

GRADO EN INGENIERIA EN
TECNOLOGÍA INDUSTRIAL

**TRABAJO FIN DE
GRADO**

***Desarrollo y fabricación (CAD+Impresión
3D) de la estructura de un sistema
cuadricóptero.***

Alumno: Peña Gutiérrez, Jon

Director: Eguraun Martinez, Harkaitz

Curso: 2017-2018

Fecha: 12 de Julio de 2018

Resumen

El objetivo principal de este proyecto consiste en el diseño y fabricación de una estructura de balanceo con forma de cuadricóptero para su posterior uso en docencia donde se configura todo el sistema electrónico de este. Para ello se trabajará con el programa de CAD Solid Edge para diseñar y analizar distintas alternativas y ver cual se ajusta mejor a los objetivos necesarios. Además será necesario modelizar la estructura basándose en los futuros componentes electrónicos a implementar por lo que debe existir contacto directo con el sector encargado de la sección de control para poder ajustarse a sus necesidades. Se realizará un análisis de las limitaciones del estudio y se añadirá un presupuesto para conocer los costes del proyecto para, finalmente, concluir creando el archivo .stl del documento para su posterior envío a impresión.

Palabras clave: *diseño, fabricación, cuadricóptero, impresión 3D, limitaciones, .par, .stl.*

Abstract

The main goal of this project is to design the structure of a new stability control system which will allow us to perform all the necessary tests of a drone flight system in a cheaper and safer way. To do so, CAD program Solid Edge will be used to compare and contrast the different alternatives and decide which one is better to solve the problem. Furthermore, there must be a direct contact with the control section to select and study the electronic devices that are going to be used in the structure. Additionally, subsequent analysis about production cost and limitations of the study will be done. Finally, most highlighted conclusions about this project will be pointed out.

Keywords: *design, fabrication, quadcopter, 3D print, limitations, .par, .stl.*

Laburpena

Proiektu honetan kuadrikoptero modelu baten diseinua eta fabrikazioa azaltzen da. Horretarako, erabiliko diren elementu elektroikoen analisia beharrezkoa izango da; eta , horrekin, proiektua osatzeko behar den diseinu egokiena aztertuko dugu. Ondoren, Solid Edge softwerrarekin, egitura osatzen duten pieza guztiak sortuko dira proiektuaren amaieran hauek imprimatzeko. Gero, ekoizpen-kostuetako eta egitura limitazioen analisiak egingo dira. Azkenik, proiektuaren ideia nabariak seinalatuko dira.

Hitz gakoak: *diseinua, fabrikazioa, kuadrikopteroa, 3D imprimaketa, limitazioak, .par, .stl.*

ÍNDICE

1. Introducción	pág 7
2. Antecedentes.....	pág 8
3. Beneficios que aporta el trabajo.....	pág 11
4. Objetivos y alcance	pág 12
5. Estado del Arte.....	pág 13
6. Selección de la Solución.....	pág 15
7. Desarrollo técnico.....	pág 17
7.1 Condiciones de diseño.....	pág 17
7.2 Metodología	pág 18
7.3 Análisis de esfuerzos.....	pág 27
7.4 Fabricación.....	pág 29
7.5 Montaje del sistema.....	pág 34
7.6 Planos constructivos	pág 38
8. Limitaciones del diseño.....	pág 39
9. Planificación del trabajo	pág 40
10. Presupuesto	pág 43
11. Conclusiones	pág 44
12. Trabajos futuros.....	pág 45
13. Fuentes de información	pág 46

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLA

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Imagen cuadricóptero comercial.....	pág 8
Figura 2. Representación movimiento de cuadricóptero	pág 9
Figura 3. Fotografía sistema de balanceo de partida.....	pág 10
Figura 4. Foto de balancín predecesor	pág 11
Figura 5. Modelos de las alternativas para el diseño del cuadricóptero.....	pág 13
Figura 6. Sistema doble balancín.....	pág 14
Figura 7. Elementos molestos de balancín que conviene quitar.....	pág 15
Figura 8. Modelo primitivo del balancín definitivo.....	pág 16
Figura 9. Vistas de cuadricóptero definitivo a cambiar.....	pág 20
Figura 10. Configuraciones del motor.....	pág 20
Figura 11. Vaciados de los motores y drivers.....	pág 21
Figura 12. Canales para cables de drivers y motores.....	pág 21
Figura 13. Vistas del vaciado de la rótula.....	pág 22
Figura 14. Cuadricóptero completo.....	pág 22
Figura 15. Forma contorno de la mitad de la base.....	pág 23
Figura 16. Vaciado de la base.....	pág 24
Figura 17. Agujero y enganches para soporte de CPU en la base.....	pág 25
Figura 18. Soporte CPU.....	pág 26
Figura 19. Montaje completo.....	pág 26
Figura 20. Imagen del análisis de resistencia Solid Edge.....	pág 27
Figura 21. Orientación horizontal del driver.....	pág 28
Figura 22. Orientación vertical del driver.....	pág 29
Figura 23. Ficha de datos de impresora 3D.....	pág 30
Figura 24. Medidas máximas de impresión del soporte CPU.....	pág 31
Figura 25. Medidas máximas de la mitad de la base.....	pág 31
Figura 26. Medidas del eje a imprimir.....	pág 32
Figura 27. Pieza grande cuadricóptero a imprimir.....	pág 33
Figura 28. Medidas máximas de impresión de pieza cuadricóptero grande..	pág 33
Figura 29. Imagen realista del modelo de la estructura.....	pág 34
Figura 30. Primer paso del montaje de la estructura.....	pág 35
Figura 31. Hueco para IMU.....	pág 37
Figura 32. Base sin agujero con capa metálica.....	pág 37
Figura 33. Cierre de la base con goma superior.....	pág 38

ÍNDICE DE TABLAS

Tablas de presupuesto.....	pág 47
----------------------------	--------

1. INTRODUCCIÓN

Este documento describe y estudia el diseño y la fabricación de una estructura de doble balancín con forma de cuadricóptero cuyo principal objetivo es simular el vuelo de un dron permitiendo un análisis más sencillo de este. A pesar de que en este proyecto sólo se trabaja el diseño y la fabricación del sistema, posteriormente servirá de base para un proyecto de automática en el que se instalarán y configurarán componentes electrónicos que permiten su movimiento.

A lo largo del proyecto, se definirán los pasos seguidos para la obtención del producto necesario, que van desde el estudio del diseño con Solid Edge con sus respectivas alternativas hasta su fabricación y testeo. En este camino también se analizan las variaciones que sufre el modelo inicial para poder albergar todos los componentes electrónicos que son necesarios para su funcionamiento, por lo que el trabajo con dichos componentes también será esencial ya que impone un gran número de limitaciones.

Además, se realiza un estudio de las inercias del sistema y se obtienen la distribución de las masas del sistema para facilitar el estudio del futuro trabajo de control.

Así mismo se añade una planificación del trabajo a realizar y se establece claramente la relación entre las diferentes tareas. A grandes rasgos, se dividirá en cuatro etapas: estudio de las alternativas, diseño, fabricación y testeo.

Se incluye también el presupuesto correspondiente al trabajo realizado; donde se verá reflejada la necesidad del software de CAD y el uso de la impresora 3D.

Se concluirá el documento remarcando aquellas ideas principales que cabe destacar y mencionando las fuentes de información, ya sean libros de texto o páginas de internet, que han sido utilizadas para la recogida de información.

2. ANTECEDENTES

El uso de los drones ya ha pasado a ser prácticamente parte del día a día y ha provocado una serie de cambios en la sociedad. Por un lado, aunque originalmente fueron creados como alternativa a los helicópteros debido a su capacidad de mantenerse estáticos en el aire, su fácil manejo y su módico precio ha hecho que la gente comience a usarlos por ocio. Este aumento ha hecho que incluso los gobiernos promulguen leyes para favorecer su uso de una manera controlada. Sin embargo, los drones cada vez juegan papeles más importantes en la sociedad y se pretende que incluso sean capaces de transportar heridos desde zonas de difícil acceso a hospitales. Es por eso que se está haciendo mucho hincapié en la fiabilidad de sus sistemas de vuelo, y nuevos métodos seguros y baratos para el estudio de estos sería algo muy necesario.



Figura 1: Ejemplo cuadricóptero comercial

Los cuadricópteros poseen características de vuelo únicas que, entre otras muchas cualidades, permiten que el sistema se mantenga estático en el aire a una altura deseada (al contrario que los aviones, que deben avanzar horizontalmente, o los helicópteros, que giran sobre si mismos). Estas características se deben a la configuración de sus motores, que básicamente consiste en que las hélices de un mismo eje giran en un sentido mientras que las del otro lo hacen en el sentido contrario (Figura 2). Así se busca una anulación de fuerzas entre las fuerzas ascendentes y la suma de las descendentes y el peso, haciendo que la resultante sea nula, pudiendo conseguir que el sistema se mantenga a una altura deseada. Mediante este sencillo sistema también se consigue que el cuadricóptero ascienda o descienda variando el par motor de los motores de alguno de los dos ejes, que se refleja en la figura 2 central con unas flechas más gruesas en los motores que aumentan el par. También cambiando la fuerza de las hélices de un único motor podemos realizar el giro del sistema en la dirección deseada (Figura 2 derecha).

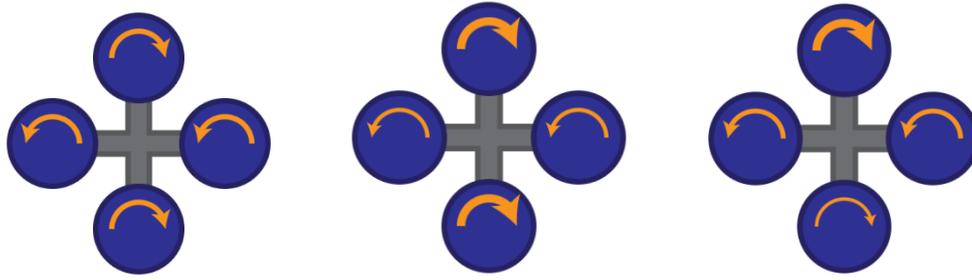


Figura 2: representación movimiento de cuadricóptero (izquierda equilibrio, centro variación de altura y derecha giro de la estructura)

A excepción de los componentes electrónicos, todo el cuerpo de los cuadricópteros se fabrica de un mismo material que puede ser fibra de carbono o plástico conformado con impresión 3D. Como una estructura de balanceo no va a recibir un gran número de impactos, se recomienda utilizar la impresión 3D para la realización del modelo ya que, además de ser más económica, permite la fabricación de una mayor cantidad de formas ideadas. Todas estas formas para el modelo se analizan con el software de CAD Solid Edge que, además de permitir la realización de cualquier tipo de diseño, pueden enviarse los archivos a impresión en formato .stl .

Antes de la realización de este proyecto, se disponía de un balancín de un grado de libertad que realizaba su movimiento gracias a dos motores en los dos extremos de la estructura. Sin embargo, esta estructura poseía algunos inconvenientes. En primer lugar el movimiento que permitía era un desplazamiento bastante simple cuyo control no proporcionaba grandes beneficios aparentes. Por otro lado, su diseño dejaba a la vista todo el cableado y las conexiones que, junto con una posición inconveniente de la batería, hacían que necesitase una mejora. Además de eso, la mayoría de elementos electrónicos se encontraban pegados a la estructura de tal forma que cualquier fallo en alguno de estos supondría un problema para recambiarlo.



Figura 3: Fotografía sistema de balanceo de partida

Para el estudio del sistema de control de los cuadricópteros se busca una estructura resistente y a la vez ligera que permita un fácil manejo y transporte. Además, para que pueda usarse en cualquier tipo de recinto cerrado o laboratorio deberá estar fija al suelo para que no despegue y que en caso de fallo no sufra impactos, por lo que a la hora de realizar este trabajo se deben analizar y tener en cuenta un gran número de aspectos que limitan considerablemente las características de este.

3. BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO

Una estructura de balanceo que permita un óptimo y seguro estudio del movimiento es algo muy necesario hoy en día; y más, viendo el enorme aumento de la demanda de productos con forma de cuadricóptero y con vuelo controlado [1].

Mediante este trabajo se solucionan los inconvenientes que existían hasta el momento. Por un lado se obtendrá una estructura que permitirá el estudio de un movimiento más completo y útil que en el caso anterior. Además, se diseñará de tal forma que cualquiera de los componentes pueda ser reemplazado con facilidad y sin hacer que sea necesaria una nueva impresión de la parte de la pieza en cuestión. A pesar de que este proyecto solo trabaje un modelo de cuadricóptero, pueden obtenerse distintos diseños para estudiar diferentes movimientos basándose en los pasos seguidos en este proyecto y que serán explicados a lo largo del trabajo. Este trabajo también será el impulsor de otro gran número de trabajos futuros por lo que debe ser preciso y disponer del mayor número de facilidades para los siguientes usuarios, mejorando así uno de los inconvenientes que se ha tenido para el estudio del predecesor de este ya que carecía de la información necesaria de muchos de sus aspectos.

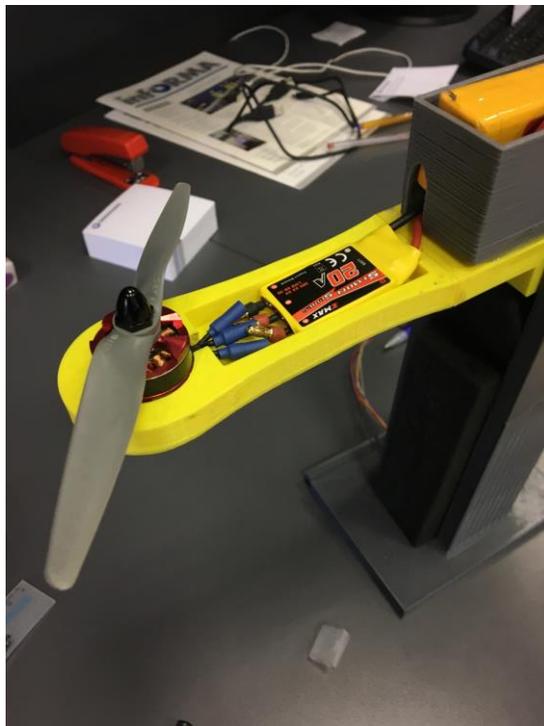


Figura 4: Foto de balancín predecesor que muestra la imposibilidad de extraer el driver de la estructura

4. OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo principal de este proyecto es el diseño y la fabricación de una estructura de doble balancín que permita simular el movimiento de un cuadricóptero. Además, esta estructura deberá satisfacer una serie de restricciones impuestas tanto por los futuros dispositivos electrónicos a implementar como por las condiciones de impresión y trabajo, ya sea tamaño o materiales de impresión.

Además, debido al futuro uso del dispositivo hay que conseguir que el sistema permita un mantenimiento de todos sus componentes y partes para así en caso de fallo o desgaste de alguno de estos, poder reemplazarlo ya sea imprimiendo la pieza o comprando el elemento electrónico en cuestión.

El resto de objetivos secundarios son:

- Estudio de las distintas alternativas para cumplir con el objetivo de fabricar un balancín que cumpla los requisitos.
- Estudiar y definir los pesos e inercias del modelo para un futuro dimensionamiento apropiado.
- Análisis geométrico de los componentes electrónicos a implementar.
- Favorecer el movimiento del sistema que servirá para el futuro proyecto de automática y control para el que está destinado.
- Estudio de las limitaciones de la estructura.
- Dimensionamiento y construcción de la estructura con el software Solid Edge.
- Documentar construcción de la estructura por piezas para facilitar su futuro uso.
- Impresión de la estructura de doble balancín y futuro testeo de esta.

5. ESTADO DEL ARTE.

En este apartado se estudian las distintas ideas o formas que han sido contempladas para solucionar la necesidad de diseñar y fabricar una estructura balancín que simula un cuadricóptero. Primero se plantearán todas las soluciones ideadas y posteriormente se explica cuáles han sido descartadas y porqué, buscando que la idea definitiva se ajuste lo mejor posible a los objetivos del trabajo.

Al comenzar el trabajo se presenta la situación de que la estructura final estará formada por una base fija y un cuerpo con forma de cuadricóptero, por lo que el primer caso a estudiar sería el modo de unión entre estos.

Las dos alternativas que se plantean son las siguientes. Realizar la unión mediante una rótula esférica que permita un mayor número de grados de libertad pero que limitaremos con la programación de motores o realizar la unión dándole forma de una estructura doble balancín que nos aporte únicamente los grados de libertad requeridos.

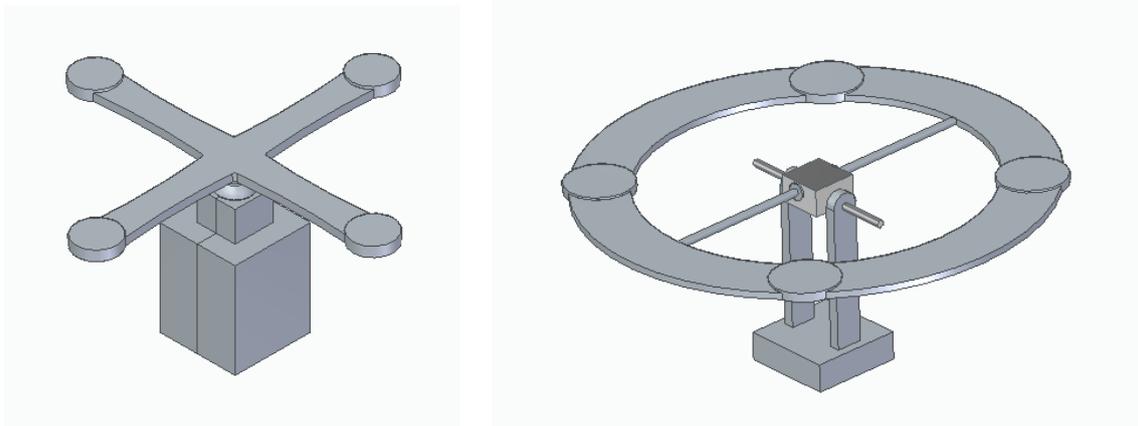


Figura 5: Modelos de las posibles alternativas para el diseño del cuadricóptero.

La estructura de la rótula (Figura 5 izquierda) es la que supone una fabricación y un diseño mucho más sencillo. A pesar de que la forma completa sea, aparentemente, la más sencilla y simple de las dos, se trata de una estructura cinéticamente muy apropiada para el trabajo y que, al necesitar una base tan gruesa, podría ocultar elementos electrónicos en su interior como por ejemplo baterías, por lo que visualmente también puede resultar atractivo. Además, al tratarse de una estructura gruesa, no habría problemas de impresión (ya que no tenemos detalles muy pequeños) y todas las partes tendrían la resistencia suficiente como para aguantar el trabajo y las cargas a las que será sometida. El principal inconveniente de este modo de unión es la programación de los motores y del sistema de control ya que, al disponer de un mayor número

de grados de libertad y reacciones variables en el contacto con la rótula, puede llegarse a una pérdida de la estabilidad o una falta en el control del sistema.

La estructura de doble balancín supone un concepto más novedoso ya que nos aporta únicamente los movimientos necesarios para este trabajo, haciendo que el futuro proyecto de control resulte más sencillo. Además, es una forma más trabajada de resolver el problema de la unión al tratarse de un montaje mucho más pensado y complejo que la rótula ya que nos permite un giro en el “eje x” para avanzar con el dron y otro giro en el “eje y” que lo mueve a derecha e izquierda, exactamente los movimientos de un cuadricóptero. Así, mediante una simple inclinación en el eje deseado, puede controlarse el movimiento del sistema completo. También ejerciendo el mismo par motor en todos los motores a la vez podría hacer que ascendiese o descendiese al igual que en la Figura 2 izquierda.

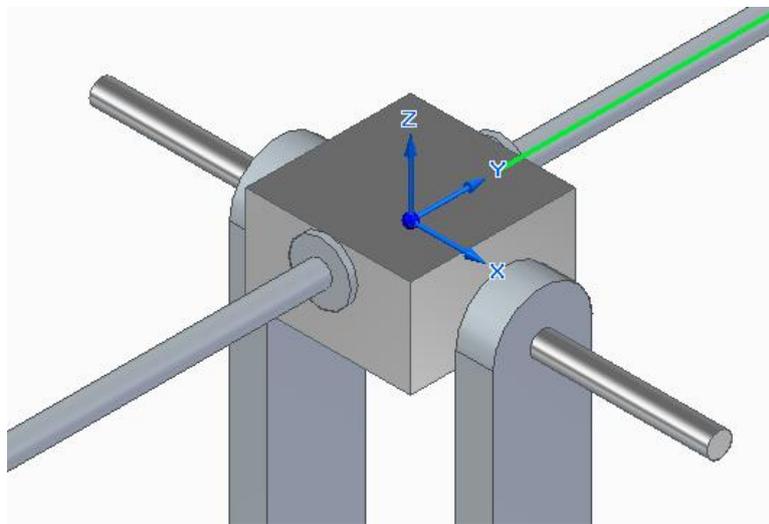


Figura 6: Sistema doble balancín

A pesar de que esta segunda idea resulte más novedosa se encuentran una gran cantidad de inconvenientes que tienen un gran peso en este trabajo. El primer inconveniente se trata de la falta de espacio para albergar todos los componentes electrónicos. Si únicamente se tratase de obtener el sistema que permitiese el movimiento deseado no habría ningún problema; sin embargo, al necesitar de una serie de elementos para funcionar, también necesitaríamos el espacio suficiente y al tratarse de una estructura tan fina sería muy difícil instalar todos los elementos como cables baterías, drivers, etc. Además, la impresión de los elementos de esta forma de construcción necesitaría de más precisión y, a pesar de que la impresora nos aportase resultados bastante precisos, la forma final no sería lo suficiente resistente como para poder albergar y trabajar con todos esos componentes en movimiento.

6. SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN.

A pesar de que cinemáticamente la estructura de doble balancín resulte más novedosa, nos encontramos un número considerable de limitaciones que no permiten que pueda utilizarse para satisfacer los objetivos de este trabajo en concreto. Es por eso que se decide que la mejor idea para realizar esta unión será la de la rótula.

Para ello se realizará la forma del cuadricóptero (forma de cruz) con la rótula integrada en su parte inferior y se unirá con una base formada por dos partes (dos mitades), teniendo así un conjunto formado por el cuerpo con la forma deseada (cuadricópteros de distintos tipos), que será del que realizaremos el estudio, y otras dos piezas que forman la base o soporte del conjunto. Esto permitirá que el montaje del conjunto sea sencillo y no conste de una única pieza, lo cual sería un problema si algún componente fallara o alguna parte se desgastase ya que supondría el recambio completo de la estructura. Además, al realizar una base en dos partes, podemos incluir componentes electrónicos en el interior de esta, haciendo que la estructura en forma de cruz con rótula no tenga que soportar los elevados pesos de las baterías por ejemplo y el resultado del trabajo final quede mucho más cuidado al no mostrar gran parte de la electrónica.

En la imagen siguiente (Figura 7) se muestra el balancín de un único grado de libertad con elementos como la batería o cables sobre la parte en movimiento. Este diseño poco atractivo y con grandes inercias queda notablemente mejorado si todo el conjunto de baterías y cables no estuviese a la vista.



Figura 7: elementos molestos en balancín que conviene evitar

También se añade otra ilustración (ilustración 10) del modelo en el que se puede apreciar la base hueca y que será la idea principal a la que se deberán realizar los ajustes necesarios para poder albergar todos los elementos electrónicos utilizados para su óptimo funcionamiento.

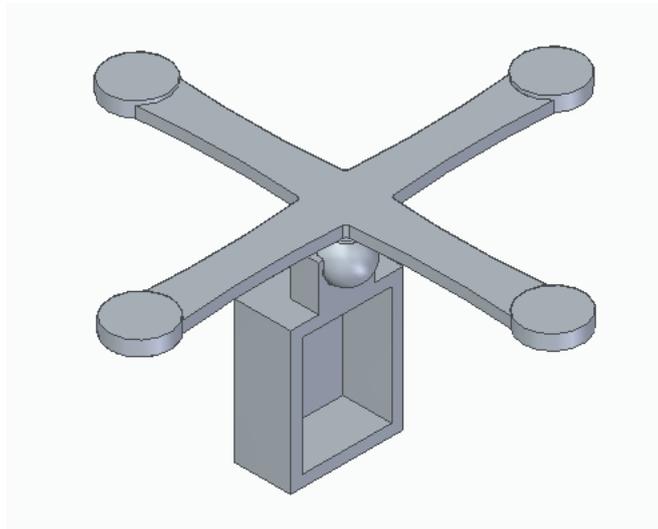


Figura 8: Modelo primitivo de estructura definitiva

Cabe destacar que la forma de cruz o cuadricóptero superior no tiene porqué ser una única, ya que el fin de este dispositivo es estudiar la estabilidad y el control de los distintos modelos de cuadricópteros. Sin embargo, debido a las limitaciones de este proyecto sólo se estudiará una forma genérica debido a sus costes de impresión y diseño, pero la obtención de otros modelos podrá realizarse teniendo en cuenta las mismas consideraciones y limitaciones que tendremos en este, y bastará con aplicarlas al nuevo diseño para posteriormente enviarlo a impresión 3D.

7.DESARROLLO TÉCNICO.

7.1.- Condiciones de diseño.

El producto final será una estructura de un sistema de balancín formado por una base que se une a un cuerpo mediante una rótula. Este cuerpo tendrá forma de cuadricóptero ya que el objetivo fundamental de este modelo será la reproducción del vuelo de estos. Estará formado por 3 partes principales: el modelo del cuadricóptero, la base y los elementos electrónicos; que a pesar de que no se implanten en este trabajo, serán parte importante de la estructura final.

El **modelo del cuadricóptero** es la parte más importante. Deberá tener la forma más precisa posible para obtener unos resultados que se amolden a la realidad y además dispondrá de una rótula en su parte inferior que le permite tener un punto fijo con respecto a la base. Así podrá estudiarse la estabilidad del vuelo sin que el cuerpo “despegue” de la zona de estudio. El tamaño de la estructura vendrá definido por los cálculos realizados de inercias y pesos de los elementos a añadir, y su forma, además de simular el cuadricóptero, deberá tener unas aberturas y canales para poder implementar los dispositivos electrónicos y sus cables.

La **base** será el elemento que sirva de sujeción al modelo del cuadricóptero. Deberá poseer una abertura en la parte superior que permita el encaje de la rótula y tiene que tener el peso suficiente como para mantener a la estructura en funcionamiento en el suelo. Para ahorrar material de impresión y darle un uso extra, se decide que la base sea hueca ya que así podremos implementar en su interior parte del sistema electrónico, haciendo que el producto final tenga un aspecto mucho más cuidado y ahorrando pesos innecesarios en las alas de la estructura. Al ser hueco, no dispondrá del peso suficiente como para soportar la fuerza de elevación que producirán las hélices del cuadricóptero; sin embargo, este problema junto con otros muchos se analizan en el apartado 7.5. Montaje del sistema (pág 34) con sus respectivas soluciones.

Los **elementos electrónicos** son los que junto a la base y el cuerpo con forma de cuadricóptero forman la estructura completa de este trabajo. A pesar de que su implantación e instalación no pertenece al alcance de este proyecto, se deben analizar tanto geométricamente como funcionalmente para saber qué variaciones deben realizarse en los modelos para que estos puedan albergarlos, y es que necesitamos saber que elementos están conectados entre sí y cómo es su conexión para así realizar un diseño de la estructura lo más óptima y adecuada posible. Principalmente de encargarán de aportan las fuerzas necesarias para el movimiento y

a la vez analizar sus variaciones para obtener la posición deseada. Estos elementos se enumeran en la lista siguiente.

- 4 Motores sin escobillas (KINGKONG/LDARC 2205 2300KV 2-4s CW/CCW Brushless Motor) con sus respectivas hélices de radio 8 cm.
- 4 Reguladores de velocidad de los motores (Drivers) (Emax Simonk Series 12A 20A 25A 30A 40A ESC)
- Sensor IMU (Inertial Measurement Unit)
- 2 baterías, una para cada dos motores.
- Raspberry (1.2 GHz Quad-core ARM Cortex-A53, 1GB RAM, USB 2.0)

El funcionamiento general de estos elementos será el siguiente. Por un lado los motores hacen girar las hélices a una velocidad. La IMU envía la posición de la estructura a la raspberry y si esta no coincide con la deseada, se envía una orden a los variadores de velocidad que hacen que los motores varíen su velocidad haciendo que se cambie a la posición deseada. Se trata de un lazo que se repite constantemente, ya sea para mantener una posición fija o para simular un movimiento deseado.

Sin embargo, como se dice anteriormente, el trabajo del control no forma parte de este proyecto por lo que únicamente se utilizan los conocimientos sobre su instalación y funcionamiento para adaptar el diseño de la estructura a estos componentes.

7.2.-Metodología

El diseño de todas las piezas que formarán la estructura se realizará con Solid Edge, el cual nos proporcionará los archivos en formato .par. Una vez diseñadas todas estas, se debe realizar un ensamblaje de ellas con este mismo programa para comprobar que todas encajan entre sí con los ajustes deseados (obteniéndose un archivo .asm del montaje) dando así el visto bueno al diseño de los archivos en .par. Sin embargo, como las piezas no podrán imprimirse en su plenitud debido a las dimensiones de la impresora, se deben modificar los archivos .par realizando diferentes cortes para obtener partes de las piezas que sí puedan imprimirse. Una vez dimensionadas de nuevo las partes de las piezas a imprimir, se convierten los archivos .par a archivos .stl para enviarlos a impresión y proceder con su fabricación.

Al igual que en el apartado anterior, se divide la estructura completa en distintas partes para proceder con un mejor análisis de estas por separado. Serían las siguientes:

- Modelo cuadricóptero.
- Base.
- Extras.

(se observa, como se ha dicho anteriormente, que a pesar de que se consideren para el diseño los elementos electrónicos no forman parte la estructura ya que su instalación se realiza en un proyecto posterior.)

Cabe recalcar que todas las partes de la estructura serán creadas por fabricación aditiva y serán de ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), material de gran resistencia al impacto y muy utilizado en automoción. La fabricación aditiva es un nuevo concepto de producción a través del cual el material (plástico o metal) es depositado capa a capa de manera controlada allí donde es necesario. Con esta técnica, que comúnmente se conoce como impresión 3d, se pueden producir las piezas necesarias para el trabajo con gran facilidad.

Comparada con las técnicas de fabricación tradicionales, esta tecnología reduce procesos intermedios como la producción de utillajes, por lo que permite obtener piezas hasta un 90% más rápido. Es más, al utilizar únicamente el material para la fabricación de la pieza no se generan deshechos, los componentes tienen un coste menor y se produce de manera más sostenible. El resto de los detalles de la impresión y la fabricación se detallarán en el apartado 7.4. Fabricación (pág 29).

Modelo de cuadricóptero

Tras realizar el análisis de las alternativas se concluye que la mejor idea para el cuerpo es la forma de cuadricóptero con una rótula en su base que permite el movimiento relativo entre esta y la base. Se parte de la siguiente estructura a la que se irán realizando los cambios necesarios para satisfacer todas las condiciones impuestas.

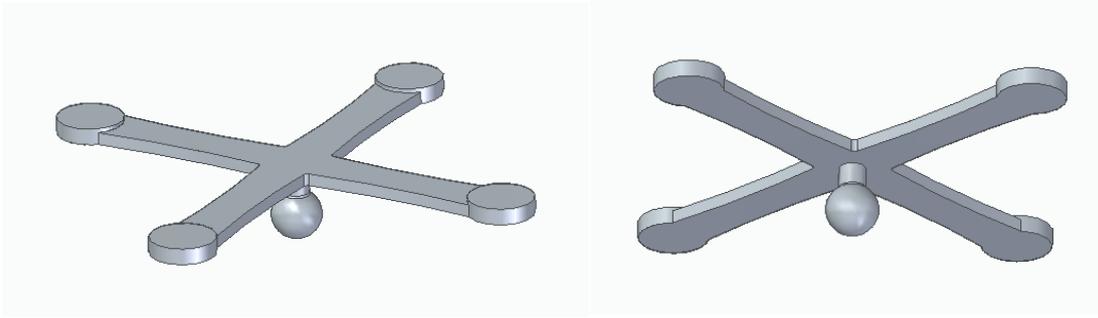


Figura 9: Vistas cuadricóptero primitivo a cambiar

El primero de los cambios realizados es un vaciado cilíndrico en los extremos de los ejes del cuadricóptero para que puedan albergar los motores. Es cierto que podrían situarse sobre las superficies del primer modelo de la imagen, pero introducir parte de los motores en la estructura permite un mejor ajuste de estos y favorece inercialmente al conjunto. Al realizar el vaciado quedará una corona circular que rodea el hueco para los motores; sobre esta, se hace un corte rectangular que permite el paso de los cables hacia el motor, que tiene la siguiente forma y configuración de cables.



Figura 10: Configuración del motor

A continuación, se procede con otro vaciado rectangular que sirve para albergar el driver del motor. Este, al igual que con el motor, sirve para amoldar el elemento electrónico a la estructura permitiendo una mejor distribución de pesos y así no tener cuerpos salientes que hacen que parezca un modelo menos trabajado. Los laterales en ese vaciado desaparecen por lo que el regulador de velocidad no irá ajustado en ese hueco, sino que se unirá a la estructura mediante velcro, permitiendo un reemplazo más cómodo. A pesar de que lo ideal es que los pesos se sitúen lo más pegados al eje central de la estructura para que produzcan el menos momento flector posible, se sitúan en los extremos y pegados a los motores ya que la estructura será lo suficientemente resistente como para aguantar los esfuerzos y para transmitir una señal lo más “limpia” posible al motor. Además, se pondrán en horizontal ya que a pesar de que pueda parecer que en vertical sean mejores inercialmente, en los futuros movimientos de este modelo

la posición horizontal es la que hace necesaria la utilización de un par menor (demostración en apartado 7.3. Análisis de esfuerzos). Tras estos primeros cambios, los exteriores de los ejes quedan con la siguiente forma:

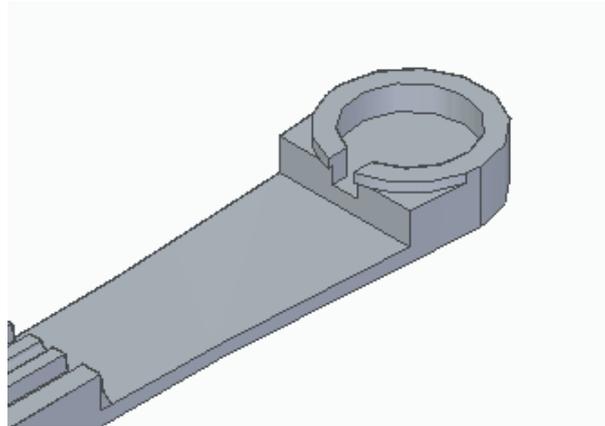


Figura 11: Vaciados para motores y drivers.

En la zona restante de los ejes se crean una serie de canales que permiten el paso de los cables que conectan las baterías y la CPU con el regulador de velocidad. Habrá dos canales más gruesos en los exteriores que llevarán la corriente de la batería mientras que el tercer canal central será más fino y permitirá el envío de las señales de la CPU al variador de velocidad. El grueso de los canales se calcula y ajusta para introducir sus respectivos cables de forma ajustada para que no se salgan cuando la estructura esté en movimiento. Tendremos por tanto la siguiente forma.

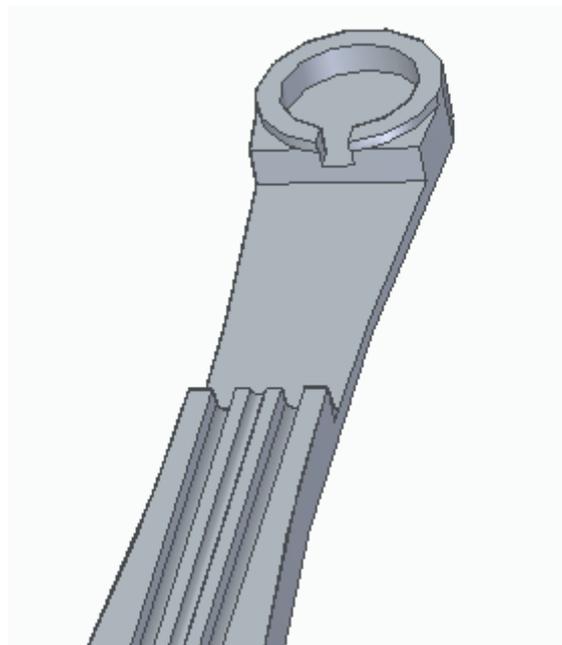


Figura 12: Canales para cables de drivers y motores.

Tras estos cambios se pasa al trabajo de la zona central de la estructura. Como las baterías estarán en la base se realiza un vaciado cilíndrico que va desde la superficie superior del modelo del cuadricóptero hasta la base de la rótula para así permitir el paso de los cables desde las baterías y CPU hasta la zona de canalización de cables. Además, se realiza un segundo vaciado superficial con forma de doble elipse que permite que los cables no tengan un doblado muy brusco al pasar del agujero de la rótula a los canales.

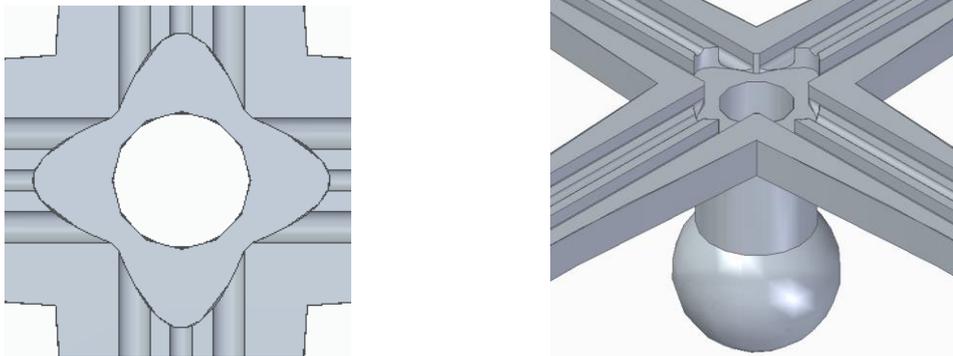


Figura 13: vistas del vaciado de la rótula para el paso de cables a base.

Se adjunta una ilustración del modelo de cuadricóptero completo.

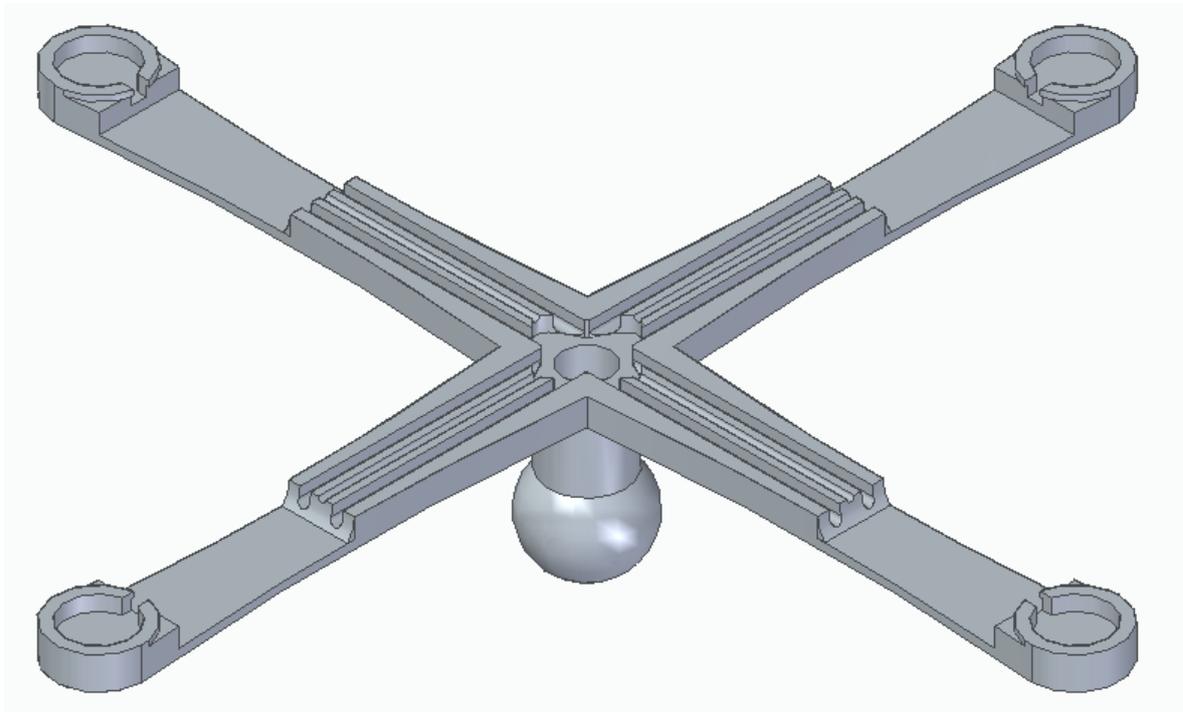


Figura 14: Cuadricóptero completo.

Base

Para la realización de la base se parte de que debe ser una estructura consistente que sirva de unión entre un elemento fijo como el suelo o una mesa y el modelo de cuadricóptero. Para ello se opta por una base prismática que posea una gran envergadura, ya que se van a introducir dentro de esta las baterías y los cables de estas para así obtener un diseño atractivo y que no tenga elementos colgantes. Además, como uno de los objetivos principales del proyecto es que la estructura sea fácil de reparar y cambiar sus componentes, se opta por hacer la base en dos mitades para poder acceder a los elementos de su interior cuando sea necesario.

Al igual que en el anterior, apartado se procede a analizar los pasos y cambios seguidos hasta la obtención de la forma resultante.

Se parte de una base prismática que posee unas dimensiones mayores en la base para así favorecer la estabilidad y el equilibrio del conjunto. En esta, se realiza un vaciado esférico que servirá para albergar la rótula del modelo de cuadricóptero y que permita el movimiento relativo entre ambos. Además se disminuye el grosor de la parte superior de la base para así obtener una forma más ligera y que permite que no haya choques entre el modelo de cuadricóptero y la base cuando exista el movimiento relativo entre ambos. Cada una de las dos partes tendrían la siguiente forma;

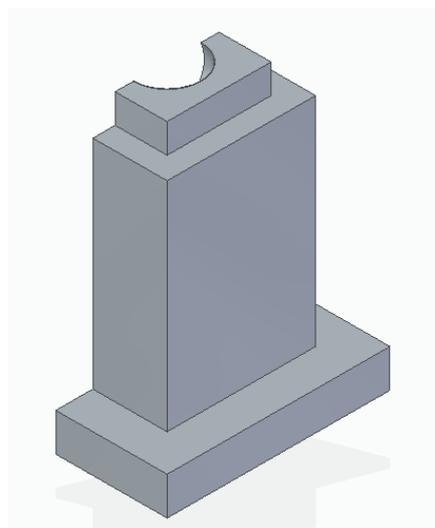


Figura 15: forma contorno de la mitad de la base

Una vez se tiene la base con la forma principal deseada se realizan los siguientes cambios para llegar al resultado final.

Por un lado se realiza un vaciado interior en la zona central de la base que servirá para albergar las baterías y los cables necesarios. Para ello se miden las baterías y el grosor total de los cables y se deja cierto margen de seguridad ya que no hay problema con que las baterías puedan moverse un poco porque la base estará fija en algún objeto y eso no pasará. También se realiza otro vaciado en la zona inferior y más ancha de la base que servirá para introducir algún elemento metálico pesado que aporte una mayor fijación a la base y haga que el vuelco resulte más difícil. Se obtendría la siguiente forma.

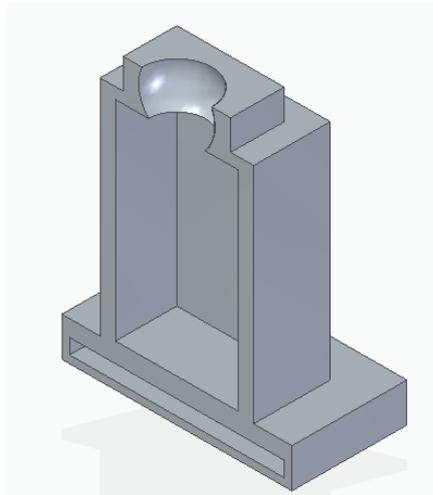


Figura 16: Vaciados en la base.

Para finalizar con el diseño de la base, se trabaja con ambas mitades por separado a partir de este punto.

A la primera de las mitades se le realiza un pequeño agujero pasante en la pared exterior para que todos los cables de la CPU puedan llegar hasta las baterías y subir por la rótula a los reguladores de velocidad. A esa mitad también se le realizan unos semicírculos salientes que servirán de enganche con la base de la CPU, ya que, aunque la CPU necesite una fuente de energía externa, lo idóneo será tenerla siempre con la estructura, y una base que permita su fijación servirá para facilitar el trabajo y su transporte. Además son necesarios unos extremos salientes que puedan introducirse en la otra mitad de la base para que estas queden fijadas

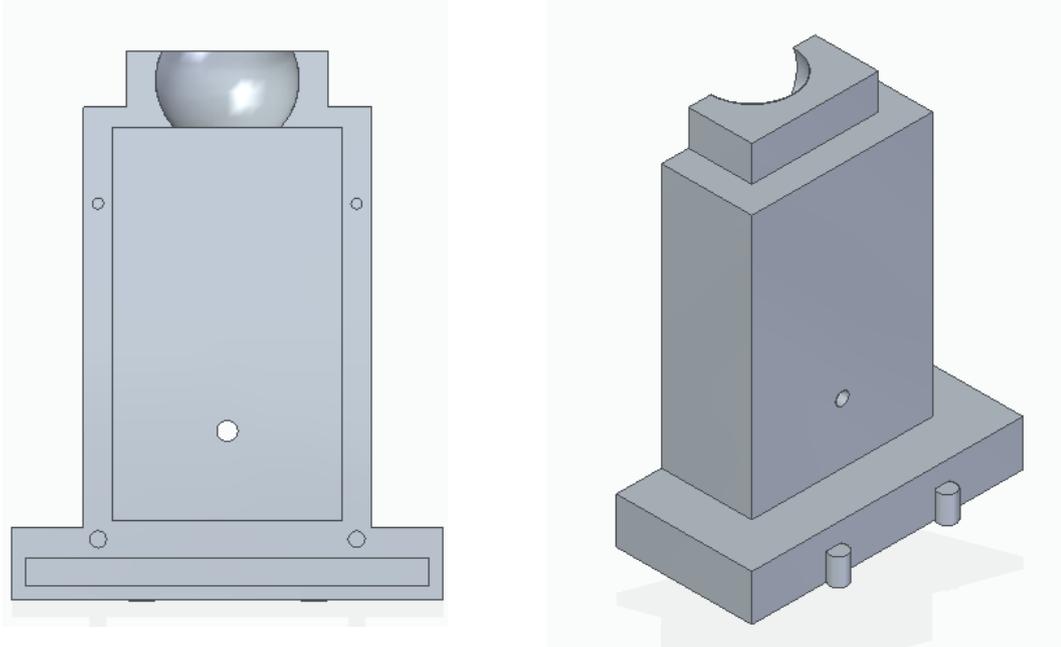


Figura 17: Imagen base con agujero y enganches para soporte de CPU (derecha)

La otra de las mitades no recibirá ningún cambio de este estilo ya que solo disponemos de una CPU y una entrada de cables.

Para finalizar con el diseño de las bases se realizan unos cilindros salientes en la cara “cortada” de una de las mitades mientras que en la otra unos vaciados de aproximadamente las mismas dimensiones (se busca un juego de 0,25 mm) que permitirán que a la hora del montaje ambas mitades queden fijadas como una única pieza.

Extras

Los elementos extra que necesitará la estructura serán escasos.

En primer lugar y como ya se ha mencionado anteriormente, se recomienda la implantación de una base para soportar la CPU que será utilizada en el proyecto posterior para el control del movimiento. Lo idóneo es que esta base se sitúe siempre cerca de la estructura de balanceo por lo que una base que permitiese fijarla a la estructura sería idónea. Para eso se realiza una forma prismática ligeramente superior a la CPU y se realiza un pequeño vaciado con las dimensiones de esta; así podremos situar la CPU de forma fija en el interior de la base. Para finalizar se realizan unos vaciados semicirculares que permitan el enganche con los semicírculos salientes de la base del cuadricóptero. Así tendremos la posibilidad de fijar la CPU a la estructura fija, lo

que nos dejará una estructura con todos los elementos unidos y cuyo transporte y manejo será mucho más cómodo. Se adjunta imagen de la base de la CPU y los vaciados para su unión.

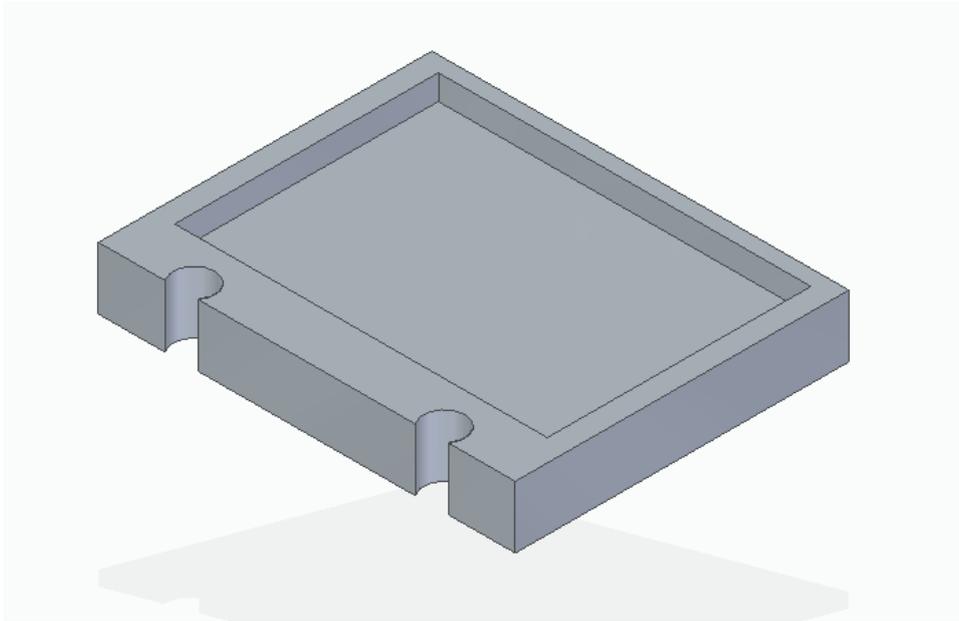


Figura 18: Soporte CPU

Además de la unión con la CPU, otro elemento de gran importancia sería la protección de las hélices de los motores, y es que las hélices de los motores son bastante cortantes y en el caso de recibir un impacto de estas en movimiento podría hacerse un corte en la zona impactada

Para finalizar con este subapartado se muestra una imagen del montaje completo.

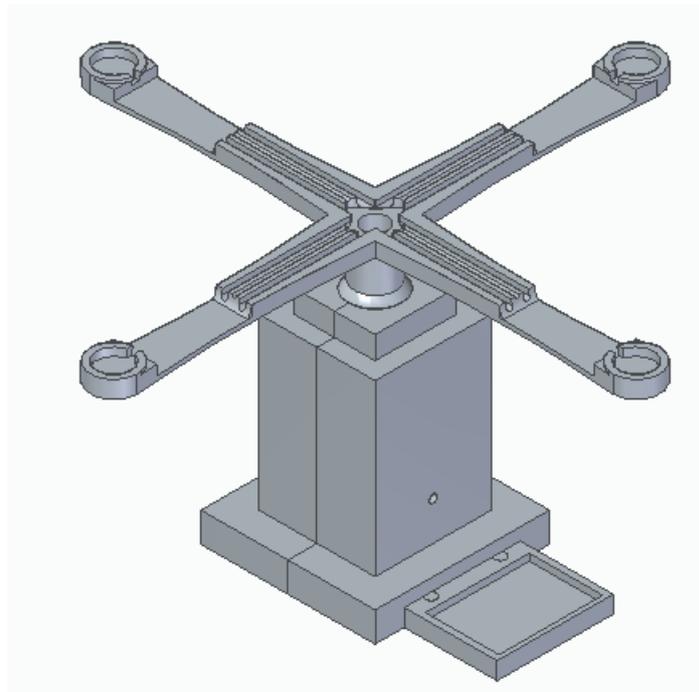


Figura 19: Montaje completo

7.3.- Análisis de esfuerzos

Una vez comenzado el trabajo y teniendo una idea aproximada del tipo de estructura deseado, se procedió a realizar la medida geométrica y los pesos de los distintos elementos electrónicos, que es lo que, al fin y al cabo, marca el diseño de la propia estructura. Tras esto se siguieron los cambios y pasos analizados en el apartado 7.2. Metodología en la estructura principal hasta obtenerse la forma que se muestra en la Figura 19 .

El diseño se realiza con el Software Solid Edge, y este permite que una vez realizado el diseño, se le adjunten distintas cargas estáticas deseadas además de aportar un peso propio a la estructura de plástico. Mediante esta herramienta se simulan los pesos de los distintos elementos y se estudia el funcionamiento de la estructura bajo estas cargas aplicándoles el movimiento deseado. Lógicamente, las zonas que más tensionadas van a trabajar van a ser los comienzos de los ejes que llevan los motores, ya que estarán sometidos al momento flector provocado tanto por los motores como los reguladores situados en los extremos. A pesar de ello, y aunque puede reducirse el momento llevando los motores a la zona central, el programa nos aporta unos resultados de resistencia excelentes por lo que la estructura en carga y movimiento aguantará sin romperse. La base al permanecer estática no se ve afectada por los pesos de las baterías y no afecta en su funcionamiento. A continuación, se añade una imagen del programa Solid Edge en el que se muestran las cargas añadidas para realizar el estudio de resistencia.

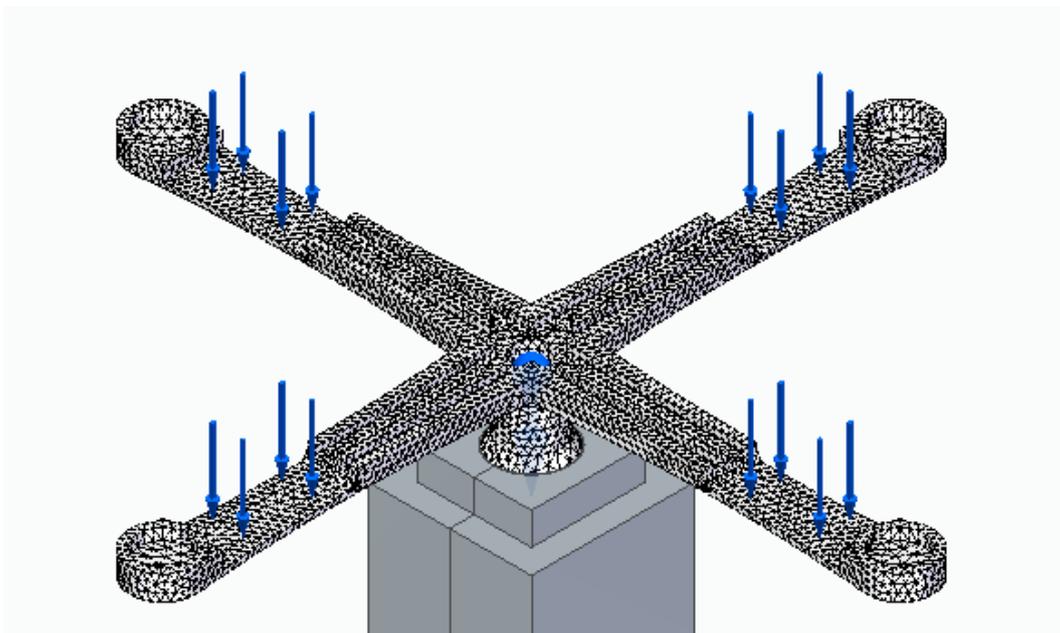


Figura 20: Imagen del proceso de análisis de resistencia Solid Edge.

Como se ha mencionado con anterioridad, situar los drivers más centrados en la figura suponen una reducción del momento flector absorbido por los ejes del modelo de cuadricóptero; sin embargo, se decide situarlos en el extremo del eje ya que, sabiendo que no provocará roturas en la estructura, emitirán una señal mucho más limpia a los motores permitiendo un funcionamiento más óptimo del sistema.

Una vez concluida la posición de los drivers también se plantea cuál debe ser la orientación de estos; es decir, si deben situarse de forma vertical u horizontal. Para resolver esta duda se calcularon las inercias de las distintas orientaciones y de los dos ejes de movimiento principales (ejes e1 y e2). Analizando ambos casos:

Caso 1: Driver Horizontal.

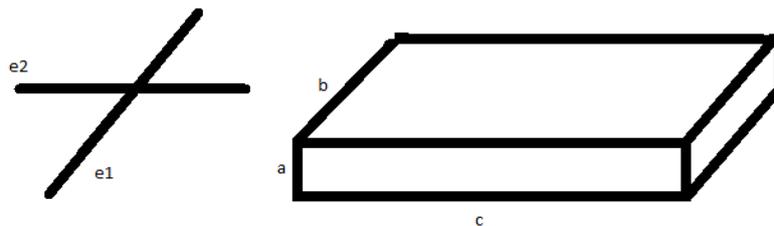


Figura 21: Orientación horizontal del driver

$$\text{Para } e1 \rightarrow I_{H1} = \frac{M}{12}(a^2 + c^2) + d^2 * M \quad (1)$$

$$\text{Para } e2 \rightarrow I_{H2} = \frac{M}{12}(a^2 + b^2) \quad (2)$$

Caso 2: Driver Vertical.

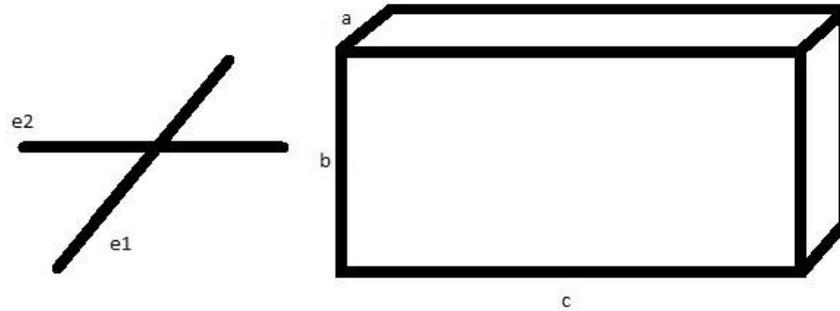


Figura 22: Orientación vertical del driver.

$$\text{Para } e1 \rightarrow I_{v1} = \frac{M}{12}(b^2 + c^2) + d^2 * M \quad (3)$$

$$\text{Para } e2 \rightarrow I_{v2} = \frac{M}{12}(a^2 + b^2) \quad (4)$$

Se finaliza el estudio de la orientación de los drivers analizando las ecuaciones para los dos ejes de giro. Por un lado, en el giro respecto el giro e2 se aprecia cómo las ecuaciones (2) y (4) son idénticas, por lo que no tendremos diferencias entre las dos orientaciones. Por otro lado, analizando el giro respecto al eje se observa que la única diferencia entre ambas ecuaciones es que en la (1) tenemos el múltiplo $(a^2 + c^2)$ mientras que en la del driver en posición vertical (3) la tiene un valor de $(b^2 + c^2)$. Debido a que el valor de b es mayor que a como se aprecia en las imágenes, la orientación ideal del driver será la de la primera imagen, es decir, en horizontal.

Como la posición de los motores no puede variarse no se realiza ningún estudio de sus alternativas.

7.4.- Fabricación

En el siguiente apartado se analiza, una vez diseñadas todas las piezas, cómo se realiza la fabricación de estas y los cambios necesarios para que su impresión sea posible.

El diseño de todos los componentes de la estructura se realiza con el software Solid Edge siguiendo los pasos analizados con anterioridad para posteriormente ser imprimidas por fabricación aditiva en una impresora 3D en ABS. Además de todas las limitaciones analizadas e impuestas por los elementos electrónicos y el montaje, la impresora posee unas dimensiones de impresión máximas, que harán que todas las piezas no puedan imprimirse de forma única, sino que habrá que imprimirlas en trozos más pequeños y después proceder con su unión. Para ello, habrá que modificar todos los archivos .par de la estructura para así alcanzar las medidas de impresión necesarias. Tras esto, se convierten en archivos .stl, que serán los archivos que se envían a impresión.

La impresora con la que se trabaja es la “Dimension Elite™ 3D Printer”. Se encuentra situada en el sótano del edificio B de la Escuela de Ingenieros de Bilbao y se utiliza ya que permite la impresión de infinidad de formas con una gran precisión. Para más información se adjunta una ficha de información de la impresora en la que se muestra, entre otras cosas, las dimensiones y peso de esta, la fuente de tensión necesaria para su funcionamiento o las dimensiones de las piezas que puede producir; siendo este el factor de mayor interés en este trabajo.



Figura 23: Ficha datos de impresora 3D

Se observa cómo las dimensiones máximas de impresión de una pieza son de 203x203x305 mm que, a pesar de tratarse de un tamaño considerable, alguna de las piezas no puede ser imprimida en su totalidad.

Se analiza la fabricación de cada una de las partes por separado.

- La base para la CPU podrá imprimirse en su totalidad sin ningún problema ya que ninguna de sus medidas sobrepasa el tamaño máximo de impresión.

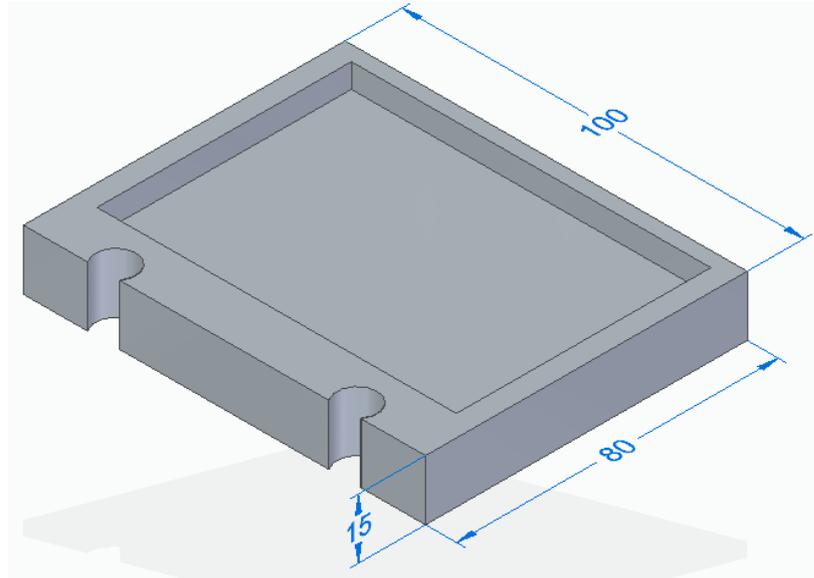


Figura 24: Medidas máximas impresión de soporte de la CPU

- La base debe imprimirse con sus dos mitades por separado. Sin embargo, cada una de ellas no alcanza las medidas máximas de impresión por lo que no hace falta realizar ningún corte en la pieza para obtenerlas de forma completa

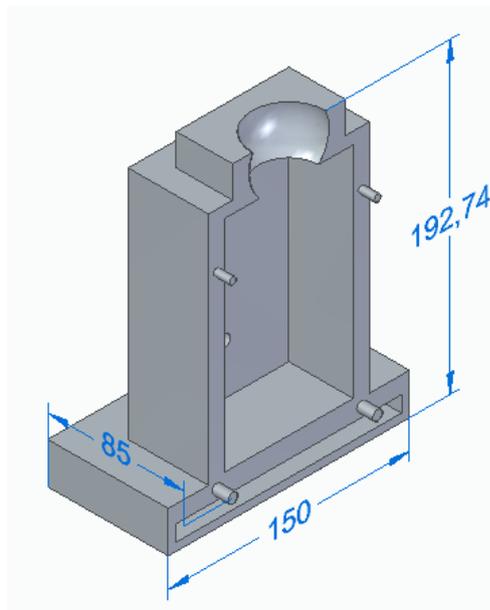


Figura 25: Medidas máximas de la mitad de la base

Sin embargo, dadas las medidas de la ilustración anterior, se llega a la conclusión de que es posible realizar ambas mitades de una sola impresión. Para ello bastaría con

programar el archivo con las dos mitades y con una pequeña separación entre ellas (ya que tienen que imprimirse las dos partes por separado) y así se ahorra tiempo de trabajo con la impresora 3D optimizando el espacio de impresión. De esta forma el conjunto a imprimir ocuparía unas dimensiones de 160x150x192,74 mm que no supera los 203x203x305 mm máximos.

- La fabricación del modelo de cuadricóptero es el más costoso ya que supera holgadamente las medidas de la impresora. Posee un ancho de punta a punta de aproximadamente 500 mm por lo que tampoco serviría realizar un corte por la mitad para imprimir ya que las dimensiones de la mitad sobrepasarían las de impresión máximas.

Para solucionar el problema se realizan cortes en los distintos ejes para así disponer de trozos que sí pueden imprimirse. La idea principal era dividir la pieza en 5 partes, la central, y los 4 ejes que se obtienen con cortes. Cada uno de los ejes dispondría de las siguientes medidas.

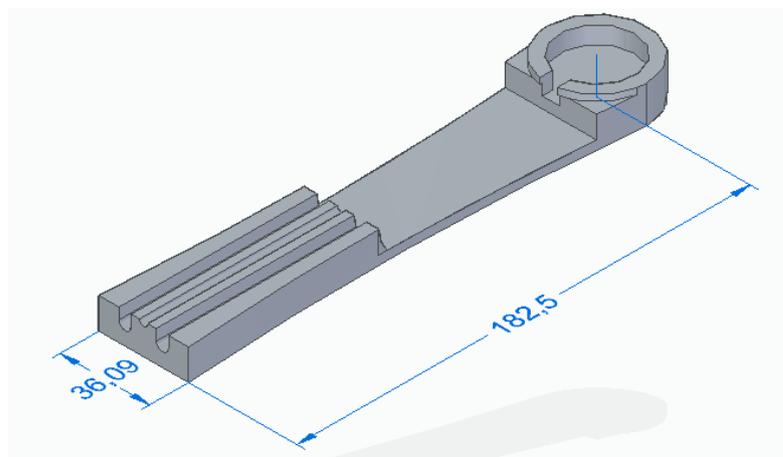


Figura 26: Medidas del eje a imprimir

Sin embargo, se observa como la unión de la zona central con uno de los ejes no sobrepasa el tamaño máximo de impresión establecido. Por tanto, para la impresión definitiva se imprimen 3 trozos de ejes como los de la ilustración 34 y otro último de la zona central con un eje y con la forma mostrada en la siguiente imagen.

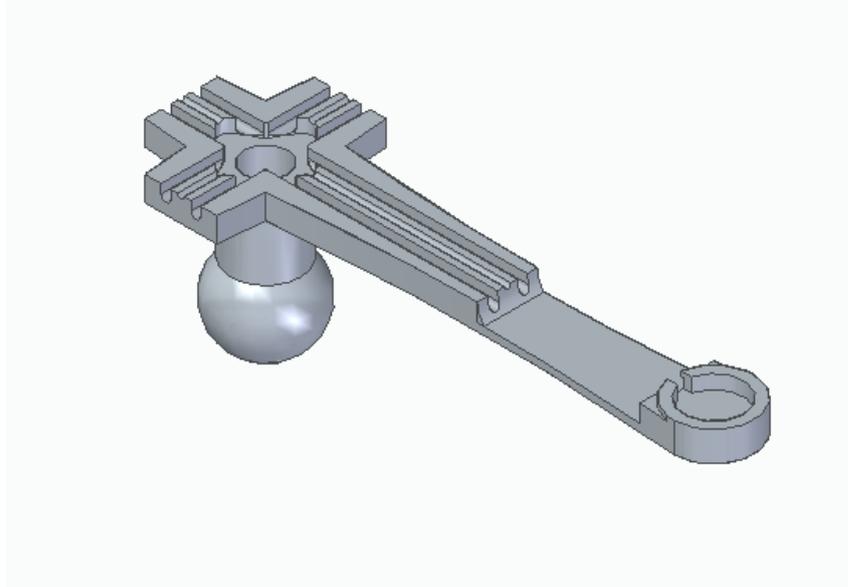


Figura 27: Pieza grande cuadricóptero a imprimir

Las medidas de este trozo del conjunto tampoco superarán el tamaño de impresión máximo.

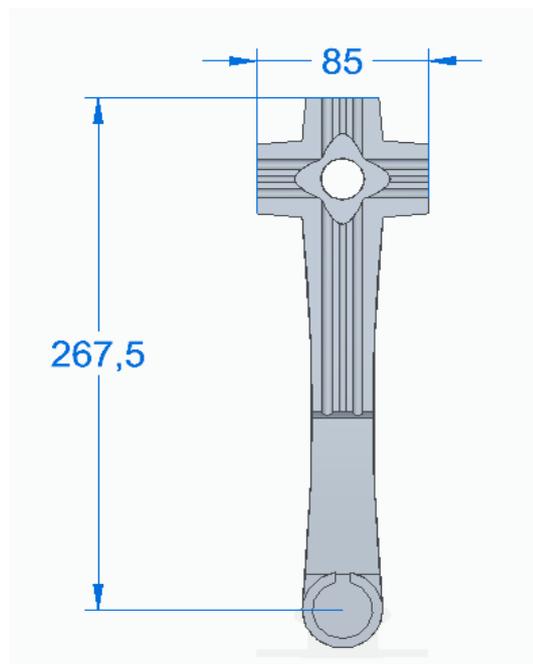
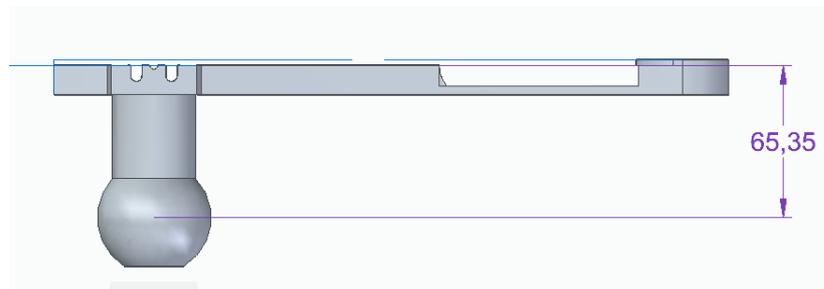


Figura 28: Medidas máximas de impresión de pieza cuadricóptero grande

Para finalizar el proceso de fabricación de todas las piezas se deben sacar tanto las mitades de la base y el soporte de la CPU ya terminadas de la impresora junto con las 4 partes que forman el modelo de cuadricóptero. Estas últimas deben unirse con un pegamento extrafuerte formando el modelo de cuadricóptero definitivo. Una vez superado el proceso de fabricación se siguen los pasos analizados en el apartado de análisis del diseño para dar por finalizada la materialización del proyecto.

En la siguiente imagen se muestra cómo podría ser el diseño definitivo del sistema cuadricóptero, ya que la impresora da opción a imprimir en los colores deseados.

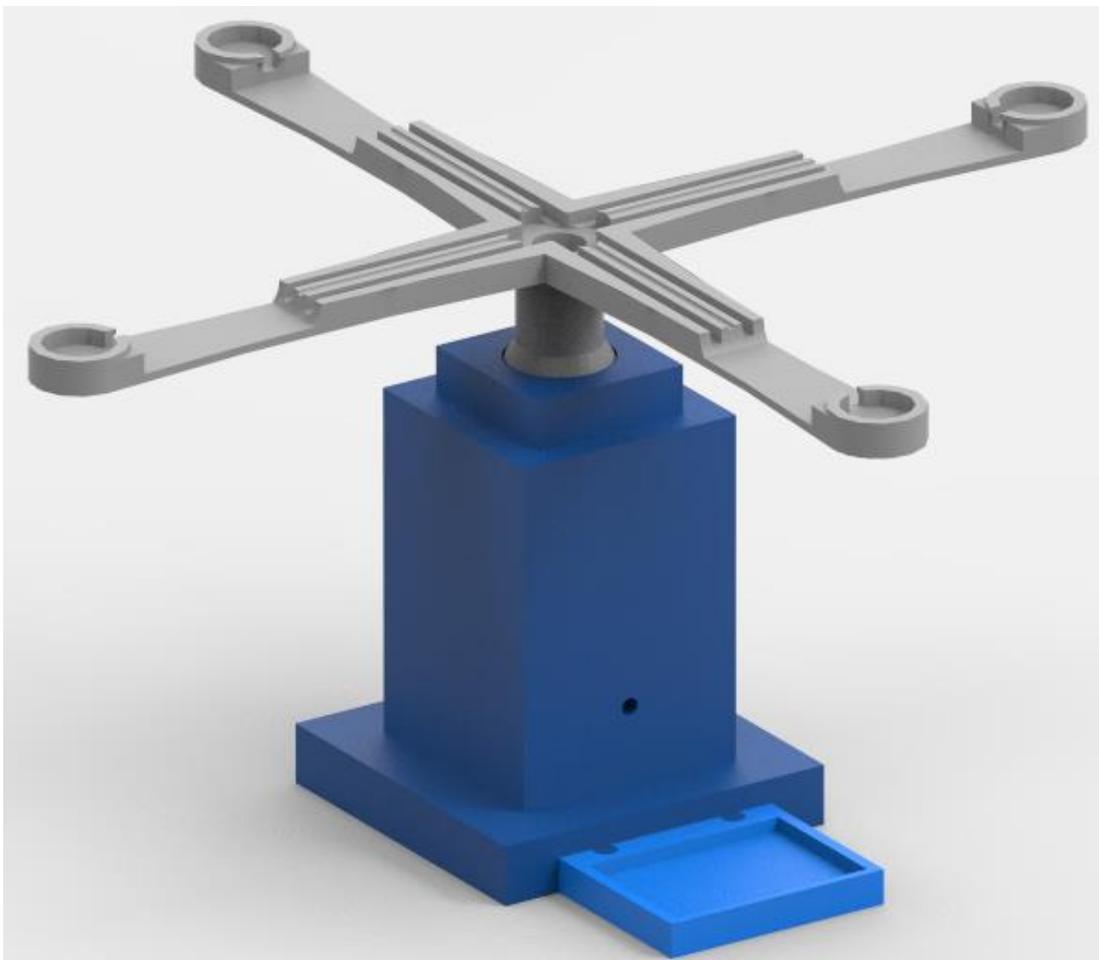


Figura 29: Imagen más realista del modelo de la estructura.

7.5.- Montaje del sistema

En el siguiente apartado se estudia cómo, una vez obtenidas y fabricadas las piezas analizadas en el apartado de metodología, se van montando y situando para finalmente llegar al producto

final deseado. A pesar de que no pertenezca a este proyecto, también se explica cómo y en qué momento se sitúan los distintos elementos electrónicos a la estructura para así tener una referencia en ese futuro proyecto de automatización.

Se parte de las 3 piezas principales de la estructura que son el modelo de cuadricóptero con rótula, la mitad de la base con agujero para los cables de la CPU y la otra mitad de la base.

En primer lugar realizamos la unión entre la base de la CPU y la mitad de la base que tiene los salientes para fijarse a esta. Tras esto situamos la rótula del cuadricóptero en el interior del vaciado esférico de la base con agujero de tal forma que tenga el aspecto de la siguiente ilustración (Ilustración 28). En ese momento se procede a instalar las dos baterías en el interior del hueco de la base que fue creado para esto.

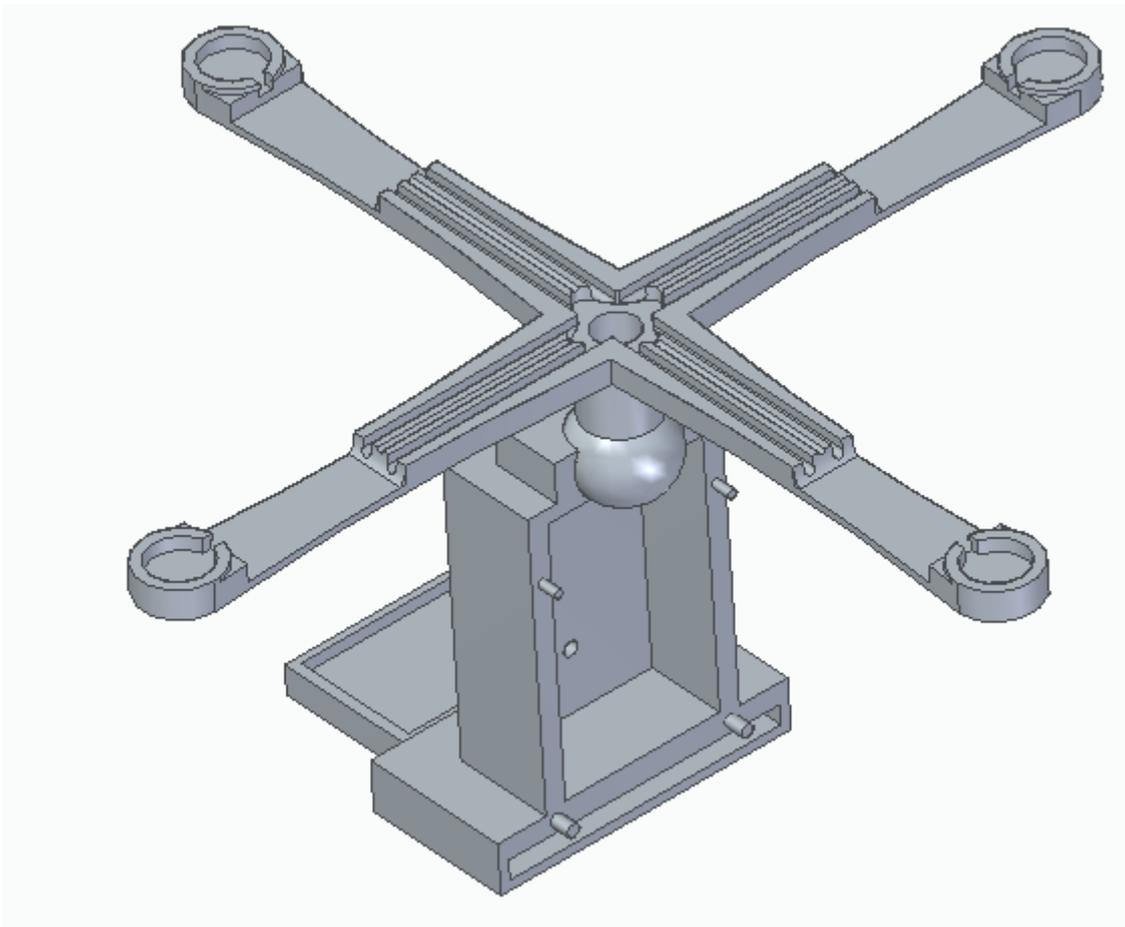


Figura 30: Primer paso del montaje estructura.

Como es en este momento cuando se posee acceso a las conexiones con las baterías, también debemos situar los amplificadores en las ranuras realizadas para ello y hacer pasar los cables que salen de estos por las ranuras de los ejes (cada cable de potencia por los conductos gruesos

y los que van a la CPU por el canal central). Recordar que para situar los amplificadores se pega una cinta de doble cara en la ranura para amplificador para así no tener el amplificador bajo presión y poder reemplazarlo en cualquier momento sin problema. Esos cables que salen del amplificador se hacen llegar al centro del cuadricóptero y se introducen por el agujero de la rótula para que lleguen a la misma cavidad de la base en la que se sitúan las baterías. Una vez dentro tanto las baterías como los extremos de los cables de los amplificadores se realizan las conexiones entre estas y las baterías para que se pueda enviar potencia a los motores y dejar todo conectado.

Tras ello deben agruparse todos los cables de conexión a la CPU y extraerlos de la base por el agujero lateral que se realizó para ello; así, saldrán directamente a la base de la CPU y se podrán realizar las conexiones de la manera más cómoda.

En este instante puede aprovecharse para instalar los 4 motores en el cuadricóptero. Para ello se sitúan los huecos de los extremos de los ejes y se atornillan perforando el plástico. De esta forma y al no realizar unos agujeros predeterminados se asegura que los motores queden perfectamente fijados y no se desplacen cuando esté trabajando el conjunto. Tras esto, la conexión entre los motores y los amplificadores de señal es directa.

Finalmente, y antes de cerrar la base, se debe implantar la IMU en una pequeña ranura realizada para ello en la parte inferior de uno de los ejes del cuadricóptero (Figura 24). Para ello, la pegamos en dicha ranura y hacemos pasar los cables salientes por la rótula y los llevamos por el agujero lateral de la base a la CPU, teniendo así todas las conexiones del sistema realizadas y el conjunto listo para cerrarse.

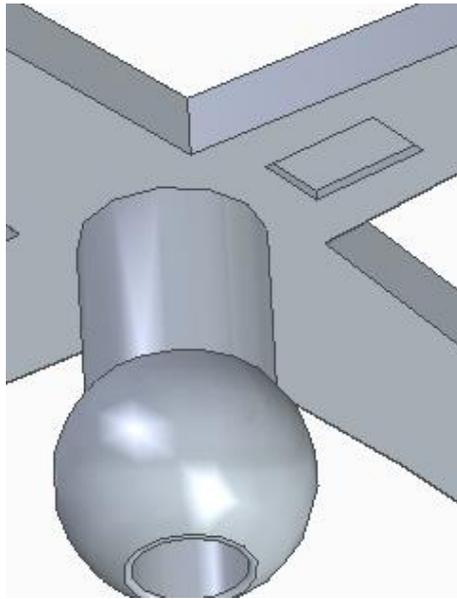


Figura 31: Hueco para IMU

Una vez todo lo anterior esté realizado, se procede con el cierre de la base. Para ello, primero se debe situar una chapa metálica de las dimensiones del hueco inferior a las baterías en su interior ya que aportará un peso extra a la estructura para favorecer su equilibrio.

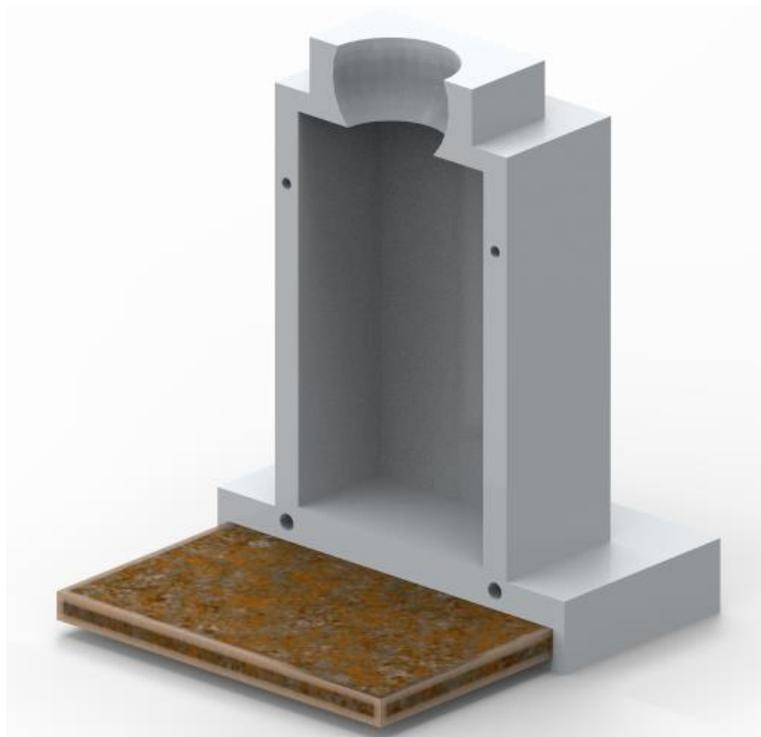


Figura 32: Base sin hueco con chapa metálica.

Tras esto, situamos la otra mitad de la base cerrando por completo la cavidad de las baterías, conexiones y chapa metálica. Aunque las bases se conecten entre sí con un juego muy reducido

entre los pasadores (lo que aportará uniformidad a la pieza), también se recomienda rodear la zona de la rótula con algún tipo de cinta que impida la separación de las piezas en esa zona, que será la que a mayor esfuerzo estará sometida en los giros del cuadricóptero. Se adjunta imagen del sistema abierto durante un giro para que se vea donde se deberían poner las cintas (rojo).

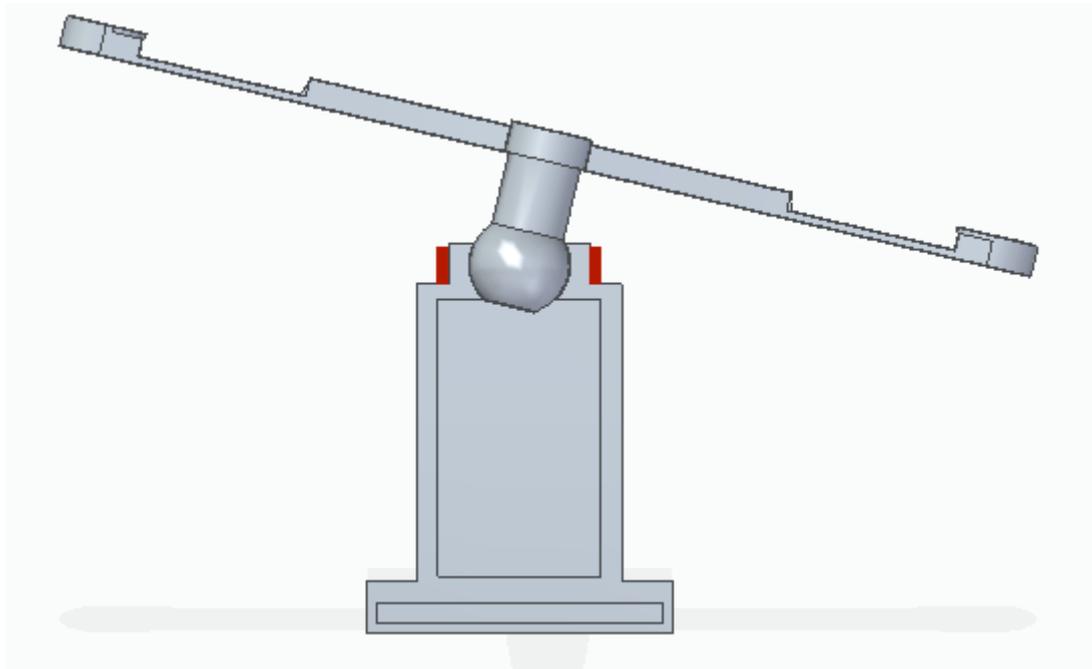


Figura 33: Cierre de la base con goma superior.

Quedaría así definido el montaje del sistema y se recomienda que en caso de querer realizarlo de nuevo se vuelvan a seguir los pasos aquí analizados.

7.6.- Planos Constructivos

Los planos de las diferentes piezas se adjuntan en el Anexo I al final del documento.

8. LIMITACIONES DEL DISEÑO

El diseño obtenido tiene una serie de limitaciones que no impiden el correcto funcionamiento de la estructura pero que hacen que no pueda trabajar en cualquiera de las situaciones deseadas. A continuación, se alistan unas de las limitaciones que se tienen con el fin de que no se haga trabajar a la estructura bajo esas condiciones.

- El uso de unos motores de distintos tamaños y potencias que los analizados pueden provocar roturas en los ejes del cuadricóptero ya que está diseñado para los motores analizados en este trabajo. Además, una potencia mucho mayor de unos motores nuevos puede hacer que el sistema despegue de la mesa de trabajo por lo que debería ponerse algún sistema de sujeción extra.
- Las hélices de los motores son cortantes y giran a velocidades muy elevadas. Por tanto, si alguna de las hélices en funcionamiento impactase en el dedo de alguien que se encuentra trabajando con la estructura puede provocarle cortes de profundidad considerable.
- El diseño solo puede albergar las baterías y los cables estudiados ya que otros de dimensiones distintas puede que no entren en el vaciado de la base o no puedan pasar por el agujero de la rótula.
- Si durante el funcionamiento de la estructura se realiza algún giro brusco a velocidades excesivas la base puede moverse y volcar la estructura a pesar de tener un contrapeso en su interior.

Todas las posibles soluciones a estas limitaciones se analizan en el apartado 12. Trabajos Futuros (pág 45).

9. PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO

Se realiza un listado con una explicación de cada una de las tareas principales del proyecto y se reflejan en un diagrama Gantt.

Tarea 1- Iniciación en el proyecto.

Esta tarea dispone de 2 subtareas; 1.1- Repaso conocimientos Solid Edge, 1.2-Búsqueda aula de trabajo.

- Descripción: Una vez aceptado el proyecto el día 16/10/2019 se utiliza una serie de días para aprender a utilizar las diferentes facilidades del Solid Edge que serán utilizadas a lo largo del diseño del proyecto. A su vez se busca un aula de trabajo en la universidad y se prepara adecuadamente debido a unas obras que impiden el uso del aula habitual.
- Entregables: Ninguno.
- Duración: 4 días tarea 1.1 y 7 días tarea 1.2.

Tarea 2- Elección de alternativa.

Esta tarea dispone de 2 subtareas; 2.1- Diseño de alternativas en Solid Edge, 2.2- Presentación y elección de alternativa adecuada.

- Descripción: En esta tarea se deben plantear dos modelos distintos que puedan satisfacer la necesidad de este trabajo. Tras esto, se realiza una reunión con el director del trabajo y se decide qué diseño llevar a cabo.
- Entregables: Documentos de Solid Edge con un modelo básico de cada una de las alternativas.
- Duración: 5 días tarea 2.1 y 1 día tarea 2.2.
(Puede considerarse la tarea 2.2 como un hito)

Tarea 3- Diseño final cuadricóptero.

Esta tarea dispone de 2 subtareas; 3.1- Análisis geométrico de elementos electrónicos, 3.2- Preparación del diseño del cuadricóptero en Solid Edge.

- Descripción: Se realizan las medidas necesarias para conocer cómo serán los elementos necesarios a implementar en la estructura y se van realizando los ajustes oportunos para ir solucionando las limitaciones que estos imponen y otras que van apareciendo a lo largo del desarrollo del trabajo.
- Entregables: Documentos de Solid Edge con el modelo de cuadricóptero.

- Duración: 4 días tarea 3.1 y 30 días tarea 3.2.

Tarea 4- Diseño final base.

- Descripción: Se diseña una base para el cuadricóptero que servirá además para albergar componentes electrónicos. Se sigue trabajando con la rótula del cuadricóptero ya que debe existir un ajuste óptimo entre ambos.
- Entregables: Documentos de Solid Edge con el modelo de la base.
- Hito: Reunión para encontrar pequeños errores y proponer idea de la base CPU.
- Duración: 15 días

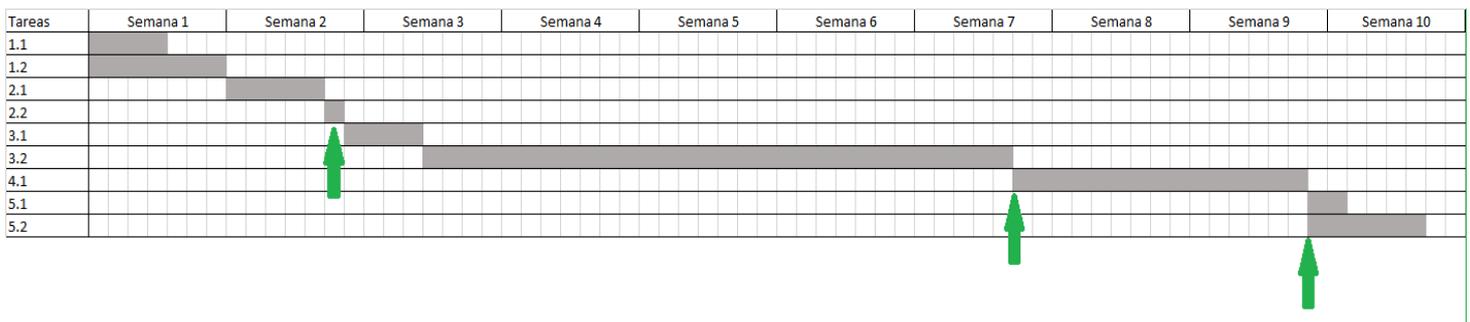
Tarea 5- Diseño final estructura completa.

Esta tarea dispone de 2 subtareas; 5.1- Diseño Solid Edge de base para CPU, 5.2- Variación de detalles para mejorar el producto final.

- Descripción: Se diseña una base para mantener la CPU y se ultiman detalles para dar por finalizado el diseño.
- Entregables: Documentos de Solid Edge finales con la estructura completa.
- Duración: 2 días tarea 5.1, 6 días tarea 5.2.

Debido al calendario académico y al comienzo de los exámenes finales del segundo cuatrimestre no se consigue realizar la fabricación de las piezas pero se estima que en una semana pueden realizarse todas las piezas necesarias.

Se plasma toda la planificación en el Gantt adjunto. Se representa únicamente el tiempo de trabajo invertido en el proyecto, por lo tanto, los meses de parón debidos a exámenes de la universidad no se reflejan en el Gantt. Las flechas verdes marcan los hitos realizados en el trabajo y son los siguientes.



El primero de los hitos servirá para comparar junto con el director de proyecto las alternativas planteadas y decidir cuál de estas llevar a cabo, descartando por completo la otra y centrándose únicamente en la seleccionada. El segundo hito se produce después de la creación del diseño del modelo de cuadricóptero, ya que este es el elemento más importante del trabajo y es necesarios buscar mejoras para obtener un producto lo más adecuado posible. El último de los hitos sirve para analizar la estructura conjunta de la base y el modelo de cuadricópteros creados para así ultimar sus detalles. Además, en este último también se plantea la creación de un soporte para la CPU que finalmente es aceptado y realizado. Tras esto, se procede con los cambios sugeridos hasta que se obtiene el trabajo final.

10. PRESUPUESTO

HORAS INTERNAS			
Personal	Horas de trabajo (h)	Coste horario (€/h)	Coste(€)
Director de Proyecto	50 h	60 €/h	3.000,00 €
Ingeniero Junior	350 h	25 €/h	8.750,00 €
Informático	10 h	25 €/h	250,00 €
TOTAL			12.000,00 €

AMORTIZACIONES				
Concepto	Coste	Vida útil	Utilización	Amortización
Ordenador de trabajo	900 €	5 años	6 meses	90,00 €
Licencia Microsoft Office	70 €	1 año	2 meses	11,67 €
Licencia Solid Edge	75 €	1 mes	6 meses	450,00 €
Impresora 3D	35.000 €	10 años	1 mes	29,17 €
TOTAL				580,84 €

GASTOS	
Alquiler ormazabal	1.000,00 €
Electricidad	40,00 €
Servicio Limpieza	200,00 €
Internet	60,00 €
Material impresión	30,00 €
TOTAL	1.330,00 €

Coste	13.910,84 €
Imprevistos (5%)	695,54 €
Subtotal	14.606,38 €
IVA (21%)	3.067,34 €
COSTE TOTAL	17.673,72 €

Tabla 1: Presupuesto

Cabe destacar que, de los costes totales, un 67,9% pertenece a las horas de los trabajadores invertidas en este proyecto, por lo que aunque a priori al tratarse de un trabajo de diseño y fabricación pueda parecer que gran parte de los costes sean debidos a la impresión eso no es así y el diseño abarca prácticamente todos los costes.

11. CONCLUSIONES

En el siguiente punto se presentan las conclusiones extraídas del proyecto:

1. El producto obtenido cumple con los requisitos necesarios para favorecer el control de la estabilidad de la estructura y soluciona los problemas encontrados en los anteriores proyectos similares.
2. El trabajo consiste primordialmente en el uso de Solid Edge para un diseño adecuado de las diferentes partes de la estructura.
3. A pesar de que el objetivo de este proyecto sea crear una estructura que posibilite un determinado movimiento, se utilizará en un proyecto de control posterior por lo que es necesario tener en cuenta los requisitos de este.
4. Se proporciona una serie de pasos para el montaje de la estructura para que siempre se realice de la misma forma y puedan instalarse todos los elementos necesarios.
5. El tiempo total del trabajo será de aproximadamente 9 meses teniendo en cuenta vacaciones y parones por periodos de exámenes, este tiempo se debe a que tiene que ser entregado a finales del mes de Julio para su posterior presentación en Septiembre.
6. Las actividades críticas del trabajo son las que se centran en el diseño de las piezas ya que se trata de las tareas más importantes y condicionan el resto del trabajo.

12. TRABAJOS FUTUROS

Los futuros trabajos a realizar sobre este proyecto son los que servirían para solucionar las limitaciones de este. Se proponen por tanto una serie de cambios que se considera que pueden ser necesarios para obtener una estructura mejorada y con mejores prestaciones.

En primer lugar, si esta estructura fuese a adoptar una serie de mejoras, la más importante sería buscar alguna forma de tener una base más estable, por ejemplo, realizando unas extensiones de la superficie inferior de esta permitiendo que tenga más superficie en contacto con la superficie de apoyo y dificultando así el vuelco. También se podría agrandar la parte inferior de la base para, además de dificultar el vuelco, permitir el uso de un contrapeso mayor y que así la estructura no despegue de la mesa de trabajo.

Otra de las mejoras a realizar sería la implantación de unas protecciones en las hélices de los motores para prevenir a los trabajadores de cortes en las manos al manejar el dispositivo. Bastaría con cubrirlas con algún tipo de estructura que permita el paso del aire pero que no permita que se introduzcan dedos en esta.

Si se quiere utilizar motores de mayores pesos y velocidades es recomendable realizar un análisis de resistencia de la estructura y en caso de que no sea válido, redimensionar el modelo del cuadricóptero para que pueda trabajar en esas nuevas condiciones sin fallar. Para ese nuevo diseño pueden volver a seguirse los pasos de este pero utilizando unos grosores de las paredes mayores.

13. FUENTES DE INFORMACIÓN

[1]Todrone, <<Estudio evolución cuadricópteros>>, <https://www.todrone.com/wp-content/uploads/pdf/Informe-Barometro-todrone-baja.pdf> [último acceso:: 14 Abril 2018

[2] Wikipedia, <<quadcopter>>, <https://es.wikipedia.org/wiki/Quadcopter> [Último acceso: 24 marzo 2018].

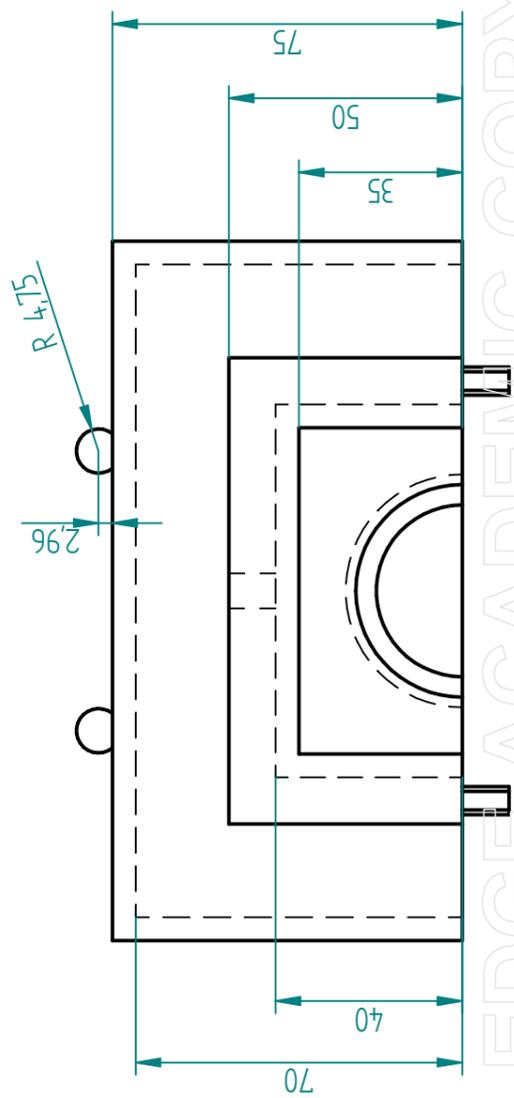
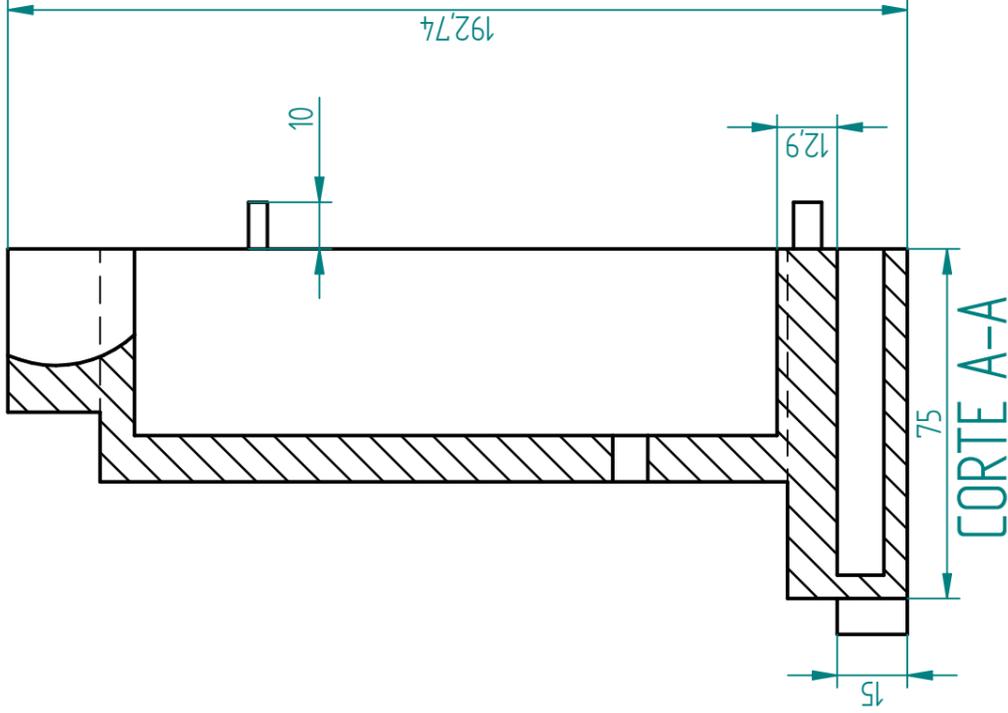
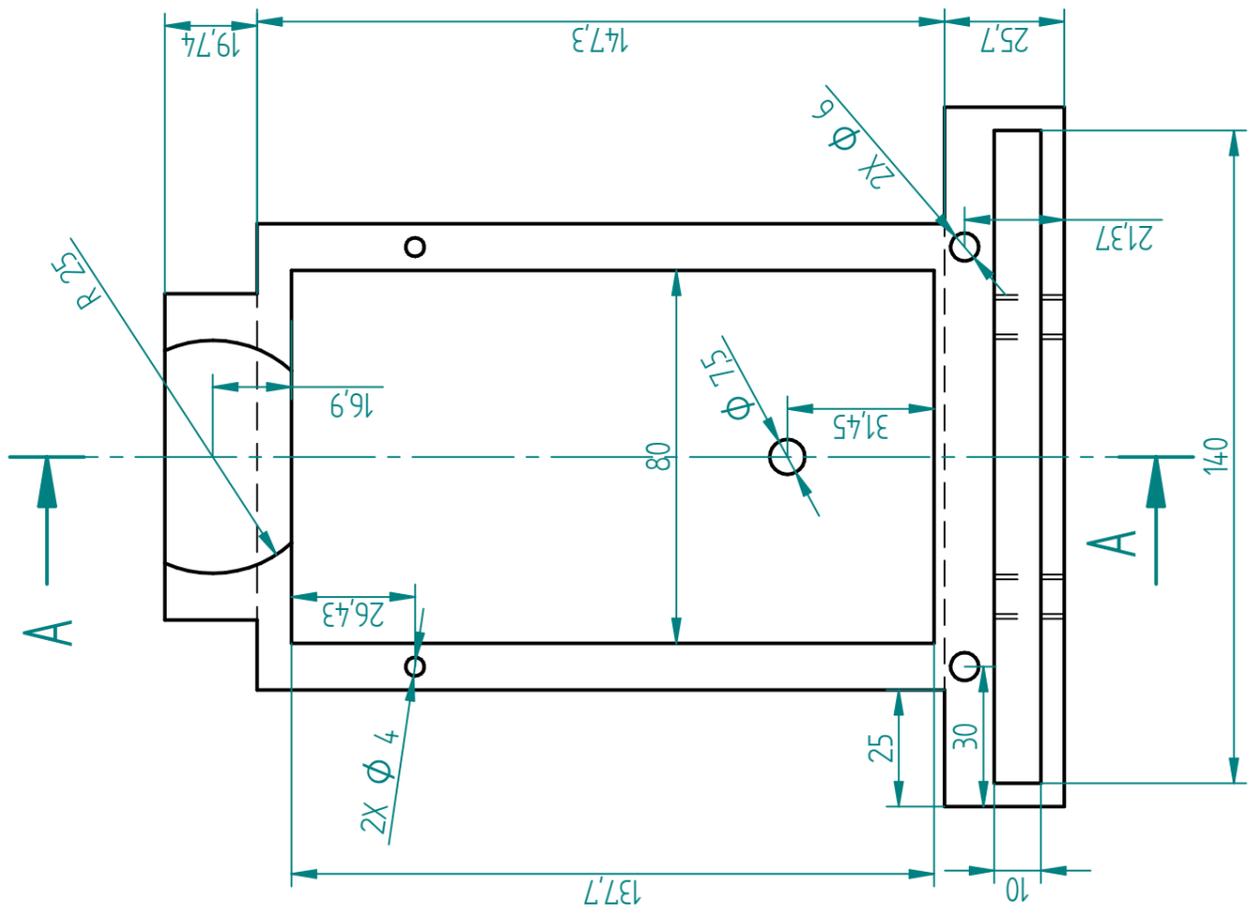
[3] Staaker, <<Modelos cuadricópteros>>, <https://staaker.com/> [Último acceso: 10 marzo 2018].

[4] Manual Práctico Solid Edge ST10, <<Utilización Solid Edge>>, [Libro].

Anexo I.

Se adjuntan los distintos planos de las piezas de la estructura en tamaño A3 y acotados para que puedan ser utilizados en la reproducción de las piezas.

Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado

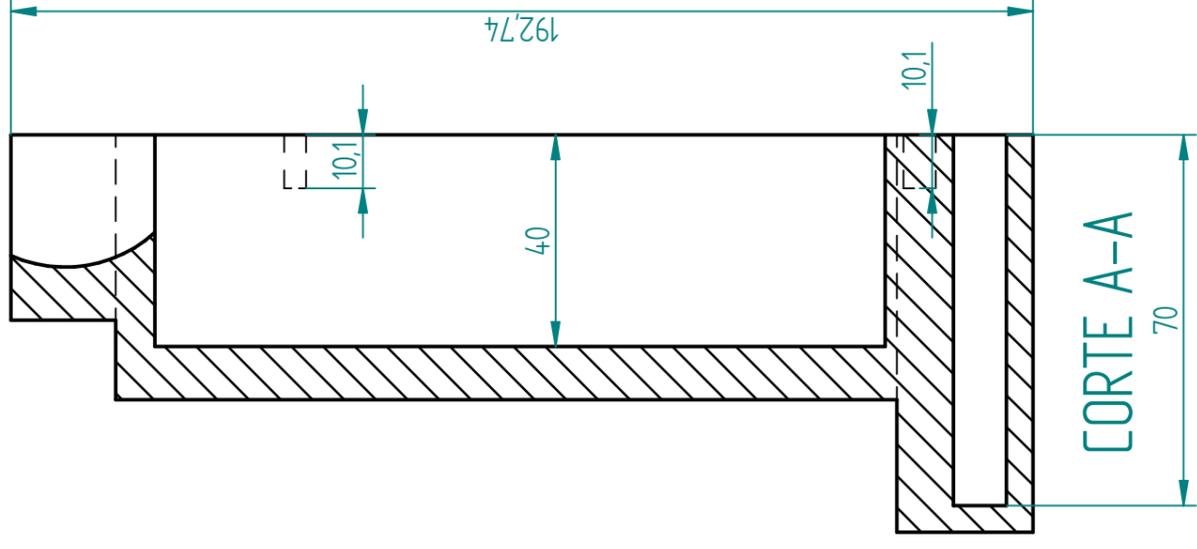
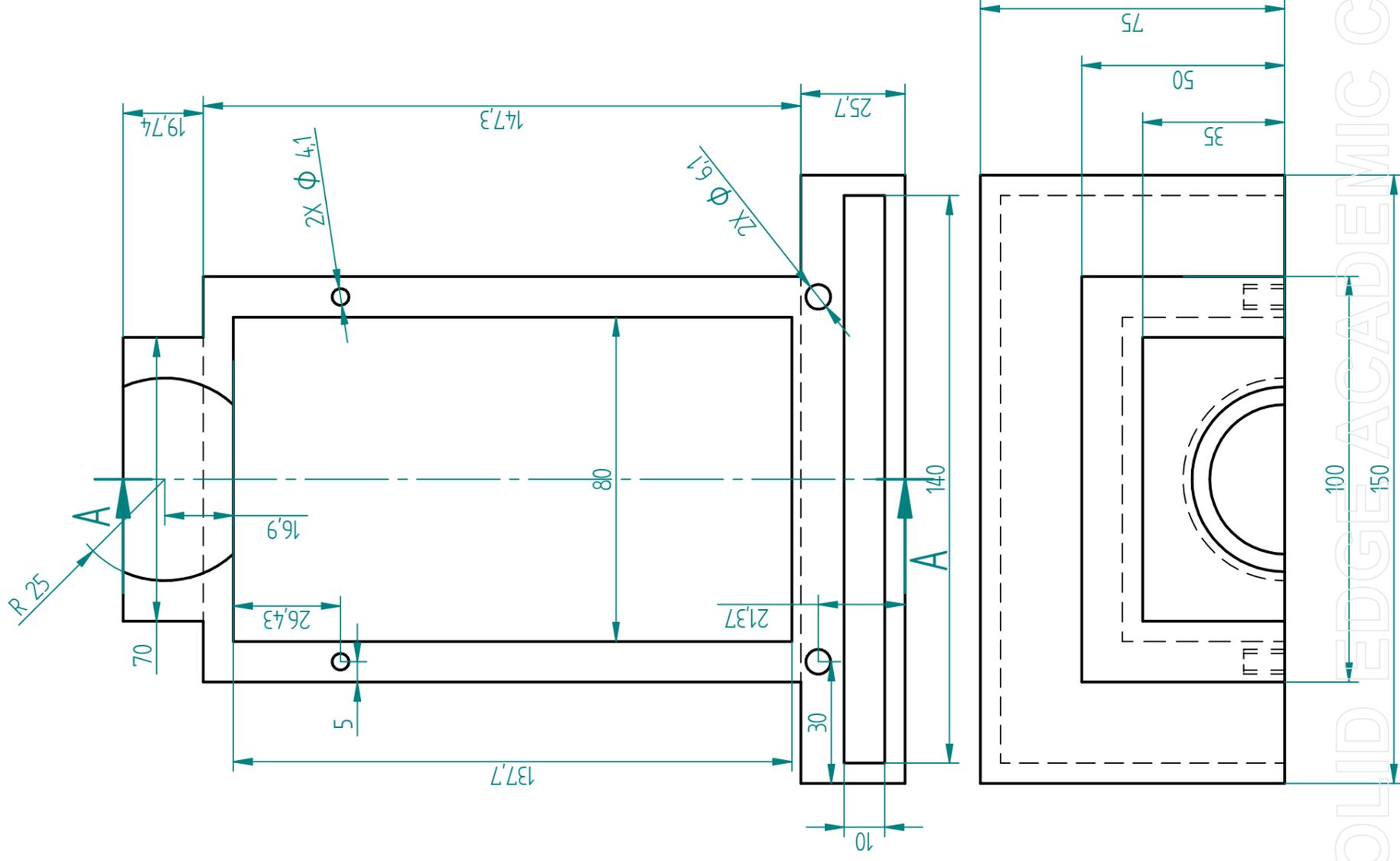


Dibujado	Nombre	Fecha	Título		
Comprobado		19/07/18			
Aprobado 1					
Aprobado 2					
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1º			A3	Plano	Rev
Solid Edge ST Siemens PLM Software			Escala	Peso	Hoja 1 de 1
Archivo: planos base agujero.dft					

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Revisiones

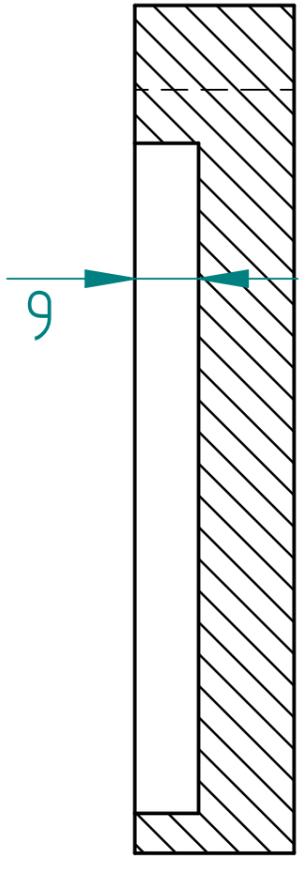
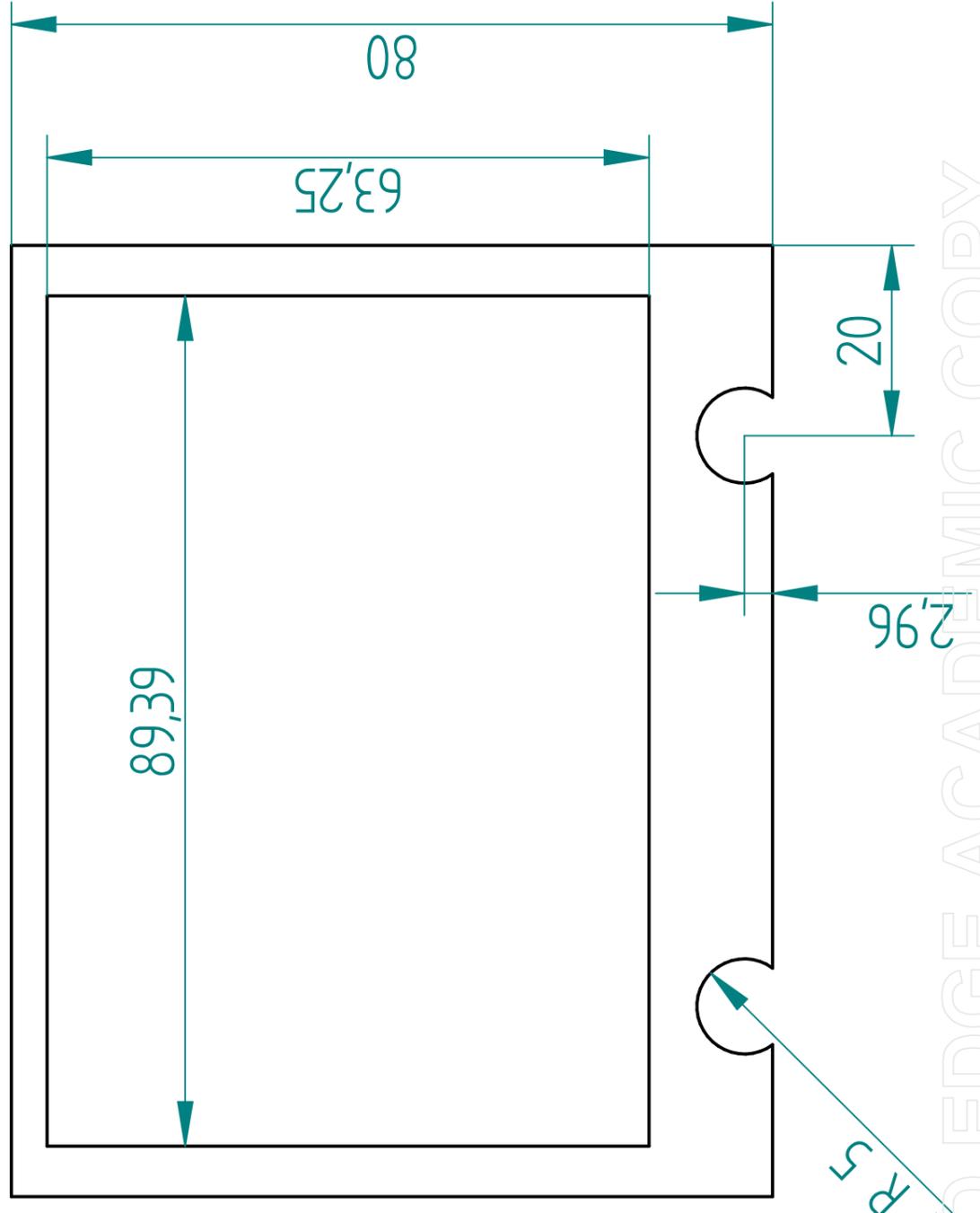
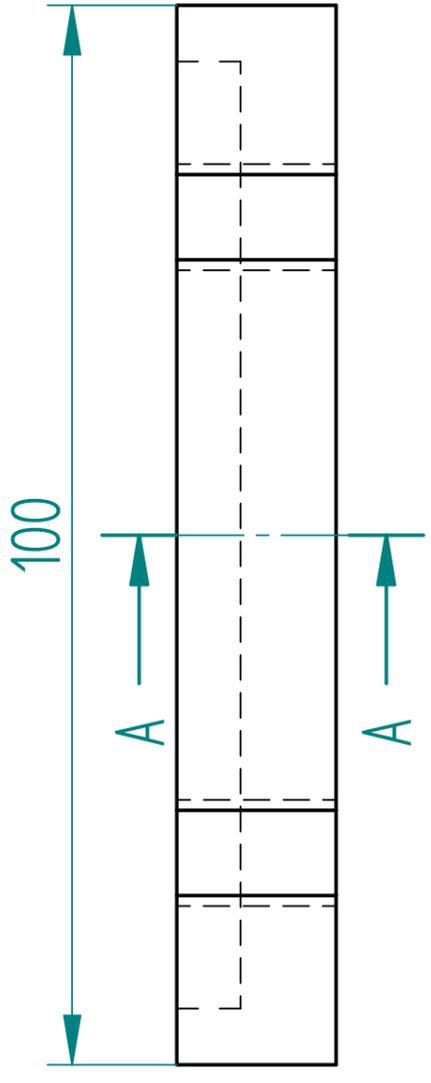
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



SOLID EDGE/ACADEMIC COPY

Dibujado	Nombre	Fecha	Solid Edge ST Siemens PLM Software
Comprobado		19/07/18	
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Título			A3 Plano Archivo: Planos Base sin hueco.dft
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1º			
Escala	Peso	Hoja 1 de 1	

Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado

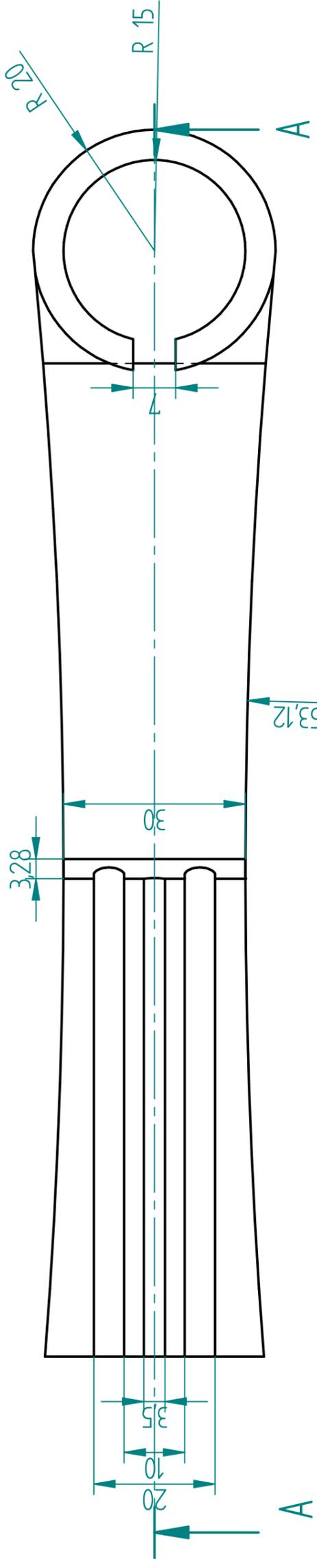
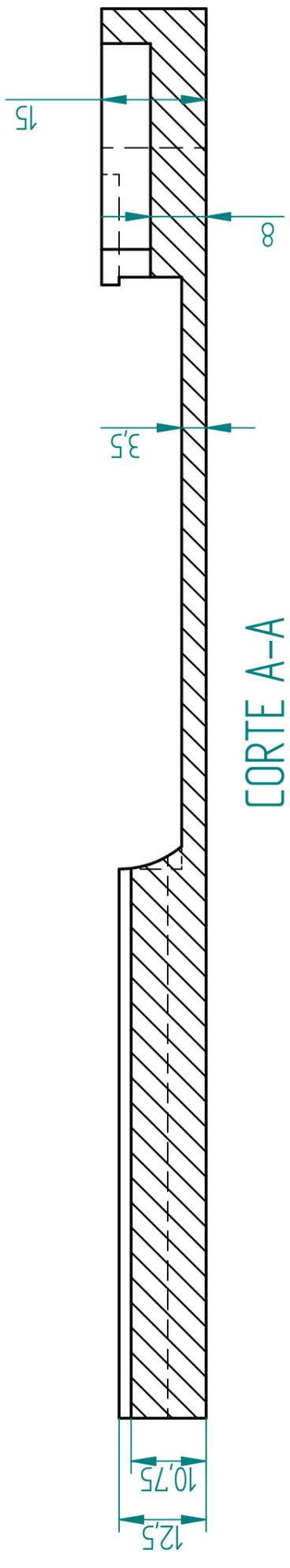
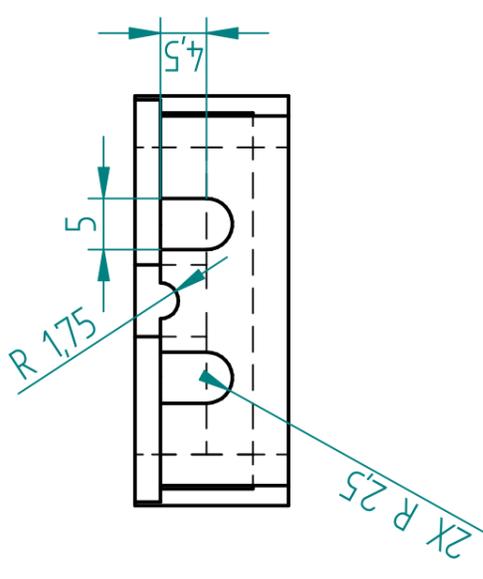


CORTE A-A

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

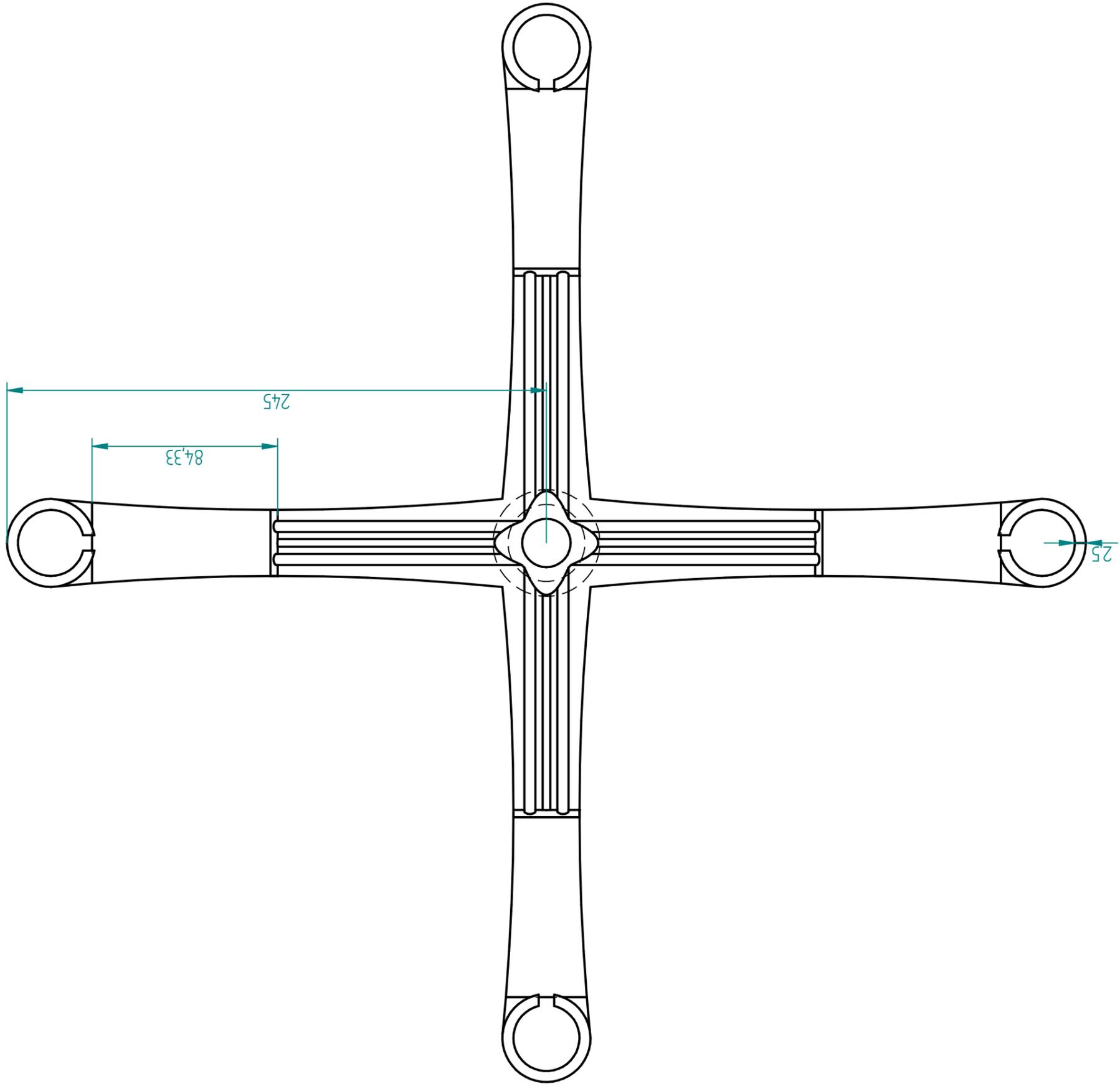
Dibujado	Nombre	Fecha	Solid Edge ST Siemens PLM Software
Comprobado		19/07/18	
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Título
			Plano
			A3
			Rev
			Archivo: unión_cpu_planos.dft
			Escala
			Peso
			Hoja 1 de 1

Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Solid Edge ST		Siemens PLM Software	
Dibujado	Nombre	Fecha	Título
Comprobado		19/07/18	
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1º			
Escala		Peso	Hoja 1 de 1
A3	Plano	Rev	
Archivo: cruzcorte planos.dft			

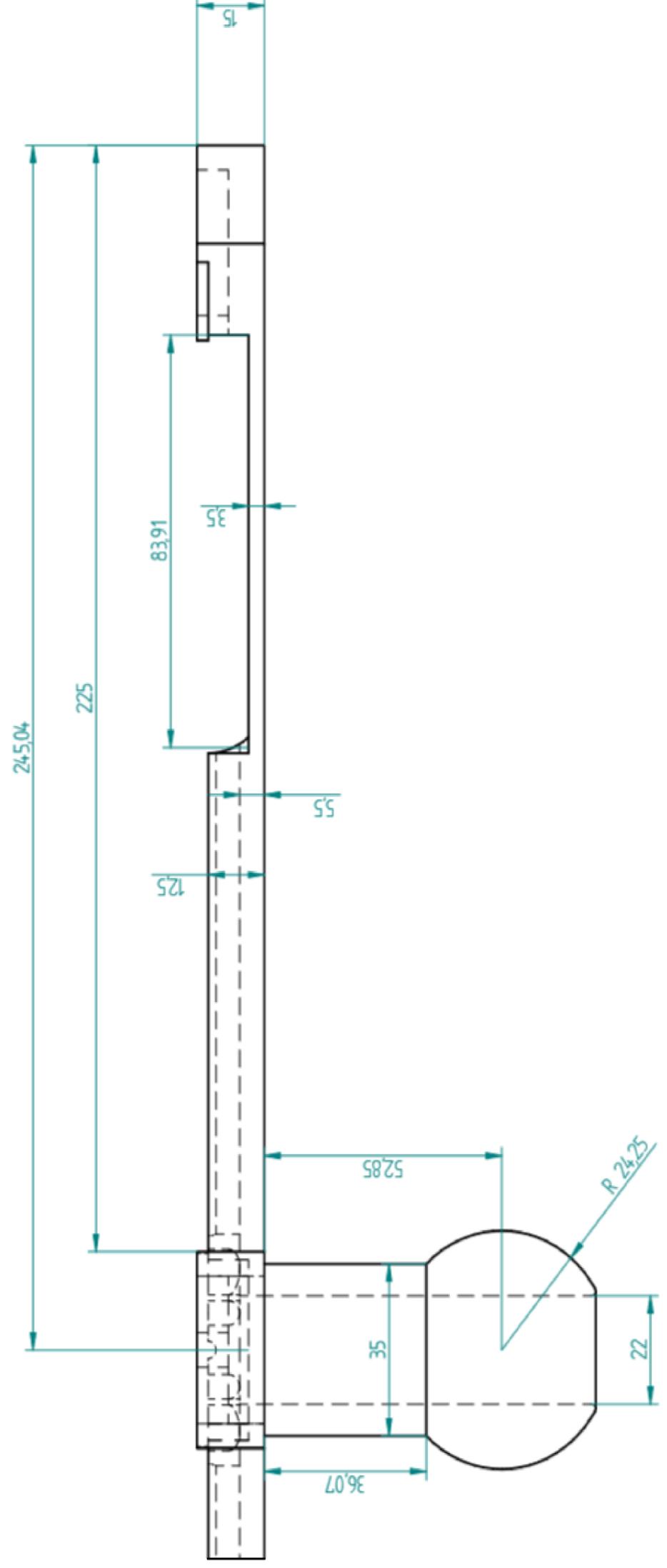


Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado

Dibujado	Nombre	Fecha	Solid Edge ST Siemens PLM Software
Comprobado		Error: Sin referencia	
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1º			Título
			Plano
			A3
			Archivo: Plano9
			Rev
			Escala
			Peso
			Hoja 1 de 1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



Dibujado	Nombre	Fecha	Solid Edge ST Siemens PLM Software Titulo
Comprobado	Nombre	Error: Sin	
Aprobado 1	Nombre		
Aprobado 2	Nombre		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			A3 Plano Archivo: Plano08
Escala		Peso	Hoja 1 de 1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY