



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Alcoy

Robot autónomo auto-balanceado

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

AUTOR/A: Quiles Bru, Francisco

Tutor/a: Masiá Vañó, Jaime

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

Resumen

Este trabajo final de grado trata sobre la construcción de un robot tipo “segway” que se mueva de forma autónoma, además de la incorporación de una pantalla o una Tablet, de cara a un desarrollo futuro, con la idea de que incluso el usuario pudiera interactuar con el propio robot o comandarlo por voz. Una de las funcionalidades de este robot podría ser su uso para marketing, por ejemplo, en ferias tecnológicas, como material didáctico o en el caso de hacerlo inteligente, como asistente personal.

El desarrollo consiste en el modelado de la estructura y carenado a los que se le implementarán unos motores y baterías seleccionados adecuadamente. Para la electrónica se utilizará un dispositivo myRIO al que se le incorporarán el control de los motores y diferentes sensores. El código se implementará mediante el programa LabView.

Palabras clave: Robot, autobalanceado, segway, myRIO, péndulo invertido

Resum

Aquest treball final de grau tracta sobre la construcció d'un robot tipus "segway" que es moga de manera autònoma, a més de la incorporació d'una pantalla o una Tauleta, de cara a un desenvolupament futur, amb la idea que fins i tot l'usuari poguera interactuar amb el propi robot o comandar-lo per veu. Una de les funcionalitats d'aquest robot podria ser el seu ús per a màrqueting, per exemple, en fires tecnològiques, com a material didàctic o en el cas de fer-lo intel·ligent, com a assistent personal.

El desenvolupament consisteix en el modelatge de l'estructura i crestellera als quals se li implementaran uns motors i bateries seleccionats adequadament. Per a l'electrònica s'utilitzarà un dispositiu myRIO al qual se li incorporaran el control dels motors i diferents sensors. El codi s'implementarà mitjançant el programa LabView.

Paraules clau: Robot, auto-balancejat, segway, myRIO, pèndol invertit

Abstract

This final degree project deals with the construction of a "segway" type robot that moves autonomously and allows the incorporation, for future development, of a screen or a Tablet with the idea that the user could interact with the robot itself or even command it by voice. One of the functionalities of this robot could be its application in marketing, for instance in technological fairs, as a didactic material or, in the case of making it intelligent, as a personal assistant.

The development of the project consists of the modeling of the structure and fairing to which properly selected motors and batteries will be implemented. For the electronics, a myRIO device will be used to which the control of the motors and different sensors will be incorporated. The code will be implemented using the LabView program.

Key words: Robot, self-balancing, Segway, myRIO, inverted pendulum

TABLA DE CONTENIDO

1	Introducción	7
2	Descripción y objetivos.....	7
3	Fundamento teórico.....	8
3.1	Cinemática de balanceo.....	8
3.2	Cinemática de movimiento.....	12
4	Componentes electrónicos.....	14
4.1	Electrónica de potencia	14
4.1.1	Ruedas/motores	14
4.1.2	Baterías.....	16
4.1.3	Controlador BLDC.....	18
4.2	Electrónica de control.....	20
4.2.1	Placa myRIO	20
4.2.2	PCB	20
4.2.3	Sensores.....	22
5	Diseño y modelación del prototipo	26
6	Componentes realizados con impresión 3d.....	27
6.1	Elementos de unión	30
6.1.1	Esquinas	30
6.1.2	Codos.....	30
6.2	Acoplamiento ruedas.....	30
6.2.1	Análisis de tensiones	31
6.3	soporte batería secundaria	43
6.4	Enganches batería principal	43
6.5	Soportes electrónica	44
7	Montaje	45
8	Software empleado.....	47
8.1	SolidWorks.....	47
8.2	LabVIEW	48
9	Programación	48
10	Presupuesto	52
11	Conclusión.....	56
12	Referencias.....	57
13	Anexo.....	59
13.1	Planos	59

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Hoverboard. Fuente: Orion91.com.....	7
Imagen 2. Esquema de balanceo.	8
Imagen 3. Esquema de movimiento.	12
Imagen 4. Rueda. Fuente: Yala.cl.	14
Imagen 5. Prueba de controladores.	17
Imagen 6. Fuente: RC-innovations.es	17
Imagen 7. Fuente: RC-innovations.es	17
Imagen 8. Esquema de conexión.....	18
Imagen 9. Drivers.....	18
Imagen 10. MyRio. Fuente: ni.com.....	20
Imagen 11. Placa PCB.....	21
Imagen 12. Esquema de conexión PCB.	21
Imagen 13. IMU. Fuente: Opencircuit.es.....	22
Imagen 14. LIDAR. Fuente: Robotshop.com.....	23
Imagen 15. Mapa detección LIDAR. Fuente: robotshop.com.....	23
Imagen 16. Sensor laser VL5310X. Fuente: pololu.com	24
Imagen 17. Sensor infrarrojo. Fuente: pololu.com.....	25
Imagen 18. Modelo CAD.	26
Imagen 19. Proceso de impresión.	29
Imagen 20. Esquina.	30
Imagen 21. Codo.	30
Imagen 22. Acoplamiento ruedas.	31
Imagen 23. Soporte inferior.	43
Imagen 24. Soporte superior.	43
Imagen 25. Enganche.....	43
Imagen 26. Nivel superior.....	44
Imagen 27. Nivel intermedio.....	44
Imagen 28. Nivel inferior.	45
Imagen 29. Detalle de componentes del hoverboard.	45
Imagen 30. Corte de los perfiles.....	46
Imagen 31. Base, y base con nivel inferior.	46
Imagen 32. Estructura y nivel inferior.	46
Imagen 33. Prototipo real.	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparativa drivers.....	19
Tabla 2. Características regulador de voltaje Jectse.	19
Tabla 3. Características IMU. Fuente: adafruit.com.....	22
Tabla 4. Características LIDAR.....	23
Tabla 5. Propiedades PLA. Fuente: BCN3D.	28
Tabla 6. Propiedades ABS. Fuente: BCN3D	28
Tabla 7. Comparativa impresoras. Fuente: BCN3D.	29
Tabla 8. Cargas y sujeciones.....	34
Tabla 9. Resultados del estudio.....	35
Tabla 10. Cargas y sujeciones.....	37
Tabla 11. Resultados del estudio.....	39
Tabla 12. Cargas y sujeciones.....	40
Tabla 13. Resultados del estudio.....	42
Tabla 14. Coste del material.....	53
Tabla 15. Propuesta de presupuesto.	55

1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo busca la contribución al desarrollo tecnológico, el cual avanza en enormes pasos hacia un mundo más evolucionado en el que las máquinas convivan y faciliten la vida a las personas. Son múltiples los proyectos de creación de autómatas, robots de asistencia, de compañía... etc., pero lo cierto es que estas ideas todavía distan mucho de ser una realidad cercana. Por ello, el siguiente proyecto pretende actuar como un pequeño impulso hacia esa limitada investigación que comenzará a desarrollarse en un futuro no tan lejano.

Para la fabricación de esta idea se van a utilizar tecnologías actuales, como la impresión 3D, combinadas con componentes estandarizados existentes en el mercado. El hecho de usar este tipo de componentes se hace con la intención de ahorrar en el supuesto caso de que se llegasen a producir en masa. En cuanto al desarrollo del proyecto, siendo este perteneciente a un Trabajo Final de Grado de Ingeniería Mecánica, está enfocado al diseño y selección de componentes más que en la automatización, aunque se describirán de manera superflua algunas partes de la programación.

2 DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS

El desarrollo de este proyecto parte de la base de un vehículo de dos ruedas autoequilibrado conocido como *hoverboard* que se popularizó hace unos años. El objetivo que se persigue es realizar un prototipo reutilizando varios componentes de este vehículo, tales como las ruedas, las cuales llevan el motor integrado, y la batería. Partiendo de estos componentes se integrará la parte electrónica; la parte de potencia, en la que se utilizará un “driver” para cada motor y una placa PCB a la que se le añadirán una serie de sensores; y una parte de control en la que se empleará la tarjeta de entradas y salidas MyRio, con la misión de que se pueda mover de forma autónoma. Al mismo tiempo, se diseñará una estructura específica, para ensamblar todo el conjunto, fabricada a partir de perfiles de aluminio y piezas de impresión 3D, diseñadas mediante el software de CAD *SolidWorks*.



Imagen 1. Hoverboard. Fuente: Orion91.com

3 FUNDAMENTO TEÓRICO

El cálculo teórico mediante el cual mantienen el equilibrio este tipo de dispositivos se conoce como “péndulo invertido”. Esta operación no se emplea sólo en estos “segways”, sino que es aplicable en otros muchos ámbitos vinculados al día a día, como en algunos tipos de grúas de construcción, en los robots bípedos para mantener el equilibrio, o incluso en cohetes para controlar su inclinación. En cuanto al ámbito científico o académico también es ampliamente utilizado, especialmente para la enseñanza de controladores PID, por ejemplo.

3.1 CINEMÁTICA DE BALANCEO

Para este caso ya existen múltiples desarrollos matemáticos, por lo que se han tomado como referencia [1], [2] y [3]. En cuanto al principio de funcionamiento fundamental del robot, se va a exponer primeramente el método de cálculo mediante el cual se consigue el equilibrio del sistema, partiendo del esquema expuesto a continuación donde:

- α = ángulo sobre la vertical
- L = longitud del péndulo
- G_p = Fuerza de gravedad sobre el péndulo
- N = Fuerza de reacción entre el péndulo y las ruedas
- $-N$ = Fuerza de reacción entre las ruedas y el péndulo
- G_r = Fuerza de gravedad sobre las ruedas/carro
- N_r = Fuerza normal
- F = Fuerza ejercida por los motores
- a_r = aceleración de las ruedas
- r_p = distancia entre eje de giro y centro de masas
- ϵ = aceleración angular
- ω = velocidad angular

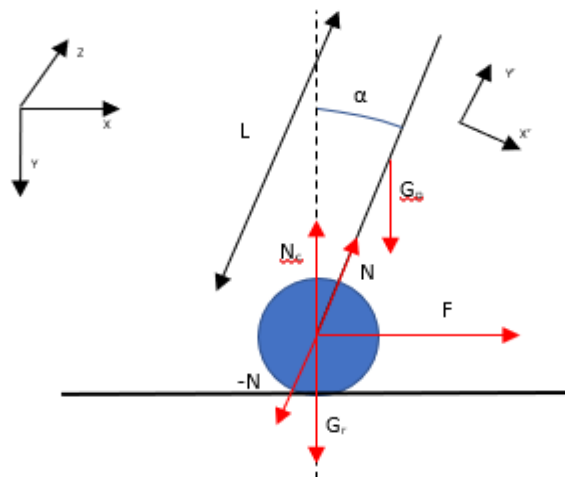


Imagen 2. Esquema de balanceo.

En este escenario expuesto, con el fin de simplificar los cálculos, se van a suprimir las fuerzas de fricción y el péndulo se va a suponer como una barra de masa constante. Para resolver el problema se van a utilizar dos sistemas de referencia: el inercial, observando el conjunto global desde fuera, y el no inercial, tomando de referencia la barra del péndulo.

En primer lugar, se va a dividir el conjunto en dos partes (la rueda y la barra/péndulo) para analizar las fuerzas que actúan sobre estos por separado. Partiendo de la rueda se aplica la segunda ley de Newton realizando el sumatorio de fuerzas que actúan sobre esta.

$$\sum F = m \cdot a \implies F + G_r - N + N_r = m_r \cdot a_r$$

Una vez obtenidas las fuerzas se dividen entre verticales y horizontales según los ejes de coordenadas formando vectores.

$$\vec{F} = F\hat{i} \quad \vec{G}_c = m_r \cdot g \cdot \hat{j} \quad \vec{N} = N_x\hat{i} - N_y\hat{j} \quad \vec{N}_r = -N_r\hat{j}$$

$$\text{Eje X} \implies F - N_x = m_r \cdot a_r$$

$$\text{Eje Y} \implies m_r \cdot g + N_y - N_r = 0$$

Ahora, se realiza el mismo procedimiento con las fuerzas que actúan sobre el péndulo, es decir, se aplica la segunda ley de Newton para obtener las fuerzas y se vectorizan según los ejes de coordenadas.

$$\sum F = m \cdot a \implies N + G_p = m_p \cdot a_p$$

En este caso solo se tiene la fuerza de la gravedad y la aceleración que le proporcionan las ruedas, puesto que la normal ya se ha descompuesto para la rueda.

$$\vec{G}_p = m_p \cdot g \cdot \hat{j}$$

A continuación, aplicando la cinemática de rotación de un sólido rígido sobre el centro de gravedad del péndulo se obtienen su aceleración.

$$\vec{a}_p = \vec{a}_r + \vec{\epsilon} \times \vec{r}_p + \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}_p)$$

Donde:

$$\vec{a}_t = \vec{\epsilon} \times \vec{r}_p$$

$$\vec{a}_n = \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}_p)$$

$$\vec{r}_p = \frac{l}{2} \cdot (\sin(\alpha)\hat{i} - \cos(\alpha)\hat{j})$$

Y, por tanto, descomponiéndolo en vectores quedaría una expresión tal que:

$$\vec{a}_p = a_r\hat{i} + \epsilon\hat{k} \times \frac{l}{2} \cdot (\sin(\alpha)\hat{i} - \cos(\alpha)\hat{j}) + \omega\hat{k} \times (\omega\hat{k} \times \frac{l}{2} \cdot (\sin(\alpha)\hat{i} - \cos(\alpha)\hat{j}))$$

Donde simplificando con las propiedades de los vectores unitarios se puede mostrar con respecto a los ejes X e Y.

$$\vec{a}_p = a_r\hat{i} + \epsilon \cdot \frac{l}{2} \cdot (\sin(\alpha)\hat{j} + \cos(\alpha)\hat{i}) + \omega^2 \cdot \frac{l}{2} \cdot (\sin(\alpha)\hat{i} - \cos(\alpha)\hat{j})$$

Así al igual que se ha hecho anteriormente se separan los factores según los ejes.

$$\text{Eje X} \implies N_x = m_p \cdot (a_r\hat{i} + \epsilon\hat{i} \cdot \frac{l}{2} \cdot \cos(\alpha)) - \omega^2\hat{i} \cdot \frac{l}{2} \cdot \sin(\alpha)$$

$$\text{Eje Y} \implies m_p \cdot g - N_y = m_p \cdot (a_r\hat{j} + \epsilon\hat{j} \cdot \frac{l}{2} \cdot \cos(\alpha)) - \omega^2\hat{j} \cdot \frac{l}{2} \cdot \sin(\alpha)$$

Teniendo todas las fuerzas de ambas partes se igualan las del eje X para definir una ecuación para la aceleración de las ruedas.

$$a_r = \frac{F + m_p \cdot \frac{l}{2} \cdot (\epsilon \cdot \cos(\alpha) - \omega^2 \cdot \sin(\alpha))}{m_r + m_p}$$

El siguiente paso es aplicar la segunda ley de Newton, pero esta vez al movimiento rotatorio del péndulo respecto al eje de giro o las ruedas, que en este caso es el mismo.

$$M = I \cdot \epsilon + \vec{r}_p \times \vec{a}_r \quad \text{Donde: } I = \frac{4}{3} \cdot m_p \cdot \frac{l^2}{2}$$

Llegados a este punto todas las variables son respecto al sistema de referencia inercial, en lo relativo a sistema no inercial se va a aplicar del mismo modo la suma de momentos en el eje, obteniendo: $M = \vec{r}_p \times \vec{G}_p - \omega\hat{k}$ De esta ecuación se despeja la aceleración angular y se inserta la ecuación de la aceleración lineal calculada anteriormente:

$$m_p \cdot g \cdot \frac{l}{2} \cdot \sin(\alpha) = \frac{4}{3} \cdot m_p \cdot \frac{l^2}{2} \cdot \epsilon + m_p \cdot a_r \cdot \frac{l}{2} \cdot \cos(\alpha)$$

$$m_p \cdot g \cdot \frac{l}{2} \cdot \sin(\alpha) = \frac{4}{3} \cdot m_p \cdot \frac{l^2}{2} \cdot \epsilon + m_p \cdot \left[\frac{F + m_p \cdot \frac{l}{2} \cdot (\epsilon \cdot \cos(\alpha) - \omega^2 \cdot \sin(\alpha))}{m_r + m_p} \right] \cdot \frac{l}{2} \cdot \cos(\alpha)$$

Simplificando:

$$\epsilon = \frac{3 \cdot \left[g \cdot \sin(\alpha) - \frac{\cos(\alpha) \cdot (F + \omega^2 \cdot m_p \cdot \frac{l}{2} \cdot \sin(\alpha))}{m_r + m_p} \right]}{l \cdot \left[1 - \frac{m_p \cdot \cos(\alpha)^2 \cdot \frac{3}{2}}{m_r + m_p} \right]}$$

Por lo tanto, nos quedan dos ecuaciones que nos sirven para determinar tanto la aceleración lineal como la angular del péndulo a partir de las cuales se puede calcular la velocidad y la posición.

$$a_r = \frac{F + m_p \cdot \frac{l}{2} \cdot (\epsilon \cdot \cos(\alpha) - \omega^2 \cdot \sin(\alpha))}{m_r + m_p}$$

$$\epsilon = \frac{3 \cdot \left[g \cdot \sin(\alpha) - \frac{\cos(\alpha) \cdot (F + \omega^2 \cdot m_p \cdot \frac{l}{2} \cdot \sin(\alpha))}{m_r + m_p} \right]}{l \cdot \left[1 - \frac{m_p \cdot \cos(\alpha)^2 \cdot \frac{3}{2}}{m_r + m_p} \right]}$$

Estas ecuaciones se pueden utilizar para desarrollar el control del robot, pero se pueden simplificar más todavía si se supone que el ángulo inclinación del péndulo va a ser siempre cerca del 0, puesto que el objetivo es que este lo más cerca posible, entonces los siguientes términos se pueden aproximar:

$$\sin(\alpha) \approx \alpha \quad \cos(\alpha) \approx 1 \quad \omega^2 \approx 0$$

Y quedaría:

$$a_r = \frac{F + m_p \cdot l \cdot \epsilon}{m_r + m_p}$$

$$\epsilon = \frac{3 \cdot \left[g \cdot \alpha + \frac{-F}{m_r + m_p} \right]}{l \cdot \left[1 - \frac{m_p \cdot \frac{3}{2}}{m_r + m_p} \right]}$$

3.2 CINEMÀTICA DE MOVIMIENTO

Por otro lado, también se puede estudiar el movimiento cinemático del robot, debido al propio principio de desplazamiento: el avance, retroceso, giro e incluso la rotación sobre sí mismo, controlado con la velocidad y el sentido de giro de las dos ruedas. Para ello, se plantea un escenario donde el robot se mueve respecto a unos ejes de coordenadas, tal y como se observa en el esquema visto en planta. Como referencia se toma el punto medio entre las dos ruedas y, por tanto, gracias a las coordenadas, se podrá medir el desplazamiento. Por otra parte, el giro se medirá con el ángulo que forma la perpendicular a la línea que une las dos ruedas con la horizontal. También existen varios estudios que desarrollan este movimiento, como [1], [4] y [5] en los cuales se basa este documento.

Variables del sistema:

- V_I = velocidad rueda izquierda
- V_D = velocidad rueda derecha
- r_I = radio de la rueda izquierda
- r_D = radio de la rueda derecha
- A = ancho entre ruedas
- W = velocidad de rotación del robot
- Θ = ángulo con respecto a la horizontal

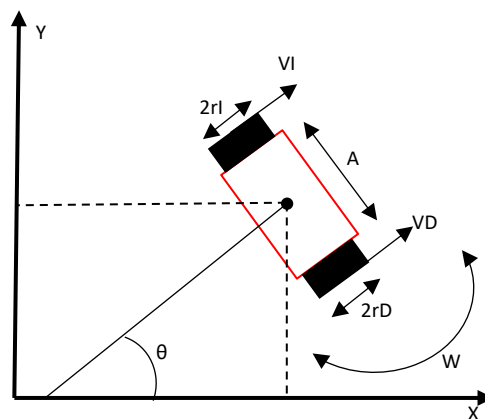


Imagen 3. Esquema de movimiento.

Para comenzar se puede calcular las velocidades lineales de las ruedas a partir de su velocidad angular y viceversa.

$$VI = r_I \cdot WI$$

$$VD = r_D \cdot WD$$

Al tener dos ruedas motrices la velocidad total será la media de las velocidades de ambas ruedas teniendo en cuenta la proporcionalidad con el radio de estas.

$$V = r \cdot \frac{VD+VI}{2}$$

De la misma forma el giro sobre sí mismo también depende de las velocidades de las ruedas, de forma que cuando sean diferentes el robot rotara en un sentido u otro según la rueda que tenga mayor velocidad e incluso si las velocidades son de sentido contrario girará sobre un mismo punto sin desplazarse.

$$W = r \cdot \frac{VD-VI}{A}$$

Asimismo, la posición global se puede expresar como una combinación de un mru y un mcu.

$$x' = x + V \cdot \cos(\theta) \cdot t$$

$$y' = y + V \cdot \sin(\theta) \cdot t$$

$$\theta' = \theta + W \cdot t$$

Por consiguiente, con el objetivo de definir la cinemática del punto respecto a las coordenadas globales se establece una matriz de rotación propia al sistema, que multiplicada por una matriz de velocidades resulta las incógnitas de las velocidades.

$$\begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ \omega \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V \\ W \end{pmatrix}$$

Sustituyendo por las ecuaciones de las velocidades lineal y de rotación globales:

$$\begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ \omega \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \frac{VD+VI}{2} \\ r \frac{VD-VI}{A} \end{pmatrix}$$

Y multiplicando:

$$\begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ \omega \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r \cdot \cos(\theta) \cdot \frac{VD+VI}{2} \\ r \cdot \sin(\theta) \cdot \frac{VD+VI}{2} \\ r \cdot \frac{VD+VI}{2} \end{pmatrix}$$

También se puede expresar con las variables de entrada, es decir, las velocidades, multiplicando en otra matriz.

$$\begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ \omega \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{r \cdot \cos(\theta)}{2} & \frac{r \cdot \cos(\theta)}{2} \\ \frac{r \cdot \sin(\theta)}{2} & \frac{r \cdot \sin(\theta)}{2} \\ \frac{r}{A} & -\frac{r}{A} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} WD \\ WI \end{pmatrix}$$

4 COMPONENTES ELECTRÓNICOS

Los componentes electrónicos seleccionados para el proyecto se van a dividir en dos secciones según la función final de estos. La primera de ellas es la parte de potencia, siendo esta la parte encargada del movimiento. En ella se encuentran los motores, la batería que los alimenta (aunque también se ha incluido una batería secundaria para la parte de control) y los drivers que los controlan. Mientras, la segunda sección trata la parte de control, encargada de recoger información del medio, procesarla y mandar la señal a la parte de potencia. En esta parte podemos encontrar los sensores, la placa PCB y la placa myRIO.

4.1 ELECTRÓNICA DE POTENCIA

4.1.1 Ruedas/motores

Las ruedas utilizadas, como ya se ha mencionado anteriormente, se obtienen de un *hoverboard*. Estos vehículos llevan un motor sin escobillas o *brushless* en el interior de cada rueda, lo que nos proporciona un resultado más compacto y un menor número de componentes, entregando la potencia de manera directa, sin necesidad de reductores. Esta



Imagen 4. Rueda. Fuente: Yala.cl.

es la principal ventaja por la cual se ha optado por ellos, pues al estar todo integrado y poder controlar su velocidad permiten reducir el número de componentes y, por tanto, su tamaño, peso y coste, lo cual los hace idóneos para este proyecto frente a otros motores, tanto *brushless* como de otro funcionamiento.

Estos motores, al igual que la mayoría de los motores eléctricos, están compuestos por una serie de imanes de polos opuestos y una serie de bobinas, pero al contrario que otros, los imanes son el rotor, y las bobinas el estátor. Poseen un imán de cada polo y 6 bobinas dispuestas en forma de estrella, conectadas entre sí dos a dos.

Su principio se basa en que las bobinas generan un campo electromagnético de sentido opuesto al imán que tienen más cerca, por tanto, se activan dos bobinas con la corriente en sentido contrario de forma que una atrae al imán del polo positivo y la otra a la de negativo.

Una vez que los imanes alcanzan las bobinas se activan las siguientes dos bobinas, que repiten el proceso anterior, y por último las otras dos hasta que vuelve a las primeras y comienza el proceso de nuevo. De esta forma se consigue una velocidad de giro continua y un par constante. Además, para un mejor funcionamiento hay motores que activan las bobinas dejando atrás los imanes con el mismo polo para así conseguir todavía más par.

Estos motores en sus inicios fueron ideados para corriente alterna como se puede deducir de su funcionamiento en 3 fases, pero hoy en día son muy utilizados en corriente continua. Para ello se utiliza además una serie de controladores electrónicos que se encargan de activar cada bobina a su tiempo correspondiente. En lo que concierne a este proyecto se ha seleccionado un *driver* para cada motor los cuales permiten la regulación mediante control electrónico. Además, otra ventaja que tiene es que su velocidad se puede regular lo cual los hace mucho más versátiles y evita un mayor número de componentes, como podrían ser cajas reductoras o multiplicadoras.

Para este caso los motores seleccionados tienen una tensión de funcionamiento de 36v, que es lo común en todos los motores de esta clase dispositivos *hoverboard*. En cuanto a la potencia hay más disparidad, pero como el prototipo no requiere de gran potencia los motores son de 200W cada uno, a pesar de que hay modelos incluso del doble.

4.1.2 Baterías

Al igual que con los motores, el objetivo principal es utilizar la batería original del dispositivo. Se trata de una batería de iones de litio de 36v y 4,4 Ah de capacidad compuesta por 20 celdas.

La tecnología de iones de litio está siendo cada vez más relevante a raíz de la transición a coches eléctricos que utilizan estas baterías. Su principio de funcionamiento está basado en el potencial electroquímico de algunos metales y su tendencia a perder electrones, en este caso, el litio. Una batería está compuesta de celdas, dentro de las celdas de litio se pueden distinguir tres zonas: un óxido metálico, un electrolito y grafito. Cuando la batería está descargada, el litio se encuentra en estado estable dentro del óxido metálico, pero una vez se empieza a cargar el litio, este pierde los electrones que a través de la carga externa fluyen hacia el otro polo donde se encuentra el grafito y ahí quedan atrapados. Ahora el ion de litio que ha quedado traspasará el electrolito buscando equilibrar su potencial con los electrones del otro lado donde también quedan atrapados, cuando todos los iones han pasado la batería se considera cargada. Como la permeabilidad del electrolito solo permite pasar a los iones de litio una vez que se conecte un dispositivo a la batería, los electrones fluirán a través de los polos produciendo electricidad hasta alcanzar el óxido metálico y revertirá el proceso atrayendo de nuevo a los iones a un estado más estable.

Una de las desventajas de estas baterías es que la degradación del electrolito puede provocar un cortocircuito entre los polos y su número de ciclos de carga no es muy elevado en comparación con otro tipo de baterías. Sin embargo, también presentan grandes ventajas, como una elevada densidad de carga y su alta tensión. Por lo tanto, se puede deducir porque los *hoverboard* hacen uso de esta tecnología por su gran capacidad, ya que esta permite una mayor autonomía, proporcionando el voltaje suficiente para los motores.

Ahora bien, como ya se ha mencionado y se explicarán en el siguiente apartado, se han de utilizar unos *drivers* para controlar los motores. Durante el desarrollo del proyecto se adquirieron unos *drivers* con un rango de funcionamiento entre 12v y 36v. Tras una serie de pruebas, tanto con una fuente de alimentación como con una batería de menor voltaje, se pudo comprobar que la batería de 36V proporcionaba un voltaje mayor de lo que indicaba, alrededor de los 40V, por lo cual los *drivers* no pueden funcionar con la batería.



Imagen 5. Prueba de controladores.

Tras esto se plantean dos alternativas viables: la adquisición de unos controladores que admitan mayor tensión o el uso de otra batería distinta. Finalmente se ha optado por adquirir una nueva batería acorde con las especificaciones técnicas de los *drivers*. La batería seleccionada es una U-TECH PRO de polímero de litio de 22,2V y 8000 mAh de capacidad y 6 celdas.



Imagen 6. Fuente: RC-innovations.es

El funcionamiento de una batería de polímero de litio o *Lipo*, como se suelen abreviar, es prácticamente idéntico a las de iones de litio. La principal diferencia es el material del electrolito, pues si en las de iones de litio era un líquido, en este caso se trata de un sólido o gel poroso. Esto les confiere algunas características diferentes como flexibilidad y mayor densidad de carga. Las dimensiones de la batería utilizada son similares lo cual favorece la intercambiabilidad evitando un rediseño de la estructura.

Por último, debemos añadir y tener en cuenta una batería para electrónica, ya que la parte de control también necesita de una alimentación. No obstante, el voltaje de entrada al que trabaja la placa myRIO tiene un rango de 6 V a 16 V por lo que se necesita de una batería secundaria de menor voltaje para poder alimentar la parte electrónica. Para esta parte la batería que se va a utilizar es de tipo *LiPo*, con un voltaje de 11,1 V, 5000mAh y 3 celdas.



Imagen 7. Fuente: RC-innovations.es

4.1.3 Controlador BLDC

Como ya se ha comentado anteriormente en el apartado de motores, para que estos se puedan utilizar con corriente continua se requiere de un dispositivo que regule la activación de las bobinas. Esta regulación se logra mediante una serie de circuitos y componentes electrónicos, como los transistores, que se encargan de cambiar la polaridad de las fases en un momento preciso. Es fundamental el control electrónico para el funcionamiento de este tipo de motores.

A parte de los transistores, dentro de estos componentes y circuitos se encuentran más elementos, como los de protección. Por otro lado, tenemos las partes más importantes, como el *Half-Bridge Drivers* o convertidor de tres fases, que convierte la corriente continua proveniente de la batería en una corriente alterna en tres fases, una por cada bobina. La señal que indica a que tiempo debe cambiar la envía el control, que es la otra parte fundamental. El control es capaz de saber la posición de las bobinas a través de la señal recibida por un sensor *Hall*, con esto y con la velocidad que se haya indicado se logra el funcionamiento del motor.

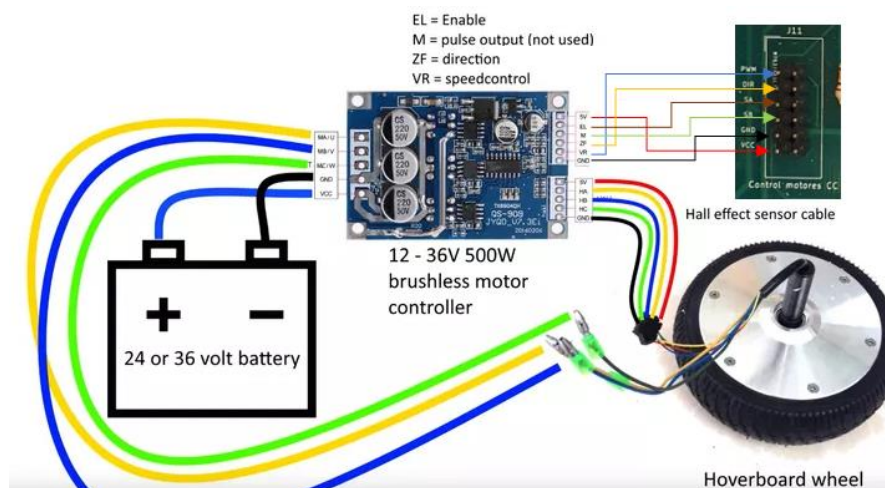


Imagen 8. Esquema de conexión.

Para el proyecto se seleccionaron inicialmente unos controladores de 36V y 500W. Pero tras los problemas planteados anteriormente con la batería, se van a proponer diferentes opciones de controlador en función de la batería que sea seleccionada.



Imagen 9. Drivers.

En primer lugar, el controlador que se va a utilizar es de marca DiyMore y ha sido adquirido a través de la plataforma de venta on-line Aliexpress, aunque también puede adquirirse en su propia página. Por otra parte, tenemos el modelo ZS-X11D1 de la marca Tamkyo, el cual tiene un mayor rango de funcionamiento en cuanto a voltaje se refiere. Al admitir un mayor voltaje de entrada permitiría poder utilizar la batería original del *hoverboard*. Por último, encontramos el modelo Odrive, que al ser el más avanzado de los tres presenta un precio bastante más elevado. Algunas de sus especificaciones son: dos versiones de 24v y 48v, 120A, frenada regenerativa. Otra parte destacable es que se pueden controlar ambos motores con un solo *driver*. Este modelo tiene su propia tienda online de compra.

	DiyMore	Tamkyo	Odrive
Voltaje de entrada (V)	12-36	9-60	12-24 ó 12-56
Corriente máxima (A)	20	20	120 (por motor)
Corriente de trabajo (A)	15	16	40-75-90 (Según sistema de enfriamiento)
Nº motores por unidad	1	1	2
Coste (€)	9,10	13,90	180-220
Potencia máxima (W)	500	450	

Tabla 1. Comparativa drivers.

Otra opción que se presenta es utilizar un regulador de voltaje, esto permitiría bajar la tensión de la batería y así poder utilizar los controladores iniciales. Presenta algunas ventajas como podría ser un nivel de tensión constante y su utilidad como elemento de protección, sin embargo, esto solo serviría para añadir más componentes al prototipo y el objetivo principal es simplificarlo. Este sería un ejemplo de la página de compra-venta Amazon.



Marca	Jectse
Potencia	400W
Voltaje de entrada	De 8,5v a 50v
Voltaje de salida	De 10v a 60v
Corriente máxima de entrada	15A con disipador
Corriente máxima de salida	12A con disipador

Tabla 2. Características regulador de voltaje Jectse.

4.2 ELECTRÓNICA DE CONTROL

4.2.1 Placa myRIO

La placa myRIO es un dispositivo con microcontrolador integrado que posee entradas y salidas tanto digitales como analógicas. Fue desarrollada por la empresa National Instruments y está enfocada principalmente para su uso académico en la realización de proyectos de robótica, mecatrónica, etc. Este tipo de placas se han popularizado desde la aparición de la tarjeta Arduino Uno con un hardware y un software totalmente libre. El hardware es más avanzado que el de una placa Arduino convencional, y además la empresa ha desarrollado su propio software LabView, aunque también permite la programación con lenguaje de programación C.



Imagen 10. MyRio. Fuente: ni.com.

Algunas de sus especificaciones son: puertos de entradas analógicas, puertos de salidas analógicas, puertos de entrada y salidas digitales, leds programables, acelerómetro o puertos para diferentes tipos de comunicación: I2C, PWM...Están son varias de sus características principales, además hay modelos que incluyen comunicación *Wireless* por Wi-Fi.

4.2.2 PCB

Para la conexión de todos los componentes electrónicos como sensores, resistencias u otros se ha utilizado, con el sistema myRIO, una placa circuito impreso estándar diseñada por el Grupo de generación espontánea de robótica (GROMEPE) del campus de Alcoy de la UPV. Esta placa de circuito impreso o PCB está diseñada especialmente para ser utilizada con myRIO, por tanto, es muy versátil para todos los proyectos que se realizan dentro del grupo.

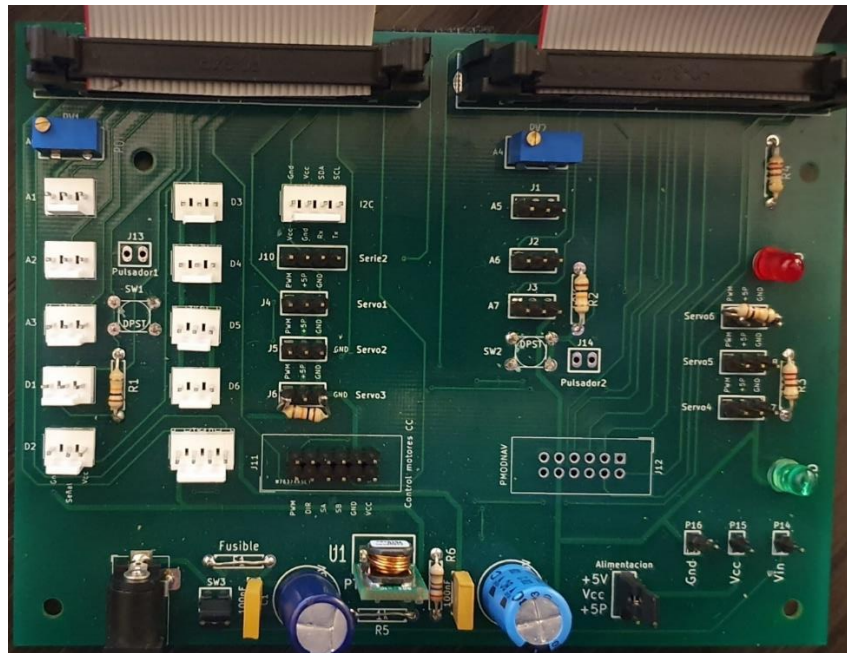


Imagen 11. Placa PCB.

Una placa de circuito impreso es una superficie lisa no conductora la cual presenta una serie de recorridos incrustados en un material conductor, normalmente cobre, prediseñados con anterioridad para conectar los distintos elementos que conforman un circuito electrónico. De esta manera, lo único que habría que hacer sería soldar cada elemento en su lugar correspondiente y conseguir un resultado más compacto, reduciendo el número de cables y conexiones y mejorando la productividad en el caso de que este producto se llegase a fabricar en masa.

La configuración que se va a utilizar en este proyecto se muestra en el siguiente esquema de conexión:

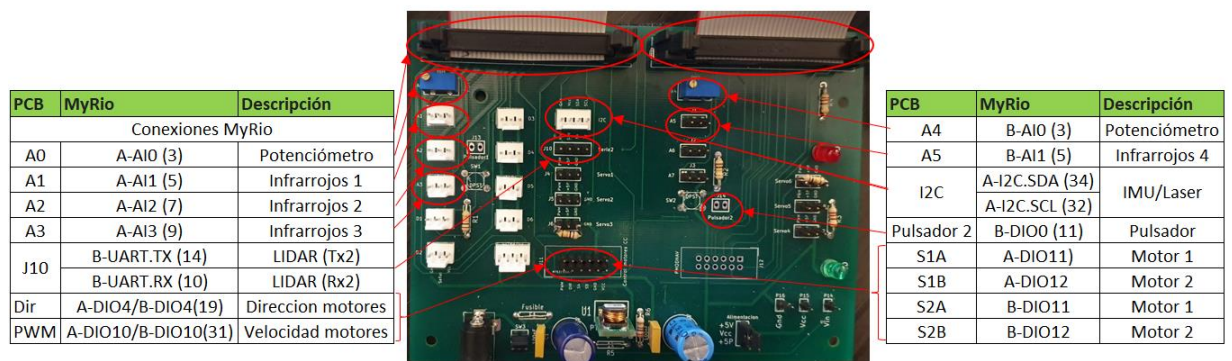


Imagen 12. Esquema de conexión PCB.

4.2.3 Sensores

Los sensores tienen la capacidad de detectar la variación de magnitudes del medio que les rodea, como puede ser la temperatura, la humedad, etc. Los sensores electrónicos o transductores tienen la capacidad de transformar esa variación en señales eléctricas que sean legibles e interpretables por la unidad de procesamiento, la cual puede mostrar el valor con el mero hecho informativo o dar la señal a un actuador en base a la medición. En este proyecto se han utilizado una serie de sensores tanto de aceleración como de proximidad para así saber en todo momento la posición del robot y los elementos que lo rodean.

4.2.3.1 IMU. Unidad de medición inercial

Un sensor IMU o unidad de medición inercial es uno de los sensores más avanzados. Esto se debe a que es una combinación de tres sensores: un acelerómetro, un giroscopio y un magnetómetro; lo que le permite medir aceleración y rotación con una precisión bastante específica. En la actualidad es muy utilizado en vehículos aéreos, sin embargo, se ha popularizado realmente gracias al auge de los drones, que usan este tipo de sensores por su tamaño reducido. Además, también es una parte fundamental de vehículos de auto-balanceo tipo segway como en el que está basado el proyecto, por tanto es indispensable para su realización.

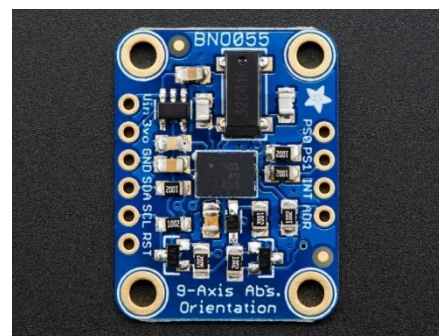


Imagen 13. IMU. Fuente: Opencircuit.es.

El sensor elegido es el BNO055 de 9 ejes de orientación de la empresa de electrónica Adafruit. Estas son algunas de sus características:

Sensors	Parameters	Value
Accelerometer	Power Mode	NORMAL
	Range	+/- 4g
	Bandwidth	62.5Hz
	Resolution	14 bits
Gyroscope	Power Mode	NORMAL
	Range	2000 °/s
	Bandwidth	32Hz
	Resolution	16 bits
Magnetometer	Power Mode	FORCED
	ODR	20Hz
	XY Repetition	15
	Z Repetition	16
	Resolution x/y/z	13/13/15 bits

Tabla 3. Características IMU. Fuente: adafruit.com.

4.2.3.2 LIDAR

Los sistemas *LIDAR*, por sus siglas en inglés *light detection ranging*, son sistemas que utilizan un escaneo mediante un sensor laser para poder determinar la distancia a un objeto o superficie. Suelen realizar un barrido para crear una nube de puntos y saber lo que hay alrededor. Este tipo de sistemas utiliza un haz de laser que rebota en un punto y así con el tiempo que tarda en volver puede medir la posición y la distancia, algo parecido a un radar de barco. Históricamente se han utilizado en topografía, pero estos últimos años ha aumentado su uso debido a los distintos proyectos de desarrollo de coches autónomos.



Imagen 14. LIDAR. Fuente: Robotshop.com

El modelo de *LIDAR* escogido es el RPLIDAR A2M6 360° Laser Scanner fabricado por Slamtec. Este sensor tiene en su interior un motor que gira 360° para realizar un barrido y crear un mapa de puntos en un plano 2D. Sus características principales son las siguientes:

Rango de distancia	0,2-18 m
Rango angular	360°
Resolución de distancia	0,5mm (min)
Resolución angular	0,45-1,35°
Velocidad de giro	0,25 ms/vuelta
Frecuencia de muestreo	2000-8000Hz
Frecuencia de escaneo	5-15Hz

Tabla 4. Características LIDAR.

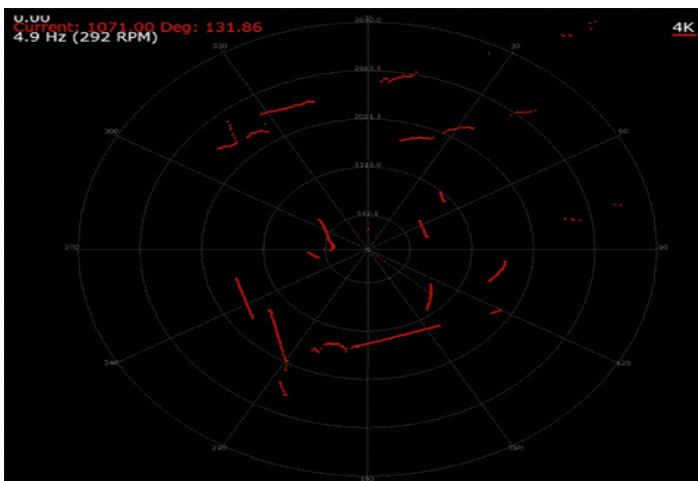


Imagen 15. Mapa detección LIDAR.

Fuente: robotshop.com

4.2.3.3 *Laser*

Los sensores laser, o también llamados *Time Of Flight* (Tiempo de vuelo), son otro tipo de dispositivos utilizados para medir distancias. Al igual que otros sensores como los de ultrasonidos o infrarrojos funcionan emitiendo una señal, en este caso es un láser el que rebota en el obstáculo y vuelve a un receptor. La distancia la calcula con la mitad del valor del tiempo que ha tardado en volver. Ciertamente es un sensor de infrarrojo por el tipo de luz emitida, pero se diferencia por la forma de emitir esta y la forma en calcular la distancia.

La principal ventaja de estos sensores frente a otro tipo de medidores de distancia es su precisión y su mayor rango de medida. No obstante, están muy limitados en cuanto amplitud o campo de visión, conocido como FOV (*field of view*), y por lo tanto solo puede detectar objetos que se aproximen casi en su perpendicular.

En el caso del modelo escogido se tienen las siguientes especificaciones en cuanto a medida:

- Rango máximo de 200cm y mínimo de 3cm dependiendo de las condiciones de medida.
- Resolución de media de 1mm
- Precisión entre el 3% y 10% según las condiciones
- Campo de visión de 25°
- Periodo de respuesta entre 200 ms para el modo más preciso y 20 ms para mayor velocidad de actualización

Tanto el rango como el error pueden variar según las condiciones ambientales, por ejemplo, según sea interior o exterior, ya que la cantidad de luz puede afectar. También es un factor influyente color del obstáculo, puesto que algunos absorben más la luz que otros. En adición, el propio sensor presenta diferentes perfiles de medida según la precisión, el rango o la tasa de actualización de la medida que se requiera.

Para el diseño se ha utilizado una unidad de este modelo, ubicada en la parte “trasera”, es decir, justo al lado contrario del LIDAR, para detectar los objetos que se encuentren en la perpendicular al modelo.



Imagen 16. Sensor laser VL5310X. Fuente: pololu.com

4.2.3.4 Infrarrojos

Los sensores de infrarrojos basan su principio de funcionamiento en la triangulación. A diferencia de los sensores laser, estos emiten un haz de luz que es detectada por el receptor según el ángulo con el que rebota en el obstáculo, al mismo tiempo este es comunicado en forma de señal de voltaje analógica. Al igual que otros sensores ópticos, como el anterior, se pueden ver afectados por la cantidad de luz ambiente.

El modelo que se va a usar es un Sharp GP2Y0A60SZL, las especificaciones técnicas que presentan son:

- Rango de medidas entre 10 cm y 150 cm
- Periodo de respuesta: $16,5 \pm 4$ ms

En cuanto a precisión, error o campo de visión la ficha técnica no ofrece más información. Como se puede observar están limitados en cuanto a distancia mínima de detección en comparación en el láser, por otra parte, el tiempo de muestreo es menor.



Imagen 17. Sensor infrarrojo. Fuente: pololu.com.

El diseño del robot incorpora 4 sensores de este tipo, dos en los laterales y otros dos a los lados del sensor laser, pero a 45° grados cada uno. De esta forma se consigue un mayor campo de visión: cinco sensores para un rango de detección de 180°.

5 DISEÑO Y MODELACIÓN DEL PROTOTIPO

El diseño y concepción del prototipo se ha realizado mediante el software de CAD Solidworks. Una vez seleccionados los componentes que integran el robot se ha modelado una estructura que ensamble todos ellos. La estructura principal está compuesta de perfiles de aluminio de 20x20mm de la tienda RS Components y fabricados por Bosch Rexroth, una rama del grupo Bosch.

El diseño se ha ideado para que tenga una forma lo más compacta posible a la par que accesible para el montaje y desmontaje de determinados elementos. Como se puede observar la placa de control MyRio se encuentra en la parte superior para que conectarlo al ordenador y así para poder programarla con mayor facilidad. Esta localización también facilita su extracción, algo necesario pues este dispositivo se utiliza para varios proyectos dentro del departamento. También se han diseñado algunos componentes para la unión de los perfiles, así como una serie de soportes para la electrónica y el control, como es el caso de unas anillas por las que pasar un velcro para sujetar la batería principal.

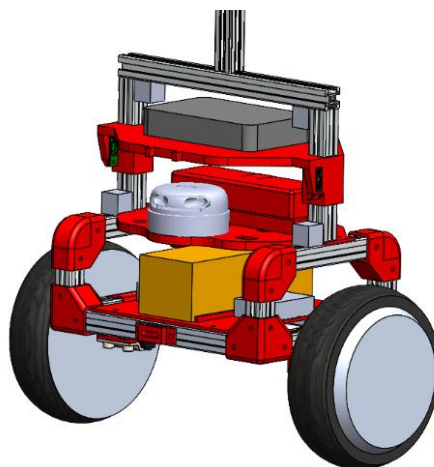


Imagen 18. Modelo CAD.

La disposición de los drivers y la batería, la parte de potencia, está próxima a los motores, mientras que la electrónica se encuentra en dos niveles superiores. De esta manera se pueden diferenciar tres niveles dentro de la estructura, en la que se emplearán los últimos niveles para albergar las partes más pesadas, con el fin de lograr un centro de gravedad bajo, lo que favorecerá el equilibrio del robot.

Este diseño es principalmente funcional, aunque tiene como futuro objetivo continuar su desarrollo fabricando un carenado para que los componentes electrónicos no queden expuestos a la vista y así mejorar su estética visual.

6 COMPONENTES REALIZADOS CON IMPRESIÓN 3D

La tecnología de fabricación por impresión en tres dimensiones es bastante reciente y aún está en pleno proceso de desarrollo, aunque ya es accesible para casi cualquier persona e incluso a un precio asequible si se compara con años atrás.

Lo cierto es que dentro de la impresión 3D existen varios tipos según el método que se use, como por ejemplo la extrusión, la polimerización VAT o por inyección. El proceso utilizado para este caso es el de extrusión de polímeros, también llamado modelo por deposición fundida, que es el método más común y extendido hoy en día. Su principio es relativamente sencillo. Primero hay que diferenciar las distintas partes por las que está compuesta. Generalmente suelen tener 4 elementos fundamentales: una bobina de un hilo termoplástico, una boquilla extrusora, una base y tres motores paso a paso.

Para poder crear formas y piezas, la boquilla se calienta hasta el punto de fusión del plástico y deposita sobre la base un filamento fundido que se solidifica en poco tiempo. Los motores se encargan de mover la extrusora en los tres ejes del plano tridimensional creando las figuras capa por capa en dirección vertical ascendente. La información para crear la pieza parte de un modelo 3D digital que se envía a la impresora mediante un software específico.

Este tipo de impresión se suele utilizar para la fabricación de prototipos a pequeña escala con un coste bajo. No destaca por una gran precisión dimensional, ni por una elevada resistencia mecánica de las piezas, también se trata de un proceso lento, por lo cual no es adecuado para la fabricación masiva. Sin embargo, dado que en este caso se trata de un prototipo y de que no se requiere la producción de grandes cantidades, las tolerancias requeridas son amplias y no está sometido a elevadas sollicitaciones mecánicas. Su bajo coste, su accesibilidad y su fácil manejo son lo que hace el método idóneo para este caso.

Ante la disponibilidad de dos impresoras a nivel profesional en los laboratorios, se ha hecho uso de las mismas para la fabricación de las piezas del prototipo. El termoplástico empleado en este caso ha sido el PLA (ácido poliláctico), es uno de los polímeros más utilizados para la impresión 3D. Una de las características por la cual este material resulta tan interesante es porque es un material biodegradable, por lo que está fabricado a partir de materia orgánica como el maíz. Además, posee unas propiedades mecánicas en cuanto a tracción y rigidez bastante buenas en cuanto a materiales poliméricos se refiere. Su

temperatura de fusión se encuentra entorno a los 115° Celsius, relativamente baja en comparación con otros materiales para impresoras 3D.

Propiedades mecánicas		Propiedades de impresión	
Modulo elástico	3120 Mpa	Temperatura extrusor	90-220 °C
Límite de tracción	70 Mpa	Temperatura de cama	65°C
Deformación unitaria	5%l	Velocidad	10-70 mm/s
Alargamiento a la rotura	20%	Altura mínima de la capa	0,05 mm
Resistencia al impacto	3,4 KJ/m ² (Charpy)	Retracción	4 mm
Densidad	1,24 g/cm ³	Velocidad de retracción	40 mm/s

Tabla 5. Propiedades PLA. Fuente: BCN3D.

Otra de las opciones es el ABS, otro de los materiales más usados en impresión. Sus propiedades pueden observarse en la tabla siguiente. Comparándolas con las de PLA se puede ver que tanto el módulo elástico como el límite de tracción son bastante menores, en cambio la resistencia al impacto es mucho mayor. A pesar de que el robot no está pensado para soportar grandes cargas, el PLA continuará siendo la primera opción por su mayor resistencia y por su, además, coste ligeramente menor.

Propiedades mecánicas	
Modulo elástico	1406 Mpa
Límite de tracción	29.5 Mpa
Deformación unitaria	10.9 %
Alargamiento a la rotura	-
Resistencia al impacto	32.0 KJ/m ² (Charpy)
Densidad	1,075 g/cm ³

Tabla 6. Propiedades ABS. Fuente: BCN3D

Los dos modelos de impresora que se han empleado son la SIGMA y la EPSILON W50, ambos de la empresa BCN3D Technologies y disponibles en los laboratorios del Campus. Las características se describen en la siguiente tabla:

		EPSILON W50	SIGMA D25
Capacidad	Largo (mm)	420	420
	Ancho (mm)	300	300
	Alto (mm)	400	200
	Volumen (L)	50	25
Temperatura de cama máxima (°C)		120	80
Diámetro extremo caliente (mm)		0,4 - 0,6 - 0,8 - 1,0	0,4 - 0,8
Diámetro filamento (mm)		2,85±0,05	2,85±0,05

Tabla 7. Comparativa impresoras. Fuente: BCN3D.

Además, la EPSILON permite extruir con mayor variedad de materiales más allá de los estándar como son el PLA o el PET. Por ejemplo, admite materiales técnicos (ABS, PP, PA) o incluso materiales compuestos y metálicos. No obstante, esta impresora se ha utilizado para las piezas más grandes debido a su mayor tamaño.

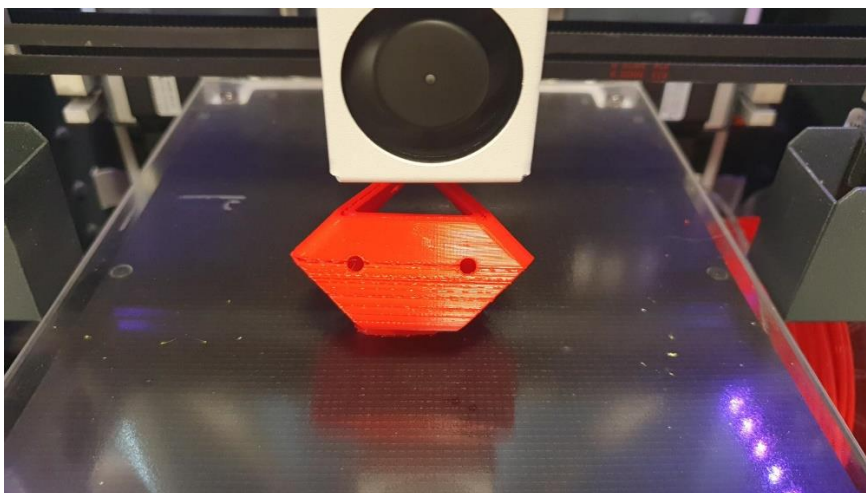


Imagen 19. Proceso de impresión.

6.1 ELEMENTOS DE UNIÓN

Para la construcción de la estructura se han utilizado los perfiles de aluminio de 20mm, aunque estos requieren de algún elemento de unión. En el mismo lugar donde se han adquirido existen escuadras para poder unirlos. No obstante, se ha optado por diseñar unas piezas a media que sirvan tanto como conexiones como para darle una forma más redondeada y estética a la estructura.

6.1.1 Esquinas

Empezando por el piso inferior encontramos los elementos de potencia, como son los drives, la batería y las ruedas. Partimos de una base rectangular con cuatro perfiles verticales en los extremos. Para este punto se ha diseñado una pieza de conexión de 3 perfiles a un ángulo de 90° entre sí. Hay 4 piezas de este tipo, una por cada esquina. La pieza se fija a cada perfil atornillándola con un tornillo de métrica 4 y una tuerca insertada en las ranuras del propio perfil.

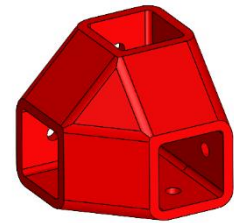


Imagen 20. Esquina.

6.1.2 Codos

El segundo elemento de unión son unos codos que unen los pilares con dos barras horizontales. En esta ocasión se ha necesitado de la fabricación de cuatro unidades de este modelo. Al igual que en el caso anterior, estas piezas utilizan el mismo sistema de fijación a los perfiles, mediante tornillos y tuercas insertadas en el perfil.

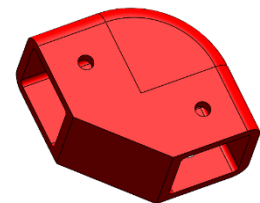


Imagen 21. Codo.

6.2 ACOPLAMIENTO RUEDAS

Para el anclaje de las ruedas a la estructura también se han diseñado unas piezas específicas. Estas piezas van insertadas en los perfiles laterales de la base rectangular y sujetas mediante tornillos. Para fijar las ruedas se han aprovechado unas bridas metálicas y cuatro tornillos de métrica 5 con las que iban sujetas a la estructura del *hoverboard*.

El eje por el cual va sujeto la rueda tiene forma de segmento circular, de manera que la parte plana queda en contacto con la brida. Así pues, para poder sujetarla a la pieza se ha realizado una acanaladura en forma de sección circular y cuatro agujeros donde van insertados los tornillos. Para fijarlos se han diseñado una serie de ranuras para poder insertar una tuerca.

Como es una pieza con mayores sollicitaciones mecánica que el resto, ya que es la encargada de transmitir el par generado por los motores a la estructura y sobre la que recae todo el peso, se ha realizado un análisis de tensiones para comprobar su resistencia mediante una simulación con el paquete de análisis estructural Solidworks simulation perteneciente al software de CAD SolidWorks.

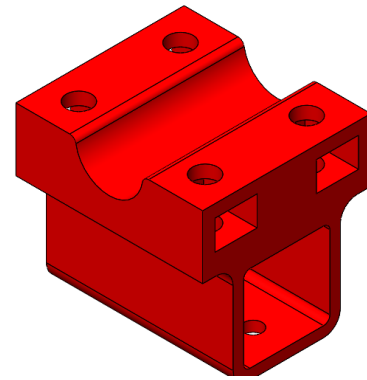


Imagen 22. Acoplamiento ruedas.

6.2.1 Análisis de tensiones

Para el análisis de tensiones de la pieza se han supuesto dos hipótesis para comprobar cuál es la más restrictiva y puede llegar a romper la pieza. Se va a analizar desde el punto de vista del factor de seguridad con respecto a la tensión máxima, puesto que el propio programa nos permite su visualización. La teoría de fallo que se va a considerar para calcular este factor es la teoría de Coulomb-Morh, puesto que el PLA es un material relativamente frágil y la teoría de fallo de Von-Mises que aparece por defecto al calcular es más adecuada para materiales dúctiles.

6.2.1.1 Hipótesis 1

Para la primera hipótesis se ha tenido en cuenta el par generado por los motores. A pesar de no ser uno de los modelos más potentes, 200W por motor, en las especificaciones del producto indica que puede llegar a soportar hasta 120kg, por lo cual el par es algo que tener en cuenta.

6.2.1.1.1 Obtención del par

Al ser un producto de fabricación china y considerarse más bien como un juguete, no existe mucha información acerca de las características. Por ello se ha tenido que realizar un experimento en el laboratorio para la obtención del par máximo que pueden llegar a alcanzar estos motores.

Para su realización se ha enrollado un cordón alrededor del perímetro exterior del neumático y se ha conectado a un indicador de fuerza. Una vez montado se ha encendido el motor y se ha puesto a máxima potencia. Para controlarlo se ha conectado un potenciómetro al controlador y se ha realizado manualmente.



Imagen 20. Montaje para medición de par.



El indicador de fuerza utilizado ha sido el modelo AFTI de la marca MECMESIN. Es un indicador portátil que se puede conectar a ordenador para transferencia de datos. Este indicador, capaz de medir fuerza y torsión, tiene una pantalla de muestra de datos que pueden mostrarse en diferentes unidades. Existen varios modelos de células de carga compatibles, en este caso el modelo incluido en el kit es el S-200N, una célula en forma de “ese” con capacidad de medida de hasta 200N con una precisión del 99,75%.

Imagen 21. Instrumento medidor de fuerza.

Tras la realización del ensayo se ha obtenido una fuerza máxima de 68,6N. Sabiendo la fuerza y el radio de la rueda, $D=6,5'$ (165,1mm) $\rightarrow R= 82,55$ mm, especificado en las características del producto se puede calcular el momento de fuerza producido. Partiendo de los datos obtenidos y la propia expresión de par (Momento= Fuerza x distancia) obtenemos:

$$M = 68,6N \times 0,08255 m = 5,66 Nm$$

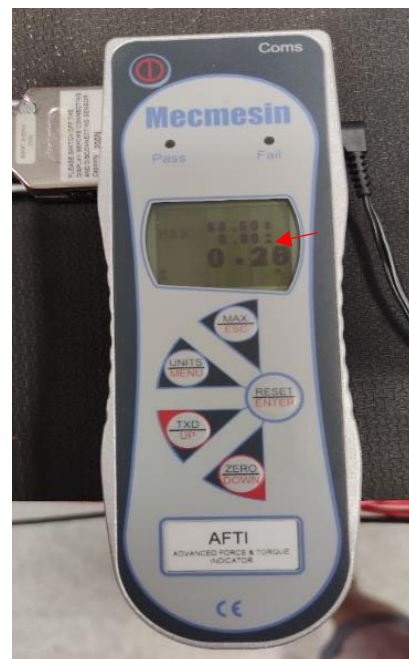
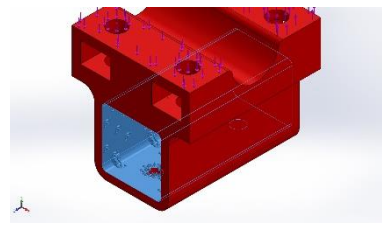


Imagen 22. Valor de fuerza obtenido.

6.2.1.1.2 Simulación

Con el dato del par se ha realizado la primera simulación. Para ello en el programa se han de seleccionar unas sujeciones y una fuerza aplicada. En este caso se ha puesto como fija en las tres direcciones la cara interna de la parte donde va insertado el perfil, esta parte es la que va a recibir la fuerza ejercida por las ruedas y transmitirla al resto de la estructura.

Para poner la fuerza el programa existe una opción de insertar momento en la cual se ha de seleccionar la cara cilíndrica donde va el eje y las caras donde se aplica. En este caso se ha seleccionado la cara cilíndrica y las dos caras que van en contacto con la brida y reciben la fuerza. Lo calculado anteriormente se ha multiplicado por un factor de seguridad de 1,5, principalmente porque debido al proceso de fabricación por impresión 3D la resistencia puede variar según la dirección de aplicación de la fuerza. Por consiguiente, el valor introducido ha sido de 7,2 Nm.

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades:	8 cara(s)	
		Tipo:	Geometría fija	
Fuerzas resultants				
Componentes	X	Y	Z	
Fuerza de reacción(N)	-0,0333774	0,00887215	0,0291246	
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	

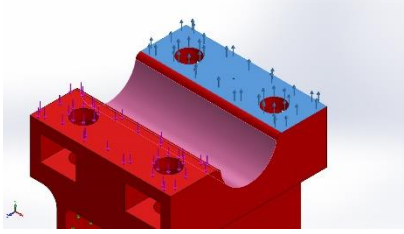
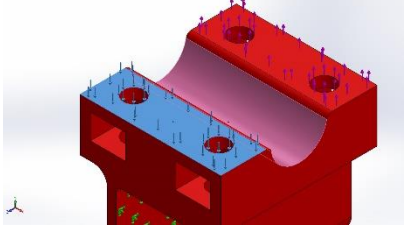
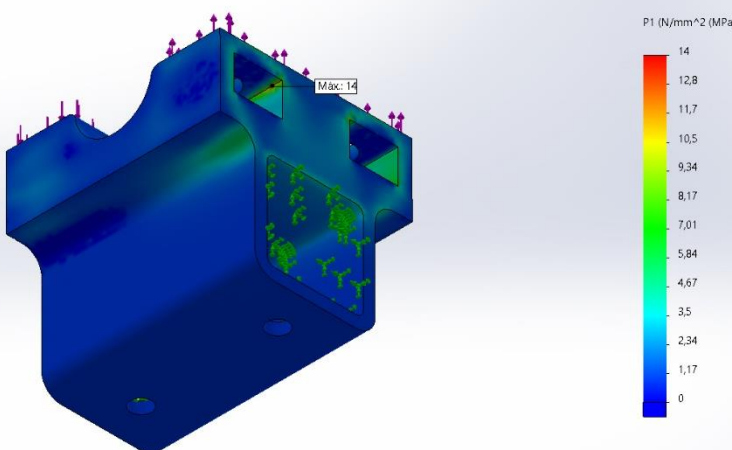
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga	
Fuerza-1		Entidades:	1 cara(s)
		Referencia:	Cara< 1 >
		Tipo:	Aplicar momento torsor
		Valor:	-7,2 N.m
Fuerza-2		Entidades:	1 cara(s)
		Referencia:	Cara< 1 >
		Tipo:	Aplicar momento torsor
		Valor:	-7,2 N.m

Tabla 8. Cargas y sujeciones.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones 1	P1: Primera tensión principal	-5,52N/mm ² (MPa) Nodo: 82441	14N/mm ² (MPa) Nodo: 91521

Nombre del modelo: soporte rueda v2
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1



P1 (N/mm² (MPa))

14
12,8
11,7
10,5
9,34
8,17
7,01
5,84
4,67
3,5
2,34
1,17
0

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

soporte rueda -Análisis estático 1-Tensiones-Tensiones1

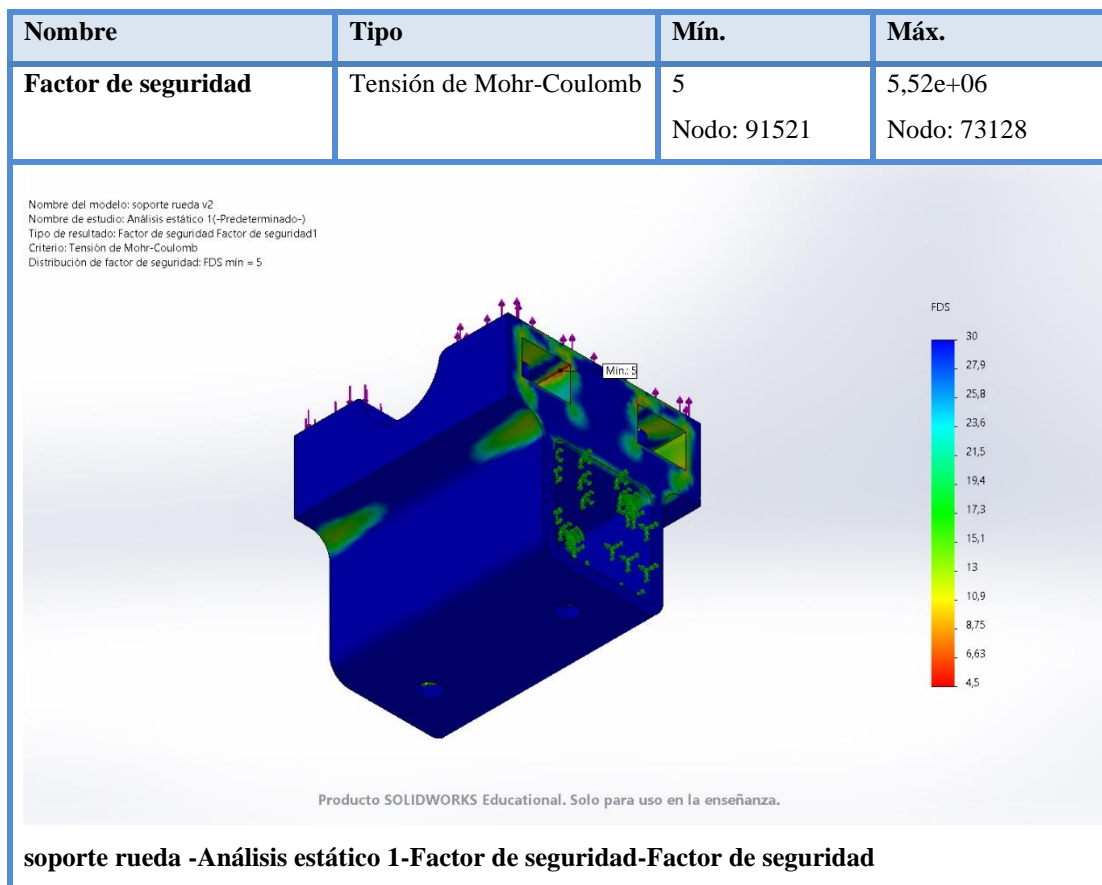
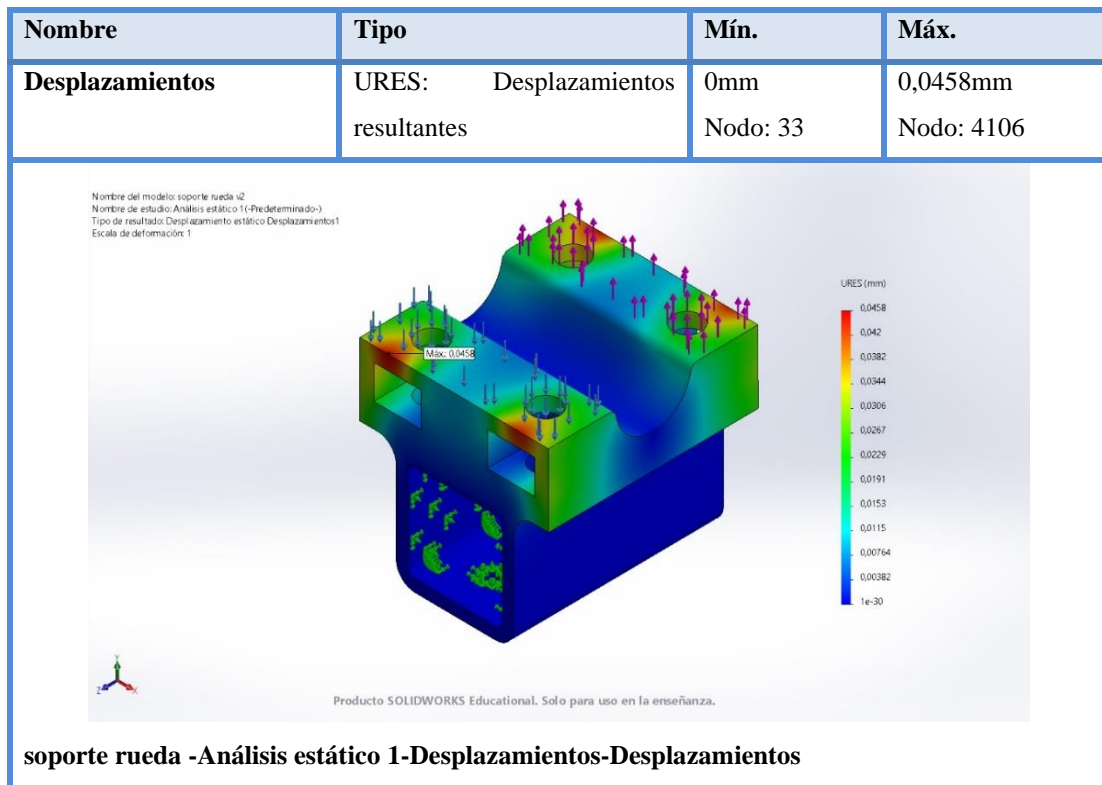


Tabla 9. Resultados del estudio.

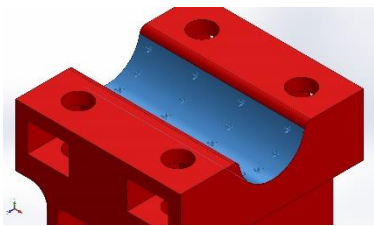
Como se puede comprobar con los datos resultantes del informe de análisis estático, la pieza aguantaría las cargas aplicadas. El factor de seguridad mínimo es de 5, es decir, el límite de tracción es cinco veces mayor a la tensión máxima según la teoría de fallo de Coulomb-Morh. Esta teoría analiza las 3 tensiones principales y da como resultado la más desfavorable en la combinación de la mayor tensión a tracción con la menor a compresión, en este caso es la tensión principal 1 “P1” con un valor de 14 Mpa. En cuanto a la deformación está entorno a los 0,05 mm, prácticamente irrelevante.

A pesar de que en la imagen que imprime el informe no se aprecia los puntos de tensión máxima, podemos confirmar que es en las esquinas de los alojamientos para las tuercas donde hay mayor tensión, ya que estas hacen el efecto de concentrador de tensiones, el cual se podría reducir añadiendo un redondeo.

6.2.1.2 Hipótesis 2

Para esta segunda hipótesis se ha tenido en cuenta la acción de la gravedad sobre la estructura, pero en vez del peso propio, se ha sobredimensionado poniendo un valor bastante superior para simular el supuesto caso de que se suba una persona encima. Se ha considerado un peso de 110kg en total. Como hay dos ruedas el peso que soporta cada pieza es la mitad, por ello en el programa se ha introducido un valor de 550 N.

6.2.1.2.1 Simulación

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades:	1 cara(s)	
		Tipo:	Geometría fija	
Fuerzas resultants				
Componentes	X	Y	Z	
Fuerza de reacción(N)	-0,00142109	-549,998	0,000475287	
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	

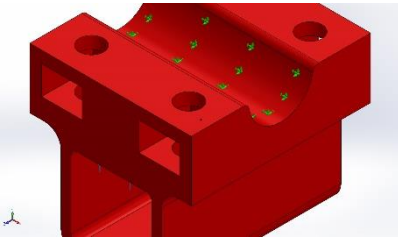
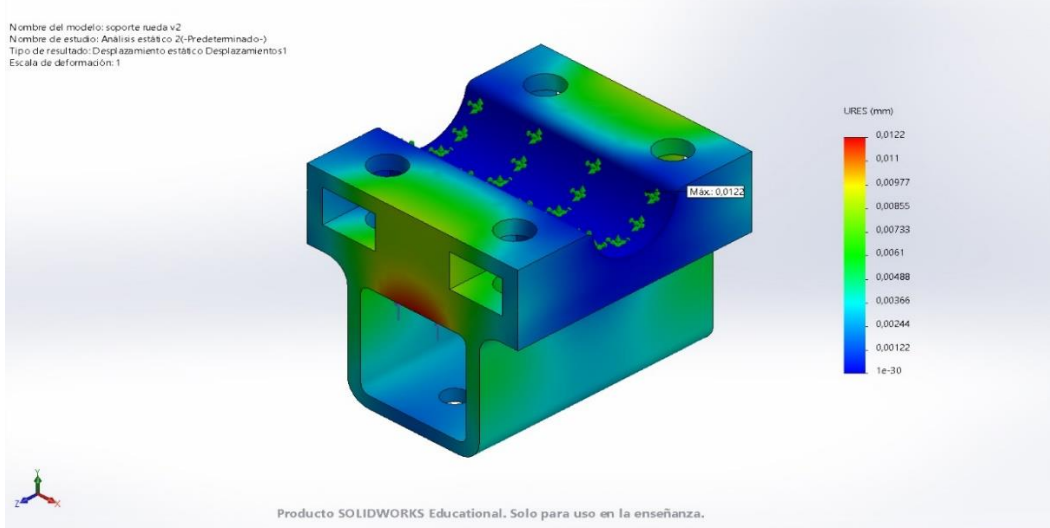
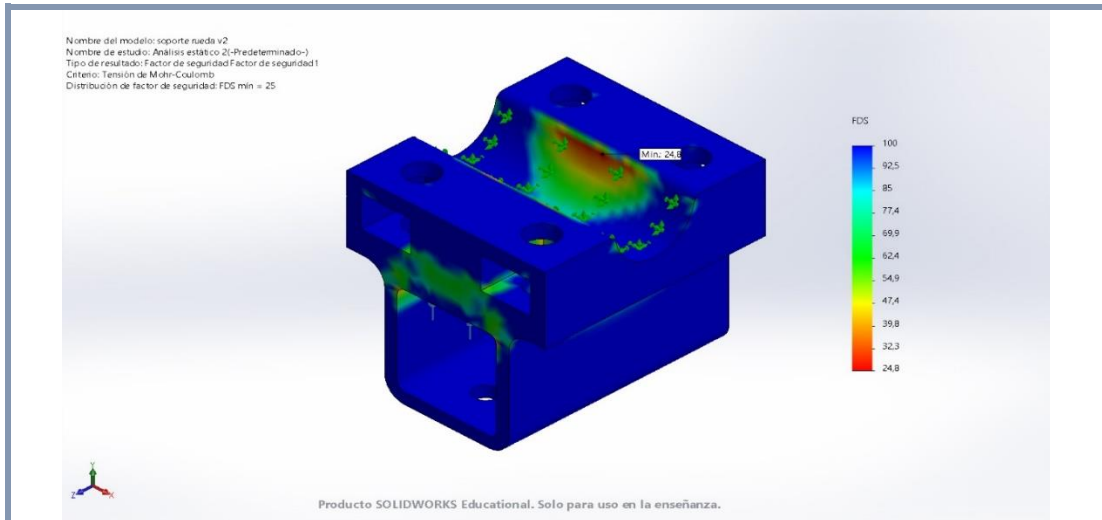
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 550 N

Tabla 10. Cargas y sujeciones.

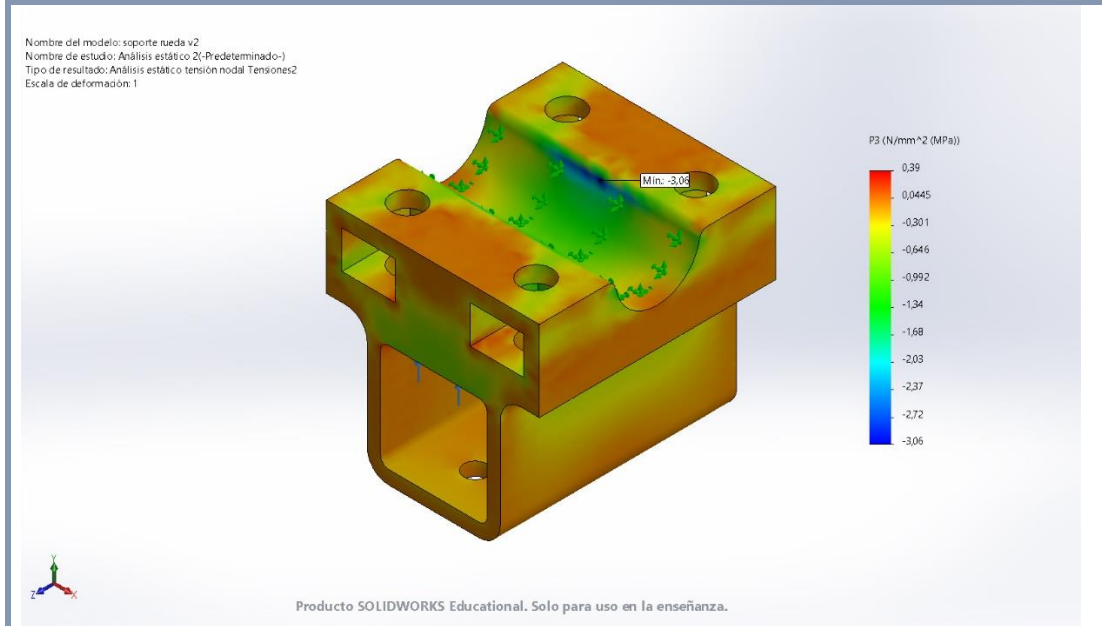
Para la simulación se ha aplicado la fuerza sobre la cara inferior de la parte interna donde se inserta el perfil. Como parte fija se ha optado por la cara cilíndrica, que está en contacto con el eje de la rueda y va a transmitirle el peso.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0mm Nodo: 97	0,0122mm Nodo: 627
<div style="text-align: center;">  <p>Nombre del modelo: soporte rueda v2 Nombre de estudio: Análisis estático 2(-Predeterminado-) Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1 Escala de deformación: 1</p> <p>URES (mm)</p> <p>0,0122 0,011 0,00977 0,00855 0,00733 0,0061 0,00488 0,00366 0,00244 0,00122 1e-30</p> <p>Max: 0.0122</p> <p>Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.</p> </div>			
soporte rueda v2-Análisis estático 2-Desplazamientos-Desplazamientos1			
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de Mohr-Coulomb	24,8 Nodo: 8329	3,8e+04 Nodo: 13468



soporte rueda v2-Análisis estático 2-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones2	P3: Tercera tensión principal	-3,06N/mm ² (MPa) Nodo: 8329	0,39N/mm ² (MPa) Nodo: 10127



soporte rueda v2-Análisis estático 2-Tensiones-Tensiones2

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones3	P1: Primera tensión principal	-0,656N/mm ² (MPa) Nodo: 16031	1,71N/mm ² (MPa) Nodo: 11446

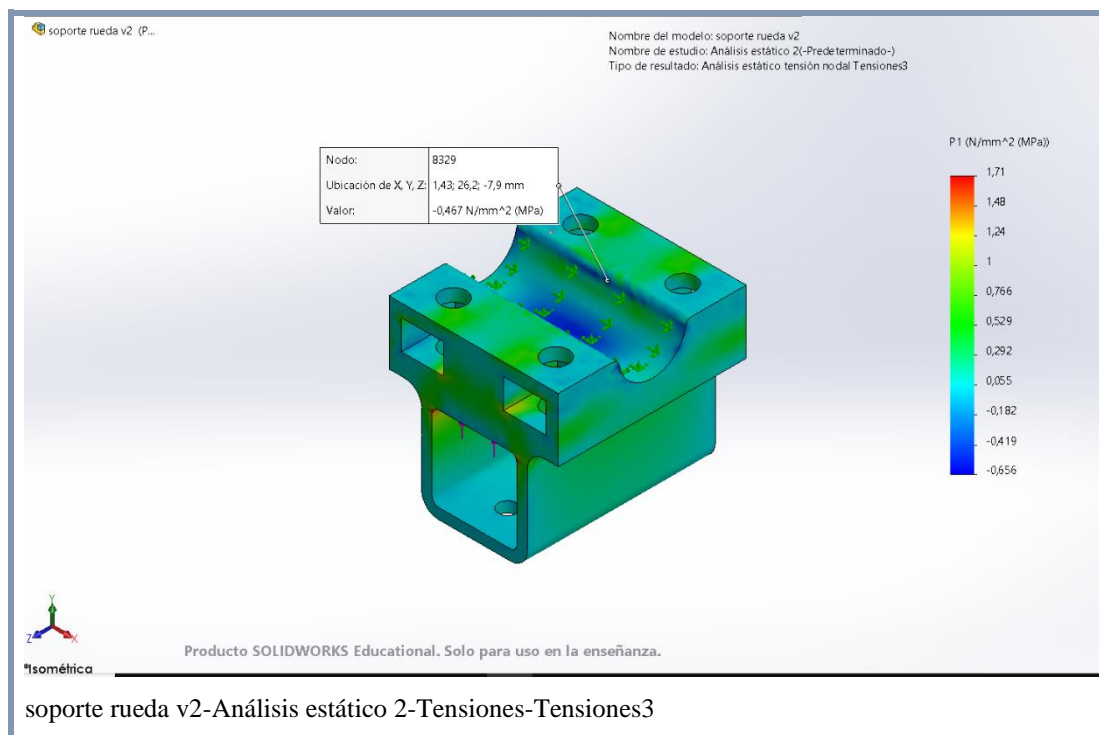


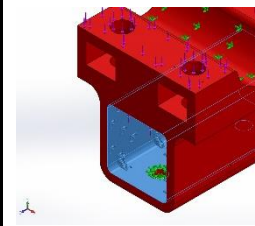
Tabla 11. Resultados del estudio.

Como se puede observar ha sido un resultado factible: apenas somete a tensiones a la pieza y se ha obtenido un valor de factor de seguridad bastante alto. En este caso en el punto más desfavorable la tensión principal 1 y 3 son de compresión, para estos casos el programa solo utiliza la tensión de mayor valor absoluto para calcular el factor de seguridad, así se puede comprobar que el factor de seguridad (24,8) es igual a el límite de compresión (76 Mpa) entre la tensión máxima (3,06 Mpa).

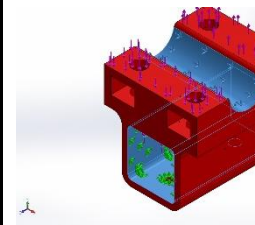
6.2.1.3 Hipótesis 3

6.2.1.3.1 Simulación

Se podría concluir estableciendo que la primera hipótesis es la más restrictiva. No obstante, como ultima comprobación se han simulado las dos hipótesis al mismo tiempo obteniendo un resultado favorable.

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		<p>Entidades: 8 cara(s)</p> <p>Tipo: Geometría fija</p>

Fuerzas resultantes			
Componentes	X	Y	Z
Fuerza de reacción(N)	-0,0107574	-550,224	140,284
Momento de reacción(N.m)	0	0	0

Fijo-2		Entidades: 9 cara(s) Tipo: Geometría fija
--------	---	--

Fuerzas resultantes			
Componentes	X	Y	Z
Fuerza de reacción(N)	0,00204128	-549,988	0,00244185
Momento de reacción(N.m)	0	0	0

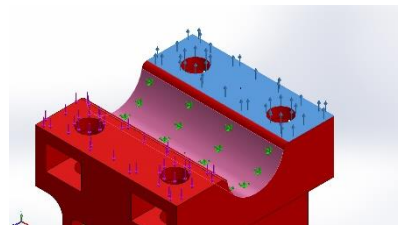
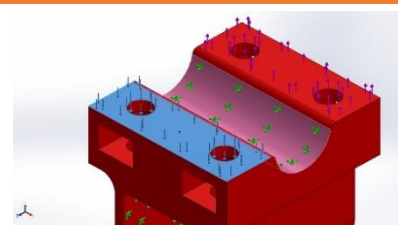
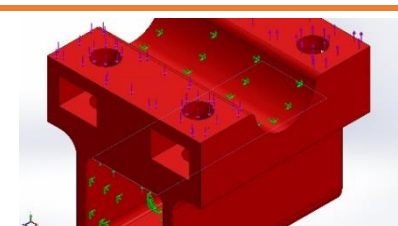
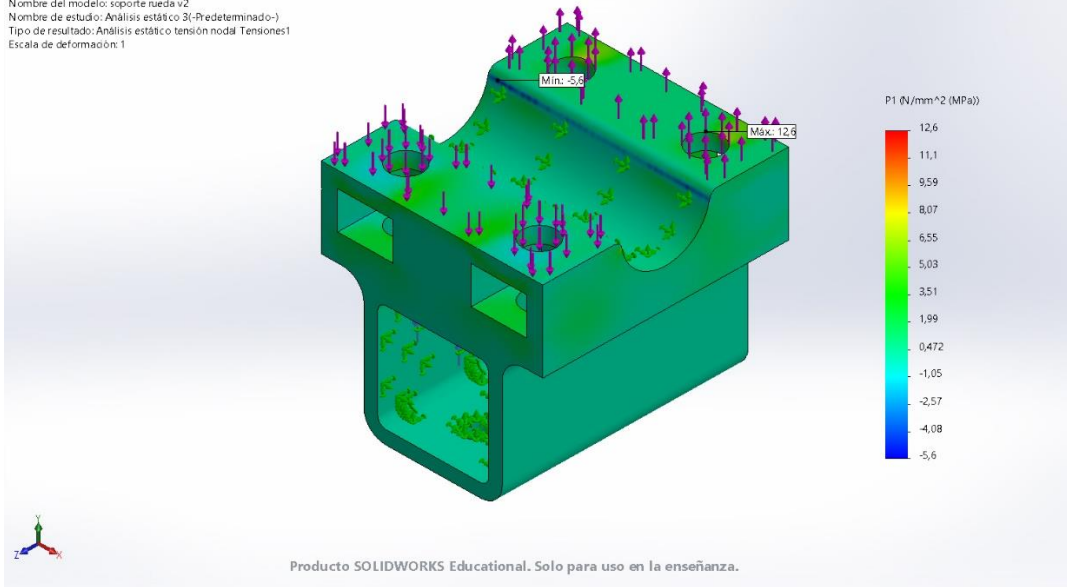
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar momento torsor Valor: -7,2 N.m
Fuerza-2		Entidades: 1 cara(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar momento torsor Valor: -7,2 N.m
Fuerza-3		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 550 N

Tabla 12. Cargas y sujeciones.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	P1: Primera tensión principal	-5,6N/mm ² (MPa) Nodo: 117410	12,6N/mm ² (MPa) Nodo: 91521

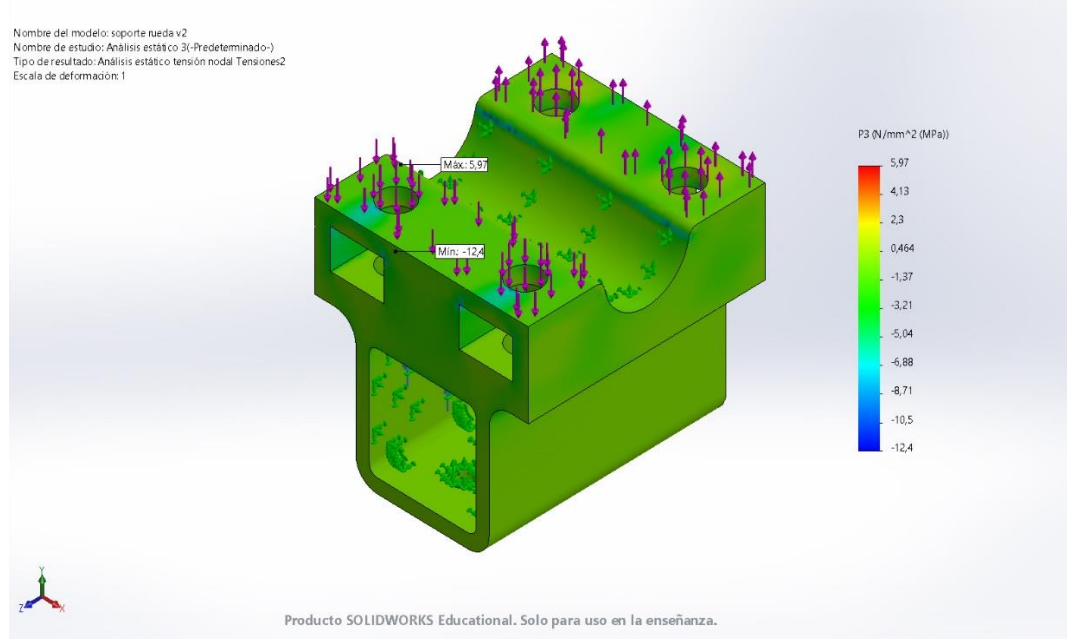
Nombre del modelo: soporte rueda v2
Nombre de estudio: Análisis estático 3(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1



soporte rueda v2-Análisis estático 3-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones2	P3: Tercera tensión principal	-12,4N/mm ² (MPa) Nodo: 82441	5,97N/mm ² (MPa) Nodo: 119502

Nombre del modelo: soporte rueda v2
Nombre de estudio: Análisis estático 3(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones2
Escala de deformación: 1



soporte rueda v2-Análisis estático 3-Tensiones-Tensiones2

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
--------	------	------	------

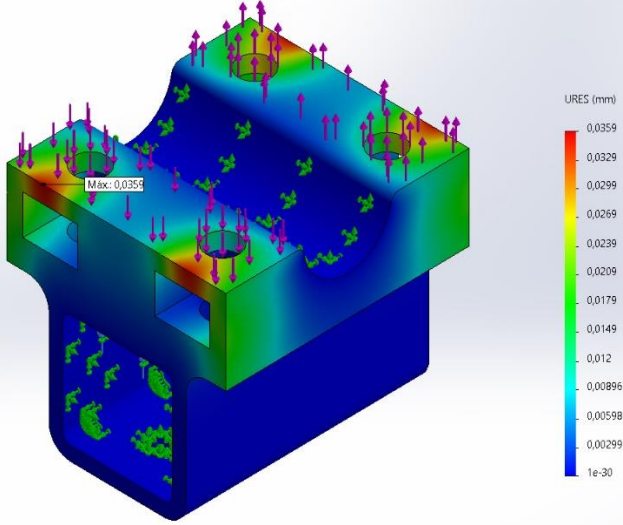
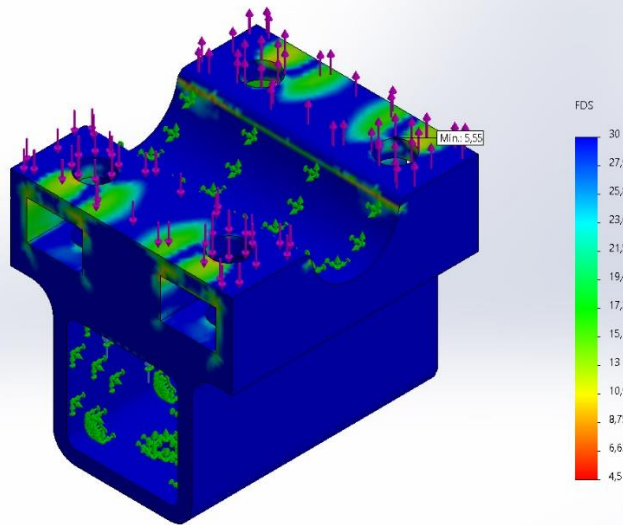
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0mm Nodo: 33	0,0359mm Nodo: 114415
<p>Nombre del modelo: soporte rueda v2 Nombre de estudio: Análisis estático 3(-Predeterminado-) Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1 Escala de deformación: 1</p>  <p>Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.</p>			
soporte rueda v2-Análisis estático 3-Desplazamientos-Desplazamientos1			
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de Mohr-Coulomb	5,55 Nodo: 91521	9,1e+07 Nodo: 119853
<p>Nombre del modelo: soporte rueda v2 Nombre de estudio: Análisis estático 3(-Predeterminado-) Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1 Criterio: Tensión de Mohr-Coulomb Distribución de factor de seguridad: FDS min = 5,5</p>  <p>Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.</p>			
soporte rueda v2-Análisis estático 3-Factor de seguridad-Factor de seguridad1			

Tabla 13. Resultados del estudio.

6.2.1.4 Conclusión

La combinación muestra que la pieza aguantaría los esfuerzos, no obstante, se realizan ensayos de comprobación en un montaje real, puesto que debido al método de fabricación del prototipo (impresión 3D) sus propiedades se pueden ver afectadas según los parámetros establecidos a la hora de imprimir y, además, al imprimirse por deposición de capa fundida el diseño se puede comportar de una manera anisotrópica. De la misma manera, comprobamos con el resto de piezas impresas que, aunque no han sido simuladas, ocurre lo mismo que con los soportes de las ruedas, siendo las más solicitadas las esquinas y los codos.

6.3 SOPORTE BATERÍA SECUNDARIA

El soporte de la batería que alimenta el control consta de dos partes. La primera parte, la base, es la que va atornillada al soporte inferior de la electrónica, y la segunda es una caja en al cual se inserta la batería.

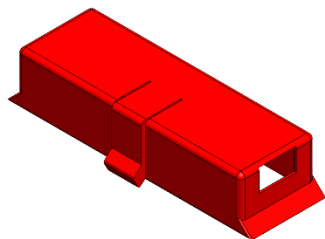


Imagen 24. Soporte superior.

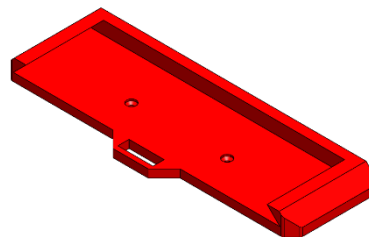


Imagen 23. Soporte inferior.

Esta ideado con unas ranuras de forma que sea desmontable para poder sacar la batería para cambiarla o cargarla. Además, incluye un cierre rápido aprovechan la flexibilidad del material, de esta forma se facilita la extracción y evita la necesidad de estar usando herramientas.

6.4 ENGANCHES BATERÍA PRINCIPAL

Para que la batería principal quede sujeta y sea fácil de sacar se ha pensado en unas anillas atornilladas a la estructura a través de las cuales se pasa una cinta de velcro que inmoviliza la batería.

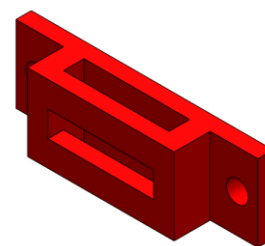


Imagen 25. Enganche.

6.5 SOPORTES ELECTRÓNICA

Con el objetivo de dar una forma compacta y que se puedan ubicar todos los componentes, los soportes de la electrónica se ha dividido en dos niveles. El diseño en dos piezas facilita el montaje de los componentes y da la opción de regular la separación entre ellos. Ambas partes incluyen un nervio en la parte inferior para dotarlas de mayor rigidez y una serie de ranuras para poder pasar los cables.

6.5.1.1.1 Parte superior

En la parte superior están ubicadas la placa de control Myrio, como ya se ha mencionado, y la placa de circuito impreso en el lado opuesto. De esta manera, al estar próximas se facilita su conexión. Esta parte se inserta en los dos pilares laterales que parten del segundo nivel y va sujeta mediante tornillos. También se incluyen unos soportes a medida para los sensores de infrarrojos y láser, además de unas pestañas para protegerlos en caso de vuelco.

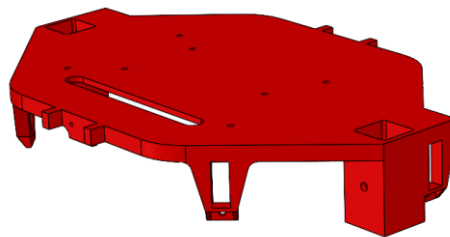


Imagen 26. Nivel superior.

6.5.1.1.2 Parte intermedia

La parte intermedia va apoyada y atornillada a los dos perfiles horizontales del segundo nivel. En esta parte se montan el sensor LIDAR, que está ligeramente orientado hacia afuera con el objetivo de tener un mayor campo de visión sin interferencias con ningún elemento de la estructura; el soporte de la batería secundaria que alimenta a la electrónica; y, en la parte de abajo, la IMU, de forma que quede en el centro de todo el conjunto y las mediciones sean las reales.

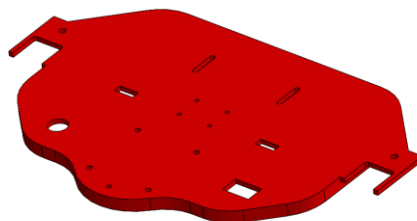


Imagen 27. Nivel intermedio.

6.5.1.1.3 Parte inferior

Por último, el nivel inferior, aunque también incluye componentes electrónicos, es considerado la parte de potencia, ya que se compone de la batería y los controladores que alimentan y manejan los motores que se montan a los lados.

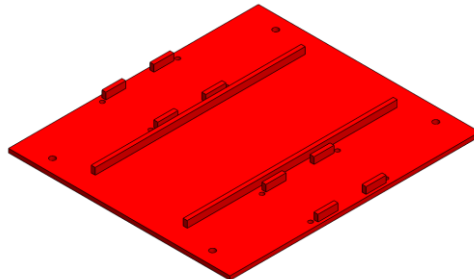


Imagen 28. Nivel inferior.

7 MONTAJE

En primer lugar, se procede con el desmontaje del *hoverboard* para extraer las piezas que se van a utilizar. En el proceso se puede cómo es el interior de estos aparatos. A simple vista se observan que las dos mitades van conectadas por un eje que le confiere la capacidad torsional, también se observa cómo están distribuidos los componentes: a un lado la batería y a otro la parte de control. Además, cada motor/rueda tiene dos sensores ópticos, que es la forma con la cual se pueden controlar sentido de giro de las ruedas. Otro punto interesante es cómo se encuentran ancladas las ruedas, sistema que se aprovechará en el diseño de nuestro robot. Por último, también se ven algunos extras tales como altavoz, luces, etc.

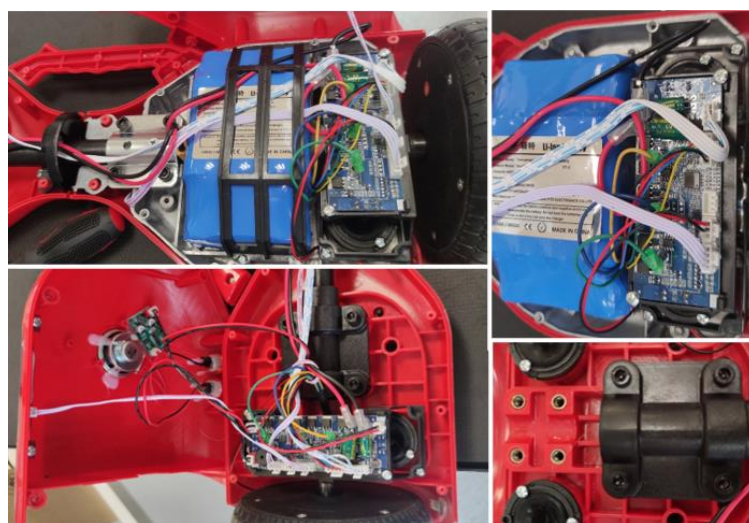


Imagen 29. Detalle de componentes del hoverboard.

Una vez tenemos los componentes del *hoverboard* se imprimen, acorde a sus medidas, las piezas diseñadas. Estas, como ya se ha explicado, son niveles inferior, intermedio y superior, codos, esquinas, soportes batería, y soporte ruedas.

Por último, para poder montar la estructura se cortan los perfiles de 20x20 con su medida correspondiente. Tras esto ya se tendrían todos los elementos estructurales.

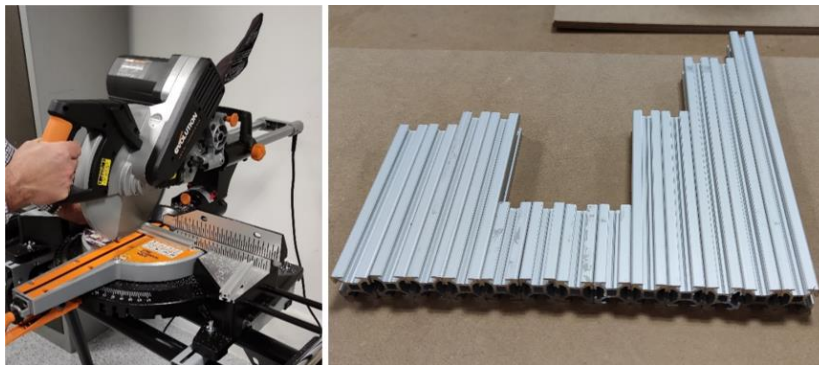


Imagen 30. Corte de los perfiles.

Con todas las partes ya preparadas, empezamos montando la base de la estructura. Esta presenta una forma rectangular, unida por las cuatro esquinas y con unos soportes para las ruedas. Sobre ella se apoya el nivel inferior que sujeta la batería y los drivers.

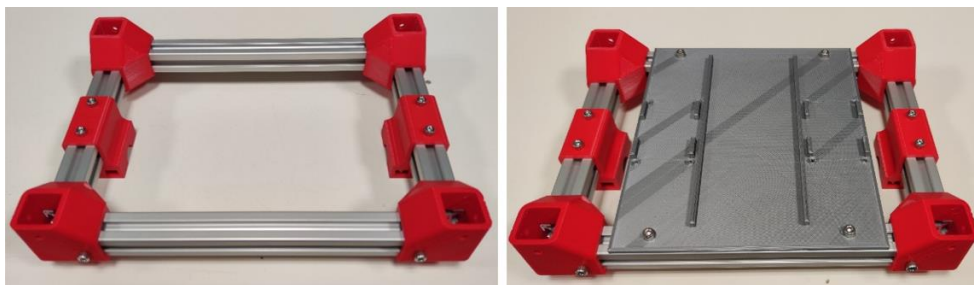


Imagen 31. Base, y base con nivel inferior.

A partir de la base se colocan los pilares de las esquinas, sobre los que se posicionan, al mismo tiempo, los codos. Entre estos últimos situaremos las dos barras laterales, que servirán de soporte para el nivel intermedio que se añadirá más tarde, puesto que está diseñado para poder ser montado y desmontado sin necesidad de desmontar la estructura.

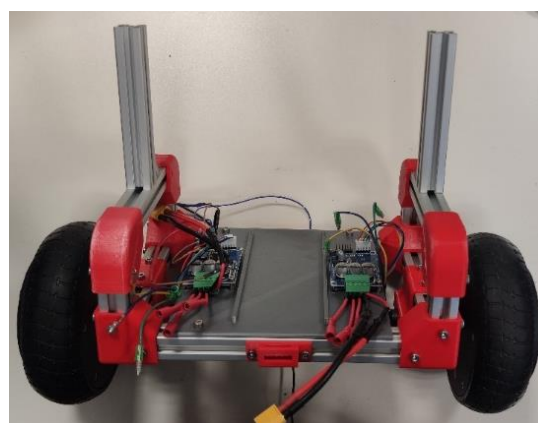


Imagen 32. Estructura y nivel inferior.

En la parte superior a las barras laterales intermedias van montados dos pilares anclados con escuadras. A lo largo de estos se desliza el nivel superior, lo que permite regular la altura durante el montaje. Sin embargo, este sector no puede ser manipulado una vez se termina la estructura puesto que arriba del todo se monta el travesaño que une los dos pilares, también anclado con escuadras, y para sacar el nivel superior habría que desmontarlo. Por ello antes de insertar el último nivel se añaden todas las partes electrónicas que van sobre este para mayor comodidad de montaje.



Imagen 33. Prototipo real.

Sobre el travesaño superior se puede montar lo que sea necesario en función del uso que se le vaya a dar. Como idea de concepto se puede añadir otro trozo de perfil, de forma que quede a la altura de la cintura, simulando la incorporación de una Tablet.

8 SOFTWARE EMPLEADO

8.1 SOLIDWORKS

SolidWorks es uno de los softwares de diseño CAD (*computer-aided design*) más utilizado en la actualidad. Tiene diferentes módulos que le permiten abarcar varios ámbitos de distintas ramas de la ingeniería, por ejemplo, en cuanto a simulación, permite hacer desde simulaciones con fluidos hasta análisis estáticos. También posee opciones para circuitos eléctricos, y en cuanto a diseño tiene tanto para sólidos como superficies e incluso “herramientas” de conformar chapa, aunque su punto fuerte y para lo que más es usado es para diseñar sólidos.

Por otra parte, en el área de diseño también está la opción de realizar ensamblajes de las piezas ya diseñadas y así poder hacer tanto maquinas, como estructuras, etc; compuestas de diferentes partes.

Continuando con lo anterior, el programa permite hacer planos de todo tipo de estas piezas/ensamblajes con diferentes herramientas de acotación.

8.2 LABVIEW

LabVIEW es un software de programación perteneciente a la empresa National Instruments, al igual que la placa MyRio que se va a utilizar en el proyecto, por tanto, es un software diseñado para trabajar con esta y viceversa. Una de las principales ventajas de este software es que apenas requiere de conocimientos de lenguaje de programación, es decir, no se necesita escribir un código si no que se realiza de forma más visual mediante “bloques”. Evidentemente se necesitan nociones de programación y electrónica para poder utilizarlo, pero el código no resulta imprescindible. Además, este programa también permite trabajar con otras tarjetas de entradas/salidas tales como la famosa Arduino.

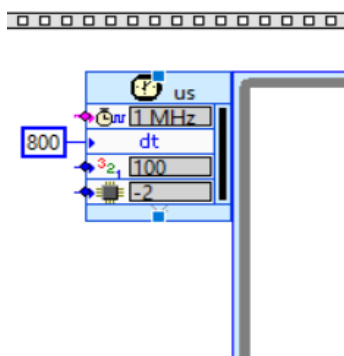
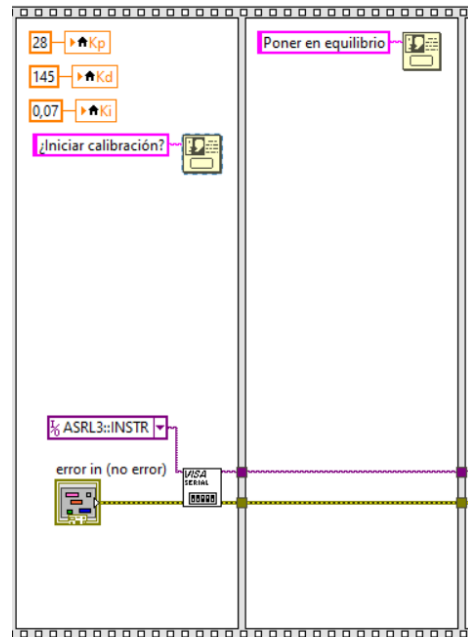
9 PROGRAMACIÓN

En este apartado se va a mostrar de una manera general la programación necesaria para que un robot de tipo auto-balanceado consiga mantener el equilibrio. Antes de empezar se va a explicar brevemente en que consiste el entorno de LabVIEW. En primer lugar, un documento de LabVIEW tiene dos ventanas principales. La ventana del “Block diagram” es donde se introducen todos los elementos necesarios para programar, lo que en lenguaje de programación entenderíamos como código. La otra ventana principal es “Front Panel”, sería el equivalente a el “Serial” del entorno Arduino, pero más avanzado: se pueden introducir tanto visualización de datos como actuadores de distintos tipos, se podría decir que es un panel de control virtual.

Estas dos ventanas componen un VI que es como se denomina el archivo. Una ventaja es que a partir de un VI puedes crear tu propio “bloque” en introducirlo dentro de otro VI y por tanto pasaría a ser lo que se conoce como SubVI podría decirse que hace la función de una librería.

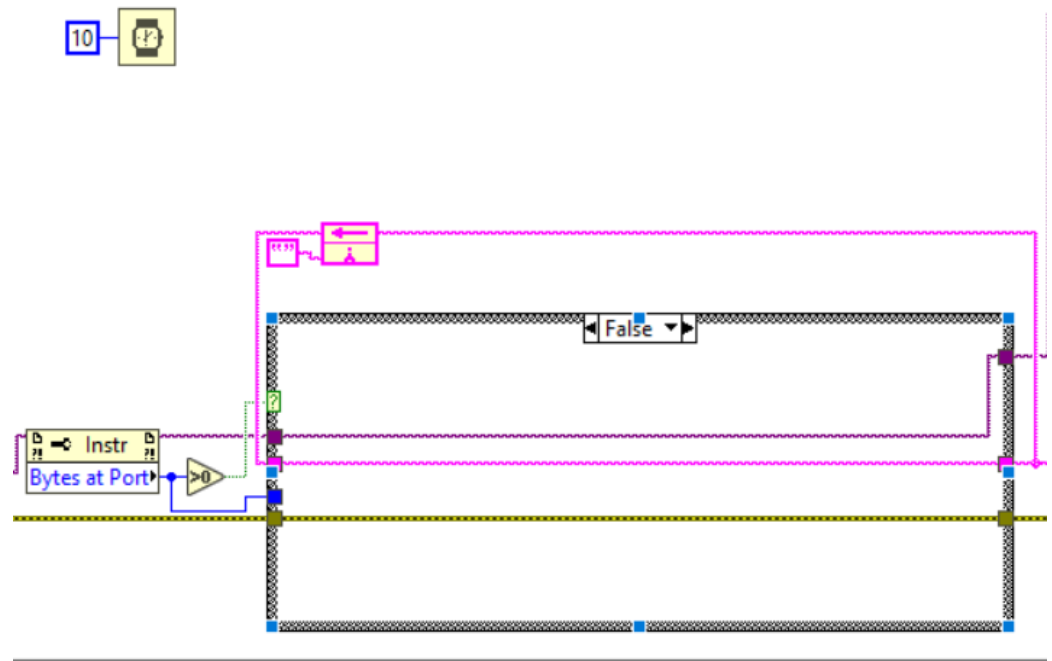
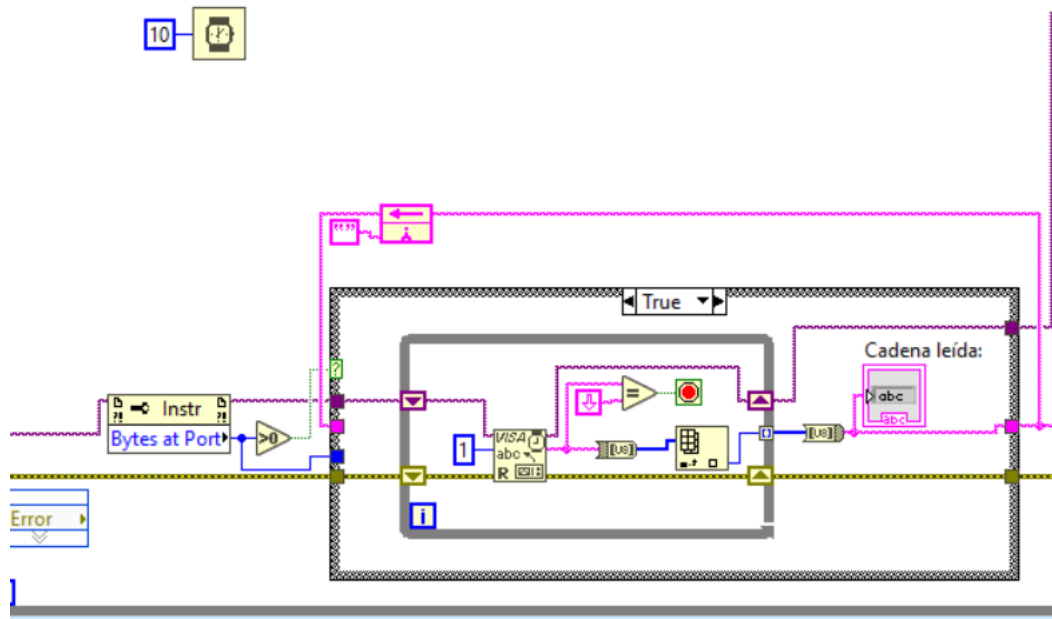
Una vez conocido el entorno, se procede a la explicación de cómo está compuesto el código que consigue el equilibrio en el robot.

1. Primero se inicia la comunicación con el dispositivo y se dan unos valores iniciales a las variables proporcional, integral y derivativa del PID. Además, hace que se muestre un mensaje de “¿Iniciar calibración?” y seguidamente “Poner en equilibrio”

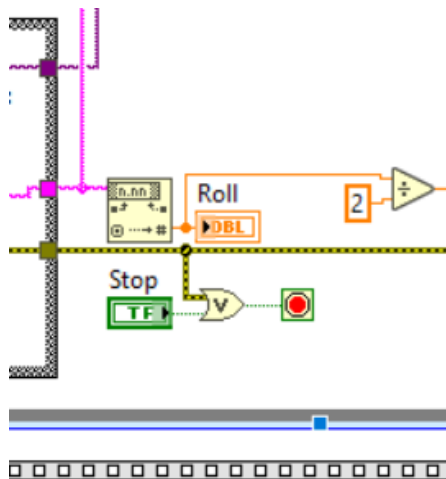


2. Antes de entrar en el “Loop” o bucle se define una frecuencia, periodo, prioridad y procesadores, o bien se asignan por defecto.

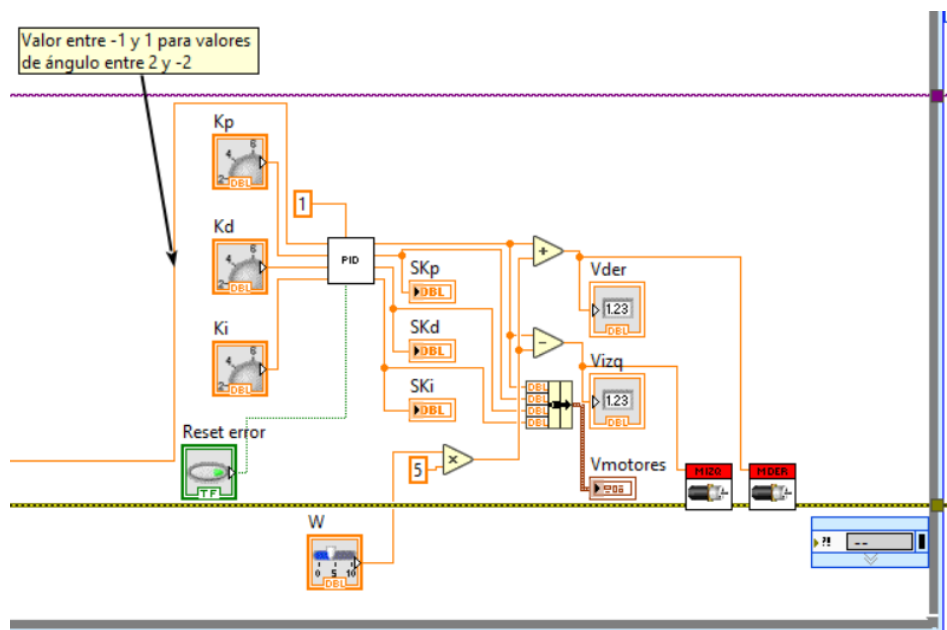
3. Una vez dentro del bucle nos encontramos arriba a la izquierda en la imagen un “delay” de 10ms. Abajo se observa un primer recuadro bajo el nombre de “True”, se trata de un bucle “Case”, esto quiere decir que según se cumpla una condición se ejecutara lo que hay en el interior del recuadro en “True” o en “False”. En este caso la condición cuando está recibiendo datos es verdadero, es decir cuando en el puerto detecte bytes y por tanto mayor de 0 “>0”.



En el caso del False los datos no se ven afectados y salen conforme entran. En cambio, en el True es más complejo. Dentro del bucle “Case” se encuentra un bucle “While”, el cual se ejecuta hasta que se cumpla una condición, aquí sería cuando detecte un salto de línea. Esto significa que cada vez que reciba un valor de ángulo de la IMU termine el bucle y muestre el valor con el comando de “Cadena leída”. El resto de los elementos del bucle “While” es un procesamiento de datos para que los muestre de la forma que queremos.

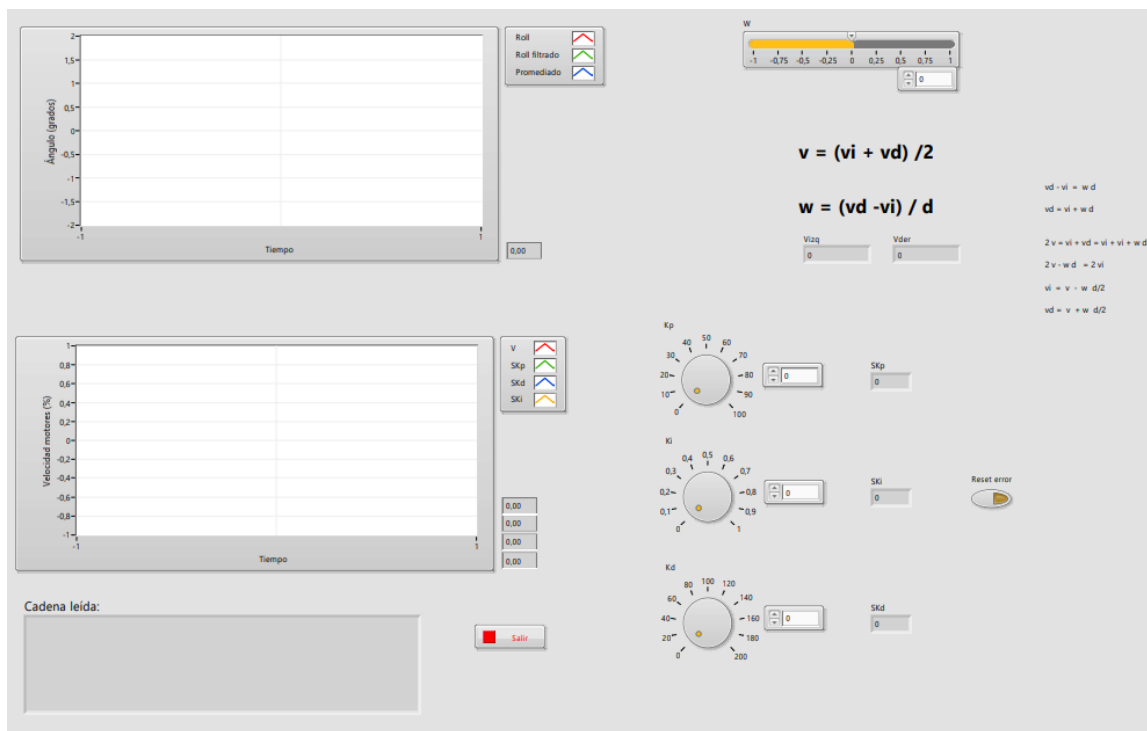
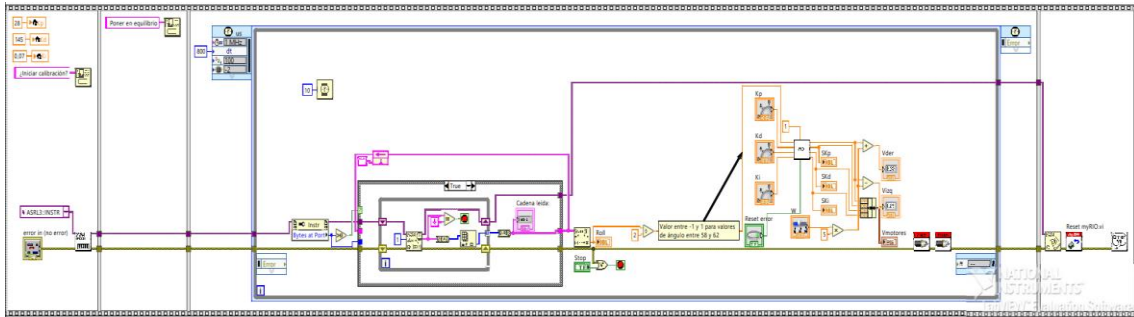


4. Tras el bucle se traducen los datos de ángulo para que el programa pueda mostrarlo en una gráfica ángulo-tiempo. El valor se divide entre 2 para dejarlo entre 1 y -1 para el PID posterior, esto suponiendo una desviación entre 2° y -2° . Además, como se puede ver hay un comando par si se detecta un error termine el “Loop”.



5. Por último, el error llega al SubVI del PID donde se producen las operaciones matemáticas correspondientes, igualmente también entran tres controles para configurar manualmente los valores del PID. Las salidas son los tres valores PID que, tras realizar la operación y la velocidad que se muestra en pantalla en una gráfica y de forma numérica, se mandan al SubVI que controla cada motor. La velocidad es la misma para ambos motores, pero también hemos de tener en cuenta que se incluye un control manual que cambia esta velocidad para que el robot gire.

A continuación, se muestra una visión general de todo el conjunto y otra vista con el Front panel con los diferentes controles y gráficas.



10 PRESUPUESTO

Para el cálculo del coste del prototipo se han tenido en cuenta todos los materiales y componentes utilizados, tanto los comprados como los de fabricación propia. Para ello se han consultado los precios con IVA en los respectivos portales de venta online de cada componente. A continuación, se muestra una tabla con el desglose de precios.

Componentes electronicos	Cantidad	precio/ud	Total
Hoverboard (2 Ruedas / motores)	1	119,91 €	119,91 €
Batería Potencia	1	97,44 €	97,44 €
Batería Electrónica	1	49,99 €	49,99 €
Driver	2	9,08 €	18,16 €
PCB	1	15,00 €	15,00 €
Sensor láser	1	11,00 €	11,00 €
Sensor Infrarrojos	4	15,26 €	61,04 €
LIDAR	1	398,73 €	398,73 €
IMU	1	36,75 €	36,75 €
MyRIO	1	608,00 €	608,00 €
Cableado	1	20,00 €	20,00 €
Tornillería	80	30€/total	30,00 €
Componentes estructurales			
Perfil	2579 mm	10,6 €/m	27,34 €
Escuadras	6	3,55 €	21,30 €
Tuercas	50	0,92 €	46,10 €
Tornillos	50	0,52 €	26,02 €
Componentes impresos en 3d			
Esquinas	4 (38,56 g/ud)	33,3 €/Kg	5,14 €
Codos	4 (26,9 g/ud)	33,3 €/Kg	3,58 €
Anillas barería	2 (4,32 g/ud)	33,3 €/Kg	0,29 €
Nivel inferior	1 (123,32 g/ud)	33,3 €/Kg	4,11 €
Nivel Superior	1 (176,82 g/ud)	33,3 €/Kg	5,89 €
Nivel intermedio	1 (120,77 g/ud)	33,3 €/Kg	4,02 €
Soporte batería inferior	1 (79,6g/ud)	33,3 €/Kg	2,65 €
Soporte batería superior	1 (39,5 g/ud)	33,3 €/Kg	1,32 €
			1.613,77 €

Tabla 14. Coste del material.

El precio de la tornillería y el cableado de la electrónica es aproximado ya que se han utilizado tipos distintos según cada sensor. La PCB se ha considerado un precio medio en base a varios fabricantes.

Los diferentes proveedores donde se han adquirido han sido:

- Roboshop.com
 - LIDAR
 - IMU
- Pololu.com
 - Sensor Laser
 - Sensor Infrarrojos
- RC-innovations.es
 - Baterías
- es.rs-online.com
 - Perfiles
 - Tornillería
- Cableado
- BCN3D.com
 - Bobina PLA
- Ni.com
 - myRIO
- Aliexpress.com
 - Drivers
- Orion91.com
 - Hoverboard
- Opencircuit.es
 - IMU

Como se puede apreciar solo en el material el presupuesto ronda entorno a los 1600€, no obstante, está desarrollado en calidad de prototipo y no está optimizado para su fabricación en masa. A pesar de ello, se pueden sustituir algunos componentes por otros equivalentes, pero con un precio menor. Estos cambios se muestran en la siguiente tabla.

Componentes electronicos	Cantidad	precio/ud	Total
Hoverboard (2 Ruedas / motores)	1	119,91 €	119,91 €
Batería Potencia (Hoverboard)			
Batería Electrónica	1	49,99 €	49,99 €
Driver	2	13,90 €	27,80 €
PCB	1	15,00 €	15,00 €
Sensor láser	1	11,00 €	11,00 €
Sensor Infrarrojos	4	15,26 €	61,04 €
LIDAR	1	184,98 €	184,98 €
IMU	1	36,75 €	36,75 €
Arduino Mega	1	38,50 €	38,50 €
Cableado	1	20,00 €	20,00 €
Tornillería	80	30€/total	30,00 €
Componentes estructurales			
Perfil	2579 mm	10,6 €/m	27,34 €
Escuadras	6	3,55 €	21,30 €
Tuercas	50	0,92 €	46,10 €
Tornillos	50	0,52 €	26,02 €
Componentes impresos en 3d			
Esquinas	4 (38,56 g/ud)	33,3 €/Kg	5,14 €
Codos	4 (26,9 g/ud)	33,3 €/Kg	3,58 €
Anillas barería	2 (4,32 g/ud)	33,3 €/Kg	0,29 €
Nivel inferior	1 (123,32 g/ud)	33,3 €/Kg	4,11 €
Nivel Superior	1 (176,82 g/ud)	33,3 €/Kg	5,89 €
Nivel intermedio	1 (120,77 g/ud)	33,3 €/Kg	4,02 €
Soporte batería inferior	1(79,6g/ud)	33,3 €/Kg	2,65 €
Soporte batería superior	1 (39,5 g/ud)	33,3 €/Kg	1,32 €
			742,72 €

Tabla 15. Propuesta de presupuesto.

Tras estos cambios el coste total se ha visto reducido considerablemente pasando de unos 1600€ a unos 700€, una reducción que ronda el 55% respecto al coste inicial. Las piezas señaladas son las modificadas, estas son:

- Batería de potencia: si se sigue la idea inicial de aprovechar componentes del hoverboard se podría utilizar la suya propia para el robot, con lo cual no haría falta adquirir una.
- Drivers: en este caso el precio es ligeramente mayor, aunque no hay una gran diferencia, pero es un cambio necesario para poder utilizar la batería del

hoverboard, y acorde con la comparativa realizada en el apartado de controladores BLDC la propuesta es utilizar el Tamyko.

- LIDAR: del mismo proveedor (robotshop.com) se ha seleccionado el modelo G2 de YDLIDAR con unas especificaciones similares pero el precio es de alrededor de 200€ menor.
- myRIO: es un dispositivo bastante polivalente y muy avanzado, para este proyecto no se llega a explotar todo su potencial por lo cual se puede reemplazar por una placa Arduino en su variante Mega, que es también muy versátil, pero de un coste muchísimo menor.

11 CONCLUSIÓN

A lo largo del desarrollo del trabajo se han podido analizar y comprobar las diferentes partes del proyecto. Analizando este mismo desde el punto de vista del diseño, podemos destacar que se ha conseguido obtener un centro de gravedad relativamente bajo y centrado, lo que le confiere una buena estabilidad, además de una forma sencilla y compacta, proporcionada en gran medida por los motores integrados en las ruedas.

Sin embargo, encontramos diferentes puntos del diseño que pueden ser objeto de mejora. Uno de estos puntos débiles deriva de su forma compacta, pues el limitado espacio que presenta puede causar algún inconveniente a la hora de conectar todos los componentes electrónicos. Desde el punto de vista del montaje hasta incluso en el hueco necesario para pasar los cables son optimizables, de esta manera, se podría, por ejemplo, hacer uso de unas guías para estos últimos o incluso agrandar las oberturas. Otro punto, también, para favorecer las conexiones es la redistribución de algunos elementos, como la PCB que se podría girar 180° para poder conectarla más fácilmente a la myRIO.

En cuanto a la parte electrónica todo ha funcionado según los objetivos, salvo dos componentes. El primero de ellos son los drivers, quienes, a pesar de que se seleccionó una batería de menor voltaje para poder utilizarlos, han presentado cierto sobrecalentamiento, por lo cual ratifica el cambio de drivers ya propuesto. El segundo punto es la IMU, que pese a que es bastante completa y avanzada está optimizada para su programación en lenguaje Arduino, lo cual hace su programación en LabView aunque no imposible, tediosa.

12 REFERENCIAS

- [1] E. Y. Ahumada Salcedo, «Prototipo Robot Móvil Auto Balanceado Teledirigido con fines de Vigilancia,» Bogotá, 2019.
- [2] R. V. Florian, «Correct equations for the dynamics of the cart-pole system,» Cluj-Napoca, 2007.
- [3] A. Calvó Gallego, *DISEÑO, SIMULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA CARRO-PÉNDULO MEDIANTE LA TECNOLOGÍA LEGO*, Universitat Rovira i Virgili, 2012.
- [4] A. Chhotray, M. Pradhan, K. K. Pandey y D. R. Parhi, «Kinematic Analysis of a Two-Wheeled Self-Balancing Mobile Robot,» de *Proceedings of the International Conference on Signal, Networks, Computing, and Systems* , vol. 2, Sundergarh, Odisha: Springer, 2016, pp. 87-93.
- [5] G. Leonardo Solaque, M. A. Molina Villa y E. L. Rodríguez Vásquez, «Seguimiento de trayectorias con un robot móvil de configuración diferencial,» *Revista Ingenierías USBMed*, vol. 5, nº 1, pp. 26-34, 2014.
- [6] K. Puerto, «Xataka,» 11 Enero 2016. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/robotica-e-ia/segway-monta-un-robot-sobre-su-conocido-sistema-de-transporte-personal>.
- [7] Shawn, «seed studio,» 23 Diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.seedstudio.com/blog/2019/12/23/distance-sensors-types-and-selection-guide/>.
- [8] Matlab, «YouTube,» 24 Septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://youtu.be/WYJWdMV3YMs>.
- [9] 330ohms, «330ohms,» 22 Junio 2020. [En línea]. Available: <https://blog.330ohms.com/2020/06/22/que-diferencias-hay-entre-una-li-po-y-una-li-ion/>.

- [10] Jkbw, «Wikipedia,» 2 Julio 2021. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Unidad_de_medici%C3%B3n_inercial.
- [11] Hanjin, «Wikipedia,» 18 Abril 2022. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Circuito_impreso.
- [12] «Mecmesin,» [En línea]. Available: <https://www.mecmesin.com/es/medidores-digitales-de-fuerza/indicador-avanzado-de-fuerza-y-par>.
- [13] SeroBOT, «Wikipedia,» 27 Enero 2022. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_de_pol%C3%ADmero_de_litio.
- [14] L. i. subtitles, «Wikipedia,» 26 Abril 2022. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_de_ion_de_litio.
- [15] T. Youngblood, «All About Circuits,» 4 Marzo 2016. [En línea]. Available: <https://www.allaboutcircuits.com/news/hoverboards-how-do-they-work/>.
- [16] J. Tecnofanatico, «Youtube,» 1 Septiembre 2016. [En línea]. Available: <https://youtu.be/LW4yomMff7k>.
- [17] «BCN3D,» [En línea]. Available: <https://www.bcn3d.com/es/>.
- [18] «Pololu Robotics & Electronics,» [En línea]. Available: <https://www.pololu.com/>.
- [19] «Roboshop,» [En línea]. Available: <https://www.robotshop.com/en/rplidar-a2m6-360-laser-scanner-18-m.html>.
- [20] «OpenCircuit,» [En línea]. Available: <https://opencircuit.es/Producto/Adafruit-9-DOF-Orientaci%C3%B3n-absoluta-IMU>.

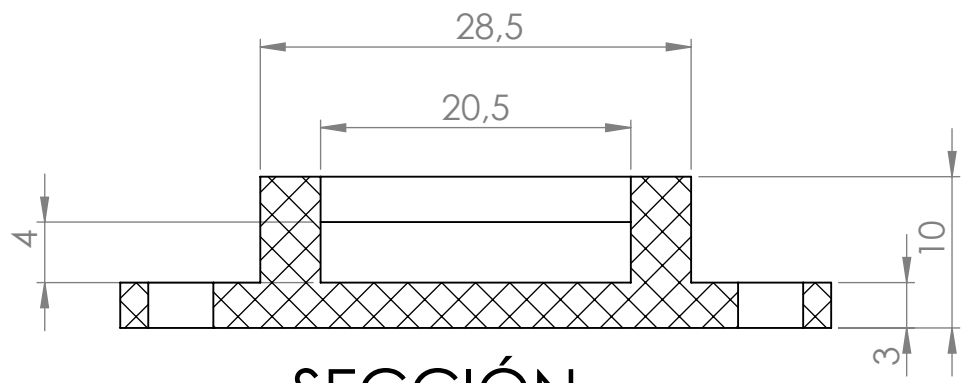
13 ANEXO

13.1 PLANOS

4 3 2 1

F

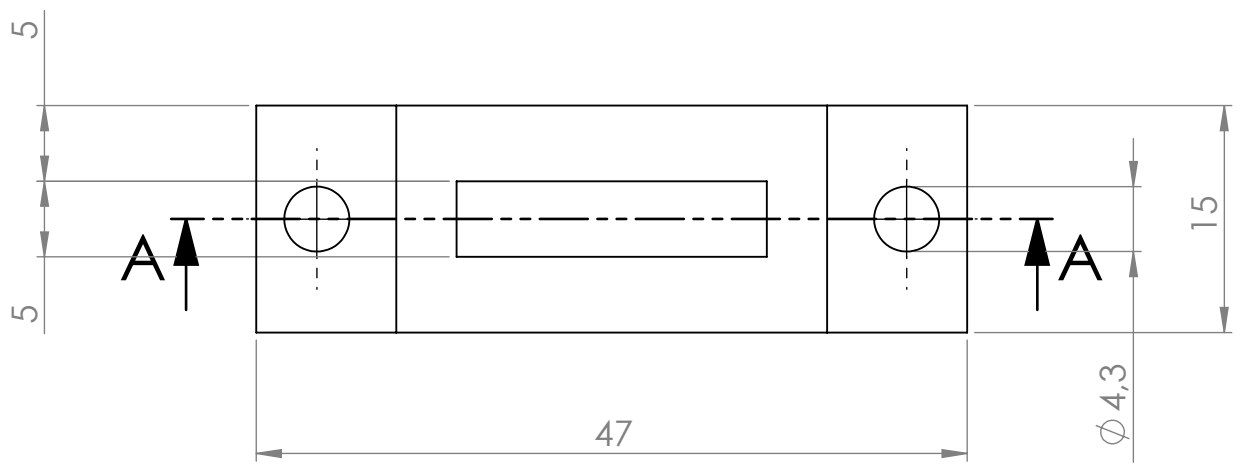
F



SECCIÓN A-A

E

E

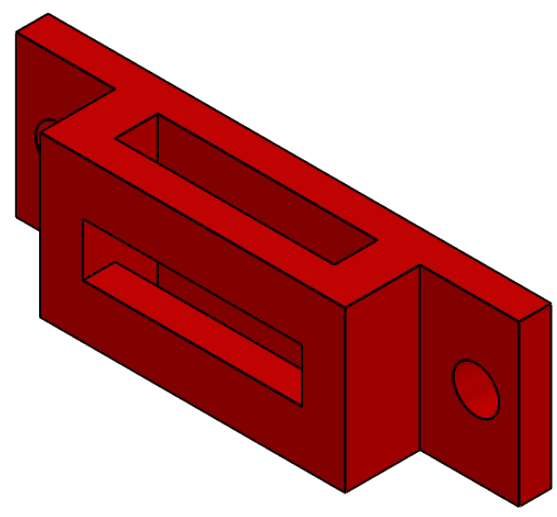


D

D

C

C


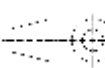


B

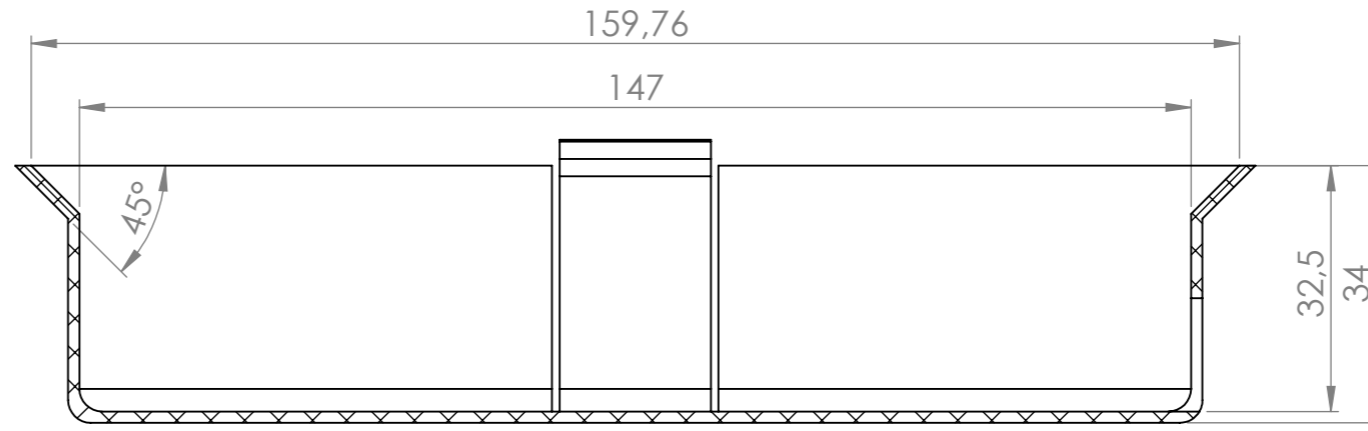
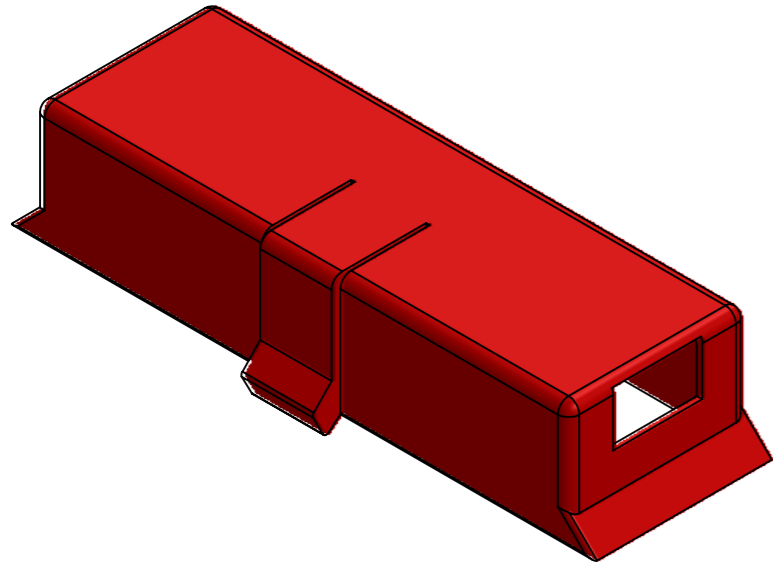
B

A

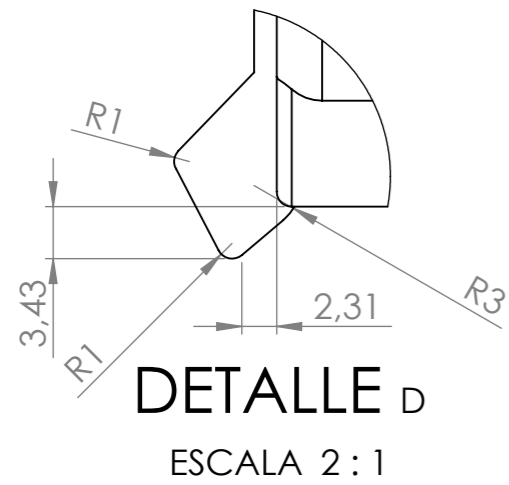
A

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.	Francisco Quiles Bru		03/05/2020	Robot autónomo auto-balanceado	
Prof.				N.º de Dibujo:	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI
Esc.	Escuela Politécnica Superior de Alcoy			04-A_Sujecciones bateria	
Tit.	Ingeniería Mecánica	Peso:	4.32 gr.		
Curso	4º	Material:		Escala	
Asig.	TFG	PLA		2:1	 TOLERANCIA GENERAL según UNE ISO 22768/M Clase Media
					A4 HOJA 1 DE 1

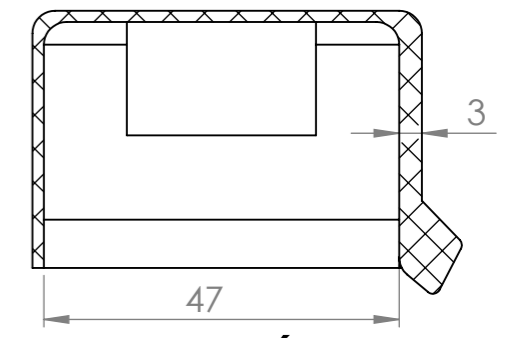
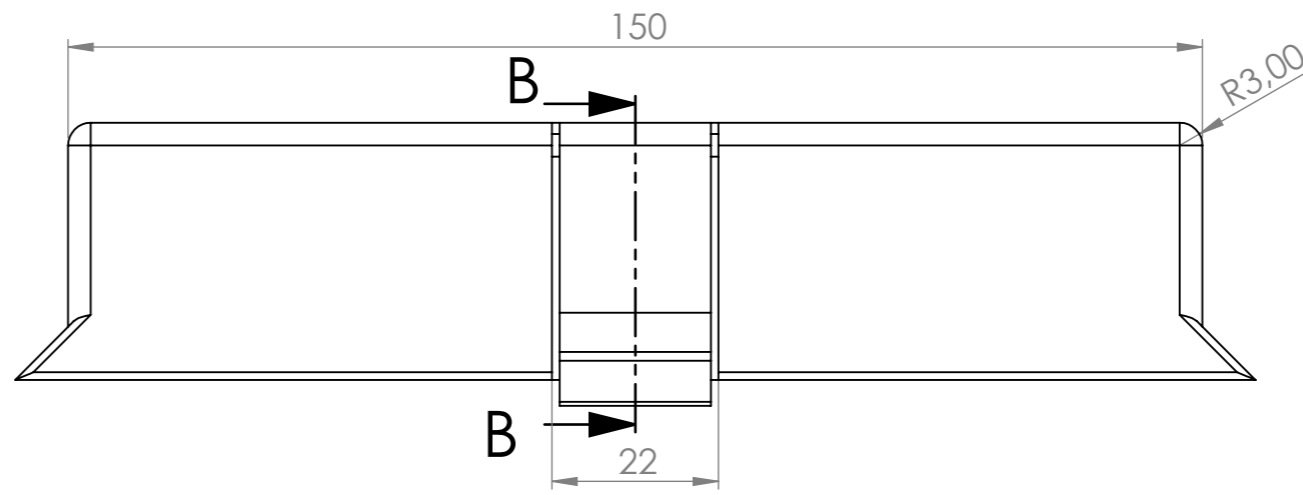
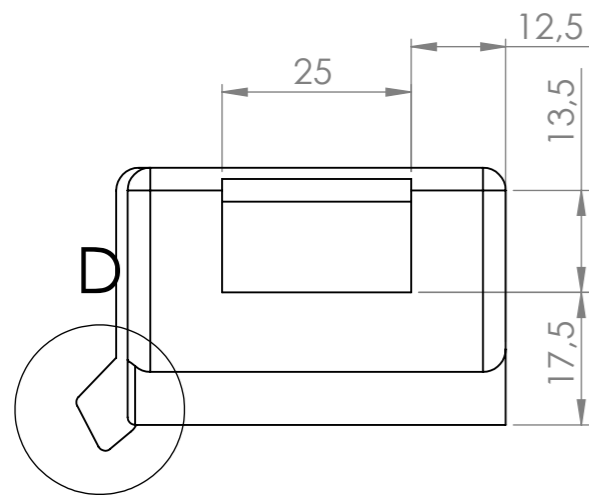
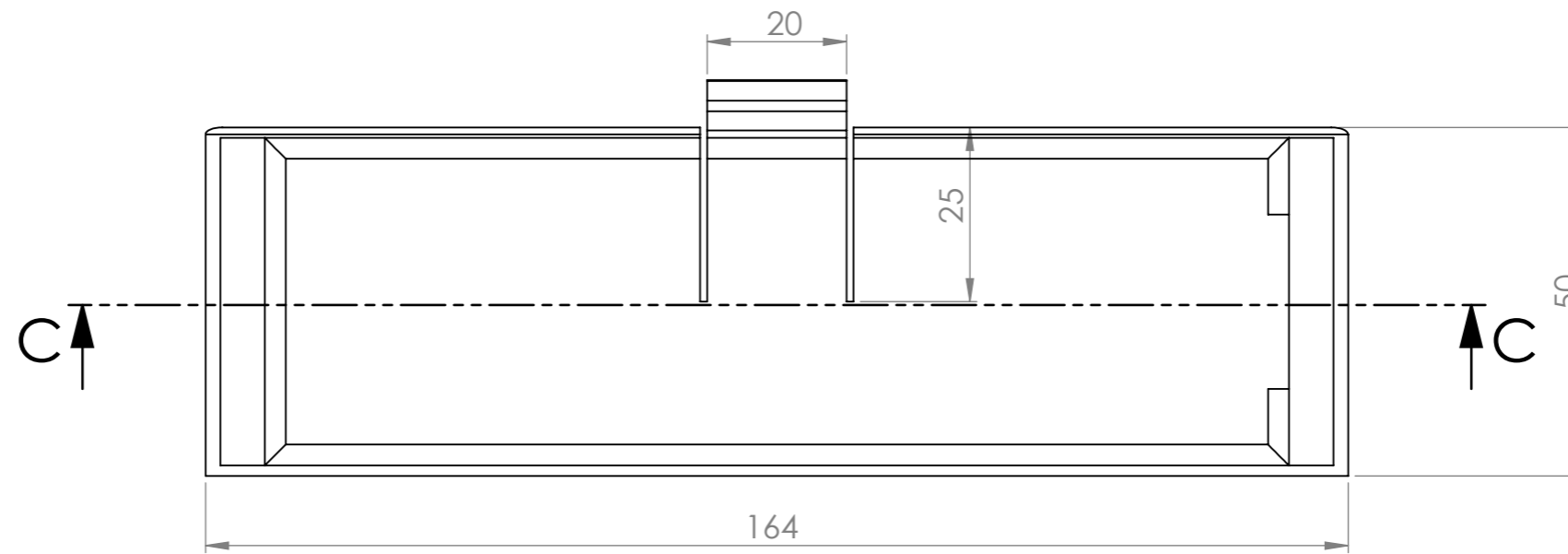
4 3 2 1




SECCIÓN C-C

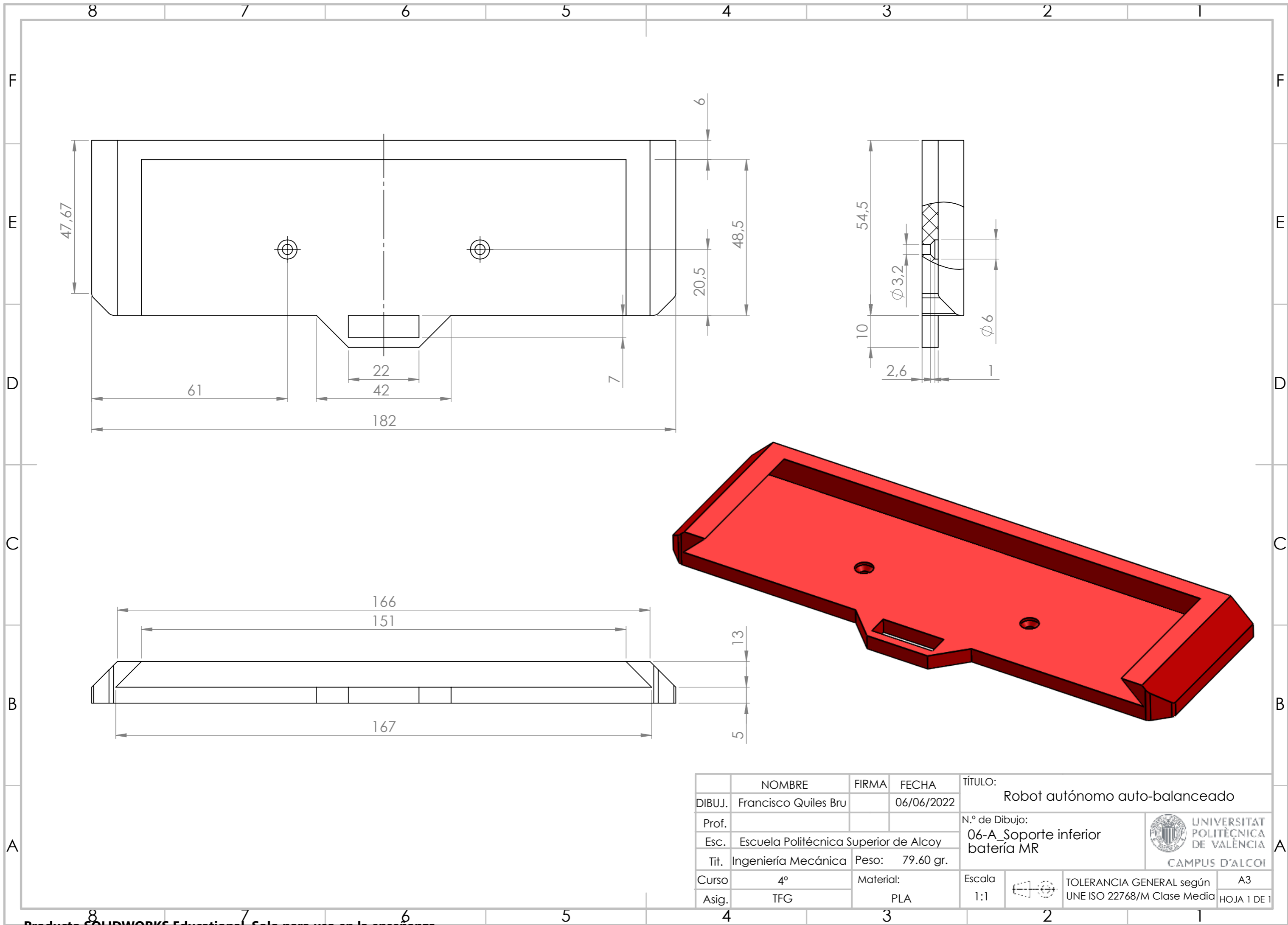



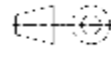
DETALLE D
ESCALA 2:1

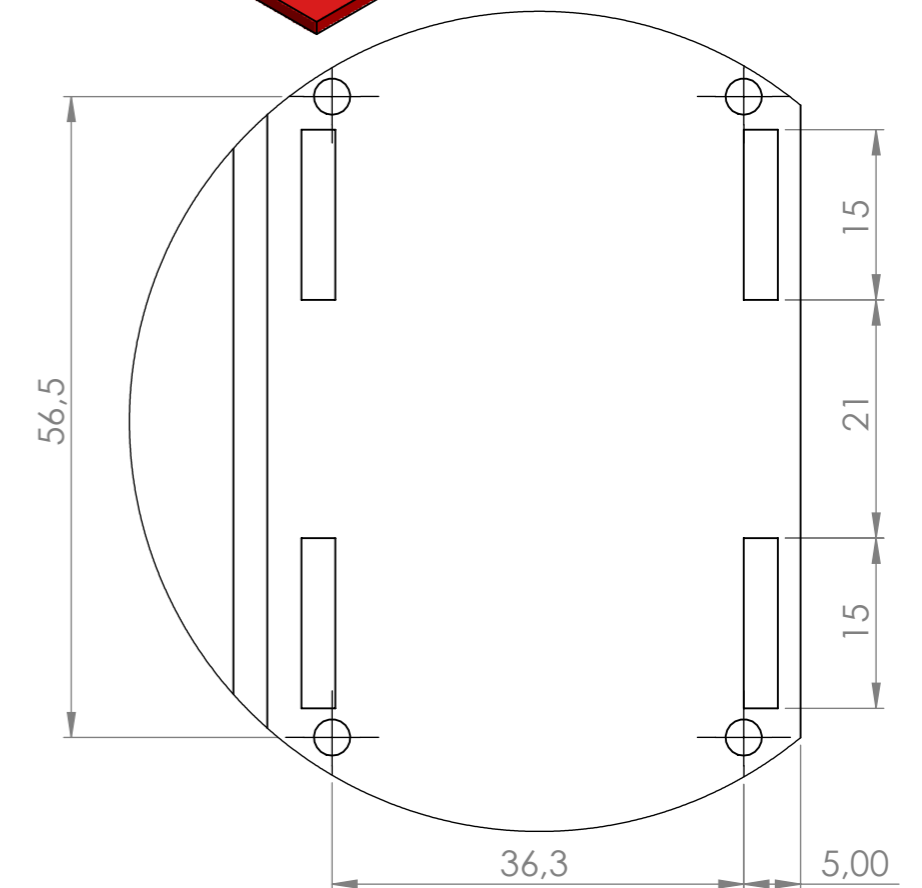
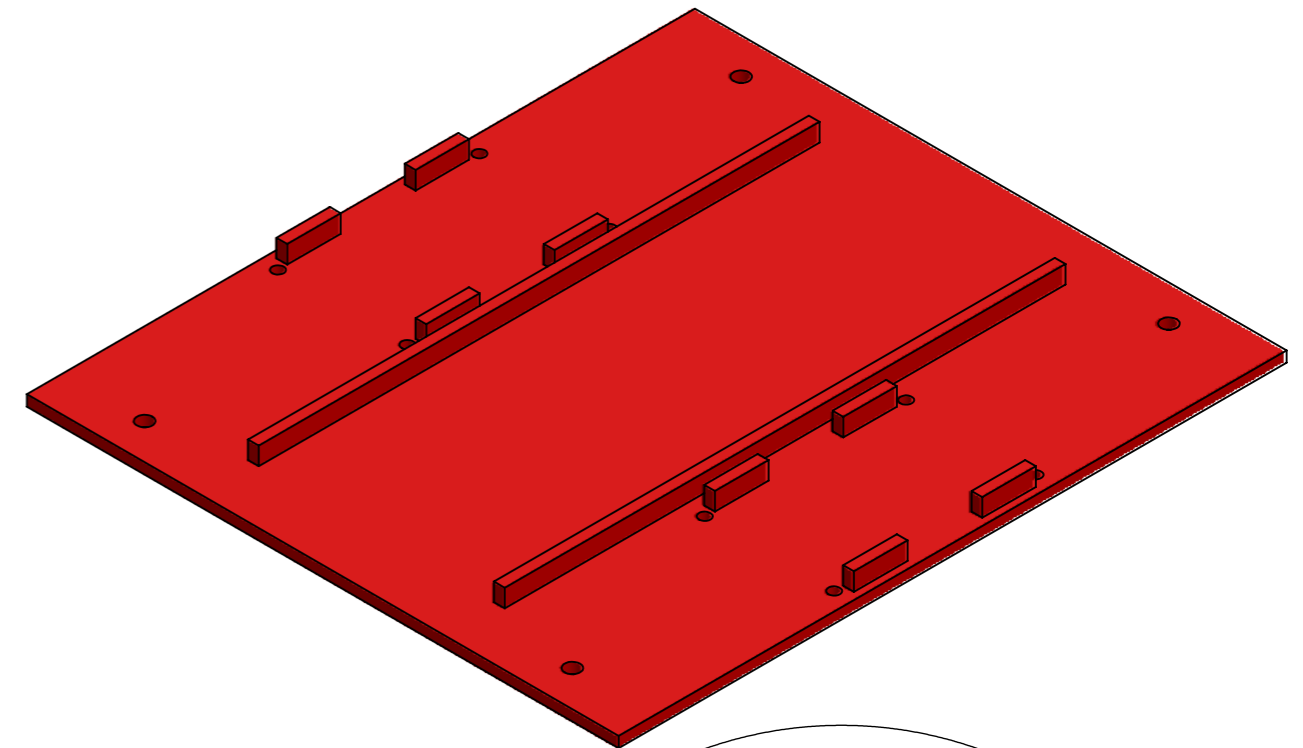
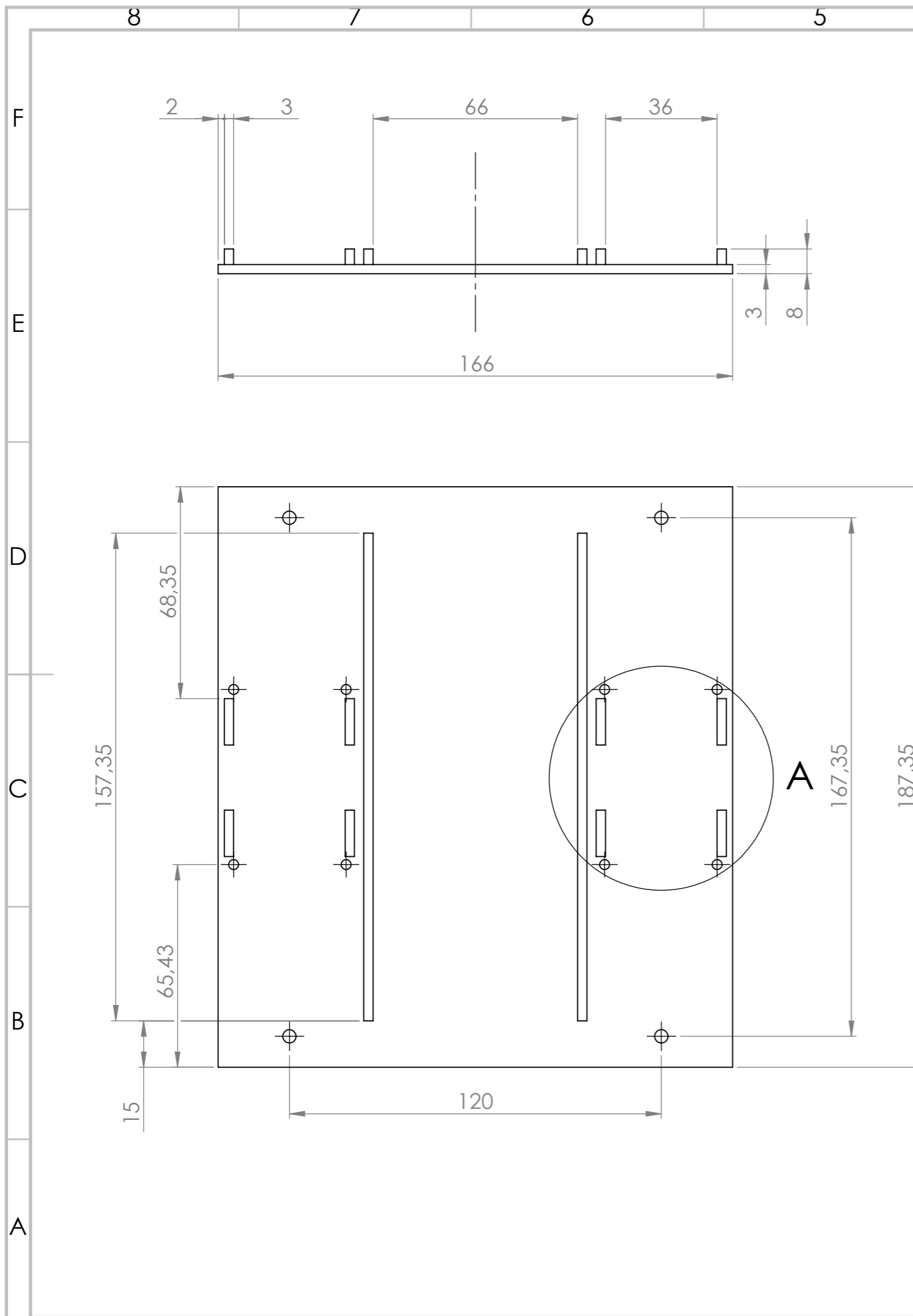


SECCIÓN B-B

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.	Francisco Quiles Bru		06/06/2022	Robot autónomo auto-balanceado	
Prof.				N.º de Dibujo:	
Esc.	Escuela Politécnica Superior de Alcoy			05-A_Soporte superior	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOY
Tit.	Ingeniería Mecánica	Peso:	39.50 gr.	batería MR	
Curso	4º	Material:		Escala	
Asig.	TFG	PLA		1:1	
				TOLERANCIA GENERAL según	A3
				UNE ISO 22768/M Clase Media	HOJA 1 DE 1

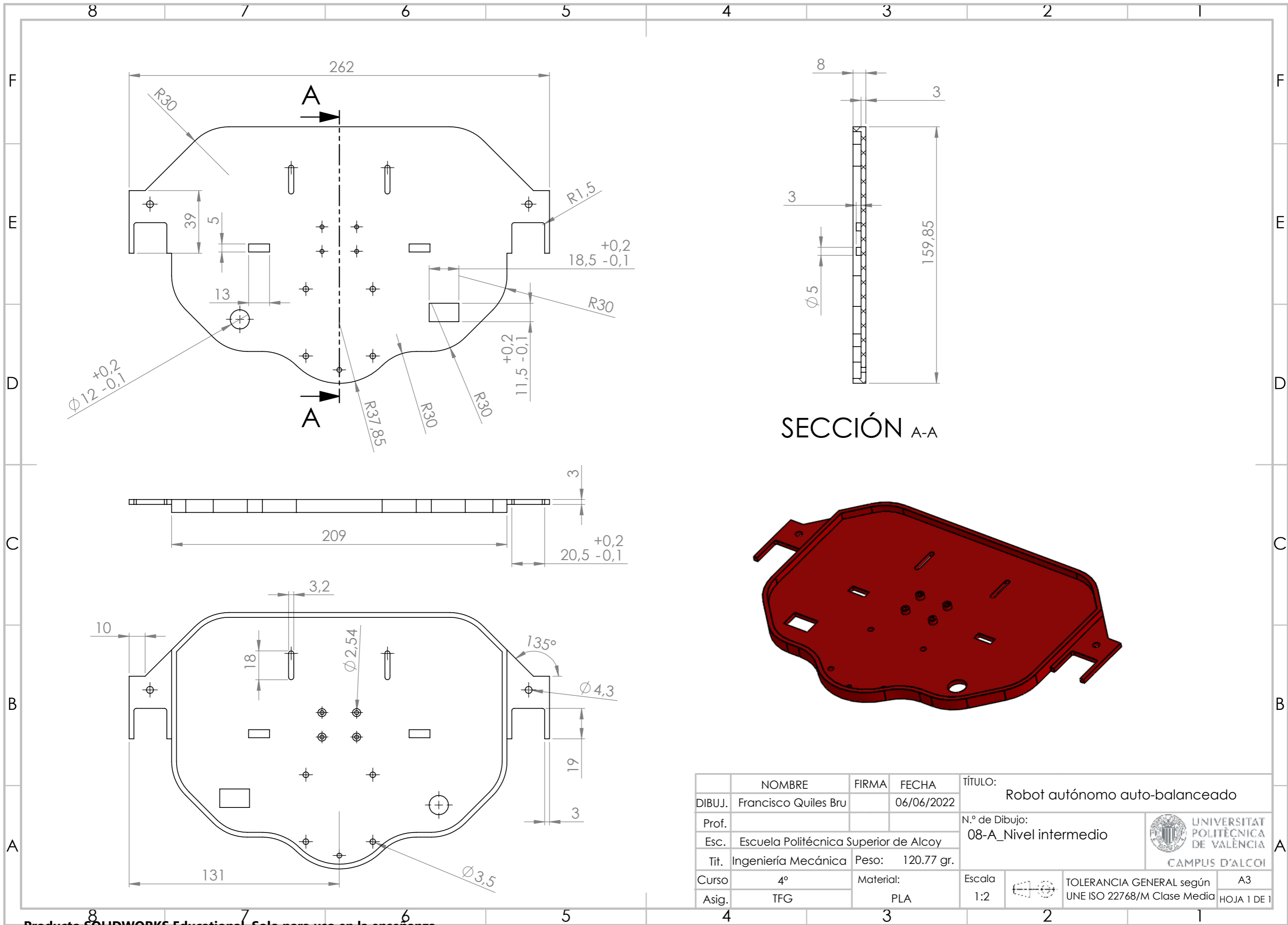


	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.	Francisco Quiles Bru		06/06/2022	Robot autónomo auto-balanceado	
Prof.				N.º de Dibujo:	
Esc.	Escuela Politécnica Superior de Alcoy			06-A_Soporte inferior	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI
Tit.	Ingeniería Mecánica	Peso:	79.60 gr.	batería MR	
Curso	4º	Material:		Escala	
Asig.	TFG	PLA		1:1	 TOLERANCIA GENERAL según UNE ISO 22768/M Clase Media
					A3 HOJA 1 DE 1



DETALLE A
ESCALA 1.5 : 1

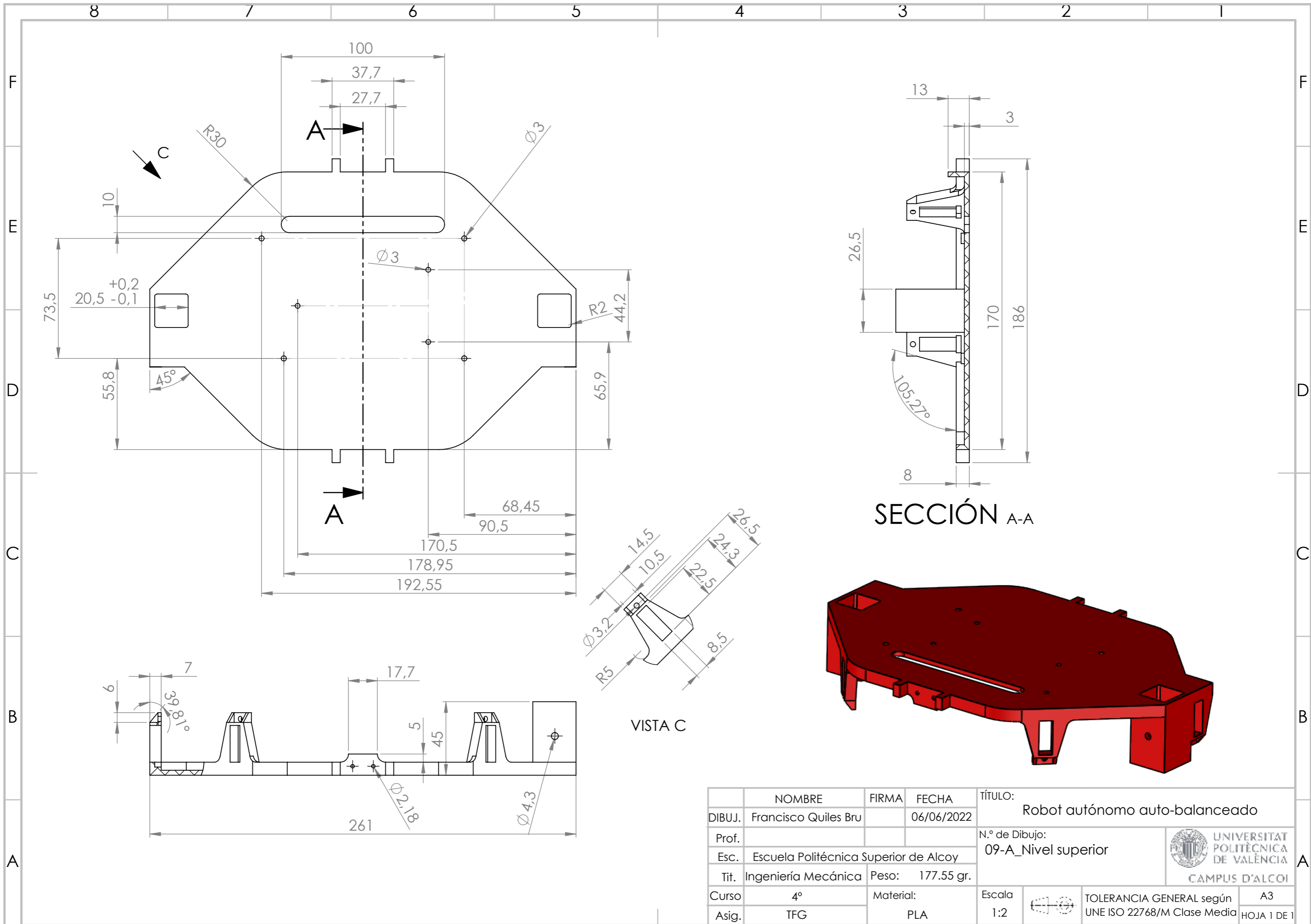
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.	Francisco Quiles Bru		06/06/2022	Robot autónomo auto-balanceado	
Prof.				N.º de Dibujo:	
Esc.	Escuela Politécnica Superior de Alcoy			07-A_Nivel inferior	
Tit.	Ingeniería Mecánica	Peso:	123.32 gr.	UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	
Curso	4º	Material:		CAMPUS D'ALCOI	
Asig.	TFG	PLA		Escala	TOLERANCIA GENERAL según
				1:1.5	UNE ISO 22768/M Clase Media
					A3
					HOJA 1 DE 1



SECCIÓN A-A

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.	Francisco Quiles Bru		06/06/2022	Robot autónomo auto-balanceado	
Prof.				N.º de Dibujo:	
Esc.	Escuela Politécnica Superior de Alcoy			08-A_Nivel intermedio	
Tit.	Ingeniería Mecánica	Peso:	120.77 gr.		
Curso	4º	Material:		Escala	
Asig.	TFG	PLA		1:2	
				TOLERANCIA GENERAL según	A3
				UNE ISO 22768/M Clase Media	HOJA 1 DE 1

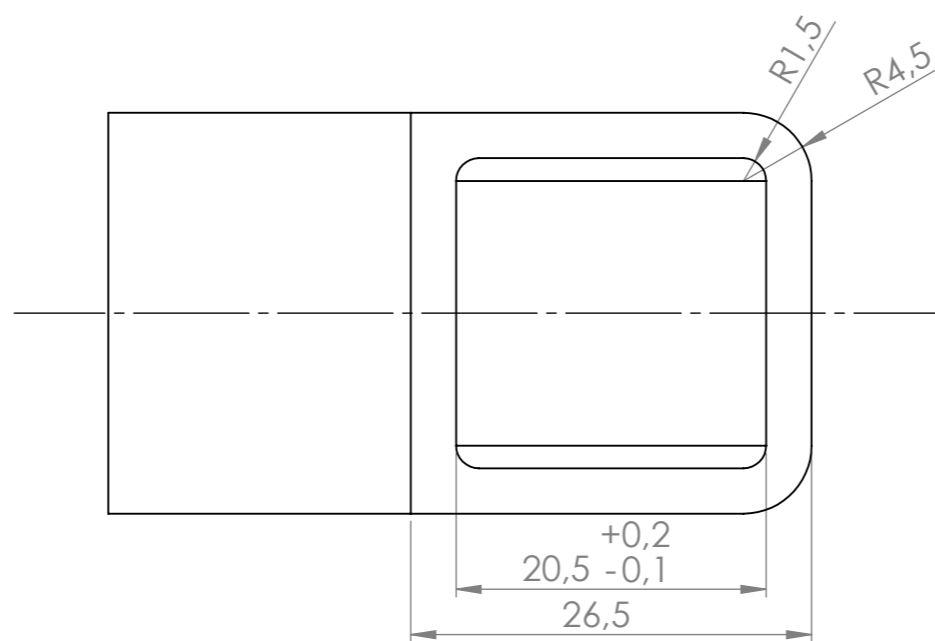
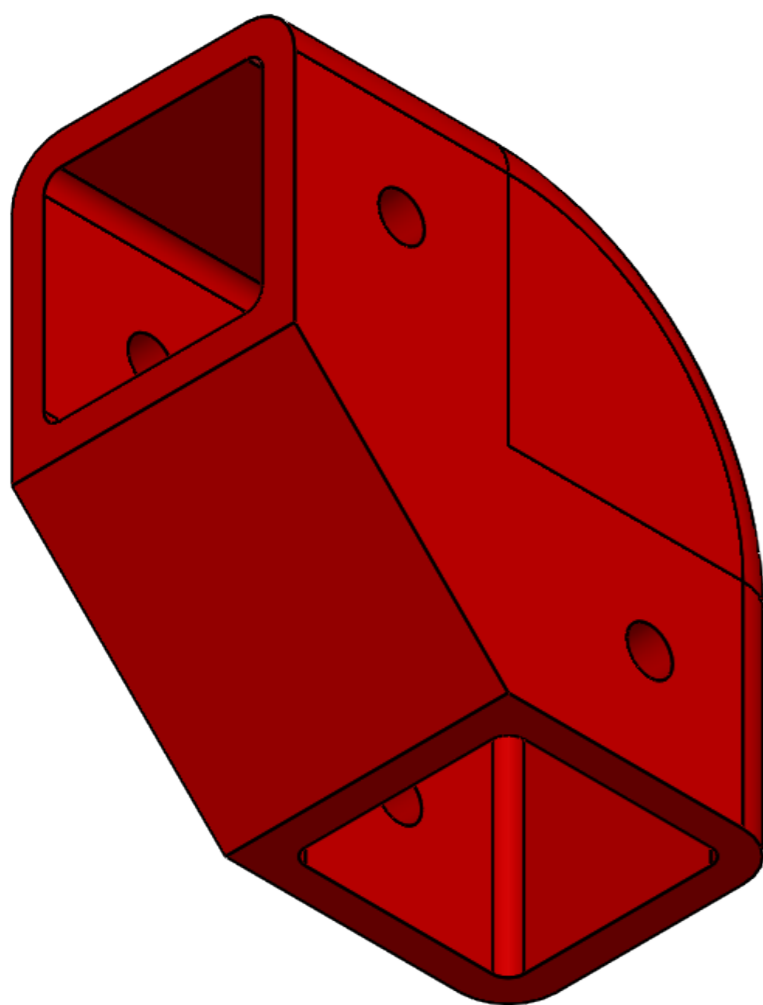
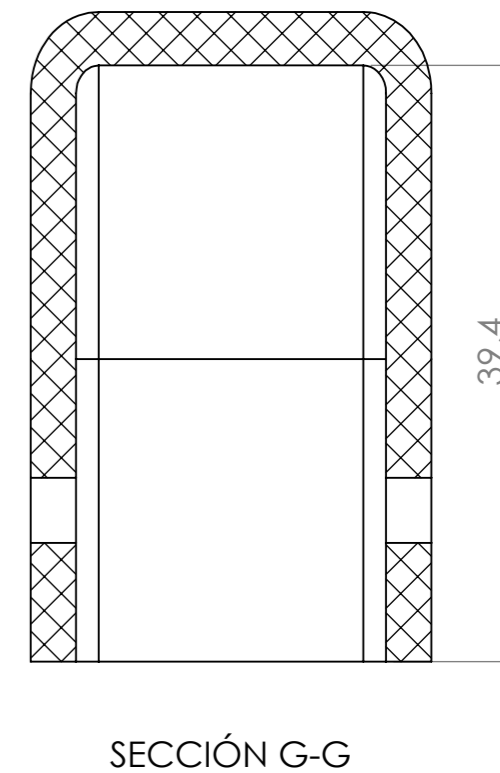
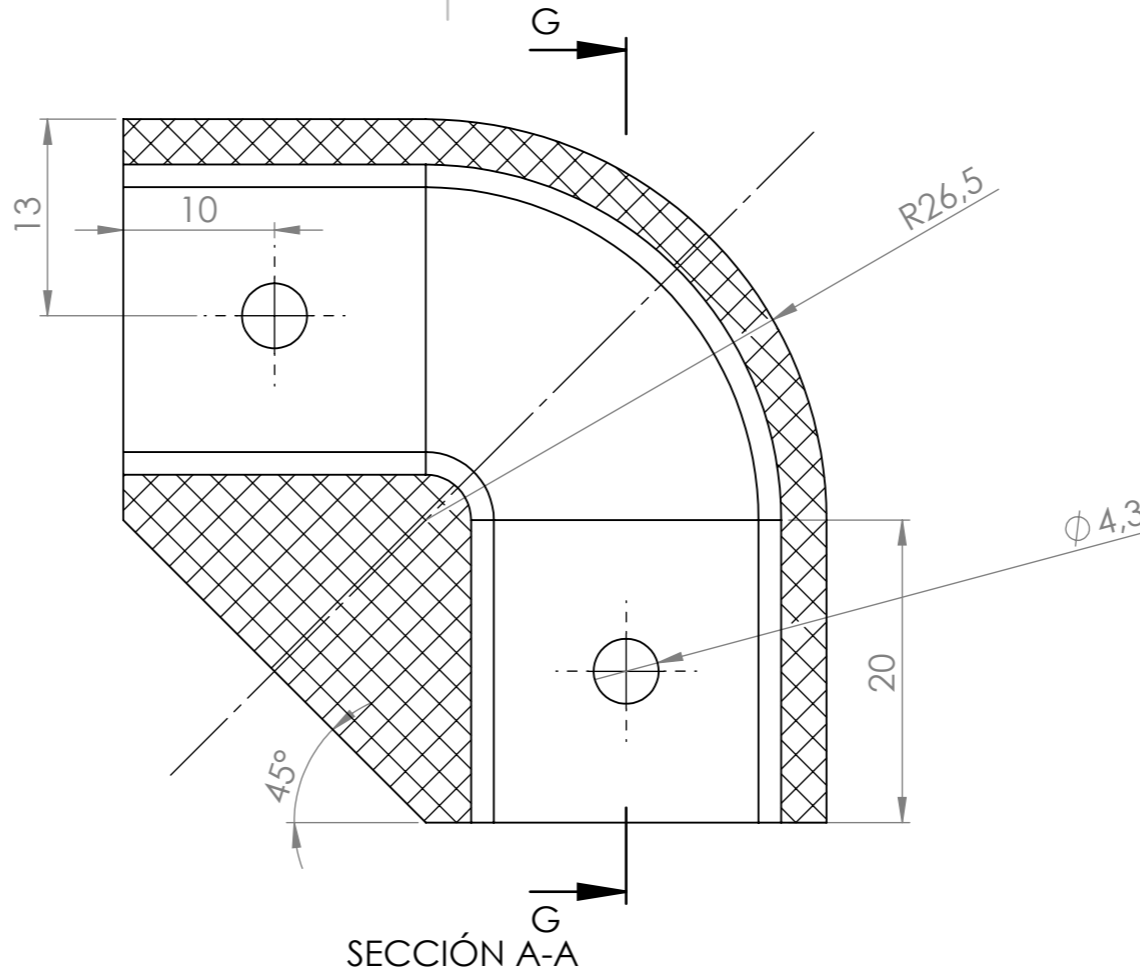
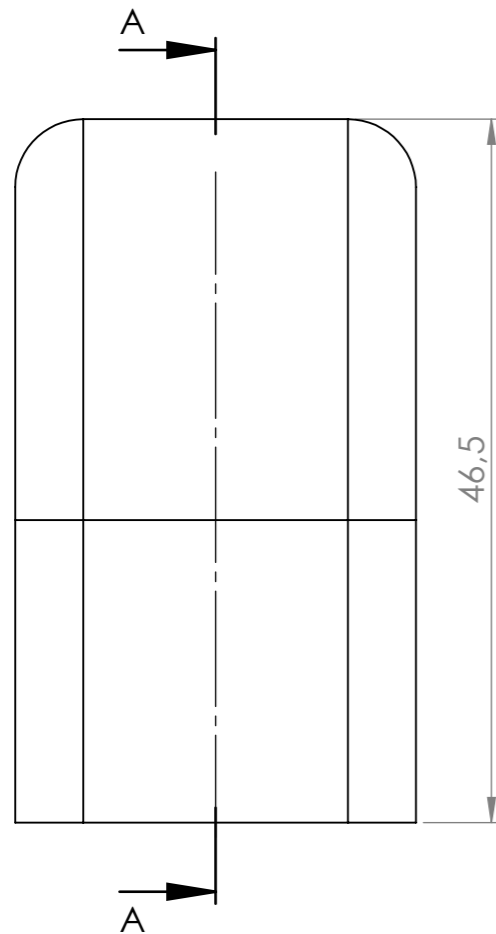



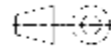


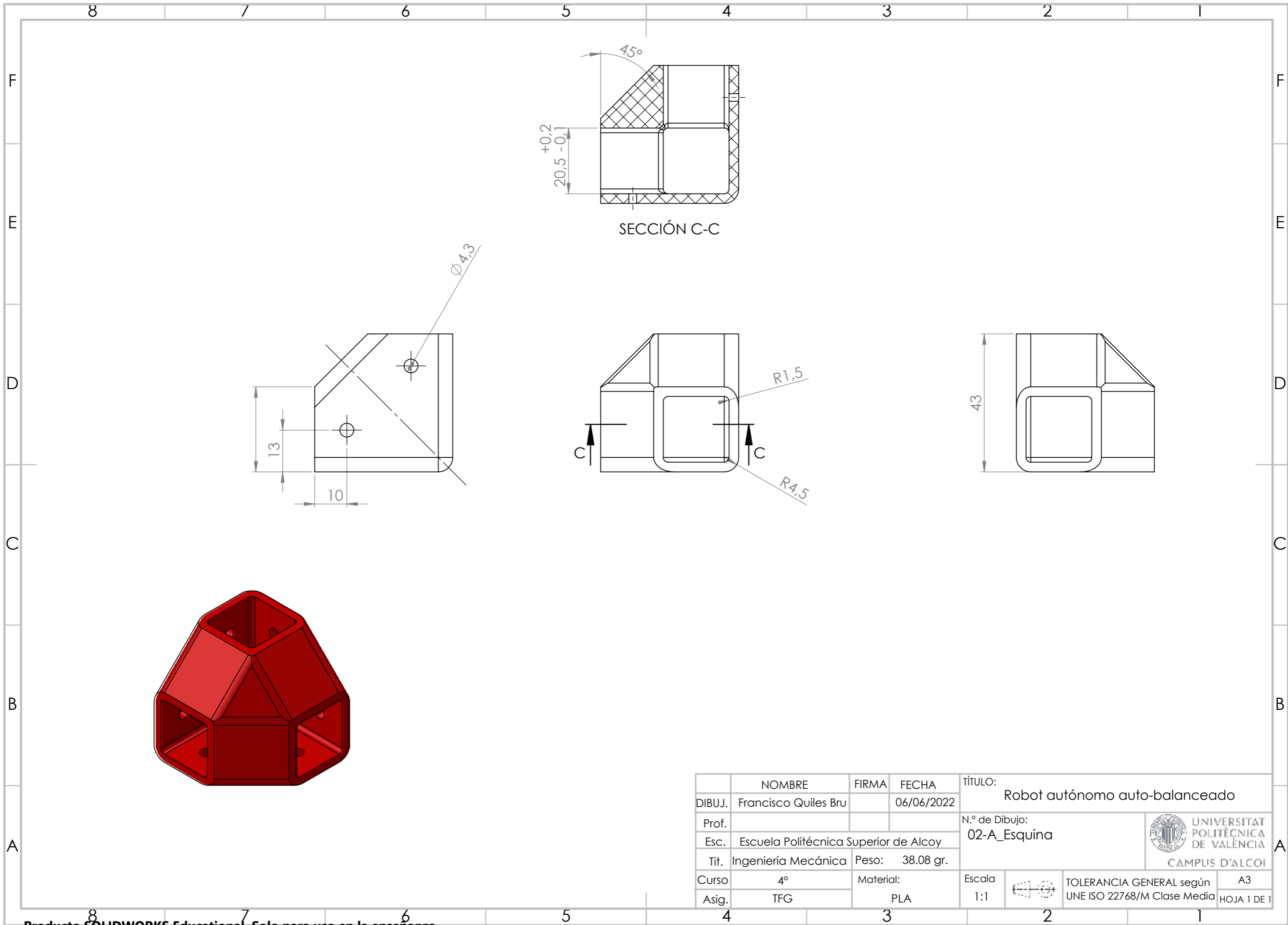
SECCIÓN A-A

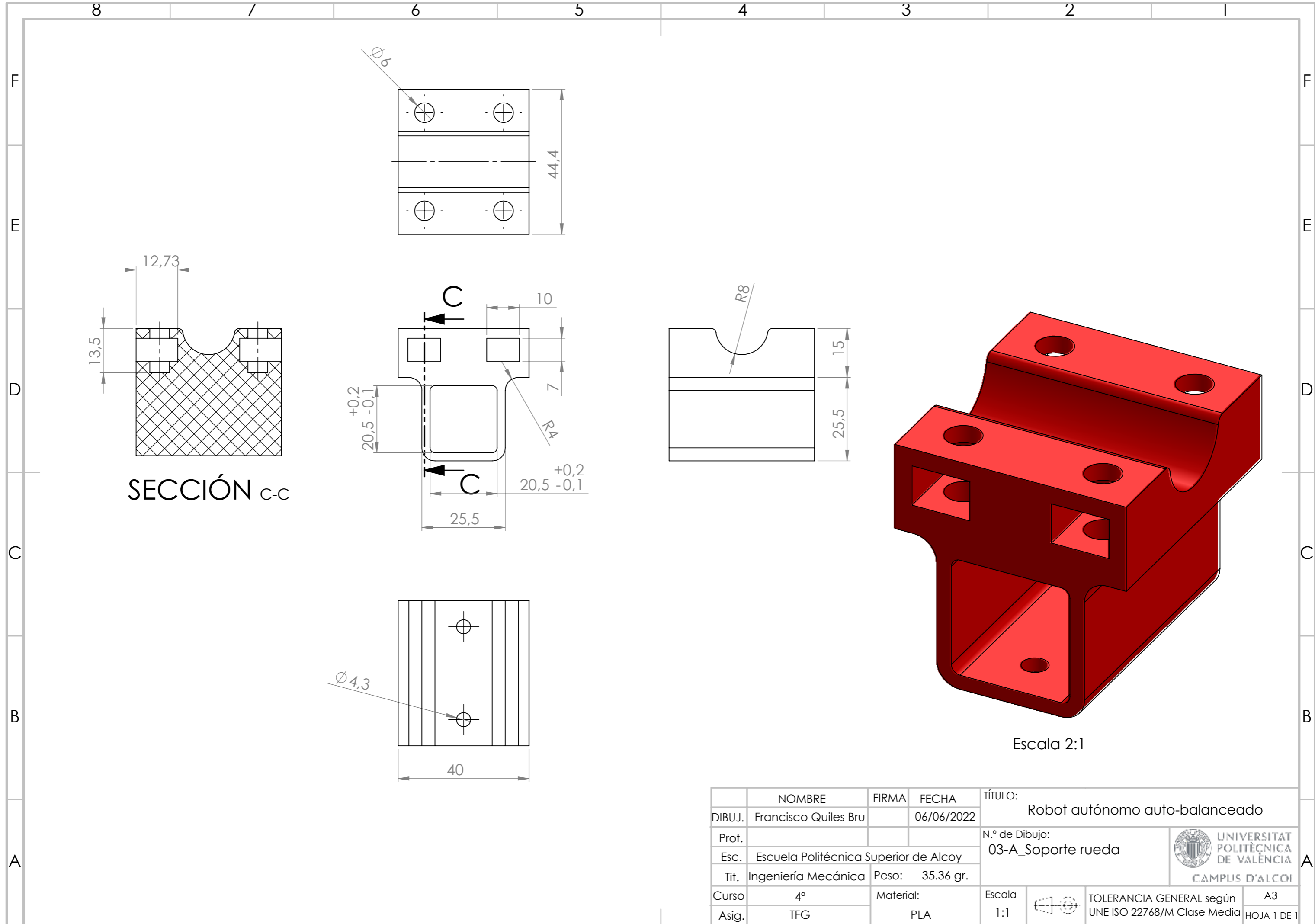
VISTA C

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.	Francisco Quiles Bru		06/06/2022	Robot autónomo auto-balanceado	
Prof.				N.º de Dibujo:	
Esc.	Escuela Politécnica Superior de Alcoy			09-A_Nivel superior	
Tit.	Ingeniería Mecánica	Peso:	177.55 gr.		
Curso	4º	Material:		Escala	
Asig.	TFG	PLA		1:2	
				TOLERANCIA GENERAL según	A3
				UNE ISO 22768/M Clase Media	HOJA 1 DE 1




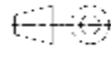
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:
DIBUJ.	Francisco Quiles Bru		06/06/2022	Robot autónomo auto-balanceado
Prof.				N.º de Dibujo:
Esc.	Escuela Politécnica Superior de Alcoy			01-A_Codo
Tit.	Ingeniería Mecánica	Peso:	26.90 gr.	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI
Curso	4º	Material:		
Asig.	TFG	PLA		Escala: 2:1  TOLERANCIA GENERAL según UNE ISO 22768/M Clase Media
				A3 HOJA 1 DE 1

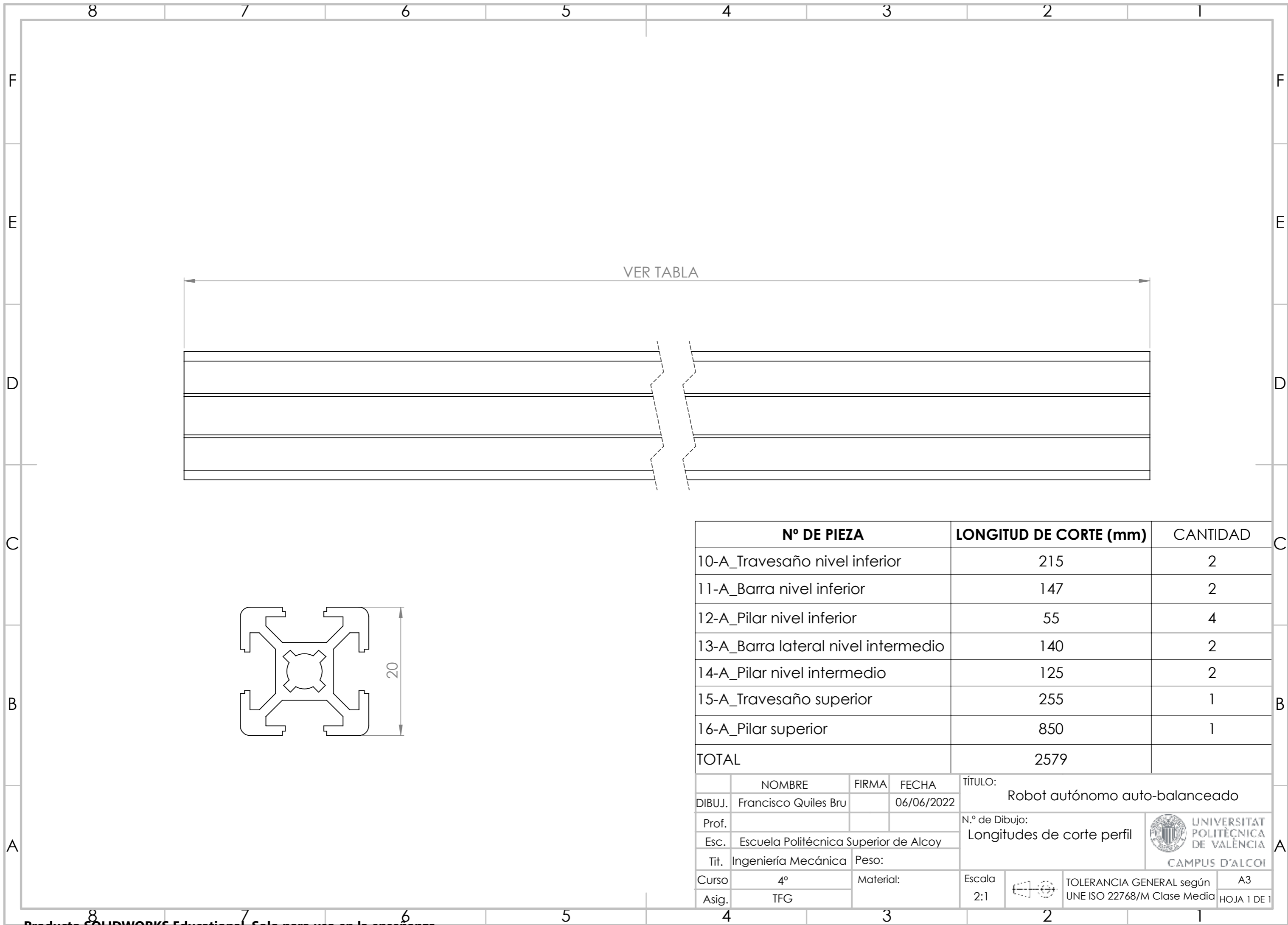




SECCIÓN C-C


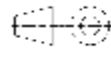
Escala 2:1

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.	Francisco Quiles Bru		06/06/2022	Robot autónomo auto-balanceado	
Prof.				N.º de Dibujo:	
Esc.	Escuela Politécnica Superior de Alcoy			03-A_Soporte rueda	
Tit.	Ingeniería Mecánica	Peso:	35.36 gr.	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI	
Curso	4º	Material:		Escala	
Asig.	TFG	PLA		1:1	 TOLERANCIA GENERAL según UNE ISO 22768/M Clase Media
					A3
					HOJA 1 DE 1



VER TABLA

Nº DE PIEZA	LONGITUD DE CORTE (mm)	CANTIDAD
10-A_Travesaño nivel inferior	215	2
11-A_Barra nivel inferior	147	2
12-A_Pilar nivel inferior	55	4
13-A_Barra lateral nivel intermedio	140	2
14-A_Pilar nivel intermedio	125	2
15-A_Travesaño superior	255	1
16-A_Pilar superior	850	1
TOTAL	2579	

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Robot autónomo auto-balanceado	
DIBUJ.	Francisco Quiles Bru		06/06/2022	N.º de Dibujo: Longitudes de corte perfil	
Prof.				 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI	
Esc.	Escuela Politécnica Superior de Alcoy				
Tit.	Ingeniería Mecánica	Peso:			
Curso	4º	Material:		Escala 2:1	TOLERANCIA GENERAL según UNE ISO 22768/M Clase Media
Asig.	TFG				A3 HOJA 1 DE 1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

C

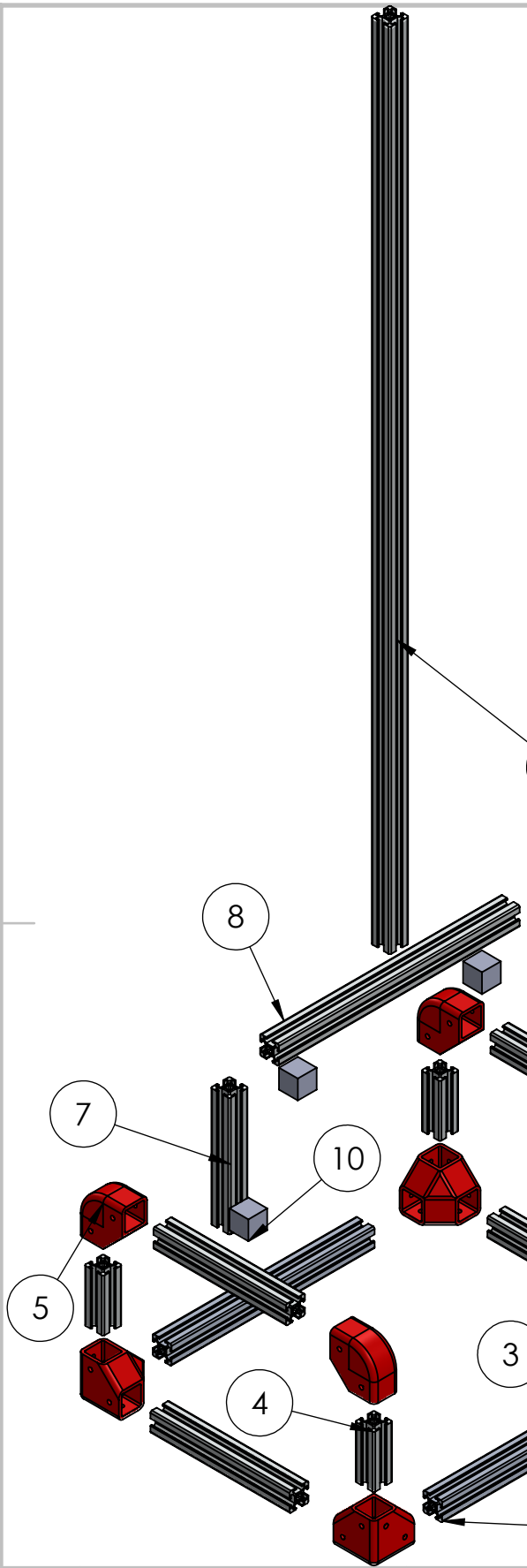
B



B

A

A

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	02-A_Esquina	4
2	10-A_Travesaño nivel inferior	2
3	11-A_Barra lateral inferior	2
4	12-A_Pilar nivel inferior	4
5	01-A_Codo	4
6	13-A_Barra lateral nivel intermedio	2
7	14-A_Pilar nivel intermedio	2
8	15-A_Travesaño superior	1
9	16-A_Pilar superior	1
10	05-B_Conectores	4



	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:
DIBUJ.	Francisco Quiles Bru		06/06/2022	Robot autónomo auto-balanceado
Prof.				N.º de Dibujo:
Esc.	Escuela Politécnica Superior de Alcoy			01_Estructura
Tit.	Ingeniería Mecánica	Peso:		 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOY
Curso	4º	Material:		
Asig.	TFG			Escala 1:5  TOLERANCIA GENERAL según UNE ISO 22768/M Clase Media
				A4 HOJA 1 DE 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

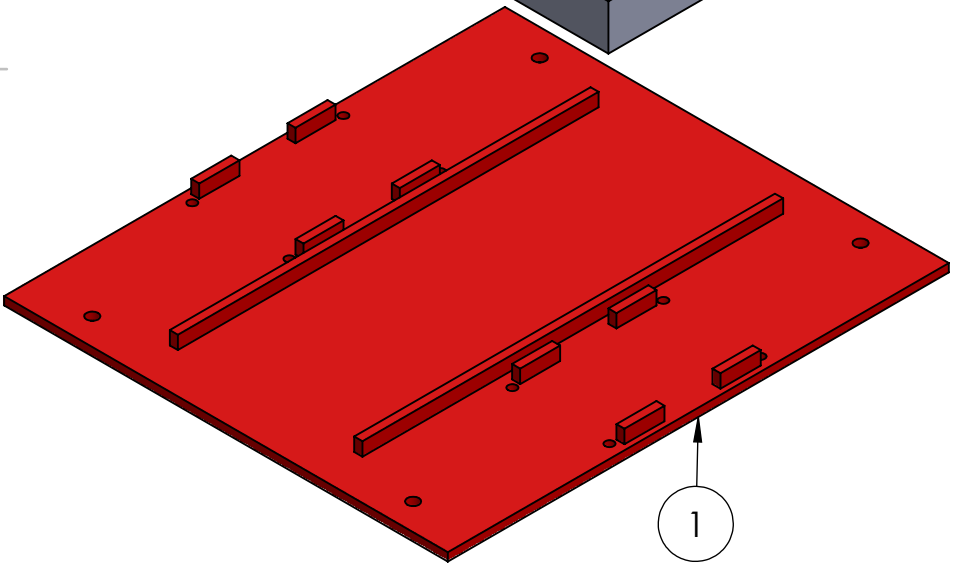
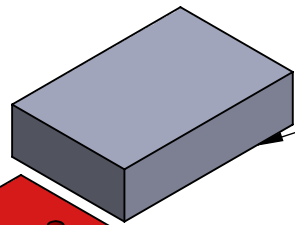
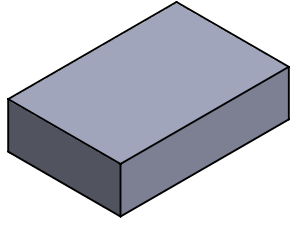
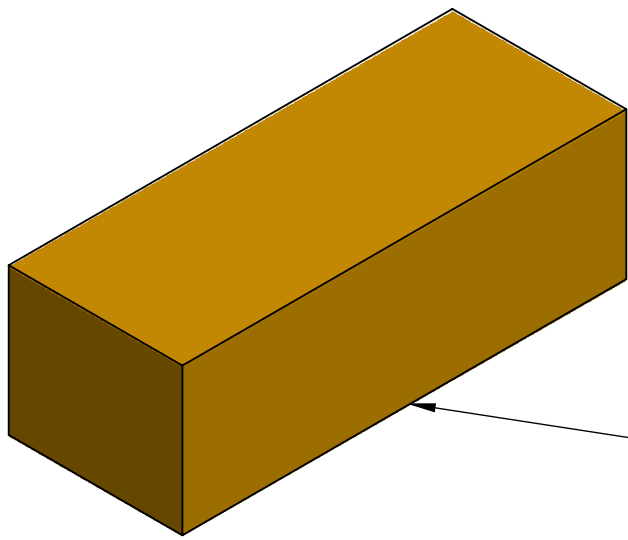
C

B

B

A

A



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	07-A_Nivel inferior	1
2	02-B_Bateria potencia	1
3	06-B_Driver	2

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.	Francisco Quiles Bru		06/06/2022	Robot autónomo auto-balanceado	
Prof.				N.º de Dibujo:	
Esc.	Escuela Politécnica Superior de Alcoy			01_Nivel inferior	UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI
Tit.	Ingeniería Mecánica	Peso:			
Curso	4º	Material:		Escala	
Asig.	TFG			1:2	
				TOLERANCIA GENERAL según UNE ISO 22768/M Clase Media	A4
					HOJA 1 DE 1

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

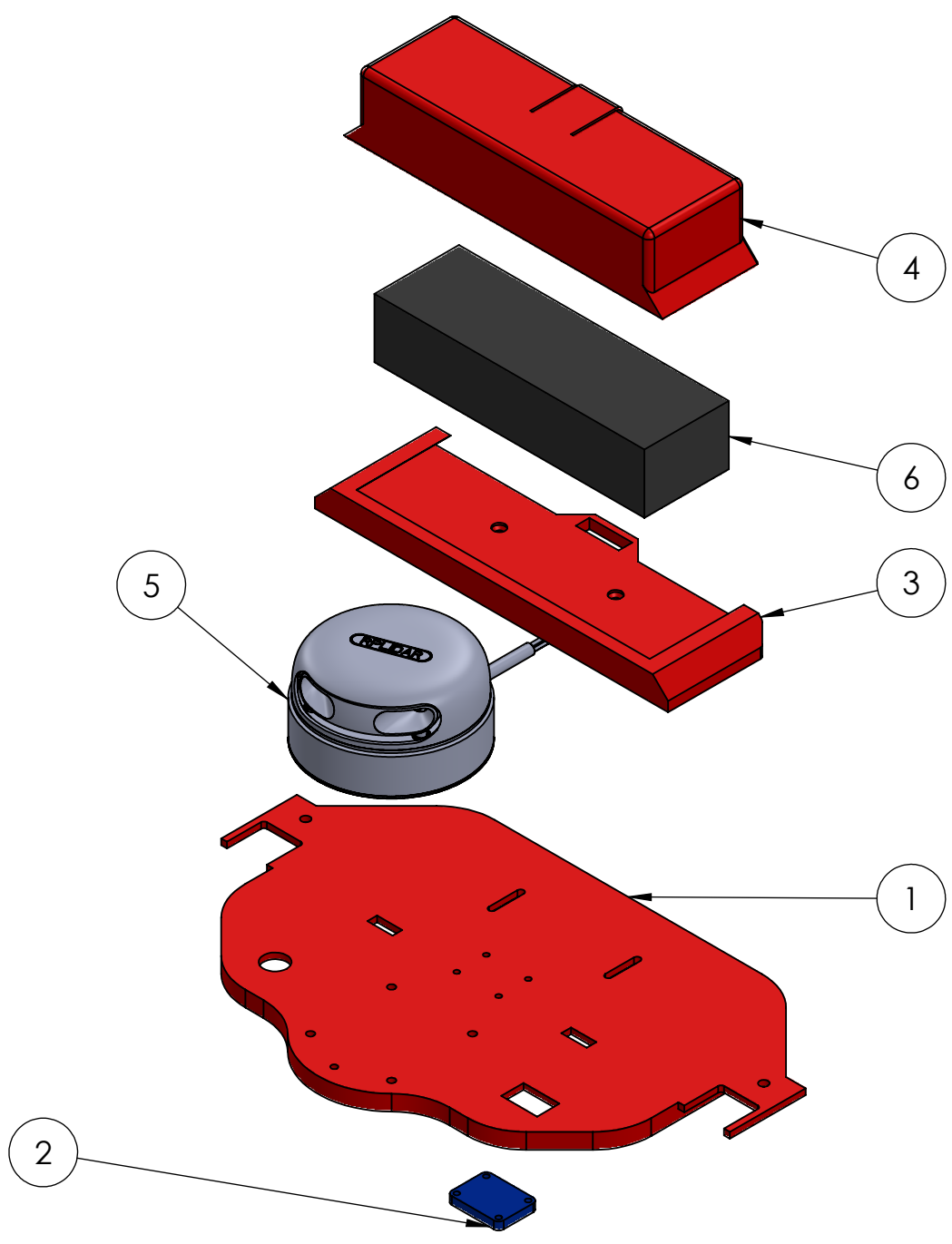
C

B

B

A

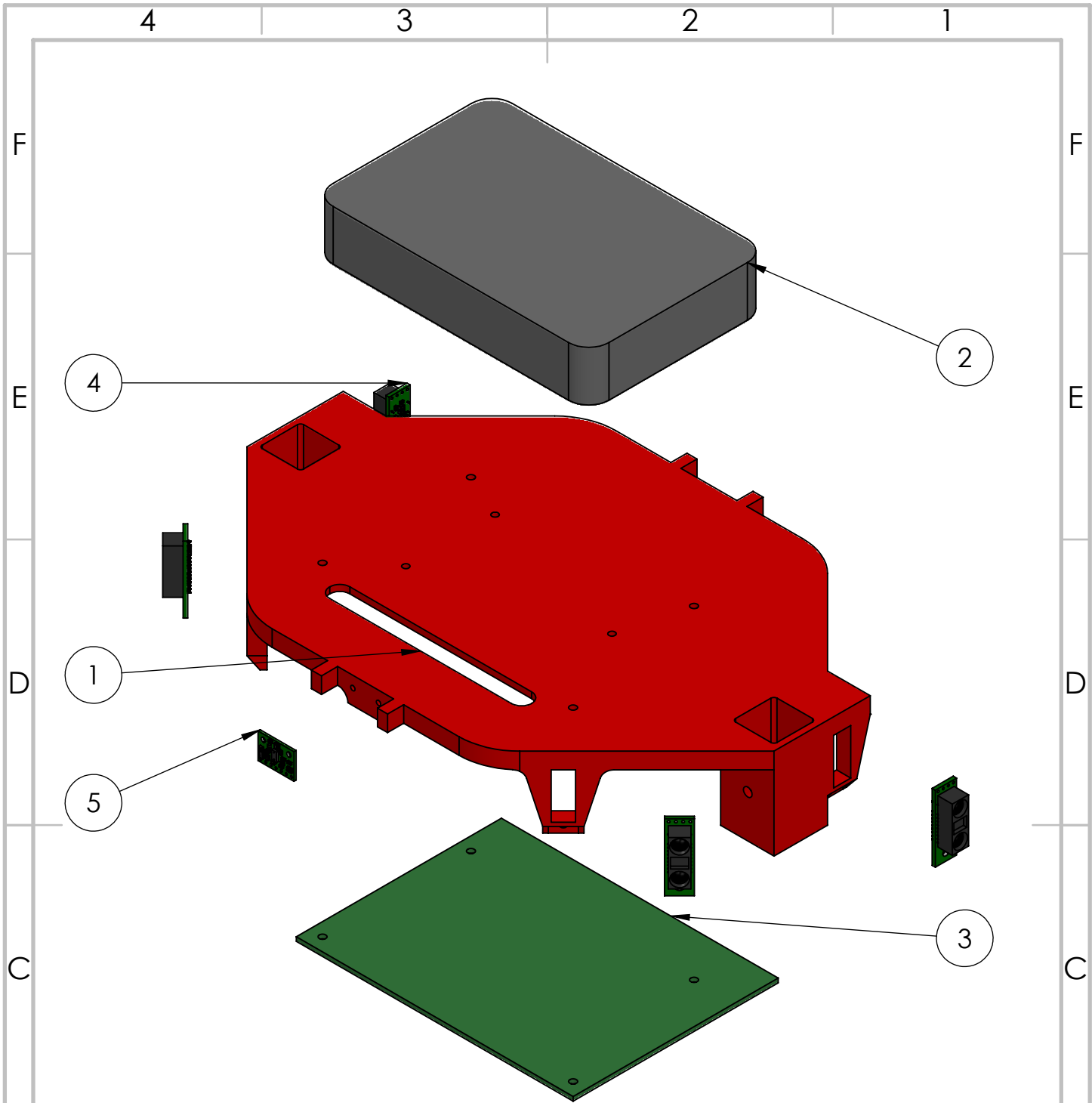
A



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	08-A_Nivel intermedio	1
2	01-B_IMU	1
3	06-A_Soporte inferior bateria MR	1
4	05-A_Soporte superior bateria MR	1
5	07-B_LIDAR	1
6	03-B_Bateria control	1

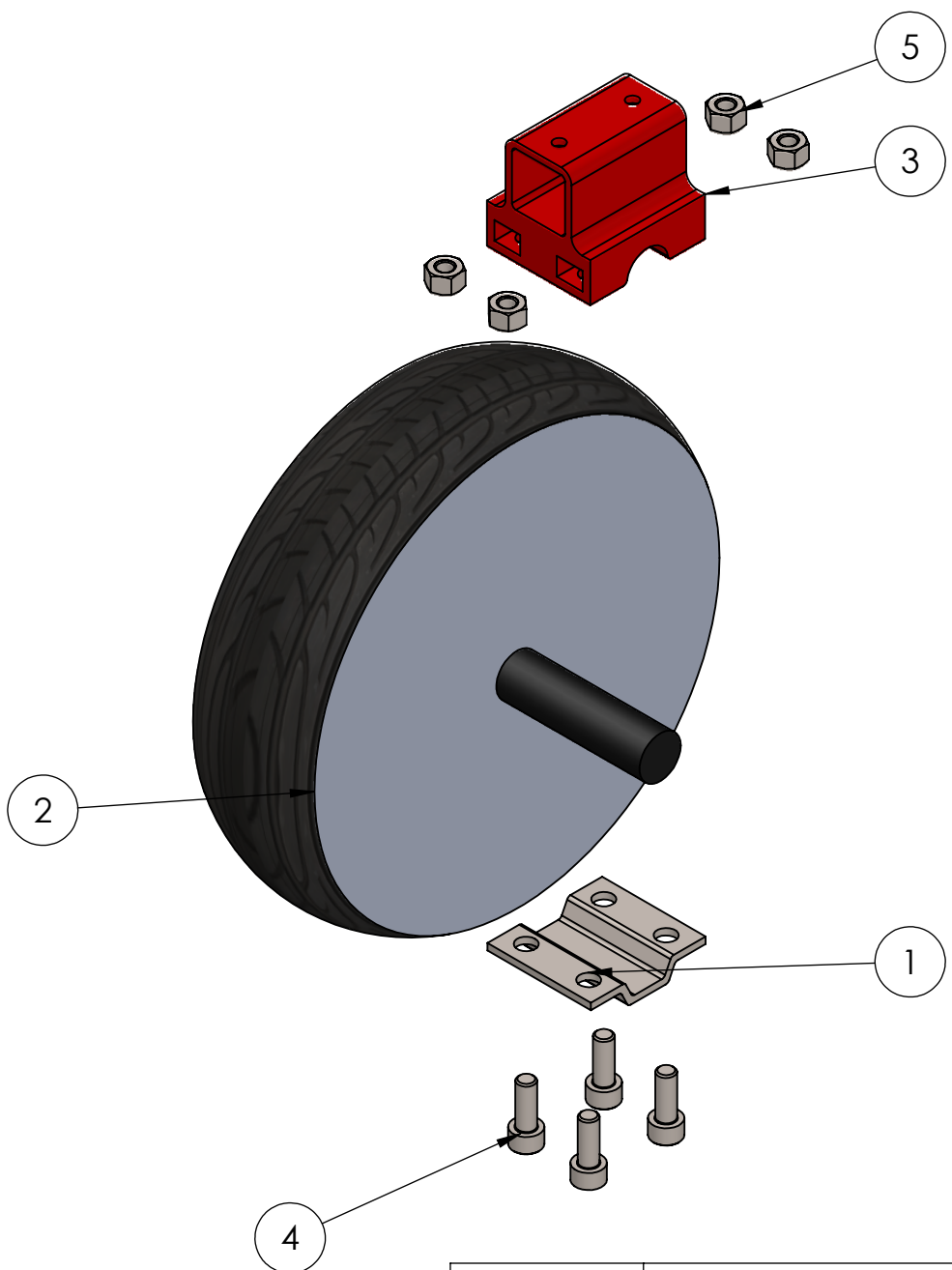
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.	Francisco Quiles Bru		06/06/2022	Robot autónomo auto-balanceado	
Prof.				N.º de Dibujo:	
Esc.	Escuela Politécnica Superior de Alcoy			01_Nivel intermedio	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOY
Tit.	Ingeniería Mecánica	Peso:			
Curso	4º	Material:		Escala	
Asig.	TFG			1:2.5	
				TOLERANCIA GENERAL según UNE ISO 22768/M Clase Media	A4
					HOJA 1 DE 1

4 3 2 1




N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	09-A_Nivel superior	1
2	08-B_MyRIO	1
3	09-B_PCB	1
4	11-B_Sensor Infrarrojos	4
5	12-B_Sensor laser	1

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.	Francisco Quiles Bru		06/06/2022	Robot autónomo auto-balanceado	
Prof.				N.º de Dibujo:	
Esc.	Escuela Politécnica Superior de Alcoy			01_Nivel superior	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI
Tit.	Ingeniería Mecánica	Peso:			
Curso	4º	Material:		Escala	
Asig.	TFG			1:2	 TOLERANCIA GENERAL según UNE ISO 22768/M Clase Media
					A4 HOJA 1 DE 1



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	04-B_Brida	1
2	10-B_Rueda	1
3	soporte rueda v2	1
4	ISO 4762 M6 x 16 - 16N	4
5	ISO - 4034 - M6 - N	4

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.	Francisco Quiles Bru		06/06/2022	Robot autónomo auto-balanceado	
Prof.				N.º de Dibujo:	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI
Esc.	Escuela Politécnica Superior de Alcoy			01_Rueda	
Tit.	Ingeniería Mecánica	Peso:			
Curso	4º	Material:		Escala	TOLERANCIA GENERAL según UNE ISO 22768/M Clase Media
Asig.	TFG			1:2	
					A4
					HOJA 1 DE 1

4

3

2

1

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	01_Estructura	1
2	01_Nivel intermedio	1
3	01_Rueda	2
4	01_Nivel inferior	1
5	01_Nivel superior	1
6	04-A_Sujecciones batería	2

F

F

E

E

D

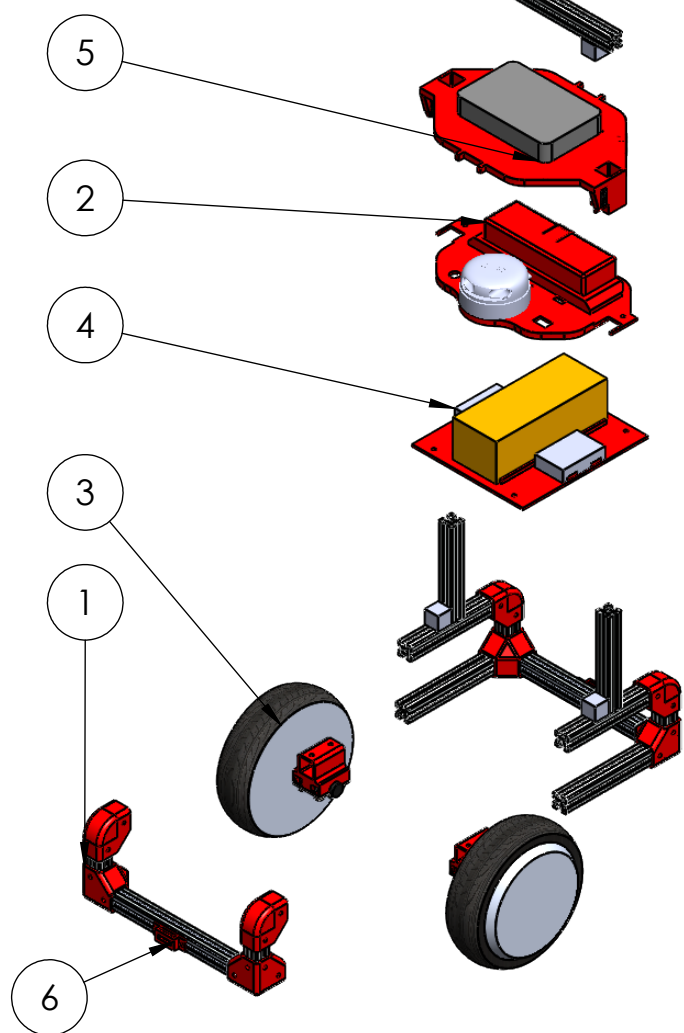
D

C

C


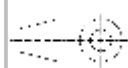
B

B



A

A

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:
DIBUJ.	Francisco Quiles Bru		21/06/2022	Robot autónomo auto balanceado
Prof.				N.º de Dibujo:
Esc.	Escuela Politécnica Superior de Alcoy			01_Conjunto robot
Tit.	Ingeniería Mecánica	Peso:		 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI
Curso	4º	Material:		
Asig.	TFG			Escala 1:8  TOLERANCIA GENERAL según UNE ISO 22768/M Clase Media
				A4 HOJA 1 DE 1