

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA
INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE GRADO

***DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA MEDIANTE
DISEÑO GENERATIVO PARA PROTOTIPO
DE FOTOGRAMETRÍA***

Alumna: Aramburu Santa Cruz, Naiara

Director : Eguiraun Martínez, Harkaitz

Curso: 2018-2019

Fecha: 16 de Julio del 2019

RESUMEN:

Con la colaboración del hospital de Cruces se está desarrollando un prototipo para realizar escáneres faciales basados en fotogrametría. El prototipo realizado mediante Raspberry Pi y sus cámaras crea un objeto virtual del sujeto con distintas fotos. Para ello, se necesita diseñar una estructura lo más ligera posible que contenga todo el hardware integrado. Con el fin de disminuir en tiempo, material, y coste tanto en el proceso del diseño como en el de fabricación, se hace uso del diseño generativo, la nueva herramienta incorporada en el software Solid Edge. De esta forma se obtienen varias posibles soluciones para las distintas piezas de la estructura. Estas piezas son equivalentes a nivel funcional a las diseñadas originalmente pero experimentan una reducción de material considerada.

Palabras clave: diseño generativo, estructura, impresión 3D, CAD, Solid Edge, diseño

LABURPENA:

Aurpegiko eskanerrak egiteko fotogrametrian oinarritutako prototipo bat garatzen ari da, Gurutzetako Ospitalearen laguntzaz. Raspberry Pi-k lortutako argazki batzuen bitartez aurpegiaren eredu birtual bat lortzen da. Horretarako, hardware guztia bere barnean inplementatuta duen egitura arin bat diseinatu behar da. Diseinatzeko eta fabrikatzeko behar den denbora, materiala eta dirua murrizteko Solid Edge softwarean aurkitu daitekeen herraminta berria “diseinu sortzailea” izenekoa, erabiliko da. Teknika honen bitartez lortzen diren pieza berriak, jatorrizko piezekin konparatuz funtzionalki baliokideak dira eta haien arteko desberdintasuna materialaren murrizpena izango da.

Gako-hitzak: Diseinu sortzailea, egitura, 3D imprimaketa, CAD, Solid Edge, diseinua

ABSTRACT:

A prototype to perform facial scans based on photogrammetry is being developed with the collaboration of the Cruces hospital. With the Raspberry Pi and its camera, the prototype makes different photographs and creates a virtual object of the subject. For this reason, it is necessary to design a structure, as light as possible, which contains all the hardware integrated. In order to decrease in time, material and cost during the design and manufacturing process, the generative design is used, a new tool incorporated in Solid Edge software. Using this tool, several possible solutions of the different parts of the structure are obtained. These pieces are functionally equivalent to those originally designed but experience a considered reduction in material.

Key words: Generative design, structure, 3D printing, CAD, Solid Edge, design

ÍNDICE

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | ÍNDICE DE FIGURAS: | 6 |
| 2 | ÍNDICE DE TABLAS: | 7 |
| 3 | ACRÓNIMOS UTILIZADOS: | 7 |
| 4 | INTRODUCCIÓN | 9 |
| 5 | CONTEXTO | 10 |
| 6 | OBJETIVOS Y ALCANCE DEL TRABAJO | 11 |
| 7 | ESTADO DEL ARTE..... | 12 |
| 7.1 | ESTRUCTURA ACTUAL EN EL HOSPITAL DE CRUCES..... | 12 |
| 7.2 | ETAPAS EN UN DISEÑO | 14 |
| 7.3 | IMPRESIÓN 3D..... | 16 |
| 7.4 | DISEÑO GENERATIVO..... | 17 |
| 7.4.1 | Diseño generativo en Solid Edge | 21 |
| 8 | REALIZACIÓN DEL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA | 22 |
| 8.1 | EVOLUCIÓN Y PROBLEMAS EN EL PROCESO | 22 |
| 8.1.1 | Primera versión | 23 |
| 8.1.2 | Segunda Versión..... | 25 |
| 8.1.3 | Tercera versión..... | 26 |
| 8.1.4 | Cuarta versión | 28 |
| 8.2 | DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA | 31 |
| 8.2.1 | Listado de piezas que componen la estructura..... | 42 |
| 8.3 | POSIBLES ALTERNATIVAS | 45 |
| 9 | APLICACIÓN DEL DISEÑO GENERATIVO A LA SOLUCIÓN PROPUESTA | 47 |
| 9.1 | DISEÑO GENERATIVO EN LA ESTRUCTURA COMPLETAMENTE DESMONTABLE | 47 |
| 9.2 | LIMITACIONES EN EL DISEÑO GENERATIVO | 52 |
| 10 | METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO..... | 57 |
| 10.1 | DESCRIPCIÓN DE TAREAS, FASES, EQUIPOS O PROCEDIMIENTOS | 57 |
| 10.2 | HITOS | 57 |
| 10.3 | DIAGRAMA DE GANTT | 58 |
| 11 | PRESUPUESTO | 59 |

| | | |
|----|--------------------|----|
| 12 | CONCLUSIONES | 61 |
| 13 | BIBLIOGRAFÍA..... | 63 |

1 ÍNDICE DE FIGURAS:

- Figura 1 Tarjeta Raspberry Pi usada en el prototipo de fotogrametría.
- Figura 2. Chasis usado actualmente en el prototipo del Hospital de Cruces.
- Figura 3. Prototipo de escáner facial basado en fotogrametría del hospital de Cruces.
- Figura 4. Proceso Clásico del diseño [2].
- Figura 5. Sistema de Inyección de material por modelado por deposición fundida [4].
- Figura 6. Uso de del ordenador de forma pasiva para realizar diseños [5].
- Figura 7. Resultado de la unión del ordenador y el usuario como co-creadores usando diseño generativo [5].
- Figura 8. Primer puente de metal por impresión 3D basado en Diseño generativo [9].
- Figura 9. Zapatillas creadas por el fabricante de ropa Under Armour mediante diseño generativo [10].
- Figura 10. Descripción del proceso del diseño realizado.
- Figura 11. Alzado, planta, perfil y vista 3D de la versión inicial de la estructura.
- Figura 12. Alzado, planta, perfil y vista 3D de la segunda versión de la estructura.
- Figura 13. Alzado, planta, perfil y vista 3D de la tercera versión de la estructura.
- Figura 14. Alzado, planta, perfil y vista 3D de la cuarta versión de la estructura.
- Figura 15. Alzado, planta y perfil de la solución propuesta para la estructura.
- Figura 16. Vista en 3D de la solución propuesta para la estructura. Se aprecia la posición de la cabeza del sujeto respecto a la estructura.
- Figura 17. Base de la estructura.
- Figura 18. Plano constructivo de la base.
- Figura 19. Contrapeso en la estructura en la parte inferior de la base.
- Figura 20. Peso y centro de gravedad de la estructura completa.
- Figura 21. Localización del centro de masa en la estructura.
- Figura 22. Fragmento exterior de la rama con sus aberturas y agujeros para enlazar los fragmentos entre sí.
- Figura 23. Enlace delantero de los fragmentos de la rama.
- Figura 24. Parte trasera atornillada de los fragmentos de la rama.
- Figura 25. Ejemplo del alzado y perfil del chasis de la cámara y la tarjeta Raspberry.
- Figura 26. Enlace de la rama a la junta del tronco.
- Figura 27. Enlace trasero de las partes del tronco con la junta de la rama.
- Figura 29. Enumeración de piezas del conjunto. Vista delantera.
- Figura 28. Alzado, perfil planta y figura del fragmento intermedio del tronco cónico.

- Figura 30. Enumeración de piezas del conjunto. Vista trasera.
Figura 31. Vista delantera en 3D del brazo pegado.
Figura 32. Vista trasera en 3D del brazo pegado.
Figura 33. Barra de herramientas del diseño generativo. Se observan las distintas restricciones a determinar
Figura 34. Barra de herramientas en la versión académica. Se observa la limitación a la hora de definir las restricciones de la pieza
Figura 35. Restricciones del diseño generativo en el tronco inferior de la estructura.
Figura 36. Vista en 3D de la estructura con diseño generativo.
Figura 37. Alzado, perfil y planta de la estructura con diseño generativo.
Figura 38. Selección de áreas en el diseño generativo.
Figura 39. Ejemplo de resultado erróneo en la zona fija.
Figura 40. Ejemplo de resultado erróneo por falta de restricciones.
Figura 41. Mensaje informativo de posible error en el diseño generativo.
Figura 42. Mensaje informativo durante el estudio generativo.
Figura 44. Ordenador 2- Prueba 1.
Figura 43. Ordenador 1- Prueba 1.
Figura 45. Ordenador 1- Prueba 2.
Figura 46. Ordenador 2 - Prueba 2.
Figura 47. Diagrama de Gantt.

2 ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 1. Listado de las piezas de la estructura

Tabla 2 Pares de apriete y precargas de los tornillos según las clases de resistencia para roscas normales [14].

Tabla 3. Presupuesto.

3 ACRÓNIMOS UTILIZADOS:

3D Three-dimensional space

2D Two-dimensional space

CAD Computer-Aided Design

USB Universal Serial Bus

ABS Acrionitrilo Butadieno Estireno

LED Light-Emitting Diode

4 INTRODUCCIÓN

La fotogrametría es una técnica de medición de coordenadas 3D. Haciendo uso de varias fotografías sacadas a un mismo objeto y tomando unas referencias fijas, define con precisión la forma de dicho objeto y su posición en el espacio. Por ello se ha querido crear un prototipo que realice doce fotografías de un sujeto en el mismo instante y cree un objeto virtual de dicho sujeto. Todo ello gracias a doce cámaras colocadas estratégicamente con el fin de obtener una imagen en 3D completa de la zona de estudio. Este proyecto se ha realizado con tarjetas Raspberry Pi que procesan la imagen y con ayuda del ordenador se crea un objeto virtual. Específicamente la idea surge a través del Programa de Inmersión de Ingenieros del Hospital de Cruces por la necesidad de crear mascarillas faciales de tamaños no convencionales. Esto se debe a la diferencia de tamaños faciales en los pacientes pediátricos a los cuales como consecuencia no se les puede insuflar el aire deseado.

Para poder experimentar con dicha técnica en el hospital, se improvisó una estructura de madera de manera temporal hasta que se hiciera una estructura apta para dicha tecnología. Por esta razón en este trabajo de fin de grado se ha propuesto una solución al problema actual creando una estructura nueva para la sujeción de todo el hardware necesario para tomar las fotografías del sujeto y procesar dichas imagen.

Para la realización de la estructura se ha profundizado en el diseño CAD e impresión 3D usando el programa Solid Edge. En el proceso se ha tenido en cuenta distintos aspectos como el ambiental, económico y estético. Por ello se ha hecho uso del diseño generativo; herramienta que se puede encontrar en la última versión del Solid Edge de 2019. De esta forma se ha obtenido una estructura sostenible eliminando el material cuya función mecánica es nula, derivando en una estructura más económica y ligera.

En este trabajo se explica los pasos realizados en el diseño y como a partir de distintas versiones se llega a una estructura que cumple el objetivo definido. Por último se usa la herramienta del diseño generativo y se ve las posibilidades que esta aporta, sus beneficios y limitaciones y como todavía necesita ser mejorada para poder usarla de manera más eficiente.

5 CONTEXTO

Este trabajo de fin de grado se ha desarrollado en el departamento de Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería junto al programa de Inmersión de Ingenieros del Hospital de Cruces. La finalidad de este proyecto es la creación de un prototipo basado en la fotogrametría para usarlo en el campo de la medicina y específicamente por ahora para la creación de juntas para las mascarillas faciales. Para llevar a cabo este prototipo se han dividido las tareas en tres trabajos de fin de grado, cada uno centrándose en un aspecto distinto.

Laura Barón y Victoria Maura realizarán la parte centrada en la toma de fotos y su procesamiento. Juntas crearán la junta que irá acoplada a la mascarilla, trabajando para ello en la ingeniería inversa.

Laura producirá la parte de la junta para que se acople perfectamente a la cara del paciente. En su trabajo de fin de grado ejecutará escáneres de faciales usando dos distintos métodos: El escáner Go y el prototipo de Cruces.

Victoria hará la parte de la junta que conecta con la máscara diseñándolo de forma que no se escape el aire. Para ello utilizará tres distintos escáneres: Handy, Attos y Go.

Este es el tercer trabajo de fin de grado y se ha centrado más en el área del diseño industrial. Se necesitaba crear una estructura que sujetara todo el hardware necesario para crear el prototipo de fotogrametría. Los elementos del prototipo consisten en doce cámaras y tarjetas Raspberry Pi además de una tarjeta sin cámara, unas luces LED para alumbrar la cara y un proyector para proyectar un patrón de referencia. Todas las tarjetas llevan conectadas dos cables: el cable de red Ethernet y el cable micro USB. Para la solución temporal de la estructura de madera que está actualmente en el hospital de Cruces, se diseñaron unos chasis tanto para la tarjeta como para la cámara. Por lo que se han aprovechado estos diseños para usarlos en la nueva estructura. A través de distintos diseños, modificándolos y mejorándolos se ha llegado a una versión final con algunas posibles variaciones dependiendo de las características deseadas. Por último, se ha hecho uso del diseño generativo para observar las aportaciones que esta herramienta ofrece.

6 OBJETIVOS Y ALCANCE DEL TRABAJO

El objetivo de este trabajo de fin de grado es crear una estructura apta para el prototipo de fotogrametría que será la sustitutiva a la que se encuentra actualmente en el hospital de Cruces.

Por ello como subobjetivos se tienen los siguientes:

- Realizar correctamente el diseño de un conjunto mediante programas CAD.
- Hacer uso del diseño generativo, centrándose en la innovación del producto, el ahorro tanto del material como del tiempo y la disminución del impacto ambiental a la hora de crear productos nuevos.
- Observar la facilidad y las limitaciones que tiene usar el diseño generativo y evaluar los resultados que se obtienen con esta herramienta.

El alcance de este proyecto por un lado es el de buscar una solución a la estructura de madera temporal que se encuentra actualmente en el Hospital de Cruces. Para ello, se usa parte de la actual estructura para crear una totalmente nueva, se estudian posibles problemas que se puedan dar ya sea en la fabricación de la estructura como en su mantenimiento posterior y se dan posibles soluciones. Por otro lado, se ha querido innovar e investigar las posibilidades y limitaciones que ofrece el diseño generativo a la hora de plantear soluciones teniendo en cuenta factores tanto económicos como de peso y tiempo.

7 ESTADO DEL ARTE

7.1 ESTRUCTURA ACTUAL EN EL HOSPITAL DE CRUCES

Para poder poner a prueba la técnica de fotogrametría en pacientes se necesitaba construir una estructura temporal e instalar todo el sistema necesario. Para ello, se usaron doce cámaras, trece tarjetas Raspberry Pi, un proyector y unas luces LED para iluminar la cara del sujeto. La tarjeta Raspberry Pi (Figura 1) es un ordenador de bajo coste y tamaño. Para que funcione, basta con que se añada un medio de almacenamiento, enchufarlo a la corriente y también se aconseja incorporar un chasis para que todo quede a buen recaudo y su apariencia sea más estética. Por lo tanto se diseñó por ordenador un chasis para la tarjeta y la cámara mediante impresión 3D.



Figura 1 Tarjeta Raspberry Pi usada en el prototipo de fotogrametría.

También se instalaron las cámaras diseñadas específicamente para usarlas con las Raspberry Pi. Estas cámaras (Figura 2) se distribuyeron estratégicamente y se calibraron de forma que uniendo las fotografías tomadas por cada una de ellas se construye un objeto virtual de lo fotografiado. Para sostener todo ello era necesario una estructura adecuada y ligera.



Figura 2. Chasis usado actualmente en el prototipo del Hospital de Cruces.

Como todavía no se usa esta tecnología en este campo no existía ninguna estructura apta en el mercado con esa función específica por lo que se planteó improvisar una estructura temporal hasta que se encontrara una solución adecuada. Se quería una solución rápida y eficaz y como se contaba con un presupuesto limitado la opción más viable fue comprar una estructura de madera del Ikea y atornillar en ella las tarjetas.

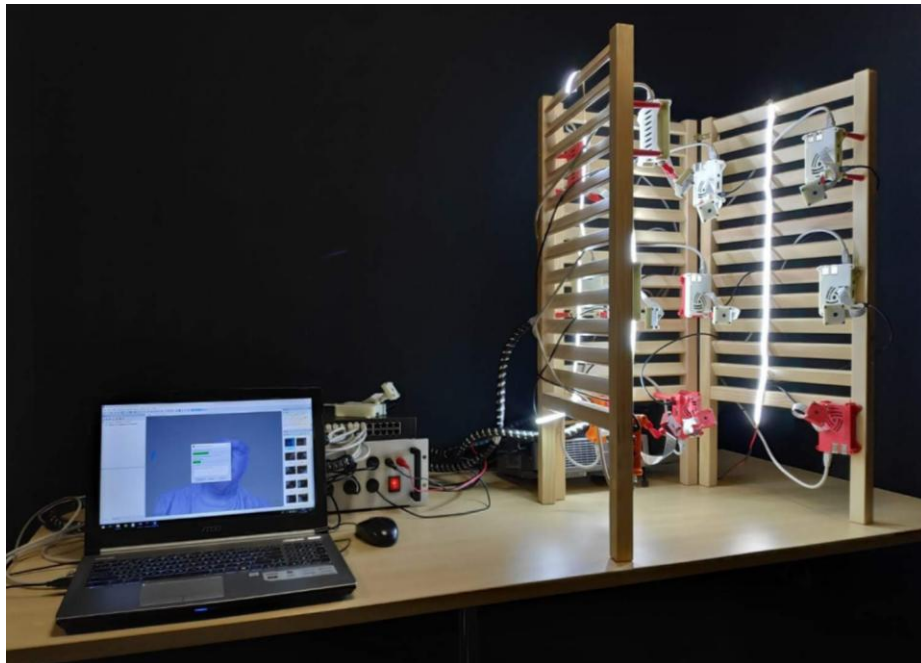


Figura 3. Prototipo de escáner facial basado en fotogrametría del hospital de Cruces.

7.2 ETAPAS EN UN DISEÑO

El diseño se define habitualmente como la actividad técnica y creativa encaminada a idear objetos útiles y/o estéticos que pueden llegar a producirse en serie [1].

Tradicionalmente el proceso clásico del diseño se divide en los siguientes pasos:

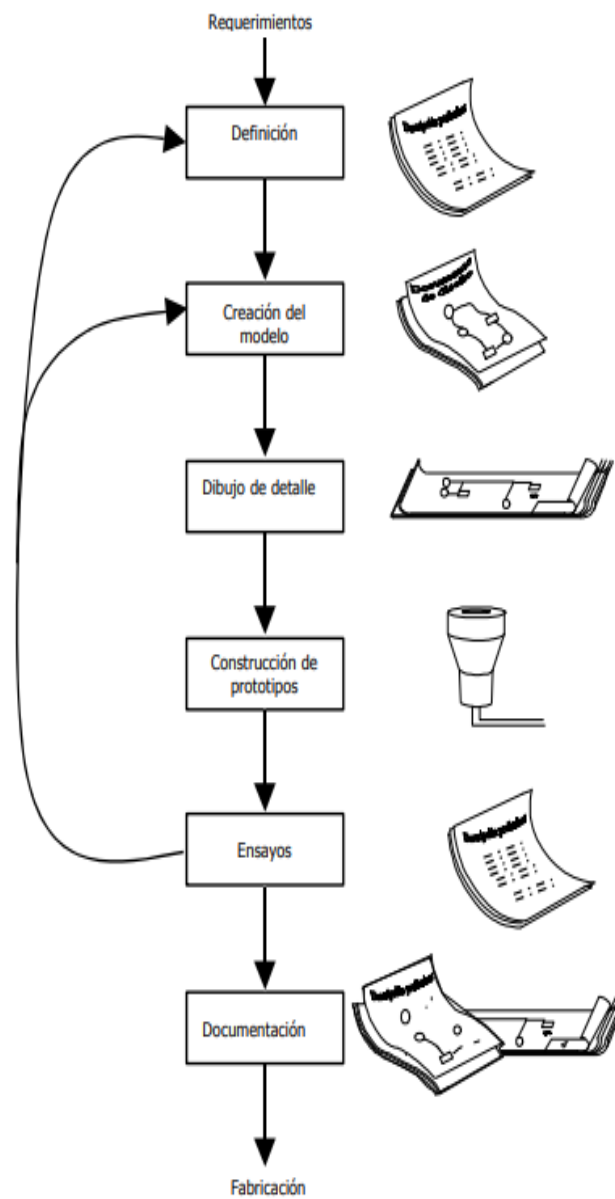


Figura 4. Proceso Clásico del diseño [2].

1. Definición: Se definen las características del diseño.
2. Creación del modelo: Elaboración del modelo con su correspondiente documentación
3. Dibujo de detalle: Se generan planos con el detalle suficiente para que su construcción sea viable.
4. Construcción de prototipos: Con la finalidad de detectar posibles errores de diseño.
5. Realización de ensayos: Se realizan pruebas con el fin de determinar si el modelo es válido o no. Si no se aprecian fallos en el prototipo, se valida el modelo para poder construirlo. En cambio, si se detecta algún fallo se retrocede a la etapa de modelado para corregirlo; si el problema detectado es muy grave se volvería al paso inicial para cambiar la definición realizada.
6. Documentación: La documentación debe contener la información suficiente para realizar la correcta construcción del producto [2].

Con la llegada de los ordenadores el proceso del diseño se innovó completamente ofreciendo nuevas maneras de realizar todo este proceso de forma más eficaz y rápida. El éxito en la utilización de sistemas CAD radica en la reducción de tiempo invertido en los ciclos de exploración gracias al uso de software gráficos que permiten realizar modificaciones al modelo y visualizar el resultado al instante. De esta manera se puede realizar automáticamente el dibujo de detalle y la documentación del diseño, y se posibilita la utilización de métodos numéricos para realizar simulaciones sobre el modelo, como una alternativa a la construcción de prototipos. De esta manera se ahorra mucho tiempo en el proceso del diseño y en la verificación del mismo.

En el proceso del diseño hay dos distintos campos vitales a tener en cuenta: El Pensamiento Crítico (PC) y el Pensamiento Gráfico (PG).

El Pensamiento Crítico es ese modo de pensar según el cual el pensante mejora la calidad de su pensamiento al apoderarse de las estructuras inherentes al acto de pensar y someterlas a estándares intelectuales [3].

El Pensamiento Gráfico es un concepto creado para designar el pensamiento asistido por el dibujo. Se trata, por tanto, de un tipo de dibujo que debe entenderse como un medio para descubrir, y no como una forma de expresión artística con una finalidad estética [3].

De esta manera todo buen diseñador tendrá que tener tanto pensamiento crítico como gráfico para la correcta creación de los distintos productos. Este tiene que ser capaz de observar las variaciones posibles, cómo afectaría a su correcto funcionamiento y solucionar los posibles errores que se den de manera eficaz y lógica.

7.3 IMPRESIÓN 3D

La impresión 3D es un proceso de fabricación de capas aditivas que da flexibilidad a la hora de diseñar distintas geometrías. Este proceso de impresión consta de dos etapas:

- 1- La transferencia de los datos del software a la impresora. (Diseño realizado por CAD)
- 2- La impresión y superposición de distintas capas adheridas entre sí.

El diseño pensado para este trabajo de fin de grado está ideado para realizarlo por modelado por deposición fundida. Este proceso consiste en extrudir y fundir un hilo de material a través de una boquilla e ir depositándolo por capas hasta crear el objeto deseado. Se puede observar un esquema sencillo del proceso en la Figura 5. El cabezal que expulsa el material puede moverse a lo largo de los tres ejes (X Y Z) y de esta forma se consigue crear un elemento de tres dimensiones. Para impresoras de mesa el material más usado es el plástico ABS, el cual es suministrado en una bobina y actualmente está disponible en diferentes colores [4].

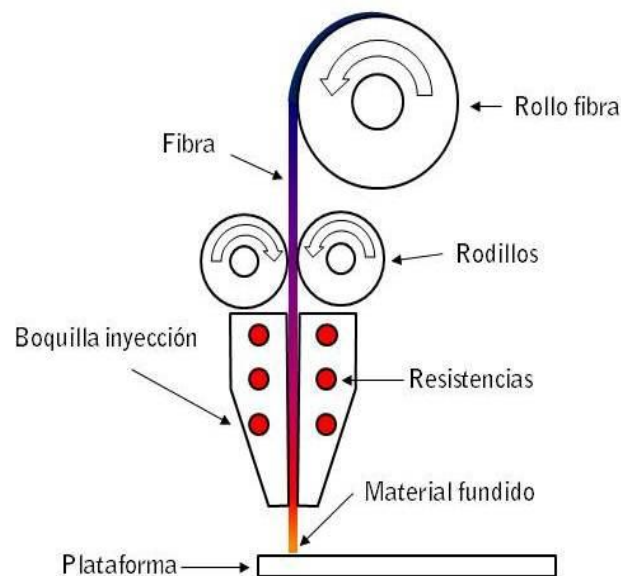


Figura 5. Sistema de Inyección de material por modelado por deposición fundida [4].

Cada día se está innovando y perfeccionando más en la técnica de impresión 3D ya que aporta grandes ventajas. Algunas de las ventajas más destacables son la flexibilidad y personalización a la hora de diseñar un producto, la posibilidad de realizar prototipos de productos para comprobaciones y la reducción en el coste de fabricación.

7.4 DISEÑO GENERATIVO

El diseño generativo es un proceso de búsqueda de formas que imita el enfoque evolutivo de la naturaleza para aplicarlo al diseño. De esta manera, el usuario impone unos requisitos tales como el material, la carga que debe soportar y el método de fabricación utilizado y el software genera la mayor cantidad de resultados posibles dentro de las restricciones impuestas. El desarrollo de esta tecnología se basa en la posibilidad de crear distintas geometrías gracias al uso de la fabricación aditiva y la impresión 3D. Está demostrado que ahorra en tiempo, dinero y peso y además aumenta la creatividad ofreciendo geometrías muy eficientes [5].

Detrás de este proceso se tiene definiciones algorítmicas que permiten acceder de un modo inteligente a un sinfín de formas a la vez que el usuario define las necesidades que debe satisfacer la pieza. El algoritmo se basa en física y matemáticas, no tiene conocimiento biológico, pero como la naturaleza se rige por las leyes físicas, la simulación llega a la misma solución que llega la naturaleza [6]. Hasta ahora, con el diseño tradicional un usuario usando sus conocimientos usaba el ordenador como herramienta y esto derivaba en unas opciones de diseño limitadas.

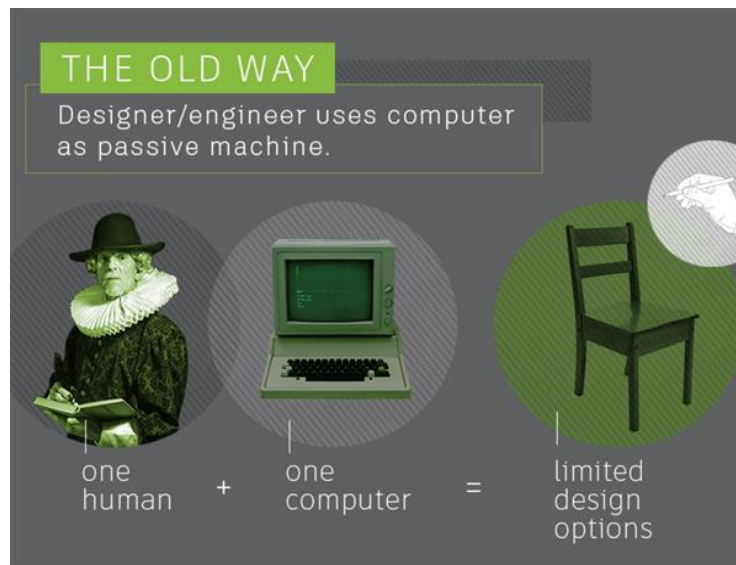


Figura 6. Uso de del ordenador de forma pasiva para realizar diseños [5].

En cambio con la implantación del diseño generativo lo que se quiere conseguir es aprovechar todo el potencial que puede ofrecer un ordenador. Por lo que serán vitales tanto los conocimientos del usuario como la potencia de la máquina para producir un producto óptimo. El usuario especifica los requisitos que debe cumplir el diseño, el algoritmo identifica estos parámetros y genera potenciales soluciones paralelas hasta encontrar la mejor solución funcional con los criterios que han sido definidos [5].

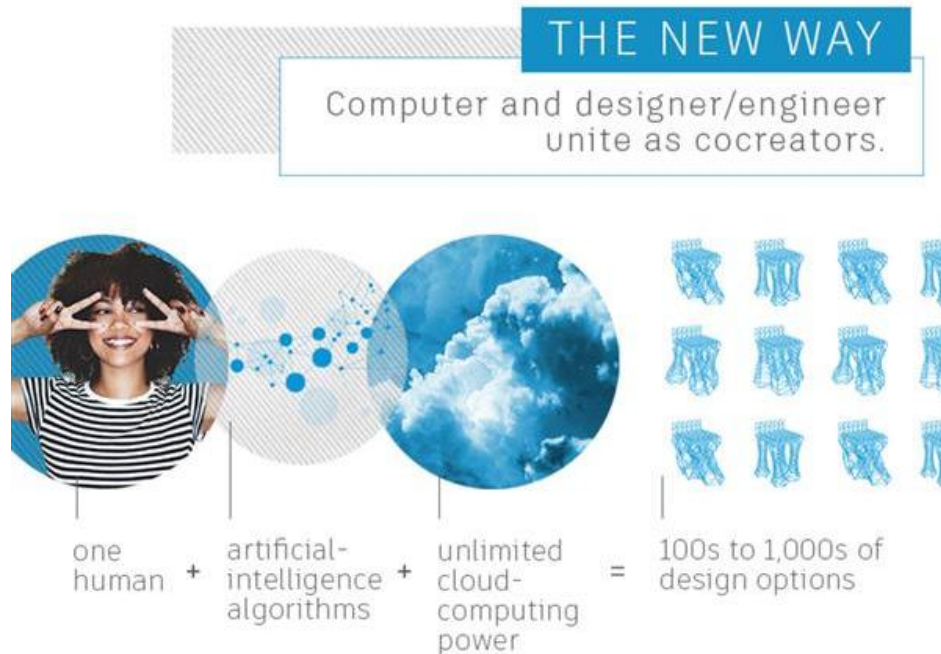


Figura 7. Resultado de la unión del ordenador y el usuario como co-creadores usando diseño generativo [5].

De esta manera se pasará de la obtención de una única solución a varias alternativas posibles. El Vicepresidente sénior de Autodesk (compañía dedicada al software de diseño en 2D y 3D) explica como esta tecnología ya disponible en sus productos abre nuevas fronteras en materia de diseño. “Es posible que el resultado ni siquiera se parezca a lo que tenías en mente pero esa es precisamente la promesa del diseño generativo” [7].

Todavía se está desarrollando y queda ver todos los beneficios que puede llegar a aportar este tipo de tecnología pero posiblemente pueda cambiar radicalmente la forma de diseñar y crear objetos en el futuro. Cabe destacar que todo esto se realiza gracias a las especificaciones que el usuario da al ordenador. Por lo que se necesitan expertos en la materia para definir el producto deseado correctamente y elegir el resultado más adecuado para la función deseada que se le quiera dar a dicho objeto [6].

Hoy en día ya se pueden empezar a ver ejemplos de objetos creados por diseño generativo. Algunas empresas han visto el potencial que esta nueva herramienta ofrece y han decidido ser pioneros y crear productos innovadores.

MX3D ha diseñado un puente de metal mediante diseño generativo completamente funcional para cruzar uno de los canales más antiguos y famosos del centro de Ámsterdam, el Oudezijds Achterburgwal. [8] Este puente creado completamente por impresión 3D tendrá una serie de sensores que recopilará información estructural como la tensión, el desplazamiento y la vibración. Asimismo, medirá factores ambientales como la calidad del aire y la temperatura para que se pueda observar en tiempo real el estado del puente y los cambios que padece. Además, estos sensores permitirán al puente adaptarse a los cambios que experimente para mayor seguridad de los peatones [9].

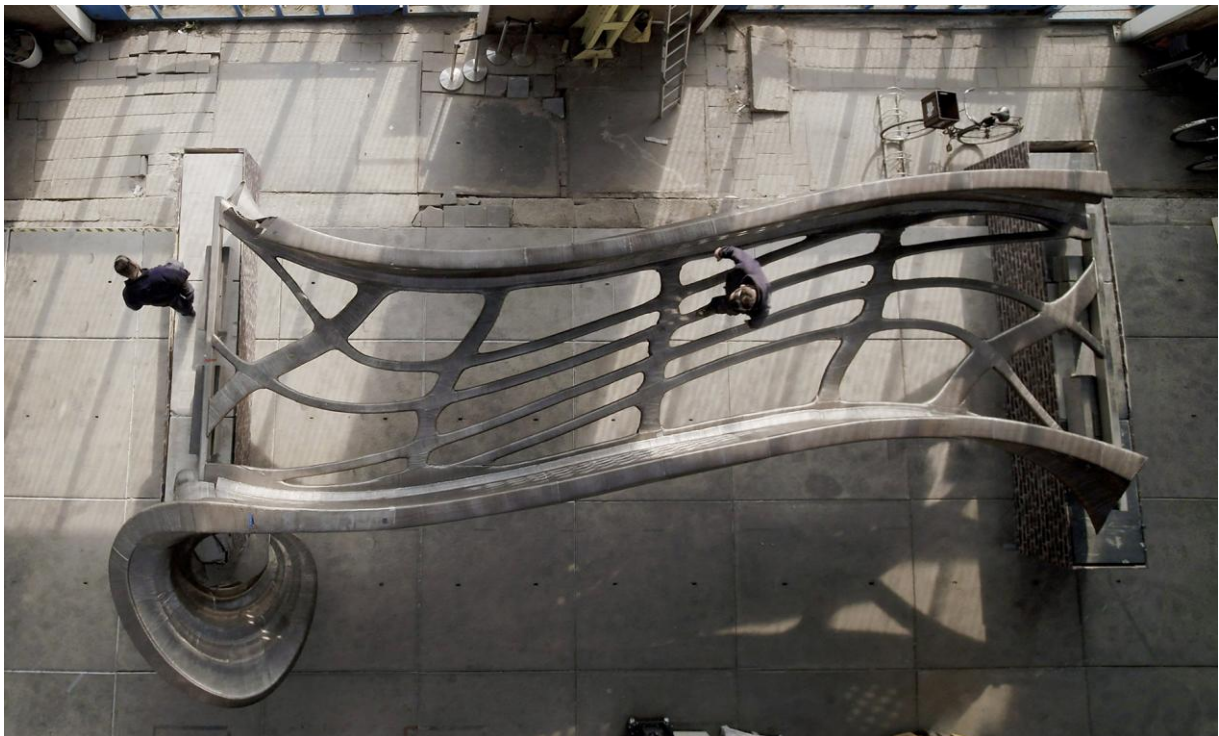


Figura 8. Primer puente de metal por impresión 3D basado en Diseño generativo [9].



Figura 9. Zapatillas creadas por el fabricante de ropa Under Armour mediante diseño generativo [10].

En la Figura 9 se aprecia unas zapatillas diseñadas mediante diseño generativo y fabricadas por impresión 3D. Architech no es el primer intento de serie de zapatos producidos por impresión 3D ya que marcas famosas como Nike, Adidas y New Balance están compitiendo entre ellas para crear calzado de este estilo. No obstante, Under Armour es la primera marca en comercializar este producto innovador aunque en oferta limitada por ahora ya que solo ha puesto en venta 96 pares a \$300 cada uno. Si tiene buena acogida en el mercado cabe la posibilidad de que comercialice este tipo de calzado en masa [10].

7.4.1 Diseño generativo en Solid Edge

En este trabajo de fin de grado se decidió usar el software Solid Edge para realizar el diseño ya que este software tiene una versión académica gratuita posible de instalar en el ordenador personal y así poder hacer el trabajo con más flexibilidad desde casa y no depender de los horarios de la universidad de Ingeniería de Bilbao. En la nueva versión del Solid Edge se implantó el nuevo módulo de Diseño Generativo que hace uso de la optimización Topológica. Esta optimización es un método matemático que optimiza la disposición del material de forma que la solución final que ofrece cumpla con los requisitos de diseño prescritos. Por lo que su principal objetivo es el aligeramiento estructural, para reducir tanto en peso como en el precio final del producto. Esta reducción de peso puede ser muy beneficiosa para ciertas aplicaciones donde esta característica puede ser vital, por ejemplo en campos como la industria aeroespacial.

Para ello, el software propone una solución para cada pieza que compone el conjunto. En cada pieza se tiene que hacer un estudio generativo distinto donde se especifica sus características. En primer lugar se define el espacio de diseño y las regiones que se quieren preservar en el estudio, como por ejemplo los agujeros. Después se debe de poner las cargas que debe soportar el conjunto especificando las secciones fijas o articuladas. Por último habrá que definir la forma de fabricación y la cantidad de masa que se desea reducir. Se puede variar estas características en cada estudio y ver cómo afecta cada restricción en la solución que se obtiene. Además, como se puede especificar la cantidad de masa a reducir y la calidad del estudio, se pueden obtener distintos modelos variando en el tiempo y material invertido en el proceso. A medida que la calidad sea mayor, el tiempo que necesitará el software para dar una solución posible aumentará, ya que trabaja de manera iterativa hasta llegar a lo que él considere la solución más adecuada [11].

8 REALIZACIÓN DEL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

8.1 EVOLUCIÓN Y PROBLEMAS EN EL PROCESO

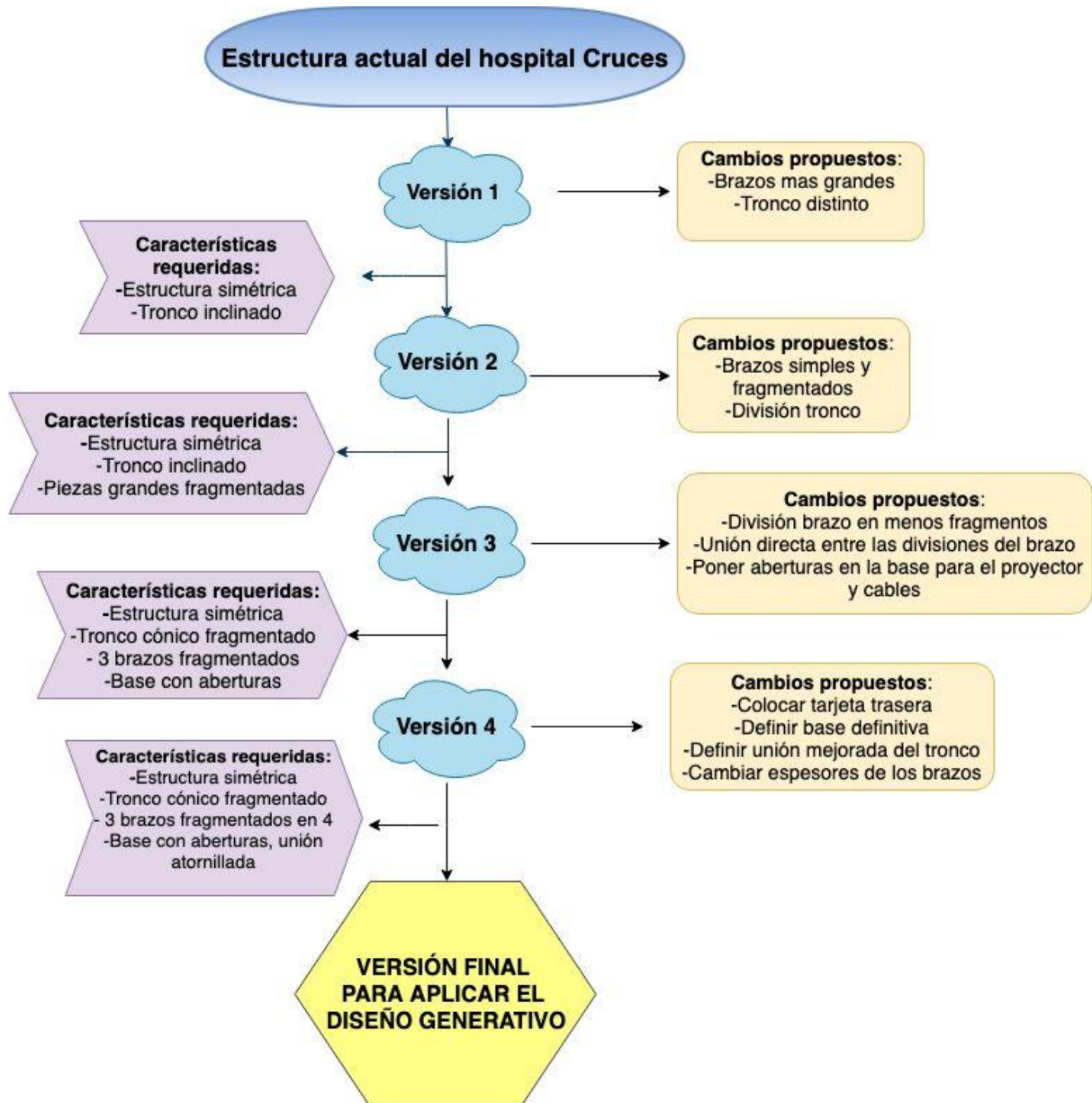


Figura 10. Descripción del proceso del diseño realizado.

8.1.1 Primera versión

En el esquema anterior se ve resumido el proceso seguido durante el diseño, los pasos y cambios realizados hasta llegar a una solución adecuada que posteriormente con el fin de optimizarlo se aplica el diseño generativo. En primer lugar se plantea una versión inicial para tener algo con lo que empezar y así modificándolo evolucionar poco a poco a una solución. La idea es hacer uso del chasis para proteger las tarjetas y cámaras que ya se fabricó para el prototipo que se encuentra en el hospital de Cruces. La finalidad que se busca es crear una estructura para soportar y disponer de forma correcta doce cámaras de manera que fotografíen la cara de un paciente. La primera idea es hacer una estructura simétrica, ya que es más simple de esa forma tanto para diseñarlo como para calibrar las cámaras posteriormente.

Se crea un modelo con un tronco central con dos brazos a cada lado. Cada brazo dispondrá de tres cámaras y los cables de las tarjetas Raspberry irán por el interior de estos brazos, saliendo así por el lado inferior del tronco central para mantener una estética bonita y tener los cables agrupados y ordenados correctamente. De esta forma entre los brazos se dispondrá de doce cámaras en total, seis por lado y tres por brazo. Las ramas en forma triangular se debe a que se quiere aprovechar las cajas ya fabricadas, por ello la cara delantera es plana donde se apoyarán estas cajas. Y en la parte trasera se intenta reducir material, ya que la única función tener espacio para que los cables vayan por el interior de los brazos. En cuanto a la base se ha planteado decidir su diseño más adelante porque se prefiere pensar en qué forma llevará la estructura por la parte superior, y luego acorde a esta, diseñar una correcta base que la sostenga. Por ello se pone una base circular para presentar la primera versión del diseño pero sabiendo que esto no es lo deseado en principio.

No se ha tenido en cuenta las medidas ni distancias que habrá que dejar exactamente en el modelo ya que se hace una aproximación para decidir la forma que se desea y ya definir las distancias exactas en otra versión más adelante. El diseño pensado es el que se puede apreciar en la Figura 11.

Una vez creado este modelo se analiza sus posibles modificaciones. Se piensa que con esta distribución es posible que las cámaras no capten todos los puntos de interés para recrear de manera correcta la cara del paciente. Por lo que para la siguiente versión se planteará una distribución de las cámaras más variada para que esto no ocurra.

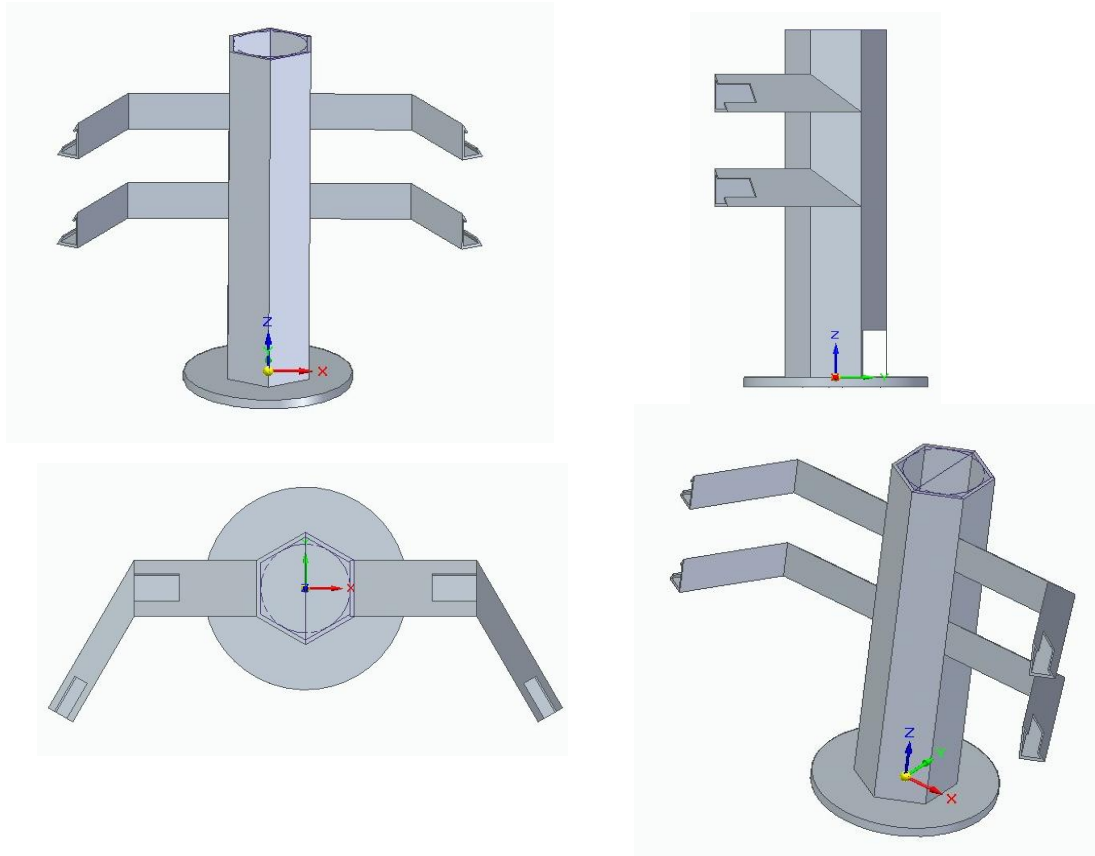


Figura 11. Alzado, planta, perfil y vista 3D de la versión inicial de la estructura.

Se enumera las partes que no se desean en futuras versiones:

- Tronco hexagonal recto. La cantidad de cables que contenga el tronco por su parte superior e inferior varía por lo que se ha decidido que es mejor una inclinación para ahorrar material.
- Una base circular plana
- Brazos que no distribuyen correctamente las cámaras

Se definen las características requeridas para la siguiente versión:

- Estructura simétrica
- Tronco inclinado
- Nueva base

Cambios a realizar para la siguiente versión:

- Unos brazos que abarquen mas superficie
- Cambiar tronco
- Pensar en una posible base

8.1.2 Segunda Versión

Tanto para la primera como para esta segunda versión no se ha pensado tanto en las uniones y más en encontrar una forma adecuada para luego trabajar sobre ella. En este caso se ha inspirado en la forma de un árbol. Para ello se diseña lo que sería el tronco y dos ramas centrales de las cuales saldrán ramas más pequeñas como se puede observar en la Figura 12. De esta manera en las ramas más pequeñas se pueden alojar las cámaras de forma que tengan la inclinación o forma deseada para llegar a todos los puntos que se quiera a la hora de sacar las fotografías. Se piensa en poner dos cámaras en el centro. Una arriba y otra abajo (para fotografiar correctamente la parte inferior de la nariz ya que es una zona de gran interés para diseñar las mascarillas). Luego en cada rama se colocarán cinco cámaras, una en el centro y las otras cuatro distribuidas en cada subrama. De este modo, dependiendo de la forma que se le dé a cada rama se puede abarcar todos los posibles puntos de interés. No obstante se piensa que no es apto para ser fabricado por adicción en las impresoras por su geometría compleja.

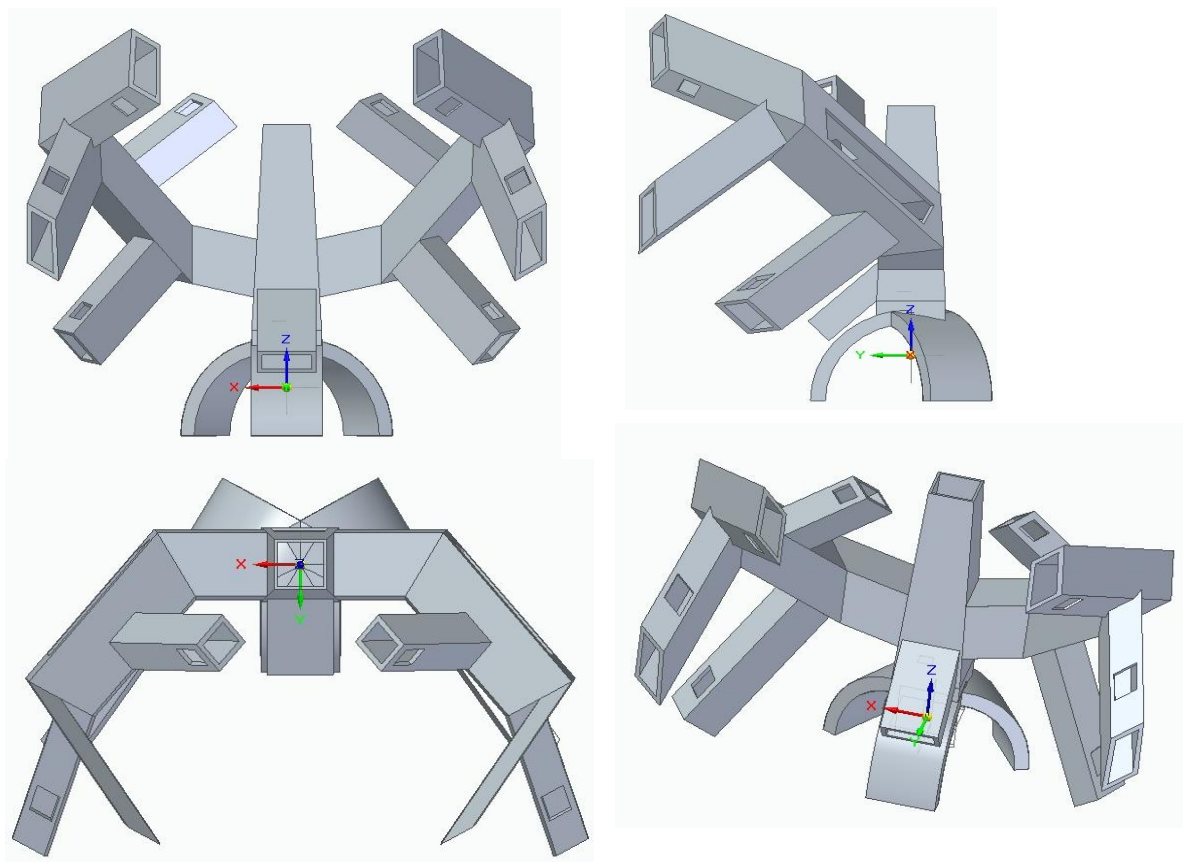


Figura 12. Alzado, planta, perfil y vista 3D de la segunda versión de la estructura.

La complejidad del conjunto se debe a sus brazos grandes con ángulos difíciles de definir. Además la base que se ha pensado difícilmente sostendría dicha estructura. A partir de esta versión se plantea simplificar las formas con el fin de desarrollar piezas más simples para imprimir, no tan grandes, de forma que se puedan unir entre sí hasta formar lo que sería el brazo que con los cables por su interior.

Se definen las características requeridas para la siguiente versión:

- Estructura simétrica
- Tronco inclinado
- Modelo más simple capaz de ser construido por trozos e unirlos posteriormente

Cambios a realizar para la siguiente versión:

- Nueva base
- Simplificación y división del brazo en partes iguales y más pequeñas
- División del tronco en partes menores

8.1.3 Tercera versión

Se empieza a reflexionar en la forma de poder fabricar la estructura con posibles uniones que esta podría tener. Se piensa en hacer un tronco cónico a trozos, cuatro en principio. Esta idea cumple todos los requisitos exigidos y se plantea que así sea el diseño en principio. El brazo en la anterior versión se ha decidido cambiarlo y dividirlo en fragmentos pequeños e iguales. Hay que plantear una forma de unir los trozos y para ello se considera realizar una barra semicircular que los una y esta, esté unida al tronco central. Esta barra valdría como elemento de unión y daría rigidez al brazo. Sin embargo se descartará para futuras versiones ya que puede ser un malgasto innecesario de material y aportaría peso evitable a la estructura. Por otra parte, la cantidad de fragmentos por brazo es excesiva. Para el futuro se piensa en reducir este número.

En cuanto a la base se razona que se va a necesitar colocar el proyector en la parte inferior para que proyecte el patrón de referencia para que las fotografías construyan el objeto virtual correctamente. Se analiza la posibilidad de hacer una base con un agujero trasero para los cables y otro delantero para el proyector. No obstante, que la base esté cerrada completamente puede dificultar el posicionamiento correcto del proyector. Por lo tanto se planteará que tenga aberturas más espaciosas.

Las aproximaciones realizadas para determinar el diámetro del brazo se creen que son excesivas. Se había planteado de tal forma que los brazos quedaban casi de un metro y no era necesario que fuera tan largo. En la disposición de las cámaras de la estructura que se encuentra actualmente en Cruces se ve que no requiere brazos tan grandes por lo que se decide reducir el diámetro de estos para ahorrar material y de esta forma que la estructura sea más estable y ligera.

Se colocan por primera vez las cajas sobre el modelo para ver como quedaría. Se plantea la posibilidad de usar imanes para la unión de estas cajas al brazo. De esta forma se podría modificar la cantidad de tarjetas y cámaras, quitando o añadiendo más, si fuera necesario colocando algún imán de más en posibles zonas. Esta idea por atractiva que sea se razona que puede incrementar los costes y se decide que las cajas irán atornilladas a la estructura. Si hay que cambiar alguna se puede desmontar fácilmente y los tornillos son más baratos.

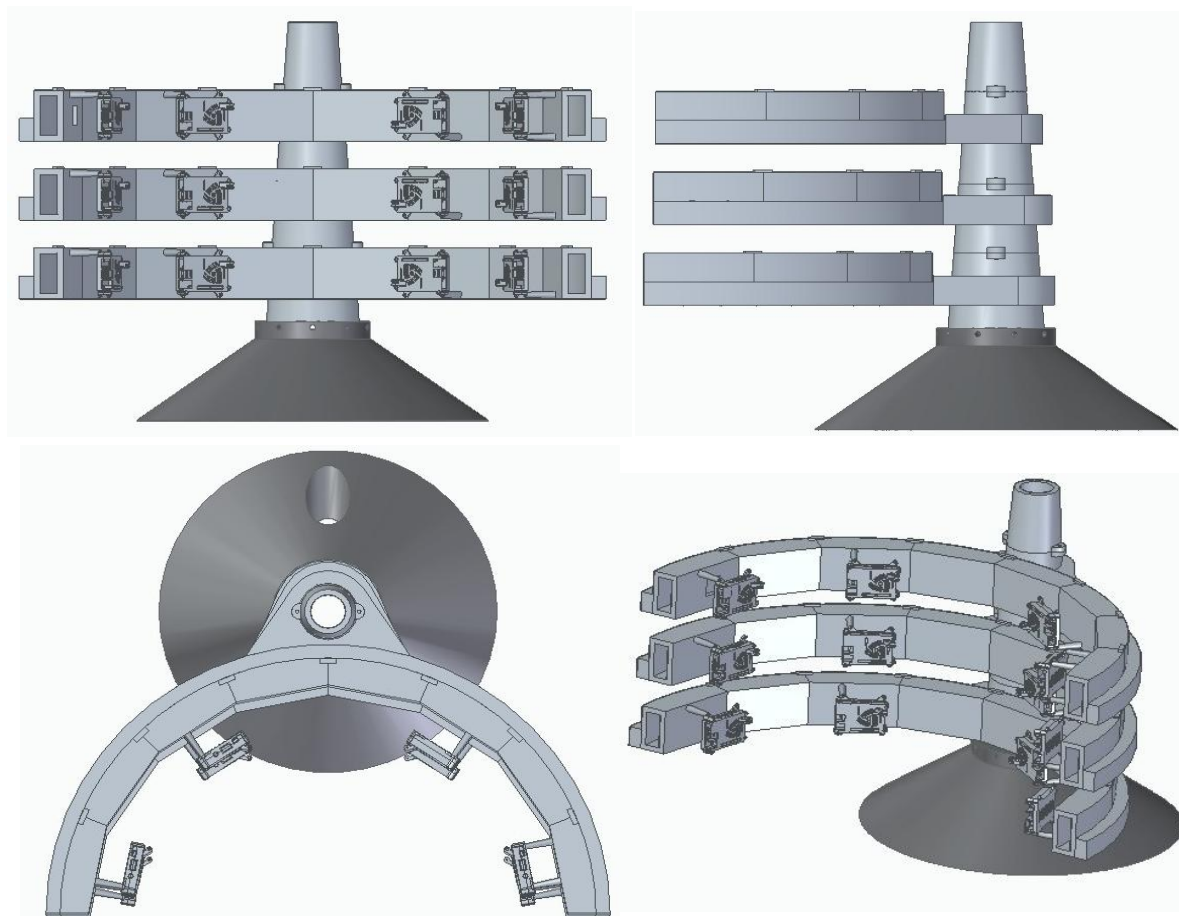


Figura 13. Alzado, planta, perfil y vista 3D de la tercera versión de la estructura.

Se definen las características requeridas para la siguiente versión:

- Estructura simétrica
- Tronco cónico, por partes para fabricarlo y montarlo fácilmente
- Base con aberturas
- Tres brazos, divididos por partes para fabricarlos y montarlos fácilmente

Cambios a realizar para la siguiente versión:

- Dividir el brazo en menos fragmentos y disminuir el tamaño del brazo.
- Eliminar la barra rígida
- Plantear unión directa entre los fragmentos de los brazos
- Poner aberturas amplias en la base para los cables y para el proyector.

8.1.4 Cuarta versión

La reducción del diámetro de los brazos es positiva. Se crea una estructura más compacta, se ahorra en material y es más estable de esta forma. Además, en la anterior versión se abarcaba partes de la cabeza que no eran necesarias ya que la zona que interesa analizar es la parte de la boca para la mascarilla por lo que no se necesita la disposición que se había creado en la anterior versión. La unión atornillada trasera del tronco es poco estable ante posibles movimientos en la estructura, tanto accidentales como posibles traslados que se deban hacer. Por lo tanto, se plantea bajar la juntura de la rama de forma que se atornille a la vez el brazo con la unión entre los troncos. Se aprecia que el atornillado de la cajera al brazo podría fallar por el poco espesor del fragmento en esa zona, en consecuencia, se decide añadir espesor en la zona del atornillado y quitarlo en las caras que no lo requieran.

Además de las doce tarjetas Raspberry con sus respectivas cámaras hay que colocar una tarjeta sin cámara. Por lo que hay que elegir en un lugar que no moleste y no sea visible. Se piensa en ponerlo en el enlace inferior del brazo al tronco atornillándolo por arriba e introducir sus dos cables directamente al tronco. El problema es que de esta manera sobresale parcialmente por lo que no queda bien estéticamente. Se piensa en una solución y se decide probar en ponerlo en la parte trasera del trozo central del brazo inferior. De esta forma queda más escondido y se pueden meter los cables por el interior del fragmento del brazo para que no sean visibles y estos vayan al interior del tronco cónico. Por el inferior del tronco cónico saldrán todos los cables.

Se propone crear una base que esté atornillada por diez tornillos al tronco cónico pero se deja su diseño para cuando la estructura superior esté definida del todo. Se definen pequeños cambios que hacer por lo que la siguiente versión será la definitiva. De esta manera se podrá empezar a probar las posibilidades de usar diseño generativo en distintas piezas de la estructura.

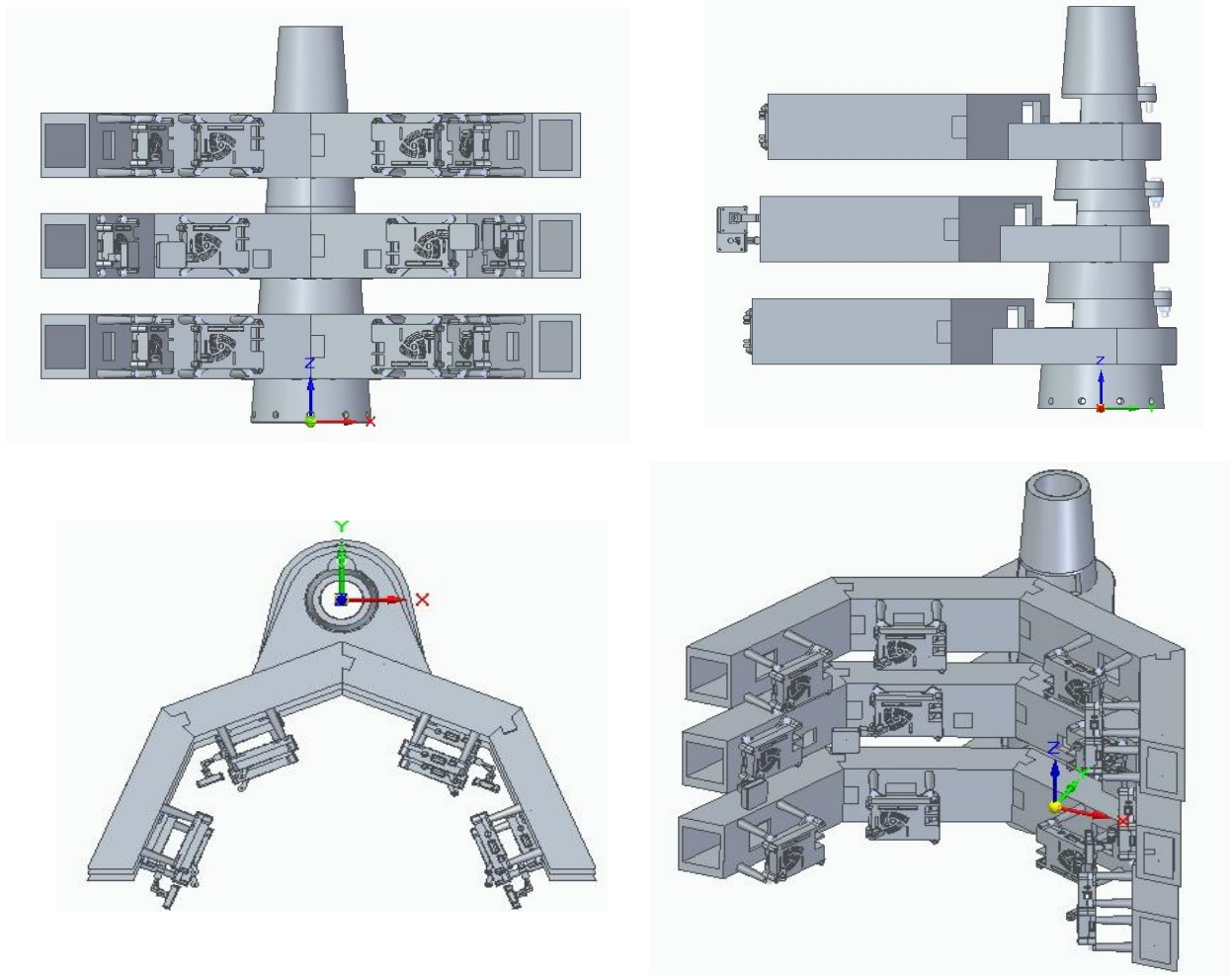


Figura 14. Alzado, planta, perfil y vista 3D de la cuarta versión de la estructura.

Se definen las características requeridas para la siguiente versión:

- Estructura simétrica
- Tronco cónico, dividido en tres partes para fabricarlo y montarlo fácilmente
- Base con aberturas
- Tres brazos, divididos en cuatro
- Se plantea poner distintas posibles soluciones con alternativas. Estas alternativas serian las siguientes:
 - Brazo pegado de forma permanente
 - Brazo atornillado, fácilmente desmontable
 - Posibilidad de instalar las cajas directamente en el brazo central, sin usar los tronco como unión al brazo. Esta alternativa se plantea si a la hora de calibrar las cámaras, el brazo central, que es el más restrictivo en cuanto a distancia, quede de manera que las cámaras estén demasiado cerca del sujeto.

Cambios a realizar para la siguiente versión:

- Crear las alternativas propuestas
- Colocar la tarjeta trasera
- Crear la base definitiva
- Cambiar el espesor de los fragmentos del brazo
- Trasladar la parte atornillada del troco

8.2 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

Se ha llegado a una versión final a la que se le aplicará posteriormente el diseño generativo. En esta versión definitiva se han incluido todas las características que se han decidido que son importantes a lo largo del proceso de su diseño. La solución final es una estructura simétrica con un tronco central y tres ramas como se puede observar en la Figura 15. Cada rama está dividida en cuatro fragmentos y cada uno de estos sostendrá una cámara. Toda la estructura esta soportada por una base de diámetro amplio y hueco ya que es donde se piensa colocar el proyector, necesario para realizar los escáneres faciales. También se necesita poner luz en la estructura ya que si no los escáneres no obtienen suficiente luz y no se realizan correctamente. La luz se piensa poner como en el prototipo que se encuentra en Cruces, con unas tiras de luces LED, fácil de colocar en cualquier parte. Aun así, se decide que es mejor pensar en cómo ponerlas después de aplicar el diseño generativo, ya que se espera que las piezas que se obtengan tengan suficientes aberturas para colocar el entramado de luces alrededor de las ramas sin ninguna dificultad.

La estructura diseñada es completamente desmontable por lo que cada pieza ira atornillada para su correcta sujeción. Asimismo, se ha pensado una simplificación de esta en una versión desmontable parcialmente, en la que los brazos irían pegados de forma permanente y tanto las cámaras, tronco o la base irían atornilladas. De esta manera se plantea la posibilidad de poder cambiar las cámaras o tarjetas fácilmente para el mantenimiento de la estructura pero dejando partes fijas.

De igual manera, en el trabajo de fin de grado de Laura Barón se observa como el escáner del prototipo no sale adecuadamente la parte de la nariz, una parte vital en la realización de la junta para la mascarilla que se está diseñando. Por lo que en este trabajo de fin de grado se ha reflexionado sobre la posibilidad de disponer algunas cámaras con el chasis atornillado directamente a la estructura. Específicamente se cree que si se da algún problema al calibrar las cámaras, este se dará en las cámaras centrales ya que son las más cercanas al paciente. Si se da el caso de estar demasiado cerca se puede atornillar directamente sin hacer uso de los troncos cónicos de 5cm que se usan para poner las cámaras más cercanas. Esto se ha pensado a raíz de la disminución del diámetro del brazo que se hizo entre la tercera y la cuarta versión. Se recuerda como esta disminución se hizo con el fin de ahorrar en material y aportar más estabilidad al conjunto.

En un análisis más detallado se va a analizar todos los elementos que constituyen la estructura. Se puede ver en grande en la Figura 15 el diseño completamente atornillado.

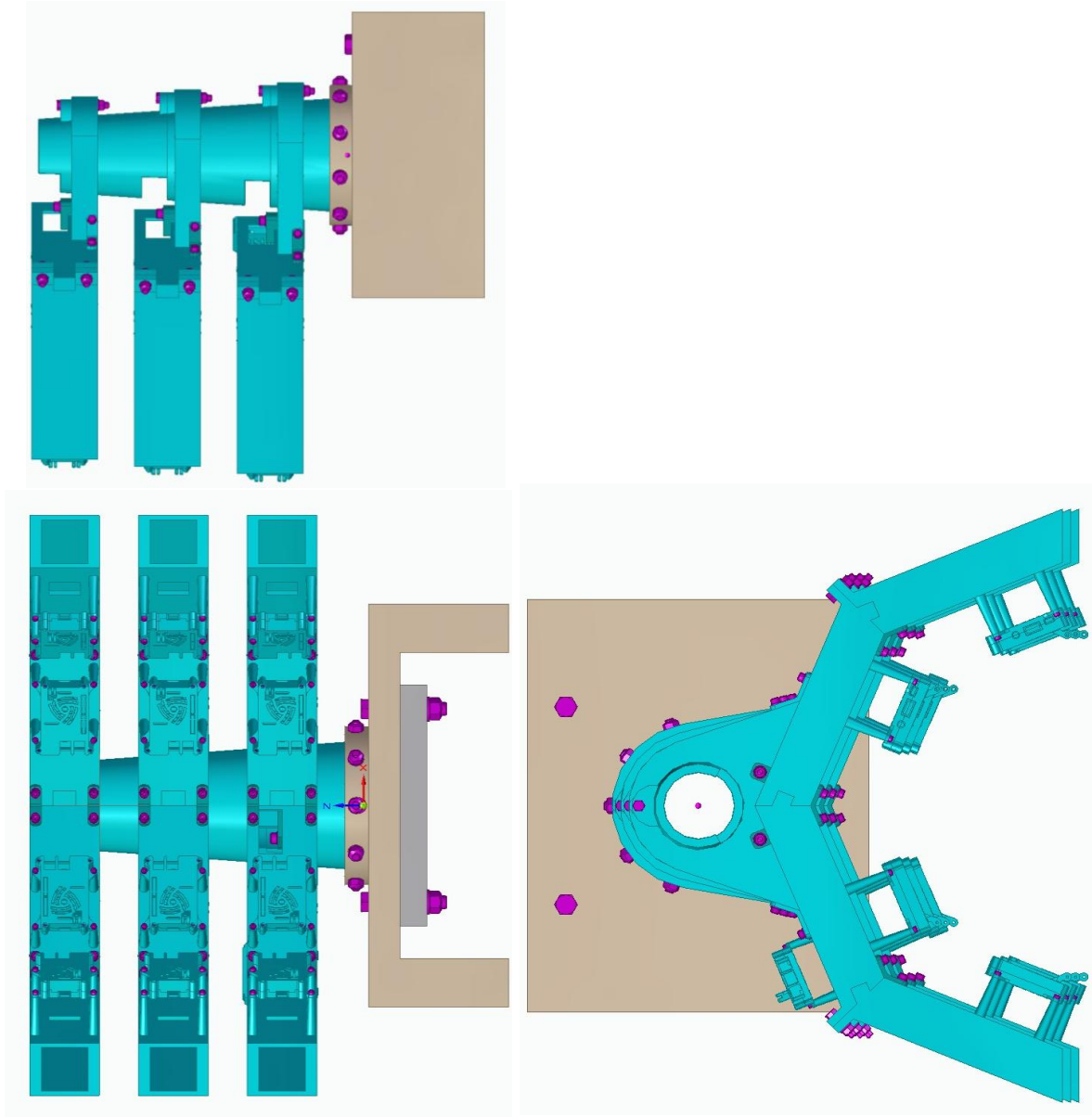


Figura 15. Alzado, planta y perfil de la solución propuesta para la estructura.

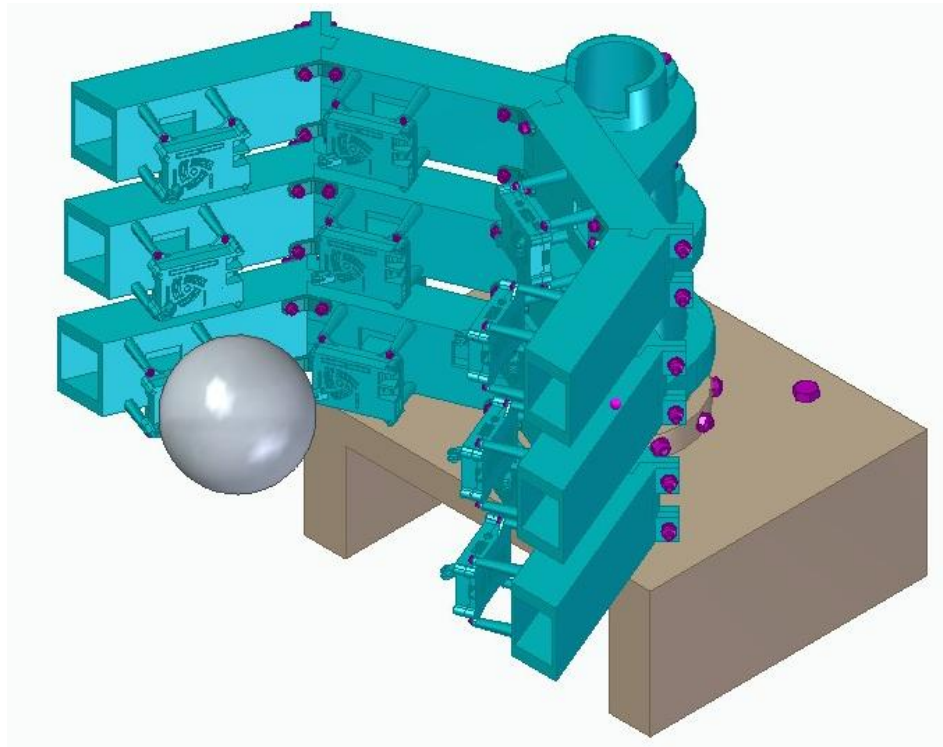


Figura 16.Vista en 3D de la solución propuesta para la estructura. Se aprecia la posición de la cabeza del sujeto respecto a la estructura.

En principio, toda la estructura, menos la base, será de ABS para hacerla fácilmente con la impresora 3D. Por lo que todo lo que se encuentra en azul, será el material ABS, y lo que se encuentra en morado, serán los elementos normalizados que se usarán para la correcta sujeción de la estructura.

El estudio de su estabilidad y su centro de masa se pretendía realizar una vez hecho el estudio generativo, para así dar una solución más precisa debido a la distinta reducción de material que experimentan las distintas piezas que componen el conjunto. Sin embargo durante el proceso del estudio generativo se ha llegado a la conclusión de que la licencia que se encuentra en la universidad no brinda todas las funciones que ofrece Solid Edge en el campo del diseño generativo. Este software tiene una extensión llamada Generative Pro, con la que se puede hacer uso completo de todas las funciones. En el caso de la licencia habilitada en la universidad, el estudio generativo se puede realizar definiendo todas las restricciones necesarias pero no se puede guardar el resultado para imprimirlo en 3D por ejemplo. Por consiguiente, se han obtenido las piezas del estudio pero no se han podido guardar de forma que se puedan analizar las características de estas. Además, tampoco se habilita la posibilidad de verlo en assembly. Aun así, una vez obtenido el estudio, convirtiéndolo a formato Parasolid y volviéndolo a abrir con el Solid Edge, se ha conseguido obtener una visualización de las piezas en el conjunto. Esta visualización obtenida no es la de una pieza normal, si no que lo

que se visualiza es su diagrama de esfuerzos. Por lo que se puede apreciar las partes que trabajan más una vez realizada la optimización de material.

Como no se pueden analizar las características de las piezas obtenidas, tampoco se puede saber su centro de gravedad exactamente. Por lo que para que la estructura sea estable después del estudio generativo, se ha calculado una base con el diseño original y se ha decidido no aplicar el diseño generativo a la base para asegurar que la estructura se sostenga correctamente.

En caso de que se quiere trasladar de sitio la estructura, se ha pensado en no usar un material muy pesado, por lo que se ha decidido realizar una base de madera. Para que la estructura se sostenga adecuadamente y no vuelque se ha introducido en la parte trasera de la base un contrapeso rectangular de plomo para aportar el peso necesario para ello. Este contrapeso se ha atornillado a la base por medio de dos tornillos. Los tornillos usados son tornillos hexagonales M16X100 DIN 931-8.8 [12], dos arandelas A 17 DIN125 F1120 [12] y dos tuercas hexagonales M16 DIN931 8.8 [12].

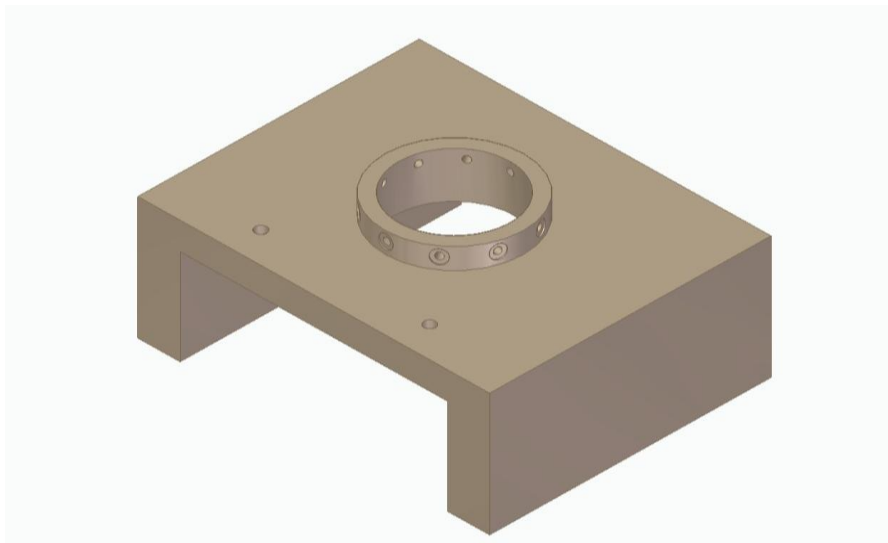


Figura 17. Base de la estructura.

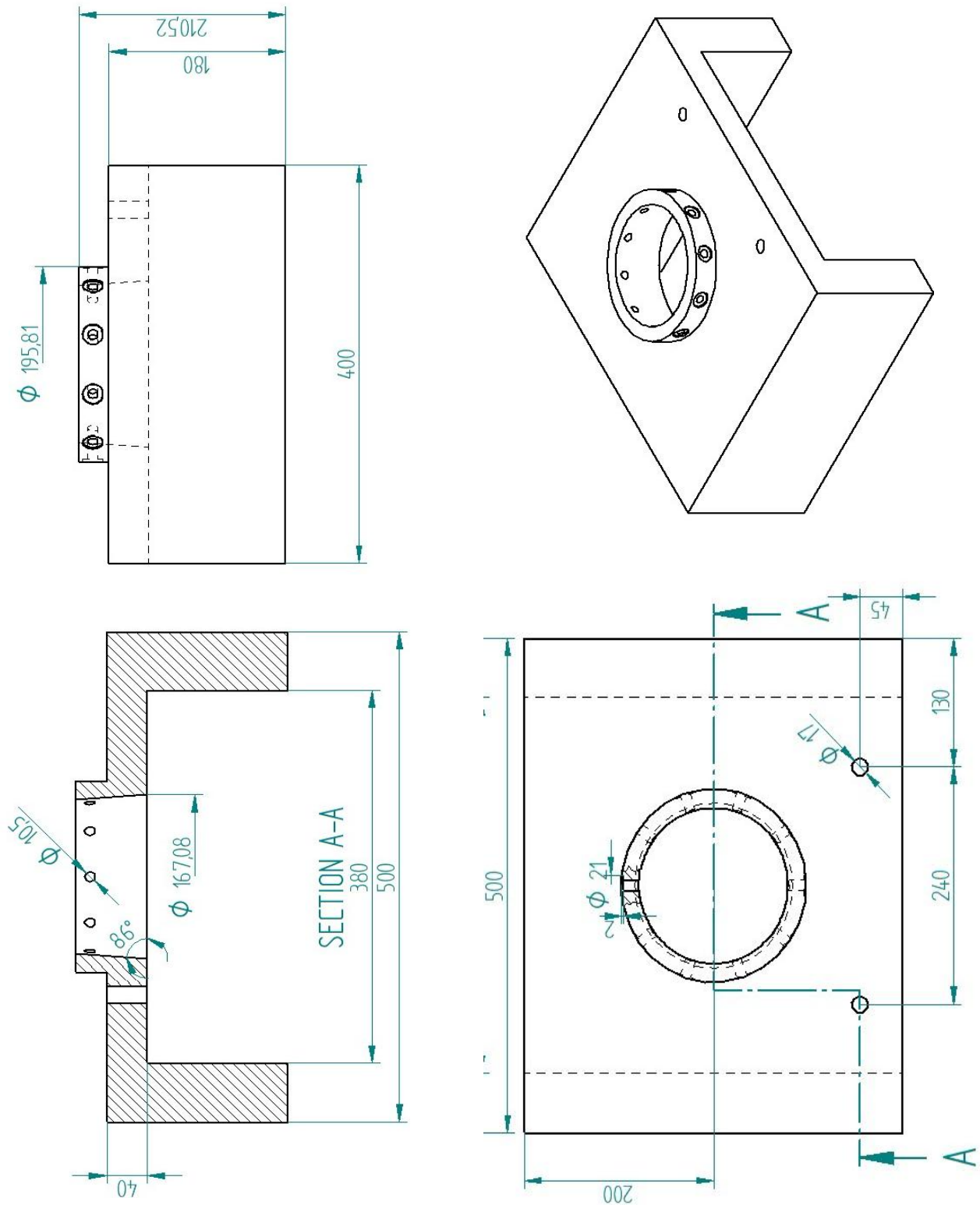


Figura 18. Plano constructivo de la base.

La abertura de la base está dispuesta de manera que se disponga el proyector en el centro y así pueda proyectar el patrón necesario en el sujeto. Además, por la zona en la que se enlaza al tronco, esta vaciado para que todos los cables que han atravesado el tronco salgan por la base.

Como contrapeso se usa una placa de plomo de 35mm x 300mm x 70mm dispuesta debajo de la base y atornillada.

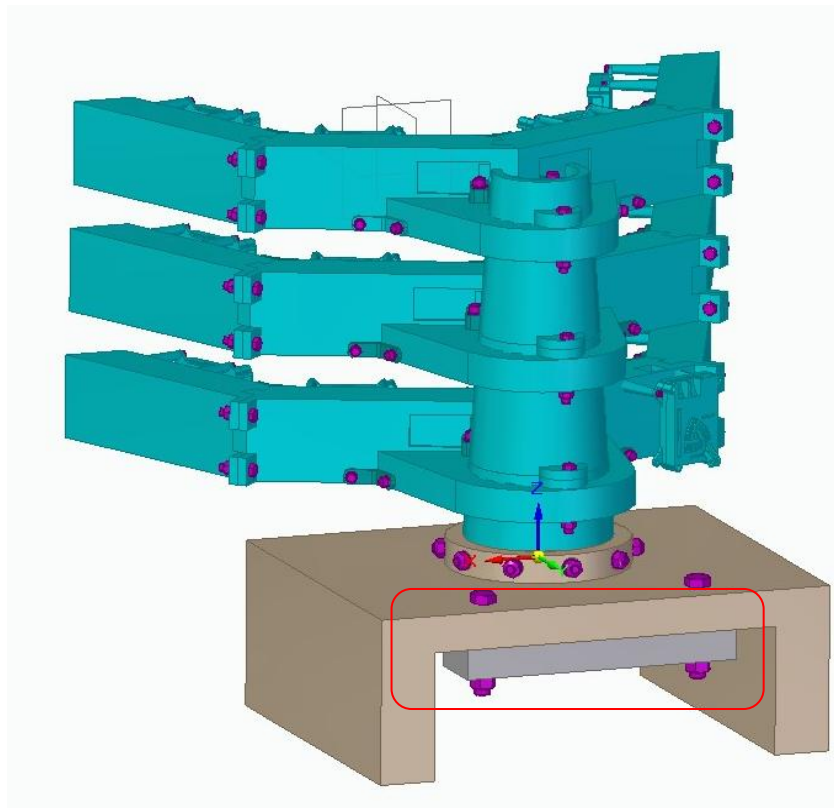


Figura 19. Contrapeso en la estructura en la parte inferior de la base.

De esta manera el programa Solid Edge permite saber donde se encuentra el centro de gravedad de toda la estructura sin realizar el diseño generativo. Como se aprecia en la Figura 20 la estructura diseñada pesará 31kg sin el diseño generativo y su centro de masa se situará no muy lejos del eje vertical del tronco.

Propiedades físicas - Elementos seleccionados ✕

Definidas por el usuario

Sistema de coordenadas: Espacio modelo

Actualizar al guardar

Global Principales

Masa: Volumen:

Masa de sustitución de cantidad: Usar como la masa del conjunto

| | |
|---|---|
| <p>Centro de masa</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Mostrar símbolo cm</p> <p>X: <input type="text" value="-0,34 mm"/></p> <p>Y: <input type="text" value="-30,53 mm"/></p> <p>Z: <input type="text" value="63,83 mm"/></p> | <p>Centro de volumen</p> <p><input type="checkbox"/> Mostrar símbolo cv</p> <p>X: <input type="text" value="-0,20 mm"/></p> <p>Y: <input type="text" value="-69,58 mm"/></p> <p>Z: <input type="text" value="63,77 mm"/></p> |
|---|---|

Momentos de inercia de la masa

| | | |
|---|--|---|
| bx: <input type="text" value="1,986 kg·m<sup>2</sup>"/> | ly: <input type="text" value="1,845 kg·m<sup>2</sup>"/> | lzz: <input type="text" value="1,792 kg·m<sup>2</sup>"/> |
| by: <input type="text" value="0,001 kg·m<sup>2</sup>"/> | bz: <input type="text" value="-0,001 kg·m<sup>2</sup>"/> | lyz: <input type="text" value="-0,635 kg·m<sup>2</sup>"/> |

Las propiedades físicas están desactualizadas.

Figura 20. Peso y centro de gravedad de la estructura completa.

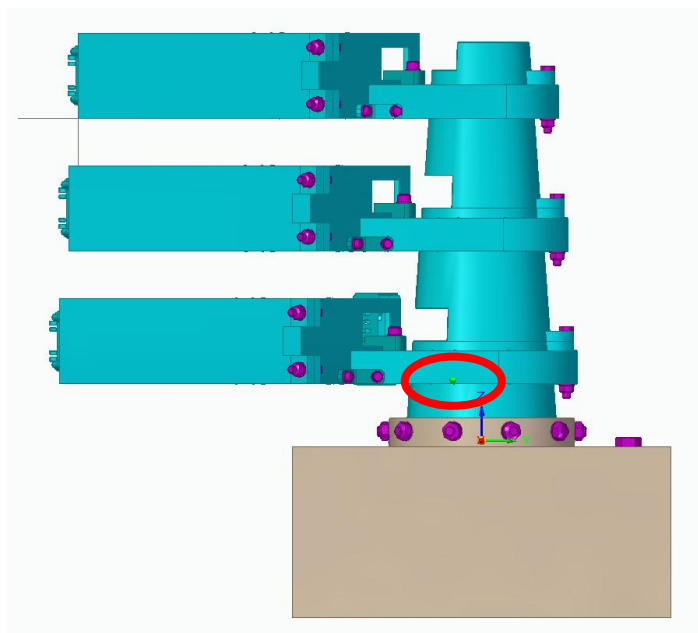


Figura 21. Localización del centro de masa en la estructura.

Hay variables como el peso de los cables y las tarjetas que no se han tenido en cuenta al calcular el centro de gravedad. Sin embargo, como al realizar el estudio se reduce la masa de la parte de la estructura que hace que esta vuelque, por mucho que los cables y tarjetas aporten peso, gracias a la forma de la base diseñada la estructura se mantendrá firme ya que las ramas tendrán una reducción de masa considerada.

En la parte superior de la base se encuentra la parte inferior del tronco. Este tronco está dividido en tres fragmentos para que el proceso de fabricación sea más sencillo. Cada fragmento del tronco está conectado con una rama. A simple vista las ramas parecen idénticas pero analizando más profundamente vemos como cada rama en su enlace con el tronco tiene diámetro distinto, ya que el tronco es cónico y con la altura de este, su radio disminuye. Por otro lado, la rama inferior tiene la tarjeta sin cámara en su parte trasera. Para ello se han realizado un par de aberturas para que los cables de esta tarjeta vayan por el interior del fragmento y así no molesten. Por lo demás las ramas son idénticas. Por lo que por mucho que se haya dicho desde el principio que la estructura es simétrica, existe esta pequeña variación que contradice que sea simétrica completamente.

Analizando una rama más detalladamente, por ejemplo la rama inferior, se ve como está dividido en cuatro fragmentos del mismo tamaño pero con distintas formas en los extremos para enlazar los fragmentos entre sí. Como ejemplo se puede ver de forma aislada el fragmento exterior de la rama en la Figura 22. Se aprecia la abertura cuadrada de 40mm x 40mm para que el cable Ethernet y el micro USB que van conectados a la tarjeta Raspberry pasen por el interior de la rama.

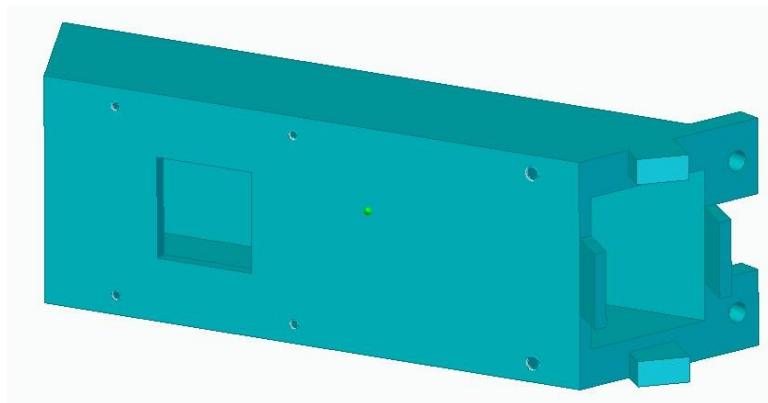


Figura 22. Fragmento exterior de la rama con sus aberturas y agujeros para enlazar los fragmentos entre sí.

Estos cables tienen unas clavijas de área 15mmx 15mm a lo sumo. Por ello el agujero se ha pensado para que sea un poco más amplio con el fin de que los cables entren sin ninguna dificultad. Estos cables cruzarán toda la rama hasta llegar al tronco cónico donde se introducirán por otra abertura que tiene este.

Para conectar las ramas se ha diseñado un elemento de enlace que irá atornillado. Los cuatro fragmentos juntos forman una rama de medio círculo para que las cámaras abarquen bien la cara del

paciente. En la unión de los fragmentos de la rama se tienen cuatro tornillos que enlazan un fragmento con otro. Los dos tornillos delanteros son tornillos cilíndricos M6x25 DIN 912-8.8 [12], que mediante una placa creada para este propósito específico, se atornilla por un lado a un fragmento y por el otro lado al otro fragmento como se puede ver en la Figura 23.

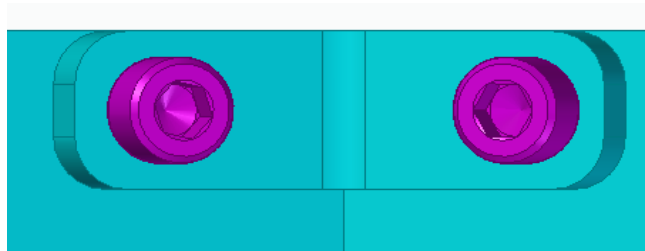


Figura 23. Enlace delantero de los fragmentos de la rama.

En la parte trasera como se ve en la Figura 24 hay dos tornillos hexagonales M8x35 DIN 931- 8.8 [12] con arandela A 10'5 DIN125 F1120 [12] y tuerca hexagonal M10 DIN934 [12]. De esta forma se asegura la correcta sujeción de los extremos de los fragmentos entre sí.

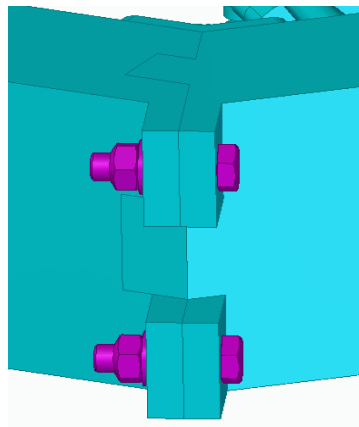


Figura 24. Parte trasera atornillada de los fragmentos de la rama.

En cada trozo hay cuatro agujeros para atornillar el chasis de la tarjeta y de la cámara al fragmento. Para ello se usa el chasis creado para el prototipo de Cruces junto a cuatro tornillos M4x80 DIN912-8.8 [12]. El chasis está creado de forma que entre la cajera que guarda la tarjeta y la cámara se disponen de distintas formas de brazos ya diseñados dependiendo de la posición que se le quiera dar a la cámara respectivamente. Un ejemplo es el que se ve en la Figura 25.

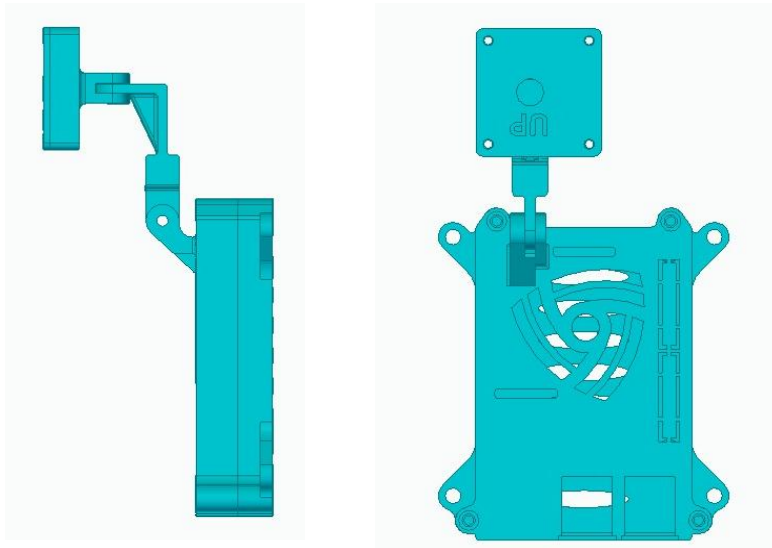


Figura 25. Ejemplo del alzado y perfil del chasis de la cámara y la tarjeta Raspberry.

Los fragmentos centrales de las ramas tienen la misma forma que los exteriores pero los centrales disponen de un elemento de enlace en cada lado, no solo en un extremo. Por un lado se dispone de los agujeros para enlazarlo al fragmento exterior y por otro lado se enlaza con el otro fragmento central y a la juntura que hay entre el tronco y la rama. Para ello se dispone de un agujero en su lado inferior a la altura del centro que mediante una plaquita similar a la anterior vista, se atornilla para unirlo a la juntura.

Por el otro lado el fragmento tiene una abertura de 80mm x 35mm para sacar los cables e introducirlos al interior del tronco. Haciendo uso de esta abertura, se dispone otra especie de placa creada específicamente con la función de enlazar los dos fragmentos centrales y atornillarlos a la juntura del tronco. Estos dos tipos de enlaces se aprecian en la Figura 26.

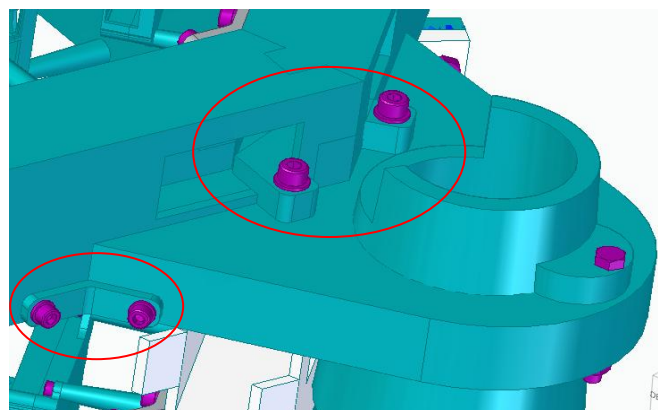


Figura 26. Enlace de la rama a la juntura del tronco.

La juntura del brazo al tronco es igual para las tres ramas quitando que cambia el diámetro por ser un tronco cónico. Para la unión al tronco se usa su propia geometría para que haga tope y se atornilla además en su parte trasera. En el caso del tronco superior solo se atornilla la parte superior al brazo como se ve en la Figura 26. Para ello se usa un tornillo hexagonal M8x65 DIN 912-8.8 [12], una arandela A 8,4 DIN125 F-1120 [12] y una tuerca hexagonal M10 DIN934 [12]. En el caso de la rama intermedia e inferior se debe enlazar también las dos partes del tronco con la juntura de la rama. Por ello se hace uso del mecanismo de enlace diseñado para juntar los trozos del tronco y este se atornilla a la juntura de la rama como se aprecia en la Figura 27. Así queda más estable ante posibles golpes que se le pueda dar accidentalmente a la estructura.

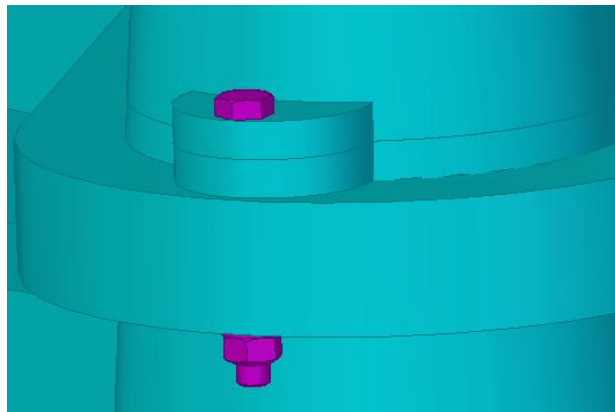


Figura 27. Enlace trasero de las partes del tronco con la juntura de la rama.

Adicionalmente, cada trozo del tronco está diseñado para que encaje con la siguiente como se muestra en la Figura 28. De esta manera, a la vez que se atornilla en su parte trasera, encaja perfectamente con el siguiente trozo al tener 2 cm en común, ya que el tronco tiene en la parte inferior una cavidad para que por la parte superior encaje con el siguiente como si de un puzzle se tratara. Además, contiene una abertura para que los cables de las ramas se introduzcan por su interior. La forma cónica que contiene se debe a que en la parte superior no hace falta que tenga tanta área para que entren los cables. Pero a medida que se conecta con las otras ramas, más cables son introducidos al interior del tronco. Por la parte inferior que está conectada a la base, saldrán los 26 cables que contendrá el prototipo. Su abertura inferior tiene un área circular de radio 70,46mm, por lo que los cables tendrán espacio de sobra para salir del tronco cónico sin dificultad.



Figura 28. Alzado, perfil planta y figura del fragmento intermedio del tronco cónico.

8.2.1 Listado de piezas que componen la estructura

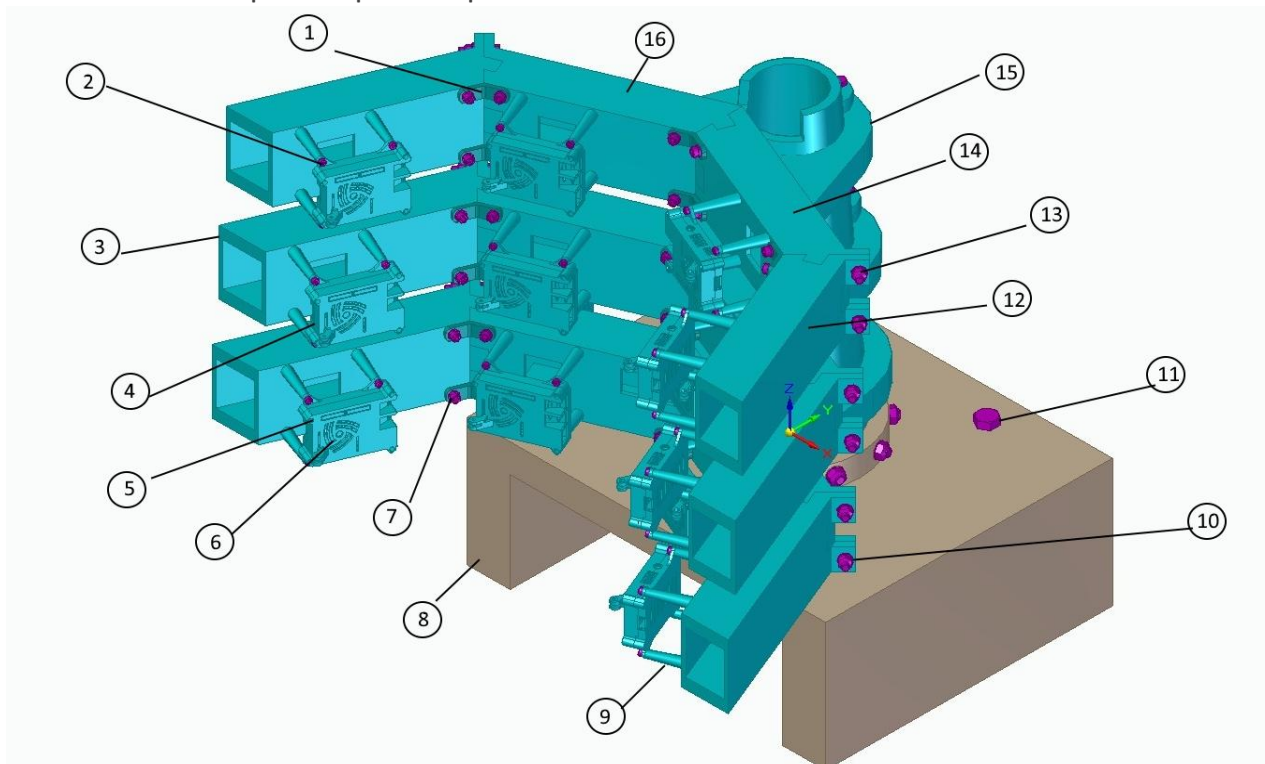


Figura 29. Enumeración de piezas del conjunto. Vista delantera.

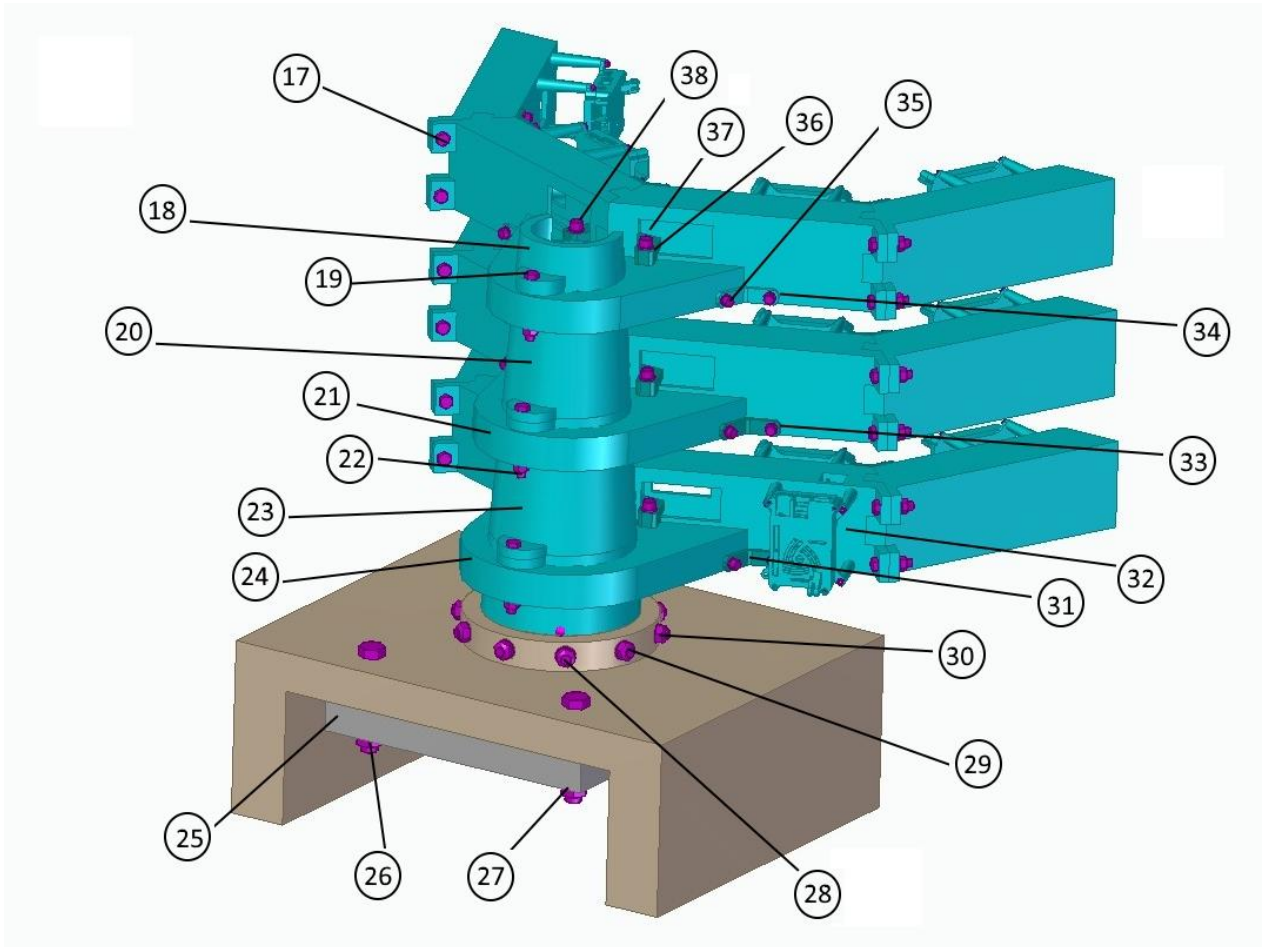


Figura 30. Enumeración de piezas del conjunto. Vista trasera.

Tabla 1. Listado de las piezas de la estructura

| Elemento | Pieza | Cantidad | Material |
|----------|--|----------|----------|
| 1 | Placa junta delantera | 18 | ABS |
| 2 | Tornillo cilíndrico M4x75 DIN912 - 8.8 | 52 | Acero |
| 3 | Fragmento derecho exterior | 3 | ABS |
| 4 | Chasis inferior de la tarjeta | 13 | ABS |
| 5 | Tornillo cilíndrico M2,9x75 DIN912 - 8.8 | 52 | Acero |
| 6 | Chasis superior de la tarjeta | 13 | ABS |
| 7 | Tornillo cilíndrico M6x30 DIN912 - 8.8 | 36 | Acero |
| 8 | Base | 1 | Madera |
| 9 | Tronco del chasis | 52 | ABS |
| 10 | Tuerca hexagonal M8 DIN934 | 15 | Acero |
| 11 | Tornillo cilíndrico M16x100 DIN912 - 8.8 | 2 | Acero |
| 12 | Fragmento izquierdo exterior | 3 | ABS |
| 13 | Arandela A 8'4 DIN125 F1120 | 21 | Acero |
| 14 | Fragmento izquierdo interior | 3 | ABS |
| 15 | Juntura superior | 1 | ABS |
| 16 | Fragmento derecho interior | 2 | ABS |
| 17 | Tornillo hexagonal M8x35 DIN921 - 8.8 | 12 | Acero |
| 18 | Tornillo cilíndrico M6x18 DIN912 - 8.8 | 12 | Acero |
| 19 | Tronco superior | 1 | ABS |
| 20 | Tornillo hexagonal M8x65 DIN921 - 8.8 | 1 | Acero |
| 21 | Tronco intermedio | 1 | ABS |
| 22 | Juntura intermedia | 1 | ABS |
| 23 | Tornillo hexagonal M8x70 DIN921-8.8 | 2 | Acero |
| 24 | Tronco inferior | 1 | ABS |
| 25 | Juntura inferior | 1 | ABS |
| 26 | Contrapeso | 1 | Plomo |
| 27 | Arandela A 17 DIN125 F1120 | 2 | Acero |
| 28 | Tuerca hexagonal M16 DIN934 | 2 | Acero |
| 29 | Tornillo hexagonal M10x40 DIN921 - 8.8 | 10 | Acero |
| 30 | Tuerca hexagonal M10 DIN934 | 10 | Acero |
| 31 | Arandela A 10'5 DIN125 F1120 | 10 | Acero |
| 32 | Placa junta trasera inferior | 2 | ABS |
| 33 | Fragmento derecho interior-tarjeta trasera | 1 | ABS |
| 34 | Placa junta trasera intermedio | 2 | ABS |
| 35 | Placa junta trasera superior | 2 | ABS |
| 36 | Arandela A 6'4 DIN125 F1120 | 48 | Acero |
| 37 | Placa junta central | 3 | ABS |
| 38 | Tornillo cilíndrico M8x35 DIN912 - 8.8 | 6 | Acero |

8.3 POSIBLES ALTERNATIVAS

Como se ha mencionado anteriormente se ha pensado en algunas posibles alternativas para el diseño propuesto. Esta variación puede ser interpretada como una simplificación del mismo, creando las ramas de la estructura de forma que una vez sean montadas, permanezcan fijas. De esta manera se podría cambiar la tarjeta Raspberry o la cámara sin ningún problema porque va atornillada pero se ofrecería una estructura con una estética más bonita sin la presencia de tanto tornillo de por medio. La base y el tronco cónico es idéntica a la versión atornillada desmontable presentada anteriormente por lo que lo que cambiaría solo es el enlace de las ramas y la juntura. Se puede ver en la Figura 31 y Figura 32 cómo quedaría de esta forma.

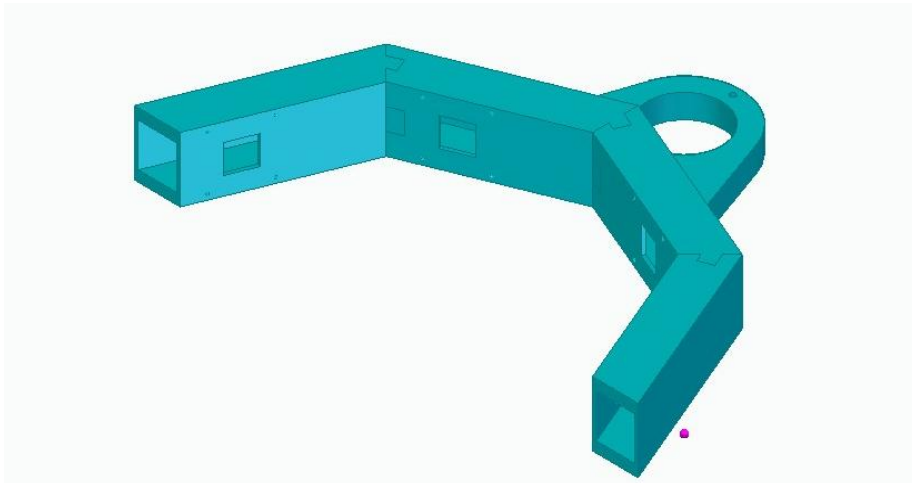


Figura 31. Vista delantera en 3D del brazo pegado.

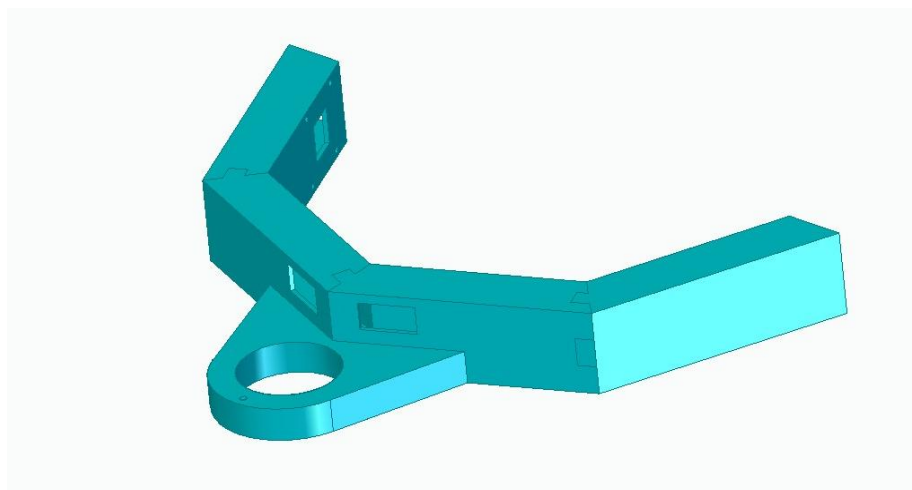


Figura 32. Vista trasera en 3D del brazo pegado.

Se ha reflexionado sobre que producto es el más indicado para pegar material ABS de forma que soporte la estructura correctamente. Se han pensado dos posibles alternativas. Usar cianoacrilato o epoxi de dos componentes. Como el epoxi en comparación con otro métodos, requiere más trabajo para obtener una buena unión y puede tomar horas para secarse, se ha decidido usar cianoacrilato.

El cianoacrilato es muy rápido y eficaz pero hay que ser muy cuidadoso a la hora de usarlo por ser de curado rápido. Para ello se necesitan unos guantes para proteger las manos y ser preciso a la hora de alinear los elementos. Como las piezas que se deben juntar son fáciles de alinear por su geometría, se cree que el uso del cianoacrilato es el más adecuado para su correcto montaje [13].

Por otro lado, a continuación se apreciará como con el estudio generativo realizado, el chasis de la tarjeta puede ir atornillado directamente a las ramas si así se requiere para la correcta calibración de las cámaras.

9 APLICACIÓN DEL DISEÑO GENERATIVO A LA SOLUCIÓN PROPUESTA

9.1 DISEÑO GENERATIVO EN LA ESTRUCTURA COMPLETAMENTE DESMONTABLE

En el proceso de la implantación del diseño generativo en la estructura creada se han hecho distintas pruebas con el fin de determinar la forma de trabajar de esta herramienta. La forma de usar esta técnica a simple vista es muy simple. Se le puede aplicar a cualquier archivo tipo .par, pero nunca a un conjunto completo a la vez.

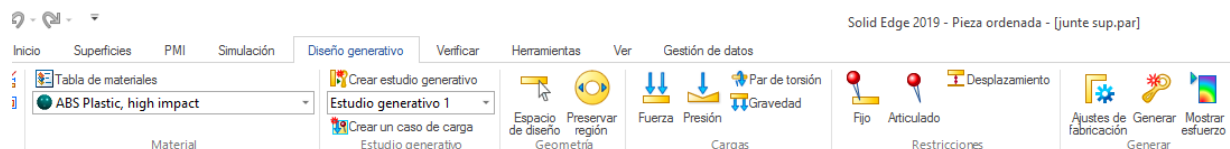


Figura 33. Barra de herramientas del diseño generativo. Se observan las distintas restricciones a determinar

Cuando se abre un archivo .par en la barra de herramientas superior se observa una pestaña con el nombre “diseño generativo”. Al colocarse en esta pestaña se pueden ver distintas restricciones para definir el producto que se desea obtener. Por un lado se puede elegir cualquier material para darle a la pieza y se pueden realizar tantos estudios como uno desee a una misma pieza. De esta forma se brinda la posibilidad de variar las restricciones para observar los efectos que estas tienen sobre la pieza diseñada.

Para realizar el estudio en primer lugar se pincha en crear estudio nuevo y se define el espacio de diseño, que será el propio solido que forma la pieza. A continuación se expresan las regiones que se quieren preservar, estas regiones son tales como agujeros o zonas de unión con otras piezas del conjunto por ejemplo. A la hora de definir esta zona se puede limitar el máximo desplazamiento que se permite al material. Después se expresan las fuerzas, presiones y pares de torsión que soportará la pieza. Además, Solid Edge cuenta con la función de la gravedad para que se tenga en cuenta el peso propio del elemento. Posteriormente es obligatorio marcar una zona fija o articulada, ya que es imposible que un cuerpo levite y en algún punto de él mismo tiene que estar en contacto con otro solido. En caso de no fijar ninguna zona, no se podrá realizar el estudio generativo. Al marcar una zona fija se limitan los tres grados de libertad y el giro y si se define como articulado como grado de libertad el giro. Seguidamente se expresa la forma de fabricación que tendrá la pieza que se está diseñando, para que el algoritmo lo tenga en cuenta a la hora de distribuir el material. Se puede expresar la expansión del material en la fabricación de la pieza definiendo si este tendrá zonas vacías, paredes delgadas o ningún efecto en especial. Por último, se define la cantidad de material

que se quiere disminuir y el coeficiente de seguridad que tendrá la pieza. Marcando la calidad de estudio que se desee, este puede tardar desde pocos minutos hasta varias horas.

Durante el desarrollo del trabajo de fin de grado se ha descubierto que la licencia de estudiantes de Solid Edge no ofrece todas las características que tiene una de pago. Como se aprecia en la Figura 34, por ejemplo a la hora de definir las restricciones no deja definir ni presiones, ni pares de torsión ni la gravedad. Tampoco ofrece la posibilidad de determinar los ajustes de fabricación. En consecuencia se decide que todo lo referente al diseño generativo se realizará en el aula Ormazabal de la universidad donde se dispone de una licencia de pago.



Figura 34. Barra de herramientas en la versión académica. Se observa la limitación a la hora de definir las restricciones de la pieza

La licencia de los ordenadores de la universidad es la Classic y en principio deja usar las funciones que hacen falta a la hora de definir las restricciones del estudio generativo. La idea inicial es observar cómo se comporta el diseño generativo con las restricciones que pone el usuario y con los resultados realizar toda la estructura menos la base con diseño generativo.

Para entender mejor su funcionamiento se muestra el ejemplo de la Figura 35.

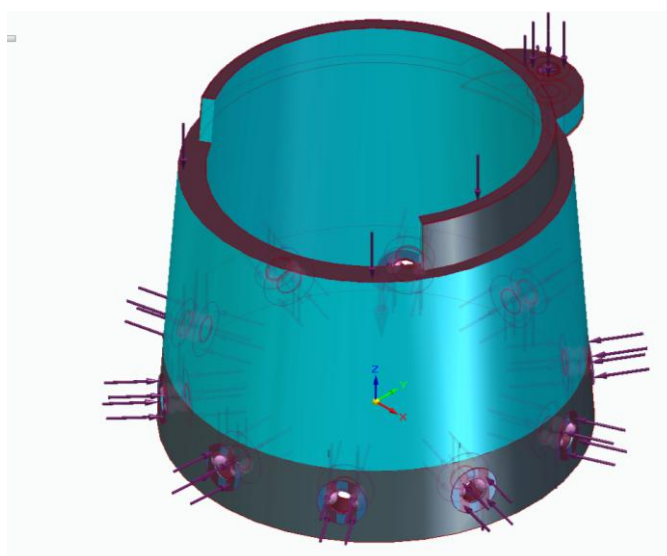


Figura 35. Restricciones del diseño generativo en el tronco inferior de la estructura.

Esa pieza es la parte inferior del tronco. Las zonas rojizas son las regiones que se han marcado para que se preserven en el estudio. Estas zonas van a estar en contacto con otras piezas y por ello son importantes. La precarga y el par que realiza cada tornillo se ha aproximado teniendo en cuenta la Tabla 2. Además se define el peso que soporta la estructura en su zona superior.

Tabla 2 Pares de apriete y precargas de los tornillos según las clases de resistencia para roscas normales [14].

| Dimensiones | Ancho de llave | Herramientas insertables | | | Fuerza de precarga (kN) | | | | | | Par de apriete (Nm) | | | | | |
|-------------|----------------|--------------------------|-------|---|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | | | Clase de resistencia | | | | | | Clase de resistencia | | | | | |
| | | | | | 4.6 | 5.6 | 6.8 | 8.8 | 10.9 | 12.9 | 4.6 | 5.6 | 6.8 | 8.8 | 10.9 | 12.9 |
| M 2x0,40 | 4 | - | - | - | 0,338 | 0,422 | 0,675 | 0,901 | 1,267 | 1,52 | 0,13 | 0,163 | 0,261 | 0,348 | 0,489 | 0,587 |
| M 3x0,50 | 5,5 | - | - | - | 0,845 | 1,056 | 1,689 | 2,253 | 3,168 | 3,801 | 0,48 | 0,6 | 0,961 | 1,281 | 1,801 | 2,161 |
| M 4x0,70 | 7 | 9x12 | - | - | 1,463 | 1,829 | 2,927 | 3,902 | 5,487 | 6,585 | 1,115 | 1,393 | 2,229 | 2,972 | 4,18 | 5,016 |
| M 5x0,80 | 8 | 9x12 | - | - | 2,395 | 2,994 | 4,79 | 6,387 | 8,982 | 10,778 | 2,261 | 2,827 | 4,523 | 6,03 | 8,48 | 10,176 |
| M 6x1,00 | 10 | 9x12 | - | - | 3,379 | 4,224 | 6,758 | 9,011 | 12,671 | 15,205 | 3,843 | 4,803 | 7,685 | 10,247 | 14,41 | 17,292 |
| M 8x1,25 | 13 | 9x12 | 14x18 | - | 6,202 | 7,753 | 12,404 | 16,539 | 23,258 | 27,909 | 9,349 | 11,686 | 18,698 | 24,931 | 35,059 | 42,07 |
| M 10x1,50 | 17 | 9x12 | 14x18 | - | 9,876 | 12,345 | 19,752 | 26,336 | 37,034 | 44,441 | 18,54 | 23,18 | 37,09 | 49,45 | 69,54 | 83,44 |
| M 12x1,75 | 19 | 9x12 | 14x18 | - | 14,4 | 18 | 28,801 | 38,401 | 54,001 | 64,801 | 32,37 | 40,46 | 64,74 | 86,32 | 121,38 | 145,66 |
| M 14x2,00 | 22 | - | 14x18 | - | 19,775 | 24,719 | 39,551 | 52,734 | 74,158 | 88,989 | 51,77 | 64,71 | 103,54 | 138,06 | 194,14 | 232,97 |

Cabe destacar la dificultad para expresar la zona que es afectada por la precarga del tornillo. Ya que con las opciones que deja usar el programa a la hora de definir solo se puede elegir toda la cara exterior. Elegir toda la cara exterior hubiera hecho que el diseño generativo perdiera su sentido, ya que no es real que toda esa zona sea necesaria intacta este afectada por el mismo valor. Por ello se ha definido la zona de interés para aplicar las fuerzas realizando una extrusión de 0,001mm para poder realizar el estudio. No obstante, se debería de poder hacer de otra forma ya que en este caso, se ha cambiado en cierta manera su geometría inicial para realizar el estudio generativo.

Aun así para mostrar cómo se podría reducir en material y coste en un diseño se ha implantado el diseño generativo a la estructura con las restricciones que se han permitido definir. En general todas las piezas se han podido reducir un 30% en material, pero cabe destacar que no se sabe su fiabilidad completamente ya que varias veces se finaliza el estudio con una ventana emergente expresando que puede que no se haya obtenido una solución óptima. Para poder probar su fiabilidad, se tendría que tener la licencia Generative Pro para así poder analizar las características de las piezas obtenidas en cada estudio.

No obstante en la Figura 36 se va a mostrar el conjunto obtenido. Como se ha mencionado, las piezas se muestran con los esfuerzos que van a soportar por la incapacidad de poder mostrar el estudio generativo de otra forma en el conjunto.

Para observar mejor la diferencia se enseña la estructura con parte de su diseño original y otra parte aplicando el diseño generativo.

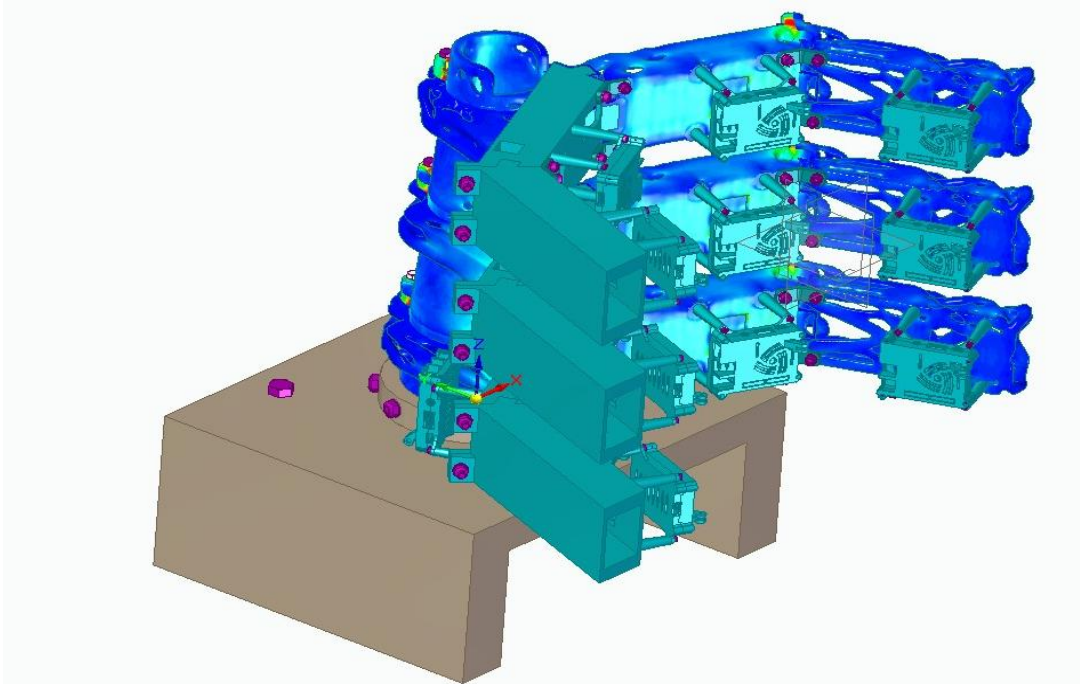


Figura 36. Vista en 3D de la estructura con diseño generativo.

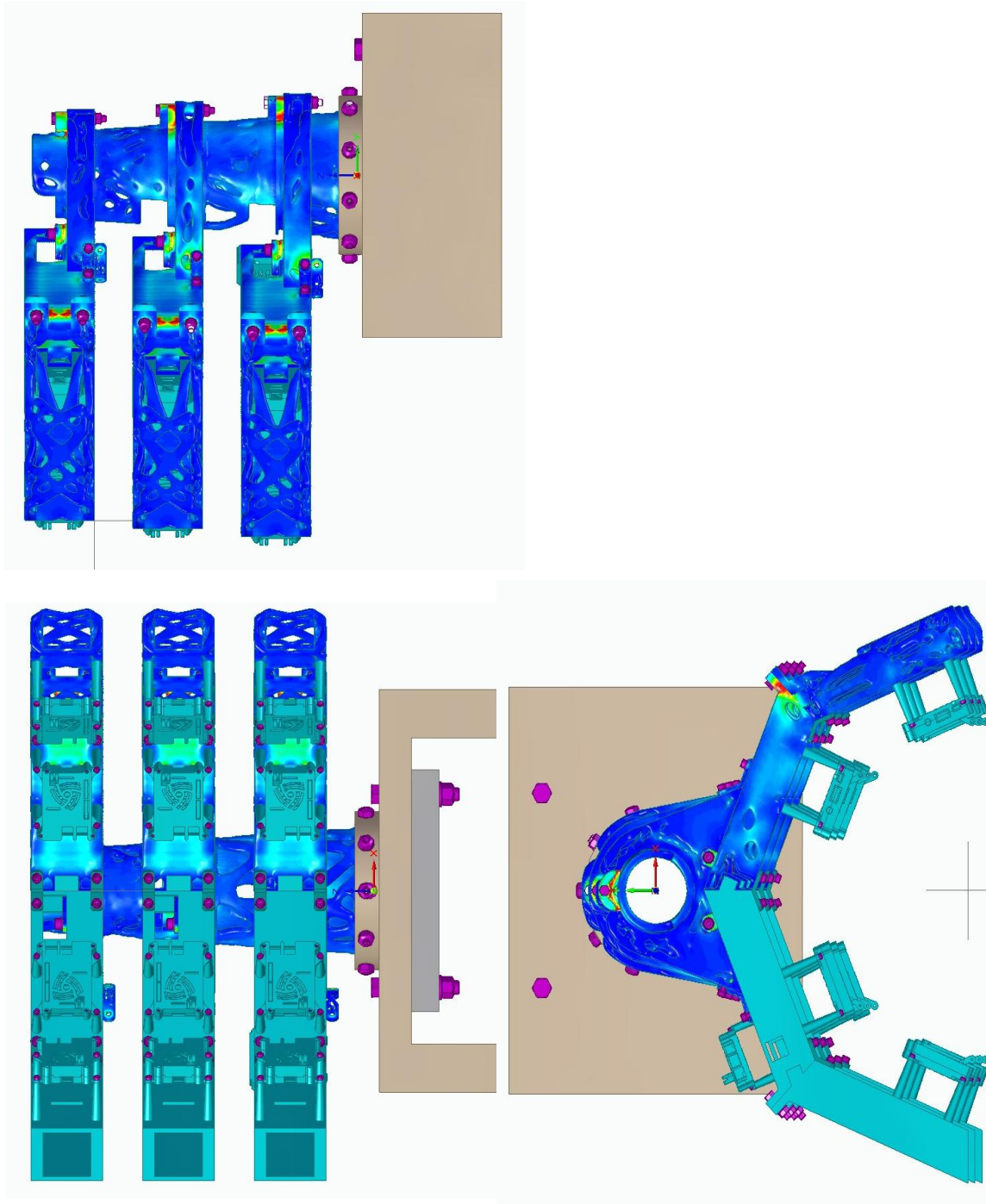


Figura 37. Alzado, perfil y planta de la estructura con diseño generativo.

9.2 LIMITACIONES EN EL DISEÑO GENERATIVO

A la hora de definir las restricciones se han encontrado ciertos problemas o limitaciones en el programa. Algunos ejemplos de los más destacables al ser grandes inconvenientes son los siguientes:

- La licencia de la universidad es insuficiente ya que Solid Edge tiene una extensión de pago adicional para el campo del diseño generativo que se llama Generative Pro y no está disponible con la licencia Classic. Por lo tanto hay ciertas funciones que no se van a poder usar. Los mayores inconvenientes son la imposibilidad de visualizar la optimización de la pieza en un conjunto, sus características o la incapacidad de imprimirlo en 3D.
- Solid Edge permite seleccionar las regiones que se quiere que se preserven en el estudio generativo. De esta forma el algoritmo toma esa área como importante y la podrá variar en la medida que se lo permita el usuario. Para definir el área que se quiere intacta, permite seleccionar una operación o cara solamente. En el caso de definir las restricciones de las fuerzas que padece la pieza pasa exactamente lo mismo. Esto limita las opciones a la hora de realizar el estudio de forma universal ya que como se puede ver de ejemplo en la Figura 38 hay fuerzas que ejercen los tornillos como la precarga que se necesitan expresar en la zona de los agujeros. No obstante el software no deja seleccionar una zona pequeña, o indicar una distribución de fuerzas. Por lo que a modo de simplificación y para poder proceder a realizar un estudio se ha definido en el apartado de diseño de la pieza mediante unos bocetos, circunferencias alrededor de los agujeros para que permita definir las fuerzas de precarga.

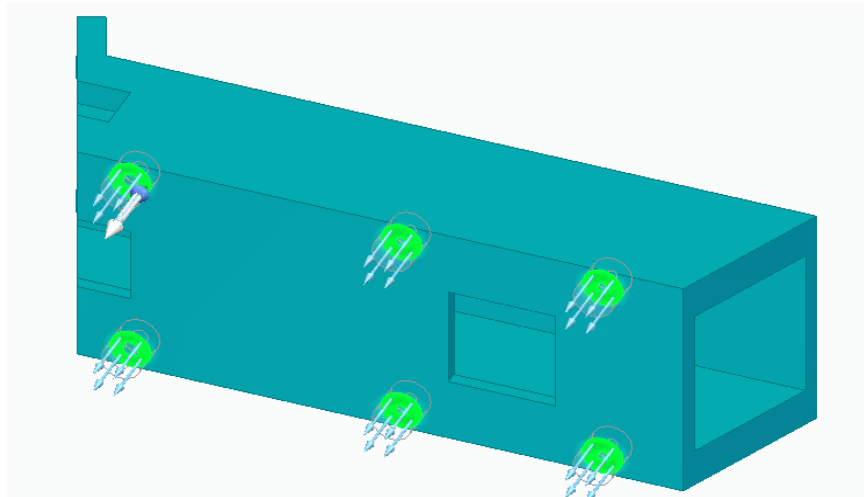


Figura 38. Selección de áreas en el diseño generativo.

- Otra función que ha dado problemas es la expresión de la gravedad. Se entiende que a un elemento al cual se le especifica una zona fija, esta será la que resista todo el peso propio y las fuerzas que soporta la pieza a lo largo de su longitud. Sin embargo, a la hora de realizar la optimización se han dado casos en los que el algoritmo solo preserva el material justo y solo porque se ha definido que esa zona se preserve. Un ejemplo claro es el de la Figura 39 que como se observa es el fragmento central de las ramas. Se trata del fragmento interior de la rama izquierda. La zona rodeada es la unión central de la rama, la cual se conecta al tronco mediante una placa y una junta como ha sido explicado anteriormente. Esta parte soporta en gran medida el peso de la rama y los cables y por ello ha sido marcado como zona fija, con el fin de expresar su función en el conjunto. Aun así a la hora de optimizar material el resultado obtenido no satisface con la realidad ya que se crea una zona muy frágil.

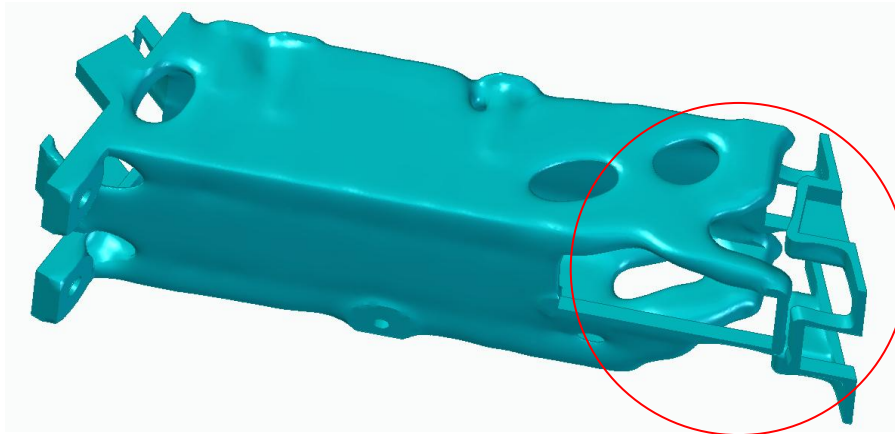


Figura 39. Ejemplo de resultado erróneo en la zona fija.

- Si no se definen bien las restricciones en una pieza, como las regiones a preservar, se pueden dar situaciones como la se aprecia en la Figura 40. Donde el tornillo queda completamente en el aire ya que el algoritmo con los parámetros definidos ha ahorrado material en esa zona, pensando que no era importante debido a las características erróneas que se han definido en su estudio.

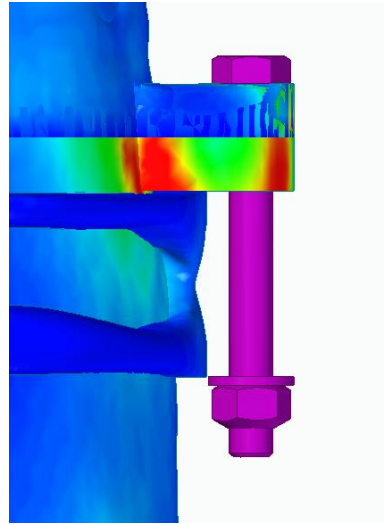


Figura 40. Ejemplo de resultado erróneo por falta de restricciones.

- Otros problemas que se puede encontrar el usuario al usar esta herramienta son los mensajes de advertencia que se dan al finalizar el estudio. Un ejemplo que se ha repetido constantemente es el de la Figura 41 y la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** De esta forma el programa ofrece un resultado pero no toma en cuenta todas las restricciones necesarias ya sea por su geometría pequeña, por la calidad del estudio o por las restricciones definidas.

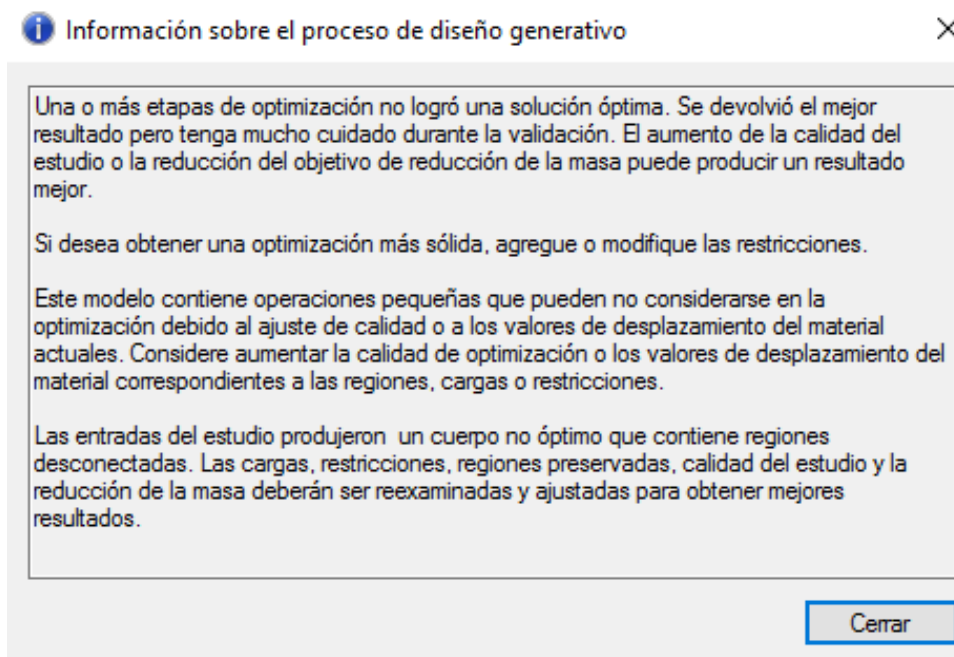


Figura 41. Mensaje informativo de posible error en el diseño generativo.

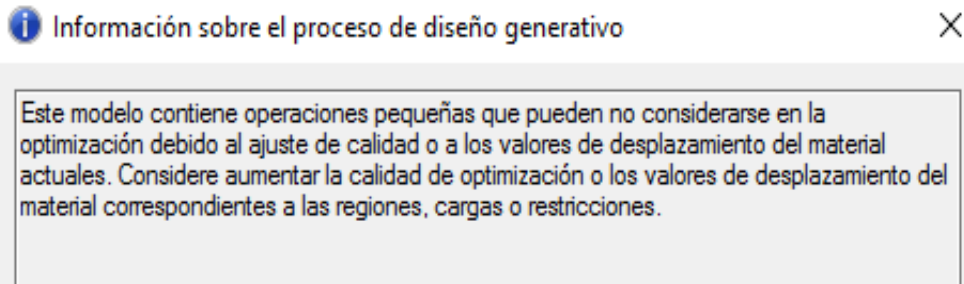


Figura 42. Mensaje informativo durante el estudio generativo.

Con la intención de entender mejor cómo funciona el algoritmo del diseño generativo se ha hecho una prueba en dos ordenadores diferentes. Se ha usado la misma pieza con las mismas restricciones y se ha creado el estudio generativo. La solución obtenida a simple vista es la misma.

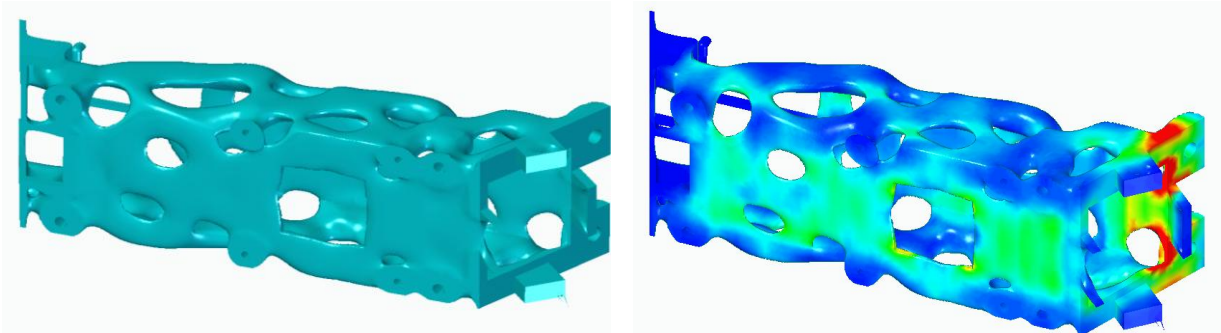


Figura 44. Ordenador 1- Prueba 1.

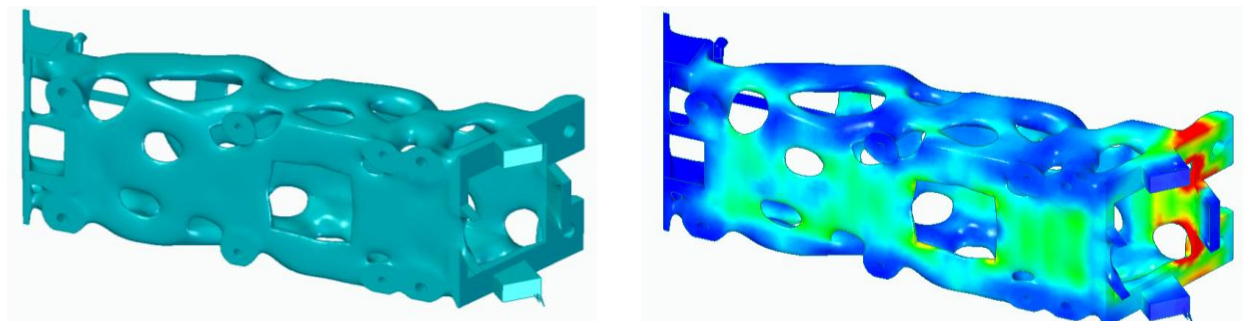


Figura 43. Ordenador 2- Prueba 1.

Más tarde se ha reiniciado el ordenador y se ha vuelto a realizar el mismo estudio y la solución es idéntica.

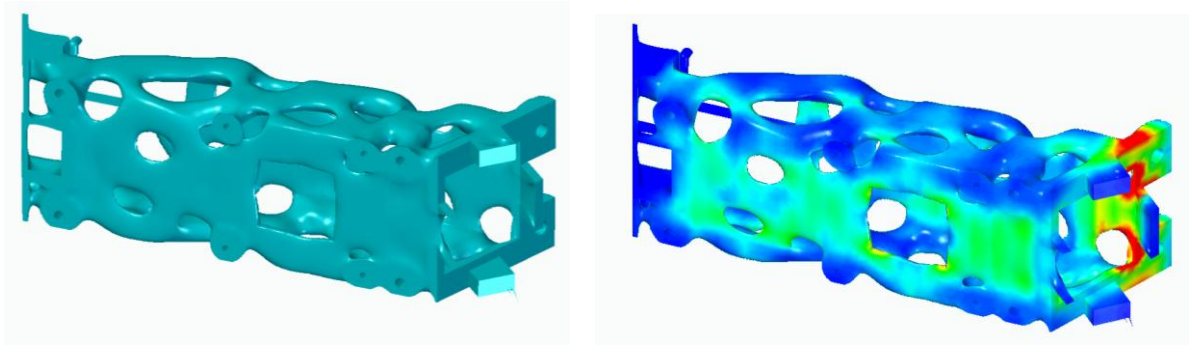


Figura 45. Ordenador 1- Prueba 2.

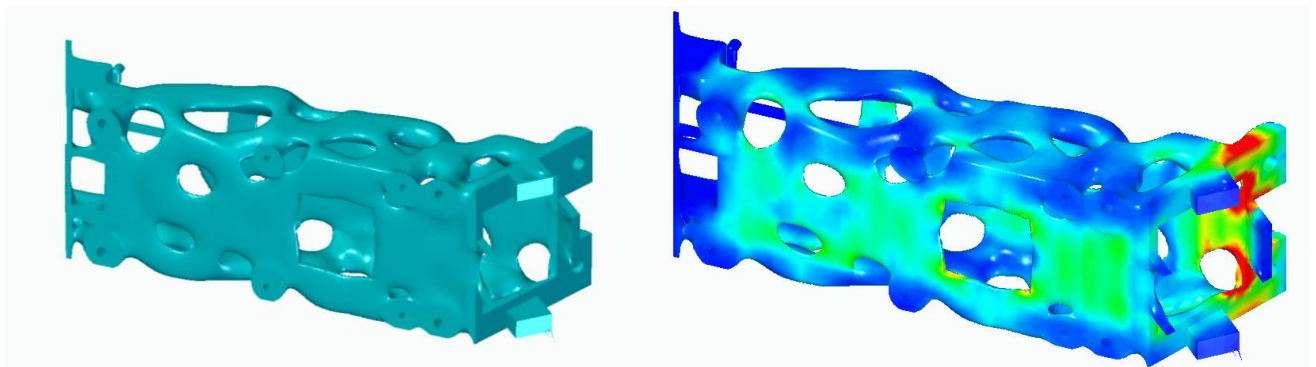


Figura 46. Ordenador 2 - Prueba 2.

Por lo que se ha demostrado que el algoritmo funciona siempre de la misma manera si se definen las mismas restricciones a una misma pieza.

10 METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO

10.1 DESCRIPCIÓN DE TAREAS, FASES, EQUIPOS O PROCEDIMIENTOS

1. **Definición del proyecto:** El alumno y el profesor se conocen y se definen los objetivos del trabajo de fin de grado así como las características iniciales que se requieren para el diseño.
2. **Diseño**
 - 2.1. Primera Versión: Se realiza una primera versión a modo de prueba para partir de una idea. Se deciden las propiedades que deben permanecer y las que hay que modificar para su siguiente versión.
 - 2.2. Segunda Versión: Se mejora el diseño y se deciden las propiedades que deben permanecer y las que hay que modificar para su siguiente versión.
 - 2.3. Tercera Versión: Se mejora el diseño y se deciden las propiedades que deben permanecer y las que hay que modificar para su siguiente versión.
 - 2.4. Cuarta Versión: Se mejora el diseño y se deciden las propiedades que deben permanecer y las que hay que modificar para su versión definitiva.
 - 2.5. Versión definitiva: Se realiza el diseño final y se comenta sus posibles variaciones.
3. **Diseño generativo:** Se aplica el diseño generativo a las distintas piezas del conjunto
4. **Redacción:**
 - 4.1. Redacción del proceso: Se recoge información y se empiezan a redactar los apartados
 - 4.2 Conclusiones y presupuesto: Una vez acabado el proceso con Solid Edge, se sacan las conclusiones y se describe el presupuesto de dicho proyecto.
 - 4.3 Corrección: El director del proyecto entrega las posibles modificaciones a realizar y el alumno las corrige.

10.2 HITOS

Durante el proceso del diseño se han ido mostrando las distintas versiones, sus modificaciones y mejoras. Los hitos que han definido todo este proceso son los siguientes:

A: Presentación del diseño final: Se presenta el diseño final teniendo en cuenta las características que se han definido a lo largo del proceso. Además se enseña la posibilidad de crear una estructura completamente o parcialmente desmontable.

B: Presentación resultado generativo: Se aplica el diseño generativo a todos los elementos no normalizados. Percatándose de las limitaciones que se dan con la licencia de la universidad.

C: Entrega borrador: El alumno entrega un borrador del trabajo de fin de grado, el profesor comenta posibles mejoras y el alumno las corrige.

10.3 DIAGRAMA DE GANTT

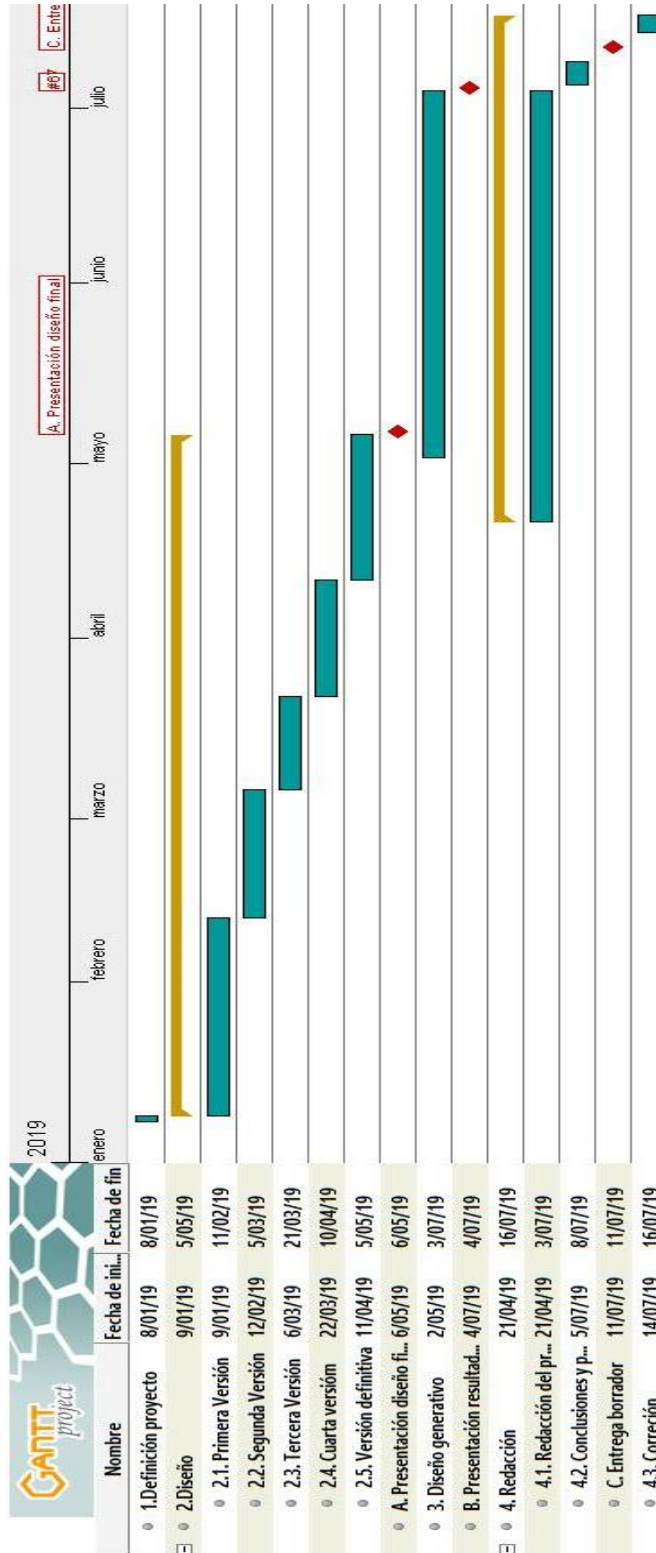


Figura 47. Diagrama de Gantt.

11 PRESUPUESTO

Tabla 3. Presupuesto.

HORAS INTERNAS

| Concepto | Horas empleadas | Coste unitario (€/h) | Precio(€) |
|----------------------|-----------------|----------------------|-------------------|
| Ingeniero Junior | 220 | 25 | 5.500,00 € |
| Director de proyecto | 10 | 50 | 500,00 € |
| Total | | | 6.000,00 € |

AMORTIZACIONES

| Inversión | Precio Inicial (€) | Vida útil | Utilización en el proyecto | Precio(€) |
|----------------|--------------------|-------------|----------------------------|-------------------|
| Ordenador | 600 € | 12000 horas | 220 | 11,00 € |
| Paquete office | 130 € | 1 año | 5 meses | 54,17 € |
| Solid Edge | 292 € | 1 mes | 5 meses | 1.460,00 € |
| Total | | | | 1.525,17 € |

OTROS GASTOS

| Concepto | Precio(€) |
|-------------------------|-----------------|
| Material oficina | 20,00 € |
| Alquiler aula Ormazabal | 90,00 € |
| WIFI | 90,00 € |
| Consumo eléctrico | 20,00 € |
| Total | 220,00 € |

COSTE TOTAL DEL PROYECTO

| Concepto | Precio |
|-------------------------|-------------------|
| Horas internas | 6.000,00 € |
| Amortizaciones | 1.525,17 € |
| Otros gastos | 220,00 € |
| SUBTOTAL | 7.745,17 € |
| Imprevistos (5%) | 387,26 € |
| Total | 8.132,43 € |
| IVA (21%) | 1.707,81 € |
| TOTAL | 9.840,24 € |

12 CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo de fin de grado se ha procedido a explicar todo el proceso que conlleva realizar un diseño, creando distintos posibles bocetos y modificándolos hasta llegar a un resultado final que satisfaga las características que se buscaban. Además, con la idea de ahorrar material en su posterior fabricación se ha procedido a analizar la funcionalidad del diseño generativo.

En el caso del diseño llevado a cabo en este proyecto las características iniciales requeridas eran tan amplias que varias geometrías las cumplían. De esta forma, realizando distintas variaciones en las versiones se ha llegado a una solución satisfactoria. Para que el proceso sea más rápido y eficaz, se ha observado como en la medida que sea posible es preferible crear conjuntos simétricos, con piezas repetidas y de montaje fácil.

Asimismo, se ha querido analizar las propiedades y mejoras que aportaría al producto creado el uso del diseño generativo. Solid Edge vende esta nueva función como fácil de usar, rápida y muy eficaz pero se han detectado ciertas limitaciones. Las restricciones a especificar en la pieza son muy simples. Por ejemplo, a la hora de definir una región o aplicar una fuerza, limita mucho el tener que aplicarlo a una operación o cara entera ya que hay veces que se tienen caras muy grandes en los que la fuerza no afectaría igualmente a toda la superficie. Muchas veces, una vez realizado el estudio se muestra un mensaje con alguna clase de posible error indicando no se han tenido en cuenta todas las restricciones en la optimización. Sin embargo, en la versión definitiva a la que se le ha aplicado el diseño generativo, no tiene geometrías demasiado complejas.

Por otro lado, en la prueba que se hizo para analizar si el algoritmo se comporta siempre igual, se ve como para una misma pieza con las mismas restricciones y con la misma calidad de estudio, el programa siempre ofrecerá la misma solución.

Cabe destacar que todas estas observaciones se han realizado con la licencia Classic de Solid Edge y no con la específica "Generative Pro", por lo que ciertos aspectos pueden que hayan estado restringidos y no se hayan podido analizar de forma detallada.

Como conclusión principal en lo que se refiere al diseño generativo se considera que es una herramienta atractiva que podría hacer que las empresas ahorrarán mucho dinero y ofrecieran productos originales. No obstante, es una técnica nueva y se nota por todas las limitaciones que tiene. En el estado del arte se han mostrado dos casos reales adecuados para el uso del diseño generativo, los dos son realizados con colaboración de Autodesk no Solid Edge. Por lo tanto puede ser que el software de la competencia de Solid Edge tenga un software mejor desarrollado que este. Otra posible razón es que hace falta ser experto y conocer el algoritmo desde dentro para hacer un uso correcto del diseño generativo. Teniendo en cuenta todo lo comentado anteriormente, se cree

que por ahora la herramienta del diseño generativo en Solid Edge para usuarios nuevos en el mundo del diseño generativo, solo es apta para piezas con geometría simple y grandes, que contengan pocas restricciones y fáciles de expresar.

13 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Universidad de Valencia, *Tema 2." Introducción a los sistemas CAD/CAM/CAE"*, Valencia: Notas de clase, 2016.
- [2] J. Torres, «"Diseño asistido por ordenador",» [En línea]. [Último acceso: 24 mayo 2019].
- [3] C. Velilla, I. Cañas, C. Bayod y C. San Antonio, «Pensamiento citico para el pensamiento gráfico,» nº 19, pp. 39-49, 2008.
- [4] S. I. V. A. Ramya, "3D PRINTING TECHNOLOGIES IN VARIOUS APPLICATIONS," *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, vol. 7, pp. 396-409, 2016.
- [5] K. Swenson, "What is generative design?," *Redshift*, 8 Junio 2018.
- [6] M. Climent, «El "divino" diseño generativo: La maquina ya piensa como la naturaleza,» *El Mundo*, 15 Enero 2018.
- [7] A. Lopez, «Qué es el diseño generativo y por qué debe importarte,» *Tec Review*, 27 Noviembre 2017.
- [8] K. Walmsley, *Checking out the world's first 3D printed steel bridge at MX3D in Amsterdam*, 2018.
- [9] MX3D, «MX3D Bridge,» [En línea]. [Último acceso: 28 Junio 2019].
- [10] R. Tara, "Under Armour Implements Autodesk's Generative Design to Engineer the Perfect 3D-Printed Shoe," *Engineering.com*, 24 Marzo 2016.
- [11] Solid Edge, *Potentes herramientas de diseño 3D reforzadas por la optimización topológica*, 2019.
- [12] E. Zorrilla y J. Muniozguren, *Normalización básica dibujo técnico*, Bilbao: Escuela tecnica superior de ingenieros industriales y de ingenieros de telecomunicación, Publicaciones, 1995.
- [13] M. Sarcevic, *Gluing 3D Printed Parts – 8 Best Ways to Bond Your 3D Prints*, 2019.
- [14] Hazet, *Herramientas dinamométricas*, 2018.