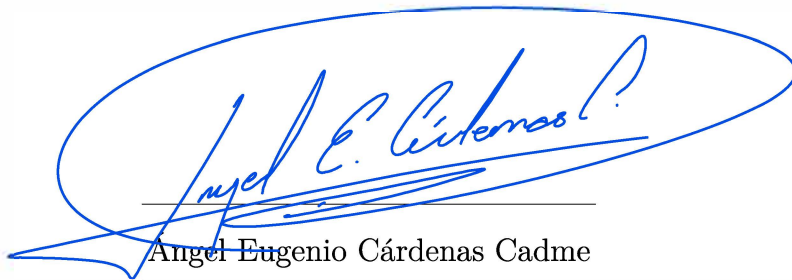
0105999288

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ángel Eugenio Cárdenas Cadme con documento de identificación N° 0301631966, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UN PROTOTIPO MECATRÓNICO DE UN SISTEMA COMANDADO A DISTANCIA PARA EL CONTROL DE GRUPOS HIDRÁULICOS DE UNA GRÚA ARTICULADA, realizado por Jose Eduardo Garcia Cangua con documento de identificación N° 0105999288, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Dispositivos Tecnológicos que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 31 de julio del 2025

Atentamente,



Ángel Eugenio Cárdenas Cadme

0301631966

Dedicatoria

Jose Eduardo Garcia Cangua

A Dios y a la Virgen por nunca apartarme de sus manos, por brindarme fortaleza y sabiduría para superar cada obstáculo presentado a lo largo de este camino académico.

A mis padres y abuelos por sus sacrificios, por guíarme y apoyarme en todo momento. Este logro también es suyo.

A mi familia y amigos, por su apoyo, palabras de aliento y por creer en mi, aún cuando yo mismo dudaba.

A mis docentes y mentores, quienes compartieron generosamente sus conocimientos y me guiaron con paciencia y dedicación a lo largo de mi formación.

Agradecimientos

Jose Eduardo Garcia Cangua

Gustoso de expresar mi agradecimiento a todas las personas y a las instituciones que hicieron posible la realización de este trabajo de titulación.

En primer lugar agradezco a Dios y a la Virgen por brindarme salud y fortaleza para culminar esta etapa académica.

A mis padres Fernanda y Walter y a sus parejas Oscar y Normita por su paciencia, comprensión y amor incondicional, por cada palabra de aliento y por creer en mi, sin ustedes esto no habría sido posible.

A mi familia por cada palabra de apoyo que, a lo largo de este camino fue indispensable, especialmente a mis abuelos Rosita, José, Mario y Gerita, de igual manera a mis hermanos Sebas, Nico, Mili y Martin

A los docentes de la carrera, como mención especial a mi director de tesis, el Ing. Eugenio Cárdenas, al Ing. Paúl Chasi y la Ing. Mónica Romero, por compartir sus conocimientos y contribuir significativamente a mi formación personal.

A mis compañeros por las experiencias compartidas y su apoyo a lo largo de este camino académico.

A mis amigos Sebastián, Juan, Justin, John, Gaby, Pablo, Pao, Juan Carlos, Andrea, Pamela, Kimberly, Thiago, Lizbeth, por todas las experiencias y los momentos compartidos, que sin duda alguna fueron memorables.

Finalmente, agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana, por permitir la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos y facilitar el desarrollo de este trabajo.

A todos, muchas gracias.

Este documento fue realizado enteramente en L^AT_EX

Índice

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	I
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana	II
Certificado de dirección del trabajo de titulación	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	XIII
Abstract	XIV
1. Introducción	1
2. Problema	1
2.1. Descripción del problema	1
2.2. Antecedentes	1
2.3. Importancia y alcances	2
2.4. Delimitación	3
2.4.1. Espacial o geográfica	3
2.4.2. Temporal	3
2.4.3. Sectorial o institucional	4
3. Objetivos	4
3.1. Objetivo general	4
3.2. Objetivos Específicos	4
4. Marco Teórico	4
4.1. Vehículos con dispositivos de montaje y su crecimiento e importancia en la zona	4
4.2. Productos existentes en el mercado	5
4.2.1. Sistemas de control remoto HIAB	5
4.2.2. Control remoto de Palfinger	6
4.3. Factores que inciden en la salud ocupacional e integridad del operador	6

4.3.1.	Fuentes de emisión de ruido generado por motores diésel.	7
4.3.2.	Riesgos asociados a la exposición a gases emitidos por motores diésel	7
4.3.3.	Distancia segura de operación respecto a la carga manipulada	9
4.3.4.	Fatiga y cansancio	10
4.4.	Elementos mecánicos que constituyen el prototipo del sistema	11
4.4.1.	Motor DC	11
4.4.2.	Perno	11
4.4.3.	Tuerca	12
4.4.4.	Acoplamiento y alineación de ejes	13
4.5.	Elementos Electrónicos	16
4.5.1.	Sensor	16
4.5.2.	Controlador	18
4.5.3.	Sistema de emergencia	19
4.5.4.	Conexión de Componentes	21
4.5.5.	Conexión inalámbrica	21
4.6.	Software de programación	23
4.7.	Software de diseño mecánico	23
5.	Marco metodológico	23
5.1.	Establecimiento de parámetros iniciales	23
5.1.1.	Dimensiones de los mecanismos para accionar los mandos hidráulicos de la grúa	23
5.1.2.	Torque requerido para accionar los mandos hidráulicos de la grúa . . .	24
5.1.3.	Diseño de mecanismo	25
5.1.4.	Espacio disponible en la grúa	25
5.2.	Desarrollo de subsistemas	27
5.2.1.	Selección de actuador	27
5.2.2.	Selección del software para el diseño Mecánico	28
5.2.3.	Selección del material de fabricación	28
5.2.4.	Selección del controlador	29
5.2.5.	Selección del software para programar	30
5.2.6.	Selección del mando a distancia	31
5.2.7.	Diseño de subsistema mecánico.	32
5.2.8.	Diseño de subsistema de control.	33
5.2.9.	Diseño de Subsistemas eléctricos/electrónicos.	33

5.2.10. Programación	37
5.3. Funcionamiento del prototipo	40
5.3.1. Armado del prototipo	40
5.3.2. Pruebas de funcionamiento	41
5.3.3. Propuestas de mejoras del prototipo	42
6. Resultados	43
6.1. Se establecen los parámetros iniciales para el diseño del prototipo	43
6.2. Se diseñan los subsistemas para el funcionamiento del prototipo	43
6.3. Se comprueba el funcionamiento del prototipo	44
7. Cronograma	45
8. Presupuesto	47
8.1. Talento humano	47
8.2. Recursos materiales	47
8.3. Herramientas	48
8.4. Transporte	49
8.5. Total de Recursos materiales aproximado	50
9. Conclusiones	50
10. Recomendaciones	51
Referencias	56
ANEXOS	57

Lista de Tablas

1.	Lineamientos de exposición a dióxido de azufre.	8
2.	Concentraciones de CO permisibles	9
3.	Clasificación de Sensores	17
4.	Selección de actuador	27
5.	Selección de software para diseño mecánico	28
6.	Selección de material para los componentes mecánicos	29
7.	Selección de controlador	30
8.	Selección del software de programación	31
9.	Selección de mando a distancia	32
10.	Cronograma de actividades.	46
11.	Recurso de talento humano	47
12.	Recursos materiales	48
13.	Costo aproximado de herramientas	49
14.	Costo aproximado de transporte	49
15.	Costo aproximado de recursos e insumos	50

Lista de Figuras

1.	Ubicación geográfica Grúas García	3
2.	Control HIAB	5
3.	Control PALFINGER	6
4.	Ejemplo de problemática actual	10
5.	Ejemplo de Motor a pasos.	11
6.	Ejemplos de pernos	12
7.	Ejemplo de tuercas	13
8.	Ejemplo de acoplamiento rígido tipo manguito	14
9.	Ejemplo de acoplamiento rígido de platos	14
10.	Ejemplo de acoplamiento rígido tipo manguito partido	15
11.	Ejemplo de acoplamiento flexible metálico	15
12.	Ejemplo de acoplamiento flexible con elemento elástico	16
13.	Ejemplos de microcontroladores PIC en físico	18
14.	Ejemplo físico de ESP32	19
15.	Ejemplo de electroválvula	19
16.	Ejemplo físico de MOSFET	20
17.	Ejemplo físico de optoacoplador	20
18.	Ejemplo de placa PCB	21
19.	Ejemplo gráfico de conexiones inalámbricas	22
20.	Representación simplificada del diseño mecánico	25
21.	Dimensiones del espacio disponible en la grua	26
22.	Diseño mecánico digital	32
23.	Esquema de control	33
24.	Subsistema electrónico de control	34
25.	Subsistema electrónico de potencia	35
26.	Subsistema electrónico de control-potencia	36
27.	Esquemático de PCB	37
28.	Representación gráfica de conexiones	38
29.	Flujograma de programación	39
30.	Subsistema mecánico implementado	41
31.	Comparación mecánica real y digital	45
32.	Código de programación	58
33.	Código de programación	59

34.	Código de programación	60
35.	Código de programación	61
36.	Código de programación	62
37.	Código de programación	63
38.	Código de programación	64

Resumen

El propósito principal de esta tesis es el diseño, desarrollo y validación de un prototipo mecatrónico para un sistema de mando a distancia que controle los grupos hidráulicos de una grúa articulada, específicamente para la empresa "Grúas García", además de cuidar la integridad de sus empleados y clientes, a la vez que se resguarda su maquinaria. El desarrollo de este prototipo mecatrónico busca mejorar la eficiencia operativa de las grúas articuladas, facilitando un control más preciso y seguro de los grupos hidráulicos, lo cual beneficiará directamente las operaciones de la empresa.

Palabras clave: Diseño, Grupos hidráulicos, Eficiencia operativa, Mando a distancia.

Abstract

The main purpose of this thesis is to design, develop, and validate a mechatronic prototype for a remote control system that controls the hydraulic units of an articulated crane, specifically for the company "Grúas García." This prototype protects the safety of its employees and customers while safeguarding its machinery. The development of this mechatronic prototype seeks to improve the operational efficiency of articulated cranes by facilitating more precise and safe control of the hydraulic units, which will directly benefit the company's operations.

Keywords: Design, Hydraulic units, Operating efficiency, Remote control.

1. Introducción

En este proyecto se buscó mejorar el modo de operación de una grúa articulada PALFINGER PK44002 perteneciente a la empresa "Grúas García", mediante el diseño de un prototipo mecatrónico capaz de manipular los grupos hidráulicos por medio de un mando a distancia.

2. Problema

2.1. Descripción del problema

En la actualidad, en la empresa de "Grúas García", sus empleados han acontecido incidentes que han afectado su integridad física, como descargas eléctricas, golpes y siniestros con las grúas y las cargas, entre otras. Adicional, se han presentado reclamos por parte de clientes en torno a la precisión y tiempo de operación del equipo. Lo cual afecta a la operación de la empresa, (García-E., 2024a).

La empresa "Grúas García" de momento posee grúas articuladas, las cuales son operadas de forma manual y se requiere mínimo de dos personas para realizar el izaje y transporte de carga, siendo estos el operador y estibador.

De la misma forma, la escasez de personal capacitado y con suficiente experiencia para realizar labores de manera individual, es otro problema que afecta de manera directa a la empresa, incrementando tiempos de operación, a la vez que disminuye su eficiencia.

Para optimizar recursos humanos, la empresa envía solamente a un operador con experiencia en las actividades, y este al trabajar individualmente cualquier error mínimo implica hacer un mayor esfuerzo físico, y como consecuencia podría repercutir en el bienestar de los empleados de la empresa, (Panamá, 2021).

Se debe aclarar que ya existen sistemas con la capacidad de ser manipulados a distancia, sin embargo, su implementación y mantenimiento tienen costos que superan los seis mil dólares, mismos rubros que la empresa requiere optimizar, (García-E., 2024b).

2.2. Antecedentes

Actualmente, existen factores que pueden afectar a la salud e integridad de los operadores de grúas, como lo son: ruido y gases provenientes del motor, una distancia segura y buena

visibilidad de la carga al momento de realizar el izaje, además de la fatiga y cansancio físico que el operador puede sufrir por exceso de carga laboral, (Soto, 2019) y (NIOSH, 2019).

Hoy en día existen diversos tipos de maquinarias y dispositivos de transporte de carga pesada, entre estos, las grúas articuladas, que originan alternativas como la implementación de dispositivos remotos a distancia mediante avances tecnológicos existentes. Los sistemas actuales emplean actuadores manuales, mismos que se encuentran cerca del camión-grúa, de manera que transforman la actividad laboral del operador en difícil y peligrosa.

Con base a lo ya mencionado, han surgido sistemas que ofrecen trabajar desde una distancia segura, visibilidad sin obstáculos, funciones inteligentes con altos niveles de seguridad y precisión, funciones avanzadas que permitan una labor en sinergia entre operario y grúa, (HIAB, 2024).

Otras características son el aumentar la eficiencia de grúas, con mandos remotos compuestos por 12 frecuencias de radio, permitiendo el funcionamiento de diferentes equipos en una misma obra, además de facilitar la visualización de la carga y un funcionamiento seguro, (PALFINGER, 2023).

Cada clase, diseño o dimensión de grúa producida puede contar con distintos sistemas de control para su manejo, necesitar capacitación específica, criterios de inspección personalizados y variados planes de mantenimiento preventivo, (Gruas Pluma Azul, 2020).

2.3. Importancia y alcances

La importancia para el desarrollo del presente trabajo de titulación, parte de la necesidad de optimizar los recursos que posee actualmente la empresa de “Grúas García”, además de garantizar la seguridad de los operarios de grúas articuladas.

Actualmente, la empresa cuenta con varias grúas, ahora bien, ninguna cuenta con un sistema de operación a distancia. Por lo cual, se busca mejorar la eficiencia en las operaciones y el servicio brindado por la empresa, diseñando un sistema remoto de mando a distancia, (García, 2021).

Se busca cambiar el sistema actual, el cual es únicamente manual a un sistema híbrido, con la capacidad de manipularlo a distancia con un mando a control remoto o desde el banco de mandos fijo de la grúa. Se requiere diseñar un sistema que se conecte de manera mecánica a los mandos de la grúa, con la finalidad que sea poco o nada invasivo, con una posible implementación a futuro para una grúa PALFINGER PK8501.

La grúa articulada PALFINGER PK8501 tiene una capacidad máxima de 5700 kg, un alcance máximo mecánico horizontal de 15,8 m e hidráulico de 11,8, mientras que su alcance

mecánico vertical es de 18,9 m e hidráulico de 15 m. Tiene un peso de 1105 kg, el espacio para montaje es de 0,7 m, por su parte los estabilizadores tienen una apertura de hasta 3,2 m, el torque de giro es de 1 tm, y la grúa opera con una presión máxima de 330 bares, (PALFINGER, 2023).

2.4. Delimitación

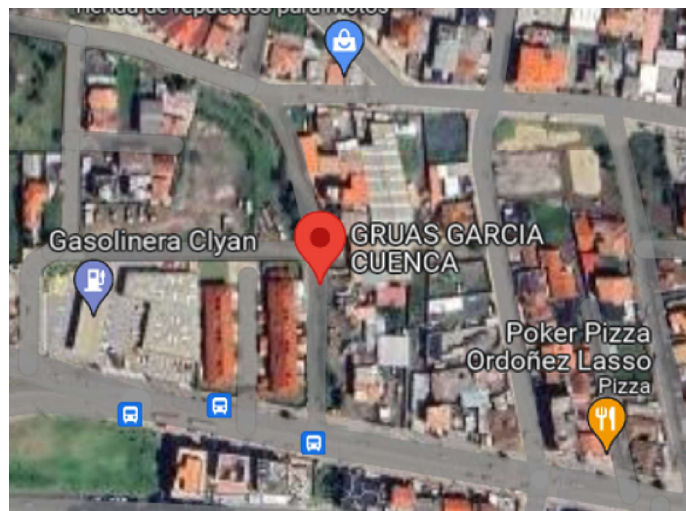
El problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:

2.4.1. Espacial o geográfica

El proyecto se desarrollará en una grúa articulada perteneciente a la empresa de “Grúas García”, ubicada en la ciudad de Cuenca – Ecuador, entre las calles J. Fernández de Córdova y Av. Ordoñez Lasso, como se presenta en la Figura 1.

Figura 1

Ubicación geográfica Grúas García.



Nota: Adaptado de la empresa Grúas García, de Maps (2024)

2.4.2. Temporal

Se dispone de un periodo de tiempo de 240 horas correspondiente a la asignatura de Integración Curricular, aproximadamente cinco meses. Los primeros cuatro meses están desti-

nados a recaudar información, diseñar, realizar planos y esquemas de subsistemas existentes en el prototipo y finalmente el último mes se enfoca en probar el diseño y funcionamiento, a más de la redacción del informe final del trabajo de titulación.

2.4.3. Sectorial o institucional

Este proyecto se llevará a cabo en las instalaciones de la empresa “Grúas García”.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Diseñar un prototipo mecatrónico de un sistema manipulado por medio de mando a distancia para el control de grupos hidráulicos de una grúa articulada para la empresa “Grúas García”.

3.2. Objetivos Específicos

- Establecer los parámetros iniciales para el diseño de un prototipo mecatrónico de un sistema de mando a distancia para el control de grupos hidráulicos de una grúa articulada para la empresa "Grúas García".
- Desarrollar cada uno de los subsistemas que componen el prototipo mecatrónico de un sistema de mando a distancia para el control de grupos hidráulicos de una grúa articulada para la empresa "Grúas García".
- Comprobar el funcionamiento de un prototipo mecatrónico de un sistema de mando a distancia para el control de grupos hidráulicos de una grúa articulada para la empresa "Grúas García".

4. Marco Teórico

4.1. Vehículos con dispositivos de montaje y su crecimiento e importancia en la zona

Con el ingreso de vehículos con bajos costos de aranceles de origen asiático, ensamblados en la Unión Europea, ha incrementado el número de vehículos livianos y pesados en el país, a

su vez aumentando la demanda de camiones tipo grúa, (Cueva, 2022).

El incremento de grúas en la ciudad se debe a que son equipos diseñados para levantar y/o movilizar cargas pesadas, de manera más eficiente, segura y flexible. Son aplicadas en campos de construcción, neumáticos, energía, minería, residuos, además de servicios públicos. En actividades tales como la construcción civil, talleres mecánicos, organización de inventarios u objetos pesados, (Colombiana, 2020).

Todo lo anteriormente mencionado, se refleja en el crecimiento de la ciudad (nuevas construcciones, mudanza de talleres, fábricas y negocios), un claro ejemplo es el incremento de la edificabilidad la cual incrementó en 2024 del 23 al 93,6 por ciento, (Cámara Construcción Cuenca, 2020).

4.2. Productos existentes en el mercado

4.2.1. Sistemas de control remoto HIAB

Existen varios tipos de control remoto de la marca HIAB un ejemplar se muestra en la Figura 2, entre sus características principales se encuentran las siguientes: (HIAB, 2024)

Figura 2

Control HIAB.



Nota: Ejemplo de control remoto de grúa, de (HIAB, 2024)

- Permiten trabajar desde una distancia segura.
- Ofrece visibilidad sin obstáculos.

- Posee funciones inteligentes con un alto nivel de seguridad y precisión.
- Ofrece funciones avanzadas que permitan una labor en sinergia entre el operario y la grúa.
- Garantiza altos niveles de seguridad adaptados a funciones.

4.2.2. Control remoto de Palfinger

El objetivo de su control remoto es aumentar la eficiencia de sus grúas. Su control remoto se encuentra compuesto por 12 frecuencias de radio diferentes, permitiendo el funcionamiento de diferentes equipos en una misma obra, además de evitar que el operador ponga en funcionamiento otra grúa por accidente. Además, facilita la visualización de la carga y un funcionamiento seguro, (PALFINGER, 2023). En la Figura 3, se presenta un control que posee las características mencionadas.

Figura 3

Control PALFINGER.



Nota: Ejemplo de control remoto de grúa, de (PALFINGER, 2023)

4.3. Factores que inciden en la salud ocupacional e integridad del operador

La distancia a la que se encuentra el operador de una grúa articulada operada de forma manual se encuentra afectado por factores como:

- Fuentes de emisión de ruido generado por motores diésel.
- Riesgos asociados a la exposición a gases emitidos por motores diésel.
- Distancia segura de operación respecto a la carga manipulada.

- Efectos de la fatiga y el agotamiento físico en el desempeño del operador.

4.3.1. Fuentes de emisión de ruido generado por motores diésel.

La pérdida de audición se puede dar con base a encontrarse expuesto a sonidos de 85 dBA o más, por un lapso largo de tiempo, lo que puede provocar la pérdida de audición inducida, (NIH, 2022).

Un informe realizado por la OMS, considera a los 70 dB como el límite superior deseable. Así mismo define el ruido provocado por el tráfico a 90 dB, (Soto, 2019).

Por lo tanto, teniendo en cuenta que el ruido máximo que puede emitir un vehículo de carga, con un peso superior a 3.500 kg, es de 90 dB, (Cámara de Industrias y Protección, 2024).

Teniendo en cuenta los datos anteriormente mencionados, quiere decir que el operador de una grúa articulada puede llegar a una pérdida de audición inducida.

4.3.2. Riesgos asociados a la exposición a gases emitidos por motores diésel

A nivel nacional el diésel que se vende posee un alto contenido de azufre, según estudios de la Escuela Politécnica Nacional, en Guayaquil el diésel premium oscila entre 16,4 y 23,3 ppm, mientras que en Quito varía entre 159 a 171 ppm, (Torres y Eduardo Cobos, 2021).

El estar expuesto a dióxido de azufre puede causar daños significativos en la salud de un individuo, motivo por el cual, surgen lineamientos y basándose en la Tabla 1, podemos observar los mismos: (IVHHN, 2024b)

Basándose en la Administración de Seguridad y Salud Ocupacionales (OSHA) para el CO permisible es de 50 ppm en un promedio de 8 horas como máximo en el lugar de trabajo, (NIOSH, 2019).

Las máscaras antigás podrían no ser eficaces frente a niveles elevados de monóxido de carbono (CO), especialmente cuando hay deficiencia de oxígeno. Por esta razón, se aconseja evacuar de inmediato las áreas laborales o residenciales si las concentraciones de CO superan el 1,5 por ciento en volumen, considerando el límite permitido para exposiciones ocupacionales de corta duración. Actualmente, no se dispone de guías ambientales específicas para el CO; sin embargo, existe una guía ocupacional sobre concentraciones de este gas (IVHHN, 2024a), como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 1

Lineamientos de exposición a dióxido de azufre.

	Pais/Institución	Nivel (ppm)	Nivel (µg m-3)	Tiempo promedio	Tipo de línea-miento	Fecha de implementación	Ley de soporte
		1	2620	1 hora		16 April 1973	Ley 20.284
	Argentina	0.3 (0.027)	780	8 horas		16 April 1973	Ley 20.284
		0.096	70	1 month		16 April 1973	Ley 20.284
	Chile	0.031	250	24 horas	Primario	6 March 2003	D.S. N° 113/02
		(0.057), (0.191), (0.267)	80	Annual	Primario	6 March 2003	D.S. N° 113/02
		0.019), (0.057), (0.095)	150 (i), 500 (ii), 700 (iii)	1 hora		January 1996	GB 3095-1996
	China	(0.008), (0.023), (0.038)	50 (i), 150 (ii), 250 (iii)	24 horas		January 1996	GB 3095-1996
		(0.573), (0.153), (0.038)	20 (i), 60 (ii), 100 (iii)	Annual		January 1996	GB 3095-1996
		(0.573)	1500	3 horas	No más de una vez al año	11 January 1982	Decreto No. 2
	Colombia	(0.153)	400	24 horas	No más de una vez al año	11 January 1982	Decreto No. 2
		(0.038)	100	Annual		11 January 1982	Decreto No. 2
		(0.573)	1500	3 horas	No más de una vez al año		Reglamento sobre inmisión de contami- nantes atmosféricos
	Costa Rica	(0.139)	365	24 horas	No más de una vez al año		Reglamento sobre inmisión de contami- nantes atmosféricos
		(0.031)	80	Annual		15 July 1991	Registro Oficial No. 726
	Ecuador	(0.573)	1500	3 horas	No más de una vez al año	15 July 1991	Registro Oficial No. 726
		(0.153)	400	24 horas	No más de una vez al año	15 July 1991	Registro Oficial No. 726
		(0.031)	80	Annual		15 July 1991	Registro Oficial No. 726
		(0.134)	350	1 hora	not to be exceeded more than 24 times in a calendar year	1 January 2005	COUNCIL DIRECTIVE 1999/30/EC

Nota: Se muestra en la tabla los lineamientos existentes en diferentes países incluyendo Ecuador, obtenido de (IVHHN, 2024b)

Tabla 2*Guía ocupacional de concentraciones de CO.*

País/ Institución	Nivel (ppm)	Nivel ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Tiempo promedio	Tiempo lineamiento	Ley de soporte
UE	0.5	9000	8 hora TWA	OEL	Comision Directiva 91/322
Reino Unido	1.5	274000	15 min	MEL	ILV
	0.5	9150	8 hora TWA	MEL	ILV
	3	540000	15 min	STEL	NIOSH
EEUU	>0.5	9000	8 hora TWA	PEL	OSHA
	0.5	9000	10 hora TWA	REL	NIOSH

Nota: Guía ocupacional de concentraciones de CO permisibles en diferentes países, obtenido de (IVHHN, 2024a)

Teniendo en cuenta que en las ciudades principales existe una alta concentración de azufre en el diésel, siendo en Quito muy superior a lo permisible, se puede deducir que el permanecer mucho tiempo expuesto a dióxido de azufre, puede causar enfermedades laborales e incluso la muerte.

4.3.3. Distancia segura de operación respecto a la carga manipulada

Teniendo en cuenta diferentes reglas e instrucciones que se deben de seguir para la operación y manipulación de una grúa articulada con carga son:

- El observar la carga en todo momento,
- No permitir que una persona se encuentre de pie o trabaje debajo de la carga,
- Mantener la carga lo más cerca al centro de giro,
- Mantener una distancia lejana de terrenos o bancos peligrosos,
- Otros.

En este apartado se hace un listado de recomendaciones que tienen una relación más estrecha con el título del mismo, (Grúas y Equipos García, 2022).

Se recomienda tener un área de trabajo sin obstrucciones, es decir, que se encuentre despejada y sea amplia, con la finalidad de precautelar propiedades circundantes, (Gruas Pluma Azul, 2020).

Sin embargo, lo anteriormente mencionado se dificulta en nuestro medio, teniendo en cuenta que Cuenca se encuentra en un constante crecimiento en cuanto a fábricas e industrias pequeñas, y sabiendo que no siempre los espacios donde están ubicados son amplios y despejados, requiere de una mayor maniobra por parte del operador, y evitar tanto daños físicos para el personal como para la carga y bienes que existan alrededor. En la Figura 4, se evidencia lo anteriormente mencionado.

Figura 4

Ejemplo de problemática actual.



Nota: Se muestra una problemática actual, en donde el contenedor se encuentra elevado a 3 metros del suelo y los mandos se encuentran ubicados dentro del círculo rojo en donde indica la imagen, poniendo en riesgo la integridad del operador, de autoría propia.

4.3.4. Fatiga y cansancio

Con base en una encuesta realizada a diferentes operadores y dueños de grúas articuladas, se dio a conocer esta problemática de fatiga y cansancio al no contar con un dispositivo de mando a distancia para una grúa articulada, de momento la solución es enviar a un estibador quien ayude al operador de la grúa, pero no siempre se encuentra personal con experiencia, dificultando aún más una actividad, (García-E., 2024b).

4.4. Elementos mecánicos que constituyen el prototipo del sistema

Se definen como elementos simples que en conjunto conforman una máquina, misma que para considerarla funcional debe de moverse, generando velocidades, trayectorias y fuerzas.

4.4.1. Motor DC

Es una máquina que transforma energía eléctrica en mecánica, dando origen a un movimiento rotacional por medio de un campo magnético. Los motores DC poseen un par de arranque alto, además de un amplio rango para el control de velocidad. Son bastante usados en la industria, debido al fácil control de variables y menor costo en comparación con los motores CA. Ejemplos de motores DC son: (Cotton, 2021)

- Motor a pasos: posee un funcionamiento preciso y de fácil control de posición tanto del rotor como de su velocidad de rotación, también posee un par motor alto, además de un rápido cambio de sentido de giro y, al ser carente de escobillas, representa una alta durabilidad mecánica, (Elektronik, 2020). En la Figura 5, se evidencia un motor a pasos.

Figura 5

Ejemplo de motor a pasos.



Nota: Se muestra un motor a pasos Nema 23, de (Amazon, 2019).

4.4.2. Perno

Se define como pieza metálica cilíndrica y alargada, usada para ensamblar y unir diferentes superficies. Para su funcionamiento, es indispensable el uso de tuercas. Los tipos de clasificación

de pernos existentes son: (Aceromafe, 2023)

- Por tipo de material
- Por el modo de sujeción
- Por la forma de la cabeza
- Por el tipo de rosca
- Por tamaño

Diferentes tipos de pernos se presentan en la Figura 6.

Figura 6

Ejemplos de pernos.



Nota: Se muestran ejemplos de tipos de pernos existentes en el mercado, de (Magalhães, 2024).

4.4.3. Tuerca

Es un componente que presenta un agujero roscado, el mismo que permite que un perno o tornillo se ajuste. Requiere de la presencia de un perno que sea compatible para su

funcionamiento. Los tipos de clasificación son similares al de los pernos como: (Aceropedia, 2021)

- Por tipo de material
- Por resistencia
- Por tamaño
- Por el tipo de rosca

Algunos tipos de tuercas se presentan en la Figura 7.

Figura 7

Ejemplo de tuercas.



Nota: Se muestra ejemplos de diferentes tuercas existentes en el mercado, de (Huang, 2024).

4.4.4. Acoplamiento y alineación de ejes

Es común que se requiera de conectar dos ejes en una máquina, motivo por el cual surgen este tipo de acoples: (UDC, 2024)

- Acoplamiento rígido: Conexión fija entre ambos ejes con alta precisión y par de potencia, pero no permite movimiento entre los dos ejes, requiere lubricación con frecuencia y no absorbe vibraciones. Como ejemplo se presentan en las figuras de la 8, a la 12

- Manguito:

Figura 8

Ejemplo de acoplamiento rígido tipo manguito.

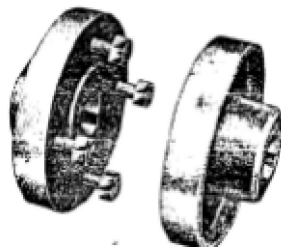


Nota: Se muestra un ejemplo de acoplamiento de tipo manguito enterizo, de (Pérez, 2008).

- Rígido de platos:

Figura 9

Ejemplo de acoplamiento rígido de platos.



Nota: Se muestra un ejemplo de acoplamiento rígido de platos, de (Pérez R. y Lizana C., 2014).

- Manguito partido:

Figura 10

Ejemplo de acoplamiento rígido tipo manguito partido.



Nota: Se muestra un ejemplo de acoplamiento rígido de tipo manguito partido, de (Pérez, 2008).

- Acoplamiento flexible: Son capaces de compensar desalineaciones y son usados en aplicaciones de rápido arranque de maquinaria.
 - Flexibles metálicos:

Figura 11

Ejemplo de acoplamiento flexible metálico.



Nota: Se muestra un ejemplo de acoplamiento flexible de fuelle helicoidal, de (TECmikro, 2025a).

- Flexibles con un elemento elástico:

Figura 12

Ejemplo de acoplamiento flexible con elemento elástico.



Nota: Se muestra un ejemplo de acoplamiento flexible de manguitos de goma, de (Pérez R. y Lizana C., 2014).

4.5. Elementos Electrónicos

4.5.1. Sensor

Son dispositivo con la capacidad de detectar diferentes tipos de materiales y enviar una señal que permita continuar un proceso, (UTA, 2011). En la Tabla 3 presenta una clasificación sistemática de sensores basada en tres criterios fundamentales: magnitud detectada, tipo de transductor empleado y el tipo de señal de salida generada. Esta clasificación es esencial para seleccionar adecuadamente los sensores en función del fenómeno físico a medir y del sistema de adquisición de datos al que serán integrados. Esta tabla permite entender las diferentes tecnologías existentes para la obtención de datos físicos y su compatibilidad con los sistemas de monitoreo. Es imprescindible elegir adecuadamente el tipo de sensor, debido a que impacta directamente en la precisión, velocidad de respuesta, robustez y costo del sistema.

En aplicaciones de ingeniería mecatrónica, esta información es crucial para el diseño de sistemas de automatización, robótica, instrumentación y control industrial.

Tabla 3*Clasificación de Sensores.*

Magnitud Detectada	Transductor	Señal salida
Posición lineal o angular	Finales de carrera Potenciómetros Encoders (absolutos/ incrementales)	Todo-Nada Analógica Digital
Pequeños desplazamientos o deformaciones	Transformadores diferenciales (LVDT) Galgas extensiométricos	Analógica Analógica
Velocidad lineal o angular	Dinamos tacométricos Encoders (absoluto/ incremental) Detectores inductivos	Analógica Digital Digital
Aceleración	Acelerómetros Sensores de velocidad + calculador	Analógica Digital
Fuerza y par	Medición indirecta (mediante galgas o transformadores diferenciales)	Analógica
Nivel	Flotador + detector desplazamiento Capacitivos Ultrasonidos	Analógica Analógica Digital
Presión	Membrana + detector da desplazamiento Piezoeléctricos	Analógica Analógica
Caudal	Presión diferencial (Diafragmas / tubos de Venturi) De turbina Magnético	Analógica Analógica Analógica

Nota: En esta tabla se visualiza la clasificación de diversos sensores, según la magnitud que se requiera medir, de (Arellano, M. y Granizo, S., 2021).

4.5.2. Controlador

Se define como aquel que realiza funciones lógicas, secuencial y combinacional, por medio de una programación adecuada, la cual es recibida ya sea por PC o mediante teclas que se encuentran en el dispositivo mismo, (Álvarez, 2004).

- Microcontrolador PIC: Dispositivos integrados que combinan un procesador, una memoria, además de periféricos de entrada y salida en un solo componente. Permite controlar sistemas electrónicos de forma eficiente y compacta. Son usados tanto en la industria como en proyectos académico, (Soto A. y Castillo W., 2024).

Figura 13

Ejemplos de microcontroladores PIC en físico.



Nota: Se muestran ejemplos de microcontroladores PIC, de (Sánchez, 2012).

- ES32: Es una versión mejorada de placas anteriores, con conexión Wi-Fi y bluetooth, es un microcontrolador de bajo consumo eléctrico. Posee un amplificador de potencia y filtros receptores de ruido para las conexiones inalámbricas, (Jamal, 2020). En la figura 14, se muestra un controlador ESP32 WROOM.

Figura 14

Ejemplo físico de ESP32.



Nota: Se muestra un ejemplo físico de ESP32 WROOM, de (Jamal, 2020).

4.5.3. Sistema de emergencia

Para precautelar la integridad del operador, además de los bienes físicos de la empresa proveedora de servicio como del cliente, se han tenido en cuenta los siguientes componentes:

- **Electroválvula**

Dispositivo usado con el fin de controlar el flujo de aire comprimido. Funciona mediante pulsos eléctricos, los mismos que cuando se encuentra en un componente denominado selenoide, generan un campo magnético que desplaza un componente mecánico conocido como carrete o pistón, permitiendo de este modo abrir o cerrar la válvula, de (KOHEN, 2023). Se presenta una electroválvula real en la figura 15.

Figura 15

Ejemplo de electroválvula.



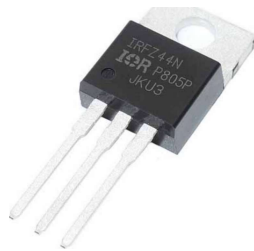
Nota: Se muestra un ejemplo de una electroválvula 3/2, de (Pustjens, 2024).

- MOSFET

Se denominan así debido a sus siglas en inglés (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect-Transistor), es un transistor, el cuál regula una salida de voltaje en base a una tensión de entrada, de (López, 2020). En la figura 16, se presenta un ejemplo de MOSFET.

Figura 16

Ejemplo físico de MOSFET.



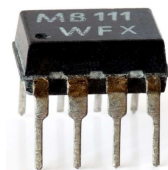
Nota: Se muestra un ejemplo de un MOSFET de encapsulado IRFZ44N, de (Electrostore, 2025).

- Optoacoplador

Se define como un circuito electrónico, el cuál funciona como un interruptor, es decir, permite la conexión de dos circuitos que funcionan con diferentes tensiones. Son aplicados en cargas que podrían inducir ruido eléctrico al sistema de control, de (Estrada, 2017). En la figura 16, se presenta un ejemplo de optoacoplador.

Figura 17

Ejemplo físico de optoacoplador.



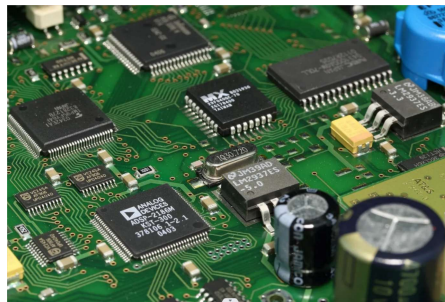
Nota: Se muestra un ejemplo de optoacoplador de encapsulado DIL-8, de (Wikipedia contributors, 2024).

4.5.4. Conexión de Componentes

- Placa PCB: Por sus siglas (Printed Circuit Board en inglés), puede traducirse como Placa de Circuito Impreso, es un circuito en el cual sus componentes y conductores se encuentran dentro de una estructura mecánica. Se conectan mediante tazas de cobre, terminales, disipadores de calor y conductores planos, (Peterson, 2020), tal como se evidencia en la figura 15.

Figura 18

Ejemplo de placa PCB.



Nota: Se muestra una placa PCB en la cual se encuentran diversos componentes electrónicos soldados a la misma, no se observan cables pero si pequeñas tazas de cobre que recorren la placa, de (Antala, 2019).

4.5.5. Conexión inalámbrica

En informática y telecomunicaciones, una red inalámbrica es un tipo de conexión entre computadoras, la cual ocurre mediante ondas de espectro electromagnético. Se clasifican según: (Equipo editorial, Etecé, 2023)

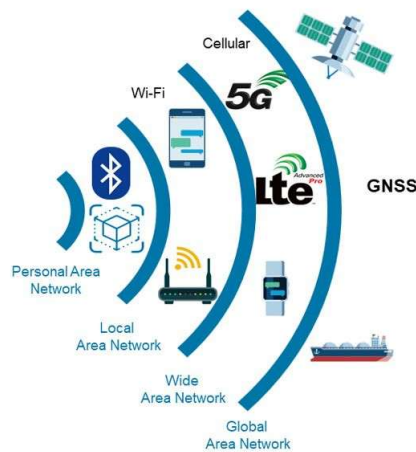
- Área de alcance:
 - WPAN: Traducido como Red Inalámbrica de Área Personal (rango máximo de 10m. Ejemplo Bluetooth, ZigBee, etc).
 - WLAN: Traducido como Red Inalámbrica de Área Local (rango mayor con uso de repetidoras. Ejemplo WiFi).
 - WMAN: Traducido como Red Inalámbrica de Área Metropolitana (rango máximo 20 Km).

- WWAN: Traducido como Red Inalámbrica de Área Amplia (usadas en telefonía celular. Ejemplos de tecnología GPRS, EDGE, GSM, 3G, 4G, 5G).
- Rango de frecuencias:
- Microondas terrestres: Emiten señales con varios kilómetros de alcance. Frecuencias entre 1 y 300 GHz.
 - Microondas satelitales: Operan entre dos o más estaciones base, con la ayuda de un satélite que se encuentra en la atmósfera y poseen un alcance y velocidad mayores.
 - Infrarojos: Usan luz infrarroja no coherente, que al ser reflejada en una superficie adecuada alcanza de 300 GHz y 384 THz de velocidad, pero no atraviesa paredes.
 - Ondas de radio: Usa ondas de diferentes frecuencias (AM, FM, HF, VHF) para emitir y recibir información, pero se pierde dependiendo de la distancia que se encuentre el receptor del emisor.

En la figura 16, se presentan de manera gráfica rangos de señales con base en la distancia a la que llegan,

Figura 19

Ejemplo gráfico de conexiones inalámbricas.



Nota: Se presenta un ejemplo gráfico de conexiones inalámbricas existentes, de (MathWorks, 2024).

4.6. Software de programación

Se define como el conjunto de herramientas usadas para desarrollar, programar o crear programas y/o aplicaciones informáticas. Se puede programar mediante diferentes tipos de lenguaje, los cuales cuentan con un editor de texto y un compilador, mínimamente. Existen tres categorías diferentes de software, como lo son:

- Software de sistema: Permite gestionar y administrar recursos que tienen relación con la memoria, discos, dispositivos de comunicaciones, puertos y periféricos.
- Software de programación: Conjunto de herramientas que permiten desarrollar programas informáticos por medio del uso de diversos lenguajes de programación o bases de datos, son editores de texto, compiladores, depuradores, intérpretes y enlazadores.
- Software de aplicación: Permite la realización de tareas específicas, en su mayoría mediante una interfaz visual de alto nivel (GUI).

4.7. Software de diseño mecánico

Se lo conoce también como Automatización del diseño mecánico (MDA), el cual facilita a los ingenieros y diseñadores crear dibujos técnicos complejos, a la vez que transmiten información sobre las especificaciones tanto de fabricación como de ingeniería de un producto o componente determinado.

5. Marco metodológico

5.1. Establecimiento de parámetros iniciales

Con el fin de establecer los parámetros iniciales para el desarrollo del proyecto se tuvo en cuenta las características físicas, además de los requerimientos planteados por la empresa, los cuales son:

5.1.1. Dimensiones de los mecanismos para accionar los mandos hidráulicos de la grúa

El mecanismo funciona con base en un mecanismo de eslabones, con la finalidad de disminuir la fuerza requerida para accionar un mando, motivo por el cual se tuvo en cuenta las dimensiones de dichos mecanismos.

5.1.2. Torque requerido para accionar los mandos hidráulicos de la grúa

Para mover el mecanismo que acciona las válvulas hidráulicas de la grúa se debe de aplicar una fuerza, la cual fue calculada de manera empírica, con la ayuda de una balanza colgable.

$$F = 3\text{Kg} * 9,81 \text{ m/s}^2$$
$$F = 29,43\text{N}$$

- Torque necesario: J

$$J = 29,43\text{N} * 0,105\text{m}$$
$$J = 3,1\text{Nm}$$

- Peso de perno y tuerca

$$\text{Peso perno} = 0,15 \text{ Kg}$$
$$\text{Peso tuerca} = 0,065 \text{ Kg}$$
$$\text{Peso total} = 0,15 \text{ Kg} + 0,065 \text{ Kg}$$
$$\text{Peso total} = 0,2 \text{ Kg/pieza}$$

$$1 \text{ Kg} * f = 1\text{Kg} * 9,81\text{m/s}^2$$
$$1 \text{ Kg} * f = 9,81 \text{ N}$$

- Para este caso

$$4 \text{ Kg} * 9,81\text{m/s}^2$$
$$\text{Kg} * f = 39,24 \text{ N}$$

- Teniendo en cuenta la distancia

$$\text{distancia: } 0,211\text{m}$$
$$\text{Torque necesario} = 6,21 \text{ N} * \text{m}$$

- Para calcular el Esfuerzo normal

$$\text{Esfuerzo Normal} = (34,34 * \text{N}) / ((\pi/4) * d^2)$$
$$\text{Esfuerzo Normal} = (34,34 * 4) / ((\pi/4) * 0,000144)$$
$$\text{Esfuerzo Normal} = 303632,26 \text{ Pa}$$

- Para calcular el Esfuerzo cortante

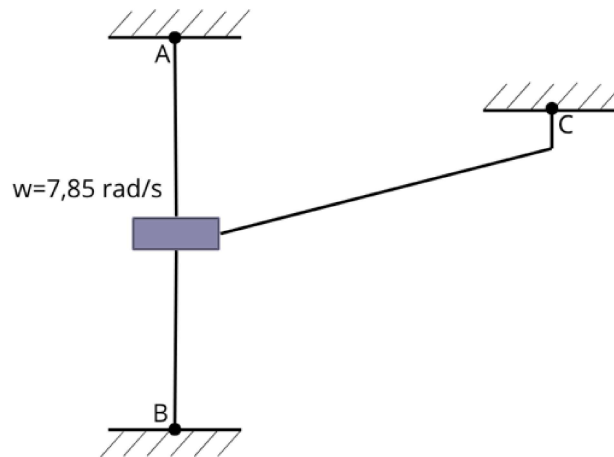
$$\text{Esfuerzo Cortante} = (34,34 * \text{N}) / (2 * \pi * r * a)$$
$$\text{Esfuerzo Normal} = (34,34 * 4) / (0,019\text{m} * \pi * 0,02)$$
$$\text{Esfuerzo Normal} = 28765,16 \text{ Pa}$$

5.1.3. Diseño de mecanismo

En la figura 17 se muestra una representación simplificada del mecanismo, el cual cuenta con solamente un grado de libertad, y es de tipo tornillo.

Figura 20

Representación simplificada del diseño mecánico.



Nota: Se muestra el sistema simplificado del mecanismo del prototipo del sistema.

- Para calcular la velocidad lineal se tiene que:

$$v = w * p$$

v: velocidad lineal

w: velocidad angular

p: paso del tornillo

$$v = (7,85 \text{ rad/s}) * (1,5 \text{ mm})$$

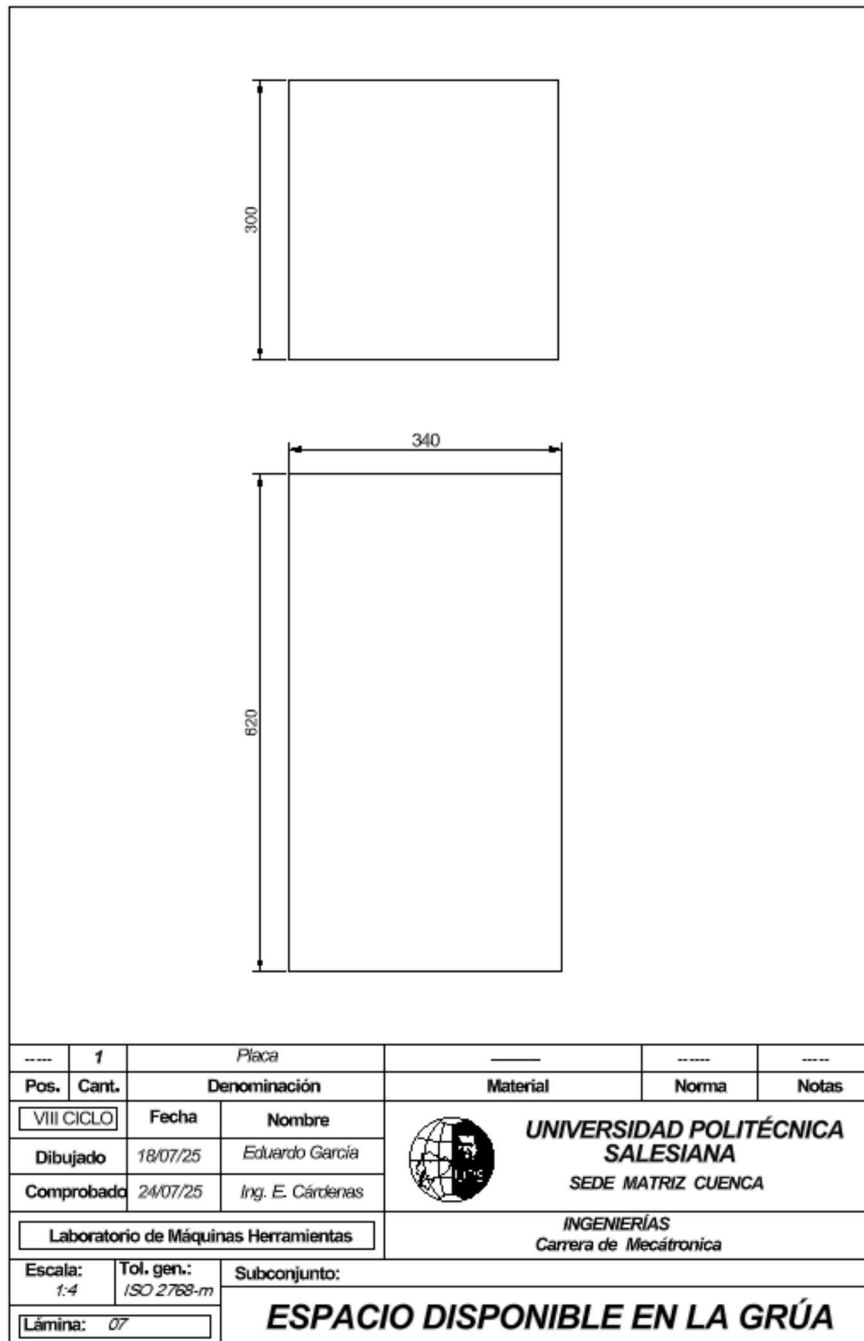
$$v = 11,78 \text{ (rad * mm) / s}$$

5.1.4. Espacio disponible en la grúa

Es de suma importancia tener en cuenta las medidas del lugar en donde se va a instalar el dispositivo y, basándonos en ello, poder seleccionar un actuador y un mecanismo que, a más de que se acople, cumplan con su objetivo sin interferir de manera negativa en otras acciones. En la figura 18, se muestran las medidas del espacio disponible en la grúa.

Figura 21

Dimensiones del espacio disponible en la grúa.



Nota: Se muestra las medidas que se tuvieron en cuenta para dimensionar el prototipo del sistema.

5.2. Desarrollo de subsistemas

A continuación, se presenta cómo fue el desarrollo de los subsistemas que componen el proyecto, a la vez que se seleccionan los componentes que se adaptan de mejor manera en cada subsistema.

5.2.1. Selección de actuador

Para la selección del motor a usar se tuvieron en cuenta parámetros como el torque, el espacio disponible en la grúa y la fuente de alimentación.

- Motor a pasos Nema 8: Los motores a paso con nema 8 tienen un torque de 0,03 N*m (300 g/cm), trabajan a 4,3 V y 800 mA por fase. Se aplican en proyectos de automatización, robótica, impresoras 3D, entre otros.
- Motor a pasos Nema 17: Este tipo de motores poseen un torque de 0,3138 N*m (3,2 kg/cm), y trabajan con una tensión de 4 V y una corriente de 1,2 A por bobina. Son ampliamente usados en impresoras 3D caseras, (Amazon, 2019).
- Motor a pasos Nema 23: Estos motores alcanzan un torque de 3 N*m operan aproximadamente a 24 V y una corriente de 4,2 A, (Amazon, 2019). Son aplicados en actividades que requieran torques altos y presentan ventajas como lo son su tamaño reducido, bajo consumo de corriente y la facilidad de operación, (TECmikro, 2025b).

Tabla 4

Selección de actuador.

Motor	Espacio disponible	Torque	Voltaje	Calificación Final
Nema 8	10	0	5	15/30
Nema 17	8	0	5	13/30
Nema 23	7	9	9	26/30

Nota: Se presentan características y calificaciones sobre diez puntos de diferentes motores, con el fin de descartar los de menor puntaje.

5.2.2. Selección del software para el diseño Mecánico

Para la selección del software a usar para el diseño mecánico se tuvieron en cuenta factores como el peso del software, además de los recursos digitales que posee el ordenador a usar.

- AutoCAD: AutoCAD es un software de diseño más orientado a dibujo en 2D pero con buen funcionamiento en 3D. Este software si será considerado en la realización de este proyecto, (Autodesk, 2023).
- Inventor: Inventor está orientado en su totalidad a objetos 3D y se centra en el diseño mecánico, muy usado para la simulación de movimientos de un mecanismo real. Inventor será usado en el desarrollo del mecanismo del proyecto, (Autodesk, 2023).

Tabla 5

Selección de software para diseño mecánico.

Software	Dibujo 2D	Dibujo 3D	Calificación Final
AutoCAD	10	7	15/30
Inventor	0	10	13/30

Nota: Se presentan características y calificaciones sobre diez puntos de diferentes software de diseño mecánico, con el fin de descartar los de menor puntaje.

5.2.3. Selección del material de fabricación

Para seleccionar un material de fabricación se tuvo en cuenta características como la resistencia, durabilidad, elasticidad.

- Acero: El acero presenta ventajas como resistencia, elasticidad y durabilidad, por lo cual es aplicado en múltiples tareas, por el contrario también presenta desventajas como conducción y propagación de calor y fuego. En el proyecto se podría considerar para la adquisición o manufacturación de diversos componentes mecánicos.

- Bronce: Posee características como resistencia a la corrosión, maleabilidad, altas temperaturas y desgaste, además de ser buen un conductor eléctrico. Este material podría sobresalir para la fabricación de algún componente mecánico.

Tabla 6

Selección de material para los componentes mecánicos.

Material	Durabilidad	Resistencia	Elasticidad	Calificación Final
Acero	9	9	6	24/30
Bronce	8	8	5	21/30

Nota: *Se presentan características y calificaciones sobre diez puntos de diferentes materiales para componentes mecánicos, con el fin de descartar los de menor puntaje.*

5.2.4. Selección del controlador

Para la selección del controlador se tuvieron en cuenta factores como la señal a controlar, cantidad de entradas y salidas físicas del controlador y la facilidad de programación.

- PIC: Los microcontroladores PIC tienen ventajas como la existencia de varios software para programar, la sincronización de tareas, entre otras características. Los precios de este controlador son bajos en comparación con los anteriormente mencionados. Las desventajas que presenta este controlador es que requiere de un grabador para programarlo, además de la complejidad instalación de los software compatibles, (Vilcahuamanj, 2025).
- ESP32: Los microcontroladores ESP32 poseen conectividad Wi-Fi y Bluetooth, además de potencia y flexibilidad elevada, características que benefician en el desarrollo de este proyecto, (Moraguez, 2024).

Tabla 7

Selección de controlador.

Controlador	Cantidad de software para programar	Dificultad para grabar programas	Robustez	Calificación Final
PIC	8	6	6	15/30
ESP32	8	9	8	13/30

Nota: *Se presentan características y calificaciones sobre diez puntos de diferentes controladores, con el fin de descartar los de menor puntaje.*

5.2.5. Selección del software para programar

Para la selección del software de programación se tuvo en cuenta el controlador a usar, el peso del software y los recursos que posee el ordenador.

- MikroC: Este software no es libre, y requiere de la adquisición de otros dispositivos grabadores para escribir un programa en un microcontrolador, (mikroC, 2025). Teniendo en cuenta que el controlador a usar en este proyecto no es un PIC, por lo tanto, será descartado como opción para el proyecto.
- Arduino: El software Arduino es de fácil programación y de libre uso para una placa Arduino precisamente, pero requiere de instalación de nuevas librerías para una placa ESP32. Es un software que es de escaso uso a nivel industrial, debido a su baja resistencia a ruido electromagnético, vibraciones, baja protección IP, entre otros, (Brunet Pedra, 2022).
- Python: Es un lenguaje de programación informático usado comúnmente para la creación de sitios web y software, automatización de tareas y análisis de datos. Es uno de los lenguajes de programación más usados actualmente, (Coursera, 2023).

Tabla 8

Selección del software de programación.

Software	Gratuito	Facilidad de programación	Facilidad de conexión con el controlador	Calificación Final
MikroC	0	7	5	12/30
Arduino	10	10	8	28/30
Python	10	9	8	27/30

Nota: *Se presentan características y calificaciones sobre diez puntos de diferentes software de programación, con el fin de descartar los de menor puntaje.*

5.2.6. Selección del mando a distancia

Para la selección del mando a distancia se tuvo en cuenta factores como precio, conectividad inalámbrica, peso y accesibilidad.

- **Control HIAB:** Este mando a distancia tiene varias características que son útiles, sin embargo, en nuestro sistema no será relevante, ya que se busca un mando más compacto y liviano.
- **Control PALFINGER:** Al igual que el mando anterior, este mando posee mas pulsantes y palancas, que para los sistemas de la misma marca son de suma importancia y utilidad, pero para el desarrollo del presente proyecto no.
- **Control de PS3:** Este mando es más liviano, es usado para una consola de videojuegos, pero se podría enlazar a nuestro controlador mediante una conexión inalámbrica, al mismo tiempo es más liviano y compacto, además que su costo es menor en comparación con los anteriores.

Tabla 9

Selección de mando a distancia.

Mando a distancia	Peso	Facilidad de programación	Robustez	Calificación Final
Control HIAB	5	5	10	20/30
Control PALFINGER	5	5	10	20/30
Control de PS3	10	10	6	26/30

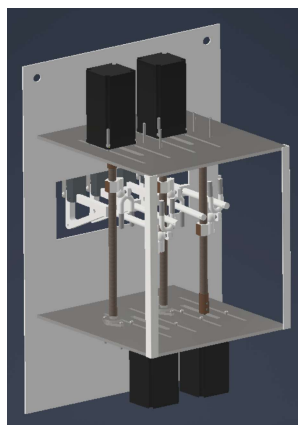
Nota: Se presentan características y calificaciones sobre diez puntos de diferentes controles, con el fin de descartar los de menor puntaje.

5.2.7. Diseño de subsistema mecánico.

Se presenta el diseño del subsistema mecánico ensamblado, a la vez que muestra cada elemento y sus características.

Figura 22

Diseño mecánico digital.



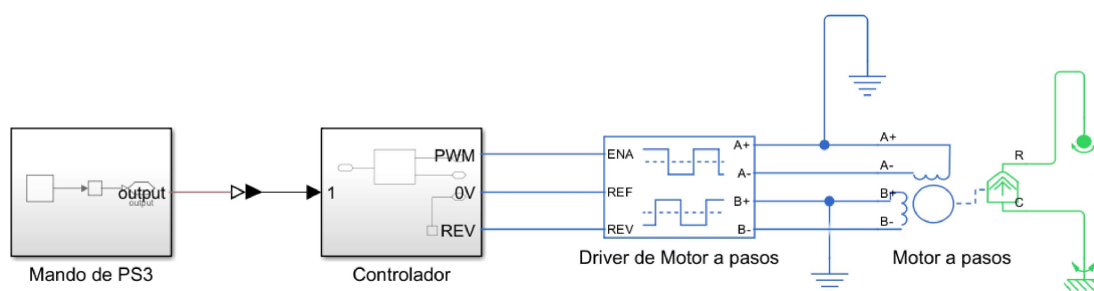
Nota: Se presenta el diseño digital del sistema mecánico.

5.2.8. Diseño de subsistema de control.

En la figura 19 se presenta el esquema de control realizado en Simulink, en donde se muestra el funcionamiento del presente proyecto, siendo que el mando de PS3 emite una señal al controlador, el controlador la recibe vía bluetooth, y mediante conexión física se enlaza con el actuador que en este caso es el motor a pasos, el cual al ser accionado produce movimientos de rotación y desplazamiento por medio de elementos mecánicos.

Figura 23

Esquema de control



Nota: Se presenta el esquema de control, de (Mathworks, 2025).

5.2.9. Diseño de Subsistemas eléctricos/electrónicos.

En la figura 20 se presenta el subsistema electrónico de control, donde se muestra el controlador con todos los componentes a los cuales se conecta directamente, es decir, que poseen una conexión de 3,3 a 5 V. En cuanto a la figura 21, se muestra el subsistema electrónico de potencia, el cual muestra la conexión de componentes que necesitan un mayor voltaje, que para este sistema será de 24 V. Mientras que la figura 22 ilustra los dos subsistemas anteriormente mencionados en conjunto.

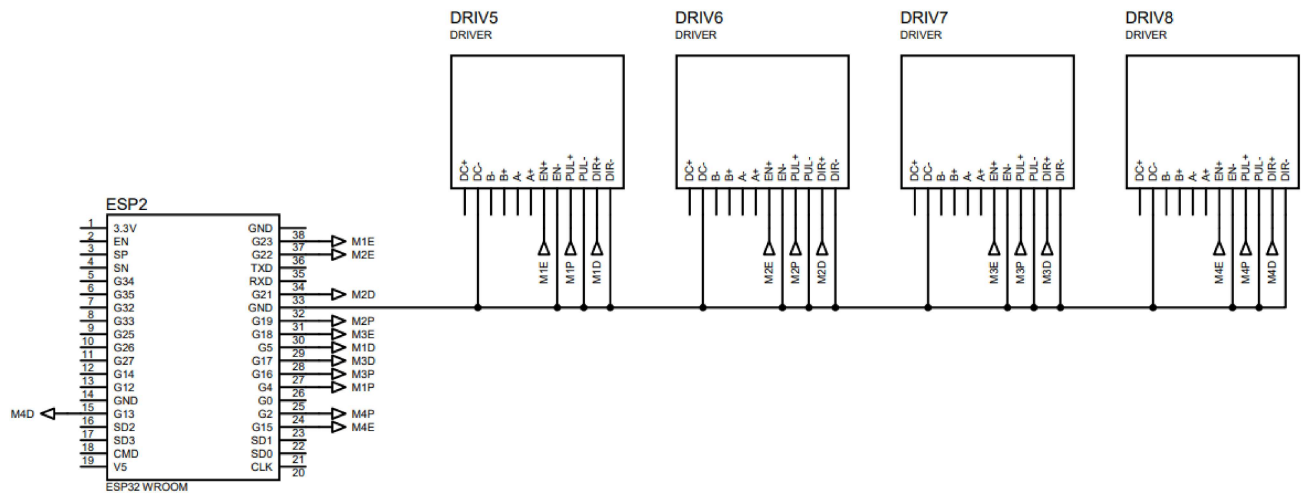
- Esquema Eléctrico de control

La figura 24 muestra el diagrama de conexión entre un microcontrolador ESP32 WROOM y cuatro drivers de motores a paso, etiquetados como DRIV5, DRIV6, DRIV7 y DRIV8. Este esquema se encuentra orientado al control independiente y simultáneo de cuatro motores, usando el ESP32 como controlador principal.

El ESP32 cuenta con múltiples salidas digitales configuradas con la finalidad de generar las señales necesarias para el accionamiento de los drivers. Para cada driver se utilizan tres líneas de control principales: Enable (ENA), Pulse (PUL) y Dirección (DIR).

Figura 24

Subsistema electrónico de control.



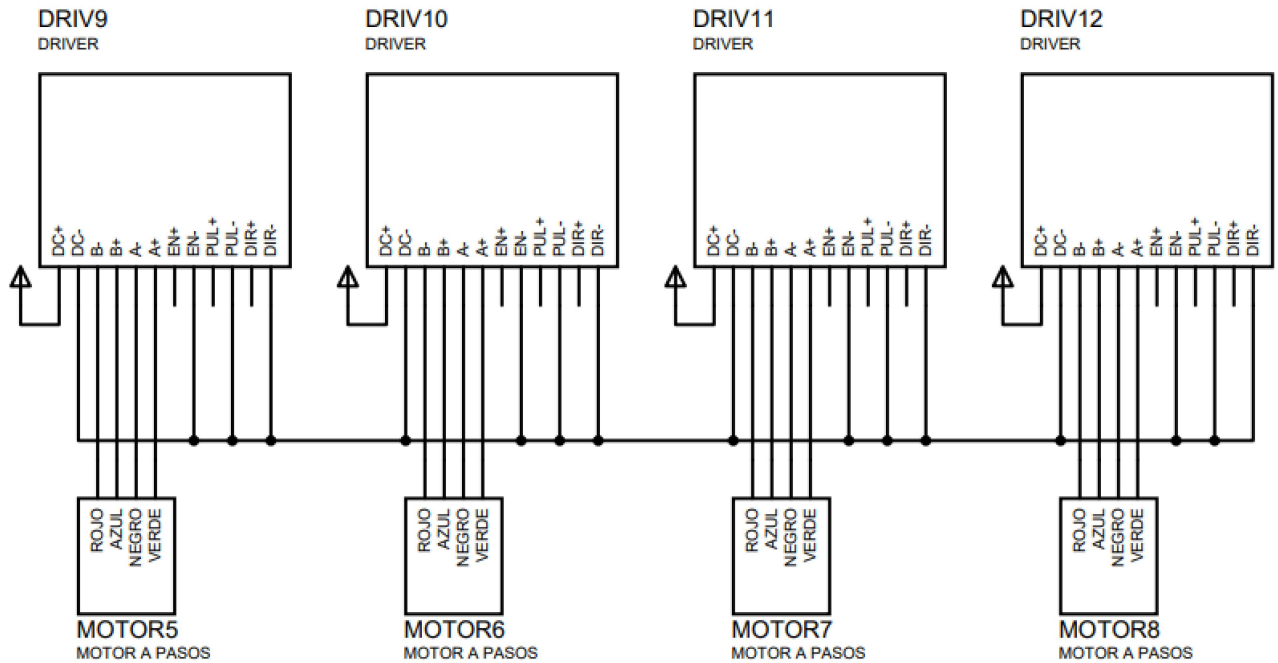
Nota: Se presenta el subsistema electrónico de control.

- Esquema electrónico de potencia

La figura 25, ilustra un esquema de conexión correspondiente al subsistema electrónico de potencia de cuatro motores paso a paso denominados como MOTOR5, MOTOR6, MOTOR7 y MOTOR8, mediante sus respectivos drivers etiquetados como DRIV9, DRIV10, DRIV11 y DRIV12; los cuales se encuentran conectados a una fuente de 24 V y a un GND común con respecto al controlador. La implementación con drivers discretos permite un control más flexible y directo sobre cada motor, siendo esencial en el presente proyecto.

Figura 25

Subsistema electrónico de potencia.



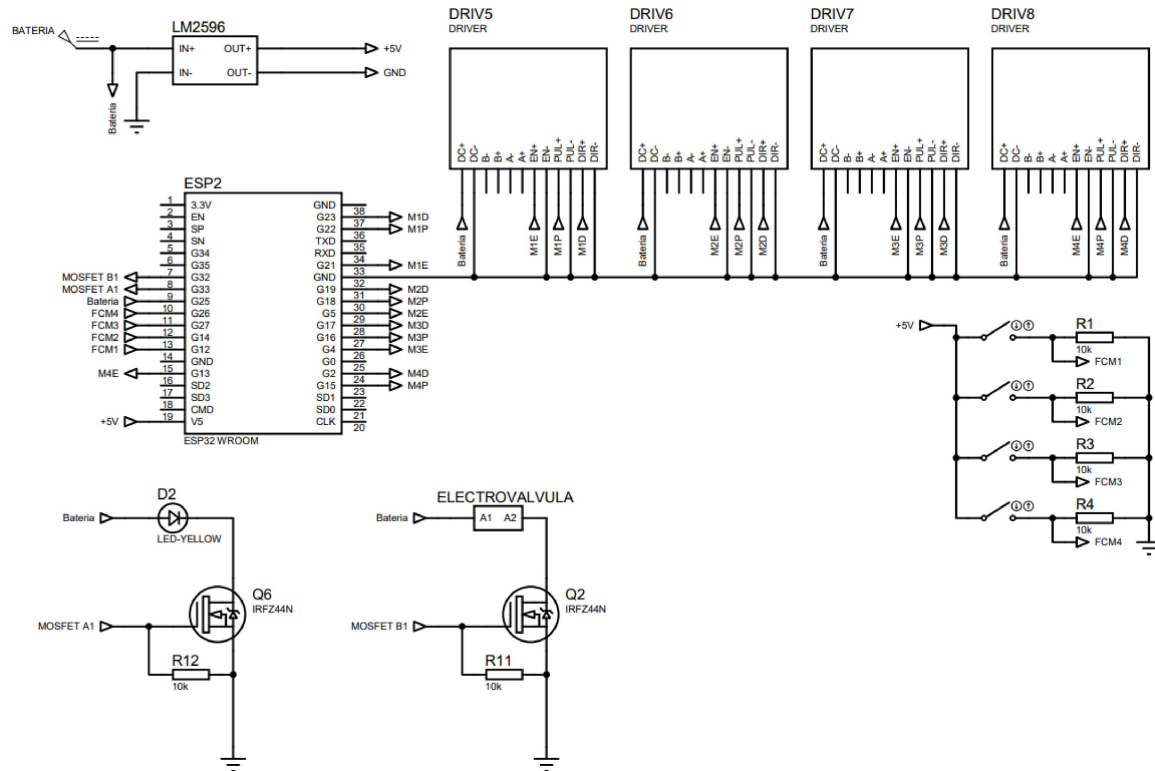
Nota: Se presenta el subsistema electrónico de potencia.

- Esquema electrónico en conjunto

La Figura 26 representa el diseño del subsistema electrónico de control y potencia, el mismo que integra componentes de control lógico como lo son el microcontrolador, los drivers de motores, transistores de conmutación y un regulador de voltaje. Este circuito está diseñado para permitir la interacción entre un ESP32, motores a paso y actuadores como electroválvulas, mediante elementos de conmutación tipo MOSFET. Se observa que existe una fuente de alimentación, la cual es de 24 V y alimenta al sistema completo, esta tensión es regulada a 5 V mediante un LM2596 y se conecta al microcontrolador ESP32. Por su parte la batería se reserva para la conexión a las cargas de potencia, como lo son los motores, la electroválvula y la lámpara piloto.

Figura 26

Subsistema electrónico de control-potencia.



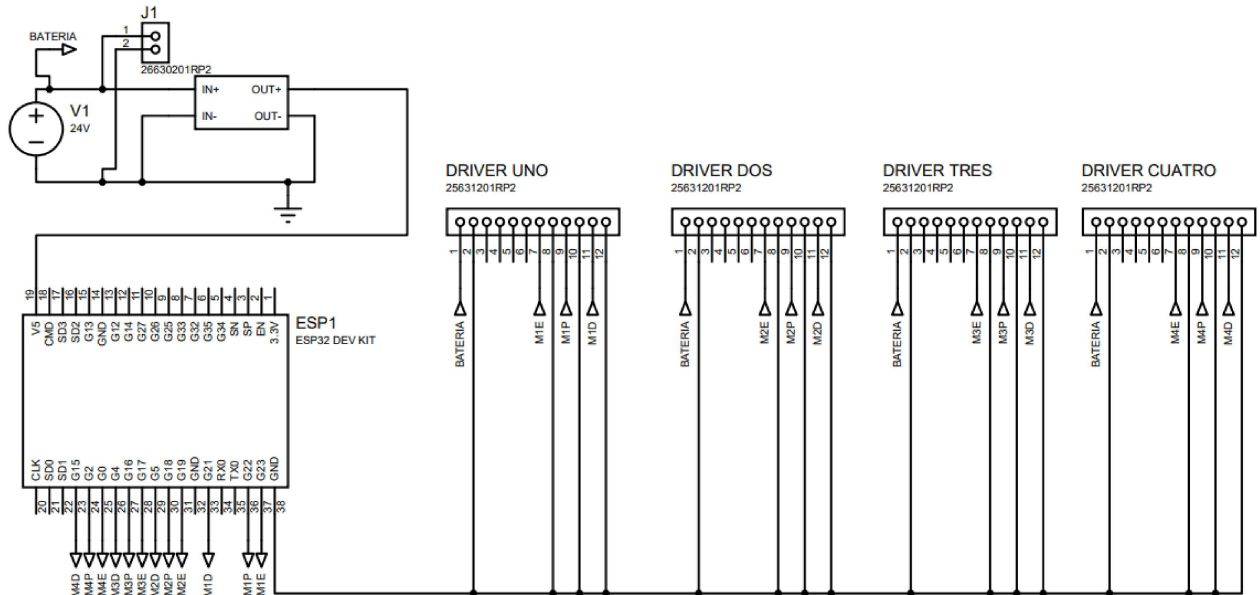
Nota: Se presenta el subsistema electrónico de control y potencia.

- PCB

En la figura 27 se presenta el esquema para la realización de una placa PCB la misma que contiene elementos electrónicos como peinetas, borneras, y guías de cobre con recubrimiento esmaltado, con el objetivo de que en caso de avería del controlador o algún otro elemento, facilite reemplazarlo de manera rápida. Este diseño representa la etapa previa a la fabricación del PCB, donde se definen las conexiones eléctricas, la asignación de pines, la topología del sistema de control y la integración de la fuente de alimentación. El driver constituye una interfaz de adaptación entre el ESP32 y el motor a pasos, transformando las señales de control digitales en señales de potencia modulada, permitiendo controlar velocidad, dirección y cantidad de pasos del motor con precisión.

Figura 27

Esquemático de PCB.



Nota: Se presenta el esquemático para la realización de una PCB.

- Esquema de conexiones.

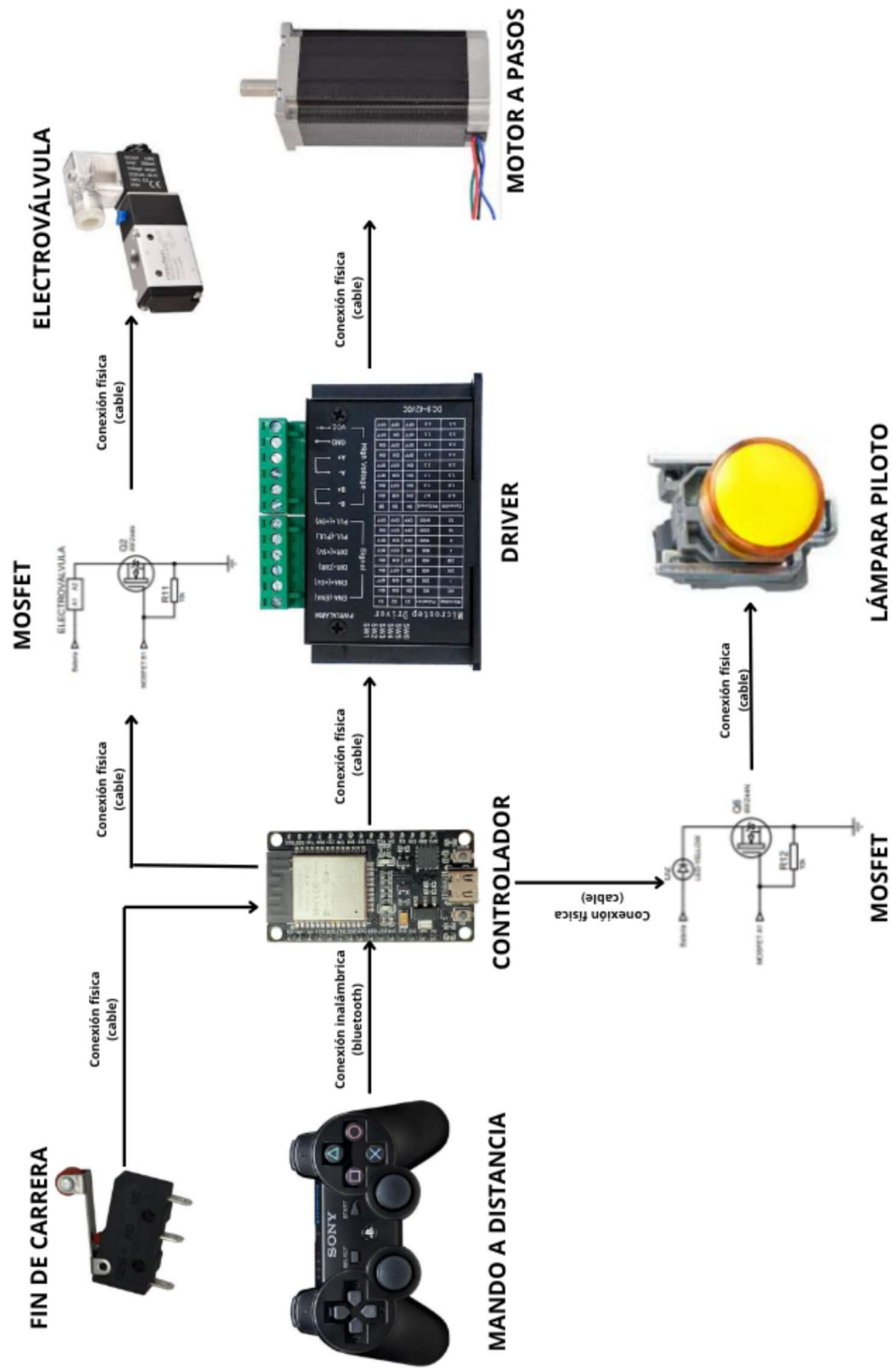
En la figura 28 se presentan de manera gráfica los tipos de conexiones existentes en el presente trabajo de titulación, en donde se define si es física o inalámbrica; además, las flechas conectoras representan si es un elemento emisor o receptor de información.

5.2.10. Programación.

En la figura 29 se presenta un flujograma el cual explica de manera gráfica la programación, en donde las figuras azules presentan el inicio y el final, los celestes muestran acciones, los morados condiciones y las verdes recomendaciones. En las figuras de color morado se menciona L3 el cual representa el joystick izquierdo y, dependiendo del eje en el que se accione, activa el motor 1 o 2; mientras que R3 representa el joystick derecho e igual que en el caso anterior, en base del eje en el que se accione, activa los motores 3 y 4.

Figura 28

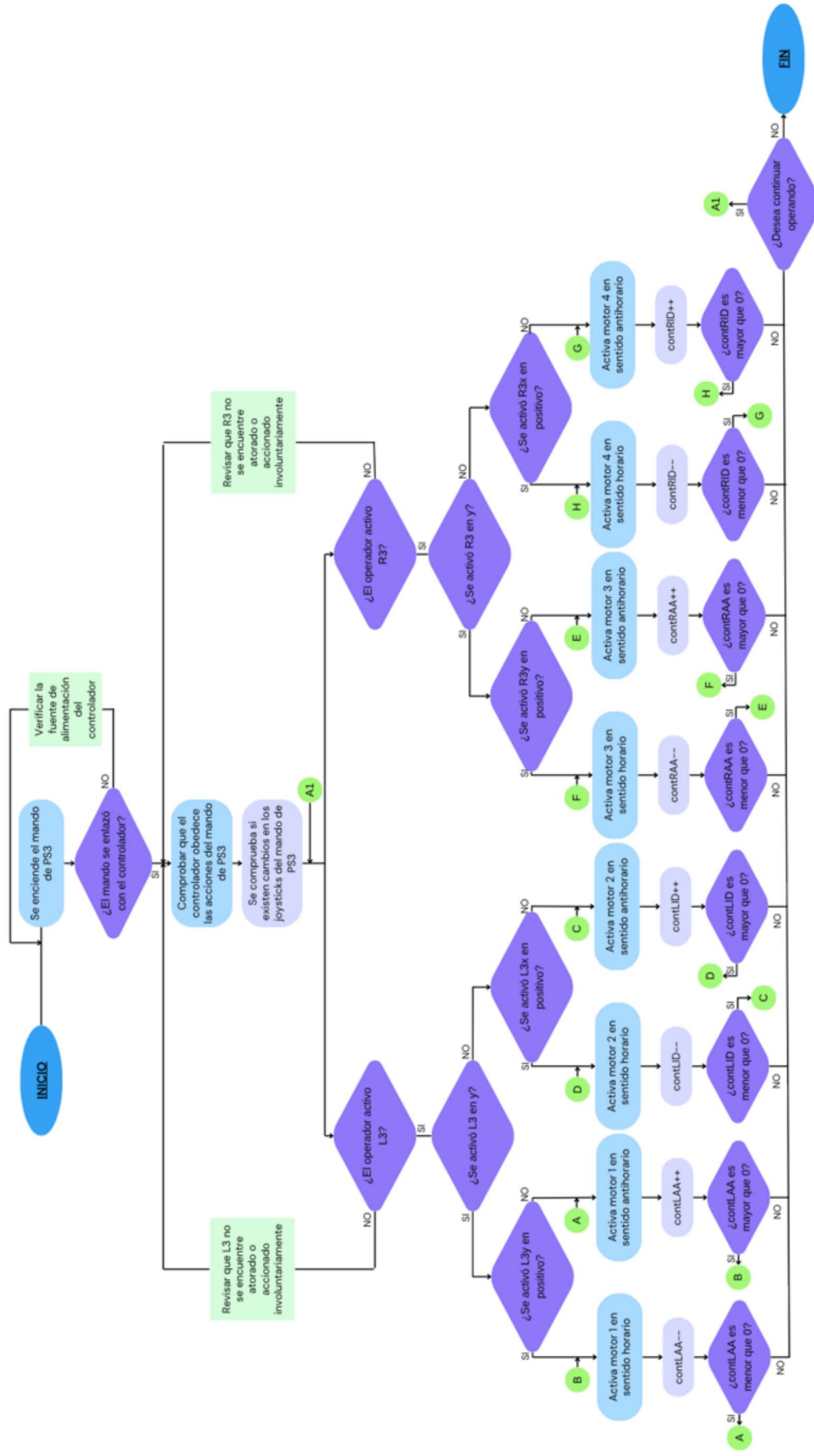
Representación gráfica de conexiones.



Nota: Se presenta los tipos de conexiones existentes en el prototipo.

Figura 29

Flujograma de programación.



Nota: Se presenta el diagrama de flujo en base a la programación.

5.3. Funcionamiento del prototipo

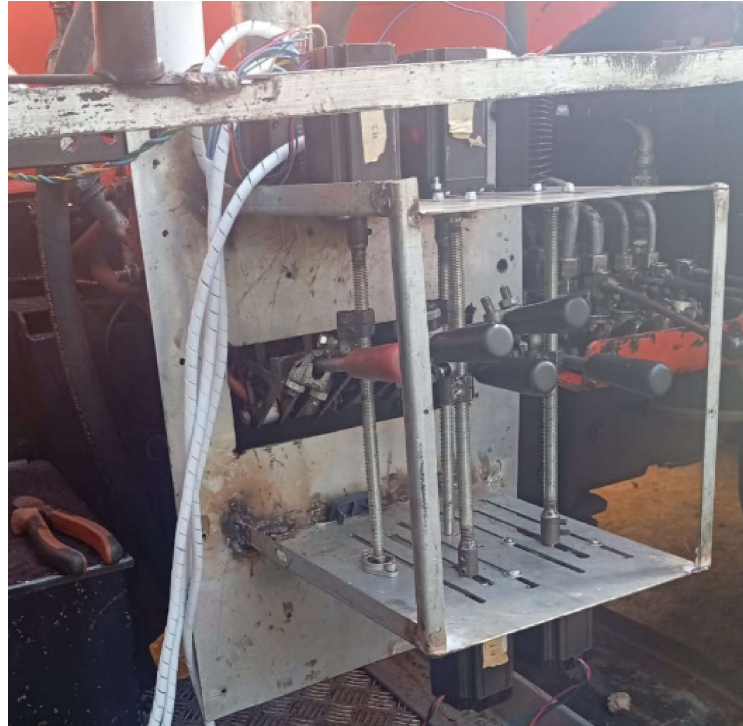
Con el objetivo de comprobar el funcionamiento del prototipo, se manufacturó completamente la estructura mecánica, se adquirieron componentes mecánicos y electrónicos, además de un controlador. Finalmente, se unieron todos los componentes del sistema y se comprobó el funcionamiento del prototipo del dispositivo mediante la realización de pruebas.

5.3.1. Armado del prototipo

Se manufactura las placas base de los motores y la placa base general en máquinas herramientas como lo son la fresadora, el torno y taladro, debido a que el corte láser deforma el material por la intensidad de la temperatura. Se tiene en cuenta la distancia que recorre cada mando hidráulico para la fabricación de los ejes roscados, Se adquieren ejes roscados, en conjunto con tuercas que se acoplen y, con ayuda del torno, se corta a las dimensiones requeridas y se une a un buje mediante soldadura, el cual es manufacturado teniendo en cuenta las dimensiones del eje rotor del motor a pasos, con la finalidad de que se acople en el mismo. La placa base general y las placas base de motores se unen mediante soldadura y se refuerza con una pieza en forma de L, soldada en la parte frontal de la estructura, paralela a la placa base. Se adquieren elementos normalizados como tuercas, chumaceras, pernos, muñones de caja de cambios, bridas de cable de acero. Por consiguiente, las tuercas que se acoplan a cada eje roscado se unen mediante soldadura en una cantidad de dos por cada eje, además de que se unen al muñón de caja de cambios, con el fin de que la junta esférica también disminuya las vibraciones y esfuerzos que puede presentar el motor. Por consiguiente, con ayuda de pernos y tuercas se sujetan tanto los motores como las chumaceras de pared a la placa base. Se une mediante soldadura a la brida para cable de acero con una placa cuadrada, con el objetivo de sujetar a los mandos hidráulicos de la grúa. Finalmente, la placa cuadrada es perforada en la mitad, se une al perno de la junta esférica del muñón de caja de cambios, y asegurado mediante una tuerca. Se visualiza en la figura 30, el sistema mecánico implementado en los mandos de la grúa. Se alimenta a los drivers de los motores a paso y al regulador de voltaje LM2596 por medio de la batería, posterior a eso se conecta el controlador ESP32 a la salida del regulador de voltaje, a los MOSFET, fines de carrera y al driver de cada uno de los actuadores. Todo el cableado se cubre por medio de una cinta helicoidal PTFE, la cual es resistente al calor y a los químicos.

Figura 30

Subsistema mecánico implementado.



Nota: Se presenta el subsistema mecánico implementado.

5.3.2. Pruebas de funcionamiento

En el presente apartado se describen diferentes acontecimientos que evidencian falencias en el prototipo, además de posibles soluciones presentadas para finiquitar con las mismas.

- PRUEBA 1

Se realizaron pruebas con la finalidad de comprobar el funcionamiento del prototipo, en las pruebas iniciales se alimentó el controlador mediante un cable USB, y los motores con 24 V, de la batería del camión, el prototipo cumplía con su función, pero se evidenció vibración en los ejes roscados, motivo por el cual se adquirieron chumaceras de pared, para que sirvan de contrapunto, a la vez que disminuye la vibración.

- PRUEBA 2 a la 4

En las pruebas número dos a la cuatro, se usa partidores de tensión, un LM7805, además

de disipadores de calor, cuyos componentes van conectados a la batería del camión, sin embargo, se aprecia sobre voltaje, el cual puede averiar el controlador, motivo por el que se adquiere un regulador de voltaje comercial, el LM2596. En estas pruebas se evidencia que existe un decremento de vibraciones en contraste con la prueba anterior.

- PRUEBA 5 a la 7

Se añade un refuerzo a las placas que sirven de base a los motores, de tal modo que refuerce toda la estructura, a la vez que se erradica las vibraciones casi por completo. Se disminuyen las dimensiones de la placa base principal, con el fin de que el peso del prototipo sea menor.

- PRUEBA 8 a la 12

Se realiza pruebas con la grúa encendida y funcionando, se evidencia que el tiempo de respuesta del controlador al recibir la señal del mando a distancia es inmediata, sin embargo, por el paso de rosca que presenta el eje roscado, los tiempos medidos son de 5 segundos aproximadamente para activar y 1 segundo para desactivar la grúa.

5.3.3. Propuestas de mejoras del prototipo

En el diseño mecánico del prototipo actual se comprobó su funcionamiento tras realizar varias pruebas acoplándolo en la grúa, y tras un análisis, se ha llegado a la conclusión de que se puede mejorar su diseño, ocupando menos espacio físico en la grúa, disminuyendo material, peso del prototipo y optimización de costos.

- Optimización de espacio en la grúa

Los actuadores que fueron usados en el presente trabajo de titulación, el motor a pasos nema 23 cumple con un torque mayor al que se requería, sin embargo, se puede optimizar el espacio que ocupa actualmente el dispositivo al minimizar la distancia de operación, es decir, acercar los motores a la base de los mandos hidráulicos de la grúa.

- Peso del prototipo

Al disminuir la distancia de recorrido de los mandos hidráulicos, las dimensiones de pernos y protecciones del mecanismo disminuyen sus dimensiones. al tiempo que disminuyen el peso del prototipo, facilitando el montaje y desmontaje del mismo.

- Velocidad de accionamiento y retorno de motores

A medida que decrementa la distancia de recorrido del perno, disminuye también el

número de vueltas necesarias para accionar los mandos y aumenta el control, pero aumenta el torque requerido.

- **Facilidad de cambio de elementos mecánicos**

En el prototipo actual, se encuentran varios elementos mecánicos unidos mediante soldadura; sin embargo, existen otros tipos de uniones que facilitarían el reemplazo de un elemento normalizado con otro de características similares. Por ejemplo, la unión entre muñones y tuercas podría ser reemplazada por una unión con pernos de tipo prisioneros, mientras que la unión motor-eje roscado, podría darse mediante una unión tipo manguito partido.

6. Resultados

6.1. Se establecen los parámetros iniciales para el diseño del prototipo

Los parámetros iniciales se establecen en conjunto con la empresa "Gruas García", teniendo en cuenta aspectos tales como:

- Dimensiones:
340x620x300mm
- Torque requerido:
2,96 N*m
- Velocidad del actuador:
75 rpm
- Distancia de operación:
12 m
- Tiempo de montaje y desmontaje:
Menor a 10 minutos

6.2. Se diseñan los subsistemas para el funcionamiento del prototipo

Se diseña cada uno de los subsistemas que forman parte del prototipo, como lo son:

- Subsistema mecánico
se tiene en cuenta las dimensiones y el peso de los motores, la longitud del eje roscado y de los mandos hidráulicos y, se muestra en la figura 22.
- Subsistema de control
Mediante el software Matlab se plantea un esquema de control, como se muestra en la figura 23.
- Subsistema eléctrico/electrónico:
Se conoce la tensión necesaria para alimentar los actuadores y el controlador, además de la fuente de alimentación de la cual se dispone. Se muestra en la figura 26.
 - Fuente disponible:
24 V
 - Tensión de potencia requerida:
24 V
 - Tensión de control requerida:
5 V
- Programación:
Se muestra de la figura 32 a la 38, también se muestra un diagrama de flujo de la programación en la figura 29

6.3. Se comprueba el funcionamiento del prototipo

Se presenta en la figura 31, una comparación entre el diseño digital y prototipo real implementado. Se realizan varias pruebas con la finalidad de corroborar el funcionamiento del prototipo y, por consiguiente se obtiene los siguientes resultados:

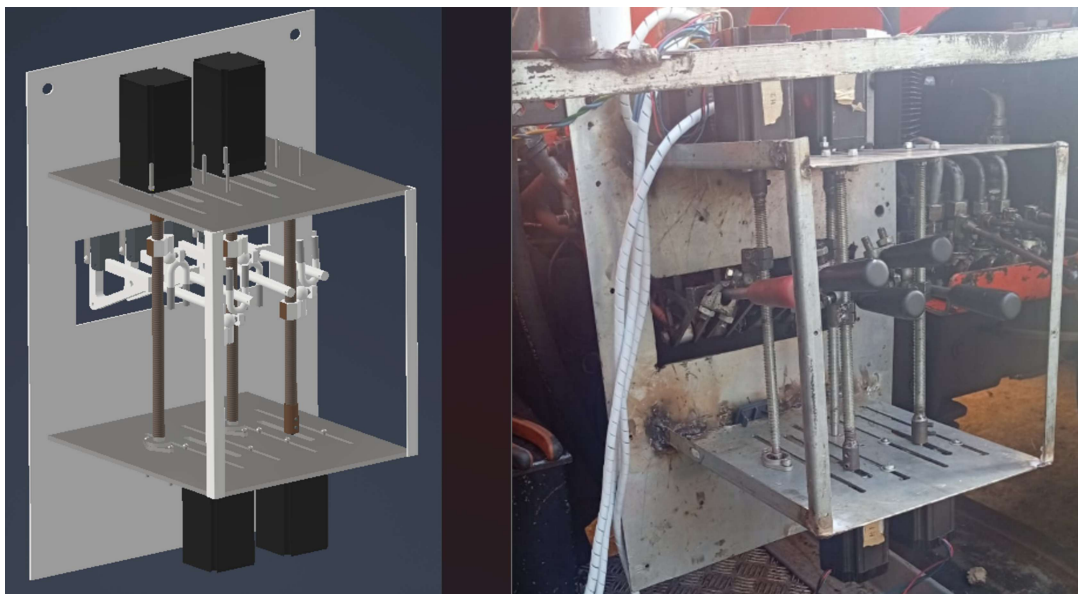
- Tiempo de respuesta del controlador:
0.8 segundos
- Tiempo de activación de la grúa:
5 a 7 segundos
- Tiempo de desactivación de la grúa:
1 a 2 segundos

- Tiempo de montaje/desmontaje:
5 minutos
- Tiempo de duración de la batería del mando a distancia:
5 horas
- Distancia máxima de operación:
10 metros

Se comprobó el diseño y funcionamiento del prototipo mediante varias pruebas realizadas, dando como resultado un diseño mecánico funcional, pero que podría ser mejorado, con el objetivo de optimizar recursos y espacio en la grúa. La programación es funcional, al igual que el sistema eléctrico y electrónico.

Figura 31

Comparación mecánica real y digital.



Nota: Se presenta el subsistema mecánico real y el digital en comparativa.

7. Cronograma

aquí se detallan las actividades del trabajo de titulación con el tiempo planificado para cada actividad.

Tabla 10

Cronograma de actividades.

		CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																					
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES	MES 1			MES 2			MES 3			MES 4			MES 5			HORAS						
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3		4					
Establecer los parámetros iniciales para el diseño de prototipo de sistema de mando a distancia de una grúa articulada para la empresa "Grúas García".	Definir conjuntamente con la empresa en la cual se va a trabajar las especificaciones para un sistema óptimo.	12	6																		18		
	Recopilación de información y datos de otros sistemas de grúas comandadas a distancia.	6	12	6																		24	
Proponer el diseño de prototipo de sistema de mando a distancia de una grúa articulada para la empresa "Grúas García".	Diseño del sistema mecánico para la grúa.		6	6	7	7																26	
	Diseño de sistemas de control.			6	5	2	6	7															26
	Diseño del sistema eléctrico para la grúa.						3	5	12	5	5												30
	Desarrollo de planos y esquemas mecánicos y eléctricos.									4	4	7	7										22
	Realización de planos y esquemas mecánicos y eléctricos finales.											5	5	6	6								22
Comprobar el diseño y funcionamiento del prototipo de sistema de mando a distancia de una grúa articulada para la empresa "Grúas García".	Armado del prototipo.												3	3	3	3							12
	Depuración del diseño final y funcionamiento del prototipo.														9	9	3						21
	Realización del análisis de presupuestos para una posible implementación a futuro.																				6	9	15
	Redacción del documento.												3	3									24
		Total de horas empleadas																			240		

Nota: La tabla presenta el cronograma de actividades a cumplir con base a los objetivos planteados. Cronograma, Realizada por el autor.

8. Presupuesto

Con el detalle de los recursos que se requerirán y el presupuesto del mismo.

8.1. Talento humano

La tabla 11 presenta un ejemplo del contenido.

Tabla 11

Recurso de talento humano.

Cargo	Nombre	Costo hora	horas al mes	Total de horas	Costo total
Tutor	Ing. Eugenio Cárdenas MsC.	\$ 12	4	20	\$ 240
Autor	Eduardo García	\$ 5	48	240	\$ 1200

Nota: En la tabla se observa el costo de las 240 horas establecidas en el cronograma de trabajo y el costo de las horas de revisión por parte del docente revisor que se calendarizarán conjuntamente con la duración de Integración Curricular.

8.2. Recursos materiales

La tabla 12 presenta un ejemplo del contenido.

Tabla 12*Recursos materiales.*

Denominación	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Recursos de impresión en papel	2	\$ 5	\$ 10
Manufacturación de mecanismos	7	\$ 25	\$ 175
Recursos computacionales	1	\$ 300	\$ 300
Motor	4	\$ 50	\$ 200
Driver para motor	4	\$ 25	\$ 100
Fin de carrera	8	\$ 1	\$ 8
Fuente de alimentación	1	\$ 8	\$ 8
Controlador	1	\$ 10	\$ 10
Elementos electrónicos	10	\$ 10	\$ 100
Cable	1	\$ 50	\$ 50

Nota: En la tabla se observan recursos e insumos, cantidad y costo, sin embargo, podrían variar ya sea en cantidad y/o costo.

8.3. Herramientas

La tabla 13 presenta un ejemplo del contenido.

Tabla 13*Costo aproximado de herramientas.*

Denominación	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Taladro	1	\$ 35	\$ 35
Amoladora	1	\$ 50	\$ 50
Fresa	3	\$ 8	\$ 24
Juego de brocas	1	\$ 10	\$ 10
Disco de corte	4	\$ 2	\$ 8
Disco de amolar	2	\$ 8	\$ 16
Cuchilla de widia	2	\$ 13	\$ 26
Juego de llaves	1	\$ 140	\$ 140

Nota: En la tabla se observa la cantidad y el costo de cada herramienta a usar, sin embargo, podrían variar.

8.4. Transporte

La tabla 14 presenta un ejemplo del contenido.

Tabla 14*Costo aproximado de transporte.*

Denominación	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Transporte	30	\$ 2	\$ 60
Alimentación	30	\$ 2.5	\$ 75

Nota: En la tabla se observa la cantidad y costo de transporte y alimentación, sin embargo, podrían variar ya sea en cantidad y/o costo.

8.5. Total de Recursos materiales aproximado

La tabla 15 presenta un ejemplo del contenido.

Tabla 15

Recursos e insumos.

Costo total de recursos materiales aproximado	
Denominacion	Costo total
Recursos Humanos	\$ 1440
Materiales	\$ 961
Herramientas	\$ 309
Transporte	\$ 135
SUBTOTAL APROX.	\$ 2845
Indirectos	\$ 57
SUBTOTAL APROX.	\$ 2902

Nota: En la tabla se observa el costo a considerar de los recursos humanos, materiales e insumos a tener en cuenta en la realizacion del presente Trabajo de Titulacion. Tener en cuenta que los costos son una aproximacion y podrian variar.

9. Conclusiones

- Se lograron definir los parámetros técnicos, operativos y funcionales necesarios para el desarrollo del prototipo mecatrónico del sistema de mando a distancia. Este análisis incluyó la identificación de los requerimientos, las condiciones de operación de la grúa articulada y los criterios de seguridad y eficiencia exigidos por la empresa "Grúas García". La correcta identificación de estos parámetros permitió sentar una base sólida para el diseño de los subsistemas que conforman el prototipo.
- Se diseñaron e integraron con éxito los diferentes subsistemas que conforman el prototipo mecatrónico: el subsistema de control electrónico, el sistema de conexión inalámbrica, y el subsistema electrónico de potencia para la activación de los actuadores. Cada uno fue

desarrollado respetando los parámetros y criterios iniciales, además de tener en cuenta la compatibilidad entre hardware y software, asegurando la funcionalidad del prototipo.

- Las pruebas experimentales realizadas demostraron que el prototipo cumple con las funciones para las que fue diseñado, permitiendo la controlabilidad del sistema de grupos hidráulicos de una grúa articulada. La respuesta del sistema ante los comandos enviados a través del control inalámbrico fue funcional pero, no completamente eficiente, sin embargo, se ha validado la viabilidad del diseño. Además, el sistema mostró un comportamiento relativamente confiable bajo condiciones operativas reales, lo que permite proyectar su implementación en grúas de similares características. Se obtuvieron los siguientes datos: 0,8 segundos como tiempo de respuesta del controlador, un rango de 5 a 7 segundos como tiempo de activación de la grúa, 1 a 2 segundos de tiempo de desactivación de la grúa, 5 minutos como tiempo de montaje/desmontaje, 5 minutos de tiempo de duración de la batería del mando a distancia y finalmente una distancia máxima de operación de 10 metros aproximadamente.
- Se consideraron los parámetros y características iniciales de los grupos hidráulicos de una grúa articulada, por consiguiente se desarrolló cada uno de los subsistemas que forman parte del prototipo, para finalmente construir y comprobar el funcionamiento del mismo. Se corroboró que el sistema es funcional, se pueden realizar mejoras, las cuales fueron detalladas en el apartado de Propuestas de mejoras del prototipo.

10. Recomendaciones

Se recomienda realizar un análisis en profundidad acerca de los costos unitarios de los diversos componentes a usar en la fabricación del prototipo, con el objetivo de que el presupuesto se plantee de manera correcta y eficiente. También tener en cuenta la manufacturación o adquisición de un eje roscado con un paso de rosca mayor en comparación con el del prototipo actual, con la finalidad de que el tiempo de respuesta de la grúa sea más corto.

Referencias

- Aceromafe. (2023, 6). Pernos: pequeñas piezas de gran importancia en las industrias. <https://www.aceromafe.com/que-es-un-perno/>. (Accessed: 2025-1-30)
- Aceropedia. (2021, 4). Tuerca. <https://aceropedia.com/materiales/tuerca/>. (Accessed: 2025-1-30)
- Amazon. (2019, 11). <https://www.amazon.com/-/es/Motor-425oz-Longitud-fresadora-Enrutador/dp/B081VD4C28?th=1>. (Accessed: 2025-1-28)
- Antala. (2019, 11). PCB: ¿qué es una placa de circuito impreso? <https://www.antala.es/pcb-que-es-placa-circuito-impreso/>. (Accessed: 2025-1-31)
- Arellano, M. y Granizo, S. (2021, 1). Implementación de dispositivo de medición automática de temperatura corporal libre de contacto directo basado en sensor infrarrojo y con funciones de iot para el control de acceso. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/home>. (Accessed: 2025-7-30)
- Autodesk. (2023, 10). <https://www.autodesk.com/es/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/ESP/Difference-between-AutoCAD-and-Inventor.html>. (Accessed: 2025-1-29)
- Brunet Pedra, B. (2022, 10). https://www.industrialshields.com/es_ES/blog/blog-industrial-open-source-1/es-arduino-adecuado-para-la-industria-475?srsltid=AfmB0orFCB0KirVPCmQV2optYyWB_JXW_8A60tk92dpgGGTZMMbL5mRQ. (Accessed: 2025-1-29)
- Colombiana, N. (2020, 12). Las grúas son la solución flexible y fuerte en las distintas industrias. <https://www.nikecolombiana.com/las-gruas-son-la-solucion-flexible-y-fuerte-en-las-distintas-industrias/>. (Accessed: 2024-9-24)
- Cotton, L. (2021, 11). Which type of electric motor is most powerful? <https://www.parvalux.com/es/que-tipo-de-motor-electrico-es-mas-potente/>. (Accessed: 2025-1-30)
- Coursera, S. (2023, 11). ¿qué es python y para qué se usa? guía para principiantes. <https://www.coursera.org/mx/articles/what-is-python-used-for-a-beginners-guide-to-using-python>. (Accessed: 2025-1-30)
- Cueva. (2022). ANÁLISIS DEL ACUERDO COMERCIAL MULTIPARTES CON LA UNIÓN EUROPEA Y SUS BENEFICIOS EN EL SECTOR AUTOMOTRIZ DEL ECUADOR, AÑO 2022. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/27561/1/>

- UPS-GT005042.pdf. (Accessed: 2024-9-26)
- Cámara Construcción Cuenca. (2020, 6). Revista construye cuenca. <https://www.camaraconstruccioncuenca.com/revista-construye-cuenca/>. (Accessed: 2025-7-30)
- Cámara de Industrias y Protección. (2024). NORMA TÉCNICA QUE ESTABLECE LOS LIMITES PERMISIBLES DE RUIDO AMBIENTE PARA FUENTES FIJAS Y FUENTES MÓVILES. <https://www.cip.org.ec/attachments/article/450/ANEXO%20%20RUIDO.pdf>. (Accessed: 2024-9-26)
- Electrostore. (2025, 7). TRANSISTOR MOSFET IRFZ44N ENCAPSULADO TO-220. <https://www.grupolectrostore.com/producto/transistor-mosfet-irfz44n-encapsulado-to-220/>. (Accessed: 2025-7-28)
- Elektronik, T. M. (2020, 9). Motor paso a paso – tipos y ejemplos del uso de motores paso a paso. <https://www.tme.eu/es/news/library-articles/page/41861/Motor-paso-a-paso-tipos-y-ejemplos-del-uso-de-motores-paso-a-paso/>. (Accessed: 2025-1-30)
- Equipo editorial, Etecé. (2023, 11). Red inalámbrica. <https://concepto.de/red-inalambrica/>. (Accessed: 2025-1-30)
- Estrada, R. (2017, 10). Optoacoplador, que és y como funciona. https://hetpro-store.com/TUTORIALES/optoacoplador/?srsltid=AfmB0oqVVfqHno0CIjmV7f9v_p1Qk1eWEEQVKjPCeZspo4F-hwlxoInD. (Accessed: 2025-7-28)
- García, J. (2021). CATALOGO. <https://drive.google.com/file/d/14CI2uh-PHX2F5rzTsWnGyxAlAT0KErvU/view?usp=sharing>. (Accessed: 2024-9-24)
- García-E. (2024a). Encuesta 2P. <https://drive.google.com/file/d/1tdyZQdKK9a4DPXPFq00RWGYyndcPyWbo/view?usp=sharing>. (Accessed: 2024-9-27)
- García-E. (2024b). Encuesta 7P. https://docs.google.com/document/d/1intqT85UAW7zU2QkXbE4G30rg_YVfZ0G/edit?usp=sharing&oid=116392009602836367804&rtpof=true&sd=true. (Accessed: 2024-9-27)
- Gruas Pluma Azul. (2020). OPERACION SEGURA E INSPECCION DE CAMIONES GRUA CON BRAZO ARTICULADO. <https://www.serviresa.com/wp-content/uploads/2020/03/Manual-de-seguridad-operacion-e-inspeccion-de-gruas-articuladas.pdf>. (Accessed: 2024-9-26)
- Grúas y Equipos García. (2022). REGLAS DE SEGURIDAD PARA UTILIZAR UNA GRÚA. <https://www.gruasyequiposgarcia.com/reglas-de-seguridad-para-utilizar-una-grua/>. (Accessed: 2024-9-24)

- HIAB. (2024). Sistemas de control. <https://www.hiab.com/es/productos/gruas-de-carga/hiab-sistemas-de-control>. (Accessed: 2024-9-24)
- Huang, K. (2024, 11). Todo tipo de tuercas de alta calidad tuercas personalizadas. https://es.made-in-china.com/co_cns-metal/product_All-Kinds-of-High-Quality-Nuts-Nut-Customized-Nuts_uouhnirung.html. (Accessed: 2025-2-4)
- IVHHN. (2024a). Carbon dioxide (CO₂). <https://www.ivhhn.org/es/information/information-different-volcanic-gases/carbon-dioxide>. (Accessed: 2024-9-26)
- IVHHN. (2024b). Dióxido de azufre (SO₂). <https://www.ivhhn.org/es/guidelines/guia-sobre-gases-volcanicos/dioxido-de-azufre>. (Accessed: 2024-9-26)
- Jamal, I. (2020, 9). Sistema de adquisición de datos con esp32. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/344400/Sistema-de-adquisicion-de-datos-con-ESP32_Jamal-Ikiss.pdf?sequence=1&isAllowed=y. (Accessed: 2025-2-5)
- KOHEN. (2023, 7). Electroválvulas neumáticas: Un elemento clave en la industria moderna. <https://kohen.cl/electrovalvulas-neumaticas/>. (Accessed: 2025-7-28)
- López, P. (2020, 10). ¿qué es un MOSFET y para qué sirve? <https://www.geeknetic.es/MOSFET/que-es-y-para-que-sirve>. (Accessed: 2025-7-28)
- Magalhães, R. (2024, 5). Tipos de tornillos y métodos de apriete eficaces: la guía definitiva. <https://compraco.com.br/es/blogs/industria/tipos-de-parafusos-e-metodos-eficazes-de-aperto-o-guia-definitivo>. (Accessed: 2025-1-31)
- Maps, G. (2024). GRUAS GARCIA CUENCA · 4X74+JF3, j, cuenca, ecuador. https://www.google.com.ec/maps/place/GRUAS+GARCIA+CUENCA/@-2.8859717,-79.0464032,17z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x91cd23ff96adb657:0x4a58fdf8fd985e0e!8m2!3d-2.8859771!4d-79.0438283!16s%2Fg%2F11pb7h6j7q?hl=es&entry=ttu&g_ep=EgoyMDI0MDkyNC4wIKXMDS0ASAFQAw%3D%3D. (Accessed: 2024-9-27)
- MathWorks. (2024). <https://la.mathworks.com/discovery/wireless-network.html>. (Accessed: 2025-1-31)
- Mathworks. (2025, 6). Stepper motor with control. https://la.mathworks.com/help/sps/ug/stepper-motor-with-control.html?searchHighlight=stepper+motor&s_tid=srchtitle_support_results_2_stepper%2520motor. (Accessed: 2025-7-30)
- mikroC. (2025, 1). MIKROE-1944. <https://es.rs-online.com/web/p/software/9236053>. (Accessed: 2025-1-29)
- Moraguez, E. R. (2024, 6). Ventajas y desventajas ESP32 en IoT y desarrollo. <https://lovtechnology.com/ventajas-y-desventajas-esp32-en-iot-y-desarrollo/>. (Accessed: 2025-1-31)

- cessed: 2025-1-28)
- NIH. (2022). Pérdida de audición inducida por el ruido. <https://www.nidcd.nih.gov/es/espanol/perdida-de-audicion-inducida-por-el-ruido>. (Accessed: 2024-9-24)
- NIOSH. (2019, 1). Prevención de envenenamiento con monóxido de carbono producido por herramientas y equipos con motores pequeños de gasolina. https://www.cdc.gov/spanish/niosh/docs/96-118_sp/default.html. (Accessed: 2024-9-26)
- PALFINGER. (2023). CONTROL REMOTO PALFINGER PARA GRÚAS: CARACTERÍSTICAS Y. https://www.palfinger.com/es-cl/novedades/control-remoto-palfinger-para-gruas-caracteristicas-y-beneficios_n_972187. (Accessed: 2024-9-24)
- Panamá, W. (2021, septiembre). Operador de grúa: principales peligros que enfrenta. <https://equisercranes.com/blog/operador-de-grua-principales-peligros-que-enfrenta/>. (Accessed: 2024-9-24)
- Peterson, Z. (2020, 10). ¿qué es una PCB o placa de circuito impreso? <https://resources.altium.com/es/p/what-is-a-pcb>. (Accessed: 2025-1-30)
- Pustjens, J.-W. (2024, 11). Cómo funcionan las válvulas solenoides neumáticas de 3/2 vías. <https://tameson.es/pages/valvula-neumatica-de-3-2-vias-como-funcionan>. (Accessed: 2025-7-30)
- Pérez, A. (2008, 5). No title. https://www.mecapedia.uji.es/pages/acoplamiento_de_manguito.html. (Accessed: 2025-2-4)
- Pérez R. y Lizana C. (2014, 8). Acoplamientos mecánicos. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/34442057/Acoplamientos_Inacap_1_libre.pdf?1408016453=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIngenieria_de_Ejecucion_Mecanica_en_Mant.pdf&Expires=1738700743&Signature=XhJD-EqThjcR0B659a~RKRzf2XPVmtm0iP09xTa9-4ZmuORPPE0cNcgq0gR0T-XeS2vAv60VAmofb1j5SZYsj-1SalYug96El~cUh2CkfiH4UZiK~qEg9gIsLRMgYH1kTUGyLhdE~9ha4~7BbRTE42F50t7Z1HV-F-b5Yg21kFwFsnvbUPu1SHbCSmq1F0j6brJrLXxcdopS4UneRnA6y~1-wKTeZ2vT10s1kw4QIwuZXyUWho~3T3Ri-Aw8MuIB0gB-aIiT8SMKDAq5Cp0Pk~bbodjaQL817a0tyxyd__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. (Accessed: 2025-2-4)
- Soto. (2019). DIAGNOSTICO DE LA CONTAMINACION SONORA Y SU INCIDENCIA EN LOS TRABAJADORES DEL TERMINAL TERRESTRE DEL CANTON JIPIJAPA, PERIODO SEGUNDO SEMESTRE DEL AÑO 2017. <https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/4332/1/ULEAM-POSG-GA-0066.pdf>. (Accessed: 2024-9-26)

- Soto A. y Castillo W. (2024). El pic 16f877a y su relación con la asignatura de microcontroladores en la escuela de ingeniería electrónica – universidad nacional josé faustino sánchez carrión, 2024. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/10006/TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. (Accessed: 2025-2-4)
- Sánchez, S. (2012, 12). Microcontroladores PIC y sus variedades. <https://microcontroladoresesv.wordpress.com/microcontroladores-pic-y-sus-variedades/>. (Accessed: 2025-2-5)
- TECMikro. (2025a, 6). Acople acoplamiento flexible. <https://tecmikro.com/componentes-electromecanicos/518-acople-acoplamiento-flexible.html>. (Accessed: 2025-7-30)
- TECMikro. (2025b, 1). Motor nema 23. <https://tecmikro.com/motores/441-motor-nema-23.html>. (Accessed: 2025-1-28)
- Torres y Eduardo Cobos, W. (2021, 8). Calidad del diésel es cuestionada, mientras que su precio subió 60%. <https://www.primicias.ec/noticias/economia/calidad-diesel-precio-subsidio-ecuador/>. (Accessed: 2024-9-24)
- UDC. (2024, 2). Acoplamiento y alineacion de ejes. <https://lim.ii.udc.es/docencia/iin-manten/tema6.pdf>. (Accessed: 2025-1-30)
- UTA. (2011, 10). Sensores y transductores. http://www.eudim.uta.cl/files/5813/2069/8949/fm_Ch03_mfuentesm.pdf. (Accessed: 2025-1-30)
- Vilcahuamanj, M. (2025, 1). Ventajas y desventajas de un microcontrolador PIC 16f87x. <https://www.scribd.com/document/472154869/Ventajas-y-desventajas-de-un-microcontrolador-PIC-16F87x>. (Accessed: 2025-1-28)
- Wikipedia contributors. (2024, 11). Optoacoplador. <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Optoacoplador&oldid=163580740>. (Accessed: 2025-7-28)
- Álvarez, M. (2004). Controladores lógicos. (Accessed: 2025-2-4)

ANEXOS

Anexo 1: Programación

Figura 32

Código de programación.

```
//Nombre del programa: Diseño de un prototipo mecatronico de un sistema manipulado por medio
//de mando a distancia para el control de grupos hidraulicos de una grua articulada.
//Fecha de modificacion: 15/06/2025
//Autor: Jose Eduardo Garcia
//Descripcion: El presente programa tiene la intencion de controlar una grua, activando motores
//a paso, por medio de un controlador ESP32 y un mando de PS3 via bluetooth.

//Se incluye la libreria para programar el mando de PS3
#include <Ps3Controller.h>
//Se declaran variables globales
int ajuste;
int bateria;//25
int FOCO=33;//33
int EMERGENCIA=32;//32

//Se crea un apartado el cual sirve para accionar los sistemas de seteo inicial, precaucion y
//de emergencia.
void notify()
{
  Serial.print(bateria);
  //Serial.println("notify");

  //----- Digital shoulder button events -----
  if( Ps3.event.button_down.l1 )
    Serial.println("Started pressing the left shoulder button");
  if( Ps3.event.button_up.l1 )
    Serial.println("Released the left shoulder button");

  if( Ps3.event.button_down.r1 )
    Serial.println("Started pressing the right shoulder button");
  if( Ps3.event.button_up.r1 )
    Serial.println("Released the right shoulder button");
}
```

Nota: Se presenta el código realizado en Arduino.

Figura 33

Código de programación.

```
////PARA AJUSTE DE MOTORES INICIAL//////////
if(Ps3.event.button_down.l1 && Ps3.event.button_down.l1){
  if ((Ps3.data.analog.stick.ly) >= 2){
    ajuste = 1;
  }
  if ((Ps3.data.analog.stick.ly) <= -2){
    ajuste = 2;
  }
  if ((Ps3.data.analog.stick.lx) >= 2){
    ajuste = 3;
  }
  if ((Ps3.data.analog.stick.lx) <= -2){
    ajuste = 4;
  }
  if ((Ps3.data.analog.stick.ry) >= 2){
    ajuste = 5;
  }
  if ((Ps3.data.analog.stick.ry) <= -2){
    ajuste = 6;
  }
  if ((Ps3.data.analog.stick.rx) >= 2){
    ajuste = 7;
  }
  if ((Ps3.data.analog.stick.rx) <= -2){
    ajuste = 8;
  }
  if (Ps3.event.button_down.cross){
    ajuste = 0;
  }
}
```

Nota: Se presenta el código realizado en Arduino.

Figura 34

Código de programación.

```
////PARA AJUSTE DE MOTORES INICIAL//////////
if(Ps3.event.button_down.l1 && Ps3.event.button_down.l1){
  if ((Ps3.data.analog.stick.ly) >= 2){
    ajuste = 1;
  }
  if ((Ps3.data.analog.stick.ly) <= -2){
    ajuste = 2;
  }
  if ((Ps3.data.analog.stick.lx) >= 2){
    ajuste = 3;
  }
  if ((Ps3.data.analog.stick.lx) <= -2){
    ajuste = 4;
  }
  if ((Ps3.data.analog.stick.ry) >= 2){
    ajuste = 5;
  }
  if ((Ps3.data.analog.stick.ry) <= -2){
    ajuste = 6;
  }
  if ((Ps3.data.analog.stick.rx) >= 2){
    ajuste = 7;
  }
  if ((Ps3.data.analog.stick.rx) <= -2){
    ajuste = 8;
  }
  if (Ps3.event.button_down.cross){
    ajuste = 0;
  }
}
//PARA LUZ INDICADORA
if(bateria<11.6){
  ajuste = 9;|
}
```

Nota: Se presenta el código realizado en Arduino.

Figura 35

Código de programación.

```
//PARA EMERGENCIA
if(Ps3.event.button_down.select){
  ajuste = 911;
}
}

//Declaracion de variables que se conectaran al driver del motor a pasos
int DIR = 23; // conectar al driver tb6600 pin DIR-4
int PUL = 22; // conectar al driver tb6600 pin PUL-
int ENA = 21; // conectar al driver tb6600 pin ENA-

int DIR1 = 19; // conectar al driver tb6600 pin DIR-
int PUL1 = 18; // conectar al driver tb6600 pin PUL-
int ENA1 = 5; // conectar al driver tb6600 pin ENA-

int DIR2 = 17; // conectar al driver tb6600 pin DIR-
int PUL2 = 16; // conectar al driver tb6600 pin PUL-
int ENA2 = 4; // conectar al driver tb6600 pin ENA-

int DIR3 = 2; // conectar al driver tb6600 pin DIR-
int PUL3 = 15; // conectar al driver tb6600 pin PUL-
int ENA3 = 13; // conectar al driver tb6600 pin ENA-

//Declaracion de variables que funcionan como fines de carrera
int FCM1;//12
int FCM2;//14
int FCM3;//27
int FCM4;//26

//Variable para leer el voltaje de la bateria
int leerbateria;
```

Nota: Se presenta el código realizado en Arduino.

Figura 36

Código de programación.

```
//INICIO DEL PROGRAMA
void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  Ps3.attach(notify);

  //DEFINIMOS LA IP DE CONEXION DEL MANDO PS3
  Ps3.begin("00:02:03:04:05:06");
  Serial.println("Ready.");

  //PINES PARA CONTROL DE MOTORES
  pinMode (PUL, OUTPUT); //4
  pinMode (DIR, OUTPUT); //5
  pinMode (ENA, OUTPUT); //23

  pinMode (PUL1, OUTPUT); //19
  pinMode (DIR1, OUTPUT); //21
  pinMode (ENA1, OUTPUT); //22

  pinMode (PUL2, OUTPUT); //19
  pinMode (DIR2, OUTPUT); //21
  pinMode (ENA2, OUTPUT); //22

  pinMode (PUL3, OUTPUT); //2
  pinMode (DIR3, OUTPUT); //13
  pinMode (ENA3, OUTPUT); //15

  //PINES PARA FINES DE CARRERA
  pinMode (12, INPUT_PULLUP); //FCM1
  pinMode (14, INPUT_PULLUP); //FCM2
  pinMode (27, INPUT_PULLUP); //FCM3
  pinMode (26, INPUT_PULLUP); //FCM4
```

Nota: Se presenta el código realizado en Arduino.

Figura 37

Código de programación.

```
//PIN PARA LEER BATERIA
  pinMode (25, INPUT);

//PIN PARA SALIDA LUZ INDICADORA
  pinMode (FOCO, OUTPUT);

//PIN PARA ELECTROVALVULA DE EMERGENCIA
  pinMode (EMERGENCIA, OUTPUT);
}
```

Nota: Se presenta el código realizado en Arduino.

Figura 38

Código de programación.

```
switch (UpDown) {
  case 1:
    digitalWrite(DIR, HIGH); //HIGH ES APAGADO - LOW ES HORARIO
    digitalWrite(ENA, LOW);
    for (int i = 0; i < 200; i++) {
      digitalWrite(PUL, HIGH);
      delayMicroseconds(velocidad);
      digitalWrite(PUL, LOW);
      delayMicroseconds(velocidad);
    }
    contL3AA++;
    UpDown = 0;
    break;

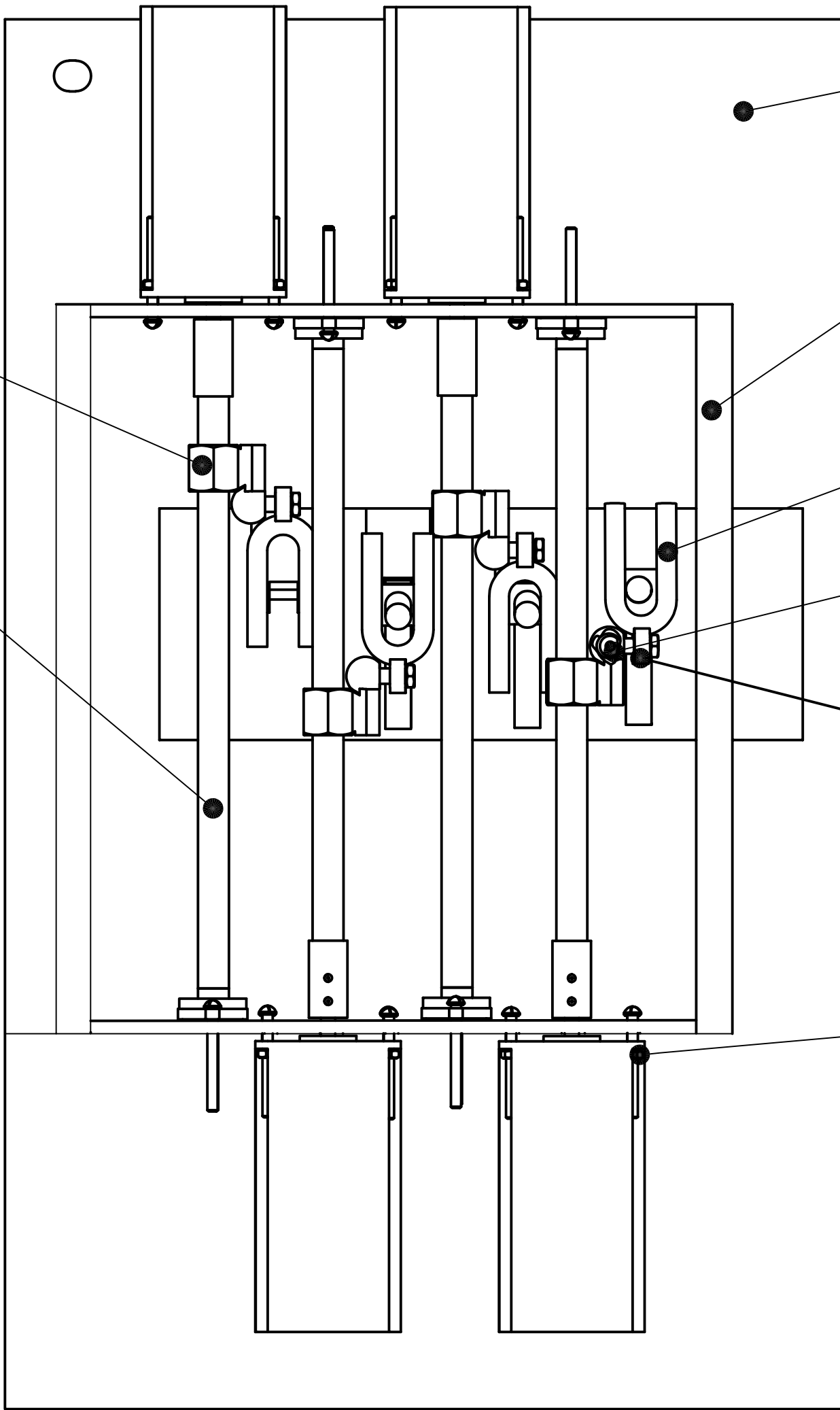
  case 2:
    digitalWrite(DIR, LOW); //HIGH ES APAGADO - LOW ES HORARIO
    digitalWrite(ENA, LOW);
    for (int i = 0; i < 200; i++) {
      digitalWrite(PUL, HIGH);
      delayMicroseconds(velocidad);
      digitalWrite(PUL, LOW);
      delayMicroseconds(velocidad);
    }
    contL3AA--;
    UpDown = 0;
    break;
}
```

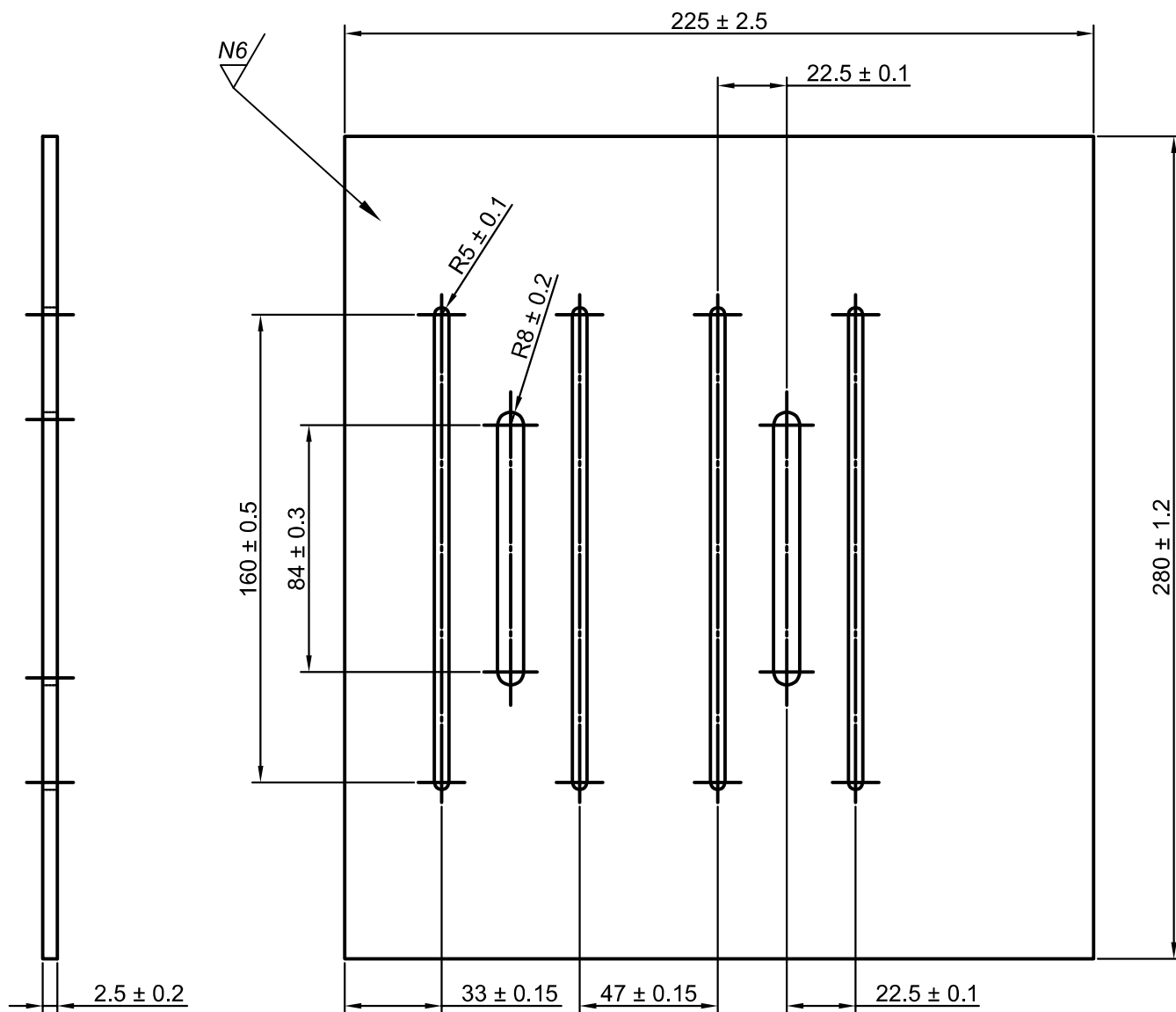
Nota: Se presenta el código realizado en Arduino.

7

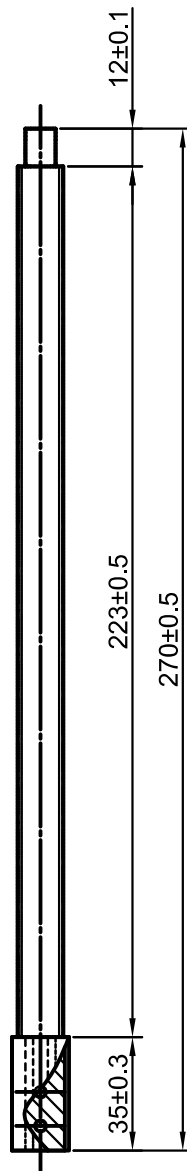
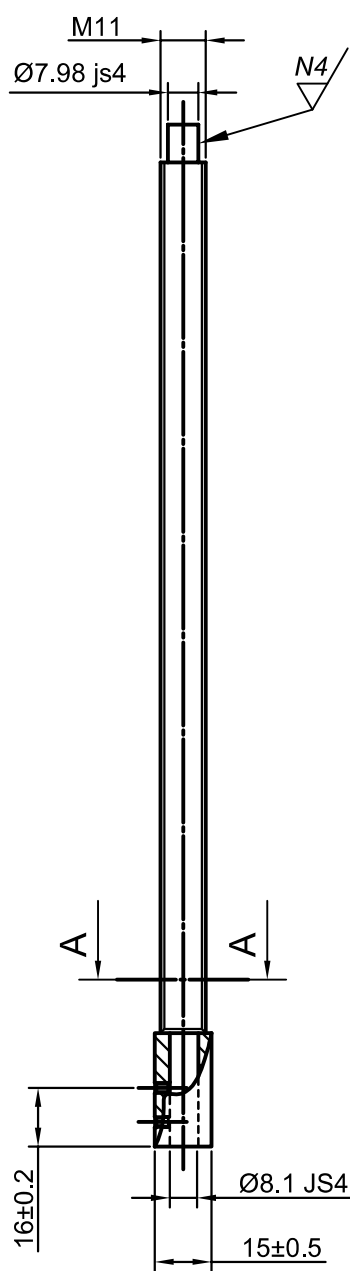
6

3

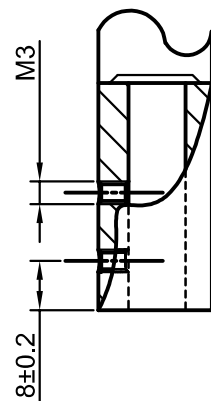




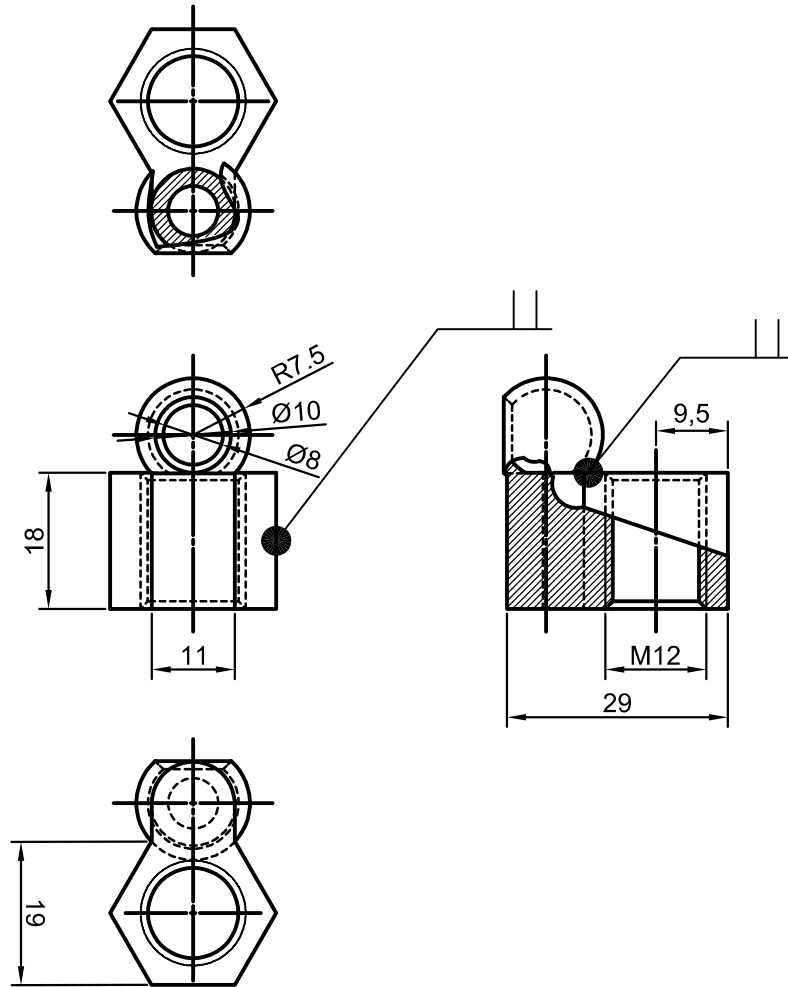
----	2	Placa		Hierro galvanizado	-----	-----
Pos.	Cant.	Denominación		Material	Norma	Notas
VIII CICLO	Fecha	Nombre		 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA		
Dibujado	18/07/25	Eduardo García				
Comprobado	24/07/25	Ing. E. Cárdenas				
Laboratorio de Máquinas Herramientas				INGENIERÍAS Carrera de Mecánica		
Escala: 1:2	Tol. gen.: ISO 2768-m	Subconjunto:				
Lámina: 02		PLACA BASE DE MOTORES				



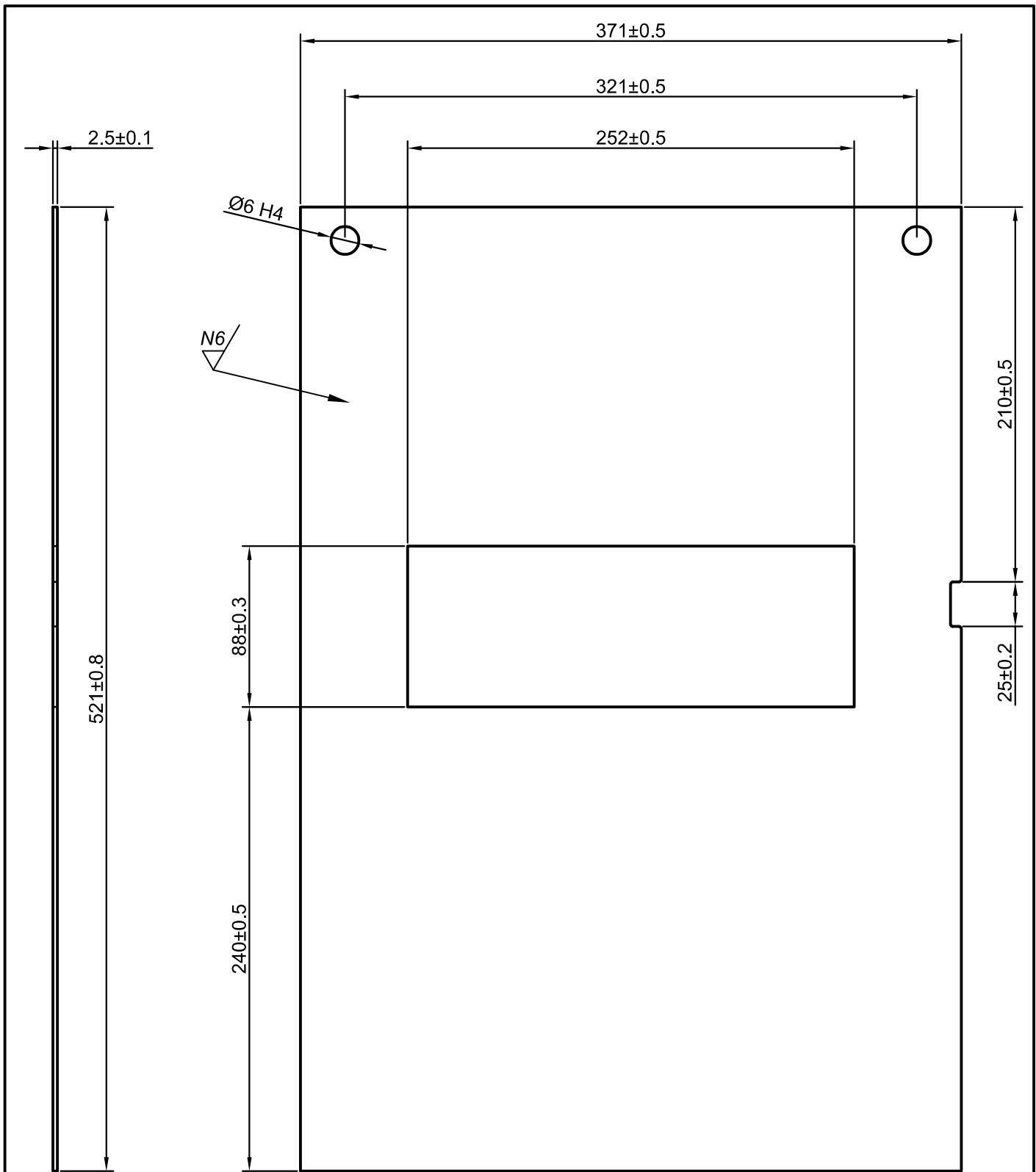
SECCIÓN A-A



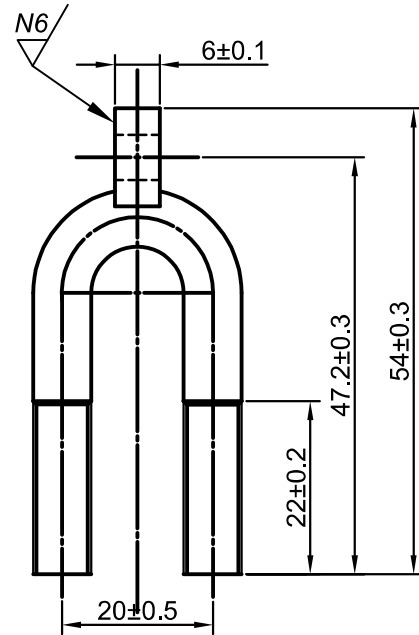
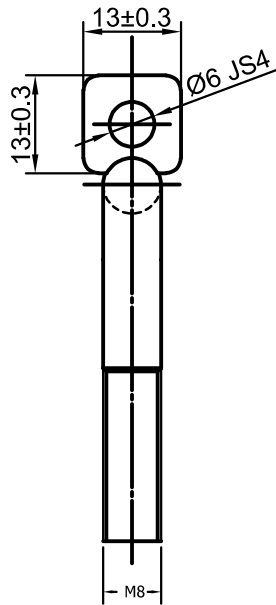
----	4	<i>Placa</i>		<i>Acero</i>	----	----
Pos.	Cant.	Denominación		Material	Norma	Notas
VIII CICLO	Fecha	Nombre			UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA	
Dibujado	18/07/25	Eduardo García				
Comprobado	24/07/25	Ing. E. Cárdenas				
Laboratorio de Máquinas Herramientas				INGENIERÍAS Carrera de Mecánica		
Escala: 1:2	Tol. gen.: ISO 2768-m	Subconjunto:				
Lámina: 03		EJE ROSCADO CON BUJE				



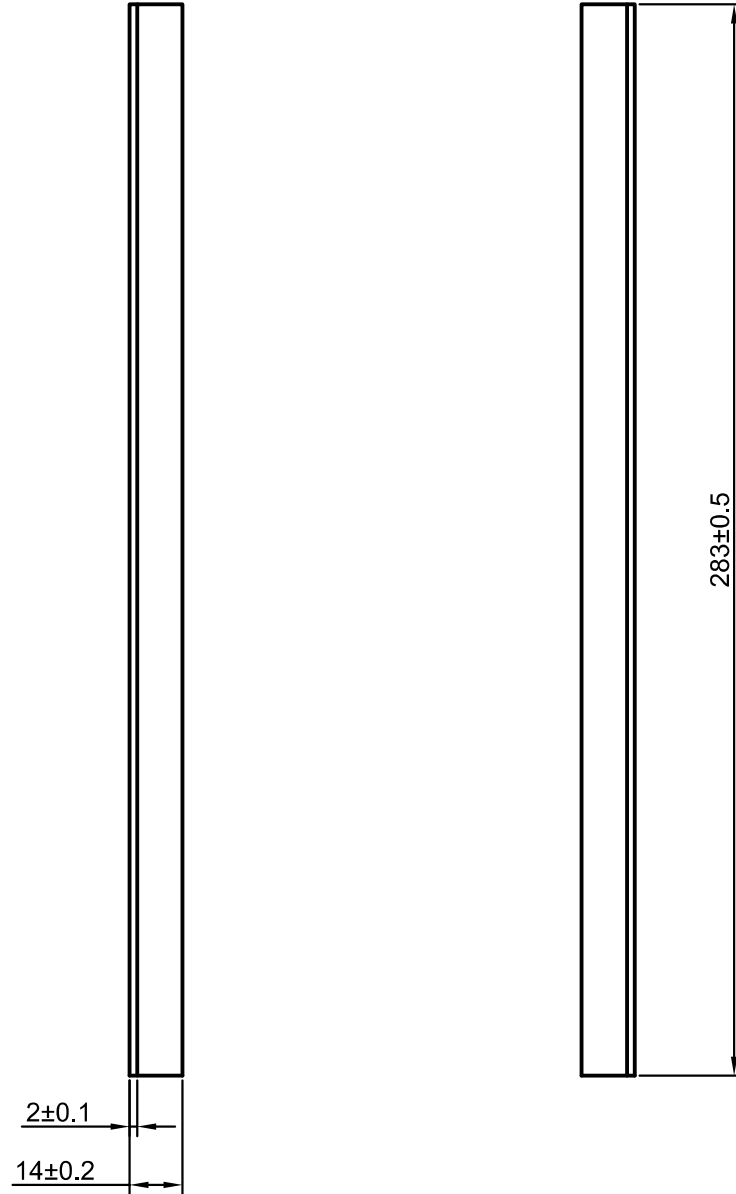
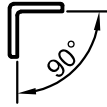
----	4	Placa		Acero	-----	-----
Pos.	Cant.	Denominación		Material	Norma	Notas
VIII CICLO	Fecha	Nombre			UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Mecánica	
Dibujado	18/07/25	Eduardo García				
Comprobado	24/07/25	Ing. E. Cárdenas				
Laboratorio de Máquinas Herramientas						
Escala:	Tol. gen.:	Subconjunto:				
1:2	ISO 2768-m					
Lámina:	04	TUERCA M12 CON MUÑÓN				



-----	1	<i>Placa</i>		<i>Hierro galvanizado</i>	-----	-----
Pos.	Cant.	Denominación		Material	Norma	Notas
VIII CICLO	Fecha	Nombre			UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA	
Dibujado	18/07/25	Eduardo García				
Comprobado	24/07/25	Ing. E. Cárdenas				
Laboratorio de Máquinas Herramientas				INGENIERÍAS Carrera de Mecánica		
Escala: 1:3	Tol. gen.: ISO 2768-m	Subconjunto:				
Lámina: 05		PLACA BASE GENERAL				



----	4	Placa		Acero	-----	-----
Pos.	Cant.	Denominación		Material	Norma	Notas
VIII CICLO	Fecha	Nombre		 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA		
Dibujado	18/07/25	Eduardo García				
Comprobado	24/07/25	Ing. E. Cárdenas				
Laboratorio de Máquinas Herramientas				INGENIERÍAS Carrera de Mecánica		
Escala:	Tol. gen.:	Subconjunto:				
1:1	ISO 2768-m					
Lámina:	06	PIEZA EN U				



----	2	<i>Placa</i>		<i>Hierro galvanizado</i>	-----	-----
Pos.	Cant.	Denominación		Material	Norma	Notas
VIII CICLO	Fecha	Nombre			UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA	
Dibujado	18/07/25	Eduardo García				
Comprobado	24/07/25	Ing. E. Cárdenas				
Laboratorio de Máquinas Herramientas				INGENIERÍAS Carrera de Mecánica		
Escala: 1:2	Tol. gen.: ISO 2768-m	Subconjunto:				
Lámina: 07		PIEZA EN L				