UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE MECATRÓNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CONDUCCIÓN MECATRÓNICO PARA EL VEHÍCULO ANTA

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

AUTORES: JOHN KEVIN GONZÁLEZ JARA
IVÁN FRANCISCO PUETATE GONZÁLEZ

TUTOR: ING. JUAN PAÚL ORTIZ GONZÁLEZ, Mgtr.

Cuenca – Ecuador

2025

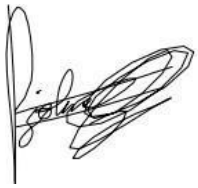
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

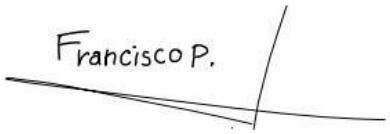
Nosotros, Iván Francisco Puetate González con documento de identificación Nº 0105672430 y John Kevin González Jara con el documento de identificación Nº 0106819006; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos 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, 22 de febrero del 2025

Atentamente,





John Kevin González Jara
0106819006

Iván Francisco Puetate González
0105672430

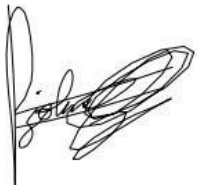
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

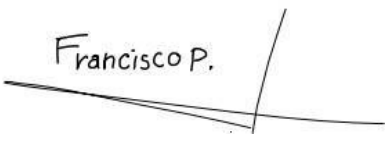
Nosotros, Iván Francisco Puetate González con documento de identificación Nº 0105672430 y John Kevin González Jara con el documento de identificación Nº 0106819006, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Dispositivo tecnológico: "Diseño y construcción de un sistema de conducción mecatrónico para el vehículo ANTA", 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, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 22 de febrero del 2025

Atentamente,





John Kevin González Jara
0106819006

Iván Francisco Puetate González
0105672430

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Juan Paúl Ortiz González con documentos Nº 0104198684, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CONDUCCIÓN MECATRÓNICO PARA EL VEHÍCULO ANTA, realizado por Iván Francisco Puetate González con documento de identificación Nº 0105672430 y John Kevin González Jara con el documento de identificación Nº 0106819006, 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, 22 de febrero del 2025

Atentamente,

Ing. Juan Paúl Ortiz González, Mgtr.

0104198684

Dedicatoria

John Kevin González Jara

El proyecto de titulación se lo dedico a mi familia tanto a mi hermana, madre, padre y abuelita. Cuyos conocimientos, amor y sabiduría me han apoyado constantemente con inspiración y sacrificio. Al mismo tiempo dedico este logro a mi amada mascota, cuya compañía y efecto han sido un consuelo inestimable durante las largas horas de estudio y trabajo.

Iván Francisco Puetate González

Dedico mi trabajo de titulación a mi madre Victoria González, y también a mi padre Iván Puetate por la oportunidad que me ofrecieron con su esfuerzo y sacrificio; de igual forma le dedico mi trabajo de titulación a mis hermanos Christian, Fernanda, Xavier, Ariel y a mi padre adoptivo Miguel Morocho. Quiero extender mi dedicatoria a mi novia Janneth y al resto de mi familia por acompañarme y respaldarme con sus enseñanzas, protección y con mucho cariño para seguir cumpliendo con mis metas. Por último, también dedico este gran logro a aquellos que han contribuido a mi formación y crecimiento personal y profesional que me ha permitido cumplir una meta más en mi vida.

Agradecimientos

John Kevin González Jara

Agradezco de forma sincera a toda mi familia que han contribuido de diversas maneras a la realización de este proyecto de titulación. Primero agradezco a mi abuelita por su sabiduría y palabras que me han motivado para seguir. También agradezco a mis padres por ser un apoyo y tender fe incondicional en las capacidades que tengo y por hacer un sacrificio al brindarme esta oportunidad para lograr cumplir con estas metas. Su dedicación apoyo y amor han sido fundamentales para el éxito de este trabajo. Agradezco a mi hermana por apoyarme y estar animándome en diferentes momentos de mi vida. Finalmente agradezco a mi gata por su compañía y capacidad de mejorar mi estado anímico en momentos de estrés.

Iván Francisco Puetate González

El camino que se ha recorrido ha sido difícil; sin embargo, las personas que me brindaron su apoyo me permitieron cumplir con este objetivo en mi vida. Por eso expreso mi agradecimiento a mi novia, a mi familia y amigos que hicieron más llevadero este camino, ya que me ofrecieron momentos de risas y tranquilidad, al mismo tiempo, me otorgaron palabras de aliento que me dieron motivación para seguir en este camino. De igual forma, doy gracias a mi amiga gatuna que me acompañó, otorgando su presencia y cariño en momentos de estrés y ansiedad. Por lo tanto, este título no es solo mío sino de las personas que con todo el cariño me han brindado su ayuda y esfuerzos para permitirme alcanzar este logro que solo significa un peldaño más para lograr triunfar en mi vida.

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..... VII

Abstract..... XIV

1. Introducción..... 1

2. Problema..... 2

2.1. Descripción del problema..... 2

2.2. Antecedentes..... 2

2.3. Importancia y alcances..... 2

2.4. Delimitación..... 4

2.4.1 Espacial o geografía..... 4

2.4.2 Temporal..... 4

2.4.3 Sectorial o institucional..... 4

3. Objetivos..... 5

3.1 Objetivo General..... 5

3.2 Objetivos Específicos 5

4. Hipótesis **5**

5. Marco Teórico **6**

6. Marco Metodológico **27**

7. Resultados **74**

8. Cronograma **78**

9. Presupuesto **81**

10. Conclusiones **82**

11. Recomendaciones **83**

12. Referencias **84**

Índice de Tablas

Tabla 1 Clasificación de los Vehículos Eléctricos 7

Tabla 2 Ventajas y Desventajas de Vehículos eléctricos 7

Tabla 3 Tipos de Autonomía presente en los vehículos eléctricos 9

Tabla 4 KIA SOUL EV. Características 11

Tabla 5 Ventajas y Desventajas del sistema Kia SOUL EV 11

Tabla 6 Características de la plataforma de chasis Hooke del PIX Moving 13

Tabla 7 Comparación de detalles sobre los vehículos KIA SOUL EV. y PIX Kit 2.0 14

Tabla 8 Vehículos y marcas que utilizan el sistema de dirección Ackerman 17

Tabla 9 Ventajas y Desventajas de la conducción Ackermann.....18

Tabla 10 Modos de marcha del vehículo autónomo "ANTA".....19

Tabla 11 Configuración de la tracción de 4 ruedas del vehículo autónomo "ANTA".....20

Tabla 12 Protocolos de comunicación utilizados por la industria automotriz.....21

Tabla 13 Tabla de comparación de Protocolos de comunicación.....22

Tabla 14 Viabilidad del Protocolo Bus CAN.....23

Tabla 15 Línea de tiempo del Protocolo BUS CAN.....24

Tabla 16 Orden bit/byte en la trama de datos de comunicación.....25

Tabla 17 CAN 2.0B (Protocolo de comunicación CAN del vehículo "ANTA").....26

Tabla 18 Riesgos del Sistema BUS CAN.....28

Tabla 19 Medidas de seguridad para la mitigación de riesgos.....29

Tabla 20 Variables para controlar los sistemas del vehículo autónomo “ANTA”.....30

Tabla 21 Características principales del sistema a controlar.....36

Tabla 22 Sistemas de control para la dirección.....38

Tabla 23 Controladores para el uso de CAN.....40

Tabla 24 Parámetros para la velocidad y latencia.....42

Tabla 25 Tiempo de latencia SPI.....42

Tabla 26 *Latencia en UART para el uso de Interfaz en ATmega328P*.....43

Tabla 27 *Comparación de requisitos del controlador y el protocolo del sistema a controlar*43

Tabla 28 Selección de módulos compatibles con ATmega328P.....44

Tabla 29 Parámetros del driver BTS7960 del motor.....46

Tabla 30 Especificaciones del Motor MY1020.....47

Tabla 31 Selección de Encoder según sus características.....48

Tabla 32 Parámetros de la posición de la planta.....49

Tabla 33 Parámetros para tener en cuenta de la planta.....50

Tabla 34 Métodos de control de Velocidad 55

Tabla 35 Comparación de estructuras y mecanismos para la selección de un soporte ajustable 57

Tabla 36 Elementos de interfaz mecánica de los diferentes sistemas..... 61

Tabla 37 Control de Dirección..... 76

Tabla 38 Control de Propulsión y frenado..... 77

Tabla 39 Control de ángulo de giro Motor 78

Tabla 40 Cronograma de actividades 79

Tabla 41 Cronograma de actividades 80

Tabla 42 Recursos Materiales..... 81

Tabla 43 Recursos Materiales..... 82

Tabla 44 Información sobre el estado del Vehículo 90

Tabla 45 Información sobre el estado del vehículo..... 91

Tabla 46 Datos del estado de frenado del Vehículo 92

Tabla 47 Información sobre el estado de frenado del vehículo..... 93

Tabla 48 Información sobre el estado de la dirección del vehículo 94

Tabla 49 Información sobre el estado de la dirección del vehículo 95

Tabla 50 Información sobre el estado de funcionamiento del vehículo 96

Tabla 51 Información sobre el estado de funcionamiento del vehículo 97

Tabla 52 Información sobre el estado de funcionamiento del vehículo 98

Tabla 53 Información sobre el estado de la fuente de alimentación del vehículo..... 99

Tabla 54 Detalles de la Carrocería del vehículo y respuesta de la luz..... 100

Tabla 55 Advertencia y fallos del vehículo..... 101

Tabla 56 Advertencia y fallos del vehículo..... 102

Tabla 57 Advertencia y fallos del vehículo..... 103

Tabla 58 Advertencia y fallos del vehículo 104

Tabla 59 Información sobre la velocidad de las ruedas 105

Tabla 60 Información sobre el par de las ruedas 106

Tabla 61 Mensaje de control del Accionamiento 107

Tabla 62 Mensaje de control del accionamiento 108

Tabla 63 Mensaje de control de frenos 109

Tabla 64 Mensaje de control de dirección 110

Tabla 65 Mensaje de control de dirección 111

Tabla 66 Control corporal del vehículo 112

Tabla 67 Control corporal del vehículo 113

Tabla 68 Control Individual del Motor 114

Índice de Figuras

Figura 1 Universidad Politécnica Salesiana 4

Figura 2 Vehículo Autónomo 13

Figura 3 Vehículo sin la implementación de la geometría Ackermann 15

Figura 4 Sistema de Dirección con geometría Ackerman 17

Figura 5 Diagrama de la conexión del vehículo autónomo "ANTA" con protocolo BUS CAN 26

Figura 6 Análisis de los identificadores CAN generados desde el vehículo autónomo "ANTA" 30

Figura 7 Sistema de conexión centrado en BUS CAN 32

Figura 8 Ubicación de los nodos de conexión CAN en la computadora industrial Nuvo 811 (ECU) 33

Figura 9 Ilustración de la interconexión de los dispositivos y el Sistema Mecatrónico a implementar 33

Figura 10 Diseño de la disposición física de los elementos en el vehículo autónomo "ANTA" 34
Figura 11 Diagrama de Control 50
Figura 12 Imagen de la ecuación de diferencia PID 51
Figura 13 Uso del retenedor de orden cero para la discretización del PID 51
Figura 14 Diagrama de flujo del funcionamiento del programa....53
Figura 15 Señal del sistema y señal del controlador PD....54
Figura 16 Comparación de la señal continua y seguimiento de la señal discreta por controlador PD....54
Figura 17 Diagrama de conexiones del sistema electrónico....56
Figura 18 Esquemático de la conexión del controlador con sus componentes....56
Figura 19 Análisis de compatibilidad del sistema de dirección en Inventor Pro....58
Figura 20 Análisis de compatibilidad del Sistema de Velocidad con pedales en Inventor Pro 59
Figura 21 Análisis de compatibilidad del soporte ajustable para la estructura en Inventor Pro 59
Figura 22 Distribución de fuerzas y restricciones....62
Figura 23 Tensión de Von Mises Stress....62
Figura 24 Primer estrés principal....63
Figura 25 Tercer esfuerzo principal 64
Figura 26 Desplazamiento....65
Figura 27 Factor de seguridad....66
Figura 28 Procesos de manufactura realizados para la obtención de las estructuras del sistema de conducción mecatrónico....69
Figura 29 Pruebas iniciales del volante con el software del sistema....70

Figura 30 Prototipo del sistema de conducción.....70

Figura 31 Pruebas iniciales en el vehículo ANTA.....72

Figura 32 Pruebas del software implementado para el control de los sistemas de dirección y propulsión del vehículo.....73

Figura 33 Explicación del funcionamiento del sistema de conducción mecatrónico.....74

Resumen

El proyecto de titulación está desarrollado en el vehículo autónomo “ANTA” el cual es conocido también como PIX Kit 2.0. El objetivo que se busca al desarrollar este proyecto es el alcanzar a construir un sistema integral de conducción que permita al ANTA ser considerado como un vehículo; dando mayor facilidad a ser sacado de las instalaciones de la universidad para seguir con otras investigaciones u otros proyectos como el movimiento de forma autónoma por toda la ciudad.

El sistema por realizar es un sistema diseñado para ofrecer una experiencia de manejo tradicional donde se podrán observar subsistemas que incluyan pedales y volante para el control de la propulsión y dirección del vehículo; esto garantiza que existe una compatibilidad entre todos los sistemas para un correcto funcionamiento de los sistemas requeridos.

El proceso de desarrollo se incorpora en varias partes, desde el análisis de parámetros y características de los vehículos eléctricos y autónomos hasta la investigación y construcción del sistema de conducción mecatrónico. En este proyecto de titulación se puede observar la integración de varios componentes mecánicos, electrónicos y de control para lograr gestionar y supervisar todos los sistemas críticos del automóvil, específicamente los sistemas de dirección y velocidad del ANTA. Donde el informe del proyecto de titulación presenta documentación técnica y teórica del sistema a diseñar y fabricar de modo que se logre desarrollar un proyecto de innovación con la ingeniería mecatrónica.

Palabras Claves: ANTA, Autónomo, PIX kit 2.0, mecatrónica, componentes electrónicos, mecánicos y de control, innovación.

Abstract

The degree project is developed on the autonomous vehicle "ANTA" which is also known as PIX Kit 2.0. The objective of this project is to build an integral driving system that allows ANTA to be considered as a vehicle; making it easier to be taken out of the university facilities to continue with other research or projects such as autonomous movement throughout the city.

The system to be developed is a system designed to offer a traditional driving experience where subsystems involve pedals and steering wheel for the control of the propulsion and direction of the vehicle can be observed; this guarantees that there is compatibility between all the systems for a correct operation of the required systems.

The development process is incorporated in several parts, from the analysis of parameters and characteristics of electric and autonomous vehicles to the research and construction of the mechatronic driving system. In this research, the integration of various mechanical, electronic and control components can be observed to manage and monitor all the critical systems of the car, specifically the steering and speed systems of the ANTA. The report presents technical and theoretical documentation of the system to be designed and manufactured to develop an innovative project with mechatronic engineering.

Keywords: ANTA, Autonomous, PIX kit 2.0, mechatronics, electronic, mechanical and control components, innovation.

1. Introducción

El objetivo del proyecto de titulación incluye la construcción y diseño de un sistema mecatrónico de conducción adaptado al vehículo autónomo "ANTA", con el fin de seguir impulsando la tecnología mecatrónica que genere conocimiento transformador e inteligente en la ingeniería del transporte, especialmente en la automoción, para promover la mejora y evolución en el ámbito de la tecnología y la ingeniería. Este sistema integrará varios componentes electrónicos, mecánicos y de control, los cuales contribuirán al desarrollo del proyecto de titulación.

El vehículo ANTA, conocido como PIX Kit 2.0, es un kit educativo y de desarrollo de la conducción autónoma proporcionado por PIX Moving (PIXMoving, 2023). Se pretende adaptar al PIX Kit 2.0 un sistema de conducción que permita la conducción híbrida, propiciando tanto una conducción manual como autónoma, sin incluir el control remoto. Esto proporcionará al usuario una capa adicional de control y, al mismo tiempo, presentará un sistema familiar para los conductores.

El modelo PIX Kit 2.0 emplea 4 modos de acuerdo con el fabricante, pero sólo 3 de ellos son utilizados en un funcionamiento apropiado (PIXMoving, 2024). Por lo tanto, el mismo se dirige específicamente a controlar en el último modo, el cual se denomina "Man" o "conducción manual". La implementación de un sistema de dirección híbrido requiere el conocimiento de los principios de dirección y de los métodos de dirección de Ackermann. Además, es importante conocer los protocolos de comunicación industrial y sus campos aplicables en la ingeniería, la electrónica y el control. Para que la implementación sea completada, es necesaria la investigación y el análisis de sistemas de dirección similares que proporcionen una imagen clara del sistema que se desarrolló.

2. Problema

2.1. Descripción del problema

La demanda de vehículos autónomos se incrementa de acuerdo con la evolución de la tecnología, debido a que estos ofrecen una experiencia de conducción sin ninguna intervención humana, lo cual permite a los usuarios realizar otras tareas en movimiento (Kia, 2021).

El proyecto de investigación del vehículo autónomo ANTA se encuentra en fase de desarrollo, en Ecuador, especialmente en la ciudad de Cuenca. Además, el desarrollo de este proyecto sigue viéndose obstaculizada por varias normas de tráfico establecidas por la autoridad competente. Esto impide que se realicen pruebas fuera del territorio de la Universidad Técnica Salesiana. Para superar este reto, se consultó a la autoridad de transportes del país para determinar la mejor manera de cumplir en el futuro la normativa relacionada con ANTA. Teniendo como resultado de esta investigación la necesidad de desarrollar un sistema que permitiera controlar el vehículo autónomo y, al mismo tiempo, que garantizara el cumplimiento de la normativa de tráfico en el país.

2.2. Antecedentes

Francis Houdina generó un gran progreso en 1925 con sus avances en el campo automotriz, trayendo consigo una continua evolución de manera puntal con los coches autónomos. Según los estudios, Houdina impulsó a varias empresas automotrices desde su época hasta la actualidad a seguir investigando sobre los vehículos con una autonomía propia. Estas industrias son Tesla, Lyft y Waymo, entre otras compañías que incorporan esta tendencia del desarrollo y diseño de vehículos autónomos, en donde los análisis desarrollados han desempeñado un papel crucial para la creación de un vehículo autosuficiente que a futuro permita mejorar el transporte humano.

En el caso de Ecuador, la Universidad Politécnica Salesiana por medio de la carrera de ingeniería automotriz y el grupo de Investigación de Ingeniería del Transporte (GIIT) han

mostrado el proyecto de investigación “ANTA” al que se le considera el primer vehículo autónomo de Latinoamérica (GIIT, 2024). Además, este es el primer automóvil que funciona de manera autónoma en el Ecuador. Sin embargo, no excluye la posibilidad de que existan otros automóviles similares en Latinoamérica, por ejemplo: los buses autónomos en Chile (Sánchez, 2020).

A través del proyecto de investigación ANTA, la Universidad busca tener un impacto positivo y contribuir con la sociedad y, con la ayuda del Grupo de Investigación en Ingeniería de Transporte (GIIT), se propone desarrollar tecnologías de punta para dotar a la sociedad de medios de transporte confiables y seguros (GIIT, 2024). Sin embargo, hay que tener en cuenta la naturaleza futurista de los vehículos "ANTA", lo que convierte la introducción de los vehículos autónomos en América Latina en un reto importante.

2.3. Importancia y alcances

El objetivo de este proyecto de fin de carrera consiste en implementar un sistema de conducción mecatrónico, el cual es adicional al sistema de piloto automático del automóvil "ANTA". El automóvil funciona como un vehículo híbrido, ofreciendo funciones de conducción manual para realizar determinados tipos de maniobras con el fin de controlar el vehículo y evitar accidentes a futuro. También, el sistema de conducción aporta la posibilidad de cumplir con las normas de tráfico.

La importancia de diseñar e implementar un sistema de conducción mecatrónico para el vehículo autónomo "ANTA" radica en incorporar a futuro los vehículos autónomos en la ciudad de Cuenca, pero con un sistema de conducción mecatrónico que sirva de apoyo, hasta que los carros autónomos lleguen a una autonomía de quinto nivel. Por lo tanto, los vehículos híbridos impulsarán la difusión de los automóviles autónomos en Ecuador y esto aportará diversos beneficios a varios sectores del país, prestando así un servicio a la comunidad y al medio ambiente.

2.4. Delimitación

Este apartado brinda la información sobre la ubicación geográfica y el período temporal en el que se dio lugar al proyecto:

2.4.1 Espacial o geografía

El trabajo de titulación se llevará a cabo en la Universidad Politécnica Salesiana (UPS), ubicada en la ciudad de Cuenca, Ecuador, la cual pertenece a la provincia de Azuay. Este proyecto se dará de forma específica en el área de automoción con el grupo de investigación GIIT. En la siguiente imagen se muestra la sede de la universidad en la ciudad de Cuenca:

Figura 1

Universidad Politécnica Salesiana

Nota: La siguiente imagen muestra el lugar donde se realizo el proyecto de titulación (Sede Cuenca, 2024)

2.4.2 Temporal

Durante el lapso académico comprendido entre marzo y agosto de 2024, en el marco de la asignatura de integración curricular, se llevará a cabo el proyecto de tesis titulado "Diseño e implementación de un sistema manual para gestionar la dirección y propulsión del vehículo autónomo “ANTA”, con el objetivo de cumplir con un total de 240 horas.

2.4.3 Sectorial o institucional

El proyecto será llevado a cabo en la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA con el propósito de desarrollar avances significativos para el vehículo autónomo ANTA.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

- Diseñar y construir el sistema de conducción mecatrónico para el vehículo autónomo ANTA.

3.2 Objetivos Específicos

- Identificar los parámetros iniciales para el diseño de un sistema de conducción mecatrónico para el vehículo autónomo ANTA.
- Proponer el diseño del sistema de conducción mecatrónico para el vehículo autónomo ANTA.
- Construir el sistema de conducción mecatrónica que integre componentes mecánicos y electrónicos para proporcionar un control preciso del vehículo ANTA.
- Implementar el sistema de conducción mecatrónico para el vehículo autónomo ANTA.

4. Hipótesis

Este apartado visualiza las hipótesis tanto con un enfoque general como específico, del trabajo de titulación. Y es de suma importancia tener en cuenta esta sección para su posterior implementación

5.1 Hipótesis General

- El desarrollo del sistema de conducción mecatrónico del vehículo “ANTA” aporta un mayor control del automóvil, aumentando la flexibilidad operativa, permitiendo encajar con las normativas de tránsito.

5.2 Hipótesis Especificas

- La correcta definición de los parámetros iniciales para el diseño de interconexión del sistema de conducción mecatrónico para el vehículo ANTA permite realizar el correcto diseño para la futura construcción del sistema.
- La propuesta de diseño del sistema de conducción mecatrónico para el vehículo ANTA proporciona una mayor facilidad de la construcción e implementación del proyecto de titulación.
- La fabricación y montaje del sistema de conducción tendrá incorporada una sinergia de componentes de tipo mecánicos y electrónicos que garantizan la correcta funcionalidad del sistema.
- La aplicación de un sistema de conducción mecatrónico para el vehículo autónomo permite analizar y estudiar la viabilidad del proyecto según las normativas de tránsito.

5. Marco Teórico

5.1 Identificar los parámetros iniciales para el diseño de un sistema de conducción mecatrónico para el vehículo autónomo ANTA.

En nuestros tiempos, se ha dado un gran desarrollo tecnológico en diversos ámbitos, particularmente en el área automotriz que muestra la creación de vehículos autónomos, los cuales requieren sistemas de conducción seguros y precisos. El diseño de un sistema de conducción mecatrónico para el vehículo autónomo "ANTA" requiere de un plan exhaustivo y detallado de varios parámetros iniciales, por lo que el análisis inicial se basa en reconocer términos clave para el mejor entendimiento del sistema.

Vehículos Eléctricos

Mediante el diseño y construcción del sistema de conducción, es necesario efectuar un análisis comparativo de varios vehículos eléctricos. Este estudio será realizado a vehículos con autonomía desde un nivel hasta un nivel 5. Los automóviles eléctricos son propulsados por la

transformación de energía eléctrica a energía cinética, diferenciándolo de los carros tradicionales, a causa de que estos no se abastecen de gasolina o diesel para tener energía. Posterior a esta introducción, se analizará una cierta clasificación de los vehículos eléctricos, la cual es (Barcelona, 2023):

Tabla 1

Clasificación de los Vehículos Eléctricos

CLASIFICACIÓN DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	
Vehículos	**Descripción**
100% eléctricos (BEV)	Impulsado con electricidad e incorpora baterías. No genera emisiones de carbono.
Autonomía extendida (Vehículo hibrido) (HEVS)	100% eléctrico, no obstante, posee un motor de combustión que solo ayuda a abastecer energía para lograr una mayor extensión de autonomía para no precisar de puntos de carga, además utilizan frenos regenerativos en lugar de enchufe para recargar la batería.
Híbridos con enchufe (PHEVs)	Es una variante del vehículo hibrido anterior solo que este posee un enchufe para obtener una fuente de alimentación externa.
Celda de combustible (FCEV)	Similares al BEV, a pesar de eso, utilizan baterías que se cargan por medio de celdas de combustible de hidrogeno y produce vapor de agua como su única emisión.
Algunos ejemplos de estos vehículos son: KIA SOUL EV. Toyota Mirai, Tesla model S, entre otros vehículos.	

Nota: La tabla presenta la clasificación de los vehículos eléctricos y sus características principales. Fuente: (Mazda, 2023; Barcelona, 2023; KIA, 2021; TESLA, 2024). Cuadro elaborado por los autores.

El análisis permite un mejor entendimiento de las distintas variantes de vehículos eléctricos, para destacar las principales desventajas y ventajas, con el fin de proporcionar información crucial al desarrollar el sistema de conducción mecatrónico.

Tabla 2

Ventajas y Desventajas de Vehículos eléctricos

AUTOMOVILES ELECTRICOS	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Los vehículos de este tipo poseen una batería de ION-LITIO que alimenta el motor de estos vehículos, lo que brinda una cierta capacidad total y una autonomía final que dependerá del uso de las herramientas del vehículo	Por el poco uso de vehículos eléctricos, existen muy pocas áreas con puntos de carga
El carro eléctrico no genera ningún ruido de tipo mecánico.	El coste de estos vehículos es elevado
Menor mantenimiento con respecto a los vehículos convencionales en vista de que no necesitan cambios de aceites, filtros para el combustible, cambio de bujías o cambiar el tubo de escape.	Los vehículos poseen una autonomía que llega hasta unos 400 km, aunque algunos vehículos han aumentado esta capacidad hasta unos 600 km

Nota: La matriz de datos presenta varias ventajas y desventajas que el carro electrico presenta (Barcelona, 2023; Communications, 2023).

Cabe recalcar que es de suma importancia el abordar el desarrollo histórico y futuro de los vehículos eléctricos, desde sus principios en 1906 hasta la actualidad, donde la prioridad ha sido aumentar la autonomía y la integración de nuevas tecnologías (Barcelona, 2023). Los automóviles eléctricos se han convertido en una alternativa muy interesante por permitir un transporte sostenible que elimina el uso de combustibles fósiles.

Desde tiempos históricos, el principal desafío ha sido proporcionar mejoras significativas en cuanto a rango de operación, y la adición de tecnologías avanzadas que mejoren la comodidad del usuario (Barcelona, 2023). Un área de suma importancia que se requiere integrar en los coches eléctricos es la conexión a redes 5G, que permitirá mejorar la seguridad y la eficiencia del vehículo debido a que otorga una mejor transmisión de datos entre vehículos e infraestructuras urbanas. El estudio del desarrollo histórico y tecnológico de los vehículos eléctricos corrobora la evolución continua hacia una mayor autonomía, donde exista la incorporación de nuevas tecnologías innovadoras. Este progreso tiene grandes ventajas, lo que fortalece la seguridad vial e incrementa el interés de las industrias automovilísticas al explorar a profundidad distintas variantes de autonomía en los vehículos eléctricos y de esta manera desarrollar y crear sistemas que puedan ser autosuficientes.

Tipos de autonomía

Un coche autónomo debe reunir características suficientes para manejar sin depender de la asistencia por parte del conductor, lo que significa que un vehículo autosuficiente debe reconocer su entorno y tomar decisiones mientras este se moviliza por la ciudad (Bassols, 2021). Sin embargo, el nivel de autonomía en los carros inicia desde los sistemas que necesitan la asistencia del conductor hasta sistemas que pueden ser completamente autónomos. La clasificación por niveles es de suma importancia, ya que permite identificar los requisitos técnicos y operativos de cada sistema de conducción, dando a conocer en qué nivel de autonomía se encuentra el sistema de conducción mecatrónico que se implementará. A continuación, se presentará la clasificación de los tipos de autonomía:

Tabla 3

Tipos de Autonomía presente en los vehículos eléctricos

Tipos de Autonomía		
Nivel	Tipo	Descripción:
0	Sin automatización	El piloto es el encargado de manejar y tomar las decisiones del vehículo.
1	Asistencia al Conductor	El nivel 1 tiene asistencia que brinda un manejo cómodo y con mayor seguridad.
2	Automatización Parcial	Capacidad de tomar el control tanto de la dirección, aceleración y frenado del vehículo, bajo ciertas circunstancias. Sin embargo, es necesario que el conductor supervise el sistema en todo momento.
3	Automatización Condicional	El sistema cuenta con automatización de todos los aspectos de la conducción, además de tener respuesta ante objetos por lo que el vehículo puede decidir si cambiar de carril, frenar o evitar la colisión. Pese a eso, es necesario un conductor o un operador para tomar el control cuando el sistema lo solicite.
4	Alta Automatización	Este nivel no precisa de intervención humana más que para controlar el tráfico y las condiciones del entorno, definiendo rutas y respondiendo ante cualquier imprevisto.
5	Automatización Total	El vehículo tiene la capacidad de introducir ordenes sin la necesidad de volante, pedales o mandos.

Nota: Cuadro de los distintos niveles de autonomía que son reconocidos internacionalmente (Galvan, 2024; Adeva, 2020;).

El cuadro contempla el incremento de los niveles de autonomía y su evolución desde vehículos que no poseían ninguna automatización hasta tener una automatización completa; cada nivel ofrece tecnologías que van mejorando uno a otro, lo que ayuda a mejorar la conducción y aumentar la seguridad vial. Algunos ejemplos que permiten demostrar estos niveles de autonomía de una forma más específica son los vehículos que posee la Universidad Politécnica Salesiana. El Kia SOUL EV. posee un nivel 2 de autonomía por ser un vehículo que permite controlar dirección y velocidad, de todas maneras, es necesaria la supervisión de un conductor. Por otro lado, el PIX Kit 2.0 o conocido como vehículo autónomo ANTA abarca tecnologías que permiten tener un nivel de autonomía más avanzado que va desde el nivel 3 hasta el nivel 5, reflejando una gran capacidad del sistema para operar sin un conductor en condiciones cada vez más amplias. Acto seguido, se explorará a detalle cada vehículo y tecnología, examinando varios aspectos claves de cada automóvil para poder obtener una idea más clara para el diseño del sistema mecatrónico.

Kia SOUL EV.

El KIA SOUL EV. es un vehículo eléctrico de tipo compacto fabricado por la compañía de autos Kia. Este modelo es una variante del KIA SOUL, que fue creado con el propósito de diseñar un automóvil que pueda brindar una conducción sostenible, y que proporciona una autonomía nivel 2, adecuada para trasladarse en espacios urbanos y suburbanos. Posee una propulsión eléctrica que genera cero emisiones cuidando el medio ambiente, debido a que reduce significativamente la huella de carbono al no consumir combustibles fósiles. Este medio de transporte ya cuenta con la integración de diversas tecnologías, que mejoran la trasmisión de datos en tiempo real; al mismo tiempo posee un frenado regenerativo, que recupera energía, y múltiples métodos de carga, como también distintos modos de conducción.

Su análisis proporciona datos sobre la integración de sistemas eléctricos y mecatrónicos. Y posee estas características:

Tabla 4

KIA SOUL EV. Características

Características	Descripción
Motor	Eléctrico sincrónico de imanes permanentes
Unidad de Control	ECU
Batería	Polímero de Iones de litio
Potencia Máxima	78 kW
Torque Máximo	163,5 Nm
Velocidad Máxima	167 km/h
Celda de Batería	Voltaje: 3.75 V y 75 Ah
Módulo de Batería	8 módulos (96 celdas). 360 v, 75 Ah y 90 kW
Autonomía	Aproximadamente 243 millas
Recarga Lenta	La carga es de 6 a 8 horas con una intensidad de 16 A.
Recarga Rápida	Potencia muy alta entre 44 y 50 kWh y la recarga de 22 a 24 kWh puede llevar media hora.
Transmisión	Automática de una sola velocidad
Peso	Es de 1487 Kg
Protocolo de Comunicación	BUS CAN

Nota: Las características del vehículo eléctrico fueron tomadas del Kia SOUL EV. obtenido por la universidad lo que genera una cierta variación de los datos ya dados por KIA **Fuente:** (Maurad & Armijos, 2018)

En la tabla se presentaron las principales ventajas del KIA SOUL EV. donde se incluye su impacto ambiental, eficiencia operativa, su costo de mantenimiento y su tipo de conducción. Además de analizar las ventajas que puede brindar el vehículo, también se examinarán las desventajas asociadas al automóvil. Al comprender ambas especificaciones, se puede obtener una visión general e integral del potencial del Kia SOUL EV. y de las áreas a mejorar del vehículo.

Tabla 5

Ventajas y Desventajas del sistema Kia SOUL EV.

ASPECTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Emisiones	Cero emisiones de escape, y reduce la huella de carbono.	Genera emisiones indirectas según la fuente de energia.
Costo de Mantenimiento	Menores costos en comparacion de mantenimiento de vehiculos de combustion interna.	Costo inicial mas alto y posible neceidad de reparaciones especializadas para componentes eléctricos.
Eco. Combustible	Reduccion significativa ya que no utiliza combustibles de combustion interna.	Tiempo de recarga mas largo en comparación a los vehículos con gasolina.
Conduccion y Rendimiento	Suave y silenciosa con respuesta rapida del motor electrico.	Autonomia limitada; Conduccion limitada en viajes largos.
Diseño y Espacio Interor	Diseño espacioso y versatil que maiximiza el espacio interior.	Posible limitacion en personalizacion.

Nota: Ventajas y desventajas del vehículo Kia SOUL EV. **Fuente**:(Kia Soul EV, 2021; Hernandez et al., 2022)

El análisis del Kia SOUL EV. ha demostrado cómo un vehículo eléctrico de autonomía nivel 2 puede brindar una combinación de eficiencia y seguridad a la vez. Sin embargo, aún se exhibe una gran variedad de desafíos que se van a observar para avanzar en la tecnología de carros autónomos para superar estas limitaciones. Para ejemplificar cómo se están abordando estas problemáticas, ya existen automóviles que avanzan hacia niveles más altos de autonomía, como es el caso del PIXKIT 2.0. Este vehículo presenta un salto significativo en la automatización. Al estudiar este modelo de carro con autonomía que va desde 3 hasta el nivel 5, se exploran las capacidades de vanguardia en la conducción autónoma, sus aplicaciones y los beneficios adicionales que proporciona en términos de seguridad y eficiencia.

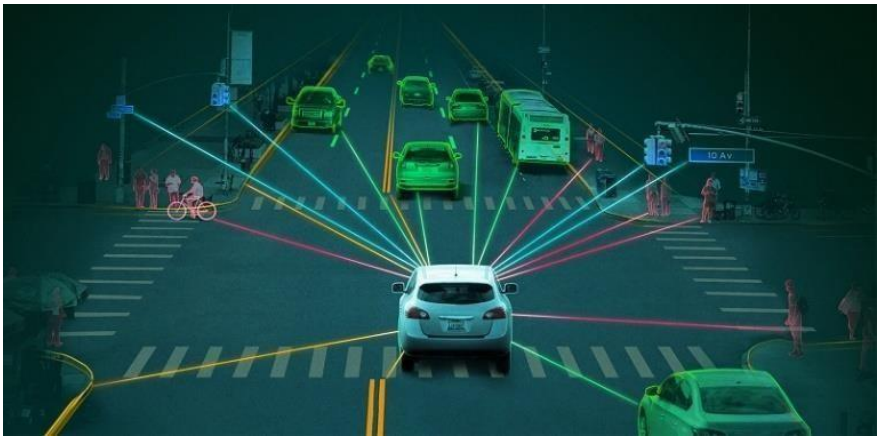
PIX KIT 2.0

El PIX Kit 2.0, aunque sea un kit educativo, representa un gran avance en la tecnología de automóviles autónomos, ya que ofrece capacidades avanzadas que sobrepasan el nivel 1 y 2 de automatización. Este moderno sistema de conducción constituye niveles de autonomía que van desde el nivel 3 hasta el nivel 5, dando al vehículo la facilidad de operar de manera independiente en una amplia variedad de entornos. El PIX Kit 2.0 posee características muy distintivas, incluyendo un sistema de sensores avanzados, capacidad de procesamiento de datos

en tiempo real y sistemas de toma de decisiones autónomas. Un ejemplo ilustrado de las características antes mencionadas se presenta en la siguiente gráfica:

Figura 2

Vehículo Autónomo



Nota: Imagen que muestra el funcionamiento del vehiculo autonomo al sensar diferentes elementos del entorno. Fuente: (Kia, 2022)

En este contexto, el PIX Kit 2.0 presenta un gran conjunto de componentes esenciales para seguir progresando de un nivel 3 hasta llegar a nivel 5 de automatización; al mismo tiempo, el vehículo posee código abierto tanto en Autoware y Apollo, que tiene una rica interfaz CAN abierta para que los usuarios integren la capa de control. A continuación, se mencionarán las características de esta tecnología:

Tabla 6

Características de la plataforma de chasis Hooke del PIX Moving

ASPECTO	DESCRIPCION
Bateria	Litio Ternaria
Metodo de Carga	Carga lenta de CA en un tiempo de 7.5 h
Peso(Sin Carga)	500 kg
Kilometraje de Conduccion	70-100 km
Maxima Velocidad	40 km/h
Tipo de conducción	Traccion en las 4 ruedas
Tipo de direccion	Direccion en 2 ruedas/ cuatro ruedas/ Cuña
Protocolo de Comunicación	CAN 2.0B

Nota: Detalles del chasis Hooke de PIXMOVING **Fuente:** (RoboSavvy Ltd, 2018).

Comparación entre PIX Kit 2.0 y Kia SOUL EV.

Con respecto a los avances tecnológicos en la industria automotriz, tanto el PIX Kit 2.0 como el Kia SOUL EV. poseen características distintivas de cada vehículo, donde se realiza una comparación entre estos dos vehículos con la finalidad de evaluar y contrastar las características tecnológicas de ambos productos.

Tabla 7

Comparación de detalles sobre los vehículos KIA SOUL EV. y PIX Kit 2.0

	KIA SOUL EV.	PIXKIT 2.0
ASPECTO	**DESCRIPCION**	**DESCRIPCION**
Bateria	Polímero de Iones de litio	Litio Ternaria
Metodo de Carga	4 modalidades de carga	Carga lenta de CA en un tiempo de 7.5 h
Peso(Sin Carga)	1487 kg	500 kg
Kilometraje de Conduccion	Aproximadamente 452 km	70-100 km
Maxima Velocidad	167 km/h	40 km/h
Tipo de Traccion	Traccion Delantera(FWD)	Traccion en las 4 ruedas
Tipo de direccion	En si no existen modos de direccion sino que existe modos como Eco, Normal y Sport.	Direccion en 2 ruedas/ cuatro ruedas/ Cuña
Protocolo de Comunicación	BUS CAN	BUS CAN 2.0B

Nota:Detalles tecnicos de los vehículos KIA SOUL Ev. y Pixkit 2.0 **Fuente:** (Autor)

Tras realizar el estudio de las características y capacidades del Kia SOUL EV. y PIX Kit 2.0, es evidente la importancia de lograr un diseño de sistema de conducción mecatrónico que cubra la eficiencia como la experiencia del usuario en vehículos eléctricos, por lo que el sistema será

adaptado al PIX Kit 2.0 para integrar una nueva tecnología que potencie su capacidad urbana y proporcione una nueva experiencia con respecto a la conducción eléctrica. Al mismo tiempo, esta alternativa ayuda a que el vehículo autónomo ANTA tenga una mejor aceptación legal y cumpla con las normativas de tránsito existente.

5.2 Proponer el diseño del sistema de conducción mecatrónico para el vehículo autónomo ANTA

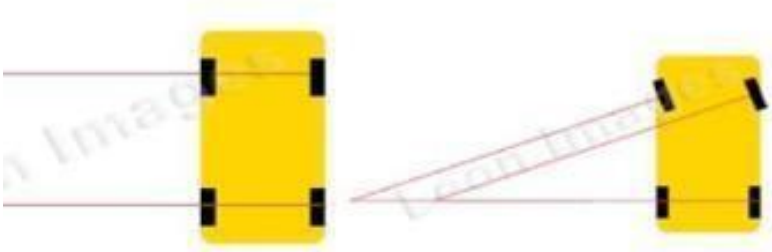
Para un mejor entendimiento de las características esenciales para el diseño y la fabricación de un sistema de conducción que ofrezca control de velocidad, frenado y dirección, es necesario abordar aspectos vitales del vehículo autónomo "ANTA". Entre los temas a tratar se encuentran la dirección del automóvil, la geometría o conducción Ackermann y ventajas/desventajas de esta configuración. Así mismo, es relevante examinar otras características que no son mencionadas, pero son vitales para tener un correcto funcionamiento del vehículo; estas son las marchas, tracciones y las configuraciones existentes de este. Conocer estas propiedades del "ANTA" permite adaptar de una mejor manera el sistema de conducción.

Geometría Akerman

La dirección Ackerman, también conocida como geometría Ackerman, se basa en un principio de diseño geométrico aplicado en la ingeniería automotriz para mejorar el comportamiento dinámico de la dirección de vehículos, especialmente en curvas. (Suspension Secrets, 2017). Si un vehículo no está diseñado con la geometría Ackermann y ambas ruedas delanteras giran en el mismo ángulo, no se logra tener un centro de giro común. Esto provocaría dificultades de maniobrabilidad en el vehículo (Valdés, 2019). En la siguiente imagen se observa el giro sin Ackermann:

Figura 3

Vehículo sin la implementación de la geometría Ackermann



Nota: La ilustración manifiesta como el ángulo similar de giro en cada rueda genera que no exista un centro en común dando como resultado problemas en la conducción, al tener disintos centros de giro (Gil, 2023).

El sistema de dirección antiguo presentaba problemas comunes que podrían tener consecuencias graves, como el poner en peligro la vida del piloto como de los pasajeros (Briet, 2024), estas problemáticas incluían una maniobrabilidad deficiente, entre otras desventajas que se mencionarán posteriormente:

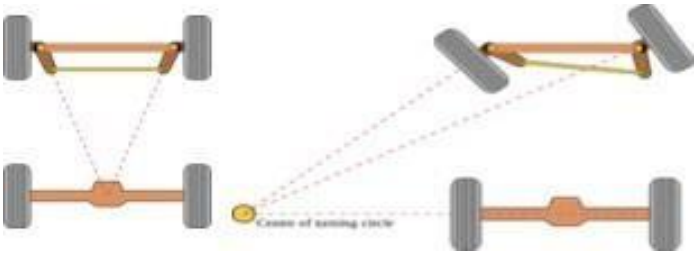
- Falta de agarre.
- Carencia de precisión en la dirección.
- Deficiencia de las fuerzas durante el giro del automóvil, disminuían la durabilidad y confiabilidad del vehículo.
- Incremento del consumo de combustible.
- Menor seguridad para los pasajeros.
- Desgaste de las llantas.
- Inestabilidad en la conducción.

Al implementar la geometría Ackermann, se logra corregir una gran cantidad de los problemas antes mencionados; por lo tanto, su funcionamiento permitía ajustar las ruedas delanteras, configurar la dirección y mover las llantas interiores con un mayor ángulo, posibilitando que las ruedas sigan trayectorias que compartan un centro común, mejorando el control de dirección del vehículo (Suspension Secrets, 2017).

A continuación, se observa por medio de la ilustración la geometría Ackermann y su funcionamiento:

Figura 4

Sistema de Dirección con geometría Ackerman



Nota: La figura representa la implementacion de la geoemetría ackerman, que permite corregir los distintos centros de giro dando solo un centro de rotación. (Valdés, 2019).

En la época moderna se utiliza este principio que fue patentado por Rudolf Ackermann en 1817 (HRMotor, 2023). Y es usado por la mayoría de los vehículos convencionales; pero algunos ejemplos de la implementación del sistema de dirección Ackermann son:

Tabla 8

Vehículos y marcas que utilizan el sistema de dirección Ackerman

Tipo de vehículo	Marca	Descripción
Pasajeros y comerciales	Toyota, Honda y Ford	Realizan cambios en el sistema de conducción para mejorar maniobrabilidad en situaciones de estacionamiento y giros cerrados.
Alto rendimiento y deportivos	Porsche, BMW	Utilizan variaciones del sistema de geometría Ackermann.
	Ferrari y Lamborghini	Integran la misma tecnología, pero adaptan una configuración para maximizar la tracción y control (Vogel, 2021).
Vehículos de Competición	Mercedes Red Bull	En este caso utilizan el anti- Ackermann, pero también el Ackermann para mejorar la resistencia y la dirección según las características del circuito (dbpedia, 2024).
Vehículos Eléctricos	Tesla y Waymo	Donde se utiliza el sistema para mejorar la eficiencia energética y precisión de maniobras a baja velocidad.
Existe una gran variedad de vehículos que utilizan el sistema de dirección Ackermann en los cuales se encuentra: Volvo, Mazda, Subaru, Jaguar, Land Rover, Acura, Infiniti, Susuki, Cadillac, Dodge, entre otros vehículos.		

Nota: Tabla de las marcas que utilizan el sistema de Geometría Ackermann y sus variantes.

Ventajas y Desventajas del uso de conducción Ackermann

Tras haber explicado la dirección Ackermann y su aplicación en la rama de la ingeniería automotriz, es importante analizar el beneficio de utilizar Ackermann. A continuación, se puede observar un cuadro detallado que recopila de varias fuentes las principales ventajas y desventajas de la implementación del principio Ackermann en los sistemas de dirección. Este estudio permitirá tener una mejor comprensión de los beneficios y las limitaciones con respecto a este principio, ayudando a sacar una conclusión al utilizar la dirección Ackermann.

Tabla 9

Ventajas y Desventajas de la conducción Ackermann

Conducción Ackermann	
Ventajas	**Desventajas**
A baja velocidad todas las ruedas giran libremente sin ángulo de deriva	Se incrementa el ángulo de deriva interior, al mismo tiempo da la sensación de falta de dirección y precisión.
Existe un menor desgaste de las llantas	Puede existir un efecto de divergencia en la llanta interna durante el giro.
Mayor control del vehículo, dando un giro más preciso y suave	Existe una disminución de la velocidad, al mismo tiempo el sistema va a requerir un mantenimiento para mantener la precisión del sistema.
Aumento de la seguridad de los pasajeros	Su implementación puede requerir un costo de fabricación elevado con respecto a los vehículos que no incorporaban esta tecnología.
Existe una mejora de la estabilidad del vehículo	Sin embargo, en terrenos irregulares puede afectar a la tracción y el control del vehículo.

Nota: Ventajas y desventajas de la conducción Ackermann. Fuente: (Briet, 2024; HRMotor, 2023).

Comprender sobre la dirección Ackermann y la implicación que lleva su implementación permite optimizar el control y maniobrabilidad del vehículo. Con esto en mente, es pertinente explorar las marchas que contribuyen al desempeño eficiente y adaptado a distintos modos de conducción.

Marchas del vehículo

El vehículo autónomo ANTA, al ser un kit educativo, presenta un innovador sistema de modos de marcha, que simplifica la complejidad de las múltiples marchas presentes en coches tradicionales. En los carros eléctricos modernos tanto de conducción manual como autónoma,

este sistema ofrece tres modos: Modo de conducción(D), Modo Neutro(N) y Modo de reversa(R). Cada modo será explicado, posteriormente:

Tabla 10

Modos de marcha del vehículo autónomo "ANTA"

Modo de marchas	
Modo de Conduccion (D)	Acopla la transmisión automatica, la ECU del auto determinara que marcha debe utilizarse en funcion del acelerador y la velocidad
Modo Neutro(N)	Las marchas no estan conectas al motor, por lo que las llantas no podran ser accionadas.
Modo de Reversa(R)	Permite la conducción del automovil hacia atrás.

Nota: Conocer las marchas del vehículo es crucial para maximizar la eficiencia, seguridad y rendimiento a la hora de conducir el carro autonomo “ANTA”. **Fuente:** (Motors, 2021)

Los modos de marcha son una parte crítica del análisis, ya que permite comprender cómo se gestiona la potencia y la velocidad del vehículo. Con esta comprensión, la tracción juega un papel indispensable en la optimización del desempeño del automóvil en diversas condiciones de manejo.

Tipos de Tracción

La tracción es el mecanismo que permite la transmisión de la fuerza y el movimiento generados por el motor hacia las ruedas, facilitando el desplazamiento del vehículo. Esta fuerza puede distribuirse de forma parcial o total, dependiendo de la configuración que tenga del automóvil. Los tipos de tracción que se encuentran en diversos medios de movilización terrestre incluyen Tracción Delantera (FWD), Tracción Trasera (RWD), tracción en 4 ruedas(4WD), Tracción en 4 ruedas total y permanente (AWD). Según las especificaciones del chasis del vehículo autónomo “ANTA” este cuenta con tracción 4WD, conocida por proveer fuerza a las 4 ruedas.

Este sistema otorga al conductor la posibilidad de seleccionar diversas modalidades en 4WD, adaptándose a diferentes necesidades del piloto. Tales configuraciones son:

Tabla 11

Configuración de la tracción de 4 ruedas del vehículo autónomo "ANTA"

Configuraciones	**Descripción**
Rueda Delantera (*Front Wheel*)	Llamado 2 ruedas, genera una tracción en un eje del vehículo. Usualmente el uso de esta configuración es en ciudades.
4 ruedas *(Four Wheel)*	Da tracción a las 4 ruedas, considerando una velocidad adecuada, esta velocidad es moderadamente alta.
Rueda en Cuña *(Wedge Wheel)*	Igual da una tracción en las 4 ruedas, pero la opción es en baja velocidad y se le da uso en situaciones críticas cuando se necesita toda la potencia del vehículo, por ejemplo, el subir cuestas o subir riscos, entre otras situaciones.

Nota: En el cuadro se puede observar las distintas modalidades que posee el vehiculo al tener una traccion en las 4 ruedas(4WD).

Se realiza una búsqueda exhaustiva sobre los distintos aspectos y configuraciones que permiten la dirección del carro autónomo ANTA. Es imperativo considerar llevar a cabo un análisis completo de los protocolos de comunicación del área automotriz con el fin de asegurar la interoperabilidad, la seguridad y el correcto rendimiento del vehículo.

5.3 Implementar el sistema de conducción mecatrónico para el vehículo autónomo ANTA

Al hablar sobre un sistema de conducción mecatrónico para el PIX Kit 2.0, no solo juega un papel fundamental en los componentes físicos y electrónicos, sino que también es de suma importancia el protocolo de comunicación que facilita la interacción entre las infraestructuras de la carrocería. Este protocolo establece estándares para la transmisión de datos entre los distintos módulos y elementos del vehículo, asegurando una integración sólida y coherente. Este ofrece grandes ventajas para aumentar la seguridad y eficiencia del vehículo, al brindar la transmisión de datos en tiempo real del sistema. Por lo tanto, en esta sección se explorarán cada

uno de los protocolos para estudiar su efectividad y confiabilidad dentro del sector automovilístico.

Protocolos de comunicación en el Área Automotriz

En el sector automotriz, se ha observado el uso de diversos protocolos de comunicación industrial que facilitan la interacción entre diversos dispositivos y sistemas. Entre estas directrices se encuentran: CAN, Ethernet Automotriz, FlexRay, Most y LIN. No obstante, estos no representan los únicos métodos de comunicación en el sector. Otros también serán nombrados posteriormente. Cada protocolo de comunicación ofrece una aplicación específica en el área automotriz y se lo emplea según las necesidades detalladas del vehículo y del sistema a comunicar. A continuación, se analizarán las diferentes industrias automovilísticas y los protocolos de comunicación que cubren una aplicación específica en cada empresa.

Tabla 12

Protocolos de comunicación utilizados por la industria automotriz

Protocolo de comunicación	**Marca**	**Aplicación**
CAN	Toyota, Ford, Volkswagen y General Motor	Control del motor, sistemas de frenado, airbags, sistemas de entretenimiento y ventanas y asientos eléctricos.
LIN	Hiunday y FCA	Control de ventanas, espejos, iluminación interior.
FlexRay	BMW, Audi y Mercedes Benz	ADAS-Control de chasis y suspensión-Sistemas de seguridad.
MOST	BMW, Audi y Mercedes Benz	Sistemas de infotainment-Integración de audio y video-Sistemas de navegación.
Ethernet Automotriz	Tesla, BMW y Volvo	ADAS- Transmisión de datos de alta velocidad -Sistemas de conectividad.
Otros protocolos utilizados en la industria automotriz: SENT, Bluetooth, Zigbee, DC-Bus e IDB-1394, entre otros.		

Nota: El cuadro proporciona la indagación detallada sobre cada industria junto al protocolo de comunicación que usa. (**Fuente:** (Garcia, 2023; Carlos, 2008; LinkedIn, 2023; Rohde & Schwarz International, 2024; Bmw, 2024))

Comparación de protocolos de comunicación

Tras haber realizado el análisis de los tipos de protocolos de comunicación y la aplicación de estos en el ámbito del sector automotriz, ahora se procede a comparar de forma detallada cada estándar de comunicación, evaluando propiedades técnicas distintivas de cada sistema. En cada protocolo se analizarán costos, complejidad, velocidad de transmisión y nivel de importancia de los sistemas a gestionar. Esta evaluación técnica ayuda a seleccionar el mejor protocolo para su implementación en el sistema de conducción mecatrónico.

Tabla 13

Tabla de comparación de Protocolos de comunicación

Protocolos de comunicación	Descripción	Costos	Complejidad	Velocidad de transmisión		Importancia del protocolo
CAN (Controller Area Network)	Robusto y confiable, usado en comunicación interna de vehículos.	Bajos Moderados	Moderada	1 kbps a 1 Mbps. En sistemas CAN-FD permite hasta 25 Mbps		Alta (Sistemas como Motor y Frenos)
Ethernet Automotriz	Ethernet estándar adaptado al área automotriz soporta aplicaciones complejas y mayor tasa de datos.	Elevado	Alta	Dependiendo de la versión:		Creciente (Sistema de Infoentretenimiento y ADAS)
				100Base-T1	100 Mbps	
				1000Base-T1	1 Gbps	
				10Base-T1S	10 Mbps	
FlexRay	Alta velocidad y tiempo real en sistemas críticos.	Elevado	Alta	10 Mbps		Muy Alta (Sistemas de control de Chasis y seguridad)
Most(Media Oriented System Transport)	Uso principal en redes multimedia como audio o video.	Moderado	Moderado	150 Mbps		Baja (Sistemas no críticos)
LIN (Local InterConnect Network)	Protocolo económico para sistemas simples.	Bajo	Bajo	20 kbps		Baja (Sistemas no críticos como ventanas y luces)

Nota: La tabla permite analizar los protocolos de comunicación que existen en el área automotriz. **Fuente:** (Martinez, 2017; ER-Soft, 2024; LinkedIn, 2023; Rohde & Schwarz International, 2024; Bmw, 2024)

Viabilidad de Bus CAN

Los puntos fuertes del protocolo de comunicación que han asegurado su persistencia a lo largo del tiempo, a pesar de la aparición de otros protocolos con mayor velocidad de transmisión de datos, son su robustez y la garantía de comunicación que ofrece a la hora de desarrollar sistemas con características de tiempo real y alta integridad (Martinez, 2017). Estas ventajas incluyen la capacidad de manejar entornos exigentes y asegurar la fiabilidad en la transmisión de datos. Esto posiciona a este protocolo como la elección preferida para implementarlo en sistemas de conducción. Seguidamente, se realizará un resumen detallado de las ventajas de este protocolo.

Tabla 14

Viabilidad del Protocolo Bus CAN

Ventajas del Protocolo bus CAN
Identifica errores en la transmisión y en el fallo del nodo. Y dispone de una retrasmisión automática de mensajes para corregir errores.
Prioriza cada mensaje y la entrega de estos en el tiempo de latencia establecido. (La viabilidad es uno de los ámbitos más importantes en sistemas de tiempo real).
Otorga la posibilidad de quitar o incorporar nodos sin generar alteraciones en el sistema, por lo que tiene una mayor flexibilidad en su configuración.
Disposición con cableado sencillo y componentes económicos, que otorga facilidad a los clientes para conseguir componentes del sistema.
Provee seguridad al sistema porque lleva señales sin riesgos de pérdidas de datos.
Por Data producer/consumer en CAN, este concepto evita transmitir múltiples veces los mismos datos, los destinos ven todos los datos en el bus y toman los datos que necesitan cuando es necesario, por lo que su ancho de banda es eficaz.
Comunica en cualquier momento y sin problemas de colisión de datos debido al arbitraje que posee (permiso para datos importantes primero).

Nota: El cuadro proporciona las ventajas y la viabilidad de utilizar este sistema durante la implementación del proyecto de titulación. Fuente: (Martinez, 2017; ER-Soft, 2024).

Como se observa en la **Tablas 13** y **Tabla 14**, con respecto a los protocolos de comunicación, se escoge la directriz de comunicación bus CAN por las ventajas y características observadas, ya que se necesita un sistema robusto, seguro y flexible a la hora de implementar el proyecto.

Descripción del protocolo BUS CAN

El Protocolo de Comunicación CAN BUS (Controller Area Network Bus) es un estándar de comunicación serial desarrollado inicialmente por Bosch para su implementación en la industria automotriz. Desde entonces, es utilizado en una variedad de industrias debido a su fiabilidad, velocidad y eficiencia. El protocolo es aplicado todavía a diversos vehículos principalmente en carros, motocicletas, y entre otros. Cumpliendo el objetivo de Bosch al lograr sustituir otros protocolos generados en RS232. Gracias a las características mencionadas en la tabla 5, el protocolo sigue siendo utilizado en la actualidad para distintas aplicaciones en distintos sectores. Las características originales del Bus CAN en 1983 hasta la época actual son:

Tabla 15

Línea de tiempo del Protocolo BUS CAN

Bus CAN Original	*Bus CAN (CAN 2.0A)*	*Bus CAN 2.0B*	*Bus CAN FD 1.0*
11 bits de identificador (2048 diferentes) incluyendo en la ID, prioridad de mensaje	Identificadores estándar con una longitud de 11 bits, incluyendo ID, prioridad de mensaje	Campo de control de trama de 11 a 29 bits	11 o 29 bytes de identificador ID. 0-64 bytes de datos.
Modelo Multi Master Data-Producer/ Data-Consumer	Capas básicas (1: Física y 2: Data) en: Devicenet de ODVA y MilCAN	Automotriz, dispositivo médico, etc.	Usos: Aviación, vehículos, seguridad, medicina y entre otros
Velocidad de transmisión de datos: 10 kbps, 1 Mbps y 10 Mbps. Cada bit enviado debe ser visible en todo el bus es la base del arbitraje de bus CAN.	Su velocidad de comunicación de 125 kbps hasta máximo 1Mbps	Su velocidad de comunicación 1Mbps	Su velocidad de comunicación 1Mbps (En fase de sincronización y arbitraje) y posee otras velocidades

***Nota*:** Cuadro comparativo del Protocolo Bus CAN. Fuente: (ER-Soft - Noticias, 2024).

Obtención de los datos en el sistema BUS CAN

El protocolo CAN BUS se basa en una arquitectura de bus multi-maestro/multi-esclavo, otorgando una comunicación entre múltiples dispositivos sin la necesidad de un control centralizado. Esto lo hace ideal para sistemas distribuidos que requieren una comunicación rápida y eficiente. Según detalles técnicos del PIXKIT 2.0, el protocolo BUS CAN utilizado en el vehículo autónomo ANTA opera a una velocidad de 500 kbps, lo que ayuda a evitar la pérdida de información, lo que reduce la probabilidad de accidentes al minimizar retrasos en las acciones del vehículo. Además, el protocolo permite la comunicación entre las ECUs y otros dispositivos como Lidars, GPS, ultrasonicos y cámaras, mediante una comunicación basada en prioridades. Donde cada señal ocupa un número específico de bits (bit), como se muestra en la tabla a continuación:

Tabla 16

Orden bit/byte en la trama de datos de comunicación

	Orden de precedencia	MSB	→ → → → → → → → →						LSB
	Orden de bits								
Orden de bytes		bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
MSB	Byte 0	7	6	5	4	3	2	1	0
↓	Byte 1	15	14	13	12	11	10	9	8
↓	Byte 2	23	22	21	20	19	18	17	16
↓	Byte 3	31	30	29	28	27	26	25	24
↓	Byte 4	39	38	37	36	35	34	33	32
↓	Byte 5	47	46	45	44	43	42	41	40
↓	Byte 6	55	54	53	52	51	50	49	48
LSB	Byte 7	63	62	61	60	59	58	57	56

Nota: Tener en cuenta que MSB significa bit más significativo y el LSB bit menos significativo. Según la tabla se puede entender que el byte 0 es el primer byte transmitido y recibido en cada trama de campo de datos, y en el caso que la trama sea de 8 byte se transmitirá primero el bit 7 luego el bit 6 y así sucesivamente. **Fuente:** (Zhang et al., 2022). Tomado por Autores.

Protocolo de comunicación del Vehículo autónomo “ANTA”

El vehículo autónomo “ANTA” tiene una comunicación por BUS CAN 2.0B; el protocolo es similar al Bus CAN 2.0A porque ofrece la transmisión de datos de forma robusta y confiable entre diversos componentes del sistema eléctrico del vehículo; de forma adicional, permite que sensores, actuadores, sistemas de control y ECU's intercambien información de manera eficiente, garantizando una coordinación precisa en tiempo real. No obstante, se hará una tabla sobre la interfaz BUS CAN 2.0B para una mejor comprensión de esta versión de CAN:

Tabla 17

CAN 2.0B (Protocolo de comunicación CAN del vehículo "ANTA")

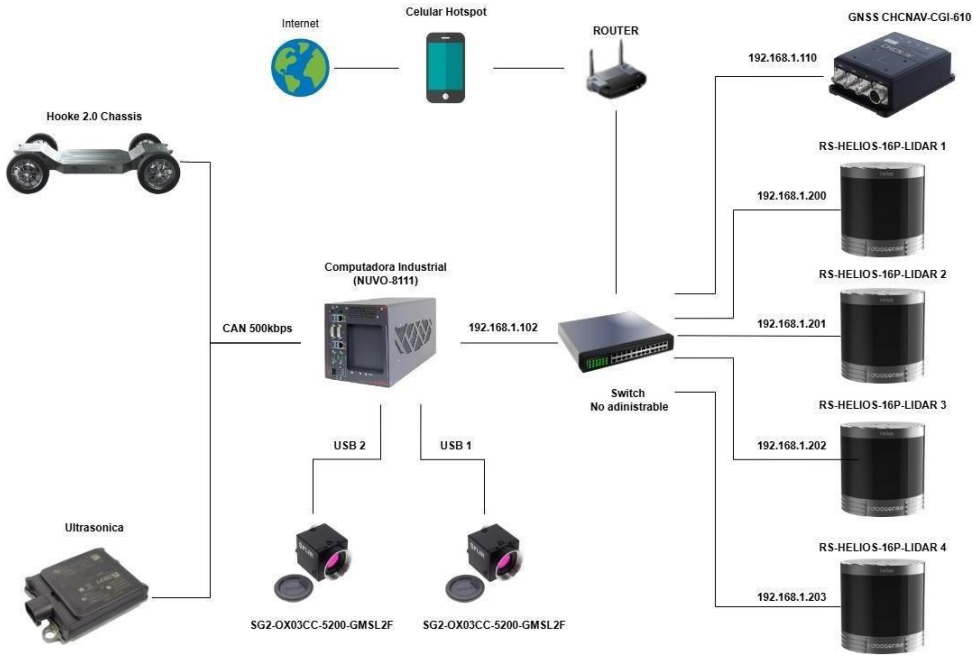
	Descripción
Campo de control	Trama de 11 a 29 bits
Norma	ISO11896
Velocidad	1Mbps
Distancia	40 m
Velocidad de transferencia alta	Tiene el suficiente ancho de banda para comunicar datos de varios sistemas de control en tiempo real.

Nota: La matriz muestra datos de velocidad e información detallada de la versión CAN 2.0B. Datos tomados de (Universidad Técnica Nacional (UTN), 2009). Cuadro tomado de autores.

A continuación, se presenta una lustración de la interconexión de los sistemas del vehículo autónomo “ANTA”, adicionando el sistema que se implementó para la comunicación con el sistema de conducción mecatrónico. Esta perspectiva permite demostrar la función del protocolo BUS CAN, además de permitir ver la conexión entre los distintos elementos que tiene el automóvil.

Figura 5

Diagrama de la conexión del vehículo autónomo "ANTA" con protocolo BUS CAN



Nota: En el siguiente diagrama se puede ver la conexión de los distintos componentes por medio del protocolo de comunicación BUS CAN. Fuente: (Autor)

6. Marco Metodológico

6.1 Diseño detallado de las conexiones del vehículo ANTA y del sistema de conducción mecatrónico

La realización del diseño permite garantizar la integración optima que implica la planificación de los diferentes subsistemas tanto de tipo mecánico y electrónico que permiten asegurar un correcto funcionamiento que es esencial para la correcta funcionalidad de los subsistemas que conforman el sistema de conducción tanto con dirección, frenado y velocidad del vehículo. La integración es esencial para asegurar un control adecuado del vehículo autónomo “ANTA”.

6.1.1 Características de los protocolos de comunicación para sistemas de dirección y propulsión.

La **Tabla 13**, “Tabla de comparación de Protocolos de comunicación” visualiza cada interfaz de comunicación presente en la industria automotriz, con el fin de identificar las ventajas y

limitaciones de cada protocolo, lo que otorga mayor facilidad para realizar un estudio más concreto de las diversas señales que transmite el vehículo y que ejecutan una actividad específica del automóvil, como por ejemplo las señales de control de luces, alarmas, mensajes hasta el control de los sistemas de dirección y propulsión. Cabe recalcar que luego del análisis realizado, el enfoque del proyecto se centrará en el protocolo Bus CAN, ya que ofrece diversas ventajas que se observan en la **Tabla 14**, "Viabilidad del Protocolo Bus CAN". Estas características fundamentales son la gran seguridad, robustez y su complejidad media con respecto a otros protocolos, posicionando a esta interfaz como la mejor opción para el uso en el proyecto de titulación. Igualmente, el vehículo ANTA denominado también como PIX kit 2.0 posee una interfaz CAN abierta que permite controlar todas las acciones del carro, por lo que ambas situaciones permiten seleccionar como una mejor opción la directriz bus CAN para el sistema de conducción que se construirá.

6.1.2 Requisitos de seguridad y redundancia para el sistema de interconexión

El protocolo Bus CAN se caracteriza por su robustez, seguridad y diversas ventajas. Sin embargo, esta tecnología conlleva ciertos riesgos, que pueden ser corregidos al aumentar la seguridad y redundancia del sistema a desarrollar.

Tabla 18

Riesgos del Sistema BUS CAN

RIESGOS DEL BUS CAN
Al conectar varios dispositivos, el sistema se vuelve más vulnerable a ataques de tipo cibernético.
En ocasiones, el CAN no siempre garantiza la integridad de datos.
Hay que reconocer que puede haber riesgo de interferencias electromagnéticas.

Nota: El cuadro explica los riesgos asociados al sistema de comunicación. **Fuente:** (Fourcade & Eterovic, 2020)

De la misma forma, se elabora un cuadro que permita visualizar las medidas de seguridad que se podrían implementar para mitigar el riesgo. Estas medidas pueden:

Tabla 19

Medidas de seguridad para la mitigación de riesgos

MEDIDAS DE SEGURIDAD	
Riesgo de seguridad	**Mitigación de riesgos**
Vulnerabilidad a ataques cibernéticos	Implementar cifrado de mensajes Monitorear el tráfico de la red en tiempo real.
Integridad de datos no garantizada	El método de comprobación de redundancia cíclica. Es actualmente usado para la detección de errores en el sistema del PIX Kit 2.0.
Riesgo de interferencia Electromagnética	Se pueden implementar filtros y técnicas de supresión de ruido; también el cableado es entrelazado para minimizar la interferencia.

Nota: El siguiente cuadro presenta algunas formas de mitigacion de riesgos de seguridad para el protocolo CAN, sin embargo algunas medidas ya estan implementadas en el sitema del PIXKIT 2.0. **Fuente:** (Fourcade & Eterovic, 2020; Puetate F. & Gonzalez J., 2024)

6.1.3 Análisis exhaustivo de las variables para controlar la dirección y propulsión del vehículo autónomo "ANTA".

Una vez hecha la inspección de la **Tabla 18** y **Tabla 19**, se logró revisar ciertas medidas implementadas en el PIX Kit 2.0, de manera específica para el CAN. Posterior a este estudio, se realiza un análisis de las variables destinadas a controlar los sistemas del vehículo autónomo ANTA. Con la ayuda del proveedor se han obtenido tablas detalladas que incluyen los CAN ID, identificadores de las señales a controlar, y se consigue generar un análisis con la intención principal de efectuar una verificación práctica de las respuestas otorgadas, asegurando la adecuada implementación y funcionalidad del vehículo.

Figura 6

Análisis de los identificadores CAN generados desde el vehículo autónomo "ANTA"

Nota: La siguiente gráfica verifica los CAN ID. Donde se visualiza una serie de pasos que aseguran que cada CAN ID sea similar a la señal dada por el fabricante. Tomado por los autores.

Luego de la verificación práctica que se observa en la **Figura 6**, se desarrollará una tabla con los CAN ID que coinciden tanto en las tablas proporcionadas como en las pruebas realizadas. Este cuadro incluirá una descripción breve de cada CAN ID y su mensaje específico. No obstante, si se necesita información más detallada del sistema, esto se puede hallar en la documentación integrada en los anexos, donde se podrán observar tablas de datos con respecto a cada mensaje y CAN ID del vehículo.

Tabla 20

Variables para controlar los sistemas del vehículo autónomo "ANTA"

Variables para controlar los sistemas del vehículo autónomo "ANTA"		
Mensaje	**CAN ID**	**Descripción**
V2A_DriveStaFb	0x530	Información sobre el estado del vehículo.
V2A_BrakeStaFb	0x531	Información sobre el estado de frenado del vehículo.
V2A_SteerStaFb	0x532	Información sobre el estado de la dirección del vehículo.
V2A_VehicleWorkStaFb	0x534	Información sobre el estado de funcionamiento del vehículo.
V2A_PowerStaFb	0x535	Información sobre el estado de la fuente de alimentación del vehículo.
V2A_VehicleStaFb	0x536	Carrocería del vehículo y respuesta de la luz.
V2A_VehicleFltSta	0x537	Advertencias y fallos del vehículo.
V2A_ChassisWheelRpmFb	0x539	Información sobre la velocidad de las ruedas.
V2A_ChassisWheelTorqueFb	0x542	Información sobre el par de las ruedas.
A2V_DriveCtrl	0x130	Mensaje de control del accionamiento.
A2V_BrakeCtrl	0x131	Mensaje de control de frenos.
A2V_SteerCtrl	0x132	Mensaje de control de dirección.
A2V_VehicleCtrl	0x133	Control corporal 1.
A2V_WheelTorqueCtrl	0x135	Control individual del motor (reservado).

Nota: La tabla es proporcionada para dar datos específicos de cada CAN ID, estos permiten controlar diferentes sistemas del vehículo desde las luminarias y alerta de mensajes hasta los sistemas de velocidad y dirección del vehículo. Tomado por los autores.

6.1.4 Identificación de los puntos de conexión disponibles

La identificación de los puntos de conexión disponibles en el vehículo autónomo ANTA para la interconexión del sistema de conducción para el control de la propulsión, frenado y dirección del vehículo es una actividad primordial a la hora de la construcción y optimización del sistema para tener una correcta operabilidad y rendimiento. Este proceso involucra el estudio del diagrama de la **Figura 5**, que permite observar las interfaces disponibles y los dispositivos conectados a cada interfaz o protocolo de comunicación. Donde el estudio se centrará directamente en la interfaz BUS CAN que permite gestionar la transmisión de datos entre los distintos sistemas del vehículo. El sistema CAN, como se demostró anteriormente, tiene una gran cantidad de ventajas, las cuales son cruciales para su aplicación en el área automotriz,

generando fiabilidad y rapidez de comunicación. El siguiente diagrama permite observar que dispositivos conectados a la red BUS CAN 2.0B.

Figura 7

Sistema de conexión centrado en BUS CAN

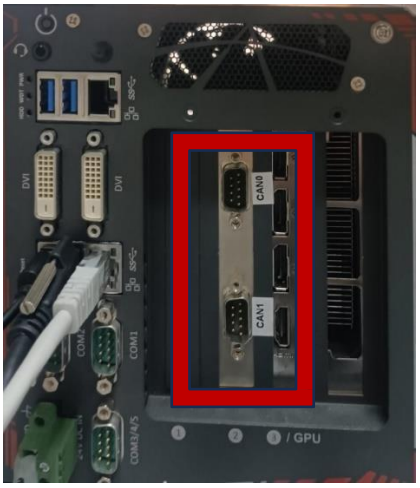
Nota: La imagen muestra los dispositivos que están conectados a esta red. Tomado por los autores.

Tras haber realizado el análisis de los dispositivos conectados a esta red que se presenta en la **Figura 7**, se analizan las conexiones físicas de cada elemento para encontrar el nodo central de la red de comunicación del vehículo, particularmente con el protocolo BUS CAN. La ubicación del punto de conexión para el cableado del sistema CAN es crucial para cumplir con el control de los sistemas que generan el movimiento del vehículo, tanto como la velocidad, dirección y frenado. Esta identificación del nodo central tiene el propósito de lograr una conexión segura que permita la transferencia de datos en tiempo real, sin ninguna latencia del sistema.

Al analizar, se obtuvo el sitio exacto del nodo central, el cual es denominado como CAN 0, y, además, por la información obtenida por medio de los ingenieros a cargo del proyecto, se dio a entender que el CAN 1 no está en uso por el momento. El CAN 0 está unido a los distintos sistemas por medio de un cable entrelazado que viene a ser un requisito de seguridad para la mitigación de interferencias electromagnéticas, que fue uno de los riesgos mencionados en la **Tabla 18**. Esta medida asegura la fiabilidad de los CAN ID y, por otra parte, proporciona estabilidad en la comunicación de los componentes del vehículo.

Figura 8

Ubicación de los nodos de conexión CAN en la computadora industrial Nuvo 811 (ECU)



Nota: Puertos para la conexión Bus CAN, donde se encuentra CAN0 y CAN1. Tomado por los autores.

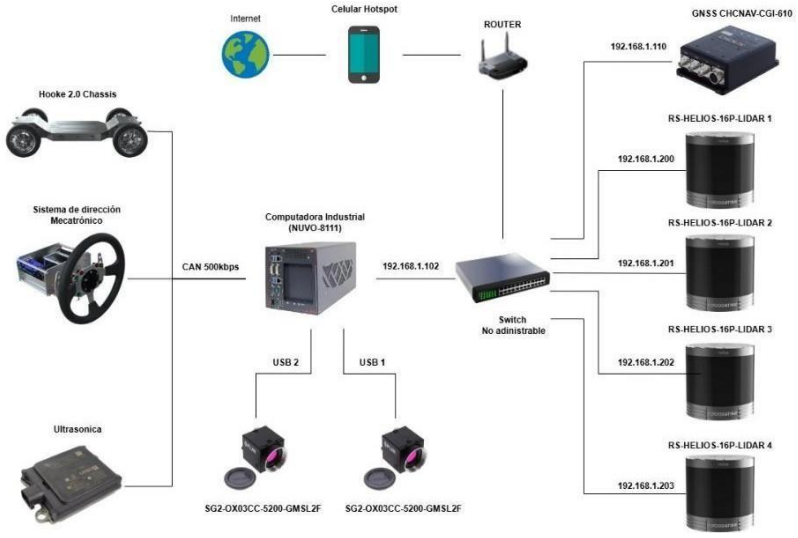
Se observa en la **Figura 8,** la ubicación de los nodos de conexión que permiten la comunicación entre los distintos elementos del vehículo que utilizan protocolo Bus CAN, esto permite verificar que nodo en funcionamiento para la incorporación del sistema de conducción mecatrónico.

6.1.5 Diagrama de los componentes interconectados y de su disposición física

Posterior a identificar los puntos de conexión disponibles en el vehículo, examinados en la **Figura 8**, se procede a desarrollar con la ayuda de la **Figura 5,** un esquema de la interconexión que ilustrará cómo se integran y comunican entre sí los diversos dispositivos del ANTA, sumando el sistema de conducción mecatrónico. Con esto se garantiza conocer las distintas conexiones que existen entre el vehículo y sus componentes para luego definir el diseño físico.

Figura 9

Ilustración de la interconexión de los dispositivos y el Sistema Mecatrónico a implementar

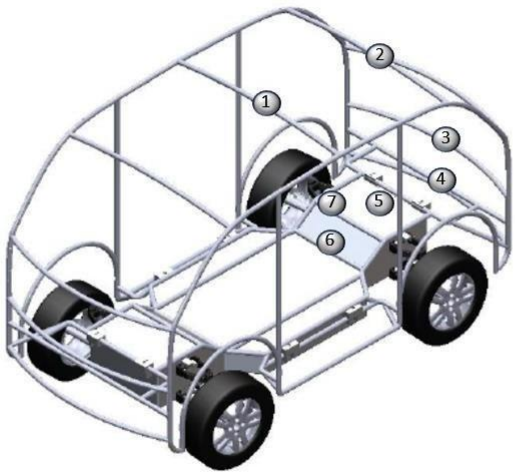


Nota: En la siguiente figura se observa cada elemento y su tipo de comunicación. Tomado de autores.

El desarrollo del esquema ayudó a comprobar la unión del sistema de conducción por medio de BUS CAN, al mismo tiempo permitió observar la cantidad de componentes y los distintos elementos que se pueden encontrar en el vehículo. Con esta información se puede generar una representación de los elementos y la ubicación de cada uno en la carrocería del "ANTA". El plano por crear facilita tener un enfoque sistemático y detallado que permitirá una disposición física y eficiente de los componentes, que asegura el rendimiento optimo del sistema.

Figura 10

Diseño de la disposición física de los elementos en el vehículo autónomo "ANTA"



Dispositivos del vehículo autónomo "ANTA"		
1	Sistema de navegación por satélite CHCNAV-CGI-610	
2	RS-HELIOS-16P-LIDAR 1	
3	RS-HELIOS-16P-LIDAR 2	
4	SG2-OX03CC-5200-GMSL2F	
5	Computadora industrial (NUVO-8111)	
6	Sistema de Pedales	
7	Sistema de conducción	
8	Chasis Hooke 2.0	

Nota: El boceto fue tomado del trabajo de titulación "Diseño del habitáculo para el vehículo "PIXKIT" (Padilla & Guaman, 2024). La figura fue adaptada para demostrar la ubicación de los elementos a implementar en el vehículo autónomo ANTA. Fuente: Autoría propia.

6.1.6 Parámetros iniciales y requisitos específicos para el diseño del sistema de conducción mecatrónico.

Con la finalidad de desarrollar el sistema de conducción mecatrónico de una manera eficiente y adecuada para su implementación en el vehículo autónomo ANTA, es principal realizar una recopilación exhaustiva de los parámetros iniciales y características del sistema a adaptar. Esta fase inicial incluye el análisis previo donde se pueden observar los diversos vehículos eléctricos que poseen cierta autonomía, los cuales se han documentado en diversos enfoques y tecnologías, en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Así mismo, se realiza un estudio de los parámetros proporcionados por el proveedor PIXMOVING, los cuales han ayudado para hacer pruebas exhaustivas que permitan comprobar la similitud de los datos para no tener ningún problema a la hora de implementar el sistema de conducción en el vehículo autónomo ANTA. Por lo tanto, a continuación, se realizará una tabla detallada de los parámetros dados, siendo este un cuadro resumido de los aspectos importantes y parámetros para tener en cuenta del vehículo autónomo "ANTA".

Tabla 21

Características principales del sistema a controlar

Parámetros iniciales y características principales del sistema a controlar	
Carga del vehículo	
Carga Útil Máxima (Permitida)	500 kg
Masa de Carga completa	$980(\pm 10)$ kg
Protocolo de Comunicación	
Tipo	CAN 2.0 B
Velocidad de comunicación	500 kbps
Sistema de Frenado y Velocidad del Vehículo	
Velocidad Real	$\pm 50\, m/s$
Aceleración del vehículo	$\pm 20\, m/s^2$
Método de control	Control de par/Control de velocidad
Retroalimentación de solicitud del acelerador	0 a 100%
Retroalimentación del freno del vehículo	0 a 100 %
Presión de frenado	100 bar
Dirección del Vehículo	
Respuesta en curvas del volante Trasero/Delantero	± 500 º
Ajuste de velocidad de Giro	$0\ a\ 500$ º$/s$
Tipo de conducción	Tracción en las 4 ruedas
Tipo de dirección	Ackermann
Modos de dirección	2 ruedas, 4 ruedas y 4 ruedas con cuña
Ángulo de dirección de las ruedas internas /externas	$29/26$ º Respectivamente
Método de control	Ángulo de Dirección/Velocidad angular de destino

Nota: La lista permite ver datos específicos. Datos tomados de (RoboSavvy Ltd, 2018) y proporcionados por PIX Moving. La tabla fue adaptada para contener variables de nuestro interés para la realización del sistema de conducción mecatrónico. Realizado por los autores.

Los datos que se han puesto en la **Tabla 21,** permiten tener las medidas exactas del mínimo al máximo valor en el que se puede variar dicha señal, lo cual ofrece un marco de referencia preciso que permite calibrar cada subsistema por medio del protocolo de comunicación CAN 2.0B. La elaboración del diagrama del vehículo autónomo "ANTA", junto con sus elementos, los parámetros iniciales y las características del sistema, brinda la facilidad de tener una idea amplia de los elementos electrónicos y mecánicos a incorporar para lograr diseñar un sistema de conducción adaptado al "ANTA". De igual forma, hay que recalcar que un requisito necesario al implementar el sistema de conducción es permitir que el volante siga el movimiento del automóvil al cambiar al modo de conducción automática o remota. De modo que el sistema a implementar debe permitir:

- La correcta comunicación con baja latencia del sistema de conducción.
- La ubicación del volante con una ergonomía adecuada para el conductor.
- El movimiento guiado del volante al cambiar al modo automático o remoto del vehículo.
- El control de velocidad y dirección del vehículo.

Con el fin de cumplir con las acciones antes previstas que faciliten cumplir con los objetivos planteados en el desarrollo del trabajo de titulación, se diseñarán 3 sistemas distintos. Estos sistemas tendrán una planificación previa, permitiendo identificar y adquirir los elementos necesarios para su construcción en etapas posteriores. Los sistemas por diseñar serán:

- Sistema de dirección a través de volante.
- Sistema de velocidad y frenado por medio de pedales.
- Soporte ajustable del módulo de dirección.

En la siguiente fase se podrán observar las planificaciones a nivel electrónico y mecánico de los sistemas antes mencionados.

6.2.1 Planificación de Interfaces Electrónicas y Mecánicas

La planificación de interfaces de tipo electrónico y mecánico en cada sistema mencionado previamente permite alcanzar un diseño y desarrollo óptimo al tener en cuenta los componentes ideales para garantizar el funcionamiento seguro de los sistemas. La importancia de realizar esta planificación es evidente, ya que nos permite controlar sistemas cruciales, los cuales son dirección, velocidad y frenado del vehículo. Por lo tanto, a continuación, se dividirán las interfaces electrónicas y mecánicas necesarias para cada sistema necesario de control del automóvil, añadiendo únicamente aquellas interfaces que cada sistema requiera.

a. Planificación electrónica para el sistema de dirección a través del volante

Se han explorado diversas metodologías para controlar el sistema de dirección del vehículo ANTA. A continuación, se presentará una tabla que ilustre los diversos enfoques tanto de tipo electrónico para alcanzar el control de dicho sistema. Esta tabla será crucial para permitir tener una idea más concreta de los sistemas de dirección.

Tabla 22

Sistemas de control para la dirección

Sistema de control para la dirección			
Sistema Mecánico			
Método	**Descripción**	**Entra en la normativa**	**Adaptación al ANTA**
Piñón cremallera	Opción más usada en automóviles tradicionales.	Si	La complejidad de incorporar cada sistema es de una dificultad media. Sin embargo, el ANTA al poseer un control electrónico tendría dificultad para adaptarse al sistema mecánico. Así mismo, todos los métodos añaden más peso al vehículo.
Tornillo sin fin y rodillo	El volante gira dando movimiento al tornillo sin fin que va a un rodillo mediante sus dientes.	Si	
Hidráulica	La bomba acciona un motor gracias a una correa que va a un cigüeñal dando movimiento a las llantas.	Si	
Bolas recirculantes	Se suele encontrar en vehículos pesados, y permite el movimiento por medio de esferas encargadas de facilitar el movimiento.	Si	
Todos estos métodos tradicionales dependen de un eje y un volante que estén incluidos en el sistema de dirección. Los métodos de control están en vehículos con marcas como Toyota, Honda, Kia y Ford.			
Sistemas Eléctricos			
Jostick	Utiliza un jostick como los del control remoto, que permite controlar la dirección del sistema. Usado en sistemas de conducción de videojuegos.	No	Es posible adaptar este sistema al vehículo; no obstante, no cumple con la normativa de tránsito del Ecuador.
Control por voz	Se usa por medio de la voz y permite que el carro pueda ser dirigido por sistemas de reconocimiento de voz.	No	No cumple con las normativas de tránsito. Además necesita preparación, y lugares silenciosos.
Control por pensamiento (BCI)	Está en desarrollo por empresas asiáticas, las cuales están pasando de controlar brazos robóticos a controlar vehículos	No	Esta tecnología sigue en desarrollo y su complejidad para llevarla a cabo es sin duda alta.
Dirección por cable (Steer by wire)	Integra ECUs, sensores y actuadores sin la necesidad de tener conexión entre el volante y el sistema de dirección. Lo que ofrece una mayor flexibilidad en el diseño al no haber una conexión mecánica.	Si	El sistema de conducción es el óptimo, ya que permite adicionar diferentes actuadores y sensores para cumplir con la normativa;
Dirección por PID	Realizar un PD, PI o PID. Permiten tener un control más preciso de la dirección del sistema de conducción.	Si	El sistema de control de dirección permita precisión, estabilidad, corregir errores y adaptabilidad.
Algunos ejemplos de estos sistemas incorporados en vehículos son el Mercedes Benz F015, el PIXKIT 3.0 o infiti Q50			

Nota: La siguiente información es obtenida de: (Arpem, 2017; MotorKote, 2022; Álvarez, 2018; Mullin, 2024). El cuadro fue realizado por los autores.

b. Selección del sistema de dirección

La mejor opción que entra en las normativas y tiene una mejor adaptación al vehículo autónomo ANTA, observada en la **Tabla 22**, que es una innovación ya agregada en el automóvil, es el método de control eléctrico de dirección por cable (SBW). Sin embargo, para mejorar aún más la precisión de este método, se añade la implementación de un PID o sus variantes, que incluyen un conjunto de actuadores, sensores, controladores y directrices de comunicación bus CAN, que facilitan el control de dirección y otros sistemas críticos del vehículo. Por lo tanto, estos sistemas serán la base para llevar a cabo la búsqueda de interfaces electrónicas y mecánicas del sistema de dirección y velocidad del vehículo.

c. Interfaz electrónica

La selección del sistema de dirección por cable es una de las opciones modernas más utilizadas y que ya está adicionado al ANTA. Por lo que se añade un PID como un sistema de control que facilite tener una rápida respuesta del sistema y dar una mayor robustez del sistema para no tener fallos futuros. Al determinar qué sistema de dirección se emplea, es posible definir los aspectos mecánicos y electrónicos para detallar una planificación específica de la interfaz electrónica para posteriormente analizar la interfaz mecánica del sistema. La organización de la interfaz permite tener un óptimo funcionamiento, así mismo como ayudar a identificar los componentes necesarios del sistema. En esta sección se verán subtemas que permitirán visualizar los elementos requeridos para un correcto funcionamiento del sistema de dirección a adaptar en el vehículo.

i. Descripción del Controlador principal

Es importante asegurar un intercambio de datos y mensajes de forma adecuada entre el sistema de conducción y el sistema del vehículo "ANTA", por lo que el controlador que se busca debe permitir una correcta comunicación; por lo tanto, se desarrolla una tabla que contiene varios controladores que sean compatibles con el CAN 2.0B, a una velocidad de transferencia de 500 Kbps. La tabla a continuación lleva a cabo una comparación exhaustiva de los microcontroladores, donde se observan las características principales, ventajas y desventajas para lograr seleccionar la tecnología a usar para la fabricación del sistema.

Tabla 23

Controladores para el uso de CAN

Controlador	**Frecuencia de Oscilación**		**Descripción**	**Ventajas**	**Desventajas**
	Max	Min			
STM32F103C8T6	72 MHz	8 MHz	Forma parte de la familia STM32, y ofrece una gran potencia.	Alto rendimiento y velocidad- Soporte amplio- Amplia cantidad de periféricos.	Su uso es complejo para los usuarios.
PIC18F458	40 MHz	10 MHz	Microchip con soporte integrado para CAN.	Robustez y fiabilidad Amplio soporte Bajo consumo de energía.	Menor velocidad de la CPU y menos periféricos integrados.
LPC1768	96 MHz	12 MHz	NXP con un buen rendimiento y soporte CAN, adecuado para aplicaciones robustas.	Alta velocidad Soporte múltiple Amplia gama de periféricos.	Alto consumo de energía en comparación con otros microcontroladores.
SAM3X8E	84 MHz	12 MHz	Basado en ARM cortex-M3, ofrece alta velocidad y capacidad de procesamiento.	Potente procesador ARM Cortex M3 Soporte de herramientas de desarrollo y librerías.	Costoso y requiere familiarización con el entorno de programación.
ATmega328P	20 MHz	16 MHz	Microcontrolador popular, usado en proyectos de electrónica por su bajo costo. Ideal para aplicaciones que incorporen CAN. Amplia gama de periféricos útiles para aplicaciones mecatrónicas y de sistemas embebidos	-Amplia disponibilidad y soporte -Costo efectivo -Consumo de energía eficiente -Permite el uso de periféricos para aplicaciones con interfaces UART, SPI, I2C y ADC. Compatible con módulos CAN externos	Menor velocidad de procesamiento
Otros familias y controladores que soportan CAN: STM32 Series, PIC32MX Series, NXP Kinetis series, TI Tiva C series, Infineon XMC400 series, MPC5744P					

Nota: El diagrama muestra diversos controladores y detalles que permiten seleccionar la tecnología para el sistema a diseñar y construir. **Fuente:** (Arm Limited, 2024; Electrostore,

2019; Microchip, 2019; NaylampMechatronics, 2023; STMicroelectronics, 2024; Mouser Electronics, 2024; Microchip Technology Inc, 2024; NXP, 2024; TexasInstruments, 2014). Realizado por autores.

ii. Análisis de velocidad y latencia del Controlador con SPI y UART

El estudio y análisis de los diversos controladores a través de la **Tabla 23**, ha llevado a seleccionar el microcontrolador ATmega328P para ser la tecnología principal para incorporarse en el sistema. Debido al análisis de necesidades y requisitos del trabajo de titulación, se destaca que el ATmega328P es suficiente para contribuir con la eficiencia y calidad del proyecto a fabricar, de la misma manera por el tiempo limitado del proyecto es la mejor opción para usar. La tecnología del controlador es segura y fiable para el monitoreo y control de datos en tiempo real; de igual forma, satisface con los requisitos del proyecto. Y se destaca por su eficiencia-precio, siendo una opción óptima que logre gestionar una amplia cantidad de mensajes con distintas frecuencias, llegando hasta máximo 20 MHz. Sin embargo, una de las mejores ventajas es que el controlador tiene una gran colección de librerías para conectar con distintos elementos electrónicos y es capaz de comunicarse con I2C, UART y SPI. Al tener en cuenta la frecuencia de oscilación y su compatibilidad con varias interfaces, se realizó una serie de cálculos que permitan saber la latencia y velocidad de transferencia del ATmega328P. Con estas velocidades y latencias, posteriormente se puede encontrar un módulo CAN que sea económico, además de encontrar un controlador directo para el control del volante que permita cubrir las necesidades de una rápida velocidad, obtención y envío de datos sin latencia al sistema de conducción hasta el sistema CAN del vehículo.

Tabla 24

Parámetros para la velocidad y latencia

Parámetros para el cálculo de velocidad y latencia					
Frecuencia de Oscilación (Controlador)	20 MHz				
Interfaz	SPI	UART			
Frecuencia de Oscilación (SPI y UART)	20/2 MHz	115.2 kbps	4.8 kbps	9.6 kbps	57.6 kbps

Nota: Tabla de parámetros para cálculos de latencia. **Fuente:** (Rohde & Schwarz, 2024). Datos tomados por autores.

- **Cálculos de Velocidad y latencia de SPI**

La velocidad que se puede conseguir en el sistema SPI es la mitad de la frecuencia de oscilación, donde, por medio de cálculos, su velocidad es:

$$V_{SPI} = \frac{Frecuencia\ Oscilacion}{2} = \frac{20Mhz}{2} = 10\ Mbps$$

Mientras que para la latencia del SPI se puede desglosar en 2 tiempos que serán descritos y calculados en la tabla a continuación:

Tabla 25

Tiempo de latencia SPI

Tiempo de Latencia	
Tiempo de Transmisión	**Tiempo de procesamiento del microcontrolador**
Calcula la latencia total.	Depende del código que se realice
Fórmula $L_{SPI} = \frac{nº\ bits}{Velocidad\ bps}$ Nº bits = 8 bits $L_{SPI} = 0.8\frac{ms}{byte}$	Siempre es un tiempo más pequeño que el tiempo de transmisión.

Nota: El tiempo de latencia en SPI con un controlador ATmega 328P

- **Cálculos de Velocidad y latencia de UART**

Las velocidades en UART son específicas de la interfaz, estas velocidades son actuales y se pueden observar previamente.

Tabla 26

Latencia en UART para el uso de Interfaz en ATmega328P

Latencia en UART		
Tiempo de transmisión	**Tiempo de procesamiento**	**Tiempo de interrupción o tiempo de buffer**
Tiempo necesario para transmitir un byte de datos.	El tiempo que demora en procesar los datos recibidos el microcontrolador.	Es variable, depende del número de interrupciones del código y el tiempo de buffer.
Total, de bits: 8 contando sin embargo se cuenta con 1 bit de inicio y otro de parada dando un total de 10 bits.	Ambos son pequeños comparados con el tiempo de transmisión.	
Fórmula $L_{UART} = \frac{nº\ bits}{Velocidad\ en\ bps}$		
$L_{UART} = 0{,}086\ \frac{ms}{bps}$ $L_{UART} = 1{,}041\ \frac{ms}{byte}$ $L_{UART} = 2.08\ \frac{ms}{byte}$		

Nota: La matriz ayuda a verificar las latencias en los diferentes tiempos de latencia de UART. Tomado por los autores

A base de realizar cálculos con respecto a las velocidad y tiempo de latencia de cada interfaz del controlador ATmega328P se realiza una tabla que detalle los sistemas involucrados, requisitos de comunicación y protocolo de comunicación a utilizar.

Tabla 27

Comparación de requisitos del controlador y el protocolo del sistema a controlar

Definición de Requisitos		
Controladores involucrados		
Elemento	**Nombre**	
ECUs	Nuvo 8111	
Controlador	Atmega238p	
Requisitos de comunicación		
	Datos	
Tipo de datos	CAN ID	
Velocidad del vehículo	500 kbps	
Velocidad de comunicación Atmega328P	SPI	UART
	10 Mbps	115.2kbps/250kbps/500kbps
Latencia permitida		
Latencia en CAN	2 ms	
Latencia con Atmega	SPI	UART
	$0.8\frac{ms}{byte}$	86.8/40/20/10 $\frac{ms}{byte}$

Nota: El esquema facilita comparar las características del controlador y el sistema a controlar para lograr aplicarlo en nuestro sistema. Tomado de autores.

Según la **Tabla 27**, se demuestra que SPI es la mejor opción para lograr trabajar a 20 MHz con una velocidad de 10Mbps, lo que es suficiente para manejar la transferencia de datos de 500 Kbps teniendo una latencia muy baja. Con este estudio se puede garantizar una comunicación rápida y confiable con la finalidad de lograr un funcionamiento seguro del sistema.

iii. Selección del Módulo de Comunicación para BUS CAN 2.0B

El análisis de las velocidades, latencias y la selección de la interfaz en la **Tabla 27**, facilita la selección del módulo de comunicación para la transmisión de datos entre el controlador y la ECUs del sistema, por lo que este módulo debe de ser compatible con SPI y que tenga la menor latencia posible. A continuación, se elabora un cuadro sobre los módulos compatibles con el controlador para analizar cuál es la mejor opción para incorporar.

Tabla 28

Selección de módulos compatibles con ATmega328P

Módulos	Interfaz	Descripción	Ventajas	Desventajas
MCP2515	SPI	Controlador CAN, ampliamente utilizado en proyectos y aplicaciones industriales	Interfaz común y fácil de manejar Amplia documentación Bajo costo Mayor flexibilidad Soporte	Necesita un transceptor Introduce una latencia muy baja
AT90CAN 128	CAN bus, EBI/EMI, I2C, SPI, UART/USART	Microcontrolador compatible con UART y SPI	Alta velocidad de transmisión No necesita transceptor.	Puede ser excesivo para algunas aplicaciones Alto costo y mayor complejidad.
SN65HVD 230	SPI/I2C	Transceptor de bajo consumo se utiliza para controladores con protocolo CAN	Alta robustez. Bajo consumo de energía.	Es necesario incluir el MCP 2515 u otro controlador externo. Configuraciones complejas

Nota: La matriz ayuda a recolectar información que brinda la posibilidad de seleccionar el módulo óptimo para su implementación. Los datos fueron tomados de diversas páginas online (DigiKey, 2024; NaylampMechatronics, 2023; UNITElectronics, 2023). El cuadro fue realizado por los autores.

En la **Tabla 28**, se presentan los diversos módulos investigados, destacando que el MCP2515 ha sido identificado como la tecnología más afín y compatible con el ATmega328P. Por consiguiente, se opta por este módulo porque ayuda a dar una comunicación óptima con menor tiempo de latencia para el sistema en tiempo real.

iv. Elección del driver para control del motor

Según la tecnología principal escogida, es de suma importancia escoger el driver que permita controlar el motor, porque el controlador ATmega 328P no puede realizar esta acción por sí solo. Es por eso que se selecciona un controlador con buenas características, tal como el BTS7960 que, además de ser un componente que brinda calidad-precio (Gonzalez, 2023), también brinda otras características fundamentales como:

- Capacidad de PWM
- Protección sobre corriente y bloqueo de sobretensión
- Velocidad ajustable

Las características del driver y los pines de conexión serán los presentados a continuación:

Tabla 29

Parámetros del driver BTS7960 del motor

CARACTERÍSTICAS	***BTS7960***
Alimentación	5.5 a 27 V
Salida auxiliar	5 V
Capacidad de PWM	Hasta 25 KHz combinada con activación libre
Intensidad Max	43 A
Velocidad de Giro	Por PWM hasta 25 KHz
Dimensiones	50x50x43 mm
R_PWM	Pulso de control derecho
L_PWM	Pulso de control izquierdo
R_EN	Activar salida derecha
L_EN	Activar salida izquierda
R_IS	Salida medición de corriente derecha
L_IS	Salida medición de corriente izquierda
VCC	Salida de alimentación
GND	Negativo

Nota: La tabla muestra las características y los pines del control para tener en cuenta a la hora de realizar las conexiones del sistema a través del diagrama y esquemático. **Fuente:** (Gonzalez, 2023)

Por lo tanto, este driver secundario permitirá controlar el motor que se escoge en la siguiente etapa, que será el actuador más usado en la aplicación de permitir controlar la dirección del volante, lo que ofrece seguridad y control al pasar de un modo de conducción automático a un modo manual. Al lograr implementar el motor y el encoder se utiliza teoría de control para realizar un sistema PID que permita un control rápido y estable que facilite la reducción del error presente.

v. Selección del motor

La búsqueda del motor fue una decisión estratégica, puesto que se escogió un motor que ya estaba en propiedad del grupo GIIT. De esta forma, el motor a usar es el MY1020. Esta elección permitió un mejor rendimiento del recurso monetario del proyecto. Fue escogido específicamente porque ya estaba en nuestro inventario y disminuyó significativamente el gasto de adquisición. No obstante, el recurso económico no es la única ventaja, dado que ofrece características técnicas superiores con respecto a los motores que ya existen en el mercado.

El MY1020 ofrece una opción más robusta y confiable, y aunque su velocidad es superior a lo necesario, es posible por medio de una caja de engranajes ajustar la velocidad sin perder potencia y fuerza del motor. Este sistema que se incorpora simulará al sistema incluido en un servomotor, suavizando y estabilizando el giro del volante. La experiencia del conductor es importante; en consecuencia, se necesita configurar el sistema a los requerimientos necesarios. Por lo tanto, se realizará una tabla de análisis del motor con el cual ejecutar el cálculo de los engranajes y el diseño posterior de esta estructura.

Tabla 30

Especificaciones del Motor MY1020

Motor MY1020	
Voltaje	36 V
Amperaje	29.2 A
Revoluciones por minuto	2750 RPM
Radianes por segundo	287,9793265791 rad/s
Potencia	800 W

Nota: La siguiente matriz permite ver las características del motor que permitan realizar los cálculos del sistema de engranajes que permitan configurar la velocidad a la que se necesita.

vi. Selección del Sensor (Encoder)

Es imprescindible la instalación de un encoder, dado que permite obtener la posición y el movimiento del motor, y con esta información es posible controlar el automóvil o permitir que el automóvil se encargue de maniobrar el motor con el volante dependiendo del modo operativo. La diferencia que habrá será esta, ya que en el modo de conducción manual otorga el control del movimiento del vehículo. Sin embargo, en los otros modos, tanto el modo remoto como el modo autónomo, el elemento que se moverá será el volante según la dirección del vehículo.

Tabla 31

Selección de Encoder según sus características

Modelo	Descripción	Adecuado para el sistema de Dirección
Encoder incremental ABZ 1000ppr Driver 5Vcc Cable 0,5m	Posee una resolución suficiente y moderada para lograr controlar sistemas críticos y que estén en tiempo real. Así mismo posee una alta calidad-precio.	SI
Encoder 500 PPR 5vcc	Otorga una resolución menor pero que permite usarlo en aplicaciones menos críticas, ya que su número de pulsos es menor al que se necesita.	NO
Encoder incremental 200 PPR 5Vcc	Proporciona una resolución suficiente para aplicaciones básicas que no estén en tiempo real, ya que es menos preciso para sistemas de dirección.	NO
Encoder absoluto 8 bit	Ofrece una baja resolución y no tiene la precisión necesaria para una aplicación tan avanzada.	NO

Nota: Tabla que permite observar los encoder vistos en el mercado. Datos tomados de: (VirtualExpoGroup, 2024; Omron, 2024) Tabla realizado por los autores.

Una vez analizados los componentes electrónicos a usar, se procede a analizar el sistema de conducción tanto por cable como por la adición de un PID. Con eso tendremos un entendimiento mejor de los sistemas escogidos y también obtener el diseño del PID para controlar y optimizar el control de la dirección, ofreciendo un equilibrio que nos dé estabilidad, precisión y simplicidad en el diseño, además de permitirnos tener un sistema retroalimentado que permita corregir errores en los giros de las ruedas y observar si el ángulo enviado por bus CAN es el correcto.

vii. Steer by Wire

El vehículo PIX kit 2.0 posee esta innovación tecnológica que aumenta la precisión y flexibilidad del automóvil, dado que permite generar la gestión de dirección usando sensores que facilité la conexión sin la necesidad de tener un sistema físico; al añadir un actuador como un volante, el sistema otorga la posibilidad de enviar de forma electrónica el movimiento realizado para controlar las ruedas. Permitiendo estar dentro de las normativas de tránsito. (Avance, 2020)

viii. Implementación de Control

La incorporación de un controlador PID o sus variaciones permite controlar el motor para mejorar su desempeño y eficiencia, optimizando la respuesta, velocidad y par del motor. Este tipo de control es usado en diferentes aplicaciones industriales, permitiendo mejorar la respuesta del sistema o planta a controlar. Dado que en algunas aplicaciones no es necesario el uso de un integral en un PID, primero se comprueba si el sistema solo necesita de un PD, PI o PID para proporcionar una respuesta rápida y con estabilidad. Por lo tanto, a continuación, antes de pasar al sistema de velocidad, se realizará el estudio de la planta para crear un programa en tiempo discreto que nos permita mejorar la respuesta del sistema de steer by wire, y que otorgue la posibilidad de controlar la dirección del volante en otros modos de conducción, dando como ventaja que el volante nunca se descalibre de las ruedas o si ocurre algún error, ambos tengan la misma respuesta para poder realizar el mantenimiento correspondiente.

Para realizar el PD es necesario tener en cuenta los parámetros necesarios del sistema, por lo que se realiza la identificación de parámetros para el posterior diseño del PD.

Tabla 32

Parámetros de la posición de la planta

Variable	Tipo de variable
Angulo de giro de las ruedas	Señal de la posición deseada
Angulo de giro Encoder	Señal de retroalimentación

Voltaje de salida del controlador 1	Señal de control sentido de giro horario
Voltaje de salida del controlador 2	Señal de control sentido de giro antihorario
Voltaje de salida modulo BTS7960	Señal de control para el motor
Angulo de Giro Motor	Señal de salida real

Nota: Tabla que permite observar las variables y señales a controlar. Datos tomas por los autores

Tabla 33

Parámetros para tener en cuenta de la planta

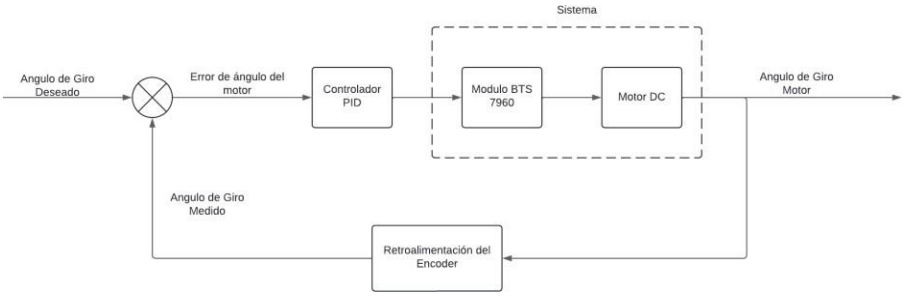
	Voltaje de Alimentación	Velocidad (RPM)
Máxima Capacidad	36 V	2750
Capacidad a la que se va a usar	13 V	1020

Nota: Estos parámetros son necesarios para lograr el control PD de la planta. Datos por los autores del motor.

Luego de reconocer los parámetros necesarios que vamos a controlar de la planta, es fundamental generar un diagrama que permita observar un diagrama de bloques que presente la gráfica de la ubicación de las variables de control, también de los elementos de la planta y el controlador PD.

Figura 11

Diagrama de Control



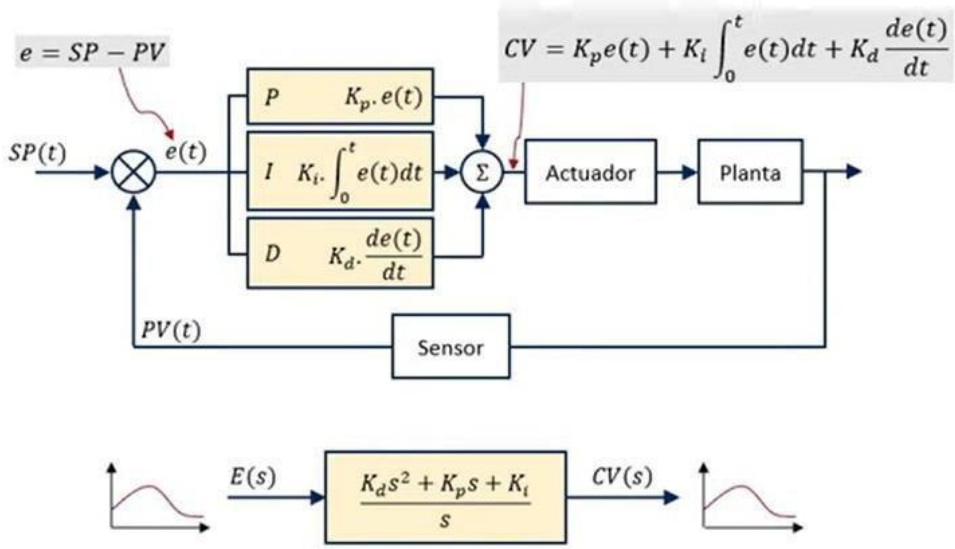
Nota: El siguiente boceto permite observar el diagrama de bloques del sistema. Realizado por los autores.

Ecuación de diferencias PID

Por definición el control PID posee una parte proporcional, integral y deriva que se aplica al error, por lo tanto, lo que se hace es establecer la siguiente suma:

Figura 12

Imagen de la ecuación de diferencia PID

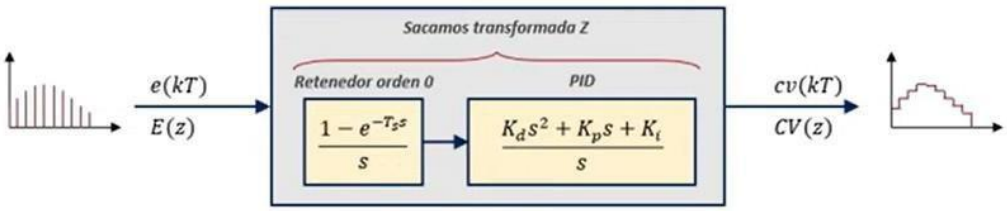


Nota: La grafica muestra la suma de la parte proporcional, integral y derivativa del control PID

Este modelo está determinado para funciones continuas; en el caso del control de dirección el microcontrolador que se utiliza es un sistema en tiempo discreto, por lo tanto se obtiene señales de naturaleza discreta y para la adecuada discretización de las señales en el controlador PD, se debe colocar un retenedor a la entrada de este, el cual debe ser un retenedor de orden cero:

Figura 13

Uso del retenedor de orden cero para la discretización del PID



Nota: La ilustración muestra la obtención de la transformada Z para cambiar de tiempo continuo a tiempo discreto. Fuente: Imagen tomada por autores.

- Se desarrolla la transformada z:

$$PID_d = \frac{CV(z)}{E(z)} = z\left[\frac{1-e^{-T_s s}}{s}\left(\frac{K_d s^2 + K_p d + K_i}{s}\right)\right]$$

$$= Z\left[\frac{1-e^{-T_s s}}{s}\left(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d\, s\right)\right]$$

$$= (1-z^{-1})Z\left[\frac{K_p}{s} + \frac{K_i}{s^2} + Kd\right]$$

$$= (1-z^{-1})\left[\frac{K_p}{(1-z^{-1})} + \frac{K_i T_s z^{-1}}{(1-z^{-1})^2} + K_d/T_s\right.$$

$$\frac{CV(z)}{E(z)} = \frac{K_p\,(1-z^{-1}) + K_i T_s\, z^{-1} + K_d\,(1-z^{-1})^2}{(1-z^{-1})\,T_s}$$

$$\frac{CV(z)}{E(z)} = K_p + K_i T_s \frac{1}{z-1} + \frac{K_d}{T_s}\frac{z-1}{z}$$

Con esto se obtiene la ecuación de un sistema PID discreto, donde las constantes Kp, Kd y Ki son obtenidas de un sistema continuo.

$$K\ E(z) - K$$

$$CV(z) - CV(z)z^{-1} = \quad E(z)z^{-1} + K_i T_s E(z)z^{-1} + \frac{K_d}{T_s}E(z) + \frac{K_d}{T_s}E(z)z^{-2} - \frac{2K_d}{T_s}E(z)z^{-1}$$

$$CV(z) - CV(z)z^{-1} = (K_p + \frac{K_d}{T_s})\,E(z) + (K_p + K_i T_s - 2\frac{K_d}{T_s})\,E(z)z^{-1} + \frac{K_d}{T_s}E(z)z^{-2}$$

$$CV(n) = cv(n-1) + (K_p + \frac{K_d}{T_s})\,e(n) + (-K_p + K_i T_s - 2\frac{K_d}{T_s})\,e(n-1) + \frac{K_d}{T_s}e(n-2)$$

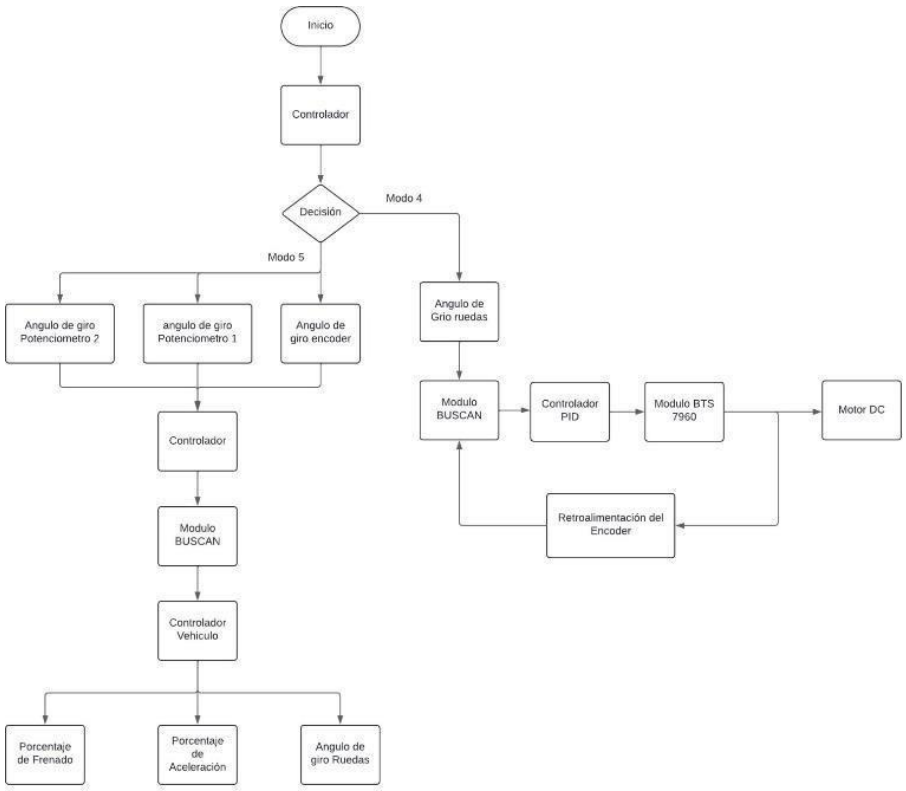
Con esto ya disponemos de la ecuación del sistema PID discreto y la podemos implementar dentro del código para el control de la planta.

Aplicación del código en el controlador

La ecuación obtenida se aplica al código del ATmega328P donde se determinan los valores de Kp, Kd y Ki, para el control de nuestro sistema.

Figura 14

Diagrama de flujo del funcionamiento del programa



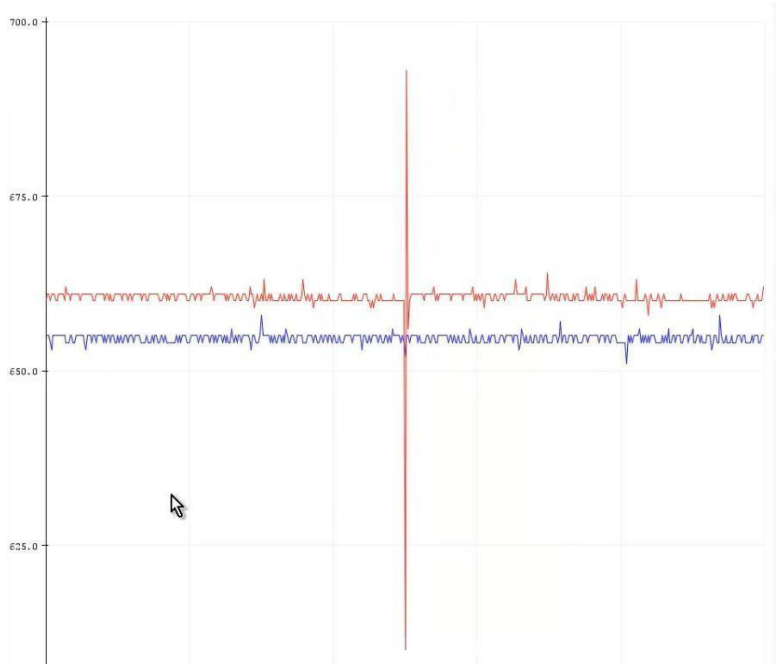
Nota: La ilustración muestra el diagrama de flujo con respecto a la programación del ATmega 328P. Tomado por autores.

Posterior a realizar el programa, se revisa las gráficas obtenidas del sistema en tiempo continuo del sistema y la señal del controlador en tiempo discreto.

Graficas del sistema

Figura 15

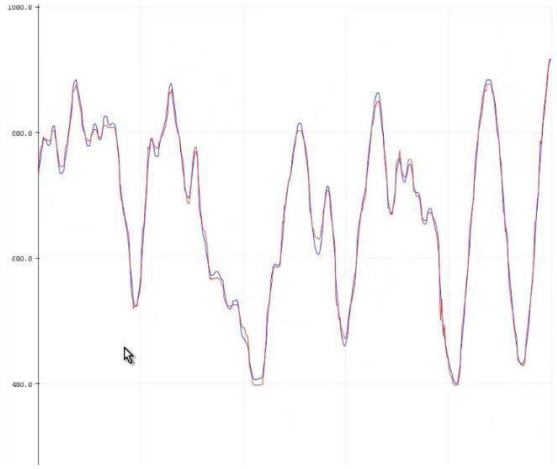
Señal del sistema y señal del controlador PD



Nota: Señal continua y discreta del sistema. Gráfica obtenida por los autores.

Figura 16

Comparación de la señal continua y seguimiento de la señal discreta por controlador PD



Nota: El boceto muestra la señal continua de referencia junto a la señal del sistema controlado mediante el PD. Donde la señal continua es la señal que se desea, mientras que la discreta ilustra como el PD ajusta el sistema para seguir la posición de la señal continua para tener una mayor precisión del sistema. Gráficas tomadas por los autores.

d. Sistema de Velocidad

El sistema electrónico para la velocidad será igualmente analizado con respecto a un cuadro comparativo, el cual permita comparar los diversos sistemas de control para la velocidad, con el fin de seleccionar el más adecuado con respecto al proyecto.

Tabla 34

Métodos de control de Velocidad

Método de control	Descripción	Ventajas	Desventajas
Control por potenciómetros	Utiliza un potenciómetro para regular la velocidad al conectarle a los pedales con el fin de controlar el motor.	Costo bajo de implementación y fácil de implementar.	Posee un desgaste mecánico con respecto al tiempo.
Control de velocidad por PWM	Ajusta el ciclo de trabajo PWM que permite controlar la velocidad del motor.	Buen control a baja velocidad.	Requiere de algún controlador PWM
Control vectorial	Uno de los mejores métodos para controlar la velocidad del motor por medio de su campo magnético.	Alta eficiencia, un excelente control de velocidad y par motor.	Mayor costo, y tiene una complejidad mayor a la hora de su implementación.

Nota: La siguiente matriz de datos clasifica los diferentes medios que se encontraron para realizar el control de velocidad. **Fuente:** (Dos Santos, 2024) .Tomado por los autores.

e. Selección del sistema de velocidad

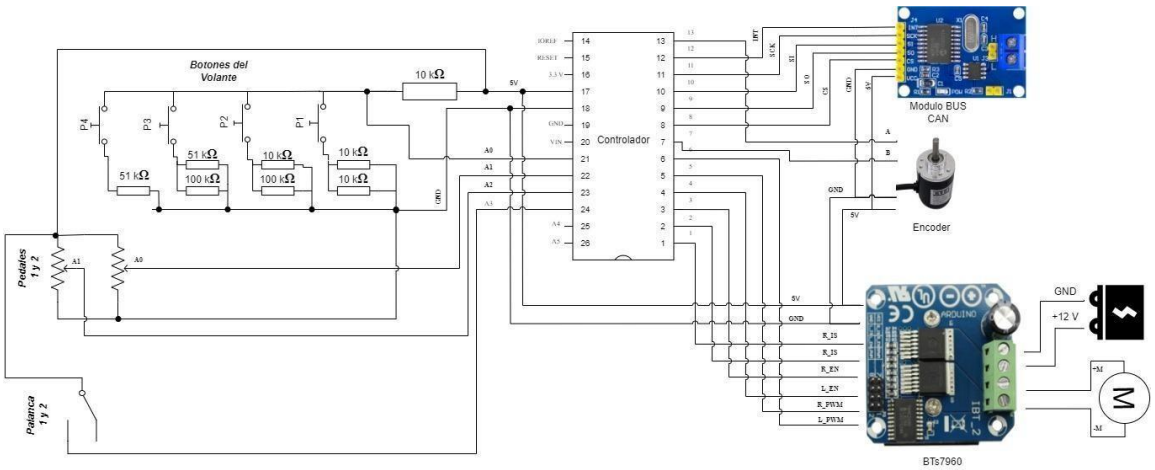
Estudiando el cuadro previamente presentado sobre los métodos de control de velocidad, se visualizó que el mejor método para el control de velocidad por su nivel de complejidad, su bajo costo y fácil implementación es el control por potenciómetros que permiten controlar la velocidad según la variación del puerto analógico del controlador que facilita variar las señales bus CAN para generar diversas velocidades.

f. Diagrama de conexión del sistema de conducción

Una vez realizado la investigación del control de los sistemas de dirección y propulsión del vehículo se procede a generar un diagrama que permita revisar las conexiones de los elementos al controlador principal

Figura 17

Diagrama de conexiones del sistema electrónico



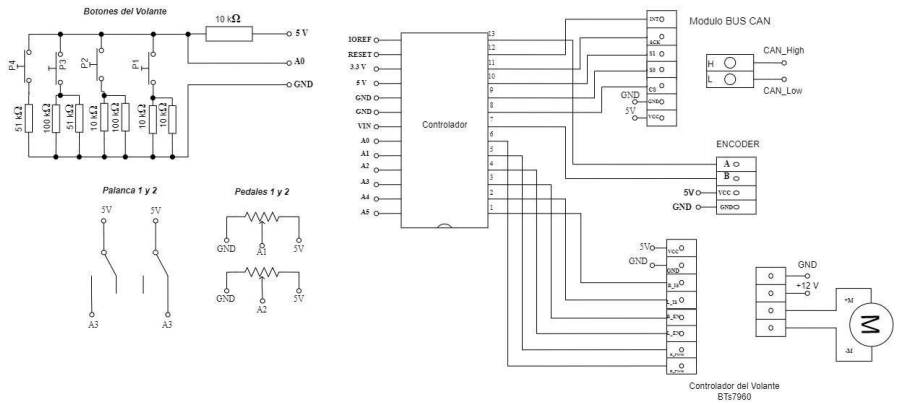
Nota: Diagrama de conexión de los sistemas de velocidad y dirección. Realizado por autores.

g. Creación del esquemático de la conexión del controlador con los componentes

Una vez revisado sobre el control de los sistemas de dirección y propulsión del vehículo, el esquemático se vuelve una pieza esencial a implementar para facilitar la ubicación de los elementos electrónicos del sistema de conducción, permitiendo tener una mayor organización. De esta forma, el esquemático permite tener una visualización de los elementos, dando un diseño que permita integrar el sistema de una manera compacta, organizada y de forma segura. Sin embargo, se debe de recalcar que el apartado a continuación solo presenta el esquemático electrónico de cada sistema mencionado previamente. Estos sistemas otorgan el control de la dirección y velocidad del vehículo autónomo “ANTA”.

Figura 18

Esquemático de la conexión del controlador con sus componentes



Nota: La figura presente muestra la ubicación de los pines en donde se conecta las diversas tecnologías que permiten una correcta comunicación del prototipo del sistema de conducción. Tomado de autores.

6.2.2 Planificación de Interfaces mecánicas

a. Sistema de Soporte ajustable del módulo de dirección

Igual como se ha presentado en otros sistemas, se realiza una tabla que permita comparar los distintos mecanismos que puedan ayudar a generar un soporte seguro y que permita ayudar a dar una mejor ergonomía para que el conductor se mantenga cómodo al conducir. Dado aquello, se muestra un cuadro con las diferentes ideas de estructuras que pueden ayudar a implementar un soporte ajustable que permita acomodar de una forma segura el volante y sistema de dirección; esto permitirá que cada conductor pueda tener una conducción única en el vehículo ANTA.

Tabla 35

Comparación de estructuras y mecanismos para la selección de un soporte ajustable

Estructura	Descripción	Ventajas	Desventajas
Soporte con rieles	La idea como tal es la implementación de rieles para poder mover de forma horizontal y vertical que ajuste el ángulo del volante.	Permite un ajuste preciso por medio de los rieles.	Puede tener un mayor grado de dificultad por su instalación y ajuste. Tiene un mayor desgaste al estar con peso incluido.
Brazos articulados	Brazo que permite le ajuste.	Flexibilidad y ajuste.	Sistema que requiere mantenimiento constante, además de ser

			complejo en su instalación y ajuste.
Soporte telescópico	Mecanismo que permitirá ajustar la altura del volante.	Fácil ajuste Flexible.	Mayor desgaste Debería permitir un peso reducido para evitar.
Soporte lateral con juntas y extensión vertical	Idea realizada por los autores que permite incorporar 4 soportes laterales con juntas móviles para permitir el movimiento para cambiar el ángulo del volante, además de tener un soporte para permitir la extensión vertical del soporte.	Permite distribuir el peso adecuadamente y ayuda a ajustar según el usuario dando una mejor ergonomía que otras opciones.	La única desventaja por el momento seria que no permite tener un mayor grado de libertad.

Nota: En esta tabla se visualiza las estructuras existentes que se pueden adaptar para permitir realizar una estructura móvil, la matriz además de presentar una descripción que de una idea clara de los sistemas a comparar, de igual forma muestra las ventajas y desventajas de estas estructuras. **Fuente:** (ElBosque, 2020; GRIFFIN, 2016; Microgamma, 2024). Cuadro realizado por los autores.

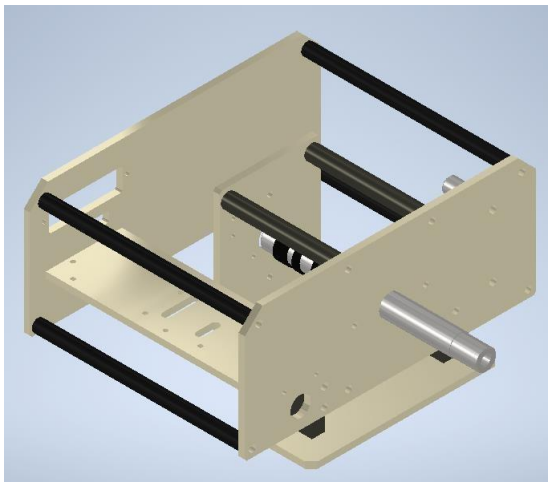
La tabla comparativa permitió observar el mejor soporte que facilite la distribución de las cargas de una mejor manera. Por lo tanto, la estructura de 4 soportes laterales permite no solo mejorar la estabilidad del sistema, sino dar ergonomía al usuario por medio de ajustar el soporte a las necesidades del conductor.

a. Diseño y análisis de compatibilidad

El análisis de compatibilidad del diseño de los elementos permite verificar por medio de un software que todas las piezas encajen sin ningún problema, sin embargo, si es necesario se puede realizar cambios a futuro para que todo pueda unirse sin dificultad, y se pueda modelar piezas que se ajusten de buena manera para su posterior manufactura.

Figura 19

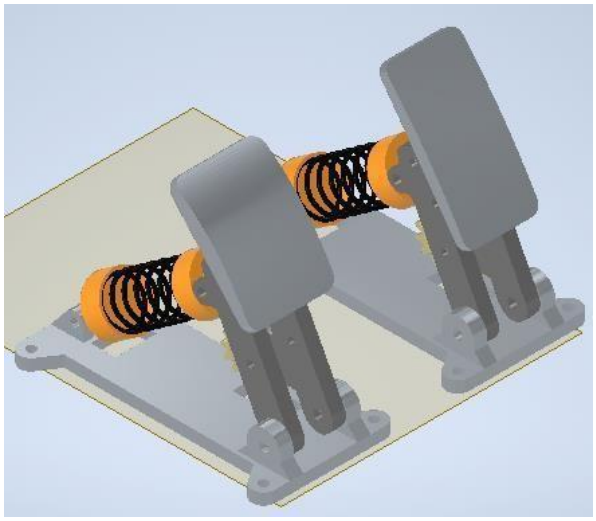
Análisis de compatibilidad del sistema de dirección en Inventor Pro



Nota: El sistema fue diseñado en inventor para la construcción de la estructura mecánica para el sistema de dirección, demuestra que todas las piezas encajan perfectamente en el sistema. Tomado de autores.

Figura 20

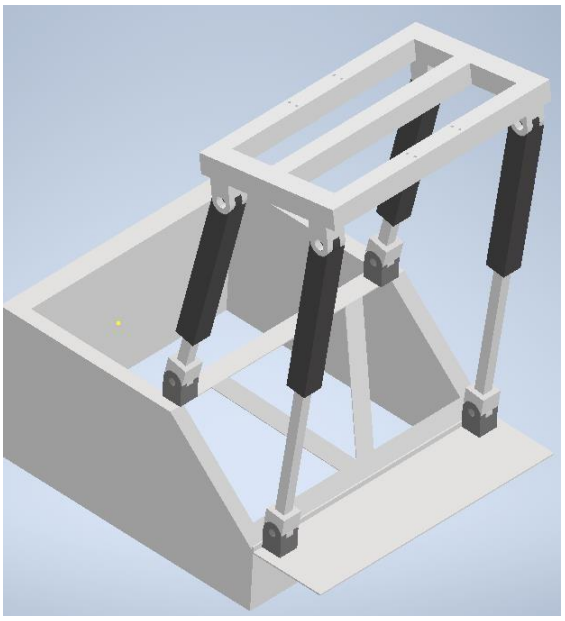
Análisis de compatibilidad del Sistema de Velocidad con pedales en Inventor Pro



Nota: Pedales modelados en inventor, que demuestran la unión correcta de la estructura para el sistema de velocidad. Tomado por autores.

Figura 21

Análisis de compatibilidad del soporte ajustable para la estructura en Inventor Pro



Nota: Estructura realizada en inventor, soporte ajustable del sistema de conducción. Tomado por autores.

b. Componentes mecánicos para los sistemas de dirección, velocidad y soporte ajustable para ubicar el sistema de conducción

Una vez con una idea clara del diseño mecánico de cada sistema necesario se procede a realizar la numeración de los elementos normalizados y no normalizados de cada sistema

i. Diseño y conexiones de soportes y montajes

Después de observar el modelo 3D de cada sistema, se procede a definir una tabla en general de las estructuras físicas del sistema de conducción para hacer el estudio de piezas normalizadas y no normalizadas que ofrezcan una idea clara de que piezas a conseguir y aquellas piezas a fabricar por medio de mecanizado o procesos de manufactura estudiados en la carrera de mecatrónica.

Tabla 36

Elementos de interfaz mecánica de los diferentes sistemas

Elementos Normalizados	Elementos no Normalizados
Espaciador Hexagonal de nailon negro M3x25 (Hembra hembra)	Placas de Acero Negro laterales
Espaciador Hexagonal de nailon negro M3x8 (Hembra hembra)	Elemento conector del sistema
Espaciador Hexagonal de nailon negro M3x25 (Macho hembra)	Placa de acero negro Base
Tornillos de cabeza hueca M3x6 y M3x12	Placa Lateral para adición de Encoder
Tornillo cilíndrico M3x16 y M3x30	Placa de soporte para sistema electrónico
Tornillos de cabeza hueca M5x10, M5X16, M5x20 y M6x16	Base de pedal
Tornillo de cabeza plana M3x8. M5x16 y M3x10	Pedal de freno
Tornillo de cabeza alomada M2x10	Brazo de Pedal
Tuercas M3, M5 y M6	Soporte para resorte
Plancha de aluminio 240x750	Placa Superior
Eje de aluminio de 18 mm	Junta de rotación
Tuerca M3	Base Inferior
Tuerca M5	Elevación superior
Arandela plana M3	Elevación inferior
Arandela partida M3	
Arandela plana M5	
Arandela partida M5	
Arandela plana M6	
Arandela partida M6	
Arandela partida M6	
Arandela partida M6	
Resorte	

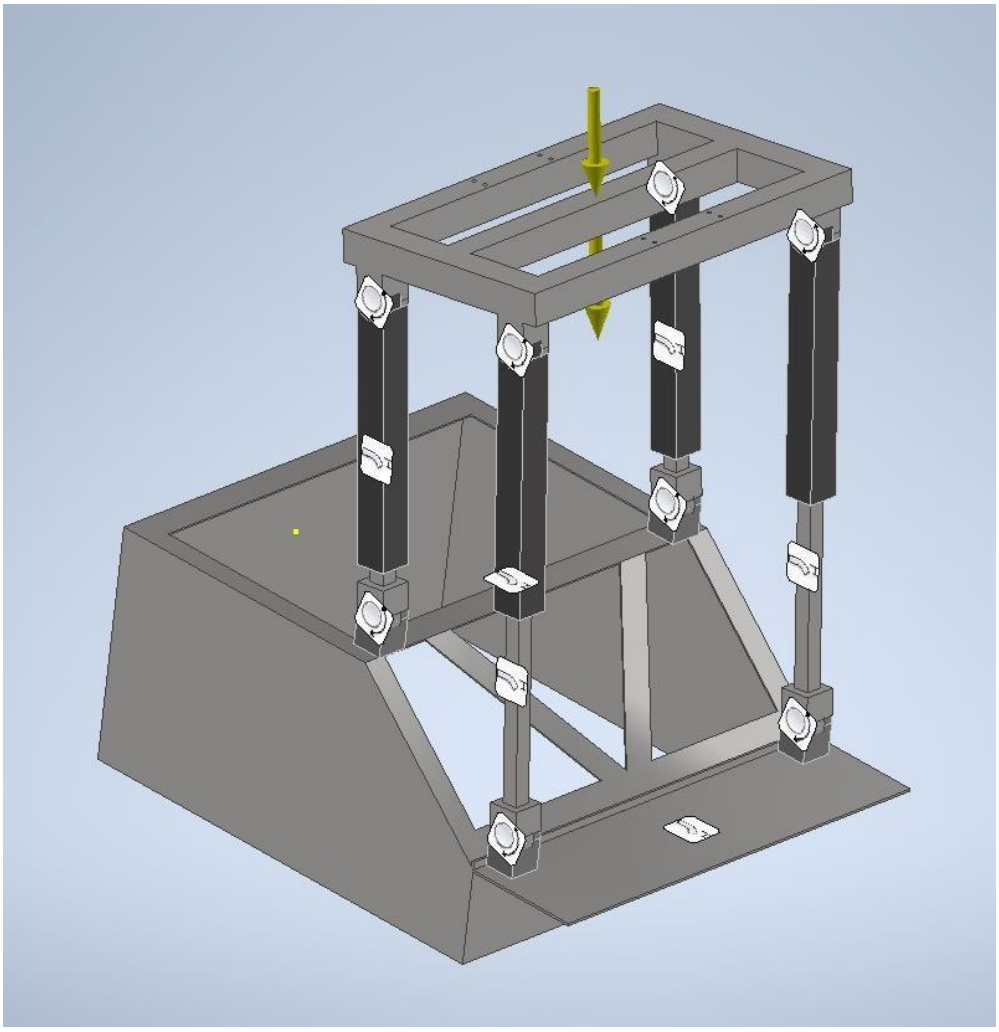
Nota: La tabla presenta componentes mecánicos utilizados para la construcción futura del sistema. Tomado por autores.

c. Análisis Estructural

El análisis de tipo estructural permite comprobar el máximo y mínimo esfuerzo que puede realizar los sistemas que tengan una carga significativa en tal caso el sistema que se podrá observar en este subtema será el soporte ajustable para la estructura del volante ya que esta tendrá que aguantar el peso del motor del encoder y de los elementos que se ubiquen en la parte superior de este. Por lo que a continuación por medio del software de Inventor se realizara el análisis de esfuerzos que la estructura podría soportar.

Figura 22

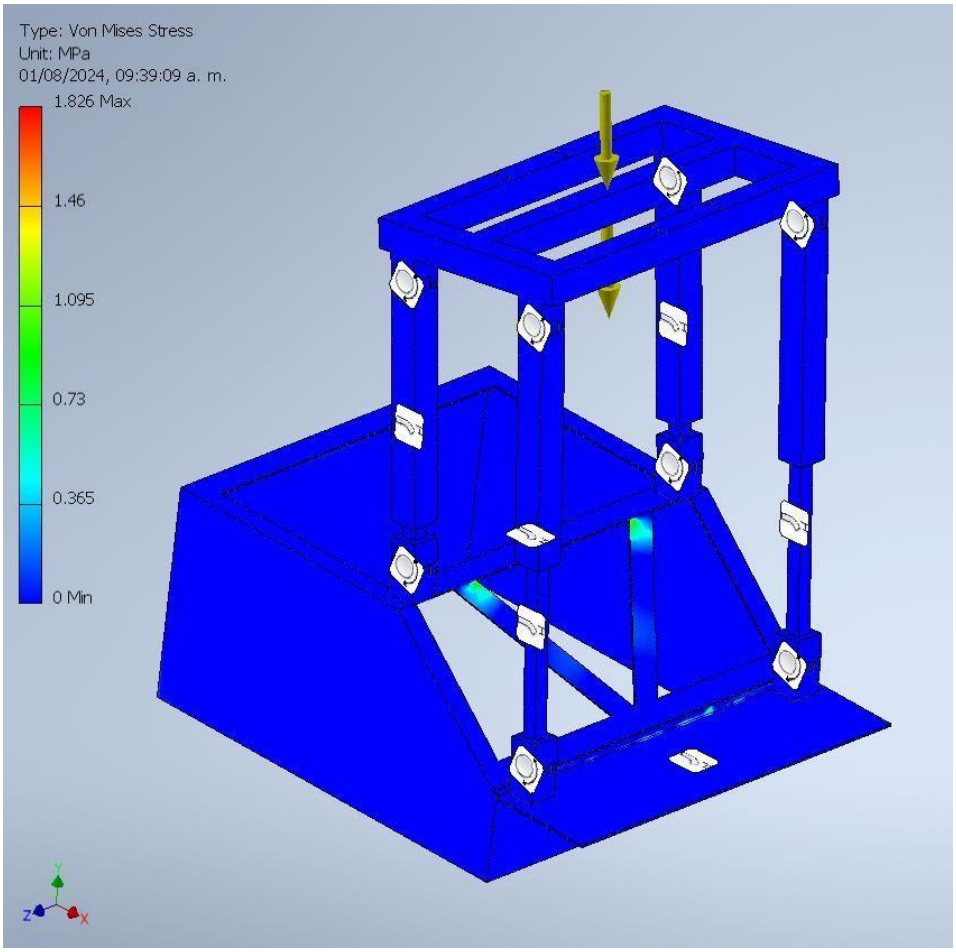
Distribución de fuerzas y restricciones



Nota: En esta parte se ubica las restricciones del sistema para realizar el estudio. Tomado por autores

Figura 23

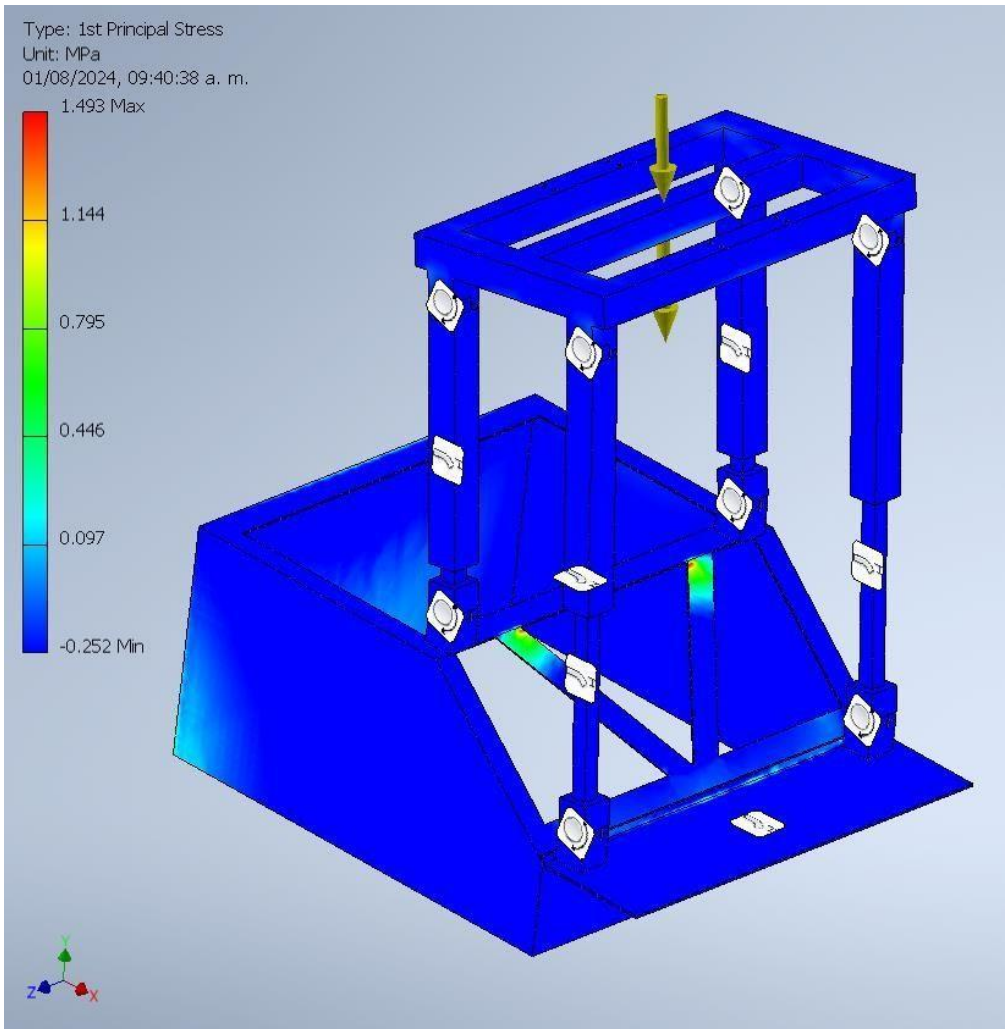
Tensión de Von Mises Stress



Nota: Análisis de estrés que asegura que los materiales del soporte no se deforman plásticamente bajo las cargas establecidas en el sistema. Tomado por autores.

Figura 24

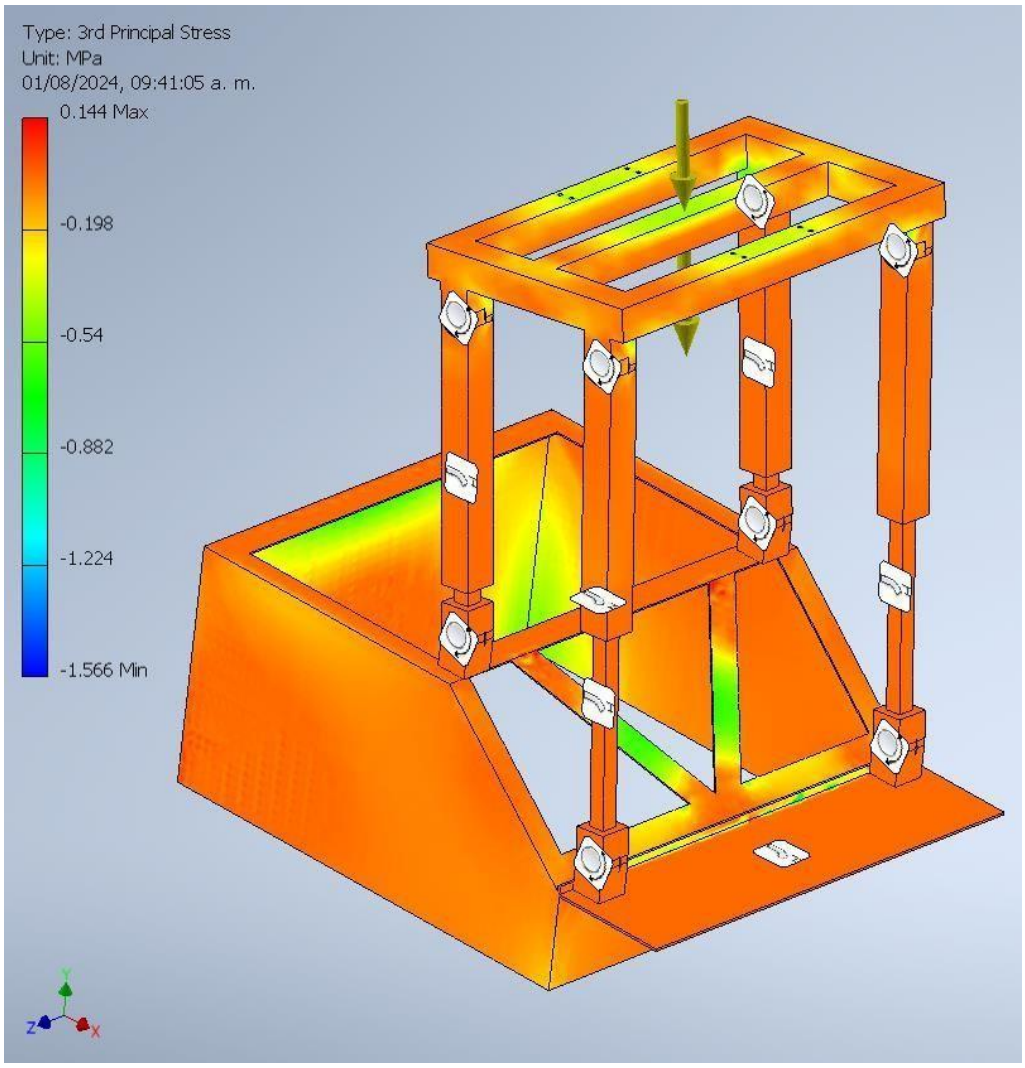
Primer estrés principal



Nota: Se puede revisar que aunque sea la tensión mínima, este primer esfuerzo principal es la mayor tensión principal indicando la tensión máxima de tracción o comprensión. Tomado por autores.

Figura 25

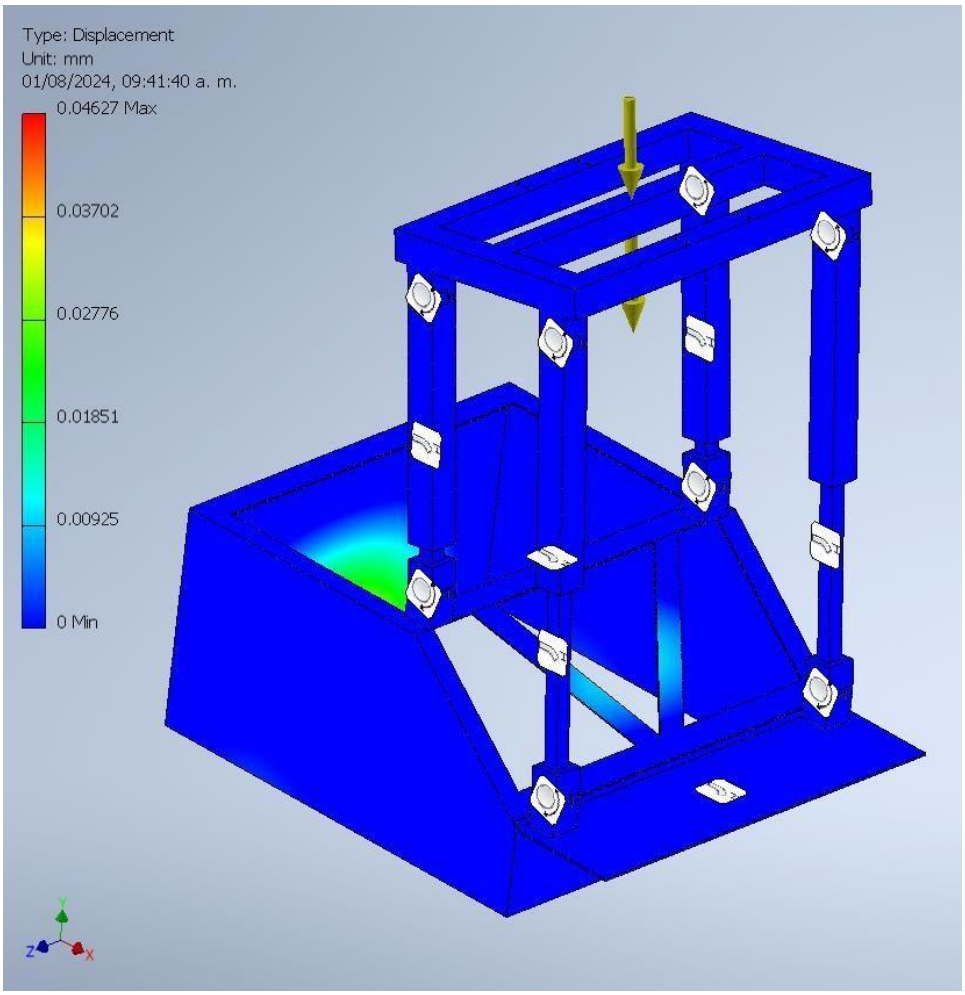
Tercer esfuerzo principal



Nota: Es la menor tensión principal, que puede ser de tipo comprensivo en algunos casos.

Figura 26

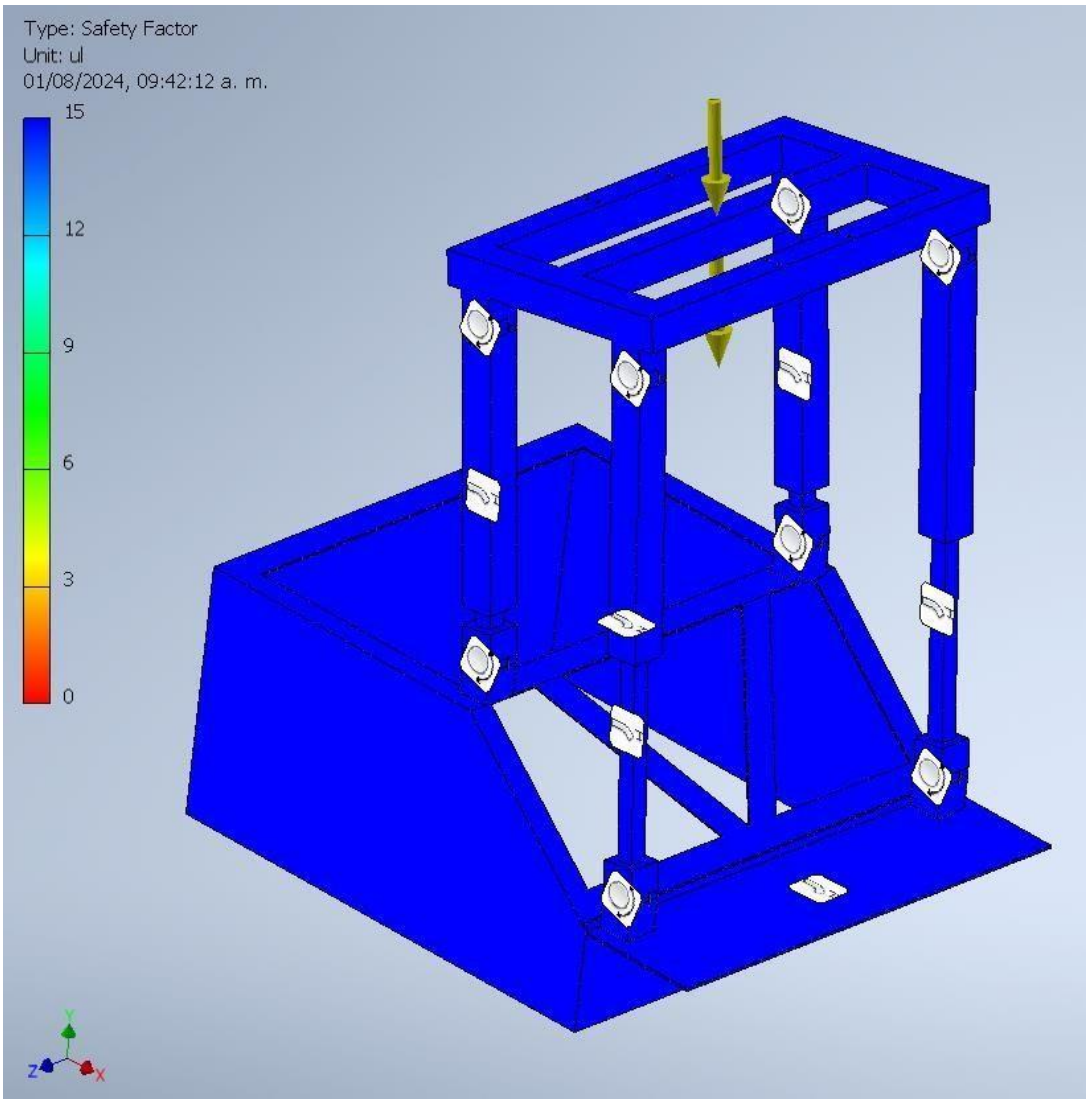
Desplazamiento



Nota: Este proceso de identificar el desplazamiento de la estructura sirve para verificar que el desplazamiento no exceda las tolerancias del diseño, también ayuda a comprobar que todos los elementos diseñados sean compatibles entre si

Figura 27

Factor de seguridad



Nota: Es la medida tomada que puede soportar la estructura del soporte ajustable garantizando que el diseño puede soportar las cargas y condiciones inesperadas del sistema

6.2 Construcción del sistema de conducción

El sistema de conducción mecatrónico es estudiado en etapas previas con el fin de avanzar de una fase de diseño a una fase de elaboración de un prototipo funcional del sistema de conducción. Por consiguiente, la primera etapa será de búsqueda y adquisición de los elementos analizados para lograr integrar estos componentes de una forma segura y óptima para la mejor adaptación del sistema en el vehículo. Una vez concluida la fase de adquisición, se revisa el ensamblaje del sistema mecánico con el electrónico, para posteriormente llegar al prototipado con el que se realizan pruebas iniciales del sistema y finalmente se concluye con la instalación

física en el vehículo autónomo “ANTA”. Estos temas son esenciales para realizar de forma adecuada la instalación del sistema de conducción al vehículo. Al mismo tiempo, realizar configuraciones y calibraciones para lograr un correcto funcionamiento.

6.2.1 Selección y adquisición de componentes

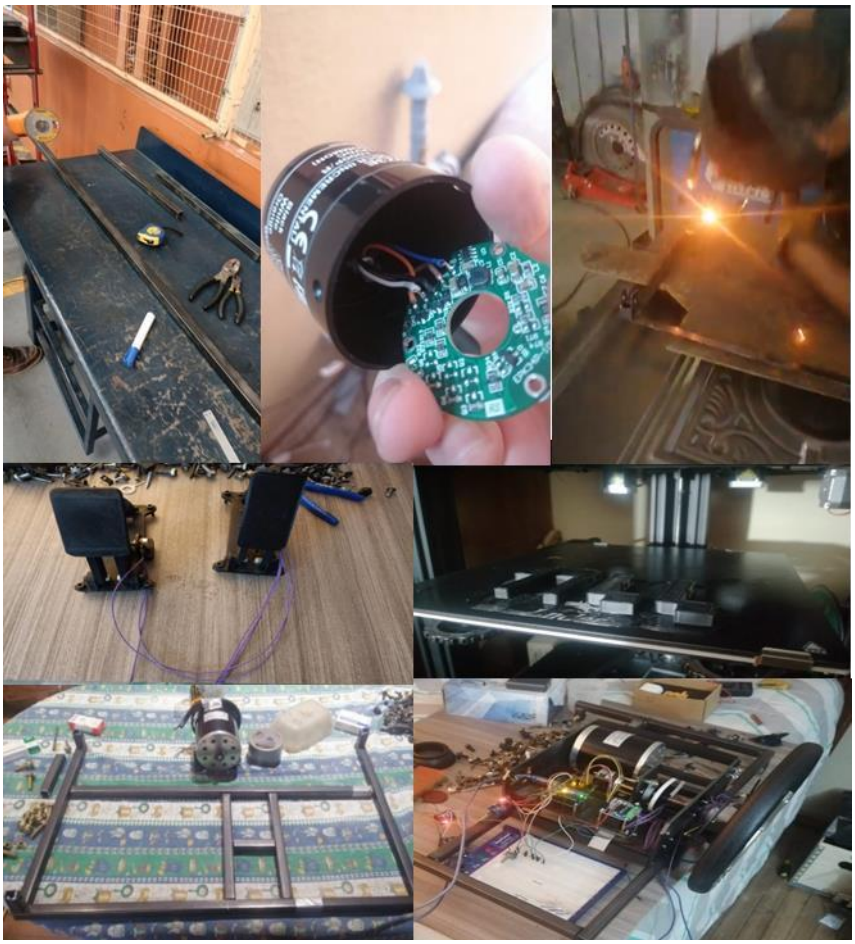
En temas anteriores se mencionó que para la construcción del sistema, una fase fundamental para que el proyecto salga de acuerdo con lo establecido es la parte de adquisición de elementos que facilitaran un correcto desarrollo y que nos garantice el rendimiento del sistema. En tablas vistas previamente se pudo revisar este proceso de selección, mientras que el proceso de adquisición se realizó de forma física y online donde se logro conseguir los diferentes elementos que generaban la mayor compatibilidad para no tener fallos en el sistema.

6.2.2 Ensamblaje del sistema mecánico y electrónico

Para el proyecto de titulación, el ensamble se realizó fuera de las instalaciones donde se fabricaron las piezas para el ensamble en general. En esta fase se realizó un proceso de mecanizado, soldadura, acotación de planos y planos para el corte a láser, además de realizar diseños para la impresión 3D de los elementos requeridos que posteriormente también fueron acotados. La incorporación mecánica constituye, además de la parte de fabricación, la unión de todas las estructuras. Al mismo tiempo, el ensamblaje electrónico involucra la conexión de los circuitos, hacer la soldadura adecuada para conectar todos los elementos según el esquemático para unir sensores, actuadores y controladores del sistema. Posterior a esta introducción se presentan una imagen ilustrativa de los principales pasos y componentes en el ensamblaje del sistema mecatrónico.

Figura 28

Procesos de manufactura realizados para la obtención de las estructuras del sistema de conducción mecatrónico



Nota: La siguiente recopilación de imágenes permiten observar los procesos de manufactura para obtener la construcción final del sistema de conducción. Tomado por autores

La **Figura 28**, muestra los diferentes procesos realizados para alcanzar a fabricar algunas piezas necesarias en la construcción del sistema, donde se visualiza el corte a sierra, el soldado por MIG, soldadura con estaño de los elementos electrónicos, el uso de impresora 3D con ASA y el armado e incorporación de los elementos de los diversos subsistemas que contiene el sistema de conducción mecatrónico.

6.2.3 Prototipado y pruebas iniciales

En el siguiente apartado se visualiza el prototipo del sistema de conducción con sus respectivas pruebas, en donde se puede ver el sistema sin armar para probar el volante y posteriormente el sistema ya armado y puesto a prueba.

Figura 29

Pruebas iniciales del volante con el software del sistema

Nota: Pruebas del funcionamiento del programa fuera del vehículo autónomo ANTA. Fotografía tomada por autores.

Figura 30

Prototipo del sistema de conducción

Nota: Se presenta el prototipo armado del sistema de conducción donde se visualiza las pruebas ejecutadas para el control del sistema de dirección.

6.3 Implementación del sistema de conducción

Una vez terminado el ensamblaje, el prototipado y las pruebas iniciales del sistema, se procede a implementar el sistema de conducción directamente en el vehículo autónomo ANTA con la finalidad de poder realizar las configuraciones y calibraciones necesarias para dejar el correcto funcionamiento del sistema.

6.3.1 Prueba de funcionamiento, configuración y calibración del sistema

El ajuste del sistema de conducción en el vehículo permite calibrar cada elemento justamente para el ANTA. La preparación y configuración del sistema mecatrónico tanto del soporte, del movimiento del volante, el ángulo del soporte ajustable y el sistema de pedales brinda varias ventajas como:

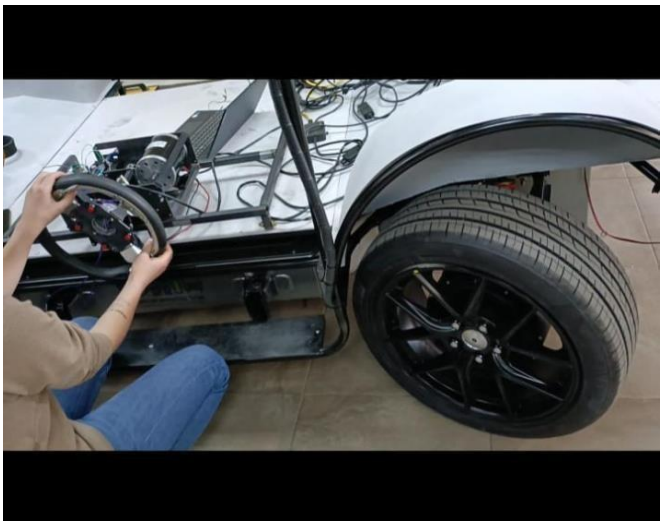
- Ajustar la suavidad del volante para que el usuario tenga más comodidad.
- Se mejora la ergonomía y el pasajero puede viajar cómodamente.
- El soporte de la estructura bien ajustado puede reducir el riesgo de inestabilidad del sistema, ya que al fijarlo bien se reduce cualquier riesgo de error en el sistema de conducción.

- Puede mejorar la comunicación y armonía entre los sistemas fabricados con el carro autónomo ANTA, que es el vehículo al que se adaptará.
- Da una experiencia única a cada usuario, dado que permite acomodar el volante a un lugar específico para el usuario.

Una vez revisadas las ventajas que proporciona el ejecutar las calibraciones adecuadas, se muestran diversas imágenes de esta implementación con su respectiva nota que permita reconocer la configuración hecha en cada elemento para la correcta adaptación del sistema.

Figura 31

Pruebas iniciales en el vehículo ANTA



Nota: Pruebas realizadas del sistema que controla la dirección, esto facilita ajustar directamente el sistema al vehículo autónomo. Tomado por los autores.

6.4 Programación del sistema de conducción

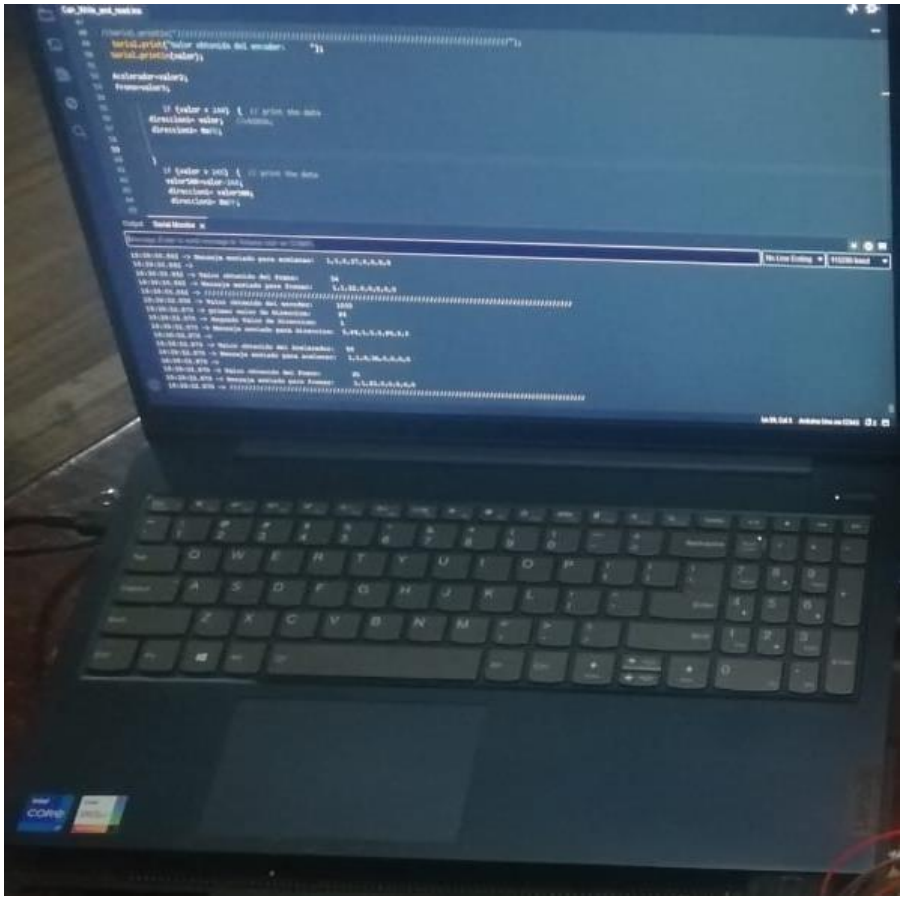
Para la programación del sistema de conducción se realiza un diagrama de flujo que se presenta en la Figura 14. El cual muestra la funcionalidad del programa y permita verificar el funcionamiento del sistema de conducción.

6.4.1 Pruebas del software

Estas últimas fases comprueban la funcionalidad y fiabilidad del programa realizado para controlar los diversos sistemas del vehículo. Donde es posible evaluar los componentes del software que permiten gestionar la dirección y propulsión del automóvil. Y realizando las pruebas correspondientes es posible asegurar coherencia entre los subsistemas que conforman el proyecto de titulación. Estas simulaciones y pruebas del sistema permiten detectar posibles fallos en la programación y corregirlos para que el sistema esté funcionando de forma correcta.

Figura 32

Pruebas del software implementado para el control de los sistemas de dirección y propulsión del vehículo

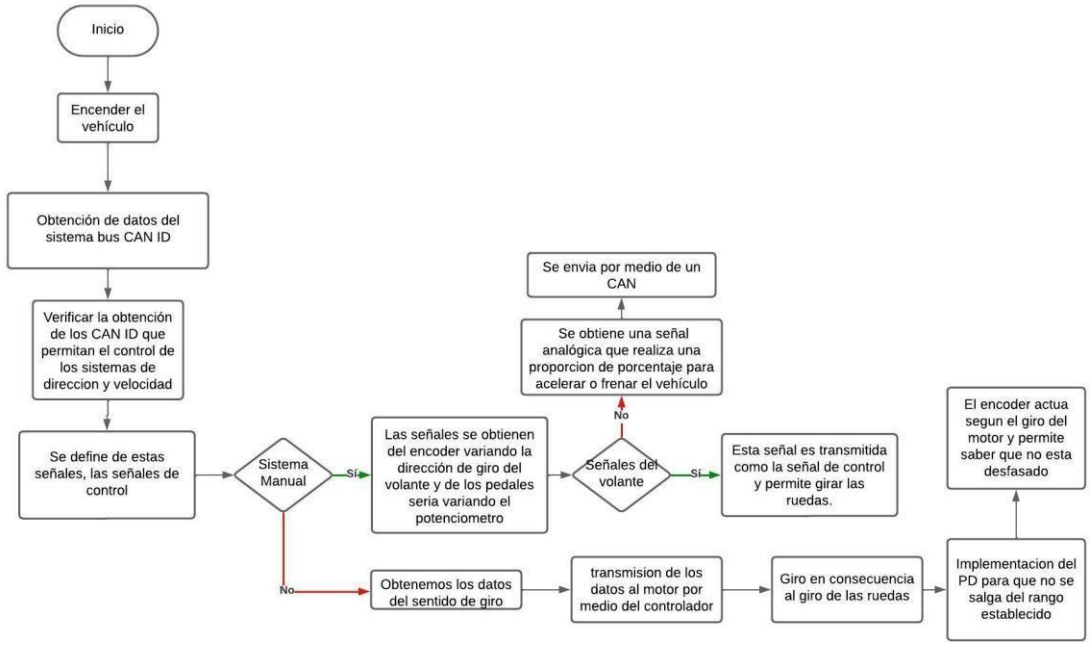


Nota: Prueba del software y verificación el correcto del programa. Tomados por los autores

6.5 Diagrma de flujo del funcionamiento del sistema de conduccion mecatrónico

Figura 33

Explicación del funcionamiento del sistema de conducción mecatrónico



Nota:El siguiente diagrama permite obtener una explicación del funcionamiento del sistema de conducción

7. Resultados

Se logro obtener las señales del sistema y su comprobación por medio del protocolo Bus CAN, también se alcanzó a desarrollar un sistema y un control PD para lograr el control de la dirección. Y para el control de la velocidad se usó el puerto analógico y potenciómetros con la adición de los pedales. De igual forma se obtuvo un sistema que permite la conducción manual de una forma segura y estable además de generar un soporte ajustable que ayuda a la ergonomía del conductor al ubicar de forma segura el volante. Se alcanzo la integración de todos los subsistemas anteriormente mencionados para lograr un sistema final que tenga una combinación de sistemas mecánicos, electrónicos y de control que permitan la construcción del

sistema. Finalmente se obtuvo una comunicación correcta con el vehículo a través del protocolo Bus CAN con lo que se abrió la posibilidad de realizar sistemas de monitoreo o control específicos a nuestras necesidades para el vehículo. A continuación se muestran las tablas de resultados de los sistemas de dirección, propulsión y frenado, y control de ángulo de giro.

Tabla 37

Control de Dirección

Valor de control Encoder	Valor de control estructura -500 a 500	Valor de control codificado para la estructura BUS CAN	Mensaje Enviado al vehículo a través de protocolo BUS CAN	Error entre el valor enviado y el valor recibido
150	-350	A2 – FE	132 8 5 A2 FE 0 0 F0 F 0	± 0.00
151	-349	A3 – FE	132 8 5 A3 FE 0 0 F0 F 0	± 0.00
149	-351	A1 – FE	132 8 5 A1 FE 0 0 F0 F 0	± 0.00
350	-150	6A – FF	132 8 5 6A FF 0 0 F0 F 0	± 0.00
352	-148	6C – FF	132 8 5 6C FF 0 0 F0 F 0	± 0.00
349	-151	69 – FF	132 8 5 69 FF 0 0 F0 F 0	± 0.00
550	50	32 - 00	132 8 5 32 0 0 0 F0 F 0	± 0.00
551	51	33 - 00	132 8 5 33 0 0 0 F0 F 0	± 0.00
552	52	34 - 00	132 8 5 34 0 0 0 F0 F 0	± 0.00
755	255	FF - 00	132 8 5 FF 0 0 0 F0 F 0	± 0.00
756	256	00 - 01	132 8 5 00 1 0 0 F0 F 0	± 0.00
754	254	FE - 00	132 8 5 FE 0 0 0 F0 F 0	± 0.00
954	454	C6 - 01	132 8 5 C6 1 0 0 F0 F 0	± 0.00
952	452	C4 - 01	132 8 5 C4 1 0 0 F0 F 0	± 0.00
951	451	C3 - 01	132 8 5 C3 1 0 0 F0 F 0	± 0.00

Nota: Cuadro donde se visualiza los datos para el control de dirección

Tabla 38

Control de Propulsión y frenado

Valor de control potenciómetro	Valor de control porcentaje	Valor de control codificado para la estructura BUS CAN	Mensaje Enviado al vehículo a través de protocolo BUS CAN	Error entre el valor enviado y el valor recibido
150	15	0F - 00	130 8 1 1 0 0 0F 0 F 0	± 0.00
150	15	0F - 00	130 8 1 1 0 0 0F 0 F 0	± 0.00
350	35	23 - 00	130 8 1 1 0 0 23 0 F 0	± 0.00
350	35	23 - 00	130 8 1 1 0 0 23 0 F 0	± 0.00
550	55	37 - 00	130 8 1 1 0 0 37 0 F 0	± 0.00
550	55	37 - 00	130 8 1 1 0 0 37 0 F 0	± 0.00
750	75	4B - 00	130 8 1 1 0 0 4B 0 F 0	± 0.00
750	75	4B - 00	130 8 1 1 0 0 4B 0 F 0	± 0.00
950	95	5F - 00	130 8 1 1 0 0 5F 0 F 0	± 0.00
950	95	5F - 00	130 8 1 1 0 0 5F 0 F 0	± 0.00

Nota: La siguiente matriz de datos muestra la tabla de resultados para el control de propulsión y frenado del vehículo.

Tabla 39

Control de ángulo de giro Motor

Valor de control Vehículo	Angulo de giro Ruedas	Valor de giro potenciómetro	Angulo de giro motor	Error entre el valor enviado y el valor recibido
A2 – FE	40.1	152	41.8	± 0.70
A3 – FE	40.1	153	42.2	± 2.10
6A – FF	14.8	348	13.2	± 1.60
6C – FF	14.8	349	14.3	± 0.50
32 - 00	7.2	548	9.1	± 1.90
33 - 00	7.2	550	8.3	± 1.10
FF - 00	16.8	756	15.6	± 1.20
00 - 01	16.8	758	17.4	± 0.60
C6 - 01	42.3	952	41.5	± 0.80
C4 - 01	42.3	953	43.4	± 1.10

Nota: La tabla presenta los valores para el control del ángulo de giro

8. Cronograma

Se detalla cada actividad en un cronograma presentado posterior a este texto, donde podrá observar todas las actividades y el tiempo estimado necesario para llevar a cabo el desarrollo de cada objetivo. El cronograma igualmente fue diseñado para guiar la ejecución de las actividades y de esta forma terminar de forma exitosa el proyecto de titulación. El trabajo de titulación contempla un tiempo de 240 horas para todas las actividades y en casos necesarios hasta un 10% de horas adicionales.

Tabla 40

Cronograma de actividades

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																				
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				HORAS
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Identificar los parámetros iniciales para el diseño de un sistema de conducción mecatrónico para el vehículo autónomo ANTA.	Se realizará un análisis exhaustivo de las variables a controlar para la dirección y propulsión del vehículo ANTA. Implica identificar las señales de control necesarias, así como las características del sistema propuesto.	X	X															20
	Identificación de los puntos de conexión disponibles en el vehículo ANTA para la interconexión de los sistemas de dirección y propulsión			X														20
	Investigar las interfaces de comunicación utilizados por sistemas de dirección y propulsión. Esto incluye los protocolos de comunicación identificando sus características				X													20
	Definir requisitos de seguridad y redundancia para el sistema de interconexión. Para identificar posibles riesgos asociados al protocolo a usar					X	X											20
Proponer el diseño del sistema de conducción mecatrónico para el vehículo autónomo ANTA	Recopilar todas los parámetros iniciales y requisitos específicos para el diseño del sistema de conducción mecatrónico. Investigación detallada de los sistemas automáticos existentes							X										20
	Desarrollar un diseño detallado de la disposición física de los diferentes componentes. Esto incluye un diseño de los componentes interconectados y un diseño físico de la ubicación de cada componente.								X									20
	Desarrollo de interfaces electrónicas o mecánicas que aseguren la correcta comunicación entre los controladores									X								20

Nota: La tabla presenta las actividades para cumplir con los objetivos planteados.

Tabla 41

Cronograma de actividades

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																		
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				HORAS
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Construir el sistema de conducción mecatrónica que integre componentes mecánicos y electrónicos para proporcionar un control preciso del vehículo ANTA	Realizar una selección de componentes de tipo mecánico y electrónico que nos permitan construir el sistema de conducción mecatrónico. En esta selección se identificará motores, actuadores, sensores y otros dispositivos que sean adecuados para la construcción del sistema.										X							20
	Realizar un prototipo que integre todos los componentes antes mencionados y que permitan realizar pruebas y simulaciones para verificar el correcto funcionamiento del sistema											X						20
Implementar el sistema de conducción mecatrónico para el vehículo autónomo ANTA.	Instalación del sistema de conducción mecatrónico. Implica la instalación física de los componentes como el volante, pedales, sistemas de cambio auto manual.												X	X				20
	Configuración y calibración del sistema para ajustar la sensibilidad, rangos de operación y necesidades del conductor														X	X		
	Se realizará pruebas de funcionamiento del sistema de conducción mecatrónico y se realizará ajustes finales. En las pruebas del sistema se identificarán posibles problemas y se realizara correcciones. Se realizará pruebas de funcionamiento del sistema de conducción mecatrónico y se realizará ajustes finales. En las pruebas del sistema se identificarán posibles problemas y se realizara correcciones.																X	20
																	Total de horas empleadas	240

Nota: La tabla presenta las actividades para cumplir con los objetivos planteado

9. Presupuesto

El siguiente apartado incluirá la información sobre los gastos y recursos que se requieren realizar a fin de desarrollar el proyecto de titulación

Talento humano

La matriz de datos presenta los costos por el talento humano durante la realización del proyecto de titulación.

Tabla 42

Recursos Materiales

Cargo	Nombre	Costo Hora	Horas al mes	Total de horas	Costo Total
Tutor	Paúl Ortiz	20$	8	48	960$
Autor 1	John González	8$	60	240	1920$
Autor 2	Francisco Puetate	8$	60	240	1920$
Laboratorista	Fredy Tacuri	20$	40	240	4800$
TOTAL					9600$

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 anotan en el calendario al inicio del ciclo.

Recursos Materiales

La siguiente tabla ofrece una visión detallada de los gastos por los recursos materiales que serán utilizados durante la realización del proyecto de titulación.

Tabla 43

Recursos Materiales

Denominación	*Cantidad*	*Costo Unitario*	*Costo Total*
Computadora	1	2000	2000 $
Laboratorios	5	1000	5000 $
Elementos Mecánicos	309		460,72 $
Elementos Electrónicos	38		80,06 $
TOTAL			7540,78 $

Nota: El cuadro presenta los costos asociados a los distintos materiales implementados en el trabajo de titulación, se adiciona estimaciones aproximadas de los gastos, costo de laboratorios.

10. Conclusiones

- Se logro demostrar lo importancia fundamental de la integración de múltiples disciplinas, incluyendo áreas como la electrónica, la mecánica y el software. Este trabajo de titulación ha demostrado como la colaboración y el aprendizaje en diversas disciplinas pueden producir sistemas eficientes y eficaces, que cumplan con los requisitos establecidos, un claro ejemplo es la implementación y construcción del sistema de conducción mecatrónico para el vehículo autónomo “ANTA”
- Una parte esencial del proyecto de titulación fue la elección de los componentes y el protocolo de comunicación a usar. La elección del ATmega328P como microcontrolador principal, junto a la interface SPI y el módulo MCP2515 para comunicación CAN, brindo la posibilidad de que el proyecto fuera un éxito. Como resultado, se obtuvo una comunicación segura y fiable en tiempo real entre los diferentes componentes de los sistemas.

- Se ha adquirieron valiosas habilidades practicas al desarrollar el sistema de conducción mecatrónico. Desde la creación de diseños para el PCB que permitieron la integración de hardware, hasta el desarrollo de un programa robusto que permitió obtener y procesar las señales del vehículo. Por lo que este proyecto genero una experiencia de aprendizaje integral ya que se obtuvo conocimientos sobre componentes mecánicos y electrónicos que nos moldeara para desafíos futuros en el campo de la mecatrónica
- La incorporación del sistema de conducción mecatrónico en el vehículo autónomo ANTA resulto en una mejora significativa al modo de operación manual "Hombre" ya proporcionados en PIXMOVING, brindando una mayor eficiencia operativa y un control mejorado del vehículo "ANTA".
- El trabajo de titulación es altamente relevante como punto de partida, para que en un futuro se logre fabricar vehículos inteligentes, que integren diversas tecnologías e interfaces electrónicas avanzadas. Su implementación y éxito sientan los inicios para la creación de la próxima generación de vehículos autónomos en la ciudad de cuenca, ya que construye la posibilidad de que los vehículos autónomos sean aceptados por la agencia de tránsito del Ecuador.

11. Recomendaciones

- La recomendación que se hace al realizar el proyecto de titulación antes de iniciar la construcción, es tener una planificación concreta que incluya la definición clara de los requisitos del sistema, además de realizar la selección adecuada de componentes tanto mecánicos y electrónicos para su posterior construcción.
- Analizar exhaustivamente los costos y tiempos involucrados en la construcción del proyecto para gestionar de manera correcta los recursos que se nos han otorgado para lograr la finalización del proyecto en el tiempo ofrecido, al mismo tiempo tener en cuenta los recursos financieros para no sobrepasar el presupuesto dado por la Universidad.

- Implementar un sistema robusto que permita respaldar y gestionar los datos para proteger la información crucial del proyecto de titulación, incorporando diseños, documentación y resultado de las pruebas realizadas
- Tener en cuenta un diseño que permita la sostenibilidad y la eficiencia energética, que permita optimizar el consumo de energía del vehículo
- Para mejorar la calidad del vehículo y del sistema de conducción mecatrónico se aconseja explorar otras formas de fabricación, como la impresión 3D, el corte a laser, CNC para componentes con alta precisión el uso de moldes y troqueles que permitan una mayor exactitud y precisión en el diseño y la construcción del vehículo, facilitando a futuro la adaptación del proyecto para llevarlo al mercado.
- Se recomienda mejorar el sistema mecánico con la incorporación de otros elementos para que el sistema de conducción pueda moverse de una forma más flexible y segura, además de adicionar elementos que permitan monitorear y poner en la posición deseada cuando se desee.

12. Referencias

Adaptación del protocolo Bluetooth para su uso en aplicaciones vehiculares. (2023, septiembre 28). ITI. https://www.iti.es/blog/adaptacion-del-protocolo-bluetooth-para-su-uso-en-aplicaciones-vehiculares/

Adeva, R. (2020, marzo 21). *Todo sobre los coches autónomos*. ADSLZone. https://www.adslzone.net/reportajes/movilidad/coche-autonomo/

Álvarez, J. (2018). *Dailymotion*. Dailymotion.com. https://www.dailymotion.com/video/x3mnmwb

Arm Limited. (2024). Mbed LPC1768. Mbed.com. https://os.mbed.com/platforms/mbed-LPC1768/

Arpem. (2017). *El sistema de dirección ¿qué es y cómo funciona?* Ro-des.com. https://www.ro-des.com/mecanica/sistema-de-direccion-que-es/

Autoware overview. (2023, enero 19). Autoware. https://autoware.org/autoware-overview/

Avance, A. (2020, febrero 8). *Sistema Steer-by-Wire - Dirección Asistida - Auto Avance*. Curso Automotriz - Curso Virtual Automotriz - Capacitación Automotriz; Auto Avance. https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/steer-by-wire/

Bassols, G. (2021, marzo 16). *Vehículos autónomos y niveles de autonomía*. LG Barcelona. https://www.lgbarcelona.com/noticias/conduccion-autonoma-niveles/

Bmw. (2024, junio 10). *Flex Ray*. Bmw.es. https://www.bmw.es/es/footer/footer-section/glosario-bmw/flex-ray.html#:~:text=FlexRay%20es%20un%20nuevo%20protocolo,de%20los%20vehículos%20de%20BMW

Briet, T. (2024, octubre 6). *Geometría en la dirección de Ackerman*. Blogspot.com. https://lacuevitaf1.blogspot.com/2008/12/geometra-en-la-direccin-de-ackerman.html

Barcelona. (2023, julio 4). *¿Cuál es la autonomía real de un coche eléctrico?* Endolla.barcelona. https://endolla.barcelona/es/noticias/servicio-endolla/autonomia-real-de-un-coche-electrico

Carlos. (2008, febrero 15). *Avance de la interface FireWire 1394 para ordenadores*. Mantenimiento Informatico; IBERICA MULTIMEDIA y MANTENIMIENTOS INFORMATICOS. https://ibericamultimedia.com/avance-del-interface-firewire-1394-para-ordenadores/

Communications. (2023, diciembre 7). *¿Qué es el automóvil eléctrico?* BBVA. https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-automovil-electrico/

dbpedia. (2024, mayo 7). *About: Ackermann steering geometry*. DBpedia. https://dbpedia.org/page/Ackermann_steering_geometry

DigiKey. (2024). AT90CAN128-16AU. Com.mx. https://www.digikey.com.mx/es/products/detail/microchip-technology/AT90CAN128-16AU/1245010

Electrostore. (2019). TARJETA DUE R3 SAM3X8E 32-BIT ARM CORTEX M3 COMPATIBLE CON ARDUINO + CABLE USB. Grupoelectrostore.com. https://grupoelectrostore.com/shop/placas-para-programacion/arduino/arduino-due-r3-sam3x8e-32-bit-arm-cortex-m3-cable-usb/

ElBosque. (2020). Soporte Brazo Telescopico para iPad/iPhone o Tablet de hasta 11″. Com.ec. https://elbosque.com.ec/smartronic/producto/soporte-brazo-telescopico-para-ipad-iphone-o-tablet-de-hasta-11″/

ER-Soft. (2024, junio 10). *ER-Soft - Noticias*. Er-soft.com. http://www.er-soft.com/es/noticias/ventajas-y-usos-del-bus-can-controller-area-network

España, T. (2023, junio 22). *Toyota Mirai*. Toyota España. https://www.toyota.es/world-of-toyota/articles-news-events/new-toyota-mirai

Fourcade, I. A., & Eterovic, M. J. (2020). *ANÁLISIS DE LA SEGURIDAD DEL PROTOCOLO DE COMUNICACIONES CAN* (M. J. E. Ing. Alejandro Fourcade, Ed.). Florencio Varela 1903. http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/104028/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Galvan, P. (2024, junio 12). *Los 6 niveles de autonomía*. SG Buzz. https://sg.com.mx/revista/55/los-6-niveles-autonom

Garcia, J. C. (2023, septiembre 28). *Adaptación del protocolo Bluetooth para su uso en aplicaciones vehiculares*. ITI. https://www.iti.es/blog/adaptacion-del-protocolo-bluetooth-para-su-uso-en-aplicaciones-vehiculares/

Gil, D. (2023, junio 11). *La geometría de Ackerman*. Taller Actual. https://talleractual.com/negocios-y-autopartes-local-empresas/negocios-y-autopartes-local-empresas-institucionales/2990-la-geometria-de-ackerman

Github. (2024, junio 5). *Autoware documentation*. Github.Io. https://autowarefoundation.github.io/autoware-documentation/main/

GRIFFIN. (2016). GRIFFIN - Soporte rodante de montaje en rack y rieles de plataforma mezcladora ajustables |. https://www.amazon.com/-/es/GRIFFIN-plataforma-mezcladora-ajustables-profesional/dp/B004THBOPK

Gonzalez, O. (2023). *Control de motor de alta potencia BTS7960 con Arduino*. Aprende a controlar motores de alta potencia de hasta 43 Amperios con Arduino y BTS7960. https://lab.bricogeek.com/tutorial/control-de-motor-de-alta-potencia-bts7960-con-arduino

Hernandez, J., Fernandez, R., Mora, A., & Alvarado, J. (2022, julio 5). Vista de Evaluación de la huella de carbono de vehículos con motor eléctrico y de combustión interna según la matriz energética de Ecuador: Caso de estudio KIA Soul vs KIA Soul EV. Edu.ec. https://novasinergia.unach.edu.ec/index.php/novasinergia/article/view/305/305

Houston, J. (2022, julio 6). *ROS 2: The transition from research to production*. Fresh Consulting. https://www.freshconsulting.com/insights/blog/ros-2-the-transition-from-research-to-production/

HRMotor. (2023, octubre 20). *¿Qué es la dirección Ackermann?* HR Motor. https://www.hrmotor.com/que-es/direccion-ackermann/

Kia Soul EV. (2021). Kia Ecuador. https://www.kia.com/ec/showroom/SoulEV/features.html

INFINITI. (2024). *2024 Infiniti q50*. INFINITI. https://www.infinitiusa.com/vehicles/sedans/q50.html

LinkedIn. (2023, octubre 10). *¿Cómo se pueden integrar los diferentes protocolos de comunicación de la automoción en los sistemas de gestión del motor?* Linkedin.com; www.linkedin.com. https://www.linkedin.com/advice/0/how-can-different-automotive-communication?lang=es&originalSubdomain=es

Martinez, A. (2017, julio 4). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE SISTEMAS INFORMÁTICOS*. Upm.es. https://oa.upm.es/48061/10/TFM_ADRIAN_MARTINEZ_REQUENA.pdf

Maurad, J. C., & Armijos, E. M. (2018, febrero). UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA. Edu.ec. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15364/4/UPS-CT007551.pdf

Mazda. (2023, agosto 2). *TIPOS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS (BEV, HEV, PHEV, FCEV)*. Mazdaespanol.com. https://www.mazdaespanol.com/centro-de-recursos-3jn3i/tipos-de-vehículos-eléctricos

MotorKote. (2022, marzo 31). *¿QUÉ ES y CÓMO FUNCIONA el SISTEMA de DIRECCIÓN de un VEHÍCULO?* MotorKote Colombia; Motorkote de Colombia SAS. https://motorkote.com.co/como-funciona-sistema-direccion/

Motors, M. (2021, marzo 30). ¿Cuál es el significado de las letras de la palanca de cambios? Mitsubishi Motors Blog | Venta de Camionetas SUV & MPV. https://www.mitsubishi-motors.com.pe/blog/significado-letras-palanca-cambios/

Microchip. (2019). PIC18F2480/2580/4480/4580 Datasheet. http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39637c.pdf

Microchip Technology Inc. (2024). PIC32MX Family of Microcontrollers. Microchip.com. https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers-and-microprocessors/32-bit-mcus/pic32-32-bit-mcus/pic32mx

Microgamma. (2024). *Sistemas de brazos articulados*. Microgamma.com. https://www.microgamma.com/g2/intro_serie_pro.php

Mouser Electronics. (2024). CAN, LIN, SPI LQFP-144 AEC-Q100 Microcontroladores de 32 bits - MCU Fichas técnicas. Mouser.ec. https://www.mouser.ec/c/ds/semiconductors/embedded-processors-controllers/microcontrollers-mcu/?interface%20type=CAN%2C%20LIN%2C%20SPI&package%20%2F%20case=LQFP-144&qualification=AEC-Q100

Mullin, E. (2024, mayo 2). *China está desarrollando un polémico plan de interfaz cerebro-computadora*. WIRED. https://es.wired.com/articulos/china-desarrollando-polemico-plan-interfaz-cerebro-computadora

NaylampMechatronics. (2023). ATMega328P-PU SPDIP-28. Naylamp Mechatronics - Perú. https://naylampmechatronics.com/microcontroladores/111-atmega328p-pu-spdip-28.html

NaylampMechatronics. (2023). *Módulo CAN MCP2515*. Naylamp Mechatronics - Perú. https://naylampmechatronics.com/alambrico/253-modulo-can-mcp2515.html

NXP. (2024). Kinetis® K Series: High-Performance Microcontrollers (MCUs) Based on Arm® Cortex®-M4 Core. Nxp.com. https://www.nxp.com/products/processors-and-microcontrollers/arm-microcontrollers/general-purpose-mcus/k-series-arm-cortex-m4:KINETIS_K_SERIES

Omron. (2024). *E6C2-C / E6C3-C*. Omron.es. https://industrial.omron.es/es/products/e6c2-c-e6c3-c

Padilla, K. O. P., & Guaman, R. M. V. (2024). *Diseño del habitaculo para el vehiculo autonomo PIXKIT* [Universidad Politecnica Salesiana]. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/27316/1/UPS-CT011292.pdf

Rohde, & Schwarz International. (2024, junio 10). *Sistemas de bus en el sector automovilístico*. Rohde-schwarz.com. https://www.rohde-schwarz.com/es/soluciones/test-and-measurement/automotive/in-vehicle-networks-and-ecu-testing/medidas-de-protocolos-y-buses-en-automocion/medidas-de-protocolos-y-buses-en-automocion_231836.html

Rohde & Schwarz. (2024). *Qué es UART*. Rohde-schwarz.com. https://www.rohde-schwarz.com/es/productos/test-y-medida/essentials-test-equipment/digital-oscilloscopes/que-es-uart_254524.html

ROS. (2024, febrero 16). *Curso de ROS2 para principiantes*. Curso de Instalador. https://cursodeinstalador.com/curso-de-ros2-para-principiantes/

RoboSavvy Ltd. (2018). PIX moving - Hooke chassis platform. Robosavvy.co.uk. https://robosavvy.co.uk/pix-moving-hooke-chassis-platform.html

STMicroelectronics. (2024). STM32F103C8. Www.st.com. https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f103c8.html

Tech, M. (2022, abril 4). Cómo funciona un vehículo autónomo? Capacitaciontecnica.ec. https://www.capacitaciontecnica.ec/sitect/2022/04/04/como-funciona-un-vehiculo-autonomo/

TESLA. (2024). *Model S Plaid*. Tesla.com. https://www.tesla.com/es_es/models

TexasInstruments. (2014). TivaTM C Series ARM® CortexTM-M Microcontrollers. Www.ti.com. https://www.ti.com/lit/po/spmt284/spmt284.pdf?ts=1720550153290&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F

UNITElectronics. (2023). *SN65HVD230 Transceptor CAN 3.3V*. UNIT Electronics. https://uelectronics.com/producto/sn65hvd230-transceptor-can-3-3v/

Universidad Tencnica Nacional (UTN). (2009). *CAN*. http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://sge.frba.utn.edu.ar/upload/Materias/95-0429/archivos/Cap8_2009_CAN.pdf

Valdés, J. (2019, diciembre 8). *Principio de Ackermann*. espirituvintage.com. https://espirituvintage.com/2019/12/08/principio-de-ackermann/

VirtualExpoGroup. (2024). *IXARC - Encoder rotativo incremental by POSITAL FRABA*. Directindustry.es. https://www.directindustry.es/prod/posital-fraba/product-15172-1674235.html

Vogel, J. (2021, abril 6). *Tech Explained: Ackermann Steering geometry*. Racecar Engineering. https://www.racecar-engineering.com/articles/tech-explained-ackermann-steering-geometry/

Zhang, X., Zhu, C., & Song, H. (2022). *Wireless power transfer technologies for electric vehicles*. Springer Nature Singapore.

13. Anexos

Los anexos que se presenta a continuación tratan sobre el proyecto de titulación titulado "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CONDUCCIÓN MECATRÓNICO PARA EL VEHÍCULO ANTA", los anexos permiten observar los resultados experimentales y la observación de las señales CAN en el sistema PIX kit 2.0 que nos permitió recopilar una gran cantidad de información que fue esencial en el desarrollo del sistema de conducción autónomo. También se presentan códigos fuente, esquemas electrónicos y distintos diagramas esenciales para el desarrollo del proyecto. Cada anexo ha sido elaborado minuciosamente con la finalidad que la información proporcionada sea clara y comprensible facilitando la recopilación y el entendimiento de los procesos y soluciones implementadas en el siguiente trabajo de titulación. En particular, se destacan los siguientes elementos:

- Tablas de los CAN ID, señales y tipo de mensaje del sistema del vehículo ANTA
- Planos y diagramas del hardware utilizado en la implementación del sistema de tipo mecatrónico.
- Algoritmos y seudocódigos desarrollados para el control y la navegación autónoma del vehículo.
- Resultados de la pruebas y simulaciones realizadas para evaluar la viabilidad del sistema

Tabla 44

Información sobre el estado del Vehículo

MENSAJE	CAN ID	Mensaje de tipo	Periódico(ms)	DLC	Señal	Descripción	Inicio del byte	Inicio del bit	Len	ByteOrder	Tipo de valor	CFMN	CFMX	Unidad	Factor	Offset	Conversión	VCU	ACU
V2A_DriveStaFb	0x530	P	20	8		Información sobre el estado del vehículo												Tx	Rx
					VCU_ChassisDriverEnSta	Estado de activación del controlador	0	0	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0x0: disable 0x1: enable (Piloto automático habilitando el control de conducción)	Tx	Rx
					VCU_ChassisDiverSlopover	Alerta de control del accionamiento fuera de límites	0	1	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: normal 1: over slop (Las irregularidades superiores al 5% se consideran infracciones)	Tx	Rx
					VCU_ChassisDriverModeSta	Modo de conducción	0	2	2	Intel	UnSigned	0	3		1	0	0: Modo control velocidad 1: Modo control Acelerador 2: Reserva 3: Reserva	Tx	Rx

Nota: *Parte 1 de los datos del diagrama que muestra la información del estado del vehículo y las caractisticas del sistema(Fuente: PixMoving).*

Tabla 45

Información sobre el estado del vehículo

MENSAJES	CAN ID	Mensaje de tipo	Periódico(ms)	DLC	Señal	Descripción	Inicio del byte	Inicio del bit	Len	ByteOrder	Tipo de valor	CFMN	CFMX	Unidad	Factor	Offset	Conversión	VCU	ACU
					VCU_ChassisGearFb	Nivel de marcha (es decir, primera marcha, segunda marcha)	0	4	2	Intel	UnSigned	0	3		1	0	0: No usar 1:D 2: N 3: R	Tx	Rx
					VCU_ChassisSpeedFb	Velocidad real	1	8	16	Intel	Signed	-50	50	m/s	0,01	0	La retroalimentación está relacionada con la velocidad real	Tx	Rx
					VCU_ChassisThrottlePaldFb	Retroalimentación del valor de solicitud del acelerador	3	24	10	Intel	UnSigned	0	100	%	0,1	0	Valor de solicitud del acelerador 0~100	Tx	Rx
					VCU_ChassisAccelerationFb	Aceleración del vehículo	5	40	16	Intel	Signed	-20	20	m/s2	0,01	0	Reserva	Tx	Rx
					VCU_DriveLife	Recuento de ciclos VCU	7	56	4	Intel	UnSigned	0	15		1	0		Tx	Rx

Nota: Parte 2 de los datos del diagrama que muestra la información del estado del vehículo y las caractisticas del sistema(**Fuente:** PixMoving).

Tabla 46

Datos del estado de frenado del Vehículo

MENSAJES	CAN ID	Mensaje de tipo	Periódico(ms)	DLC	Señal	Descripción	Inicio del byte	Inicio del bit	Len	ByteOrder	Tipo de valor	CFMN	CFMX	unidad	Factor	Offset	Conversión	VCU	ACU
V2A_BrakeStaFb	0x531	P	20	8		Información sobre el estado de frenado del vehículo												Tx	Rx
					VCU_ChassisBrakeEnSta	Estado de activación del freno	0	0	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: Desactivar 1: Activar	Tx	Rx
					VCU_VehicleBrakeLampFb	Información sobre el estado de las luces de freno	0	2	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: Off 1: On	Tx	Rx

Nota: Parte 1 de la información del estado de frenado del vehículo. (**Fuente:** PixMoving).

Tabla 47

Información sobre el estado de frenado del vehículo

MENSAJES	CAN ID	Mensaje de tipo	Periódico(ms)	DLC	Señal	Descripción	Inicio del byte	Inicio del bit	Len	ByteOrder	Tipo de valor	CFMN	CFMX	Unidad	Factor	Offset	Conversión	VCU	ACU
					VCU_ChassisBrakePadlFb	Retroalimentación del valor del pedal de freno	1	8	10	Intel	UnSigned	0	1000	%	0,1	0	(Retroalimentación del valor del pedal de freno de 0 a 100%, retroalimentación del pedal si el vehículo tiene pedal, y porcentaje de presión actual y máxima sin pedal).	Tx	Rx
					VCU_ChassisBrakePressureFb	Información sobre la presión de frenado	3	24	8	Intel	UnSigned	0	1000	bar	1	0	(Información sobre la presión de frenado real)	Tx	Rx
					VCU_BrakeLife	Recuento de ciclos VCU	6	48	4	Intel	UnSigned	0	15		1	0		Tx	Rx

***Nota*:** Parte 2 de la información del estado de frenado del vehículo. (**Fuente:** PixMoving).

Tabla 48

Información sobre el estado de la dirección del vehículo

MENSAJES	CAN ID	Mensaje de tipo	Periódico(ms)	DLC	Señal	Descripción	Inicio del byte	Inicio del bit	Len	ByteOrder	Tipo de valor	CFMN	CFMX	Unidad	Factor	Offset	Conversión	VCU	ACU
V2A_SteerStaFb	0x532	P	20	8		Información sobre el estado de la dirección del vehículo												Tx	Rx
					VCU_ChassisSteerEnSta	Estado de habilitación de la dirección (informática)	0	0	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: Desactivar 1: Habilitar	Tx	Rx
					VCU_ChassisSteerSlopover	Alerta de control de dirección fuera de límites	0	1	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: Normal 1: Over slop	Tx	Rx
					VCU_ChassisSteerModeFb	Retroalimentación del modo de dirección	0	4	4	Intel	UnSigned	0	4		1	0	0: front ackerman 1: same front and back 2: front different back 3: back ackrman 4: front back	Tx	Rx

Nota: Parte 1, detalles sobre el estado de la dirección del vehículo (**Fuente:** PixMoving).

Tabla 49

Información sobre el estado de la dirección del vehículo

MENSAJES	CAN ID	Mensaje de tipo	Periódico(ms)	DLC	Señal	Descripción	Inicio del byte	Inicio del bit	Len	ByteOrder	Tipo de valor	CFMN	CFMX	Unidad	Factor	Offset	Conversión	VCU	ACU
					VCU_ChassisSteerAngleFb	Respuesta en curva del volante delantero	1	8	16	Intel	Signed	-500	500	deg	1	0	Los valores máximos y mínimos están relacionados con los parámetros reales del sistema de dirección del chasis	Tx	Rx
					VCU_ChassisSteerAngleRearFb	Respuesta en curvas del volante trasero	3	24	16	Intel	Signed	-500	500	deg	1	0	Los valores máximos y mínimos están relacionados con los parámetros reales del sistema de dirección del chasis	Tx	Rx
					VCU_ChassisSteerAngleSpeedFb	Ajustar la velocidad de giro de la dirección	5	40	8	Intel	UnSigned	0	500	deg/s	2	0	Velocidad angular de rotación	Tx	Rx
					VCU_SteerLife	Recuento de ciclos VCU	6	48	4	Intel	UnSigned	0	15		1	0		Tx	Rx

Nota: Parte 2, detalles sobre el estado de la dirección del vehículo (Fuente: PIXMoving).

Tabla 50

Información sobre el estado de funcionamiento del vehículo

MENSAJES	CAN ID	Mensaje de tipo	Periódico(ms)	DLC	Señal	Descripción	Inicio del byte	Inicio del bit	Len	ByteOrder	Tipo de valor	CFMN	CFMX	unidad	Factor	Offset	Conversión	VCU	ACU
V2A_VehicleWorkStaFb	0x534	P	200	8		Información sobre el estado de funcionamiento del vehículo												Tx	Rx
					VCU_DrivingModeFb	Modo de conducción	0	0	2	Intel	UnSigned	0	3		1	0	0: Espera 1: Conducción autónoma 2: Mando a distancia 3: Hombre	Tx	Rx
					VCU_ChassisPowerStaFb	(Información sobre el estado de encendido del vehículo)	0	2	2	Intel	UnSigned	0	3		1	0	0: Init 1: On acc 2: Ready 3: Off	Tx	Rx
					VCU_ChassisPowerDcSta	(Estado de funcionamiento de CC)	0	4	2	Intel	UnSigned	0	2		1	0	0: Off 1: On 2: En espera	Tx	Rx
					VCU_ChassisSpeedLimitedModeFb	(Estado del límite de velocidad del vehículo)	1	8	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: Por defecto 1: Límite	Tx	Rx

Nota: Parte 1, detalles sobre el estado de la dirección del vehículo (**Fuente:** PIXMoving).

Tabla 51

Información sobre el estado de funcionamiento del vehículo

MENSAJES	CAN ID	Mensaje de tipo	Periódico(ms)	DLC	Señal	Descripción	Inicio del byte	Inicio del bit	Len	ByteOrder	Tipo de valor	CFMN	CFMX	unidad	**Factor**	**Offset**	Conversión	VCU	ACU
					VCU_ChassisSpeedLimitedValFb	(Información sobre el valor límite de velocidad del vehículo)	2	16	16	Intel	UnSigned	0	50	m/s	0,1	0	Retroalimentación sobre el valor límite de velocidad actual, que puede ser establecido por el piloto automático en el modo de piloto automático.	Tx	Rx
					VCU_ChassisLowPowerVoltSta	Tensión de la batería de bajo voltaje)	4	32	8	Intel	UnSigned	0	25	V	0,1	0	Hay que conducir con cuidado cuando la tensión es demasiado baja.	Tx	Rx
					VCU_ChassisEStopStaFb	Información sobre el estado de la parada de emergencia	5	40	4	Intel	UnSigned	0	3		1	0	0:no 1: chassis estop (Parada de Chasis) 2: remote estop (Parada Remota) 3: chassis err estop	Tx	Rx
					VCU_CrashFrontSta	Respuesta del sensor de colisión frontal del vehículo	5	44	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: off 1: collide (Colisionar)	Tx	Rx

Nota: Parte 2, detalles sobre el estado de la dirección del vehículo (Fuente: PIXMoving).

Tabla 52

Información sobre el estado de funcionamiento del vehículo

MENSAJES	CAN ID	Mensaje de tipo	Periódico(ms)	DLC	Señal	Descripción	Inicio del byte	Inicio del bit	Len	ByteOrder	Tipo de valor	CFMN	CFMX	unidad	**Factor**	**Offset**	Conversión	VCU	**ACU**
					VCU_CrashRearSta	(Retroalimentación del sensor de impacto trasero del vehículo)	5	45	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: off 1: collide (Colisionar)	Tx	Rx
					VCU_Life	(Recuento de ciclos VCU)	6	48	4	Intel	UnSigned	0	15		1	0		Tx	Rx
					VCU_CheckSum	sum=byte0 xor byte1 xor...byte6	7	56	8	Intel	UnSigned				1	0		Tx	Rx

Nota: Parte 3, detalles sobre el estado de la dirección del vehículo (**Fuente:** PIXMoving).

Tabla 53

Información sobre el estado de la fuente de alimentación del vehículo

MENSAJES	CAN ID	Mensaje de tipo	Periódico(ms)	DLC	Señal	Descripción	Inicio del byte	Inicio del bit	Len	ByteOrder	Tipo de valor	CFMN	CFMX	unidad	Factor	Offset	Conversión	VCU	ACU
V2A_PowerStaFb	0x535	P	200	8		Información sobre el estado de la fuente de alimentación del vehículo												Tx	Rx
					VCU_ChassisPowerChargeSta	Estado de carga del vehículo	0	4	2	Intel	UnSigned	0	2		1	0	0: No Carga 1: Carga 2: Carga completa	Tx	Rx
					VCU_ChassisPowerSocFb	Carga de la batería del vehículo	1	8	8	Intel	UnSigned	0	100	%	1	0		Tx	Rx
					VCU_ChassisPowerVoltFb	Tensión de la célula de potencia del vehículo	2	16	16	Intel	UnSigned	0	1000	V	0,1	0		Tx	Rx
					VCU_ChassisPowerCurrFb	Potencia del vehículo Corriente de la batería	4	32	16	Intel	UnSigned	-1000	1000	A	0,1	-1000		Tx	Rx
					VCU_ChassisBmsMaxTemp	BMS Temperatura máxima del monómero	6	48	8	Intel	UnSigned	-40	80	℃	1	-40		Tx	Rx

Nota: Características sobre el estado de la fuente de alimentación del vehículo (**Fuente:** PIXMoving).

Tabla 54

Detalles de la Carrocería del vehículo y respuesta de la luz

MENSAJES	CAN ID	Mensaje de tipo	Periódico(ms)	DLC	Señal	Descripción	Inicio del byte	Inicio del bit	Len	ByteOrder	Tipo de valor	CFMN	CFMX	unidad	Factor	Offset	Conversión	VCU	ACU
V2A_VehicleStaFb	0x536	P	200	8		(Carrocería del vehículo y respuesta de la luz)												Tx	Rx
					VCU_VehiclePosLampFb	Indicador luminoso de posición	0	0	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: off 1: on	Tx	Rx
					VCU_VehicleHeadLampFb	Indicación del estado de la luz de cruce	0	1	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: off 1: on	Tx	Rx
					VCU_VehicleLeftLampFb	Información sobre el estado del intermitente izquierdo	0	2	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: off 1: on	Tx	Rx
					VCU_VehicleRightLampFb	Información sobre el estado del intermitente derecho	0	3	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: off 1: on	Tx	Rx
					VCU_VehicleHazardWarLampFb	Estado del interruptor de las luces de emergencia	0	6	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: off 1: on	Tx	Rx

Nota: Características sobre la Carrocería del vehículo y respuesta de la luz (**Fuente:** *PIXMoving*).

Tabla 55

Advertencia y fallos del vehículo

MENSAJES	CAN ID	Mensaje de tipo	Periódico(ms)	DLC	Señal	Descripción	Inicio del byte	Inicio del bit	Len	ByteOrder	Tipo de valor	CFMN	CFMX	unidad	Factor	Offset	Conversión	VCU	ACU
V2A_VehicleFltSta	0x537	P	200	8		(Advertencias y fallos del vehículo)												Tx	Rx
					VCU_SysMotorOverTempSta	Sobre temperatura del sistema del motor	0	0	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: Normal 1: over temp (Sobre temperatura)	Tx	Rx
					VCU_SysBmsOverTempSta	Sobre temperatura del sistema de baterías	0	1	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: Normal 1: over temp (Sobre temperatura)	Tx	Rx
					VCU_SysBrakeOverTempSta	Sobre temperatura del sistema de frenos	0	2	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: Normal 1: over temp (Sobre temperatura)	Tx	Rx
					VCU_SysSteerOverTempSta	Sobre temperatura del sistema de dirección	0	3	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: Normal 1: over temp (Sobre temperatura)	Tx	Rx
					VCU_SysUnderVolt	Baja tensión de la batería	0	4	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: Normal 1: under volt (Bajo voltios)	Tx	Rx

Nota: Parte 1, Información sobre la advertencia de fallos del vehículo (Fuente: PIXMoving).

Tabla 56

Advertencia y fallos del vehículo

MENSAJES	CAN ID	Mensaje de tipo	Periódico(ms)	DLC	Señal	Descripción	Inicio del byte	Inicio del bit	Len	ByteOrder	Tipo de valor	CFMN	CFMX	unidad	Factor	Offset	Conversión	VCU	ACU
					VCU_SysFlt	Fallo del sistema	1	8	4	Intel	UnSigned	0	4		1	0	0: Normal 1: Nivel de fallo 1 2: Nivel de fallo 2 3: Nivel de fallo 3 4: Nivel de fallo 4	Tx	Rx
					VCU_SysBrakeFlt	Avería del sistema de frenado	1	12	4	Intel	UnSigned	0	4		1	0	0: Normal 1: Nivel de fallo 1 2: Nivel de fallo 2 3: Nivel de fallo 3 4: Nivel de fallo 4	Tx	Rx
					VCU_SysParkingFlt	Fallo del sistema de aparcamiento	2	16	4	Intel	UnSigned	0	4		1	0	0: Normal 1: Nivel de fallo 1 2: Nivel de fallo 2 3: Nivel de fallo 3 4: Nivel de fallo 4	Tx	Rx
					VCU_SysSteerFrontFlt	Fallo del sistema de dirección delantera	2	20	4	Intel	UnSigned	0	4		1	0	0: Normal 1: Nivel de fallo 1 2: Nivel de fallo 2 3: Nivel de fallo 3 4: Nivel de fallo 4	Tx	Rx

Nota: Parte 2, Información sobre la advertencia de fallos del vehículo (**Fuente:** PIXMoving).

Tabla 57

Advertencia y fallos del vehículo

MENSAJES	CAN ID	Mensaje de tipo	Periódico(ms)	DLC	Señal	Descripción	Inicio del byte	Inicio del bit	Len	ByteOrder	Tipo de valor	CFMN	CFMX	unidad	Factor	Offset	Conversión	VCU	ACU
					VCU_SysSteerBackFlt	Fallo del sistema de dirección trasera	3	24	4	Intel	UnSigned	0	4		1	0	0: Normal 1: Nivel de fallo 1 2: Nivel de fallo 2 3: Nivel de fallo 3 4: Nivel de fallo 4	Tx	Rx
					VCU_SysMotorLfFlt	Fallo del sistema del motor delantero izquierdo	3	28	4	Intel	UnSigned	0	4		1	0	0: Normal 1: Nivel de fallo 1 2: Nivel de fallo 2 3: Nivel de fallo 3 4: Nivel de fallo 4	Tx	Rx
					VCU_SysMotorRfFlt	Fallo del sistema motor delantero derecho	4	32	4	Intel	UnSigned	0	4		1	0	0: Normal 1: Nivel de fallo 1 2: Nivel de fallo 2 3: Nivel de fallo 3 4: Nivel de fallo 4	Tx	Rx
					VCU_SysMotorLrFlt	Fallo del sistema del motor trasero izquierdo	4	36	4	Intel	UnSigned	0	4		1	0	0: Normal 1: Nivel de fallo 1 2: Nivel de fallo 2 3: Nivel de fallo 3 4: Nivel de fallo 4	Tx	Rx

Nota: Parte 3, Información sobre la advertencia de fallos del vehículo (**Fuente:** PIXMoving).

Tabla 58

Advertencia y fallos del vehículo

MENSAJES	CAN ID	Mensaje de tipo	Periódico(ms)	DLC	Señal	Descripción	Inicio del byte	Inicio del bit	Len	ByteOrder	Tipo de valor	CFMN	CFMX	unidad	Factor	Offset	Conversión	VCU	ACU
					VCU_SysMotorRrFlt	Fallo del sistema del motor trasero derecho	5	40	4	Intel	UnSigned	0	4		1	0	0: Normal 1: Nivel de fallo 1 2: Nivel de fallo 2 3: Nivel de fallo 3 4: Nivel de fallo 4	Tx	Rx
					VCU_SysBmsFlt	Fallo del sistema BMS	5	44	4	Intel	UnSigned	0	4		1	0	0: Normal 1: Nivel de fallo 1 2: Nivel de fallo 2 3: Nivel de fallo 3 4: Nivel de fallo 4	Tx	Rx
					VCU_SysDcFlt	Fallo del sistema de CC	6	48	4	Intel	UnSigned	0	4		1	0	0: Normal 1: Nivel de fallo 1 2: Nivel de fallo 2 3: Nivel de fallo 3 4: Nivel de fallo 4	Tx	Rx

Nota: Parte 4, Información sobre la advertencia de fallos del vehículo (**Fuente:** PixMoving).

Tabla 59

Información sobre la velocidad de las ruedas

MENSAJES	CAN ID	Mensaje de tipo	Periódico(ms)	DLC	Señal	Descripción	Inicio del byte	Inicio del bit	Len	ByteOrder	Tipo de valor	CFMN	CFMX	unidad	Factor	Offset	Conversión	VCU	ACU
V2A_ChassisWheelRpmFb	0x539	P	20	8		Información sobre la velocidad de las ruedas												Tx	Rx
					VCU_ChassisWheelRpmLf	Velocidad de la rueda delantera izquierda	0	0	16	Intel	Signed	-2000	2000	rpm	1	0		Tx	Rx
					VCU_ChassisWheelRpmRf	Velocidad de la rueda delantera derecha	2	16	16	Intel	Signed	-2000	2000	rpm	1	0		Tx	Rx
					VCU_ChassisWheelRpmLr	Velocidad de la rueda trasera izquierda	4	32	16	Intel	Signed	-2000	2000	rpm	1	0		Tx	Rx
					VCU_ChassisWheelRpmRr	Velocidad de la rueda trasera derecha	6	48	16	Intel	Signed	-2000	2000	rpm	1	0		Tx	Rx

Notas: Datos sobre la velocidad de las ruedas (**Fuente**: PIXMoving).

Tabla 60

Información sobre el par de las ruedas

MENSAJES	CAN ID	Mensaje de tipo	Periódico(ms)	DLC	Señal	Descripción	Inicio del byte	Inicio del bit	Len	ByteOrder	Tipo de valor	CFMN	CFMX	unidad	Factor	Offset	Conversión	VCU	ACU
V2A_ChassisWheelTorqueFb	0x542	P	20	8		Información sobre el par de las ruedas												Tx	Rx
					VCU_ChassisTorqueLf	Par de la rueda delantera izquierda	0	0	16	Intel	Signed	-200	200	Nm	0,1	0		Tx	Rx
					VCU_ChassisTorqueRf	Par de la rueda delantera derecha	2	16	16	Intel	Signed	-200	200	Nm	0,1	0		Tx	Rx
					VCU_ChassisTorqueLr	Par de la rueda trasera izquierda	4	32	16	Intel	Signed	-200	200	Nm	0,1	0		Tx	Rx
					VCU_ChassisTorqueRr	Par de la rueda trasera derecha	6	48	16	Intel	Signed	-200	200	Nm	0,1	0		Tx	Rx

Notas: Datos sobre el par motor de las ruedas (**Fuente**: PIXMoving).

Tabla 61

Mensaje de control del Accionamiento

MENSAJES	CAN ID	Mensaje de tipo	Periódico(ms)	DLC	Señal	Descripción	Inicio del byte	Inicio del bit	Len	ByteOrder	Tipo de valor	CFMN	CFMX	unidad	Factor	Offset	Conversión	VCU	ACU
A2V_DriveCtrl	0x130	P	20	8		Mensaje de control del accionamiento												Rx	Tx
					ACU_ChassisDriverEnCtrl	Habilitación del control de conducción del vehículo	0	0	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: Desactivar 1: Activar	Rx	Tx
					ACU_ChassisDriverModeCtrl	Control del modo de conducción	0	2	2	Intel	UnSigned	0	3		1	0	0: Modo control de velocidad 1: Modo control acelerador 2: Reserva 1 3: Reserva 2	Rx	Tx
					ACU_ChassisGearCtrl	Control de marchas	0	4	2	Intel	UnSigned	0	3		1	0	0: Por defecto N 1: D 2: N 3: R	Rx	Tx

Notas: Sección 1, Mensajes del sistema sobre el control de accionamiento (**Fuente**: PIXMoving).

Tabla 62

Mensaje de control del accionamiento

MENSAJES	CAN ID	Mensaje de tipo	Periódico(ms)	DLC	Señal	Descripción	Inicio del byte	Inicio del bit	Len	ByteOrder	Tipo de valor	CFMN	CFMX	unidad	Factor	Offset	Conversión	VCU	ACU
					ACU_ChassisSpeedCtrl	Control de velocidad del vehículo	1	8	16	Intel	UnSigned	0	50	m/s	0,01	0	Efectivo en modo velocidad, el desplazamiento del chasis se controla enviando órdenes de velocidad	Rx	Tx
					ACU_ChassisThrottlePdlTarget	Control del acelerador del vehículo	3	24	10	Intel	UnSigned	0	1000	%	0,1	0	Eficaz en modo par, controla el recorrido del chasis enviando los valores de apertura del acelerador	Rx	Tx
					ACU_DriveLifeSig	Recuento de ciclos 0~15	6	48	4	Intel	UnSigned				1	0	Añadir 1 a cada ciclo, 0-15 ciclos	Rx	Tx
					ACU_CheckSum_130	sum=byte0 xor byte1 xor...byte6	7	56	8	Intel	UnSigned				1	0		Rx	Tx

Notas: Sección 2, Mensaje del sistema sobre el control del accionamiento (**Fuente**: PIXMoving).

Tabla 63

Mensaje de control de frenos

MENSAJES	CAN ID	Mensaje de tipo	Periódico(ms)	DLC	Señal	Descripción	Inicio del byte	Inicio del bit	Len	ByteOrder	Tipo de valor	CFMN	CFMX	unidad	Factor	Offset	Conversión	VCU	ACU
A2V_BrakeCtrl	0x131	P	20	8		Mensaje de control de frenos												Rx	Tx
					ACU_ChassisBrakeEn	Habilitación del control de frenado del vehículo	0	0	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: Desactivar 1: Activar	Rx	Tx
					ACU_ChassisBrakeLampCtrl	Control de las luces de freno del vehículo	0	1	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: Off (con la VCU controlando las luces de freno como uno) 1: On	Rx	Tx
					ACU_ChassisBrakePdlTarget	Control del freno del vehículo	1	8	10	Intel	UnSigned	0	100	%	0,1	0	Control de freno 0~100%, lo que representa un control de presión de freno 0~ Máximo	Rx	Tx
					ACU_ChassisEpbCtrl	Control de aparcamiento	3	24	2	Intel	UnSigned	0	2		1	0	0: Por defecto 1: Freno 2: Libere	Rx	Tx
					ACU_BrakeLifeSig	Recuento de ciclos 0-15	6	48	4	Intel	UnSigned	0	15		1	0	Añadir 1 a cada ciclo, 0~15 ciclos)	Rx	Tx
					ACU_CheckSum_131	Calibración sum=byte0 xor byte1 xor...byte6	7	56	8	Intel	UnSigned				1	0		Rx	Tx

Notas: Mensaje de control del freno (**Fuente**: PIXMoving).

Tabla 64

Mensaje de control de dirección

MENSAJES	CAN ID	Mensaje de tipo	Periódico(ms)	DLC	Señal	Descripción	Inicio del byte	Inicio del bit	Len	ByteOrder	Tipo de valor	CFMN	CFMX	unidad	Factor	Offset	Conversión	VCU	ACU
A2V_SteerCtrl	0x132	P	20	8		Mensaje de control de dirección)												Rx	Tx
					ACU_ChassisSteerEnCtrl	Habilitación del control de dirección del vehículo)	0	0	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: Desactivar 1: Activar	Rx	Tx
					ACU_ChassisSteerModeCtrl	Control del modo de dirección)	0	4	4	Intel	UnSigned	0	4		1	0	0:front ackerman 1:same front and back 2:front different back 3:back ackrman 4:front back	Rx	Tx
					ACU_ChassisSteerAngleTarget	(Mando de dirección del vehículo (delantero))	1	8	16	Intel	Signed	-500	500	deg	1	0	Control del ángulo de la dirección delantera	Rx	Tx

Notas:Cuadro 1 sobre mensaje de control de direccion (**Fuente**: PIXMoving, 2024).

Tabla 65

Mensaje de control de dirección

MENSAJES	CAN ID	Mensaje de tipo	Periódico(ms)	DLC	Señal	Descripción	Inicio del byte	Inicio del bit	Len	ByteOrder	Tipo de valor	**CFMN**	**CFMX**	unidad	Factor	Offset	Conversión	VCU	ACU
					ACU_ChassisSteerAngleRearTarget	Mando de dirección del vehículo (trasero)	3	24	16	Intel	Signed	-500	500	deg	1	0	Control del ángulo de dirección trasero	Rx	Tx
					ACU_ChassisSteerAngleSpeedCtrl	Control de la velocidad de giro del volante del vehículo	5	40	8	Intel	UnSigned	0	500	deg/s	2	0		Rx	Tx
					ACU_SteerLifeSig	Recuento de ciclos 0~15)	6	48	4	Intel	UnSigned	0	15		1	0	Añadir 1 a cada ciclo, 0~15 ciclos	Rx	Tx
					ACU_CheckSum_132	Calibración sum=byte0 xor byte1 xor...byte6	7	56	8	Intel	UnSigned				1	0		Rx	Tx

Notas:Cuadro 2 sobre mensaje de control de direccion (**Fuente**: PIXMoving).

Tabla 66

Control corporal del vehículo

MENSAJES	CAN ID	Mensaje de tipo	Periódico(ms)	DLC	Señal	Descripción	Inicio del byte	Inicio del bit	Len	ByteOrder	Tipo de valor	CFMN	CFMX	unidad	Factor	Offset	Conversión	VCU	ACU
A2V_VehicleCtrl	0x133	P	200	8		Control corporal 1												Rx	Tx
					ACU_VehiclePosLampCtrl	Control de la luz de posición	0	0	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: off 1: on	Rx	Tx
					ACU_VehicleHeadLampCtrl	Control de las luces de cruce	0	1	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: off 1: on	Rx	Tx
					ACU_VehicleLeftLampCtrl	Control del intermitente izquierdo	0	2	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: off 1: on	Rx	Tx
					ACU_VehicleRightLampCtrl	Control del intermitente derecho	0	3	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: off 1: on	Rx	Tx

Notas:Tabla 1, control corporal del vehiculo ANTA (**Fuente**: PIXMoving).

Tabla 67

Control corporal del vehículo

MENSAJES	CAN ID	Mensaje de tipo	Periódico(ms)	DLC	Señal	Descripción	Inicio del byte	Inicio del bit	Len	ByteOrder	Tipo de valor	CFMN	CFMX	unidad	Factor	Offset	Conversión	VCU	ACU
					ACU_ChassisSpeedLimite Mode	Control de límite de velocidad	3	24	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: Por defecto 1: Limite	Rx	Tx
					ACU_ChassisSpeedLimite Val	valor límite de velocidad	4	32	8	Intel	UnSigned	1	20	m/s	0,1	0	Valor límite de velocidad, valor máximo hasta el límite de velocidad del software del chasis	Rx	Tx
					ACU_CheckSumEn	Habilitación del modo de paridad (reservado)	6	48	1	Intel	UnSigned	0	1		1	0	0: Activar 1: Desactivar	Rx	Tx

Notas:Tabla 2, control corporal del vehiculo ANTA (**Fuente**: PIXMoving).

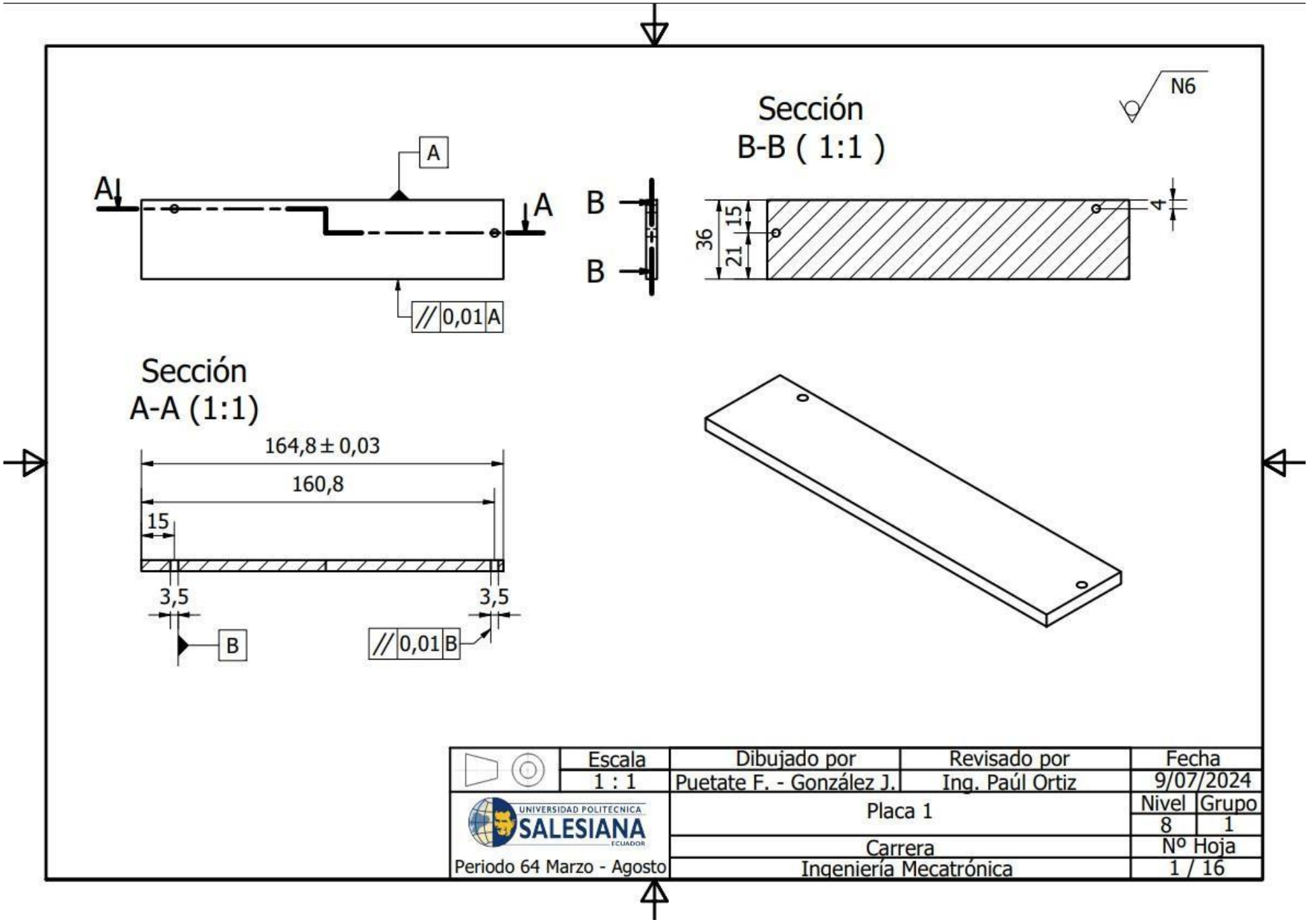
Tabla 68

Control Individual del Motor

MENSAJES	CAN ID	Mensaje de tipo	Periódico(ms)	DLC	Señal	Descripción	Inicio del byte	Inicio del bit	Len	ByteOrder	Tipo de valor	CFMN	CFMX	unidad	Factor	Offset	Conversión	VCU	ACU
A2V_WheelTorqueCtrl	0x135	P	20	8		Control individual del motor (reservado)												Rx	Tx
					ACU_MotorTorqueLfCtrl	Par motor delantero izquierdo	0	0	16	Intel	Signed	-200	200	Nm	0,1	0	Control de par	Rx	Tx
					ACU_MotorTorqueRfCtrl	Par motor delantero derecho	2	16	16	Intel	Signed	-200	200	Nm	0,1	0	Control de par	Rx	Tx
					ACU_MotorTorqueLrCtrl	Par motor trasero izquierdo	4	32	16	Intel	Signed	-200	200	Nm	0,1	0	Control de par	Rx	Tx
					ACU_MotorTorqueRrCtrl	Par motor trasero derecho	6	48	16	Intel	Signed	-200	200	Nm	0,1	0	Control de par	Rx	Tx

Notas: Control individual del motor del vehículo ANTA (Fuente: PIXMoving).

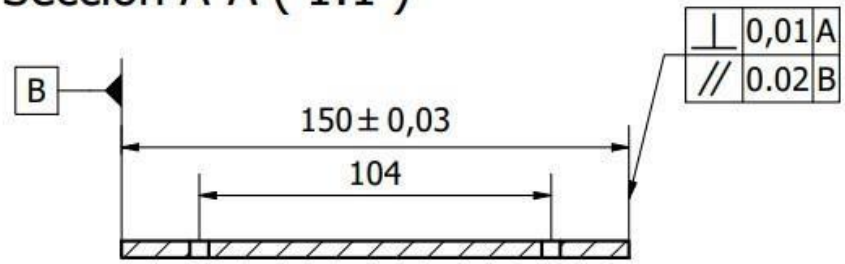
Planos del sistema del volante

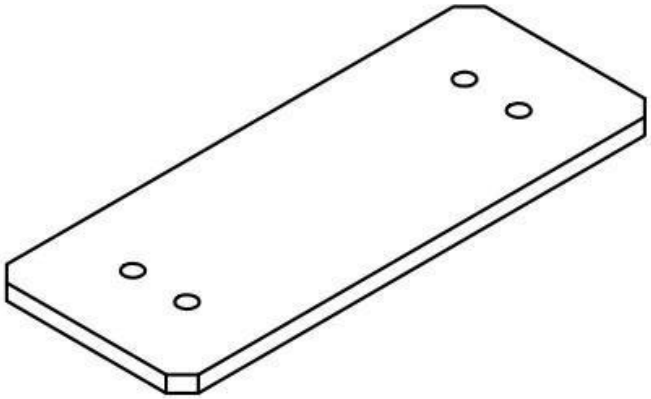


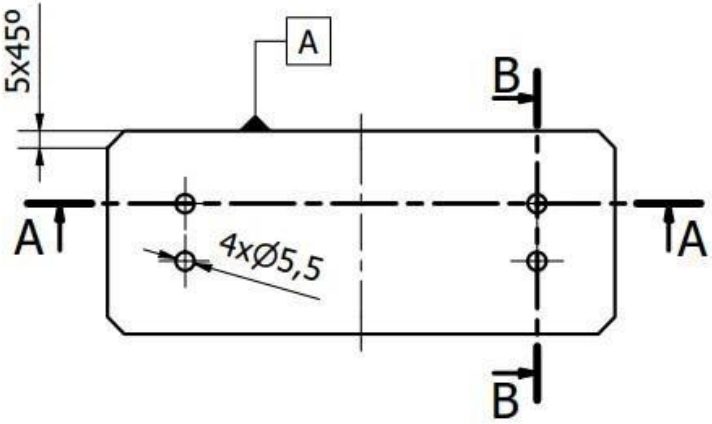
	Escala	Dibujado por	Revisado por	Fecha
	1 : 1	Puetate F. - González J.	Ing. Paúl Ortiz	9/07/2024
UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA ECUADOR		Placa 1		Nivel: 8 / Grupo: 1
Periodo 64 Marzo - Agosto		Carrera: Ingeniería Mecatrónica		Nº Hoja: 1 / 16

N6

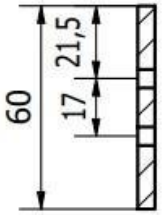
Sección A-A (1:1)



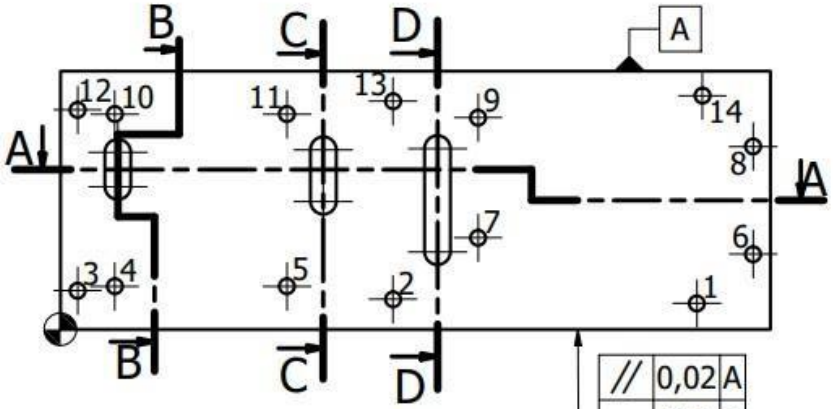


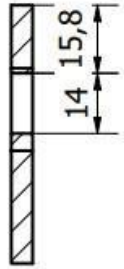


Sección B-B (1:1)

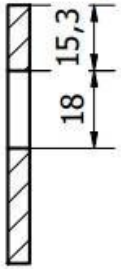


	Escala	Dibujado por	Revisado por	Fecha
	1 : 1	Puetate F. - González J.	Ing. Paúl Ortiz	9/07/2024
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		Placa 2		Nivel 8 / Grupo 1
Periodo 64 Marzo - Agosto		Carrera: Ingeniería Mecatrónica		Nº Hoja 2 / 16

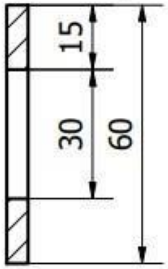




B-B (1 : 1)



C-C (1 : 1)

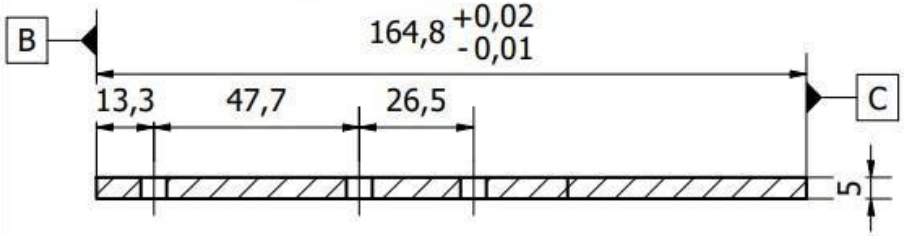


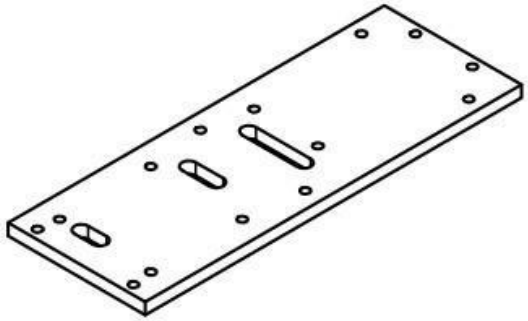
D-D (1 : 1)

N6

//	0,02	A
⊥	0,1	B
	0,1	C

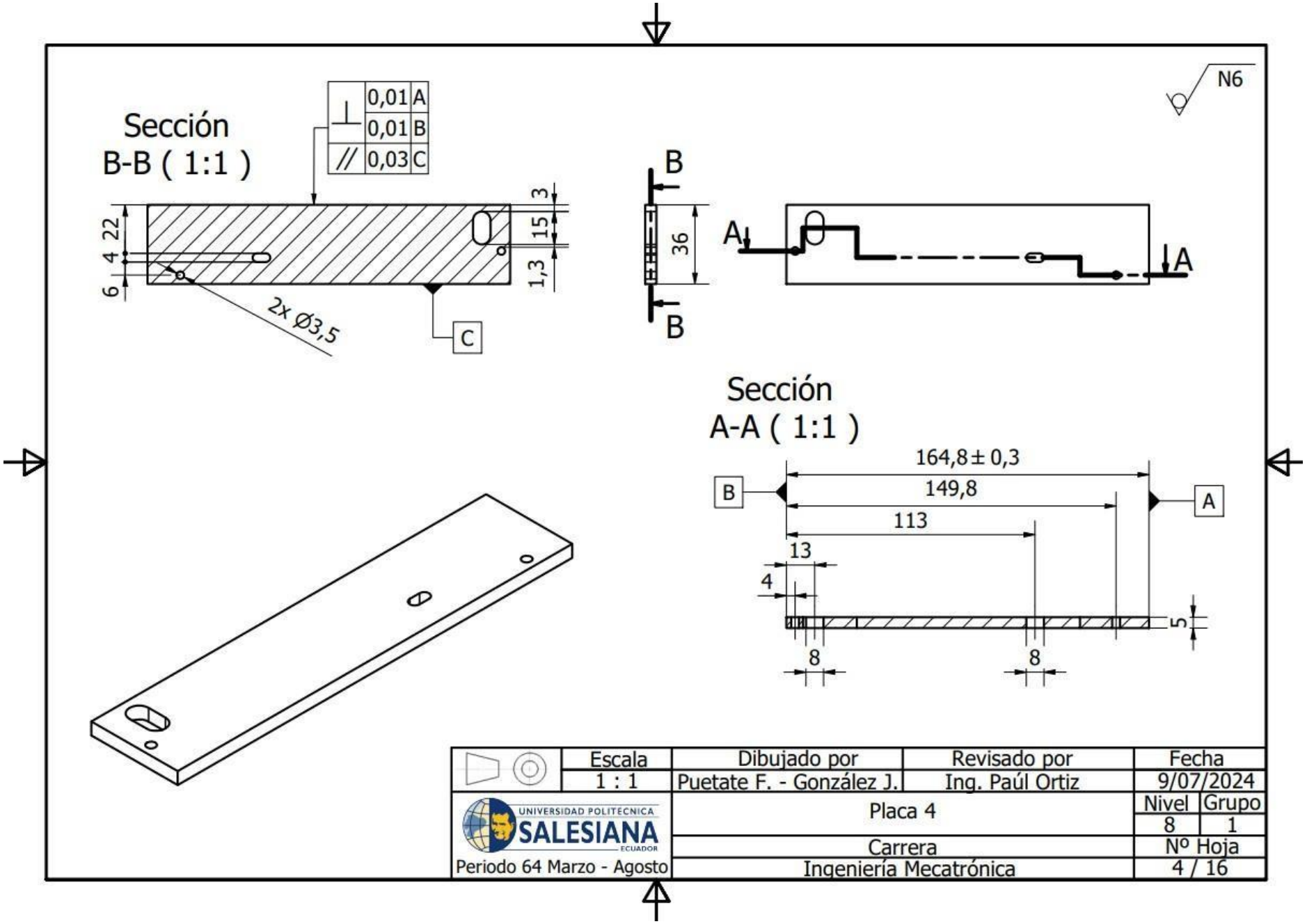
Sección A-A (1 : 1)



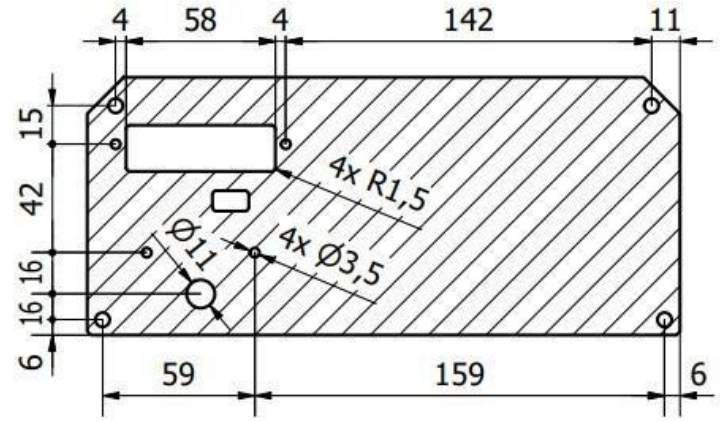


Agujero	X	Y	Descripción
1	147,8	6,1	Ø3,5 -5 Prof
2	77,2	7,0	Ø3,5 -5 Prof
3	4,0	9,0	Ø3,5 -5 Prof
4	12,6	10,0	Ø3,5 -5 Prof
5	52,6	10,0	Ø3,5 -5 Prof
6	160,8	17,5	Ø3,5 -5 Prof
7	97,0	21,3	Ø3,5 -5 Prof
8	160,8	42,5	Ø3,5 -5 Prof
9	97,0	49,2	Ø3,5 -5 Prof
10	12,6	50,0	Ø3,5 -5 Prof
11	52,6	50,0	Ø3,5 -5 Prof
12	4,0	51,0	Ø3,5 -5 Prof
13	77,2	53,0	Ø3,5 -5 Prof
14	149,0	54,3	Ø3,5 -5 Prof

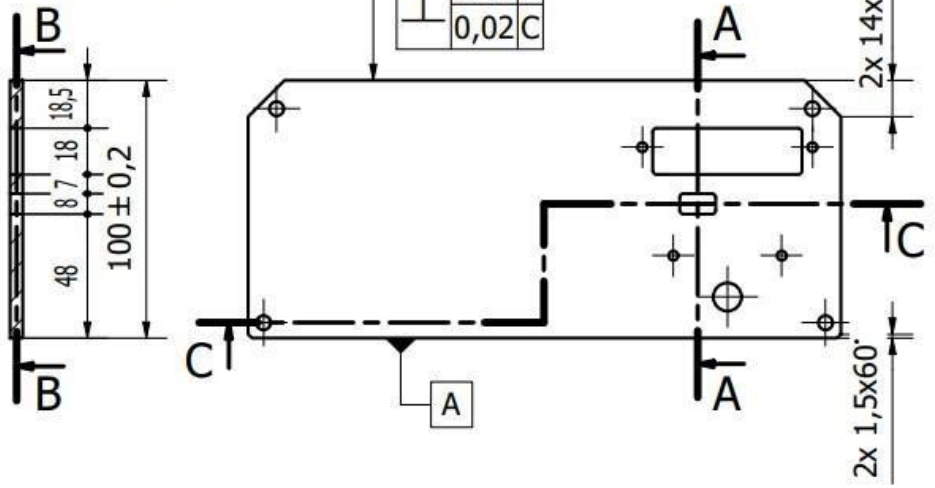
	Escala	Dibujado por	Revisado por	Fecha
	1 : 1	Puetate F. - González J.	Ing. Paúl Ortiz	9/07/2024
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		Placa 3		Nivel: 8 / Grupo: 1
Periodo 64 Marzo - Agosto		Carrera: Ingeniería Mecatrónica		Nº Hoja: 3 / 16

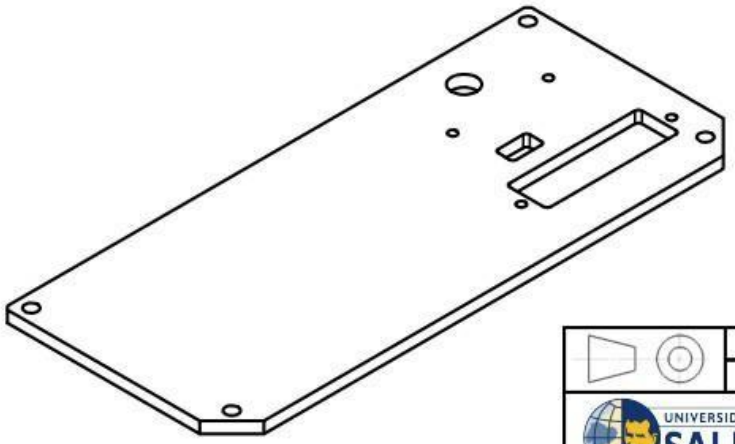

N6
Sección
B-B (1:1)
0,01 A
0,01 B
// 0,03 C
3
15
1,3
22
4
6
2x Ø3,5
C
B
36
B
A
A
Sección
A-A (1:1)
164,8 ± 0,3
149,8
113
B
A
13
4
5
8
8
Escala
1 : 1
Dibujado por
Puetate F. - González J.
Revisado por
Ing. Paúl Ortiz
Fecha
9/07/2024
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR
Periodo 64 Marzo - Agosto
Placa 4
Nivel
8
Grupo
1
Carrera
Ingeniería Mecatrónica
Nº Hoja
4 / 16

Sección B-B(1:1)

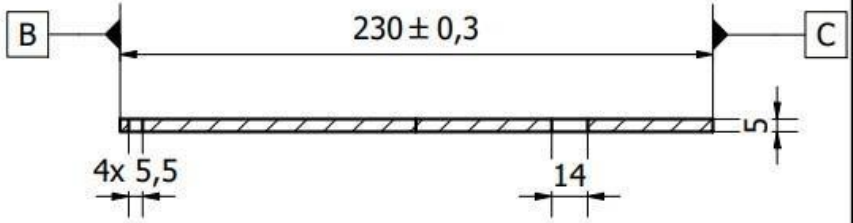


Sección A-A(1:1)

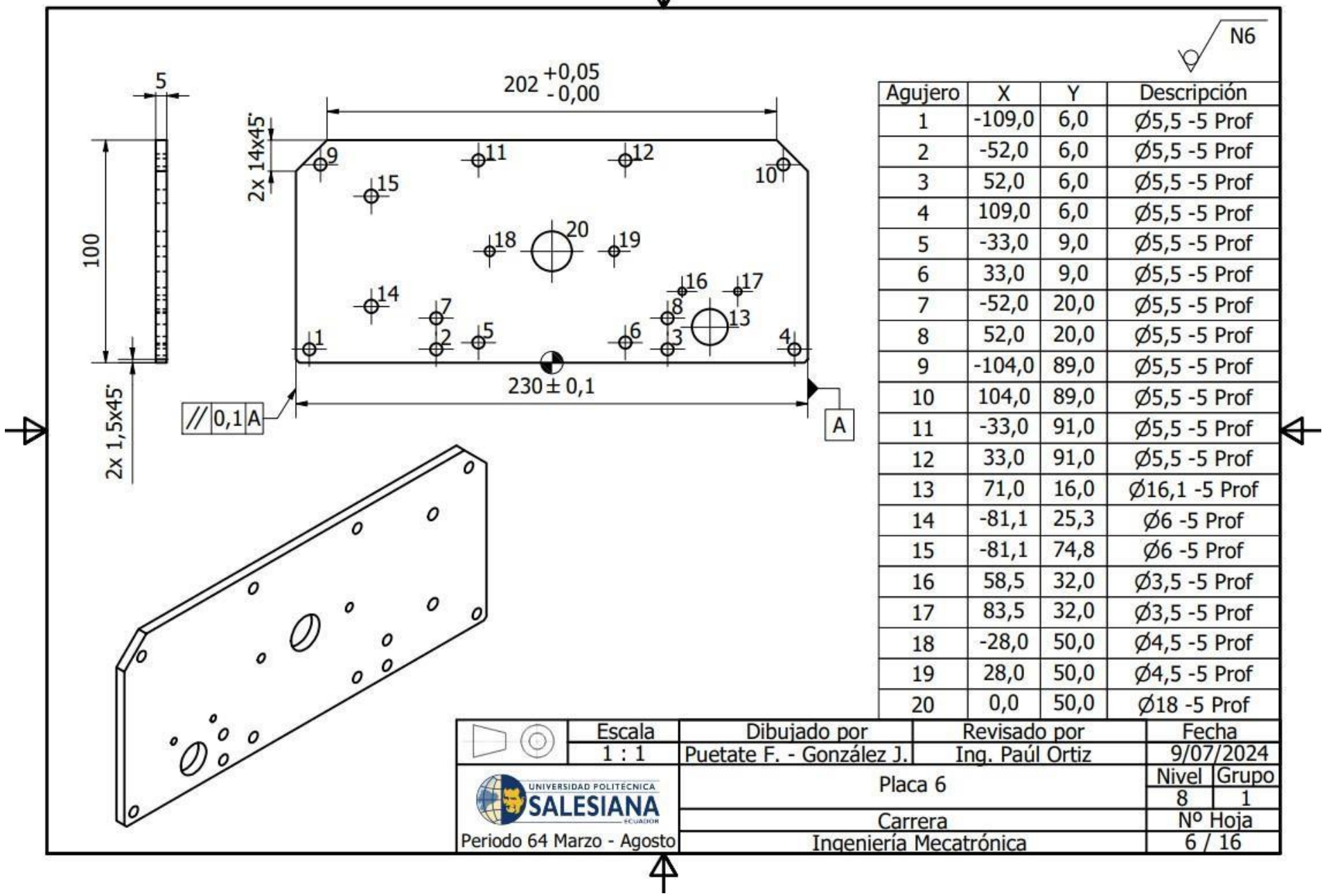




Sección C-C (1:1)



	Escala	Dibujado por	Revisado por	Fecha
	1 : 1	Puetate F. - González J.	Ing. Paúl Ortiz	9/07/2024
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		Placa 5		Nivel: 8 / Grupo: 1
Periodo 64 Marzo - Agosto		Carrera: Ingeniería Mecatrónica		Nº Hoja: 5 / 16



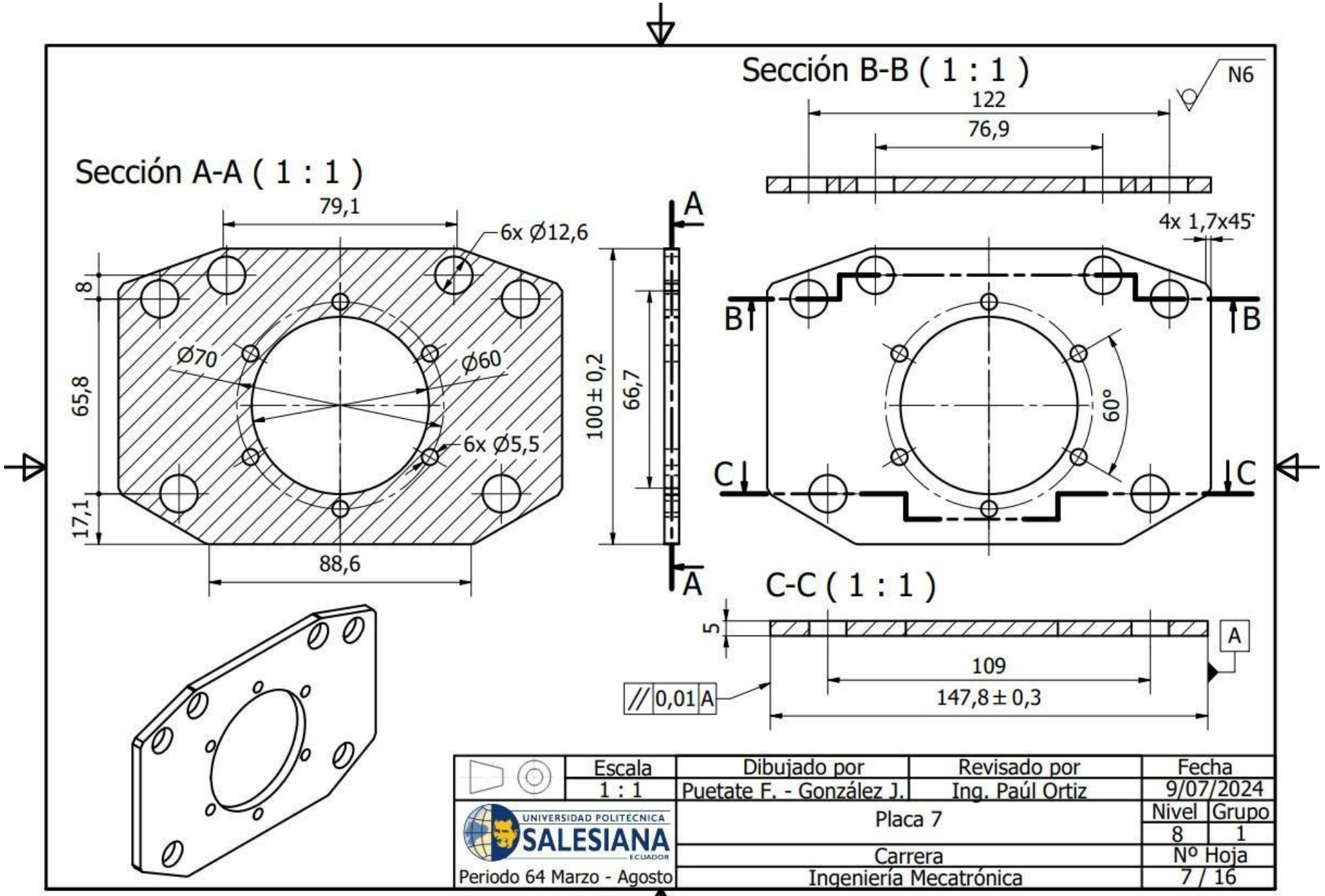
Agujero	X	Y	Descripción
1	-109,0	6,0	Ø5,5 -5 Prof
2	-52,0	6,0	Ø5,5 -5 Prof
3	52,0	6,0	Ø5,5 -5 Prof
4	109,0	6,0	Ø5,5 -5 Prof
5	-33,0	9,0	Ø5,5 -5 Prof
6	33,0	9,0	Ø5,5 -5 Prof
7	-52,0	20,0	Ø5,5 -5 Prof
8	52,0	20,0	Ø5,5 -5 Prof
9	-104,0	89,0	Ø5,5 -5 Prof
10	104,0	89,0	Ø5,5 -5 Prof
11	-33,0	91,0	Ø5,5 -5 Prof
12	33,0	91,0	Ø5,5 -5 Prof
13	71,0	16,0	Ø16,1 -5 Prof
14	-81,1	25,3	Ø6 -5 Prof
15	-81,1	74,8	Ø6 -5 Prof
16	58,5	32,0	Ø3,5 -5 Prof
17	83,5	32,0	Ø3,5 -5 Prof
18	-28,0	50,0	Ø4,5 -5 Prof
19	28,0	50,0	Ø4,5 -5 Prof
20	0,0	50,0	Ø18 -5 Prof

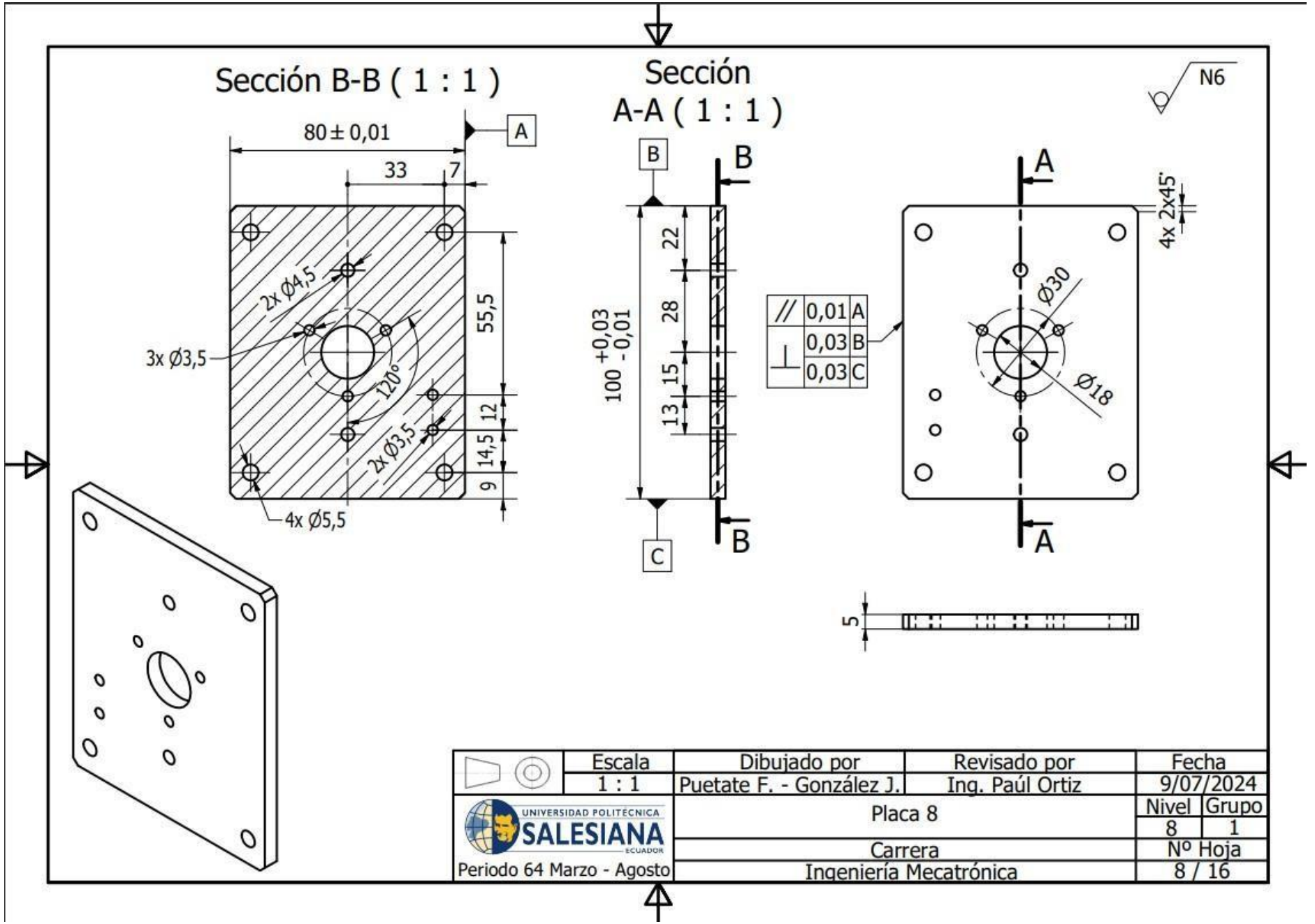
Escala	Dibujado por	Revisado por	Fecha
1 : 1	Puetate F. - González J.	Ing. Paúl Ortiz	9/07/2024

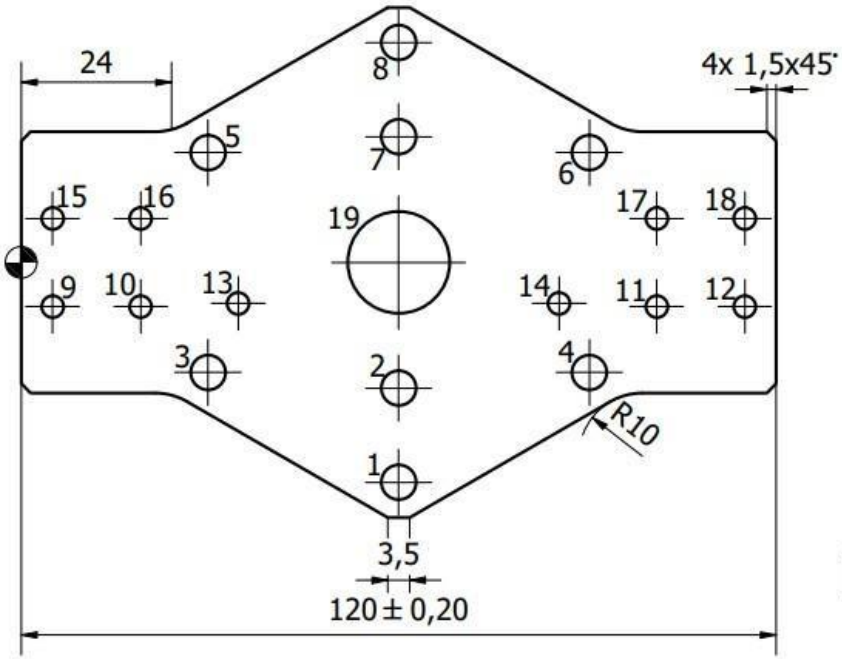
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR

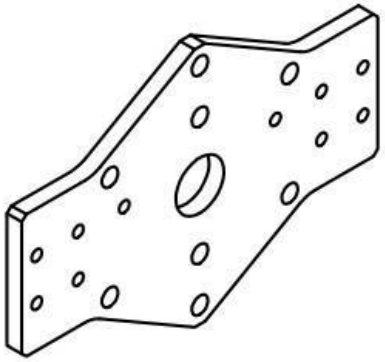
Periodo 64 Marzo - Agosto

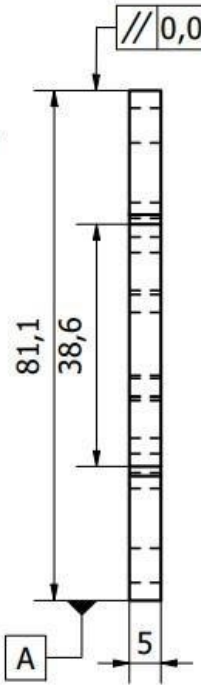
Placa 6	Nivel	Grupo
	8	1
Carrera	Nº Hoja	
Ingeniería Mecatrónica	6 / 16	


Sección A-A (1 : 1)
79,1
6x Ø12,6
8
65,8
17,1
Ø70
Ø60
6x Ø5,5
88,6
A
A
100 ± 0,2
66,7
Sección B-B (1 : 1)
N6
122
76,9
4x 1,7x45°
B
B
C
C
60°
C-C (1 : 1)
5
A
109
147,8 ± 0,3
// 0,01 A
Escala
1 : 1
Dibujado por
Puetate F. - González J.
Revisado por
Ing. Paúl Ortiz
Fecha
9/07/2024
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR
Placa 7
Nivel
8
Grupo
1
Carrera
Ingeniería Mecatrónica
Nº Hoja
7 / 16
Periodo 64 Marzo - Agosto


Sección B-B (1 : 1)
Sección A-A (1 : 1)
N6
80 ± 0,01
A
33
7
2x Ø4,5
3x Ø3,5
120°
2x Ø3,5
4x Ø5,5
55,5
12
14,5
9
B
C
100 +0,03 -0,01
22
28
15
13
// 0,01 A
⊥ 0,03 B
0,03 C
4x 2x45°
Ø30
Ø18
5
Escala
1 : 1
Dibujado por
Puetate F. - González J.
Revisado por
Ing. Paúl Ortiz
Fecha
9/07/2024
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR
Placa 8
Nivel
8
Grupo
1
Carrera
Ingeniería Mecatrónica
Nº Hoja
8 / 16
Periodo 64 Marzo - Agosto

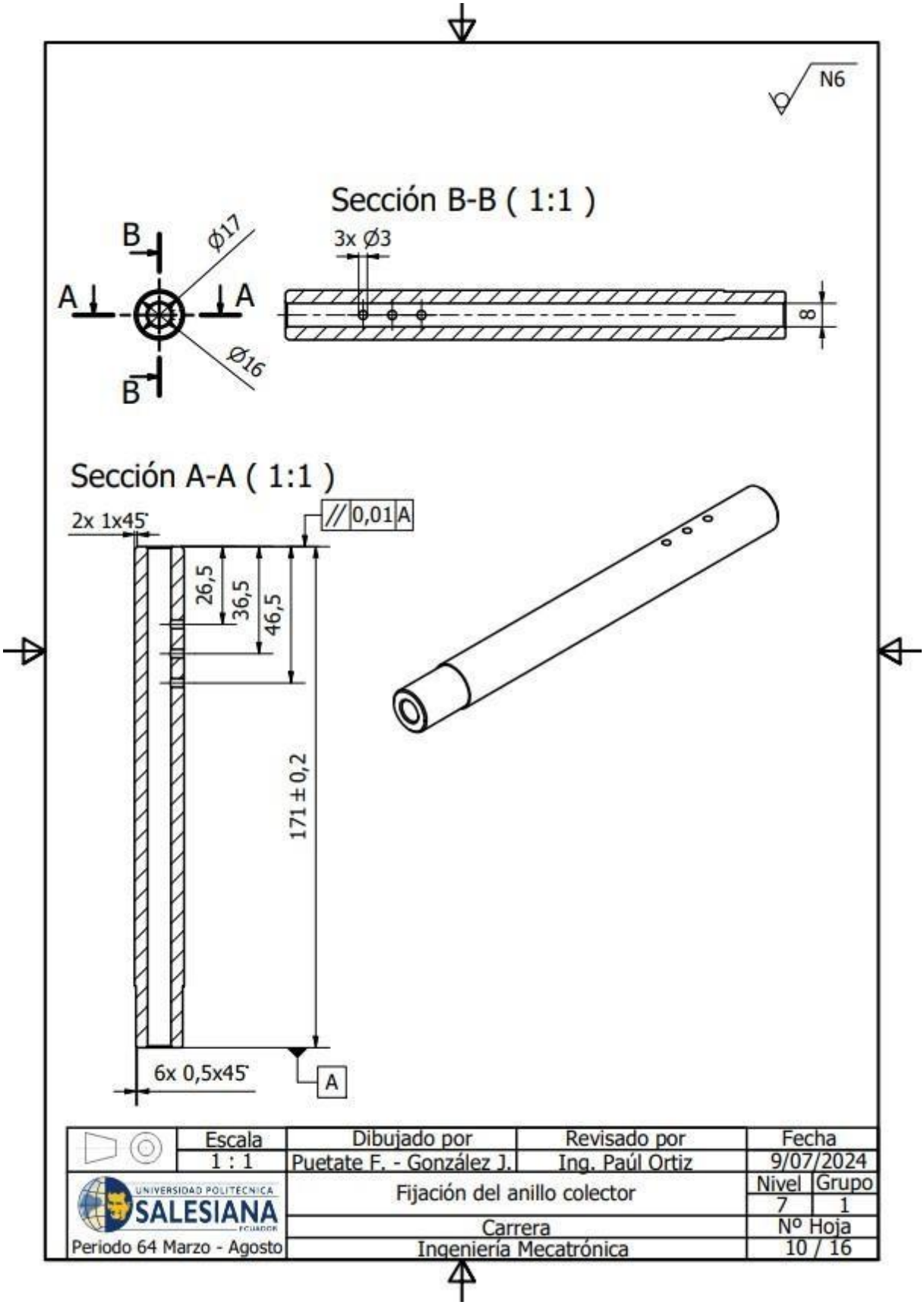




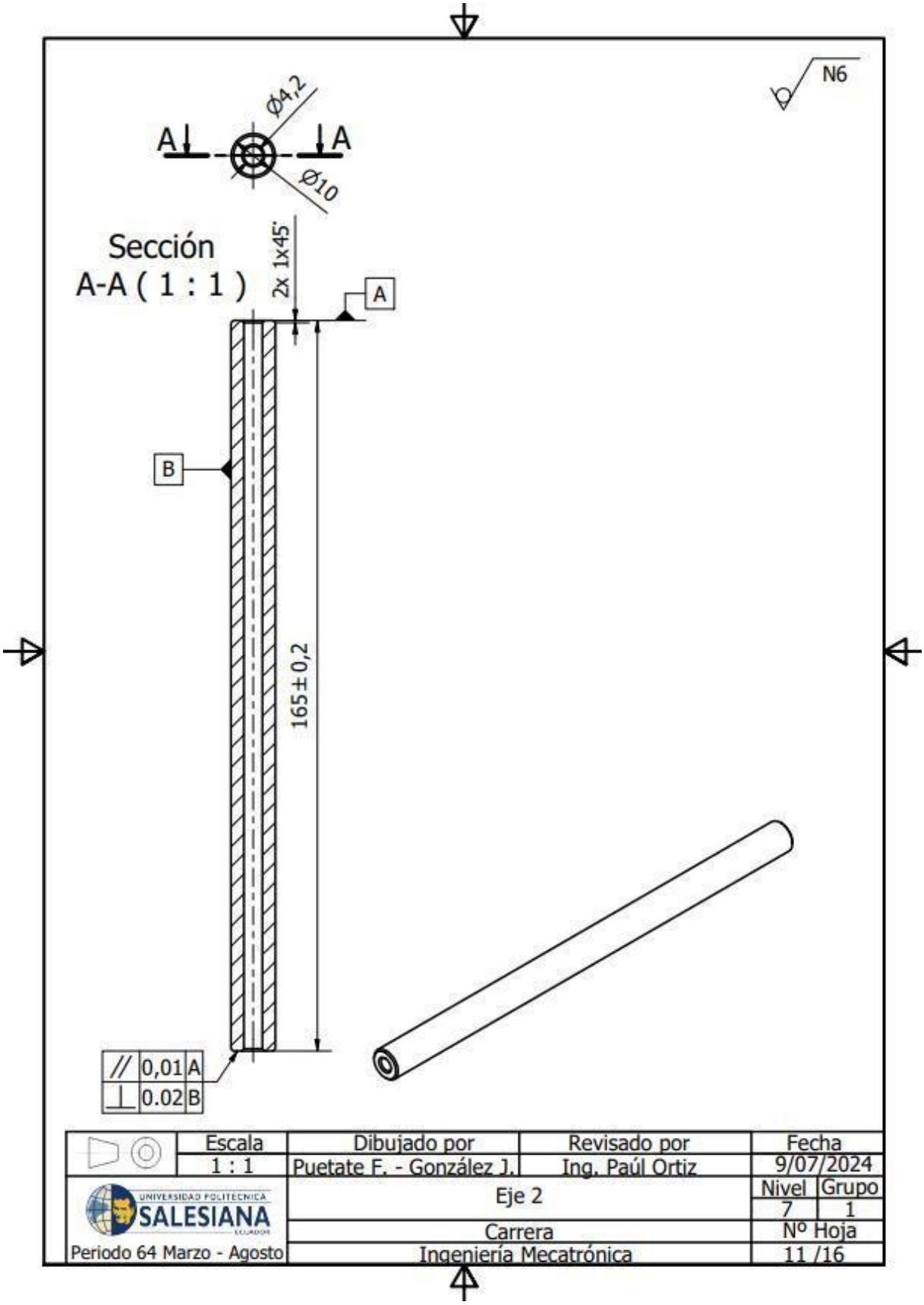


Agujero	X	Y	Descripción
1	60,0	-35,0	Ø5,5 -5 Prof
2	60,0	-20,0	Ø5,5 -5 Prof
3	29,7	-17,5	Ø5,5 -5 Prof
4	90,3	-17,5	Ø5,5 -5 Prof
5	29,7	17,5	Ø5,5 -5 Prof
6	90,3	17,5	Ø5,5 -5 Prof
7	60,0	20,0	Ø5,5 -5 Prof
8	60,0	35,0	Ø5,5 -5 Prof
9	5,0	-7,0	Ø3,5 -5 Prof
10	19,0	-7,0	Ø3,5 -5 Prof
11	101,0	-7,0	Ø3,5 -5 Prof
12	115,0	-7,0	Ø3,5 -5 Prof
13	34,5	-6,5	Ø3,5 -5 Prof
14	85,5	-6,5	Ø3,5 -5 Prof
15	5,0	7,0	Ø3,5 -5 Prof
16	19,0	7,0	Ø3,5 -5 Prof
17	101,0	7,0	Ø3,5 -5 Prof
18	115,0	7,0	Ø3,5 -5 Prof
19	60,0	0,0	Ø16,2 -5 Prof

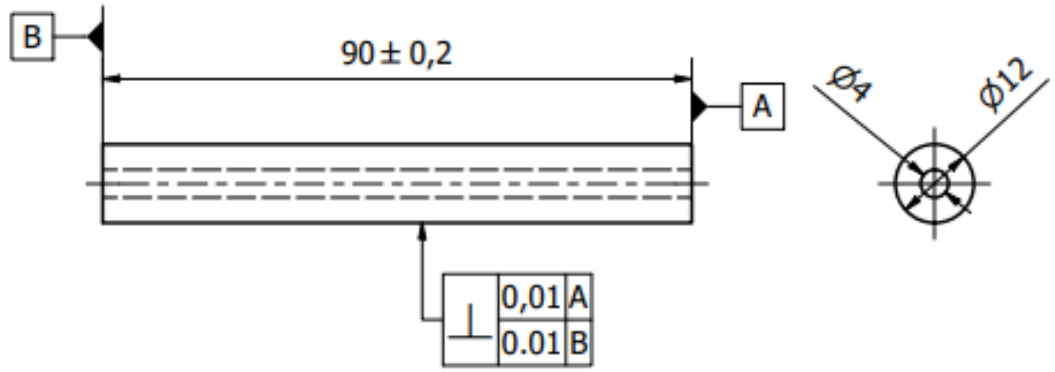
	Escala	Dibujado por	Revisado por	Fecha
	1 : 1	Puetate F. - González J.	Ing. Paúl Ortiz	9/07/2024
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		Centro del Volante		Nivel 7 / Grupo 1
Periodo 64 Marzo - Agosto		Carrera: Ingeniería Mecatrónica		Nº Hoja 9 / 16

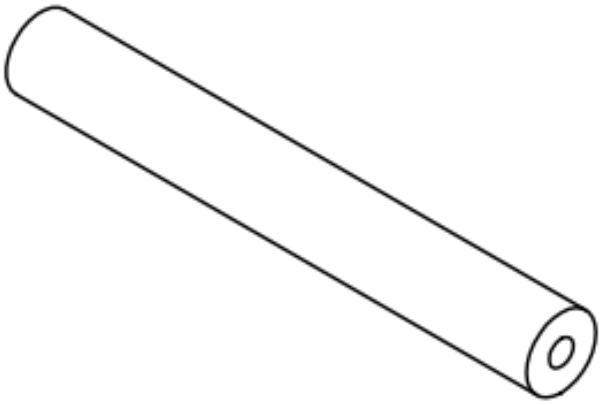


	Escala	Dibujado por	Revisado por	Fecha
	1 : 1	Puetate F. - González J.	Ing. Paúl Ortiz	9/07/2024
UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA ECUADOR		Fijación del anillo colector		Nivel 7 / Grupo 1
Periodo 64 Marzo - Agosto		Carrera: Ingeniería Mecatrónica		Nº Hoja 10 / 16



	Escala	Dibujado por	Revisado por	Fecha
	1 : 1	Puetate F. - González J.	Ing. Paúl Ortiz	9/07/2024
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		Eje 2		Nivel 7 / Grupo 1
Periodo 64 Marzo - Agosto		Carrera: Ingeniería Mecatrónica		Nº Hoja 11 /16

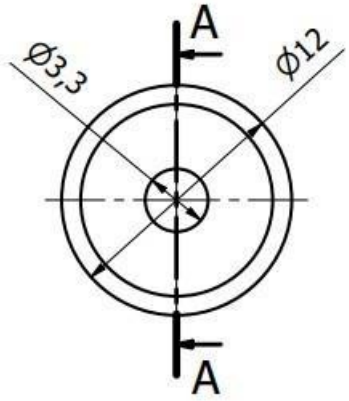


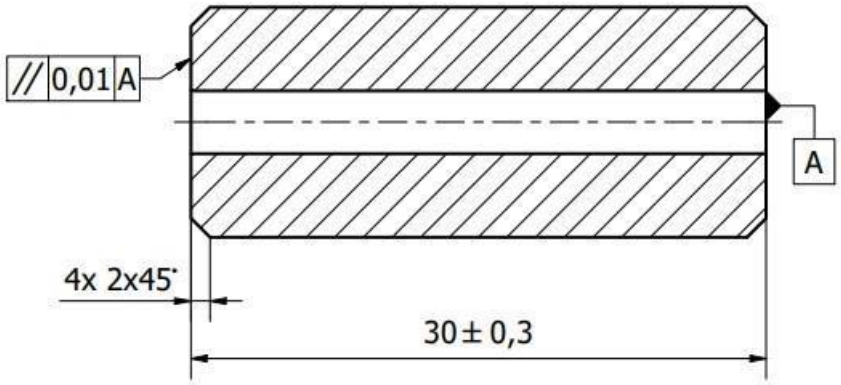


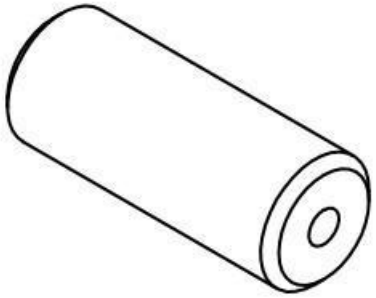
	Escala	Dibujado por	Revisado por	Fecha
	1 : 1	Puetate F. - González J.	Ing. Paúl Ortiz	9/07/2024
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		Eje 3		Nivel 7 / Grupo 1
Periodo 64 Marzo - Agosto		Carrera: Ingeniería Mecatrónica		Nº Hoja 12 / 16

N6

Sección
A-A (1:1)

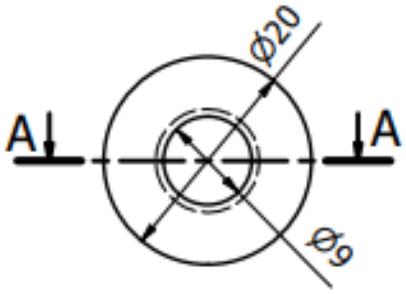


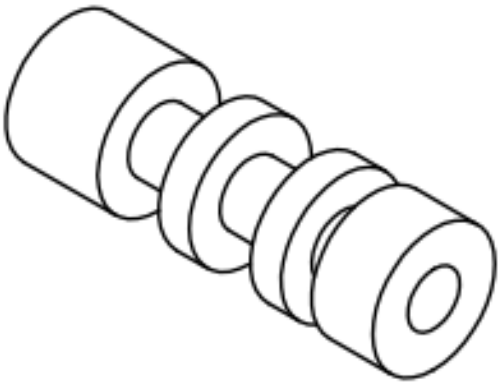




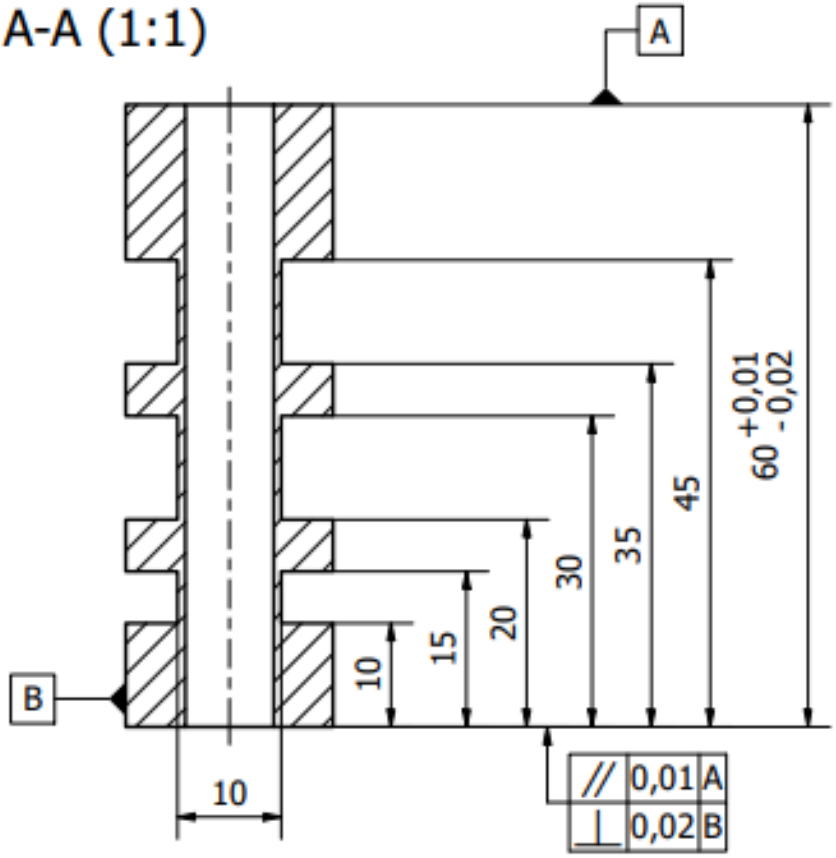
	Escala	Dibujado por	Revisado por	Fecha
	1 : 1	Puetate F. - González J.	Ing. Paúl Ortiz	9/07/2024
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		Eje 4		Nivel 7 / Grupo 1
Periodo 64 Marzo - Agosto		Carrera: Ingeniería Mecatrónica		Nº Hoja 13 / 16

N6

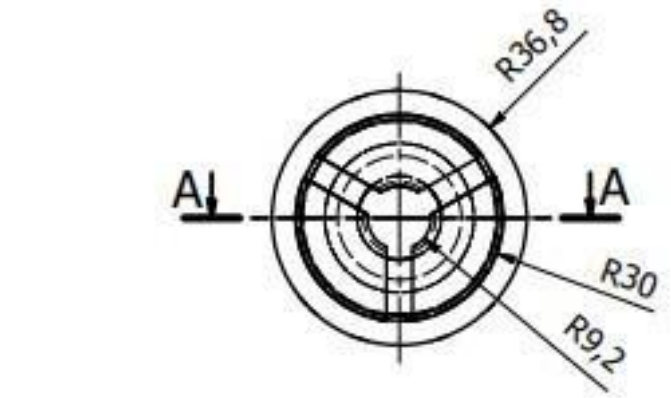




Sección
A-A (1:1)

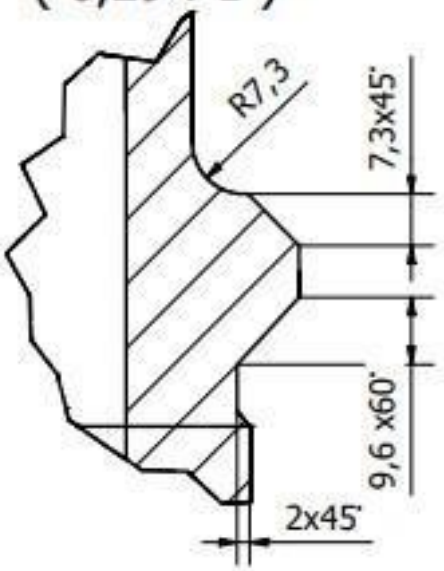


	Escala	Dibujado por	Revisado por	Fecha
	1 : 1	Puetate F. - González J.	Ing. Paúl Ortiz	9/07/2024
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		Eje Dentado		Nivel 7 / Grupo 1
Periodo 64 Marzo - Agosto		Carrera: Ingeniería Mecatrónica		Nº Hoja 14 / 16

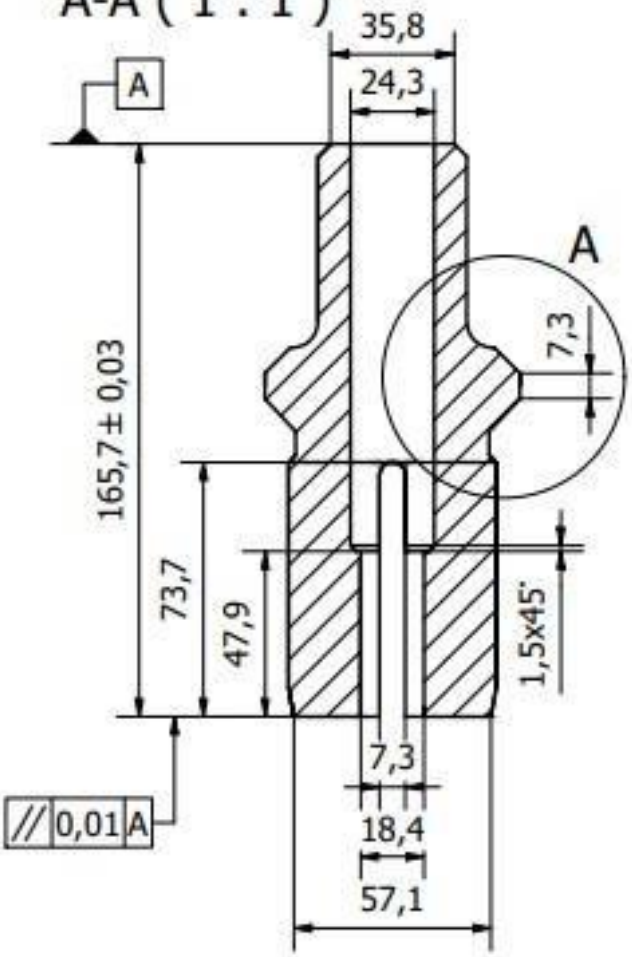


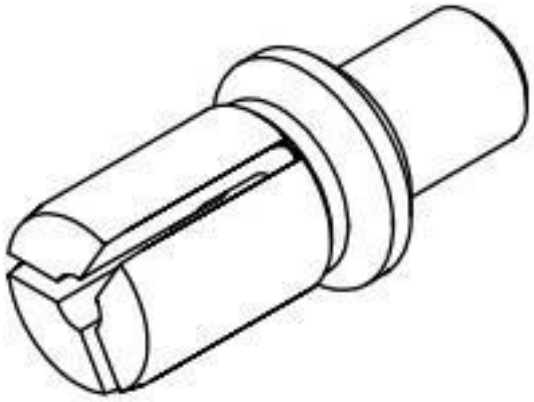
N6

Detalle A
(0,29 : 1)

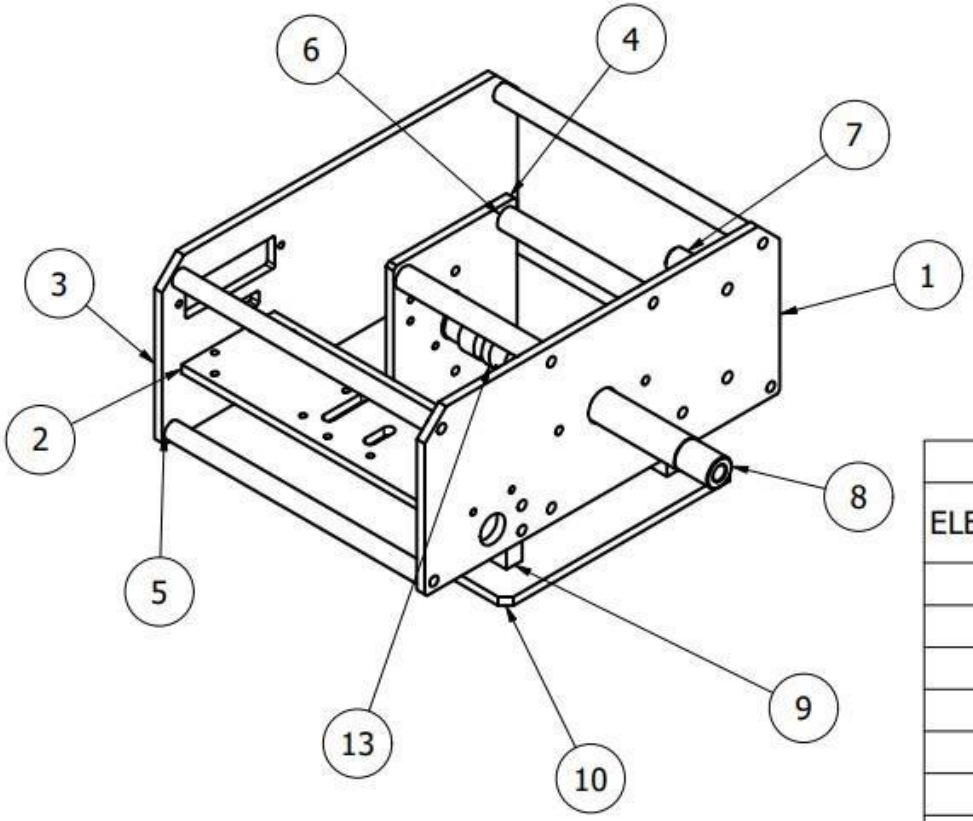


A-A (1 : 1)





	Escala	Dibujado por	Revisado por	Fecha
	1 : 1	Puetate F. - González J.	Ing. Paúl Ortiz	9/07/2024
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		Eje de adición para el Encoder		Nivel 7 / Grupo 1
		Carrera		Nº Hoja
Periodo 64 Marzo - Agosto		Ingeniería Mecatrónica		15 /16

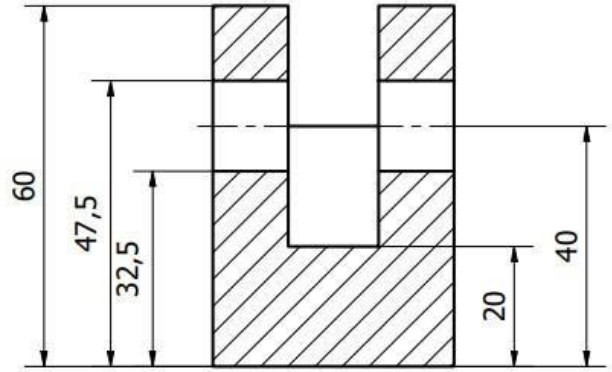


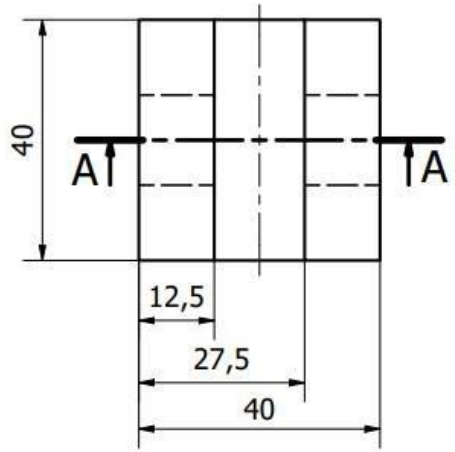
LISTA DE COMPONENTES			
ELEMENTO	QTY	PART NUMBER	Material
1	1	placa6	Acero Oscuro
2	1	placa3	Acero Oscuro
3	1	placa5	Acero Oscuro
4	1	placa8	Acero Oscuro
5	4	eje2	Acero Inoxidable
6	4	eje3	Acero Inoxidable
7	2	eje4	Acero Inoxidable
8	1	ejeprincipal	ASA
9	2	placa9	Acero Inoxidable
10	1	placa2	Acero Inoxidable
13	1	dientes	Acero Inoxidable

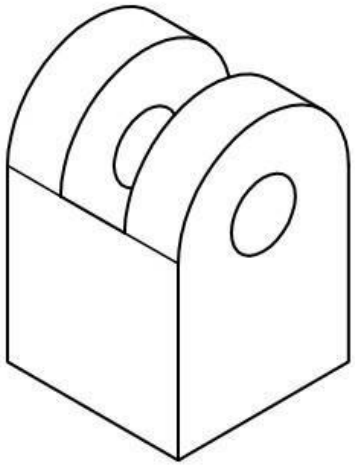
	Escala	Dibujado por	Revisado por	Fecha
	1 : 1	Puetate F. - González J.	Ing. Paúl Ortiz	9/07/2024
UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA ECUADOR		Sistema de Dirección		Nivel 7 / Grupo 1
Periodo 64 Marzo - Agosto		Carrera: Ingeniería Mecatrónica		Nº Hoja 16 / 16

SOPORTE ESTRUCTURAL

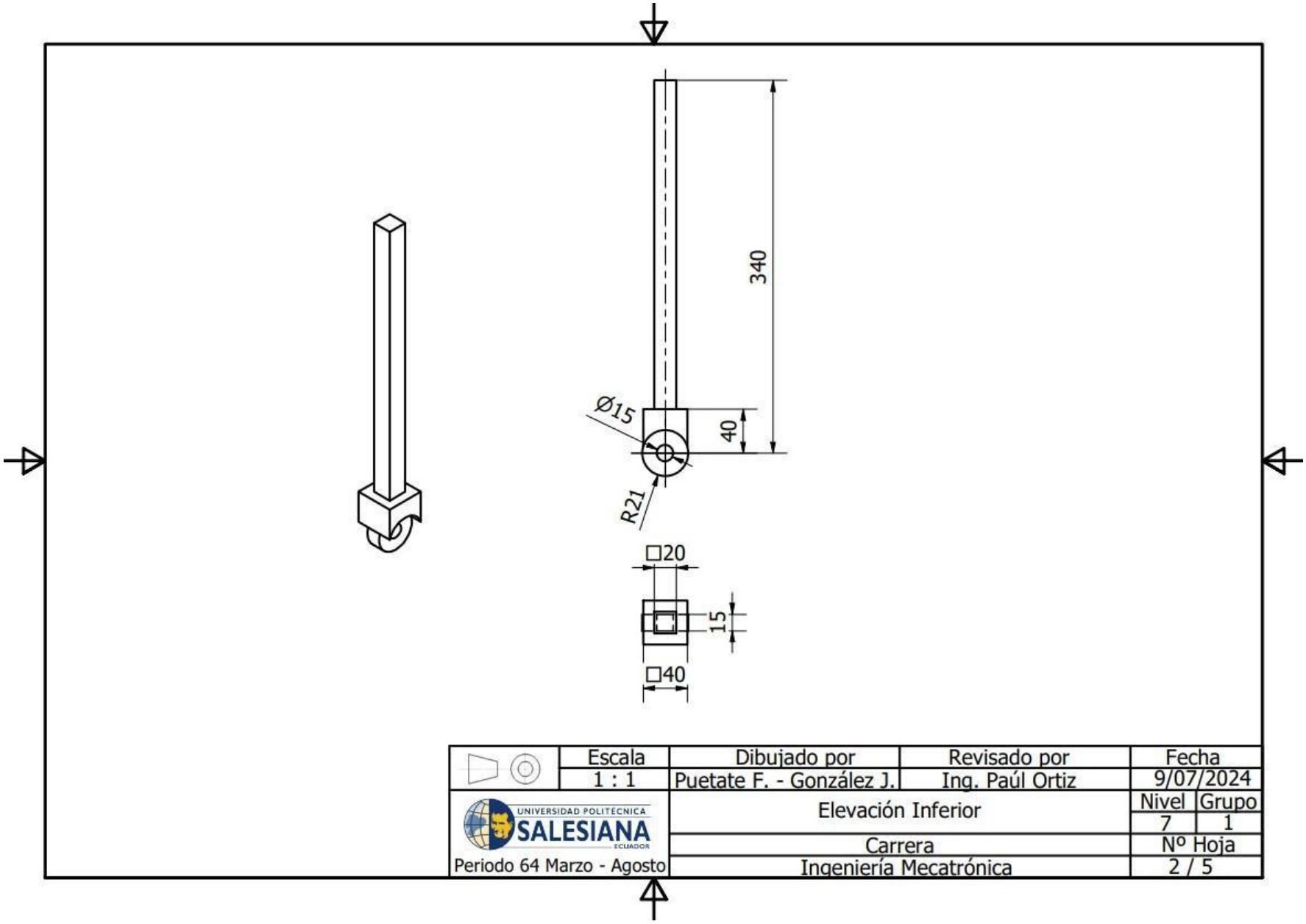
Sección A-A (1 : 1)



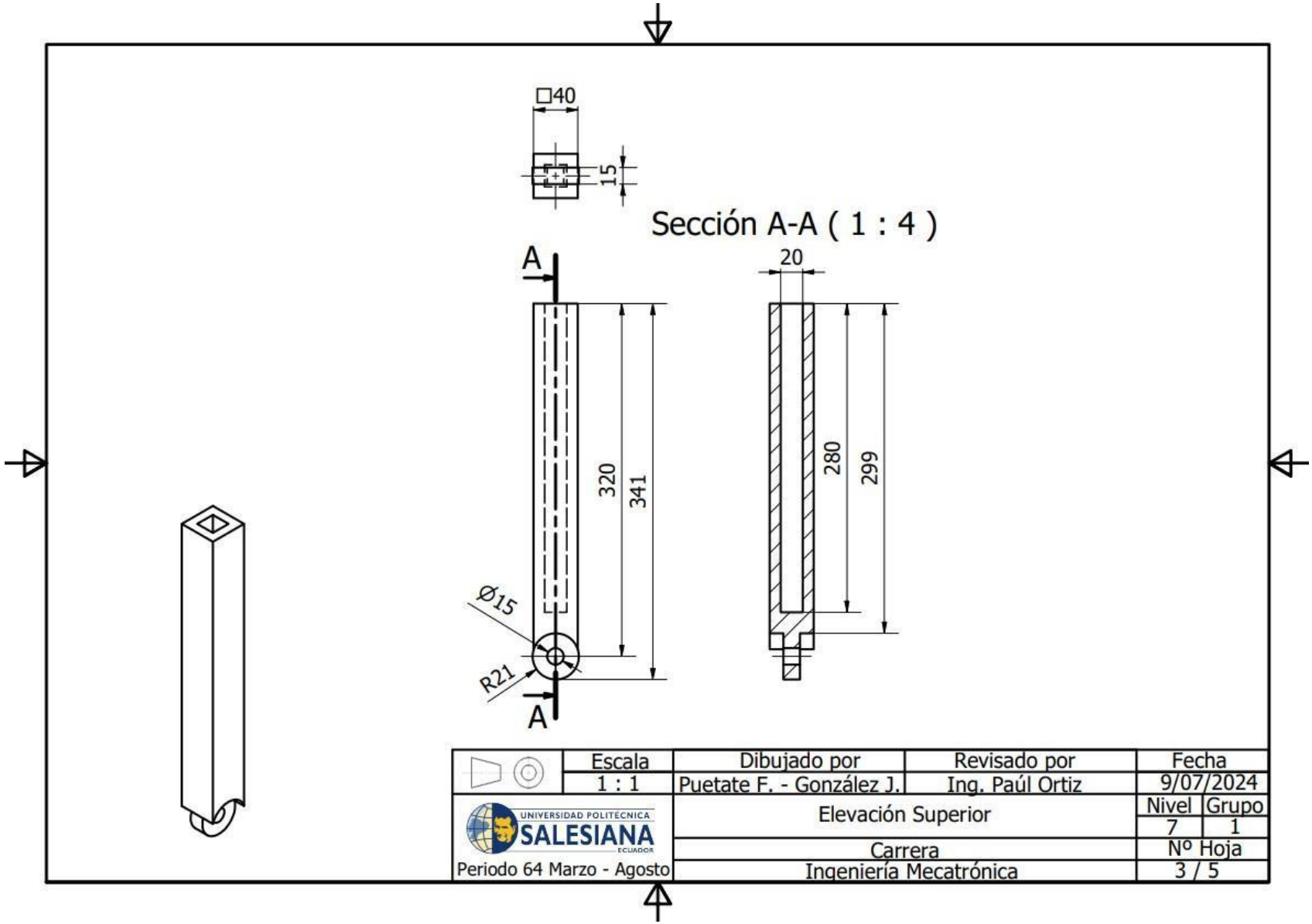




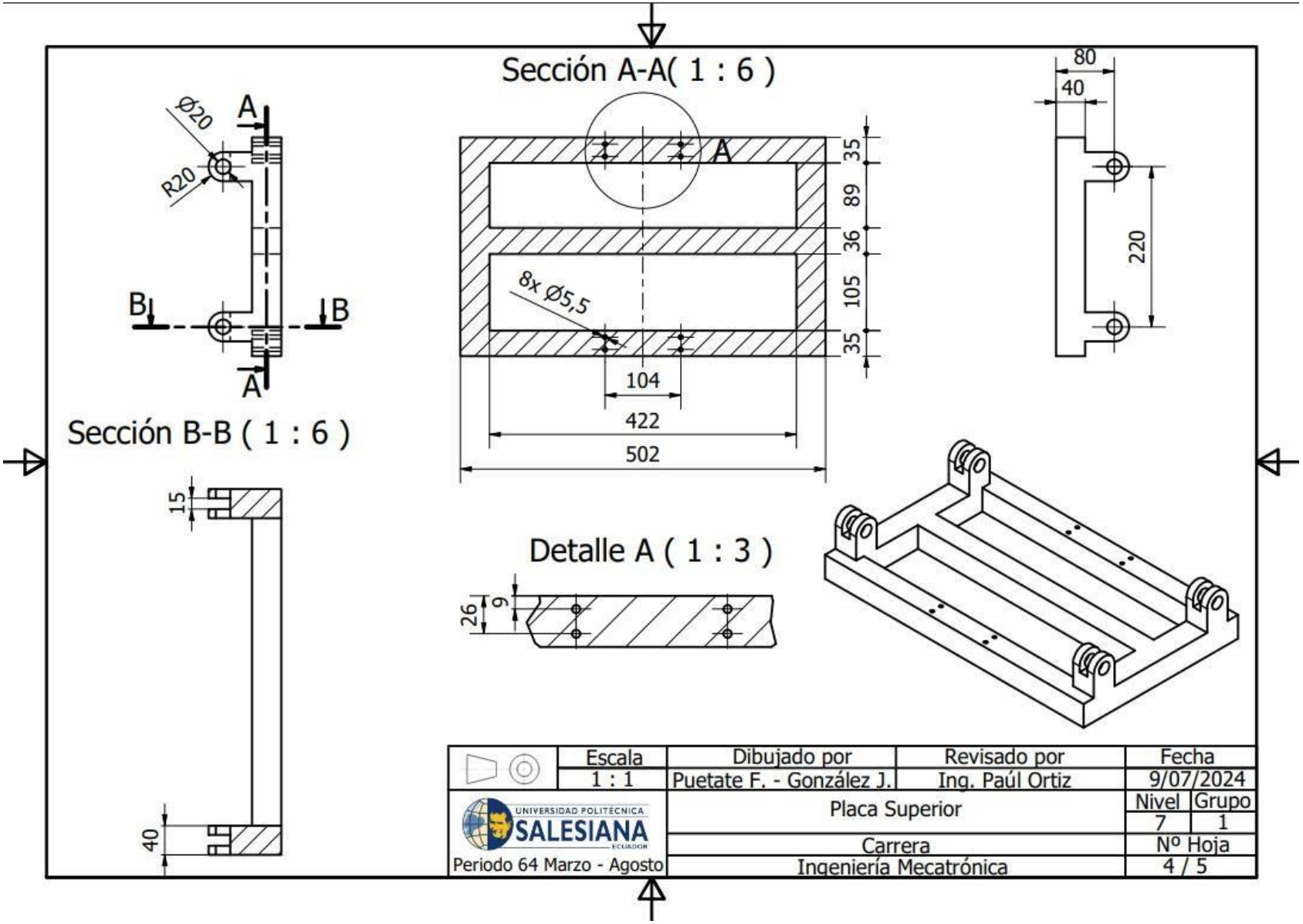
	Escala	Dibujado por	Revisado por	Fecha
	1 : 1	Puetate F. - González J.	Ing. Paúl Ortiz	9/07/2024
UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA ECUADOR		Junta de Rotación		Nivel 7 / Grupo 1
Periodo 64 Marzo - Agosto		Carrera: Ingeniería Mecatrónica		Nº Hoja 1 / 5

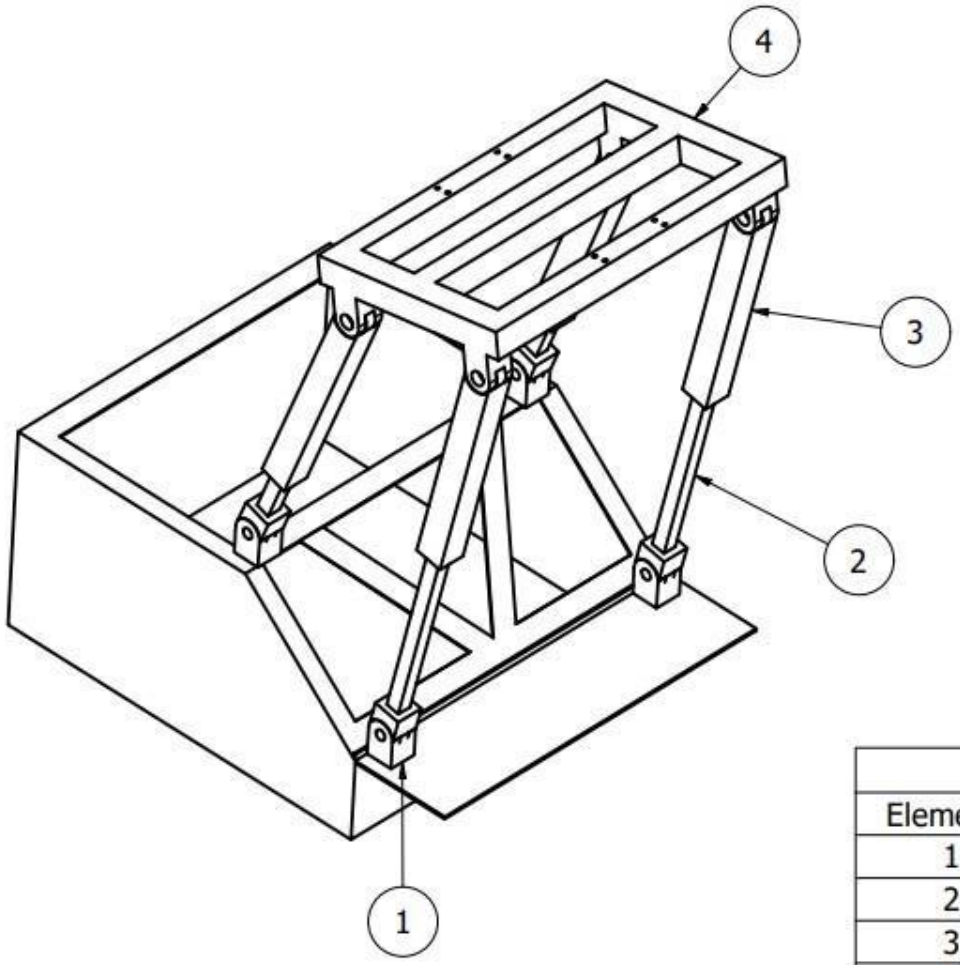


	Escala	Dibujado por	Revisado por	Fecha
	1 : 1	Puetate F. - González J.	Ing. Paúl Ortiz	9/07/2024
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		Elevación Inferior		Nivel: 7 / Grupo: 1
Periodo 64 Marzo - Agosto		Carrera: Ingeniería Mecatrónica		Nº Hoja: 2 / 5



	Escala	Dibujado por	Revisado por	Fecha
	1 : 1	Puetate F. - González J.	Ing. Paúl Ortiz	9/07/2024
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		Elevación Superior		Nivel 7 / Grupo 1
Periodo 64 Marzo - Agosto		Carrera: Ingeniería Mecatrónica		Nº Hoja 3 / 5


Sección A-A(1 : 6)
Ø20
R20
A
B
B
A
Sección B-B (1 : 6)
15
40
8x Ø5,5
35
89
36
105
35
104
422
502
80
40
220
Detalle A (1 : 3)
26
9
Escala
1 : 1
Dibujado por
Puetate F. - González J.
Revisado por
Ing. Paúl Ortiz
Fecha
9/07/2024
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR
Periodo 64 Marzo - Agosto
Placa Superior
Nivel
7
Grupo
1
Carrera
Ingeniería Mecatrónica
Nº Hoja
4 / 5



Sistema Estructural			
Elemento	QTY	Parte	Material
1	4	Juntas de Rotación	Acero Oscuro
2	4	Elevación Inferior	Acero Oscuro
3	4	Elevación Superior	Acero Oscuro
4	1	Placa Superior	Acero Oscuro

	Escala	Dibujado por	Revisado por	Fecha
	1 : 1	Puetate F. - González J.	Ing. Paúl Ortiz	9/07/2024
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		**Sistema de Soporte ajustable del módulo de dirección**		Nivel 7 / Grupo 1
Periodo 64 Marzo - Agosto		Carrera: Ingeniería Mecatrónica		Nº Hoja 5 / 5