



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

ADAPTACIÓN Y SENSORIZACIÓN DE UN PATINETE  
ELÉCTRICO PARA LA EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD  
VIAL EN ENTORNOS VIRTUALES SIMULADOS

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

AUTOR/A: Boix Torner, Samuel

Tutor/a: Tormos Ferrando, Álvaro

Cotutor/a: Dols Ruiz, Juan Francisco

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



# Agradecimientos

---

Me gustaría agradecer a Juan Dols por darme la oportunidad de trabajar e incorporarme al proyecto, y a Álvaro Tormos por apoyarme y guiarme en la consecución del trabajo realizado. Sin embargo, mis más sinceros agradecimientos se encuentran dirigidos a mi familia, pues sin su apoyo constante en todos los ámbitos de mi vida, esto no hubiera sido posible. Por último, me gustaría hacer mención de mi pareja, pues ha recorrido conmigo este camino desde el principio y me ha ayudado a definir y conseguir mis objetivos.





# Resumen

---

En un mundo en constante cambio y crecimiento, el desarrollo de nuevas formas de transporte sostenibles y respetuosas con el medio ambiente se torna indispensable. La micromovilidad apuesta por el empleo masivo de vehículos ligeros en desplazamientos cortos en ámbitos urbanos. En este contexto, se vuelve indispensable analizar el comportamiento de los usuarios con objeto de mejorar la seguridad vial. Una de las características del proyecto de investigación “esMicromobility – Evaluación de la seguridad vial de la micromovilidad” desarrollado por el Instituto de Transporte y Territorio y el Instituto de Diseño y Fabricación de la UPV se centra en la evaluación del tiempo/distancia de percepción y reacción de estos usuarios de manera que permita un adecuado análisis de las visibilidades de parada y de cruce necesarias mediante un entorno de realidad virtual en desarrollo. El usuario será sometido a una serie de pruebas y estímulos que simulan o reproducen situaciones potencialmente peligrosas en la vía pública, todo ello desde la seguridad de un entorno simulado.

Este TFG se integra en el marco del proyecto citado, y consistirá en el desarrollo de un sistema electrónico de adquisición y tratamiento de datos para una plataforma experimental de simulación de patinetes eléctricos que permita determinar la dinámica del movimiento del patinete y su comportamiento durante la conducción en diferentes entornos de simulación virtual. El desarrollo incluirá la sensorización del vehículo o plataforma de pruebas según convenga, los sistemas de alimentación y la adaptación de señales de dispositivos nuevos o existentes, así como la elección y programación de los sistemas microcontrolados necesarios.

# Resum

---

En un món en constant canvi i creixement, el desenvolupament de noves formes de transport sostenibles i respectuoses amb el medi ambient es torna indispensable. La micromobilitat aposta per l'ocupació massiva de vehicles lleugers en desplaçaments curts en àmbits urbans. En aquest context, es torna indispensable analitzar el comportament dels usuaris a fi de millorar la seguretat viària. Una de les característiques del projecte d'investigació “esMicromobility – Evaluación de la seguridad vial de la micromovilidad” desenvolupat per l'Institut de Transport i Territori i l'Institut de Disseny i Fabricació de la UPV es centra en l'avaluació del temps/distància de percepció i reacció d'aquests usuaris de manera que permeti una adequada anàlisi de la visibilitat de parada i d'encreuament necessàries mitjançant un entorn de realitat virtual en desenvolupament. L'usuari serà sotmès a una sèrie de proves i estímuls que simulen o reproduïen situacions potencialment perilloses en la via pública, tot això des de la seguretat d'un entorn simulat.

Aquest TFG s'integra en el marc del projecte citat, i consistirà en el desenvolupament d'un sistema electrònic d'adquisició i tractament de dades per a una plataforma experimental de simulació de patinets elèctrics que permeti determinar la dinàmica del moviment del patinet i el seu comportament durant la conducció en diferents entorns de simulació virtual. El desenvolupament inclourà la sensorització del vehicle o plataforma de proves segons convinga, els sistemes d'alimentació i l'adaptació de senyals de dispositius nous o existents, així com l'elecció i programació dels sistemes microcontrolats necessaris.



# Abstract

---

In a world in constant change and growth, the development of new forms of sustainable and environmentally friendly transport becomes indispensable. Micromobility is committed to the massive use of light vehicles in short journeys in urban areas. In this context, it becomes essential to analyse user behaviour in order to improve road safety. One of the characteristics of the research project "esMicromobility – Evaluation of the road safety of micromobility" developed by the Institute of Transport and Territory and the Institute of Design and Manufacturing of the UPV focuses on the evaluation of the time / distance of perception and reaction of these users in a way that allows an adequate analysis of the necessary stop and crossing visibilities through a virtual reality environment in development. The user will be subjected to a series of tests and stimuli that simulate or reproduce potentially dangerous situations on public roads, all from the safety of a simulated environment.

This TFG is integrated into the framework of the aforementioned project and will consist of the development of an electronic system of acquisition and treatment of data for an experimental platform of simulation of electric scooters that allows to determine the dynamics of the movement of the scooter and its behavior during driving in different virtual simulation environments. The development will include the sensorization of the vehicle or test platform as appropriate, the power systems and the adaptation of signals from new or existing devices, as well as the choice and programming of the necessary microcontrolled systems.



# Índice general

---

<b>Agradecimientos</b> .....	<b>iii</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>v</b>
<b>Resum</b> .....	<b>vi</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>vii</b>
<b>Índice general</b> .....	<b>ix</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>xii</b>
<b>Índice de tablas</b> .....	<b>xvii</b>
<b>Índice de abreviaturas</b> .....	<b>xix</b>
<b>Memoria</b> .....	<b>xx</b>
Índice memoria .....	xxii
1. Introducción .....	1
2. Objeto.....	3
3. Antecedentes .....	4
3.1. Estudio y enumeración de soluciones implementadas .....	5
4. Estudio de necesidades .....	15
4.1. Conectividad y tiempos de respuesta .....	15
4.2. Adquisición de la velocidad .....	15
4.3. Adquisición de la frenada .....	15
4.4. Adquisición del ángulo de giro del manillar .....	16
4.5. Capacidad de procesado y periféricos.....	16
4.6. Enumeración de las necesidades.....	16
5. Soluciones alternativas.....	16
5.1. Sistema de adquisición de velocidad.....	16
5.2. Sistema de detección de frenada .....	26
5.3. Sistema de detección del ángulo de giro.....	27
5.4. Microcontrolador .....	35
6. Justificación de la solución adoptada.....	38
6.1. Plataforma y sistema de sujeción .....	39
6.2. Adquisición de velocidad y frenada.....	40
6.3. Adquisición de ángulo de giro .....	42
6.4. Microcontrolador .....	45
6.5. Alimentación.....	48
7. Descripción detallada de la solución adoptada.....	49

7.1. Organigrama Técnico del proyecto .....	50
7.2. Estructura y mecánica .....	51
7.3. Hardware .....	61
7.4. Cableado y conexión.....	88
7.5. Firmware.....	90
7.6. Programa de validación .....	96
7.7. Flujogramas .....	96
8. Bibliografía.....	100
9. Anexos .....	102
9.1. Código completo del firmware .....	102
9.2. ODS .....	110
<b>Planos .....</b>	<b>xxv</b>
Índice planos .....	xxvii
10. Planos .....	114
10.1. Plataforma Completa Simulador .....	114
10.2. Plataforma Principal .....	118
10.3. Soporte Scooter .....	121
10.4. Soporte Motor .....	124
10.5. Scooter.....	128
10.6. Soporte más Placa de Control .....	130
10.7. Placa de Control.....	132
10.8. Placa de Adquisición.....	133
10.9. Planos de construcción.....	134
10.10. Esquemas eléctricos .....	143
10.11. Placas de circuito impreso.....	146
<b>Pliego de condiciones .....</b>	<b>xxix</b>
Índice pliego de condiciones .....	xxxii
11. Definición y alcance del pliego .....	161
11.1. Alcance del pliego.....	161
11.2. Descripción .....	161
12. Condiciones y normas de carácter general .....	161
12.1. Condiciones generales.....	161
12.2. Vigencia .....	161
12.3. Modificaciones .....	162
12.4. Normas de carácter general .....	162
13. Condiciones particulares .....	163



13.1. Condiciones generales facultativas.....	163
13.2. Condiciones generales económicas.....	163
14. Condiciones técnicas .....	164
14.1. Objeto .....	164
14.2. Materiales.....	164
14.3. Montaje y ejecución .....	172
14.4. Pruebas de servicio.....	174
14.5. Prueba general y aleatoria.....	176
<b>Presupuesto .....</b>	<b>xxxiv</b>
Índice presupuesto.....	xxxvi
15. Precios elementales .....	177
15.1. Precios elementales Plataforma .....	177
15.2. Precios elementales Placa de control .....	178
15.3. Precios elementales Sistema de adquisición.....	179
16. Cuadro de precios descompuestos .....	180
16.1. Cuadro de precios descompuestos Plataforma .....	180
16.2. Cuadro de precios descompuestos Placa control.....	185
16.3. Cuadro de precios descompuestos Placa adquisición .....	188
17. Estado de mediciones.....	191
18. Valoración.....	192

# Índice de figuras

---

Figura 1 Número de accidentes en patinete eléctrico en España en los últimos 4 años, fuente <a href="https://hellosafe.es/blog/accidentes-en-patinete">https://hellosafe.es/blog/accidentes-en-patinete</a> .....	2
Figura 2 Proyecto de investigación "Evaluación de la seguridad vial de la micromovilidad (esMICROMOBILITY)". Mapa conceptual.....	2
Figura 3 Xiaomi Mi Electric Scooter 1S.....	4
Figura 4 Perfiles de aluminio de 30x30 (Izquierda) y 60x60 (derecha) utilizados en la construcción de la plataforma .....	5
Figura 5 Escuadras utilizadas en el montaje de la plataforma de sujeción .....	5
Figura 6 Plataforma de sujeción del patinete eléctrico. Vista alzado y lateral izquierda. ....	5
Figura 7 Plataforma de sujeción del patinete eléctrico. Vista de planta .....	6
Figura 8 Sistema de anclaje implementado, vista superior (derecha), vista lateral (izquierda)....	6
Figura 9 Arduino Nano 33 IoT, imagen obtenida de Farnell .....	7
Figura 10 Topología de conexionado y ejemplo de trama en una comunicación serie mediante UART, imagen obtenida de <a href="https://dynamoelectronics.com/buses-de-datos-en-electronica-paralelo-uart-spi-i2c/">https://dynamoelectronics.com/buses-de-datos-en-electronica-paralelo-uart-spi-i2c/</a> .....	8
Figura 11 Optoacoplador modelo CNY70 del fabricante VISHAY, imagen obtenida de <a href="http://www.geekfactory.mx">www.geekfactory.mx</a> .....	8
Figura 12 Circuito propuesto para el sistema de adquisición de velocidad .....	9
Figura 13 Plantilla con franja negra diseñada para la detección por vuelta del optoacoplador ...	9
Figura 14 Circuito propuesto implementado en placa de pruebas .....	9
Figura 15 Señal generada por el optoacoplador al paso por la franja negra de la plantilla .....	10
Figura 16 Detecciones erróneas del estado lógico por ruido superpuesto. Imagen extraída de <a href="http://www.allaboutcircuits.com">www.allaboutcircuits.com</a> .....	10
Figura 17 Representación gráfica de los ejes de actuación de cada uno de los sensores citados. Imagen obtenida de <a href="http://www.ingmecafenix.com">www.ingmecafenix.com</a> .....	12
Figura 18 Esquema de funcionamiento de un sensor acelerómetro tipo MEMS, creado por Pedro Fumanal Sejas.....	12
Figura 19 Esquema de funcionamiento de un giroscopio MEMS, creado por Pedro Fumanal Sejas .....	13
Figura 20 Principio de funcionamiento de un giroscopio, imagen obtenida de <a href="http://cursos.mcielectronics.com">cursos.mcielectronics.com</a> .....	13
Figura 21 Enumeración de los tres ejes principales de rotación que permiten obtener la orientación de un móvil. Imagen obtenida de <a href="http://www.lavionnaire.fr">www.lavionnaire.fr</a> .....	13
Figura 22 Correspondencia del eje de giro del manillar con el eje de guiñada .....	14
Figura 23 Montaje desarrollado para la obtención del ángulo de giro mediante la utilización de la IMU que incorpora el Arduino Nano 33 IOT.....	15
Figura 24 Circuito implementado para generar una señal cuadrada en función de la señal generada por el optoacoplador.....	17
Figura 25 caída de tensión en función de la corriente directa del diodo implementado en el optoacoplador CNY70 .....	18
Figura 26 Plantilla creada y adherida a disco compacto con el fin de testear el circuito de adquisición propuesto.....	18
Figura 27 Motor de un reproductor de discos compactos adherido a una base de madera .....	19
Figura 28 Montaje completo dispuesto con el fin de comprobar el correcto funcionamiento del circuito de adaptación de señal para la adquisición de la velocidad de giro del motor .....	19





Figura 29 Análisis de respuesta del circuito de adaptación de señal del sensor óptico. Señal generada por el sensor (morado). Salida digital generada por el circuito (amarillo).....	19
Figura 30 Respuesta del sensor a una ráfaga de 20 puntos a 2 kHz producida por un generador de funciones.....	20
Figura 31 Plantilla de 488 puntos diseñada para cumplir especificaciones en los tiempos de adquisición .....	21
Figura 32 Fotografía tomada del interior del motor BLDC del Xiaomi 365 1S; se observan los distintos devanados, sensores de efecto hall (cableado rojo), así como su montaje en eje .....	22
Figura 33 Conjunto de 30 imanes dispuesto a lo largo del diámetro interior de la rueda del Xiaomi 365. Imagen tomada del canal de YouTube de Vortecks <a href="https://www.youtube.com/watch?v=SNU9H51hpaA&amp;ab_channel=Vortecks">https://www.youtube.com/watch?v=SNU9H51hpaA&amp;ab_channel=Vortecks</a> .....	22
Figura 34 Disposición relativa de los sensores con respecto al conjunto de imanes dispuestos en el interior del motor. Se observa una tabla con la salida de cada uno de ellos según se desplazan. Imagen obtenida del canal de YouTube de FIXSCOOTER <a href="https://www.youtube.com/watch?v=QuJGvRZtpsA">https://www.youtube.com/watch?v=QuJGvRZtpsA</a> .....	23
Figura 35 Localización específica de los sensores de efecto Hall en el motor del patinete eléctrico, las etiquetas U, V, W diferencian cada uno de los sensores. Imagen obtenida de <a href="https://www.digikey.es/es/blog/using-bldc-hall-sensors-as-position-encoders-part-1">https://www.digikey.es/es/blog/using-bldc-hall-sensors-as-position-encoders-part-1</a> .....	23
Figura 36 Información codificada que genera el conjunto de sensores de efecto Hall alojados en el motor. Imagen extraída de <a href="https://www.digikey.es/es/blog/using-bldc-hall-sensors-as-position-encoders-part-1">https://www.digikey.es/es/blog/using-bldc-hall-sensors-as-position-encoders-part-1</a> .....	24
Figura 37 Señales obtenidas de la medición de cada uno de los sensores de efecto Hall representados como "YELLOW", "GREEN", "BLUE", con la ayuda de un osciloscopio de 4 canales marca Micsig modelo SATO1004.....	25
Figura 38 Sensor de tipo pulsador implementado en el freno.....	26
Figura 39 Receptáculo y elemento accionador del sensor de detección de frenada.....	26
Figura 40 Circuito propuesto para la detección de la acción de frenada .....	27
Figura 41 Disposición de imanes respecto a la pareja de sensores de efecto Hall. Imagen obtenida de <a href="https://ao2.it/en/blog/2018/05/31/low-cost-and-precise-rotary-encoder-magnetic-spheres">https://ao2.it/en/blog/2018/05/31/low-cost-and-precise-rotary-encoder-magnetic-spheres</a> .....	28
Figura 42 Pulsos en cuadratura generados por un encoder incremental. Imagen obtenida de <a href="https://dewesoft.com/es/blog/medicion-de-rpm-con-sensores-digitales-y-contadores">https://dewesoft.com/es/blog/medicion-de-rpm-con-sensores-digitales-y-contadores</a> .....	28
Figura 43 Imanes de Neodimio de tamaño muy reducido .....	29
Figura 44 Sensores de efecto Hall. LPG0003A de Texas Instruments (Izquierda), TLE49462KHTSA1 de Infineon (Derecha) .....	29
Figura 45 Prototipo de un encoder incremental basado en imanes y sensores de efecto Hall ..	29
Figura 46 Pruebas realizadas con el prototipo de encoder desarrollado.....	30
Figura 47 Elementos que conforman el sistema de sujeción de la dirección al chasis .....	30
Figura 48 Boceto del análisis del espacio disponible en el interior del chasis. Interior chasis (negro), horquilla (rojo), arandela de sujeción (verde), espacio disponible (azul) .....	31
Figura 49 Vista en explosión del sensor de giro desarrollado .....	31
Figura 50 Posición relativa de los sensores con respecto a los imanes.....	32
Figura 51 Conjunto de dimensiones del sensor diseñado.....	32
Figura 52 Resultado de la impresión 3D en resina .....	33
Figura 53 Colocación de las piezas diseñadas en 3D en el interior del chasis del patinete .....	33
Figura 54 Fotografía tomada del imán utilizado y su colocación en el anillo diseñado a este fin .....	33
Figura 55 Forma de onda obtenida de la puesta en funcionamiento del sensor desarrollado ..	34

Figura 56 Ampliación de la señal generada por el sensor desarrollado.....	34
Figura 57 Histéresis generada al tiempo de detección del sensor US5881.....	34
Figura 58 Arduino UNO .....	35
Figura 59 Arduino MEGA 2560 Rev3 .....	37
Figura 60 Pro Micro DEV-12640 de Sparkfun .....	38
Figura 61 Renderizado 3D global del elemento de sujeción del patinete eléctrico.....	39
Figura 62 Renderizado 3D en detalle del elemento de sujeción del patinete eléctrico.....	40
Figura 63 Acelerador Xiaomi m365 1S .....	41
Figura 64 Señal generada por el acelerador.....	41
Figura 65 Renderizado 3D del sensor de adquisición de frenado diseñado .....	42
Figura 66 Volante de ordenador para simulación de conducción Logitech G27. Imagen obtenida de <a href="https://www.dns-shop.ru/product/68394a169d8330b1/rul-logitech-g27/">https://www.dns-shop.ru/product/68394a169d8330b1/rul-logitech-g27/</a> .....	43
Figura 67 Partes a utilizar pertenecientes al volante Logitech G27 .....	43
Figura 68 Conjunto de motores y encoder.....	43
Figura 69 Representación visual de la colocación del motor en relación con la horquilla del patinete .....	44
Figura 70 Controlador de motor DC modelo HW-039.....	44
Figura 71 Renderizado 3D de las piezas de unión de la horquilla al motor .....	44
Figura 72 Renderizado de la estructura diseñada para sujetar el motor a la plataforma.....	45
Figura 73 Diseño de PCB del módulo de adquisición instalado en manillar .....	46
Figura 74 Arduino Leonardo.....	47
Figura 75 Esquema visual de la disposición de microcontroladores en el patinete eléctrico.....	48
Figura 76 Adaptador de corriente de 24 V, modelo TAIFU 24V AC. Imagen obtenida de <a href="https://www.amazon.de/TAIFU-Ladeger%C3%A4t-Netzadapter-Perfection-Workforce/dp/B09KZFX21R">https://www.amazon.de/TAIFU-Ladeger%C3%A4t-Netzadapter-Perfection-Workforce/dp/B09KZFX21R</a> .....	49
Figura 77 Regulador DC/DC de 5 V marca Cincon modelo EC5A-12S05. Imagen adquirida de <a href="https://www.mouser.es/ProductDetail/Cincon/EC5A-12S05?qs=Pyk%2FfUla%252B1UI1XclLcelzQ%3D%3D">https://www.mouser.es/ProductDetail/Cincon/EC5A-12S05?qs=Pyk%2FfUla%252B1UI1XclLcelzQ%3D%3D</a> .....	49
Figura 78 Estructura completa del simulador .....	51
Figura 79 Dimensiones del perfil de aluminio ranurado de 30x30 mm .....	52
Figura 80 Dimensiones del perfil de aluminio ranurado de 60x60 mm .....	52
Figura 81 Dimensiones escuadra de fundición de aluminio para perfil de aluminio de 60x60 mm .....	53
Figura 82 Dimensiones escuadra de fundición de aluminio para perfil de aluminio de 30x30 mm .....	53
Figura 83 Dimensiones escuadra de fundición de aluminio para perfil de aluminio de 40x40 mm .....	54
Figura 84 Dimensiones de las tuercas deslizantes .....	54
Figura 85 Dimensiones de las tuercas Martillo .....	55
Figura 86 Dimensiones del tornillo allen M6.....	55
Figura 87 Características técnicas de las ruedas modelo 2477 PJP 125 P50 .....	56
Figura 88 Dimensiones del soporte de las ruedas modelo 2477 PJP 125 P50 .....	56
Figura 89 Esquema de dimensiones KAMA 412203030.....	56
Figura 90 Renderizado 3D del montaje de los elementos listados en la Tabla 13.....	57
Figura 91 Renderizado 3D del montaje de los elementos listados en la Tabla 14.....	58
Figura 92 Boceto que muestra la disposición de los agujeros realizados en el chasis del patinete eléctrico.....	58
Figura 93 Disposición de la plantilla en el chasis del patinete eléctrico .....	59



Figura 94 Resultados después de la mecanización y montaje de los perfiles de aluminio al patinete eléctrico .....	59
Figura 95 Renderizado 3D del montaje de los elementos listados en la Tabla 15 al que se le ha añadido el bloque de motor.....	60
Figura 96 Resultado final y muestra de montaje del soporte de la controladora de motor .....	60
Figura 97 Renderizado 3D del soporte diseñado para alojar la controladora del motor a la plataforma.....	60
Figura 98 Diagrama de bloques del tratamiento de la señal.....	61
Figura 99 Circuito de adquisición y adaptación de señal .....	61
Figura 100 Herramienta basada en Web para cálculo de filtros "Analog Filter Wizard" de Analog Devices .....	62
Figura 101 Ciclos de conversión del ADC ATmega328p.....	63
Figura 102 Circuito interno del conversor A/D del micro ATmega328p, imagen obtenida de su datasheet.....	63
Figura 103 Selección de Prescaler del ATmega328p.....	64
Figura 104 Captura de la señal generada por el sensor del acelerador .....	65
Figura 105 Configuración de la herramienta Analog Filter Wizard con $G = 1.51 \text{ V/V}$ y $f_c = 2 \text{ kHz}$ .....	66
Figura 106 Circuito filtro acelerador generado por Analog Filter Wizard .....	67
Figura 107 Circuito de adquisición del acelerador .....	67
Figura 108 Señal circuito de adaptación acelerador en reposo. Entrada (amarillo). Salida (morado).....	67
Figura 109 Señal circuito de adaptación con acelerador al máximo. Entrada (amarillo). Salida (morado).....	68
Figura 110 Comportamiento del circuito de adaptación de señal del acelerador ante un barrido en frecuencia de 10 kHz .....	68
Figura 111 Comportamiento del circuito de adaptación de señal del acelerador ante un barrido en frecuencia de 100 kHz .....	69
Figura 112 Diagrama de Bode del circuito de adaptación del acelerador ante un barrido de 20 kHz.....	69
Figura 113 Comparación del diseño 3D con el interruptor original .....	70
Figura 114 Resultado del mecanizado y montaje del imán en el sensor de frenado.....	70
Figura 115 Muestra de resultados del diseño del nuevo sensor de frenado y su montaje .....	70
Figura 116 Captura de la señal generada por el sensor del freno.....	71
Figura 117 Configuración de la herramienta Analog Filter Wizard con $G = 7.35 \text{ V/V}$ y $f_c = 2 \text{ kHz}$ .....	72
Figura 118 Circuito filtro freno generado por Analog Filter Wizard.....	72
Figura 119 Circuito de adquisición del freno.....	73
Figura 120 Señal circuito de adaptación freno en reposo. Entrada (amarillo). Salida (morado) 73	
Figura 121 Señal circuito de adaptación freno al máximo. Entrada (amarillo). Salida (morado) 73	
Figura 122 Comportamiento del circuito de adaptación de señal del freno ante un barrido en frecuencia de 10 kHz .....	74
Figura 123 Comportamiento del circuito de adaptación de señal del freno ante un barrido en frecuencia de 1 MHz.....	74
Figura 124 Diagrama de Bode del circuito de adaptación del freno ante un barrido de 20 kHz 74	
Figura 125 Capturas del encoder que incorpora el Logitech G27 .....	75
Figura 126 Señal generada por el encoder.....	75

Figura 127 Marca realizada al eje de giro para determinar el ángulo de giro por pulso generado en el encoder.....	76
Figura 128 Programa para contar el número de pulsos dados en una vuelta entera .....	76
Figura 129 Conjunto de E/S del controlador HW-039. Imagen obtenida de <a href="https://forum.arduino.cc/t/dc-motor-driver-bts7960/606686">https://forum.arduino.cc/t/dc-motor-driver-bts7960/606686</a> .....	77
Figura 130 Diagrama de bloques del BTS7960 .....	78
Figura 131 Circuito de detección de bloqueo de motor.....	79
Figura 132 Captura de la señal generada por el controlador al tiempo de crearse una situación de bloqueo .....	79
Figura 133 Pulso generado por el circuito de detección de bloqueo .....	80
Figura 134 Imagen aumentada del pulso generado por el circuito de detección de bloqueo....	80
Figura 135 Renderizado diseño placa principal.....	81
Figura 136 Renderizado de la placa principal que muestra en detalle el zócalo del microcontrolador.....	83
Figura 137 Resultado de la fabricación y montaje de la placa de adquisición .....	83
Figura 138 Resultado del montaje en el manillar de la placa de adquisición .....	84
Figura 140 Diseño del circuito de comprobación de señal de los sensores de acelerador y freno .....	85
Figura 140 Captura de datos del bus de comunicaciones UART en la placa de adquisición, acelerador a un poco más de un cuarto de su recorrido .....	87
Figura 141 Captura de datos del bus de comunicaciones UART en la placa de adquisición, acelerador al máximo.....	87
Figura 142 Cable apantallado de 6 hilos utilizado para la interconexión de los distintos elementos del proyecto .....	88
Figura 143 Elementos que componen el adaptador micro USB a USB C de la plataforma .....	89
Figura 144 Esquema de conexiones del adaptador micro USB fabricado .....	89
Figura 145 Entorno de desarrollo Arduino IDE.....	90
Figura 146 Entorno de desarrollo de Microchip Studio 7.0.2594 .....	94
Figura 147 Entorno de programación Visual Estudio de Microsoft.....	96
Figura 148 Captura de la interfaz visual del programa de validación en funcionamiento .....	96



# Índice de tablas

---

Tabla 1 Características técnicas del Arduino Nano 33 IoT .....	7
Tabla 2 Resultados obtenidos de calcular los tiempos de rotación necesarios para determinar una vuelta, basándose en las velocidades mínima y máxima con la utilización del sistema inicialmente propuesto .....	11
Tabla 3 Tabla de características de la unidad IMU LSM6DS del fabricante ST.....	11
Tabla 4 Comparación de los tiempos de adquisición utilizando 1 punto respecto al resultado de incrementar a 70 el número de puntos por vuelta .....	21
Tabla 5 Identificación de las distintas partes que componen el sensor de giro desarrollado.....	31
Tabla 6 Características técnicas Arduino UNO R3 .....	36
Tabla 7 Características técnicas Arduino MEGA 2560 Rev3 .....	37
Tabla 8 Características técnicas de Pro Micro DEV-12640 de Sparkfun .....	38
Tabla 9 Características técnicas del Arduino Leonardo .....	47
Tabla 10 Características técnicas del perfil de aluminio ranurado de 30x30 mm .....	51
Tabla 11 Características técnicas del perfil de aluminio ranurado de 60x60 mm .....	52
Tabla 12 Dimensiones referenciadas a la Figura 88 .....	56
Tabla 13 Listado de elementos utilizados en la fabricación de la plataforma .....	57
Tabla 14 Listado de elementos utilizados en la fabricación del soporte del patinete eléctrico..	58
Tabla 15 Listado de elementos utilizados en la fabricación del soporte del motor .....	59
Tabla 16 Descripción de los pines de salida del sensor del acelerador .....	64
Tabla 17 Características de la señal del acelerador .....	65
Tabla 18 Descripción de los pines de salida del sensor de freno .....	70
Tabla 19 Características de la señal del acelerador .....	71
Tabla 20 Descripción y enumeración de cada uno de los contactos del encoder .....	75
Tabla 21 Características técnicas del controlador de motor HW-039 .....	77
Tabla 22 Descripción de funciones de los pines de E/S del controlador HW-039 .....	77
Tabla 23 Esquema de conexiones del conector J1 en Placa principal .....	81
Tabla 24 Esquema de conexiones del conector J2 en Placa principal .....	81
Tabla 25 Esquema de conexiones del conector J3 en Placa principal .....	82
Tabla 26 Esquema de conexiones del conector J4 en Placa principal .....	82
Tabla 27 Esquema de conexiones del conector J5 en Placa principal .....	82
Tabla 28 Características del regulador EC5A-12S05 de CINCON .....	82
Tabla 29 Descripción de E/S del Arduino Leonardo .....	83
Tabla 30 Esquema de conexiones del conector J1 en Placa de adquisición.....	84
Tabla 31 Esquema de conexiones del conector J1 en Placa de adquisición.....	84
Tabla 32 Esquema de conexiones del conector J3 en Placa de adquisición.....	84
Tabla 33 Esquema de conexiones del conector J4 en Placa de adquisición.....	85
Tabla 34 Descripción de E/S del ATmega328p.....	86
Tabla 35 Características principales cable apantallado 6 hilos 660-0397 .....	88
Tabla 36 Métodos de la clase BTS7960 .....	91
Tabla 37 Métodos de la clase EncoderStepCounter .....	91
Tabla 38 Declaración de constantes simbólicas firmware de placa de control .....	91
Tabla 39 Declaración de variables globales firmware placa de control.....	92
Tabla 40 Función void sendUSBData().....	92
Tabla 41 Función int getAng().....	92
Tabla 42 Función int getSpeed() .....	92

Tabla 43 Función char getCharAng() .....	93
Tabla 44 Función void updateEncoder().....	93
Tabla 45 Función void SteeringCal() .....	93
Tabla 46 Función void SteeringForceCenter() .....	93
Tabla 47 Declaración de constantes simbólicas firmware de placa de adquisición .....	94
Tabla 48 Declaración de variables globales firmware placa de adquisición.....	94
Tabla 49 Función void setup_adc().....	95
Tabla 50 Función void setup_uart(unsigned int ubrr) .....	95
Tabla 51 Función void transmit_uart(unsigned char data) .....	95
Tabla 52 Función void send_frame() .....	95
Tabla 53 Función uint16_t data_converter(uint16_t num).....	95



# Índice de abreviaturas

---

<b>VMP</b>	Vehículos de Movilidad Personal
<b>DGT</b>	Dirección General de Tráfico
<b>SV</b>	Seguridad Vial
<b>GIIC</b>	Grupo de Investigación en Ingeniería de Carreteras
<b>IDF</b>	Instituto de Diseño para la Fabricación y producción automatizada
<b>IMU</b>	Unidad de medida Inercial
<b>UART</b>	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
<b>CI</b>	Circuito Integrado
<b>MEMS</b>	<i>Micro Electro Mechanical Systems</i>
<b>BLDC</b>	<i>Brushless Direct Current</i>
<b>RISC</b>	<i>Reduced Instruction Set Computer</i>
<b>E/S</b>	Entrada/Salida
<b>D/A</b>	Digital/Analógico
<b>PCB</b>	Placa de Circuito Impreso
<b>AO</b>	Amplificador Operacional
<b>A/D</b>	Analógico/Digital
<b>USB</b>	<i>Universal Serial Bus</i>
<b>PWM</b>	<i>Pulse Width Modulator</i>
<b>IVA</b>	Impuesto sobre el Valor Añadido
<b>DC</b>	<i>Direct Current</i>
<b>AC</b>	<i>Alternating Current</i>
<b>ADC</b>	<i>Analogic to Digital Converter</i>
<b>SMD</b>	<i>Surface Mounting Device</i>
<b>ASCII</b>	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
<b>IDE</b>	Entorno de Desarrollo Integrado
<b>ODS</b>	Objetivo Desarrollo Sostenible







UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

---

DOCUMENTO I

# MEMORIA

**TRABAJO FIN DE GRADO**

Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

**REALIZADO POR**

Samuel Boix Torner

**TUTORIZADO POR**

Álvaro Tormos Ferrando

Juan Francisco Dols Ruiz

**CURSO ACADÉMICO:** 2022/2023



# Índice memoria

---

<b>1. Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Objeto</b> .....	<b>3</b>
<b>3. Antecedentes</b> .....	<b>4</b>
3.1. Estudio y enumeración de soluciones implementadas .....	5
3.1.1. Plataforma de sujeción .....	5
3.1.2. Microcontrolador y procesamiento de datos .....	7
3.1.3. Sistema de adquisición de velocidad.....	8
3.1.4. Sistema de adquisición de ángulo de giro .....	11
<b>4. Estudio de necesidades</b> .....	<b>15</b>
4.1. Conectividad y tiempos de respuesta .....	15
4.2. Adquisición de la velocidad .....	15
4.3. Adquisición de la frenada.....	15
4.4. Adquisición del ángulo de giro del manillar .....	16
4.5. Capacidad de procesamiento y periféricos.....	16
4.6. Enumeración de las necesidades .....	16
<b>5. Soluciones alternativas</b> .....	<b>16</b>
5.1. Sistema de adquisición de velocidad.....	16
5.1.1. Adquisición de velocidad por medio del sensor óptico.....	17
Ajuste y adaptación de señal .....	17
Montaje y testeado del circuito propuesto .....	18
Corrección y mejora de tiempos de adquisición .....	20
5.1.2. Adquisición de velocidad por medio de señales generadas por sensores de efecto hall integrados en motor eléctrico .....	22
Principio de funcionamiento .....	22
Solución propuesta .....	23
Pruebas realizadas.....	25
5.2. Sistema de detección de frenada .....	26
5.2.1. Detección de accionamiento de freno por medio de interruptor todo o nada ...	26
5.3. Sistema de detección del ángulo de giro.....	27
5.3.1. Diseño de sensor de giro basado en sensores de efecto hall instalado en manillar .....	27
5.4. Microcontrolador .....	35
5.4.1. Arduino UNO R3 .....	35
5.4.2. Arduino MEGA 2560 Rev3 .....	36



5.4.3. Pro Micro DEV-12640 Sparkfun .....	37
<b>6. Justificación de la solución adoptada .....</b>	<b>38</b>
6.1. Plataforma y sistema de sujeción .....	39
6.2. Adquisición de velocidad y frenada .....	40
6.3. Adquisición de ángulo de giro .....	42
6.4. Microcontrolador .....	45
6.5. Alimentación .....	48
<b>7. Descripción detallada de la solución adoptada .....</b>	<b>49</b>
7.1. Organigrama Técnico del proyecto .....	50
7.2. Estructura y mecánica .....	51
7.2.1. Descripción del material .....	51
Perfilería de aluminio ranurado .....	51
Escuadras angulares .....	52
Tuercas deslizantes M6 .....	54
Tuercas Martillo M6 .....	54
Tornillos Allen M6 .....	55
Ruedas con sistema de bloqueo .....	55
Bloques antivibratorios M8 .....	56
Tornillería .....	57
7.2.2. Plataforma .....	57
7.2.3. Soporte del patinete eléctrico .....	57
7.2.4. Soporte del motor .....	59
7.2.5. Otros soportes y accesorios .....	60
7.3. Hardware .....	61
7.3.1. Adquisición de aceleración y frenado .....	61
Adquisición de aceleración .....	64
Adquisición de frenada .....	69
7.3.2. Adquisición de ángulo de giro .....	75
7.3.3. Controlador de motor .....	77
7.3.4. Circuito de detección de bloqueo de motor .....	78
7.3.5. Placa de control .....	81
7.3.6. Placa de adquisición .....	83
7.4. Cableado y conexión .....	88
7.4.1. Cableado .....	88
7.4.2. Conexión entre equipos .....	89
7.5. Firmware .....	90

7.5.1. Placa de control .....	90
7.5.2. Placa de adquisición .....	93
7.6. Programa de validación .....	96
7.7. Flujogramas .....	96
7.7.1. Flujograma programa placa de control .....	97
7.7.2. Flujograma programa placa de adquisición.....	98
7.7.3. Flujograma programa de validación .....	99
<b>8. Bibliografía .....</b>	<b>100</b>
<b>9. Anexos .....</b>	<b>102</b>
9.1. Código completo del firmware .....	102
9.1.1. Placa de control .....	102
9.1.2. Placa de adquisición .....	105
9.1.3. Programa de validación .....	108
9.2. ODS.....	110
9.2.1. Salud y bienestar .....	110
9.2.2. Industria, innovación e infraestructura .....	110
9.2.3. Ciudades y comunidades sostenibles .....	111
9.2.4. Acción por el clima .....	111





# 1. Introducción

---

En lo referente a las políticas de movilidad, hasta ahora, se han enfocado en facilitar el uso del vehículo motorizado en ciudades, centrandose tanto el diseño de infraestructuras como la evaluación de riesgos entorno a estos. Sin embargo, los tiempos están cambiando, así como lo hacen los medios de transporte utilizados, sobre todo en desplazamientos interurbanos.

Con este fin, aparecen los vehículos de movilidad personal (VMP), llamados a aquellos vehículos de una o más ruedas dotadas de una única plaza y propulsados exclusivamente por motores eléctricos que alcanzan velocidades comprendidas entre 6 y 25 km/h. Estos vehículos, constituyen la “micromovilidad”, la cual es clave para alcanzar retos tales como el transporte sostenible, inteligente, conectado e integrado.

Nuevos modelos de negocio como los servicios de alquiler de patinetes compartidos incrementan en gran medida el número de estos dispositivos en entornos urbanos. Según Edgar Vivó en un artículo escrito para la web de *Neomotor*, en España ya hay más de medio millón de usuarios de este tipo de servicios, sin contar con aquellos usuarios que disponen de patinete propio. En este artículo, se afirma que el 72% de los españoles han cambiado su forma de desplazarse en los últimos años, habiéndose perdido el interés por el coche, especialmente por los jóvenes de entre 18 y 29 años<sup>1</sup>. En este contexto, según cifras de la consultora *Growth from Knowledge*<sup>2</sup>, datos contrastados desde la web de la Dirección General de Tráfico (DGT), las ventas de patinetes eléctricos superaron las 300.000 unidades en 2019, mientras que las previsiones para el 2022 se sitúan ampliamente por encima. Las cifras apuntan a que en España hay más de 800.000 patinetes eléctricos<sup>3</sup>.

Pese a las grandes ventajas que supone la incorporación de este tipo de vehículos en la sociedad, también supone un cambio de paradigma en lo referente a las políticas de movilidad, aumentando el índice de siniestralidad en entornos urbanos y obligando a las instituciones responsables a estudiar y evaluar su impacto con el fin de reducirla.

Como se puede apreciar en la Figura 1, el número de accidentes en los que un patinete eléctrico está involucrado ha ido en aumento desde el año 2018, siendo en 2022 cuando se ha registrado un descenso respecto al año anterior<sup>4</sup>. Aunque pudiera parecer que los números son bajos a nivel nacional, es necesario tener en cuenta que el número de accidentes que se registran es muy inferior al número real, esto es mayormente debido a que en estas bases de datos solo se incluyen aquellos accidentes reportados por los miembros de las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado (Policía y Guardia Civil). Estos accidentes suelen estar relacionados con víctimas o daños graves, por lo que accidentes debidos a caídas de usuarios sin interacción con otros usuarios no quedan registrados, siendo estos los más frecuentes.

---

<sup>1</sup> Vivó, E. (26 de diciembre de 2022). neomotor.epe.es. Obtenido de <https://neomotor.epe.es/movilidad/los-patinetes-electricos-siguen-creciendo-en-espana-pese-a-las-criticas-YY1098122>

<sup>2</sup> Growth from knowledge es una empresa de análisis de mercado que provee a empresas con el análisis de datos y tendencias necesarios para la toma de decisiones. <https://www.gfk.com>

<sup>3</sup> López, M. (31 de marzo de 2022). revista.dgt.es. Obtenido de <https://revista.dgt.es/es/reportajes/2022/03MARZO/0331-Observatorio-radiografia-bici-y-patinete.shtml>

<sup>4</sup> Hellosafe. (2023). hellosafe.es. Obtenido de <https://hellosafe.es/blog/accidentes-en-patinete>

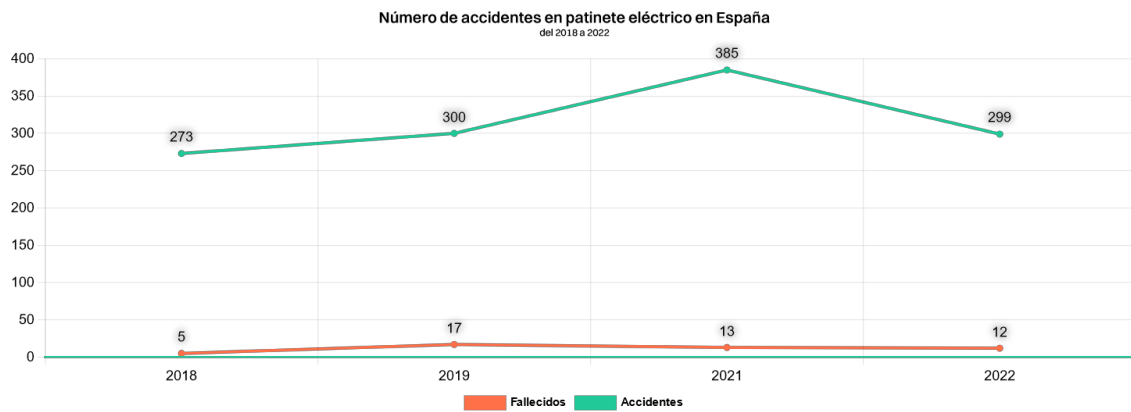


Figura 1 Número de accidentes en patinete eléctrico en España en los últimos 4 años, fuente <https://hellosafe.es/blog/accidentes-en-patinete>

Las principales causas de accidentes son la falta de visibilidad y la mala interpretación de la velocidad a la que circula un vehículo, por lo que se hace necesario conocer la percepción de todos los usuarios de la vía. Un análisis de la seguridad vial (SV) completo basado en los puntos anteriores, permitiría minimizar el número de accidentes en los que estos vehículos están involucrados.

En este contexto nace el proyecto denominado “Evaluación de la seguridad vial de la micromovilidad (esMicromobility)” propuesto por el Grupo de Investigación en Ingeniería de Carreteras (GIIC) del Instituto de Transporte y Territorio de la Universitat Politècnica de Valencia, cuyos objetivos generales se detallan en el mapa conceptual de la Figura 2.

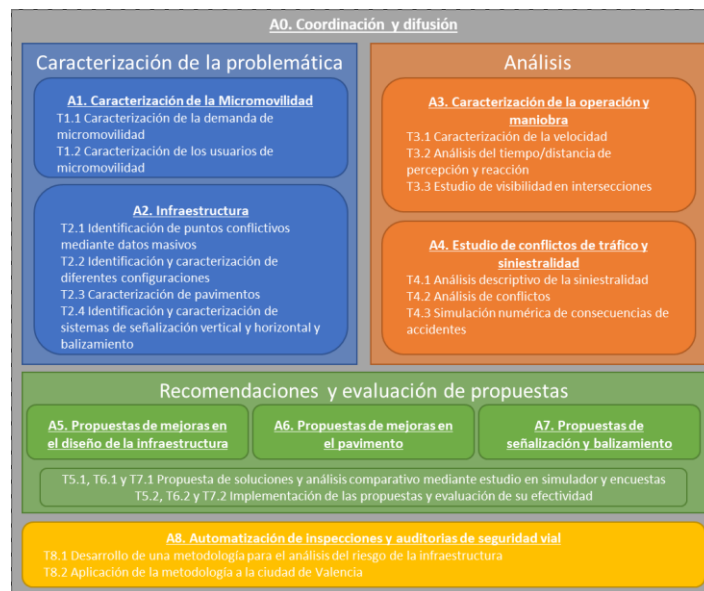


Figura 2 Proyecto de investigación "Evaluación de la seguridad vial de la micromovilidad (esMICROMOBILITY)". Mapa conceptual.

Se destaca como objetivo fundamental, la evaluación de la SV y la operación de la micromovilidad con el fin de buscar propuestas y soluciones que permitan mejorarla, incluyendo en esta especialmente las bicicletas y los patinetes eléctricos.



El Trabajo de Fin de Grado (TFG) se ha llevado a cabo en el marco del proyecto citado, centrándose en el desarrollo de un sistema electrónico de adquisición y tratamiento de datos, adecuado para el análisis del tiempo y distancia de percepción y reacción de los usuarios de patinetes eléctricos, cubriendo así el objetivo T3.1 del apartado A3 *“Caracterización de la operación y maniobra”*.

Este análisis se llevará a cabo, a partir de los datos recogidos en las pruebas realizadas en el simulador virtual de patinetes eléctricos que está desarrollando el Instituto de Diseño para la Fabricación y Producción Automatizada (IDF).

Para la realización de dicho análisis, se precisa del diseño y fabricación de un sistema electrónico adaptado a un patinete eléctrico, de manera que sea posible parametrizar los datos recogidos en este y utilizarlos en el simulador virtual.

Estos parámetros deben incluir los necesarios para monitorizar el comportamiento de los usuarios, incluyendo el accionamiento de acelerador y freno con el fin de obtener la velocidad relativa de desplazamiento, aceleraciones y deceleraciones, así como la obtención del ángulo de giro del manillar con el fin de determinar la dirección tomada.

El simulador está compuesto por una plataforma que fija el patinete eléctrico, de manera que el usuario pueda operarlo de forma adecuada y sin riesgo. El usuario utilizará unas gafas de realidad virtual con el fin de crear una experiencia más inmersiva a la hora de realizar las distintas pruebas.

## 2. Objeto

---

El objeto del presente TFG consiste en el desarrollo de un sistema de adquisición y tratamiento de datos para una plataforma experimental de simulación de patinetes eléctricos que permita determinar la dinámica del movimiento del patinete y su comportamiento durante la conducción en diferentes entornos de simulación virtual.

El desarrollo implica la sensorización del vehículo y la adaptación de la plataforma de prueba, sistemas de alimentación y señales de dispositivos existentes, así como la programación de los sistemas microcontrolados seleccionados.

### 3. Antecedentes

---

Aspectos como conocer el grado de complejidad y establecer en qué punto se encuentra el proyecto al tiempo de la incorporación a este, son esenciales para una correcta consecución de objetivos. Se torna pues indispensable, realizar un análisis de todo el trabajo cumplimentado, con el fin de valorar su viabilidad.

Los requisitos establecidos inicialmente se enumeran a continuación:

- Diseño y adaptación de plataforma de sujeción para la correcta maniobrabilidad del patinete eléctrico
- Adquisición de la velocidad de giro del sistema propulsor del patinete
- Obtención del ángulo de giro del manillar con el objetivo de establecer la dirección de desplazamiento
- Sistema de transmisión de los datos obtenidos al computador

El patinete eléctrico utilizado para las pruebas es el modelo *Mi Electric Scooter 1S* de *Xiaomi*, modelo que puede observarse en la Figura 3.



*Figura 3 Xiaomi Mi Electric Scooter 1S*

Este modelo cuenta con ruedas de 8.5", un peso de 12.5 kg, una velocidad máxima de 25 km/h, así como autonomía de hasta 30 km y disco de freno trasero. Un aspecto a destacar en estos modelos es la necesidad de empujar el patinete de forma manual hasta alcanzar al menos 5 km/h para que el sistema de propulsión eléctrica empiece a funcionar siendo este un aspecto importante de cara a futuros análisis.

Se enumeran y analizan a continuación cada una de las soluciones previamente propuestas, con el fin de determinar un punto de partida y posteriormente elaborar una hoja de ruta válida que permita cumplir con los objetivos impuestos en el proyecto. Esto permitirá conocer si las soluciones propuestas son las más adecuadas o si, por el contrario, es necesaria alguna modificación, o un replanteamiento completo de la solución.

## 3.1. Estudio y enumeración de soluciones implementadas

### 3.1.1. Plataforma de sujeción

La plataforma de sujeción es modular, y está compuesta por distintos perfiles de aluminio de 30x30 mm y 60x60 mm (Figura 4), así como escuadras de sujeción diseñadas a tal fin (Figura 5).



Figura 4 Perfiles de aluminio de 30x30 mm (Izquierda) y 60x60 mm (derecha) utilizados en la construcción de la plataforma



Figura 5 Escuadras utilizadas en el montaje de la plataforma de sujeción

El prototipo inicial llevado a cabo corresponde con los bocetos mostrados a continuación, siendo las vistas de alzado y lateral izquierdo para la Figura 6, y la vista de planta para la Figura 7.

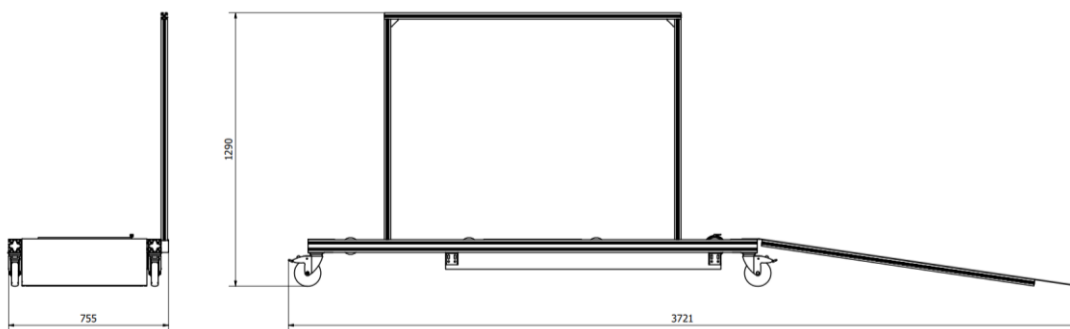


Figura 6 Plataforma de sujeción del patinete eléctrico. Vista alzado y lateral izquierda.

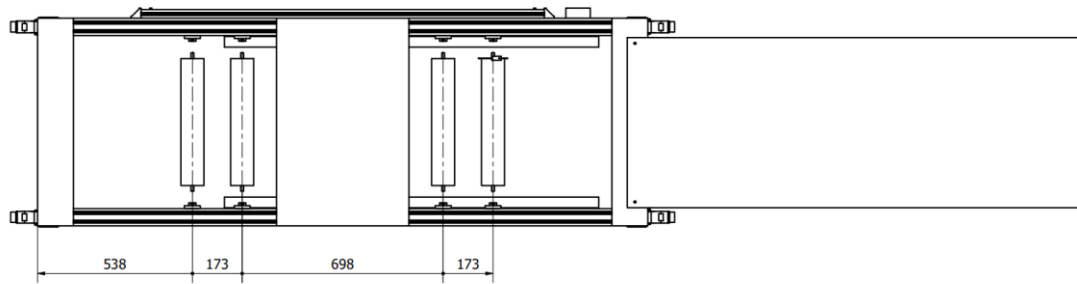


Figura 7 Plataforma de sujeción del patinete eléctrico. Vista de planta

Se dispone de un total de 4 rodillos, de manera que el patinete eléctrico pueda traccionar y hacer girar los mismos, con la idea de incorporar un sistema de medición de revoluciones que permita calcular la velocidad de desplazamiento.

Para la sujeción y anclaje del patinete, se implementa un sistema de garra construido con perfiles de aluminio y varillas roscadas. Este sistema no solo es peligroso, sino que además resulta ser incómodo para el usuario sujeto a pruebas, pudiendo incurrir en accidentes no deseados. El sistema implementado, puede observarse en la fotografía tomada, identificada como Figura 8.

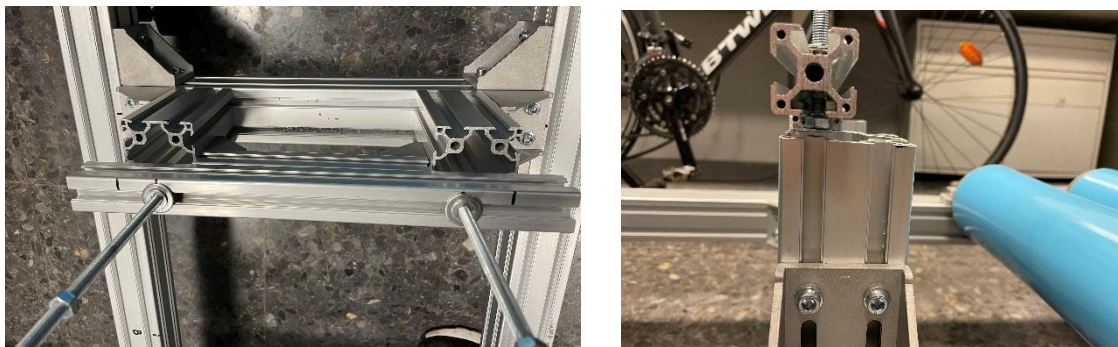


Figura 8 Sistema de anclaje implementado, vista superior (derecha), vista lateral (izquierda)

Pese a la validez estructural de la propia plataforma, se determina tras su análisis la necesidad de mejorar el sistema de anclaje, por uno menos invasivo al usuario, integrado y robusto.

Los rodillos se implementan con el objetivo principal de permitir la acción de rotación de las ruedas al tiempo que el patinete es propulsado; sin embargo, existen ciertos aspectos no tenidos en cuenta que resultan de vital importancia a la hora de su utilización.

En primer lugar, el patinete monta su motor propulsor en el eje delantero, de manera que, para poder registrar la velocidad de rotación de este de manera correcta y por medio de la utilización de estos rodillos, se debe mantener una correcta tracción en todo momento, asegurando un agarre continuo y uniforme con el objetivo de que se transmita a estos todo el movimiento generado. Esto genera un problema obvio, pues al tiempo de maniobrar el patinete y modificar la dirección de desplazamiento, se pierde tracción y por consiguiente información, siendo los resultados obtenidos poco fiables.

Por otra parte, el sistema de frenado se encuentra en el eje trasero, siendo necesario incorporar un nuevo elemento que transmita el movimiento generado en los rodillos delanteros a los traseros, de manera que pueda registrarse esta acción llevada a cabo por el usuario al tiempo de la realización de las pruebas. Este hecho por sí solo no supone un problema, sin embargo, sumado a la poca viabilidad del proceso anteriormente descrito, hacen de esta solución inviable a efectos prácticos.

### 3.1.2. Microcontrolador y procesamiento de datos

El microcontrolador encargado de la adquisición y procesamiento de datos es el Arduino Nano 33 IoT (Figura 13) cuyas características principales pueden analizarse en la Tabla 1<sup>5</sup>.

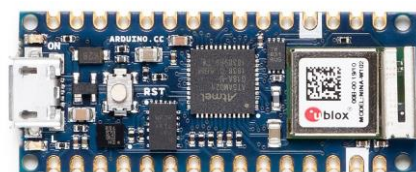


Figura 9 Arduino Nano 33 IoT, imagen obtenida de Farnell

Tabla 1 Características técnicas del Arduino Nano 33 IoT

<b>Nombre del dispositivo</b>	<i>Arduino Nano 33 IoT</i>
<b>Procesador</b>	<i>SAMD21 - ARM Cortex-M0+ de 32 bits</i>
<b>Velocidad de procesamiento</b>	<i>48MHz</i>
<b>Memoria</b>	<i>flash CPU 256KB, SRAM 32KB</i>
<b>Periféricos</b>	<i>11 pines PWM, 1 UART, 1 SPI, 1 I2C</i>
<b>Unidades de procesamiento analógico</b>	<i>8 (ADC 8/10/12bit), 1 (DAC 10bit)</i>
<b>Conectividad</b>	<i>Wi-Fi + Bluetooth® - NINA-W10</i>
<b>Unidad de medida inercial (IMU)</b>	<i>LSM6DS (6 ejes)</i>
<b>Voltaje de funcionamiento</b>	<i>3.3 V, 3.3 V (E/S)</i>
<b>Dimensiones</b>	<i>Longitud 45 mm, ancho 18 mm, peso 5 g</i>

Una de las características que hacen atractivo a este dispositivo, es la incorporación de una unidad IMU, con la que poder registrar aceleraciones y cambios de dirección, así como conectividad Bluetooth®, permitiendo conectar varios de estos dispositivos entre sí. Como principal limitación se destaca la capacidad de trabajar únicamente con voltajes de entrada de hasta 3.3 V, no pudiéndose en ningún caso superar este valor, pues resultaría en un daño irreparable en la placa. Este problema es fácilmente subsanable con la incorporación de reguladores de voltaje; sin embargo, dado que la mayoría de los sensores utilizados en este proyecto están pensados para trabajar con 5 V, esto supone un incremento en costes materiales y de espacio.

El microcontrolador cuenta con capacidad de proceso más que suficiente para cualquiera de las aplicaciones pensadas en este proyecto, por lo que no se identifican aspectos negativos a este efecto.

<sup>5</sup> Datos obtenidos de la página del distribuidor Farnell. <https://es.farnell.com/arduino/abx00027/placa-nano-33-iot-mcu-arm-cortex/dp/3404692>

Se pretende utilizar el puerto de comunicación *UART* (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) que este incorpora para la comunicación con el computador. *UART* es una comunicación serie que puede transmitir o recibir datos bit a bit de forma asíncrona, así como en modalidad *half* o *full duplex*<sup>6</sup>. El generador de *Baud Rate*<sup>7</sup>, establece la velocidad de transmisión de forma que tanto el transmisor como el receptor, pueden comunicarse de forma asíncrona a velocidades de hasta 1 Mbps. La operación puede establecerse en 8 o 9 bits, dispone de un sistema configurable de detección de fallo en la recepción de la trama por medio de la inclusión de un bit de paridad. Este sistema no es infalible, sin embargo, puede ser de utilidad cuando uno de los bits enviados no se ha recibido correctamente. La trama incorpora un bit de inicio y otro de paro, con lo que maestro y esclavo pueden determinar el principio y final de la transmisión. Un ejemplo de una trama generada con este sistema puede observarse en la Figura 10.

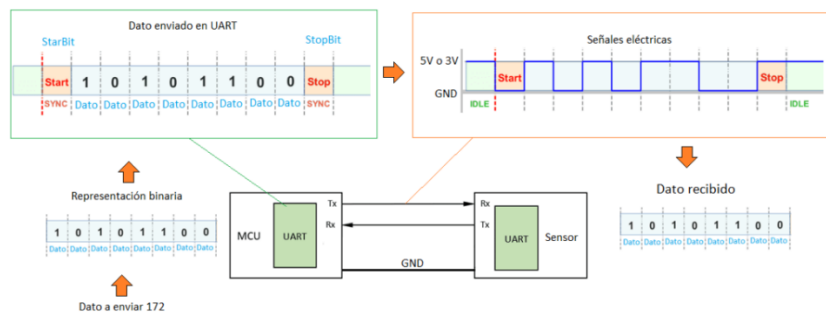


Figura 10 Topología de conexión y ejemplo de trama en una comunicación serie mediante UART, imagen obtenida de <https://dynamoelectronics.com/buses-de-datos-en-electronica-paralelo-uart-spi-i2c/>

Este sistema es ampliamente utilizado en comunicaciones entre microcontroladores y computadores, siendo en principio una solución válida de cara a la consecución de los objetivos del proyecto.

### 3.1.3. Sistema de adquisición de velocidad

Para la adquisición de la velocidad, se opta por la utilización de un optoacoplador. El modelo utilizado es un CNY70 de Vishay (Figura 11).



Figura 11 Optoacoplador modelo CNY70 del fabricante VISHAY, imagen obtenida de [www.geekfactory.mx](http://www.geekfactory.mx)

El circuito propuesto se corresponde con el de la Figura 12. Las resistencias R1 y R2, establecen la corriente máxima que circula por el diodo emisor, mientras que, en la salida, con el fin de mantener un nivel lógico bajo se utiliza la resistencia R3 en configuración *pull-down*<sup>8</sup>.

<sup>6</sup> Hace referencia a la capacidad de envío de datos de forma simultánea, *Half Duplex* únicamente permite el envío o la recepción de datos en un momento determinado, mientras que el *Full Duplex* puede enviar y recibir datos al mismo tiempo.

<sup>7</sup> Se refiere a la tasa de baudios. Es el número de unidades de señal por segundo.

<sup>8</sup> Configuración con resistencia conectada a masa con el fin de mantener un nivel lógico bajo.



Las resistencias R4 y R5 se utilizan como divisor de tensión, de forma que la tensión proporcionada por la salida no supere en ningún caso los 3.3 V (valor límite de entrada del microcontrolador). El condensador C1 se utiliza para estabilizar la señal de salida del circuito.

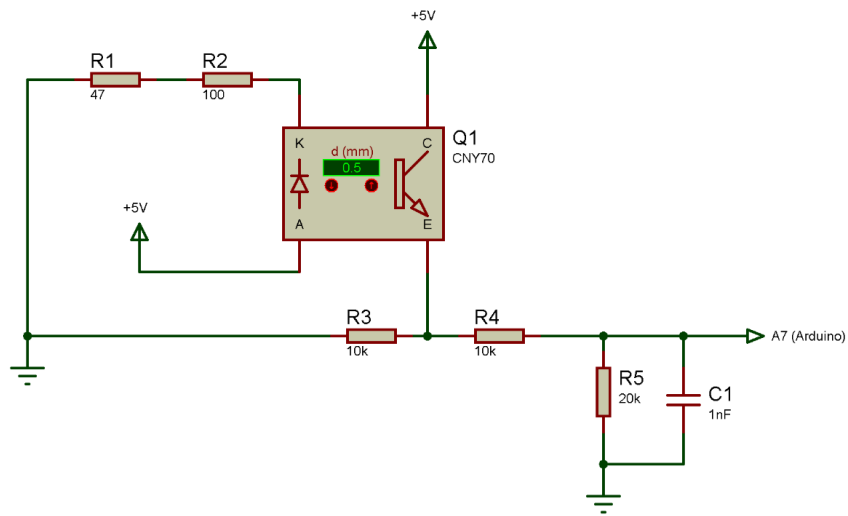


Figura 12 Circuito propuesto para el sistema de adquisición de velocidad

Dicho circuito, da a su salida un voltaje proporcional a la cantidad de luz reflejada incidente en el fototransistor, siendo esta una señal variable en el tiempo. De forma que el sensor pueda detectar y establecer el número de revoluciones que el rodillo da por segundo, se diseña una plantilla, que, adherida a este, permite al sensor detectar el paso por vuelta, esto se consigue gracias a una franja negra que esta tiene impresa (Figura 13).



Figura 13 Plantilla con franja negra diseñada para la detección por vuelta del optoacoplador

Al pasar la franja negra por el campo de visión del sensor, este absorbe toda la luz, desactivando el fototransistor, lo que mantiene un nivel bajo de la señal de salida. En la Figura 14 se observa el montaje del circuito realizado.



Figura 14 Circuito propuesto implementado en placa de pruebas

Analizando la señal generada por el circuito con la ayuda de un osciloscopio (Figura 15), se comprueba que en efecto se trata de una señal analógica de valor proporcional a la cantidad de luz recibida.

Debido a la naturaleza de la señal y su exposición al ruido, se ha podido comprobar que el microcontrolador tiene dificultades para determinar los niveles lógicos de forma estable. El resultado de estos fallos es el “falso conteo” del número de pulsos realmente generados y, por consiguiente, errores en el cómputo de la velocidad.

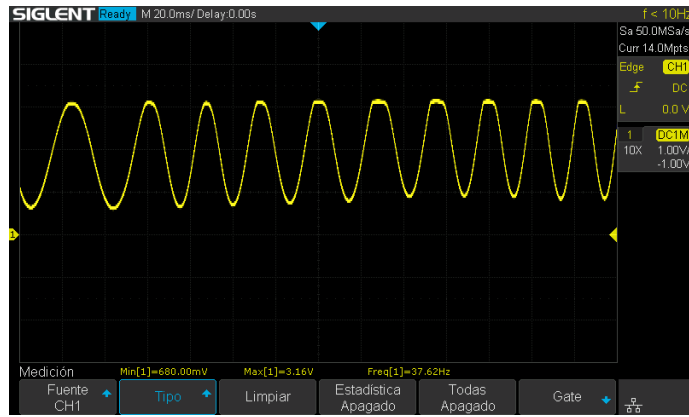


Figura 15 Señal generada por el optoacoplador al paso por la franja negra de la plantilla

Con el objetivo de entender mejor este comportamiento, se puede observar la imagen de la Figura 16 en la que se puede visualizar claramente que cuando a una señal se le superpone otra señal (generalmente ruido), esta puede inducir a establecer dos niveles lógicos diferentes en un corto espacio de tiempo, generando en este caso, las falsas cuentas ya mencionadas<sup>9</sup>.

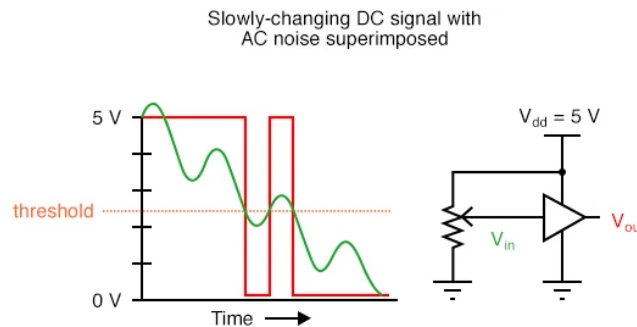


Figura 16 Detecciones erróneas del estado lógico por ruido superpuesto. Imagen obtenida de [www.allaboutcircuits.com](http://www.allaboutcircuits.com)

Esto supone introducir errores en la medida y por consiguiente es necesario un rediseño del circuito que permita mitigarlos. Estos aspectos serán tratados más adelante.

Otro aspecto a destacar es el planteamiento de la solución adoptada, esta vez no desde una perspectiva técnica, pero sí física.

La velocidad de movimiento del patinete se pretende medir utilizando un sistema sencillo pero eficaz en la mayoría de las aplicaciones. Como ya lo hemos comentado, basa su funcionamiento en el conteo de revoluciones en un determinado espacio de tiempo. Sin embargo, en el diseño inicial solo se contempla un paso por vuelta, lo que a velocidades muy bajas de rotación este sistema se torna muy lento e incompatible con la implementación de un sistema inmersivo de realidad virtual.

Si tenemos en cuenta la geometría de la rueda y analizamos los tiempos de paso por punto, obtenemos los resultados detallados en la Tabla 2.

$$\text{Diámetro Rueda patín} = 215.9 \text{ mm} \quad (1)$$

<sup>9</sup>All About Circuits. (20 de junio de 2023). [www.allaboutcircuits.com](http://www.allaboutcircuits.com). Obtenido de <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/digital/chpt-3/logic-signal-voltage-levels/>



$$\text{Distancia recorrida por vuelta} = \frac{215.9}{1000} \cdot \pi = 0.6783 \text{ m} \quad (2)$$

Tabla 2 Resultados obtenidos de calcular los tiempos de rotación necesarios para determinar una vuelta, basándose en las velocidades mínima y máxima con la utilización del sistema inicialmente propuesto

Velocidades de referencia	Velocidad mínima 0.5 km/h	Velocidad máxima 30 km/h
N.º de puntos por vuelta	1	1
$\Delta t$ entre puntos	4.88 s	81.40 ms
frecuencia de conmutación	0.2 Hz	12.29 Hz

Como se puede observar, aun para velocidades elevadas (por encima de los 25 km/h establecidos como velocidad máxima en un VMP) el tiempo de vuelta es muy elevado. El microcontrolador debería esperar un total de 81.40 ms por vuelta únicamente para poder determinar la velocidad actual de rotación, pues este cálculo depende íntegramente del conteo del número de estos pulsos en un espacio de tiempo dado. La cosa empeora aún más cuando si por el contrario el patinete se desplaza a velocidades bajas, llegando a necesitar hasta 4.88 s para poder reconocer que efectivamente el patinete se ha detenido, pues a medida que la velocidad disminuye, estos tiempos aumentan.

Podría ayudar a minimizar este problema, aumentar el número de pasos por vuelta, con el fin de generar más información en espacios de tiempo más reducido.

La aproximación de la solución adoptada es pues incorrecta, por lo que se deberán buscar soluciones alternativas más adecuadas.

### 3.1.4. Sistema de adquisición de ángulo de giro

Para la adquisición del ángulo de giro se opta por la utilización de la IMU integrada en el Arduino Nano 33 IoT. El modelo que este incorpora es el LSM6DS cuyas características principales se enumeran en la Tabla 3.

Tabla 3 Tabla de características de la unidad IMU LSM6DS del fabricante ST

Nombre del controlador	LSM6DS
Fabricante	ST
Voltaje de funcionamiento	1.71 V a 3.6 V
Consumo	0.4 mA a 0.65 mA
Número de ejes	6D (3D Acelerómetro - 3D Giróscopo)
Rango de aceleraciones (Acelerómetro)	$\pm 2/\pm 4/\pm 8/\pm 16 \text{ g}$
Rango de ratio angular (Giroscopio)	$\pm 125/\pm 250/\pm 500/\pm 1000/\pm 2000 \text{ dps}^{10}$
Comunicación	Interfaz SPI y I <sup>2</sup> C
Dimensiones	2.5 mm x 3 mm x 0.83 mm

<sup>10</sup> Degrees per second (dps) o grados por segundo

El circuito integrado (CI) monta un acelerómetro y giróscopo digital de 3 ejes cada uno, sumando un total de 6 ejes o grados de libertad.

Una IMU es un dispositivo capaz de determinar estados dinámicos específicos como velocidades angulares y aceleraciones con la ayuda de la utilización de sensores integrados como el acelerómetro, sensor capaz de medir fuerzas gravitatorias en un sistema de coordenadas fijo; giróscopo, sensores que miden la velocidad angular; y magnetómetro, los cuales miden el campo magnético local (véase la Figura 17).

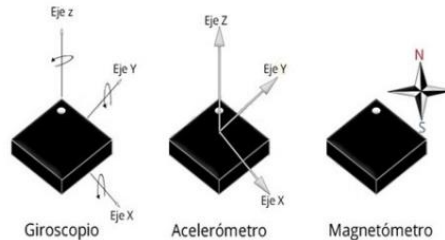


Figura 17 Representación gráfica de los ejes de actuación de cada uno de los sensores citados. Imagen obtenida de [www.ingmecafenix.com](http://www.ingmecafenix.com)

Antes de hablar sobre cómo funcionan cada uno de estos sensores, se va a definir lo que es un sistema MEMS o *Micro Electro Mechanical Systems*. MEMS es una tecnología de creación de dispositivos microscópicos con partes móviles, todo ello aprovechando la misma tecnología utilizada en la fabricación de CI. El tamaño de estos dispositivos varía entre los 20 micrómetros hasta el milímetro, mientras que los componentes con los que estos se forman van desde uno hasta los 100 micrómetros. Para su desarrollo se utilizan técnicas como la fotolitografía, moldeo por inyección, estereografía litografía y galvanoplastia<sup>11</sup>.

Los acelerómetros detectan fuerzas de inercia. Cuando estas fuerzas interactúan con el sensor, este las descompone en tres direcciones de referencia dispuestas de manera ortogonal. Esto es posible, gracias a que el sensor está construido como un híbrido de semiconductores y sistemas micro mecánicos con partes semi móviles (según la tecnología mencionada MEMS). Existen muchas tecnologías de fabricación de este tipo de sensores, a saber: capacitivos, piezorresistivos, piezoeléctricos, etc. Sin embargo, los capacitivos son los más económicos y comúnmente utilizados (Figura 18).

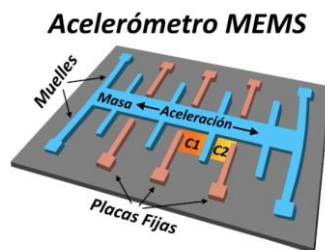


Figura 18 Esquema de funcionamiento de un sensor acelerómetro tipo MEMS, creado por Pedro Fumanal Sejas

Al incidir una fuerza sobre el sistema, esta modifica la posición de una masa suspendida sobre resortes. Este movimiento altera el valor capacitivo entre la placa móvil (masa suspendida) y la placa fija, por lo que es posible caracterizar la señal y adquirir la información deseada.

<sup>11</sup> Información obtenida de [MEMS \(MicroElectroMechanical Systems\) \(upm.es\)](http://MEMS (MicroElectroMechanical Systems) (upm.es))



Por otra parte, los giroscopios detectan fuerzas centrífugas provocadas por el giro alrededor de los tres ejes principales y posteriormente las convierten en velocidad de giro. Esto, permite obtener la velocidad angular en un eje dado. En la figura x se observa el esquema de funcionamiento.

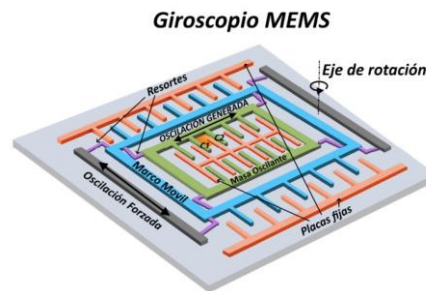


Figura 19 Esquema de funcionamiento de un giroscopio MEMS, creado por Pedro Fumanal Sejas

Una forma más visual de ver su principio de funcionamiento se puede observar en la Figura 20, donde es posible observar como la fuerza centrífuga generada por la rotación de un sólido, desplaza una masa según la dirección de rotación. Midiendo la tensión generada en el muelle (el equivalente al desplazamiento de los resortes sobre las placas fijas) es posible determinar la velocidad angular.

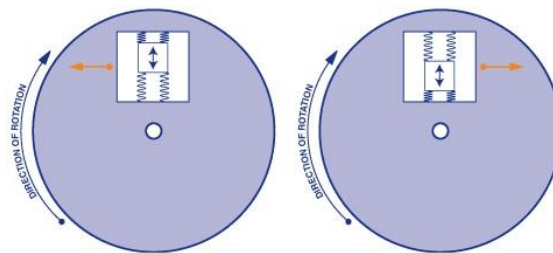


Figura 20 Principio de funcionamiento de un giroscopio, imagen obtenida de cursos.mcielectronics.com

Los magnetómetros permiten captar y medir campos magnéticos y en la mayoría de las ocasiones funcionan detectando los efectos de la *fuerza de Lorentz*<sup>12</sup>. Estos sensores, añaden una brújula magnética y son imprescindibles a la hora de poder determinar la guiñada (Figura 21); rotación que describe el giro sobre el eje vertical. Si trasladamos esto al patinete, podemos observar que en efecto este eje, aunque inclinado, corresponde con el eje de giro del manillar (Figura 22).

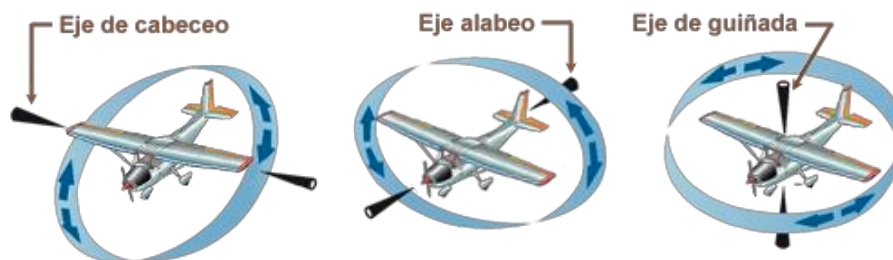


Figura 21 Enumeración de los tres ejes principales de rotación que permiten obtener la orientación de un móvil. Imagen obtenida de [www.lavionnaire.fr](http://www.lavionnaire.fr)

<sup>12</sup> En física (específicamente en electromagnetismo) la fuerza de Lorentz (o fuerza electromagnética) es la combinación de fuerza eléctrica y magnética en una carga puntual debido a campos electromagnéticos.



Figura 22 Correspondencia del eje de giro del manillar con el eje de guiñada

A la hora de determinar una posición en el espacio en un momento dado, es imprescindible combinar la información generada por cada uno de estos tres dispositivos. Esto es principalmente debido a las limitaciones y errores que cada uno de ellos introducen en la medida y la posibilidad de compensar estos con la ayuda de los datos generados por el resto.

Los acelerómetros son muy útiles a la hora de determinar el grado de inclinación de un objeto, ya que realizan una medición absoluta del ángulo que forma el sensor con la dirección vertical, la cual está marcada por la acción de la gravedad. Sin embargo, debido a que el sensor está influenciado continuamente por los movimientos y el ruido generado, estos no son fiables a corto plazo.

Para suplir las cadencias en las mediciones bruscas o a corto plazo, se introducen los giroscopios, los cuales funcionan muy bien con movimientos cortos. El problema viene dado por la necesidad de integrar la señal generada respecto al tiempo con el fin de obtener el ángulo de giro. Debido al ruido y otros aspectos de la señal, los errores se acumulan en el tiempo a la hora de integrar la señal, generando deriva (también conocido como *drift*) a medio o largo plazo.

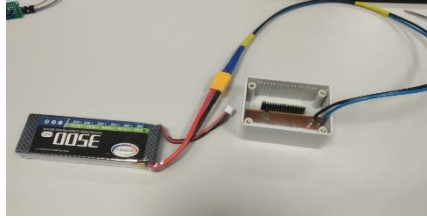
Debido a que los acelerómetros apoyan sus mediciones utilizando la acción de la gravedad como punto de referencia para determinar el ángulo desplazo, no son adecuados para determinar el ángulo deseado (guiñada). Por otra parte, la utilización del giroscopio introduciría errores a medio o largo plazo debido a la deriva ya mencionada, lo cual es inadmisibles.

La utilización de un magnetómetro podría compensar la deriva generada por el giroscopio, sin embargo, esto no se ha tenido en cuenta a la hora de su implementación, ya que la IMU utilizada no incorpora este sensor, siendo la solución propuesta inválida.

Otros aspectos que invalidan o afectan a la calidad de la propuesta son:

- Necesidad de calibración en cada puesta en marcha
- Sensible a vibraciones generadas por la plataforma al tiempo de uso
- Un desplazamiento de la plataforma descalibraría el sensor
- Tiempos de respuesta más lentos al tener que procesar más información

En la Figura 23, se observa el montaje empleado. Como se puede ver, el diseño incorpora una batería con el fin eliminar la necesidad de alimentación externa y por lo tanto la conexión directa a otros dispositivos. Para la comunicación se pretende utilizar la conexión Bluetooth que el microcontrolador incorpora en su placa de desarrollo.



*Figura 23 Montaje desarrollado para la obtención del ángulo de giro mediante la utilización de la IMU que incorpora el Arduino Nano 33 IOT*

## 4. Estudio de necesidades

---

Se procede a definir el conjunto de especificaciones que debe cumplir el presente proyecto, con el objeto de cubrir las necesidades de este.

### 4.1. Conectividad y tiempos de respuesta

Toda la información generada debe ser transmitida al ordenador encargado de generar el entorno virtual aún en desarrollo. El simulador está pensado y configurado para procesar la información a una tasa de refresco de 60 Hz, esto es, cada 16.6 ms.

Para poder generar un fotograma del entorno virtual para el simulador a tiempo, es imprescindible adquirir, procesar y enviar los datos en un marco de tiempo inferior a los 16.6 ms.

El medio de comunicación empleado debe asegurar la correcta transmisión de los datos, minimizando la tasa de errores y asegurando una velocidad de transmisión tal, que permita el envío de toda la información generada en un espacio de tiempo inferior al citado.

### 4.2. Adquisición de la velocidad

Se debe desarrollar un sistema con el que sea posible determinar la velocidad a la que se desplaza el patinete eléctrico al tiempo de uso. Este sistema debe ser capaz de dar un valor real de la misma, o, por el contrario, la suficiente información para su determinación en un modelo real. El tiempo de adquisición de esta variable debe cumplir los requisitos de tiempo establecidos.

### 4.3. Adquisición de la frenada

Se establece la necesidad de la incorporación de un sistema que sea capaz de medir el momento e intensidad de la acción de frenada inducida por el usuario. Los tiempos de adquisición son de nuevo muy importantes.

## 4.4. Adquisición del ángulo de giro del manillar

Para poder determinar el rumbo o dirección tomado por el usuario a los mandos del patinete eléctrico, es necesario implementar un sistema que determine en tiempo real el ángulo de giro del manillar. El sistema implementado debe ser preciso y estable en el tiempo, no introduciendo errores en la medida. La solución debe permitir no superar los tiempos de procesamiento y envío definidos.

## 4.5. Capacidad de procesado y periféricos

El microcontrolador debe incorporar los periféricos y capacidad de procesado adecuados para la correcta adquisición de cada una de las variables necesarias, así como poder procesar toda la información adquirida en un tiempo conveniente. Las capacidades de interconexión entre otros microcontroladores, así como entre microcontrolador y ordenador, son también requisito fundamental a la hora de su elección. La compatibilidad eléctrica debe asegurar una fácil interconexión entre los sensores y este, evitando la incorporación de sistemas de adaptación de señal que aumenten su coste.

## 4.6. Enumeración de las necesidades

- Tiempo de adquisición, procesado y envío inferior a 16.6 ms
- Comunicación con ordenador que minimice errores y tiempos de transmisión
- Adquisición de información que permita obtener el valor de la velocidad
- Adquisición de información que permita obtener la fuerza de frenado
- Adquisición de ángulo de giro del manillar de forma precisa y estable en el tiempo
- Microcontrolador adecuado a la aplicación a desarrollar, con periféricos y capacidad de procesado adecuados
- Compatibilidad eléctrica de todo el conjunto con el fin de minimizar costes

# 5. Soluciones alternativas

---

En este apartado se plantean diferentes soluciones que han significado el punto de inflexión del proyecto; aspectos como qué microcontrolador emplear, sistemas de adquisición o medios de transmisión son fundamentales de cara al posterior diseño de hardware y software.

## 5.1. Sistema de adquisición de velocidad

Se procede a documentar las diferentes aproximaciones adoptadas de cara a la obtención de la velocidad de desplazamiento del patinete eléctrico, comentando en cada caso los aspectos más característicos, así como sus ventajas e inconvenientes.

### 5.1.1. Adquisición de velocidad por medio del sensor óptico

La solución aquí propuesta, parte del montaje analizado en los antecedentes. Los principales problemas introducidos por la solución anteriormente detallada son:

- Señal analógica de baja amplitud a altas frecuencias debido a la naturaleza del sensor
- Señal poco definida y por lo tanto inapropiada para determinar un estado lógico adecuado
- Tiempos de adquisición elevados debido a la implementación de un único punto de medida por vuelta

#### Ajuste y adaptación de señal

Con el objeto de adecuar la señal generada por el sensor, de manera que el microcontrolador encargado de registrar los datos sea capaz de establecer un nivel lógico de forma precisa, se procede al diseño de un circuito capaz de generar una señal cuadrada bien definida a partir de la señal entregada por este. Se incorpora un filtro paso bajo, de manera que filtre ruidos de alta frecuencia que podrían inducir a las “falsas cuentas” que se han descrito en el apartado 3.1.3, cuyo origen se ve reflejado en la Figura 16.

El circuito propuesto parte de la utilización de un comparador. Este se configura de manera que, utilizando una señal de referencia, establezca el umbral sobre el que es considerado un nivel lógico alto o bajo. Si la señal introducida está por debajo del umbral configurado por la señal de referencia, el comparador establece un nivel de señal bajo (nivel lógico bajo), mientras que, si la señal supera dicho umbral, el comparador entrega a su salida un nivel de señal alto (nivel lógico alto). El circuito propuesto corresponde al representado en la Figura 24.

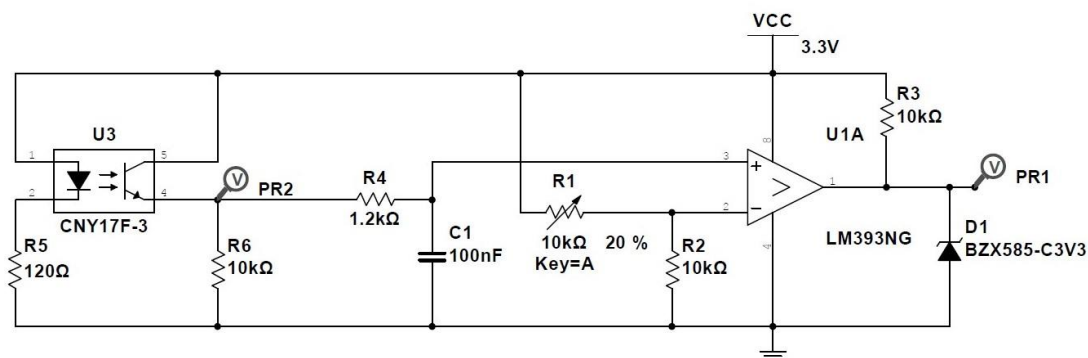


Figura 24 Circuito implementado para generar una señal cuadrada en función de la señal generada por el optoacoplador

El potenciómetro  $R1$  establece el umbral o señal de referencia utilizado por el comparador para determinar el nivel lógico en la salida. La resistencia  $R3$ , se utiliza como resistencia de *pull-up*, definiendo un nivel lógico alto en la salida; el diodo Zener  $D1$ , evita posibles picos de tensión a la salida y se utiliza como elemento de protección a la hora de interconectar el circuito al microcontrolador. El filtro paso bajo implementado está compuesto por la resistencia  $R4$  y el condensador  $C1$ , cuya frecuencia de corte se obtiene por medio de la siguiente expresión:

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R4 \cdot C1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1200 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = 1.33 \text{ kHz} \quad (3)$$

La frecuencia de corte obtenida asegura que señales con frecuencias superiores a esta, no interfieran en la generación del pulso que contiene la información válida generada por el optoacoplador. La resistencia  $R5$  establece el valor de corriente que fluye por el diodo emisor. La caída de tensión del diodo viene dada por la gráfica de la Figura 25.

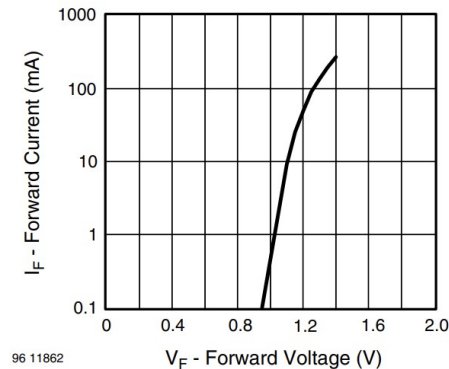


Figura 25 caída de tensión en función de la corriente directa del diodo implementado en el optoacoplador CNY70

Se observa que, para una corriente de 20 mA, se obtiene una caída de tensión en directa de 1.1 V, por lo que un valor adecuado para la resistencia  $R5$  se determina por:

$$R_5 = \frac{3.3 - 1.1}{20 \cdot 10^{-3}} = 110 \Omega \quad (4)$$

Un valor normalizado próximo al valor obtenido es 120  $\Omega$ , valor escogido en el circuito implementado en la Figura 24.

#### Montaje y testeo del circuito propuesto

Para testear el circuito propuesto, se diseña e implementa una plantilla que contiene un total de 70 puntos por vuelta. Esta se adhiere a un disco compacto de plástico (Figura 26).



Figura 26 Plantilla creada y adherida a disco compacto con el fin de testear el circuito de adquisición propuesto



La acción de rotación es generada por un motor de corriente continua extraído de un reproductor de discos compactos. Este se ha fijado a una base de madera con el propósito de facilitar el montaje de todos los elementos necesarios (Figura 27).

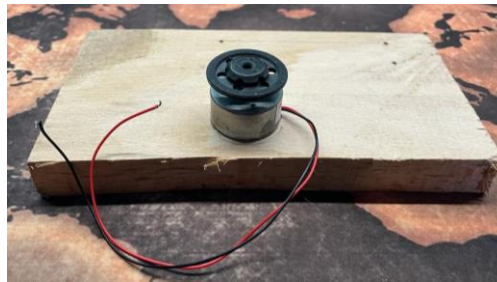


Figura 27 Motor de un reproductor de discos compactos adherido a una base de madera

Utilizando el circuito implementado y una *protoboard*, se disponen todos los elementos que componen el circuito propuesto. Tanto el motor como la circuitería es alimentada con la ayuda de una fuente de laboratorio. El resultado final se observa en la Figura 28.

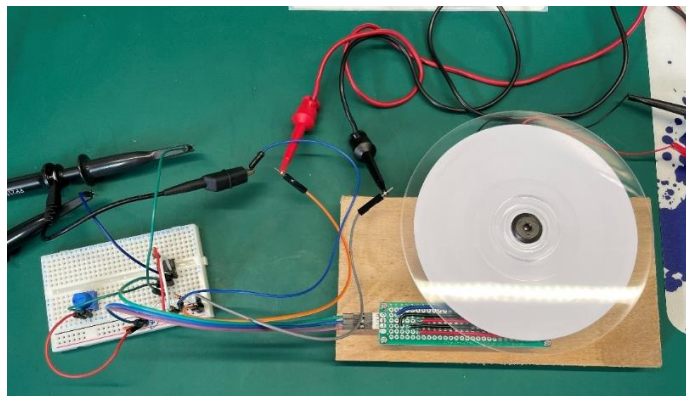


Figura 28 Montaje completo dispuesto con el fin de comprobar el correcto funcionamiento del circuito de adaptación de señal para la adquisición de la velocidad de giro del motor

Tras configurar la tensión de umbral con la ayuda del potenciómetro a un valor adecuado (2 V) se procede a poner en funcionamiento el sistema implementado. Los resultados obtenidos se pueden observar en la Figura 29.



Figura 29 Análisis de respuesta del circuito de adaptación de señal del sensor óptico. Señal generada por el sensor (morado). Salida digital generada por el circuito (amarillo).

Para determinar la respuesta del circuito a mayores frecuencias, se conecta su entrada a un generador de funciones configurado para generar una señal de ráfagas de 20 puntos a 2 kHz.

Los resultados obtenidos de esta prueba se detallan en la Figura 30.

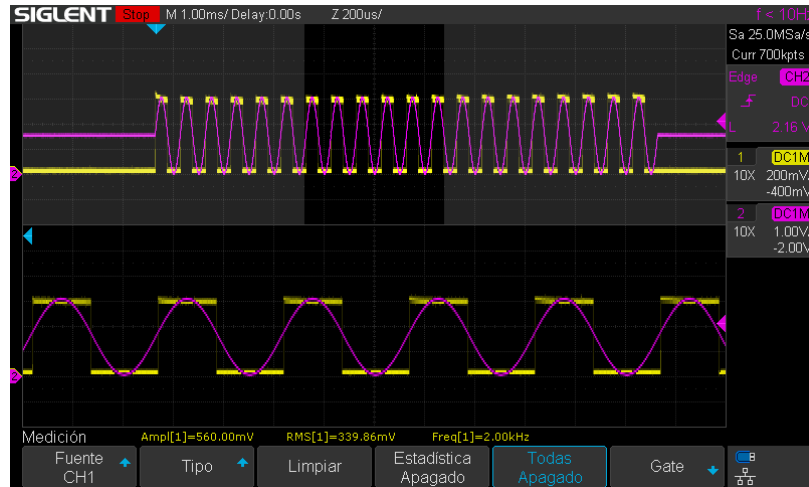


Figura 30 Respuesta del sensor a una ráfaga de 20 puntos a 2 kHz producida por un generador de funciones

Como se observa, este circuito genera una señal cuadrada bien definida, lo que debería facilitar en gran medida el reconocimiento de pulsos por parte del microcontrolador.

### Corrección y mejora de tiempos de adquisición

Uno de los principales problemas reside en los tiempos de espera necesarios para determinar la velocidad de desplazamiento.

Es posible reducir notablemente estos tiempos incrementando el número de pasos por vuelta. Esto se consigue con la adición de un mayor número de líneas en la plantilla propuesta de la Figura 13.

Con el objetivo de comprobar cómo afecta la elección del número de pasos por vuelta a los tiempos de adquisición, tomamos un total de 70 puntos (número usado durante las pruebas) y calculamos los tiempos de adquisición mínimos entre la detección de cada punto. Tomando el valor referente a la distancia recorrida por vuelta, obtenido en la ecuación (2) cuyo valor es 0.6783 m, se procede a la obtención de los tiempos citados:

$$\text{Para } Vel_{min} = 0.5 \text{ km/h} \rightarrow \frac{0.5 \text{ km}}{h} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0.1388 \text{ m/s} \quad (5)$$

Con (5) y (2)

$$T_{max 70} \rightarrow \frac{0.6783 \text{ m}}{0.1388 \text{ m/s}} = 4.884 \text{ s} \rightarrow \frac{4.884 \text{ s}}{70} = 0.6977 \text{ s} \rightarrow 69.77 \text{ ms} \quad (6)$$

$$\text{Para } Vel_{max} = 30 \text{ km/h} \rightarrow \frac{30 \text{ km}}{h} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 8.333 \text{ m/s} \quad (7)$$

Con (7) y (2)

$$T_{min 70} \rightarrow \frac{0.6783 \text{ m}}{8.333 \text{ m/s}} = 0.081 \text{ s} \rightarrow \frac{0.081 \text{ s}}{70} = 0.00116 \text{ s} \rightarrow 1.16 \text{ ms} \quad (8)$$

En la Tabla 14 se detallan y comparan los valores obtenidos con los valores correspondientes a los obtenidos en la Tabla 12.

Tabla 4 Comparación de los tiempos de adquisición utilizando 1 punto respecto al resultado de incrementar a 70 el número de puntos por vuelta

Velocidades de referencia	Velocidad mínima 0.5 km/h		Velocidad máxima 30 km/h	
N.º de puntos por vuelta	1	70	1	70
$\Delta t$ entre puntos	4.88 s	69.77 ms	81.40 ms	1.16 ms
Frecuencia de conmutación	0.2 Hz	14.33 Hz	12.29 Hz	862.07 Hz

Como se observa, es posible reducir el tiempo de adquisición por medio de incrementar el número de puntos; sin embargo, a modo de cumplir las especificaciones impuestas en el estudio de necesidades, el tiempo de adquisición en el peor de los casos no debe superar en ningún caso los 16.6 ms, siendo conveniente reducir el tiempo de este hasta al menos 10 ms con el fin de tener margen suficiente para poder procesar los datos y enviarlos al computador encargado de gestionar los datos del simulador.

Definiendo la restricción del tiempo de adquisición máximo podemos, utilizando el valor de tiempo calculado en la ecuación (6), obtener el valor del número de puntos por vuelta necesario para cumplir con las especificaciones de 10 ms, esto es:

$$N_p = \frac{4.884 \text{ s}}{0.01 \text{ s}} = 488 \text{ puntos por vuelta} \quad (9)$$

Diseñando una plantilla que contenga los 488 puntos por vuelta como la mostrada en la Figura 31, podemos asegurar que la adquisición se llevará a cabo en un tiempo adecuado.

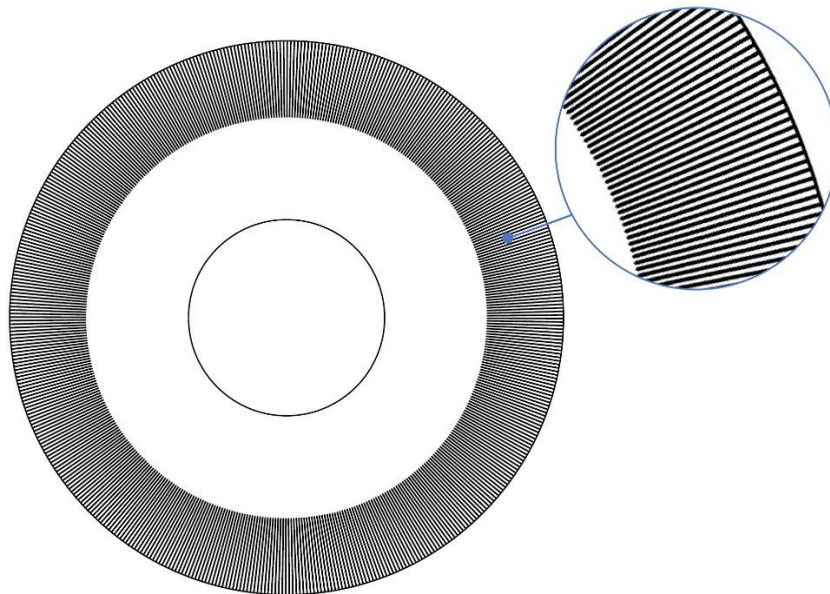


Figura 31 Plantilla de 488 puntos diseñada para cumplir especificaciones en los tiempos de adquisición

## 5.1.2. Adquisición de velocidad por medio de señales generadas por sensores de efecto hall integrados en motor eléctrico

### Principio de funcionamiento

El motor encargado de propulsar el patinete eléctrico incorpora un total de 3 sensores de efecto Hall dispuestos de manera que el sistema de control pueda identificar la posición relativa de este en todo momento, lo que se traduce en un control preciso de las bobinas magnéticas en el estátor. En concreto, el motor que incorpora corresponde a un *Brushless Direct Current* o BLDC cuyo estátor está montado en el eje parado, mientras el receptáculo del motor gira. Se observa en la Figura 32 la disposición de los devanados sobre el estátor unido al eje, así como la placa electrónica que aloja los 3 sensores de efecto Hall (identificables por el conjunto de tres cables rojos por sensor).

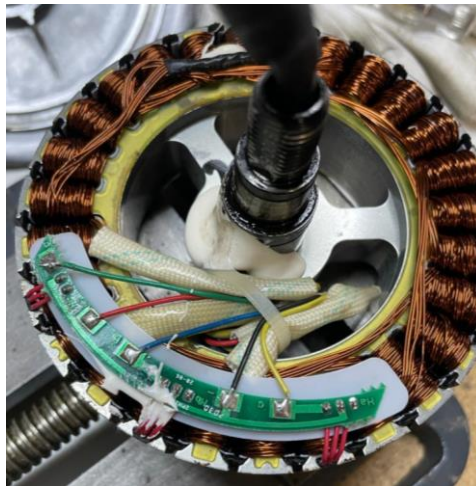


Figura 32 Fotografía tomada del interior del motor BLDC del Xiaomi 365 1S; se observan los distintos devanados, sensores de efecto hall (cableado rojo), así como su montaje en eje

El motor aquí expuesto consta de un total de 27 electroimanes (conjunto de devanados que se observan en la Figura 32) y 30 imanes (Figura 33).



Figura 33 Conjunto de 30 imanes dispuesto a lo largo del diámetro interior de la rueda del Xiaomi mi 365. Imagen tomada del canal de YouTube de Vortecks [https://www.youtube.com/watch?v=SNU9H51hpaA&ab\\_channel=Vortecks](https://www.youtube.com/watch?v=SNU9H51hpaA&ab_channel=Vortecks)



Un sensor de efecto Hall, es un dispositivo utilizado para generar una señal eléctrica en respuesta a la presencia de un campo magnético. La magnitud de esta tensión depende de la intensidad del campo magnético. Algunos de estos sensores incorporan electrónica adicional que permite, entre cosas, generar una señal todo o nada en la presencia de dicho campo, cuyas características e intensidad vienen dadas por el fabricante. Las aplicaciones de estos sensores son muy diversas, entre las que se encuentran la detección de velocidad, posición, etc. Pueden usarse para detectar corrientes que varían en el tiempo, las cuales generan campos magnéticos detectables por el sensor. La posición relativa de estos sensores con respecto al conjunto de imanes, así como algunos de sus estados al tiempo de su desplazamiento, pueden observarse en la Figura 34.

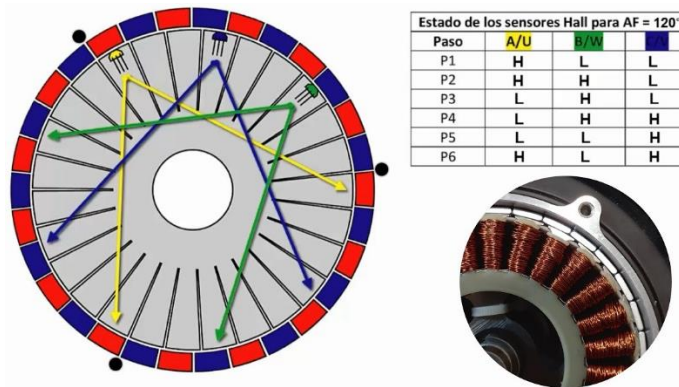


Figura 34 Disposición relativa de los sensores con respecto al conjunto de imanes dispuestos en el interior del motor. Se observa una tabla con la salida de cada uno de ellos según se desplazan. Imagen obtenida del canal de YouTube de FIXSCOOTER <https://www.youtube.com/watch?v=QuJGvRZtpsA>

### Solución propuesta

La solución aquí propuesta basa su funcionamiento en la adquisición de la información generada por estos sensores, con el fin de determinar la velocidad de desplazamiento del patinete eléctrico. Para ello, se analizan las características mecánicas del conjunto, así como la configuración de cada uno de los elementos que lo conforman, con el fin de modelar un sistema que sea capaz de sintetizar la información generada y traducirla al valor deseado.

Los sensores Hall se centran en las caras de las bobinas, hecho observable en la Figura 35. El conjunto está formado por un total de 27 bobinas. Los sensores están separados a un total de 3 bobinas; esto es, 2 bobinas completas más 2 mitades hacen un total de 3 bobinas. Con un simple cálculo (ecuación (10)) podemos determinar a cuántos grados corresponde esta separación.

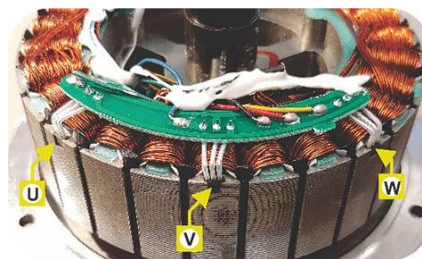


Figura 35 Localización específica de los sensores de efecto Hall en el motor del patinete eléctrico, las etiquetas U, V, W diferencian cada uno de los sensores. Imagen obtenida de <https://www.diqkey.es/es/blog/using-bldc-hall-sensors-as-position-encoders-part-1>

$$360 \text{ grados} / 27 \text{ bobinas} \cdot 3 \text{ intervalos de bobina} = 40 \text{ grados} \quad (10)$$

La configuración aquí utilizada produce los mismos valores de salida que si los sensores estuvieran físicamente separados 120 grados. Juntos, estos sensores producen 30 pulsos por cada 120 grados, o por el contrario 90 pulsos en una revolución completa.

Si se secciona la información generada y se codifica, se obtiene la información mostrada en la Figura 36.

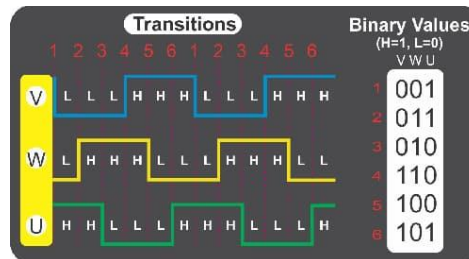


Figura 36 Información codificada que genera el conjunto de sensores de efecto Hall alojados en el motor. Imagen extraída de <https://www.digikey.es/es/blog/using-bldc-hall-sensors-as-position-encoders-part-1>

Como se observa para cada tiempo dado, solo existe una posible combinación, no dándose en ningún caso las combinaciones 000 ni 111, lo que permite eliminar redundancias. Además, este sistema permitiría determinar la dirección de desplazamiento por medio de la comparación de únicamente dos de sus señales. Esto se consigue ajustando un disparador en el flanco de subida, por ejemplo, en la señal identificada como “V”, y leyendo al mismo tiempo la señal identificada como “W” (funciona de igual manera con “U”). Una señal a nivel alto o bajo diferenciaría el sentido de desplazamiento.

Una vez comprendido cómo funciona el sistema, es cuestión de implementar un sistema microcontrolado, de manera que pueda leer esta cadena de pulsos en función del tiempo para determinar la velocidad de giro del motor y por tanto la velocidad de desplazamiento.

Teniendo en cuenta la distancia recorrida por vuelta según características de la rueda calculada en la ecuación (2), y el número de pulsos que este sistema es capaz de generar, en el peor de los casos, el tiempo de adquisición sería de:

$$360^\circ / 90 \text{ pulsos} = 4^\circ / \text{pulso} \quad (11)$$

$$\frac{4^\circ / \text{pulso} \cdot 0.6783 \text{ m/vuelta}}{360^\circ} = 7.53 \cdot 10^{-3} \text{ m/pulso} \quad (12)$$

Usando (5) para velocidad mínima y (12)

$$\frac{7.53 \cdot 10^{-3} \text{ m/pulso}}{0.1388 \text{ m/s}} = 54.3 \text{ ms/pulso} \quad (13)$$

Como se observa, se tarda 54.3 ms en detectar un pulso a una velocidad mínima de 0.5 km/h, lo que es superior al tiempo de respuesta mínimo necesario para cumplir especificaciones.

En estas condiciones de operación, si tomamos en cuenta los 16.6 ms de tiempo de respuesta máximo del sistema, y lo reducimos a 10 ms para garantizar suficiente margen de operación, la velocidad mínima que podría detectar el sistema, despreciando tiempos superiores a este sería:

Partiendo de (13) y despejando la velocidad obtenemos

$$\frac{7.53 \cdot 10^{-3} \text{ m/pulso}}{10 \text{ ms/pulso}} = 0.753 \text{ m/s} \quad (14)$$

Pasando de m/s a km/h

$$0.753 \text{ m/s} \cdot 0.001 \text{ Km}/1 \text{ m} \cdot 3600 \text{ s}/1 \text{ h} = 2.71 \text{ Km/h} \quad (15)$$

En términos prácticos, sería posible despreciar los tiempos de adquisición superiores a 10 ms y ajustarlos a 0 km/h con el fin de cumplir especificaciones de tiempo en el proyecto. Esto se podría hacer debido a que el motor requiere de un impulso de aceleración inicial que eleve la velocidad del motor a 5 km/h, de otra forma el motor no opera debido a protecciones y sistemas de ahorro de batería.

### Pruebas realizadas

Con el fin de ilustrar cómo sería posible obtener la información necesaria, se dispone de un osciloscopio de 4 canales, y se conecta a la salida de cada uno de los tres sensores de efecto Hall, obteniendo la señal mostrada en la Figura 37. Como se puede observar, el conjunto de los 3 sensores genera una señal cuadrada desfasada 120 grados.

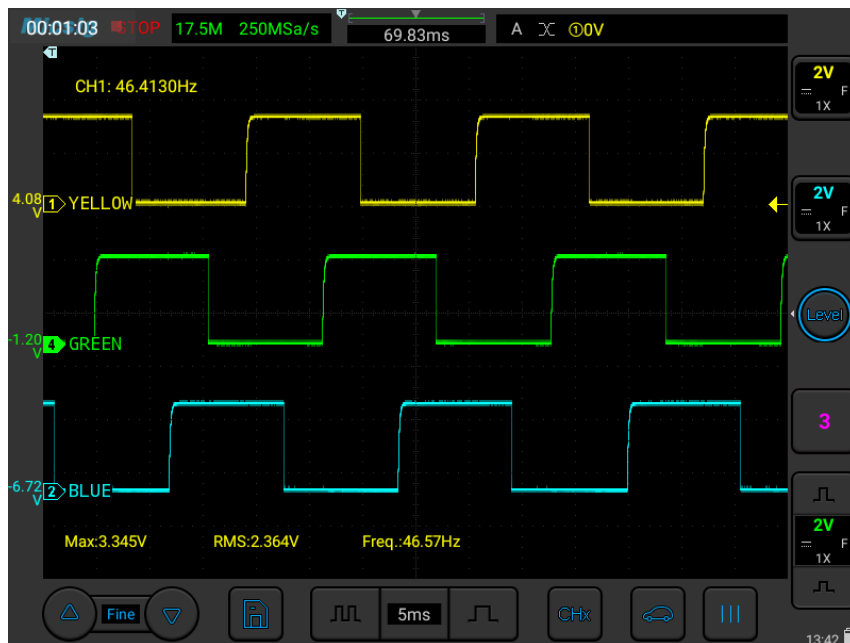


Figura 37 Señales obtenidas de la medición de cada uno de los sensores de efecto Hall representados como "YELLOW", "GREEN", "BLUE", con la ayuda de un osciloscopio de 4 canales marca Micsig modelo SATO1004

## 5.2. Sistema de detección de frenada

Debido a la necesidad de buscar una solución que permita determinar si el usuario ha accionado el freno, para así ajustar y adaptar el simulador a esta nueva situación, se busca una solución que pueda encajar en el proyecto.

### 5.2.1. Detección de accionamiento de freno por medio de interruptor todo o nada

La solución aquí propuesta pretende utilizar el sensor de tipo pulsador (todo o nada) que implementa el modelo de patinete utilizado (Figura 38).



Figura 38 Sensor de tipo pulsador implementado en el freno

El sensor aquí expuesto, basa su funcionamiento en la detección del accionamiento del freno por medio de la activación y desactivación del pulsador que este incorpora internamente. En la Figura 39, se muestra el receptáculo donde va instalado el sensor, así como el elemento accionador.



Figura 39 Receptáculo y elemento accionador del sensor de detección de frenada

Un circuito adecuado para la detección de la acción de frenada se muestra en la Figura 40. El circuito consta de una resistencia de *pullup* R1, la cual mantiene un nivel alto en la entrada del microcontrolador; un condensador C1, a modo de filtro; un diodo Zener D1 de 5.1 V, utilizado a modo de protección; y una resistencia R2 encargada de limitar la corriente que circula por el pulsador.



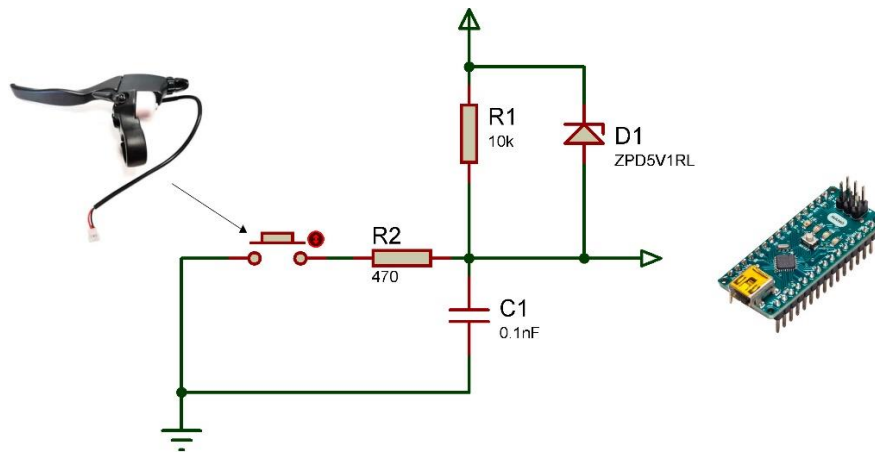


Figura 40 Circuito propuesto para la detección de la acción de frenada

Cuando el freno no está accionado, mantiene el pulsador activado por medio del resorte mostrado en la tercera foto de la Figura 39. En este punto el microcontrolador lee un estado lógico bajo en su entrada, reconociendo así que el freno no ha sido accionado. Por el contrario, al momento de accionar el freno, el pulsador deja de estar activado, manteniendo un nivel lógico alto en la entrada del microcontrolador, permitiendo a este reconocer el nuevo estado.

El montaje aquí expuesto, permite detectar la acción de frenada; sin embargo, no puede determinar el grado de intensidad de esta, lo que lo convierte en una solución inadecuada.

## 5.3. Sistema de detección del ángulo de giro

Para determinar el ángulo de giro, es preciso contar con una solución que permita obtenerlo de manera absoluta e inequívoca. Para esto, soluciones como la analizada en capítulos anteriores quedan descartadas, pues son muy vulnerables a agentes externos e inducen errores a largo plazo por aspectos como el ya mencionado *drift* al momento de integrar.

### 5.3.1. Diseño de sensor de giro basado en sensores de efecto hall instalado en manillar

La solución aquí desarrollada tiene como premisa la no modificación de la estética global del conjunto, esto es, no se eliminarán ni se añadirán componentes que de alguna forma cambien significativamente el aspecto físico del patinete eléctrico, con el objetivo de mantener al máximo su aspecto original de fábrica.

Se propone el diseño desde cero, de un sensor basado en imanes y sensores de efecto Hall. La idea consiste en desarrollar un encapsulado que permita alojar un conjunto de imanes dispuestos alternativamente, de manera que sea posible determinar en qué grado ha girado el manillar por medio de la cuenta de pulsos generados a su paso por dichos sensores. Este tipo de sensores corresponden a la familia de *encoders* rotativos incrementales, los cuales son muy utilizados en este tipo de aplicaciones. Su principio de funcionamiento corresponde con lo ya explicado en el apartado 5.1.2, por lo que no se va a detallar en profundidad en el apartado actual.

A modo de ejemplo, se muestra en la Figura 41 la disposición relativa de los imanes respecto al conjunto de sensores de efecto Hall.

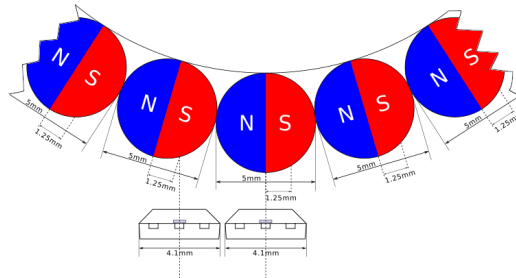


Figura 41 Disposición de imanes respecto a la pareja de sensores de efecto Hall. Imagen obtenida de <https://ao2.it/en/blog/2018/05/31/low-cost-and-precise-rotary-encoder-magnetic-spheres>

La señal generada en este tipo de configuración corresponde a la de la Figura 42, en la cual se observa cómo es posible determinar la dirección de desplazamiento tras el análisis de esta. El esquema de fases aquí detallado, basado en 90 grados entre las salidas A y B, se conoce como “cuadratura”.

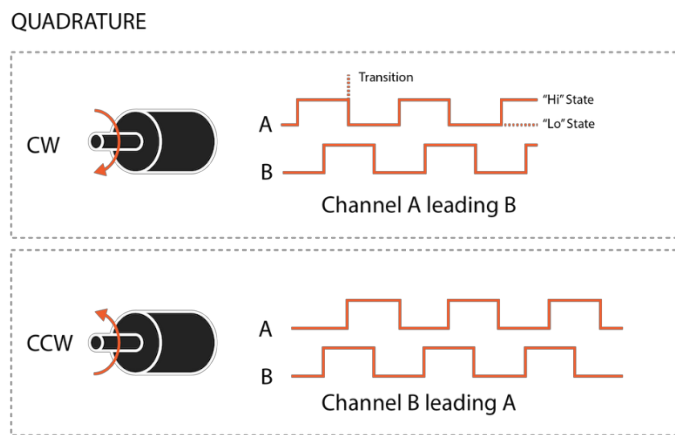


Figura 42 Pulsos en cuadratura generados por un encoder incremental. Imagen obtenida de <https://dewesoft.com/es/blog/medicion-de-rpm-con-sensores-digitales-y-contadores>

Si se conoce la posición exacta desde la que se empiezan a contar los pulsos, y se diferencia en todo momento cuándo estos son a izquierdas o a derechas, es posible determinar de manera muy precisa (depende del número de pulsos generados por vuelta) la cantidad de desplazamiento efectuado y por consiguiente el ángulo de giro.

La decisión de diseñar el sensor, en lugar de adquirir uno de tipo comercial, tiene una motivación no solo económica, sino también estética, ya que la implementación de estos suele requerir de modificaciones importantes del conjunto de elementos que conforman la estructura del patinete, como la sustitución de la rueda delantera por un *encoder*, o la modificación de parte de la estructura del patinete, por no estar dichos sensores especialmente diseñados para encajar en esta.

La elección del tipo de sensor escogido no es arbitraria, sino que se debe a que su implementación se puede realizar utilizando componentes disponibles en el mercado, ofrecidos en tamaños y formatos muy pequeños. Ello permitirá miniaturizar su diseño sin que este deje de ser viable, en cuanto que no es preciso disponer de herramientas muy especializadas. A modo de ejemplo, en la Figura 43 podemos observar cuán pequeños pueden llegar a ser algunos de los imanes disponibles en el mercado.

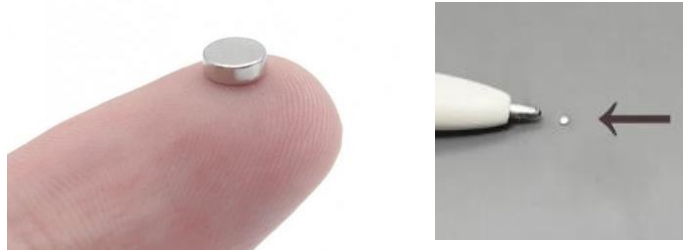


Figura 43 Imanes de Neodimio de tamaño muy reducido

Ejemplos que ilustran el tamaño de los sensores de efecto Hall, son apreciables en la Figura 44. A la izquierda de la figura, tenemos un sensor de la marca Texas Instruments en un encapsulado TO-92-3 cuyo tamaño es de 3x4x1.5 mm (Alto, Largo, Ancho). Por otro lado, a la derecha, encontramos un sensor de la marca *Infineon* con encapsulado SC-59 cuyo tamaño es de 1.6x3x1.1 mm (Alto, Largo, Ancho). Como se puede observar, son sensores de tamaño muy reducido, lo que permite su implementación en espacios realmente pequeños.



Figura 44 Sensores de efecto Hall. LPG0003A de Texas Instruments (Izquierda), TLE49462KHTSA1 de Infineon (Derecha)

A efectos de comprobar la viabilidad de la iniciativa propuesta, se construye un pequeño prototipo utilizando materiales corrientes como son madera, un tornillo, arandelas, un rodamiento, varios imanes y silicona caliente. El resultado después de haber pegado los distintos sensores en su correspondiente lugar es el mostrado en la Figura 45.

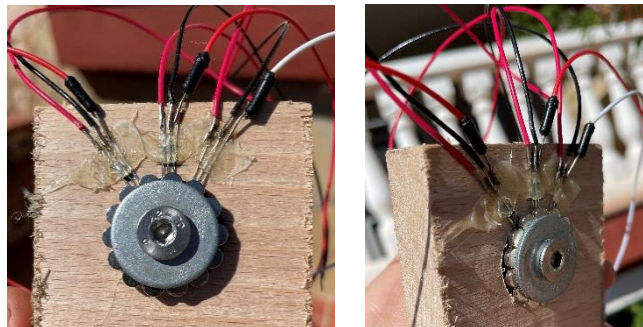


Figura 45 Prototipo de un encoder incremental basado en imanes y sensores de efecto Hall

Las pruebas realizadas con la ayuda de un osciloscopio de 4 canales son prometedoras (Figura 46), pues revelan que una implementación del sistema a escala más reducida podría solucionar el problema (teniendo en cuenta las inexactitudes provocadas por la colocación manual del conjunto de sensores), permitiendo adquirir el ángulo de giro por medio de determinar el número de pulsos generados, sin modificar en demasía la estructura del patinete.

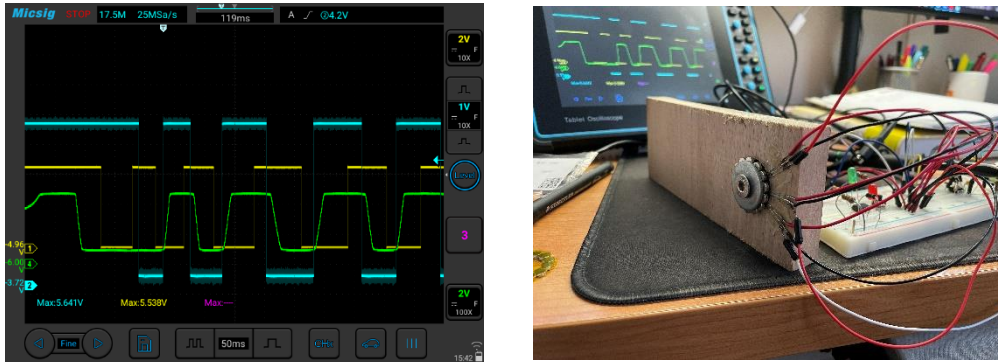


Figura 46 Pruebas realizadas con el prototipo de encoder desarrollado

Para determinar la ubicación y tamaño del prototipo del sensor, se desmonta el patinete en su totalidad, prestando especial atención a la parte del chasis que contiene la horquilla delantera. Se registran las medidas del conducto interior del chasis, la arandela de sujeción, así como del diámetro de la horquilla que lo atraviesa, elementos observables en la Figura 47.



Figura 47 Elementos que conforman el sistema de sujeción de la dirección al chasis

Posteriormente se realiza un boceto (Figura 48) de las medidas tomadas con el fin de visualizar posibles espacios que puedan servir para alojar el sensor en su interior. Las líneas negras representan el hueco disponible en el interior del chasis, así como las cotas de línea más importantes; del mismo modo, las líneas rojas representan el eje de la horquilla y su diámetro; por otra parte, las líneas verdes representan la arandela de sujeción, así como las cotas del espacio que ocupa; por último, en azul se detalla el espacio libre. Como se observa, existe un espacio de 7.5x8.7 mm a lo largo de toda la circunferencia interior del chasis, que se puede aprovechar para la implementación del sensor.

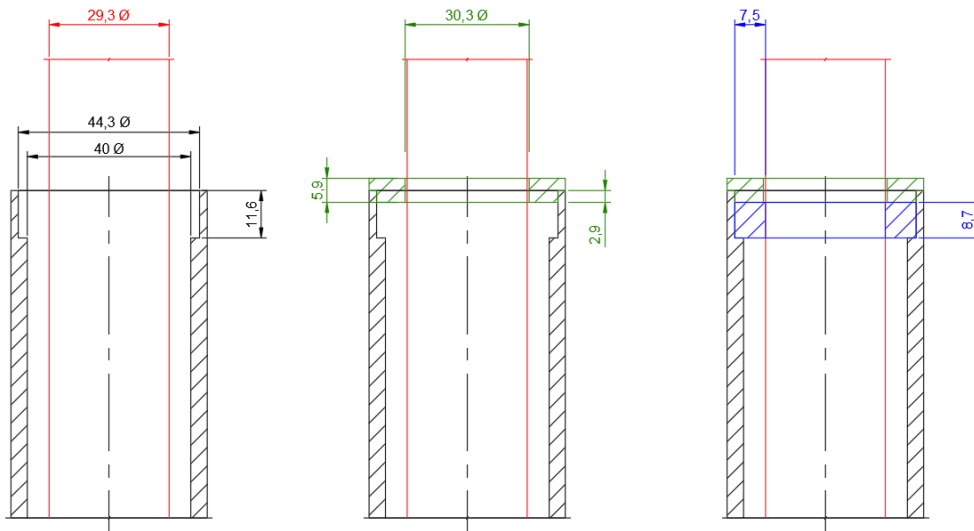


Figura 48 Boceto del análisis del espacio disponible en el interior del chasis. Interior chasis (negro), horquilla (rojo), arandela de sujeción (verde), espacio disponible (azul)

Una vez determinado el espacio se procede a diseñar el sensor en la suite de diseño 3D desarrollado por Autodesk, Fusion 360. En la imagen de la Figura 49, se muestra un renderizado del diseño propuesto desarrollado. Por otra parte, en la Tabla 5 se identifican las distintas partes que lo componen.

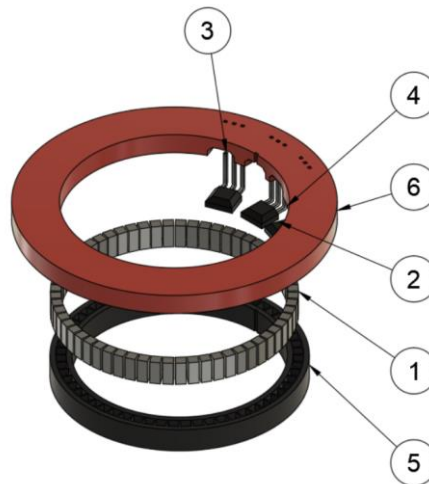


Figura 49 Vista en explosión del sensor de giro desarrollado

Tabla 5 Identificación de las distintas partes que componen el sensor de giro desarrollado

Numero	Descripción
1	Conjunto de imanes (46)
2	Sensor Hall 1 (US5881)
3	Sensor Hall 2 (US5881)
4	Sensor Hall 3 (UGN3503)
5	Receptáculo del conjunto de imanes
6	Receptáculo del conjunto de sensores

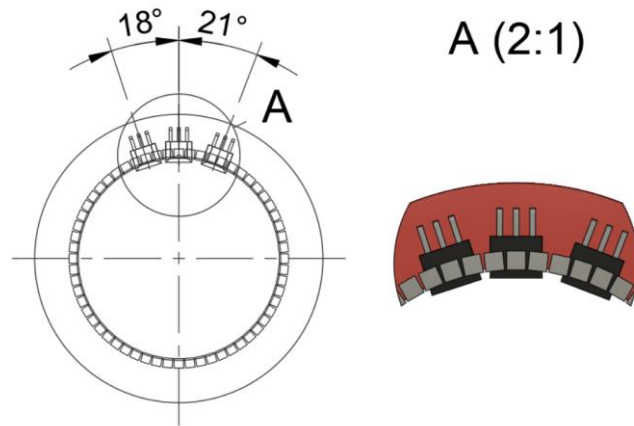


Figura 50 Posición relativa de los sensores con respecto a los imanes

Como se observa en la Figura 49, el sensor consta de un “anillo” representado en color negro, el cual es el encargado de contener el conjunto de imanes dispuestos de manera simétrica a lo largo del eje del manillar. Por otra parte, el conjunto de sensores de efecto Hall se disponen en el “anillo” representado en color rojo. Para lograr que la detección de los imanes genere la ya mencionada señal en cuadratura, la disposición de los sensores con relación a los imanes se configura según lo representado en la Figura 50. Un tercer sensor es añadido; sin embargo, este último funciona de forma distinta al resto, puesto que su función no es generar una señal cuadrada, sino generar una señal proporcional a la magnitud del campo detectado. Esto permite añadir un grado extra de precisión, pues pese al reducido tamaño de todo el conjunto, la señal generada en cuadratura únicamente permite discretizar cambios en el ángulo de giro de aproximadamente 4 grados por paso<sup>13</sup>. Las dimensiones detalladas del sensor diseñado se adjuntan en la Figura 51.

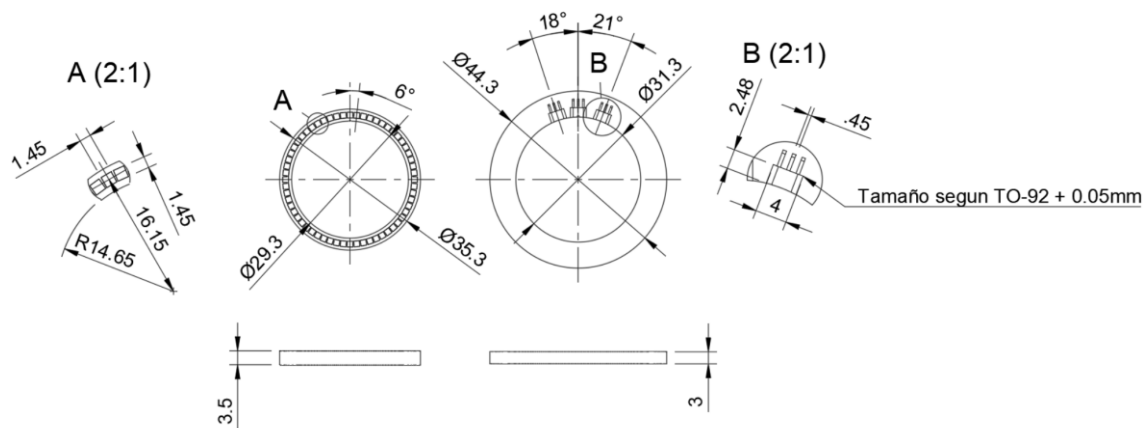


Figura 51 Conjunto de dimensiones del sensor diseñado

<sup>13</sup> Para lograr esta precisión, es necesario contar todos los flancos de subida y bajada generados por cada uno de los sensores



Para su construcción se opta por utilizar impresión 3D en resina. Los resultados de dicha impresión se ilustran en la Figura 52; como se aprecia, el nivel de detalle es elevado.



Figura 52 Resultado de la impresión 3D en resina

Más fotografías que detallan cómo encaja el diseño en el chasis del patinete se observan en la Figura 53. Como puede apreciarse, el diseño encaja perfectamente y no interfiere con ningún elemento.



Figura 53 Colocación de las piezas diseñadas en 3D en el interior del chasis del patinete

El imán utilizado es un imán de Neodimio de 1.4x1.4x3 mm (Figura 54). Los sensores 1 y 2 corresponden al modelo US5881 de *Melexis*<sup>14</sup>, mientras que el sensor 3 es el UGN3503 de *Allegro MicroSystems*<sup>15</sup>.



Figura 54 Fotografía tomada del imán utilizado y su colocación en el anillo diseñado a este fin

Con un montaje similar al mostrado en la Figura 46, pero en esta ocasión utilizando el sensor diseñado, obtenemos los resultados detallados en la Figura 55.

<sup>14</sup> Datasheet disponible en <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/224016/MELEXIS/US5881.html>

<sup>15</sup> Datasheet disponible en <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/55100/ALLEGRO/UGN3503.html>

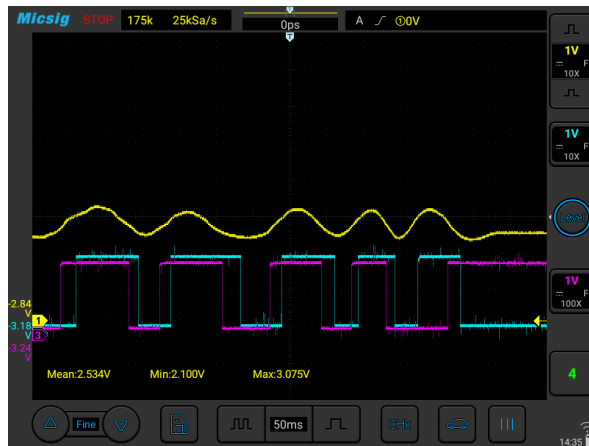


Figura 55 Forma de onda obtenida de la puesta en funcionamiento del sensor desarrollado

Una ampliación más detallada se muestra en la Figura 56.

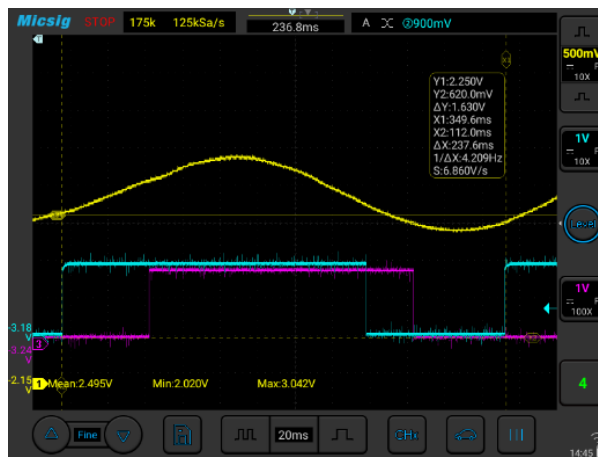


Figura 56 Ampliación de la señal generada por el sensor desarrollado

Lo primero que se observa es la falta de correspondencia con el patrón descrito en la Figura 42, el cual describe una señal en cuadratura. Tras analizar los resultados en detalle y comprobar que efectivamente la colocación de los sensores es la adecuada, se llega a la conclusión de que el efecto que aquí se observa es debido a la histeresis que presenta el sensor US5881 utilizado (Figura 57), y al hecho de que este sensor es de tipo unipolar, por lo que presenta un comportamiento distinto al esperado al tiempo de detección de flanco cuando se da lugar la transición de polo Norte a Sur dada por el imán.

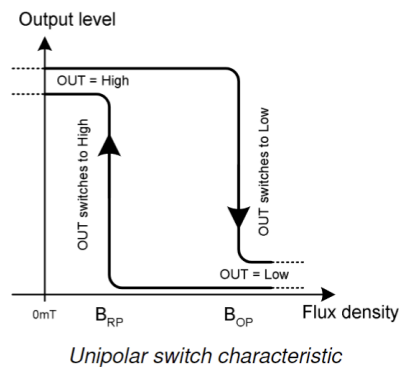


Figura 57 Histeresis generada al tiempo de detección del sensor US5881



La utilización de un sensor de tipo bipolar podría solucionar el problema, mejorando la precisión en tiempo de detección y sus características generales. Para ello se propone el sensor SS41 de *Honeywell*<sup>16</sup>. El comportamiento de la señal analógica generada por el sensor UGN3503 (señal amarilla de la Figura 55) corresponde con lo esperado, por lo que no se necesita profundizar más en detalle.

Concluyendo, a falta de matizar detalles como su fijación y colocación, así como ajustes que garanticen un correcto funcionamiento del conjunto, se necesitaría implementar un algoritmo de control por microcontrolador que determinara, con la ayuda de toda la información generada, el ángulo de rotación en un momento dado.

Debido a la falta de tiempo y recursos, su análisis se detiene en este punto del proyecto para dar pie a nuevos enfoques y explorar así otras posibles soluciones.

## 5.4. Microcontrolador

Un aspecto importante del proyecto es determinar cómo se van a procesar los datos generados. Aspectos como el número de periféricos, el número de entradas y salidas, la velocidad de procesado, conectividad y compatibilidad de voltajes, son claves para asegurar un buen funcionamiento de todo el conjunto. Decidir si se va a procesar todo con un único microcontrolador, o por el contrario, se utilizarán varios configurados de manera que se comuniquen entre sí para garantizar que todo se lleve a cabo en los tiempos impuestos, es también un aspecto importante. Todo ello para cumplir con los requisitos de tiempo de procesado y envío de datos al computador encargado de la simulación del entorno virtual.

### 5.4.1. Arduino UNO R3

Arduino UNO R3<sup>17</sup> (Figura 58) es sin duda la placa de desarrollo más extendida y conocida. Cuenta con las características detalladas en la Tabla 6, en las cuales se destaca su tolerancia a trabajar con voltajes de 5 voltios.



Figura 58 Arduino UNO

Está equipado con un microcontrolador ATmega328P, configurado mediante reloj externo a una frecuencia de 16 MHz. Su arquitectura es RISC (*Reduced Instruction Set Computing*) y contiene un total de 131 instrucciones, de las cuales la mayoría únicamente necesitan un ciclo de reloj para llevarse a cabo.

<sup>16</sup> Datasheet disponible en <https://www.farnell.com/datasheets/2619483.pdf>

<sup>17</sup> Datasheet disponible en <https://docs.arduino.cc/static/fa1f913df14dd3a42ad4e018bbd6d552/A000066-datasheet.pdf>

Tabla 6 Características técnicas Arduino UNO R3

<b>Nombre del dispositivo</b>	<i>Arduino Uno R3</i>
<b>Procesador</b>	<i>ATmega328P</i>
<b>Velocidad de procesamiento</b>	<i>16 MHz</i>
<b>Memoria</b>	<i>flash CPU 32 kB, SRAM 2 kB</i>
<b>Número de E/S</b>	<i>14</i>
<b>Periféricos</b>	<i>6 pines PWM, 1 UART, 1 SPI, 1 I2C</i>
<b>Contadores y Temporizadores</b>	<i>2x8 Bit, 1x16 Bit, 1 Real Time</i>
<b>Unidades de procesamiento analógico</b>	<i>6 (ADC 10 bit)</i>
<b>Conectividad</b>	<i>USB</i>
<b>Voltaje de funcionamiento</b>	<i>4.5 - 5.5 V @ 16 MHz, 5 V (E/S)</i>
<b>Dimensiones</b>	<i>Longitud 68.6 mm, ancho 53.4 mm, peso 25 g</i>
<b>Precio</b>	<i>24 € + IVA</i>

Cuenta con distintas fuentes de interrupciones; dos de ellas son externas, activadas por hardware. Estas interrupciones son muy útiles a la hora de trabajar con *encoders*, pues permiten detectar los pulsos generados por estos, tan pronto como se producen. De esta forma se evita perder información al tiempo de ejecución del programa, pues la pérdida de un solo pulso devengaría en errores en la medida que no se podrían reajustar sin una calibración desde cero. Esto es importante, pues en términos prácticos el sistema es incapaz de evaluar si ha habido pérdida de información y únicamente podría determinarse en contextos en los que los valores obtenidos estuvieran fuera de los límites físicos del conjunto.

Los 6 conversores analógicos a digital de 10 bits permiten obtener información generada por distintos sensores que generen a su salida una tensión proporcional a la magnitud de medida registrada. Su gran fondo de escala (0 a Vcc) permite conectar señales de hasta 5V, una tensión muy común en sensores de efecto Hall ratiométricos.

Otro aspecto a destacar es su incorporación de un puerto serie UART, el cual permite al microcontrolador comunicarse con dispositivos externos, incluidos computadores.

Pese a que el microcontrolador que este incorpora tiene un total de 23 puertos de E/S (Entrada/Salida), únicamente se han implementado un total de 14; aun así, es un número considerablemente suficiente para la mayoría de las aplicaciones, incluido esta.

### 5.4.2. Arduino MEGA 2560 Rev3

Una versión más potente de Arduino, pensada para aplicaciones que requieren mayor número de E/S y periféricos, es el Arduino MEGA 2560 Rev3<sup>18</sup> (Figura 59), cuyas características más significativas se detallan en la Tabla 7.

El microcontrolador que incorpora es el ATmega2560, configurado para operar a 16 MHz. En este aspecto, no hay diferencias respecto al Arduino Uno R3. Su arquitectura es RISC y cuenta con un total de 135 Instrucciones.

<sup>18</sup> Datasheet disponible en <https://docs.arduino.cc/static/62e8c1324931ab6a0d98fdf5a65dd864/A000067-datasheet.pdf>



En cuanto a periféricos, esta placa de desarrollo cuenta con hasta 4 puertos serie UART, lo que le permite comunicarse con multitud de dispositivos al mismo tiempo. Esta puede ser una característica importante a tener en cuenta si, por ejemplo, se requiere comunicar 2 microcontroladores a la vez y, al mismo tiempo, se transmite la información procesada al computador.

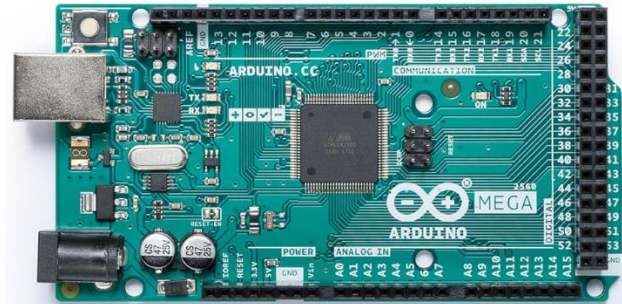


Figura 59 Arduino MEGA 2560 Rev3

Tabla 7 Características técnicas Arduino MEGA 2560 Rev3

<b>Nombre del dispositivo</b>	<i>Arduino MEGA 2560 Rev3</i>
<b>Procesador</b>	<i>ATmega2560</i>
<b>Velocidad de procesamiento</b>	<i>16 MHz</i>
<b>Memoria</b>	<i>flash CPU 256 kB, SRAM 8 kB</i>
<b>Número de E/S</b>	<i>54</i>
<b>Periféricos</b>	<i>15 pines PWM, 4 UART, 1 SPI, 1 I2C, JTAG</i>
<b>Contadores y Temporizadores</b>	<i>2x8 Bit, 4x16 Bit, 1 Real Time</i>
<b>Unidades de procesamiento analógico</b>	<i>16 (ADC 10 bit)</i>
<b>Conectividad</b>	<i>USB</i>
<b>Voltaje de funcionamiento</b>	<i>4.5 - 5.5 V @ 16 MHz, 5 V (E/S)</i>
<b>Dimensiones</b>	<i>Longitud 101.5 mm, ancho 53.3 mm, peso 37 g</i>
<b>Precio</b>	<i>42 € + IVA</i>

En cuanto a interrupciones externas controladas por hardware, esta placa cuenta con hasta 8 interrupciones, lo que le brinda la posibilidad de gestionar multitud de eventos. El gran número de puertos de E/S, un total de 54, es demasiado elevado para lo que se pretende realizar en este proyecto; sin embargo, aspectos como el número y tipo de periféricos que podemos encontrar en esta placa son realmente interesantes.

### 5.4.3. Pro Micro DEV-12640 Sparkfun

Una placa de desarrollo, esta vez más compacta, que cumple con los requisitos de voltaje impuestos, es la DEV-12640<sup>19</sup> de *Sparkfun* (Figura 60). Las características técnicas de esta placa las encontramos en la Tabla 8.

<sup>19</sup> Datasheet disponible en <http://cdn.sparkfun.com/datasheets/Dev/Arduino/Boards/ATMega32U4.pdf>

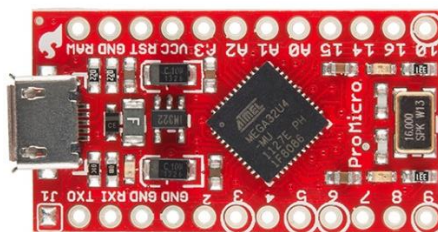


Figura 60 Pro Micro DEV-12640 de Sparkfun

Tabla 8 Características técnicas de Pro Micro DEV-12640 de Sparkfun

<b>Nombre del dispositivo</b>	<i>Pro Micro DEV-12640</i>
<b>Procesador</b>	<i>ATmega32U4</i>
<b>Velocidad de procesamiento</b>	<i>16 MHz</i>
<b>Memoria</b>	<i>flash CPU 32 kB, SRAM 2.5 kB</i>
<b>Número de E/S</b>	<i>12</i>
<b>Periféricos</b>	<i>5 pines PWM, 1 UART, 1 SPI, 1 I2C, USB 2.0, JTAG</i>
<b>Contadores y Temporizadores</b>	<i>1x8 Bit, 2x16 Bit, 1x10 Bit High Speed</i>
<b>Unidades de procesamiento analógico</b>	<i>9 (ADC 10 bit)</i>
<b>Conectividad</b>	<i>USB</i>
<b>Voltaje de funcionamiento</b>	<i>4.5 - 5.5 V @ 16 MHz, 5 V (E/S)</i>
<b>Dimensiones</b>	<i>Longitud 33 mm, ancho 17.7 mm</i>
<b>Precio</b>	<i>18 € + IVA</i>

Nuevamente su microcontrolador, en este caso el ATmega32u4, está configurado para operar a 16 MHz, cuenta con arquitectura RISC y un total de 135 instrucciones. Sin embargo, este modelo incorpora un periférico USB 2.0 que puede funcionar tanto a “Full-speed” como “Low-speed”, según especifica la norma “*Universal Serial Bus Specification Rev 2.0*”<sup>20</sup>. Este periférico puede utilizarse para realizar comunicaciones entre microcontrolador y computador de manera más rápida y eficiente, lo que, junto a su reducido tamaño y precio, lo convierte en una solución muy adecuada.

Cuenta con un puerto de comunicación serie UART adicional, para comunicación entre dispositivos microcontrolados. Pese a sus reducidas dimensiones, este incorpora 12 puertos E/S, así como un total de 9 conversores D/A (Digital/Analógico), los cuales son suficientes para cubrir cualquier aspecto técnico del proyecto.

## 6. Justificación de la solución adoptada

En este apartado, se detalla y justifican las decisiones tomadas, así como las soluciones implementadas de cara a la consecución de objetivos impuestos en el proyecto.

<sup>20</sup> Norma disponible en <https://www.usb.org/document-library/usb-20-specification>



## 6.1. Plataforma y sistema de sujeción

El primer aspecto a considerar en esta materia es la seguridad. La plataforma debe ser capaz de aguantar no solo el peso de todo el conjunto, sino además el peso de usuarios de índole muy diversa, pues los usuarios bajo estudio deben poder representar lo más fielmente posible todo el rango de población. Algunos de estos aspectos incluyen la edad, el sexo y el peso, entre otros. Otro aspecto directamente relacionado con la seguridad es que la estructura no presente zonas que puedan inducir a tropiezos o golpes indeseados, por lo que cualquier elemento debería evitar quedar demasiado expuesto para evitar este tipo de accidentes.

Para lograrlo, el plan propuesto es el que sigue:

- Retirar todos los elementos considerados como innecesarios o que supongan un riesgo para la seguridad
- Revisar todos los elementos estructurales de los que se dispone, con el fin de aprovechar recursos y reducir costes
- Definir los elementos a utilizar y adquirir aquellos de los que no se disponga
- Realizar el diseño y mecanizar los elementos necesarios
- Montar y comprobar la solidez del conjunto

En la Figura 8 se mostraba el antiguo sistema de sujeción. Como se aprecia, está lleno de elementos punzantes que pueden causar serios daños a los usuarios si no se opera con extrema precaución, por no mencionar la poca practicidad en su operabilidad. Tras revisar el inventario disponible en el almacén, se determina que es posible diseñar un sistema de fijación capaz de suplir y eliminar en gran medida los problemas aquí descritos, pues se dispone de perfiles de aluminio suficientes, así como elementos de sujeción y herramientas para realizar un rediseño completo del elemento de sujeción. En la Figura 61, se muestra un renderizado<sup>21</sup> del diseño global propuesto para su implementación, mientras que en la Figura 62, se muestra más en detalle dicho diseño.



*Figura 61 Renderizado 3D global del elemento de sujeción del patinete eléctrico*

<sup>21</sup> Renderizado realizado en Fusion 360



Figura 62 Renderizado 3D en detalle del elemento de sujeción del patinete eléctrico

La justificación de esta solución viene apoyada por su fácil implementación, su viabilidad y la disponibilidad de todos los elementos requeridos para su fabricación y montaje. Es destacable, que, tras su montaje, ningún elemento queda expuesto, y por lo tanto se reduce considerablemente el riesgo de accidentes.

## 6.2. Adquisición de velocidad y frenada

Tras todo el análisis realizado, se exponen una serie de puntos que determinan las decisiones a tomar:

- Determinar directamente la velocidad de giro del elemento motriz (rueda delantera), supone implementar un mecanismo que a su vez permita:
  - Arrancar el motor desde 0, ya que este incorpora un sistema de seguridad que le impide funcionar hasta que no alcanza una velocidad mínima de 5 km/h
  - En el caso de un sistema de medición basado en optoacopladores como el descrito en este documento, es necesario transmitir la velocidad al elemento encargado de su captura, aun cuando se cambie la dirección de desplazamiento
  - Implementar un sistema de esta índole, supondría desprestigiar aspectos físicos como las fuerzas inerciales y de rozamiento, pues el patinete se encuentra suspendido en la plataforma
- Es necesario que tanto el sistema de adquisición de velocidad como de frenada puedan trabajar conjuntamente, pues ambos elementos están instalados en ruedas opuestas
- En el caso de la frenada, es necesario conocer el grado de fuerza en el que esta se da

Con todo esto en mente, se alcanzan las siguientes conclusiones:

- Se debe implementar un sistema que permita adquirir la suficiente información para poder determinar en cualquier tipo de escenario la velocidad real del patinete
- El sistema a implementar no debe suponer una gran inversión y en consecuencia elementos complejos y de difícil instalación
- No debe interferir en la experiencia de usuario y ser por tanto equivalente al uso original

La solución que se adapta mejor al escenario descrito es utilizar el patinete como si de un mando de juegos se tratara; esto es, parametrizar todos los controles para posteriormente modelizar su comportamiento real en el simulador.

Para ello, en el caso de la velocidad, se pretende reutilizar el acelerador que estos patinetes incorporan. Este se puede ver en la Figura 63.



Figura 63 Acelerador Xiaomi m365 1S

Dicho acelerador genera una tensión a su salida, proporcional al grado de accionamiento de este. La señal es generada por medio de la implementación de un sensor de efecto Hall y un par de imanes opuestos, de manera que, al accionar el acelerador, el sensor empieza a alejarse del primer imán, aumentando así el nivel de tensión (funciona de manera inversamente proporcional a la cercanía del sensor), aspecto observable en el primer tramo de la señal mostrada la Figura 64. Pasado la mitad del recorrido, el segundo imán, en polaridad opuesta al primero, empieza a actuar aumentando más el nivel de voltaje en la salida.

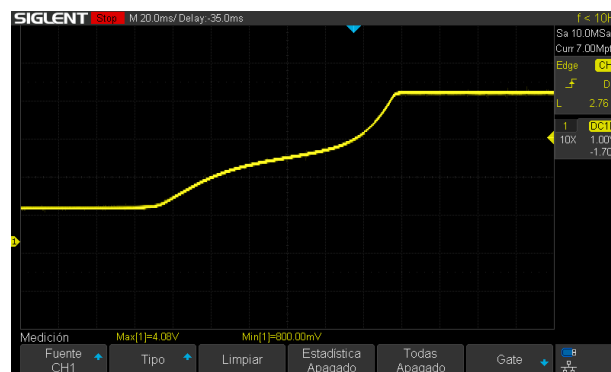


Figura 64 Señal generada por el acelerador

El objetivo es por tanto adquirir, adaptar y procesar dicha señal, con el objetivo de parametrizarla en un rango del 0 al 100, y enviarla al equipo informático a cargo de la simulación.

Con esta información y un estudio posterior del comportamiento real del patinete, se podrá modelizar y por tanto simular de manera efectiva el comportamiento de este en el simulador.

La operativa a llevar a cabo para la adquisición del nivel de frenada se basa en el mismo principio. En este caso, debido a que el conjunto no tiene implementado ningún sensor capaz de generar una señal equivalente a la del acelerador, se propone diseñar y adaptar uno aprovechando el espacio útil del pulsador utilizado para la detección de frenada en el sistema de control original.

Un renderizado en 3D del modelo a implementar puede observarse en la Figura 65.





Figura 65 Renderizado 3D del sensor de adquisición de frenado diseñado

De igual forma que el sensor del acelerador, este montaje requiere de la colocación de un imán. Para ello, se implementa un pequeño imán en el elemento original encargado de accionar el pulsador visto en la Figura 39. De igual manera, en dicha figura puede observarse el lugar donde se alojará el conjunto.

Una vez implementado y montado, al igual que en el caso anterior, será necesario adaptar y procesar la señal generada y transmitirla al computador. Estos y otros aspectos relacionados se detallarán en el apartado relacionado al microcontrolador.

Esta aproximación permite mantener una experiencia de usuario equivalente (dejando de lado aspectos críticos como el movimiento y sensaciones relacionadas) y a su vez recopilar la suficiente información como para modelizar su comportamiento real en el simulador.

### 6.3. Adquisición de ángulo de giro

Tras revisar las alternativas y sopesar sus pros y contras, se llega a la conclusión de que la solución adoptada no solo tiene que ser sólida y no inducir a errores a medio o largo plazo, sino que además tiene que disponer de los elementos suficientes como para funcionar con la mínima interacción de los operarios, por lo que este debe de incorporar un sistema de auto calibrado.

Además, dado que el manillar no debe de sentirse “suelto” al tacto, situación estrechamente relacionada con el hecho de que el patinete esté sujeto a la plataforma con la rueda delantera en el aire, sería interesante incorporar un sistema autónomo y configurable que ajuste el grado de dureza que experimenta el usuario al tiempo de operar con el manillar.

En este sentido, se decide implementar una solución basada en los actuales volantes de juego dirigidos a simulación de conducción. Estos sistemas implementan *encoders* rotativos y motores configurados para ajustar la fuerza necesaria para maniobrar el volante, así como corregir la trazada en las físicas que experimenta un vehículo al alcanzar cierta velocidad.

Debido a que es necesario unir la horquilla, elemento encargado de transmitir la acción de giro a toda la cadena cinemática con el conjunto mecánico, módulo que incorpora los motores y el *encoder*, es, por tanto, imprescindible modificar la estética general del conjunto, pues se debe retirar la rueda delantera y sustituirla por un elemento de unión diseñado a este fin.

La aportación al proyecto de un volante Logitech modelo G27 (Figura 66) por parte del departamento IDF, permite abaratar costes y simplificar en gran medida la implementación de la solución adoptada.





Figura 66 Volante de ordenador para simulación de conducción Logitech G27. Imagen obtenida de <https://www.dns-shop.ru/product/68394a169d8330b1/rul-logitech-q27/>

Dicho volante se había utilizado en un antiguo simulador y presentaba ya algunas modificaciones. Dichas modificaciones constan de la retirada completa del volante y carcasas externas, así como la incorporación de un chasis de acero hecho a medida, lo que ofrece una estructura sólida y mecanizable a todo el conjunto. La Figura 67 contiene algunas imágenes que ilustran el conjunto descrito.

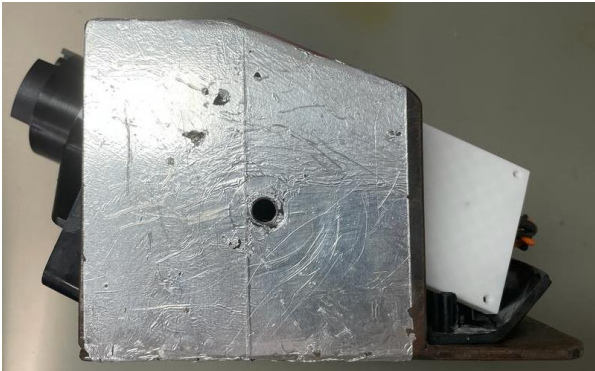


Figura 67 Partes a utilizar pertenecientes al volante Logitech G27

Los motores, así como el *encoder*, pueden verse en la Figura 68.



Figura 68 Conjunto de motores y encoder

Estos motores, funcionan a un voltaje de 24 V en continua, por lo que, para operarlos, se debe utilizar una fuente de alimentación que permita entregar dicho voltaje, así como la potencia demandada por estos.



Figura 69 Representación visual de la colocación del motor en relación con la horquilla del patinete

La solución ha adoptar consta pues de la unión de la horquilla a la base mecánica del volante tal y como se ilustra en la Figura 69. Para ello se necesitará diseñar las piezas que permitan su montaje así como un sistema que permita anclar todo el conjunto a la plataforma, de manera que solo permita un grado de libertad, el que corresponde al giro del manillar.

Otros elementos como la placa de control que permita accionar los motores a partir de señales generadas por el microcontrolador son también requeridos.

A este efecto se selecciona el controlador HW-039 (Figura 70). Este controlador monta un doble puente en H, en concreto, lleva dos controladores BTS7960 especialmente diseñados para ser eléctricamente compatibles con las señales generadas por un microcontrolador.

Este controlador soporta corrientes pico de hasta 43 Amperios de pico, valor extremadamente elevado y muy por encima del actualmente requerido. Sin embargo, su uso tan extendido se refleja tanto en su bajo coste como en su facilidad de uso, lo que lo convierte en un candidato idóneo.

Así mismo, el controlador implementa un sistema que permite determinar en todo momento el consumo de corriente de cada una de las ramas del puente H, lo que permite detectar con la incorporación de circuitería adicional, picos de corriente generados cuando el motor está expuesto a mucha carga, o en nuestro caso, permitir detectar cuando el motor ha alcanzado su posición de desplazamiento máxima. Gracias a este aspecto, podemos determinar con facilidad la posición real del manillar en esta situación particular, y calibrar el sensor de giro de forma automática.



Figura 70 Controlador de motor DC modelo HW-039

Tomando como base el diseño realizado por RamjetX<sup>22</sup> (Imagen derecha Figura 71), se diseñó una segunda pieza en fusión 360 (Imagen izquierda Figura 71), de manera que se pueda realizar la unión entre la horquilla y el soporte de motor de forma sólida.

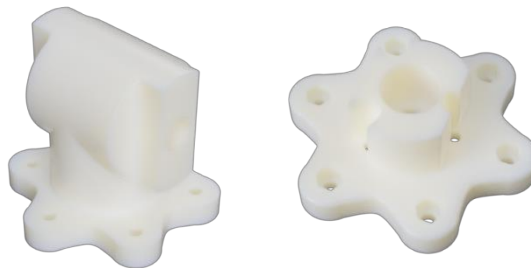


Figura 71 Renderizado 3D de las piezas de unión de la horquilla al motor

<sup>22</sup> Diseño realizado por RamjetX en la web <https://www.printables.com/es/model/115848-ramjetx-logitech-g25g27g29-70mm-hub-adaptor-kit-up>. Su diseño está originalmente pensado para adaptar un volante de otras marcas a la base del volante Logitech G27

Para finalizar, la unión del conjunto a la plataforma se va a realizar utilizando más perfiles de aluminio, aprovechando de esta forma la estructura modular de la plataforma (Figura 72).



Figura 72 Renderizado de la estructura diseñada para sujetar el motor a la plataforma

## 6.4. Microcontrolador

Respecto al sistema de control, se decide dividirlo en dos partes. La razón principal para tomar esta decisión es permitir al conjunto procesar la información de forma paralela y evitar pérdida de información al tiempo de su adquisición y transmisión. El conjunto está formado por una Placa de Circuito Impreso (PCB) diseñada desde cero para que quede completamente integrada en el manillar a modo de reemplazo de la placa de control original que monta el patinete. Esta PCB, contiene todos los elementos necesarios para adquirir, adaptar y procesar la información generada en los sistemas de adquisición de aceleración y frenado. El motivo principal para tomar esta decisión es aportar al conjunto un sistema de adquisición autónomo, que permita digitalizar toda la información de manera que esta sea más inmune al ruido, al tiempo de ser transmitida a la placa de control principal.

Opciones como la de diseñar un sistema de transmisión por corriente se descartan por requerir de circuitería dependiente de voltajes regulados distintos de los 5 V utilizados en todo el conjunto, por otra parte, enviar la información generada directamente hasta la placa de control, se descarta, pues la distancia que debe recorrer la señal es superior a 1 metro, atravesando distintos elementos metálicos que, sumado al hecho de que se desconoce el ambiente de trabajo al que todo el conjunto se va a exponer, podría suponer pérdida o distorsión de la señal original, devengando en errores de lectura.

La aproximación tomada, no solo permite añadir elementos de adaptación de señal en las proximidades de los sensores, o elementos de control como la detección de conexión de estos, sino que, además, nos permite añadir un pulsador, el cual puede adaptarse a cualquier necesidad futura. Todo ello, aprovechando la estructura del montaje original.

El microcontrolador escogido para su implementación es el ATmega328P en su encapsulado QFP80. Este microcontrolador ofrece las características vistas en la Tabla 6. Su tamaño pequeño no presenta dificultades de cara a su colocación y soldado, y permite una integración óptima en la PCB.

Como se ha comentado, se implementa un circuito, que, sin alterar la señal original, permite detectar la presencia de ambos sensores, indicando de forma visual la presencia o no presencia de estos, de esta forma se torna fácil identificar posibles problemas relacionados, pues de un vistazo se puede determinar si los sensores se encuentran conectados y funcionales. Para este circuito se escoge un Amplificador Operacional (AO) modelo LM358P en su encapsulado TSSOP de 8 pines a modo de reducir el tamaño y optimizar espacios.

Debido a la necesidad de adaptar los niveles de tensión generados por ambos sensores y aprovechar así el fondo de escala de los conversores A/D del microcontrolador, se dispone de un total de 4 AO de tipo “rail to rail<sup>23</sup>” encapsulados en un solo integrado. El modelo escogido es un AD8574 de *Analog Devices*. La justificación de tomar dicha decisión la motiva la necesidad de aprovechar al máximo todo el fondo de escala sin tener que utilizar circuitería que dependa de voltajes superiores a los 5 V ya comentados. De esta forma se reduce el espacio y se consigue implementar un circuito que cumple especificaciones sin añadir circuitería adicional. 2 de los AO que incorpora este integrado se utilizan a modo de filtrado y ajuste de ganancia mientras que los otros dos, se utilizan para ajustar el *offset* con la ayuda de dos potenciómetros diseñados a tal fin.

El protocolo de comunicación utilizado para la transmisión de datos entre la placa de adquisición y la placa de control es UART, ya explicado en el punto 3.1.3 *Microcontrolador y procesamiento de datos*.

La Figura 73 muestra una captura en 3D de la PCB diseñada.

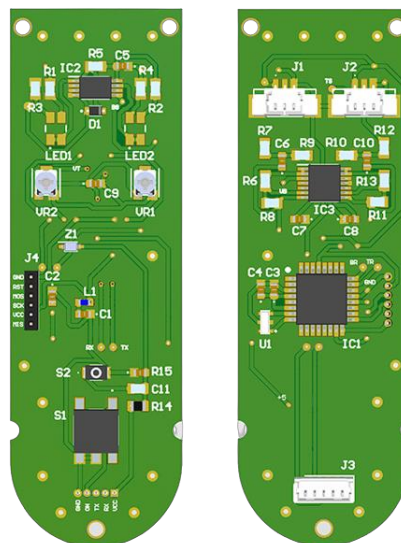


Figura 73 Diseño de PCB del módulo de adquisición instalado en manillar

Para la placa de control principal, se escoge y utiliza un *Arduino Leonardo* como el que se muestra en la Figura 74.

<sup>23</sup> Dicho así a los AO que entregan a su salida un valor muy próximo a su tensión de alimentación





Figura 74 Arduino Leonardo

Sus características se muestran en la Tabla 9. En ella se destacan sus periféricos USB y UART, este último necesario para la comunicación entre la placa de control y la placa de adquisición montada en el manillar.

La posibilidad de utilizar el módulo USB para la comunicación microcontrolador-computador, es muy conveniente, pues permite una conexión sencilla, debido a las librerías extensamente desarrolladas a este fin; y robusta, por el hecho de que se trata de un estándar de comunicación serie muy extendido y probado. Esto asegura transmisiones rápidas a distancias de hasta 5 metros (según especificaciones).

Tabla 9 Características técnicas del Arduino Leonardo

<b>Nombre del dispositivo</b>	<i>Arduino Leonardo</i>
<b>Procesador</b>	<i>ATmega32U4</i>
<b>Velocidad de procesamiento</b>	<i>16 MHz</i>
<b>Memoria</b>	<i>flash CPU 32 kB, SRAM 2.5 kB</i>
<b>Número de E/S</b>	<i>20</i>
<b>Periféricos</b>	<i>7 pines PWM, 1 UART, 1 SPI, 1 I2C, USB 2.0, JTAG</i>
<b>Contadores y Temporizadores</b>	<i>1x8 Bit, 2x16 Bit, 1x10 Bit High Speed</i>
<b>Unidades de procesamiento analógico</b>	<i>12 (ADC 10 bit)</i>
<b>Conectividad</b>	<i>USB</i>
<b>Voltaje de funcionamiento</b>	<i>4.5 - 5.5 V @ 16 MHz, 5 V (E/S)</i>
<b>Dimensiones</b>	<i>Longitud 53.3 mm, ancho 68.6 mm, Peso 20 g</i>
<b>Precio</b>	<i>18 € + IVA</i>

Su gran número de salidas PWM, permiten un control óptimo del motor descrito en el apartado 6.3 *Adquisición de ángulo de giro*.

Para leer de forma correcta la información relativa al *encoder*, se requieren entradas compatibles con interrupciones activadas por *Hardware*. Esta placa de desarrollo incluye un total de 4 entradas de este tipo, de las cuales, 2 de ellas serán utilizadas a este fin, lo que permite disponer de un total de 2 entradas adicionales para futuras mejoras.

Otros aspectos tenidos en cuenta a la hora de escoger dicha placa de desarrollo se enumeran a continuación:

- Relación calidad/precio (21.60 € + IVA)
- Formato y disposición de E/S
- Facilidad de integración con otros módulos
- *Footprints* disponibles para su utilización en el proceso de diseño de otras PCB



- Gran cantidad de librerías de programación disponibles

La Figura 73, muestra un esquema visual de la localización de las placas de control aquí descritas.



Figura 75 Esquema visual de la disposición de microcontroladores en el patinete eléctrico

Esta placa se integrará junto al resto de electrónica necesaria en una única PCB diseñada de forma modular a modo que pueda encajar en el interior de la base del patinete eléctrico, de esta forma, se pretende que todo quede integrado en la estructura del mismo.

Este enfoque pretende conseguir una mayor integración, y, así pues, eliminar riesgos de rotura generados por la exposición al exterior de los distintos elementos que lo conforman.

## 6.5. Alimentación

Los motores utilizados para el auto calibrado y ajuste de fuerza del manillar requieren, según el fabricante, de un voltaje de 24 V y al menos 3 A (72 W).

Del mismo modo, la electrónica encargada de adquirir y procesar la señal requiere de una fuente de alimentación de 5 V y al menos 1 A (5 W) para operar de forma correcta. Estos valores han sido obtenidos utilizando una fuente de alimentación externa y aplicando un margen de seguridad de al menos un 40 %.

Con esto en mente, se escoge una fuente de alimentación estándar de voltaje de salida nominal de 24 V y una potencia máxima de 90 W. Para obtener los 5 V necesarios, se utiliza un regulador DC/DC diseñado para operar con tensiones de entrada de hasta 32 V. Esto nos permite obtener una tensión estabilizada de 5 V al mismo tiempo de disponer del voltaje y potencia necesarios para operar los motores.

En la Figura 76 podemos observar el adaptador de corriente de 24 V modelo TAIFU 24 V AC utilizado como fuente de alimentación principal, mientras que, en la Figura 77, podemos observar el conversor DC/DC. El regulador en cuestión es el modelo EC5A-12S05 de *Cincon*. Este conversor opera con una tensión de entrada que varía desde 9 a 32 V y puede entregar una corriente máxima a su salida de hasta 2 A, esto, nos permite añadir electrónica adicional en un futuro, y evitar que el regulador trabaje lejos de sus valores límite, asegurando un correcto funcionamiento en periodos de tiempos más elevados.



Figura 76 Adaptador de corriente de 24 V, modelo TAIFU 24V AC. Imagen obtenida de <https://www.amazon.de/TAIFU-Ladeeger%C3%A4t-Netzadapter-Perfection-Workforce/dp/B09KZFX21R>

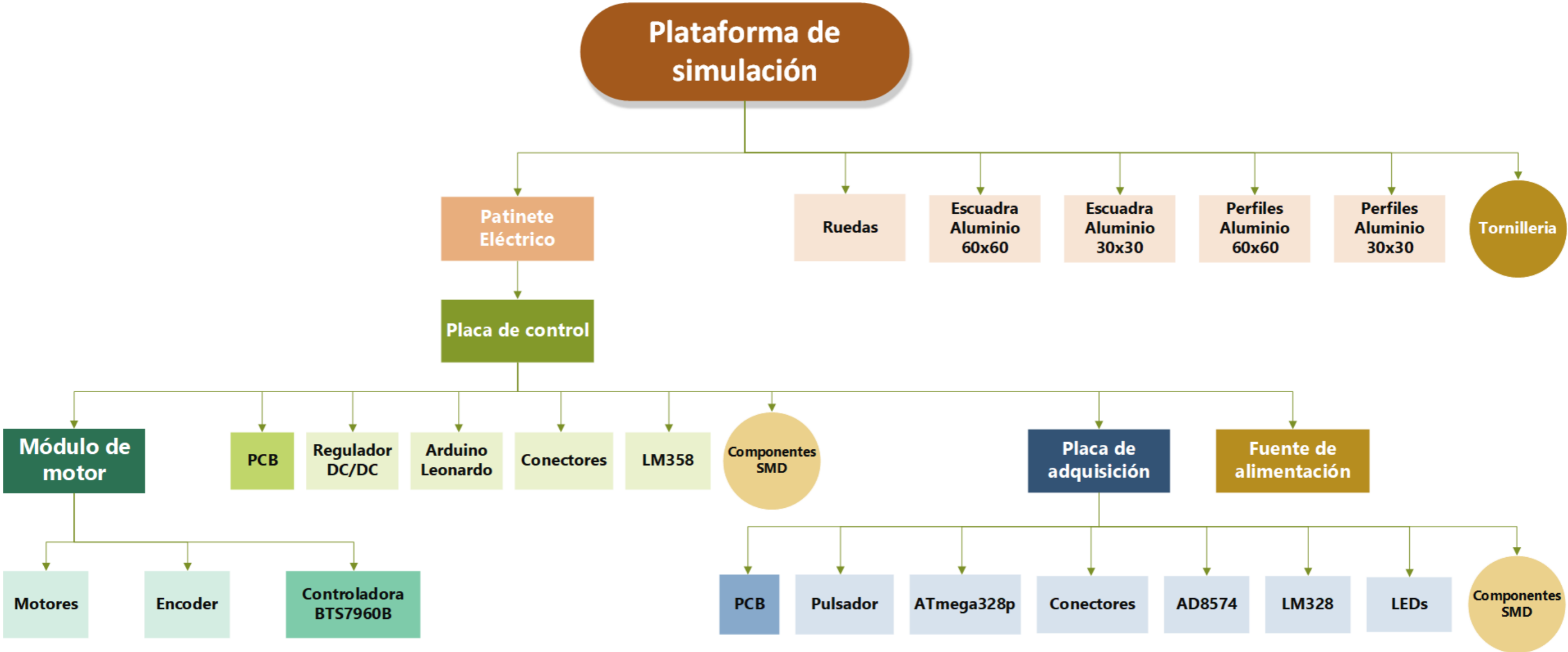


Figura 77 Regulador DC/DC de 5 V marca Cincon modelo EC5A-12S05. Imagen adquirida de <https://www.mouser.es/ProductDetail/Cincon/EC5A-12S05?qs=Pyk%2FfUla%252B1UI1XcLLcelzQ%3D%3D>

## 7. Descripción detallada de la solución adoptada

En este apartado se detallan cada uno de los aspectos técnicos desarrollados durante el diseño, fabricación e implementación de la solución adoptada. En primer lugar, se muestra el organigrama técnico del proyecto a fin de visualizar de un vistazo los elementos más importantes de los que se compone dicha solución. Aspectos como el diseño de hardware y software serán también tratados en este punto.

### 7.1. Organigrama Técnico del proyecto





## 7.2. Estructura y mecánica

Todo lo relacionado con la estructura del simulador (Figura 78), así como aspectos mecánicos de relevancia, serán tratados en este punto.



Figura 78 Estructura completa del simulador

### 7.2.1. Descripción del material

La plataforma está íntegramente construida utilizando perfiles de aluminio ranurado. Para su ensamblaje, otros accesorios son también utilizados. A saber:

- Escuadras angulares
- Tuercas deslizantes M6
- Tuercas Martillo M6
- Tornillos allen M6
- Ruedas con sistema de bloqueo
- Bloques antivibratorios M8
- Tornillería

Las propiedades de los elementos aquí detallados se describen a continuación.

#### Perfilería de aluminio ranurado

Se distinguen dos tamaños de perfil, el pequeño de 30x30 mm, pensado para elementos de sujeción, y el grande de 60x60 mm, orientado a conformar la estructura principal de la plataforma.

Las características técnicas del perfil de aluminio ranurado de 30x30 mm pueden observarse en la Tabla 10, mientras que sus dimensiones se detallan en la Figura 79. Todas las características que aquí se detallan, han sido obtenidas de la web *alu10*<sup>24</sup>.

Tabla 10 Características técnicas del perfil de aluminio ranurado de 30x30 mm

<b>Tipo de perfil</b>	<i>Alu10 - 3030</i>
<b>Tamaño</b>	<i>30x30 mm</i>
<b>Material</b>	<i>Alu 6063-T5</i>
<b>Peso</b>	<i>0.99 kg/m</i>
<b>Momento de inercia</b>	<i><math>I_x = 3.35 \text{ cm}^4 / I_y = 3.35 \text{ cm}^4</math></i>
<b>Módulo resistente</b>	<i><math>Z_x = 2.82 \text{ cm}^3 / Z_y = 2.82 \text{ cm}^3</math></i>

<sup>24</sup> Enlace web - <https://alu10.com/es/>

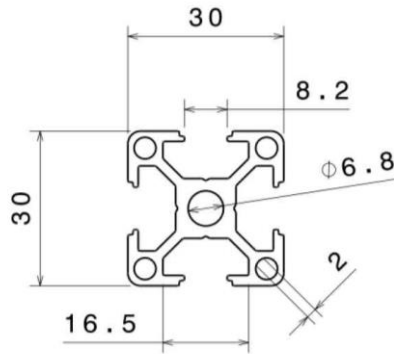


Figura 79 Dimensiones del perfil de aluminio ranurado de 30x30 mm

Del mismo modo, las dimensiones y características técnicas del perfil de aluminio ranurado de 60x60 mm se observan la Figura 80 y la Tabla 11.

Tabla 11 Características técnicas del perfil de aluminio ranurado de 60x60 mm

<b>Tipo de perfil</b>	Alu10 - 6060
<b>Tamaño</b>	60x60 mm
<b>Material</b>	Alu 6063-T5
<b>Peso</b>	2.63 kg/m
<b>Momento de inercia</b>	$I_x = 28.75 \text{ cm}^4 / I_y = 28.75 \text{ cm}^4$
<b>Módulo resistente</b>	$Z_x = 9.68 \text{ cm}^3 / Z_y = 9.68 \text{ cm}^3$

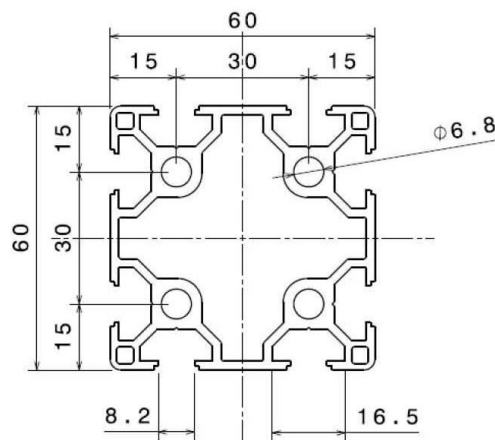


Figura 80 Dimensiones del perfil de aluminio ranurado de 60x60 mm

### Escuadras angulares

Tres tipos de escuadras angulares son utilizadas, las que corresponden a los perfiles de aluminio de 30x30 mm, las de 60x60 mm y una última escuadra utilizada en perfiles de la serie 40x40, estas últimas se utilizan para la sujeción del bloque de motores a la plataforma, pues ofrecen más superficie de unión. Las dimensiones referentes a las escuadras de 30x30 mm, se pueden observar en la Figura 82, las que corresponden a 60x60 mm en la Figura 81 mientras que las que corresponden a la serie 40x40 se muestran en la Figura 83.



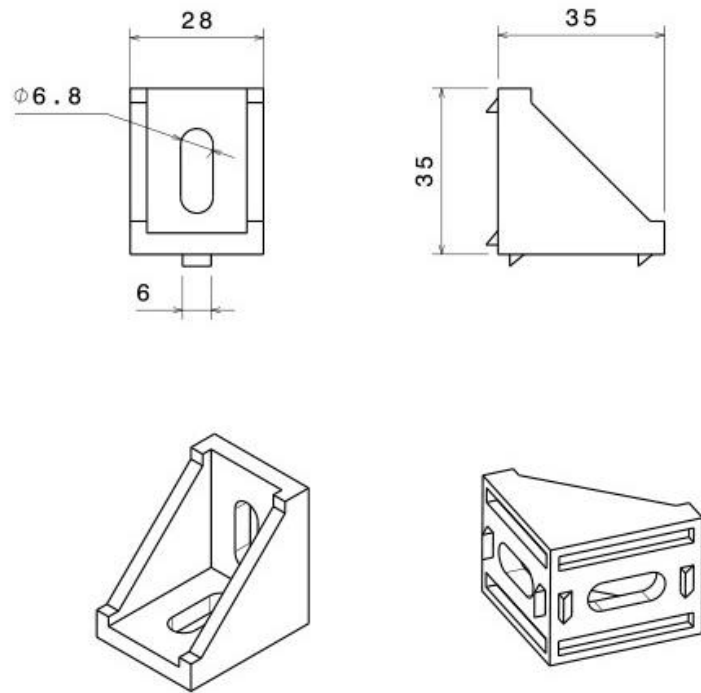


Figura 82 Dimensiones escuadra de fundición de aluminio para perfil de aluminio de 30x30 mm

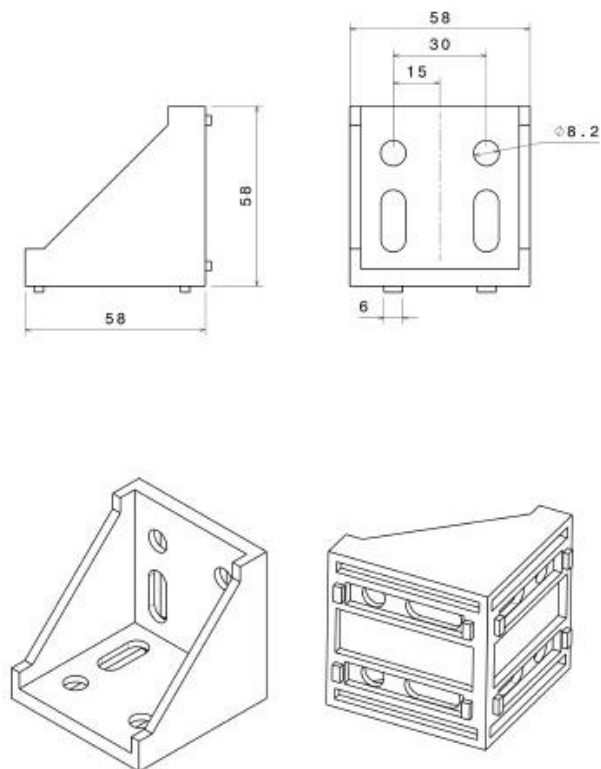


Figura 81 Dimensiones escuadra de fundición de aluminio para perfil de aluminio de 60x60 mm

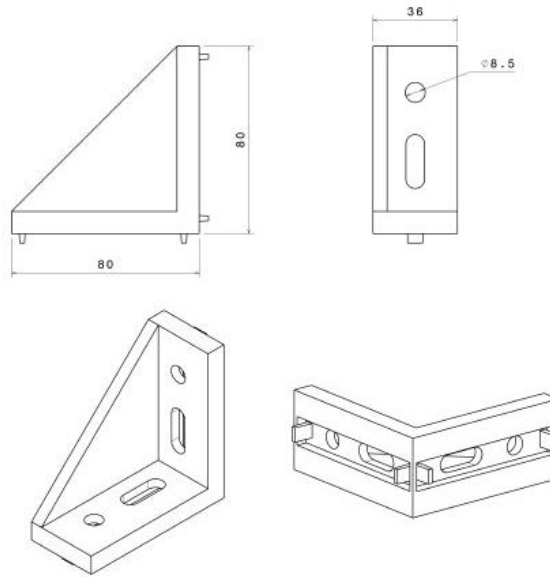


Figura 83 Dimensiones escuadra de fundición de aluminio para perfil de aluminio de 40x40 mm

### Tuercas deslizantes M6

Las tuercas deslizantes se utilizan como punto de anclaje a la estructura. Su diseño permite su inserción en las ranuras de ambos perfiles, pues su tamaño esta estandarizado. Las dimensiones se detallan en la Figura 84.

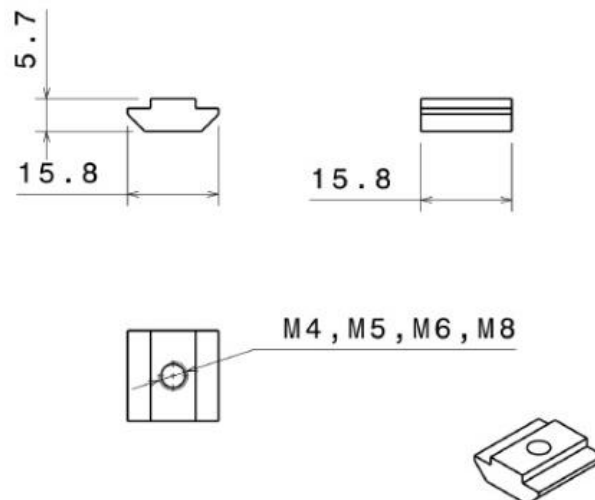


Figura 84 Dimensiones de las tuercas deslizantes

### Tuercas Martillo M6

La función de las tuercas martillo es permitir fijar elementos a la perfilería sin necesidad de desmontar ningún elemento de sujeción, pues su diseño, permite su inserción directa en ajuste de media revolución, esto es, se dispone la tuerca de manera que su superficie de mayor longitud se coloca en paralelo al rail deslizante de manera que este se introduce en su interior, posteriormente con un simple giro, esta queda fijada y preparada para ser utilizada con su tornillo correspondiente. Su dimensionado esta detallado en la Figura 85.

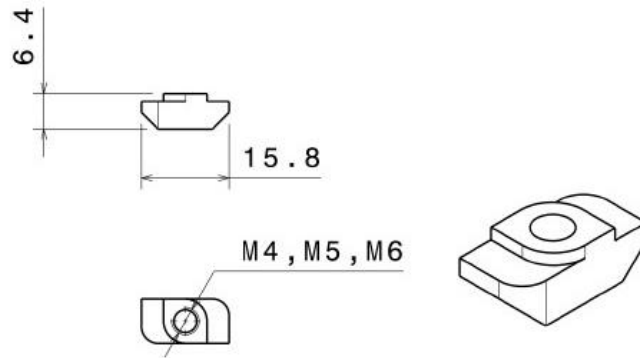


Figura 85 Dimensiones de las tuercas Martillo

### Tornillos Allen M6

Los tornillos allen, están especialmente diseñados para sujetar cada uno de los elementos que conforman la plataforma. Su diseño y longitud permiten sujetar todos los elementos y fijar de manera segura las diferentes estructuras de la plataforma. Los detalles de este tornillo se pueden ver en la Figura 86.

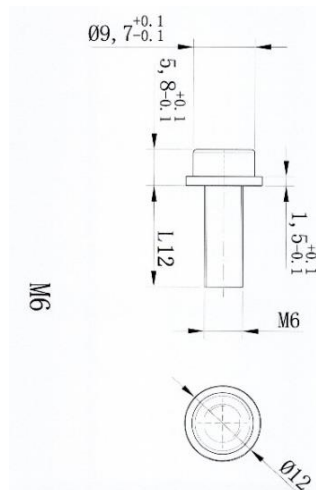


Figura 86 Dimensiones del tornillo allen M6

### Ruedas con sistema de bloqueo

Las ruedas se instalan para otorgar movilidad a la estructura. Estas ruedas disponen de sistema de bloqueo para impedir que la estructura se mueva una vez que esta se encuentra en la posición deseada. El modelo de rueda instalado es el 2477 PJP 125 P50, cuyo fabricante es Tente<sup>25</sup>. Sus características técnicas se encuentran en la Figura 87, mientras que las dimensiones del soporte se encuentran en la Figura 88.

<sup>25</sup> Ruedas disponibles en RS online, enlace <https://es.rs-online.com/web/p/ruedas-industriales/4589939>









							
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg
075	25	60 x 60	48/38 x 48/38	6,3	24	100	75
100	32	77 x 67	61,5/56 x 51,5/46,5	8,5	43,5	135	100
125	32	77 x 67	61,5/56 x 51,5/46,5	8,5	41	160	100
150	32	77 x 67	61,5/56 x 51,5/46,5	8,5	36	185	100

Figura 87 Características técnicas de las ruedas modelo 2477 PJP 125 P50

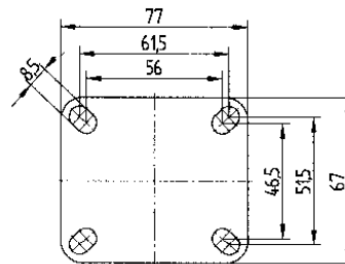


Figura 88 Dimensiones del soporte de las ruedas modelo 2477 PJP 125 P50

### Bloques antivibratorios M8

Los bloques antivibratorios son utilizados para absorber movimientos y vibraciones. La unión proporcionada por estos permite cierto grado de movimiento, evitando de esta forma que elementos mecánicos rígidos puedan romperse en caso de que dichos elementos tengan tendencia a realizar movimientos no compatibles entre ellos. Debido a que la transferencia de movimiento entre toda la cadena cinemática no es uniforme<sup>26</sup>, sumado al hecho de que el eje central que recoge el movimiento de los motores es completamente rígido y no puede absorber dichas irregularidades, el bloque de motores se une a la estructura de la plataforma utilizando estos bloques antivibratorios, permitiendo así, absorber los movimientos indeseados y por lo tanto proteger la integridad de la estructura mecánica. Se utilizan bloques de la marca KAMA, en concreto el modelo 412203030. Encontramos en la Figura 89 un esquema del dimensionado apoyado por la donde se encuentran las dimensiones a las que el esquema hace referencia.

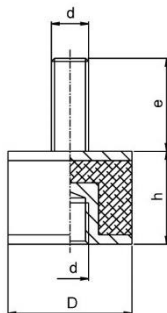


Figura 89 Esquema de dimensiones KAMA 412203030

Tabla 12 Dimensiones referenciadas a la Figura 88

<b>D</b>	<b>30</b>
<b>h</b>	<b>30</b>
<b>d</b>	<b>M8</b>
<b>e</b>	<b>23</b>
<b>C<sub>p</sub></b>	<b>61</b>
<b>C<sub>z</sub></b>	<b>7</b>

<sup>26</sup> Esto ocurre porque el eje de giro del manillar no está perfectamente definido, desplazándose este según se mueve de izquierda a derecha.

## Tornillería

Otro tipo de tornillería es utilizada en la unión de los distintos elementos, a continuación, se listan los elementos más relevantes de esta:

- Varilla roscada M10 de 110 mm – Utilizada en la unión del bloque de motores con la horquilla
- Tuercas y arandelas M10
- Tornillos allen M5 de 20 mm – Unen los bloques de conexión entre horquilla y eje del bloque de motores
- Tuercas de freno M5

Todos ellos son elementos normalizados, por lo que no se contemplan más detalles.

## 7.2.2. Plataforma

Para la construcción de la plataforma los elementos listados en la Tabla 13 Listado de elementos utilizados en la fabricación de la plataforma son utilizados. Por otra parte, en la Figura 90 se muestra un renderizado del ensamblado completo de todos los elementos aquí listados.

Tabla 13 Listado de elementos utilizados en la fabricación de la plataforma

Material	Cantidad
Alu10 – 6060 x 2125 mm	2
Alu10 – 6060 x 410 mm	2
Alu10 – 3030 x 1010 mm	2
Alu10 – 3030 x 1400 mm	1
2477 PJP 125 P50 (Ruedas)	4
Escuadra angular 60x60	4
Escuadra angular 30x30	6
Tuerca deslizante M6	40
Tornillo Allen M6	40

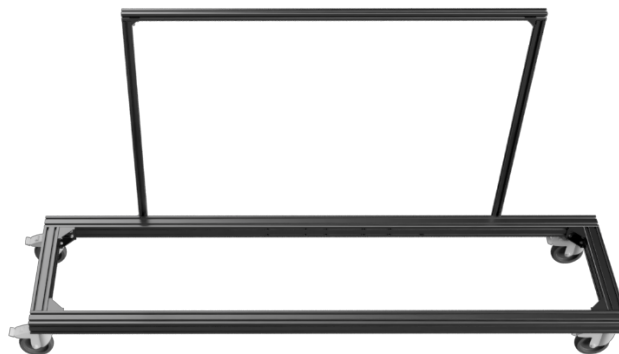


Figura 90 Renderizado 3D del montaje de los elementos listados en la Tabla 13

## 7.2.3. Soporte del patinete eléctrico

Los elementos que componen el soporte encargado de fijar el patinete a la plataforma se listan en la Tabla 14. Por otra parte, la Figura 91 muestra el ensamble de todos los elementos listados.

Tabla 14 Listado de elementos utilizados en la fabricación del soporte del patinete eléctrico

Material	Cantidad
Alu10 – 6060 x 410 mm	2
Alu10 – 3030 x 115 mm	8
Alu10 – 3030 x 360 mm	2
Escuadra angular 60x60	12
Escuadra angular 30x30	8
Tuerca deslizante M6	70
Tornillo Allen M6	70

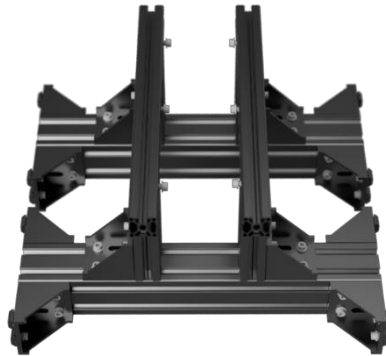


Figura 91 Renderizado 3D del montaje de los elementos listados en la Tabla 14

Para sujetar el patinete eléctrico a la plataforma aquí expuesta se perforan un total de 3 agujeros en cada uno de los dos lados del patinete. Un boceto que ilustra de forma gráfica lo aquí expuesto, puede observarse en la Figura 92.

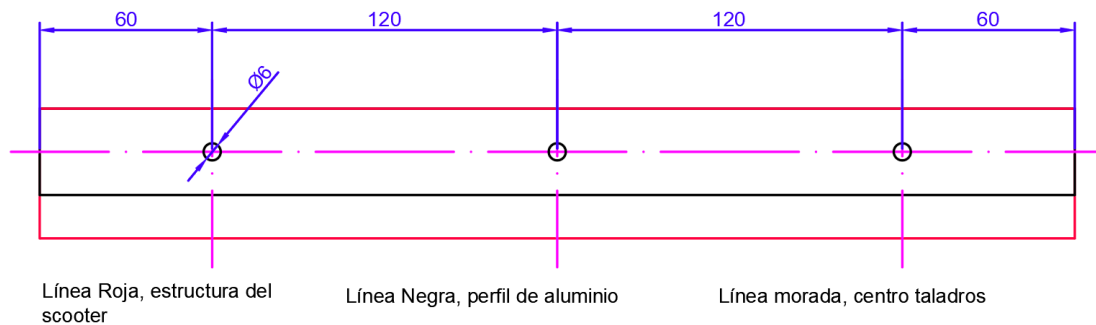


Figura 92 Boceto que muestra la disposición de los agujeros realizados en el chasis del patinete eléctrico

En la Figura 93, se muestra la plantilla utilizada para su mecanización, así como la disposición de esta en el chasis del patinete, mientras que en la Figura 94, podemos observar su aspecto después de su mecanizado y montaje.







Figura 93 Disposición de la plantilla en el chasis del patinete eléctrico



Figura 94 Resultados después de la mecanización y montaje de los perfiles de aluminio al patinete eléctrico

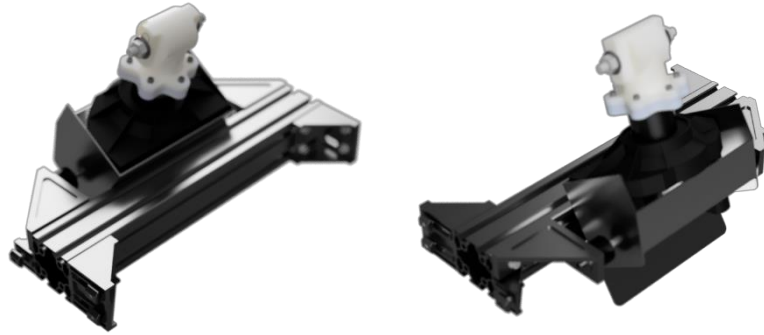
Esta disposición asegura una unión sólida y permite su montaje a la plataforma gracias a su estructura modular y al tipo de componentes utilizados.

## 7.2.4. Soporte del motor

Para el soporte de motor, se utilizan los componentes listados en la Tabla 15, cuyo resultado de montaje, se representa en el renderizado de la Figura 95.

Tabla 15 Listado de elementos utilizados en la fabricación del soporte del motor

Material	Cantidad
Alu10 – 6060 x 410 mm	1
Escuadra angular 40x40	2
Escuadra angular 60x60	2
Escuadra angular 30x30	2
Tuerca deslizante M6	16
Tornillo Allen M6	16
Bloque antivibraciones M8	2
Tornillo Allen M8	2
Arandelas M8	2
Tornillo Allen + Tuerca AD M5	6 + 6
Varilla Roscada M10 x 110mm	1
Tuerca + Arandela M10	2 + 2
Tornillos de unión	3
Pieza de unión tipo A (RamjetX)	1
Pieza de unión tipo B + Tubo Al 12mm	1

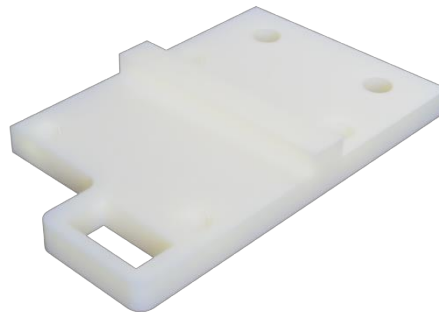


*Figura 95 Renderizado 3D del montaje de los elementos listados en la Tabla 15 al que se le ha añadido el bloque de motor*

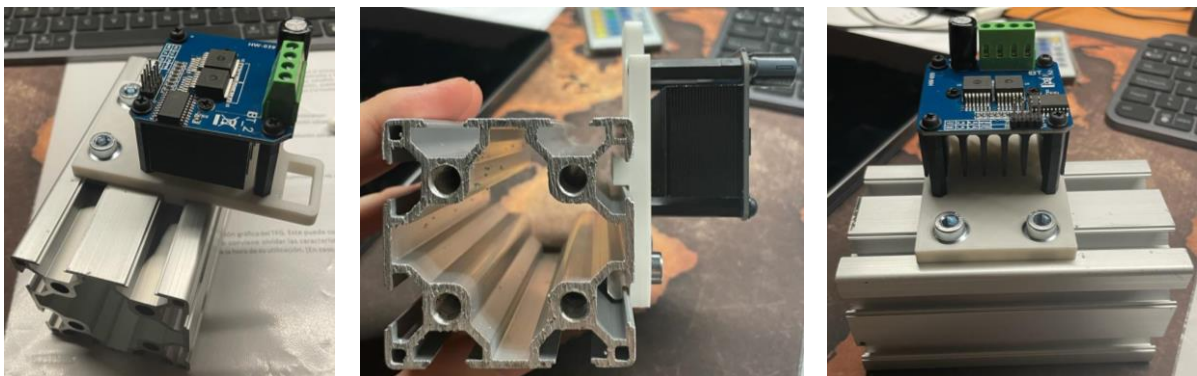
### 7.2.5. Otros soportes y accesorios

Otros elementos como el soporte para alojar la controladora del motor a la plataforma han sido también diseñados en impresión 3D. En este apartado únicamente se detalla el que hace referencia a dicha controladora, por no disponer de tiempo suficiente de cara a la consecución del documento.

Mientras que en la Figura 97 podemos encontrar un renderizado en 3D del diseño realizado, en la Figura 96 encontramos el resultado final, así como una muestra de montaje de este, en el que se puede apreciar de igual modo la controladora del motor utilizada.



*Figura 97 Renderizado 3D del soporte diseñado para alojar la controladora del motor a la plataforma*



*Figura 96 Resultado final y muestra de montaje del soporte de la controladora de motor*

## 7.3. Hardware

Todos los aspectos relacionados con el diseño de la electrónica utilizada en la realización del proyecto son tratados en este punto.

### 7.3.1. Adquisición de aceleración y frenado

El diagrama de bloques de la Figura 98, muestra cada uno de los procesos a seguir en la adquisición, adaptación y conversión de la señal generada por el sensor del acelerador y freno.

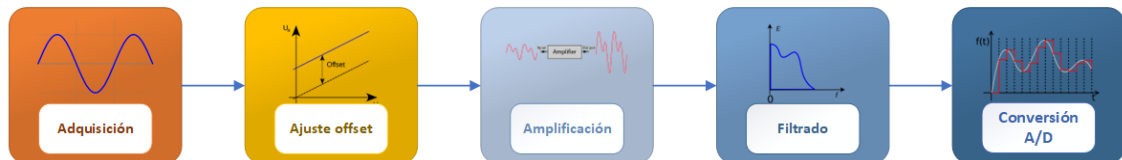


Figura 98 Diagrama de bloques del tratamiento de la señal

Para poder realizar cada uno de los pasos que se muestran en el diagrama es necesario determinar las siguientes características de la señal generada:

- Nivel de voltaje mínimo
- Nivel de voltaje máximo
- Tiempo de establecimiento o  $T_e$

El circuito propuesto para realizar cada uno de estos pasos, se muestra en la Figura 99.

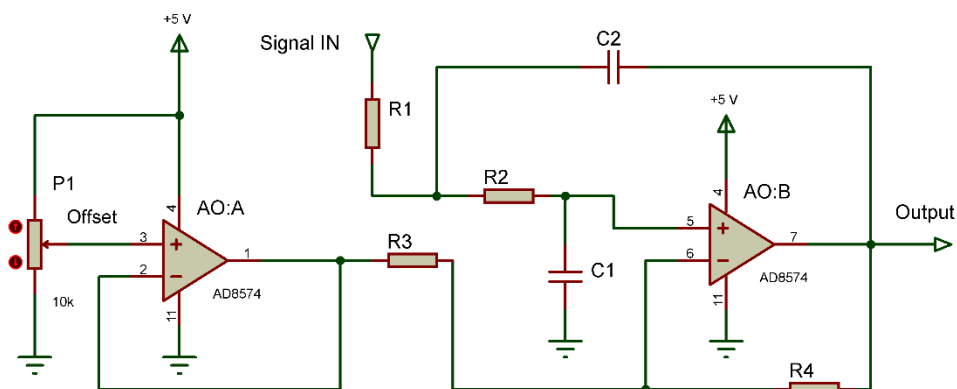


Figura 99 Circuito de adquisición y adaptación de señal

Como se observa, el circuito consta de dos AO de tipo *rail-to-rail* como se ha explicado en apartados anteriores. Se diferencian dos etapas: la primera establece el nivel de offset necesario; la segunda, se encarga de amplificar y filtrar la señal, adaptando al mismo tiempo la impedancia de entrada y de salida del circuito. Los valores de los distintos componentes a utilizar se obtienen por medio de la utilización de los valores antes descritos, siendo necesarios los niveles de voltaje máximo y mínimo para determinar el valor de *offset*, así como de ganancia, y el tiempo de establecimiento para determinar la frecuencia de corte del filtro, así como una frecuencia de muestreo válida.

La configuración del filtro escogida es: un filtro paso bajo de segundo orden de tipo *Sallen Key*, el cual presenta una atenuación de -40 dB por década.

Con la fórmula presentada a continuación, se determina la ganancia y voltaje de offset necesario para adaptar la señal al fondo de escala del convertor A/D:

$$V_{out} = V_{in} \cdot \left( \frac{R_2}{R_1} + 1 \right) - V_{offset} \cdot \frac{R_2}{R_1} \quad (16)$$

Una vez obtenido el valor de *offset*, este se ajusta en el circuito mediante el ajuste del potenciómetro P1. La fórmula siguiente permite determinar la posición del potenciómetro según el valor de offset obtenido:

$$V_{offset} = V_{cc} \cdot \left( \frac{P_1 \cdot a}{P_1} \right) \quad (17)$$

Despejando *a* usando (17)

$$a = \frac{V_{offset}}{V_{cc}} \quad (18)$$

*a* es por tanto la posición relativa del potenciómetro respecto a su posición absoluta.

Una vez obtenido el valor de ganancia y offset necesario para un correcto funcionamiento del circuito, se procede a diseñar el circuito de filtrado. A modo de simplificar los cálculos, se utiliza la herramienta basada en web “Analog Filter Wizard” de Analog Devices<sup>27</sup>. Una captura que muestra el aspecto de esta herramienta puede observarse en la Figura 100.

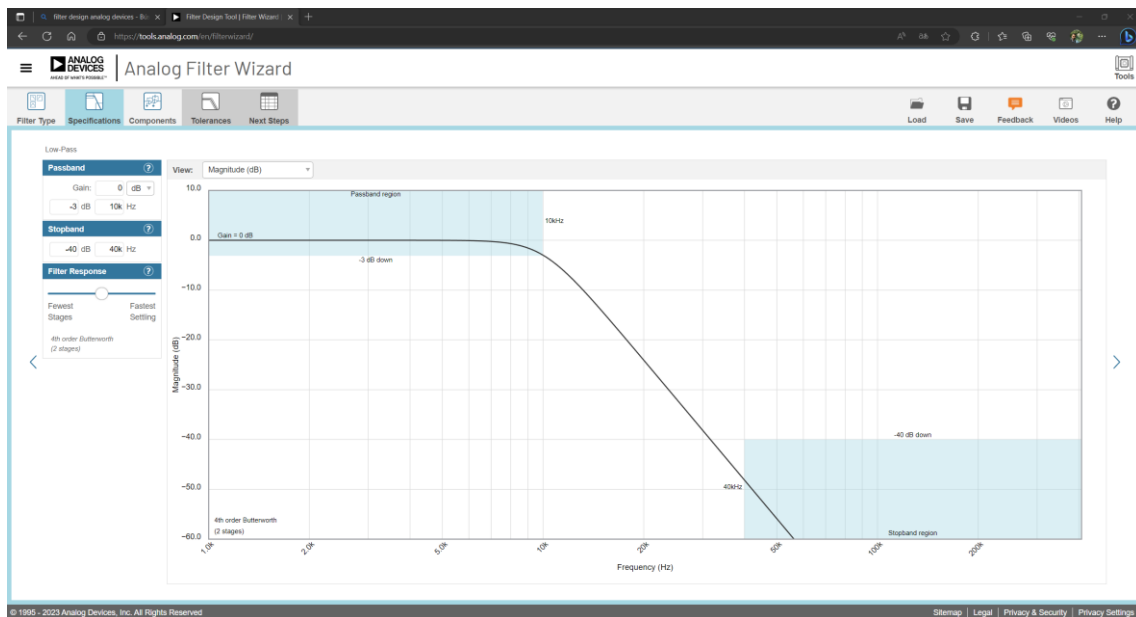


Figura 100 Herramienta basada en Web para cálculo de filtros “Analog Filter Wizard” de Analog Devices

En este contexto, es de vital importancia conocer la frecuencia de muestreo del convertor A/D a la hora de diseñar el filtro. Esto es así, debido a que cualquier señal de frecuencia superior a la de muestreo que se introduzca dentro del convertor, provocara pérdida de información. De hecho, según el Teorema de *Nyquist – Shannon*<sup>28</sup>, la frecuencia máxima admisible en la entrada del convertor es al menos la mitad de la frecuencia de muestreo, siendo

<sup>27</sup> La herramienta puede encontrarse en <https://tools.analog.com/en/filterwizard/>

<sup>28</sup> En el siguiente enlace se puede encontrar una explicación detallada de dicho teorema: <https://www.luisllamas.es/explicacion-del-teorema-de-muestreo-de-nyquist-sin-ecuaciones/>



aconsejable reducirla a una décima parte. Por tanto, uno de los requisitos a tener en cuenta a la hora de escoger la frecuencia de muestreo del conversor, es que esta, sea al menos diez veces superior a la frecuencia de la señal a muestrear. De otro modo, también es necesario cumplir con los objetivos en cuanto a los tiempos de adquisición. Dicho esto, y teniendo en cuenta tanto el microcontrolador escogido para esta labor (ATmega328p), como los 16.6 ms de tiempo de procesado y envío máximo, se procede a escoger una frecuencia de muestreo adecuada para esta labor.

El conversor A/D del microcontrolador ATmega328p tiene una resolución de 10 bit, un tiempo de conversión máximo que oscila entre 65 a 260 microsegundos y hasta 15,000 muestras por segundo o *15 kSPS*, todo esto dependiendo del número de entradas configuradas, frecuencia de reloj, impedancia de entrada, etc.

Una tabla que indica el número de ciclos de conversión del ADC (Analogic to Digital Converter), extraída del *datasheet*, puede verse en la Figura 101.

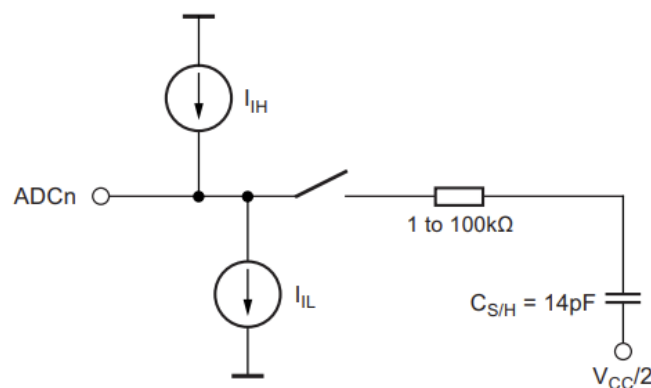
**Table 23-1. ADC Conversion Time**

Condition	Sample and Hold (Cycles from Start of Conversion)	Conversion Time (Cycles)
First conversion	13.5	25
Normal conversions, single ended	1.5	13
Auto triggered conversions	2	13.5

*Figura 101 Ciclos de conversión del ADC ATmega328p*

Como puede observarse, la primera conversión requiere mayor número de ciclos para ser completada, por lo que se decide configurar el conversor para que funcione en modo “auto” de forma que este opere de forma autónoma, descartando las primeras conversiones como recomienda el fabricante.

El circuito interno del conversor se muestra en la Figura 102. El fabricante indica al mismo modo, que la impedancia de entrada no debe de ser superior a 10 kΩ, si se desea que esto no influya en los tiempos de conversión dados por este.



*Figura 102 Circuito interno del conversor A/D del micro ATmega328p, imagen obtenida de su datasheet*

El *Prescaler* del ADC, determina la frecuencia de muestreo del conversor en base a su frecuencia de reloj. El microcontrolador se configura por medio de un cristal de cuarzo externo para funcionar a 16 MHz. La Figura 103, muestra las distintas configuraciones de *Prescaler* que tiene el microcontrolador.

**Table 23-5. ADC Prescaler Selections**

ADPS2	ADPS1	ADPS0	Division Factor
0	0	0	2
0	0	1	2
0	1	0	4
0	1	1	8
1	0	0	16
1	0	1	32
1	1	0	64
1	1	1	128

*Figura 103 Selección de Prescaler del ATmega328p*

La elección correcta del Prescaler del microcontrolador, permite no solo una correcta adquisición de los datos, sino, además, filtrar todas aquellas señales que estén por encima de la mitad de la frecuencia de muestreo como veíamos más arriba al hablar del Teorema de *Nyquist – Shannon*. Es por esto, que lo recomendable es utilizar la frecuencia de muestreo más baja que cumpla con las especificaciones de diseño.

Pese a que aún es necesario conocer las características de la señal a tratar, se escoge un *Prescaler* de 128, de este modo, en caso de que este valor no cumpla las especificaciones dadas por la señal a tratar, se puede reducir dicho factor de división, aumentando la frecuencia de muestreo. Esta decisión se toma para poder tener valores de referencia sobre los que trabajar y al mismo modo, configurar el conversor como un filtro más restrictivo. La frecuencia de conversión con el valor escogido es, por tanto:

$$\frac{16 \cdot 10^6}{128} = 125 \text{ kHz} \quad (19)$$

Dada la naturaleza del tipo de señal a tratar, este valor se prevé más que suficiente para un correcto funcionamiento del sistema.

### Adquisición de aceleración

La utilización del sensor del acelerador original visto en la Figura 63, simplifica en gran medida lo referente a la adquisición de la señal. Este sensor funciona internamente con un sensor de efecto Hall, sin embargo, aunque no ha sido posible averiguar el modelo exacto de sensor que monta específicamente este acelerador<sup>29</sup>, si ha sido posible averiguar tanto su *pinout* como su tensión de alimentación. La Tabla 16 recoge esta información.

*Tabla 16 Descripción de los pines de salida del sensor del acelerador*

Pin	Descripción
1	Vcc 5 V (Rojo)
2	Signal Out (Verde)
3	Gnd (Negro)

<sup>29</sup> Esto es debido a la gran variedad de versiones de este mismo acelerador disponibles en el mercado, sumado a la imposibilidad de desmontaje por contener partes selladas para evitar humedades.



Se utiliza una fuente de alimentación de laboratorio y un osciloscopio de banco para analizar la señal de salida del sensor y así determinar las características descritas anteriormente. Una captura de la señal se observa en la Figura 104.

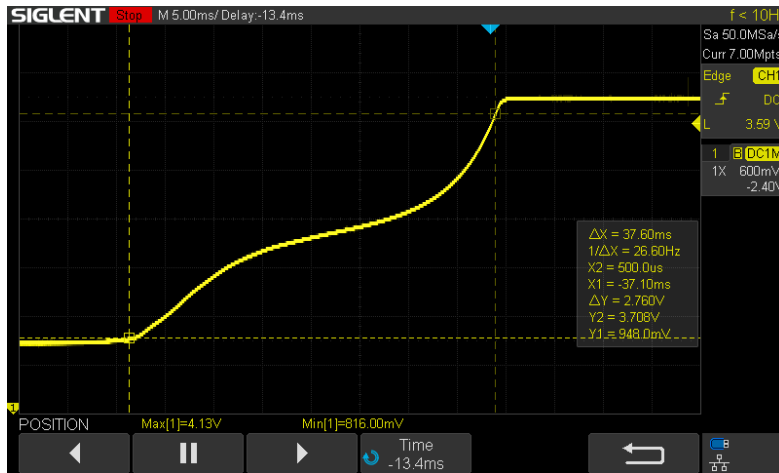


Figura 104 Captura de la señal generada por el sensor del acelerador

La Tabla 17 recoge las características de la señal analizada.

Tabla 17 Características de la señal del acelerador

Señal	Valor
Voltaje mínimo	0.816 V
Voltaje máximo	4.13 V
$T_e$	37.6 ms

Para obtener el valor de ganancia y offset, se crea un sistema de ecuaciones basado en la ecuación (16). Se establece para el valor mínimo requerido a la salida (0 V) el valor mínimo obtenido a la salida del circuito, de igual modo, para el valor máximo (5 V), se establece el valor máximo. Para obtener un sistema de ecuaciones de dos ecuaciones y dos incógnitas se simplifica aplicando la siguiente igualdad:

$$\frac{R_2}{R_1} = G \quad (20)$$

Sustituyendo en el sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} 0 &= 0.816 \cdot (G + 1) - V_{offset} \cdot G \\ 5 &= 4.13 \cdot (G + 1) - V_{offset} \cdot G \end{aligned} \quad (21)$$

Obtenemos los siguientes resultados:

$$\begin{aligned} G &= 0.508 \\ V_{offset} &= 2.42 \text{ V} \end{aligned} \quad (22)$$

Recordemos que G no es el valor real de ganancia, pues corresponde al valor de la igualdad vista en la ecuación (20). El valor de la ganancia real corresponde a:



$$Ganancia = \frac{R_2}{R_1} + 1 = G + 1 = 0.508 + 1 = 1.508 \text{ V/V} \quad (23)$$

Calculamos la posición del potenciómetro con (17):

$$a = \frac{2.42}{5} = 0.48 \quad (24)$$

Por lo que el potenciómetro se debe ajustar cerca de su posición central

Se procede a caracterizar la señal en el espacio temporal, para ello se utiliza el valor de  $T_e$ . El tiempo máximo de muestreo aquí representado por  $T_s$ , es el máximo tiempo al que la señal puede muestrearse sin pérdida de información. Aplicando el teorema de *Nyquist – Shannon*:

$$T_s = \frac{T_e}{10} \quad (25)$$

Sustituyendo:

$$T_s = \frac{37.6 \cdot 10^{-3}}{10} = 3.76 \cdot 10^{-4} \quad (26)$$

Haciendo la conversión al espacio frecuencial:

$$F_s = \frac{1}{3.76 \cdot 10^{-4}} = 266 \text{ Hz} \quad (27)$$

266 Hz es la frecuencia mínima a la que se debe muestrear la señal para evitar pérdida de información. Los 125 kHz configurados en el ADC son más que suficientes para tratar la señal generada por el sensor, por lo que no sería necesario realizar ningún cambio a este respecto.

Con toda la información recopilada, se establecen 2 kHz como la frecuencia de corte del filtro a diseñar. Este valor permite asegurar que la información de la señal original no será en ningún caso modificada, y permitirá eliminar frecuencias que, en forma de ruido externo, puedan afectar a una lectura correcta del sensor.

Configurando la herramienta *Analog Filter Wizard* (Figura 105):

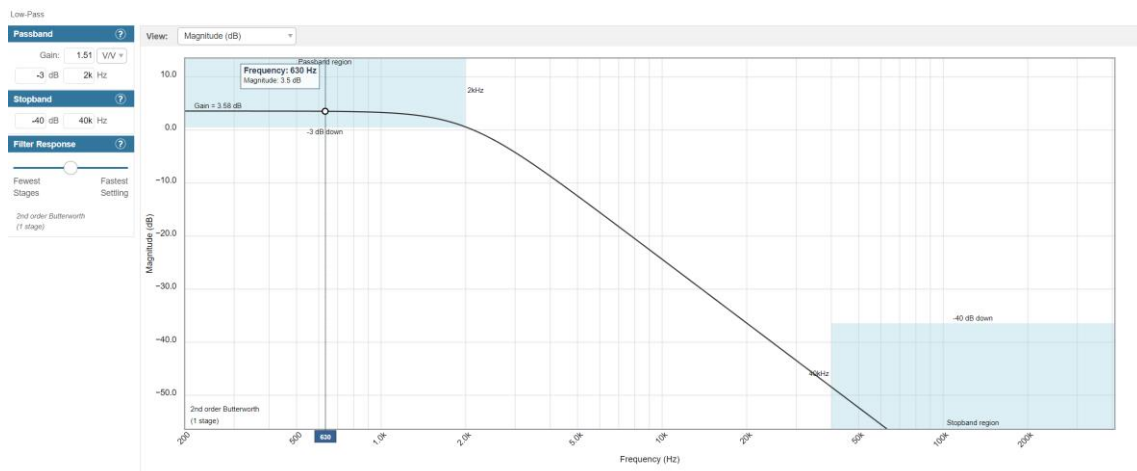


Figura 105 Configuración de la herramienta *Analog Filter Wizard* con  $G = 1.51 \text{ V/V}$  y  $f_c = 2 \text{ kHz}$



Obtenemos el siguiente circuito (Figura 106):

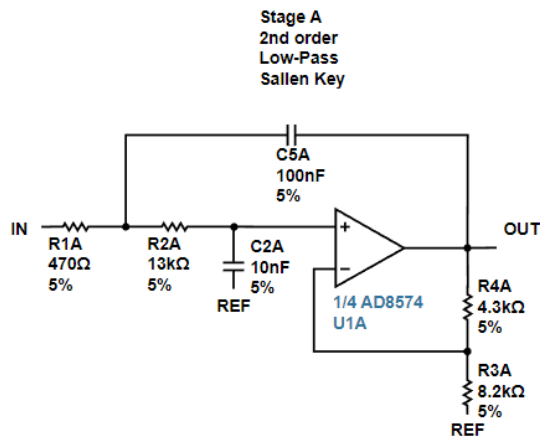


Figura 106 Circuito filtro acelerador generado por Analog Filter Wizard

Circuito encargado de la adquisición de señal del acelerador (Figura 107):

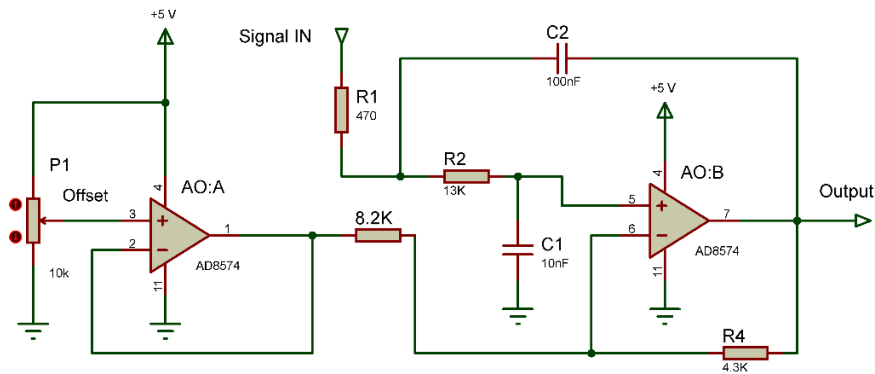


Figura 107 Circuito de adquisición del acelerador

Una vez implementado el circuito, se realizan una serie de pruebas para determinar que todo funciona correctamente. La primera prueba consiste en realizar una medición comparativa de la señal que entra en el circuito, esto es, la señal generada por el sensor, con la señal que obtenemos a la salida. En la Figura 108 observamos la señal con el acelerador en reposo, mientras que en Figura 109, el acelerador esta accionado al máximo.

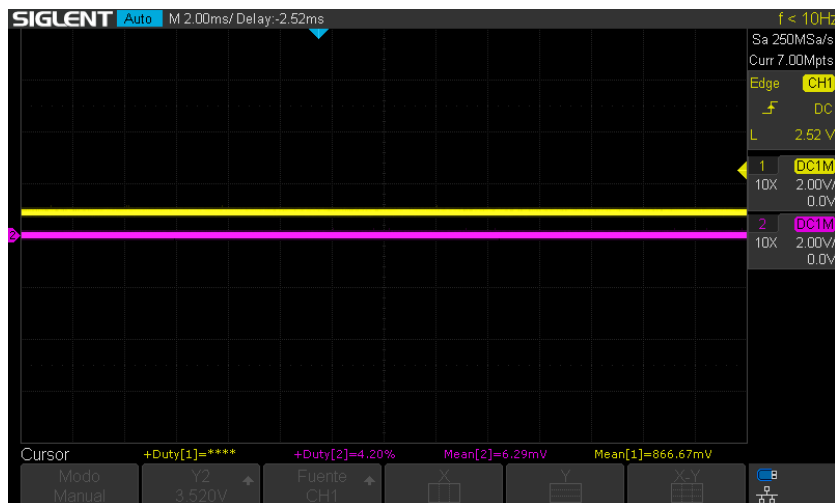


Figura 108 Señal circuito de adaptación acelerador en reposo. Entrada (amarillo). Salida (morado)

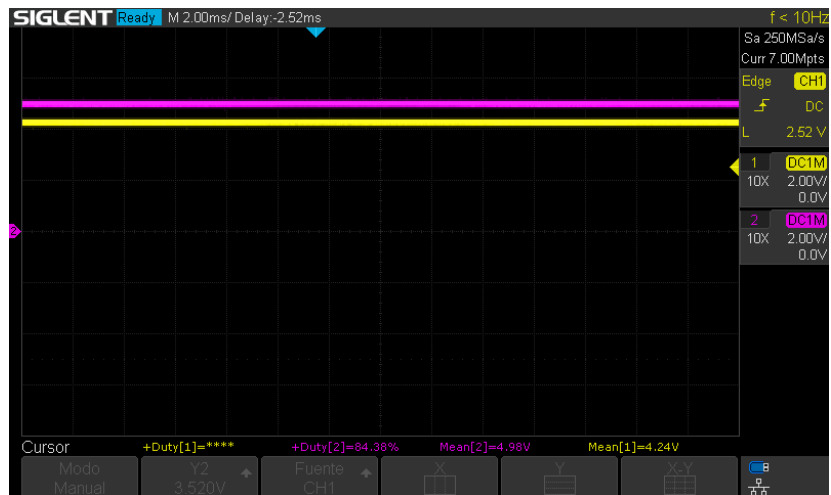


Figura 109 Señal circuito de adaptación con acelerador al máximo. Entrada (amarillo). Salida (morado)

Como se puede observar, el circuito funciona con normalidad, entregando a la salida una señal que varía de 0 a 5 V.

Otro aspecto a considerar es el comportamiento en frecuencia del circuito. Para ello, con la ayuda de un generador de funciones, se configuran un total de dos señales. Una de ellas genera un barrido en frecuencia, mientras que la segunda genera un pulso en el comienzo del barrido. Esta señal es de gran utilidad al momento de capturar la señal con el osciloscopio, pues sirve como referencia en el momento del disparo.

En la Figura 110 se puede observar la salida del circuito ante un barrido en frecuencia de 5 kHz, mientras que en la Figura 111 se muestra un barrido de 100 kHz.

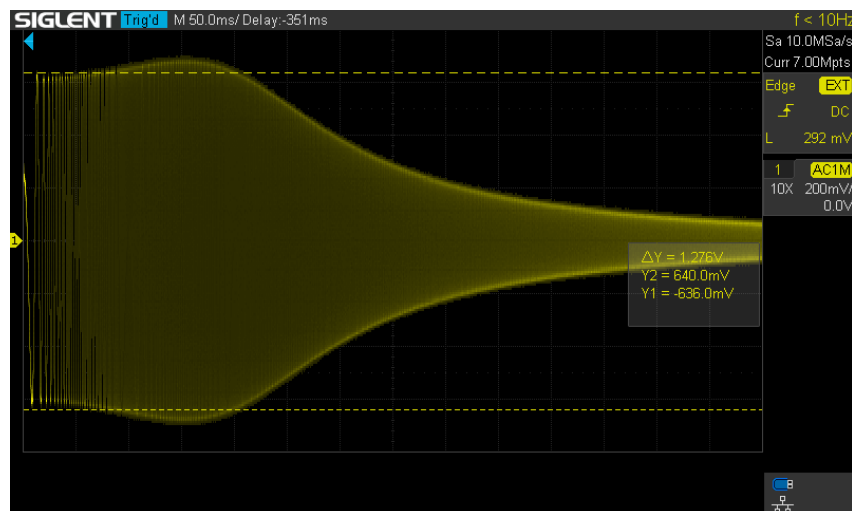


Figura 110 Comportamiento del circuito de adaptación de señal del acelerador ante un barrido en frecuencia de 10 kHz

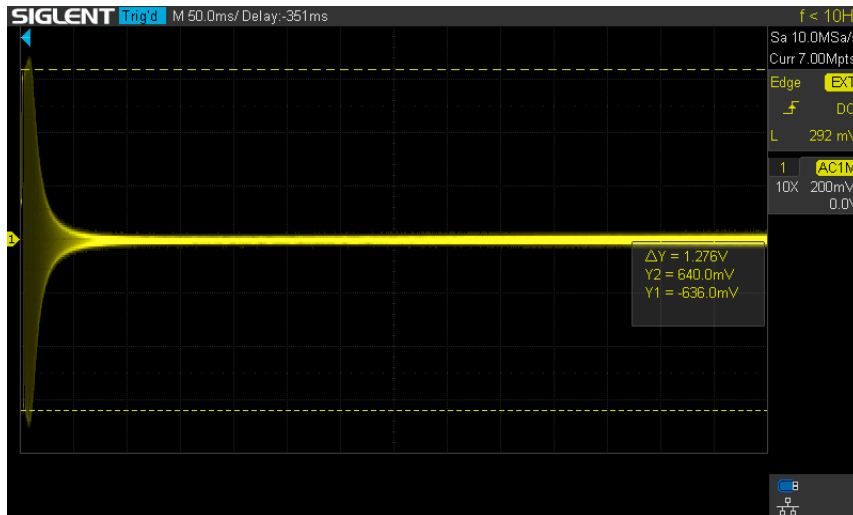


Figura 111 Comportamiento del circuito de adaptación de señal del acelerador ante un barrido en frecuencia de 100 kHz

Por último, realizando unos pocos ajustes en el osciloscopio, y ajustando el nivel de la señal a la mitad de su escala en el eje y (nivel de amplitud a la mitad), podemos representar el equivalente al diagrama de Bode del circuito. En la Figura 112, se muestra el resultado de dicha configuración tras configurar el generador para realizar un barrido de 20 kHz.

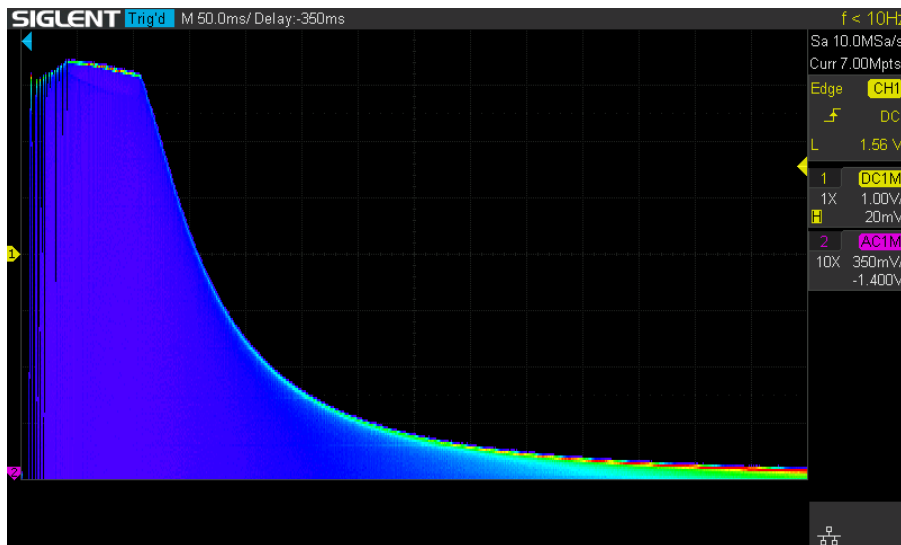


Figura 112 Diagrama de Bode del circuito de adaptación del acelerador ante un barrido de 20 kHz

### Adquisición de frenada

Para la adquisición del grado de frenado, se diseña un sensor equivalente al sensor de aceleración. El sensor, ya mostrado en la Figura 65, ha sido diseñado para su construcción en impresión 3D. El diseño está basado en el interruptor original que utilizaba la electrónica para determinar el accionamiento de este, todo ello a modo de proteger el motor. La Figura 113 muestra una comparación del diseño realizado con el original.

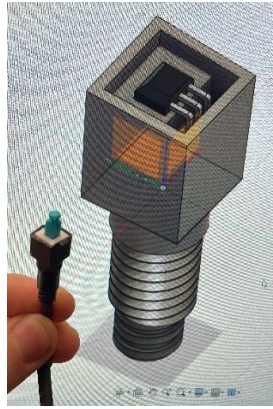


Figura 113 Comparación del diseño 3D con el interruptor original

Debido a que el diseño se ha diseñado y dimensionado conforme al original, este va instalado del mismo modo que este, por lo que no explicaciones futuras son necesarias.

El sensor utilizado es el modelo *UGN3503* del cual ya se ha hablado con anterioridad en el punto 5.3.1. Tras la instalación y configuración del sensor en el freno tal y como se muestra en la Figura 115, se utiliza un imán proveniente de un disco duro, y se mecaniza de manera que este quede totalmente integrado en la palanca que originalmente servía para accionar el pulsador en el montaje original. Este aspecto se muestra en la Figura 114.

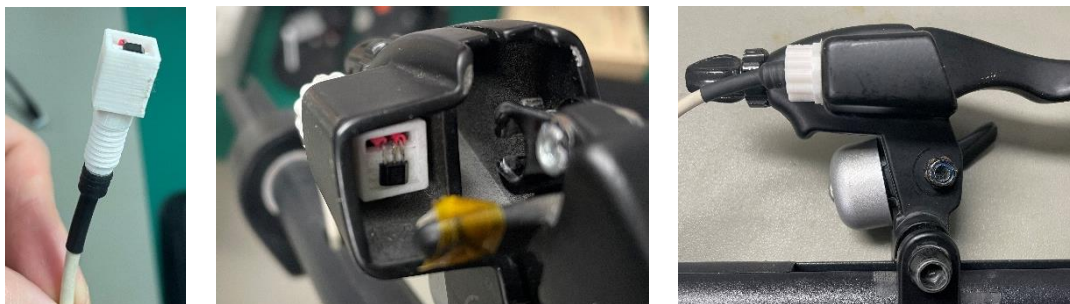


Figura 115 Muestra de resultados del diseño del nuevo sensor de frenado y su montaje

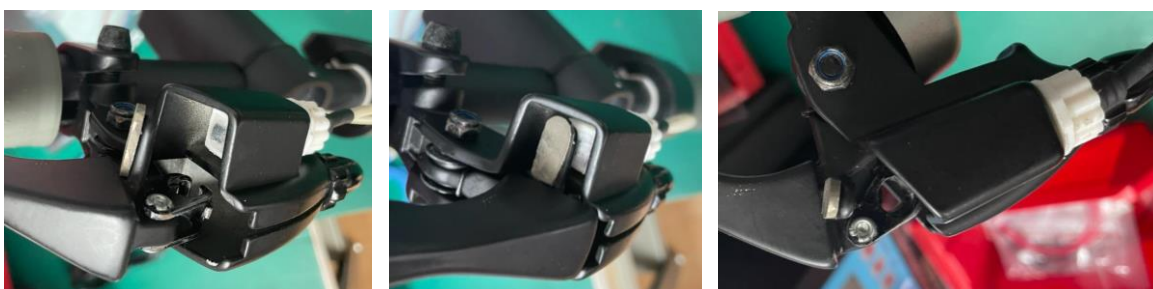


Figura 114 Resultado del mecanizado y montaje del imán en el sensor de frenado

La descripción de los pines del sensor de freno se detallan en la Tabla 18. Por otro lado, en la Figura 116 se muestra una captura de la señal generada por el sensor.

Tabla 18 Descripción de los pines de salida del sensor de freno

Pin	Descripción
1	Vcc 5 V (Rojo)
2	Signal Out (Blanco)
3	Gnd (Negro)

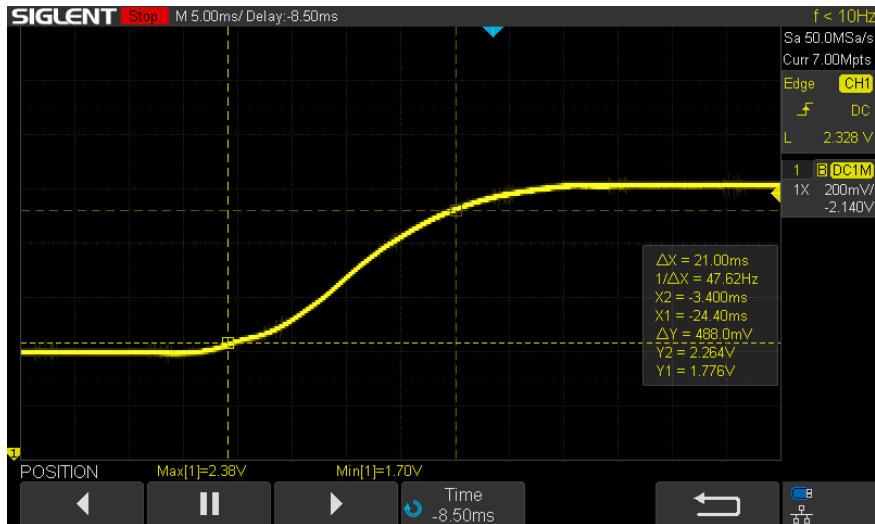


Figura 116 Captura de la señal generada por el sensor del freno

La Tabla 19 recoge las características de la señal analizada.

Tabla 19 Características de la señal del acelerador

Señal	Valor
Voltaje mínimo	1.7 V
Voltaje máximo	2.38 V
$T_e$	21 ms

Utilizando (21) con los valores de la Tabla 19:

$$\begin{aligned} 0 &= 1.7 \cdot (G + 1) - V_{offset} \cdot G \\ 5 &= 2.38 \cdot (G + 1) - V_{offset} \cdot G \end{aligned} \quad (28)$$

Obtenemos los siguientes resultados:

$$\begin{aligned} G &= 6.35 \\ V_{offset} &= 1.97 \text{ V} \end{aligned} \quad (29)$$

La ganancia del circuito es, por tanto:

$$\text{Ganancia} = 6.35 + 1 = 7.35 \text{ V/V} \quad (30)$$

Calculamos la posición del potenciómetro con (17):

$$a = \frac{1.97}{5} = 0.39 \quad (31)$$

Utilizando directamente (25) y (27) obtenemos  $F_s$ :

$$F_s = \frac{10}{21 \cdot 10^{-3}} = 476 \text{ Hz} \quad (32)$$

Nuevamente, tenemos una frecuencia mínima a la que se debe muestrear la señal muy por debajo de los 125 kHz escogidos para el ADC, por lo que dicha elección no presenta inconveniente alguno.

Escogemos 2 kHz como frecuencia de corte para el filtro y diseñamos el circuito con la herramienta utilizada en apartados anteriores.

Configurando la herramienta Analog Filter Wizard (Figura 117):

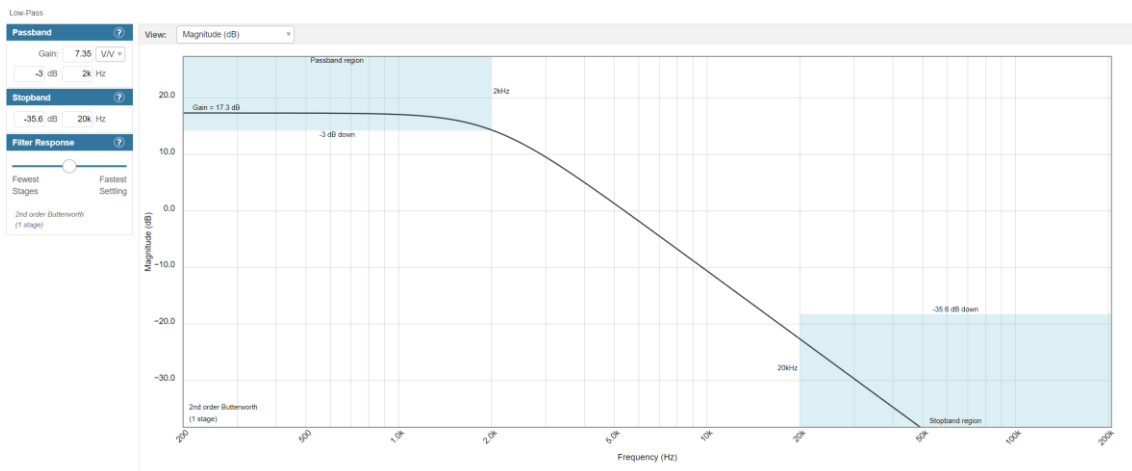


Figura 117 Configuración de la herramienta Analog Filter Wizard con  $G = 7.35 \text{ V/V}$  y  $f_c = 2 \text{ kHz}$

Obtenemos el siguiente circuito (Figura 118):

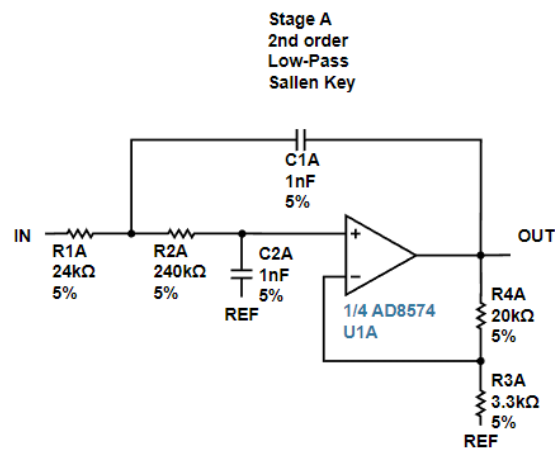


Figura 118 Circuito filtro freno generado por Analog Filter Wizard

Con todo calculado, el circuito encargado de la adquisición de la señal del freno se muestra en la Figura 119.



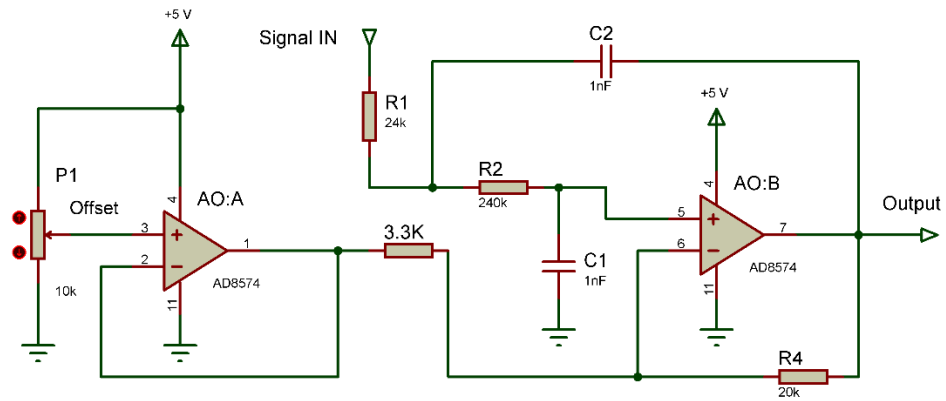


Figura 119 Circuito de adquisición del freno

Siguiendo el mismo modo de actuación que en el punto anterior, se muestran las capturas de las pruebas realizadas.

Figura 120, señal con freno en reposo.

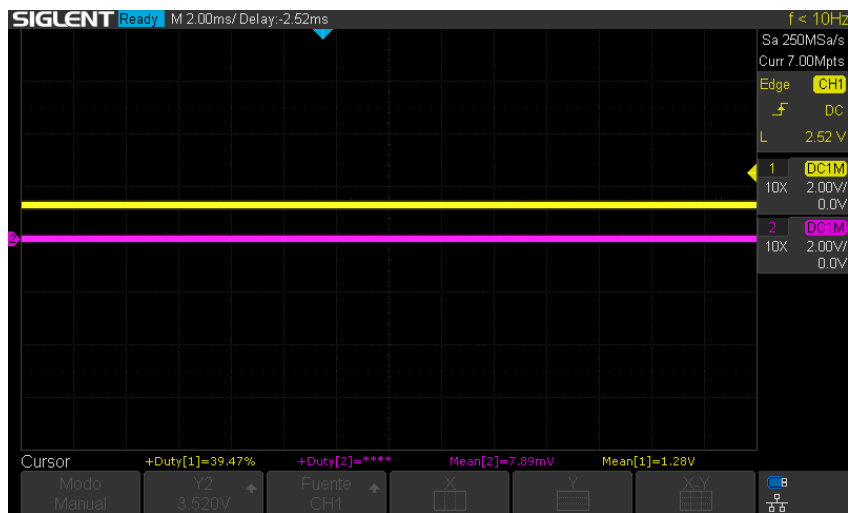


Figura 120 Señal circuito de adaptación freno en reposo. Entrada (amarillo). Salida (morado)

Figura 121, señal con freno accionado al máximo

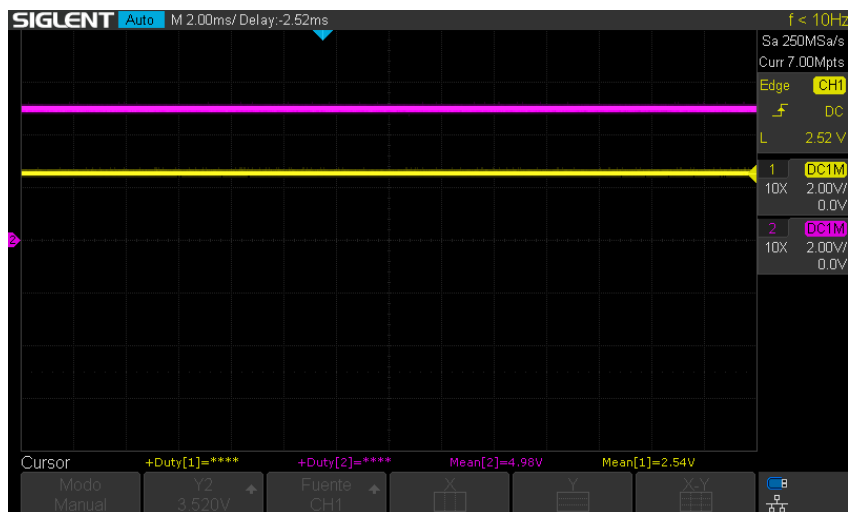


Figura 121 Señal circuito de adaptación freno al máximo. Entrada (amarillo). Salida (morado)

Figura 122, Comportamiento en frecuencia ante barrido de 10 kHz

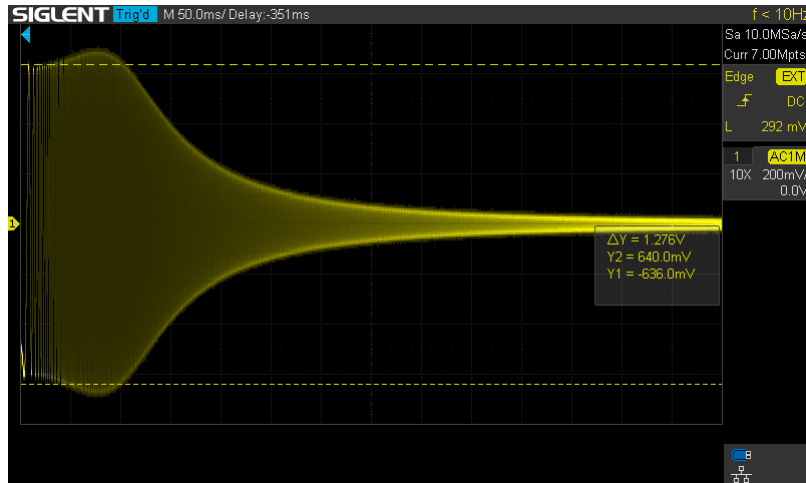


Figura 122 Comportamiento del circuito de adaptación de señal del freno ante un barrido en frecuencia de 10 kHz

Figura 123, comportamiento en frecuencia ante barrido de 1 MHz

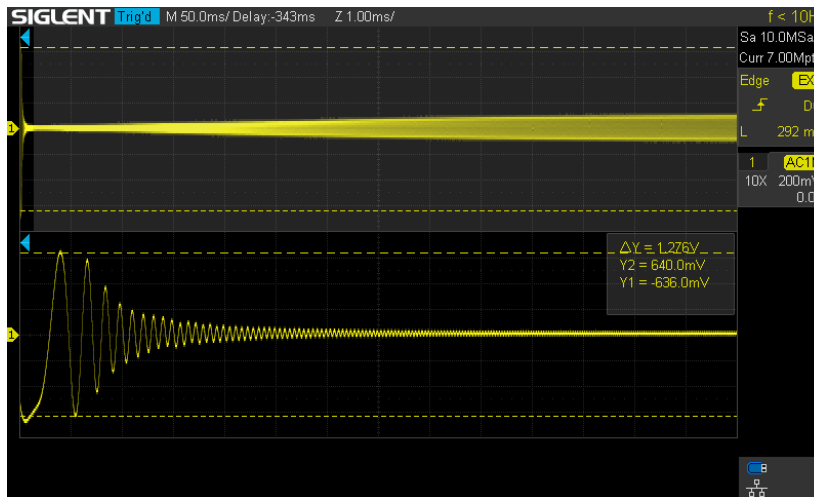


Figura 123 Comportamiento del circuito de adaptación de señal del freno ante un barrido en frecuencia de 1 MHz

Figura 124, diagrama de bode ante barrido de 20 kHz

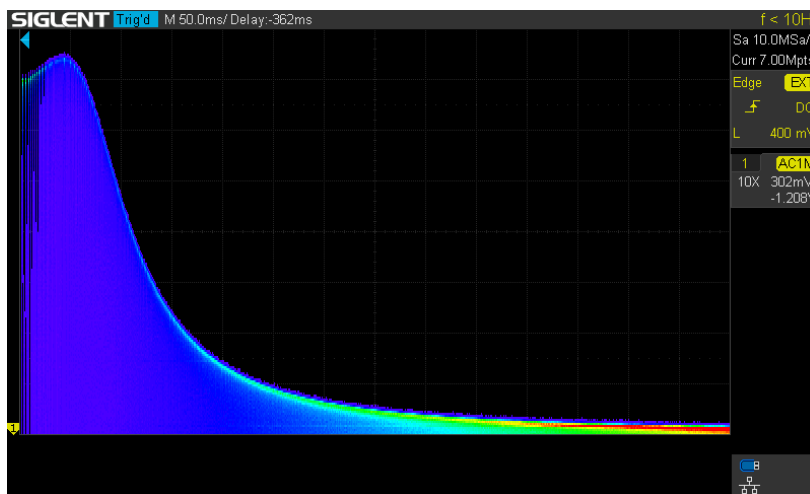


Figura 124 Diagrama de Bode del circuito de adaptación del freno ante un barrido de 20 kHz



### 7.3.2. Adquisición de ángulo de giro

Para la adquisición del ángulo de giro, el proceso empieza por determinar el *pinout* del encoder que monta el bloque reaprovechado del volante *Logitech G27*.

Debido a que el sensor es de fabricación propia y no comercial, se debe determinar tanto el *pinout* de su circuitaria, como los voltajes a los que este trabaja. En la Figura 125 se muestran distintas capturas del sensor tanto por dentro, como por fuera.



Figura 125 Capturas del encoder que incorpora el Logitech G27

Tras la comprobación de cada uno de los cables, con la ayuda de la placa de control, se determina la función de cada uno de sus contactos, así como la tensión de funcionamiento. Toda esta información se recoge en la Tabla 20.

Tabla 20 Descripción y enumeración de cada uno de los contactos del encoder

Pin	Descripción
1	Canal B (Negro)
2	Gnd (Amarillo)
3	Canal A (Blanco)
4	Vcc 5 V (Verde)
5	Detección (Rojo)

Conectando el encoder a una placa de pruebas, se aportan los 5 voltios que necesita el encoder para funcionar con la ayuda de una fuente de alimentación de laboratorio y se analiza la señal generada con un osciloscopio, a modo de comprobar que todo funciona correctamente.

La señal recogida se muestra en la Figura 126.

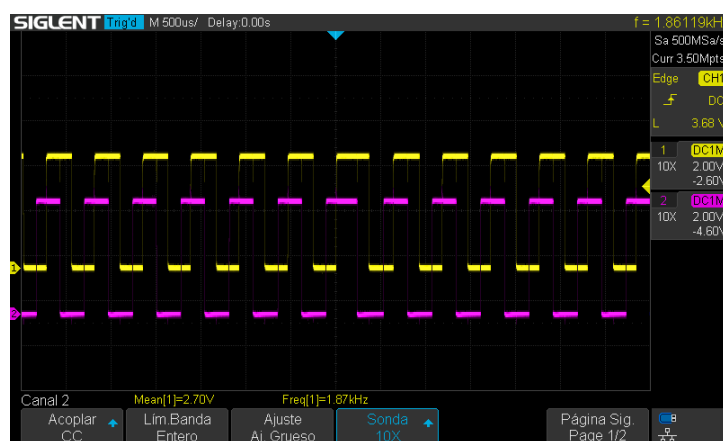


Figura 126 Señal generada por el encoder

Hechas las comprobaciones y confirmando que todo opera correctamente, el siguiente paso es conectar el encoder al microcontrolador según el esquema de la Tabla 20 e implementar el algoritmo de cálculo adecuado, aspecto que se tratará en el apartado de firmware.

Para la implementación del algoritmo de cálculo de ángulo de giro, es necesario determinar el equivalente en movimiento de cada uno de los pulsos generados por el encoder.

Para ello, se establece un procedimiento sencillo pero a la vez efectivo. El procedimiento consiste en realizar una marca visible en el eje de giro del motor, y contar el número de pulsos que se generan tras dar una vuelta completa a este. De esta manera, con un simple cálculo, se puede determinar a cuanto equivale cada pulso en terminos de ángulo de giro. La fórmula que nos permite obtener este valor es:

$$\text{Ángulo desplazado} = \frac{360^\circ}{N^\circ_{\text{pulsos}}} \quad (33)$$

En la Figura 127, se muestra una fotografía de la marca realizada en el eje de giro.



Figura 127 Marca realizada al eje de giro para determinar el ángulo de giro por pulso generado en el encoder

Con el montaje realizado y tras implementar un pequeño programa encargado de contar y mostrar por pantalla el número de pulsos generados<sup>30</sup> (Figura 128), se obtiene el siguiente resultado:

$$\text{Ángulo desplazado} = \frac{360^\circ}{982} = 0.3666 \text{ Grados/Pulso} \quad (34)$$

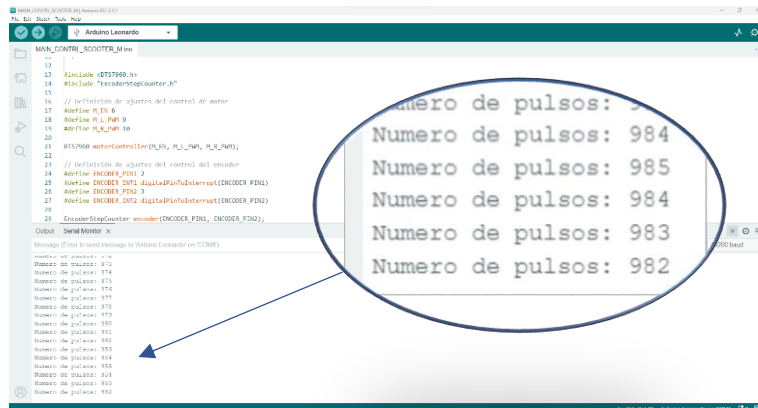


Figura 128 Programa para contar el número de pulsos dados en una vuelta entera

<sup>30</sup> El programa está basado en la librería *EncoderStepCounter*, la cual se detalla y explica en el apartado relativo al firmware

### 7.3.3. Controlador de motor

El controlador de motor escogido para el accionamiento de los motores es el modelo HW-039. Las características del controlador se detallan en la Tabla 21.

Tabla 21 Características técnicas del controlador de motor HW-039

Nombre del dispositivo	HW-039 (BTS7960)
Voltaje de entrada	5.5 a 27 V
Corriente máxima	43 A
Capacidad de PWM	25 kHz

En la Figura 129, se muestra de manera visual el conjunto de E/S, mientras que en la Tabla 22 se identifican y detallan cada uno de ellos.

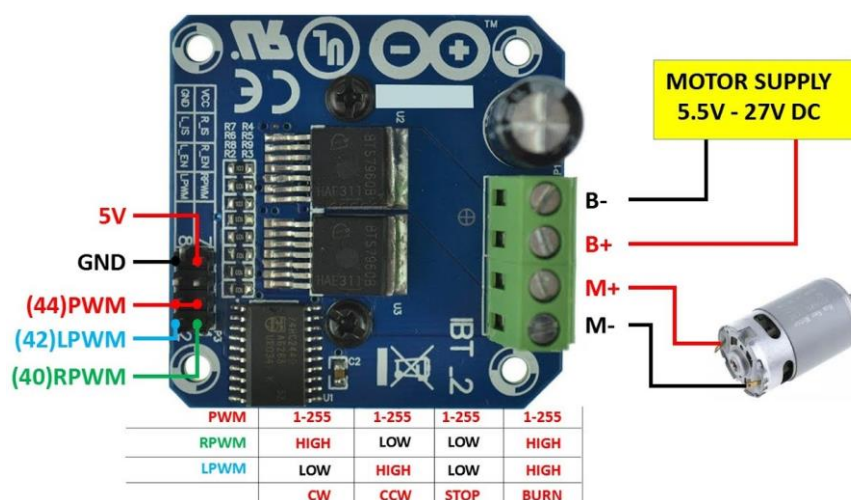


Figura 129 Conjunto de E/S del controlador HW-039. Imagen obtenida de <https://forum.arduino.cc/t/dc-motor-driver-bts7960/606686>

Tabla 22 Descripción de funciones de los pines de E/S del controlador HW-039

Pin	Función
Vcc	Alimentación 5 V
Gnd	Masa
RPWM	Entrada de control de velocidad (Giro a derechas)
LPWM	Entrada de control de velocidad (Giro a izquierdas)
R_EN	Habilitado de giro a derechas (Requiere L_EN)
L_EN	Habilitado de giro a izquierdas (Requiere R_EN)
R_IS	Control de corriente de giro a derechas
L_IS	Control de corriente de giro a izquierdas
B+	Alimentación de motor 5.5 a 27 V
B-	Alimentación motor Gnd
M+	Conexión motor +
M-	Conexión motor -

El controlador de motor HW-039 incorpora dos puentes en H de alta corriente. Cada uno de estos puentes está integrado en un BTS7960<sup>31</sup>. Algunas de las características que este ofrece son:

- Resistencia de paso típica de 16 mΩ
- Baja corriente quiescente típica de 7 μA
- Sensor de corriente con control de bandera de diagnóstico
- Bloqueo por sobrevoltaje
- Apagado por infra voltaje
- Capacidad de control con niveles lógicos de entrada

El diagrama de bloques del integrado se muestra en la Figura 130 Diagrama de bloques del BTS7960.

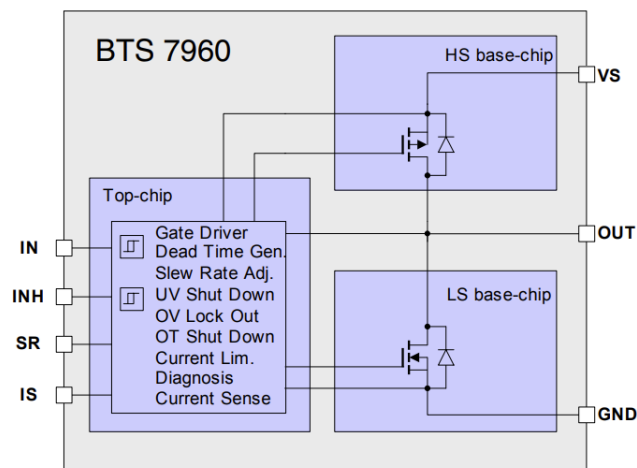


Figura 130 Diagrama de bloques del BTS7960

Existen librerías de control desarrolladas para plataformas como Arduino para su control. Este aspecto será tratado en el apartado de *firmware*.

### 7.3.4. Circuito de detección de bloqueo de motor

Como ya se había comentado, gracias al sensor de corriente que incorpora la controladora del motor, es posible detectar cuando el motor se encuentra en una posición de bloqueo o final de carrera.

Para lograr esto, se diseña un circuito capaz de identificar dicha situación y al mismo tiempo diferenciar la dirección de bloqueo. Utilizando un AO como comparador, y estableciendo un nivel de tensión umbral adecuado a la señal a detectar, es posible generar un pulso bien definido que el microcontrolador es capaz de detectar.

El circuito implementado se muestra en la Figura 131.

<sup>31</sup> El datasheet de este integrado se puede encontrar en [BTS7960.book \(infineon.com\)](https://www.infineon.com/datasheet/bts7960)



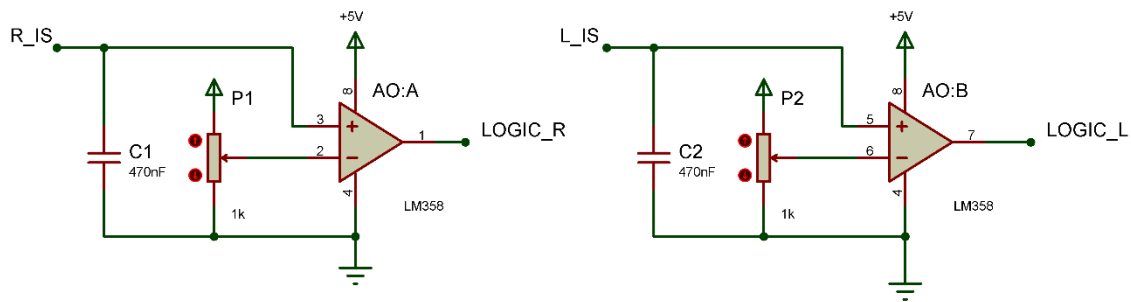


Figura 131 Circuito de detección de bloqueo de motor

$R\_IS$  y  $L\_IS$ , son las salidas de sensado de corriente de la controladora de motor. Estas se conectan a la entrada positiva del operacional, mientras que, con el potenciómetro se ajuste el nivel de umbral a detectar. El AO escogido es el modelo LM358<sup>32</sup>. Como se puede apreciar, ambas salidas están claramente diferenciadas, por lo que se requieren dos entradas del microcontrolador para su correcto funcionamiento. Los condensadores  $C1$  y  $C2$  se implementan a modo de filtro de entrada.

Un análisis de la señal generada por el controlador nos permite establecer correctamente el nivel de umbral necesario para un correcto funcionamiento del circuito. En la Figura 132 se muestra una captura de la señal capturada en el osciloscopio.

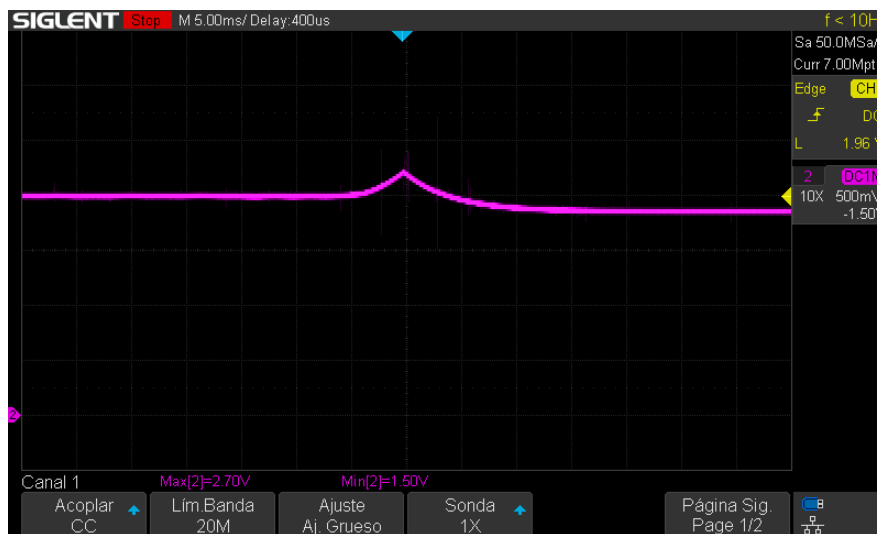


Figura 132 Captura de la señal generada por el controlador al tiempo de crearse una situación de bloqueo

Como se aprecia, un pico de 2.7 V es generado al momento del bloqueo. Con esta información podemos establecer una tensión umbral de 2.1 V y así asegurar una correcta identificación de dicha situación pues en funcionamiento normal, se registra una tensión que ronda los 1.8 V.

Debido a que no se han detectado diferencias entre las señales generadas en ambas direcciones, a modo de abreviar y simplificar el contenido de este documento, solo se detalla este estudio, el cual corresponde al giro a derechas.

<sup>32</sup> El datasheet puede encontrarse en <https://www.farnell.com/datasheets/2000357.pdf>

Calculando la posición del potenciómetro:

$$a = \frac{2.1}{5} = 0.42 \quad (35)$$

Este valor, como se ha explicado anteriormente, aplica a ambos potenciómetros.

El resultado de funcionamiento de la implementación del circuito aquí detallado se puede apreciar en la Figura 133.

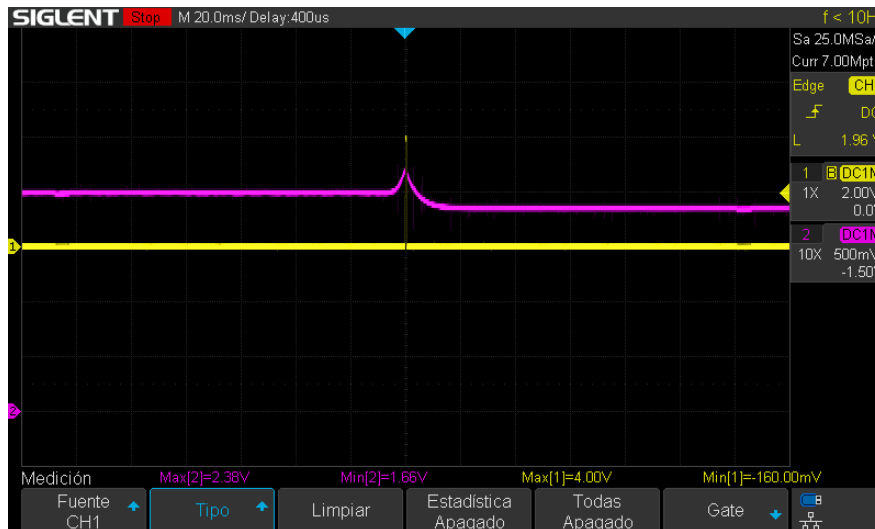


Figura 133 Pulso generado por el circuito de detección de bloqueo

Una imagen más ampliada en la que se detalla mejor el pulso generado la encontramos en la Figura 134.

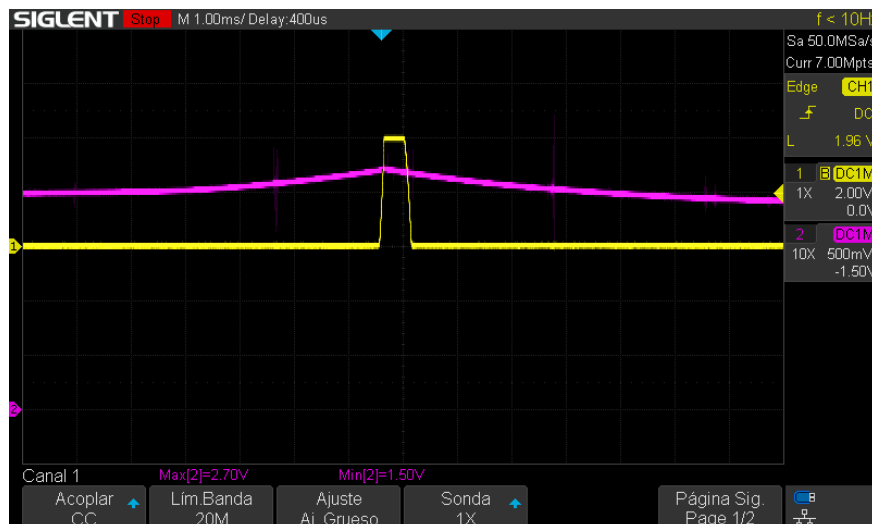


Figura 134 Imagen aumentada del pulso generado por el circuito de detección de bloqueo

Como se puede comprobar, el circuito funciona correctamente, permitiendo, de este modo, detectar dicha situación y por lo tanto calibrar el sensor de ángulo de giro.

### 7.3.5. Placa de control

La placa de control se encarga de gestionar todos los sistemas, incluida la transmisión de información al simulador. Sus principales funciones son:

- Conversor DC/DC de 24 a 5 V
- Control del motor
- Adquisición de ángulo de giro
- Procesado de información
- Comunicación con placa de adquisición
- Comunicación con computador

Un renderizado 3D de su diseño se puede ver en la Figura 135.

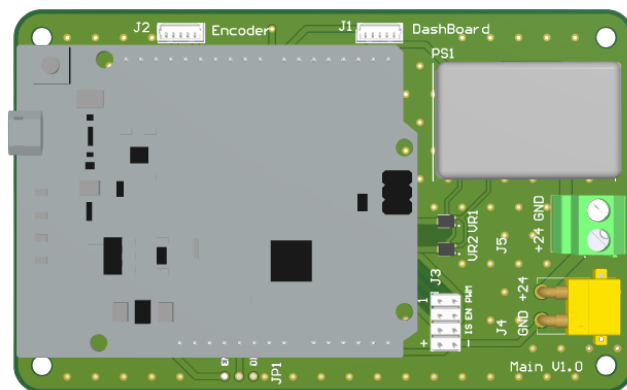


Figura 135 Renderizado diseño placa principal

Las dimensiones de la placa son 110 x 68 mm. Y está diseñada para ser instalada en la base del patinete eléctrico, de manera que quede todo integrado.

El esquema de conexiones de cada uno de los conectores se lista a continuación.

Tabla 23, Conector J1. Interfaz placa principal y placa de adquisición.

Tabla 23 Esquema de conexiones del conector J1 en Placa principal

Pin	Función
1	Alimentación 5 V
2	UART RX
3	UART TX
4	ON/OFF (pulsador de funciones configurable)
5	Gnd

Tabla 24, Conector J2. Conexión con encoder.

Tabla 24 Esquema de conexiones del conector J2 en Placa principal

Pin	Función
1	Encoder 1
2	Gnd
3	Encoder 2
4	Alimentación 5 V
5	Detección de presencia de encoder

Tabla 25, Conector J3. Interfaz placa principal y controladora de motor.

Tabla 25 Esquema de conexiones del conector J3 en Placa principal

Pin	Función
1	Control PWM derecha
2	Control PWM izquierda
3	Habilitado de motor derecha
4	Habilitado de motor izquierda
5	Sensor de corriente derecha
6	Sensor de corriente izquierda
7	Alimentación 5 V
8	Gnd

Tabla 26, Conector J4. Fuente de alimentación +24 V

Tabla 26 Esquema de conexiones del conector J4 en Placa principal

Pin	Función
1	Alimentación 24 V
2	Gnd

Tabla 27, Conector J5. Alimentación de motor

Tabla 27 Esquema de conexiones del conector J5 en Placa principal

Pin	Función
1	Alimentación 24 V
2	Gnd

El regulador de voltaje que instala la placa de control es el modelo *EC5A-12S05*<sup>33</sup> del fabricante CINCON (Figura 77) cuyas características principales se muestran en la Tabla 28.

Tabla 28 Características del regulador *EC5A-12S05* de CINCON

<b>Modelo</b>	<i>EC5A-12S05S</i>
<b>Voltaje de entrada</b>	9 ~ 32 V
<b>Voltaje de salida</b>	5 V
<b>Corriente de salida</b>	2 A
<b>Consumo en reposo</b>	15 mA
<b>Eficiencia</b>	88 %
<b>Aislamiento entre entrada y salida</b>	No

Se diseña un zócalo para la inserción de un Arduino Leonardo. Esto permite añadir gran flexibilidad al diseño, y permite una rápida sustitución del mismo en caso de mal funcionamiento o rotura. Este aspecto se puede observar en detalle en la Figura 136.

Las características del Arduino se detallaron en la Tabla 9.

<sup>33</sup> Datasheet disponible en <https://cincon.com/productdownload/Datasheet-EC5A.pdf>





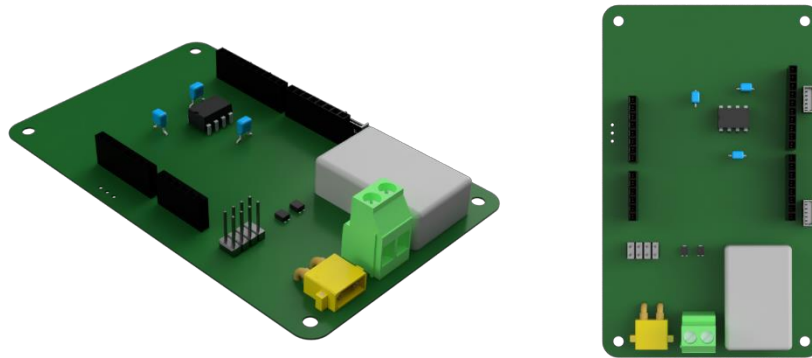


Figura 136 Renderizado de la placa principal que muestra en detalle el zócalo del microcontrolador

A continuación, en la Tabla 29, se detalla la relación de E/S de la placa Arduino con el resto de los periféricos.

Tabla 29 Descripción de E/S del Arduino Leonardo

PIN del Arduino Leonardo	Descripción
D0	TX placa de adquisición
D1	RX placa de adquisición
D2	Encoder 1
D3	Encoder 2
D4	Señal bloqueo motor derecha
D5	Señal bloqueo motor izquierda
D6	Señal de habilitado motor
D7	Botón ON/OFF Placa de adquisición
D9	Control PWM motor derecha
D10	Control PWM motor izquierda
D12	Detección de encoder

### 7.3.6. Placa de adquisición

La placa de adquisición está instalada en el manillar del patinete eléctrico. Esta ha sido diseñada para sustituir a la placa original de este, por lo que no explicaciones futuras se dan a este contexto. La Figura 137 muestra el resultado de fabricación, mientras la Figura 138, se observa una imagen del resultado de montaje de la placa en el manillar.

Las dimensiones de la placa son 23.5 x 73.5 mm.

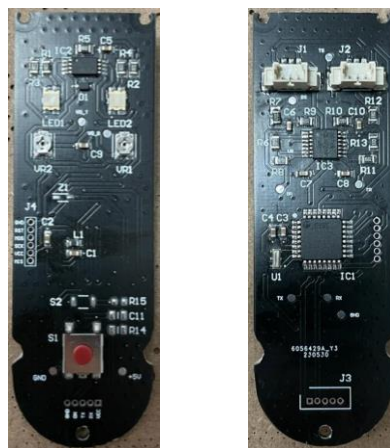


Figura 137 Resultado de la fabricación y montaje de la placa de adquisición



Figura 138 Resultado del montaje en el manillar de la placa de adquisición

En la Figura 138, puede observarse algunas modificaciones realizadas al diseño. Estas modificaciones corrigen un problema detectado con el bus de alimentación. El error ya ha sido subsanado en los diseños y esquemáticos, sin embargo, debido al correcto funcionamiento del conjunto, no se requiere de su sustitución y por lo tanto no se solicita una versión revisada a fabrica.

El esquema de conexiones de cada uno de los conectores se lista a continuación.

Tabla 30, Conector J1. Señal generada por el freno.

Tabla 30 Esquema de conexiones del conector J1 en Placa de adquisición

Pin	Función
1	Alimentación 5 V
2	Señal generada por el sensor de freno
3	Gnd

Tabla 31, Conector J2. Señal generada por el acelerador.

Tabla 31 Esquema de conexiones del conector J1 en Placa de adquisición

Pin	Función
1	Alimentación 5 V
2	Señal generada por el sensor del acelerador
3	Gnd

Tabla 32, Conector J3. Interfaz placa de adquisición y placa principal.

Tabla 32 Esquema de conexiones del conector J3 en Placa de adquisición

Pin	Función
1	Alimentación 5 V
2	UART RX
3	UART TX
4	ON/OFF (pulsador de funciones configurable)
5	Gnd

Tabla 26, Conector J4. Puerto de programación.

Tabla 33 Esquema de conexiones del conector J4 en Placa de adquisición

Pin	Función
1	MISO
2	Alimentación 5 V
3	SCK
4	MOSI
5	RESET
6	Gnd

El pulsador identificado como “S1”, se implementa a modo de permitir ajustar opciones. Estas funciones aún no están implementadas, sin embargo, se considera interesante de cara al futuro, además, el diseño aprovecha la disposición del botón original. Una de las funciones propuestas para su implementación es la de modificar el grado de dureza con el que el motor actúa, o incluso su desconexión total.

La placa de adquisición implementa, además, un sistema de detección de fallo de sensor. El sistema consiste en la implementación de un circuito comparador, de modo que, estableciendo una tensión umbral en la entrada negativa del AO, es posible determinar si el sensor ha sido conectado correctamente. El circuito es equivalente al mostrado en la Figura 131, en el que utilizaba el mismo sistema para determinar si el motor había entrado en bloqueo.

La diferencia en este caso es que se establece un nivel umbral equivalente para ambos sensores con la ayuda de un diodo. Debido a que la tensión mínima de funcionamiento de ambos sensores está por encima del valor de la caída de tensión de este, es un buen punto de referencia para determinar si ha habido un problema en la conexión o incluso una rotura de los mismos. La Figura 139 muestra el diagrama de montaje del circuito implementado en Altium Designer.

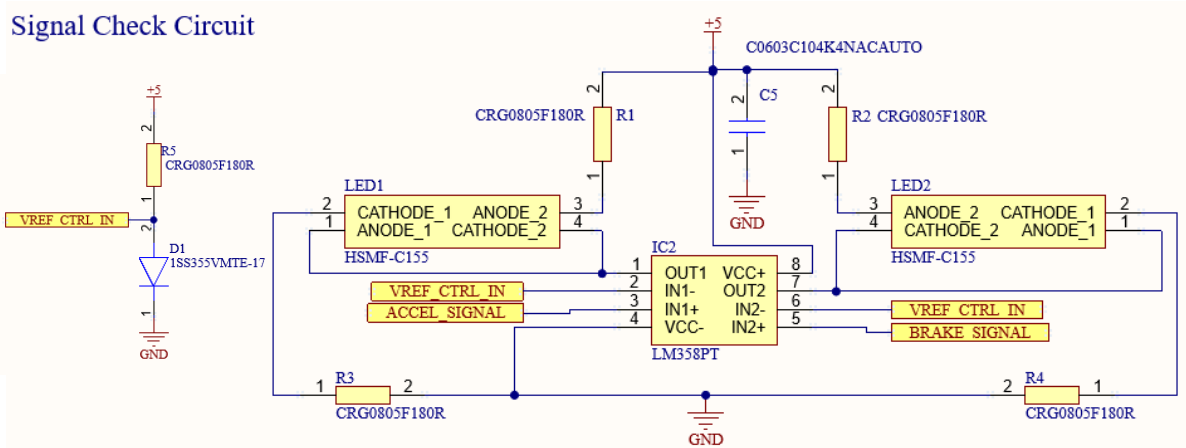


Figura 139 Diseño del circuito de comprobación de señal de los sensores de acelerador y freno

Por último, en la Tabla 34, se detalla la relación de E/S del microcontrolador ATmega328p con el resto de los periféricos.

Tabla 34 Descripción de E/S del ATmega328p

PIN del ATmega328p	Descripción
PB3 (15)	MOSI
PB4 (16)	MISO
PB5 (17)	SCK
PC0 (23)	ADC Señal Acelerador
PC1 (24)	ADC Señal Freno
PC6 (29)	RESET
PD0 (30)	UART RX
PD1 (31)	UART TX
PB6 (7)	Cristal de reloj SALIDA
PB7 (8)	Cristal de reloj ENTRADA

El resonador (cristal) utilizado para la sincronización del reloj es el modelo *CSTNE16MOV530000R0*<sup>34</sup> de *Murata Electronics*. El resonador establece una frecuencia de reloj estable en el microcontrolador de 16 MHz lo que permite al micro funcionar de forma estable y precisa.

Otras consideraciones como la adición de condensadores de desacoplo<sup>35</sup> se han tenido en cuenta. Estos condensadores se utilizan para mantener una tensión estable en la alimentación de los circuitos integrados, por lo que se deben posicionar lo más próximo a los pines de alimentación de estos.

Así mismo, técnicas como “*Teardrop*”<sup>36</sup> o “*via stitching*”<sup>37</sup> se han utilizado al tiempo de diseño. La primera permite generar pistas con forma de gota al tiempo de unión con los componentes. Este aspecto ayuda no solo a la correcta conectividad entre pista y componente, sino que, además, en caso de que la PCB se vea expuesta a ambientes corrosivos, el contorno añadido por esta herramienta otorga un grado extra de protección.

La segunda es una técnica utilizada para interconectar planos de masa entre varias caras de la PCB. Esto permite aumentar el grado de inmunidad contra interferencias electromagnéticas.

Para finalizar, se realiza una prueba del bus de comunicaciones UART, para comprobar que todo funciona correctamente. Para ello, se utiliza un osciloscopio.

El osciloscopio utilizado incorpora una función que permite decodificar el protocolo de comunicación serie. Para ello solo es necesario indicarle el *baudrate*, número de bits de los que se compone cada trama, y el número de bits de *STOP*. Tras realizar las configuraciones aquí mencionadas y conectar el equipo al pin PD1 (UART TX) podemos empezar analizar los datos transferidos por este.

A modo de hacer la información más legible de cara a la prueba, se configura el firmware para que envíe la información como cadena de texto ASCII<sup>38</sup>. Los resultados tras las pruebas

<sup>34</sup> Datasheet disponible en [https://www.mouser.es/datasheet/2/281/murata\\_04192018\\_CSTN\\_CeramResonCERAL-1323383.pdf](https://www.mouser.es/datasheet/2/281/murata_04192018_CSTN_CeramResonCERAL-1323383.pdf)

<sup>35</sup> Información más extendida se puede encontrar en <http://www.learningaboutelectronics.com/Articulos/Condensador-de-desacoplo.php>

<sup>36</sup> Más información sobre esta técnica en <https://resources.altium.com/p/teardrops-improve-your-pcb-quality-and-yield>

<sup>37</sup> Más información sobre esta técnica en <https://resources.altium.com/es/p/everything-you-need-know-about-stitching-vias>

<sup>38</sup> Más información en <https://elcodigoascii.com.ar/>



puedan verse tanto en la Figura 140 como en la Figura 141, ambas muestran un valor distinto según el estado del acelerador.



Figura 140 Captura de datos del bus de comunicaciones UART en la placa de adquisición, acelerador a un poco más de un cuarto de su recorrido



Figura 141 Captura de datos del bus de comunicaciones UART en la placa de adquisición, acelerador al máximo

Como se puede comprobar, los datos son transferidos con normalidad y pueden leerse sin problema.

## 7.4. Cableado y conexión

En este punto se detalla el tipo de cableado utilizado para la interconexión de los distintos elementos, así como la solución escogida para interconectar el simulador al computador.

### 7.4.1. Cableado

Para realizar la interconexión de los distintos elementos que componen la solución adoptada, se utiliza cable de tipo apantallado de 6 hilos como el que se muestra en la Figura 142.

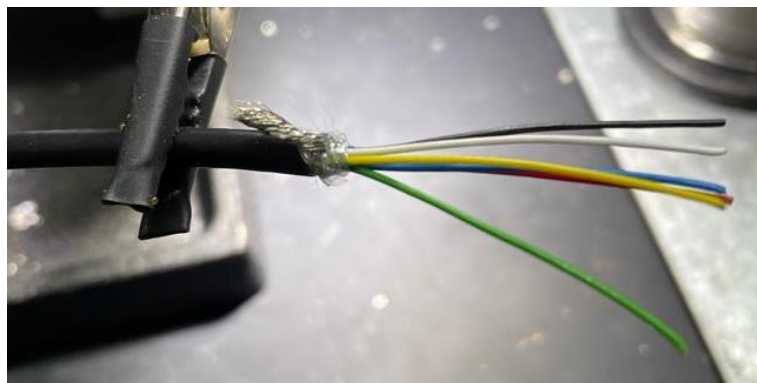


Figura 142 Cable apantallado de 6 hilos utilizado para la interconexión de los distintos elementos del proyecto

El cable es distribuido por la empresa *RS PRO* bajo la referencia *660-0397* cuyas principales características se detallan en la Tabla 35.

Tabla 35 Características principales cable apantallado 6 hilos 660-0397

<b>Especificaciones</b>	<i>660-0397</i>
<b>Material del conductor</b>	<i>Cobre estañado</i>
<b>Número de núcleos</b>	<i>6</i>
<b>Apantallado</b>	<i>Sí</i>
<b>Tipo de pantalla</b>	<i>Malla de cobre estañado</i>
<b>Material de cubierta</b>	<i>PVC de cloruro de polivinilo</i>
<b>Cantidad del conductor</b>	<i>16x6</i>
<b>Relleno</b>	<i>0,7 tira de PVC</i>
<b>Calibre de cable americano</b>	<i>30 AWG</i>
<b>Tensión nominal</b>	<i>300 V</i>
<b>Corriente nominal</b>	<i>250 mA</i>
<b>Resistencia del conductor</b>	<i>345 <math>\Omega</math>/Km</i>
<b>Radio de pliegue mínimo</b>	<i>8 x diámetro exterior</i>
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	<i>-20 °C a 80 °C</i>

Este tipo de cable añade inmunidad adicional al ruido producido por acoplamiento capacitivo. Sin embargo, para asegurar un correcto aislamiento, es imprescindible conectar la malla al plano de masa del circuito.



## 7.4.2. Conexión entre equipos

A modo de realizar la conexión entre el microcontrolador y el computador, se fabrica un cable adaptador micro USB a USB de tipo C. Esto facilita la conexión al momento de su utilización, debido a el propio diseño del conector, pues puede conectarse en una u otra posición indistintamente. El cable fabricado, así como los elementos de los que se compone, pueden verse en la Figura 143.



Figura 143 Elementos que componen el adaptador micro USB a USB C de la plataforma

En la Figura 144, se muestra el esquema de conexiones del adaptador micro USB fabricado.

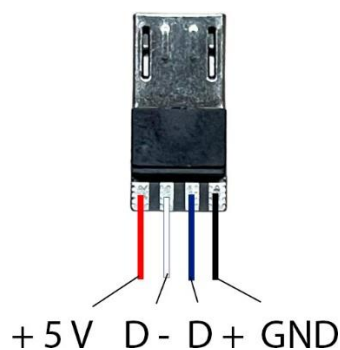


Figura 144 Esquema de conexiones del adaptador micro USB fabricado

El adaptador, está especialmente pensado para sustituir la toma de carga integrada en el chasis del patinete eléctrico, de manera que quede todo totalmente integrado en la plataforma.

A partir de este punto, solo es necesario utilizar un cable USB, con la longitud deseada para realizar la conexión de forma segura. Se debe tener en cuenta que dicho cable, no supere los 5 m de longitud que recomienda el estándar USB.

## 7.5. Firmware

Los aspectos relativos al firmware se tratan en este punto.

### 7.5.1. Placa de control

El firmware de la placa de control, esta principalmente basado en la utilización de librerías proporcionadas por la comunidad Arduino. Este aspecto no solo simplifica en gran medida su implementación, sino que además acorta mucho su tiempo de desarrollo.

Toda la programación se ha realizado en el entorno de desarrollo de Arduino IDE. Una captura del programa se visualiza en la Figura 145.

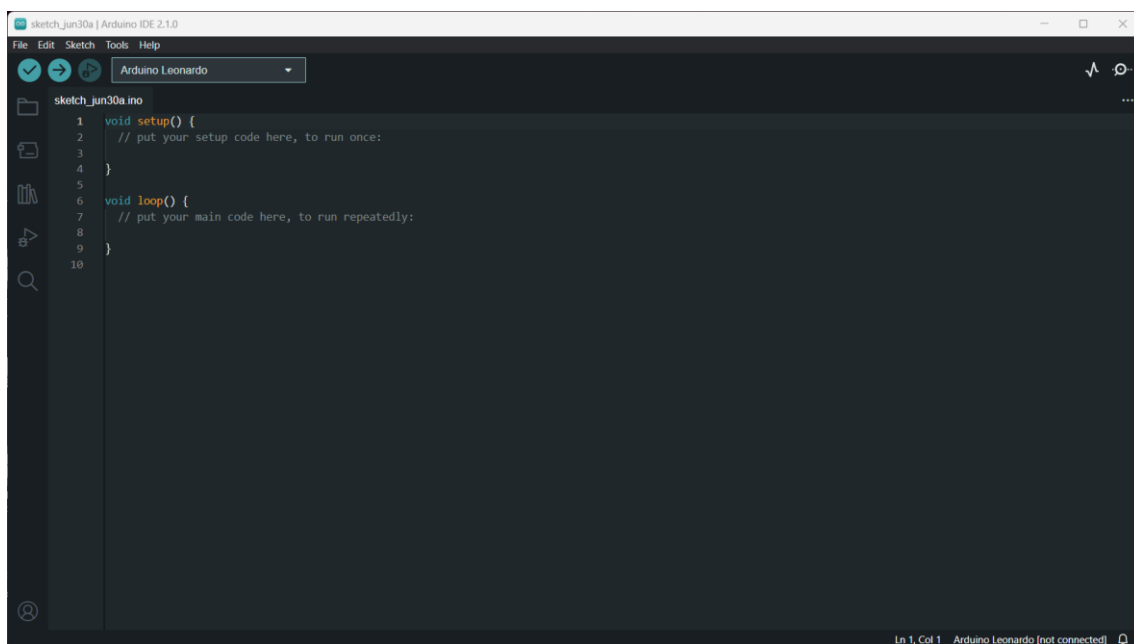


Figura 145 Entorno de desarrollo Arduino IDE

Las principales librerías utilizadas en este proyecto son:

- *BTS7960* en su versión 1.0.0
- *EncoderStepCounter* en su versión 1.1.0

La librería *BTS7960* desarrollada por Luis Llamas esta diseñada para gestionar el funcionamiento de la controladora de motor mencionada en apartados anteriores. Para utilizarla, se debe crear una instancia de la clase *BTS7960* como se muestra a continuación:

```
BTS7960 motor1(EN, L_PWM, R_PWM);
```

Donde:

- EN: Valor numérico del pin al que se conecta la habilitación del motor
- L\_PWM: Valor numérico del pin PWM que gestiona el giro a la izquierda
- R\_PWM: Valor numérico del pin PWM que gestiona el giro a la derecha



La Tabla 36 muestra los métodos de la clase aquí citada.

Tabla 36 Métodos de la clase BTS7960

Instrucción	Parámetro	Devuelve	Descripción
<b>enable</b>	<i>Ninguno</i>	<i>Nada</i>	<i>Habilita el controlador del motor</i>
<b>disable</b>	<i>Ninguno</i>	<i>Nada</i>	<i>Deshabilita el controlador del motor</i>
<b>stop</b>	<i>Ninguno</i>	<i>Nada</i>	<i>Detiene el motor (Función freno)</i>
<b>turnLeft</b>	<i>int8_t pwm</i>	<i>Nada</i>	<i>Rotación a izquierda al valor de PWM dado</i>
<b>turnRight</b>	<i>int8_t pwm</i>	<i>Nada</i>	<i>Rotación a derecha al valor de PWM dado</i>

Por otra parte, la librería *EncoderStepCounter* desarrollada por Manuel Reimer, está diseñada para leer la información del encoder de manera sencilla y sin fallos. En terminas prácticos, esta librería permite contar el número de pulsos generados a izquierda o derecha por medio de interrupciones. Esta cuenta se puede utilizar calcular el movimiento generado por el manillar.

Para utilizarla, se debe crear una instancia de la clase *EncoderStepCounter* como se muestra a continuación:

```
EncoderStepCounter encoder(ENCODER_PIN1, ENCODER_PIN2);
```

Donde:

- ENCODER\_PIN1: Valor numérico del pin al que va conectado la señal 1 del encoder
- ENCODER\_PIN2: Valor numérico del pin al que va conectado la señal 2 del encoder

La Tabla 37 muestra los métodos de la clase aquí citada.

Tabla 37 Métodos de la clase EncoderStepCounter

Instrucción	Parámetro	Devuelve	Descripción
<b>begin</b>	<i>Ninguno</i>	<i>Nada</i>	<i>Inicializa el encoder</i>
<b>tick</b>	<i>Ninguno</i>	<i>Nada</i>	<i>Aumenta o disminuye la cuenta</i>
<b>getPosition</b>	<i>Ninguno</i>	<i>signed char</i>	<i>Devuelve el valor de la cuenta</i>
<b>reset</b>	<i>Ninguno</i>	<i>Nada</i>	<i>Pone a cero el contador del encoder</i>

En la Tabla 38, se listan a continuación las constantes simbólicas declaradas en el programa, así como su descripción detallada

Tabla 38 Declaración de constantes simbólicas firmware de placa de control

Constante	Valor	Descripción
<b>M_EN</b>	<i>6</i>	<i>Pin asignado a la habilitación de motor</i>
<b>M_L_PWM</b>	<i>9</i>	<i>Pin asignado al PWM de giro a izquierda</i>
<b>M_R_PWM</b>	<i>10</i>	<i>Pin asignado al PWM de giro a derecha</i>
<b>ENCODER_PIN1</b>	<i>2</i>	<i>Pin asignado a la señal 1 del encoder</i>
<b>ENCODER_PIN2</b>	<i>3</i>	<i>Pin asignado a la señal 2 del encoder</i>
<b>OVERLOAD_R</b>	<i>4</i>	<i>Pin asignado al control de bloqueo de motor, derecha</i>
<b>OVERLOAD_L</b>	<i>5</i>	<i>Pin asignado al control de bloqueo de motor, izquierda</i>
<b>BAUD_DASH</b>	<i>19200</i>	<i>Velocidad de comunicación puerto serie UART</i>
<b>BAUD_USB</b>	<i>19200</i>	<i>Velocidad de comunicación puerto serie USB</i>

<b>STX</b>	<i>0x02</i>	<i>Valor del dato de comprobación de inicio de transmisión</i>
<b>ETX</b>	<i>0x03</i>	<i>Valor del dato de comprobación de final de transmisión</i>
<b>DEG_PAS</b>	<i>0.3666</i>	<i>Constante de conversión, pulso generado en encoder a grados</i>

Las variables globales utilizadas en programa se listan y detallan en la Tabla 39.

Tabla 39 Declaración de variables globales firmware placa de control

<b>Variable</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
<b>enc_pos</b>	<i>signed long</i>	<i>Almacena la posición relativa del encoder (número de pulsos)</i>
<b>in_rx</b>	<i>volatile_uint8_t</i>	<i>Almacena el valor actual del índice de dato recibido</i>
<b>data[5]</b>	<i>volatile char</i>	<i>Vector que almacena los datos a enviar por puerto serie</i>
<b>tx_ready</b>	<i>volatile bool</i>	<i>Variable que almacena la confirmación de validez de datos</i>

Las funciones utilizadas en este programa se detallan y explican a continuación.

Tabla 40, *void sendUSBData()*.

Tabla 40 Función *void sendUSBData()*

**void sendUSBData();**

<b>Valor devuelto</b>	<i>void</i>	<i>No devuelve ningún valor</i>
<b>Parámetro 1</b>	<i>Ninguno</i>	<i>No requiere ningún parámetro</i>
<b>Detalle</b>	<i>Función encargada de enviar las tramas de datos al computador a través del puerto USB</i>	

Tabla 41, *int getAng()*.

Tabla 41 Función *int getAng()*

**int getAng();**

<b>Valor devuelto</b>	<i>void</i>	<i>No devuelve ningún valor</i>
<b>Parámetro 1</b>	<i>int</i>	<i>Valor numérico del ángulo de giro calculado</i>
<b>Detalle</b>	<i>Convierte la posición actual del encoder en grados (Posición angular)</i>	

Tabla 42, *int getSpeed()*.

Tabla 42 Función *int getSpeed()*

**int getSpeed();**

<b>Valor devuelto</b>	<i>void</i>	<i>No devuelve ningún valor</i>
<b>Parámetro 1</b>	<i>int</i>	<i>Valor de 25 a 255 para la configuración del PWM del motor</i>
<b>Detalle</b>	<i>Calcula la velocidad de desplazamiento del motor, según la posición actual y la distancia a la posición de destino. La ajusta de manera gradual descendente</i>	



Tabla 43, *char getCharAng()*.

Tabla 43 Función *char getCharAng()*

<b>char getCharAng();</b>		
<b>Valor devuelto</b>	<i>void</i>	<i>No devuelve ningún valor</i>
<b>Parámetro 1</b>	<i>char</i>	<i>Byte que contiene la información del ángulo calculado</i>
<b>Detalle</b>	<i>Convierte el valor del ángulo calculado a un valor sin signo de 1 byte. El valor enviado con este método exige restar 128 al valor obtenido por el canal receptor a modo de obtener el valor real calculado.</i>	

Tabla 44, *void updateEncoder()*.

Tabla 44 Función *void updateEncoder()*

<b>void updateEncoder();</b>		
<b>Valor devuelto</b>	<i>void</i>	<i>No devuelve ningún valor</i>
<b>Parámetro 1</b>	<i>Ninguno</i>	<i>No requiere ningún parámetro</i>
<b>Detalle</b>	<i>Actualiza el valor actual de la posición del encoder y reinicializa su contador</i>	

Tabla 45, *void SteeringCal()*.

Tabla 45 Función *void SteeringCal()*

<b>void SteeringCal();</b>		
<b>Valor devuelto</b>	<i>void</i>	<i>No devuelve ningún valor</i>
<b>Parámetro 1</b>	<i>Ninguno</i>	<i>No requiere ningún parámetro</i>
<b>Detalle</b>	<i>Función de auto calibrado del sensor de giro. Establece la posición del manillar al centro de su eje de giro.</i>	

Tabla 46, *void SteeringForceCenter()*.

Tabla 46 Función *void SteeringForceCenter()*

<b>void SteeringForceCenter();</b>		
<b>Valor devuelto</b>	<i>void</i>	<i>No devuelve ningún valor</i>
<b>Parámetro 1</b>	<i>Ninguno</i>	<i>No requiere ningún parámetro</i>
<b>Detalle</b>	<i>Función que devuelve a su posición central el manillar en todo momento. Se utiliza para ejercer fuerza y feedback al usuario.</i>	

## 7.5.2. Placa de adquisición

Dado que la placa de adquisición es de fabricación e implementación propia, todo el diseño del firmware se realiza por medio de la utilización del software desarrollado por *Microchip®*, *Microchip Studio* en su versión 7.0.2594.

Las librerías utilizadas son las estándar del propio entorno de programación, por lo que no se hace referencia a ninguna de ellas en este contexto<sup>39</sup>.

<sup>39</sup> Toda la información referente a estas librerías puede encontrarse en la siguiente web de Microchip [AVR Libc \(microchip.com\)](http://AVR_Libc_(microchip.com))

Una captura del programa puede verse en la Figura 146.

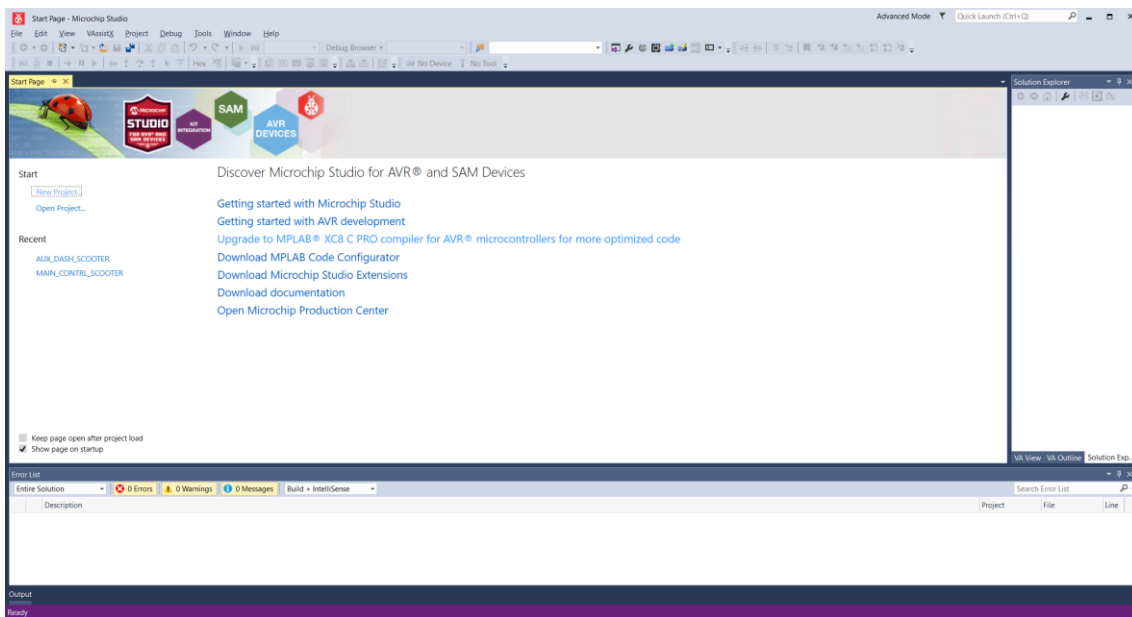


Figura 146 Entorno de desarrollo de Microchip Studio 7.0.2594

Las constantes simbólicas declaradas, se listan y detallan en la Tabla 47.

Tabla 47 Declaración de constantes simbólicas firmware de placa de adquisición

Constante	Valor	Descripción
<b>F_CPU</b>	16000000	Valor de la frecuencia de reloj del microcontrolador
<b>FOSC</b>	16000000	Frecuencia de reloj del micro (Necesario para el ADC)
<b>BAUD</b>	19200	Velocidad del puerto de comunicación UART
<b>MYUBRR</b>	FOSC/16/BAUD-1	Cálculo del valor de registro de la frecuencia de muestreo del ADC
<b>STX</b>	0x02	Valor del dato de comprobación de inicio de transmisión
<b>ETX</b>	0x03	Valor del dato de comprobación de final de transmisión
<b>ADC_START</b>	(ADCSRA  = (1<<ADSC))	Inicializa la conversión del ADC
<b>ADC_0</b>	(ADMUX &= ~(1<<MUX0))	Configura el puerto 0 del ADC
<b>ADC_1</b>	(ADMUX  = (1<<MUX0))	Configura el puerto 1 del ADC
<b>N_SAMPLES</b>	40	Número de muestras a tomar del ADC

Las variables globales utilizadas en programa se listan y detallan en la Tabla 48.

Tabla 48 Declaración de variables globales firmware placa de adquisición

Variable	Tipo	Descripción
<b>s_trotle</b>	volatile uint16_t	Valor almacenado del ADC del acelerador
<b>s_brake</b>	volatile uint16_t	Valor almacenado del ADC del freno
<b>count</b>	volatile uint64_t	Contador de interrupción del ADC
<b>n_sample</b>	volatile uint8_t	Número de muestras tomadas



Las funciones utilizadas en este programa se detallan y explican a continuación.

Tabla 49, *void setup\_adc()*.

Tabla 49 Función *void setup\_adc()*

**void setup\_adc();**

Valor devuelto	<i>void</i>	<i>No devuelve ningún valor</i>
Parámetro 1	<i>Ninguno</i>	<i>No requiere ningún parámetro</i>
Detalle	<i>Configura el módulo de conversión A/D</i>	

Tabla 50, *void setup\_uart(unsigned int ubrr)*.

Tabla 50 Función *void setup\_uart(unsigned int ubrr)*

**void setup\_uart(unsigned int ubrr);**

Valor devuelto	<i>void</i>	<i>No devuelve ningún valor</i>
Parámetro 1	<i>unsigned int</i>	<i>Registro de configuración de velocidad de transmisión</i>
Detalle	<i>Configura el módulo de comunicación Serie UART</i>	

Tabla 51, *void transmit\_uart(unsigned char data)*.

Tabla 51 Función *void transmit\_uart(unsigned char data)*

**void transmit\_uart(unsigned char data);**

Valor devuelto	<i>void</i>	<i>No devuelve ningún valor</i>
Parámetro 1	<i>unsigned int</i>	<i>Byte de datos a enviar por el puerto serie</i>
Detalle	<i>Envía datos (1 byte) a través del puerto serie</i>	

Tabla 52, *void send\_frame()*.

Tabla 52 Función *void send\_frame()*

**void send\_frame();**

Valor devuelto	<i>void</i>	<i>No devuelve ningún valor</i>
Parámetro 1	<i>Ninguno</i>	<i>No requiere ningún parámetro</i>
Detalle	<i>Envía una trama completa de datos. La trama contiene 4 paquetes, STX, valor del acelerador, valor del freno y ETX.</i>	

Tabla 53, *uint16\_t data\_converter(uint16\_t num)*.

Tabla 53 Función *uint16\_t data\_converter(uint16\_t num)*

**uint16\_t data\_converter(uint16\_t num);**

Valor devuelto	<i>uint16_t</i>	<i>Devuelve el valor convertido en un rango de 0 al 100</i>
Parámetro 1	<i>uint16_t</i>	<i>Valor del ADC registrado a convertir</i>
Detalle	<i>Convierte el valor registrado por el ADC a un valor que comprende del 0 al 100</i>	

## 7.6. Programa de validación

Se desarrolla un pequeño programa en el entorno de programación Visual Studio de Microsoft, véase la Figura 147.

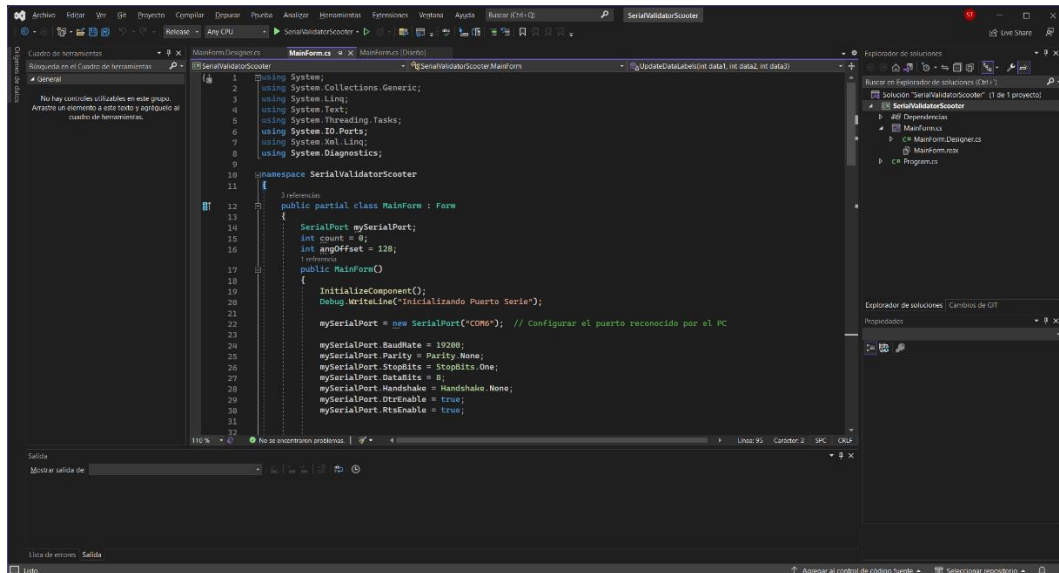


Figura 147 Entorno de programación Visual Estudio de Microsoft

El programa se desarrolla en C# utilizando Windows Form para la implementación de la interfaz visual. En la Figura 148 se muestra una captura de la interfaz visual en funcionamiento.

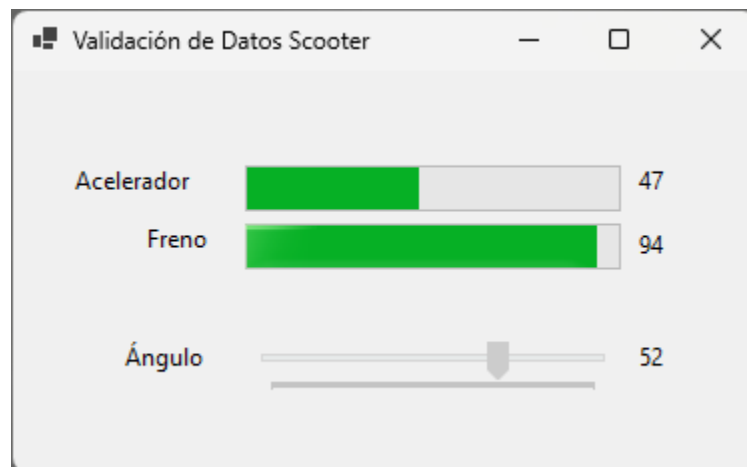


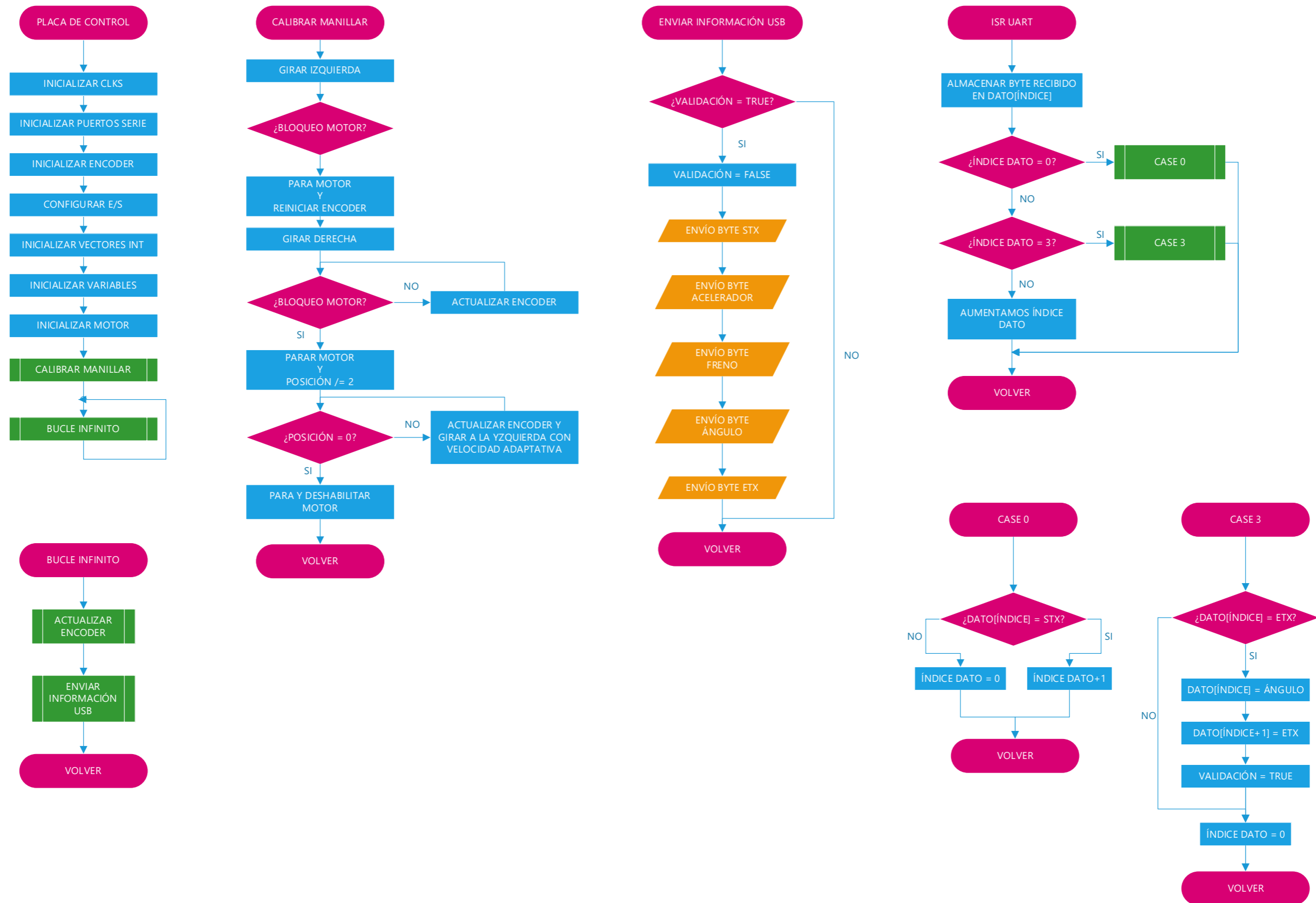
Figura 148 Captura de la interfaz visual del programa de validación en funcionamiento

El programa está diseñado para leer la información proveniente del puerto USB, validarla y mostrarla en la interfaz visual. Se trata de una herramienta simple, que permite comprobar el correcto funcionamiento de todo el conjunto desarrollado.

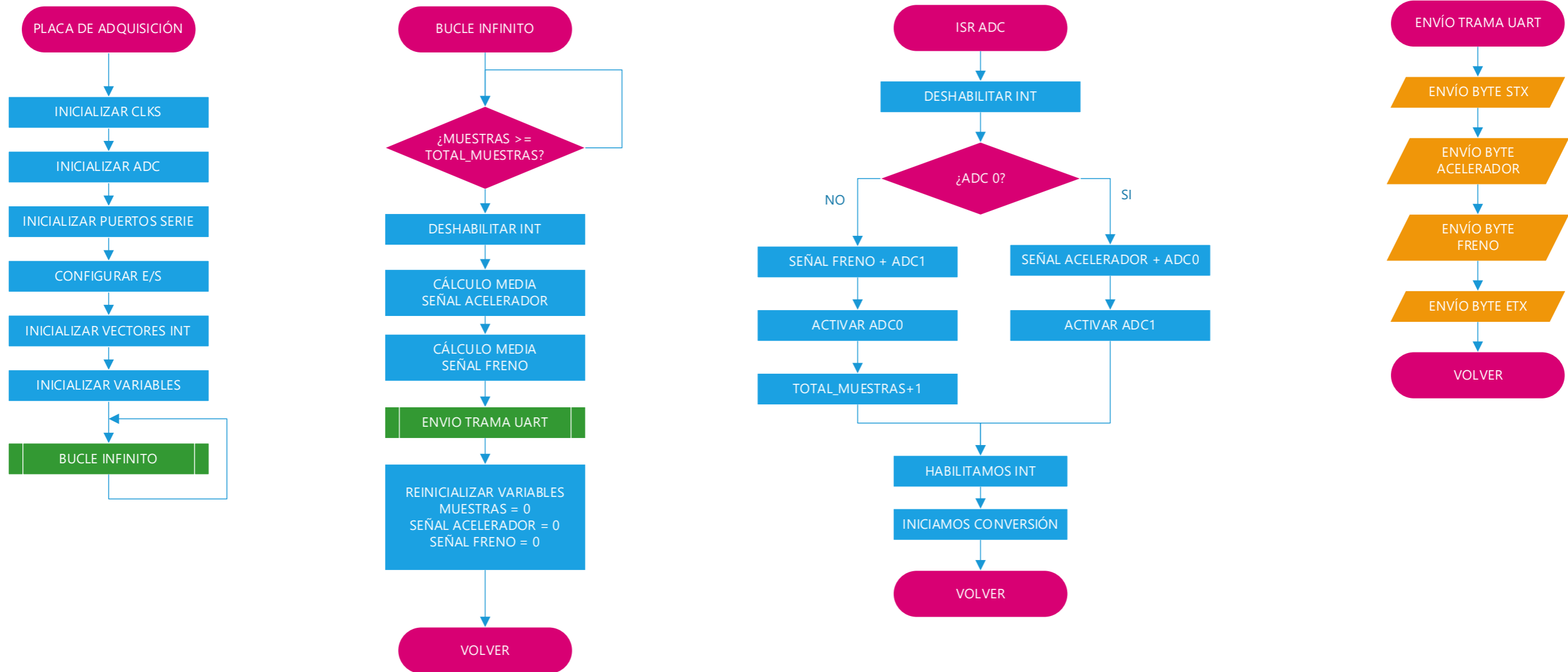
## 7.7. Flujogramas



### 7.7.1. Flujograma programa placa de control

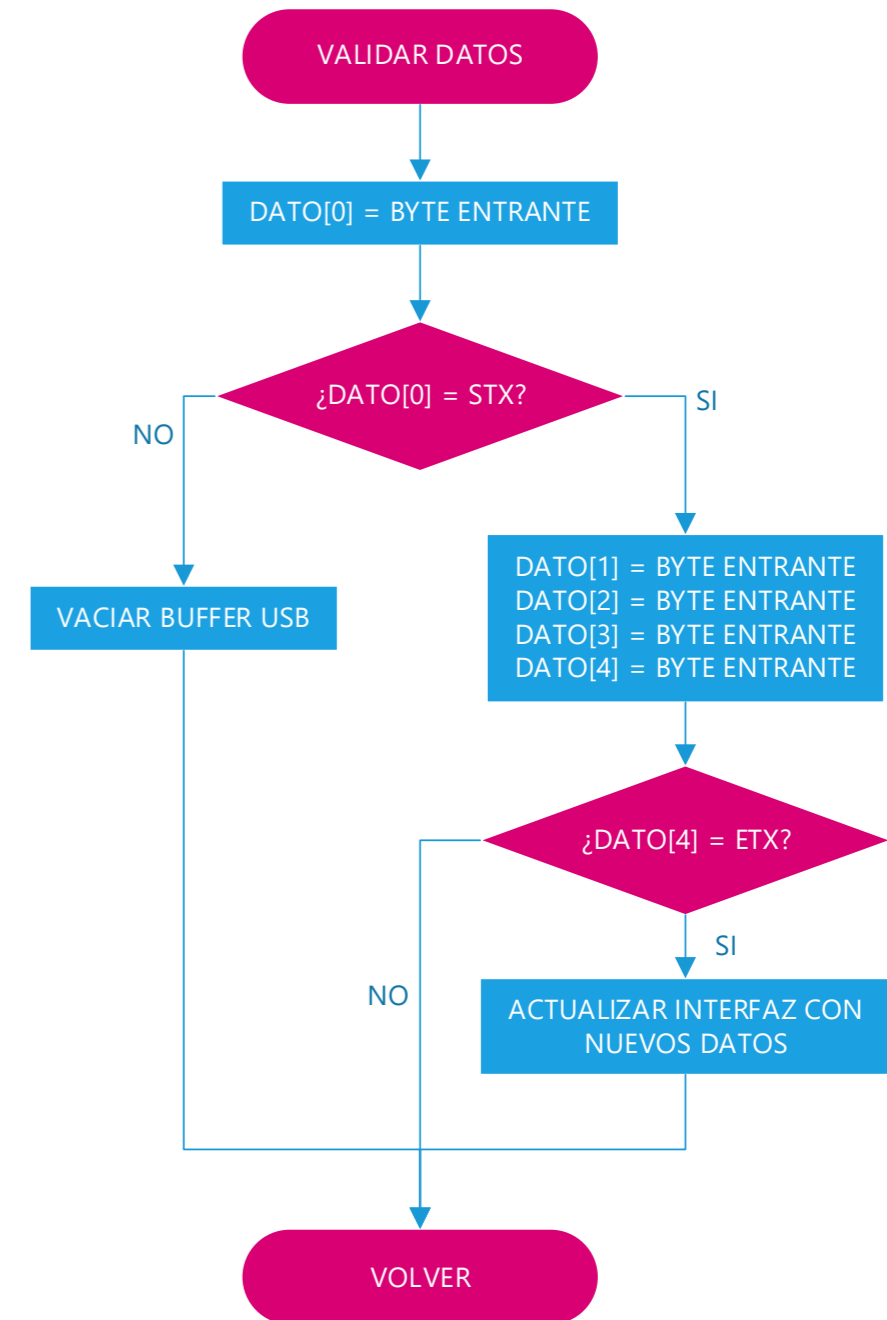
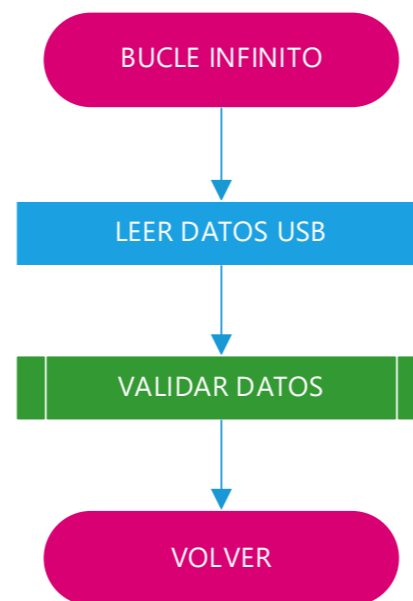
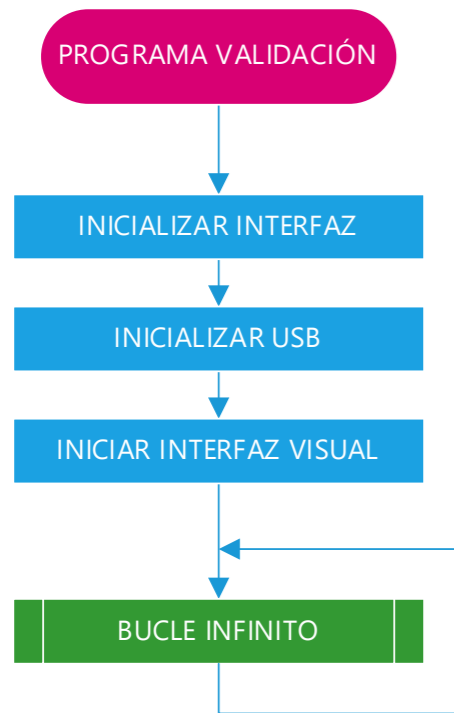


### 7.7.2. Flujograma programa placa de adquisición





### 7.7.3. Flujograma programa de validación



## 8. Bibliografía

---

- [1] M. López, «revista.dgt.es,» 31 marzo 2022. [En línea]. Available: <https://revista.dgt.es/es/reportajes/2022/03MARZO/0331-Observatorio-radiografia-bici-y-patinete.shtml>.
- [2] E. Vivó, «neomotor.epe.es,» 26 diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://neomotor.epe.es/movilidad/los-patinetes-electricos-siguen-creciendo-en-espana-pese-a-las-criticas-YY1098122>.
- [3] Hellosafe, «hellosafe.es,» 2023. [En línea]. Available: <https://hellosafe.es/blog/accidentes-en-patinete>.
- [4] F. Leon, «Dynamo Electronics,» 28 abril 2022. [En línea]. Available: <https://dynamoelectronics.com/buses-de-datos-en-electronica-paralelo-uart-spi-i2c/>.
- [5] MakerElectronico, «makerelectronico,» 24 marzo 2017. [En línea]. Available: <https://www.makerelectronico.com/comunicacion-serial-uart-usart-rs232-pic18f4550/>.
- [6] All About Circuits, «www.allaboutcircuits.com,» 20 junio 2023. [En línea]. Available: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/digital/chpt-3/logic-signal-voltage-levels/>.
- [7] etsist, «etsist.upm,» [En línea]. Available: <https://www.etsist.upm.es/estaticos/ingeniatic/index.php/tecnologias/item/516-mems-microelectromechanical-systems.html#:~:text=MEMS%20es%20la%20tecnolog%C3%ADa%20de,desde%20uno%20hasta%20100%20micr%C3%B3metros..>
- [8] Paguayo, «MCI Captación,» 18 junio 2019. [En línea]. Available: <https://cursos.mcielectronics.cl/2019/06/18/giroscopio/>.
- [9] Prometec, «prometec,» [En línea]. Available: <https://www.prometec.net/imu-mpu6050/>.
- [10] L. Llamas, «luisllamas,» 7 septiembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/medir-la-inclinacion-imu-arduino-filtro-complementario/>.
- [11] Fixscooter, «YouTube,» 16 junio 2020. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=QuJGvRZtpsA>.
- [12] Vortecks, «YouTube,» 26 octubre 2019. [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=SNU9H51hpaA&ab\\_channel=Vortecks](https://www.youtube.com/watch?v=SNU9H51hpaA&ab_channel=Vortecks).
- [13] D. Johanneck, «DigiKey,» 19 febrero 2019. [En línea]. Available: <https://www.digikey.es/es/blog/using-bldc-hall-sensors-as-position-encoders-part-1>.
- [14] G. M. Smith, «DEWESoft,» 5 mayo 2020. [En línea]. Available: <https://ao2.it/en/blog/2018/05/31/low-cost-and-precise-rotary-encoder-magnetic-spheres>.
- [15] Allegro MicroSystems, «Alldatasheet.com,» [En línea]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/55100/ALLEGRO/UGN3503.html>.
- [16] Melexis Microelectronic Systems, «Alldatasheet.com,» [En línea]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/224016/MELEXIS/US5881.html>.
- [17] Honeywell, «www.farnell.com,» [En línea]. Available: <https://www.farnell.com/datasheets/2619483.pdf>.
- [18] Arduino, «docs.arduino.cc,» [En línea]. Available: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>.
- [19] Arduino, «docs.arduino.cc,» [En línea]. Available: <https://docs.arduino.cc/static/62e8c1324931ab6a0d98fdf5a65dd864/A000067-datasheet.pdf>.
- [20] USB Enabling Connections, «www.usb.org,» 10 08 2021. [En línea]. Available: <https://www.usb.org/document-library/usb-20-specification>. [Último acceso: 22 06 2023].
- [21] alu10, «alu10,» [En línea]. Available: <https://alu10.com/es/>. [Último acceso: 26 06 2023].



- [22] rs-online, «es.rs-online.com,» [En línea]. Available: <https://es.rs-online.com/web/p/ruedas-industriales/4589939>. [Último acceso: 27 06 2023].
- [23] L. Llamas, «www.luisllamas.es,» 9 12 2020. [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/explicacion-del-teorema-de-muestreo-de-nyquist-sin-ecuaciones/>. [Último acceso: 28 06 2023].
- [24] A. M. Shojaei, «electropeak.com,» [En línea]. Available: <https://electropeak.com/learn/interfacing-bts7960-43a-high-power-motor-driver-module-with-arduino/>. [Último acceso: 28 06 2023].
- [25] CINCON, «cincon.com,» [En línea]. Available: <https://cincon.com/productdetail/EC5A.html>. [Último acceso: 28 06 2023].
- [26] Learning about Electronics, «Learning about Electronics,» [En línea]. Available: <http://www.learningaboutelectronics.com/Articulos/Condensador-de-desacoplo.php>. [Último acceso: 30 06 2023].
- [27] Microchip, «onlinedocs.microchip.com,» [En línea]. Available: <https://onlinedocs.microchip.com/pr/GUID-317042D4-BCCE-4065-BB05-AC4312DBC2C4-en-US-2/index.html?GUID-4E858AD6-A765-4972-84FE-CD55FC481B2F>. [Último acceso: 01 07 2023].
- [28] R. L. Boylestad y L. Nashelsky, *Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*, Pearson, 2018.
- [29] M. Á. Pérez García, *Instrumentación electrónica*, Paraninfo, 2014.
- [30] M. Á. Pérez García, J. C. Álvarez Antón, J. C. Campo Rodríguez, F. J. Ferrero Martín y G. Grillo Ortega, *Instrumentación electrónica*, Thomson, 2004.
- [31] J. Fiore, *Amplificadores Operacionales y Circuito Integrados Lineales*, Thomson, 2001.
- [32] J. G. Proakis y D. G. Manolakis, *Tratamiento digital de señales*, Prentice Hall, 1998.
- [33] M. Vazquez y E. Lopez, *Mecanica para Ingenieros*, Noela, 1998.
- [34] F. J. Ceballos, *Enciclopedia de Microsoft Visual C#. Interfaces gráficas y aplicaciones para internet con Windows Forms y ASP.NET*, Ra-Ma, 2013.
- [35] F. J. Ceballos, *C/C++ Curso de programación*, Ra-Ma, 2015.
- [36] RamjetX, «RamjetX Logitech G25/G27/G29 70mm Hub Adaptor Kit,» 9 1 2022. [En línea]. Available: <https://www.printables.com/es/model/115848-ramjetx-logitech-g25g27g29-70mm-hub-adaptor-kit-up>. [Último acceso: 04 07 2023].

## 9. Anexos

---

### 9.1. Código completo del firmware

#### 9.1.1. Placa de control

```
/*
 * MAIN_CONTROLLER_SCOOTER.c
 *
 * Created: 30/06/2023
 * Author : Samuel Boix Torner
 * Brief:
 * Programa principal para la adquisición y gestión de datos del simulador.
 * Implementa la comunicación con el computador, así como el control de motor y
 * adquisición de ángulo de giro.
 * Sirve como interfase entre la placa de adquisición y la placa de control
 *
 */

#include <BTS7960.h>
#include "EncoderStepCounter.h"

// Definición de ajustes del control de motor
#define M_EN 6
#define M_L_PWM 9
#define M_R_PWM 10

BTS7960 motorController(M_EN, M_L_PWM, M_R_PWM);

// Definición de ajustes del control del encoder
#define ENCODER_PIN1 2
#define ENCODER_INT1 digitalPinToInterrupt(ENCODER_PIN1)
#define ENCODER_PIN2 3
#define ENCODER_INT2 digitalPinToInterrupt(ENCODER_PIN2)

EncoderStepCounter encoder(ENCODER_PIN1, ENCODER_PIN2);

// Definición de ajustes del control de bloqueo del motor
#define OVERLOAD_R 4
#define OVERLOAD_L 5

// Definición de ajustes de control de datos
#define BAUD_DASH 19200 // Velocidad de comunicación del puerto serie UART
#define BAUD_USB 19200 // Velocidad de comunicación del puerto serie USB
#define STX 0x02 // Comprobación de inicio de cadena para la validación de datos
#define ETX 0x03 // Comprobación de fin de cadena para la validación de datos

// Definición de constantes
#define DEG_PAS 0.3666 // equivalencia en grados de una cuenta del encoder

// Declaración de variables globales
// Variables referentes a la posición del encoder
signed long enc_pos = 0; // Posición relativa del encoder

// Variables de datos para la comunicación Serie
volatile uint8_t in_rx = 0; // Valor actual del índice del dato recibido
volatile char data[5]; // Vector de datos a enviar al computador
volatile bool tx_ready = false; // Confirmación de validez de datos
```



```

// Declaración de funciones
void sendUsbData(); // Envía los datos al computador
int getAng(); // Convierte la posición del encoder en grados
int getSpeed(); // Ajusta velocidad motor según proximidad de objetivo
char getCharAng(); // Convierte ángulo a valor sin signo de 1 Byte
void updateEncoder(); // Actualiza variable relativa a la posición del encoder
void SteeringCal(); // Calibrado automático del sensor de giro
void SteeringForceCenter(); // Forzado de posicionamiento del manillar al centro

void setup() {
    Serial.begin(BAUD_USB); // Iniciar el puerto serie USB
    Serial1.begin(BAUD_DASH); // Iniciar el puerto serie UART
    // Inicialización del encoder
    encoder.begin();
    // Inicialización de las interrupciones
    attachInterrupt(ENCODER_INT1, interrupt, CHANGE);
    attachInterrupt(ENCODER_INT2, interrupt, CHANGE);
    pinMode(OVERLOAD_R, INPUT);
    pinMode(OVERLOAD_L, INPUT);
    // Inicialización del motor
    motorController.Enable();
    // Calibración del sensor de giro
    SteeringCal();
}

/*
 * Loop principal del programa
 */
void loop() {
    updateEncoder();
    sendUsbData();
}

/*
 * Función que envía la información por USB si la trama de datos es válida
 */
void sendUsbData() {
    if (tx_ready) { // Comprobación de validez de la trama de datos
        tx_ready = false; // Reiniciamos la bandera
        for (int i = 0; i < 5; i++) { // Enviamos los bytes de la cadena
            Serial.write(data[i]);
        }
    }
}

/*
 * Función que actualiza el valor actual del encoder y reinicia su cuenta interna
 */
void updateEncoder() {
    signed char pos = encoder.getPosition(); //Leemos pulsos del encoder
    if (pos != 0) { // Si ha habido cambios procedemos con la actualización
        enc_pos += pos; // Sumamos los cambios a nuestra variable
        encoder.reset(); // Reseteamos el contador interno del encoder
    }
}

/*
 * Función para el calibrado del sensor de giro de forma automática
 */
void SteeringCal() {
    motorController.TurnLeft(255); // Manillar todo a la izquierda
    while (!digitalRead(OVERLOAD_L)) {} // Esperamos a que llegue al final
}

```

```

motorController.Stop();           // Paramos el motor
encoder.reset();                  // Reinicializamos el encoder
motorController.TurnRight(255);  // Manillar todo a la derecha
while (!digitalRead(OVERLOAD_R)) { // Esperamos a que llegue al final
    updateEncoder();              // Actualizamos posición del encoder
}
motorController.Stop();           // Paramos el motor
enc_pos /= 2;                     // Establecemos objetivo
while (enc_pos != 0 && enc_pos >= -5) { // ¿Posición Objetivo?
    // Actualizamos el motor con nueva velocidad gradual
    motorController.TurnLeft(getSpeed());
    updateEncoder();              // Actualizamos posición del encoder
}
motorController.Stop();          // Detenemos el motor
motorController.Disable();       // Deshabilitamos el motor
}

/*
 * Función que fuerza el manillar a volver al centro de su posición
 */
void SteeringForceCenter() {
    if (enc_pos <= -1) {
        motorController.TurnRight(getSpeed());
    }
    else if (enc_pos >= 1) {
        motorController.TurnLeft(getSpeed());
    }
    else motorController.Stop();
}

/*
 * Función que convierte la posición actual del encoder a un ángulo en grados
 */
int getAng() {
    // Multiplicamos valor actual encoder por valor equivalente en grados
    float a = (float)enc_pos * DEG_PAS;
    return (int)a;                // Devolvemos el valor calculado
}

/*
 * Función que permita ajustar la velocidad del motor según este se encuentre más
 * o menos próximo a su posición de destino. Utiliza el valor de la posición
 * actual, y lo compara con la posición de destino, posteriormente le añade un
 * potenciador para que la configuración no caiga por debajo del umbral mínimo de
 * funcionamiento.
 */
int getSpeed() {
    // calculamos el valor en base a la posición actual y le sumamos un mínimo
    (se opera con el valor absoluto de la posición del encoder)
    float calc = ((0.5 * abs(enc_pos)) + 25.0);
    // Se comprueba que el valor obtenido no excede del valor máximo
    configurable
    if (calc > 255) calc = 255;
    // Devolvemos el valor obtenido haciendo un cast
    return (int)calc;
}

/*
 * Función que ajusta el valor actual del ángulo a un valor de 8 bytes sin signo.
 * Permite transmitir la información en un solo byte de información.
 * Se debe restar 128 al valor recibido en destino para obtener un ángulo que
 * comprende entre -127 a 127 grados
 */

```



```

*/
char getCharAng(int a) {
    // Limitación del valor recibido para evitar overflow. EL manejar no
    // puede en ningún caso alcanzar estos valores, no induce a errores
    if (a > 127) a = 127;
    else if (a < -128) a = -128;
    a += 128; // Se suma 128 al valor para hacerlo positivo
    return a; // Devuelve el valor calculado
}

/*
* Función que llama a tick en cada interrupción dada por el encoder
*/
void interrupt() {
    encoder.tick(); // Aumenta o disminuye el valor del contador del encoder
}

/*
* Función encargada de gestionar la comunicación Serie (UART) entrante
*/
void serialEvent1() {
    // Almacenamos el byte entrante en el índice actual
    data[in_rx] = Serial1.read();
    // gestionamos el byte según la posición actual
    switch (in_rx) {
        // Primer byte de la cadena STX
        case 0:
            // Validamos el inicio de cadena, de otro modo, reinicia el índice
            data[in_rx] == STX ? in_rx++ : in_rx = 0;
            break;

        case 3: // Cuarto byte de la cadena ETX
            // Validamos el último byte de la cadena recibida
            if (data[in_rx] == ETX) {
                // Almacenamos el valor del ángulo en el índice actual
                data[in_rx] = getCharAng(getAng());
                // Construimos una nueva cadena para su posterior envío al
                // computador
                data[in_rx + 1] = ETX;
                tx_ready = true; // Validamos la cadena
            }
            in_rx = 0; // Borramos el índice y volvemos a empezar
            break;

        default:
            in_rx++; // Aumentamos el valor del índice
    }
}
}

```

## 9.1.2. Placa de adquisición

```

/*
* AUX_DASH_SCOOTER.c
*
* Created: 15/06/2023
* Author : Samuel Boix Torner
* Brief:
* Programa principal para la adquisición y envío de datos obtenidos de los
* sensores de efecto hall dispuestos para la medición del grado de aceleración y
* frenado del Patinete Eléctrico.
*/

```

```

#define F_CPU 16000000 // Configuración del reloj para el delay

#include <avr/io.h>
#include <stdbool.h>
#include <util/delay.h>
#include <avr/interrupt.h>

/*
 * Definición de los aspectos relativos a la configuración de la comunicación
 * Serie
 */
#define FOSC 16000000 // Frecuencia de Reloj del microcontrolador
#define BAUD 19200 // Velocidad de comunicación
#define MYUBRR FOSC/16/BAUD-1 // cálculo del valor del registro UBRR del
módulo UART

/* Definición códigos ASCII para la transmisión */
#define STX 0x02
#define ETX 0x03

/* Definición de funciones rápidas */
#define ADC_START (ADCSRA |= (1<<ADSC))
#define ADC_0 (ADMUX &= ~(1<<MUX0))
#define ADC_1 (ADMUX |= (1<<MUX0))

/* Definición de configuraciones */
#define N_SAMPLES 40 // número de muestras a tomar antes del envío

/* Declaración de variables globales */
volatile uint16_t s_trotle = 0; // ADC acelerador
volatile uint16_t s_brake = 0; // ADC freno
volatile uint64_t count = 0; // Contador de interrupción ADC
volatile uint8_t n_sample = 0; // número de muestras tomadas

/* Declaración de funciones */
void setup_adc(void);
void setup_uart(unsigned int ubrr);
void transmit_uart(unsigned char data);
void send_frame(void);
uint16_t data_converter(uint16_t num);

/* Función de configuración del convertidor analógico digital */
void setup_adc(void)
{
    DDRC &= ~(1<<DDC0 | 1<<DDC1); // Ajuste de PC0 y PC1 como entradas
    // Configuración de voltaje de referencia del módulo ADC a VCC
    ADMUX = (1<<REFS0);
    // Prescaler a 128 -> 125kHz
    ADCSRA |= (1<<ADPS2) | (1<<ADPS1) | (1<<ADPS0) ;
    // Activación del módulo ADC e interrupciones asociadas
    ADCSRA |= (1<<ADEN) | (1<<ADIF);
}

/* Función de configuración del módulo de comunicación serie */
void setup_uart(unsigned int ubrr)
{
    // Configuramos la velocidad de transmisión
    UBRR0H = (unsigned char) (ubrr>>8);
    UBRR0L = (unsigned char) ubrr;
    // Habilitamos el módulo de envío
    UCSRB = (1<<TXEN0);
}

```





```

        // Configuramos para 8 bits sin paridad y un bit de stop
        UCSR0C = (3<<UCSZ00);
    }

    /* Función para enviar datos por el puerto serie */
    void transmit_uart(unsigned char data)
    {
        // Vaciamos el Buffer de envío del módulo UART
        while (!(UCSR0A & (1<<UDRE0)));
        // Escribimos el dato en el registro de envío del módulo UART
        UDR0 = data;
    }

    /* Función que envia una trama completa de datos por el puerto serie */
    void send_frame(void)
    {
        transmit_uart(STX); // Validador de datos inicial
        transmit_uart(data_converter(s_trotle)); // Valor del acelerador
        transmit_uart(data_converter(s_brake)); // Valor del freno
        transmit_uart(ETX); // Validador de datos final
    }

    /* Función para convertir los valores en un rango de 0 a 100 */
    uint16_t data_converter(uint16_t num)
    {
        // Convertimos el valor leído a un rango de 0 a 100
        float dat_val = (num*100.0)/1023.0;
        // Devolvemos el valor
        return (uint16_t) dat_val;
    }

    /* Función principal del programa */
    int main(void)
    {
        setup_adc(); // Inicializar el ADC
        setup_uart(MYUBRR); // Inicializar el puerto Serie
        sei(); // Habilitamos interrupciones
        ADC_START; // Primera conversion
        _delay_ms(100); // Esperamos 100 ms
        count=0; // Desechamos la primera cuenta reiniciando el contador
        while (1)
        {
            if (n_sample>=N_SAMPLES)
            {
                cli(); // Desabilitamos interrupciones
                s_trotle /= n_sample; // Sacamos la media del valor
                s_brake /= n_sample; // leído para ambas variables
                send_frame(); // Enviamos los datos por el puerto serie
                n_sample = 0; // Reinicializamos variables
                s_trotle = 0;
                s_brake = 0;
                sei(); // Habilitamos interrupciones
            }
        }
    }

    /* Vector de interrupciones ADC */
    ISR(ADC_vect)
    {
        cli(); // Deshabilitamos interrupciones
        if(count++%2 == 0) // Comprobamos el puerto ADC y aumentamos la cuenta
        {

```

```

        // Almacenamos el valor leído en la variable del acelerador
        s_trotle += ADC;
        // Configuramos para leer el ADC 1 a la siguiente lectura
        ADC_1;
    }
    else
    {
        // Almacenamos el valor leído en la variable del freno
        s_brake += ADC;
        // Configuramos para leer el ADC 0 a la siguiente lectura
        ADC_0;
        // Aumentamos el índice de muestras tomadas
        n_sample++;
    }
    sei(); // Habilitamos interrupciones
    ADC_START; // Empezamos una nueva lectura
}
}

```

### 9.1.3. Programa de validación

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.IO.Ports;
using System.Xml.Linq;
using System.Diagnostics;

namespace SerialValidatorScooter
{
    public partial class MainForm : Form
    {
        SerialPort mySerialPort;
        int count = 0;
        int angOffset = 128;
        public MainForm()
        {
            InitializeComponent();
            Debug.WriteLine("Iniciando Puerto Serie");
            // Configurar el puerto reconocido por el PC
            mySerialPort = new SerialPort("COM6");
            // Velocidad de conexión
            mySerialPort.BaudRate = 19200;
            mySerialPort.Parity = Parity.None;
            mySerialPort.StopBits = StopBits.One;
            mySerialPort.DataBits = 8;
            mySerialPort.Handshake = Handshake.None;
            mySerialPort.DtrEnable = true;
            mySerialPort.RtsEnable = true;

            mySerialPort.DataReceived += new
SerialDataReceivedEventHandler(sp_DataReceived);

            // Comprobamos si existe conexión con el puerto USB
            try
            {
                mySerialPort.Open();
                mySerialPort.DiscardInBuffer();
            }
        }
    }
}

```



```

    }
    catch (Exception ex)
    {
        MessageBox.Show("Error al abrir el puerto serie: " +
ex.Message);
    }
}

// Leemos la información del USB
private void sp_DataReceived(object sender,
SerialDataReceivedEventArgs e)
{
    SerialPort sp = (SerialPort)sender;
    int[] data = new int[5];
    data[0] = sp.ReadByte();
    // Comprobamos la validez de los datos
    if (data[0] != 2) { mySerialPort.DiscardInBuffer(); }
    else
    {
        data[1] = sp.ReadByte();
        data[2] = sp.ReadByte();
        data[3] = sp.ReadByte();
        data[4] = sp.ReadByte();
    }

    if (data[4] == 3)
    {
        UpdateDataLabels(data[1], data[2], data[3]);
    }
}

private void UpdateDataLabels(int data1, int data2, int data3)
{
    // Actualizar las barras de progreso y etiquetas
    BeginInvoke(new Action(() =>
    {
        progressBar1.Value = data1;
        label4.Text = data1.ToString();
        progressBar2.Value = data2;
        label5.Text = data2.ToString();
        trackBar1.Value = (-data3 + angOffset);
        label6.Text = (-data3 + angOffset).ToString();
    }));
}

private void MainForm_Load(object sender, EventArgs e)
{
}

private void MainForm_FormClosing(object sender,
FormClosingEventArgs e)
{
    if (mySerialPort.IsOpen)
    {
        mySerialPort.Close();
    }
}
}
}

```

## 9.2. ODS

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No procede
<b>ODS 1. Fin de la pobreza.</b>				✓
<b>ODS 2. Hambre cero.</b>				✓
<b>ODS 3. Salud y bienestar.</b>		✓		
<b>ODS 4. Educación de calidad.</b>				✓
<b>ODS 5. Igualdad de género.</b>				✓
<b>ODS 6. Agua limpia y saneamiento.</b>				✓
<b>ODS 7. Energía asequible y no contaminante.</b>			✓	
<b>ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.</b>				✓
<b>ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.</b>	✓			
<b>ODS 10. Reducción de las desigualdades.</b>				✓
<b>ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.</b>	✓			
<b>ODS 12. Producción y consumo responsables.</b>				✓
<b>ODS 13. Acción por el clima.</b>		✓		
<b>ODS 14. Vida submarina.</b>				✓
<b>ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.</b>				✓
<b>ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.</b>				✓
<b>ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.</b>				✓

### 9.2.1. Salud y bienestar

Dada la motivación del proyecto por mejorar la seguridad vial que rodea a los medios de transporte que recoge la micromovilidad así como la interacción de estos con el resto de los usuarios como conductores y peatones, se considera que trabaja en favor de mejorar el bienestar de la población. Hecho contrastado si se tiene en cuenta el alto nivel de siniestralidad que rodea a estos medios de transporte.

Por ejemplo, según las cifras recogidas por el informe realizado por la DGT que recoge los siniestros relacionados con los vehículos de movilidad personal entre el 2020 y 2021 (último informe publicado) se registra un total de 9 personas fallecidas, 172 personas hospitalizadas y un total de 2.062 personas, que fueron heridas, pero no fue requerida su hospitalización.

Si se tiene en cuenta que estas cifras son de hace dos años, y que el índice de uso de estos ha aumentado considerablemente, cualquier proyecto que motive una reducción de siniestralidad y una mejora de la seguridad vial, es afín al cumplimiento del ODS de Salud y bienestar.

### 9.2.2. Industria, innovación e infraestructura

En los últimos años, como ya se ha mencionado, se ha incrementado en gran medida el uso de vehículos de movilidad personal. Su integración en las calles obliga a rediseñar toda la infraestructura que rodea a la movilidad. Esto es debido a que tanto el tipo de pavimento como la señalización de la vías, están especialmente diseñados para los usuarios de vehículos a motor, y no tanto para usuarios de este tipo de vehículos. El estudio del comportamiento de los usuarios de vehículos de movilidad personal en entornos de simulación controlados, permiten añadir un



nuevo enfoque, ayudando a rediseñar la infraestructura con el propósito de lograr que esta sea más adecuada y permita la incorporación de estos vehículos al medio urbano. Esto permite una mejor interoperabilidad entre todos los tipos de vehículos y por consiguiente una mejora sustancial de la movilidad evitando riesgos innecesarios.

Estos aspectos trabajan en consonancia con el ODS de Industria, innovación e infraestructura.

### 9.2.3. Ciudades y comunidades sostenibles

Las ciudades, gracias a los usuarios que las habitan, cambian sus hábitos de conducta hacia comportamientos más inclinados hacia la sostenibilidad. Uno de ellos es la utilización de medios de transporte más sostenibles como los vehículos eléctricos de movilidad personal. Estos vehículos no solo reducen la huella de carbono considerablemente en comparación con los vehículos de combustión, sino que además cuentan con la ventaja de su reducido tamaño, lo que permite desplazarse de forma cómoda por toda la ciudad con cero emisiones (no se tiene en cuenta aspectos como su fabricación o el tipo de energía utilizada para su recarga).

El proyecto se enfoca a facilitar la integración de estos vehículos de forma segura y responsable, lo que promueve un uso correcto de estos por medio de la incorporación de normas que permitan una regulación adecuada, así como adaptar las ciudades de forma que su integración permita seguir reduciendo la huella de carbono.

Por este motivo, se considera que todo aspecto que promueva la utilización de vehículos sostenibles propulsados por energía limpia trabaja en favor de alcanzar el ODS de Ciudades y comunidades sostenibles.

### 9.2.4. Acción por el clima

Aspectos como el llamado “efecto invernadero” tienen un gran impacto en el cambio climático. Este efecto, se ve potenciado por la masificación de vehículos de combustión en todo el mundo. Potenciar el uso de medios de transporte más sostenibles, trabaja en consonancia con la consecución del ODS Acción por el clima.

Por medio del estudio del comportamiento de los usuarios de movilidad personal, es posible desarrollar mecanismos que ayuden a mejorar la infraestructura utilizada, lo que en términos prácticos, se traduce en una mayor percepción de seguridad por parte de los usuarios.

Estos y otros aspectos inclinan la balanza en favor de su utilización, permitiendo una transición más acelerada hacia el uso de vehículos más sostenibles, reduciendo así la huella de carbono producida por otro tipo de vehículos más contaminantes.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

---

DOCUMENTO II

# PLANOS

**TRABAJO FIN DE GRADO**

Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

**REALIZADO POR**

Samuel Boix Torner

**TUTORIZADO POR**

Álvaro Tormos Ferrando

Juan Francisco Dols Ruiz

**CURSO ACADÉMICO:** 2022/2023



# Índice planos

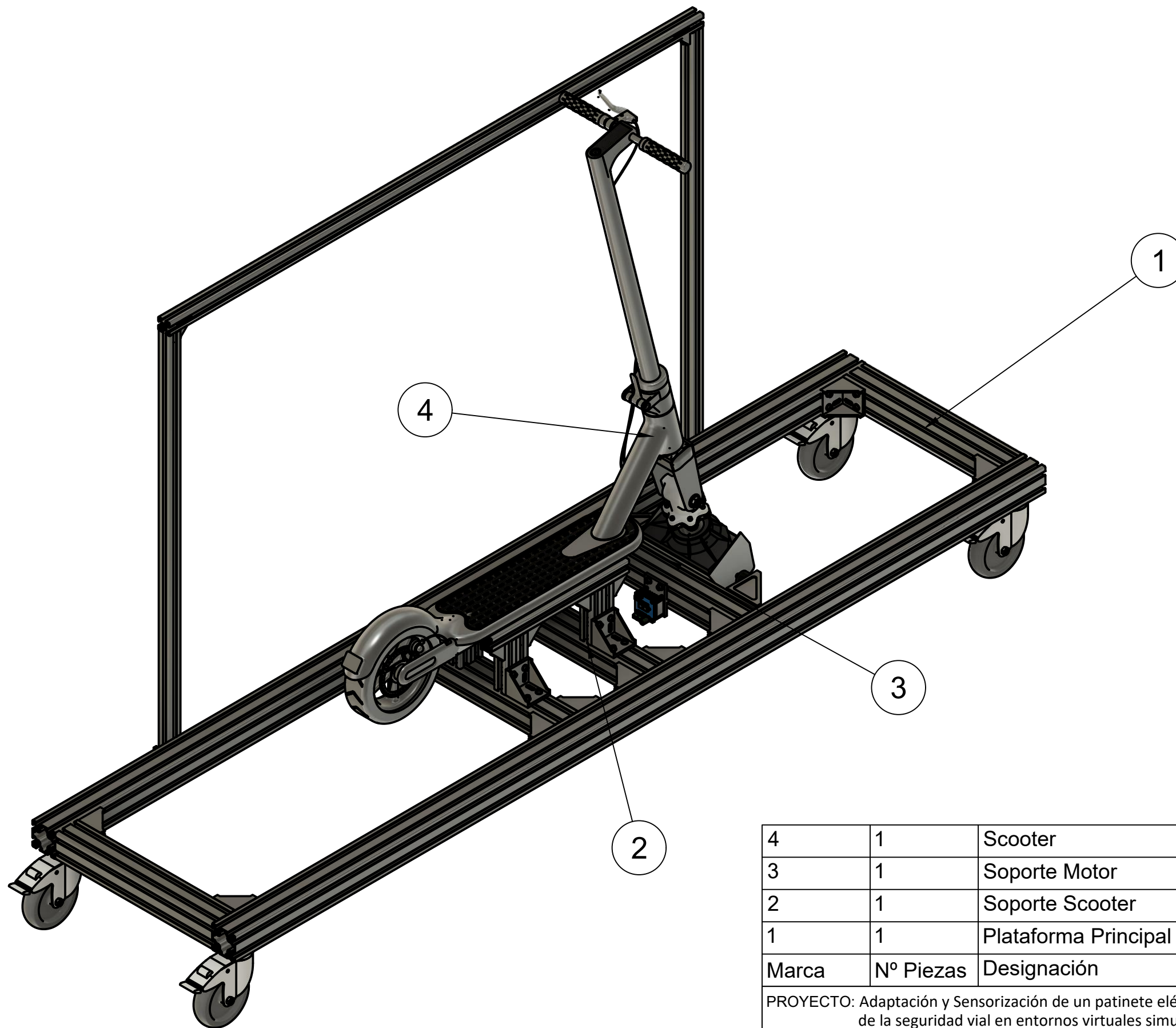
---

<b>10. Planos.....</b>	<b>114</b>
10.1. Plataforma Completa Simulador .....	114
10.1.1. Plano 01A. Vista Isométrica Plataforma Completa Simulador .....	114
10.1.2. Plano 01B. Vistas Plataforma Completa Simulador .....	115
10.1.3. Plano 02A. Vista explosionada Isométrica Plataforma Completa Simulador ..	116
10.1.4. Plano 02B. Vista explosionada Plataforma Completa Simulador .....	117
10.2. Plataforma Principal .....	118
10.2.1. Plano 03. Vistas Plataforma Principal .....	118
10.2.2. Plano 04A. Vista Explosionada Isométrica Plataforma Principal .....	119
10.2.3. Plano 04B. Vista Explosionada Plataforma Principal .....	120
10.3. Soporte Scooter.....	121
10.3.1. Plano 05. Vistas Soporte Scooter.....	121
10.3.2. Plano 06A. Vista Explosionada Isométrica Soporte Scooter.....	122
10.3.3. Plano 06B. Vista Explosionada Soporte Scooter.....	123
10.4. Soporte Motor.....	124
10.4.1. Plano 07. Vistas Soporte Motor.....	124
10.4.2. Plano 08A. Vista Explosionada Isométrica Soporte Motor.....	125
10.4.3. Plano 08B. Vista Explosionada Soporte Motor.....	126
10.4.4. Plano 08C. Vista Explosionada Lateral Soporte Motor .....	127
10.5. Scooter .....	128
10.5.1. Plano 09. Vistas Scooter .....	128
10.5.2. Plano 10. Vista Explosionada Isométrica Scooter.....	129
10.6. Soporte más Placa de Control .....	130
10.6.1. Plano 11. Vista Soporte + Placa de Control .....	130
10.6.2. Plano 12. Vista Explosionada Isométrica Soporte + Placa de Control .....	131
10.7. Placa de Control .....	132
10.7.1. Plano 13. Vista Placa de Control.....	132
10.8. Placa de Adquisición.....	133
10.8.1. Plano 14. Vista Placa de Adquisición .....	133
10.9. Planos de construcción.....	134
10.9.1. Plano 15. Disposición elementos de la plataforma completa del simulador ...	134
10.9.2. Plano 16. Mecanizado perfiles aluminio Alu10 – 6060 .....	135
10.9.3. Plano 17. Mecanizado perfiles aluminio Alu10 – 3030 .....	136

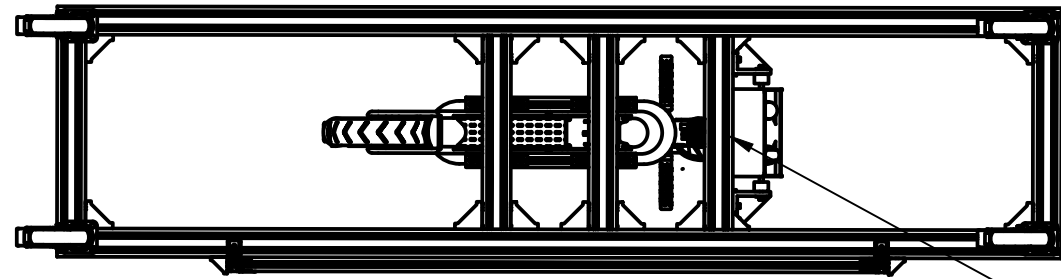


10.9.4. Plano 18. Rectificado Escuadra angular 40x40 Corte de ajuste .....	137
10.9.5. Plano 19. Soporte Controlador Motor.....	138
10.9.6. Plano 20. Soporte Tipo A.....	139
10.9.7. Plano 21. Encapsulado Sensor Freno .....	140
10.9.8. Plano 22. Posición Taladros Scooter .....	141
10.9.9. Plano 23. Soporte Placa de Control .....	142
10.10. Esquemas eléctricos.....	143
10.10.1. Plano 24. Plano principal Placa de Control.....	143
10.10.2. Plano 25A. Plano principal Placa de Adquisición.....	144
10.10.3. Plano 25B. Plano de señales Placa de Adquisición.....	145
10.11. Placas de circuito impreso.....	146
10.11.1. Plano 26. Lista de materiales Placa de Control.....	146
10.11.2. Plano 27. Lista de materiales Placa de Adquisición.....	147
10.11.3. Plano 28. Dimensiones Placa de Control .....	148
10.11.4. Plano 29. Dimensiones Placa de Adquisición .....	149
10.11.5. Plano 30. Layout Superior Placa de control.....	150
10.11.6. Plano 31. Layout inferior Placa de control.....	151
10.11.7. Plano 32. Layout superior Placa de Adquisición.....	152
10.11.8. Plano 33. Layout Inferior Placa de adquisición.....	153
10.11.9. Plano 34. Vías Placa de Control .....	154
10.11.10. Plano 35. Vías Placa de adquisición.....	155
10.11.11. Plano 36. Taladros Placa de Control .....	156
10.11.12. Plano 37. Taladros Placa de Adquisición .....	157
10.11.13. Plano 38. Máscara de soldadura Superior Placa de Control.....	158
10.11.14. Plano 39. Máscara de soldadura Superior Placa de Adquisición.....	159
10.11.15. Plano 40. Máscara de soldadura Inferior Placa de Adquisición.....	160

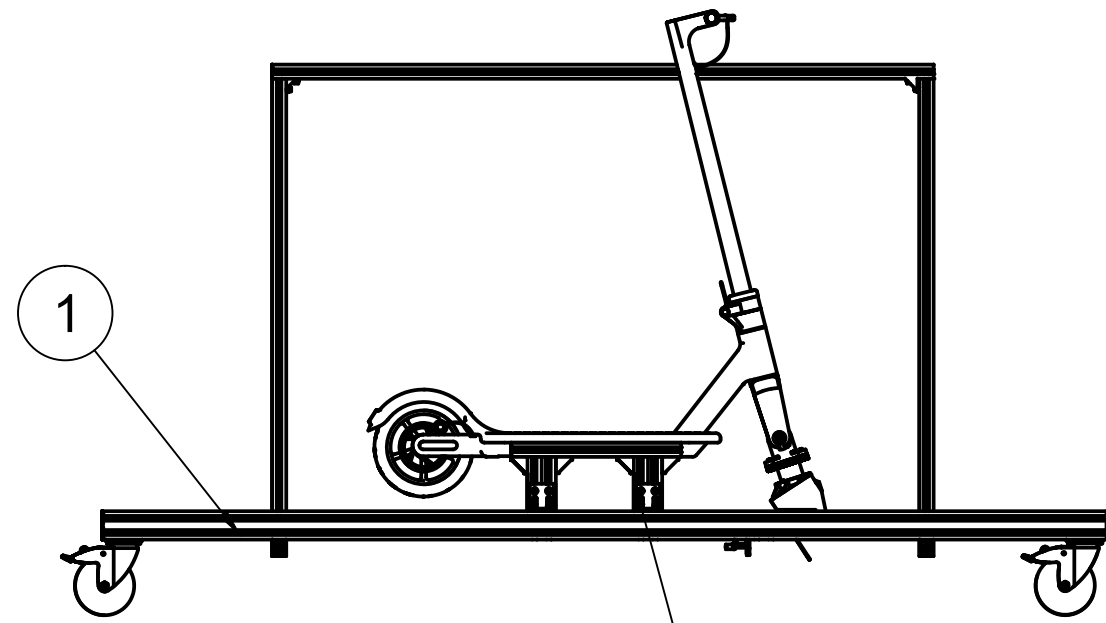




4	1	Scooter	Plano 09	Varios
3	1	Soporte Motor	Plano 07	Varios
2	1	Soporte Scooter	Plano 05	Varios
1	1	Plataforma Principal	Plano 03	Varios
Marca	Nº Piezas	Designación	Norma	Material
PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados				Fecha: 01/07/2023 Escala: 1:8
Autor: Samuel Boix Torner		Plano: Vista Isométrica Plataforma Completa Simulador		Nº Plano: <b>01A</b>

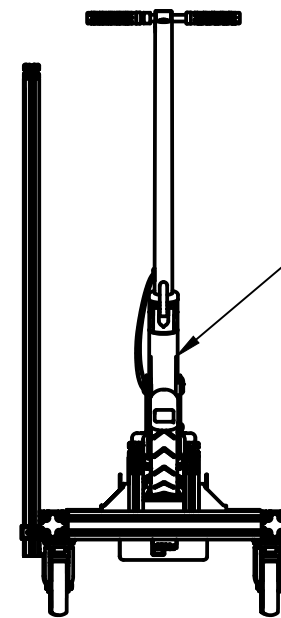


3

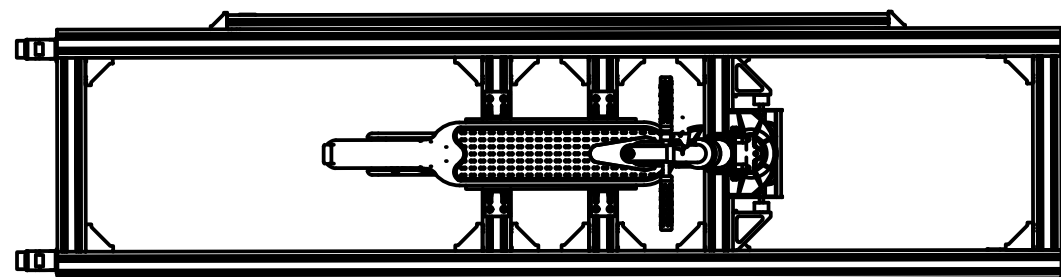


1

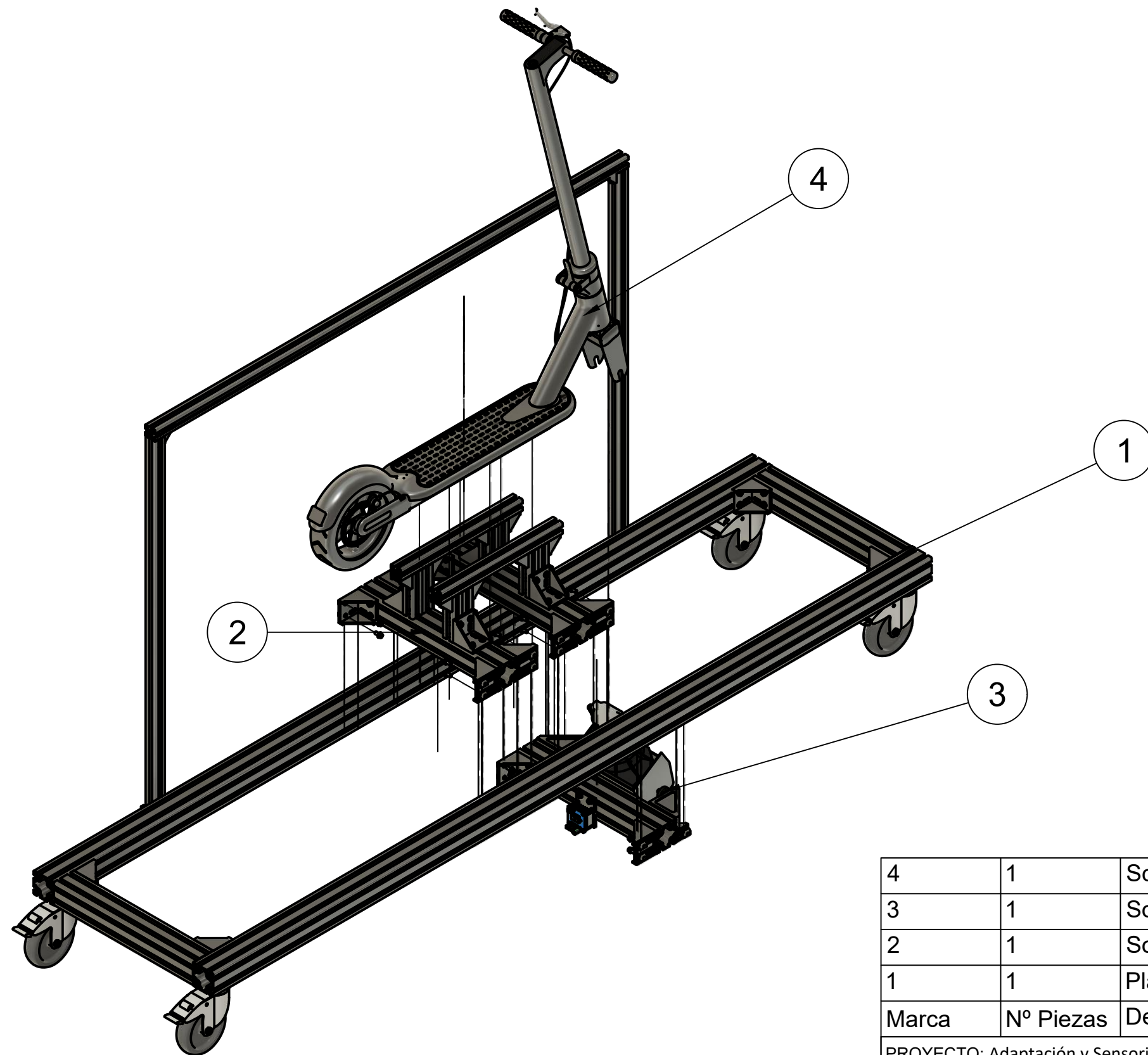
2



4

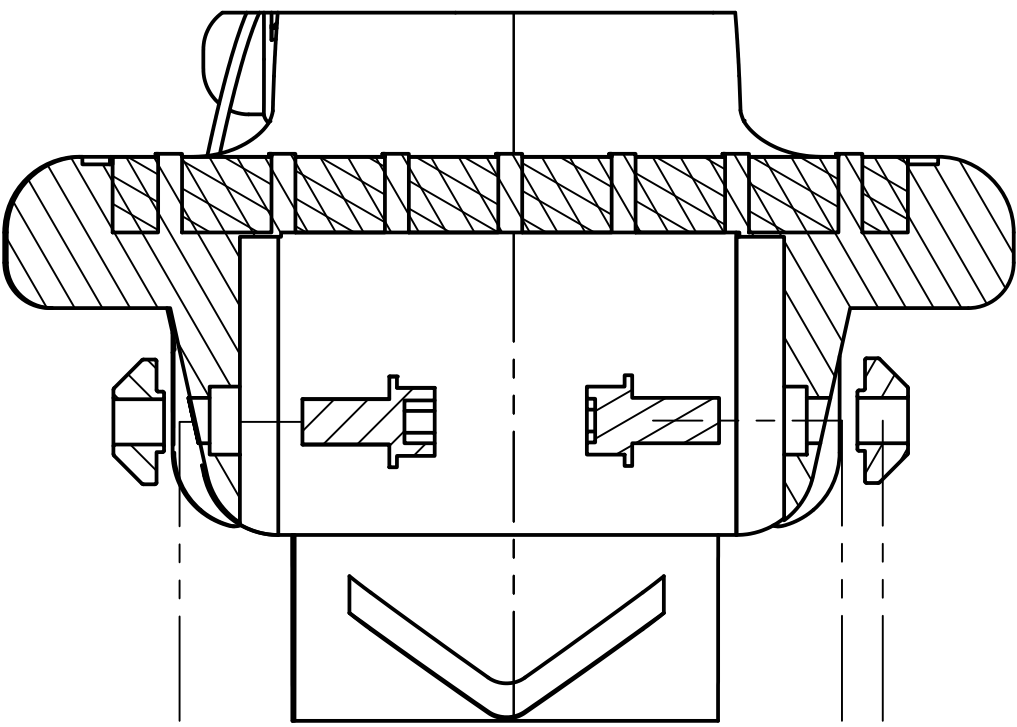
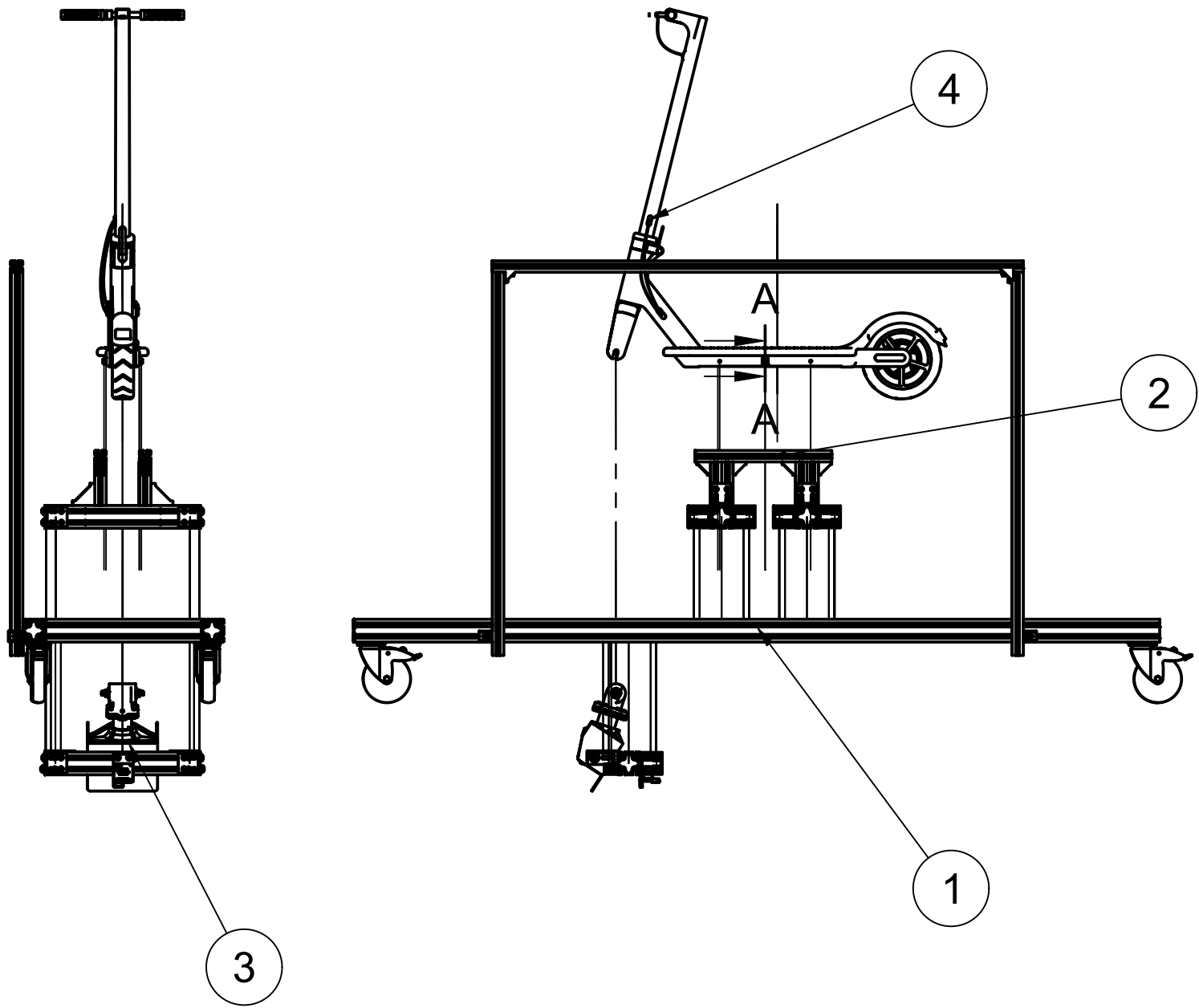


4	1	Scooter	Plano 09	Varios
3	1	Soporte Motor	Plano 07	Varios
2	1	Soporte Scooter	Plano 05	Varios
1	1	Plataforma Principal	Plano 03	Varios
Marca	Nº Piezas	Designación	Norma	Material
PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados				Fecha: 01/07/2023 Escala: 1:16
Autor: Samuel Boix Torner		Plano: Vistas Plataforma Completa Simulador		Nº Plano: <b>01B</b>

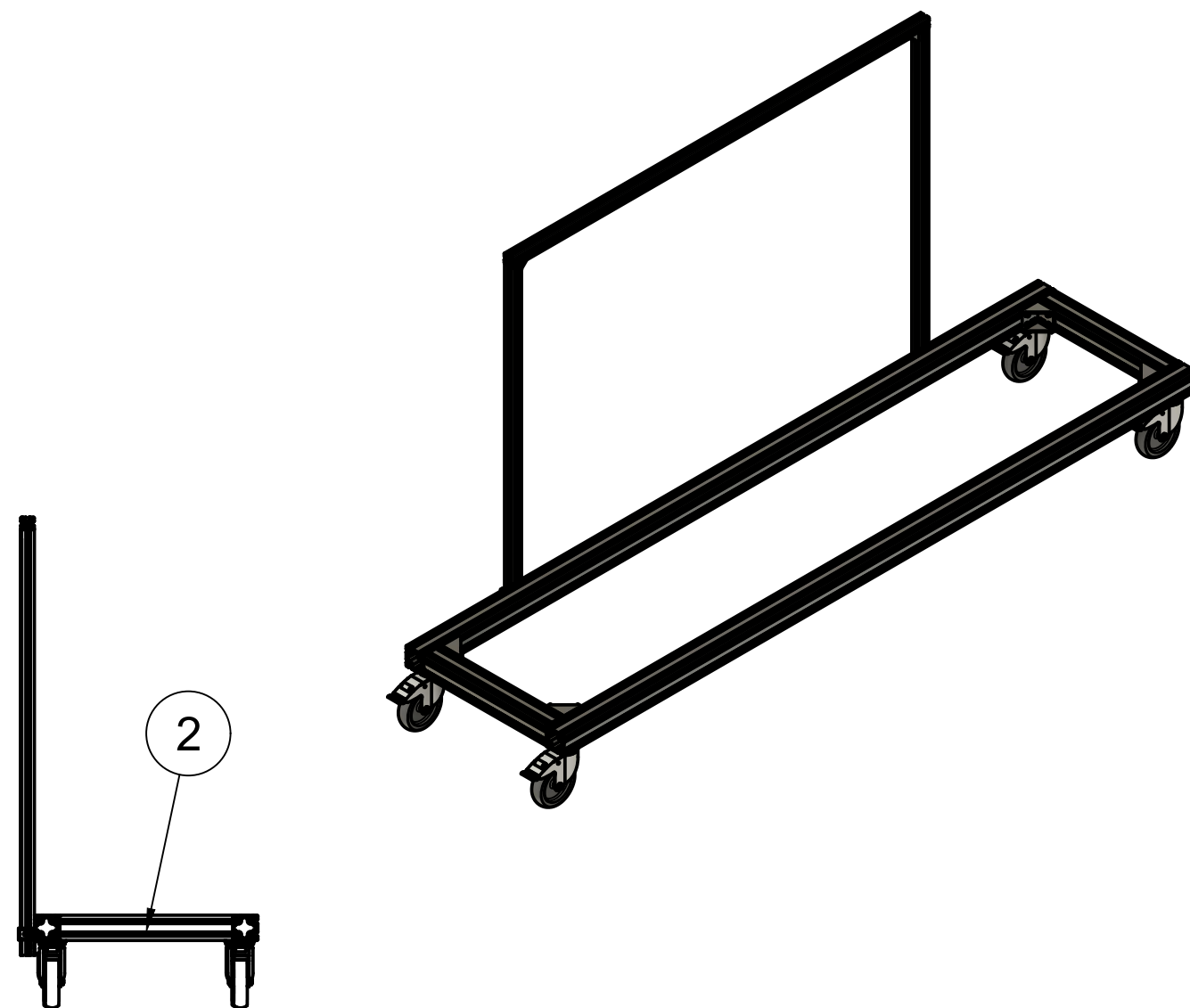
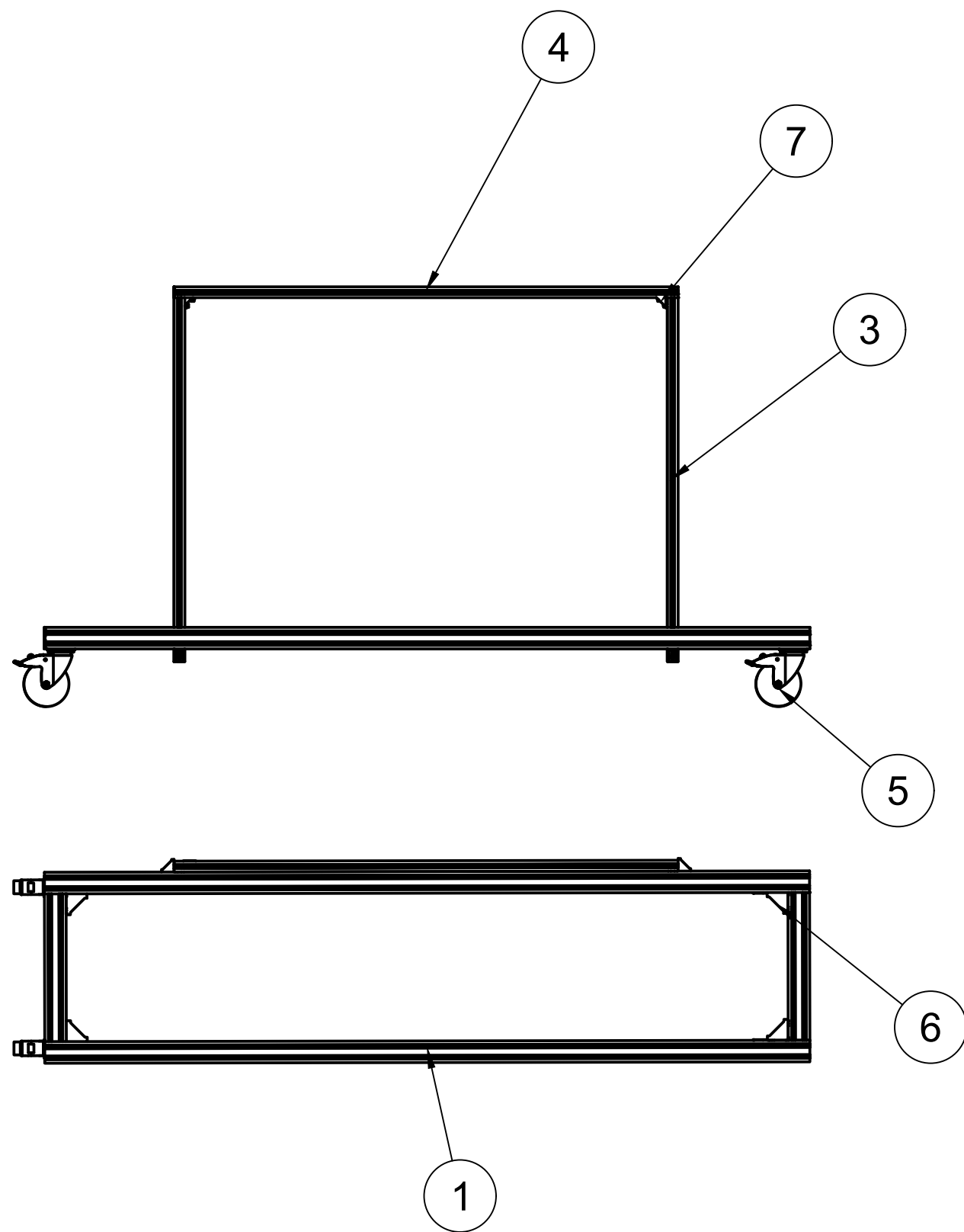


4	1	Scooter	Plano 09	Varios
3	1	Soporte Motor	Plano 07	Varios
2	1	Soporte Scooter	Plano 05	Varios
1	1	Plataforma Principal	Plano 03	Varios
Marca	Nº Piezas	Designación	Norma	Material
PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados				Fecha: 01/07/2023 Escala: 1:10
Autor: Samuel Boix Torner		Plano: Vista explosionada Isométrica Plataforma Completa Simulador		Nº Plano: <b>02A</b>

A-A (1:1)



4	1	Scooter	Plano 09	Varios
3	1	Soporte Motor	Plano 07	Varios
2	1	Soporte Scooter	Plano 05	Varios
1	1	Plataforma Principal	Plano 03	Varios
Marca	Nº Piezas	Designación	Norma	Material
PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados				Fecha: 01/07/2023 Escala: <b>1:16</b>
Autor: Samuel Boix Torner		Plano: Vista explosionada Plataforma Completa Simulador		Nº Plano: <b>02B</b>



7	6	Escuadra 35x35x28	Alu10	Aluminio
6	4	Escuadra 58X58x58	Alu10	Aluminio
5	4	2477 PJP 125 P50	Tente	Aluminio
4	1	Alu10 - 3030 x 1400 mm	Plano 17 (2)	Aluminio
3	2	Alu10 - 3030 x 1010 mm	Plano 17 (1)	Aluminio
2	2	Alu10 - 6060 x 410 mm	Plano 16 (2)	Aluminio
1	2	Alu10 - 6060 x 2125 mm	Plano 16 (1)	Aluminio
Marca	Nº Piezas	Designación	Norma	Material

PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados

Fecha: 01/07/2023

Escala: 1:16

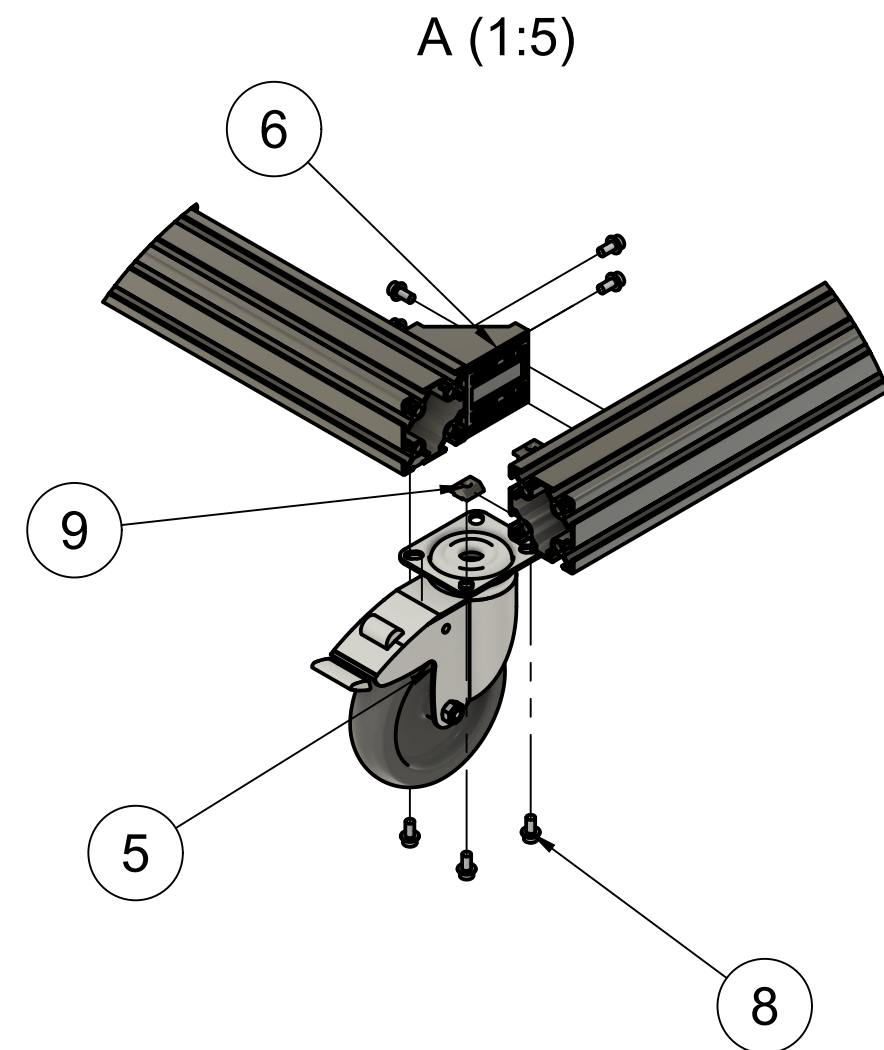
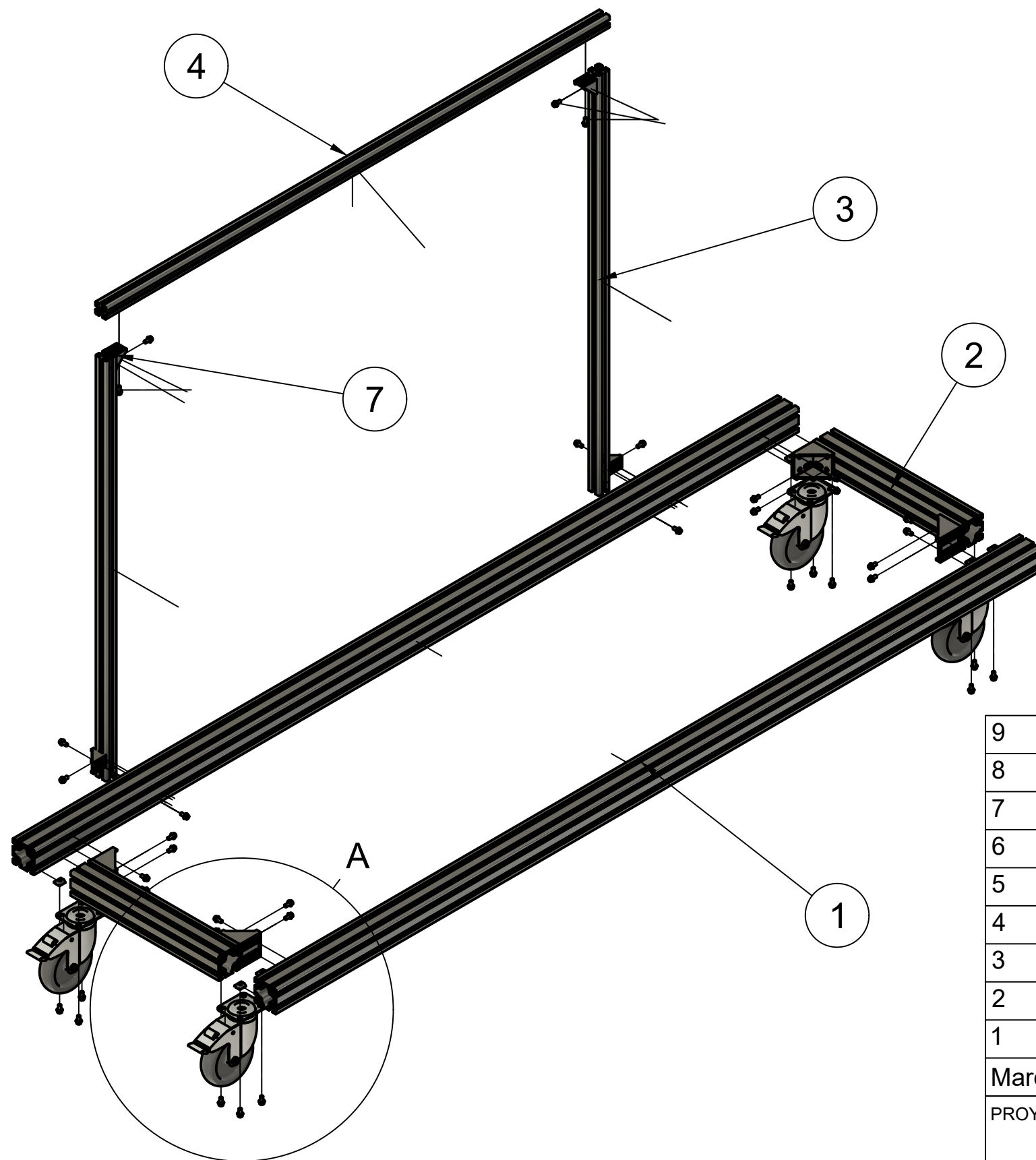
Autor:  
Samuel Boix Torner

Plano:  
Vistas  
Plataforma Principal

Nº Plano:

03





9	40	Tuerca deslizante M6	DIN-934	Acero INOX
8	40	Tornillo allen M6 * 12 mm	DIN-912	Acero INOX
7	6	Escuadra 35x35x28	Alu10	Aluminio
6	4	Escuadra 58X58x58	Alu10	Aluminio
5	4	2477 PJP 125 P50	Tente	Aluminio
4	1	Alu10 - 3030 x 1400 mm	Plano 17 (2)	Aluminio
3	2	Alu10 - 3030 x 1010 mm	Plano 17 (1)	Aluminio
2	2	Alu10 - 6060 x 410 mm	Plano 16 (2)	Aluminio
1	2	Alu10 - 6060 x 2125 mm	Plano 16 (1)	Aluminio
Marca	Nº Piezas	Designación	Norma	Material

PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados

Fecha: 01/07/2023

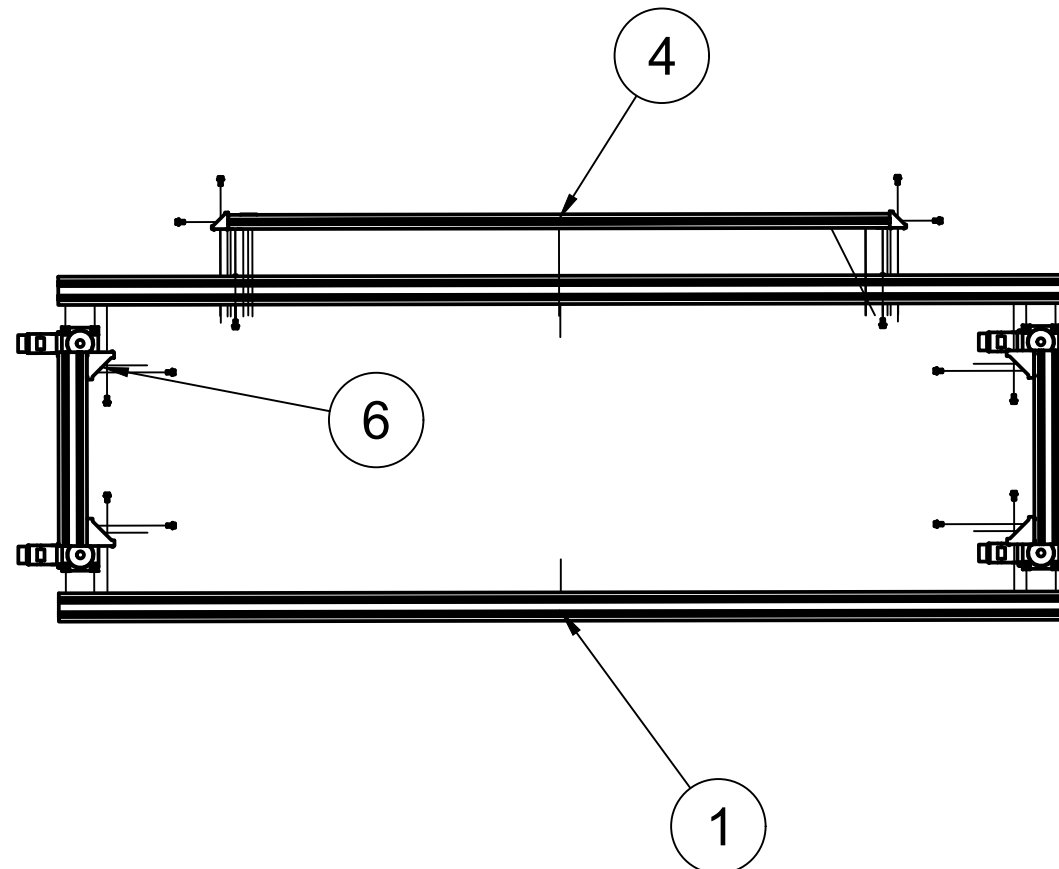
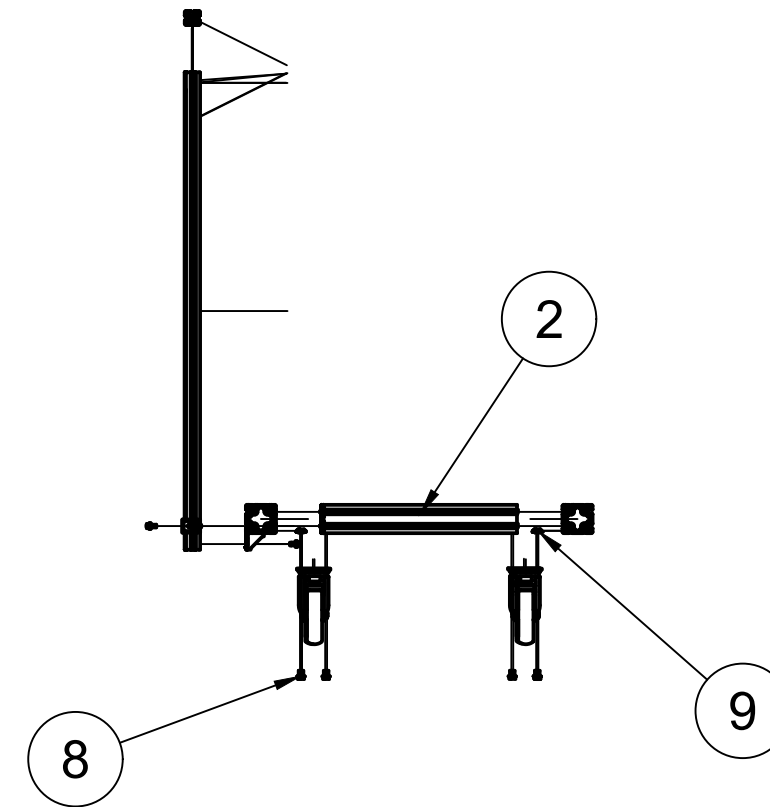
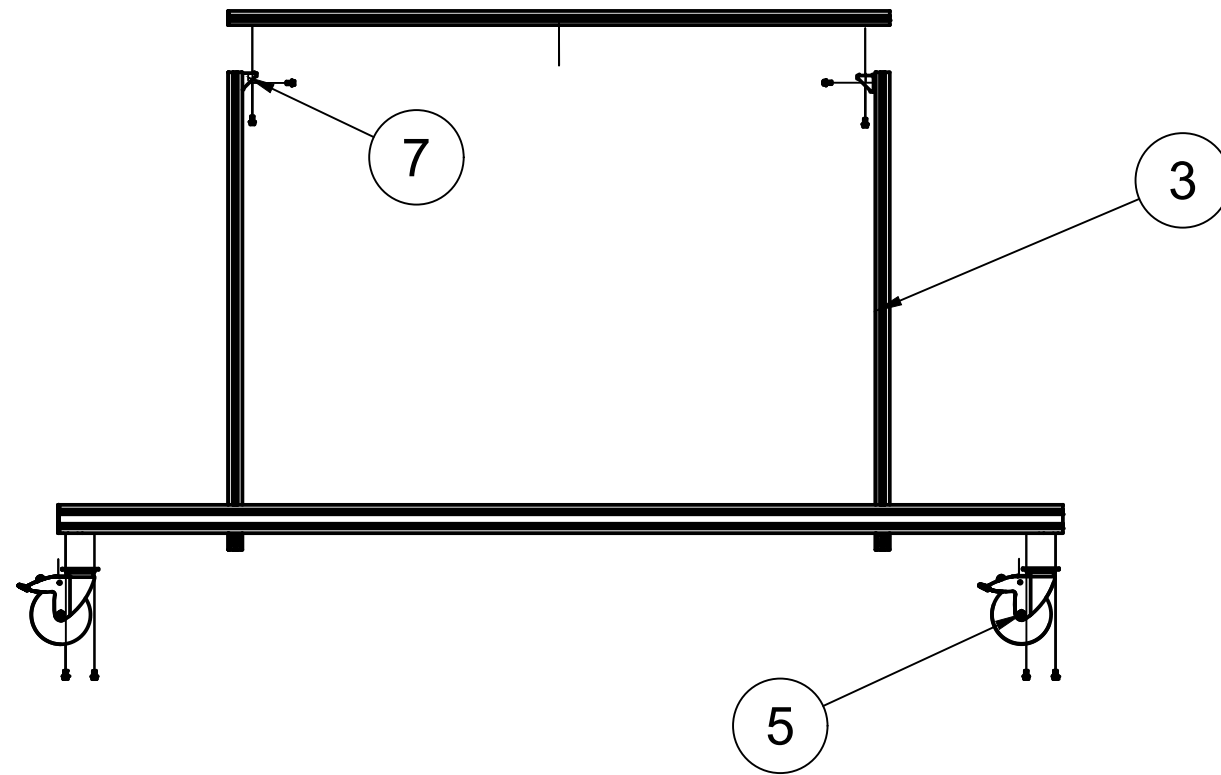
Escala: 1:10

Autor:  
Samuel Boix Torner

Plano:  
Vista Explosionada Isométrica  
Plataforma Principal

Nº Plano:

**04A**



9	40	Tuerca deslizante M6	DIN-934	Acero INOX
8	40	Tornillo allen M6 * 12 mm	DIN-912	Acero INOX
7	6	Escuadra 35x35x28	Alu10	Aluminio
6	4	Escuadra 58X58x58	Alu10	Aluminio
5	4	2477 PJP 125 P50	Tente	Aluminio
4	1	Alu10 - 3030 x 1400 mm	Plano 17 (2)	Aluminio
3	2	Alu10 - 3030 x 1010 mm	Plano 17 (1)	Aluminio
2	2	Alu10 - 6060 x 410 mm	Plano 16 (2)	Aluminio
1	2	Alu10 - 6060 x 2125 mm	Plano 16 (1)	Aluminio
Marca	Nº Piezas	Designación	Norma	Material

PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados

Fecha: 01/07/2023

Escala: 1:16

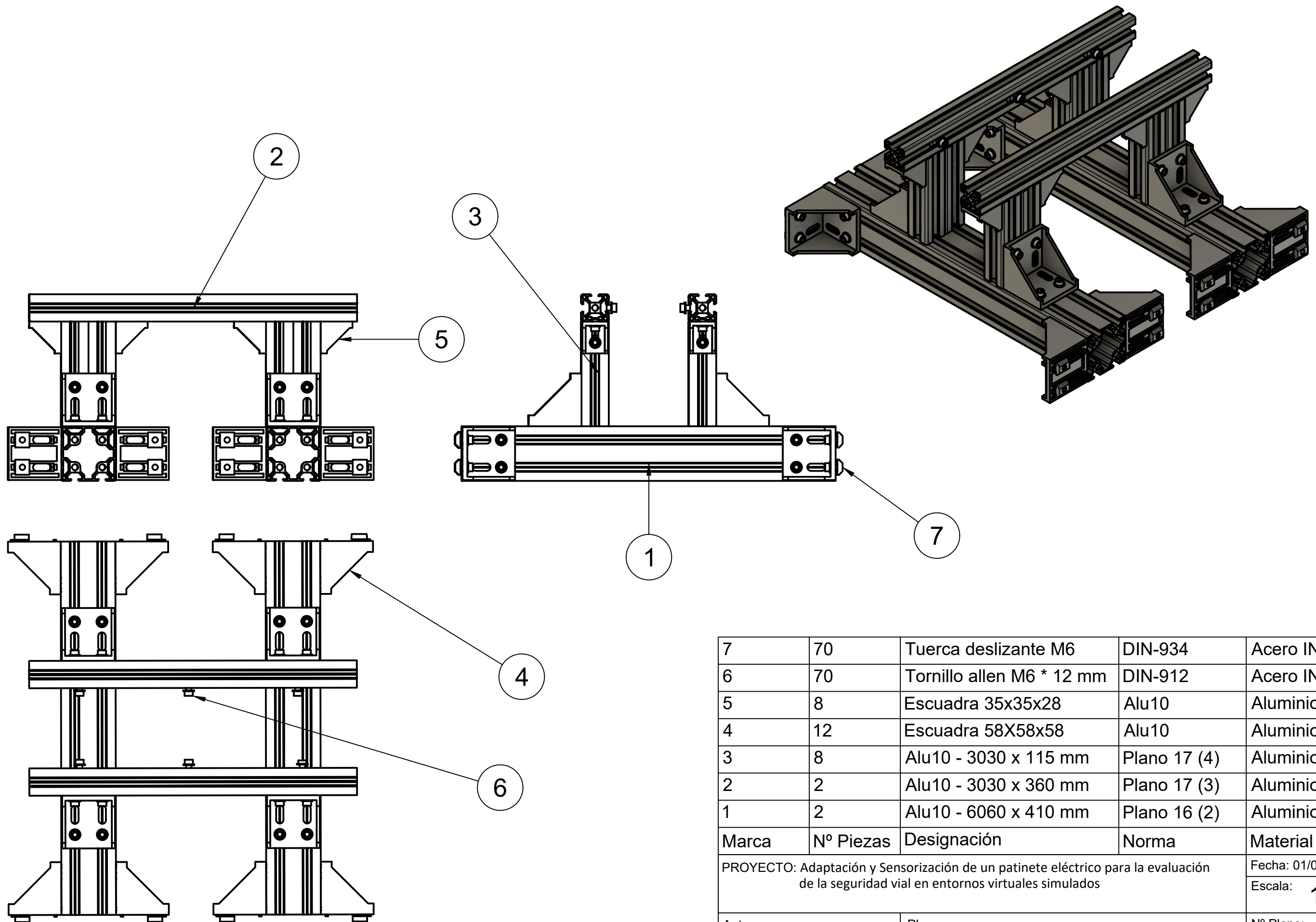
Autor:  
Samuel Boix Torner

Plano:  
Vista Explosionada  
Plataforma Principal

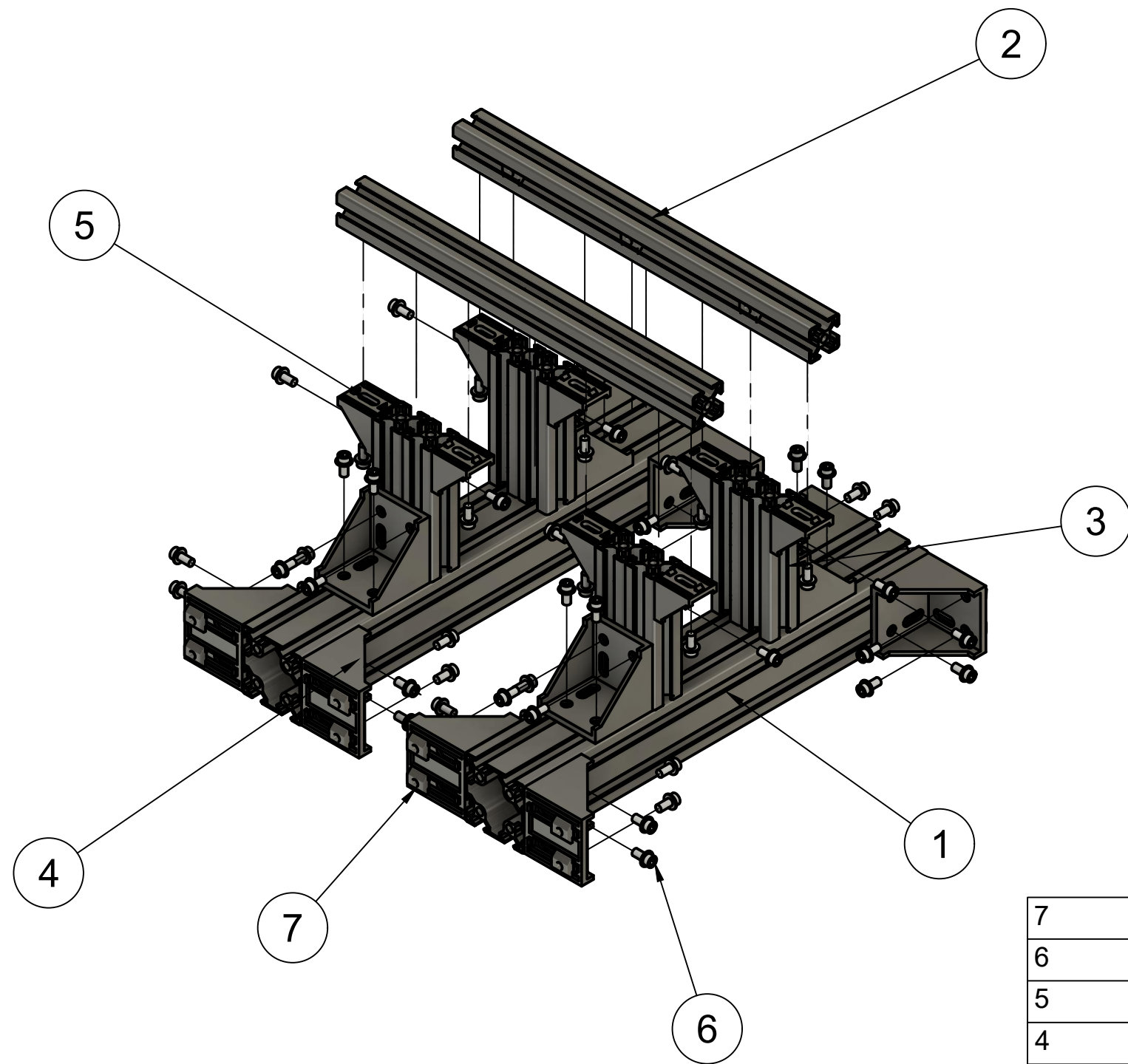
Nº Plano:

**04B**



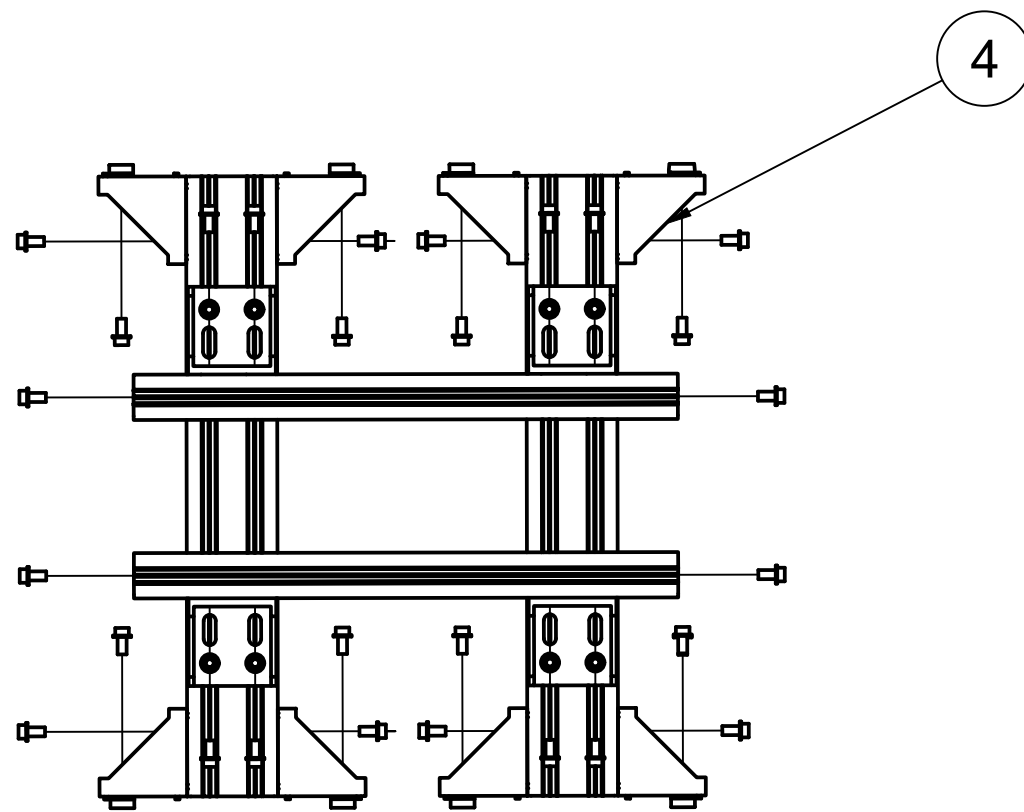
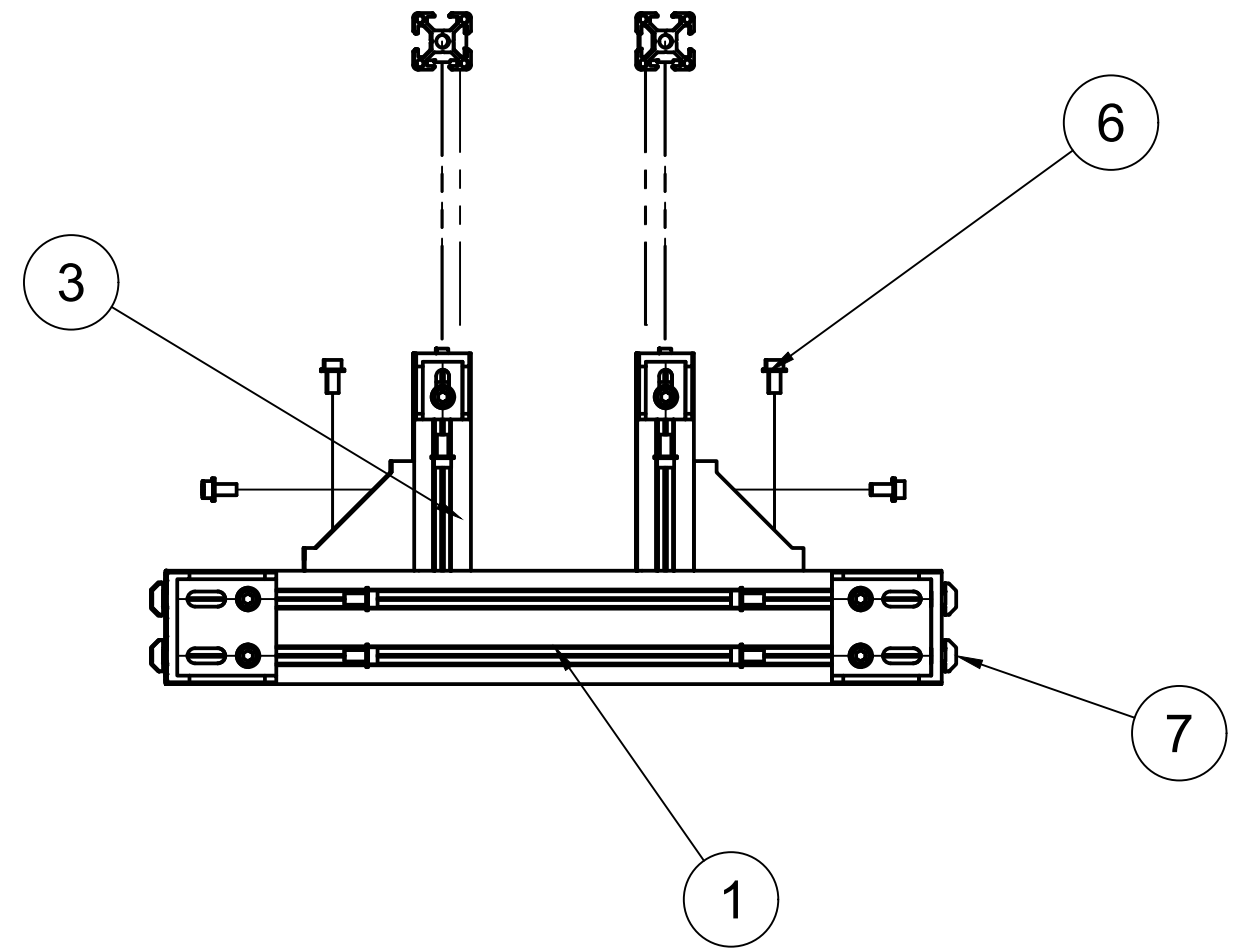
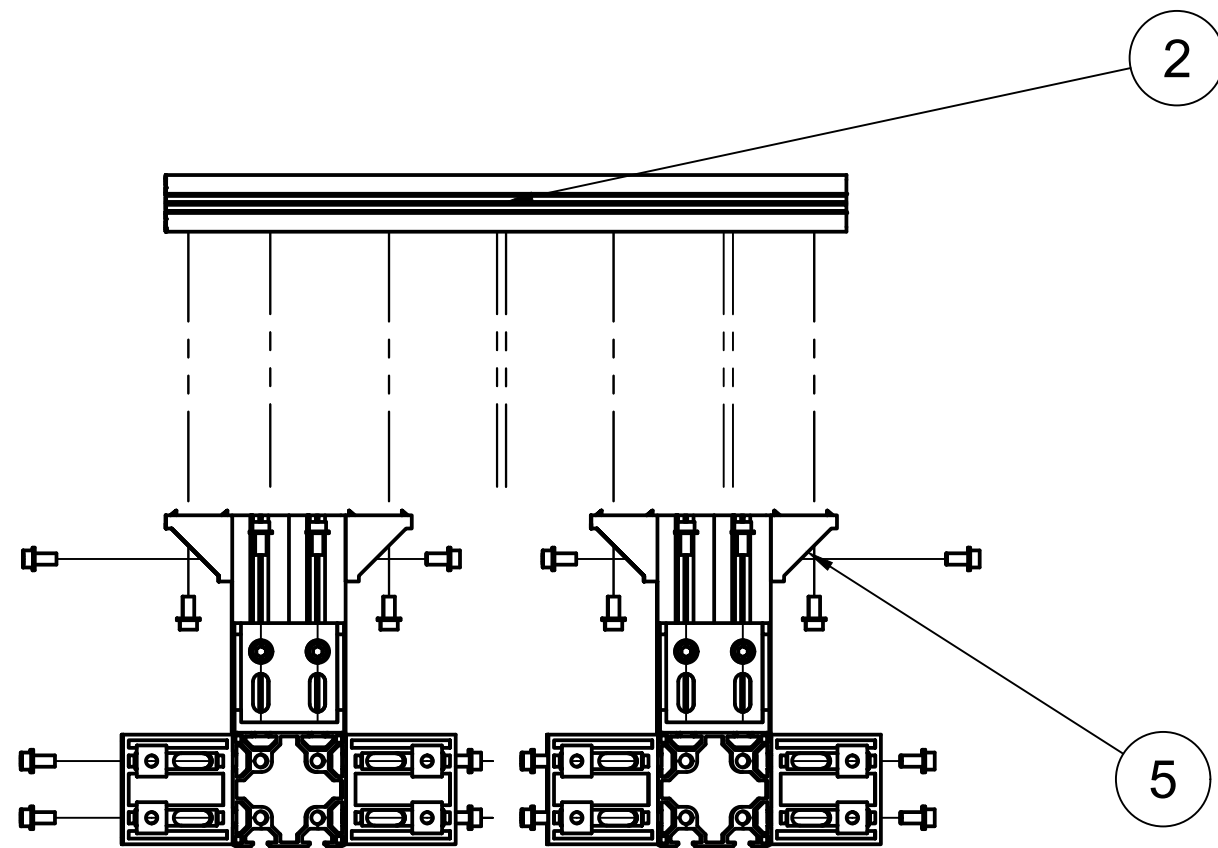


7	70	Tuerca deslizante M6	DIN-934	Acero INOX
6	70	Tornillo allen M6 * 12 mm	DIN-912	Acero INOX
5	8	Escuadra 35x35x28	Alu10	Aluminio
4	12	Escuadra 58X58x58	Alu10	Aluminio
3	8	Alu10 - 3030 x 115 mm	Plano 17 (4)	Aluminio
2	2	Alu10 - 3030 x 360 mm	Plano 17 (3)	Aluminio
1	2	Alu10 - 6060 x 410 mm	Plano 16 (2)	Aluminio
Marca	Nº Piezas	Designación	Norma	Material
PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados				Fecha: 01/07/2023
				Escala: 1:4
Autor: Samuel Boix Torner		Plano: Vistas Soporte Scooter		Nº Plano: <b>05</b>



7	70	Tuerca deslizante M6	DIN-934	Acero INOX
6	70	Tornillo allen M6 * 12 mm	DIN-912	Acero INOX
5	8	Escuadra 35x35x28	Alu10	Aluminio
4	12	Escuadra 58X58x58	Alu10	Aluminio
3	8	Alu10 - 3030 x 115 mm	Plano 17 (4)	Aluminio
2	2	Alu10 - 3030 x 360 mm	Plano 17 (3)	Aluminio
1	2	Alu10 - 6060 x 410 mm	Plano 16 (2)	Aluminio
Marca	Nº Piezas	Designación	Norma	Material

PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados			Fecha: 01/07/2023 Escala: <b>1:4</b>
Autor: Samuel Boix Torner	Plano: Vista Explosionada Isométrica Soporte Scooter		Nº Plano: <b>06A</b>



7	70	Tuerca deslizante M6	DIN-934	Acero INOX
6	70	Tornillo allen M6 * 12 mm	DIN-912	Acero INOX
5	8	Escuadra 35x35x28	Alu10	Aluminio
4	12	Escuadra 58X58x58	Alu10	Aluminio
3	8	Alu10 - 3030 x 115 mm	Plano 17 (4)	Aluminio
2	2	Alu10 - 3030 x 360 mm	Plano 17 (3)	Aluminio
1	2	Alu10 - 6060 x 410 mm	Plano 16 (2)	Aluminio
Marca	Nº Piezas	Designación	Norma	Material

PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados

Fecha: 01/07/2023

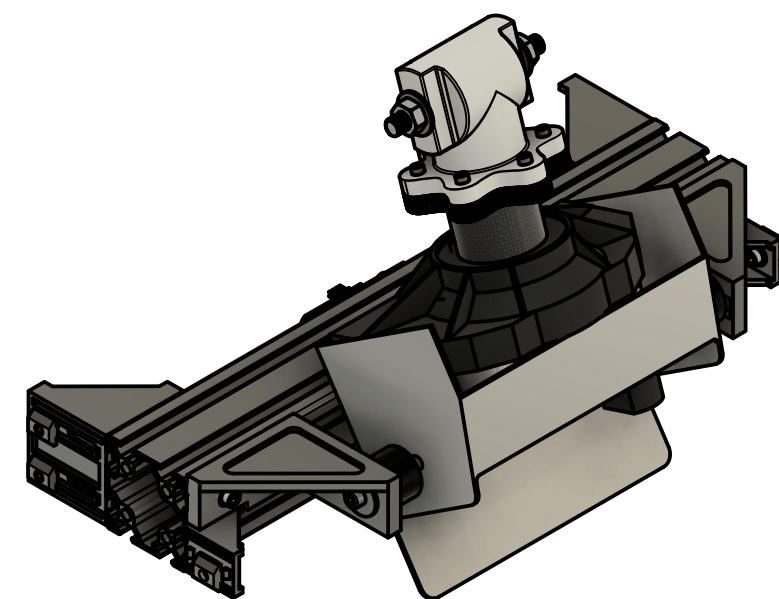
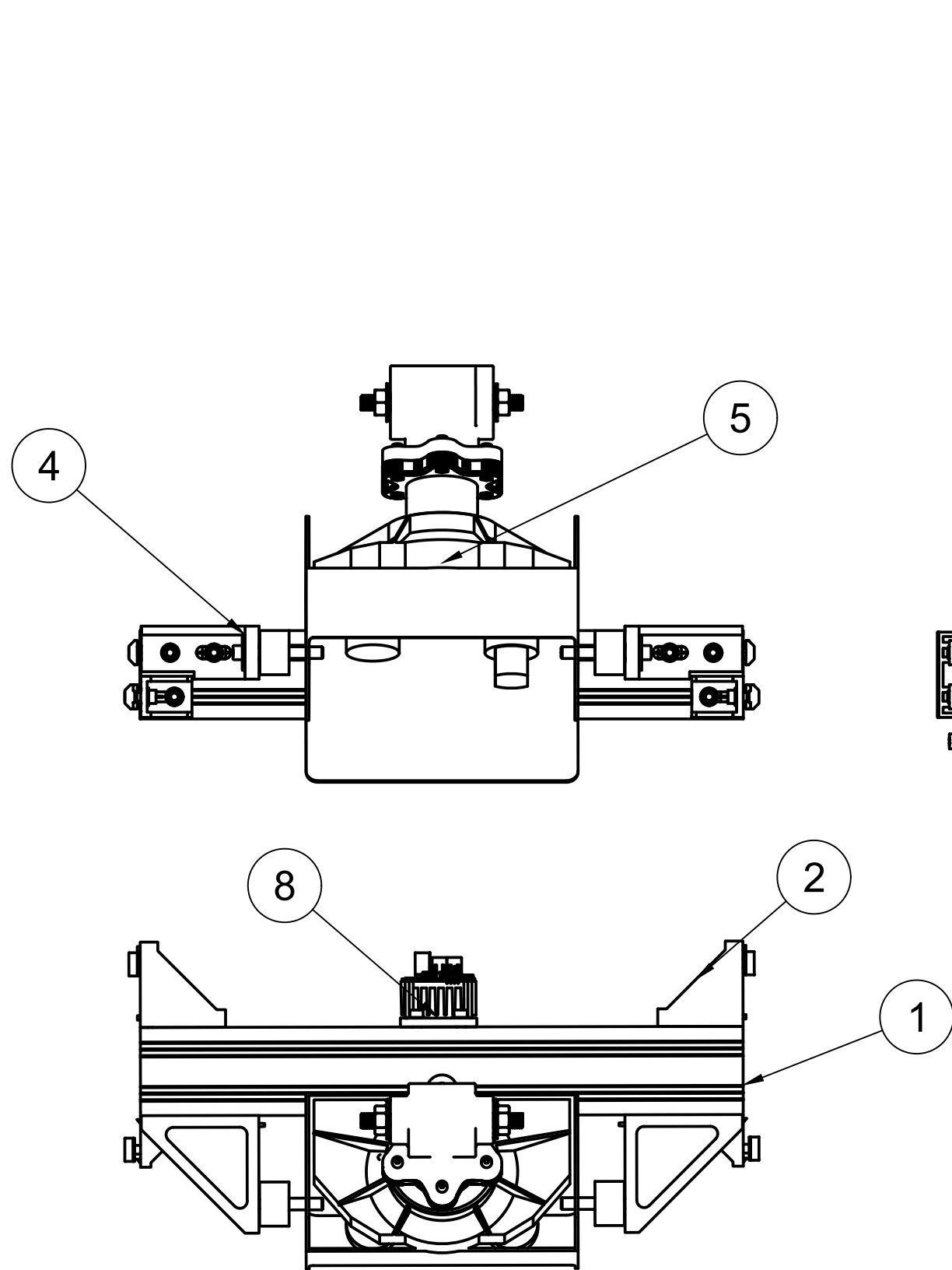
Escala: 1:4

Autor:  
Samuel Boix Torner

Plano:  
Vista Explosionada  
Soporte Scooter

Nº Plano:

**06B**



8	1	Soporte Controlador	Plano 19	PLA
7	1	Soporte Tipo B	RamjetX	PLA
6	1	Soporte Tipo A	Plano 20	PLA
5	1	Bloque Motor Logitech	NC	Varios
4	2	Escuadra 80x80x36	Plano 18	Aluminio
3	2	Escuadra 35x35x28	Alu10	Aluminio
2	2	Escuadra 58X58x58	Alu10	Aluminio
1	2	Alu10 - 6060 x 410 mm	Plano 16 (2)	Aluminio
Marca	Nº Piezas	Designación	Norma	Material

PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados

Fecha: 01/07/2023

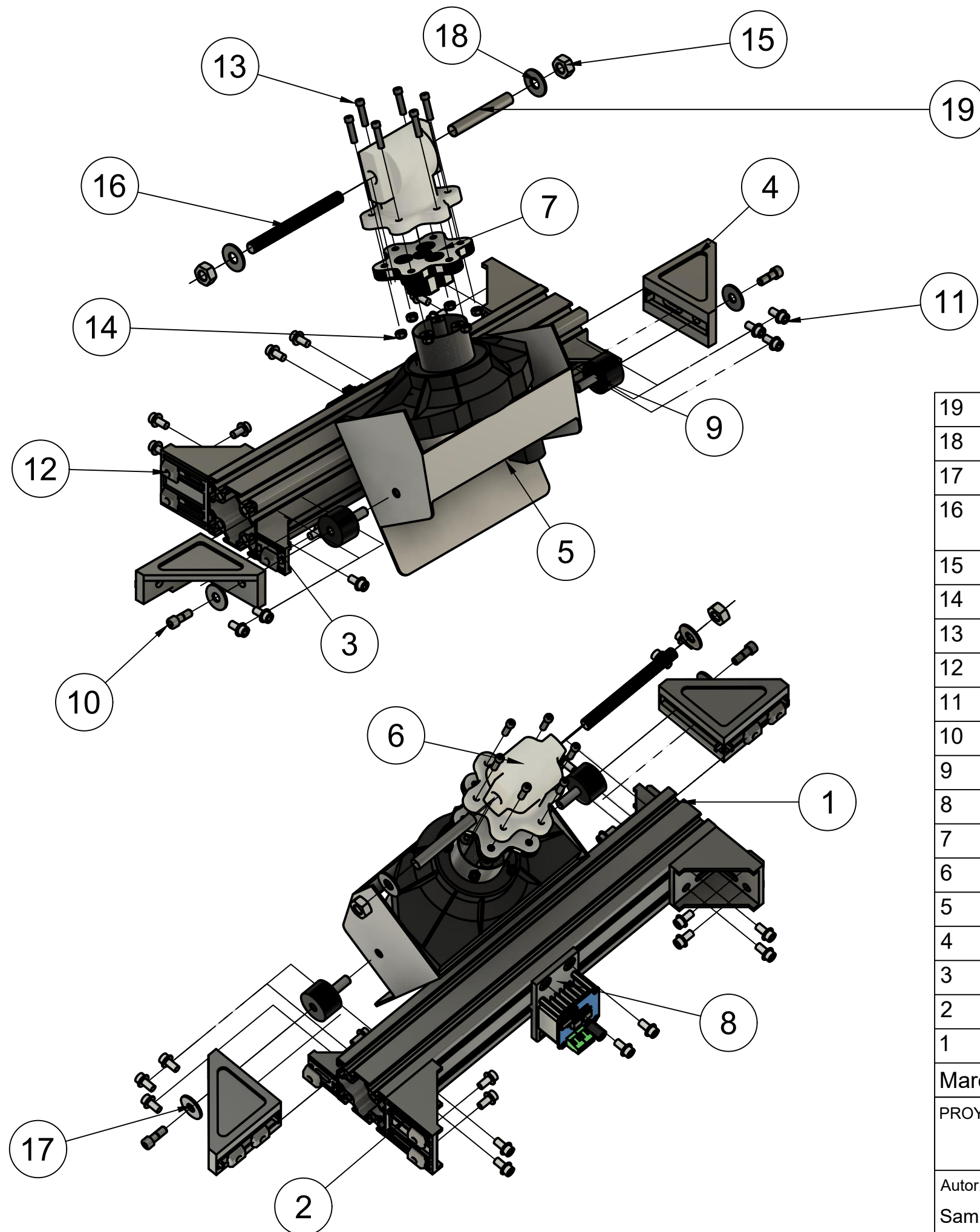
Escala: 1:4

Autor:  
Samuel Boix Torner

Plano:  
Vistas  
Soporte Motor

Nº Plano:

07



19	1	Varilla hueca M12 * 70mm	NC	Aluminio
18	2	Arandela plana M10	DIN-125	AISI 304
17	2	Arandela plana M8	DIN-125	AISI 304
16	1	Var. roscada M10 *110 mm	DIN-976	AISI 304
15	2	Tuerca M10	DIN-934	AISI 304
14	6	Tuerca antideslizante M5	DIN-934	AISI 304
13	6	Tornillo allen M5 * 25 mm	DIN-912	Acero INOX
12	16	Tuerca deslizante M6	DIN-934	Acero INOX
11	16	Tornillo allen M6 * 12 mm	DIN-912	Acero INOX
10	2	Tornillo allen M8 * 25 mm	DIN-912	Acero INOX
9	2	KAMA 412203030	KAMA	AISI 304
8	1	Soporte Controlador	Plano 19	PLA
7	1	Soporte Tipo B	RamjetX	PLA
6	1	Soporte Tipo A	Plano 20	PLA
5	1	Bloque Motor Logitech	NC	Varios
4	2	Escuadra 80x80x36	Plano 18	Aluminio
3	2	Escuadra 35x35x28	Alu10	Aluminio
2	2	Escuadra 58X58x58	Alu10	Aluminio
1	2	Alu10 - 6060 x 410 mm	Plano 16 (2)	Aluminio
Marca	Nº Piezas	Designación	Norma	Material

PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados

Fecha: 01/07/2023

Escala: 1:4

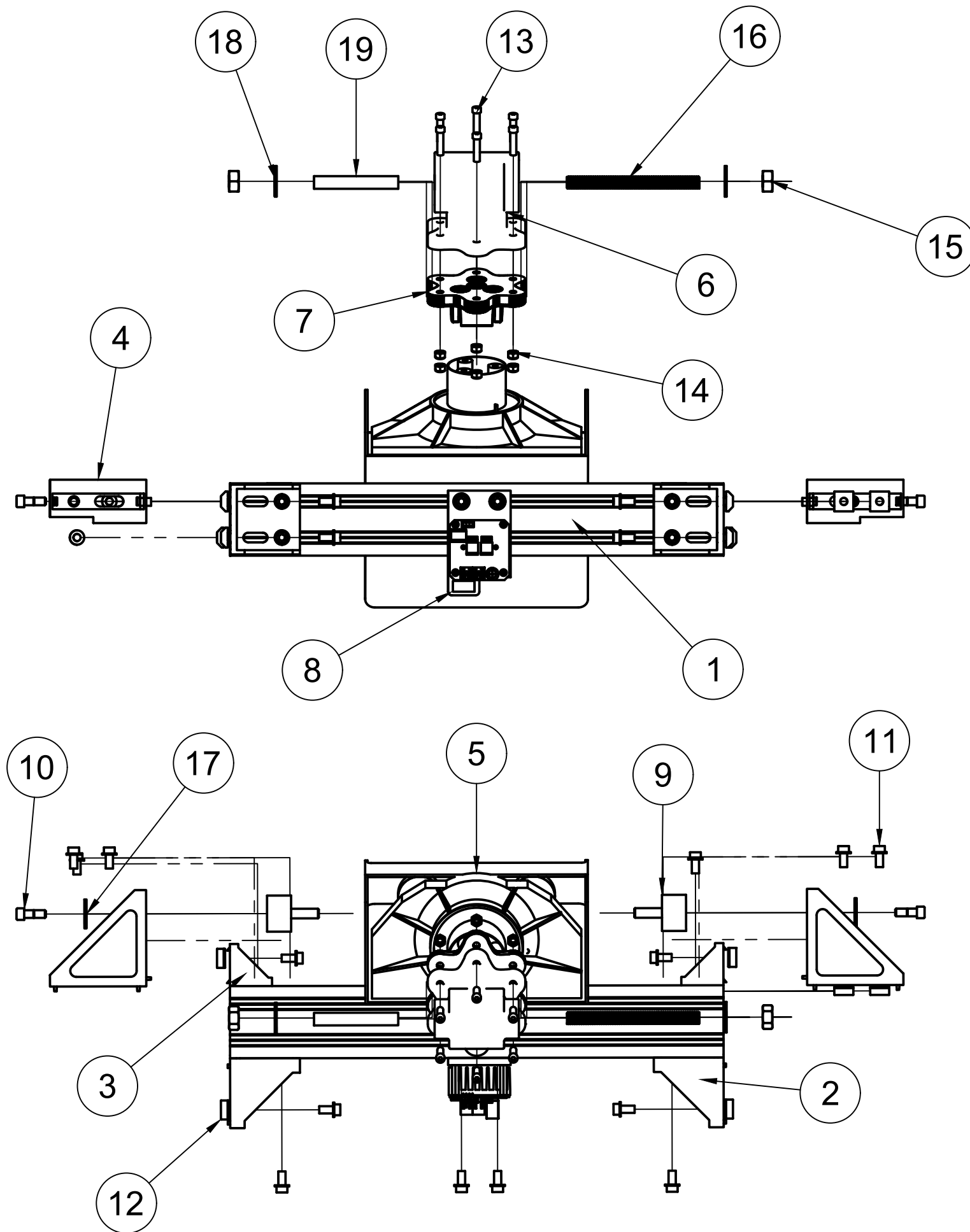
Autor:  
Samuel Boix Torner

Plano:  
Vista Explosionada Isométrica  
Soporte Motor

Nº Plano:

**08A**





19	1	Varilla hueca M12 * 70mm	NC	Aluminio
18	2	Arandela plana M10	DIN-125	AISI 304
17	2	Arandela plana M8	DIN-125	AISI 304
16	1	Var. roscada M10 *110 mm	DIN-976	AISI 304
15	2	Tuerca M10	DIN-934	AISI 304
14	6	Tuerca antideslizante M5	DIN-934	AISI 304
13	6	Tornillo allen M5 * 25 mm	DIN-912	Acero INOX
12	16	Tuerca deslizante M6	DIN-934	Acero INOX
11	16	Tornillo allen M6 * 12 mm	DIN-912	Acero INOX
10	2	Tornillo allen M8 * 25 mm	DIN-912	Acero INOX
9	2	KAMA 412203030	KAMA	AISI 304
8	1	Soporte Controlador	Plano 19	PLA
7	1	Soporte Tipo B	RamjetX	PLA
6	1	Soporte Tipo A	Plano 20	PLA
5	1	Bloque Motor Logitech	NC	Varios
4	2	Escuadra 80x80x36	Plano 18	Aluminio
3	2	Escuadra 35x35x28	Alu10	Aluminio
2	2	Escuadra 58X58x58	Alu10	Aluminio
1	2	Alu10 - 6060 x 410 mm	Plano 16 (2)	Aluminio
Marca	Nº Piezas	Designación	Norma	Material

PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados

Fecha: 01/07/2023

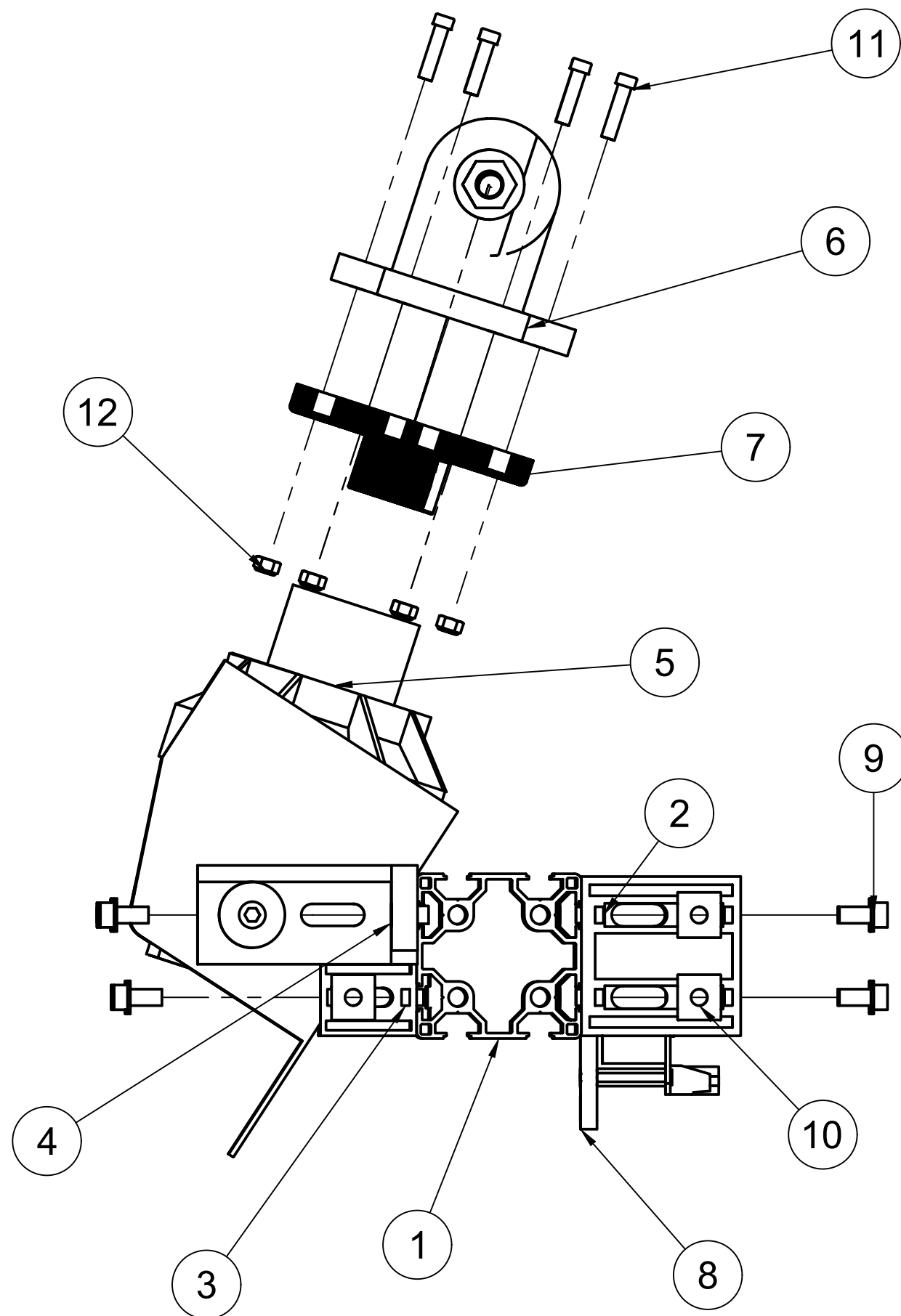
Escala: 1:4

Autor:  
Samuel Boix Torner

Plano:  
Vista Explosionada  
Soporte Motor

Nº Plano:

**08B**



12	6	Tuerca antideslizante M5	DIN-934	AISI 304
11	6	Tornillo allen M5 * 25 mm	DIN-912	Acero INOX
10	16	Tuerca deslizante M6	DIN-934	Acero INOX
9	16	Tornillo allen M6 * 12 mm	DIN-912	Acero INOX
8	1	Soporte Controlador	Plano 19	PLA
7	1	Soporte Tipo B	RamjetX	PLA
6	1	Soporte Tipo A	Plano 20	PLA
5	1	Bloque Motor Logitech	NC	Varios
4	2	Escuadra 80x80x36	Plano 18	Aluminio
3	2	Escuadra 35x35x28	Alu10	Aluminio
2	2	Escuadra 58X58x58	Alu10	Aluminio
1	2	Alu10 - 6060 x 410 mm	Plano 16 (2)	Aluminio
Marca	Nº Piezas	Designación	Norma	Material

PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados

Fecha: 01/07/2023

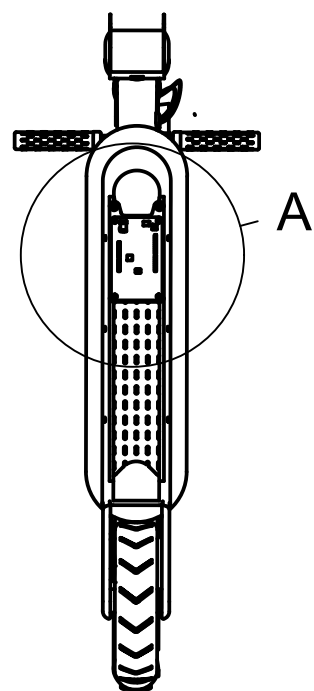
Escala: 1:2

Autor:  
Samuel Boix Torner

Plano:  
Vista Explosionada Lateral  
Soporte Motor

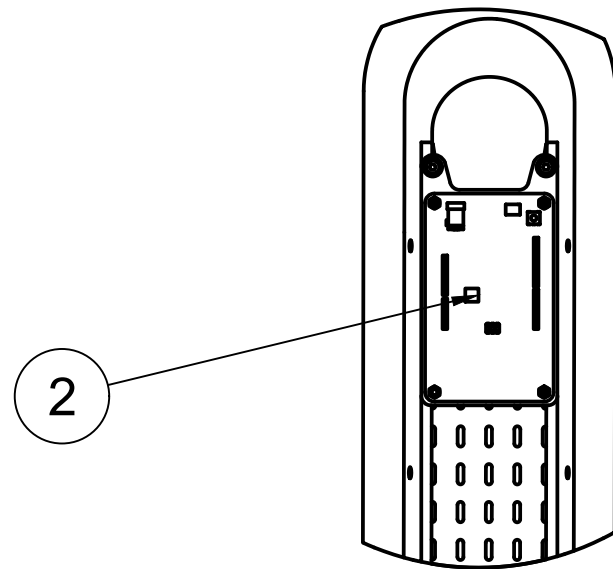
Nº Plano:

**08C**

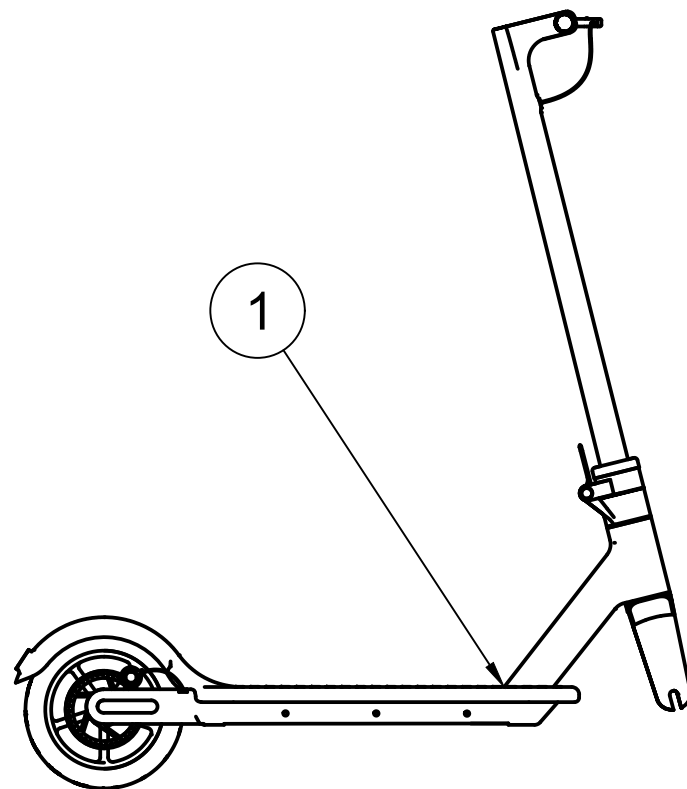
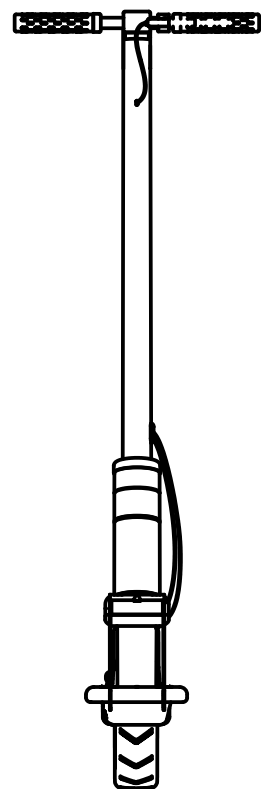


A

A (1:4)



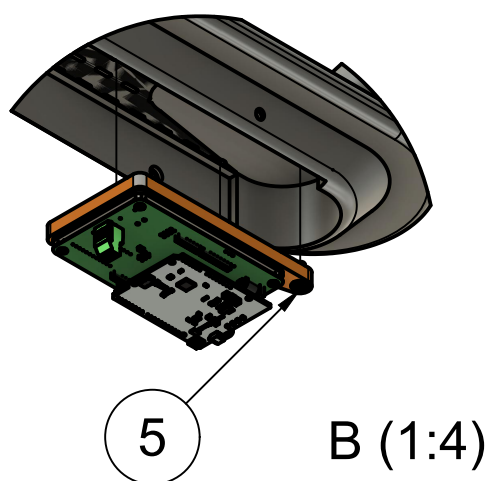
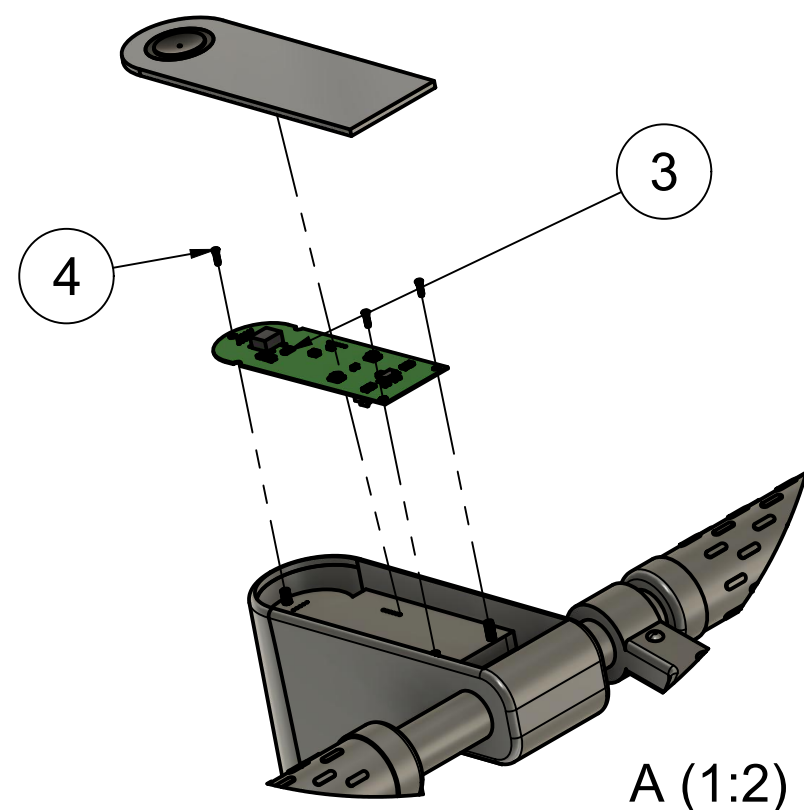
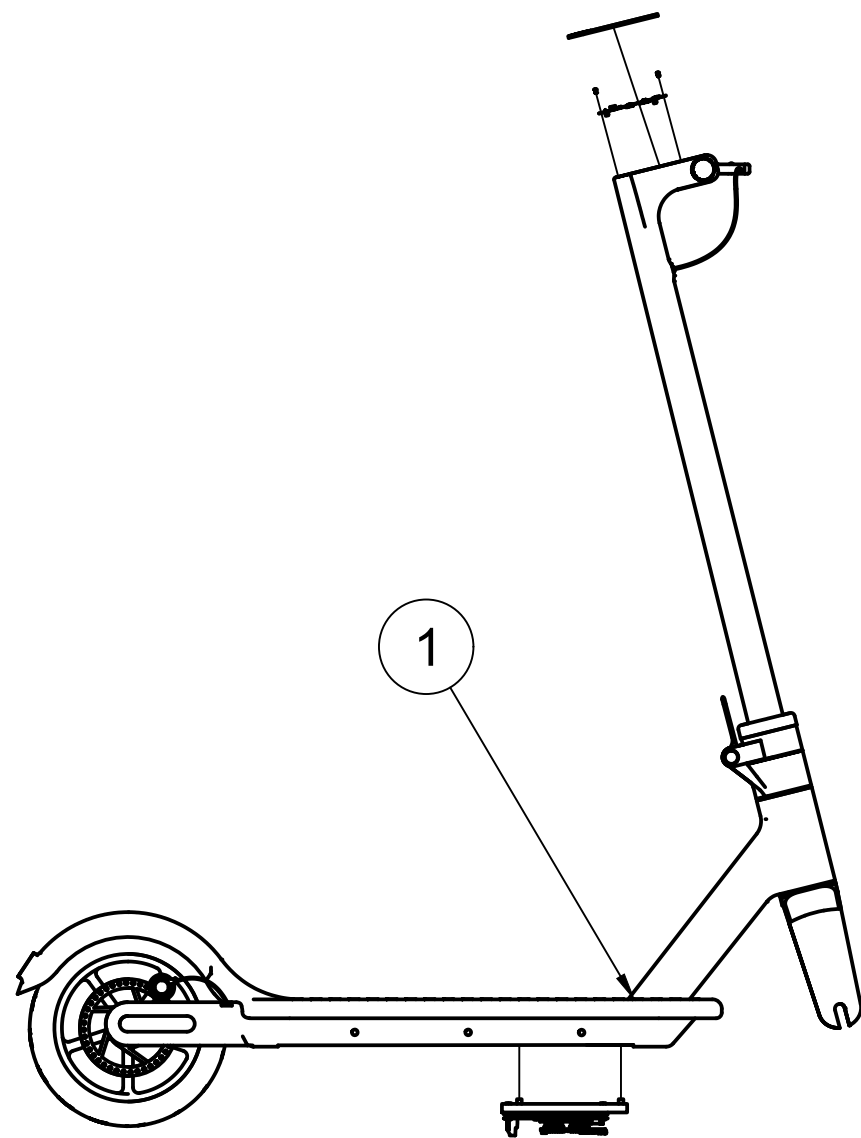
2



1

2	1	Soporte + Placa de Control	Plano 11	Varios
1	1	Xiaomi mi365 1S	Xiaomi	Varios
Marca	Nº Piezas	Designación	Norma	Material
PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados				Fecha: 01/07/2023
				Escala: 1:10
Autor: Samuel Boix Torner		Plano: Vistas Scooter		Nº Plano: <b>09</b>

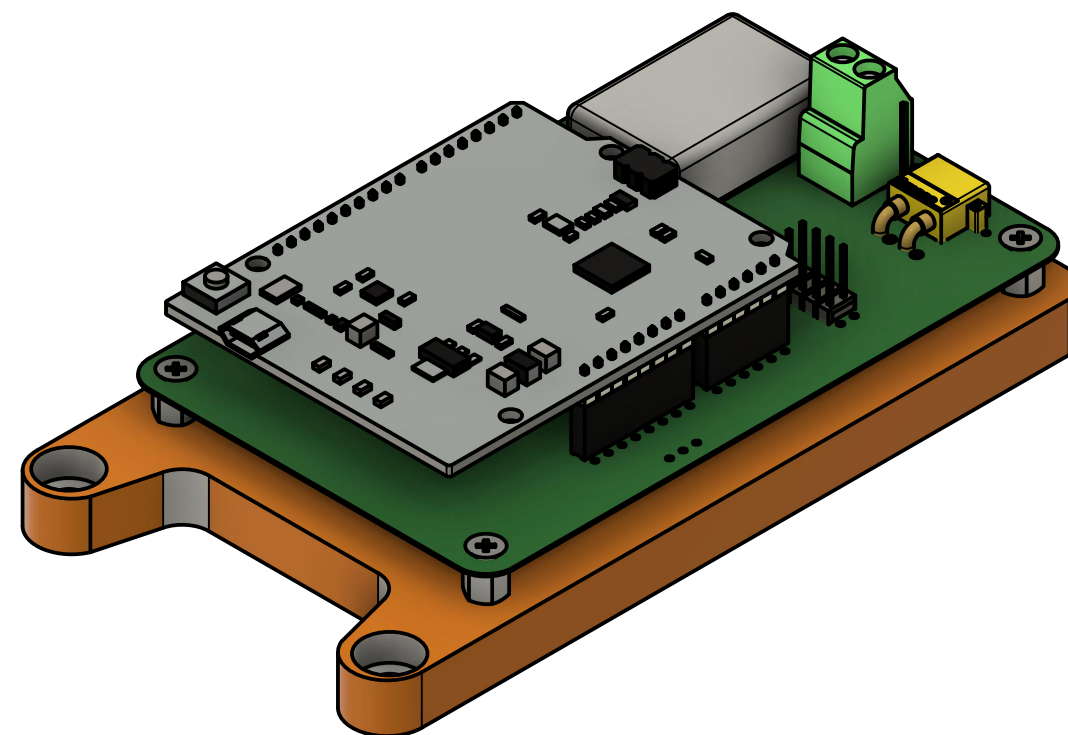
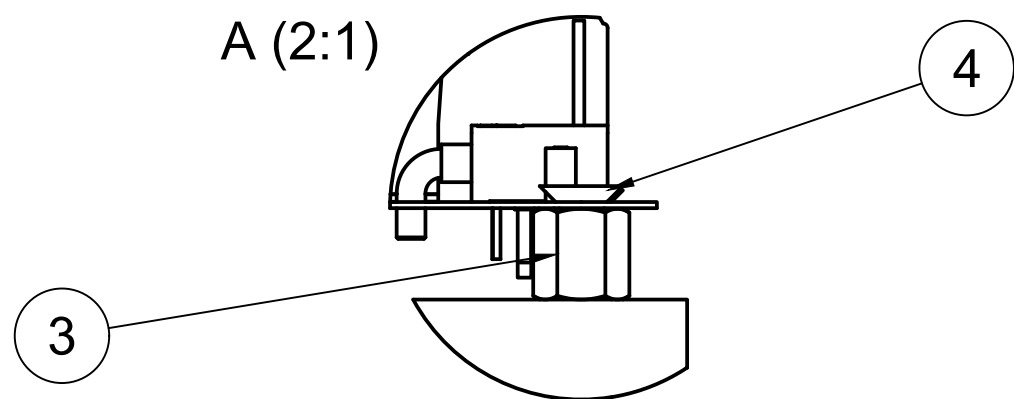
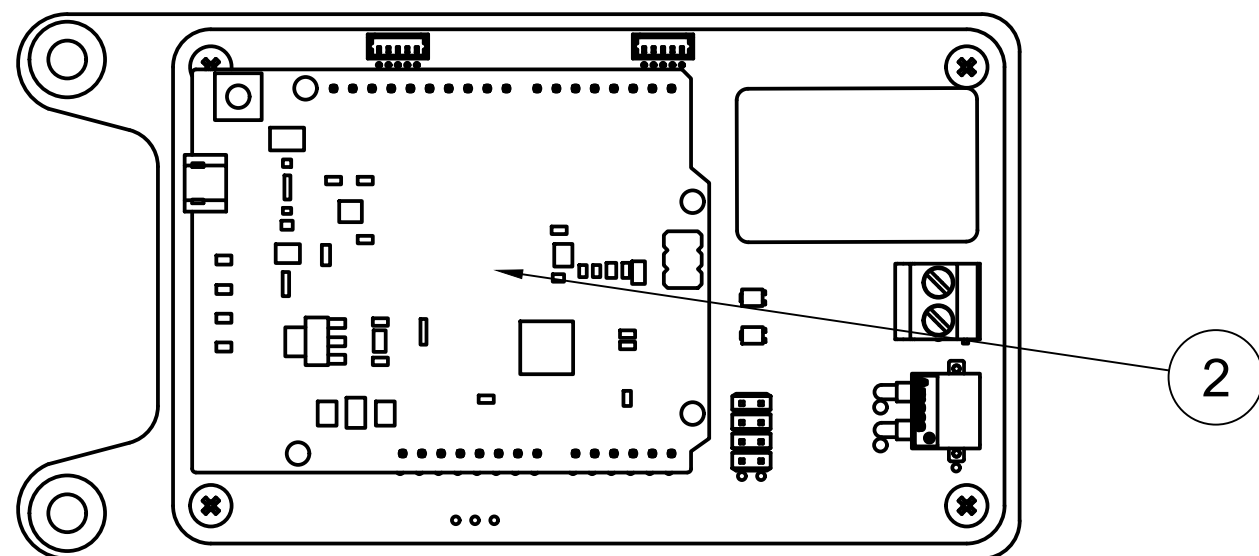
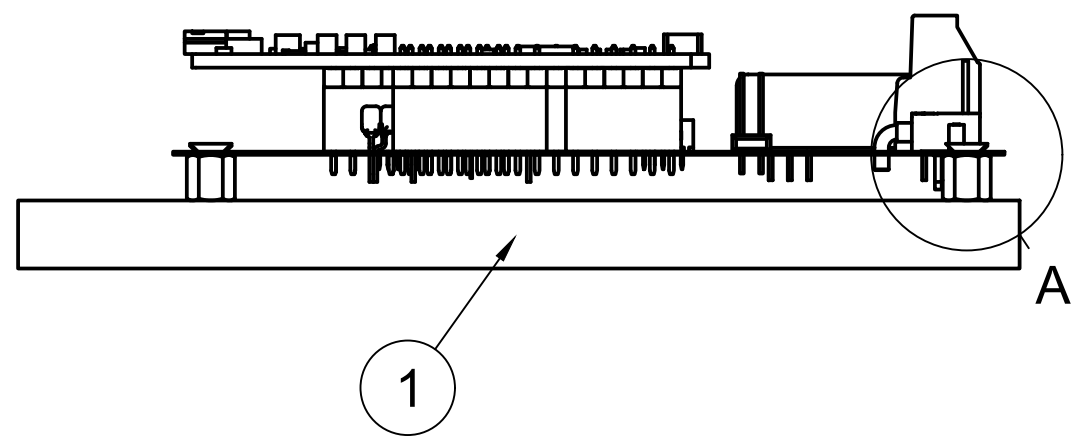




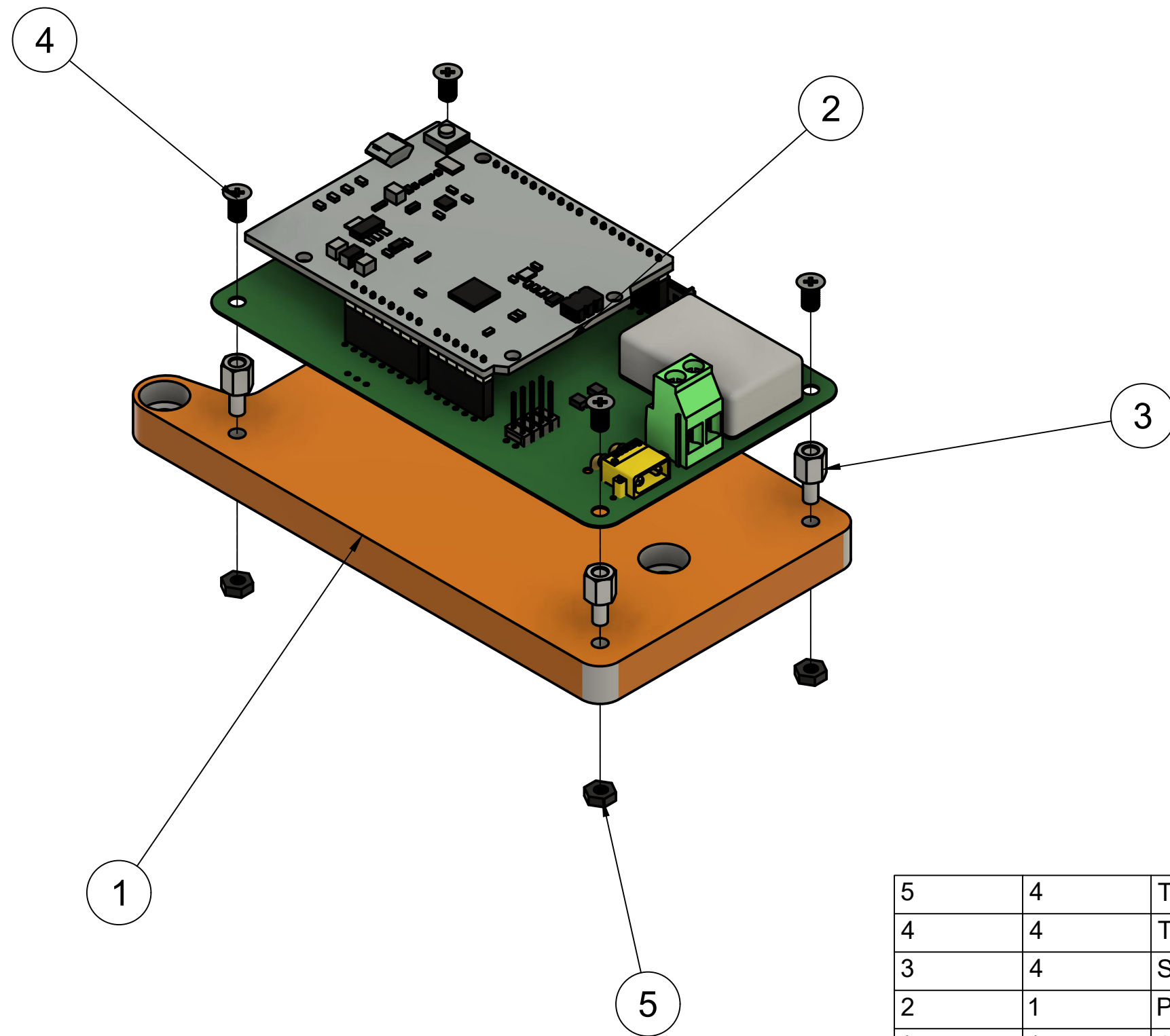
A (1:2)

B (1:4)

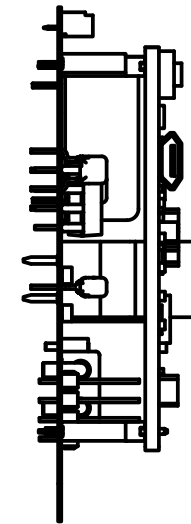
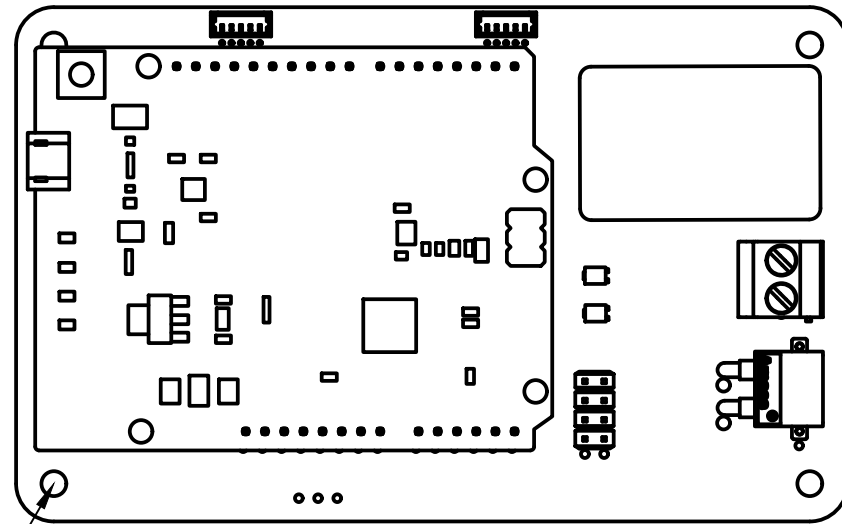
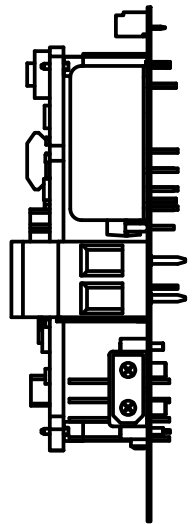
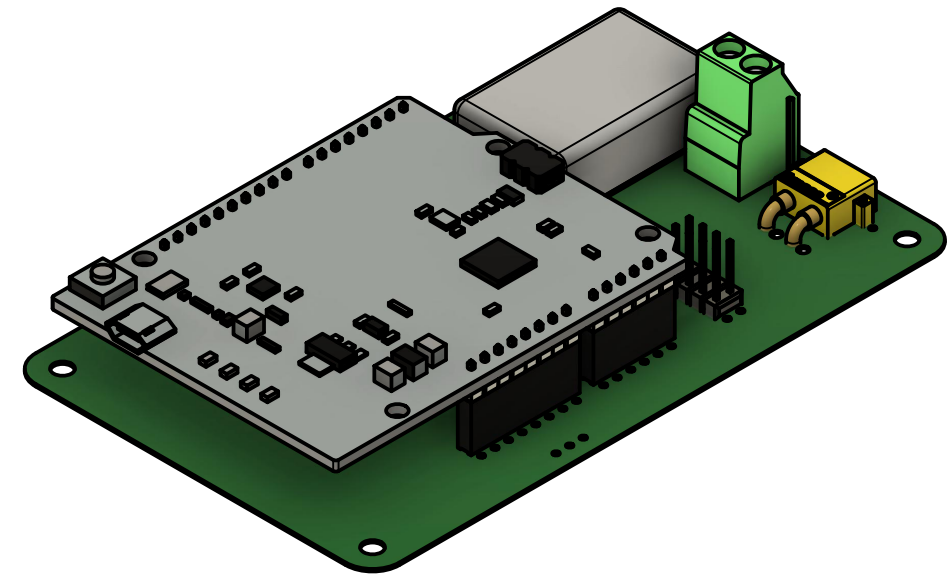
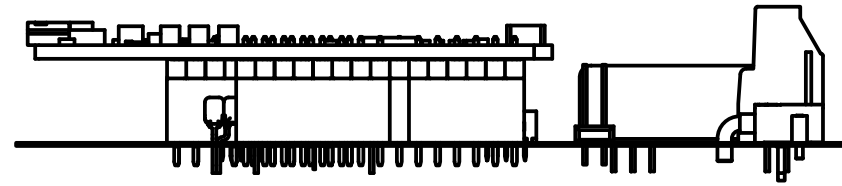
5	3	Tornillo M4* 20 mm	DIN-912	Acero INOX
4	3	Tornillo M2* 2 mm	DIN-912	Aluminio
3	1	Placa de Adquisición	Plano 14	Varios
2	1	Soporte + Placa de Control	Plano 11	Varios
1	1	Xiaomi mi365 1S	Xiaomi	Varios
Marca	Nº Piezas	Designación	Norma	Material
PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados				Fecha: 01/07/2023
				Escala: 1:10
Autor: Samuel Boix Torner		Plano: Vista Explosionada Isométrica Scooter		Nº Plano: <b>10</b>



4	4	Tornillo M3* 4 mm	DIN-912	Nilon
3	4	Separador M3* 5 mm	DIN-934	Nilon
2	1	Placa de Control	Plano 13	Varios
1	1	Soporte Placa Control	Plano 23	PLA
Marca	Nº Piezas	Designación	Norma	Material
PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados				Fecha: 01/07/2023
				Escala: 1:1
Autor: Samuel Boix Torner		Plano: Vista Soporte + Placa de Control		Nº Plano: <b>11</b>

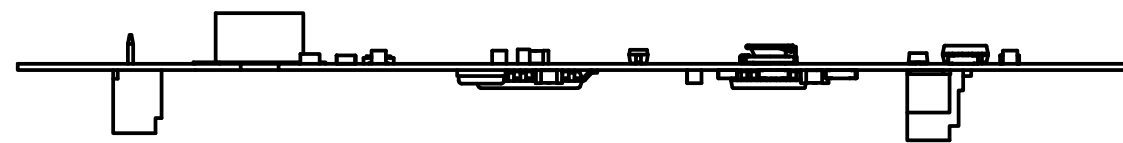
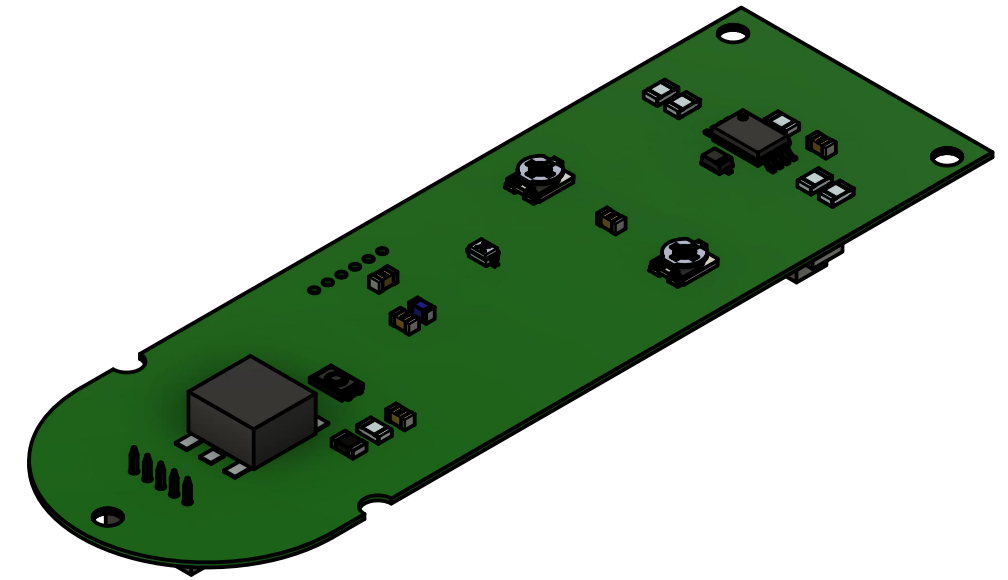
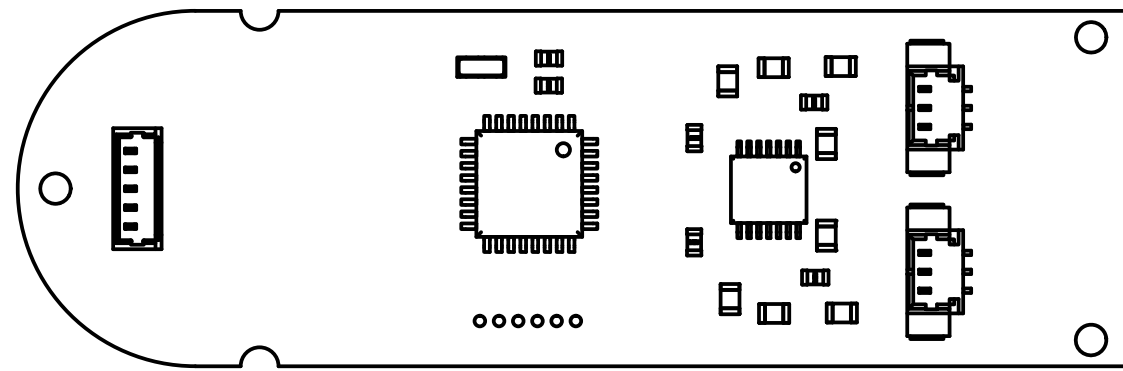


5	4	Tuerca M3	DIN-934	Nilon
4	4	Tornillo M3* 4 mm	DIN-912	Nilon
3	4	Separador M3* 5 mm	DIN-934	Nilon
2	1	Placa de Control	Plano 13	Varios
1	1	Soporte Placa Control	Plano 23	PLA
Marca	Nº Piezas	Designación	Norma	Material
PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados				Fecha: 01/07/2023
				Escala: 1:1
Autor: Samuel Boix Torner		Plano: Vista Explosionada Isométrica Soporte + Placa de Control		Nº Plano: <b>12</b>

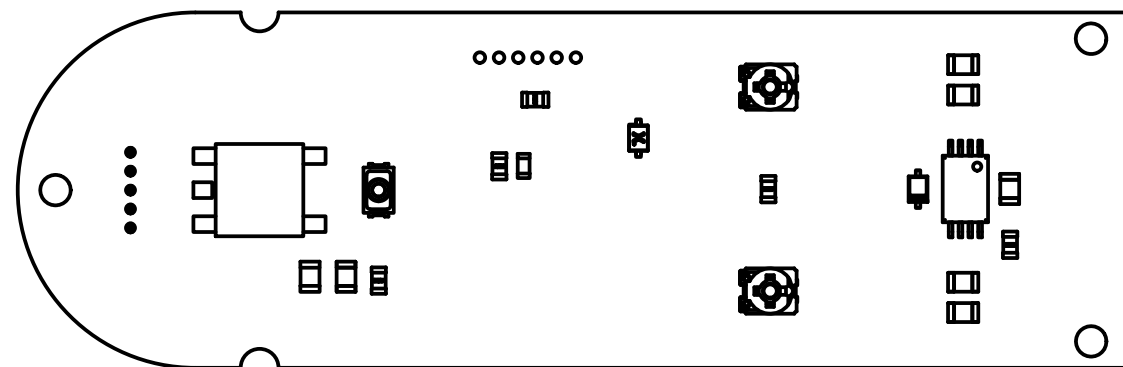


1

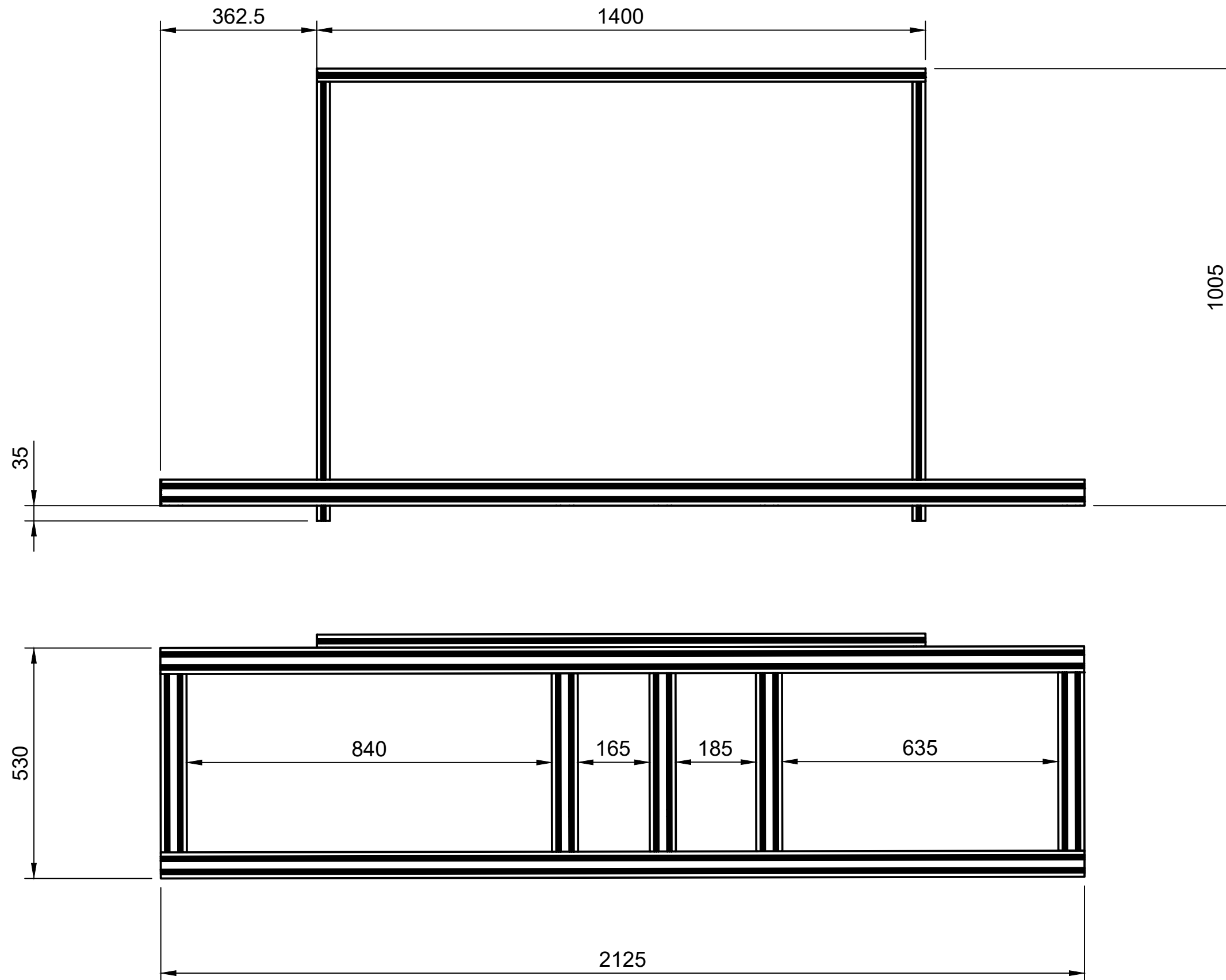
1	1	Placa de Control	Plano 28	Varios
Marca	Nº Piezas	Designación	Norma	Material
PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados				Fecha: 01/07/2023 Escala: 1:1
Autor: Samuel Boix Torner		Plano: Vista Placa de Control		Nº Plano: <b>13</b>



1



1	1	Placa de Adquisición	Plano 29	Varios
Marca	Nº Piezas	Designación	Norma	Material
PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados				Fecha: 01/07/2023 Escala: 1:1
Autor: Samuel Boix Torner		Plano: Vista Placa de Adquisición		Nº Plano: <b>14</b>



PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados

Fecha: 01/07/2023

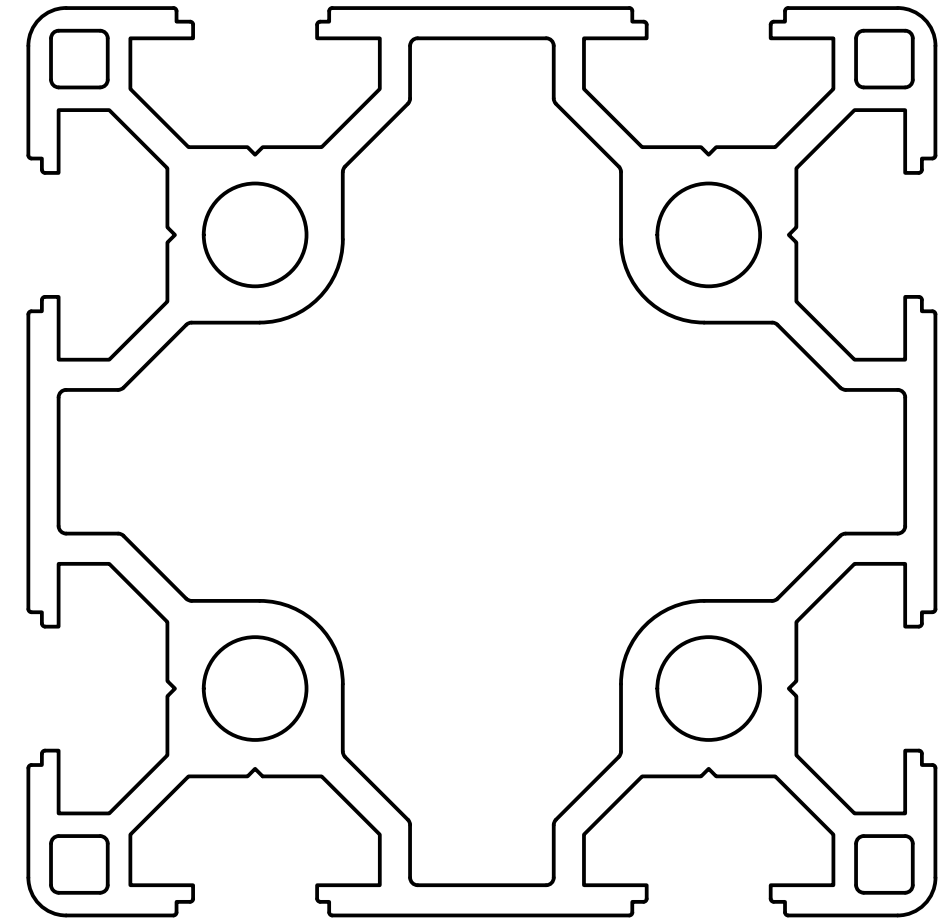
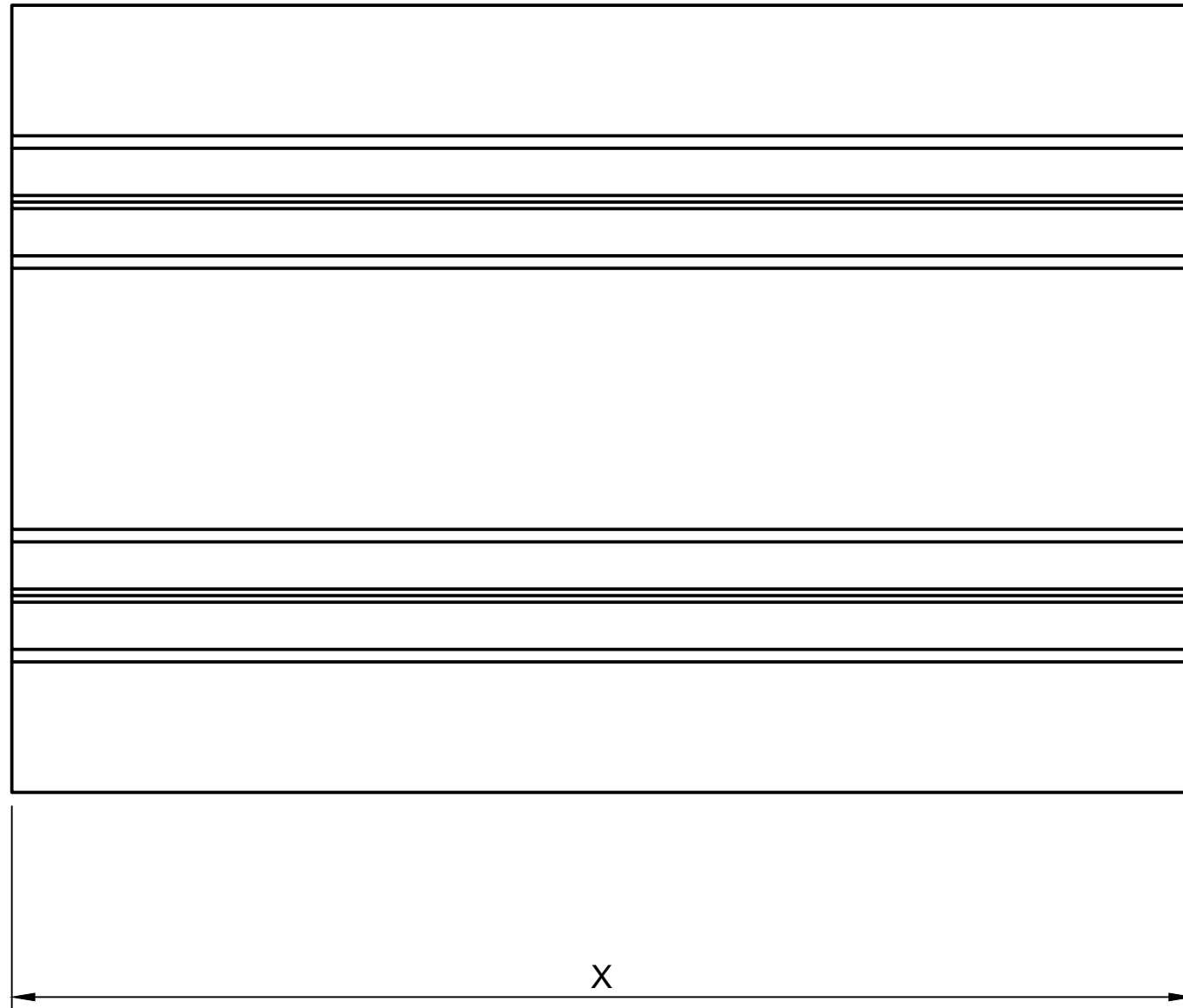
Escala: 1:10

Autor:  
Samuel Boix Torner

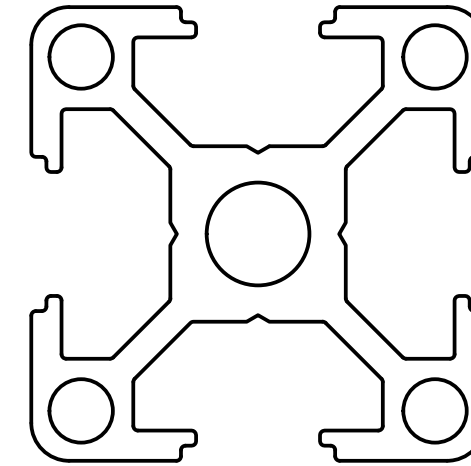
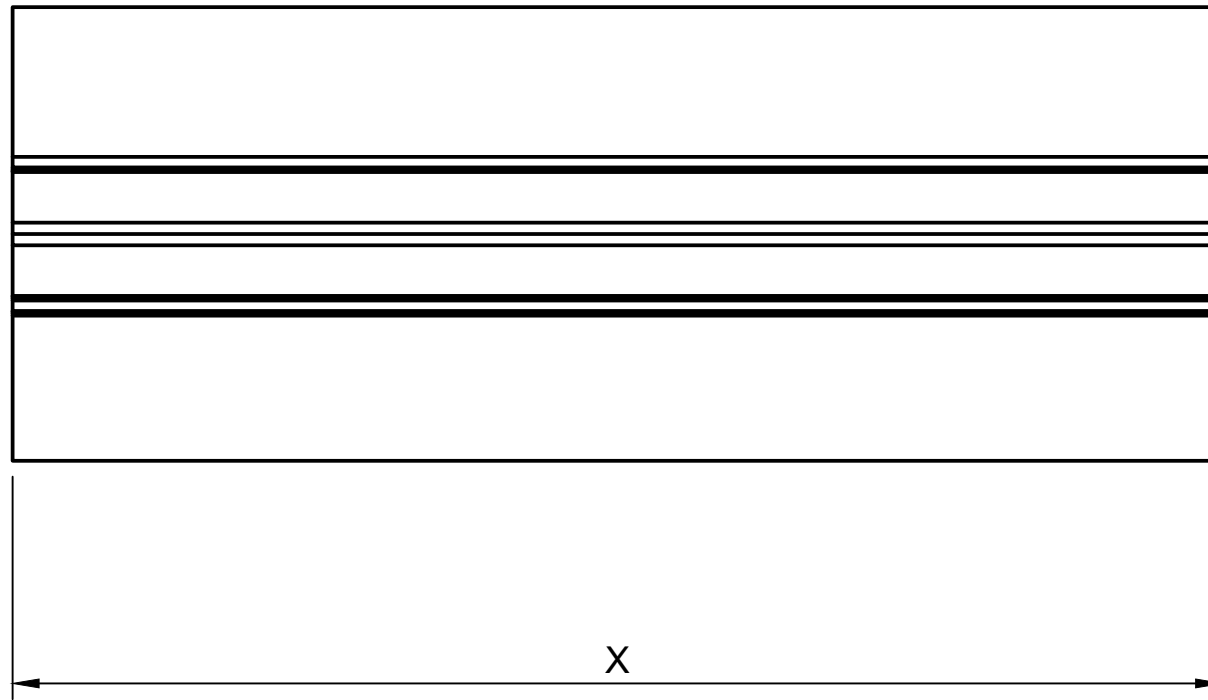
Plano:  
Disposición elementos de la plataforma completa del simulador

Nº Plano:

15

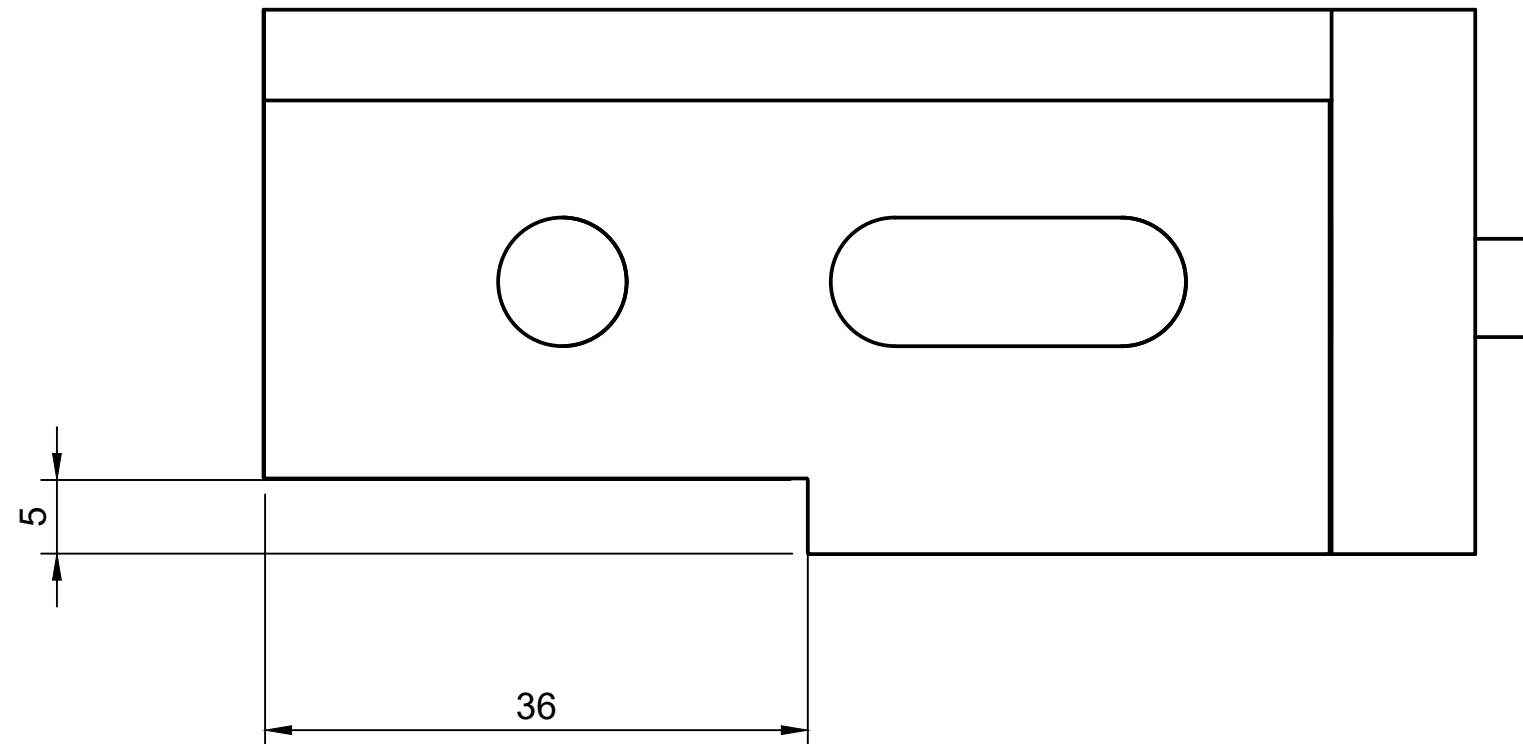
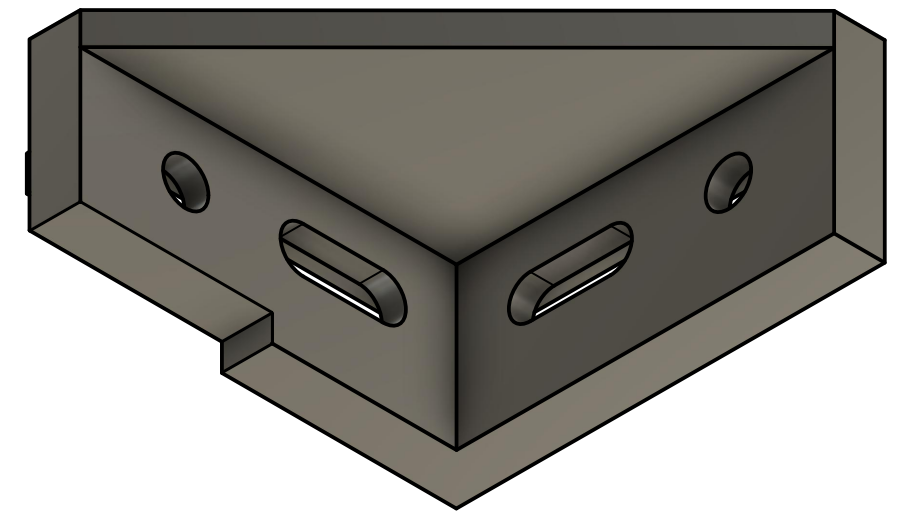


Perfil Alu10 - 6060 x 410 mm	410 mm	2
Perfil Alu10 - 6060 x 2125 mm	2125 mm	1
Descripción	Largo (X)	Identificador
Elementos mecanizados Perfil Alu10 60 - 60		
PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados		Fecha: 01/07/2023
		Escala: <b>2:1</b>
Autor: Samuel Boix Torner	Plano: Mecanizado perfiles aluminio Alu10 - 6060	Nº Plano: <b>16</b>



Perfil Alu10 - 3030 x 115 mm	115 mm	4
Perfil Alu10 - 3030 x 360 mm	360 mm	3
Perfil Alu10 - 3030 x 1010 mm	1010 mm	2
Perfil Alu10 - 3030 x 1400 mm	1400 mm	1
Descripción	Largo (X)	Identificador
Elementos mecanizados Perfil Alu10 30 - 30		
PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados		Fecha: 01/07/2023
		Escala: <b>2:1</b>
Autor: Samuel Boix Torner	Plano: Mecanizado perfiles aluminio Alu10 - 3030	Nº Plano: <b>17</b>





PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados

Fecha: 01/07/2023

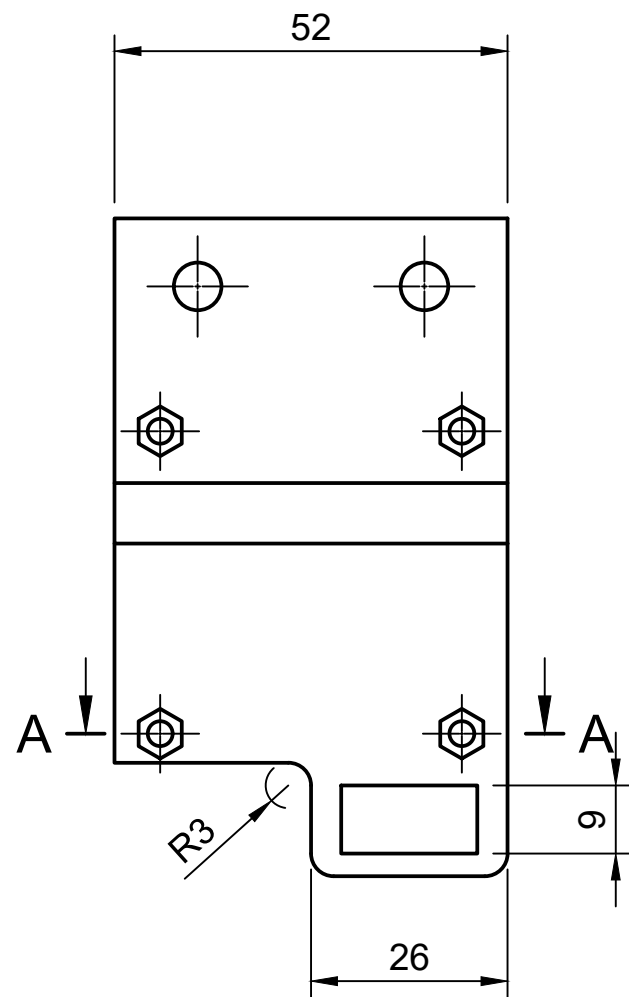
Escala: 2:1

Autor:  
Samuel Boix Torner

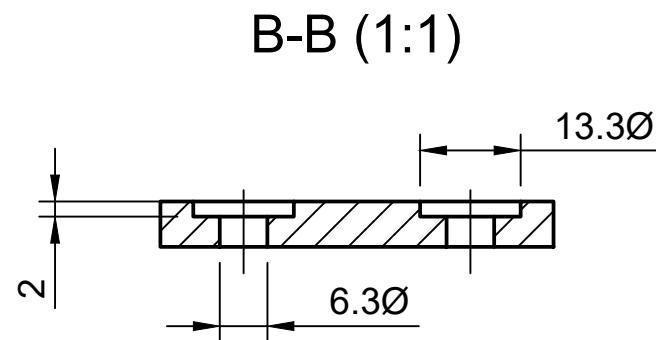
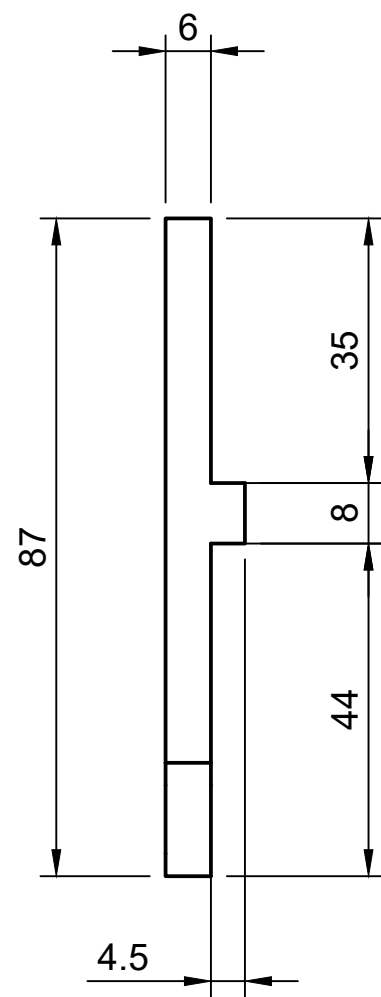
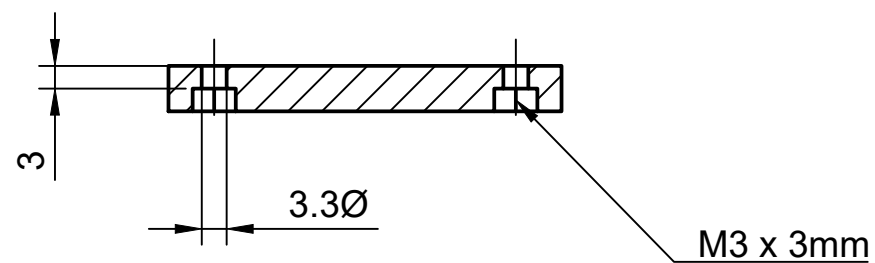
Plano:  
Rectificado Escuadra angular 40x40  
Corte de ajuste

Nº Plano:

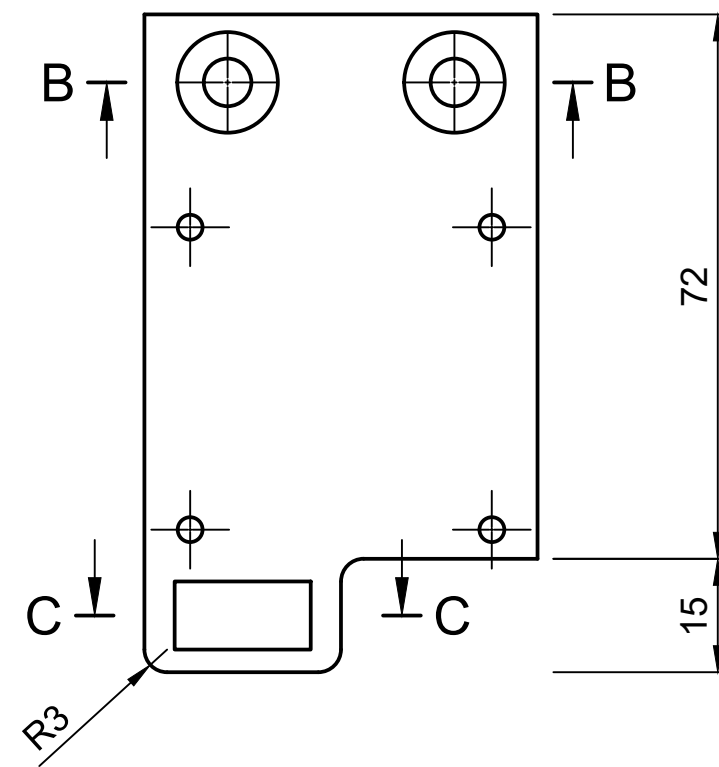
18



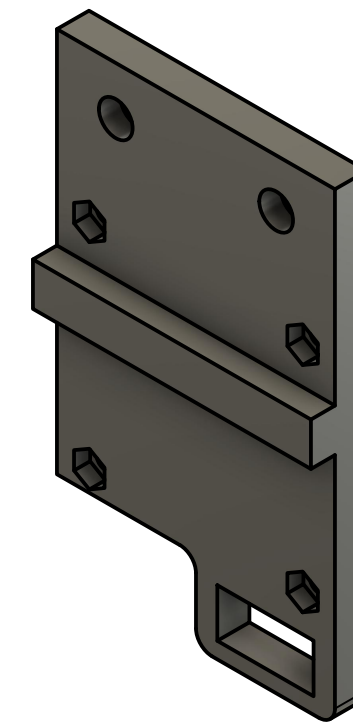
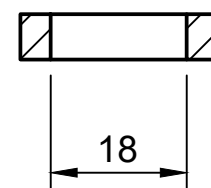
A-A (1:1)



B-B (1:1)

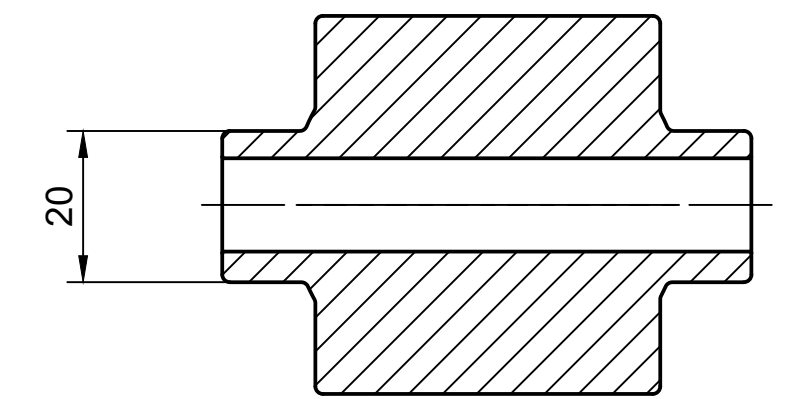


C-C (1:1)

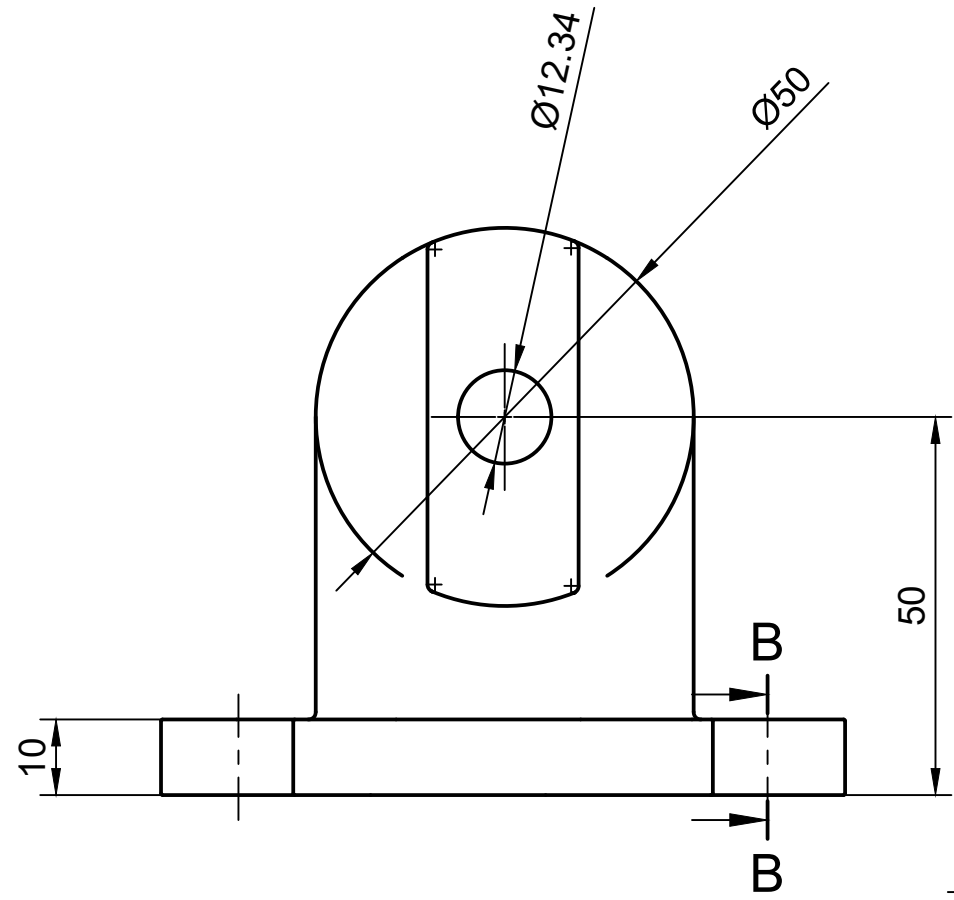
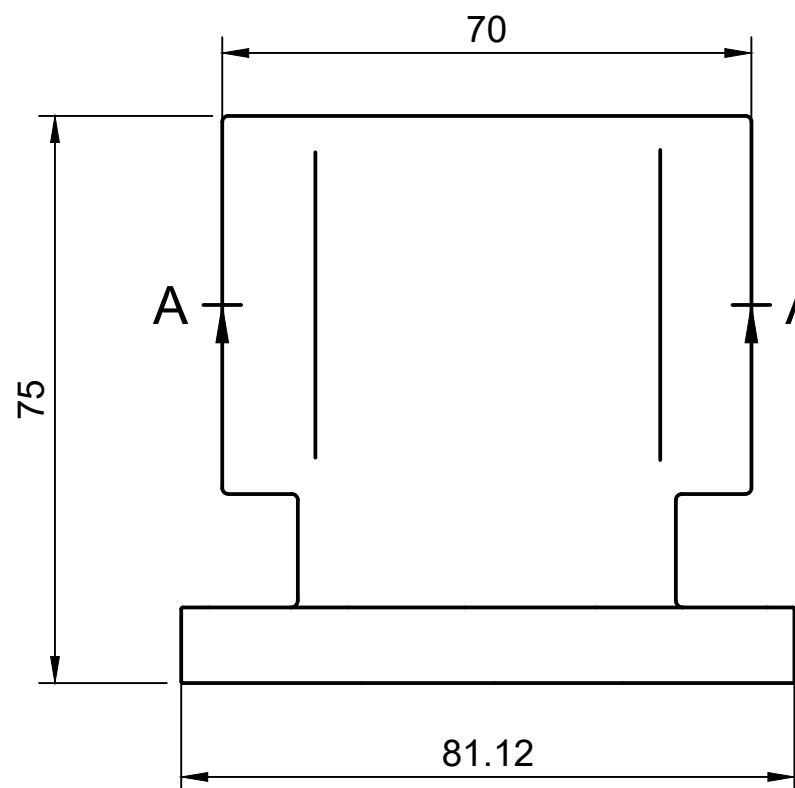


Tolerancia de medidas sin indicación expresa. según: ISO 2768-m

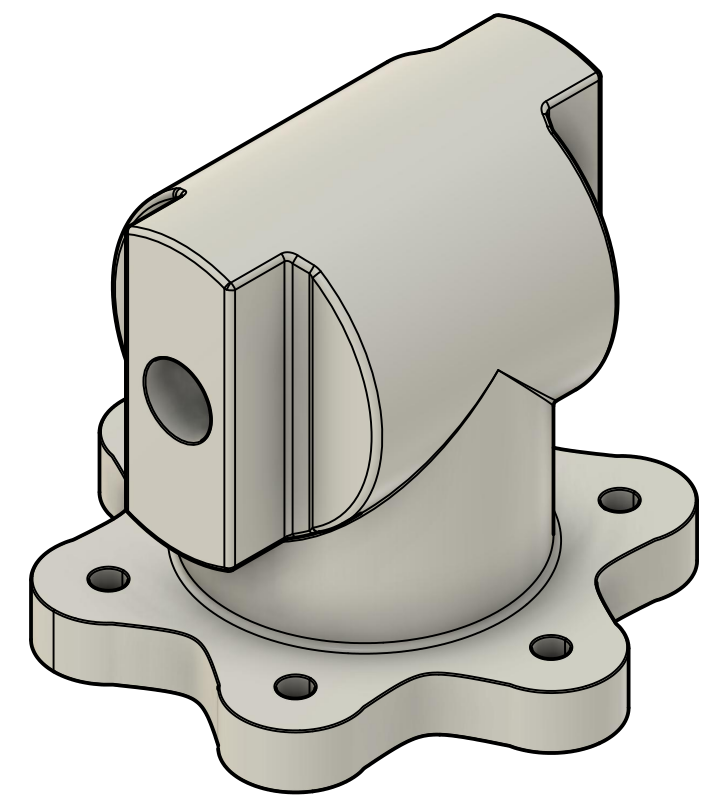
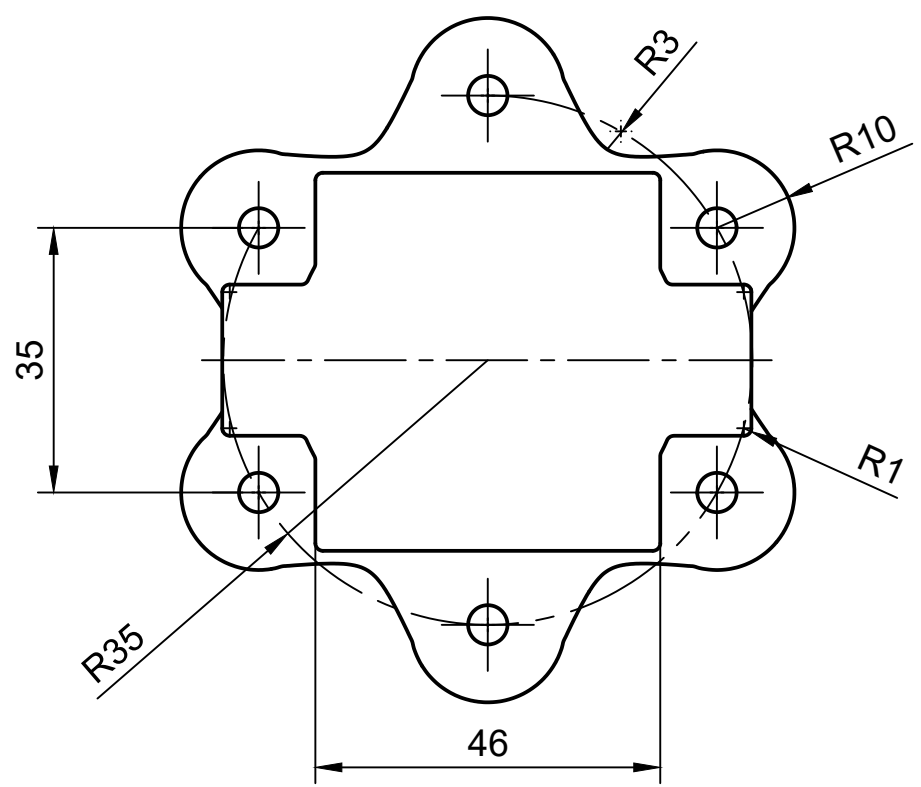
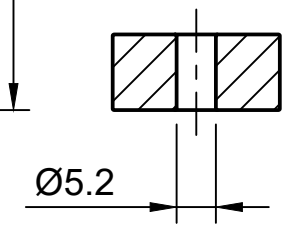
PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados		Fecha: 01/07/2023
Autor: Samuel Boix Torner		Escala: 1:1
Plano: Soporte Controlador Motor	Nº Plano: 19	



A-A (1:1)

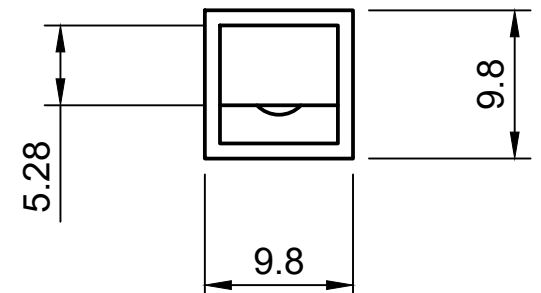
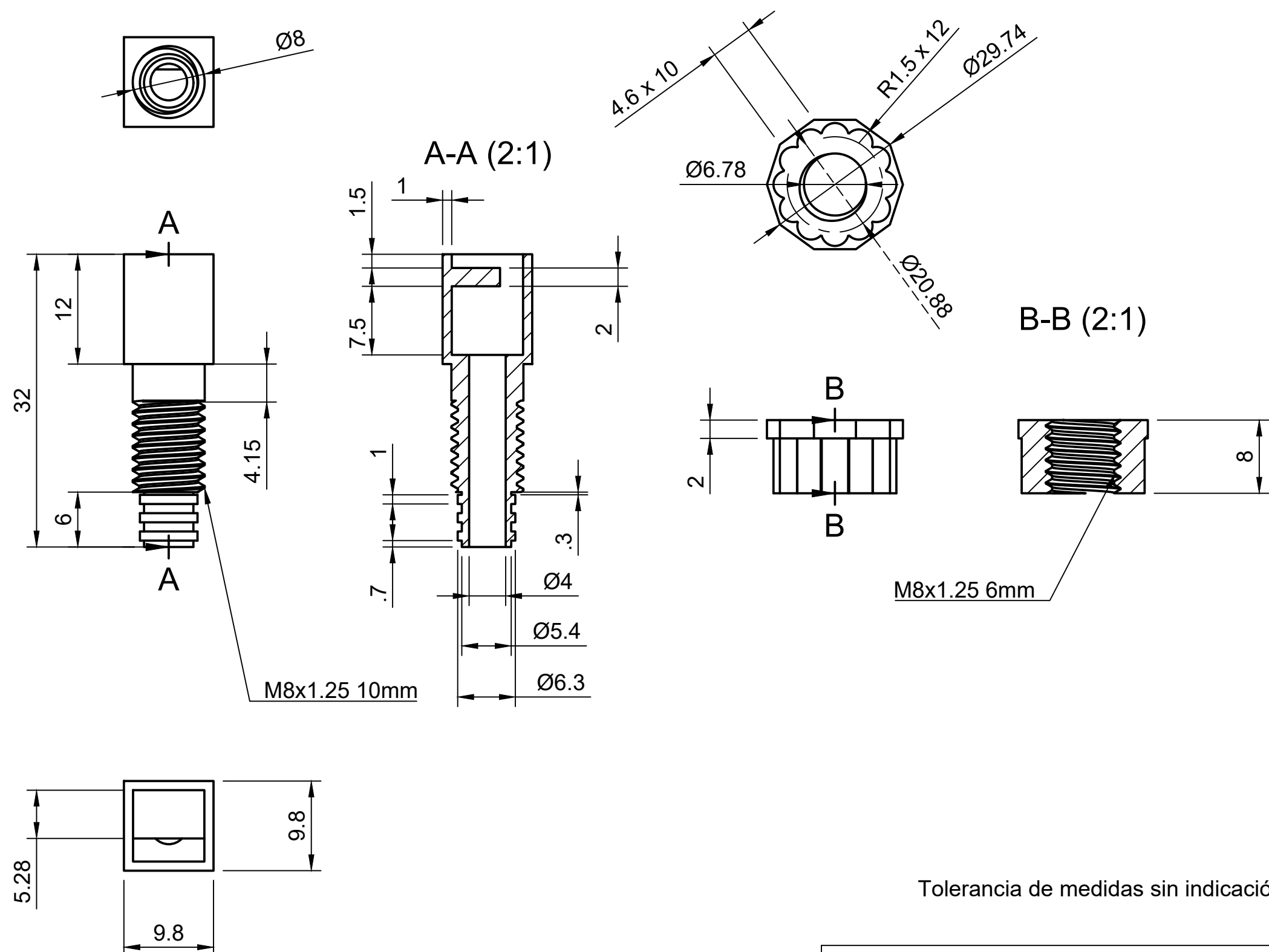


B-B (1:1)



Tolerancia de medidas sin indicación expresa. según: ISO 2768-m

PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados		Fecha: 01/07/2023 Escala: 1:1
Autor: Samuel Boix Torner	Plano: Soporte Tipo A	Nº Plano: <b>20</b>

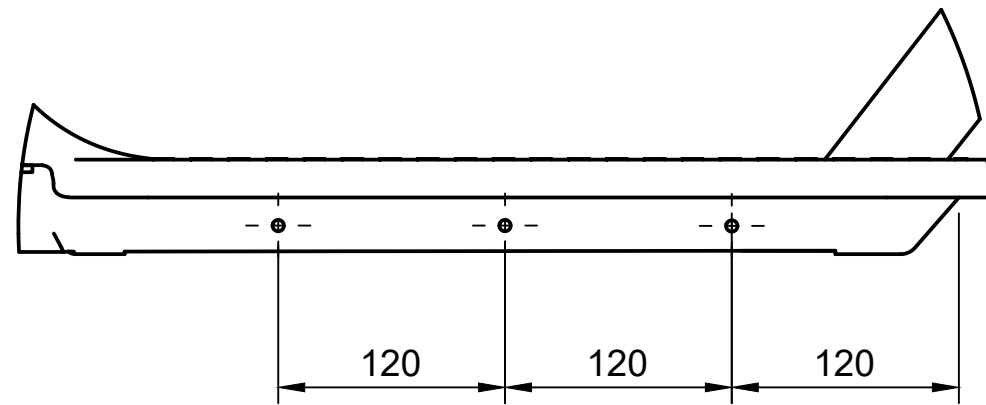


Tolerancia de medidas sin indicación expresa. según: ISO 2768-m

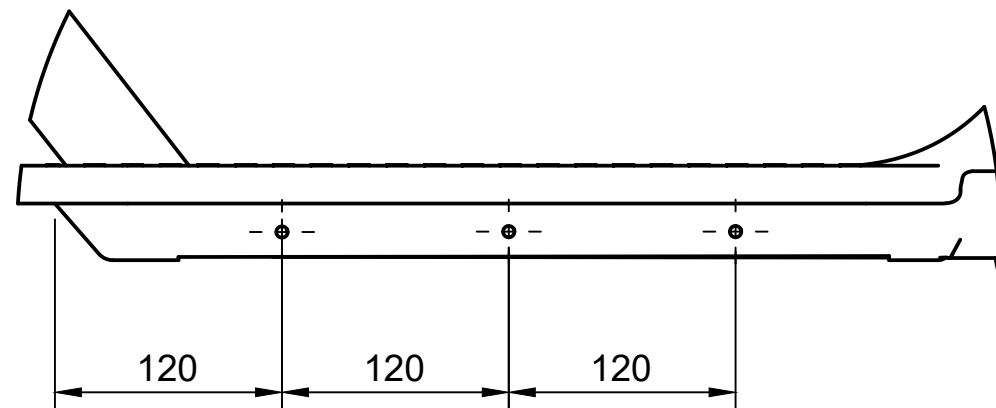
\*\*Montaje y disposición igual al sensor original

PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados		Fecha: 01/07/2023 Escala: <b>2:1</b>
Autor: Samuel Boix Torner	Plano: Encapsulado Sensor Freno	N° Plano: <b>21</b>

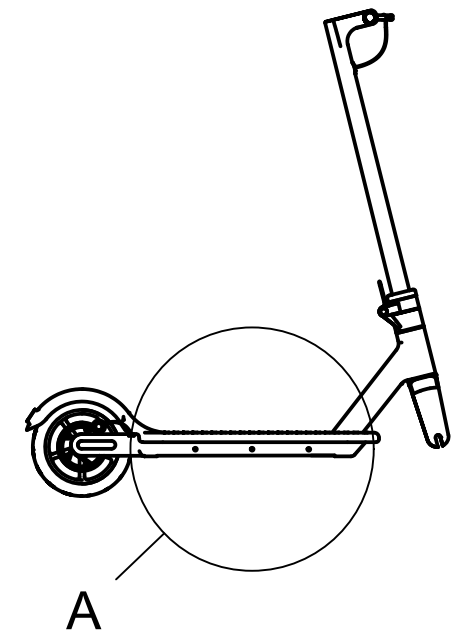
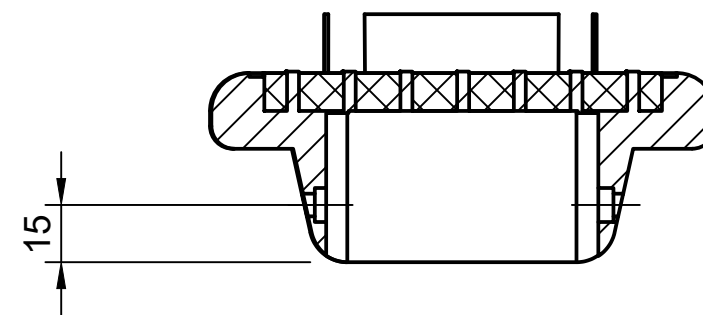
A (1:4)



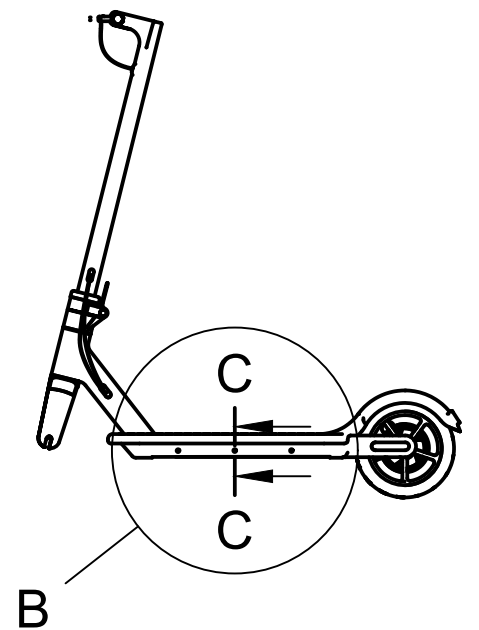
B (1:4)



C-C (1:2)



A



B

PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados

Fecha: 01/07/2023

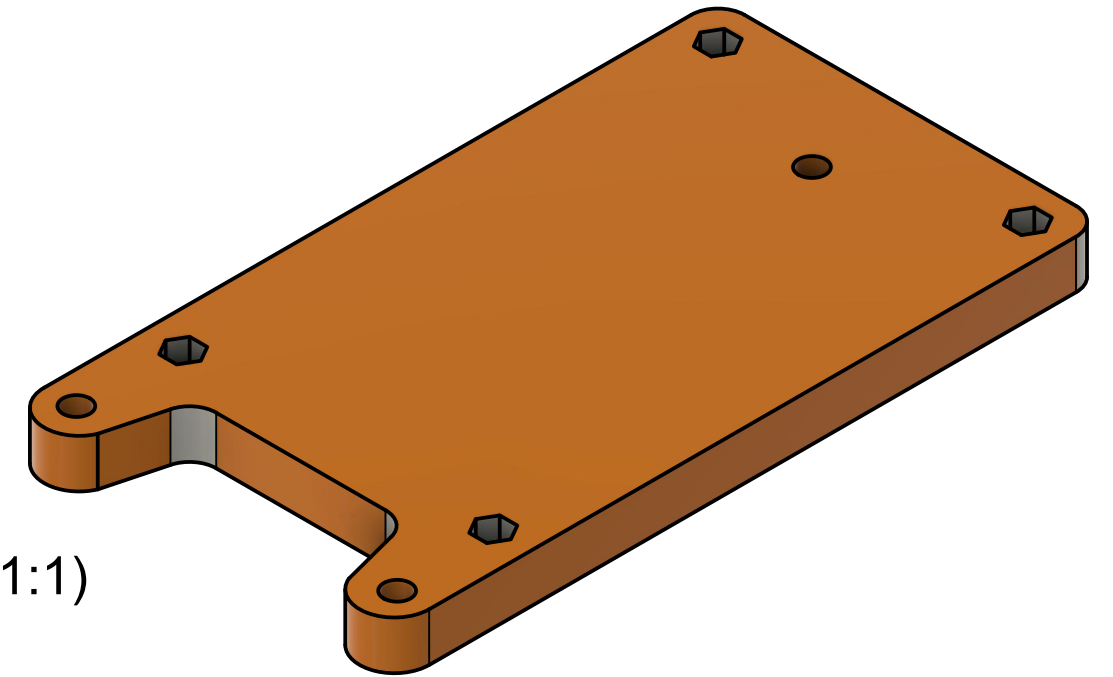
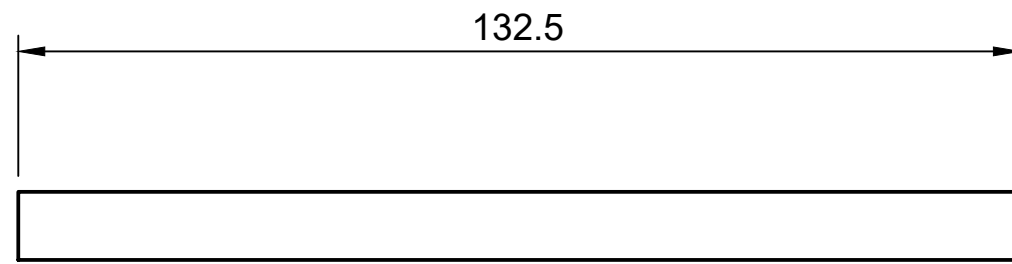
Escala: 1:16

Autor:  
Samuel Boix Torner

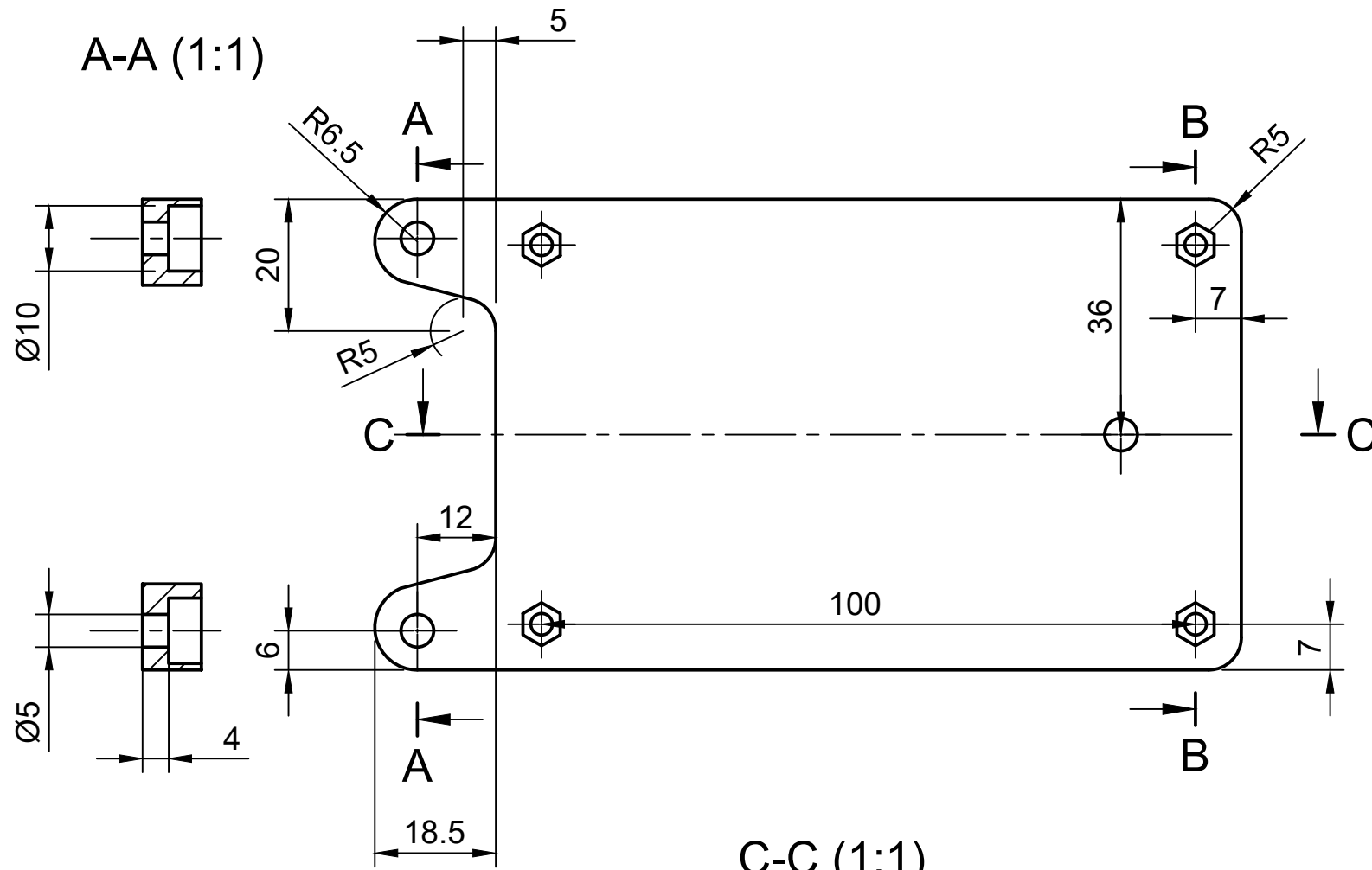
Plano:  
Posición Taladros  
Scooter

Nº Plano:

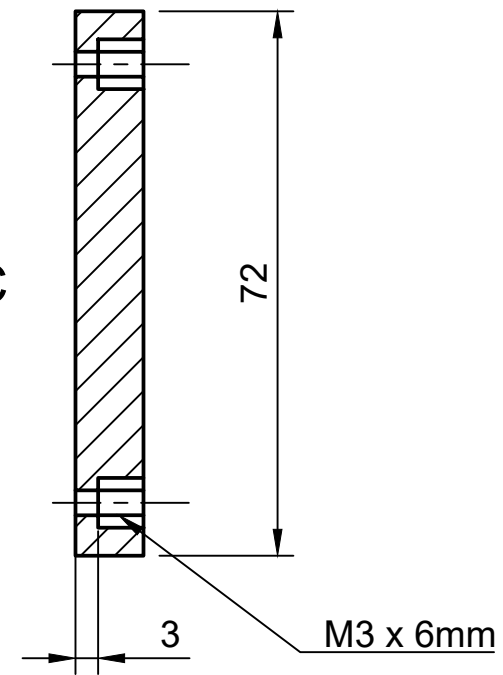
22



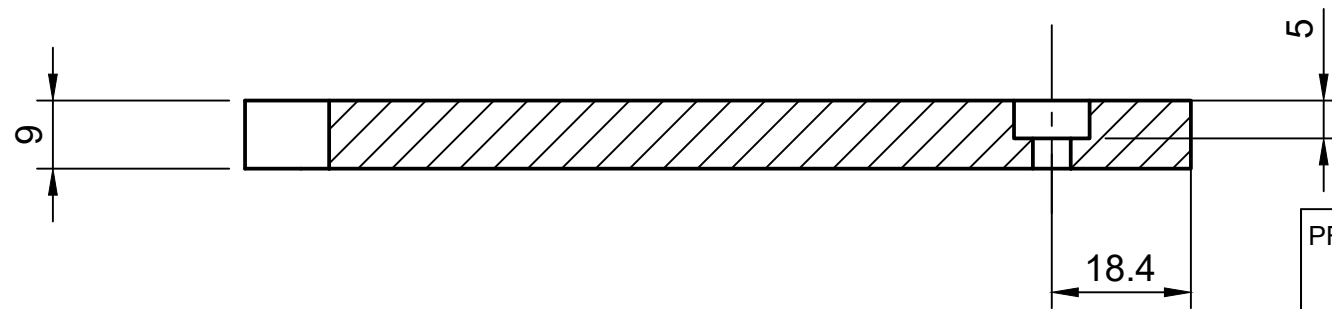
A-A (1:1)



B-B (1:1)



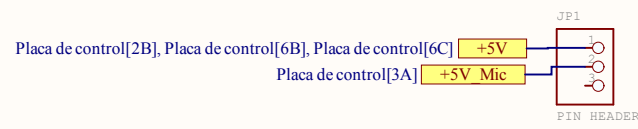
C-C (1:1)



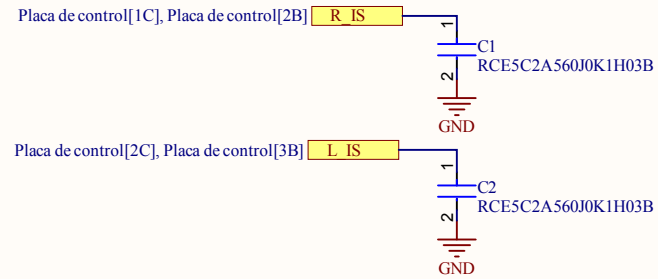
Tolerancia de medidas sin indicación expresa. según: ISO 2768-m

PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados		Fecha: 01/07/2023
Autor: Samuel Boix Torner		Escala: 1:1
Plano: Soporte Placa de Control	Nº Plano: 23	

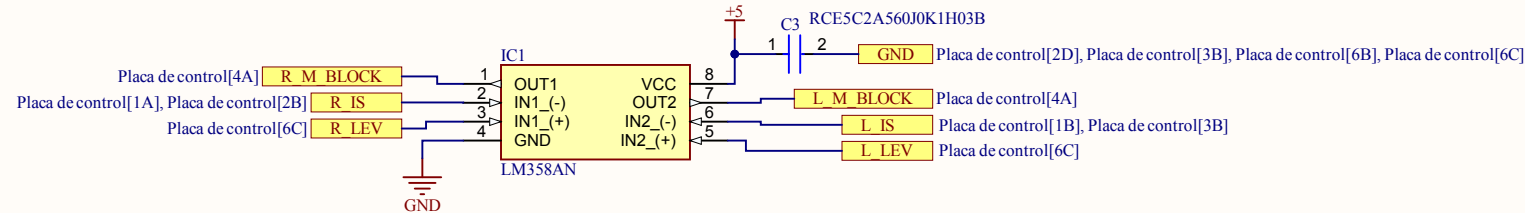
## External Power Source Enable



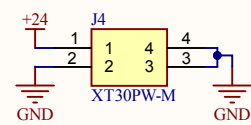
## Motor Current Sense Filtering



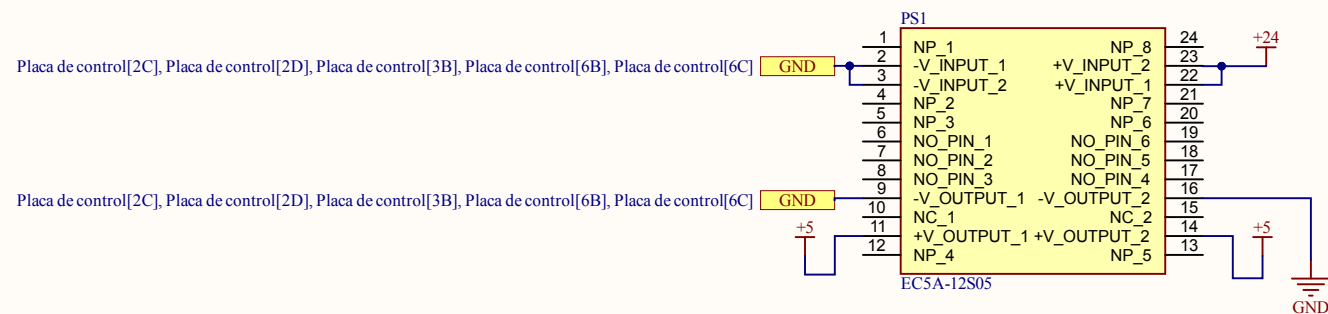
## Motor Block Detection Circuit



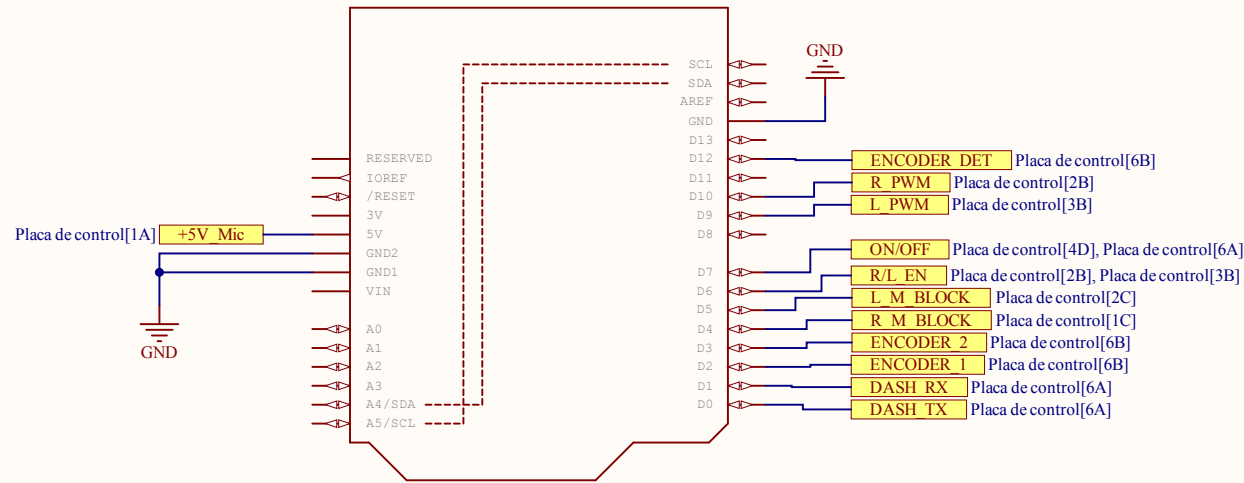
## Power Supply IN



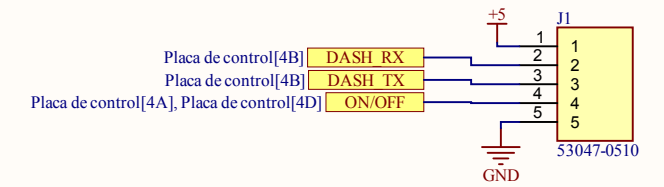
## DC/DC Converter 24 to 5



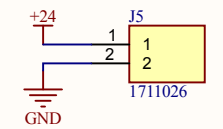
## Arduino Leonardo



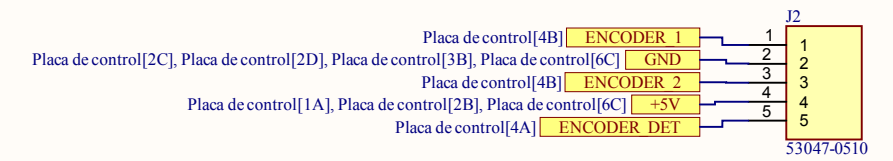
## Dashboard Connector



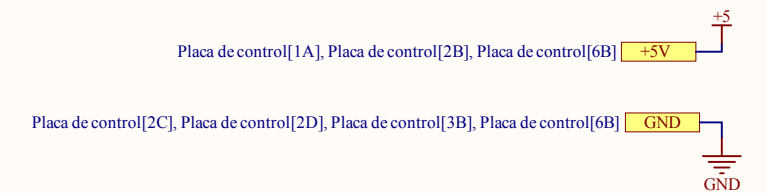
## Motor Power



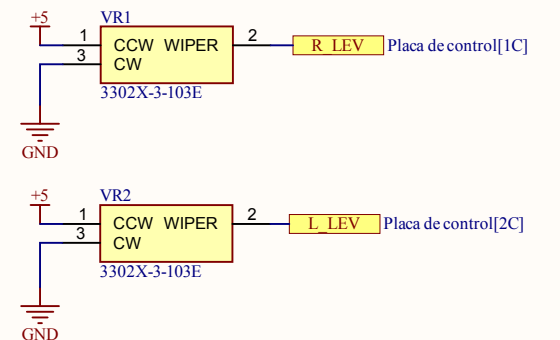
## Encoder Connector



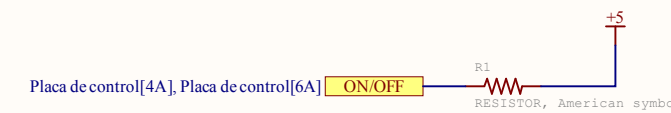
## Power Labeling



## Current Level Regulator



## Pull Up Resistor Buton



TITULACIÓN: INGENIERIA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

NOMBRE: Samuel Boix Torner

PROYECTO: Placa de control

FECHA: 05/07/2023

ESCALA: NC

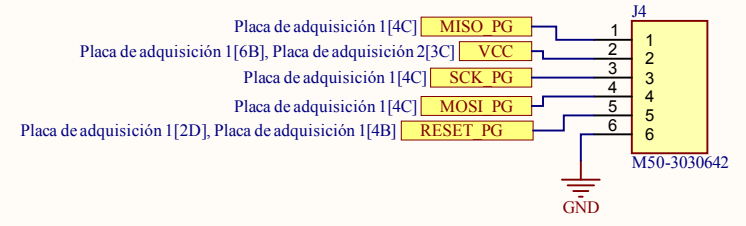
PLANO: Plana principal placa de control

Nº PLANO:

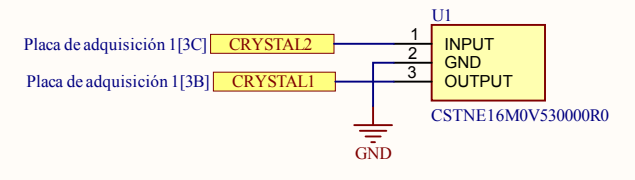


24

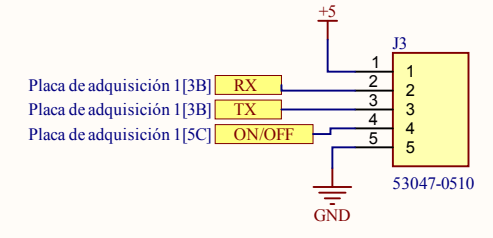
### Programing Port



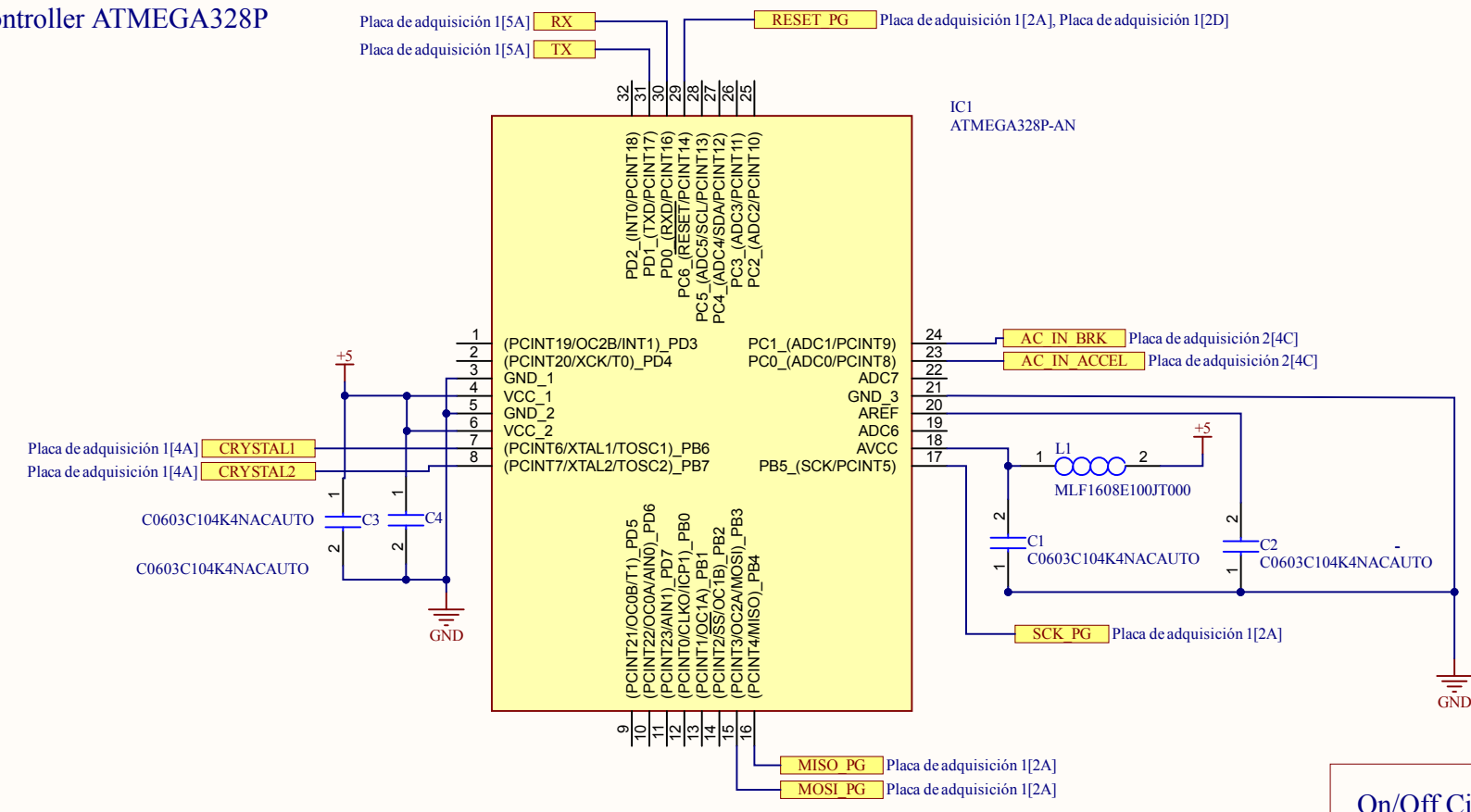
### 16MHz Crystal



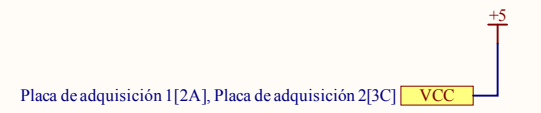
### Main INPUT



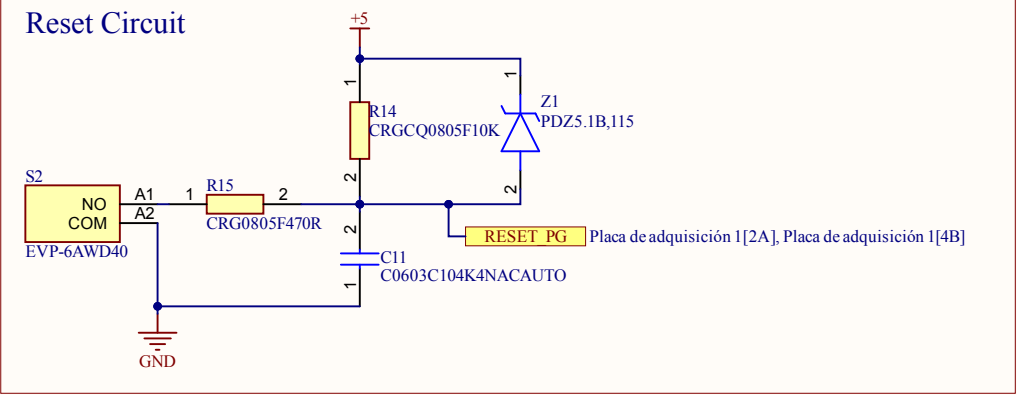
## Microcontroller ATMEGA328P



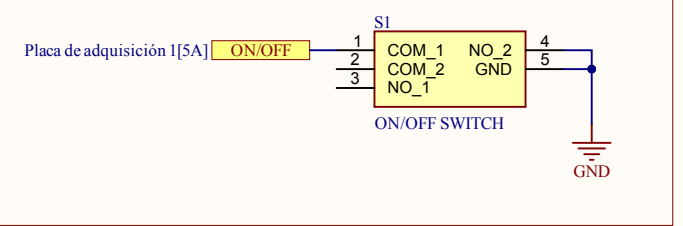
### Power Net



### Reset Circuit



### On/Off Circuit

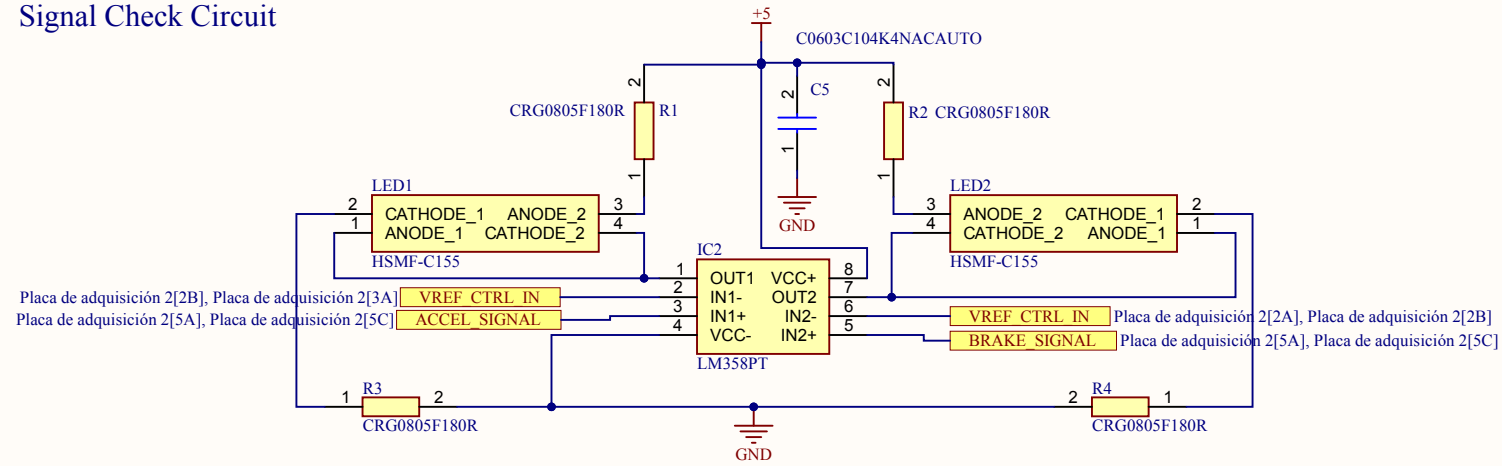


TITULACIÓN: INGENIERIA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA	
NOMBRE: Samuel Boix Torner	
PROYECTO: Placa de adquisición	FECHA: 05/07/2023
	ESCALA: NC
PLANO: Plano principal placa de adquisición	Nº PLANO: 25A

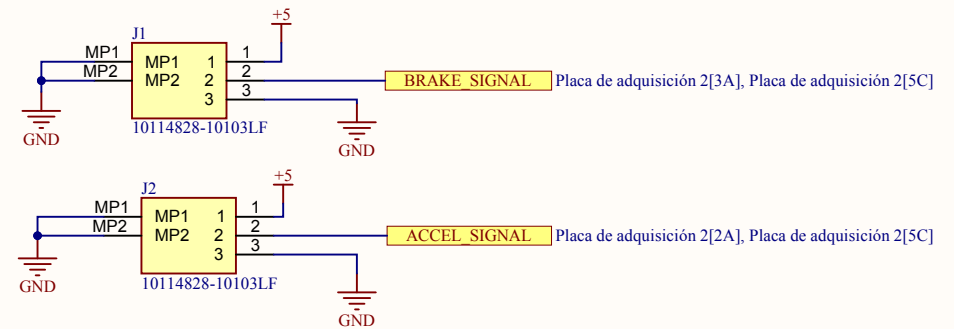




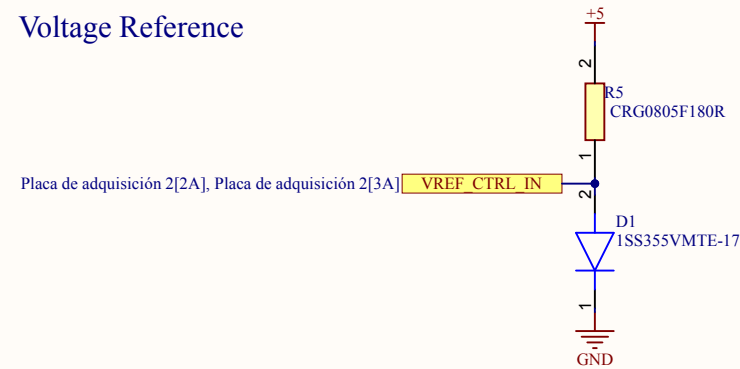
### Signal Check Circuit



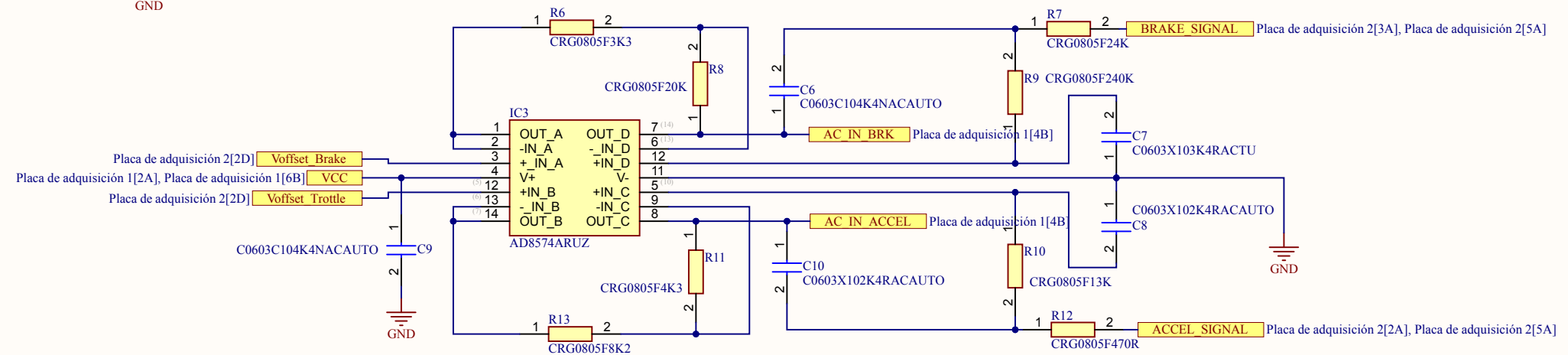
### Signal Input



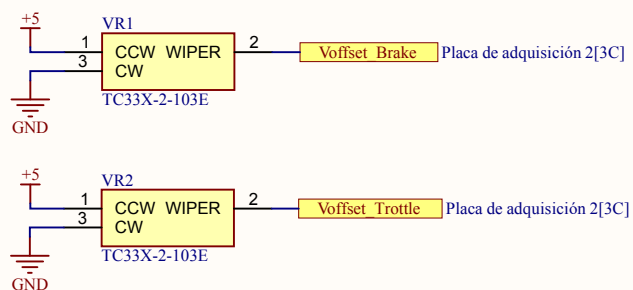
### Voltage Reference



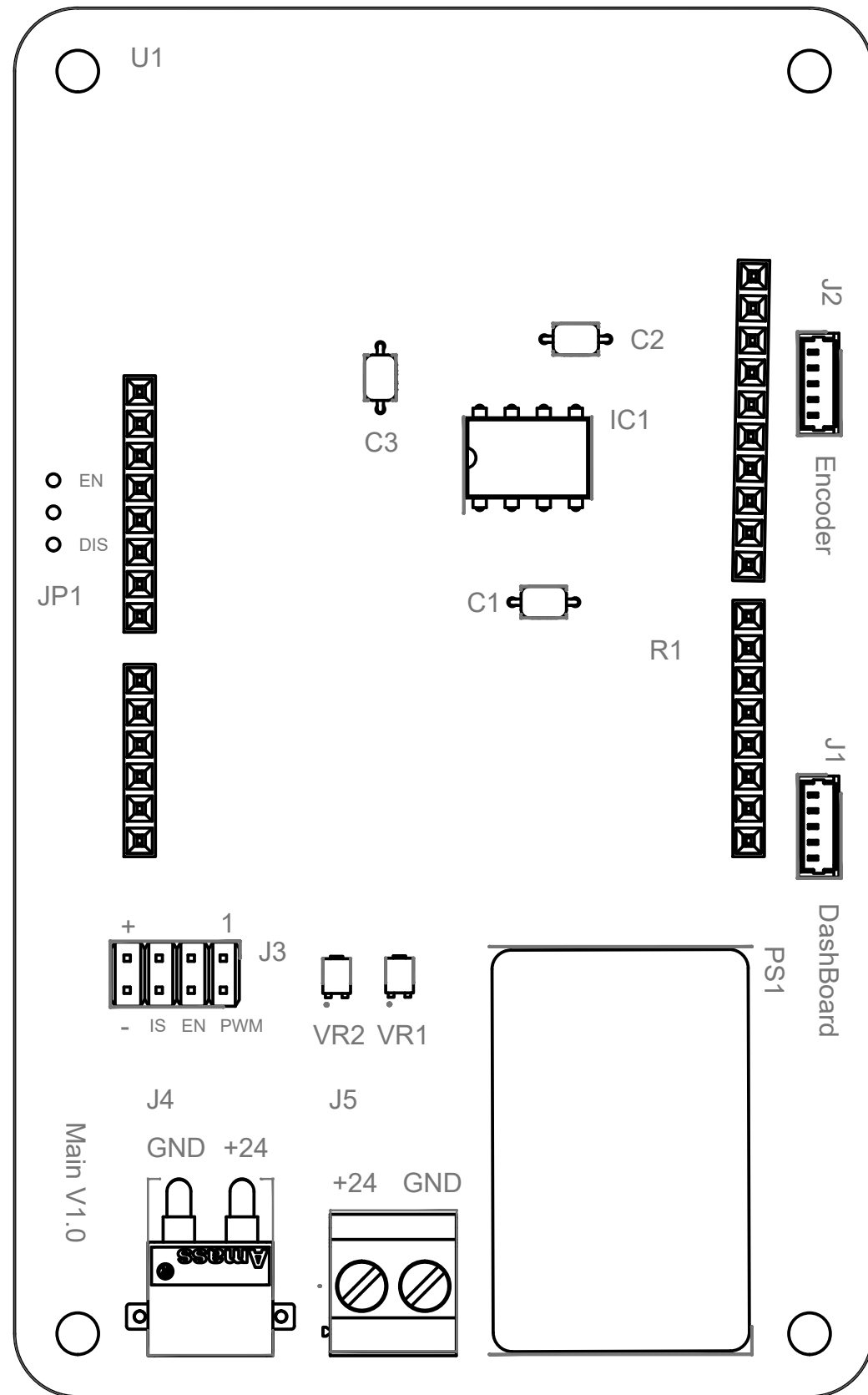
### Signal Adapter



### Signal V\_Offset



TITULACIÓN: INGENIERIA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA	
NOMBRE: Samuel Boix Torner	
PROYECTO: Placa de adquisición	FECHA: 05/07/2023
	ESCALA: NC
PLANO: Plano de señales placa de adquisición	Nº PLANO: 25B



VR1, VR2	3302X-3X103E	POTENCIOMETRO 10K SMD
U1	ARDUINO SHIELD FOOTPRINT	CONECTOR ARDUINO
R1	CRG0805F10K	SMD 10K 1% 1/8W 0805
PS1	EC5A-12S05	DC/DC CONV 5V
JP1	PIN HEADER	CONECTOR 1X3 2.54mm
J5	1711026	TERMINALES VERTICAL 2P
J4	XT30PW-M	AMASS XT30 XT30U
J3	10-97-7086	CONECTOR 2X4 2.54 mm
J1, J2	53047-0510	VERTICAL HDR 5P
IC1	LM358AN	AMP. OPERACIONAL
C2, C3	RDER72J474MUE1H03A	470 nF 16V CAPACITOR
C1	RDE5C3A102J2M1H03A	1 uF 16V CAPACITOR
REFERENCIA	VALOR	OBSERVACIONES

PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados

Fecha: 01/07/2023

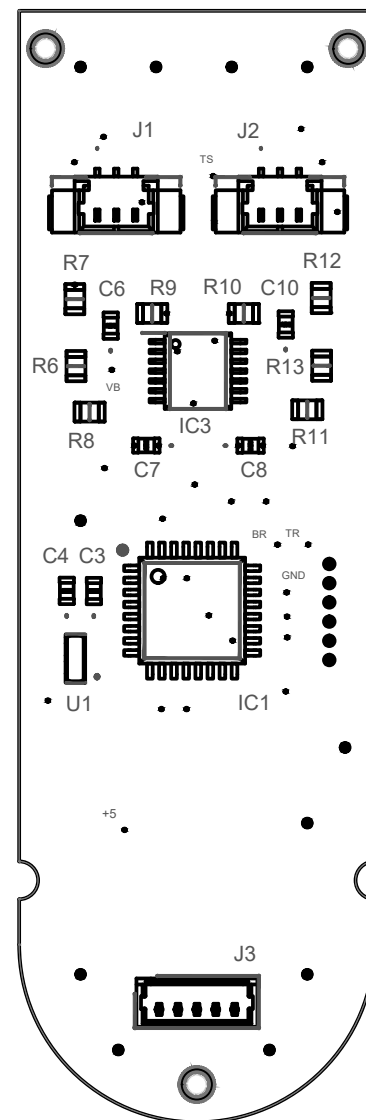
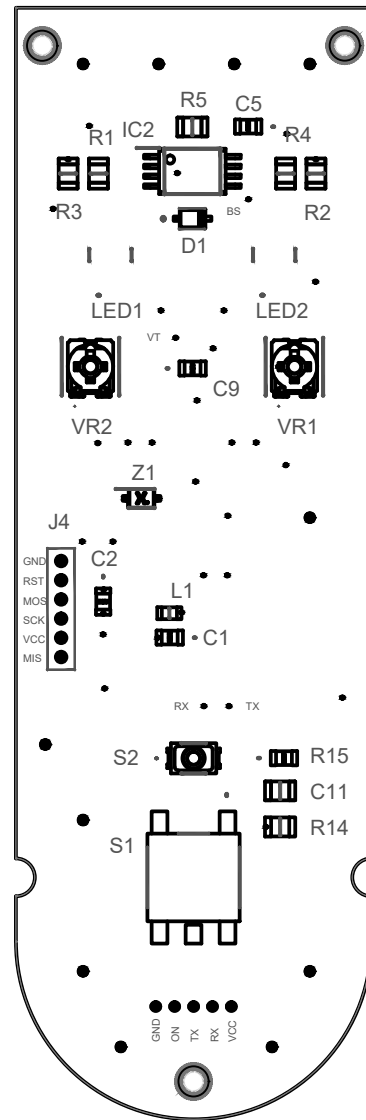
Escala: 2:1

Autor:  
Samuel Boix Torner

Plano:  
Lista de materiales  
Placa de control

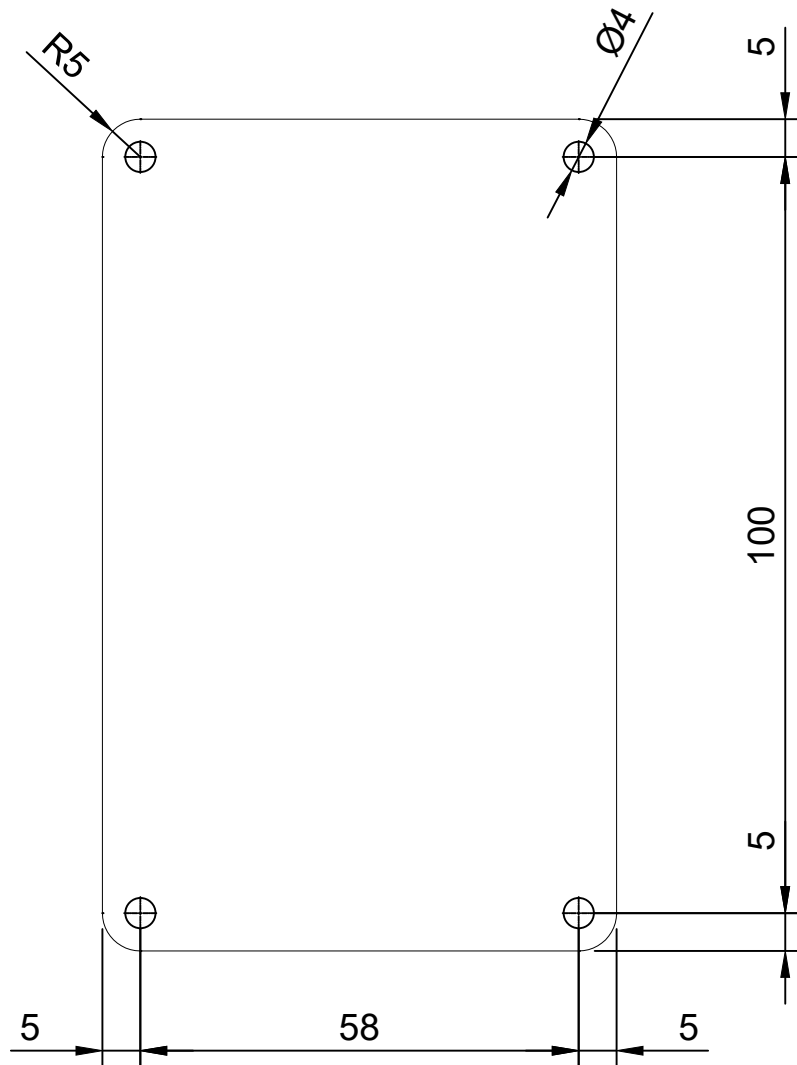
Nº Plano:

26



Z1	PDZ5.1B,115	ZENER 5.1 V
VR1. VR2	TC33X-2-103E	POTENCIOMETRO 10K SMD
U1	CSTNE16M0V530000R0	RESONADOR 16 MHz
S2	EVP-6AWD40	SMD PULSADOR 2X3.3X0.6 mm
S1	ON/OFF SWITCH	SMD PULSADOR 6.5X6X2 mm
R14	CRGCQ0805F10K	SMD 10K 1% 1/8W 0805
R13	CRG0805F8K2	SMD 8.2K 1% 1/8W 0805
R12, R15	CRG0805F470R	SMD 470 1% 1/8W 0805
R11	CRG0805F4K3	SMD 4.3K 1% 1/8W 0805
R10	CRG0805F13K	SMD 13K 1% 1/8W 0805
R9	CRG0805F240K	SMD 240K 1% 1/8W 0805
R8	CRG0805F20K	SMD 20K 1% 1/8W 0805
R7	CRG0805F24K	SMD 24K 1% 1/8W 0805
R6	CRG0805F3K3	SMD 3.3K 1% 1/8W 0805
R5	CRG0805F180R	SMD 180 1% 1/8W 0805
R1, R2, R3, R4	CRG0805F180R	SMD 180 1% 1/8W 0805
LED1, LED2	HSMF-C155	SMD DUAL LED ROJO/VERDE
L1	MLF1608E100JT000	SMD 10uH INDUCTOR
J4	M50-3030642	HARWIN 6P CONECTOR
J3	53047-0510	MOLEX 5P CONECTOR
J1, J2	10114828-10103LF	AMPHENOL 3P CONECTOR
IC3	AD8574ARUZ	QUAD. OA RAIL TO RAIL AD
IC2	LM358PT	AMP. OPERACIONAL
IC1	ATMEGA328P-AN	MICROCONTROLADOR
D1	1SS355VMTE-17	GENERAL PURPOSE DIODE
C8, C10	C0603X102K4RACAUTO	SMD X7R 0805, 1nF, 10 VDC
C7	C0603X103K4RACTU	SMD X7R 0805, 10nF, 10 VDC
C5, C6, C9. C11	C0603C104K4NACAUTO	SMD X7R 0805, 0.1uF, 10 VDC
C1, C2, C3, C4	C0603C104K4NACAUTO	SMD X7R 0805, 0.1uF, 10 VDC
REFERENCIA	VALOR	OBSERVACIONES

PROYECTO: Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados		Fecha: 01/07/2023
		Escala: 2:1
Autor: Samuel Boix Torner	Plano: Lista de materiales Placa de adquisición	Nº Plano: <b>27</b>



**PROYECTO:**

Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados

Fecha: 1/7/2023

Escala:

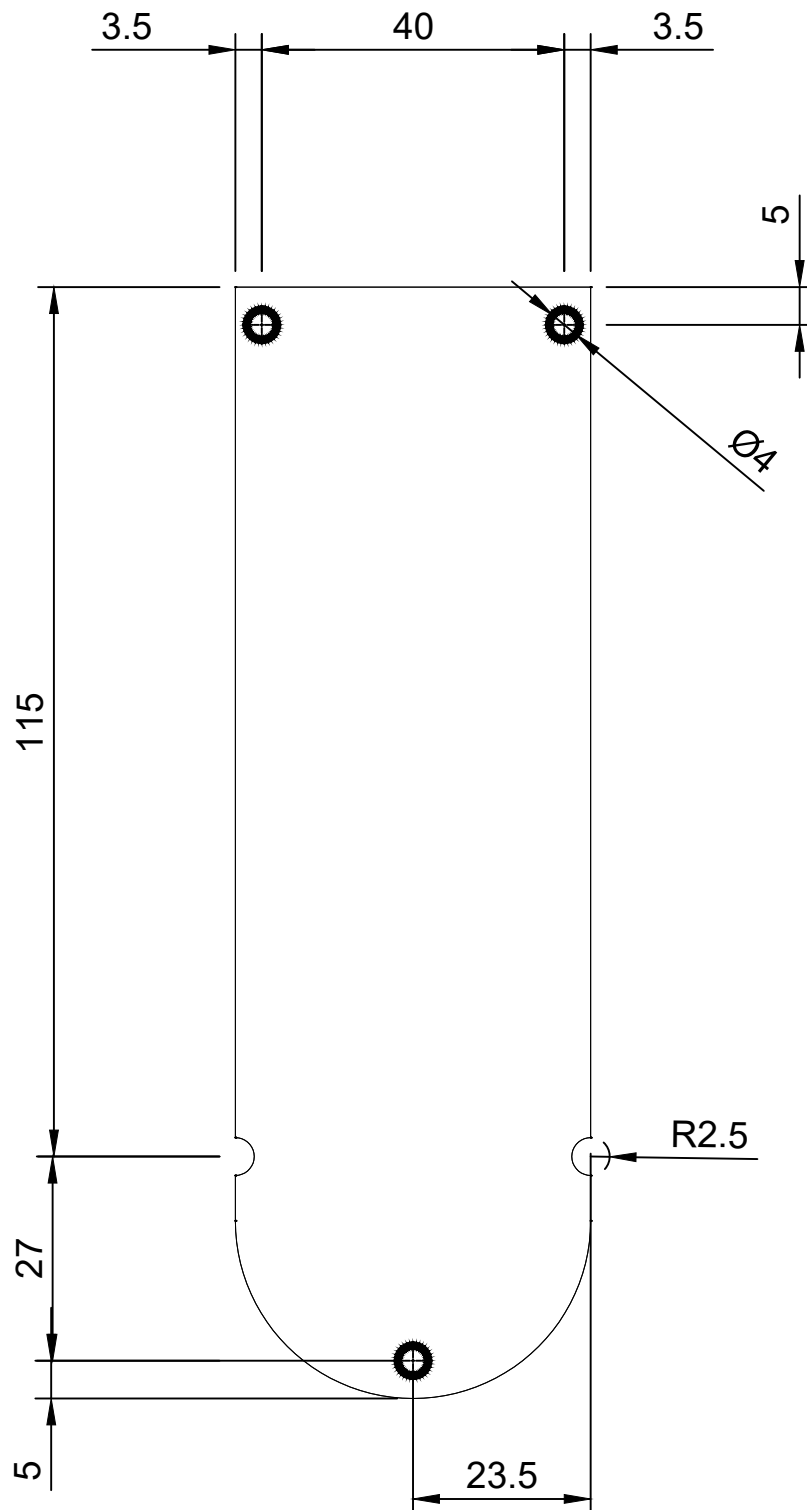
**1:1**

Autor:  
Samuel Boix Torner

Plano:  
**Dimensiones**  
Placa de control

Plano N°

**28**



**PROYECTO:**

Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados

Fecha: 1/7/2023

Escala:

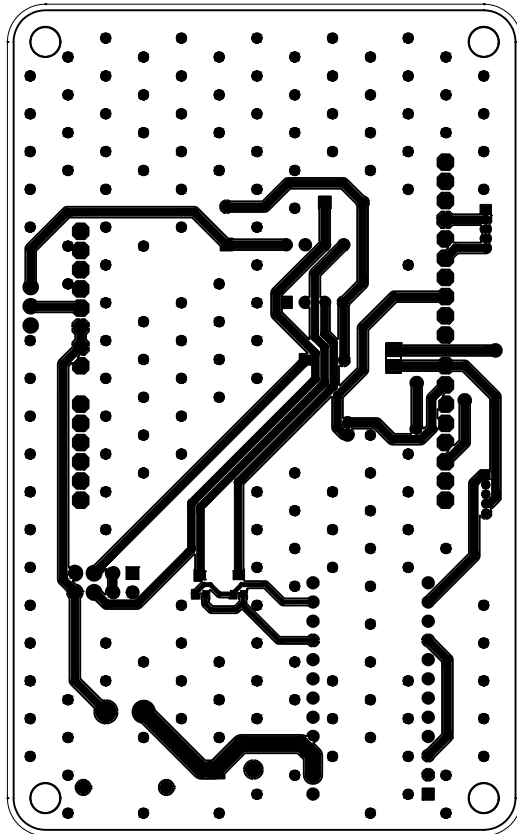
**2:1**

Autor:  
Samuel Boix Torner

Plano:  
**Dimensiones**  
Placa de adquisición

Plano Nº

**29**



**PROYECTO:**

Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados

Fecha: 1/7/2023

Escala:

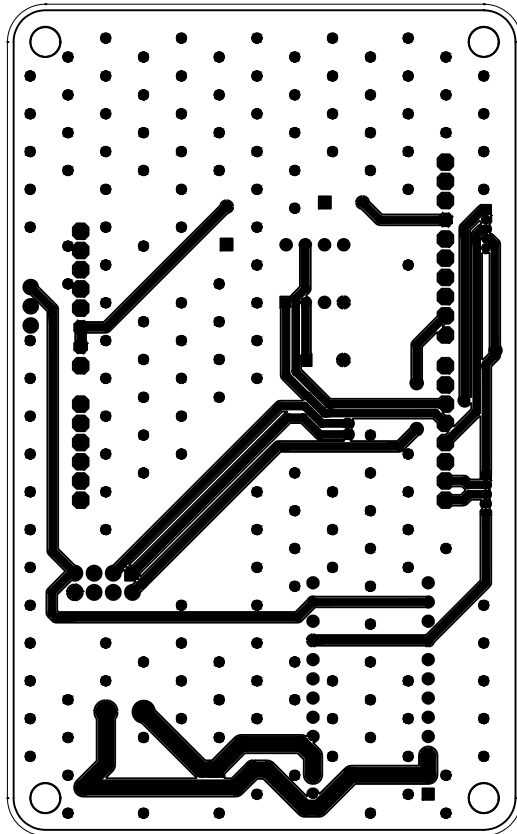
**1:1**

Autor:  
Samuel Boix Torner

Plano:  
Layout Superior  
Placa de control

Plano N°

**30**



**PROYECTO:**

Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados

Fecha: 1/7/2023

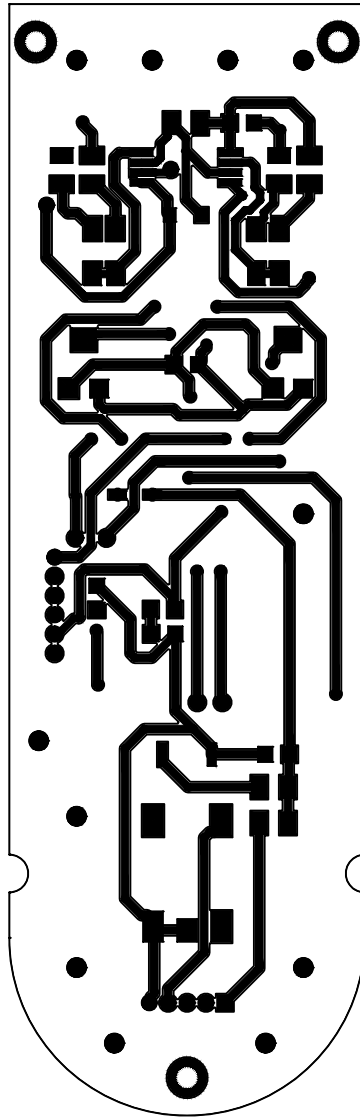
Escala:

**1:1**

Autor:  
Samuel Boix Torner

Plano:  
Layout Inferior  
Placa de control

Plano N°  
**31**



**PROYECTO:**

Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados

Fecha: 1/7/2023

Escala:

**2:1**

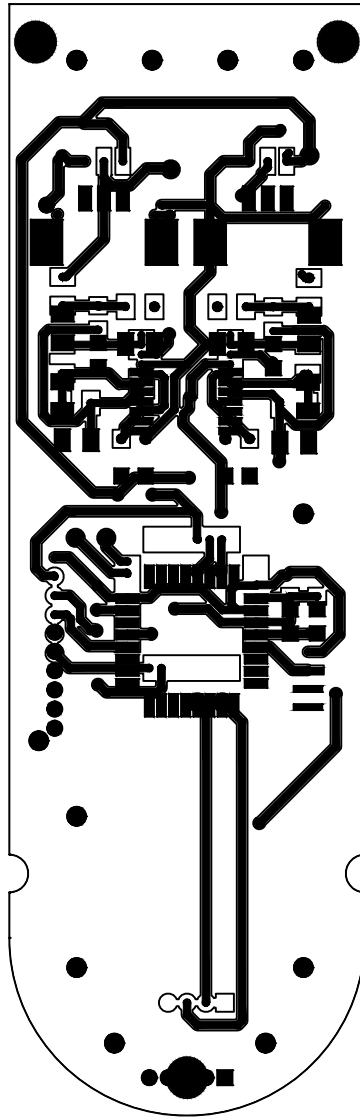
Autor:  
Samuel Boix Torner

Plano:  
Layout Superior  
Placa de adquisición

Plano N°

**32**





**PROYECTO:**

Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados

Fecha: 1/7/2023

Escala:

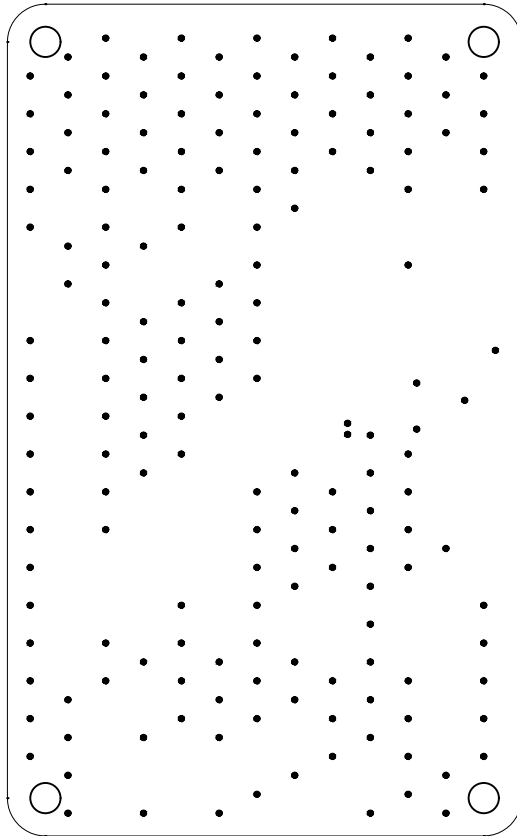
**2:1**

Autor:  
Samuel Boix Torner

Plano:  
Layout Inferior  
Placa de adquisición

Plano N°

**33**



**PROYECTO:**

Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados

Fecha: 1/7/2023

Escala:

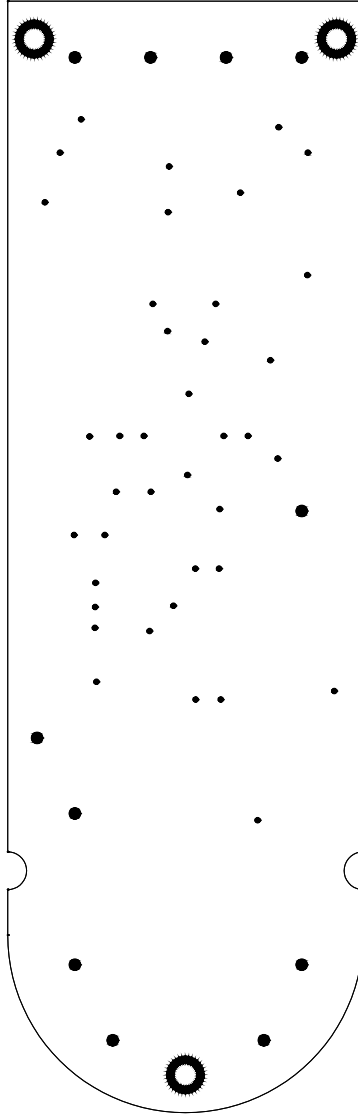
**1:1**

Autor:  
Samuel Boix Torner

Plano:  
Vias  
Placa de control

Plano N°

**34**



**PROYECTO:**

Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados

Fecha: 1/7/2023

Escala:

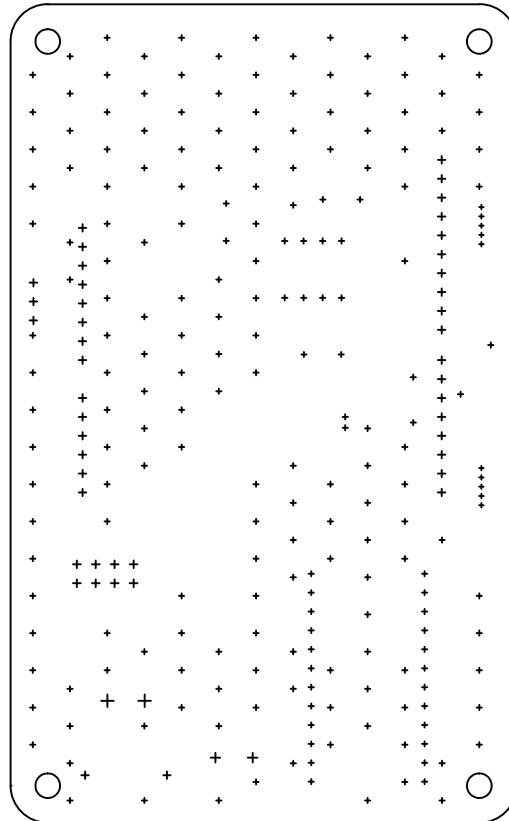
**2:1**

Autor:  
Samuel Boix Torner

Plano:  
Vias  
Placa de adquisición

Plano Nº

**35**



**PROYECTO:**

Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados

Fecha: 1/7/2023

Escala:

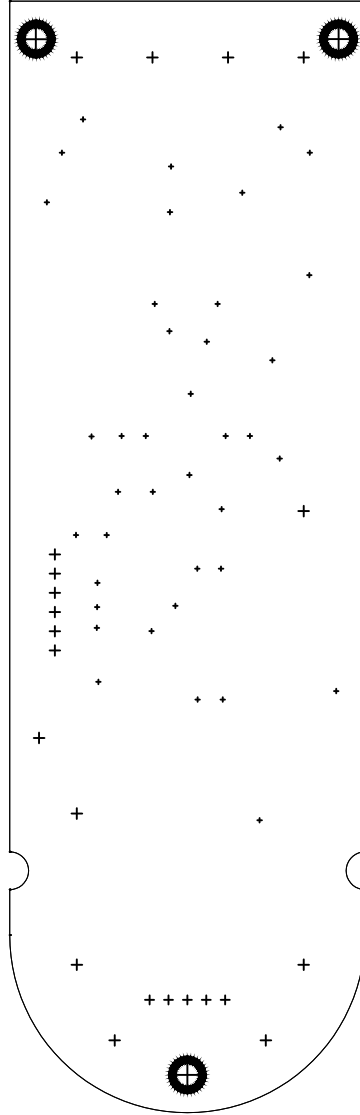
**1:1**

Autor:  
Samuel Boix Torner

Plano:  
**Taladros**  
Placa de control

Plano N°

**36**



**PROYECTO:**

Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados

Fecha: 1/7/2023

Escala:

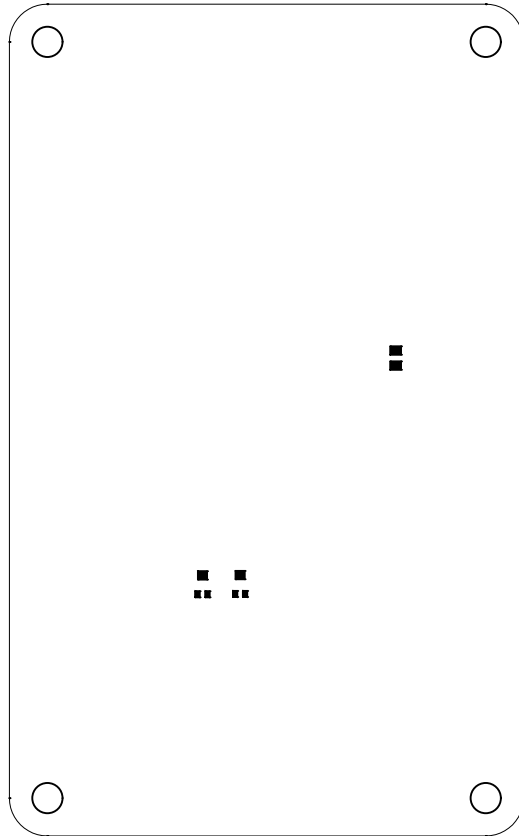
**2:1**

Autor:  
Samuel Boix Torner

Plano:  
**Taladros**  
Placa de adquisición

Plano N°

**37**



**PROYECTO:**

Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados

Fecha: 1/7/2023

Escala:

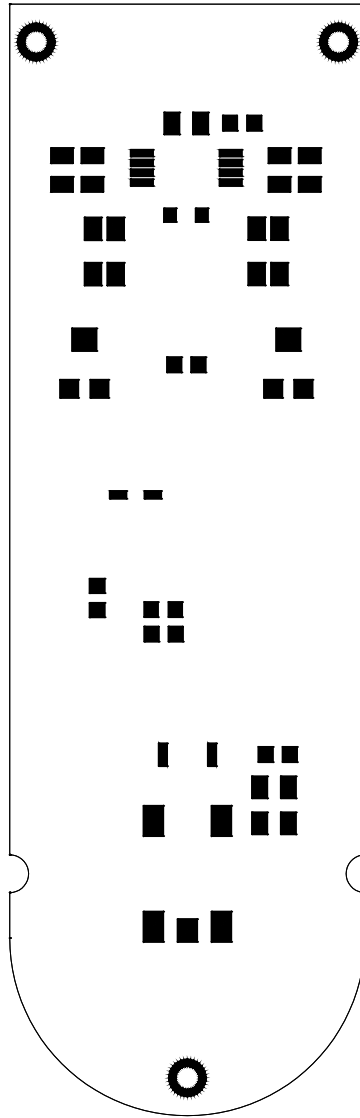
**1:1**

Autor:  
Samuel Boix Torner

Plano:  
Máscara de soldadura Superior  
Placa de control

Plano N°

**38**



**PROYECTO:**

Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados

Fecha: 1/7/2023

Escala:

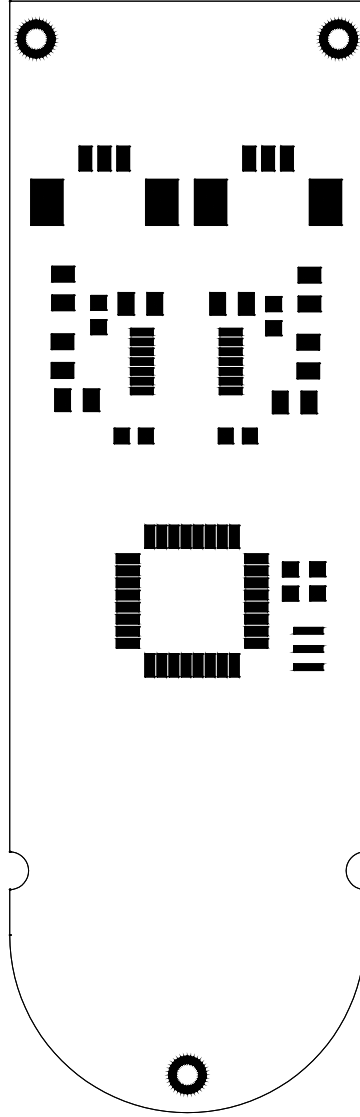
**2:1**

Autor:  
Samuel Boix Torner

Plano:  
Máscara de soldadura Superior  
Placa de adquisición

Plano N°

**39**



**PROYECTO:**

Adaptación y Sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados

Fecha: 1/7/2023

Escala:

**2:1**

Autor:  
Samuel Boix Torner

Plano:  
Máscara de soldadura Inferior  
Placa de adquisición

Plano N°

**40**





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

---

DOCUMENTO III

# PLIEGO DE CONDICIONES

**TRABAJO FIN DE GRADO**

Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

**REALIZADO POR**

Samuel Boix Torner

**TUTORIZADO POR**

Álvaro Tormos Ferrando

Juan Francisco Dols Ruiz

**CURSO ACADÉMICO:** 2022/2023



# Índice pliego de condiciones

---

<b>11. Definición y alcance del pliego</b> .....	<b>161</b>
11.1. Alcance del pliego.....	161
11.2. Descripción.....	161
<b>12. Condiciones y normas de carácter general</b> .....	<b>161</b>
12.1. Condiciones generales.....	161
12.2. Vigencia.....	161
12.3. Modificaciones.....	162
12.4. Normas de carácter general .....	162
<b>13. Condiciones particulares</b> .....	<b>163</b>
13.1. Condiciones generales facultativas .....	163
13.1.1. Obligaciones y derechos del contratista.....	163
13.1.2. Controles de calidad y ensayos .....	163
13.2. Condiciones generales económicas.....	163
13.2.1. Costes .....	163
<b>14. Condiciones técnicas</b> .....	<b>164</b>
14.1. Objeto.....	164
14.2. Materiales .....	164
14.2.1. Placa de Control.....	164
14.2.1.1. Sistema de procesado.....	164
14.2.1.1.1. Características .....	164
14.2.1.1.2. Control de calidad.....	164
14.2.1.2. Controlador Motor .....	165
14.2.1.2.1. Características .....	165
14.2.1.2.2. Control de calidad.....	165
14.2.1.3. Convertidor DC/DC .....	166
14.2.1.3.1. Características .....	166
14.2.1.3.2. Control de calidad.....	166
14.2.1.4. Amplificador Operacional.....	166
14.2.1.4.1. Características .....	166
14.2.1.4.2. Control de calidad.....	166
14.2.1.5. Conectores.....	167
14.2.1.5.1. Características .....	167
14.2.1.5.2. Control de calidad.....	167



14.2.1.6. Componentes electrónicos.....	167
14.2.1.6.1. Características .....	167
14.2.1.6.2. Control de calidad.....	167
14.2.1.7. Placa de circuito impreso .....	168
14.2.1.7.1. Características .....	168
14.2.1.7.2. Control de calidad.....	168
14.2.2. Placa de adquisición .....	168
14.2.2.1. Microcontrolador .....	168
14.2.2.1.1. Características .....	168
14.2.2.1.2. Control de calidad.....	168
14.2.3. Resonador cuarzo .....	168
14.2.3.1. Características.....	168
14.2.3.2. Control de calidad.....	169
14.2.3.3. LED.....	169
14.2.3.3.1. Características .....	169
14.2.3.3.2. Control de calidad.....	169
14.2.3.4. Amplificador Operacional.....	169
14.2.3.4.1. Características .....	169
14.2.3.4.2. Control de calidad.....	169
14.2.3.5. Conectores.....	170
14.2.3.5.1. Características .....	170
14.2.3.5.2. Control de calidad.....	170
14.2.3.6. Componentes electrónicos.....	170
14.2.3.6.1. Características .....	170
14.2.3.6.2. Control de calidad.....	170
14.2.3.7. Placa de circuito impreso .....	170
14.2.3.7.1. Características .....	170
14.2.3.7.2. Control de calidad.....	171
14.2.4. Sensores .....	171
14.2.4.1. Acelerador y freno .....	171
14.2.4.1.1. Características .....	171
14.2.4.1.2. Control de calidad.....	171
14.2.4.2. Encoder.....	171
14.2.4.2.1. Características .....	171
14.2.4.2.2. Control de calidad.....	171
14.2.5. Motores .....	171



14.2.5.1. Motores de auto calibración .....	171
14.2.5.1.1. Características .....	171
14.2.5.1.2. Control de calidad.....	172
14.2.6. Cableado.....	172
14.2.6.1. Conexión entre dispositivos .....	172
14.2.6.1.1. Características .....	172
14.2.6.1.2. Control de calidad.....	172
14.3. Montaje y ejecución.....	172
14.3.1. Descripción .....	172
14.3.2. Control de calidad de la ejecución .....	173
14.4. Pruebas de servicio .....	174
14.4.1. Ajuste de nivel de offset del sensor de bloqueo del motor .....	174
14.4.2. Ajuste del nivel de offset del sistema de adquisición de aceleración y freno ..	174
14.4.3. Comprobación de comunicación entre Placa de adquisición y Placa de control .....	175
14.4.4. Funcionamiento del encoder .....	175
14.4.5. Funcionamiento del sistema de detección de conexión de sensores de aceleración y freno .....	175
14.4.6. Auto calibración del manillar.....	176
14.4.7. Comprobación de la recepción de datos.....	176
14.5. Prueba general y aleatoria .....	176

# 11. Definición y alcance del pliego

---

En este documento quedarán establecidas las condiciones técnicas, económicas, administrativas y legales para la ejecución de un proyecto de adaptación y sensorización de un patinete eléctrico para la evaluación de la seguridad vial en entornos virtuales simulados.

## 11.1. Alcance del pliego

El siguiente pliego de condiciones tiene como finalidad fijar las especificaciones que regulan la ejecución del proyecto. El documento fija los niveles técnicos y de calidad exigible de los materiales, precisando las intervenciones que corresponden, según el contrato y con arreglo a la legislación aplicable.

## 11.2. Descripción

El contrato requiere una solución que permita, a través de la utilización de un patinete eléctrico instalado en una plataforma, adquirir por medio de un conjunto de sensores y dispositivos, la suficiente información para analizar el tiempo de reacción y percepción de un usuario a los mandos de este, todo ello, utilizando un entorno virtual simulado.

La solución consiste en una plataforma que integra el patinete eléctrico, así como todos los sensores y dispositivos microcontrolados. El conjunto incorpora todos los medios necesarios para la adquisición de aceleración, freno y ángulo de giro, de manera que tras su procesado, se transfiere toda la información al computador encargado del modelado y control del entorno de simulación virtual.

# 12. Condiciones y normas de carácter general

---

## 12.1. Condiciones generales

Este proyecto tiene carácter de obligado cumplimiento una vez sellado y legalizado, debiendo ser objeto de aprobación previa todas aquellas modificaciones al mismo durante su ejecución.

## 12.2. Vigencia

Este Pliego de Condiciones, estará en vigor durante la ejecución del proyecto y hasta la terminación de este. Frente a posibles discrepancias, el orden de prioridad de los documentos básicos del proyecto será el siguiente:

- I. Planos
- II. Pliego de Condiciones
- III. Presupuesto
- IV. Memoria

## 12.3. Modificaciones

Durante la ejecución del proyecto, se podrán realizar cuantas modificaciones se estimen oportunas, siempre que las mismas sean aprobadas por el responsable de la Dirección del Proyecto, y en todo momento, de acuerdo con el cliente.

## 12.4. Normas de carácter general

Es necesario garantizar el cumplimiento de las normativas y reglamentos actuales correspondientes.

### Normativa eléctrica

- Real Decreto 842/2002. Reglamento electrotécnico para baja tensión, donde se tratan los diferentes defectos que puedan encontrarse en la instalación eléctrica de baja tensión
- UNE-EN 61000-2-2:2002+A2:2019. Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 2-2: Entorno. Niveles de compatibilidad para las perturbaciones conducidas de baja frecuencia y la transmisión de señales en las redes de suministro público en baja tensión
- UNE 62228/2019. Evaluación de compatibilidad electromagnética (CEM) de los transceptores

### Normativa calidad

- UNE ISO 9001/2018. Sistemas de gestión de calidad
- UNE 66175/2003. Sistemas de la calidad

### Normativa mantenimiento

- UNE 151001/2011. Mantenimiento

### Normativa seguridad

- Real Decreto 1801/2003, de 26 de diciembre, sobre seguridad general de los productos

### Normativa diseño

- IPC 2220
  - 2221B: Norma genérica sobre diseño de circuito impreso
  - 2222A: Estándar de diseño seccional para placas orgánicas rígidas
  - 2223D: Estándar de diseño seccional para placas impresas flexibles/rígidas-flexibles
  - 2224: Estándar para PCB de PC
  - 2225: Estándar de diseño seccional para módulos orgánicos multichip (MCM-L) y MCM-L
  - 2226: Estándar de diseño seccional para placas de interconexión de alta densidad (HDI)
- UNE 10209/2022: Documentación técnica de producto. Vocabulario. Términos relacionados con los diseños técnicos, la definición de productos y productos relacionados



- UNE EN ISO 128-2:2020 Documentación técnica de productos. Principios generales de representación
- UNE-EN ISO 5457/2010: Documentación técnica de productos. Formatos y presentación de los elementos gráficos de las hojas de dibujo
- UNE-EN ISO 5455/1996: Dibujos Técnicos. Escalas
- UNE-EN ISO 3098/2015: Escritura. Requisitos generales
- UNE-EN ISO 7200/2004: Documentación técnica de productos. Campos de datos en bloques de títulos y en cabeceras de documentos

#### Normativa elaboración de documentos

El proyecto generado por los ingenieros debe cumplir unos requisitos concretos, ya sea por contenido (Memoria, Planos, Pliego de condiciones y Presupuesto)

- UNE 157001/2014. Elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico

## 13. Condiciones particulares

---

### 13.1. Condiciones generales facultativas

#### 13.1.1. Obligaciones y derechos del contratista

Entre las obligaciones destacan entre otras:

- Conocimiento de la legislación vigente y aplicable.
- Conocimiento completo del proyecto y ámbito de aplicación.
- Disposición de los medios necesarios para la ejecución.

Y entre los derechos destacan:

- Disposición del proyecto completo.
- Recepción en fecha, plazo y condiciones operativas.
- Disposición soluciones viables para contingencias y/o problemas técnicos no cubiertos inicialmente en el proyecto, y que no sean causa de una incorrecta ejecución.

#### 13.1.2. Controles de calidad y ensayos

Descripción completa y detallada de todos los ensayos, pruebas y controles a realizar, definición de las condiciones, periodicidad y cantidades, así como las normas que las regulan.

### 13.2. Condiciones generales económicas

#### 13.2.1. Costes

Los costes directos e indirectos se reflejarán en el presupuesto, el cual determinará el coste final del proyecto.



Los gastos generales, gastos financieros, cargas fiscales y tasas de la Administración legalmente establecidos se cifrarán como un porcentaje de la suma de los costes directos e indirectos.

## 14. Condiciones técnicas

---

### 14.1. Objeto

La presente especificación técnica se refiere al sistema electrónico de adquisición y tratamiento de datos, instalado en plataforma experimental de simulación de patinetes eléctricos cuyo objetivo es evaluar el tiempo y distancia de percepción y reacción de sus usuarios a fin de analizar las visibilidades de parada y de cruce necesarias para una correcta operabilidad, todo ello mediante el uso de un entorno de realidad virtual.

Queda incluido lo referente a los aspectos técnicos con relación a la exigencia de los materiales a utilizar en todo el diseño de los distintos componentes electrónicos, su disposición, así como las calidades mínimas de estos. Se incluye así mismo las características técnicas que deben cumplir los sensores a utilizar.

Se excluye del mismo, todos los aspectos mecánicos derivados del montaje y mantenimiento de la plataforma, y todo aquello relacionado con el software de simulación.

### 14.2. Materiales

#### 14.2.1. Placa de Control

##### 14.2.1.1. Sistema de procesado

###### 14.2.1.1.1. Características

El sistema de procesado viene incluido en la placa de desarrollo Arduino Leonardo cuyo microcontrolador es el ATmega32u4 del fabricante Microchip. Sus principales características son:

- 16 MHz
- Flash CPU 32 kB, SRAM 2.5 kB
- 20 E/S programable
- 7 pines PWM
- UART
- USB
- 12 x 10-bit ADC

###### 14.2.1.1.2. Control de calidad

Se debe comprobar la genuinidad de la fabricación de la placa de desarrollo por la empresa Arduino, cuyo código de registro es SKU: A000057.

El suministrador debe poder certificar que el producto cuenta con las regulaciones de compatibilidad electromagnética siguientes:



- EN 55032:2015+A11:2020 (Class B)
- EN 55035:2017+A11:2020
- EN IEC 61000-3-2:2019
- EN 61000-3-3:2013+A1:2019

Así mismo debe contar con la regulación de seguridad de equipamiento eléctrico EN 62368-1:2014+A11:2017 y las siguientes regulaciones conforme a la UK ROHS 2012:

- IEC 62321-3-1-2013
- IEC62321-7-1-2015
- IEC 62321-6-2015
- IEC 62321-8-2017

El aspecto de la genuinidad de la placa de desarrollo es importante debido a bajadas de rendimiento experimentadas con otras soluciones ofrecidas por otros fabricantes.

Se dispondrá en la placa según el plano 26.

## 14.2.1.2. Controlador Motor

### 14.2.1.2.1. Características

Controlador de motor compuesto por dos integrados BTS 7960, cuyas características principales son:

- Corriente máxima de control 43 A
- Tensión de funcionamiento de 5.5 a 27.5 V
- Resistencia de paso típica de 16 mΩ
- Baja corriente quiescente típica de 7 μA
- Sensor de corriente con control de bandera de diagnóstico
- Bloqueo por sobrevoltaje
- Apagado por infra voltaje
- Capacidad de control con niveles lógicos de entrada

### 14.2.1.2.2. Control de calidad

El controlador utilizado tiene que ofrecer un total de 2 pines de entrada PWM para el control de giro del motor en ambas direcciones, 2 pines de entrada para la habilitación de cada uno de los puentes en H, o en su defecto uno que permita la habilitación del conjunto. Se requiere 2 pines de salida de control de corriente con el fin de monitorizar el comportamiento de los motores en todo momento.

Deberá tener protección controla ESD de acuerdo con EIA/JESD 22-A 114B.

Sistemas de protección son también requeridos. Los mínimos exigibles son:

- Bloqueo por sobrevoltaje
- Apagado por bajo voltaje
- Protección por temperatura
- Limitación de corriente
- Protección contra cortocircuitos

## 14.2.1.3. Convertidor DC/DC

### 14.2.1.3.1. Características

El convertidor DC/DC utilizado es el modelo EC5A-12S05 de CINCON cuyas características principales son:

- Tensión de entrada de 9 a 32 V
- Tensión de salida de 5 V
- Corriente de salida de 2000 mA
- Eficiencia 88 %
- Corriente sin carga 15 mA

### 14.2.1.3.2. Control de calidad

Debe cumplir al menos, las características citadas y estar contenido en un encapsulado de tipo DIP-24. Su disposición será de acuerdo con lo estipulado en el plano 26 siguiendo el footprint de los planos 30 y 31.

Su tensión de rizado máximo permitido es de 100 mV pk-pk con una precisión de voltaje de  $\pm 2.0$  %. El rango de temperatura de funcionamiento debe de ser de al menos -25 a 71 °C.

En cuanto a la potencia entregada, el conversor debe poder suministrar una potencia mínima de 10 W.

Debe cumplir con la norma IEC TR 62380 / ISO 26262 parte 11, la norma Siemens Norm SN 29500-2 y la norma RoHS Certificate of Compliance.

## 14.2.1.4. Amplificador Operacional

### 14.2.1.4.1. Características

El Amplificador Operacional utilizado es el LM358, cuyas características principales son:

- Voltaje de alimentación de 3 a 36 V
- Ancho de banda de 1.2 MHz
- Offset máximo de entrada de 2 mV
- CMRR: 80 dB
- Encapsulado TSSOP 8

### 14.2.1.4.2. Control de calidad

La disposición del LM358 se da según lo detallado en el plano 26 (IC1).

Las normativas a cumplir son: RoHS Certificate of Compliance, EU Directive 2011/65/EU, EU Directive 2015/863.



## 14.2.1.5. Conectores

### 14.2.1.5.1. Características

Los conectores utilizados para la conexión entre el encoder y la placa de control así como entre esta y la placa de adquisición son el modelo 53047-0510 de Molex. Estos conectores precisan de la cabecera 51021-0500 y de los conectores metálicos 50079-8000 de la misma marca.

Para la conexión entre la placa de control del motor y la placa de control, se utiliza un conector 2x4 Dupont fabricado por Molex con referencia 87914-0606 cuya distancia entre pines es de 2.54 mm.

### 14.2.1.5.2. Control de calidad

Para el conector 53047-0510 se deberá hacer referencia a la especificación de empaquetado del fabricante cuya referencia es SPK-53047-001-001, así como a sus especificaciones PS-51021-010-001.

Su disposición en placa se realizará de acuerdo con lo estipulado en el plano 26.

Para el conector 87914-0606, se revisará las especificaciones del producto en el documento PS-87920-019 donde se establecen todas las propiedades mecánicas así como procedimiento y temperaturas de soldado óptimas. Su disposición en placa se realizará de acuerdo con lo estipulado en el plano 26.

## 14.2.1.6. Componentes electrónicos

### 14.2.1.6.1. Características

Se procederá a utilizar los componentes de valores y características especificadas en los planos de proyecto 26, así como su posicionamiento relativo a la placa principal especificado en el mismo plano.

### 14.2.1.6.2. Control de calidad

Todos los componentes serán de valores normalizados y deberán cumplir los siguientes requisitos mínimos según su tipo y destino.

La resistencia R1, deberá ser de tipo SMD con encapsulado normalizado 0805 con una precisión del 1 % y una potencia de disipación de 1/8 W.

Los condensadores C1 a C3, deberán soportar al menos 16 V y tener una tolerancia de  $\pm 10$  %. Se deberá comprobar que no presenta daños físicos aparentes así como una completa integridad del mismo. El tamaño entre pines deberá ser de 5 mm siendo su tolerancia de  $\pm 0.8$  mm.

Debe cumplir con la compilación Lead free / Rohs. Las resistencias y los condensadores deben seguir valores normalizados según la norma AEC-Q200 qualified.

## 14.2.1.7. Placa de circuito impreso

### 14.2.1.7.1. Características

La placa de circuito impreso estará compuesta por un total de dos caras, fabricada en fibra de vidrio según características descritas en el plano 28. Deberá tener serigrafiada toda la información del emplazamiento de cada uno de sus componentes, así como la información que permita su propia identificación. Se respetarán en todo momento las medidas consignadas, así como su factor forma respetando las tolerancias designadas.

### 14.2.1.7.2. Control de calidad

Se deberá revisar que la placa no presente daños aparentes. Se deberá poder visualizar correctamente la posición e identificación de todos y cada uno de los componentes.

Debe cumplir con la normativa ISO9001:2015 y seguir los estándares IPC. Además de cumplir con la normativa Lead free / Rohs.

## 14.2.2. Placa de adquisición

### 14.2.2.1. Microcontrolador

#### 14.2.2.1.1. Características

El microcontrolador utilizado es el ATmega328p en su encapsulado 32TQFP cuyas características principales son:

- 16 MHz
- Flash CPU 16 kB, SRAM 1 kB
- 23 E/S programable
- 6 pines PWM
- UART
- 6 x 10-bit ADC

#### 14.2.2.1.2. Control de calidad

Se debe comprobar que el suministrador del microcontrolador cuente con los certificados EN IEC 62368-1:2020+A11:2020 que establece que el producto ha superado con éxito los controles de seguridad, contar con el certificado EMC EN55032:2015+A11:2020 y EN55035:2017+A11:2020, los cuales establecen que el equipo cumple con la regulación de compatibilidad electromagnética establecida. Asimismo, debe cumplir con la norma RoHS Certificate of Compliance.

## 14.2.3. Resonador cuarzo

### 14.2.3.1. Características

El resonador utilizado es el CSTNE16M0V530000R0 de Murata.



Este resonador es de tipo cerámico y funciona a una frecuencia de 16 MHz. Su impedancia es de 40  $\Omega$  con una capacitancia de 5 pF. Su temperatura de funcionamiento es de -40 a 125°C. Su encapsulado es SMD de 3 pines no estándar (ver su datasheet).

### 14.2.3.2. Control de calidad

La estabilidad en frecuencia debe de estar en torno a  $\pm 0.3$  % y su dimensionado corresponder a 0.126" L x 0.051" A (3.20 mm x 1.30 mm) con una altura de 0.039" (1.00 mm). Se dispondrá en placa según lo estipulado en el plano 27.

Debe cumplir con lo establecido en RoHS, el ECCN EAR99 y el HTSUS 8548.00.0000

### 14.2.3.3. LED

#### 14.2.3.3.1. Características

Los leds utilizados son el modelo HSMF-C155 de Broadcom. En configuración de color rojo y verde. Su encapsulado tiene unas dimensiones de 3.2 x 2.7 mm según el footprint del plano 32 (LED1, LED2).

#### 14.2.3.3.2. Control de calidad

Los leds se dispondrán en placa según plano 27 (LED1, LED2) y se deberá comprobar su correcto posicionamiento y soldado. Se comprobará que la iluminación sea suficiente, pudiendo distinguirse su funcionamiento a través del cristal de la carcasa del panel de control del patinete eléctrico. El producto debe tener certificación ECCN EAR99 y MXHTS 8541410100.

### 14.2.3.4. Amplificador Operacional

#### 14.2.3.4.1. Características

EL Amplificador Operacional utilizado para la adquisición y adaptación de señal es el AD8574, cuyas características principales son:

- Bajo voltaje de offset de 1  $\mu$ V
- Entrada y salida *Rail-to-Rail*
- Alimentación simple de 5/2.7 V
- Alta ganancia de 145 dB
- CMRR: 140 dB
- PSRR: 130 dB
- Encapsulado TSSOP 14

#### 14.2.3.4.2. Control de calidad

La disposición del integrado se da según lo expuesto en el plano 27 (IC2).

Las normativas a cumplir son: RoHS Certificate of Compliance, EU Directive 2011/65/EU, EU Directive 2015/863.

## 14.2.3.5. Conectores

### 14.2.3.5.1. Características

Los conectores utilizados para los sensores son el modelo 10114828-10103LF de Amphenol, cuyas cabeceras requeridas son 1011482600003LF. Estas cabeceras utilizan los conectores metálicos 10114827001LF.

Conectores de 3 pines con un paso entre pin de 1.25 mm. Corriente máxima de 1 A y temperatura operativa de -40 a 105°C.

### 14.2.3.5.2. Control de calidad

El conector deberá cumplir las especificaciones de producto dadas en el documento GS-12-675 facilitado por Amphenol. En él se detallan las especificaciones mecánicas, así como temperaturas de soldado.

Deberá cumplir lo dispuesto en EIA-364-21 sobre la resistencia de aislamiento así como EIA-364-20 sobre la tensión de aislamiento del dieléctrico.

## 14.2.3.6. Componentes electrónicos

### 14.2.3.6.1. Características

Se procederá a utilizar los componentes de valores y características especificadas en los planos de proyecto 27, así como su posicionamiento relativo a la placa principal especificado en el mismo plano.

### 14.2.3.6.2. Control de calidad

Todos los componentes serán de valores normalizados y deberán cumplir los siguientes requisitos mínimos según su tipo y destino.

Las resistencias R1 a R15, deberán ser de tipo SMD con encapsulado normalizado 0805 con una precisión del 1 % y una potencia de disipación de 1/8 W.

Los condensadores C1 a C11, deberán soportar al menos 10 V. Su encapsulado será SMD 0805 X7R.

EL diodo, deberá tener un encapsulado SOD-323-2.

Debe cumplir con la compilación Lead free / Rohs. Las resistencias y los condensadores deben seguir valores normalizados según la norma AEC-Q200 qualified. En el caso de los diodos deben cumplir la norma Regulation (EC) No. 1907/2006 y la norma REACH (EC) No 1907/2006.

## 14.2.3.7. Placa de circuito impreso

### 14.2.3.7.1. Características

La placa de circuito impreso estará compuesta por un total de dos caras, fabricada en fibra de vidrio según características descritas en el plano 29. Deberá tener serigrafada toda la información del emplazamiento de cada uno de sus componentes, así como la información que



permita su propia identificación. Se respetarán en todo momento las medidas consignadas, así como su factor forma respetando las tolerancias designadas.

### 14.2.3.7.2. Control de calidad

Una inspección visual para comprobar su total integridad será requerida.

Debe cumplir con la normativa ISO9001:2015 y seguir los estándares IPC. Además de cumplir con la normativa Lead free / Rohs.

## 14.2.4. Sensores

### 14.2.4.1. Acelerador y freno

#### 14.2.4.1.1. Características

El sensor utilizado para la aceleración debe mantener las características originales del sensor instalado de fábrica. De no disponer del acelerador original, se utilizará un sensor de tipo UGN3503 utilizado para el sensor de freno, cuyo encapsulado es (SOT-89/TO-243AA). Su voltaje operativo es de 4.5 V a 6 V y tiene una respuesta plana a 23 kHz.

#### 14.2.4.1.2. Control de calidad

Se deberá comprobar que el sensor no presenta daños estructurales. Debe cumplir con la normativa Lead free / Rohs.

### 14.2.4.2. Encoder

#### 14.2.4.2.1. Características

El encoder está incluido en el módulo de motor que incorpora el volante Logitech G27. En su defecto o si no es posible adquirir uno igual, se deberá sustituir por un encoder rotativo de al menos 600 p y 2 fases alimentado a 5 V.

#### 14.2.4.2.2. Control de calidad

Se deberá comprobar la integridad y correcto funcionamiento del mismo. En caso de no disponer del sensor original, este deberá poder instalarse en el eje del motor de manera que pueda entregar la información relativa al movimiento de este. Una vuelta completa del eje del manillar debe corresponder a un total de 982 pulsos, de no ser así, se deberá ajustar este parámetro en el firmware.

## 14.2.5. Motores

### 14.2.5.1. Motores de auto calibración

#### 14.2.5.1.1. Características

El conjunto de motores viene incluido en el módulo de motor del volante Logitech G27.



En caso de no disponer de los mismos, el motor seleccionado deberá cumplir con el factor de forma del original, y funcionar a 24 V.

### 14.2.5.1.2. Control de calidad

La potencia entregada por los motores deberá ser equivalente a la de los originales. Su eje deberá incorporar el engranaje de tipo helicoidal de manera que pueda utilizarse en el bloque del motor, de otro modo, deberá aprovecharse de otra unidad existente.

## 14.2.6. Cableado

### 14.2.6.1. Conexión entre dispositivos

#### 14.2.6.1.1. Características

El cableado utilizado para todo el montaje es el modelo 660-0397 de RS Pro. Las características de este cable son:

- Material cobre estañado
- Número de núcleos 6
- Apantallado
- Malla de cobre estañado
- Cubierta de PVC
- Calibre de 30 AWG
- Tensión nominal 300 V
- Corriente nominal 250 mA
- Resistencia del conductor 345  $\Omega$ /Km
- Temperatura de funcionamiento de -20 a 80°C

#### 14.2.6.1.2. Control de calidad

Deberá cumplir con la especificación RoHS versión 2011/65/EU, 2015/863 así como ECCN EAR99. Además, los estándares exigidos son: Norma de defensa 61-12, partes 4 y 5; NBN en ISO 9001; OP-QAO-003; OP-QIO-504; KI-QIO-616 así como certificación IEC60332-1

## 14.3. Montaje y ejecución

### 14.3.1. Descripción

En primera instancia, se deberá clasificar todos y cada uno de los distintos componentes por tipo de placa, siguiendo lo estipulado en la lista de materiales del plano 26 para la placa de control y el plano 27 para la placa de adquisición. Es importante comprobar que se dispone de todos y cada uno de ellos, asegurándose de que las referencias sean las correctas.

Para el proceso de soldadura de los componentes de tipo SMD, se hará uso de la plantilla diseñada específicamente a este fin, proporcionada por el fabricante. Para ello, es necesario asegurar de forma correcta la plantilla a la placa, tomando precaución de que quede perfectamente alineada. Posteriormente se utilizará pasta de soldar de punto de fusión a temperatura baja (138°C) de aleación Sn42Bi58.



Tras su aplicación se retirará la plantilla y se procederá al posicionamiento de cada uno de los componentes según lo dispuesto en el plano 26 para la placa de control y el plano 27 para la placa de adquisición. Una vez colocados estos y comprobado que todos están correctamente emplazados en sus correspondientes posiciones, se introducirá la placa en un horno diseñado a tal efecto, configurado con un perfil de temperatura adecuado, que no supere en ningún caso los 240 °C ni exponga a todo el conjunto a una temperatura superior a 200 °C por más de un minuto.

Una vez finalizado el proceso de soldadura, se procederá al emplazamiento de los componentes de inserción restantes y con la ayuda de un caudín configurado para operar a una temperatura de unos 360 °C, se soldarán a la placa. Para aquellas soldaduras que no presenten un acabado adecuado, se hará uso de flux del tipo NC-559-ASM.

Acabado el proceso de soldado, se comprobará que todos los elementos se han soldado de manera correcta y uniforme. Para la realización de dicho proceso se utilizará un microscopio que permita realizar una inspección adecuada.

Tras asegurar que todo el proceso se ha llevado a cabo de forma correcta, se deberán limpiar los restos de flux y soldadura con alcohol isopropílico ayudado de unas pinzas y papel.

Finalizada la limpieza se procederá a la programación de los microcontroladores.

Para la programación de la placa de control, se utilizará el programa Arduino IDE con el firmware proporcionado, cuya identificación es "MAIN\_CONTROLLER\_SCOOTER". El proceso únicamente requiere de un cable micro USB a USB, así como un puerto disponible en el computador.

El proceso de programación de la placa de adquisición requiere de un programador PICKit™ 4 fabricado por Microchip. Para realizar un correcto uso de la herramienta, así como comprobar el diagrama de conexiones, se debe comprobar el manual del fabricante redactado a este fin. El diagrama de conexiones de la placa está detallado en el plano 25 A. El software utilizado para su programación es Microchip Studio en su versión 7.0.2594 o superior. El archivo que contiene el firmware es "AUX\_DASH\_SCOOTER". Para más información sobre cómo proceder, véase el manual de usuario de la aplicación.

Por último, se instalarán las placas según lo dispuesto en los planos 10 y 11.

### 14.3.2. Control de calidad de la ejecución

La inspección de todos y cada uno de los puntos de soldadura es requerida, siendo primordial, comprobar que los componentes con mayor número de pines y menor espaciado entre ellos, no contenga restos de soldadura entre los mismos que pueda causar un cortocircuito o un mal funcionamiento del mismo.

Se debe comprobar la integridad de cada una de las pistas, asegurando que no existan roturas o pérdida de la capa protectora.

En el caso de encontrar alguna anomalía, se deberá proceder a su inmediata subsanación por medio de la sustitución o reparación del componente afectado.

Se debe comprobar que las conexiones físicas entre los distintos elementos sean robustas y estables, descartando así posibles defectos actuales o futuros.

Tras la comprobación física de todos los elementos, se deberá utilizar una fuente de alimentación de 24 V y comprobar que las tensiones del regulador sean estables y no exista calentamiento alguno en ninguna zona de la placa, que pudiera denotar una avería o rotura de algún componente.

Por último, se deberá emplazar las placas en sus correspondientes lugares para determinar así que todas ellas encajan y cumplen con las especificaciones de tamaño y diseño.

## 14.4. Pruebas de servicio

Para comprobar el correcto funcionamiento de la electrónica, se listan a continuación una serie de pruebas de servicio que se deben llevar a cabo en el orden estipulado.

### 14.4.1. Ajuste de nivel de offset del sensor de bloqueo del motor

Identificador		01
<b>Descripción</b>	Ajuste del nivel de disparo del sensor de detección de bloqueo del motor por medio de los potenciómetro VR1 y VR2 de la Placa de control	
<b>Requerimientos</b>	Destornillador de punta plana y Osciloscopio	
<b>Procedimiento</b>	Mediante la utilización del osciloscopio, se determinará el pico de tensión máximo dado al momento del bloqueo del motor. Para ello, se conecta la sonda del osciloscopio a la entrada designada R_IS o L_IS, y se fuerza el giro del motor por medio de reiniciar el sistema. Se registrará el valor máximo dado, y se ajustará el potenciómetro VR1 y VR2 al 85 % de este.	
<b>Resultado de la ejecución</b>	El sistema deberá ser capaz de auto calibrarse, cambiando la dirección de giro tras llegar a una situación de bloqueo.	

### 14.4.2. Ajuste del nivel de offset del sistema de adquisición de aceleración y freno

Identificador		02
<b>Descripción</b>	Ajuste del nivel de offset del sistema de adaptación de la señal de acelerador y freno.	
<b>Requerimientos</b>	Destornillador de punta plana y Osciloscopio	
<b>Procedimiento</b>	Por medio de la utilización de un osciloscopio, se conectará a los pines de prueba BR y TR de la placa de adquisición y se ajustarán los potenciómetros VR1 y VR2 respectivamente hasta que la tensión leída sea igual a 0 V.	
<b>Resultado de la ejecución</b>	Tras el accionamiento del acelerador y freno, la señal deberá estar comprendida entre un valor muy próximo a 0 y 5 V	



### 14.4.3. Comprobación de comunicación entre Placa de adquisición y Placa de control

Identificador		03
<b>Descripción</b>	Comprobación de envío de trama de datos TX generados por la Placa de adquisición	
<b>Requerimientos</b>	Osciloscopio con función de decodificador UART	
<b>Procedimiento</b>	Por medio de la utilización de un osciloscopio, se conectará a los pines de prueba TX de la placa de adquisición y se visualizará y decodificará la trama de datos enviada. Se debe poder visualizar los datos STX y ETX así como valores para el acelerador y freno dentro del rango	
<b>Resultado de la ejecución</b>	Una correcta visualización de los datos, indica un correcto funcionamiento del sistema de comunicación UART que incorpora la Placa de adquisición y descarta errores en la misma.	

### 14.4.4. Funcionamiento del encoder

Identificador		04
<b>Descripción</b>	Comprobación de la correcta generación de pulsos en el encoder.	
<b>Requerimientos</b>	Osciloscopio	
<b>Procedimiento</b>	Por medio de la utilización de un osciloscopio de al menos 2 canales, se conectará a los pines designados en el plano 24 referentes a la señal ENCODER_1 y ENCODER_2	
<b>Resultado de la ejecución</b>	Se deberá poder visualizar correctamente un conjunto de señales cuadradas desfasadas (en cuadratura)	

### 14.4.5. Funcionamiento del sistema de detección de conexión de sensores de aceleración y freno

Identificador		05
<b>Descripción</b>	Comprobación del correcto funcionamiento del sistema de comprobación de presencia y funcionamiento de los sensores de aceleración y freno	
<b>Requerimientos</b>	Ninguno	
<b>Procedimiento</b>	Conectar y desconectar los conectores J1 y J2	
<b>Resultado de la ejecución</b>	La luz deberá permanecer verde en caso de desconexión, y volverse roja al momento de conectar los sensores, indicando que todo funciona correctamente	

## 14.4.6. Auto calibración del manillar

Identificador		06
Descripción	Comprobación de la auto calibración del manillar	
Requerimientos	Ninguno	
Procedimiento	Con todo conectado, encender y apagar el sistema	
Resultado de la ejecución	El manillar deberá girar a ambos lados, posicionándose en el centro tras la finalización del calibrado	

## 14.4.7. Comprobación de la recepción de datos

Identificador		07
Descripción	Comprobación de la recepción de datos por parte del computador	
Requerimientos	Computador, aplicación de testeo "Validación de Datos Scooter" y cable micro USB a USB	
Procedimiento	Tras la correcta calibración del sistema, se conectará al computador la Placa de control por medio del cable micro USB a USB y se iniciará la aplicación de pruebas	
Resultado de la ejecución	Se deberá poder visualizar la información generada en la placa de control	

## 14.5. Prueba general y aleatoria

Será necesario realizar una prueba general y aleatoria del sistema completo, para ello, se establece una tabla en la que se recogen un total de 3 pruebas a realizar con sus correspondientes casillas de marcado, de manera que se pueda identificar de manera visual y directa su validación.

Un ejemplo de su implementación se detalla a continuación:

Aplicación	Procedimiento	Validez
<b>Voltajes de salida</b>	Comprobar mediante la utilización de un voltímetro digital que todos los voltajes generados son correctos y están dentro del rango de validez	
<b>Accionamiento de acelerador</b>	Accionar el acelerador de forma reiterada y comprobar que la información generada por el sistema se ajusta a el grado de accionamiento dado por el usuario por medio de la aplicación de validación	
<b>Giro reiterado del manillar</b>	Comprobar utilizando la aplicación de validación, que el sensor de giro registra en todo momento de manera correcta y precisa el ángulo de giro actual	

Con todas las comprobaciones realizadas, y tras su validación, se determina que el montaje es correcto y todo funciona con normalidad.





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

---

DOCUMENTO IV

# PRESUPUESTO

**TRABAJO FIN DE GRADO**

Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

**REALIZADO POR**

Samuel Boix Torner

**TUTORIZADO POR**

Álvaro Tormos Ferrando

Juan Francisco Dols Ruiz

**CURSO ACADÉMICO:** 2022/2023



# Índice presupuesto

---

<b>15. Precios elementales .....</b>	<b>177</b>
15.1. Precios elementales Plataforma .....	177
15.2. Precios elementales Placa de control .....	178
15.3. Precios elementales Sistema de adquisición.....	179
<b>16. Cuadro de precios descompuestos .....</b>	<b>180</b>
16.1. Cuadro de precios descompuestos Plataforma .....	180
16.1.1. Plataforma principal .....	180
16.1.2. Soporte patinete eléctrico .....	181
16.1.3. Conjunto de adaptadores del motor .....	182
16.1.4. Soporte motor .....	183
16.1.5. Conjunto completo Plataforma .....	184
16.2. Cuadro de precios descompuestos Placa control.....	185
16.2.1. PCB Placa de control .....	185
16.2.2. Fabricación cableado .....	186
16.2.3. Desarrollo firmware placa de control .....	187
16.2.4. Conjunto completo Placa de control .....	187
16.3. Cuadro de precios descompuestos Placa adquisición.....	188
16.3.1. PCB Placa de adquisición .....	188
16.3.2. Desarrollo firmware Placa de adquisición .....	189
16.3.3. Conjunto completo Placa de adquisición .....	190
<b>17. Estado de mediciones.....</b>	<b>191</b>
<b>18. Valoración.....</b>	<b>192</b>





# 15. Precios elementales

## 15.1. Precios elementales Plataforma

<b>Ref</b>	<b>ud.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio (€)</b>
<b>Materiales</b>			
<b>m1</b>	ud.	Chásis patinete eléctrico	80,00
<b>m2</b>	ud.	Motor Logitech G27	40,00
<b>m3</b>	ud.	Perfil Alu 60x60 x 2125mm	45,16
<b>m4</b>	ud.	Perfil Alu 60x60 x 410mm	9,84
<b>m5</b>	ud.	Perfil Alu 30x30 x 115mm	1,54
<b>m6</b>	ud.	Perfil Alu 30x30 x 360mm	3,71
<b>m7</b>	ud.	Perfil Alu 30x30 x 1010mm	11,33
<b>m8</b>	ud.	Perfil Alu 30x30 x 1400mm	14,42
<b>m9</b>	ud.	2477 PJP 125 P50 (Ruedas)	22,89
<b>m10</b>	ud.	Escuadra angular 60x60	2,18
<b>m11</b>	ud.	Escuadra angular 40x40	2,06
<b>m12</b>	ud.	Escuadra angular 30x30	0,90
<b>m13</b>	ud.	Tuerca deslizante M6	0,33
<b>m14</b>	ud.	Tornillo Allen M6	0,22
<b>m15</b>	ud.	Bloque antivibraciones M8	3,31
<b>m16</b>	ud.	Arandelas M8	0,02
<b>m17</b>	ud.	Tornillo Allen + Tuerca Auto Blocante M5	0,29
<b>m18</b>	ud.	Varilla Roscada M10 x 110mm	1,14
<b>m19</b>	ud.	Tuerca + Arandela M10	0,56
<b>m20</b>	ud.	Tornillo Roscado 20mm	0,54
<b>m21</b>	ud.	Tubo Al 12mm	0,17
<b>m22</b>	ud.	Bobina Smart PLA Blanco	12,39
<b>m23</b>	ud.	Gastos de impresión de piezas 3D	20,00
<b>m24</b>	ud.	Gastos envío empresa de impresión 3D	34,99
<b>m25</b>	ud.	Gastos de envío empresa de transporte	18,00
<b>M.O.D.</b>			
<b>h2</b>	h	Ingeniero Electrónico	19,38
<b>h3</b>	h	Técnico	11,28
<b>h4</b>	h	Mecánico	12,73

## 15.2. Precios elementales Placa de control

<b>Ref</b>	<b>ud.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio (€)</b>
<b> Materiales</b>			
<b>m26</b>	ud.	Placa de circuito impreso Placa de control	1,87
<b>m27</b>	ud.	Plantilla de soldadura de placa de circuito impreso	6,44
<b>m28</b>	ud.	Convertidor CC/CC no aislado, 9-32 VDC Input, 5VDC Output, DIP 1.25x0.80x0.40	13,48
<b>m29</b>	ud.	Arduino Leonardo	22,89
<b>m30</b>	ud.	TAIFU Adaptador de Fuente de Alimentación 24V 3,75A 90W	27,99
<b>m31</b>	ud.	BTS7960 43A High Power Motor Driver Module	11,99
<b>m32</b>	ud.	Amass XT30 XT30U	0,50
<b>m33</b>	ud.	Enchufe de conector de controlador XT30PW-M	0,51
<b>m34</b>	ud.	Arduino Shield, cabezal femenino, 1x15 Pines, 2,54 MM	0,10
<b>m35</b>	ud.	Conector de cabezal de doble fila macho de 2,54mm	1,15
<b>m36</b>	ud.	Resistencias ajustables - SMD TRIMMER-3MM TC33X1103E Bourns	0,26
<b>m37</b>	ud.	Resistores de película gruesa - SMD CRGCQ 0805 10K 1% SMD Resistor	0,09
<b>m38</b>	ud.	Amplificadores operacionales - LM358PT	0,48
<b>m39</b>	ud.	Alojamientos de cables y cabecera VERTICAL HDR 5P 53047-0510 MOLEX	0,37
<b>m40</b>	ud.	Alojamientos de cables y cabecera RECEPTACLE 5 POS 51021-0500 MOLEX	0,24
<b>m41</b>	ud.	Alojamientos de cables y cabecera PCB LD TERM 26-28G F 50079-8000 MOLEX	0,02
<b>m42</b>	ud.	Bloques terminales fijos 2P 5mm 90DEG 1711026 Phoenix Contact	2,34
<b>m43</b>	ud.	Condensadores de cerámica multicapa (MLCC) RDER72J474MUE1H03A	1,74
<b>m44</b>	ud.	Condensadores de cerámica multicapa (MLCC) RDE5C3A102J2M1H03A	0,63
<b>m45</b>	ud.	Cable apantallado 6 hilos RS PRO 660-0397 25 m	89,58
<b>m46</b>	ud.	Conector USB C 4 pines con tuerca	1,98
<b>m47</b>	ud.	Conector micro USB 4 pines	0,38
<b>m48</b>	ud.	Conector 6 pines + alojamiento dupont 2,54 mm	0,25
<b>m49</b>	ud.	Gastos envío empresa de fabricación PCB	18,21
<b>m50</b>	ud.	Gastos envío componentes electrónicos	25,00
<b> M.O.D.</b>			
<b>h1</b>	h	Programador	18,36
<b>h2</b>	h	Ingeniero Electrónico	19,38
<b>h3</b>	h	Técnico	11,28



## 15.3. Precios elementales Sistema de adquisición

<b>Ref</b>	<b>ud.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio (€)</b>
<b>Materiales</b>			
<b>m51</b>	ud.	Placa de circuito impreso Placa de adquisición	13,00
<b>m52</b>	ud.	MPLAB® PICKit™ 4 In-Circuit Debugger	81,35
<b>m36</b>	ud.	Resistencias ajustables - SMD TRIMMER-3MM TC33X1103E Bourns	0,26
<b>m38</b>	ud.	Amplificadores operacionales - LM358PT	0,48
<b>m53</b>	ud.	Microchip ATMEGA328PAN	2,63
<b>m54</b>	ud.	Analog Devices Inc. AD8574ARUZ	9,92
<b>m55</b>	ud.	Amphenol 1011482810103LF	0,42
<b>m56</b>	ud.	Amphenol 1011482600003LF	0,09
<b>m57</b>	ud.	Amphenol 10114827001LF	0,03
<b>m58</b>	ud.	Broadcom Limited HSMFC155	0,54
<b>m59</b>	ud.	Samtec SL106G10	1,56
<b>m60</b>	ud.	Murata CSTNE16M0V530000R0	0,24
<b>m61</b>	ud.	Harwin M503030642	1,30
<b>m62</b>	ud.	TE Connectivity CRGCQ0805F8K2	0,24
<b>m63</b>	ud.	TE Connectivity CRGCQ0805F4K7	0,09
<b>m64</b>	ud.	TE Connectivity CRGCQ0805F15K	0,24
<b>m65</b>	ud.	TE Connectivity CRGCQ0805F3K3	0,09
<b>m66</b>	ud.	TE Connectivity CRGCQ0805F12K	0,21
<b>m67</b>	ud.	TE Connectivity CRGCQ0805F470R	0,24
<b>m68</b>	ud.	TE Connectivity CRGCQ0805F220K	0,24
<b>m69</b>	ud.	TE Connectivity CRGCQ0805F33K	0,24
<b>m70</b>	ud.	TE Connectivity CRGCQ0805F180R	0,24
<b>m71</b>	ud.	KEMET C0603C104K4NACAUTO	0,05
<b>m72</b>	ud.	KEMET C0603X102K4RACAUTO	0,34
<b>m73</b>	ud.	KEMET C0603X103K4RACTU	0,31
<b>m74</b>	ud.	TDK MLF1608E100JT000	0,19
<b>m75</b>	ud.	ROHM Semiconductor 1S355VMTE17	0,19
<b>m49</b>	ud.	Gastos envío empresa de fabricación PCB	18,21
<b>m50</b>	ud.	Gastos envío componetes electrónicos	25,00
<b>M.O.D.</b>			
<b>h1</b>	h	Programador	18,36
<b>h2</b>	h	Ingeniero Electrónico	19,38
<b>h3</b>	h	Técnico	11,28

## 16. Cuadro de precios descompuestos

### 16.1. Cuadro de precios descompuestos Plataforma

#### 16.1.1. Plataforma principal

<b>Ref</b>	<b>ud.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio (€)</b>		
<b>d1</b>	ud.	Diseño, mecanizado y montaje de la plataforma principal, únicamente incluye el chasis principal sin soportes de motor ni de patinete eléctrico			
<b> Materiales</b>			<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Parcial</b>
<b>m3</b>	ud.	Perfil Alu 60x60 x 2125mm	45,16	2	90,32
<b>m4</b>	ud.	Perfil Alu 60x60 x 410mm	9,84	2	19,68
<b>m7</b>	ud.	Perfil Alu 30x30 x 1010mm	11,33	2	22,66
<b>m8</b>	ud.	Perfil Alu 30x30 x 1400mm	14,42	1	14,42
<b>m9</b>	ud.	2477 PJP 125 P50 (Ruedas)	22,89	4	91,56
<b>m10</b>	ud.	Escuadra angular 60x60	2,18	4	8,72
<b>m12</b>	ud.	Escuadra angular 30x30	0,90	6	5,40
<b>m13</b>	ud.	Tuerca deslizante M6	0,33	40	13,20
<b>m14</b>	ud.	Tornillo Allen M6	0,22	40	8,80
<b>M.O.D</b>					
<b>h2</b>	h	Ingeniero Electrónico	19,38	8	155,04
<b>h3</b>	h	Técnico	11,28	10	112,80
<b>h4</b>	h	Mecánico	12,73	10	127,30
<b>Medios auxiliares</b>					
	%	M. A. sobre costes directos	5	669,90	33,50
			<b>Precio</b>		<b>703,40</b>



## 16.1.2. Soporte patinete eléctrico

<b>Ref</b>	<b>ud.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio (€)</b>		
<b>d2</b>	ud.	Diseño, mecanizado y montaje del soporte del patinete eléctrico, no incluye la instalación de este ni del patinete en la plataforma			
<b>Materiales</b>			<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Parcial</b>
<b>m4</b>	ud.	Perfil Alu 60x60 x 410mm	9,84	2	19,68
<b>m5</b>	ud.	Perfil Alu 30x30 x 115mm	1,54	8	12,32
<b>m6</b>	ud.	Perfil Alu 30x30 x 360mm	3,71	2	7,42
<b>m10</b>	ud.	Escuadra angular 60x60	2,18	12	26,16
<b>m12</b>	ud.	Escuadra angular 30x30	0,90	8	7,20
<b>m13</b>	ud.	Tuerca deslizante M6	0,33	70	23,10
<b>m14</b>	ud.	Tornillo Allen M6	0,22	70	15,40
<b>M.O.D</b>					
<b>h2</b>	h	Ingeniero Electrónico	19,38	5	96,90
<b>h3</b>	h	Técnico	11,28	8	90,24
<b>h4</b>	h	Mecánico	12,73	8	101,84
<b>Medios auxiliares</b>					
	%	M. A. sobre costes directos		5	400,26
					20,01
			<b>Precio</b>		<b>420,27</b>

### 16.1.3. Conjunto de adaptadores del motor

<b>Ref</b>	<b>ud.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio (€)</b>		
<b>d3</b>	ud.	Diseño e impresión del adaptador A del eje del motor a la horquilla del patinete eléctrico, no incluye su montaje			
<b>Materiales</b>			<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Parcial</b>
<b>m22</b>	ud.	Bobina Smart PLA Blanco	12,39	0,1	1,24
<b>m23</b>	ud.	Gastos de impresión de piezas 3D	20,00	1	20,00
<b>M.O.D</b>					
<b>h2</b>	h	Ingeniero Electrónico	19,38	2	38,76
<b>Medios auxiliares</b>					
	%	M. A. sobre costes directos		2	60,00
			<b>Precio</b>		<b>61,20</b>

<b>Ref</b>	<b>ud.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio (€)</b>		
<b>d4</b>	ud.	Impresión del adaptador B del eje del motor a la horquilla del patinete eléctrico, no incluye su montaje			
<b>Materiales</b>			<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Parcial</b>
<b>m22</b>	ud.	Bobina Smart PLA Blanco	12,39	0,1	1,24
<b>m23</b>	ud.	Gastos de impresión de piezas 3D	20,00	1	20,00
<b>Medios auxiliares</b>					
	%	M. A. sobre costes directos		2	21,24
			<b>Precio</b>		<b>21,66</b>

## 16.1.4. Soporte motor

<b>Ref</b>	<b>ud.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio (€)</b>		
<b>d5</b>	ud.	Diseño, mecanizado y montaje del soporte del motor, no incluye la instalación de este			
<b>Materiales</b>			<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Parcial</b>
<b>d3</b>	ud.	Diseño e impresión del adaptador A del eje del motor a la horquilla del patinete eléctrico, no incluye su montaje	61,20	1	61,20
<b>d4</b>	ud.	Impresión del adaptador B del eje del motor a la horquilla del patinete eléctrico, no incluye su montaje	21,66	1	21,66
<b>m2</b>	ud.	Motor Logitech G27	40,00	1	40,00
<b>m4</b>	ud.	Perfil Alu 60x60 x 410mm	9,84	1	9,84
<b>m10</b>	ud.	Escuadra angular 60x60	2,18	2	4,36
<b>m11</b>	ud.	Escuadra angular 40x40	2,06	2	4,12
<b>m12</b>	ud.	Escuadra angular 30x30	0,90	2	1,80
<b>m13</b>	ud.	Tuerca deslizante M6	0,33	16	5,28
<b>m14</b>	ud.	Tornillo Allen M6	0,22	16	3,52
<b>m15</b>	ud.	Bloque antivibraciones M8	3,31	2	6,62
<b>m16</b>	ud.	Arandelas M8	0,02	2	0,05
<b>m17</b>	ud.	Tornillo Allen + Tuerca Auto Blocante M5	0,29	6	1,74
<b>m18</b>	ud.	Varilla Roscada M10 x 110mm	1,14	1	1,14
<b>m19</b>	ud.	Tuerca + Arandela M10	0,56	2	1,12
<b>m20</b>	ud.	Tornillo Roscado 20mm	0,54	3	1,62
<b>M.O.D</b>					
<b>h2</b>	h	Ingeniero Electrónico	19,38	12	232,56
<b>h3</b>	h	Técnico	11,28	15	169,20
<b>h4</b>	h	Mecánico	12,73	15	190,95
<b>Medios auxiliares</b>					
	%	M. A. sobre costes directos	5	565,83	28,29
			<b>Precio</b>	<b>785,07</b>	

## 16.1.5. Conjunto completo Plataforma

<b>Ref</b>	<b>ud.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio (€)</b>		
<b>d6</b>	ud.	Montaje completo de la plataforma del simulador, compuesto por Plataforma principal, Soporte del patinete eléctrico, Soporte del motor, instalación del patinete eléctrico y gastos de envío y manipulación			
<b>Materiales</b>			<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Parcial</b>
<b>m1</b>	ud.	Chásis patinete eléctrico	80,00	1	80,00
<b>d1</b>	ud.	Diseño, mecanizado y montaje de la plataforma principal, únicamente incluye el chasis principal sin soportes de motor ni de patinete eléctrico	703,40	1	703,40
<b>d2</b>	ud.	Diseño, mecanizado y montaje del soporte del patinete eléctrico, no incluye la instalación de este ni del patinete en la plataforma	420,27	1	420,27
<b>d5</b>	ud.	Diseño, mecanizado y montaje del soporte del motor, no incluye la instalación de este	785,07	1	785,07
<b>m24</b>	ud.	Gastos envío empresa de impresión 3D	34,99	1	34,99
<b>m25</b>	ud.	Gastos de envío empresa de transporte	18,00	1	18,00
<b>M.O.D</b>					
<b>h2</b>	h	Ingeniero Electrónico	19,38	20	387,60
<b>h3</b>	h	Técnico	11,28	12	135,36
<b>h4</b>	h	Mecánico	12,73	12	152,76
<b>Medios auxiliares</b>					
	%	M. A. sobre costes directos	10	2.564,69	256,47
					<b>Precio 2.973,92</b>





## 16.2. Cuadro de precios descompuestos

### Placa control

#### 16.2.1. PCB Placa de control

<b>Ref</b>	<b>ud.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio (€)</b>		
<b>d7</b>	ud.	Ensamblaje del conjunto de componentes de la placa de control, incluye el diseño y montaje del conjunto			
<b>Materiales</b>			<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Parcial</b>
<b>m26</b>	ud.	Placa de circuito impreso Placa de control	1,87	1	1,87
<b>m27</b>	ud.	Plantilla de soldadura de placa de circuito impreso	6,44	1	6,44
<b>m28</b>	ud.	Convertidor CC/CC no aislado, 9-32 VDC Input, 5VDC Output, DIP 1.25x0.80x0.40	13,48	1	13,48
<b>m30</b>	ud.	TAIFU Adaptador de Fuente de Alimentación 24V 3,75A 90W	27,99	1	27,99
<b>m31</b>	ud.	BTS7960 43A High Power Motor Driver Module	11,99	1	11,99
<b>m32</b>	ud.	Amass XT30 XT30U	0,50	1	0,50
<b>m33</b>	ud.	Enchufe de conector de controlador XT30PW-M	0,51	1	0,51
<b>m34</b>	ud.	Arduino Shield, cabezal femenino, 1x15 Pines, 2,54 MM	0,10	4	0,40
<b>m35</b>	ud.	Conector de cabezal de doble fila macho de 2,54mm	1,15	1	1,15
<b>m36</b>	ud.	Resistencias ajustables - SMD TRIMMER-3MM TC33X1103E Bourns	0,26	2	0,52
<b>m37</b>	ud.	Resistores de película gruesa - SMD CRGCQ 0805 10K 1% SMD Resistor	0,09	1	0,09
<b>m38</b>	ud.	Amplificadores operacionales - LM358PT	0,48	1	0,48
<b>m39</b>	ud.	Alojamientos de cables y cabecera VERTICAL HDR 5P 53047-0510 MOLEX	0,37	2	0,74
<b>m42</b>	ud.	Bloques terminales fijos 2P 5mm 90DEG 1711026 Phoenix Contact	2,34	1	2,34
<b>m43</b>	ud.	Condensadores de cerámica multicapa (MLCC) RDER72J474MUE1H03A	1,74	2	3,48
<b>m44</b>	ud.	Condensadores de cerámica multicapa (MLCC) RDE5C3A102J2M1H03A	0,63	1	0,63
<b>M.O.D</b>					
<b>h2</b>	h	Ingeniero Electrónico	19,38	25	484,50
<b>h3</b>	h	Técnico	11,28	10	112,80
<b>Medios auxiliares</b>					
	%	M. A. sobre costes directos		20	669,91
			<b>Precio</b>		<b>803,89</b>

## 16.2.2. Fabricación cableado

<u>Ref</u>	<u>ud.</u>	<u>Descripción</u>			<u>Precio (€)</u>
<b>d8</b>	ud.	Fabricación de adaptador micro USB a USB C montado en chasis de patinete eléctrico			
<b> Materiales</b>			<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Parcial</b>
<b>m46</b>	ud.	Conector USB C 4 pines con tuerca	1,98	1	1,98
<b>m47</b>	ud.	Conector micro USB 4 pines	0,38	1	0,38
<b>M.O.D</b>					
<b>h3</b>	h	Técnico	11,28	0,5	5,64
<b>Medios auxiliares</b>					
	%	M. A. sobre costes directos	15	8,00	1,20
					<b>Precio</b>
					<b>9,20</b>

<u>Ref</u>	<u>ud.</u>	<u>Descripción</u>			<u>Precio (€)</u>
<b>d9</b>	ud.	Fabricación cableado de conexionado entre los distintos elementos. Se contempla la fabricación del cable de conexionado entre la placa de control y la placa de adquisición, así como los cables de interconexión entre la placa de control y la controladora de motor junto con el encoder instalado en motor.			
<b> Materiales</b>			<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Parcial</b>
<b>m45</b>	ud.	Cable apantallado 6 hilos RS PRO 660-0397 25 m	89,58	0,12	10,75
<b>m40</b>	ud.	Alojamientos de cables y cabecera RECEPTACLE 5 POS 51021-0500 MOLEX	0,24	3	0,72
<b>m41</b>	ud.	Alojamientos de cables y cabecera PCBLD TERM 26-28G F 50079-8000 MOLEX	0,022	15	0,33
<b>m48</b>	ud.	Conector 6 pines + alojamiento dupont 2,54 mm	0,25	16	4,00
<b>M.O.D</b>					
<b>h3</b>	h	Técnico	11,28	1	11,28
<b>Medios auxiliares</b>					
	%	M. A. sobre costes directos	15	27,08	4,06
					<b>Precio</b>
					<b>31,14</b>



### 16.2.3. Desarrollo firmware placa de control

<b>Ref</b>	<b>ud.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio (€)</b>		
<b>d10</b>	ud.	Desarrollo y testeo del firmware mediante la utilización de placa de desarrollo Arduino Leonardo y elementos auxiliares como equipos de programación			
<b>Materiales</b>			<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Parcial</b>
<b>m29</b>	ud.	Arduino Leonardo	22,89	1	22,89
<b>M.O.D</b>					
<b>h1</b>	h	Programador	18,36	40	734,40
<b>h2</b>	h	Ingeniero Electrónico	19,38	5	96,90
<b>Medios auxiliares</b>					
	%	M. A. sobre costes directos	30	854,19	256,26
			<b>Precio</b>	<b>1.110,45</b>	

### 16.2.4. Conjunto completo Placa de control

<b>Ref</b>	<b>ud.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio (€)</b>		
<b>d11</b>	ud.	Conjunto completo de Placa de control, incluye su diseño, fabricación, montaje y el desarrollo, fabricación del conjunto de cables necesarios, testeo e implementación del firmware así como los gastos de envío y manipulación			
<b>Materiales</b>			<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Parcial</b>
<b>d7</b>	ud.	Ensamblaje del conjunto de componentes de la placa de control, incluye el diseño y montaje del conjunto	803,89	1	803,89
<b>d8</b>	ud.	Fabricación de adaptador micro USB a USB C montado en chasis de patinete eléctrico	9,20	1	9,20
<b>d9</b>	ud.	Fabricación cableado de conexionado entre los distintos elementos. Se contempla la fabricación del cable de conexionado entre la placa de control y la placa de adquisición, así como los cables de interconexión entre la placa de control y la controladora de motor junto con el encoder instalado en motor.	31,14	1	31,14
<b>d10</b>	ud.	Desarrollo y testeo del firmware mediante la utilización de placa de desarrollo Arduino Leonardo y elementos auxiliares como equipos de programación	1.110,45	1	1.110,45
<b>m45</b>	ud.	Gastos envío empresa de fabricación PCB	18,21	1	18,21
<b>m49</b>	ud.	Gastos envío componetes electrónicos	25,00	1	25,00
<b>Medios auxiliares</b>					
	%	M. A. sobre costes directos	5	1.997,89	99,89
			<b>Precio</b>	<b>2.097,79</b>	

## 16.3. Cuadro de precios descompuestos

### Placa adquisición

#### 16.3.1. PCB Placa de adquisición

Ref	ud.	Descripción	Precio (€)		
<b>d12</b>	ud.	Ensamblaje del conjunto de componentes de la placa de adquisición, incluye el diseño y montaje del conjunto			
<b>Materiales</b>			<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Parcial</b>
<b>m51</b>	ud.	Placa de circuito impreso Placa de adquisición	13,00	1	13,00
<b>m52</b>	ud.	MPLAB® PICkit™ 4 In-Circuit Debugger	81,35	1	81,35
<b>m36</b>	ud.	Resistencias ajustables - SMD TRIMMER-3MM TC33X1103E Bourns	0,26	2	0,52
<b>m38</b>	ud.	Amplificadores operacionales - LM358PT	0,48	1	0,48
<b>m53</b>	ud.	Microchip ATMEGA328PAN	2,63	1	2,63
<b>m54</b>	ud.	Analog Devices Inc. AD8574ARUZ	9,92	1	9,92
<b>m55</b>	ud.	Amphenol 1011482810103LF	0,42	2	0,85
<b>m56</b>	ud.	Amphenol 1011482600003LF	0,09	2	0,19
<b>m57</b>	ud.	Amphenol 10114827001LF	0,03	6	0,15
<b>m58</b>	ud.	Broadcom Limited HSMFC155	0,54	1	0,54
<b>m59</b>	ud.	Samtec SL106G10	1,56	1	1,56
<b>m60</b>	ud.	Murata CSTNE16M0V530000R0	0,24	1	0,24
<b>m61</b>	ud.	Harwin M503030642	1,30	1	1,30
<b>m62</b>	ud.	TE Connectivity CRGCQ0805F8K2	0,24	1	0,24
<b>m63</b>	ud.	TE Connectivity CRGCQ0805F4K7	0,09	1	0,09
<b>m64</b>	ud.	TE Connectivity CRGCQ0805F15K	0,24	1	0,24
<b>m65</b>	ud.	TE Connectivity CRGCQ0805F3K3	0,09	1	0,09
<b>m66</b>	ud.	TE Connectivity CRGCQ0805F12K	0,21	1	0,21
<b>m67</b>	ud.	TE Connectivity CRGCQ0805F470R	0,24	1	0,24
<b>m68</b>	ud.	TE Connectivity CRGCQ0805F220K	0,24	1	0,24
<b>m69</b>	ud.	TE Connectivity CRGCQ0805F33K	0,24	1	0,24
<b>m70</b>	ud.	TE Connectivity CRGCQ0805F180R	0,24	5	1,18
<b>m71</b>	ud.	KEMET C0603C104K4NACAUTO	0,05	8	0,38
<b>m72</b>	ud.	KEMET C0603X102K4RACAUTO	0,34	2	0,68
<b>m73</b>	ud.	KEMET C0603X103K4RACTU	0,31	1	0,31
<b>m74</b>	ud.	TDK MLF1608E100JT000	0,19	1	0,19
<b>m75</b>	ud.	ROHM Semiconductor 1SS355VMTE17	0,19	1	0,19
<b>m49</b>	ud.	Gastos envío empresa de fabricación PCB	18,21	1	18,21
<b>m50</b>	ud.	Gastos envío componetes electrónicos	25,00	1	25,00



<u>Ref</u>	<u>ud.</u>	<u>Descripción</u>			<u>Precio (€)</u>
<b>M.O.D</b>					
<b>h2</b>	h	Ingeniero Electrónico	19,38	40	775,20
<b>h3</b>	h	Técnico	11,28	10	112,80
<b>Medios auxiliares</b>					
	%	M. A. sobre costes directos	20	1.048,41	209,68
					<b>Precio 1.258,09</b>

### 16.3.2. Desarrollo firmware Placa de adquisición

<u>Ref</u>	<u>ud.</u>	<u>Descripción</u>			<u>Precio (€)</u>
<b>d13</b>	ud.	Desarrollo y testeo del firmware mediante la utilización del programador Microchip Pickit 4 y elementos auxiliares como equipos de programación			
<b>Materiales</b>			<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Parcial</b>
<b>m52</b>	ud.	MPLAB® PICKIT™ 4 In-Circuit Debugger	81,35	1	81,35
<b>M.O.D</b>					
<b>h1</b>	h	Programador	18,36	40	734,40
<b>h2</b>	h	Ingeniero Electrónico	19,38	5	96,90
<b>Medios auxiliares</b>					
	%	M. A. sobre costes directos	30	912,65	273,80
					<b>Precio 1.186,45</b>

### 16.3.3. Conjunto completo Placa de adquisición

<b>Ref</b>	<b>ud.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio (€)</b>		
<b>d14</b>	ud.	Conjunto completo de Placa de adquisición, incluye su diseño, fabricación, montaje y el desarrollo, testeo e implementación del firmware así como los gastos de envío y manipulación			
<b> Materiales</b>			<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Parcial</b>
<b>d12</b>	ud.	Ensamblaje del conjunto de componentes de la placa de adquisición, incluye el diseño y montaje del conjunto	1.258,09	1	1.258,09
<b>d13</b>	ud.	Desarrollo y testeo del firmware mediante la utilización del programador Microchip Pickit™ 4 y elementos auxiliares como equipos de programación	1.186,45	1	1.186,45
<b>m49</b>	ud.	Gastos envío empresa de fabricación PCB	18,21	1	18,21
<b>m50</b>	ud.	Gastos envío componetes electrónicos	25,00	1	25,00
<b>Medios auxiliares</b>					
	%	M. A. sobre costes directos		5	2.487,74
					<b>Precio 2.612,13</b>



## 17. Estado de mediciones

---

<b>Ref.</b>	<b>ud.</b>	<b>Descripción de la partida</b>	<b>Cantidad</b>
<b>d6</b>	ud.	Montaje completo de la plataforma del simulador, compuesto por Plataforma principal, Soporte del patinete eléctrico, Soporte del motor, instalación del patinete eléctrico y gastos de envío y manipulación	1
<b>d11</b>	ud.	Conjunto completo de Placa de control, incluye su diseño, fabricación, montaje y el desarrollo, fabricación del conjunto de cables necesarios, testeo e implementación del firmware así como los gastos de envío y manipulación	1
<b>d14</b>	ud.	Conjunto completo de Placa de adquisición, incluye su diseño, fabricación, montaje y el desarrollo, testeo e implementación del firmware así como los gastos de envío y manipulación	1

## 18. Valoración

Ref.	ud.	Descripción	Precio	Cantidad	Total (€)
d6	ud.	Montaje completo de la plataforma del simulador, compuesto por Plataforma principal, Soporte del patinete eléctrico, Soporte del motor, instalación del patinete eléctrico y gastos de envío y manipulación	2.973,92	1	2.973,92
d11	ud.	Conjunto completo de Placa de control, incluye su diseño, fabricación, montaje y el desarrollo, fabricación del conjunto de cables necesarios, testeo e implementación del firmware así como los gastos de envío y manipulación	2.097,79	1	2.097,79
d14	ud.	Conjunto completo de Placa de adquisición, incluye su diseño, fabricación, montaje y el desarrollo, testeo e implementación del firmware así como los gastos de envío y manipulación	2.612,13	1	2.612,13
<b>Total presupuesto de ejecución material:</b>					<b>7.683,84</b>
%	Beneficio industrial sobre presupuesto final		10		768,38
%	Gastos generales		5		384,19
<b>Total presupuesto sin I.V.A:</b>					<b>8.836,41</b>
%	Impuesto Valor Añadido (I.V.A)		21		1.855,65
<b>Total presupuesto con I.V.A:</b>					<b>10.692,06</b>

El presupuesto de ejecución material de este proyecto asciende a la cantidad de **DIEZ MIL SEISCIENTOS NOVENTA Y DOS CON SEIS (#10.692,06#) EUROS**