



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Kit DIY de volante de carreras para simulación

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

AUTOR/A: Cañizares Hernández, Ivan

Tutor/a: Santiago Praderas, Víctor Manuel

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

## Índice de Contenido

<b>Índice de Contenido</b> .....	1
<b>Índice de Ilustraciones</b> .....	4
<b>Índice de Tablas</b> .....	5
<b>Resumen del proyecto</b> .....	6
Español.....	6
Inglés .....	6
Valenciano.....	7
<b>1. Objeto del proyecto</b> .....	8
<b>2. Antecedentes</b> .....	8
<b>3. Factores a considerar</b> .....	10
<b>4. Soluciones alternativas</b> .....	10
4.1. Volante .....	11
4.2. Pedalera .....	12
4.3. Cambio de marchas.....	12
<b>5. Descripción detallada de la solución</b> .....	13
5.1. Volante .....	13
5.2. Pedalera .....	14
5.3. Cambio de marchas.....	15
5.4. Resultado final.....	16
<b>6. Anexos</b> .....	21
6.1. Anexo 1: Comparativa de rendimientos y precios .....	21
6.2. Anexo 2: Montaje de estructura con integración de la electrónica final .....	23
<b>7. Planos</b> .....	25
7.1. Volante .....	26
7.1.1. Plano general volante.....	26
7.1.2. Plano explosionado volante .....	27
7.1.3. Base metálica .....	28
7.1.4. Base caucho.....	29
7.1.5. Soporte placas de control .....	30
7.1.6. Separador bujes .....	31
7.1.7. Eje dirección .....	32
7.1.8. Adaptador volante .....	33
7.1.9. Soporte Encoder 1.....	34
7.1.10. Soporte Encoder 2.....	35

7.1.11. Conector Nema 24 - E6B2-CWZ1X.....	36
7.2. Pedales .....	37
7.2.1. Plano general pedal.....	37
7.2.2. Plano explosionado pedal .....	38
7.2.3. Base pedal .....	39
7.2.4. Base pedal – Plano corte .....	40
7.2.5. Accionador pedal.....	41
7.2.6. Accionador pedal – Plano corte .....	42
7.2.7. Separador Base-Accionador .....	43
7.2.8. Deslizadera muelle .....	44
7.2.9. Tope muelle.....	45
7.2.10. Final deslizadera .....	46
7.2.11. Accionador potenciómetro 1 .....	47
7.2.12. Accionador potenciómetro 2 .....	48
7.3. Cambio de marchas.....	49
7.3.1. Plano general cambio de marchas .....	49
7.3.2. Plano explosionado cambio de marchas.....	50
7.3.3. Estructura inferior .....	51
7.3.4. Estructura superior.....	52
7.3.5. Centro.....	53
7.3.6. Centro superior .....	54
7.3.7. Anillo rótula.....	55
7.3.8. Separador .....	56
7.3.9. Tope muelle cambio.....	57
7.3.10. Soporte placa .....	58
<b>8. Pliego de condiciones .....</b>	<b>59</b>
8.1. Objeto del proyecto .....	59
8.2. Condiciones de los materiales.....	59
8.2.1. Aluminio 5754 (Base volante) .....	59
8.2.2. Caucho SBR (Base volante).....	59
8.2.3. Plástico ABS .....	59
8.2.4. Acero Inoxidable AISI 316 (Pedales).....	60
8.2.5. PTFE (Pedales) .....	60
8.2.6. Tornillería .....	60
8.2.7. Rodamientos .....	60
8.3. Condiciones de la ejecución .....	61

8.3.1. Corte láser del aluminio 5754 y acero AISI 316.....	61
8.3.2. Doblado acero AISI 316 para los pedales .....	61
8.3.3. Impresión de piezas 3D en ABS .....	61
8.3.4. Torneado de piezas de PTFE.....	61
8.4. Prueba de servicio .....	62
<b>9. Medición y presupuesto.....</b>	<b>63</b>
<b>10. Bibliografía.....</b>	<b>73</b>
10.1. Referencias directas con el proyecto .....	73
10.2. Componentes .....	74
10.3. Archivos CAD de Componentes.....	74

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. ColecoVision Módulo #2 de 1982. Fuente: Wikipedia.....	8
Ilustración 2. Microsoft SideWinder Force Feedback Wheel Gameport. Fuente: Wikipedia.....	9
Ilustración 3. Thrustmaster T300RS y Logitech G29. Fuente: Gamepol.com .....	9
Ilustración 4. Esquema de bloques de un volante de simulación. Material propio .....	10
Ilustración 5. Motor Nema 24 y Driver DM542T. Fuente: Stepperonline.com .....	13
Ilustración 6. Omron E6B2-CWZ1X. Fuente: industrial.omron.es .....	14
Ilustración 7. Conector D-Sub9 macho y hembra. Fuente: Amazon.es.....	15
Ilustración 8. Detalle de curvas de resistencia al cambio. Material propio .....	15
Ilustración 9. Interfaz Arcade USB. Fuente: eBay.es .....	16
Ilustración 10. Esquema de montaje del sistema ForceFeedback del volante. Fuente: EbolzBagy (YouTube).....	16
Ilustración 11. Esquema de montaje electrónica de los pedales, encoder y botones extra. Fuente: EbolzBagy (YouTube) .....	17
Ilustración 12. Vista general de la base del volante. Material propio.....	17
Ilustración 13. Detalle de la zona de electrónica del volante. Material propio. ....	18
Ilustración 14. Detalle de los soportes a tracción del volante. Material propio. ....	18
Ilustración 15. Detalles del cambio de marchas. Material propio.....	19
Ilustración 16. Detalles del pedal. Material propio.....	20
Ilustración 17. Gráfica de fuerza de volantes comerciales. Fuente: EdRacing.com .....	21

## Índice de Tablas

Materiales .....	63
Fabricación .....	64
Tornillería .....	65
Costes totales por componente (€).....	66
Volante - Coste del producto (€) .....	67
Pedales - Coste del producto (€) .....	67
Cambio de marchas - Coste del producto (€).....	67
Costes de producción por componente (€).....	68
Volante - Coste total de producción del producto (€).....	69
Pedales - Coste total de producción del producto (€).....	69
Cambio de marchas - Coste total de producción del producto (€) .....	69
Precios de venta recomendado al público (€).....	70
Volante – Fabricación mínima.....	70
Pedales – Fabricación mínima.....	70
Cambio de marchas – Fabricación mínima .....	71
Volante - Coste final al usuario (€) .....	71
Pedales - Coste final al usuario (€) .....	72
Cambio de marchas - Coste final al usuario (€).....	72

## Resumen del proyecto

### Español

Desde los inicios de la tecnología digital el ser humano ha intentado crear un mundo digital idéntico al mundo real. En la actualidad, este tópico está muy extendido en libros y películas, como Matrix o Ready Player One, incluso estamos a las puertas de poder acceder de manera más inmersiva a este con la reciente presentación del Metaverso de Mark Zuckerberg, CEO de Meta, anteriormente conocida como Facebook, mediante sus dispositivos Oculus Quest de realidad virtual. Este método de inmersión completa no es necesario para simular ciertos aspectos del mundo real, como es el caso de la conducción.

Los primeros videojuegos de conducción constaban de un volante que movía simplemente a izquierda o derecha el vehículo que se controlaba. Hoy en día, la simulación de carreras está a la orden del día, llegando a existir campeonatos de carreras en línea paralelos a sus competiciones homónimas en la realidad, como la F1 o el WRC, donde se utilizan tecnologías mucho más avanzadas para acercarse con la mayor fidelidad posible a la realidad. Tecnología de giro progresivo del volante o recorrido progresivo de los pedales con los que controlar con precisión estos parámetros o la tecnología *ForceFeedback*, que transmite mediante vibraciones y fuerzas sobre el volante las sensaciones que se percibirían durante la conducción (baches, deslizamientos, impactos...), son solo algunos de los métodos de inmersión más simples actualmente.

Los miembros de esta comunidad de jugadores de videojuegos de conducción se hacen llamar *Sim Racers*, del inglés Pilotos de carreras de simulación. Esta amplia comunidad abarca desde los eventos más grandes como los mencionados anteriormente, donde se utilizan tecnologías más avanzadas como puestos de conducción similares a vehículos reales, sistemas de *ForceFeedback* incluidos en asientos y estructuras complejas, hasta el disfrute de conducción simple y relajada sin abandonar la comunidad del hogar. El abanico de tipos de Sim Racers es muy amplio, pero las opciones disponibles en el mercado pueden llegar a ser un poco limitadas en cuanto a opciones, que se ven afectadas también por altos precios en cuanto a opciones más completas e inmersivas.

### Inglés

Since the dawn of digital technology, humans have tried to create a digital world identical to the real world. Nowadays, this topic is widespread in books and films, such as the Matrix or Ready Player One, and we are even on the verge of being able to access it in a more immersive way with the recent presentation of the Metaverse by Mark Zuckerberg, CEO of Meta, formerly known as Facebook, through his Oculus Quest virtual reality devices. This method of full immersion is not necessary to simulate certain aspects of the real world, such as driving.

The first driving video games consisted of a steering wheel that simply moved the vehicle being controlled to the left or right. Today, racing simulation is the order of the day, with online racing championships paralleling their real-world counterparts, such as F1 or WRC, where much more advanced technologies are used to get as close to reality as possible. Progressive steering wheel turning technology or progressive pedal travel to precisely control these parameters, or *ForceFeedback* technology, which transmits the sensations that would be perceived during

driving (bumps, slides, impacts...) through vibrations and forces on the steering wheel, are just some of the simplest immersion methods currently available.

Members of this community of driving video game players call themselves *Sim Racers*. This broad community ranges from the larger events such as those mentioned above, where more advanced technologies are used such as driving positions similar to real vehicles, *ForceFeedback* systems built into seats and complex structures, to the enjoyment of simple, relaxed driving without leaving the home community. The range of types of *Sim Racers* is very wide, but the options available on the market can be somewhat limited in terms of choice, which is also affected by high prices for more complete and immersive options.

## Valenciano

Des dels inicis de la tecnologia digital l'ésser humà ha intentat crear un món digital idèntic al món real. En l'actualitat, aquest tòpic està molt estès en llibres i pel·lícules, com *Matrix* o *Ready Player One*, i fins i tot estem a les portes de poder accedir de manera més immersiva a aquest amb la recent presentació del Metavers de Mark Zuckerberg, \*CEO de Meta, anteriorment coneguda com a Facebook, mitjançant els seus dispositius Oculus Quest de realitat virtual. Aquest mètode d'immersió completa no és necessari per a simular uns certs aspectes del món real, com és el cas de la conducció.

Els primers videojocs de conducció constaven d'un volant que movia simplement a esquerra o dreta el vehicle que es controlava. Hui dia, la simulació de carreres està a l'ordre del dia, arribant a existir campionats de carreres en línia paral·lels a les seues competicions homònimes en la realitat, com la F1 o el WRC, on s'utilitzen tecnologies molt més avançades per a acostar-se amb la major fidelitat possible a la realitat. Tecnologia de gir progressiu del volant o recorregut progressiu dels pedals amb els quals controlar amb precisió aquests paràmetres o la tecnologia *ForceFeedback*, que transmet mitjançant vibracions i forces sobre el volant les sensacions que es percebrien durant la conducció (sots, lliscaments, impactes...), són només alguns dels mètodes d'immersió més simples actualment.

Els membres d'aquesta comunitat de jugadors de videojocs de conducció es fan cridar *Sim Racers*, de l'anglès Pilots de carreres de simulació. Aquesta àmplia comunitat abasta des dels esdeveniments més grans com els esmentats anteriorment, on s'utilitzen tecnologies més avançades com a llocs de conducció similars a vehicles reals, sistemes de *ForceFeedback* inclosos en seients i estructures complexes, fins al gaudi de conducció simple i relaxada sense abandonar la comunitat de la llar. El ventall de tipus de *Sim Racers* és molt ampli, però les opcions disponibles en el mercat poden arribar a ser una mica limitades quant a opcions, que es veuen afectades també per alts preus quant a opcions més completes i immersives.



## 1. Objeto del proyecto

Este proyecto busca diseñar un kit de volante de carreras para simulación DIY, siglas del inglés *Do It Yourself*, traducido al español como Hazlo Tú Mismo. El proyecto se centra en la creación de una estructura con la que el usuario pueda obtener un kit de conducción para simulación en videojuegos de calidad, a un precio relativamente asequible y que sirva también para aprender cómo funcionan los productos de este tipo y mantenerlos. Este kit incluye además del volante, un juego de pedales y un cambio de marchas que podrían ponerse a disposición del público de manera independiente uno del otro, de manera que un usuario que ya disponga de componentes previos pueda hacer uso de ellos sin problemas de compatibilidad. En cuanto a la parte de electrónica y software, la estructura se diseñará para una recopilación de componentes seleccionados por sus características disponibles en el mercado, de modo que completen dicho kit.

## 2. Antecedentes

Los volantes de carreras son un método de control usado en videojuegos de carreras desde hace años. Por lo general, estos cuentan con un volante, junto con un juego de pedales para el accionamiento del acelerador y freno, incluso en ocasiones el embrague, lo que permite también varios controles de cambio. Surgieron a comienzos de los años 80 en las máquinas recreativas de conducción y poco tiempo después surgieron componentes que podías utilizar desde la comodidad de tu casa.



Ilustración 1. ColecoVision Módulo #2 de 1982. Fuente: Wikipedia

Estos volantes, frente a un mando analógico, permiten manipular con precisión el ángulo de dirección, así como controlar acelerador y freno de manera más progresiva mediante los pedales para una mejor conducción del automóvil simulado. Esto también se aplica frente a teclados, puesto que los volantes pueden utilizarse en infinidad de plataformas (consolas, ordenadores...).

Junto a esto, en esencia podemos clasificar los tipos de volantes según si tienen o no la siguiente tecnología, el *ForceFeedback* (retroalimentación de fuerza). Esta tecnología, incluida por primera vez en el volante Microsoft SideWinder Force Feedback Wheel Gameport en octubre de 1997, permite que, además de dirigir el vehículo del videojuego mediante el movimiento giratorio del volante, el volante transmita la sensación de conducción de un vehículo real (mayor o menor dureza en la dirección, temblor al coger un bache o al tener un accidente, fuerza centrífuga en una curva...) mediante la aplicación de fuerza en el volante haciendo uso de un motor eléctrico.



*Ilustración 2. Microsoft SideWinder Force Feedback Wheel Gameport.  
Fuente: Wikipedia*

Actualmente en el mercado hay una amplia cantidad de volantes de diferentes marcas, calidades y precios, como Logitech, Thrustmaster o Fanatec entre otros. Si nos centramos en los volantes que disponen de *ForceFeedback*, tecnología que se busca aplicar al proyecto, las soluciones comerciales que más destacan actualmente son la gama Logitech G29/G920 o los Thrustmaster T300RS, tanto por su relación calidad-precio así como por incorporar todos los elementos relacionados con la conducción, es decir, incluyen pedalera con embrague y cambio de marchas.



*Ilustración 3. Thrustmaster T300RS y Logitech G29. Fuente: Gamepol.com*

Por otra parte, la comunidad *Maker* (formada por personas que les gusta diseñar y fabricar) es muy amplia y muchas empresas se han decantado por ofrecer sus productos desmontados con el fin de proporcionar productos asequibles que agraden a esta comunidad dándoles acceso a un producto normalmente difícil de conseguir (económicamente hablando) si este viene ya montado. Podemos ver un ejemplo en el reciente auge de las impresoras 3D, un producto que, tratándose de una solución comercial ya montada, como la impresora Creality 3D® CR-5 Pro, tienen precios prohibitivos para la mayoría, rondando los 1000 €. La contraparte DIY es mucho más económica, puesto que kits como la Anet® A8 o A6 rondan apenas los 100 €. Esta solución también abre el camino a una gran cantidad de mejoras a posteriori a las que se puede acceder para aumentar el rendimiento o la calidad del producto.

### 3. Factores a considerar

El principal factor por considerar es que el kit sea compatible con gran cantidad de piezas, así como fácil de montar, de modo que el usuario final pueda reemplazar partes dañadas o deterioradas, mejorar su volante sin mayor complicación o, incluso, poder utilizar componentes de otras opciones comerciales. Cabe destacar que no existe ninguna normativa en sí que regule este tipo de dispositivos, por lo que existe una plena libertad de diseño.

Cumpliendo con la premisa anterior, se pretende que el kit tenga un rendimiento similar o superior a ciertas opciones comerciales buscando un precio cercano o por debajo de la competencia. En este apartado podemos encontrar mucha ambigüedad, puesto que el determinante para comparar los productos, desde el punto de vista de la comunidad *Sim Racer*, es el realismo de las sensaciones que el volante, o el sistema entero, pueda transmitir, por lo que, bajo mi punto de vista, esto afecta al proyecto en la precisión de giro y la cantidad de fuerza retroalimentada en el volante. Este realismo también se puede aplicar en los pedales, donde normalmente encontramos diferentes durezas en acelerador, freno y embrague, o en el cambio de marchas, ejerciendo cierta fuerza para conseguir engranar las marchas

Además, este proyecto busca crear un kit con el que la comunidad *Sim Racer* tenga acceso a una base de hardware pre-configurada. Esta comunidad ya ha creado esquemas electrónicos para construir individualmente simuladores de conducción que permita introducirle software abierto, mayormente desarrollado por esta comunidad y disponible en internet, que sirve como guía o norma para la selección de componentes. Así pues, se pretende disponer de un volante de simulación funcional y competitivo para, de este modo, llegar a un mayor número de personas. De esta forma, se busca trabajar con soluciones asequibles y de fácil acceso.

El hardware que se debe utilizar en estos proyectos también está desarrollado por la comunidad y se hablará en profundidad en apartados siguientes, aunque se puede destacar que ciertos componentes pueden ser ofrecidos por diversas marcas o ser “clónicos”, como en el caso de muchas placas de la marca Arduino, por lo que es preferible el uso de primeras marcas como la ya mencionada Arduino, RS Components...

### 4. Soluciones alternativas

El siguiente esquema de bloques nos muestra el funcionamiento general de este sistema para entender mejor cómo funciona:

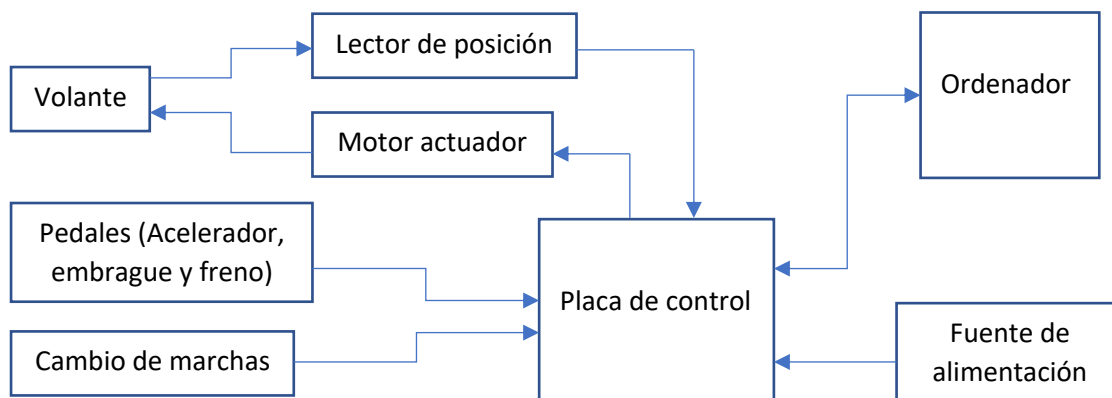


Ilustración 4. Esquema de bloques de un volante de simulación. Material propio

De este modo, podemos dividir el kit en tres partes diferenciadas, cada cual con sus propias soluciones:

#### 4.1. Volante

Como ya se ha mencionado anteriormente, el desarrollo de este kit no incluye el diseño del software ni los componentes en sí que se necesitarían, sino que se seleccionará un listado de los mejores componentes y software diseñado por la comunidad *Sim Racer* para utilizar en este proyecto. La placa de control se incluye en este apartado porque es más fácil incluirlo en la estructura del volante y conectar el resto de componentes de manera externa.

El kit debe poder albergar software abierto y las piezas utilizadas deben ser asequibles y de fácil acceso, por lo que el hardware que se encargará de controlar todo el kit será una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega32u4. Este tipo de microcontrolador está presente en la gran mayoría de proyectos de kits de conducción, los cuales se centran en el apartado de software y componentes. Este componente se encuentra en este apartado puesto que de este modo se engloba el hardware principal en el módulo del volante al cual el resto de los módulos se acoplan.

Para la detección de giro del volante es necesario un *Encoder*, un dispositivo de detección que proporciona una respuesta, de modo que permita leer al dispositivo de control el ángulo en el que se encuentra el volante. Se pueden encontrar Encoders lineales y rotativos, en función del tipo de desplazamiento, y Encoders incrementales y absolutos. Estos últimos se diferencian en que un Encoder incremental no indica su posición angular hasta que se le proporciona un punto de referencia desde el cual se mide, mientras que el Encoder absoluto indica sin ambigüedad su posición dentro de una escala o rango.

El otro apartado importante, como ya se ha mencionado, es el Force Feedback, en el cual tenemos a nuestro alcance diferentes soluciones:

-**Sistema Direct Drive**, el cual conecta el motor directamente al volante del simulador.

-**Sistema con reductora**, el cual permite multiplicar o disminuir la fuerza aplicada de un motor eléctrico sobre el eje del volante en función de la relación de esta reducción. Dentro de este sistema podemos encontrar a su vez diferentes soluciones:

Engranajes rectos o helicoidales, estos últimos más silenciosos debido a la forma oblicua en la que interactúan sus dientes en relación al eje de rotación.

Engranajes con cadena, ya sea metálica o una correa dentada de neopreno. Este último presenta la menor sonoridad del grupo de engranajes.

Junto a todo lo anterior, la fuente de alimentación se elegirá principalmente en función del motor eléctrico que se utilice, siendo así esta fuente la que mejor se adapte al motor en voltaje y potencia, sin descuidar tampoco el resto del sistema.

Finalmente, la estructura que agrupe todos los componentes debe ser liviana, compacta, fácil de manipular y económica, pero a su vez también debe soportar las vibraciones que transmita el motor del Force Feedback y disponer de espacio suficiente para los componentes y para posibles futuras mejoras del usuario como motores o fuentes de alimentación más potentes.

## 4.2. Pedalera

Cada uno de los pedales de un vehículo (acelerador, freno y embrague) son actuadores que actúan de manera progresiva de 0 a 100%, por lo que para emular estos actuadores se debe utilizar un elemento que nos muestre una señal variable y progresiva. En este caso podemos hacer uso de dos elementos:

-**Potenciómetros.** Estos potenciómetros funcionan controlando una señal eléctrica en un rango conocido, similar a como funciona un grifo. En este caso podemos optar por potenciómetros lineales o potenciómetros rotativos.

-**Células de carga.** Se tratan de un transductor que convierte la fuerza aplicada sobre ella en una señal eléctrica medible haciendo uso de galgas extensométricas.

La estructura de accionamiento para estos actuadores se realizará mediante una estructura con forma de bisagra, cuyo sistema de retorno puede plantearse de dos maneras:

-**Muelle.** Es el método más sencillo y económico. La dureza del pedal puede regularse fácilmente mediante la pre-elección del muelle según su grosor o mediante la precarga de este.

-**Hidráulico.** Un actuador con una pequeña bomba hidráulica se encarga de darle fuerza al pedal y facilitar su retorno a la posición inicial.

Por otra parte, hay que tener en cuenta el conector a utilizar para conectar los pedales al cuerpo principal del volante, pues como ya se ha mencionado, son un apéndice del volante. La cantidad de conectores estandarizados disponibles en el mercado es innumerable, por lo que la elección se ajustará a nuestras necesidades lo mejor posible.

## 4.3. Cambio de marchas

El cambio de marchas, como bien indica el nombre, se encarga de seleccionar la relación de velocidad en el vehículo. Actualmente podemos encontrar cambios de marcha manual en H (el de toda la vida) o secuenciales (utilizados sobre todo en competición). Independientemente del sistema que se utilice, ya sea indicando una marcha en concreto o indicando una subida o bajada de esta, pueden utilizarse dos métodos para ello:

-**Switch o microswitch.** Pequeños interruptores de tipo fin de carrera. Se situarían en la posición donde se engranaría cada marcha y se accionarían mediante la pulsación de estos.

-**Cierre de circuito.** Este método abre el circuito eléctrico entre el hueco de una marcha y la palanca que encajaría sobre ella. Cuando se encajara el actuador, ambos extremos del circuito entran en contacto, cerrándose e indicando la marcha.

Por otro lado, la estructura del cambio de marchas debe ser ligera y compacta, así como imitar con el mayor realismo posible el comportamiento de un cambio real (resistencia al engranar una marcha, fijación de la marcha engranada, movimiento libre con retorno a punto muerto automático...). El diseño de la estructura es muy ambiguo, por lo que este se ajustará a las necesidades anteriores lo mejor posible.

## 5. Descripción detallada de la solución

Para llegar a una solución definitiva, es necesario analizar todas las alternativas señaladas anteriormente, pues todas ellas son posibles, pero solo algunas son óptimas para el diseño. Cada elemento del kit dispondrá de las siguientes características.

### 5.1. Volante

La placa de desarrollo más utilizada en todos los proyectos de desarrollo de un kit de conducción es el Arduino Leonardo, basada en el microcontrolador ATmega32u4. Existe gran cantidad de software que se puede aplicar a esta placa actualmente, y más que se pueda desarrollar en un futuro, por lo que es la opción más sensata y la más utilizada en la comunidad *Sim Racer*. Junto a esta placa de desarrollo se acoplará también una placa BTS7960 que se encargará de “traducir” la señal generada para la actuación del Force Feedback al motor.

El motor encargado del Force Feedback será un servomotor de la serie Nema conectado directamente al eje del volante (Sistema Direct Drive). Para considerar esta opción se ha tenido en cuenta que este sistema es más compacto que el uso de engranajes, así como permite una mejor transmisión de sensaciones al volante, sin ángulos muertos, y el mínimo mantenimiento que se necesita, puesto que unos engranajes deben lubricarse y pueden presentar desgastes con el tiempo.

Como se puede observar en el Anexo 1: Comparativa de rendimientos y precios, el motor debe presentar una fuerza similar o superior a las opciones comerciales que se quieren hacer frente. La serie Nema 24 presenta motores con una fuerza de hasta 4 Nm de par, una fuerza más que aceptable puesto que se sitúa por encima de los modelos más asequibles. Si el usuario buscara mayor rendimiento, la serie Nema 34 tiene modelos de hasta 12 Nm de par, fuerza muy superior incluso contra modelos de alta gama. Estos servomotores hacen uso de controladores independientes. El controlador DM542T sirve perfectamente para la gama Nema 24, pero es preferible la elección del modelo DM556T, controlador que sirve para ambas series de motores Nema ya mencionadas. El motor en si no irá conectado directamente al volante, sino que se conectará a un eje sujeto por dos bujes, encargados de reducir la flexión del peso de los brazos o diferentes acciones perpendiculares al eje de giro que puedan dañar con el tiempo el motor. Al final de dicho eje se situará un soporte para fijar un volante de carreras comercial.

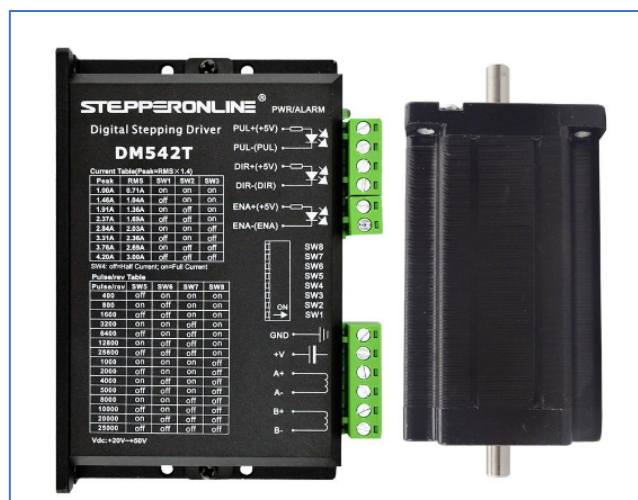


Ilustración 5. Motor Nema 24 y Driver DM542T. Fuente: Stepperonline.com

El Encoder encargado de indicar la posición del volante en cada momento es un Encoder OMRON E6B2-CWZ1X, preferiblemente en su versión de 2000 Pulsos. De este modo podemos asegurar una lectura precisa del ángulo del volante. Este se conectará directamente al motor por el eje posterior para leer directamente del mismo eje del volante.



Ilustración 6. Omron E6B2-CWZ1X. Fuente: [industrial.omron.es](http://industrial.omron.es)

Debido al uso de los motores anteriormente mencionados, se opta por el uso de una fuente de alimentación regulable de 24 a 48VCC y 10A genérica para suministrar toda la parte eléctrica del proyecto.

Finalmente, en lo que a la estructura del volante se refiere, la base estará formada por una plancha de Aluminio 5754. Esta será perforada previamente vía corte por láser para poder unir mediante tornillos los diferentes elementos que constituye el kit de volante. Las placas de control, así como los conectores, quedarán sujetos a la base mediante una pieza en plástico ABS, construida por impresión 3D. Los motores de la serie Nema usarán soportes en L comerciales, los cuales se acoplarán a la base mediante las perforaciones preparadas para estos. Entre la plancha de aluminio y la superficie donde se fije la base se situará una lámina de caucho que reduzca la transmisión de vibraciones más allá del volante.

## 5.2. Pedalera

La estructura de accionamiento, como ya se ha mencionado anteriormente, dispondrá de un movimiento de tipo bisagra que imite el movimiento de un pedal. Esta estructura estará fabricada en acero inoxidable AISI 304, de manera que sea resistente a flexión y frente a agentes externos como la oxidación. A este conjunto de pedal se le podrá acoplar unos pedales de apoyo comerciales a gusto del usuario.

Como método de retorno del pedal, la mejor opción es el uso de un muelle. Como ya se ha adelantado, es un método económico y fácil de regular al gusto del propietario en dureza y recorrido. Junto a esto se une la facilidad de mantenimiento del sistema, pues no hay ningún sistema hermético que pueda sufrir fugas por desgaste o pérdida de propiedades por el paso del tiempo, como en el caso de un sistema hidráulico.

Como actuador eléctrico, la elección de un potenciómetro es la más segura. La gran mayoría del software disponible en internet está preparado para tener potenciómetros como pedales en lugar de células de carga. En cuanto al potenciómetro en sí, el potenciómetro rotativo es más compacto que el lineal, además de que dispone de un mejor sellado del sistema que evitará la necesidad de un mantenimiento continuado.

Finalmente, el conector utilizado para conectar los pedales al cuerpo principal del volante será un conector D-Sub9. Este conector, además de ser muy común y fácil de conseguir, resulta ser el conector utilizado en los pedales del grupo Logitech, los más usados por la comunidad, por lo que permitiría una compatibilidad con estos si el usuario ya dispusiera de unos. Si el usuario dispusiera de pedales de otra compañía, la comunidad ha creado esquemas de conectores que permiten adaptar pedales Logitech a cuerpos de otras marcas y viceversa.

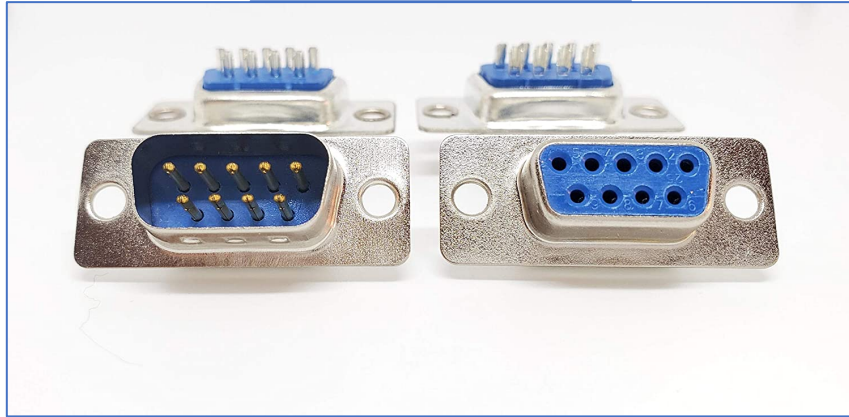


Ilustración 7. Conector D-Sub9 macho y hembra. Fuente: Amazon.es

### 5.3. Cambio de marchas

Para el sistema de cambio de marchas, se ha diseñado una estructura en plástico ABS, barato y fácil de trabajar, que permita un movimiento similar al de un cambio real y sus resistencias haciendo uso, principalmente, de una rótula. Esta rótula permitirá mover una varilla a través de unas guías que simulen el movimiento en H de un cambio, mientras un muelle se encarga de ofrecer resistencia al cambio, como en un vehículo real.

Para ofrecer esta resistencia, se ha diseñado una pieza guía que dispone de unas curvas perpendiculares al recorrido del muelle que, al accionar el cambio, unos rodamientos recorren dichas curvas comprimiendo el muelle y generando la resistencia en cuestión.

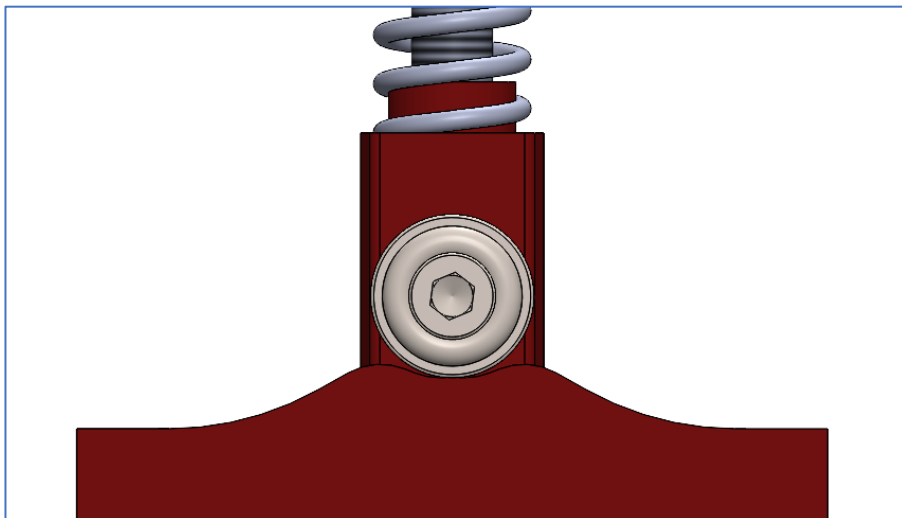


Ilustración 8. Detalle de curvas de resistencia al cambio. Material propio



Por otra parte, el sistema de selección de marcha se ejecutará mediante microswitch's que, conectados a una Interfaz Arcade USB, independiente de la placa de control principal, que se encargarán de indicar en que marcha se sitúa. Cada interruptor se situará al final de cada guía de cambio, de modo que sean accionados como un coche real.

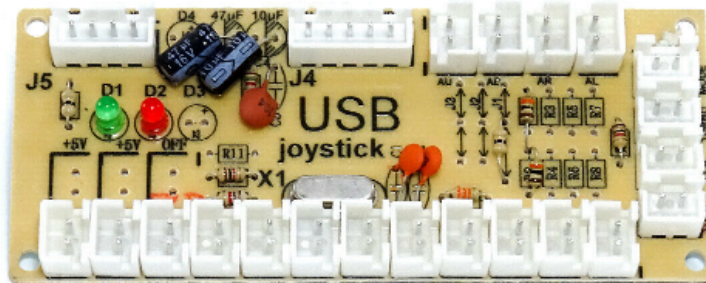


Ilustración 9. Interfaz Arcade USB. Fuente: eBay.es

#### 5.4. Resultado final

A continuación, primero podemos observar unos esquemas de conexiones de todo el sistema de volante creado por un miembro de la comunidad *Sim Racer* llamado EbolzBogy y el equipo de EMC Development, encargados de desarrollar el software para estos sistemas. En el caso del diseño presentado, hay que destacar que se hace uso de un motor paso a paso, que necesita de un controlador propio mencionado anteriormente, el cual no está incluido en el esquema de EbolzBogy.

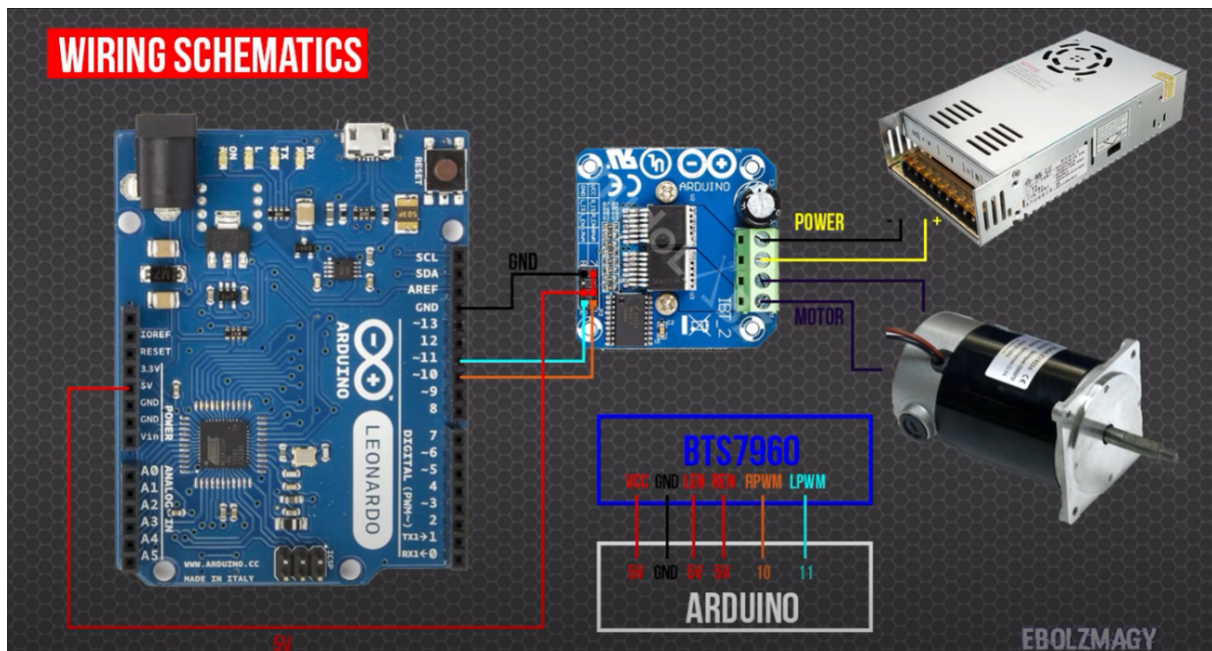


Ilustración 10. Esquema de montaje del sistema ForceFeedback del volante. Fuente: EbolzBogy (YouTube)

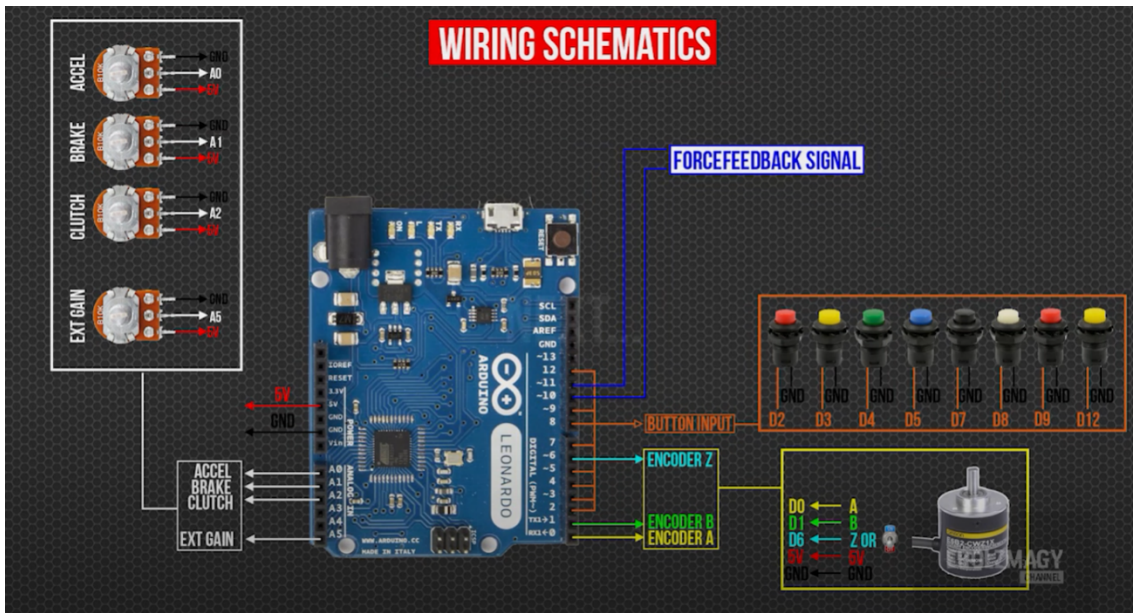


Ilustración 11. Esquema de montaje electrónica de los pedales, encoder y botones extra. Fuente: EbolzBagy (YouTube)

A continuación, se mostrarán unas imágenes de muestra del resultado final del proyecto, incluyendo todos los componentes mencionados anteriormente. Comenzando con la base del volante:

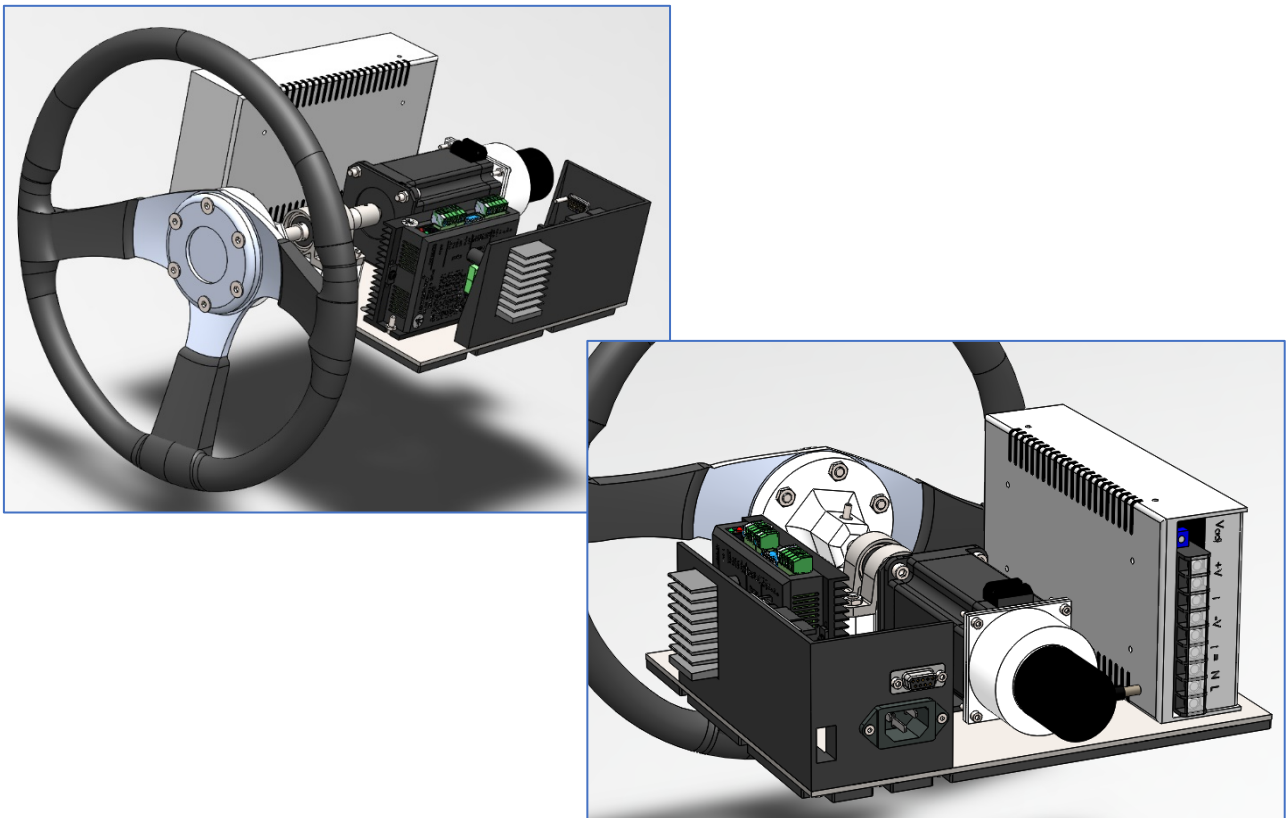


Ilustración 12. Vista general de la base del volante. Material propio.

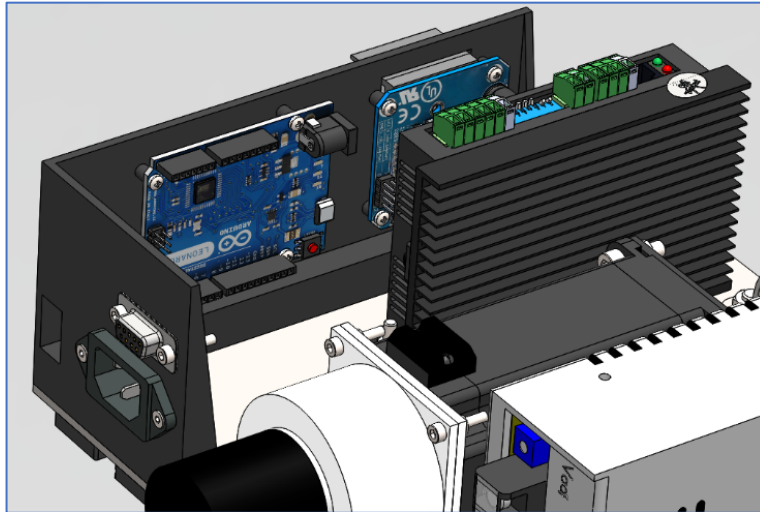


Ilustración 13. Detalle de la zona de electrónica del volante. Material propio.

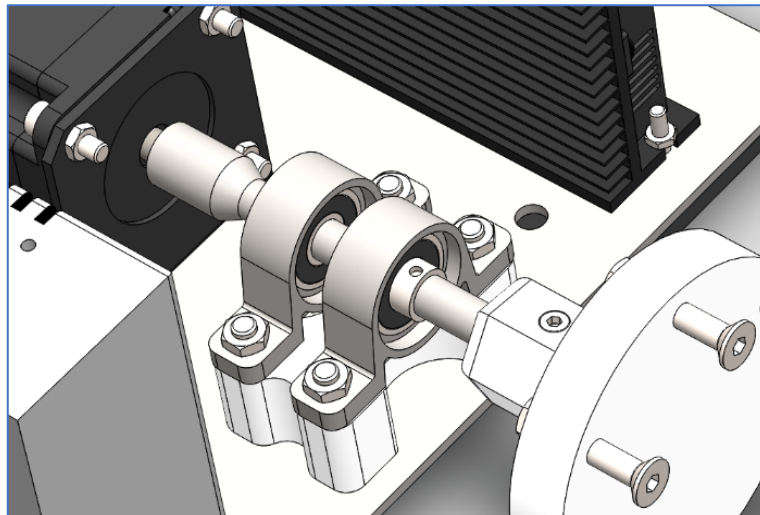
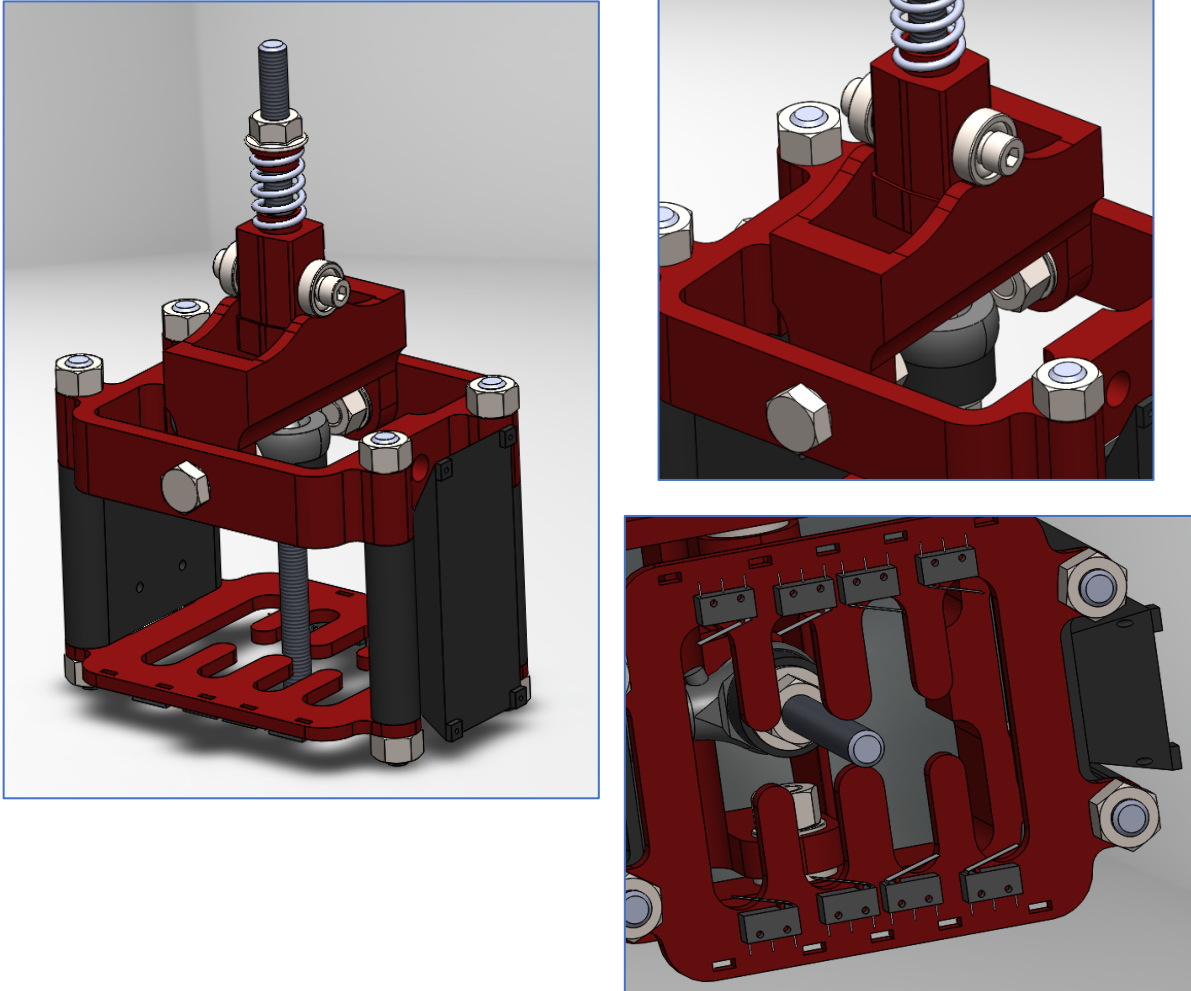


Ilustración 14. Detalle de los soportes a tracción del volante. Material propio.

En las imágenes anteriores se nos muestra la base del volante con todos los componentes principales montados. En las dos primeras imágenes se puede observar como la estructura encargada de albergar las placas de desarrollo se monta a la derecha del volante. A esta estructura, a su vez, se montarán, contando desde el volante, la placa BTS7960 y el Arduino Leonardo, incluyendo también por la parte posterior, los conectores de la pedalera D-Sub9 hembra y alimentación, así como el hueco para pasar el cable USB que conecta la placa Arduino Leonardo al ordenador (ver tercera imagen). También se puede observar como el motor Nema 24 está anclado a la base de aluminio mediante un perfil en L comercial y genérico, mientras que detrás del motor se acopla el Encoder para la lectura del ángulo de giro. Entre el motor y la estructura que agrupa las placas de control podemos encontrar el controlador DM542T o DM556T, en función de la elección del usuario. Por su parte, la fuente de alimentación se aloja en el lado izquierdo de la estructura de manera vertical.

Finalmente, en la cuarta imagen puede verse con más detalle la estructura que soporta el eje del volante frente a flexión y pandeo, evitando así posibles daños sobre el servomotor.

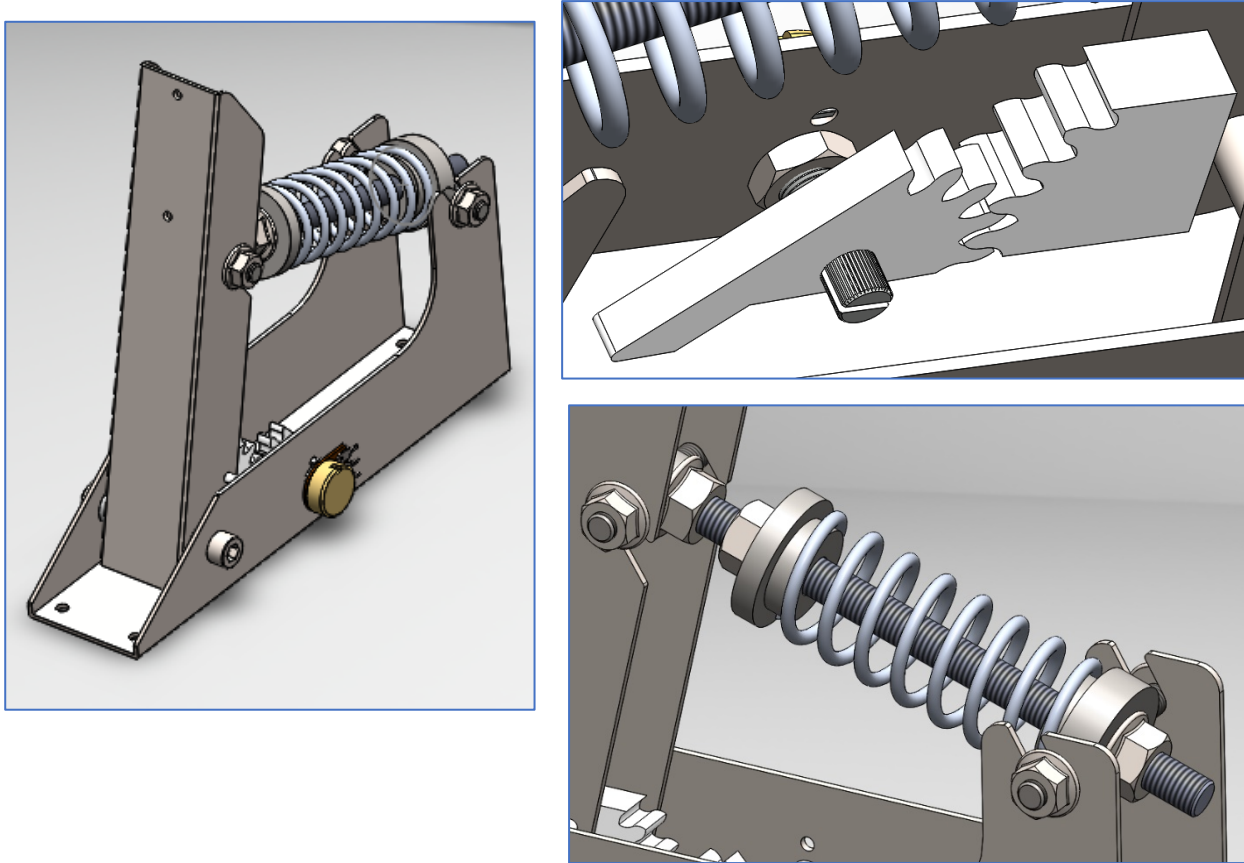
A la base del volante le sigue el cambio de marchas, que se muestra de la siguiente forma:



*Ilustración 15. Detalles del cambio de marchas. Material propio.*

Como se puede observar, el cambio dispone de una rótula que permite realizar a la palanca un movimiento similar a un cambio real a través de las guías inferiores que se muestran en la imagen de abajo a la derecha y activan los microswitches. En la imagen superior derecha se muestra con más detalle el sistema de resistencia del cambio: una pieza guía pivota con el mismo ángulo que palanca, conteniendo esta guía de cambio las curvas sobre las que actúa el muelle para ofrecer la resistencia al cambio. Tiene una curva pronunciada en el centro que ejerce la mayor resistencia inicial al cambio, mientras que una vez entra la marcha es más suave y queda engranada al dejar de empujar la palanca. En este caso, la palanca no muestra un pomo, ya que sería el usuario final el que se encargaría de obtener el pomo comercial que más se ajuste a él.

Por último, pero no menos importante, están los pedales. Puesto que los tres pedales de acelerador, freno y embrague son exactamente iguales, pero con precargas de muelle diferentes para acercarse al tacto real, solo se muestra uno en las imágenes:



*Ilustración 16. Detalles del pedal. Material propio.*

En el anterior se puede observar cómo sería su forma de actuar. El pedal no dispone de un apoyo para el pie, pero viene perforado para que el usuario le monte unos de su elección. Al accionarse el pedal con el pie, se transmite el movimiento mediante los engranajes al potenciómetro como se observa en la imagen superior derecha. Por su parte, el muelle se comprime, dejando salir por detrás del pedal la varilla, la cual dispone de los topes del pedal. La estructura del pedal en si dispone de hendiduras para un montaje más sencillo del muelle.

## 6. Anexos

### 6.1. Anexo 1: Comparativa de rendimientos y precios

La cantidad de volantes comerciales en el mercado es bastante amplia. Para poder realizar una buena comparación, se han tomado los modelos más comercializados y destacables que se encuentran en el mercado o su uso sigue siendo destacable en la comunidad Sim Racer. El siguiente análisis de rendimiento ha sido realizado por la comunidad de EdRacing.com, dedicada al videojuego de conducción iRacing, y podemos observar la fuerza que genera cada volante. Por otra parte, la información de los precios de los productos se puede encontrar en las páginas oficiales de estos.

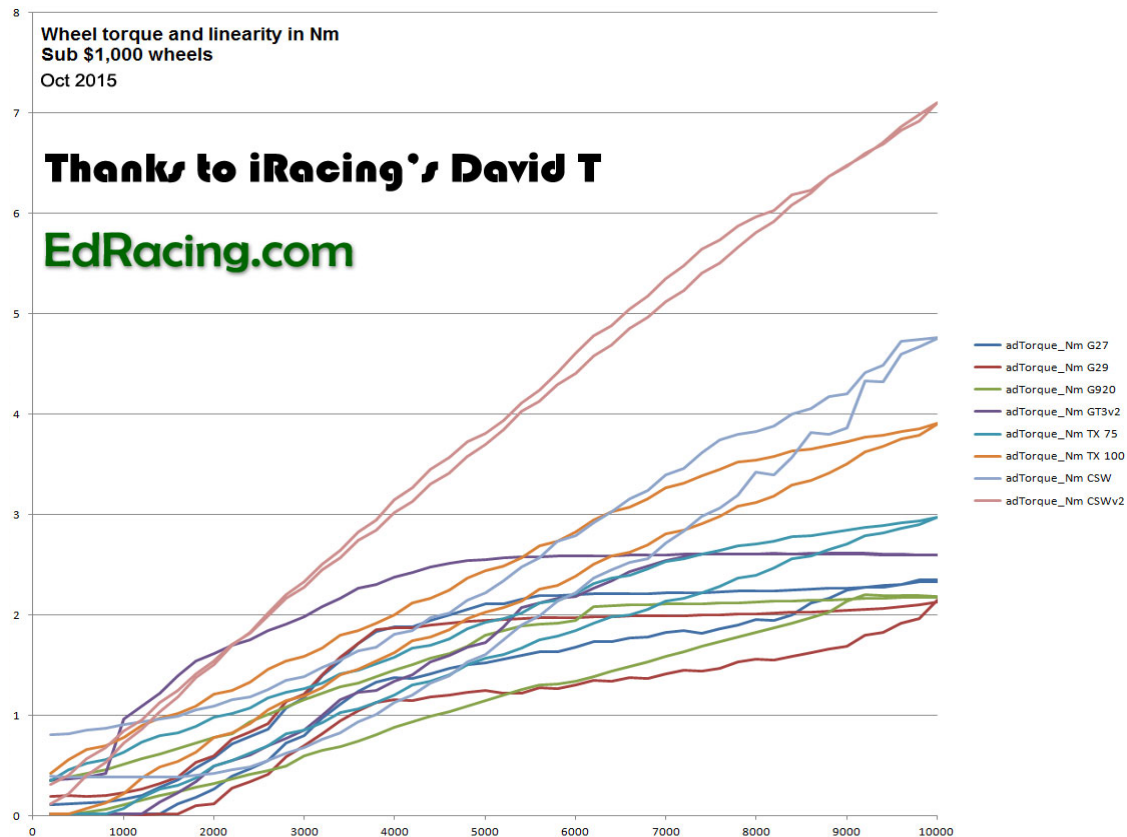


Ilustración 17. Gráfica de fuerza de volantes comerciales. Fuente: EdRacing.com

Partiendo del gráfico anterior, a continuación, se mostrará un breve resumen los diferentes volantes con un precio inferior a 1000\$ y sus principales características:

-**Logitech DFGT**: menos de 2.5 Nm. Este volante, salido en el año 2007, podía encontrarse a un precio de 150€. Disponía de una palanca de cambio secuencial y pedalera con acelerador y freno.

-**Logitech G25**: 2.5 Nm. Salido en el año 2006 y valorado en 300€ al momento de su salida. Disponía de volante de aluminio forrado en cuero, cambio de marchas configurable en secuencial o en H y pedales de aluminio con embrague.

-**Logitech G27**: 2.3 Nm. Salido en 2010 siendo la evolución del Logitech G25. Presentaba el mismo precio de salida que su predecesor y unas características similares, variando en la inclusión de nuevas botoneras en el volante y la retirada del cambio secuencial.

-**Logitech G29**: 2.1 Nm. Salido en 2015 siendo la evolución del Logitech G27. Se presentó con un precio al momento de su salida de 350€. Con características similares a su predecesor, destacaba por tener una interfaz con los controles centrados en el volante para no distraer durante la conducción.

-**Logitech G920**: 2.2 Nm. Hermanado con el Logitech G29. Es exactamente igual que este, pero su plataforma se centra en Xbox y PC, a diferencia del G29 que sirve la PlayStation y PC.

-**Fanatec GT3 v2**: 2.6 Nm. Tenía un precio de salida de 200€. Presentaba el aspecto del volante de GT3 de McLaren.

-**Thrustmaster Tx**: 3.9 Nm. Presentaba un precio de salida de 450€. Destacaba por ser un volante completo y pedalera con embrague. El cambio de marchas se vendía a parte. Su plataforma permite intercambiar aros de volante de la marca.

-**Thrustmaster T500**: 4.4 Nm. Tenía un precio de salida rozando los 600€. Presentaba un volante completo y pedalera con embrague y pedales invertidos, como en los coches de calle. También permite intercambiar el aro de volante.

-**Fanatec CSW v1**: 4.8 Nm. Presenta un precio de 500€. Destaca por encima del resto por venderse únicamente la base (no incluye aro, ni pedales, ni cambio).

-**Fanatec CSW v2**: 7.1 Nm. Versión mejorada del Fanatec CSW v1.

## 6.2. Anexo 2: Montaje de estructura con integración de la electrónica final

### Volante

Para comenzar, se situará la estructura que soporta el servomotor a la base metálica mediante 4 tornillos M4x16 y sus respectivas arandelas y tuercas. A continuación, se fijará el motor a dicho soporte mediante 4 tornillos M5x16 y las tuercas correspondientes.

Por la parte posterior del servomotor se montará primero el soporte de Encoder 2 con 3 tornillos M2x16. Por otra parte, se fijará el Encoder OMRON al soporte de Encoder 1 mediante 3 tornillos M3x16. Finalmente, se unirán ambos soportes de Encoder, colocando antes por dentro el conector de ejes de Nema 24 y Encoder OMRON, mediante 4 tornillos M3x16 y las tuercas y arandelas correspondientes.

El eje de dirección se fijará en el eje delantero del servomotor mediante un tornillo M3. A continuación, se introducirán en el eje los rodamientos correspondientes y se situarán sobre el separador de bujes, de manera que el eje quede recto y estable. Se fijarán mediante 4 tornillos M6x35 y sus tuercas. Al extremo del eje se fijará el adaptador de volante mediante un tornillo M4x30 y su tuerca. A este adaptador se le unirá cualquier volante comercial mediante tuercas y tornillos M6.

A continuación, se montará la fuente de alimentación a la izquierda del servomotor mediante 4 tornillos M4x8 y el controlador DM556T a la derecha con 2 tornillos M4x16 y sus correspondientes tuercas y arandelas.

En el soporte de las placas de control se montará, en la cara grande por la parte interior de derecha a izquierda, la placa BTS7960 y el Arduino Leonardo mediante 8 tornillos M2.5. En la cara pequeña se montarán desde la cara exterior el conector D-Sub9 y el conector de alimentación mediante 4 tornillos M3x16 y sus tuercas correspondientes. Finalmente, se unirá el soporte a la base metálica mediante 5 tornillos M3x6.

Para finalizar, se colocará entre la estructura y la superficie donde se coloque la base de caucho que reduzca las vibraciones. La estructura se fijará mediante 4 tornillos M8.

### Pedales

Para comenzar, se fijará el accionador de potenciómetro 2 por la cara interna del accionador de pedal mediante pegamento en el lugar que le corresponde. Por su parte, el potenciómetro se fijará a la base del pedal mediante su tuerca correspondiente. Al eje del potenciómetro se fijará el accionador de potenciómetro 1 mediante una tuerca de la medida correspondiente. Finalmente, se unirán la base del pedal y el accionador del pedal mediante un tornillo M6x50, su tuerca y los separadores correspondientes permitiendo que ambas partes queden centradas. Comprobar que los accionadores de potenciómetro queden alineados.

A continuación, se fijará en el extremo de una varilla M8x140 el soporte de final de la deslizadera mediante dos tuercas M8. Seguido de esto, se introducirá otra tuerca M8 que permita regular la compresión del muelle y el tope de muelle. Le seguirá el muelle en sí y la deslizadera. Se fijará con una tuerca M8 que permitirá regular el recorrido del pedal.

Para finalizar, se colocará el conjunto del muelle con el sistema de accionamiento, colocando los soportes en los huecos correspondientes y fijándolos con 4 tuercas M6.



### **Cambio de marchas**

Para comenzar, se montarán las estructura superior e inferior mediante 4 varillas M8 de 10cm y 8 tuercas de la misma medida. Entre ambas piezas se situarán los separadores con la cara plana hacia dentro de la estructura. La estructura inferior debe tener las protuberancias para fijar los microswitch's hacia abajo. Los microswitch's se fijarán a la estructura inferior mediante pegamento.

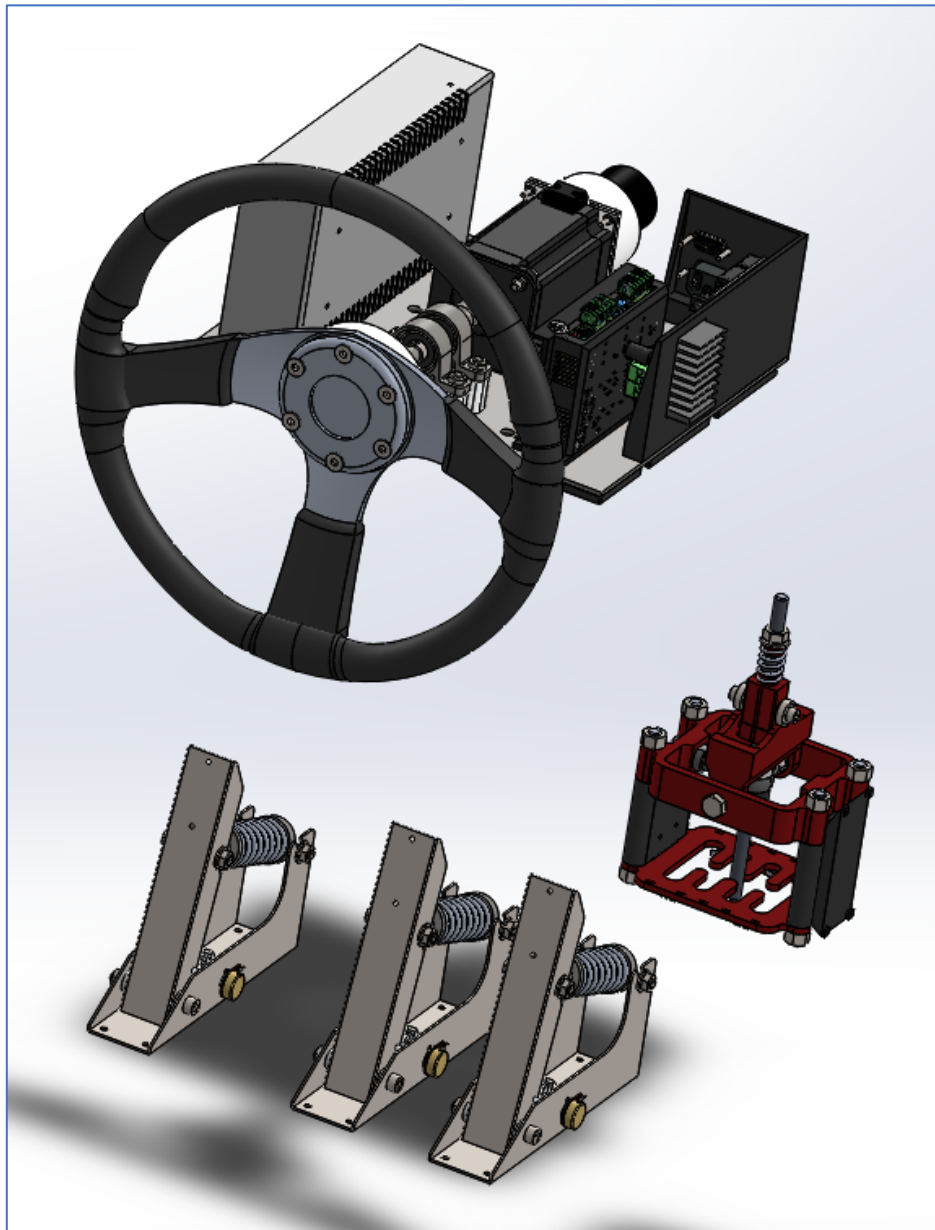
A continuación, se colocarán 2 rodamientos 688 en los huecos correspondientes de la pieza central. Mediante 2 tornillos M8x25 y sus correspondientes tuercas se unirá a la estructura superior. Se utilizarán arandelas de 2mm entre medias de ambas piezas para centrar la pieza central y permitir un movimiento suave de esta. A su vez, se unirá a la estructura superior por la cara más ancha la rótula PHS8 con un tornillo M8x25. El centro de la rótula debe quedar centrado con la pieza central.

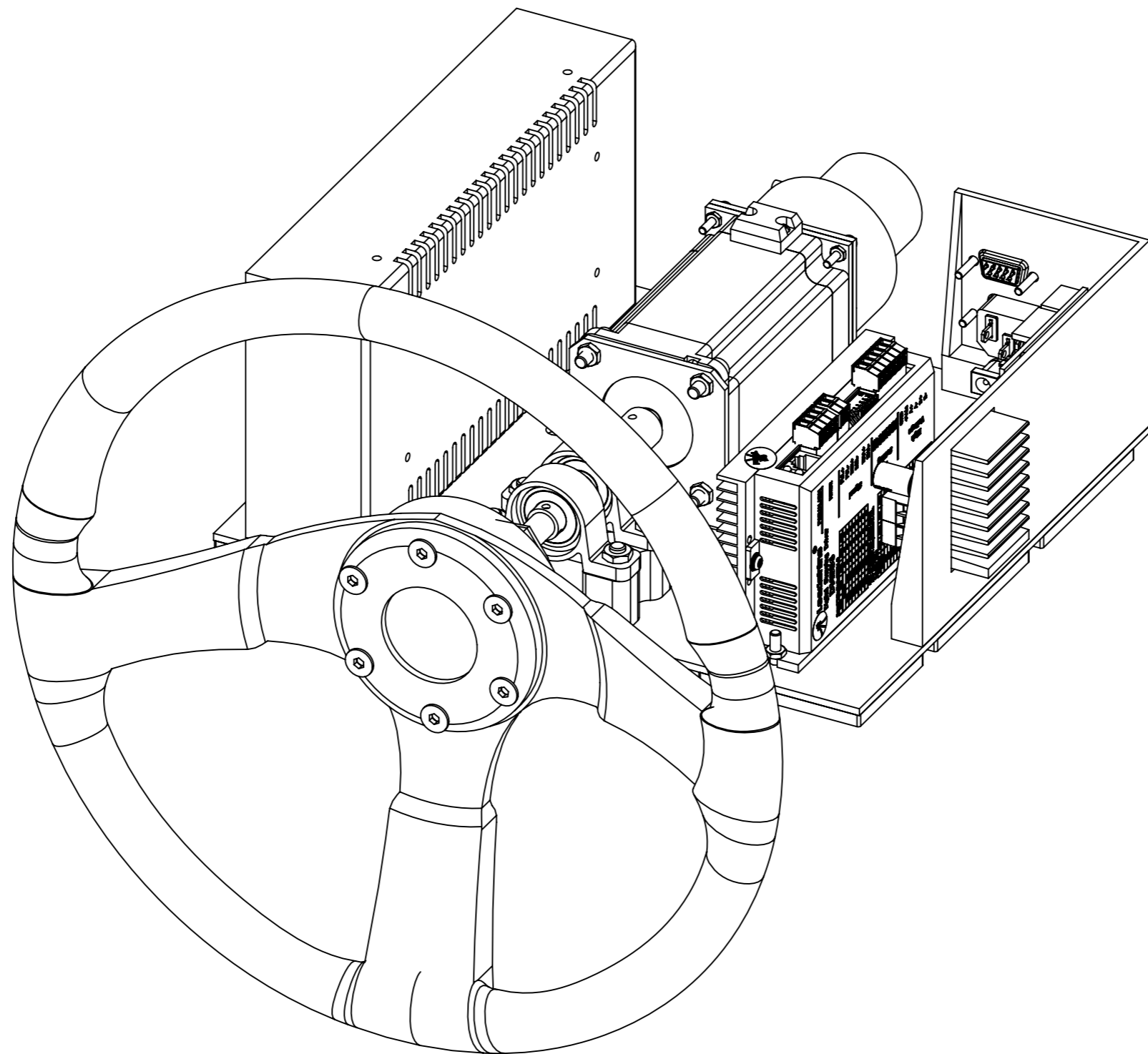
Para seguir, se colocarán 2 tuercas M5 por dentro de la pieza central superior en las posiciones que le corresponden y se atornillarán desde fuera 2 rodamientos 625 mediante 2 tornillos M5x10. La pieza central superior se colocará sobre la pieza central con la parte ancha encajada en esta última.


Con la pieza central superior en posición, se preparará el eje que permite realizar el cambio. Se atornillará una tuerca próxima a uno de los extremos de la varilla M8 de 20cm, seguida del tope de muelle del cambio y el muelle. Este conjunto se pasará a través de la pieza central superior desde arriba hasta que el muelle repose sobre esta. Por la parte inferior, se colocará a través del eje el anillo de rótula con la cara plana hacia abajo y se fijará con una tuerca.

Finalmente, la altura del eje se regulará de manera que el extremo inferior accione los microswitch's y la compresión del muelle al gusto del usuario. Por su parte, el pomo de cambio se fijará en la parte superior del eje.

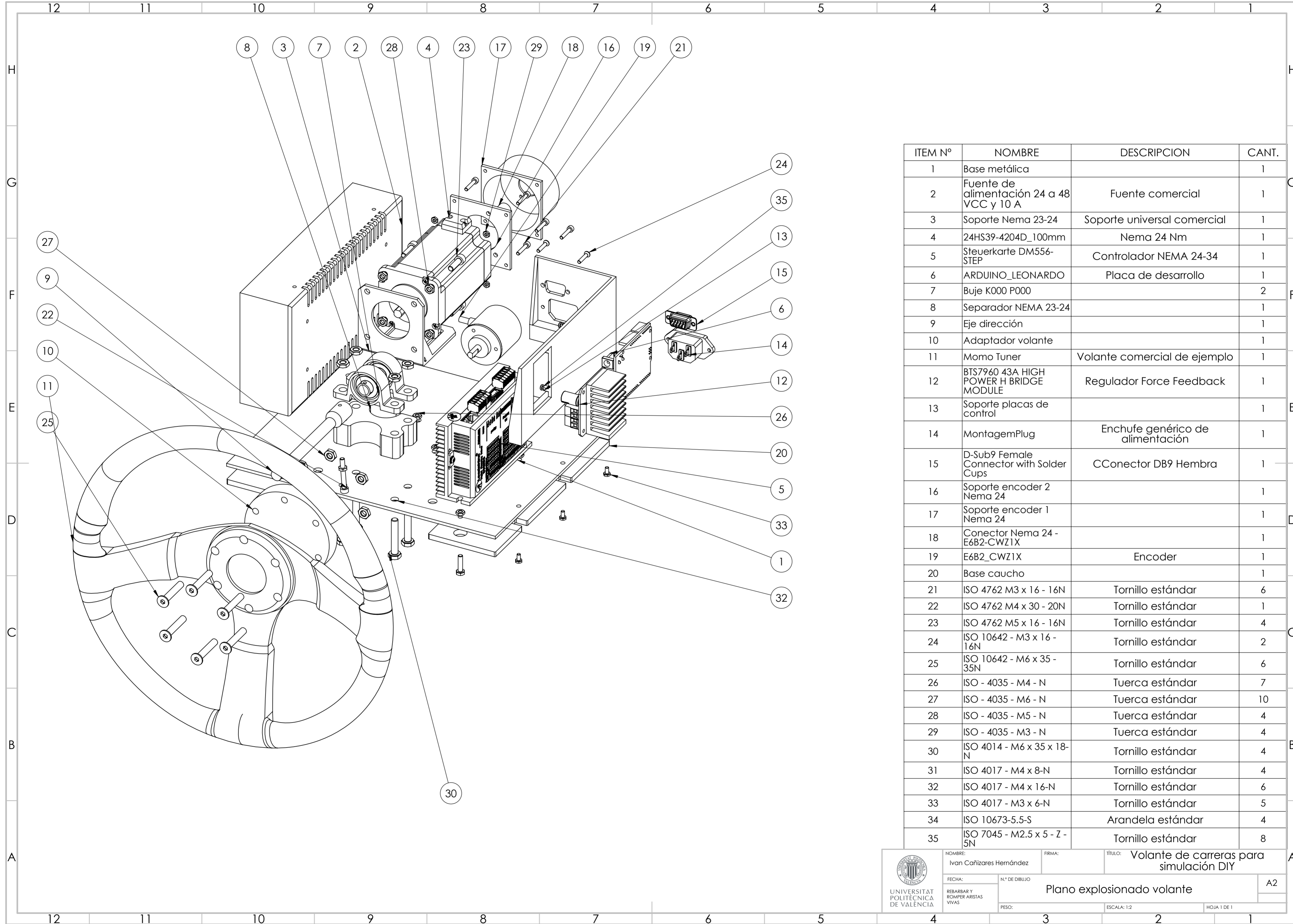
## 7. Planos



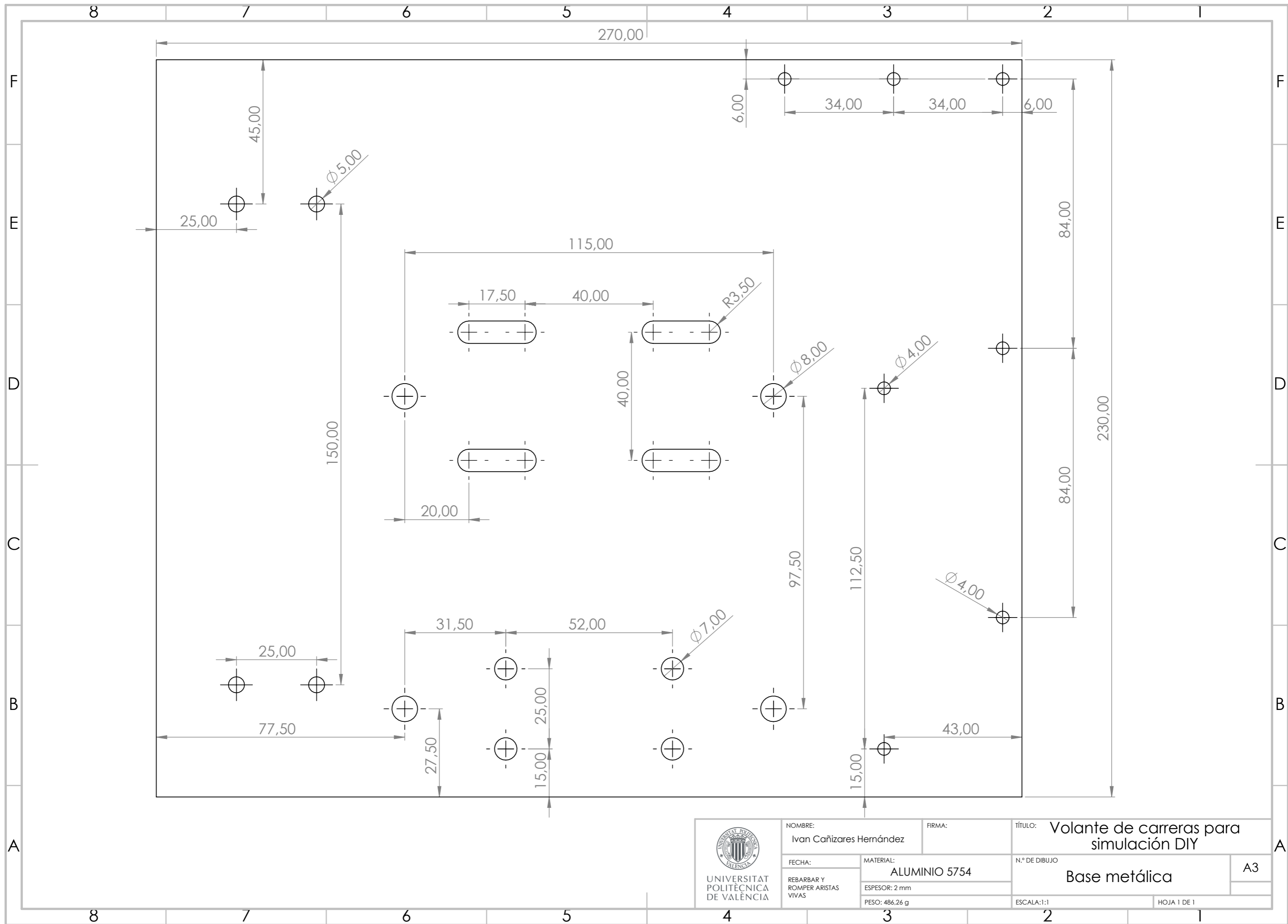



 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	NOMBRE: Ivan Cañizares Hernández	FIRMA:	TÍTULO: Volante de carreras para simulación DIY
	FECHA:	N.º DE DIBUJO	
	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	Plano general volante	
	PESO:	ESCALA: 1:2	HOJA 1 DE 1

A3

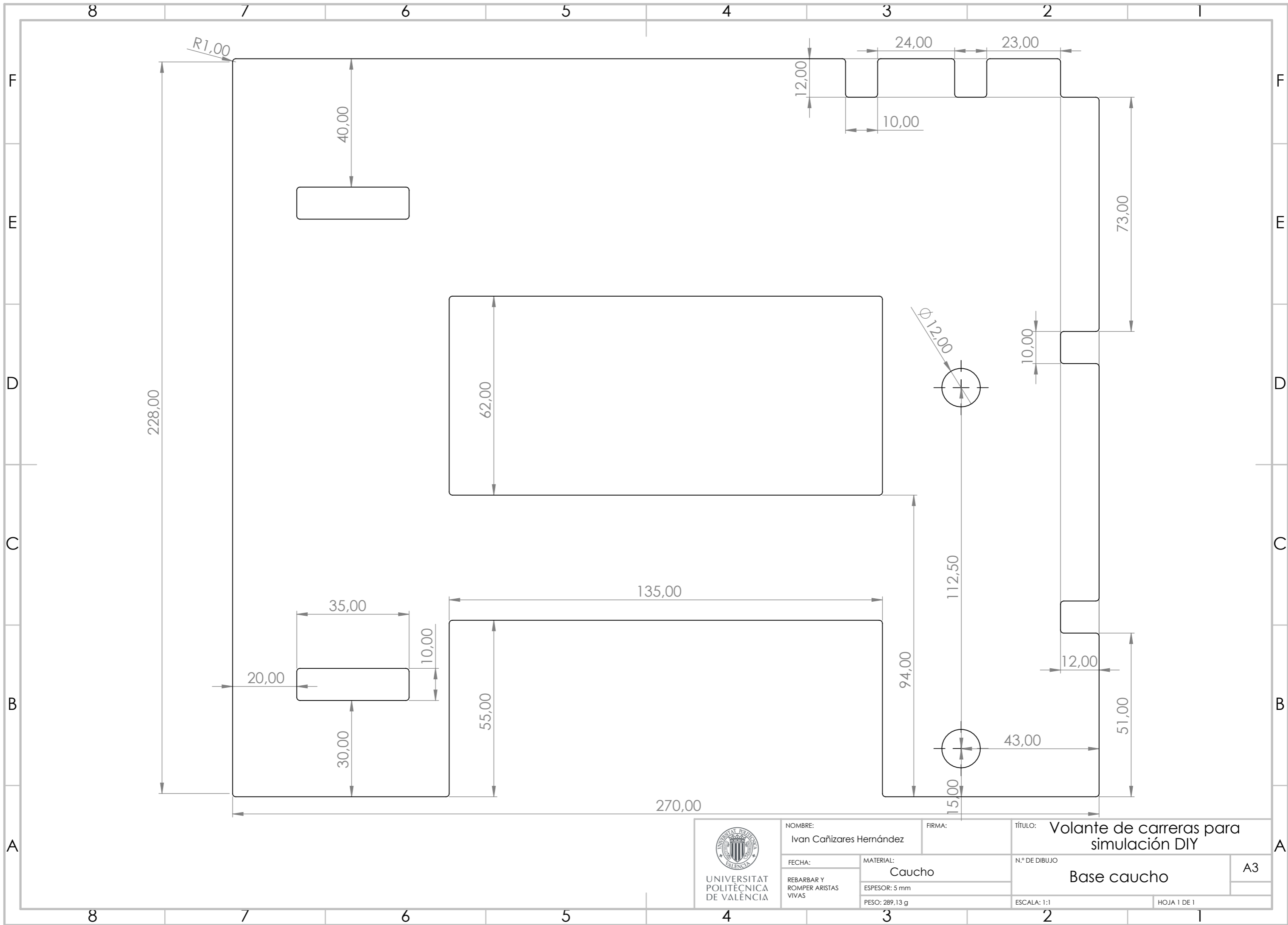


ITEM Nº	NOMBRE	DESCRIPCION	CANT.
1	Base metálica		1
2	Fuente de alimentación 24 a 48 VCC y 10 A	Fuente comercial	1
3	Soporte Nema 23-24	Soporte universal comercial	1
4	24HS39-4204D_100mm	Nema 24 Nm	1
5	Steuerkarte DM556-STEP	Controlador NEMA 24-34	1
6	ARDUINO_LEONARDO	Placa de desarrollo	1
7	Buje K000 P000		2
8	Separador NEMA 23-24		1
9	Eje dirección		1
10	Adaptador volante		1
11	Momo Tuner	Volante comercial de ejemplo	1
12	BTS7960 43A HIGH POWER H BRIDGE MODULE	Regulador Force Feedback	1
13	Soporte placas de control		1
14	MontagemPlug	Enchufe genérico de alimentación	1
15	D-Sub9 Female Connector with Solder Cups	CConector DB9 Hembra	1
16	Soporte encoder 2 Nema 24		1
17	Soporte encoder 1 Nema 24		1
18	Conector Nema 24 - E6B2-CWZ1X		1
19	E6B2_CWZ1X	Encoder	1
20	Base caucho		1
21	ISO 4762 M3 x 16 - 16N	Tornillo estándar	6
22	ISO 4762 M4 x 30 - 20N	Tornillo estándar	1
23	ISO 4762 M5 x 16 - 16N	Tornillo estándar	4
24	ISO 10642 - M3 x 16 - 16N	Tornillo estándar	2
25	ISO 10642 - M6 x 35 - 35N	Tornillo estándar	6
26	ISO - 4035 - M4 - N	Tuerca estándar	7
27	ISO - 4035 - M6 - N	Tuerca estándar	10
28	ISO - 4035 - M5 - N	Tuerca estándar	4
29	ISO - 4035 - M3 - N	Tuerca estándar	4
30	ISO 4014 - M6 x 35 x 18-N	Tornillo estándar	4
31	ISO 4017 - M4 x 8-N	Tornillo estándar	4
32	ISO 4017 - M4 x 16-N	Tornillo estándar	6
33	ISO 4017 - M3 x 6-N	Tornillo estándar	5
34	ISO 10673-5.5-S	Arandela estándar	4
35	ISO 7045 - M2.5 x 5 - Z - 5N	Tornillo estándar	8



 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	NOMBRE: Ivan Cañizares Hernández		FIRMA:		TÍTULO: Volante de carreras para simulación DIY	
	FECHA:		MATERIAL: ALUMINIO 5754		N.º DE DIBUJO Base metálica	
	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		ESPESOR: 2 mm		ESCALA: 1:1	
			PESO: 486,26 g		HOJA 1 DE 1	

A3



NOMBRE:  
Ivan Cañizares Hernández

FIRMA:

TÍTULO: Volante de carreras para simulación DIY

FECHA:  
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

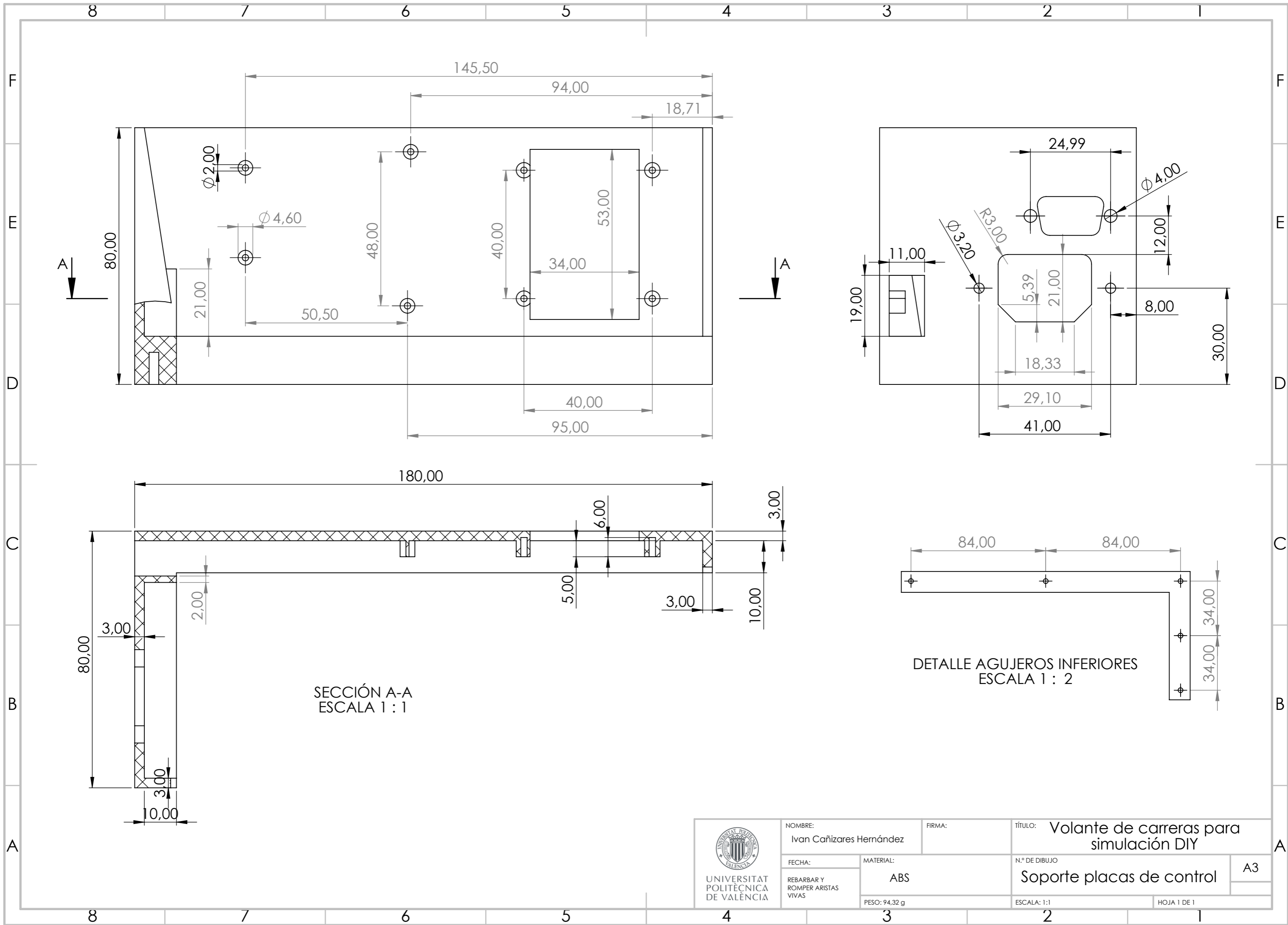
MATERIAL:  
Caucho  
ESPESOR: 5 mm  
PESO: 289,13 g

N.º DE DIBUJO  
Base caucho

A3


ESCALA: 1:1

HOJA 1 DE 1

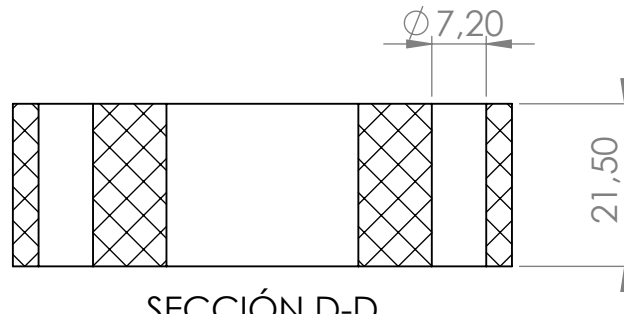
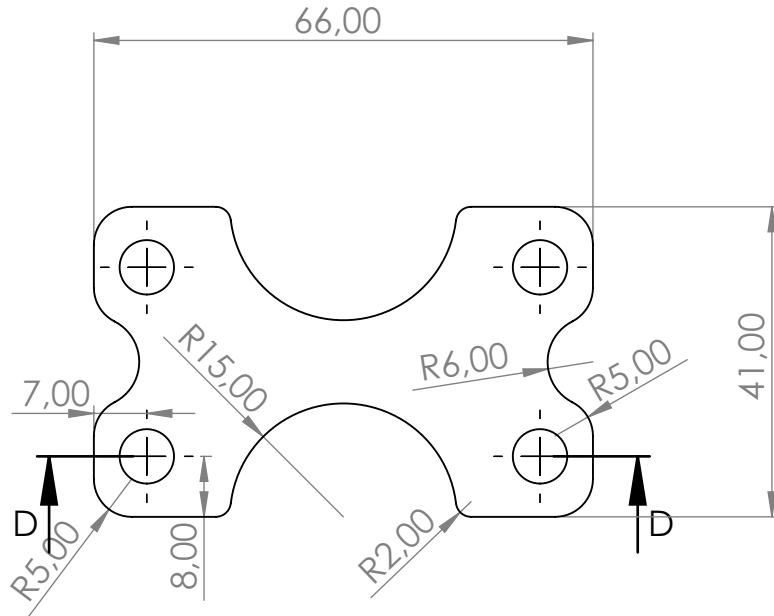


SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 1

DETALLE AGUJEROS INFERIORES  
ESCALA 1 : 2

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	NOMBRE: Ivan Cañizares Hernández		FIRMA:		TÍTULO: Volante de carreras para simulación DIY	
	FECHA:		MATERIAL: ABS		N.º DE DIBUJO Soporte placas de control	
	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		PESO: 94,32 g		ESCALA: 1:1 HOJA 1 DE 1	

A3



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

NOMBRE:

Ivan Cañizares Hernández

FIRMA:

TÍTULO:

Volante de carreras para  
simulación DIY

FECHA:

MATERIAL:

N.º DE DIBUJO

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

ABS

Separador Bujes

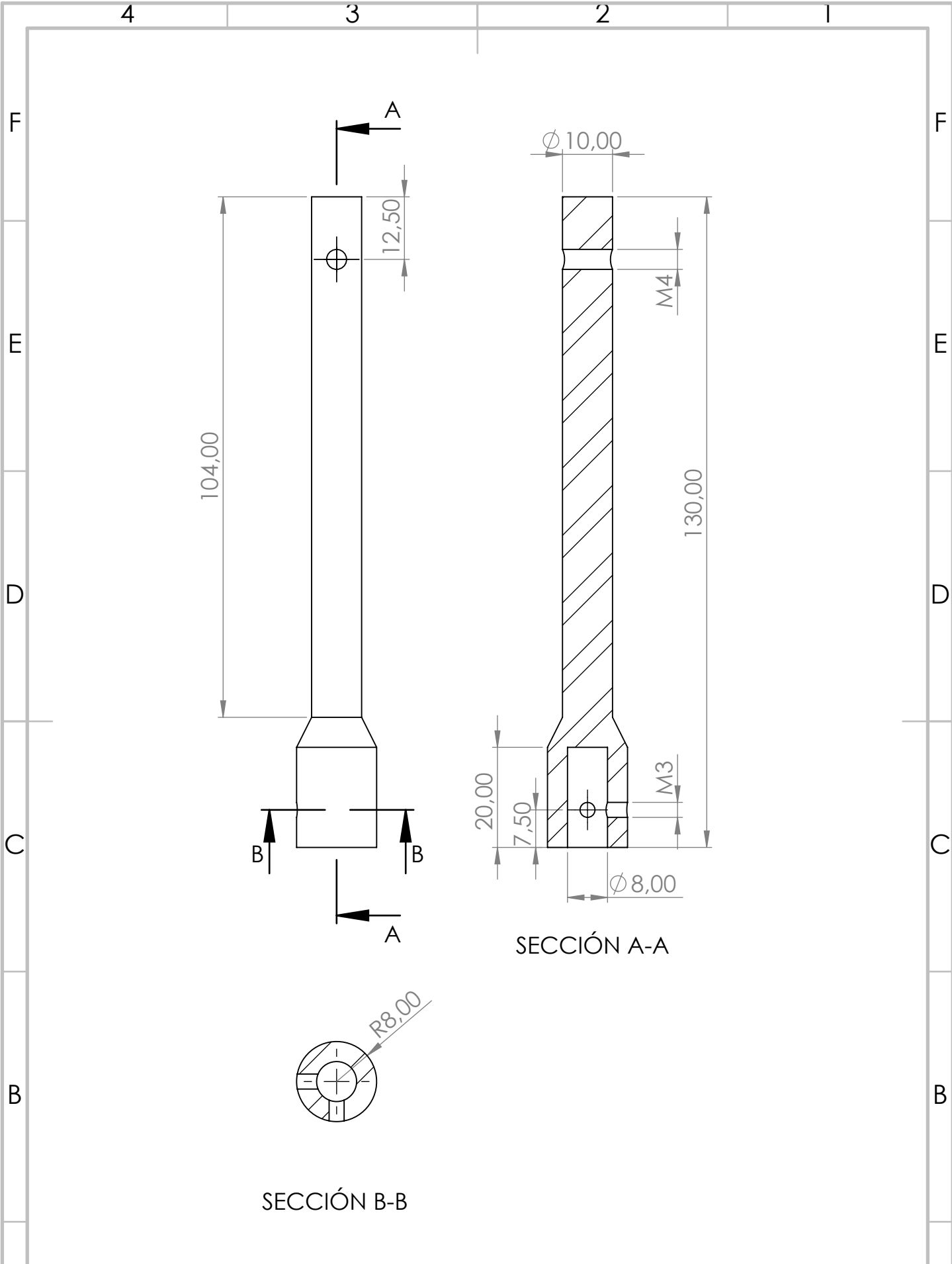
A4

PESO: 37,06 g

ESCALA: 1:1

HOJA 1 DE 1





SECCIÓN A-A

SECCIÓN B-B



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

NOMBRE: Ivan Cañizares Hernández		FIRMA:		TÍTULO: Volante de carreras para simulación DIY	
FECHA:	MATERIAL: AISI 304		N.º DE DIBUJO: Eje dirección		A4
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		PESO: 94,58 g	ESCALA: 1:1		HOJA 1 DE 1

A

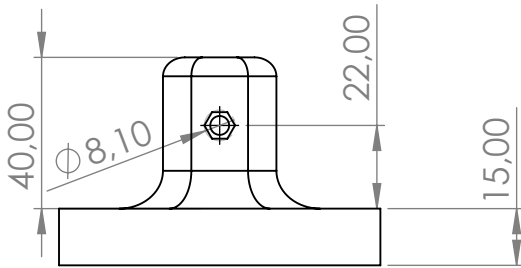
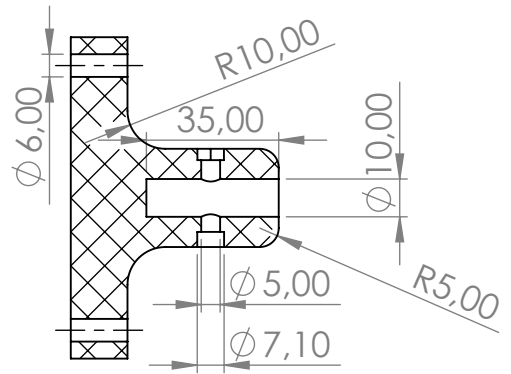
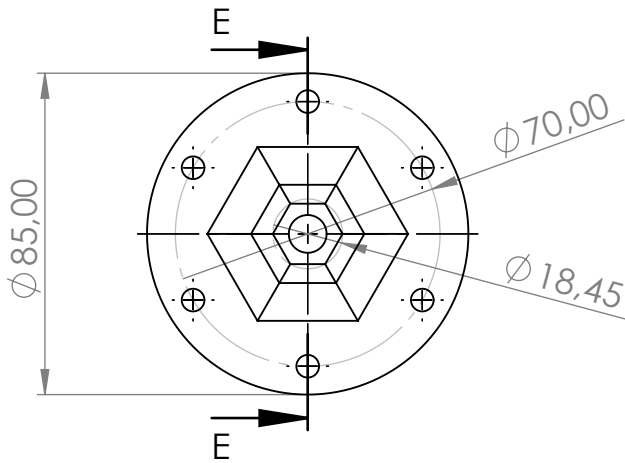
A

4

3

2

1



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

NOMBRE:  
Ivan Cañizares Hernández

FIRMA:

TÍTULO: Volante de carreras para  
simulación DIY

FECHA:

MATERIAL:

N.º DE DIBUJO

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

ABS

Adaptador volante

A4

PESO: 106,65 g

ESCALA: 1:2

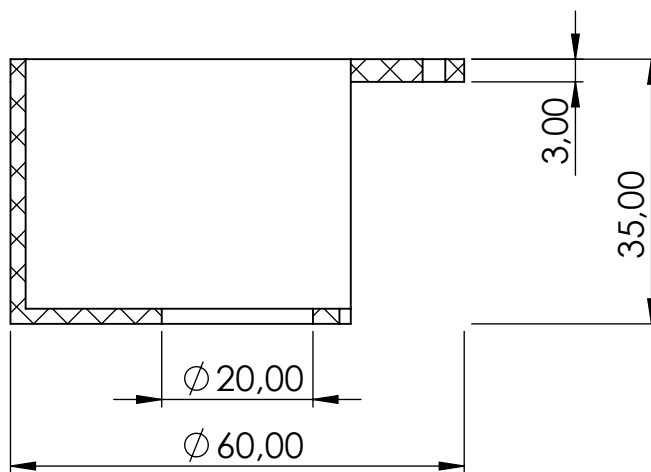
HOJA 1 DE 1

4 3 2 1

F

F

### SECCIÓN G-G

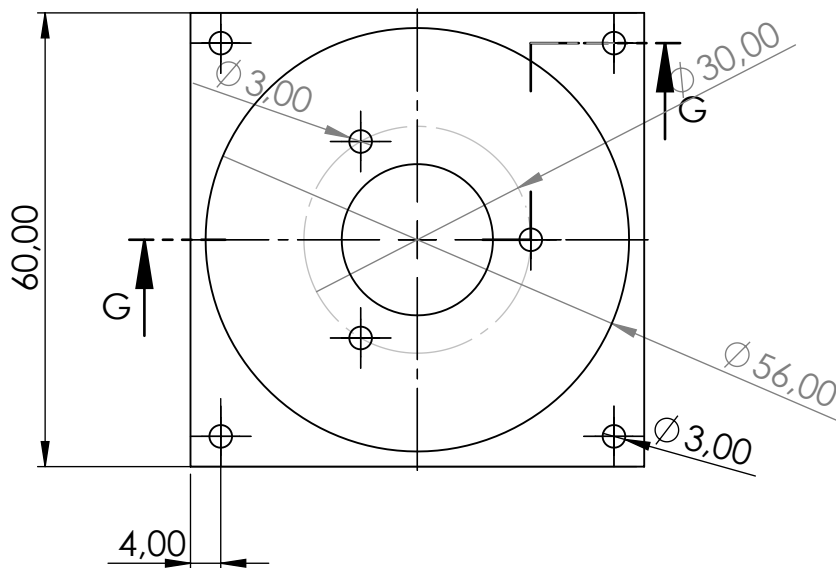


E

E

D

D



C

C

B

B

A

A



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

NOMBRE:  
Ivan Cañizares Hernández

FIRMA:

TÍTULO: Volante de carreras para  
simulación DIY

FECHA:

MATERIAL:

N.º DE DIBUJO

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

ABS

Soporte Encoder 1

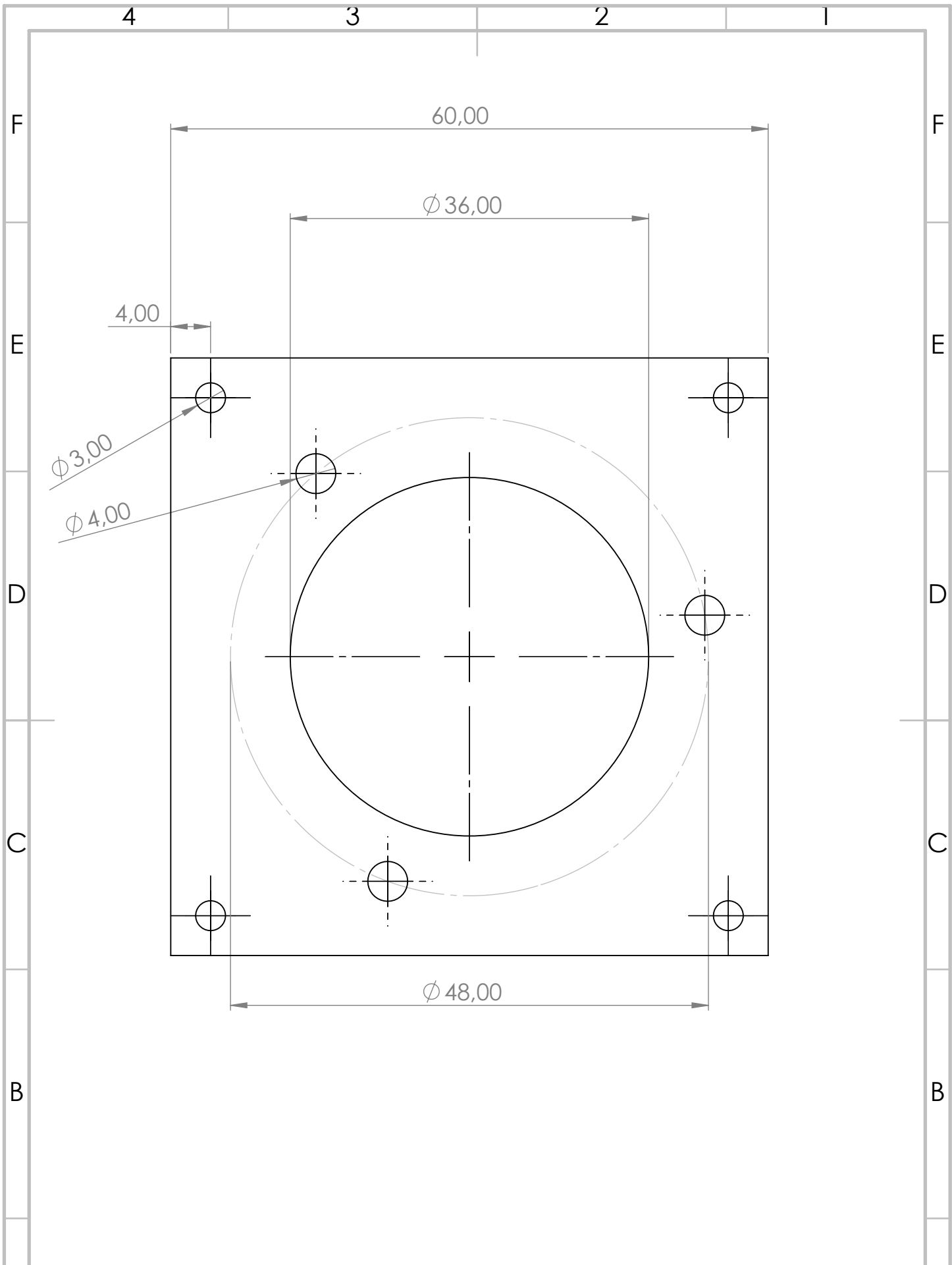
A4

PESO: 19,63 g

ESCALA: 1:1

HOJA 1 DE 1

4 3 2 1



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

NOMBRE:  
Ivan Cañizares Hernández

FIRMA:

TÍTULO: Volante de carreras para simulación DIY

FECHA:

MATERIAL: ABS

N.º DE DIBUJO

A4

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

ESPEJOR: 3 mm

Soporte Encoder 2

PESO: 7,70 g

ESCALA: 2:1

HOJA 1 DE 1

4

3

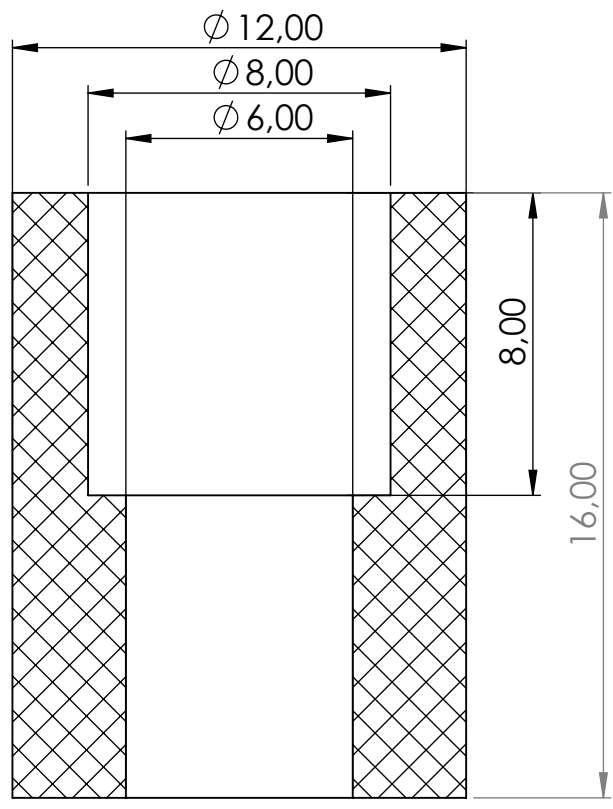
2

1

4 3 2 1

F

F



E

E

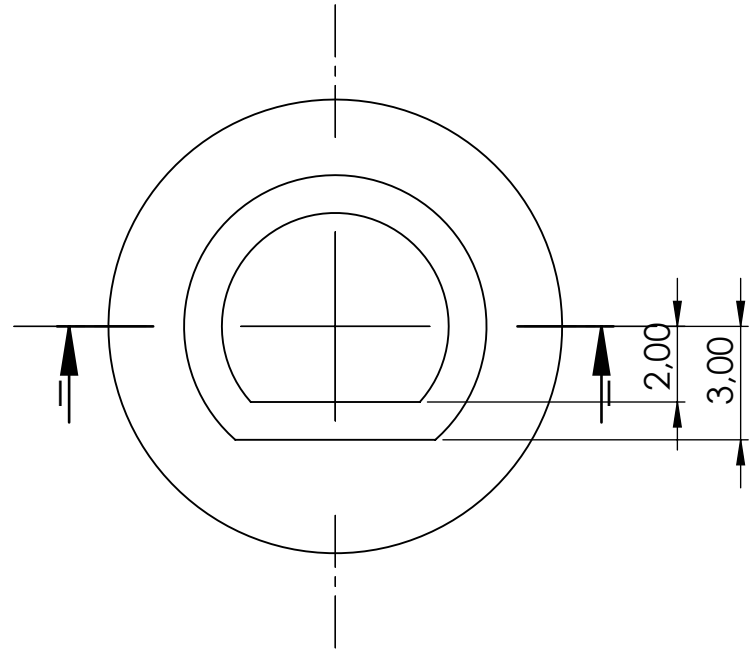
D

D

SECCIÓN I-I

C

C



B

B

A

A



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

NOMBRE: Ivan Cañizares Hernández

FIRMA:

TÍTULO: Volante de carreras para simulación DIY

FECHA:

MATERIAL: ABS

N.º DE DIBUJO: Conector Nema 24 - E6B2-CWZ1X

A4

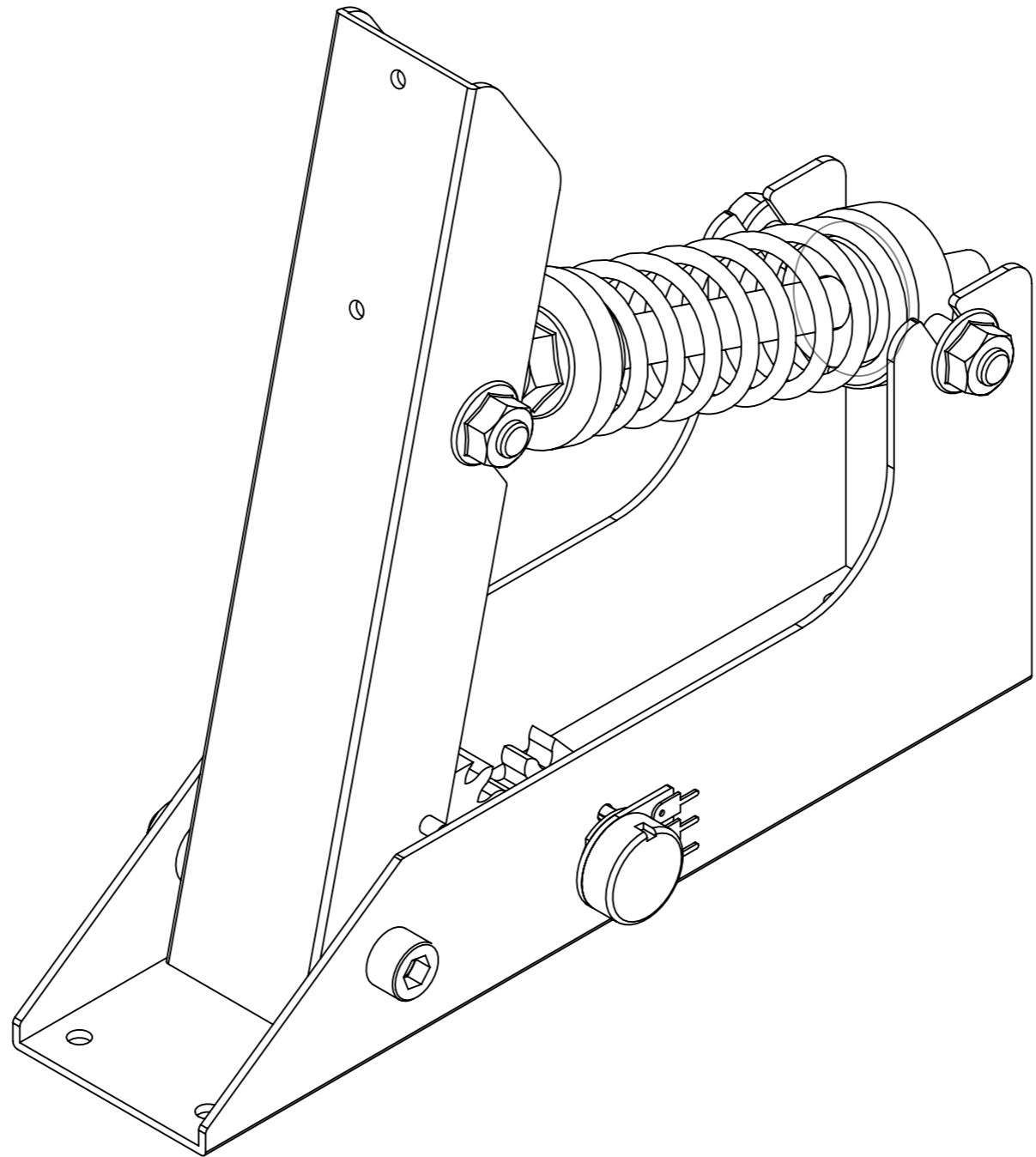
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS


PESO: 1,26 g

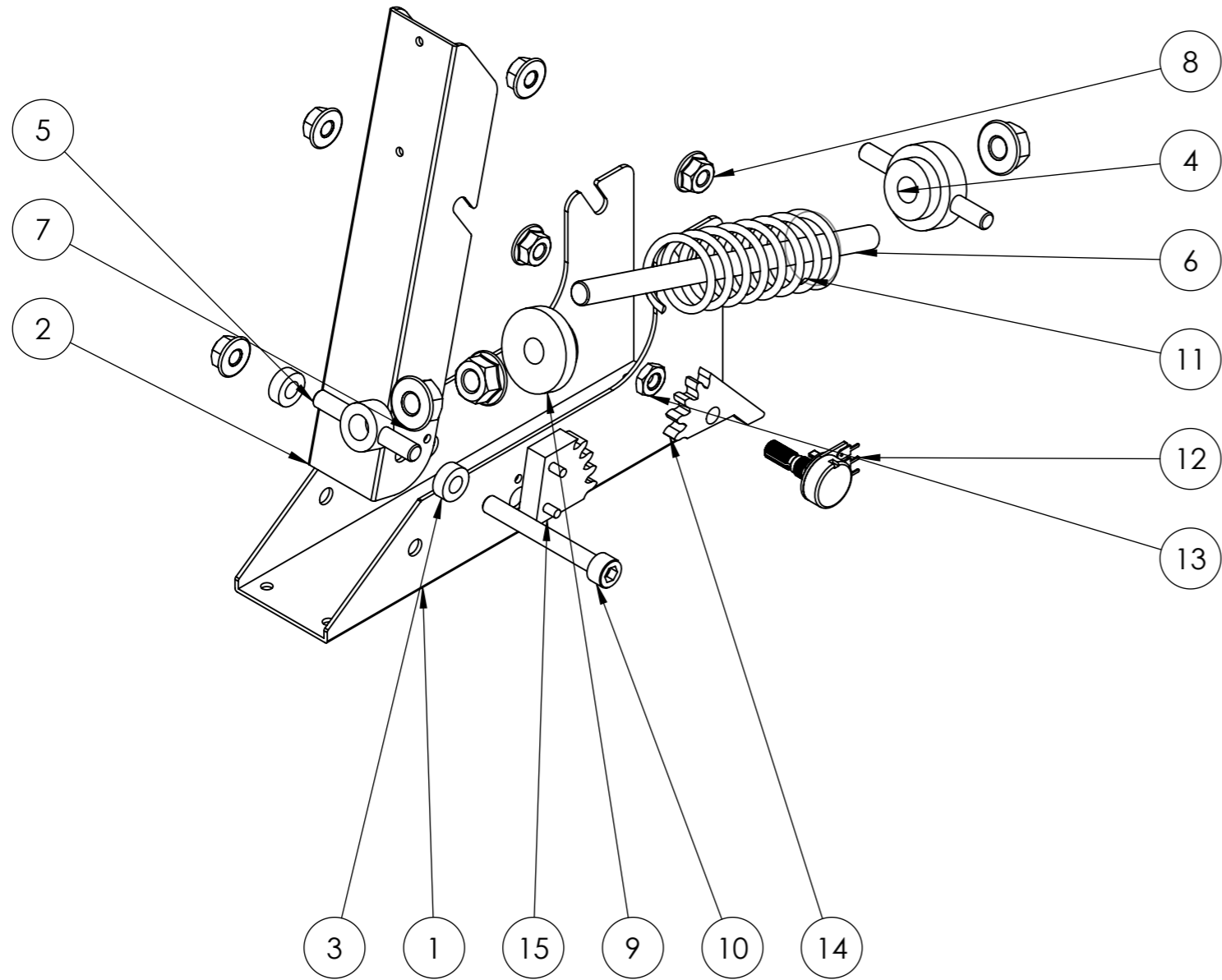
ESCALA: 5:1

HOJA 1 DE 1

4 3 2 1



 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	NOMBRE: Ivan Cañizares Hernández	FIRMA:	TÍTULO: Volante de carreras para simulación DIY
	FECHA:	N.º DE DIBUJO	A3
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	Plano general pedal		
	PESO:	ESCALA: 1:1	HOJA 1 DE 1



ITEM N°	NOMBRE	DESCRIPCION	CANT.
1	Base pedal		1
2	Accionador pedal		1
3	Separador Base-Accionador		2
4	Deslizadera muelle		1
5	Final deslizadera		1
6	Varilla M8x140	Varilla roscada comercial	1
7	ISO - 4161 - M8 - N	Tuerca estándar	4
8	ISO - 4161 - M6 - N	Tuerca estándar	5
9	Tope muelle pedalera		1
10	ISO 4762 M6 x 50 - 50N	Tornillo estándar	1
11	Muelle pedalera		1
12	Potentiometer	Potenciometro rotativo comercial	1
13	ISO - 4035 - M6 - N	Tuerca estándar	1
14	Accionador potenciometro 1		1
15	Accionador potenciometro 2		1



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

NOMBRE:  
Ivan Cañizares Hernández

FIRMA:

TÍTULO: Volante de carreras para simulación DIY

FECHA:

N.º DE DIBUJO

A3

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

Plano explosionado pedal

PESO:

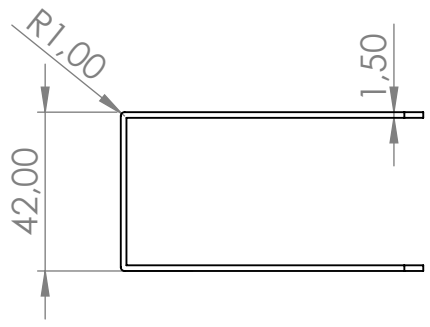
ESCALA: 1:2

HOJA 1 DE 1

4 3 2 1

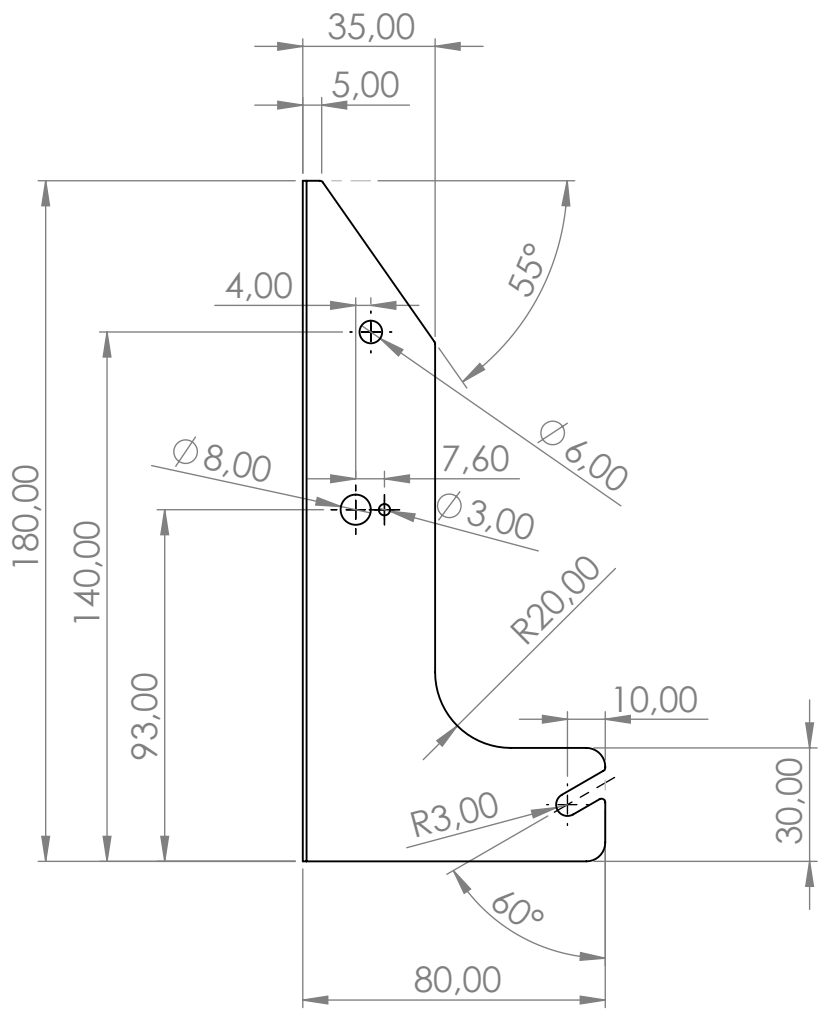
F

F



E

E



D

D

C

C

B

B

A

A



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

NOMBRE:  
Ivan Cañizares Hernández

FIRMA:

TÍTULO: Volante de carreras para simulación DIY

FECHA:

MATERIAL:  
AISI 316 (Inox)

N.º DE DIBUJO

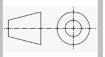
A4

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

PESO: 248,92 g

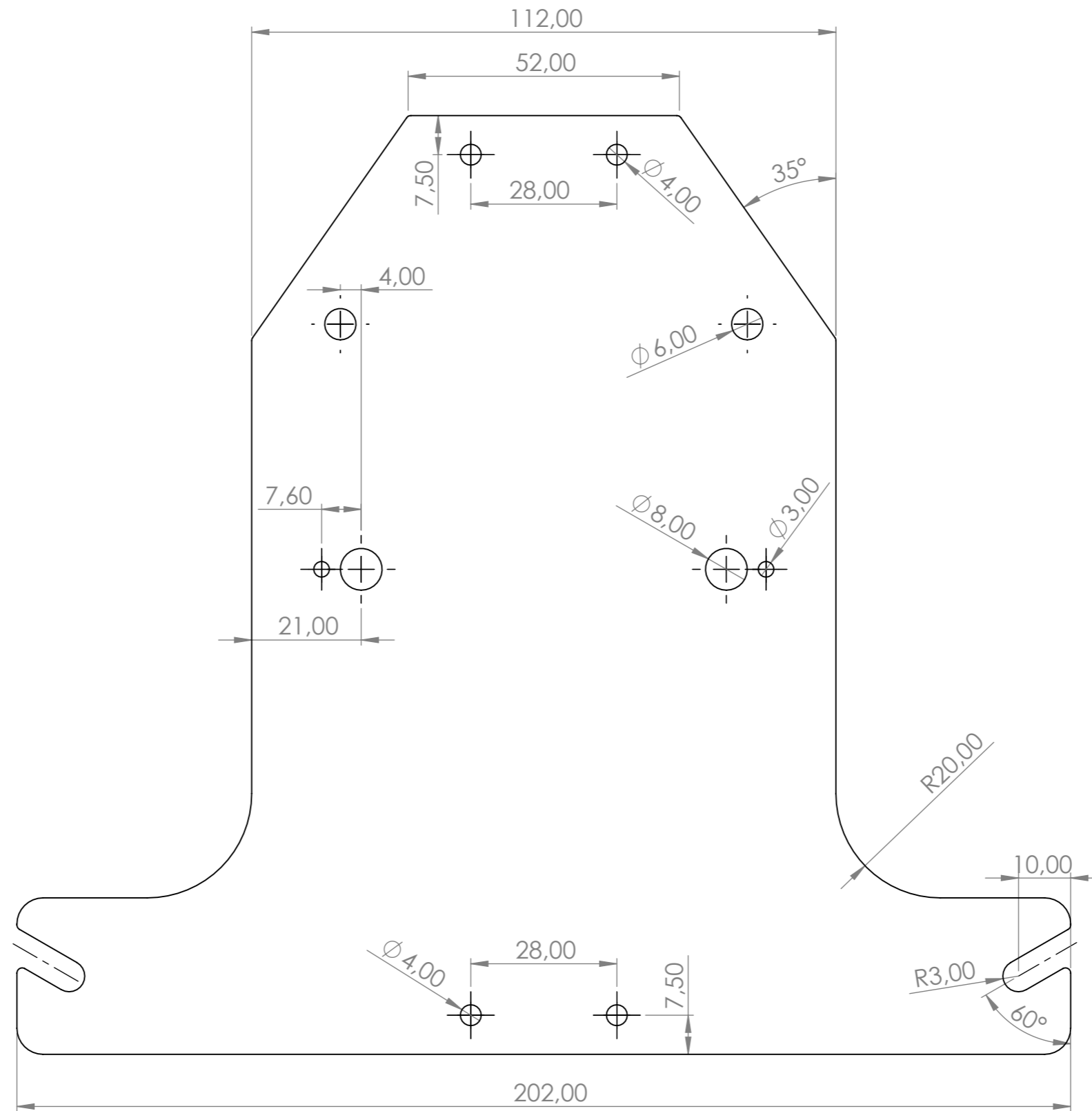
ESCALA: 1:2


HOJA 1 DE 1



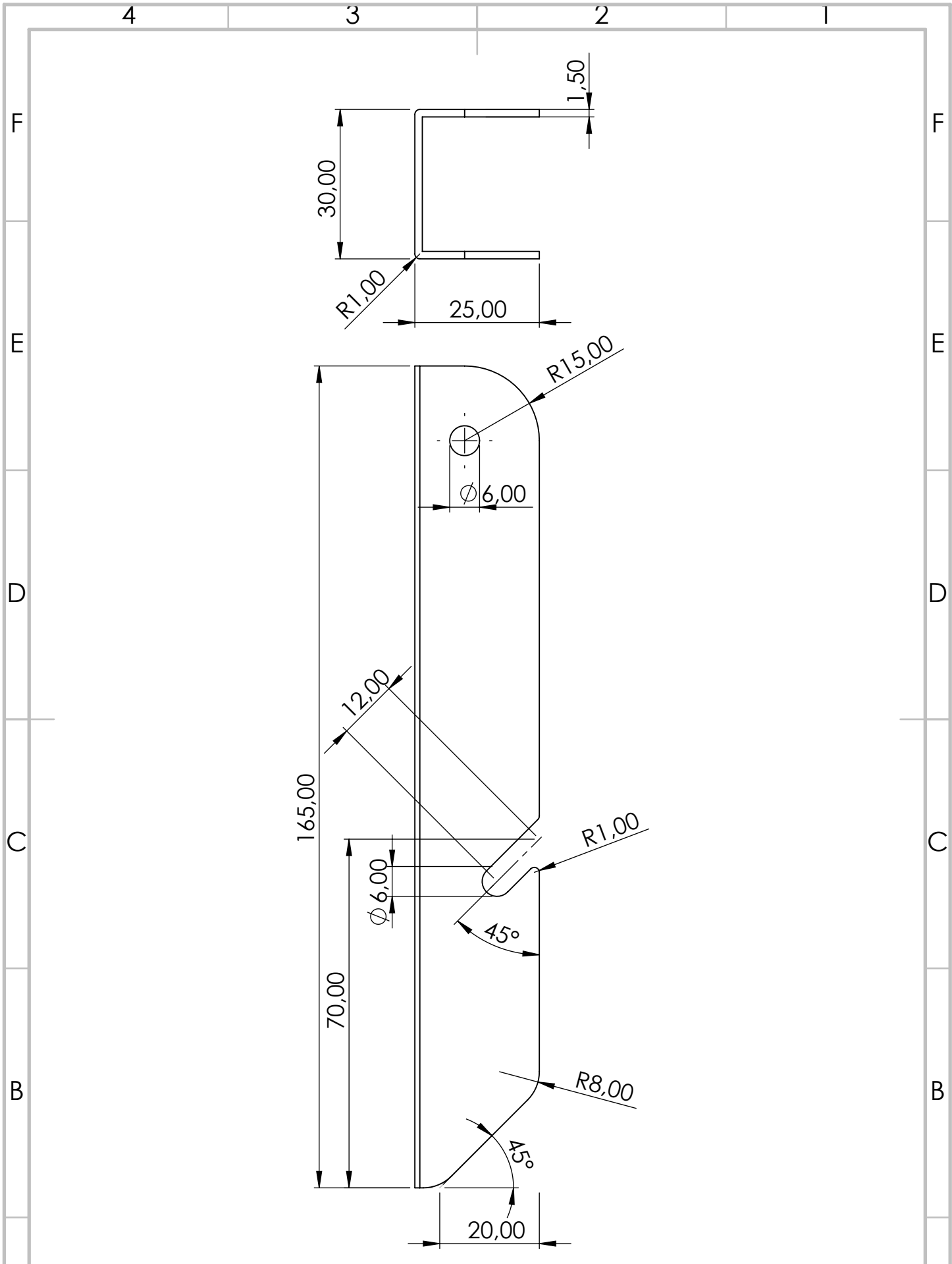
4 3 2 1





 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	NOMBRE: Ivan Cañizares Hernández	FIRMA:	TÍTULO: Volante de carreras para simulación DIY
	FECHA:	MATERIAL: AISI 316	N.º DE DIBUJO Base pedal - Plano corte
	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	ESPESOR: 1,5 mm PESO: 256,02 g	ESCALA: 1:1 HOJA 1 DE 1

A3



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

NOMBRE:  
Ivan Cañizares Hernández

FIRMA:

TÍTULO: Volante de carreras para  
simulación DIY

FECHA:

MATERIAL:

N.º DE DIBUJO

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

AISI 316 (Inox)

Accionador pedal

A4

PESO: 142,75 g

ESCALA: 1:1

HOJA 1 DE 1



4

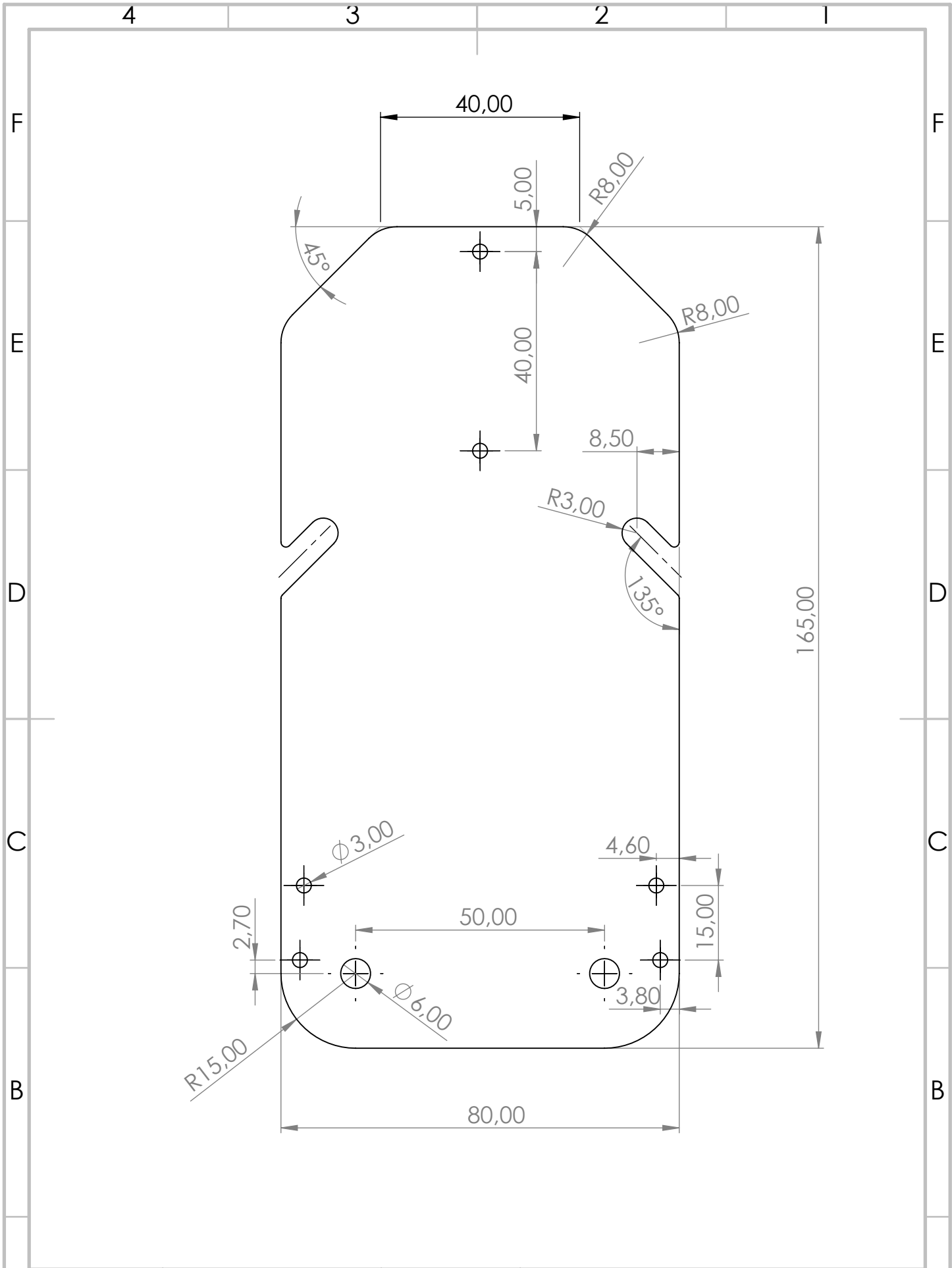
3

2

1

A

A



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

NOMBRE:  
Ivan Cañizares Hernández

FIRMA:

TÍTULO: Volante de carreras para  
simulación DIY

FECHA:

MATERIAL:

AISI 316

N.º DE DIBUJO

Accionador pedal - Plano corte

A4

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

ESPELOR: 1,5 mm

PESO: 149,09 g

ESCALA: 1:1

HOJA 1 DE 1



4

3

2

1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

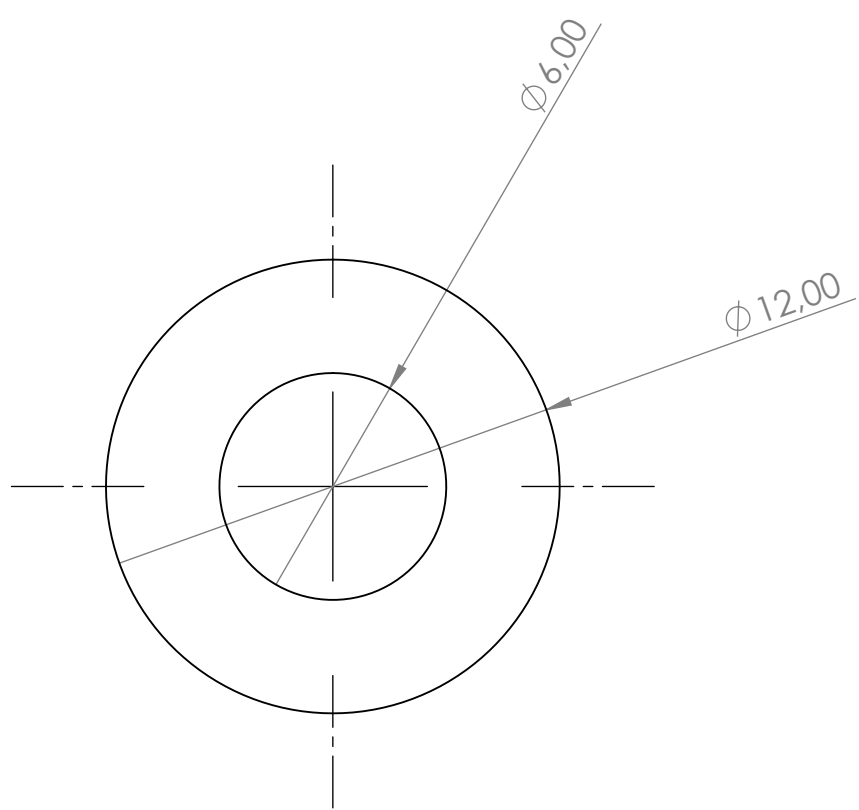
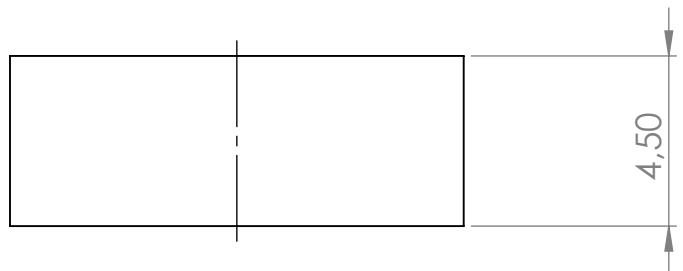
D

C

C

B

B



A

A



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

NOMBRE:  
Ivan Cañizares Hernández

FIRMA:

TÍTULO: Volante de carreras para  
simulación DIY

FECHA:

MATERIAL:  
PTFE

N.º DE DIBUJO  
Separador Base-Accionador

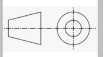
A4

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

PESO: 0,89 g

ESCALA: 5:1

HOJA 1 DE 1



4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

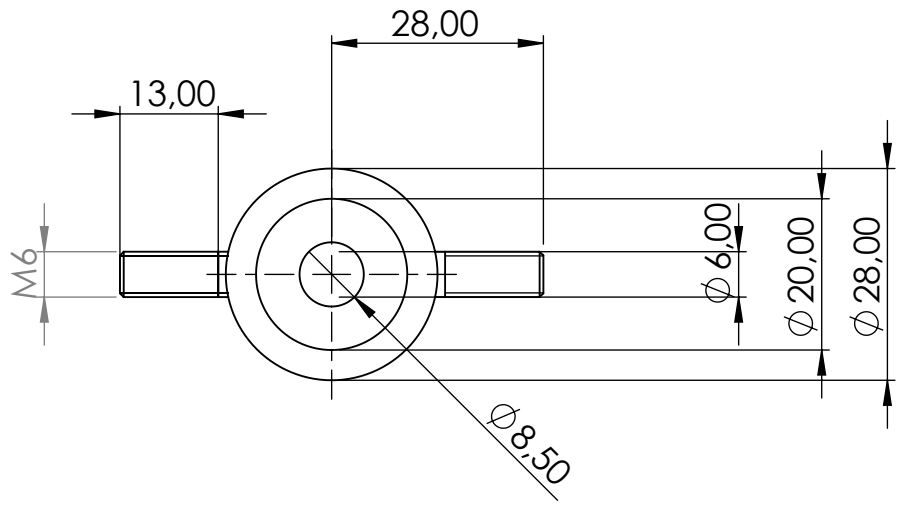
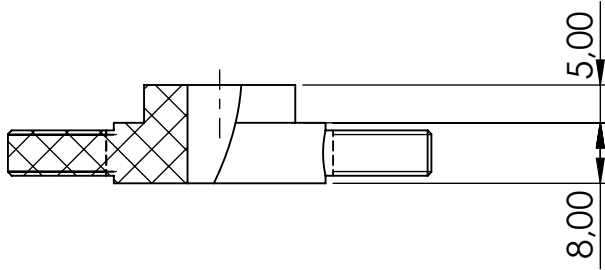
C

B

B

A

A



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

NOMBRE:  
Ivan Cañizares Hernández

FIRMA:

TÍTULO: Volante de carreras para simulación DIY

FECHA:

MATERIAL:  
ABS

N.º DE DIBUJO  
Deslizadera muelle

A4

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

PESO: 6,68 g

ESCALA: 1:1

HOJA 1 DE 1



4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

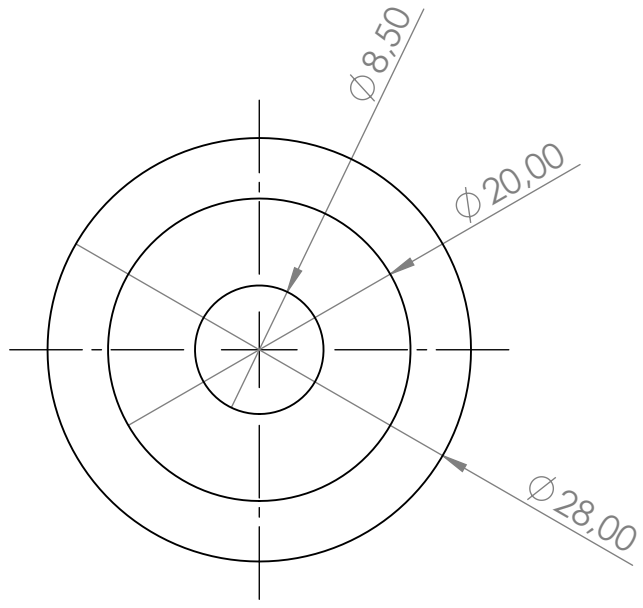
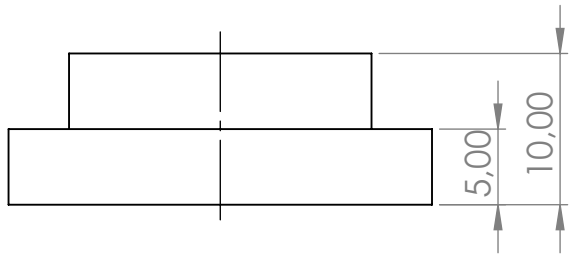
C

B

B

A

A



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

NOMBRE:  
Ivan Cañizares Hernández

FIRMA:

TÍTULO: Volante de carreras para simulación DIY

FECHA:

MATERIAL:  
ABS

N.º DE DIBUJO  
Tope muelle

A4

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

PESO: 4,16 g

ESCALA: 2:1

HOJA 1 DE 1



4 3 2 1

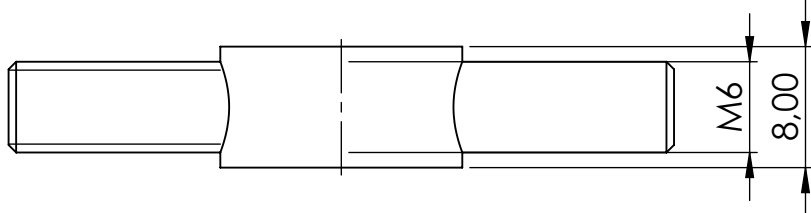
4 3 2 1

F

F

E

E

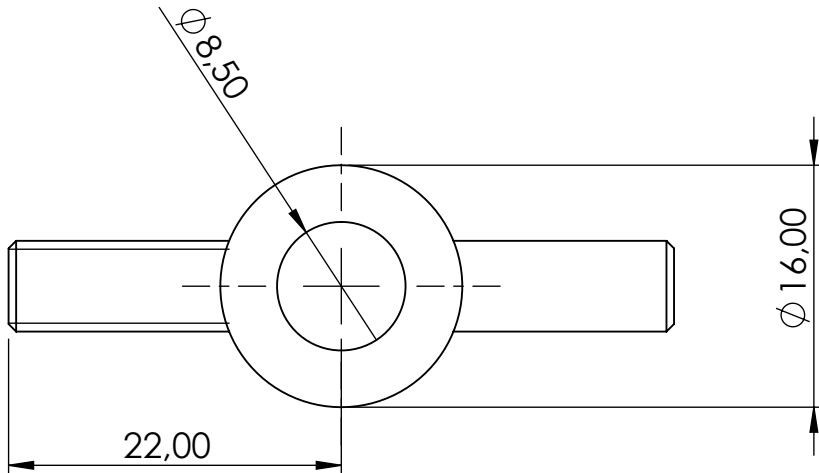


D

D

C

C



B

B

A

A



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

NOMBRE:  
Ivan Cañizares Hernández

FIRMA:

TÍTULO: Volante de carreras para  
simulación DIY

FECHA:

MATERIAL:  
ABS

N.º DE DIBUJO  
Final deslizadera

A4

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

PESO: 1,99 g

ESCALA: 2:1

HOJA 1 DE 1



4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

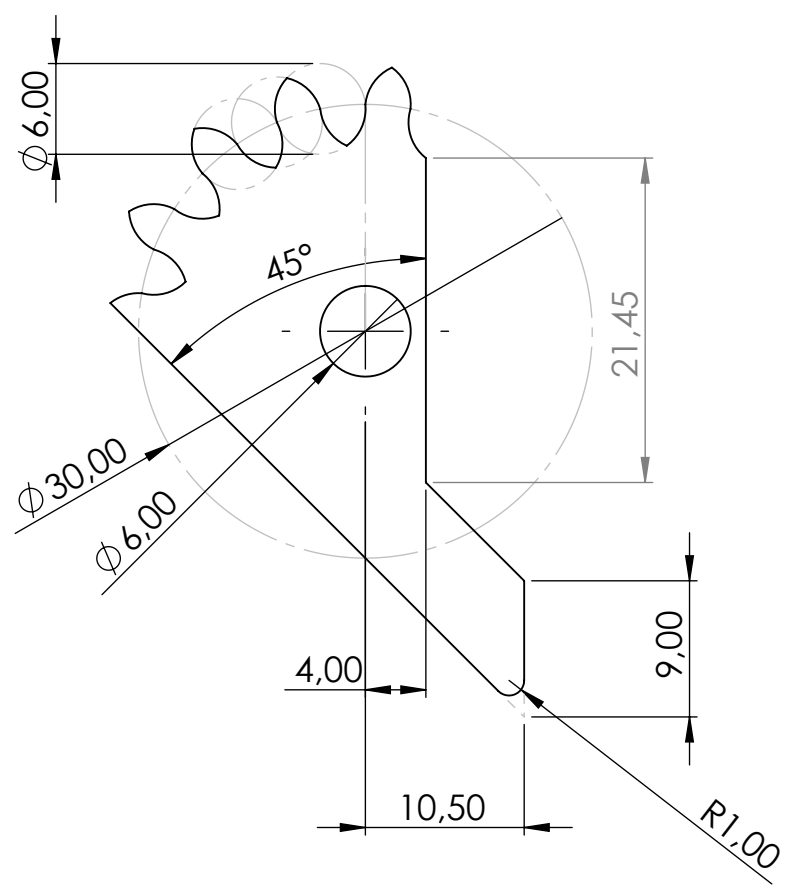
C

B

B

A

A



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

NOMBRE:  
Ivan Cañizares Hernández

FIRMA:

TÍTULO: Volante de carreras para  
simulación DIY

FECHA:

MATERIAL:  
ABS

N.º DE DIBUJO  
Accionador potenciómetro 1

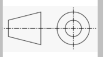
A4

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

ESPESOR: 5 mm  
PESO: 2,27 g

ESCALA: 2:1

HOJA 1 DE 1



4 3 2 1



4 3 2 1

F

F

E

E

D

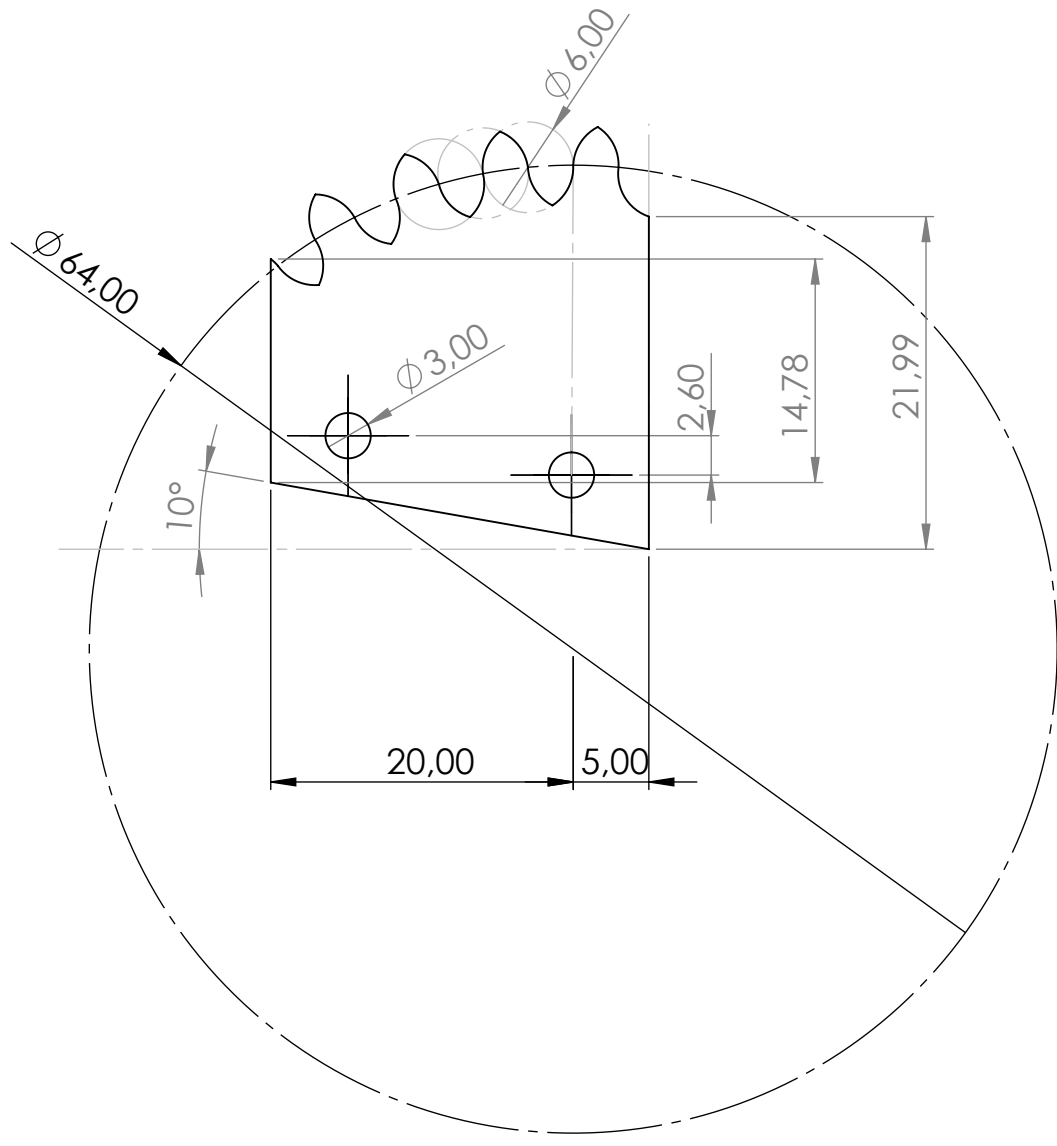
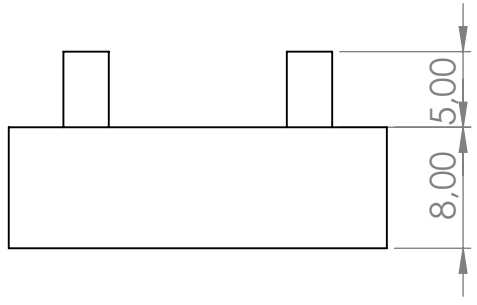
D

C

C

B

B



A

A



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

NOMBRE:  
Ivan Cañizares Hernández

FIRMA:

TÍTULO: Volante de carreras para simulación DIY

FECHA:

MATERIAL:  
ABS

N.º DE DIBUJO  
Accionador potenciómetro 2

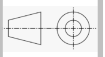
A4

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

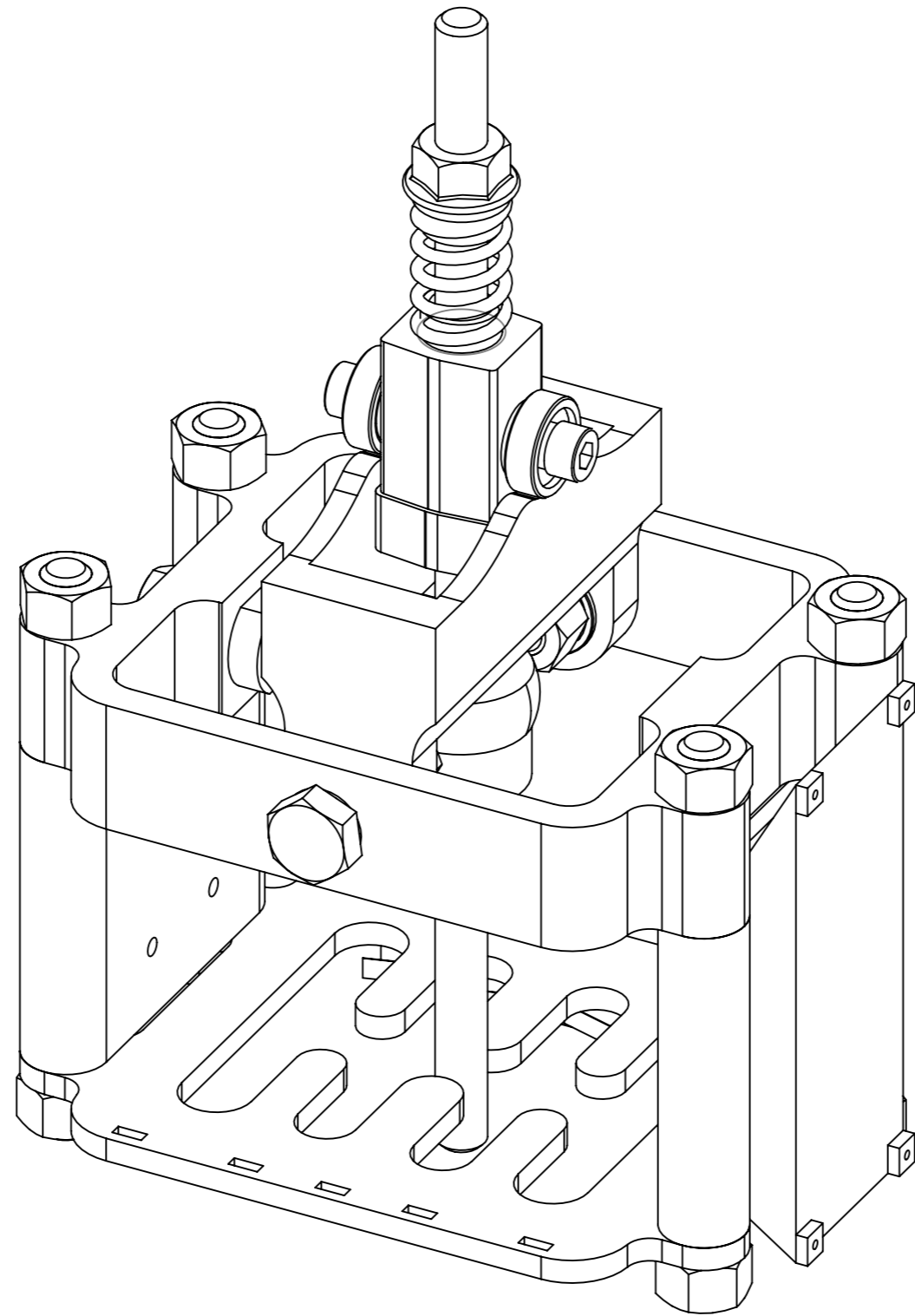
PESO: 4,39 g


ESCALA: 2:1

HOJA 1 DE 1

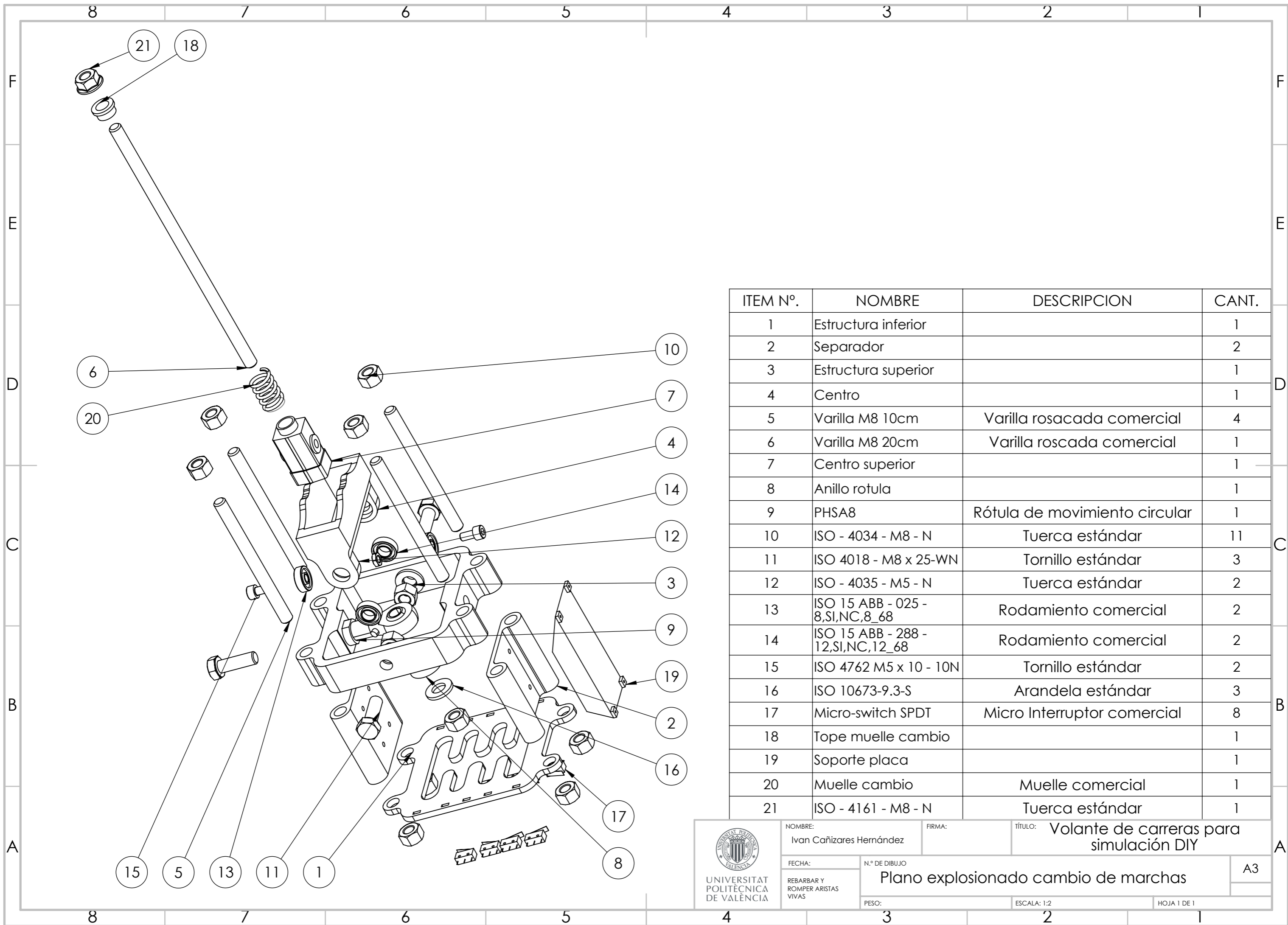


4 3 2 1




 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	NOMBRE: Ivan Cañizares Hernández	FIRMA:	TÍTULO: Volante de carreras para simulación DIY
	FECHA:	N.º DE DIBUJO Plano general cambio de marchas	
	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	PESO:	ESCALA: 1:1

A3



ITEM N°.	NOMBRE	DESCRIPCION	CANT.
1	Estructura inferior		1
2	Separador		2
3	Estructura superior		1
4	Centro		1
5	Varilla M8 10cm	Varilla rosacada comercial	4
6	Varilla M8 20cm	Varilla rosacada comercial	1
7	Centro superior		1
8	Anillo rotula		1
9	PHSA8	Rótula de movimiento circular	1
10	ISO - 4034 - M8 - N	Tuerca estándar	11
11	ISO 4018 - M8 x 25-WN	Tornillo estándar	3
12	ISO - 4035 - M5 - N	Tuerca estándar	2
13	ISO 15 ABB - 025 - 8,SI,NC,8_68	Rodamiento comercial	2
14	ISO 15 ABB - 288 - 12,SI,NC,12_68	Rodamiento comercial	2
15	ISO 4762 M5 x 10 - 10N	Tornillo estándar	2
16	ISO 10673-9.3-S	Arandela estándar	3
17	Micro-switch SPDT	Micro Interruptor comercial	8
18	Tope muelle cambio		1
19	Soporte placa		1
20	Muelle cambio	Muelle comercial	1
21	ISO - 4161 - M8 - N	Tuerca estándar	1



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

NOMBRE: Ivan Cañizares Hernández

FECHA:

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

FIRMA:

N.º DE DIBUJO

**Plano explosionado cambio de marchas**

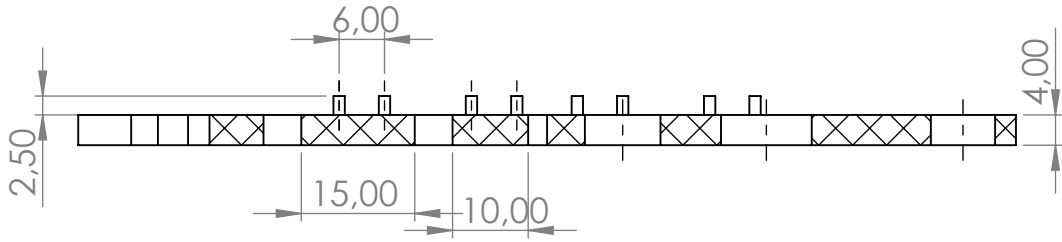
PESO:

TÍTULO: **Volante de carreras para simulación DIY**

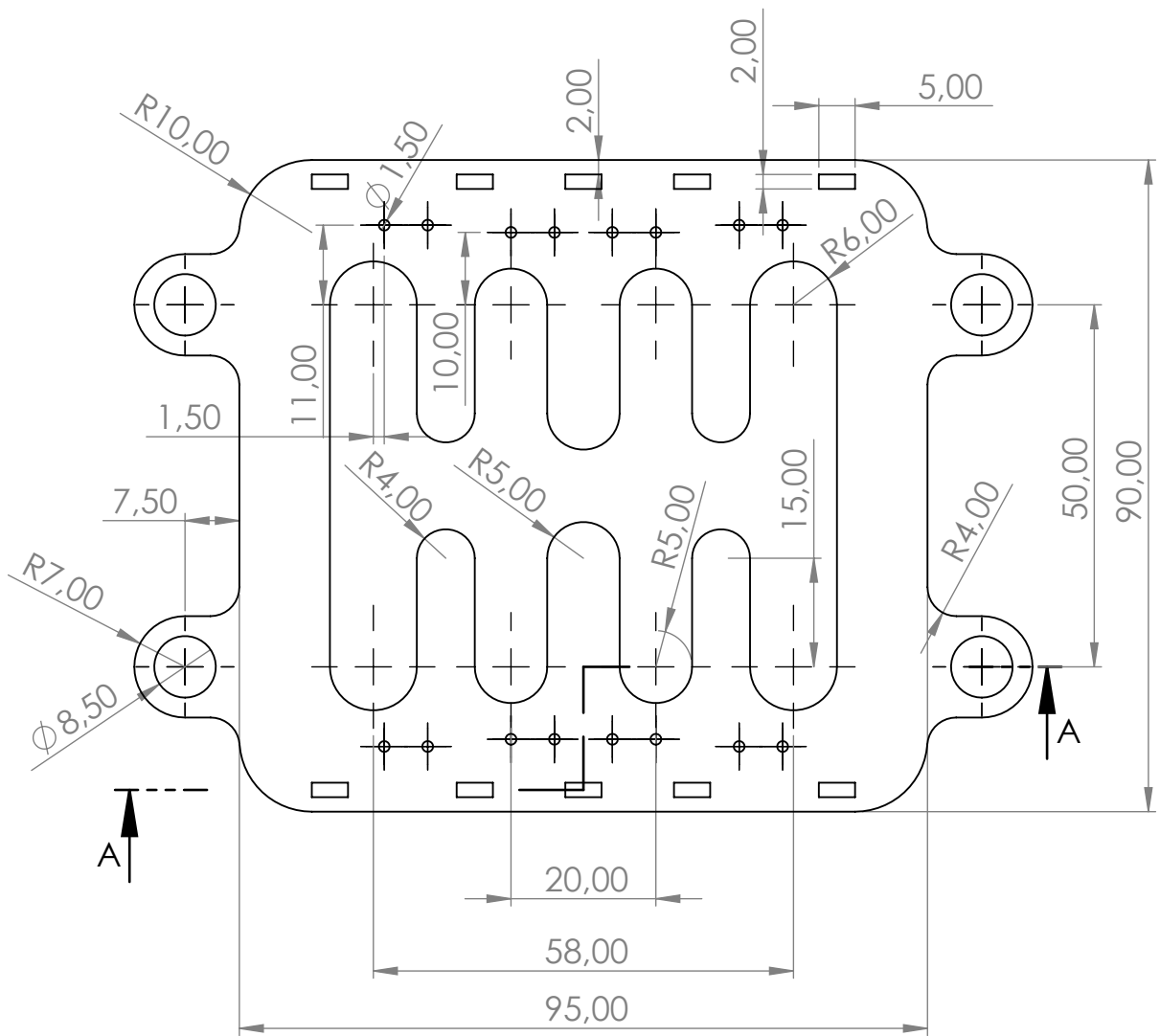
ESCALA: 1:2

HOJA 1 DE 1

A3



SECCIÓN A-A



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

NOMBRE:  
Ivan Cañizares Hernández

FIRMA:

TÍTULO: Volante de carreras para  
simulación DIY

FECHA:

MATERIAL:

N.º DE DIBUJO

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

ABS

Estructura inferior

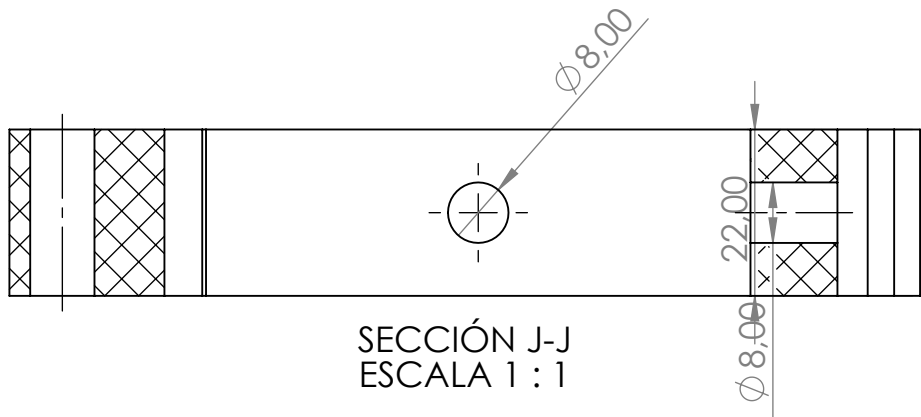
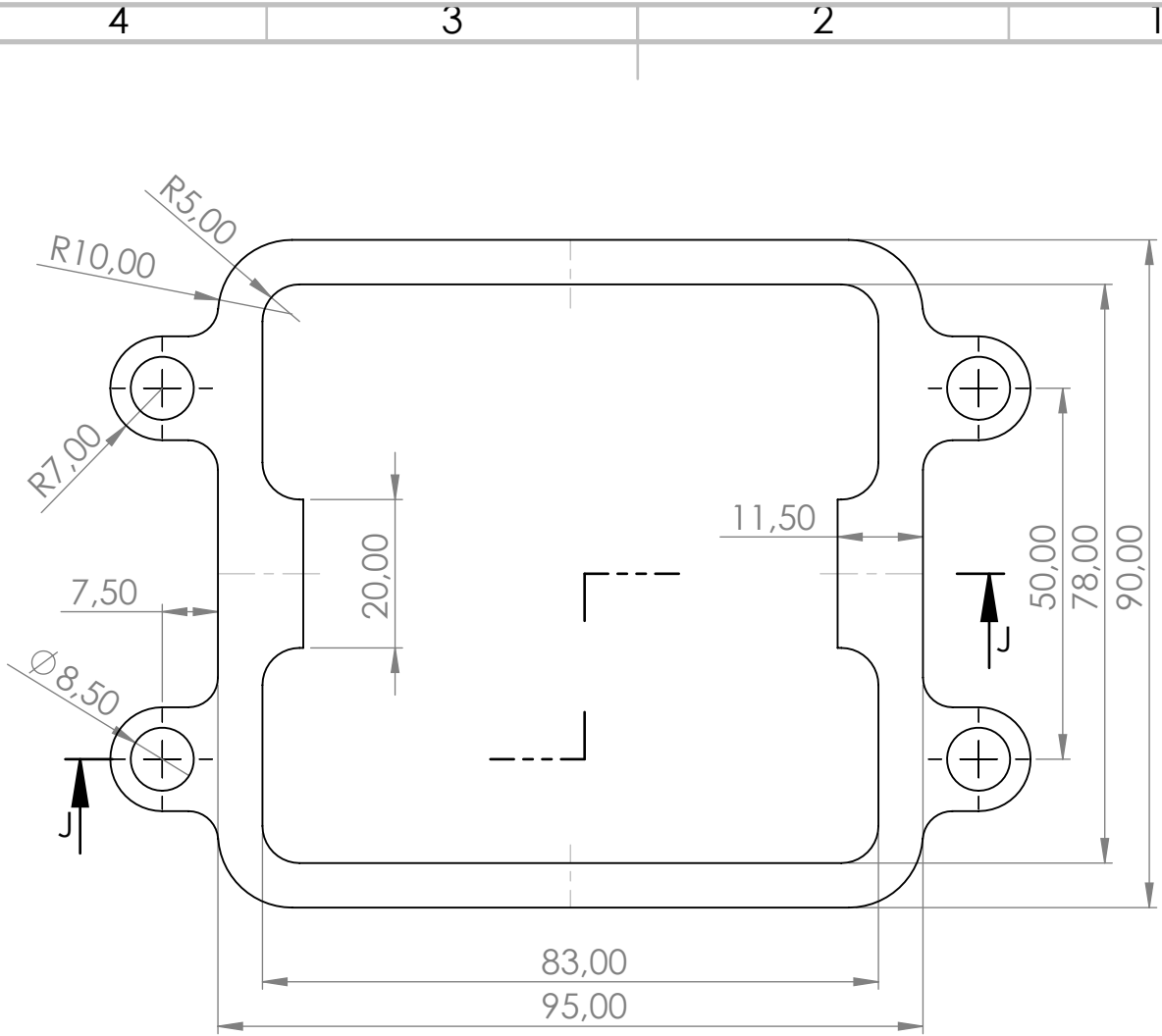
A4

PESO: 24,42 g

ESCALA: 1:1

HOJA 1 DE 1





SECCIÓN J-J  
ESCALA 1 : 1



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

NOMBRE:  
Ivan Cañizares Hernández

FIRMA:

TÍTULO: Volante de carreras para simulación DIY

FECHA:

MATERIAL:  
ABS

N.º DE DIBUJO  
Estructura superior

A4

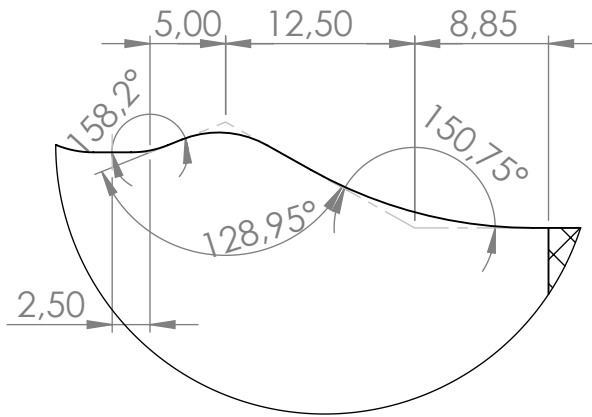
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

PESO: 60,61 g

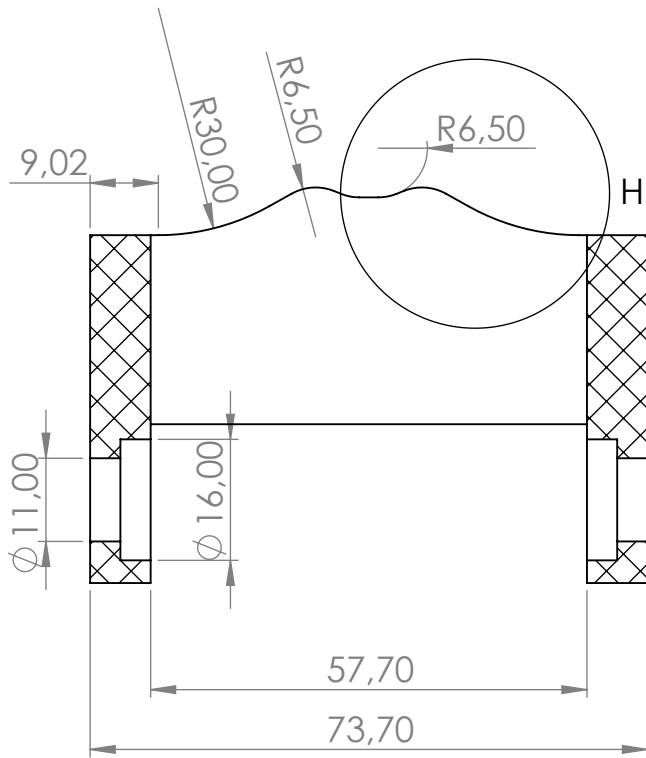
ESCALA: 1:1

HOJA 1 DE 1

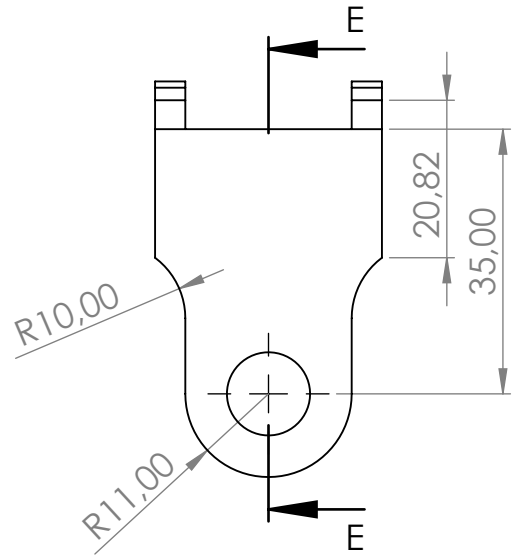




DETALLE H  
ESCALA 2 : 1



SECCIÓN E-E



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

NOMBRE:  
Ivan Cañizares Hernández

FIRMA:

TÍTULO: Volante de carreras para  
simulación DIY

FECHA:

MATERIAL:

N.º DE DIBUJO

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

ABS

Centro

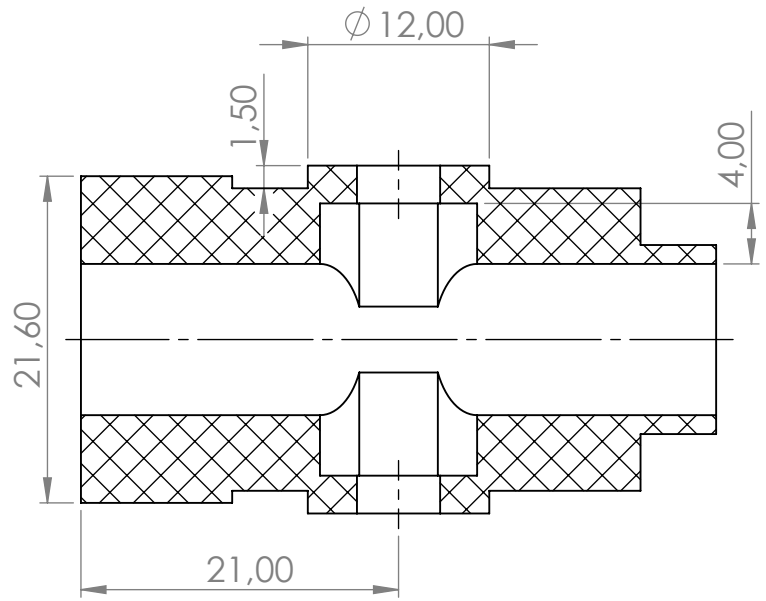
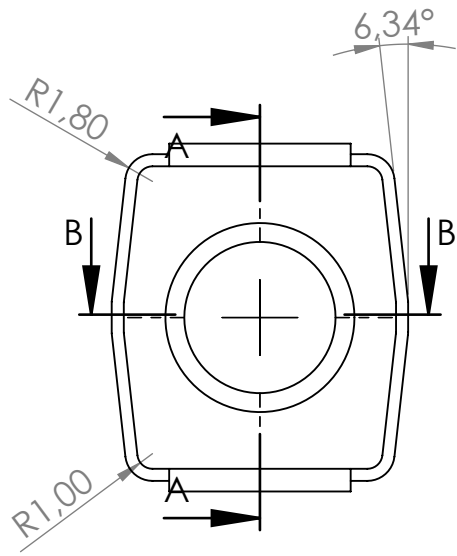
A4

PESO: 26,4 g

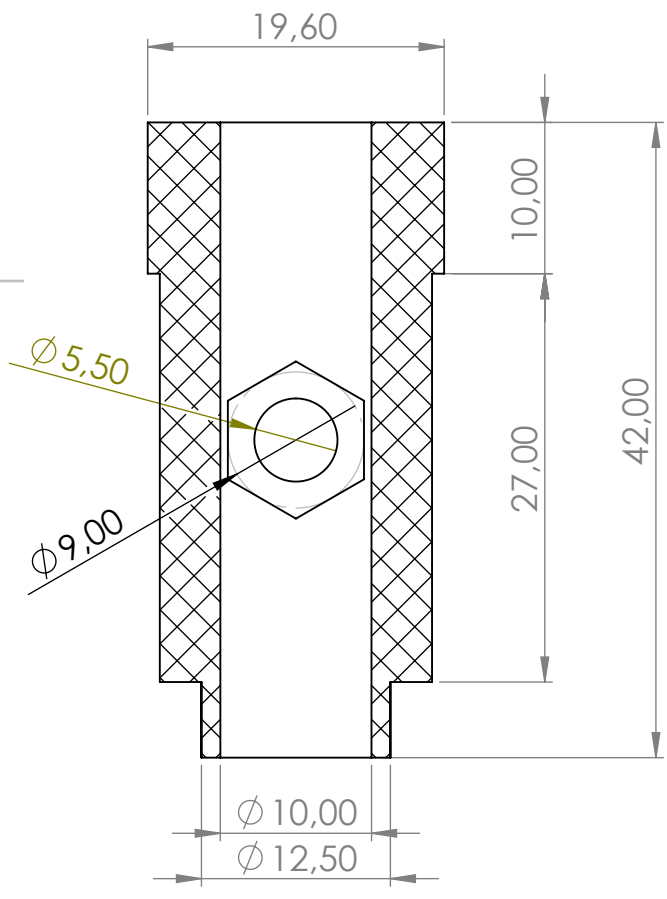
ESCALA: 1:1

HOJA 1 DE 1





SECCIÓN A-A



SECCIÓN B-B



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

NOMBRE:  
Ivan Cañizares Hernández

FIRMA:

TÍTULO: Volante de carreras para simulación DIY

FECHA:

MATERIAL:

N.º DE DIBUJO

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

ABS

Centro superior

PESO: 10,3 g

ESCALA: 2:1

HOJA 1 DE 1

A4



4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

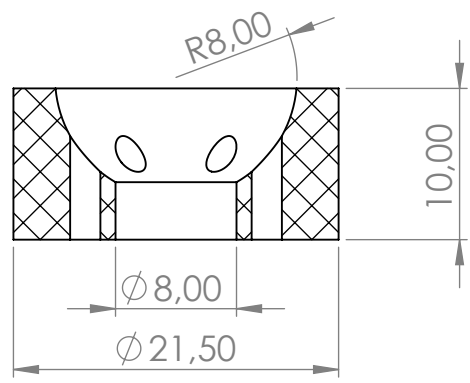
C

B

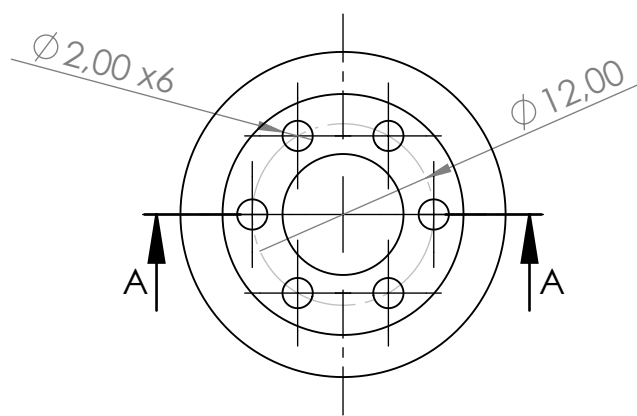
B

A

A



SECCIÓN A-A



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

NOMBRE:  
Ivan Cañizares Hernández

FIRMA:

TÍTULO: Volante de carreras para simulación DIY

FECHA:

MATERIAL:  
ABS

N.º DE DIBUJO  
Anillo rotula

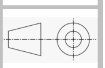
A4

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

PESO: 2,49 g

ESCALA: 2:1

HOJA 1 DE 1



4 3 2 1



4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

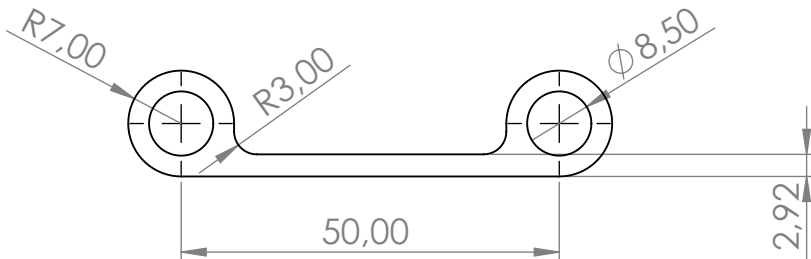
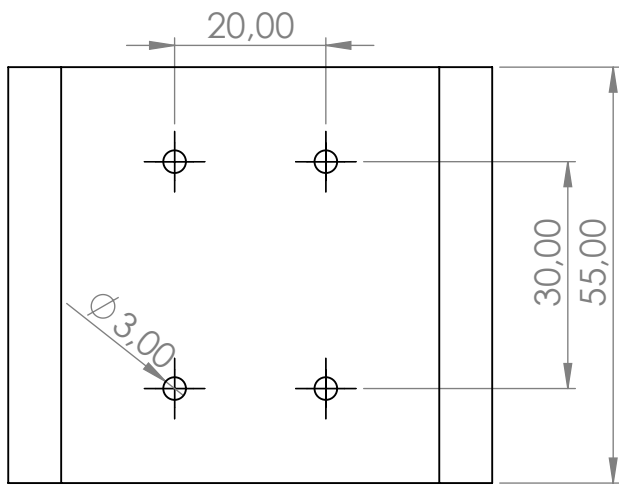
C

B

B

A

A



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

NOMBRE:  
Ivan Cañizares Hernández

FIRMA:

TÍTULO: Volante de carreras para  
simulación DIY

FECHA:

MATERIAL:  
ABS

N.º DE DIBUJO

A4

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

PESO: 18,12 g

ESCALA: 1:1

HOJA 1 DE 1



4 3 2 1

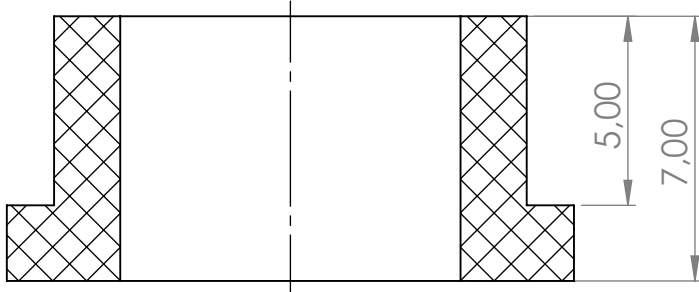
4 3 2 1

F

F

E

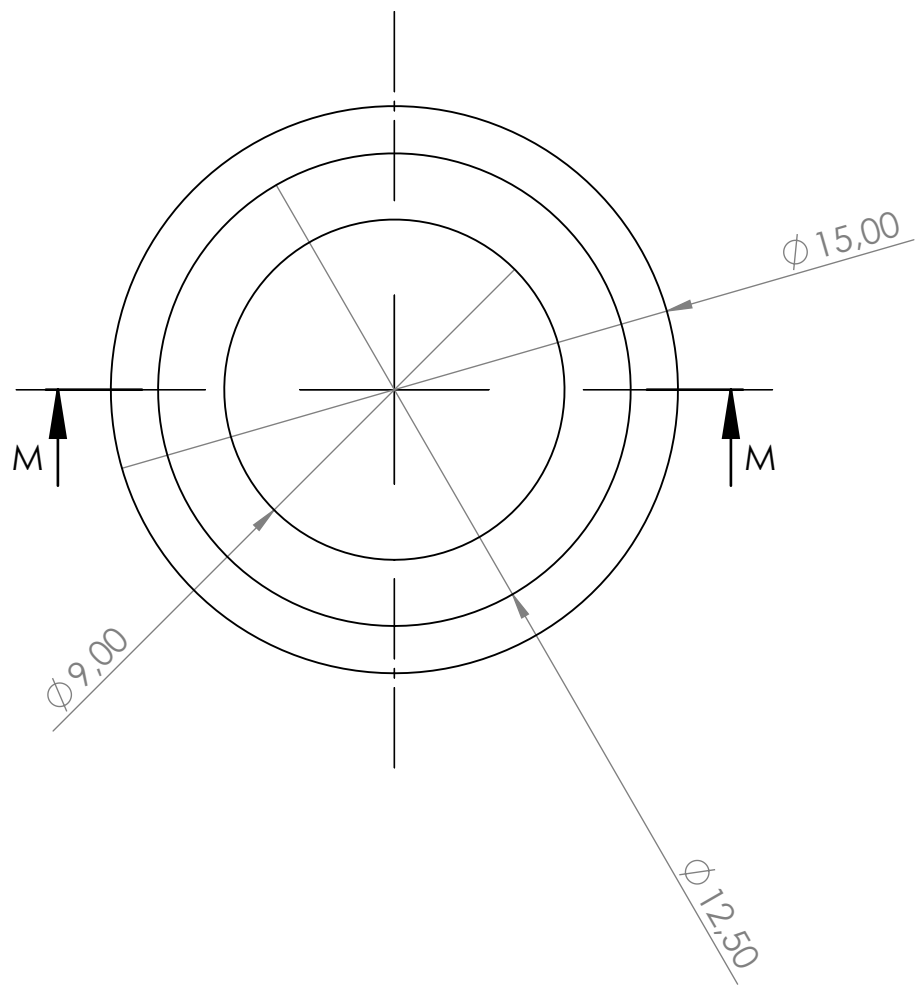
E



SECCIÓN M-M

D

D



C

C

B

B

A

A



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

NOMBRE:  
Ivan Cañizares Hernández

FIRMA:

TÍTULO: Volante de carreras para simulación DIY

FECHA:

MATERIAL:  
ABS

N.º DE DIBUJO  
Tope muelle cambio

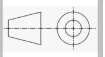
A4

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

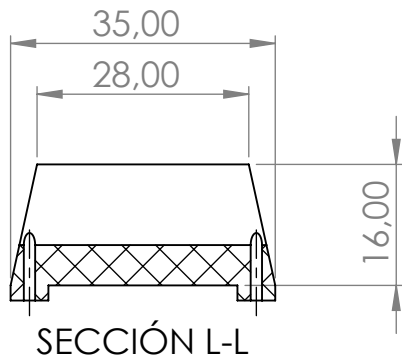
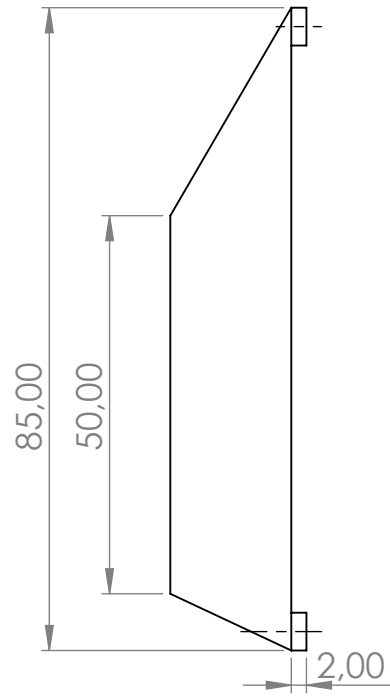
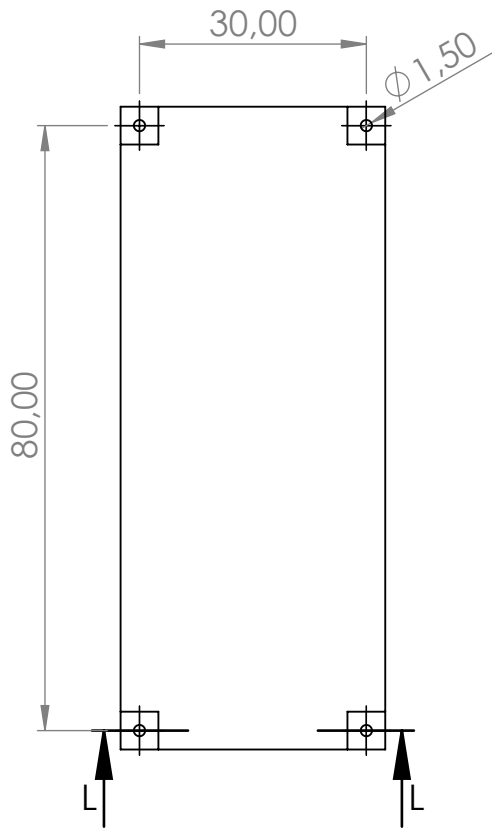
PESO: 0,53 g

ESCALA: 5:1

HOJA 1 DE 1



4 3 2 1



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

NOMBRE:

Ivan Cañizares Hernández

FIRMA:

TÍTULO:

Volante de carreras para  
simulación DIY

FECHA:

MATERIAL:

N.º DE DIBUJO

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

ABS

Soporte placa

A4

PESO: 34,13 g

ESCALA: 1:1

HOJA 1 DE 1



## 8. Pliego de condiciones

### 8.1. Objeto del proyecto

Este proyecto comprende el diseño de un kit de estructura para volante de simulación DIY de calidad y competitivo, que se compone de volante, pedales y cambio de marchas. En este apartado se especifican las condiciones que deben tener los materiales y los pasos a seguir durante su fabricación para que el producto final cumpla con lo establecido en el diseño teórico.

### 8.2. Condiciones de los materiales

#### 8.2.1. Aluminio 5754 (Base volante)

Especificaciones del material: El Aluminio Aleación Magnesio EN AW 5754 es una aleación de elevada resistencia mecánica, con buena resistencia a la corrosión, comparable a la del aluminio puro en general. Este material cuenta con una densidad de  $2,70 \text{ g/cm}^3$ , un límite elástico de 45 MPa y una tensión de rotura de 200 MPa. Su módulo de elasticidad es de 26.5 GPa y su coeficiente de Poisson de 0,33.

Control de calidad: Se tomará una muestra de material y se realizarán los pertinentes ensayos para comprobar que las características reales del material concuerdan con las exigidas según esta especificación. Se pedirá el sello de calidad al fabricante, que no se trata de uno específico sino cualquiera que pueda proporcionar el aluminio pedido.

#### 8.2.2. Caucho SBR (Base volante)

Especificaciones del material: El caucho SBR es un caucho sintético de uso general producido de estireno y butadieno (proporciones de 25% - 75% respectivamente), resistente a la abrasión e impactos, el cual posee además de buenas propiedades de aislamiento de ruido y vibración. Normalmente es usado para remplazar directamente el caucho natural.

Control de calidad: Se tomará una muestra de material y se realizarán los pertinentes ensayos para comprobar que las características reales del material concuerdan con las exigidas según esta especificación. Se pedirá el sello de calidad al fabricante, que no se trata de uno específico sino cualquiera que pueda proporcionar el caucho pedido.

#### 8.2.3. Plástico ABS

Especificaciones del material: El Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS de sus siglas en Inglés) es un polímero que forma parte de los termoplásticos y destaca por su rigidez, dureza y tenacidad. Este material cuenta con una densidad de  $1,07 \text{ g/cm}^3$ , un límite elástico de 290 MPa y una tensión de rotura de 515 MPa. Su módulo de elasticidad es de 2.3 GPa y su coeficiente de Poisson de 0,38.

Control de calidad: Se realizará una inspección visual tras la llegada del hilo de impresión de ABS, controlando que éste tiene la calidad correcta, que no existen rasgaduras ni deformaciones y que su estado de conservación (humedad, limpieza...) es correcto. Se exigirá al fabricante el sello de calidad del producto correspondiente.

#### 8.2.4. Acero Inoxidable AISI 316 (Pedales)

Especificaciones del material: El acero inoxidable AISI 316 es un acero inoxidable austenítico de cromo-níquel que contiene entre 2% y 3% de molibdeno. Este material cuenta con una densidad de 8,03 g/cm<sup>3</sup>, un límite elástico de 290 MPa y una tensión de rotura de 515 MPa. Su módulo de elasticidad es de 193 GPa y su coeficiente de Poisson de 0,30.

Control de calidad: Se tomará una muestra de material y se realizarán los pertinentes ensayos para comprobar que las características reales del material concuerdan con las exigidas según esta especificación. Se pedirá el sello de calidad al fabricante, que no se trata de uno específico sino cualquiera que pueda proporcionar el acero inoxidable pedido.

#### 8.2.5. PTFE (Pedales)

Especificaciones del material: El Politetrafluoroetileno, más conocido como teflón,<sup>1</sup> es un polímero similar al polietileno, en el cual los átomos de hidrógeno son sustituidos por átomos de flúor. Este material cuenta con una densidad de 2,14 g/cm<sup>3</sup>, un límite elástico de 15 MPa y una tensión de rotura de 35 MPa. Su módulo de elasticidad es de 1.96 GPa y su coeficiente de Poisson de 0,46.

Control de calidad: Se tomará una muestra de material y se realizarán los pertinentes ensayos para comprobar que las características reales del material concuerdan con las exigidas según esta especificación. Se pedirá el sello de calidad al fabricante, que no se trata de uno específico sino cualquiera que pueda proporcionar el teflón pedido.

#### 8.2.6. Tornillería

Especificaciones del material: Para la tornillería se emplearán tornillos, varillas, tuercas y arandelas de diferentes métricas, siendo éstas M2.5, M3, M4, M5, M6 y M8 según norma. La longitud de los tornillos es variable, en función de su uso y su grado será DIN/ISO 5.8. Las tuercas serán de seguridad según la normativa ISO 10511. Las arandelas tendrán un espesor máximo de 1 mm.

#### 8.2.7. Rodamientos

Especificaciones del material: Como rodamientos presentes en el proyecto encontramos tres denominaciones: rodamientos K000 con soporte P000, rodamientos 688 y 625, según norma. Todos los rodamientos son de bolas y están lubricados y sellados, de modo que permitan una gran suavidad de movimiento con el menor ruido posible.

### 8.3. Condiciones de la ejecución

#### 8.3.1. Corte láser del aluminio 5754 y acero AISI 316

Ambas chapas de metal vendrán cortadas ya por el proveedor con las condiciones de diseño que se le hayan especificado (material, espesor, diseño...).

-Control de calidad: Las chapas recién llegadas serán sometidas a un proceso de inspección visual para comprobar que no haya daños en el pedido (chapas dobladas, perforadas o rotas), así como una comprobación de medidas con el diseño original. Se procederán a rebarbar y romper las aristas vivas para que se agradable al tacto en los cantos y no haya peligro de cortes. En ningún momento del proceso, desde su llegada hasta la expedición del producto final al cliente, se retirará la película plástica protectora de los metales.

#### 8.3.2. Doblado acero AISI 316 para los pedales

Las chapas de acero precortadas a láser deben ser dobladas para permitir el posterior montaje de los pedales por parte del usuario.

-Control de calidad: Las chapas se marcarán con precisión por toda la longitud de plegado para asegurar la correcta ejecución de este. Una vez dobladas a 90°, las piezas obtenidas se comprobarán visualmente para asegurar un correcto acabado de la pieza, así como una comprobación de las medidas de la pieza para asegurar un correcto funcionamiento de esta.

#### 8.3.3. Impresión de piezas 3D en ABS

En primer lugar, se preparará la impresora 3D con las características óptimas para la impresión de plástico ABS, siendo así una temperatura de extrusión de 250°C y una temperatura de bandeja calefactada de 100°C en un recinto cerrado y ventilado para asegurar una estabilidad térmica y la expulsión de los gases generados durante la impresión. Se regulará correctamente la altura del extrusor frente a la bandeja en función de la altura de capa deseada, normalmente 0.1 mm. La pieza será preparada para imprimir en la posición óptima, la cual permita hacer uso del menor número de apoyos extra y la mejor calidad y precisión de impresión.

-Control de calidad: Durante el proceso se revisará periódicamente la impresión, para prevenir posibles fallos de impresión por parte de la impresora. Una vez impresa la pieza, se pasará a retirar los apoyos extra que se hayan utilizado, así como rebarbar y romper las aristas vivas para obtener una pieza suave y segura. Posteriormente se comprobarán las dimensiones y especificaciones de la pieza impresa con las características de diseño exigidas.

#### 8.3.4. Torneado de piezas de PTFE

El PTFE, adquirido en forma de barras, primero se precortará a la medida necesaria para que pueda trabajarse correctamente en el torno. A continuación, se procederá a la fabricación de las piezas en cuestión. Durante el proceso de torneado se asegurará de evitar la incrustación de virutas en el material, así como una correcta refrigeración durante todo el proceso para asegurar un óptimo acabado.

-Control de calidad: Una vez obtenida la pieza en PTFE, se comprobarán sus dimensiones y se asegurará un acabado suave, procediendo a un posterior lijado con grano fino si la pieza lo necesitara por marcas del proceso de torneado.

#### 8.4. Prueba de servicio

Una vez completado el proceso se realizará la prueba de servicio. Para ello se realizará un montaje completo de la estructura con los componentes externos que se necesitan, como si de un usuario final se tratara. Se utilizará el motor más potente para el cual ha sido diseñada la estructura, el servo motor Nema 34 de 12Nm de fuerza.

Para la estructura principal, la cual alberga el volante, se realizará la siguiente prueba mediante el administrador de dispositivos de juego en un ordenador con Windows. Este programa permite realizar todo tipo de pruebas de funcionamiento al motor de respuesta Force Feedback, siendo algunas de estas pruebas giros bruscos a máxima velocidad del motor y cambios continuos de sentido de giro. Estas pruebas se realizarán durante periodos de 10 horas cada una y se comprobarán si hay deformaciones en las proximidades de los anclajes de servo motor y si se han producido desviaciones en la precisión del giro procedentes por fallos en la estructura.

Por otra parte, para comprobar los pedales se realizarán las siguientes pruebas:

-En primer lugar, se accionarán los pedales de manera perpendicular al propio pedal de manera continua, con presiones variables (como si de un pie se tratara) a lo largo de todo el recorrido del pedal y cambios bruscos. Esta prueba constará de 20.000 repeticiones.

-En segundo lugar, se realizará una prueba similar a la anterior, pero accionando el pedal en un ángulo de 45°. Esta prueba permite acercarse a acciones más realistas del pie, como al realizar el punta-tacón.

Al terminar cada una de estas pruebas se comprobarán deformaciones o fisuras en el eje de giro del pedal, así como su holgura.

Para terminar, en el cambio de marchas se realizarán unas pruebas similares a las realizadas en los pedales. Al terminar estas pruebas se comprobarán deformaciones entre los canales de entrada de marcha y los desgaste procedentes de zonas de giro o fricción.

## 9. Medición y presupuesto

Materiales				
Volante (Cuerpo principal)				
Uds	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
ud	Aluminio 5754 Natural 2mm Cortado a Láser*	1	20,55	20,55
ud	Rodamiento K000 con soporte P000	2	5,78	11,56
m <sup>2</sup>	Lámina Caucho SBR	0,0621	9,80	0,61
kg	Filamento ABS 1.75mm Negro	0,2666	17,74	4,729
Pedales				
Uds	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
ud	Acero Inoxidable 316 Natural Cortado a Láser* (Base pedal)	3	14,96	44,88
ud	Acero Inoxidable 316 Natural Cortado a Láser* (Accionador pedal)	3	12,14	36,42
m	Varilla de teflón, Opaco, 1m x 15mm	0,09	21,65	1,95
kg	Filamento ABS 1.75mm Negro	0,0195	17,74	0,347
m	Muelle FP24838 (Ø exterior 28mm; Ø hilo 3,5mm)	0,065	6,9614	0,452
ud	Rodamiento 625 – 2RS	2	1,91	3,82
ud	Rodamiento 688 – 2RS	2	1,61	3,22
Cambio de marchas				
Uds	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
kg	Filamento ABS 1.75mm Negro	0,177	17,74	3,139
ud	Rótula PHS8	1	0,66	0,66
ud	Mini Interruptor SPDT 2A 125V	8	0,091	0,728
m	Muelle FP24825 (Ø exterior 14mm; Ø hilo 1,4mm)	0,04	2,5726	0,103

\*: fabricado por empresa externa, precio obtenido de la factura



Fabricación				
Volante (Cuerpo principal)				
Uds	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
h	Diseño de ingeniería	150	18	2700
h	Impresión 3D Separador bujes	3,25*	0,05**	0,163
h	Impresión 3D Adaptador volante	6,25*	0,05**	0,313
h	Impresión 3D Soporte placas de control	9,2*	0,05**	0,46
h	Impresión 3D Soporte Encoder 1 Nema 24	6,75*	0,05**	0,338
h	Impresión 3D Soporte Encoder 2 Nema 24	1*	0,05**	0,05
h	Impresión 3D Conector Nema 24 - E6B2-CWZ1X	0,5*	0,05**	0,025
Pedales				
Uds	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
h	Diseño de ingeniería	80	18	1440
h	Impresión 3D Accionador potenciómetro 1	0,33*	0,05**	0,017
h	Impresión 3D Accionador potenciómetro 2	0,5*	0,05**	0,025
h	Impresión 3D Deslizadera muelle	0,85*	0,05**	0,043
h	Impresión 3D Tope muelle pedalera	0,5*	0,05**	0,025
h	Impresión 3D Final deslizadera	0,45*	0,05**	0,023
h	Doblado de piezas de metal por técnico de taller	0,2	14	2,80
h	Torneado pieza PTFE	0,1	14	1,40
Cambio de marchas				
Uds	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
h	Diseño de ingeniería	120	18	2160
h	Impresión 3D Anillo rótula	0,5*	0,05**	0,025
h	Impresión 3D Centro superior	2*	0,05**	0,10
h	Impresión 3D Centro	4,25*	0,05**	0,213
h	Impresión 3D Estructura inferior	2,75*	0,05**	0,138
h	Impresión 3D Estructura superior	6,66*	0,05**	0,333
h	Impresión 3D Separador	2,25*	0,05**	0,113
h	Impresión 3D Soporte placa	2,33*	0,05**	0,117
h	Impresión 3D Tope muelle cambio	0,25*	0,05**	0,013

\*: tiempo calculado para una velocidad de impresión industrial de 300 mm/s mediante el programa Ultimaker Cura 4.8

\*\* : precio medio de 0,20 €/kWh a fecha de 12-7-2021. El consumo estimado de una impresora 3D industrial es de 250Wh.

Tornillería				
Volante (Cuerpo principal)				
Tornillería				
Uds	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
ud	Tornillo ISO 7045 - M2.5 x 5	8	0,0268	0,2144
ud	Tornillo ISO 4762 M3 x 16	6	0,12	0,72
ud	Tornillo ISO 10642 - M3 x 16	2	0,094	0,188
ud	Tornillo ISO 4017 - M3 x 6	5	0,245	1,225
ud	Tornillo ISO 4762 M4 x 30	1	0,245	0,245
ud	Tornillo ISO 4017 - M4 x 8	4	0,168	0,672
ud	Tornillo ISO 4017 - M4 x 16	6	0,23	1,38
ud	Tornillo ISO 4762 M5 x 16	4	0,128	0,512
ud	Tornillo ISO 10642 - M6 x 35	6	0,159	0,954
ud	Tornillo ISO 4014 - M6 x 35 x 18	4	0,72	2,88
ud	Arandela ISO 10673 - 5.5	4	0,125	0,50
ud	Tuerca ISO - 4035 - M3	4	0,042	0,168
ud	Tuerca ISO - 4035 - M4	7	0,042	0,294
ud	Tuerca ISO - 4035 - M5	4	0,047	0,188
ud	Tuerca ISO - 4035 - M6	10	0,075	0,75
Pedales				
Tornillería				
Uds	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
m	Varilla roscada M8	0,14	2,91	0,407
ud	Tornillo ISO 4762 M6 x 50	1	0,34	0,34
ud	Tuerca ISO - 4035 - M6	1	0,075	0,075
ud	Tuerca ISO - 4161 - M6	5	0,31	1,55
ud	Tuerca ISO - 4161 - M8	4	0,365	1,46

Cambio de marchas				
Tornillería				
Uds	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
m	Varilla roscada M8	0,60	2,91	1,746
ud	Tornillo ISO 4762 M5 x 10	2	0,125	0,25
ud	Tornillo ISO 4018 - M8 x 25	3	0,72	2,16
ud	Tuerca ISO - 4035 - M5	2	0,047	0,094
ud	Tuerca ISO - 4034 - M8	11	0,26	2,86
ud	Tuerca ISO - 4161 - M8	1	0,365	0,365
ud	Arandela ISO 10673 - 9.3	3	0,31	0,93

Costes totales por componente (€)	
Volante (Cuerpo principal)	
Materiales	37,449
Fabricación	2701,349
<b>Total volante</b>	<b>2738,798</b>
Pedales	
Materiales	91,089
Fabricación	1444,333
<b>Total pedales</b>	<b>1535,422</b>
Cambio de marchas	
Materiales	4,63
Fabricación	2161,052
<b>Total cambio de marchas</b>	<b>2165,682</b>
Tornillería	
Volante	10,89
Pedales	3,832
Cambio de marchas	8,405
<b>Total tornillería</b>	<b>23,127</b>

<b>Volante - Coste del producto (€)</b>			
Coste total del volante			2738,798
Coste total de tornillería de volante			10,89
<b>Total</b>			<b>2749.688</b>
Gastos generales		12%	329.962
Beneficio Industrial		25%	687,422
Total			3767,072
IVA		21%	791,085
<b>Coste final</b>			<b>4558,16</b>

<b>Pedales - Coste del producto (€)</b>			
Coste total de los pedales			1535,422
Coste total de tornillería de pedales			3,832
<b>Total</b>			<b>1539,254</b>
Gastos generales		12%	184,710
Beneficio Industrial		25%	384,813
Total			2108,777
IVA		21%	442,843
<b>Coste final</b>			<b>2551,62</b>

<b>Cambio de marchas - Coste del producto (€)</b>			
Coste total del volante			2165,682
Coste total de tornillería de volante			8,405
<b>Total</b>			<b>2174,087</b>
Gastos generales		12%	260,890
Beneficio Industrial		25%	543,522
Total			2978,499
IVA		21%	625,484
<b>Coste final</b>			<b>3603,98</b>

Los precios se han obtenido de la manera mostrada puesto que, como se menciona en el objeto del proyecto, el kit se pondría a la venta de manera independiente un módulo de otro de manera que un usuario que ya disponga de componentes previos disponga de la opción de hacer uso de ellos.

Por otra parte, este producto se ofrecerá en masa, por lo que se propone los siguientes precios unitarios para su venta, despreciando las horas de ingeniería. Se calculará también la fabricación mínima de componentes para la recuperación total de la inversión inicial.

<b>Costes de producción por componente (€)</b>	
<b>Volante (Cuerpo principal)</b>	
Materiales	37,449
Fabricación	1,349
<b>Total volante</b>	<b>38,798</b>
<b>Pedales</b>	
Materiales	91,089
Fabricación	4,333
<b>Total pedales</b>	<b>95,422</b>
<b>Cambio de marchas</b>	
Materiales	4,63
Fabricación	1,052
<b>Total cambio de marchas</b>	<b>5,682</b>
<b>Tornillería</b>	
Volante	10,89
Pedales	3,832
Cambio de marchas	8,405
<b>Total tornillería</b>	<b>23,127</b>

<b>Volante - Coste total de producción del producto (€)</b>			
Coste total del volante			38,798
Coste total de tornillería de volante			10,89
<b>Total</b>			<b>49.688</b>
Gastos generales		12%	5,962
Beneficio Industrial Mínimo		25%	12,422
Total			68,072
IVA		21%	14.295
<b>Coste de producción</b>			<b>82,37</b>

<b>Pedales - Coste total de producción del producto (€)</b>			
Coste total de los pedales			95,422
Coste total de tornillería de pedales			3,832
<b>Total</b>			<b>99,254</b>
Gastos generales		12%	11,91
Beneficio Industrial Mínimo		25%	24,813
Total			135,977
IVA		21%	28,555
<b>Coste de producción</b>			<b>164,53</b>

<b>Cambio de marchas - Coste total de producción del producto (€)</b>			
Coste total del volante			5,682
Coste total de tornillería de volante			8,405
<b>Total</b>			<b>14,087</b>
Gastos generales		12%	1,69
Beneficio Industrial Mínimo		25%	3,521
Total			19,298
IVA		21%	4,052
<b>Coste de producción</b>			<b>23,35</b>

Obtenido su coste mínimo unitario, se proponen los siguientes precios de venta al público:

<b>Precios de venta recomendado al público (€)</b>	
Volante	120
Pedales	185
Cambio de marchas	60

En función del precio de venta recomendado, podemos hacer una previsión de la cantidad de productos deben venderse para recuperar la inversión inicial:

<b>Volante – Fabricación mínima</b>		
Coste final (€)		4558,16
Coste de producción (€)		82,37
<b>Diferencia (€)</b>		<b>4475,79</b>
Precio de venta (€)		120
Coste de producción (€)		82,37
<b>Diferencia (€)</b>		<b>37,63</b>
<b>Unidades mínimas que fabricar</b>		<b>119</b>

<b>Pedales – Fabricación mínima</b>		
Coste final (€)		2551,62
Coste de producción (€)		164,53
<b>Diferencia (€)</b>		<b>2387,09</b>
Precio de venta (€)		185
Coste de producción (€)		164,53
<b>Diferencia (€)</b>		<b>20,47</b>
<b>Unidades mínimas que fabricar</b>		<b>116</b>

<b>Cambio de marchas – Fabricación mínima</b>		
Coste final (€)		3603,98
Coste de producción		23,35
<b>Diferencia (€)</b>		<b>3580,63</b>
Precio de venta (€)		60
Coste de producción (€)		23,35
<b>Diferencia (€)</b>		<b>36,65</b>
<b>Unidades mínimas que fabricar</b>		<b>98</b>

Para terminar, como también se menciona en el objeto del proyecto, este se centra en la creación de una estructura, la cual está diseñada para soportar el hardware más comúnmente utilizado en proyectos de esta índole, como se ha planteado en este proyecto una selección concreta de componentes. A continuación, se muestra el presupuesto del producto con cada uno de los componentes extra necesarios, que podrían bien adquirirse por separado o el usuario final disponer ya de ellos. Los precios que se muestran incluyen el IVA, puesto que se adquieren como usuario final.

<b>Volante - Coste final al usuario (€)</b>	
Coste total del volante	120
Nema 24 24HS39-4204D	39,50
Controlador DM556T	34,35
Soporte universal en L Nema 24	3,41
Placa Arduino Leonardo	21,78
BTS7960	14,75
Encoder E6B2-CWZ1X 2000P/R	31,60
Conector D-Sub9 Hembra	1,56
Enchufe IEC Macho 2P 250V	4,16
Fuente de alimentación 24 a 48VCC y 10A	10,19
<b>Precio total</b>	<b>281,30</b>



<b>Pedales - Coste final al usuario (€)</b>	
Coste total de los pedales	185
Potenciómetro rotativo P160KN-0QC15A1MEG	0,91
Conector D-Sub9 Macho	1,56
<b>Precio total</b>	<b>187,47</b>

<b>Cambio de marchas - Coste final al usuario (€)</b>	
Coste total del cambio de marchas	60
Pack de Microswitch's	2,50
Placa Interfaz Arcade USB	11,80
<b>Precio total</b>	<b>74,30</b>

## 10. Bibliografía

### 10.1. Referencias directas con el proyecto

Canal EbozMagy. (13 marzo 2017). *Canal de YouTube dedicado al software para volantes DIY*. YouTube. [https://www.youtube.com/channel/UCe6N3hxeEd2DB\\_undoxalMQ/videos](https://www.youtube.com/channel/UCe6N3hxeEd2DB_undoxalMQ/videos)

Canal TR Works. (29 abril 2021). *DIY Simulator Steering Wheel Tutorial*. YouTube. [https://www.youtube.com/watch?v=Fp4gQ\\_euMsg&ab\\_channel=TRWorks](https://www.youtube.com/watch?v=Fp4gQ_euMsg&ab_channel=TRWorks)

Canal Amstudio. (16 febrero 2018). *How to make a 3Dprinted H Shifter for Sim Racing*. YouTube. [https://www.youtube.com/watch?v=YMD8e26s7VE&ab\\_channel=amstudio](https://www.youtube.com/watch?v=YMD8e26s7VE&ab_channel=amstudio)

Canal Granite Devices. (8 enero 2016). *Building the ultimate Force Feedback Racing Wheel*. YouTube. [https://www.youtube.com/watch?v=uj-jssZfcTk&ab\\_channel=GraniteDevices](https://www.youtube.com/watch?v=uj-jssZfcTk&ab_channel=GraniteDevices)

Canal Peacemaker Motion. (5 junio 2020). *450\$ Mige Direct Drive Force Feedback Wheel Build Tutorial – MMOS*. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=xSI4yb8zvy0>

Canal Mustafa Soydaş. (17 octubre 2020). *ARDUİNO VE ÇOK TURLU POTANSİYOMETRE İLE 900 DERECE DİREKSİYON SETİ YAPIMI - 900 steering Wheel*. YouTube. [https://www.youtube.com/watch?v=qQ3mtha6e1o&ab\\_channel=MustafaSoyda%C5%9F](https://www.youtube.com/watch?v=qQ3mtha6e1o&ab_channel=MustafaSoyda%C5%9F)

Canal ZHXF. (6 mayo 2018). *3D Print H-Shifter Upgrade Parts (Stick & to Sequential)*. YouTube. [https://www.youtube.com/watch?v=KPhFCfuWimg&ab\\_channel=zhxf](https://www.youtube.com/watch?v=KPhFCfuWimg&ab_channel=zhxf)

Canal OZHEGOV. (9 julio 2020). *DIY DD Direct Drive Wheel MMOSFFB*. YouTube. [https://www.youtube.com/watch?v=xXzNw81p3WY&ab\\_channel=OZHEGOV](https://www.youtube.com/watch?v=xXzNw81p3WY&ab_channel=OZHEGOV)

Canal Gigawipf. (15 marzo 2020). *Custom Force Feedback interfaces with Open FFBoard (DIY Direct Drive Wheel)*. YouTube. [https://www.youtube.com/watch?v=WKUdg9dCMyo&ab\\_channel=Gigawipf](https://www.youtube.com/watch?v=WKUdg9dCMyo&ab_channel=Gigawipf)

Canal Iron Cross. (5 octubre 2018). *Sim Racing Pedals and Steering Wheel DIY*. YouTube. [https://www.youtube.com/watch?v=GqGno2pnujA&ab\\_channel=IronCross](https://www.youtube.com/watch?v=GqGno2pnujA&ab_channel=IronCross)

Virtual Truck Company. (11 abril 2020). *Hacer volante en casa con Feedback Force con Arduino y 100% funcional y económico*. *Virtual Truck Company Mexicas Autotransportes*. <https://vtcmexicas.blogspot.com/2020/04/hacer-volante-en-casa-con-feedback.html>

Usuario Beano. (17 julio 2017). *DIY – [SimuCUBE] Firmware: progress and discusión*. *RacingFR*. <https://www.racingfr.net/wbb/index.php?thread/928-diy-simucube-firmware-progress-and-discussion/>

Usuario jenggot464. (14 enero 2017). *Tutorial Steering Wheel with Arduino Leonardo*. *Kaskus*. [https://www.kaskus.co.id/show\\_post/5879c1b9ded770e7728b456c/1326/tutorial-steering-wheel-with-arduino-leonardo](https://www.kaskus.co.id/show_post/5879c1b9ded770e7728b456c/1326/tutorial-steering-wheel-with-arduino-leonardo)

David T. (febrero 2016). *Wheel Torque*. *EdRacing.com*. <http://edracing.com/edr/Wheel-Torque.php>

EMC Developer. (s.f.). *Inicio* [Página de Facebook]. Facebook. Recuperado el 3 de mayo de 2021. <https://www.facebook.com/EMCDeveloper/>

Craig Hoffmann. (s.f.). Build Guide. *Stepper Sim Wheel* by Craig Hoffmann. <https://sites.google.com/site/steppersimwheel/build-guide>

## 10.2. Componentes

OMC Stepperonline. (s.f.). *Dual Shaft Nema 24 Stepper Motor 4.2A 4Nm 60x60x100mm 4 wires*. <https://www.omc-stepperonline.com/dual-shaft-nema-24-stepper-motor-4-2a-4nm-566-oz-in-60x60x100mm-4-wires-24hs39-4204d>

OMC Stepperonline. (s.f.). *Digital Stepper Driver 1.8-5.6A 20-50VDC for Nema 23, 24, 34 Stepper Motor*. <https://www.omc-stepperonline.com/digital-stepper-driver-1-8-5-6a-20-50vdc-for-nema-23-24-34-stepper-motor-dm556t>

Amazon.com. (s.f.). *Rodamientos K000 con soporte P000*. <https://www.amazon.es/Sourcingmap-a14120300ux0025-interior-inserci%C3%B3n-cojinete/dp/B019317F4K>

Aliexpress.com. (s.f.). *Rótula PHS8 de 8mm varilla de rosca M8x1.25*. <https://es.aliexpress.com/item/32947170907.html?>

Aliexpress.com. (s.f.). *Microswitch's SPDT 2A 125V interruptor de botón pulsador*. <https://es.aliexpress.com/item/4000317859738.html?>

123Rodamiento. (s.f.). *Rodamiento de bolas con referencia 688-2RS*. <https://www.123rodamiento.es/rodamiento-688-2RS>

123Rodamiento. (s.f.). *Rodamiento de bolas con referencia 625-2RS*. <https://www.123rodamiento.es/rodamientos-625-2RS>

RS Online. (s.f.). *Conector alimentación IEC Macho TE 250V 15A terminación de conexión rápida*. <https://es.rs-online.com/web/p/conectores-compactos-de-potencia/7820949>

Aliexpress.com. (s.f.). *Codificador rotativo E6B2 CWZ1X OMRON 2000 Pulse*. <https://es.aliexpress.com/item/1005001727507402.html?>

Laserboost.com. (s.f.). *Planchas metálicas por corte laser a medida*. <https://www.laserboost.com/es/create>

RS Online. (s.f.). *Filamento para impresora 3D FDM, ABS, 1.75mm 300g negro RS Pro*. <https://es.rs-online.com/web/p/materiales-para-impresion-3d/8320453?>

RS Online. (s.f.). *Varilla de Teflón Opaca 1m x 15mm*. <https://es.rs-online.com/web/p/varillas-de-plastico/0680634>

Rational Stock. (s.f.). *Muelle abierto de 1 metro de longitud, modelos FP24825 y FP24838*. <https://www.rationalstock.es/catalogo/producto/equipamiento/soportes-amortiguadores-y-muelles/>

## 10.3. Archivos CAD de Componentes

Joseph Zhang. (15 junio 2020). *24HS39-4204D Nema 24 100mm Dual Shaft* [Archivo CAD].  
<https://grabcad.com/library/24hs39-4204d-nema-24-100mm-dual-shaft-1>

Ijubko Bozic. (29 diciembre 2018). *Leadshine DM556 Stepping Driver* [Archivo CAD].  
<https://grabcad.com/library/leadshine-dm556-stepping-driver-1>

Eric Summer. (22 octubre 2018). *24VDC 13A Switching Power Supply* [Archivo CAD].  
<https://grabcad.com/library/24-vdc-13a-switching-power-supply-meanwell-1>

Hasanain Shuja. (17 julio 2017). *BTS7960 43A High Power H Bridge Module* [Archivo CAD].  
<https://grabcad.com/library/bts7960-43a-high-power-h-bridge-module-2>

Retrotinker. (26 mayo 2020). *Female D-Sub9 Connector with Solder Cups* [Archivo CAD].  
<https://grabcad.com/library/female-d-sub9-connector-with-solder-cups-1>

Elvis Mayk Chaves Barbosa. (19 septiembre 2015). *Plug AC Female (Power Plug)* [Archivo CAD].  
<https://grabcad.com/library/plug-ac-femea-power-plug-1>

J. Lang. (16 junio 2018). *Potenciometer* [Archivo CAD].  
<https://grabcad.com/library/potentiometer-14>

OMRON Industrial Automation. (24 septiembre 2006). *E6B2-CWZ1X Drawing* [Archivo CAD].  
[https://download.ia.omron.com/download/page/E6B2\\_CWZ1X/OEE](https://download.ia.omron.com/download/page/E6B2_CWZ1X/OEE)