



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Realidad virtual e impresión 3D aplicada al diseño y
construcción de mobiliario

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería del Diseño

AUTOR/A: Mateu Biosca, Gabriel

Tutor/a: Saiz Mauleón, María Begoña

Cotutor/a: Cabezos Bernal, Pedro Manuel

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

Índice

I. Título.....	3
II. Resumen	4
III. Índice de figuras	7
IV. Índice de tablas	11

MEMORIA

1. Motivación.....	14
2. Objetivos	16
3. Fases del proyecto.....	18
4. Estado del arte	20
4.1. Investigación.....	23
4.1.2. Realidad virtual	23
4.1.3. Realidad virtual inmersiva	26
4.1.4. Sistema Head Mounted Display.....	27
4.1.5. Diseño de producto	29
4.1.6. Diseño de mobiliario	30
4.1.7. Impresión 3D.....	32
4.1.8. Mobiliario fabricado utilizando la impresión 3D	33
4.1.9. Uniones japonesas	35
4.1.10. Modelos y prototipos (digitales y físicos)	38
5. Diseño.....	42
5.1. Briefing de diseño	42
5.2. Fase de investigación.....	43
5.2.1. Estudio ergonómico	46
5.3. Proceso de diseño.....	46
5.3.1. Diseño conceptual	46
5.3.2. Matriz de valoración	50
5.3.3. Modelado 3D	51
6. Implementación VR.....	54
6.1. Preparación del modelo en Blender.....	54

6.2. Visualización	55
7. Resultados testeo VR.....	58
7.1. Análisis y evaluación inmersiva del modelo	58
7.2. Mejoras del diseño	58
7.3. Diseño final	60
7.3.1. Color.....	61
7.4. Diseño de detalle	63
8. Cálculo de resistencia mecánica	67
9. Impresión 3D	73
9.1. Postprocesado del prototipo.....	78
9.2. Ensamblado del prototipo	78
PLANOS.....	81
PLIEGO DE CONDICIONES	112
1. Objeto y alcance	112
2. Marco normativo.....	112
3. Requerimientos técnicos	113
3.1. Materiales de uso en el taller	113
3.2. Herramientas de uso en el taller	114
PRESUPUESTO	117
1. Procesos de fabricación y maquinaria.....	117
2. Materiales.....	118
3. Mano de obra	118
4. Coste total	119
10. Conclusiones.....	122
11. Referencias.....	124
12. Fuentes bibliográficas	125

I. Título

Realidad virtual e impresión 3D aplicada al diseño y construcción de mobiliario.

Title

Virtual reality and 3D printing applied to the furniture design and construction.

Títol

Realitat virtual i impressió 3D aplicada al disseny i construcció de mobiliari.

II. Resumen

El presente Trabajo de Fin de Máster (TFM) propone el empleo de la realidad virtual y de las tecnologías de impresión 3D para el diseño de una línea de mobiliario, generando sinergias para la comprobación de su adaptabilidad, dimensiones, funcionalidad, análisis de ergonomía y percepción visual, entre otros factores a analizar.

La realidad virtual se utiliza para validar el diseño antes de su producción a pequeña o gran escala, lo que permite detectar cualquier problema en el proceso y asegurar la calidad del producto final.

Las tecnologías de impresión 3D se han convertido en una alternativa innovadora para la producción de piezas personalizadas y únicas, adaptadas a la altura, forma y necesidades de cualquier usuario y espacio. Además, permiten que los diseños se puedan convertir en objetos tangibles en poco tiempo, lo que permite una mayor flexibilidad y velocidad en la producción.

De esta manera, la combinación de la impresión 3D y la realidad virtual brinda una solución eficiente y de alta calidad en la fabricación de mobiliario, entre otros productos.

Este trabajo pretende demostrar que la RV puede ser una herramienta útil para la validación de mobiliario adaptable. A través su utilización, se pueden crear simulaciones detalladas del mobiliario y el entorno, lo que permite a los usuarios experimentar con diferentes opciones de configuración y ajuste antes de tomar una decisión final. Esto también puede ayudar a identificar posibles problemas de accesibilidad o ergonomía antes de la fabricación del producto, lo que puede ahorrar tiempo y recursos en el proceso de desarrollo.

Palabras clave: Realidad virtual; tridimensional; mobiliario; interiorismo; diseño; experiencia de usuario

Abstract

This Final Master's Project (TFM) proposes the use of virtual reality and 3D printing technologies for the design of a furniture line, generating synergies to verify its adaptability, dimensions, functionality, ergonomics analysis and visual perception, among other factors to be analyzed.

Virtual reality is used to validate the design before its production on a small or large scale, which allows detecting any problems in the process and ensuring the quality of the final product.

3D printing technologies have become an innovative alternative for the production of personalized and unique pieces, adapted to the height, shape and needs of any user and space. In addition, they allow designs to be turned into tangible objects in a short time, allowing greater flexibility and production speed.

In this way, the combination of 3D printing and virtual reality provides an efficient and high-quality solution in the manufacture of furniture, among other products.

This work aims to demonstrate that VR can be a useful tool for the validation of adaptable furniture. Through its use, detailed simulations of the furniture and environment can be created, allowing users to experiment with different configuration and adjustment options before making a final decision. This can also help identify potential accessibility or ergonomic issues prior to product manufacturing, which can save time and resources in the development process.

Keywords: Virtual reality; three-dimensional; furniture; interior design; design; user experience

Resum

El present Treball de Fi de Màster (TFM) proposa l'ús de la realitat virtual i de les tecnologies d'impressió 3D per al disseny d'una línia de mobiliari, generant sinergies per a la comprovació de la seua adaptabilitat, dimensions, funcionalitat, anàlisi d'ergonomia i percepció visual, entre altres factors a analitzar.

La realitat virtual s'utilitza per a validar el disseny abans de la seua producció a xicoteta o gran escala, la qual cosa permet detectar qualsevol problema en el procés i assegurar la qualitat del producte final.

Les tecnologies d'impressió 3D s'han convertit en una alternativa innovadora per a la producció de peces personalitzades i úniques, adaptades a l'altura, forma i necessitats de qualsevol usuari i espai. A més, permeten que els dissenys es puguin convertir en objectes tangibles en poc temps, la qual cosa permet una major flexibilitat i velocitat en la producció.

D'aquesta manera, la combinació de la impressió 3D i la realitat virtual brinda una solució eficient i d'alta qualitat en la fabricació de mobiliari, entre altres productes.

Aquest treball pretén demostrar que la RV pot ser una eina útil per a la validació de mobiliari adaptable. A través la seua utilització, es poden crear simulacions detallades del mobiliari i l'entorn, la qual cosa permet als usuaris experimentar amb diferents opcions de configuració i ajust abans de prendre una decisió final. Això també pot ajudar a identificar possibles problemes d'accessibilitat o ergonomia abans de la fabricació del producte, la qual cosa pot estalviar temps i recursos en el procés de desenvolupament.

Paraules clau: Realitat virtual; tridimensional; mobiliari; interiorisme; disseny; experiència d'usuari

III. Índice de figuras

Fig. 1. Utilización de un visor de realidad virtual durante la visualización de un modelo en fase de desarrollo. Fuente: https://onx.la/dbef2	21
Fig. 2. Sillín de bicicleta Fízi:k, producido en masa impreso parcialmente en 3D. Fuente: https://onx.la/53f59	21
Fig. 3. Prueba de resistencia realizada en Nicolau et al. (2022).....	22
Fig. 4. Esquema del funcionamiento de la estereopsis. [6] Fuente: https://onx.la/02857	23
Fig. 5. En 1838 Charles Wheatstone inventó el estereoscopio, el cuál permitía visualizar imágenes en 3D utilizando pares estereoscópicos. Fuente: https://onx.la/1f743	24
Fig. 6. “Espada de Damocles” fué el nombre que recibieron el primer dispositivo de VR creado por Ivan Sutherland. Fuente: https://onx.la/14f0d	25
Fig. 7. Usuarios de los guantes de la compañía VPL Research, Inc. (izquierda) y del “Sistema de visión estereoscópica mejorado” de LEEP en 1979 (derecha). Fuente: https://onx.la/14f0d	25
Fig. 8. Usuario de un dispositivo de VR jugando al videojuego Half-Life: Alyx. Fuente: https://acortar.link/O7oKRv	27
Fig. 9. Los dispositivos de la empresa META con el modelo Quest 2 (próximamente Quest 3) (arriba) y los PICO 4 (abajo), son unos de los modelos más avanzados actualmente. Fuentes: https://acortar.link/YUBGVH y https://acortar.link/Pdu8WR	28
Fig. 10. Taller de artesanos de instrumentos musicales en la edad media (s. XIV) (izquierda) / Joyero del renacimiento (s. XVI) (Derecha). Fuentes: https://acortar.link/uzXgnR y https://acortar.link/k73A3F	29
Fig. 11. Máquina de vapor de James Watt, clave en la Revolución Industrial (Reino Unido, 1763) (izquierda) / Jarrón Savoy de Alvar Aalto para la exposición de París (1936) (Derecha). Fuentes: https://acortar.link/xcuSP3 y https://acortar.link/0MWSNI	30
Fig. 12. Silla Curulis. Utilizada desde la República e Imperio Romano (44 a.C.) (izquierda) / Interior de un palacio en Sevilla del s. XV (Derecha). Fuentes: https://acortar.link/eRp6nn y https://acortar.link/9GFDbC	31

Fig. 13. Silla Thonet nº 14 (1854) (Izquierda) / Chaise Longue B 306, de Le Corbusier (1928) (Derecha). Fuentes: https://acortar.link/LEk8eX y https://acortar.link/2N6t74	32
Fig. 14. La impresora utilizada en este TFM es el modelo CR-10 V2, de Creality. Fuente: https://acortar.link/2Txe29	33
Fig. 15. Algunos productos de la empresa Model N° fabricados utilizando la impresión 3D. Fuente: https://onx.la/ab144	34
Fig. 16. Techo interior realizado íntegramente en madera y utilizando uniones japonesas. Fuente: https://onx.la/77e1c	35
Fig. 17. Representación de la unión "Tsugite". Fuente: https://acortar.link/3qGKAC	36
Fig. 18. Representación de la unión "Sashimono". Fuente: https://acortar.link/3qGKAC	36
Fig. 19. Representación de la unión "Shihou-hozo-tsugi". Fuente: https://acortar.link/3qGKAC	37
Fig. 20. Representación de la unión "Hako-aikaki-shachi-sen-shikuchi". Fuente: https://acortar.link/3qGKAC	37
Fig. 21. Representación de la unión "Kinogata-chigiri-tsugi". Fuente: https://acortar.link/3qGKAC	37
Fig. 22. Los modelos digitales se utilizan en campos muy diversos, como puede ser el diseño de moda. En la imagen se observa el modelo 3D realizado en el software "Browzwear" y el producto final. Fuente: https://acortar.link/npNHX8	39
Fig. 23. En la industria del automóvil son usuales los prototipos físicos hechos de arcilla. Fuente: https://onx.la/af25c	40
Fig. 24. Armchair de Otto Wagner. Fuente: https://acortar.link/P53rop	44
Fig. 25. Sitzgeiststuhl de Heinz & Bodo Rasch. Fuente: https://acortar.link/ymBoQ1	44
Fig. 26. Stacking child's chair de Marco Zanuso & Richard Sapper. Fuente: https://acortar.link/kyzjbc	45
Fig. 27. Dangari de Pierre Paulin. Fuente: https://acortar.link/ejevtq	45
Fig. 28. Medidas generales de asientos para personas adultos y niños. Fuente: https://onx.la/356d9	46
Fig. 29. Moodboard. Fuente: Propia.	47
Fig. 30. Boceto 1. Fuente: Propia.	48

Fig. 31. Boceto 2. Fuente: Propia.	48
Fig. 32. Boceto 3. Fuente: Propia.	49
Fig. 33. Modelo elegido durante el modelado 3D de la parte del respaldo. Fuente: Propia.	51
Fig. 34. El material seleccionado es un material básico con un color similar al que se pretende tener en el diseño final. Fuente: Propia.....	54
Fig. 35. Captura de pantalla de la escena con la silla seleccionada para su visualización VR en Blender. Fuente: Propia.	55
Fig. 36. META Quest 2 durante su uso para la visualización de las propuestas. Fuente: Propia.	56
Fig. 37. Propuesta elegida. Fuente: Propia.....	58
Fig. 38. Rediseño de la propuesta elegida. Fuente: Propia.	59
Fig. 39. Fotografía tomada durante la visualización de la Propuesta 2. Fuente: Propia.....	59
Fig. 40. Vistas de alzado, planta y perfil renderizadas del diseño elegido. Fuente: Propia.....	60
Fig. 41. Imágenes renderizadas del diseño en un ambiente. Fuente: Propia.	61
Fig. 42. Silla en color negro. Fuente: Propia.....	62
Fig. 43. Silla en color blanco. Fuente: Propia.	62
Fig. 44. Silla en combinación de colores (rojo, amarillo, azul, negro y blanco), inspirada en el arte de Piet Mondrian. Fuente: Propia.	63
Fig. 45. Vista de las zonas de corte de la propuesta. Fuente: Propia.....	64
Fig. 46. Vista de detalle de las uniones entre piezas. Fuente: Propia.	65
Fig. 47. Sección de las patas con el vaciado de espesor 4mm. Fuente: Propia.	68
Fig. 48. Vista inferior de las sujeciones fijas. Fuente: Propia.	69
Fig. 49. Vista de zonas de aplicación de la carga. Fuente: Propia.	69
Fig. 50. Tensión Von Mises resultante en una carga de 120kg en el asiento. Fuente: Propia.	70
Fig. 51. Deformación resultante en una carga de 120kg en el asiento. Fuente: Propia.	70
Fig. 52. Tensión Von Mises resultante en una carga de 200kg en el asiento. Fuente: Propia.	71
Fig. 53. Deformación resultante en una carga de 200kg en el asiento. Fuente: Propia.....	71

Fig. 54. Previsualización de la impresión de la pata delantera derecha (izquierda) y de los soportes del respaldo (derecha). Fuente: Propia.....	74
Fig. 55. Impresora durante la impresión de la primera capa. Fuente: Propia.	75
Fig. 56. Fallos debidos a la mala impresión de la primera capa (izquierda) / Fallo debido al taponamiento parcial del tubo de teflón (derecha). Fuente: Propia.....	76
Fig. 57. Algunas piezas del prototipo antes de remover los soportes. Fuente: Propia.....	76
Fig. 58. Filamento utilizado. Fuente: https://onx.la/5a414	77
Fig. 59. Vistas de alzado, planta y perfil del prototipo. Fuente: Propia.	79
Fig. 60. Vista de detalle de las uniones. Fuente: Propia.....	80
Fig. 61. Primeras pruebas del prototipo para comprobar su resistencia durante un uso normal. Fuente: Propia.	80

IV. Índice de tablas

Tabla 1. Matriz de valoración. Fuente: Propia.	50
Tabla 2. Propiedades del PLA utilizado para el cálculo. Fuente: Propia.	68
Tabla 3. Listado de elementos del diseño. Fuente: Propia.	84
Tabla 4. Parámetros utilizados en la impresión 3D. Fuente: Propia.	74
Tabla 5. Tiempos de impresión de cada parte. Fuente: Propia.	78
Tabla 6. Listado de materiales de taller. Fuente: Propia.	114
Tabla 7. Listado de herramientas de taller. Fuente: Propia.	115
Tabla 8. Sumatorio de costes. Fuente: Propia.	119

MOTIVACIÓN

Realidad virtual e impresión 3D aplicada al diseño y construcción de mobiliario



1. Motivación

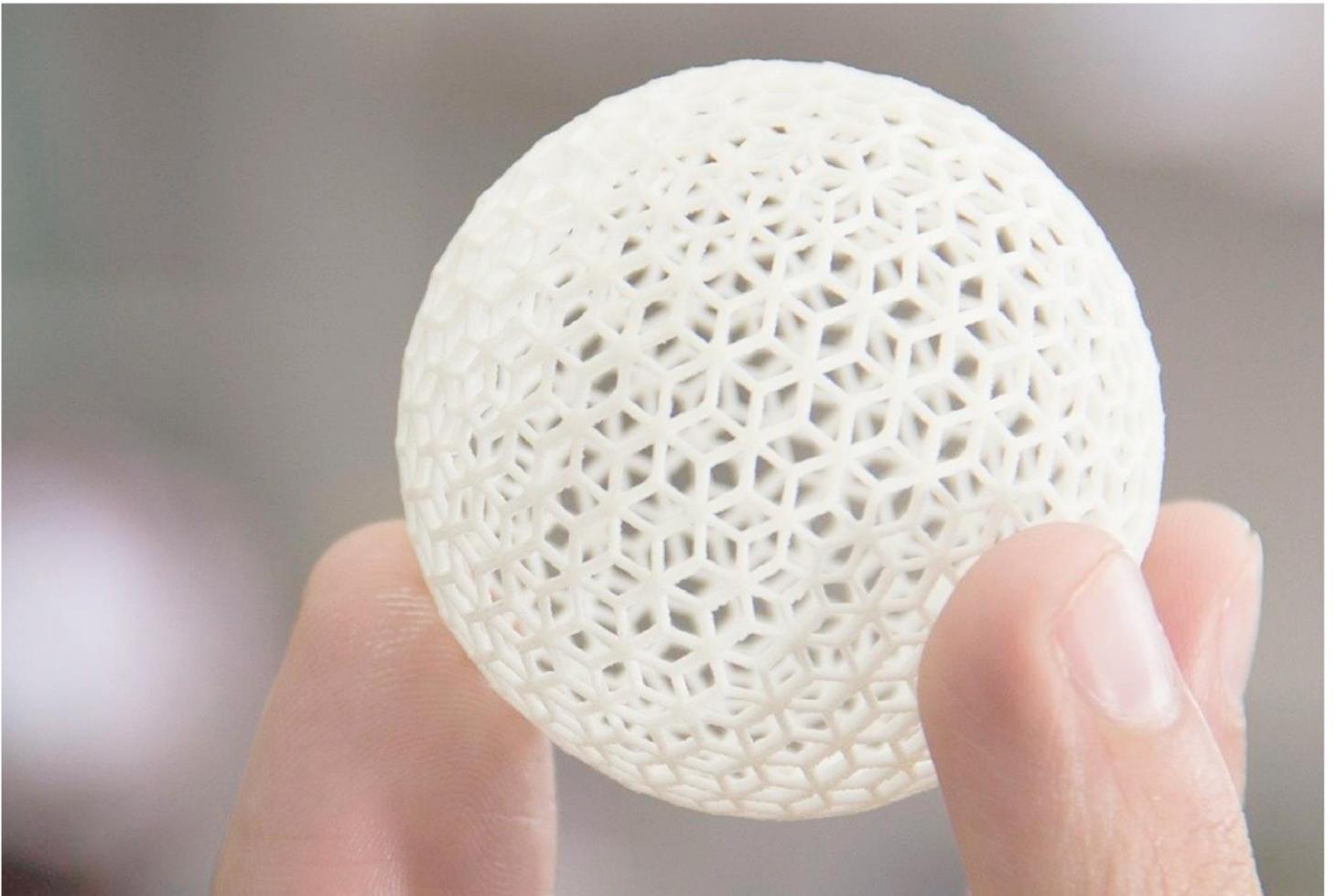
La industria del mobiliario es un sector en constante evolución, y el uso de las nuevas tecnologías puede dar lugar a nuevas oportunidades de negocio y a una mayor competitividad en el mercado.

La motivación para la realización de este Trabajo de Fin de Máster (TFM) surge del interés en explorar la evolución y aplicación de las tecnologías de realidad virtual e impresión 3D en el diseño y fabricación de mobiliario. Estas tecnologías tienen el potencial de revolucionar la forma en que se diseña, produce y consume el mobiliario, lo que puede mejorar la eficiencia, la calidad y la sostenibilidad de la producción de mobiliario.

En resumen, la motivación para realizar este TFM surge de la necesidad de investigar nuevas soluciones innovadoras y eficientes en el diseño y la producción en el sector. Además, servirá para explorar las posibilidades que ofrecen las tecnologías de realidad virtual e impresión 3D para mejorar la calidad, la sostenibilidad y, sobre todo, la competitividad de la industria del mobiliario.

OBJETIVOS

Realidad virtual e impresión 3D aplicada al diseño y construcción de mobiliario



2. Objetivos

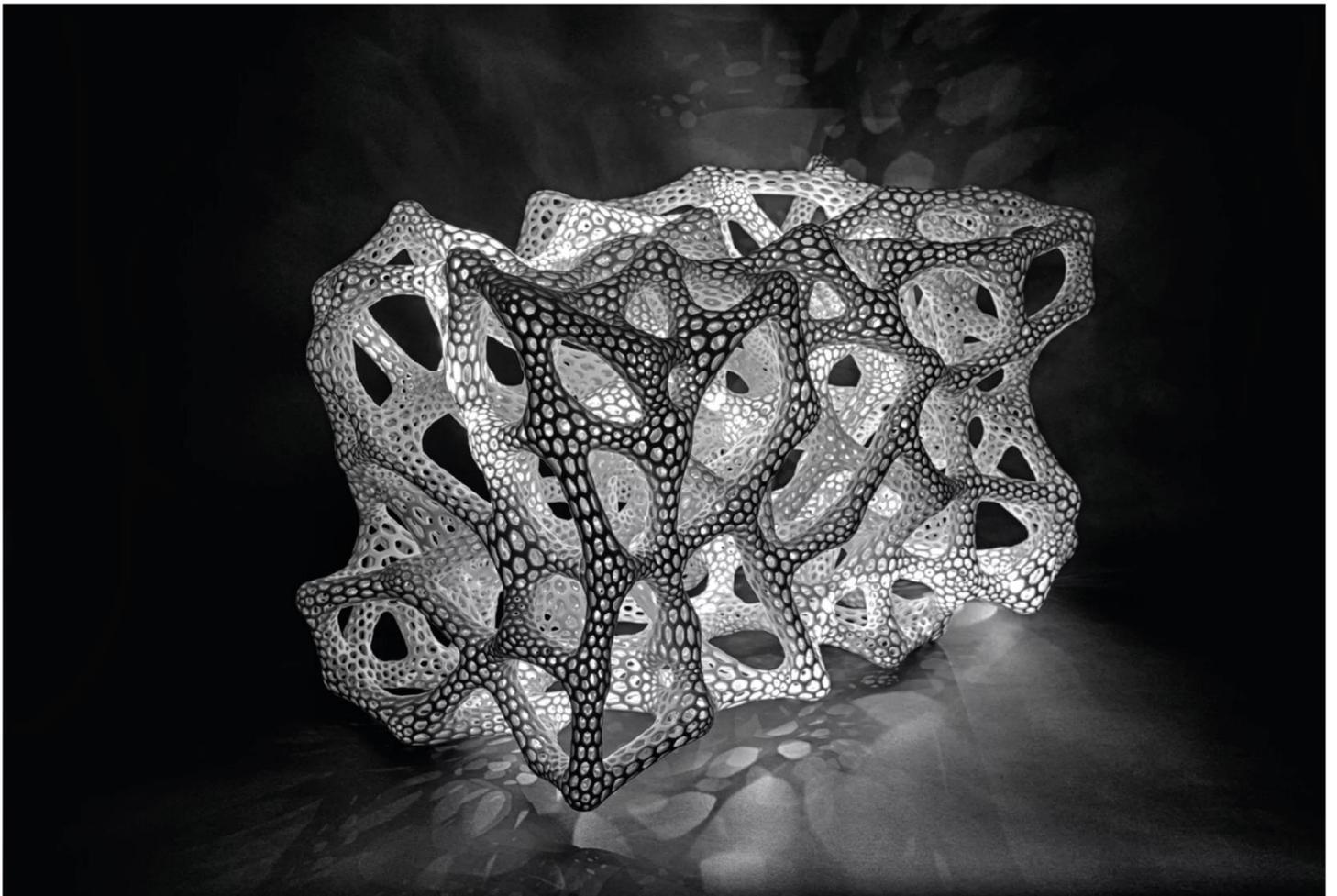
El objetivo de este TFM es explorar la aplicación de la tecnología de realidad virtual y la impresión 3D en el diseño y la posterior producción de mobiliario. Este trabajo se centrará en el diseño de mobiliario validado mediante realidad virtual, lo que permitirá a los diseñadores visualizar el mobiliario en un entorno tridimensional antes de que se materialice físicamente. Además, se utilizará la tecnología de impresión 3D para producir los prototipos del mobiliario, así como su posible producción en masa, lo que permitirá una producción más rápida y eficiente, así como una mayor flexibilidad en el diseño.

En concreto, se buscará investigar cómo la combinación de estas dos tecnologías puede mejorar el proceso de diseño y fabricación de mobiliario, reducir los costes y tiempos de producción, y mejorar la calidad del producto final, adaptando el producto a las necesidades de cada usuario. También se explorará la viabilidad económica de utilizar estas tecnologías en la producción en masa.

Como resumen, este TFM busca demostrar que la aplicación de las tecnologías de realidad virtual e impresión 3D en el diseño y fabricación de mobiliario pueden ser una solución innovadora y eficiente en el sector del mobiliario.

FASES DEL PROYECTO

Realidad virtual e impresión 3D aplicada al diseño y construcción de mobiliario



3. Fases del proyecto

Para la realización de esta línea de mobiliario, se plantea un proceso dividido en diversas fases, entre las cuales se encuentran las siguientes:

- I. **Revisión bibliográfica:** En esta fase se realizará una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre el diseño de mobiliario, la tecnología de realidad virtual y la impresión 3D. El objetivo de esta fase es identificar las mejores prácticas, las limitaciones y las oportunidades de estas tecnologías en el campo del diseño de mobiliario.
- II. **Diseño y desarrollo del mobiliario:** Se investigará sobre mobiliario ya impreso en 3D, así como sobre productos que puedan ser de interés, se crearán los bocetos y modelos 3D necesarios y se creará un entorno virtual donde se pueda comprobar la viabilidad y estética del diseño.
- III. **Visualización VR:** En esta fase se utilizará la tecnología de realidad virtual para visualizar y comprobar el diseño elegido, y si se da el caso, se realizarán los cambios y modificaciones que puedan ser necesarios.
- IV. **Cálculo de elementos finitos:** En esta parte se evaluará la resistencia del producto final impreso en 3D. Se realizarán cálculos de resistencia teniendo en cuenta la carga que debería soportar según la normativa para este tipo de mobiliario.
- V. **Impresión 3D del prototipo del producto:** En esta fase se imprimirá el prototipo diseñado en realidad virtual utilizando tecnología de impresión 3D. Se evaluará la calidad de los productos impresos y se comparará con el diseño original.
- VI. **Análisis de la viabilidad económica:** A través de este análisis se estudiará la viabilidad económica para la producción en masa del mobiliario diseñado y visualizado. Se evaluarán los costes y tiempos de producción y se comparará con los métodos tradicionales de producción de mobiliario.
- VII. **Conclusiones y recomendaciones:** En esta fase se presentarán las conclusiones y recomendaciones basadas en los resultados de las fases anteriores. Se discutirán las ventajas y desventajas del uso de las tecnologías de realidad virtual e impresión 3D en el diseño y producción de mobiliario, y se propondrán recomendaciones para mejorar el proceso en futuros proyectos.

ESTADO DEL ARTE

Realidad virtual e impresión 3D aplicada al diseño y construcción de mobiliario



4. Estado del arte

En la actualidad, se observa un aumento de la automatización y digitalización a través de diversas tecnologías en la mayoría de los procesos que nos rodean, desde las más sencillas a las más complejas. Esto permite la minimización, o al menos la reducción, de tiempo y riesgos en las tareas más cotidianas, además de un aumento de la productividad en las empresas.

Estas tecnologías se pueden encontrar en todas las etapas de los tres sectores económicos, especialmente en el secundario y terciario, y juegan un papel primordial en el proceso de digitalización de las empresas.

En el campo del diseño de mobiliario, la tecnología de realidad virtual e impresión 3D están ganando terreno debido a su capacidad de acelerar el proceso de diseño y producción, reducir los costes y mejorar la calidad y la personalización de los productos.

Realidad virtual: En el campo del diseño de mobiliario e interiores, la realidad virtual se utiliza para crear modelos 3D interactivos de muebles y espacios que permiten a los diseñadores experimentar con diferentes formas, materiales, texturas y colores en tiempo real. Además, la realidad virtual permite una visualización casi real del mobiliario (forma, tamaño, color, uniones, anclajes, etc.), lo que facilita la toma de decisiones y la comprobación de la viabilidad de los diseños.



Fig. 1. Utilización de un visor de realidad virtual durante la visualización de un modelo en fase de desarrollo.

Impresión 3D: La impresión 3D se está convirtiendo en una tecnología cada vez más popular en el campo del diseño de mobiliario debido a su capacidad para crear piezas personalizadas y únicas con un alto nivel de detalle y calidad. Además, permite reducir los costes y tiempos de producción al eliminar la necesidad de herramientas y moldes especiales, lo que la hace especialmente adecuada para la producción en pequeñas series.

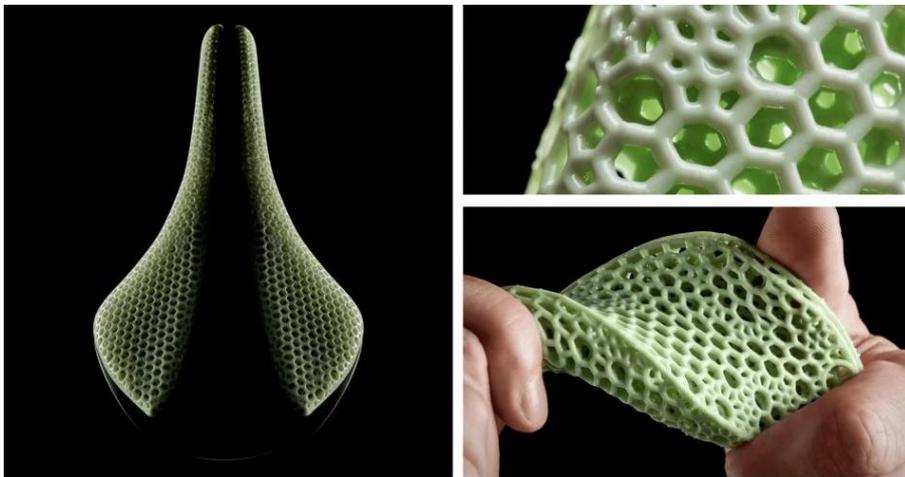


Fig. 2. Sillín de bicicleta Fí'zi:k, producido en masa impreso parcialmente en 3D.

En la literatura consultada, se han identificado estudios que han investigado el uso de estas tecnologías en el diseño y fabricación de mobiliario. Por ejemplo, algunos trabajos han utilizado la realidad virtual para diseñar y simular la interacción humana con el mobiliario (Fleury, 2022), mientras que otros han estudiado la resistencia de la

impresión 3D en la creación de prototipos y piezas únicas de mobiliario (Nicolau, 2022; Yang, 2022).

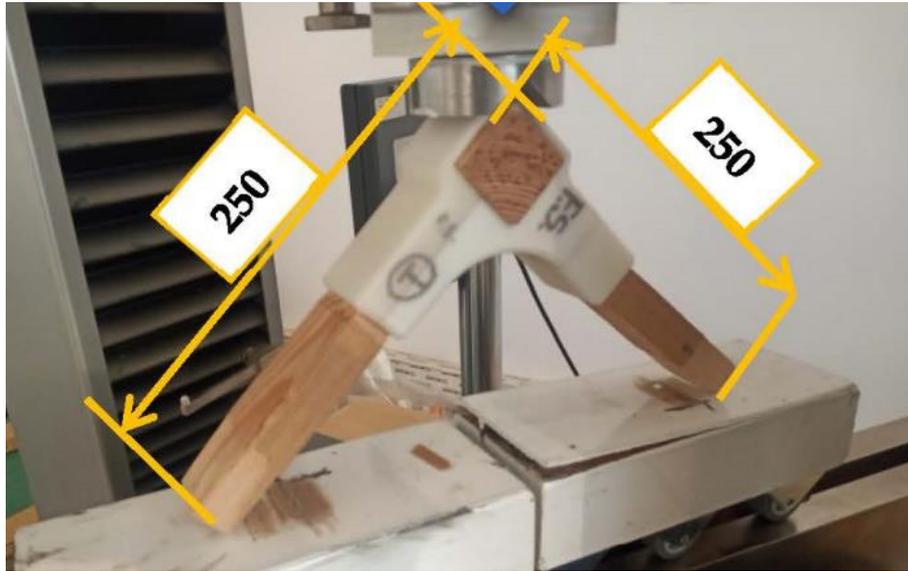


Fig. 3. Prueba de resistencia realizada en Nicolau et al. (2022).

En general, el estado del arte indica que estas tecnologías tienen el potencial de mejorar la eficiencia, la calidad y la personalización en la producción de mobiliario, pero aún hay desafíos técnicos y económicos que deben abordarse para que su uso sea más amplio y efectivo en dicha industria.

4.1. Investigación

4.1.2. Realidad virtual

Para entender el funcionamiento de la realidad virtual, conviene explicar primero el proceso a través del cual funciona: la estereopsis.

El término estereopsis procede de las palabras griegas *stereo* (sólido) y *opsis* (vista), y se trata de un proceso que tiene lugar en el cerebro, a través del cual éste recibe dos imágenes con una ligera diferencia y las combina para generar una única imagen tridimensional. Esto nos permite el cálculo de distancias y profundidades, para la correcta apreciación del volumen de los objetos y espacios.

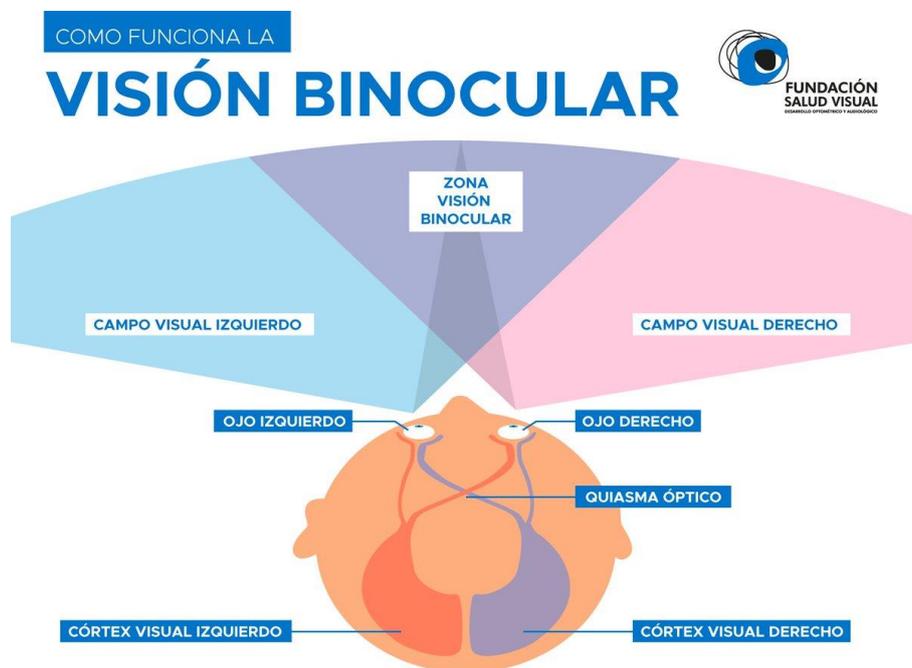


Fig. 4. Esquema del funcionamiento de la estereopsis. [6]

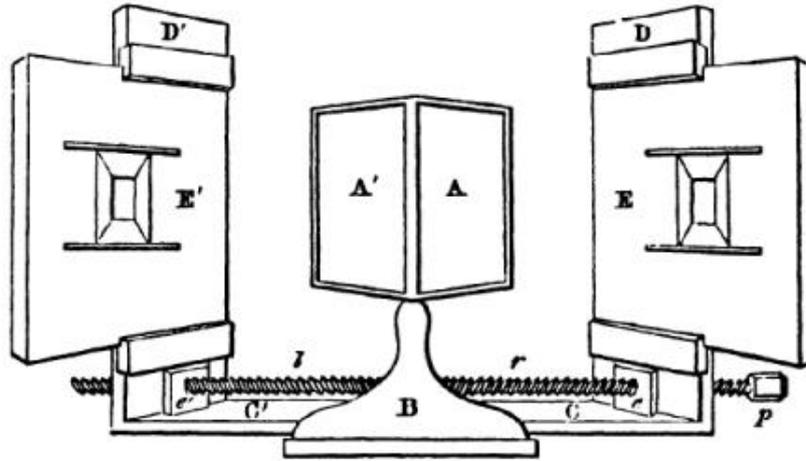


Fig. 5. En 1838 Charles Wheatstone inventó el estereoscopio, el cuál permitía visualizar imágenes en 3D utilizando pares estereoscópicos.

Los inicios de la realidad virtual se remontan a la década de 1960, cuando Ivan Sutherland desarrolló el primer dispositivo de visualización de realidad virtual en la Universidad de Harvard (Viciosa, 2019). Este casco permitía a los usuarios sumergirse en un entorno virtual generado por ordenador y manipular objetos en 3D. Sin embargo, debido a la falta de tecnología adecuada, la realidad virtual no tuvo un desarrollo significativo hasta la década de 1980, cuando surgieron los primeros dispositivos de visualización y guantes de datos, como los de la compañía *VPL Research, Inc.*

En la década de 1990, la realidad virtual experimentó un auge en la industria del entretenimiento, con la aparición de videojuegos y simuladores de vuelo que utilizaban esta tecnología. Sin embargo, la complejidad y el alto costo de los equipos limitaron su adopción en otros ámbitos.



Fig. 6. "Espada de Damocles" fué el nombre que recibieron el primer dispositivo de VR creado por Ivan Sutherland.

A medida que la tecnología avanzaba, la realidad virtual comenzó a utilizarse en aplicaciones como la formación militar, la simulación de procedimientos médicos y la planificación arquitectónica. En la década de 2010, la realidad virtual experimentó un renacimiento con la aparición de dispositivos de bajo coste, como Oculus Rift y HTC Vive, que permitieron una experiencia de realidad virtual de alta calidad a un **precio más accesible**.



Fig. 7. Usuarios de los guantes de la compañía VPL Research, Inc. (izquierda) y del "Sistema de visión estereoscópica mejorado" de LEEP en 1979 (derecha).

Hoy en día, la realidad virtual se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, desde la educación y el entrenamiento hasta el diseño de productos y la industria del entretenimiento. La tecnología continúa evolucionando, con avances en la resolución de la pantalla, el seguimiento de movimiento y la interacción con el entorno virtual, lo que promete expandir aún más las posibilidades de la realidad virtual en el futuro.

4.1.3. Realidad virtual inmersiva

La realidad virtual inmersiva es una tecnología que permite al usuario experimentar una **sensación de presencia** y estar completamente sumergido en un entorno virtual generado por ordenador. La idea detrás de la realidad virtual es proporcionar una experiencia lo más cercana posible a la realidad, sin estar físicamente presente en ella. Esto se logra mediante el uso de dispositivos de visualización, como cascos o gafas que cubren los ojos del usuario y le muestran imágenes generadas por ordenador.

Además de los cascos y gafas, la realidad virtual inmersiva también puede utilizar otros dispositivos, como guantes hápticos (mencionados anteriormente), trajes de cuerpo entero o controladores de movimiento, para permitir al usuario interactuar con el entorno virtual de manera más natural y fluida. Estos dispositivos se utilizan para proporcionar una sensación de movimiento que imita las sensaciones que se tendrían en la realidad.

La realidad virtual inmersiva se utiliza en una variedad de aplicaciones, desde videojuegos y entretenimiento hasta simulaciones y entrenamiento. En videojuegos, la realidad virtual inmersiva permite al jugador sentirse parte del juego y experimentar la acción de una manera más realista. En aplicaciones de simulación y entrenamiento, la realidad virtual inmersiva permite al usuario practicar situaciones en un **entorno seguro** y controlado antes de enfrentarse a ellas en el mundo real.

A día de hoy existen muchos videojuegos que utilizan la realidad virtual para proporcionar una experiencia más inmersiva, como: Half-Life: Alyx, Superhot, Skyrim o Resident Evil 7, entre otros.



Fig. 8. Usuario de un dispositivo de VR jugando al videojuego Half-Life: Alyx.

Una de las mayores ventajas de la realidad virtual inmersiva es su capacidad para transportar al usuario a cualquier entorno imaginable. Los usuarios pueden explorar mundos imaginarios, viajar a lugares exóticos o experimentar situaciones peligrosas sin correr ningún riesgo. Esto hace que la realidad virtual inmersiva sea una herramienta valiosa en áreas como la educación, la medicina y la industria, donde la práctica en entornos reales puede ser cara y/o peligrosa.

En resumen, la realidad virtual inmersiva es una tecnología emocionante y en constante evolución que permite al usuario sumergirse por completo en un entorno virtual. Esta tecnología se utiliza en una variedad de aplicaciones, desde videojuegos y entretenimiento hasta simulaciones y entrenamiento, y ofrece una experiencia inmersiva y segura para explorar y experimentar con nuevos entornos y situaciones.

4.1.4. Sistema Head Mounted Display

El sistema Head Mounted Display (HMD) es un dispositivo que se utiliza en aplicaciones de realidad virtual para proporcionar una experiencia visual y auditiva inmersiva. Se trata de cascos, o más usualmente gafas, que se colocan en la cabeza del usuario, cubriendo completamente sus ojos para que únicamente sean visibles las imágenes generadas por un ordenador, una consola, o incluso móviles o tablets.



Fig. 9. Los dispositivos de la empresa META con el modelo Quest 2 (próximamente Quest 3) (arriba) y los PICO 4 (abajo), son unos de los modelos más avanzados actualmente.

La imagen que se muestra en las pantallas del HMD está diseñada para crear la sensación de presencia en el mundo virtual. Es una imagen estereoscópica que muestra una perspectiva diferente para cada ojo, lo que hace que el cerebro perciba una imagen 3D (Hernández, s.f).

Los HMD también pueden estar equipados con sensores de movimiento para la cabeza (*Head Tracking*), lo que significa que la imagen que se muestra en la pantalla se mueve en tiempo real según los movimientos de la cabeza del usuario.

Además de imágenes, los HMD también pueden proporcionar audio espacial mediante auriculares incorporados. Esto significa que el usuario puede escuchar sonidos que se corresponden con su ubicación en el mundo virtual, lo que aumenta la sensación de inmersión.

Los HMD se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones de realidad virtual, desde juegos y entretenimiento hasta aplicaciones médicas y de ingeniería. En general, el sistema HMD es uno de los componentes clave de la tecnología de realidad virtual, ya que permite al usuario sumergirse completamente en un mundo virtual y experimentar una sensación de presencia en ese mundo.

4.1.5. Diseño de producto

El diseño de producto es una disciplina que se enfoca en la creación de objetos que satisfagan necesidades específicas de los usuarios, sin descuidar su atractivo y funcionalidad.

A lo largo de la historia, el diseño de producto ha evolucionado para adaptarse a las necesidades cambiantes de la sociedad y la tecnología, desde la producción de objetos funcionales y estéticos hasta la producción en masa y la personalización con la tecnología digital.

Desde que el hombre comenzó a fabricar herramientas y utilizarlas hasta la Edad Media (hasta el s. XV), el diseño de producto se centraba en la producción de objetos básicos y funcionales para las necesidades cotidianas de la gente, como herramientas para la ganadería o horticultura y utensilios de cocina, entre otros. En este período, el énfasis estaba en la funcionalidad y la practicidad de los objetos, y no tanto en su estética.

Más tarde, ya en el Renacimiento (s. XVI), el diseño de producto se transformó en una forma de arte, con el énfasis en la estética y la belleza de los objetos. Los diseñadores se enfocaban en crear objetos hermosos y sofisticados que reflejaran la elegancia y el refinamiento de la época.

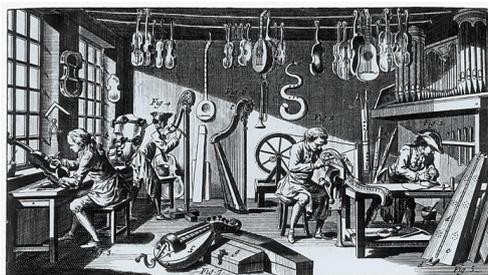


Fig. 10. Taller de artesanos de instrumentos musicales en la edad media (s. XIV) (Izquierda) / Joyero del renacimiento (s. XVI) (Derecha).

Durante la Revolución Industrial, y con la demanda creciendo casi exponencialmente, el diseño de producto se enfocó en la fabricación en masa de objetos estandarizados y uniformes, para satisfacer la creciente demanda del mercado. La producción en masa permitió que los objetos fueran más accesibles a la población en general, y que los precios fueran más asequibles.

En el siglo XX, el diseño de producto evolucionó aún más para reflejar la influencia del arte y la cultura en el diseño. Los diseñadores se enfocaron en crear objetos estéticamente atractivos y funcionales, con una atención especial a la ergonomía y la facilidad de uso.

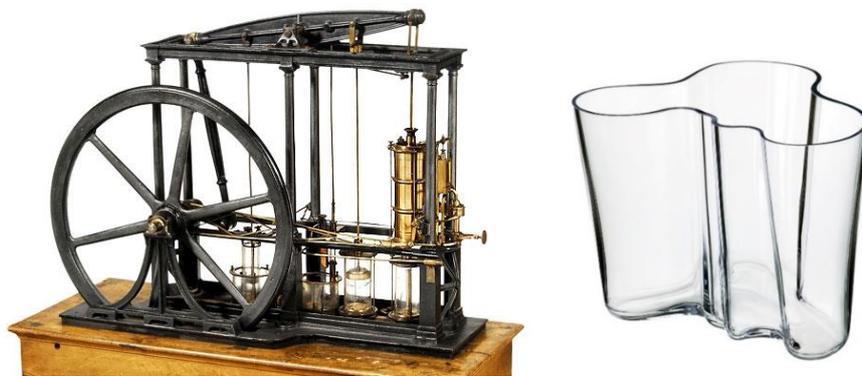


Fig. 11. Máquina de vapor de James Watt, clave en la Revolución Industrial (Reino Unido, 1763) (Izquierda) / Jarrón Savoy de Alvar Aalto para la exposición de París (1936) (Derecha).

Con el advenimiento de la tecnología digital, el diseño de producto se ha transformado aún más. Las herramientas de diseño asistido por ordenador (CAD, por sus siglas en inglés) permiten a los diseñadores crear productos precisos y personalizados, mientras que la impresión 3D permite la producción de prototipos en un tiempo récord.

4.1.6. Diseño de mobiliario

El diseño de mobiliario es una rama del diseño de producto enfocada en la creación de objetos para el hogar, para que estos sean fabricables, funcionales y estéticamente atractivos.

A lo largo de la historia, el diseño de mobiliario ha evolucionado en respuesta a los cambios culturales, tecnológicos y sociales. Por lo que, para entenderlo más debidamente, al igual que se ha hecho en el apartado anterior, sería más correcto explicarlo a través de un resumen de varias de sus épocas principales.

Desde la antigüedad hasta la edad Media, el mobiliario era utilizado principalmente por la nobleza (el pueblo llano se tenía que conformar con lo que podía heredar, encontrar o fabricar por su cuenta) y se enfocaba en la funcionalidad y la decoración, con diseños simples y prácticos. Los productos estaban hechos a mano con materiales de alta calidad como madera, mármol y bronce.

Durante el Renacimiento, el mobiliario se convirtió en una forma de acercarse más al arte y al diseño. Sus enfoques principales eran la belleza y la elegancia, con detalles altamente ornamentados y una amplia variedad de materiales, normalmente de alta calidad.



Fig. 12. Silla Curulis. Utilizada desde la República e Imperio Romano (44 a.C.) (Izquierda) / Interior de un palacio en Sevilla del s. XV (Derecha).

Más tarde, ya en la revolución industrial (siglo XVIII y XIX), la producción en masa permitió la creación de mobiliario más asequible para la clase media. Los diseños cambiaron el enfoque a uno más simétrico y sencillo para facilitar su producción, con maderas más baratas y diseños más simples. También se comenzaron a utilizar nuevos materiales, como el hierro o el acero.

En el siglo XX, el diseño de mobiliario se convirtió en una forma de expresión artística y de diseño industrial. Los diseñadores se enfocaron en la ergonomía, la comodidad y la tecnología, con diseños innovadores y formas experimentales.



Fig. 13. Silla Thonet nº 14 (1854) (Izquierda) / Chaise Longue B 306, de Le Corbusier (1928) (Derecha).

En la actualidad, el diseño de mobiliario se enfoca en la sostenibilidad, la personalización y la tecnología. Los diseños están hechos con materiales respetuosos con el medio ambiente y con técnicas de fabricación avanzadas, como bien pueden ser la impresión 3D y la realidad virtual.

4.1.7. Impresión 3D

La impresión 3D es el método más utilizado entre los distintos tipos de fabricación aditiva. Sus inicios se remontan a la década los 80, cuando se desarrollaron algunas de las primeras técnicas de prototipado rápido para la fabricación de piezas de plástico, aunque al principio la tecnología era limitada y de un alto coste, y por esto solo se utilizaba en aplicaciones industriales.

Algunos años más tarde, ya en los 90, se produjo un avance significativo en esta tecnología cuando se introdujo la fusión de capas, que permitía la producción de piezas más precisas y complejas. A medida que la tecnología evolucionaba, se desarrollaron nuevas técnicas y materiales para la impresión 3D, lo que permitió la producción de objetos más grandes y con mayor detalle.

Conforme avanzaba la tecnología y el mundo digital, la impresión 3D comenzó a utilizarse en aplicaciones de fabricación personalizada, como la producción de prótesis médicas y piezas de repuesto para maquinaria industrial, aunque también se utilizó en la creación de prototipos rápidos en los departamentos de I+D+i y en la creación de modelos para arquitectura, entre otros campos.

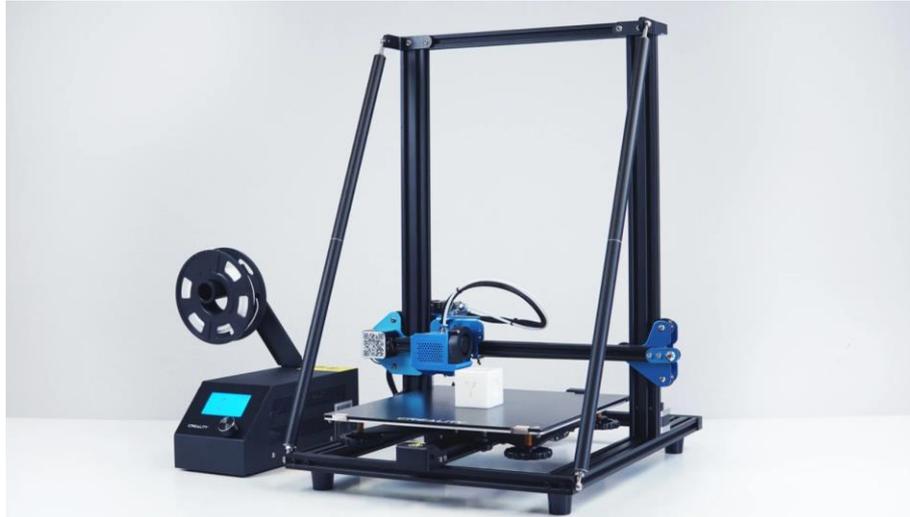


Fig. 14. La impresora utilizada en este TFM es el modelo CR-10 V2, de Creality.

En los últimos años, la impresión 3D ha experimentado un gran crecimiento en la industria del consumo, con la aparición de impresoras 3D de bajo coste que permiten a los usuarios crear objetos en su propia casa. También se ha utilizado en la producción de alimentos y en la fabricación de estructuras de alta complejidad, como las piezas de motores para vehículos.

Hoy en día, la impresión 3D se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, desde la medicina y la moda hasta la ingeniería y la fabricación de piezas para la industria aeroespacial. La tecnología continúa evolucionando, con avances en la velocidad de impresión, el tamaño de los objetos y la variedad de materiales que se pueden utilizar.

4.1.8. Mobiliario fabricado utilizando la impresión 3D

La impresión 3D es una técnica de fabricación aditiva que permite crear objetos tridimensionales a partir de un diseño digital. En el caso del mobiliario, se pueden imprimir piezas completas o parciales utilizando una impresora 3D. Este proceso se basa en la deposición de capas de material una encima de otra, siguiendo el modelo 3D previamente realizado en ordenador.

Esta tecnología permite crear formas y estructuras complejas que de otra manera serían difíciles de fabricar con los procesos tradicionales de carpintería, metales, etc... Además, también permite crear piezas únicas y personalizadas, adaptadas a las necesidades y preferencias del usuario final.

En cuanto a los materiales utilizados, la impresión 3D permite trabajar con una amplia variedad de opciones, desde plásticos hasta metales, pasando por cerámicas y materiales compuestos. Cada material tiene sus propias propiedades y características, lo que permite experimentar con diferentes acabados y texturas en la pieza final. Además, se sigue innovando en nuevos materiales constantemente, lo que permite a los técnicos y usuarios particulares de la impresión 3D acceder a las mejores propiedades y características de estos.

Entre los productos ya existentes en el mercado cabe destacar los conjuntos de mobiliario de la empresa *Model N°*, los cuales están fabricados utilizando impresión 3D de bioresinas entera o parcialmente (en algunos productos utilizan textiles, madera, etc.).



Fig. 15. Algunos productos de la empresa Model N° fabricados utilizando la impresión 3D.

Aunque casi todo son ventajas, todavía existen algunas limitaciones en la fabricación de mobiliario en impresión 3D. Si se fabrican muebles completos, una de ellas es el tamaño de la impresora, ya que las piezas de mobiliario suelen ser voluminosas y necesitan una impresora con un volumen de impresión lo suficientemente grande, por esto se suele optar por fabricar mobiliario con partes fabricadas en 3D (uniones, juntas, etc.), y no completamente. También se necesita una buena

calidad de impresión para que el resultado final sea resistente y duradero.

4.1.9. Uniones japonesas

En Japón, desde hace varios siglos (se estima que se desarrollaron en el siglo VII, pero probablemente aparecieran mucho antes) se han utilizado estas técnicas de ensamblado de la madera, sobre todo en la arquitectura (casas, templos, santuarios, etc.) y en el mobiliario. Este tipo de uniones se transmitían entre generaciones y hasta hace poco tiempo no comenzaron a documentarse, aunque sus representaciones eran complicadas de visualizar, ya que se mostraban en 2D en libros y revistas.

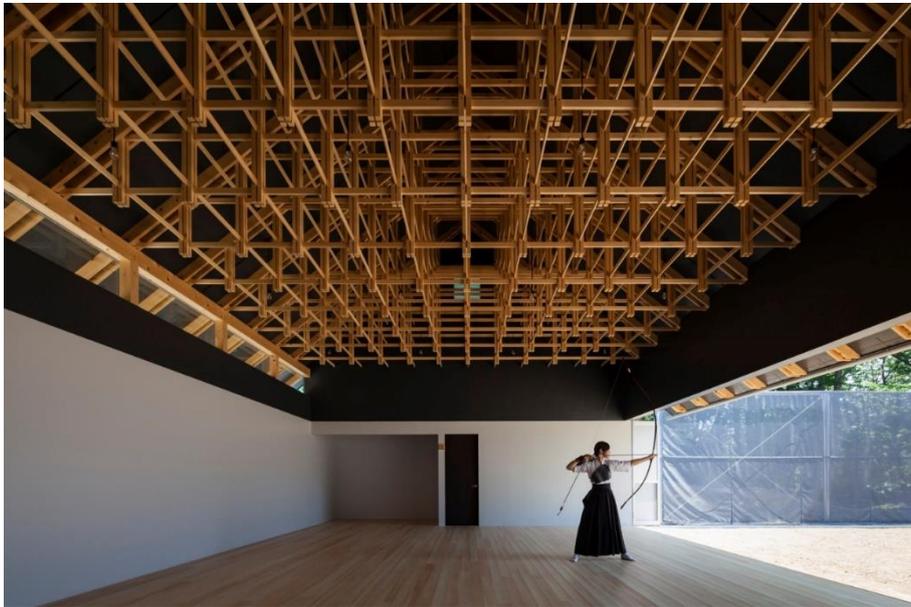


Fig. 16. Techo interior realizado íntegramente en madera y utilizando uniones japonesas.

Este tipo de uniones aprovechan las propiedades de la madera para lograr conexiones muy resistentes y duraderas, las cuales pueden aplicarse al mundo de la impresión 3D imitando su apariencia y funcionalidad.

Las uniones japonesas más conocidas y utilizadas son:

- **Tsugite (cola de milano):**

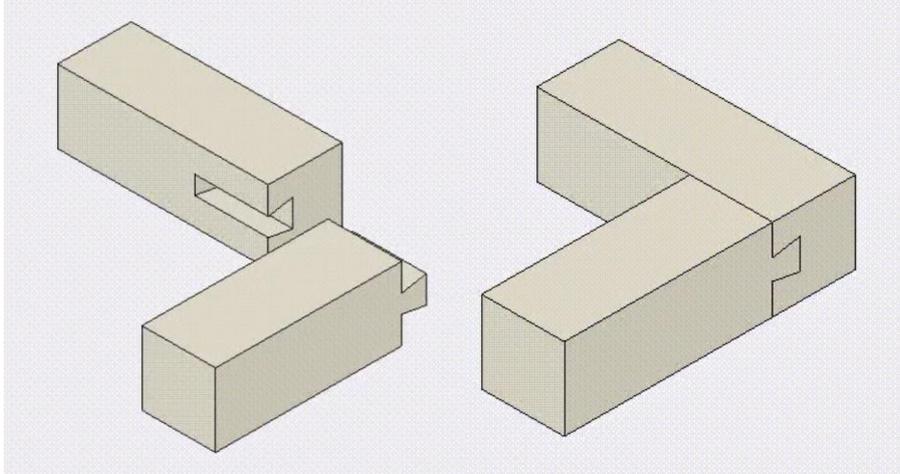


Fig. 17. Representación de la unión "Tsugite".

- **Sashimono (espiga):**

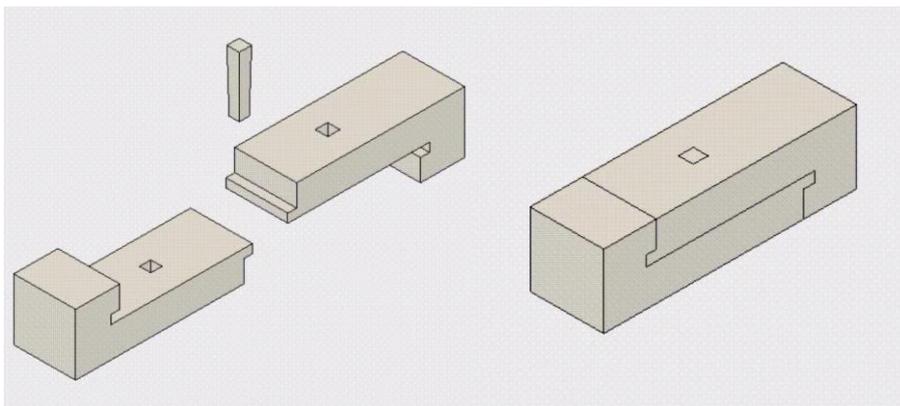


Fig. 18. Representación de la unión "Sashimono".

- **Shihou-hozo-tsugi (unión de caja y espiga de 4 direcciones):**

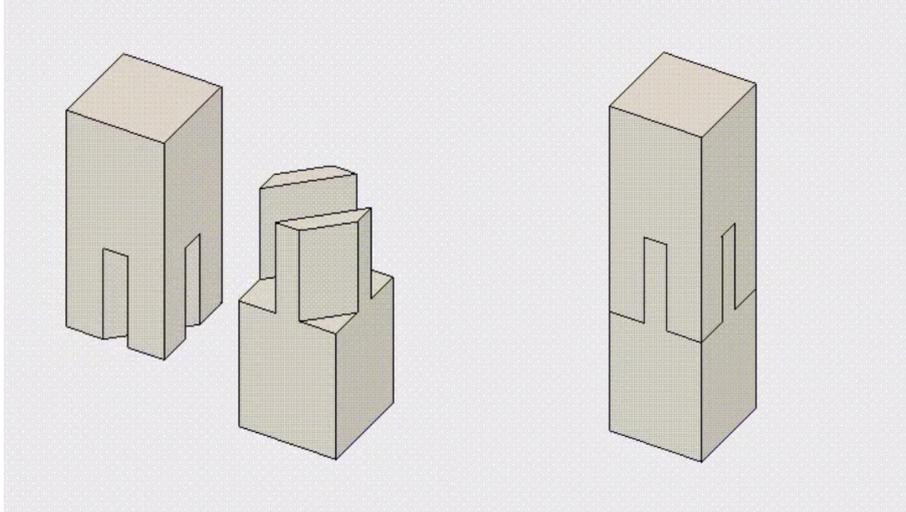


Fig. 19. Representación de la unión "Shihou-hozo-tsugi".

- **Hako-aikaki-shachi-sen-shikuchi (combina lengüetas, mortajas, colas de milano y espigas):**

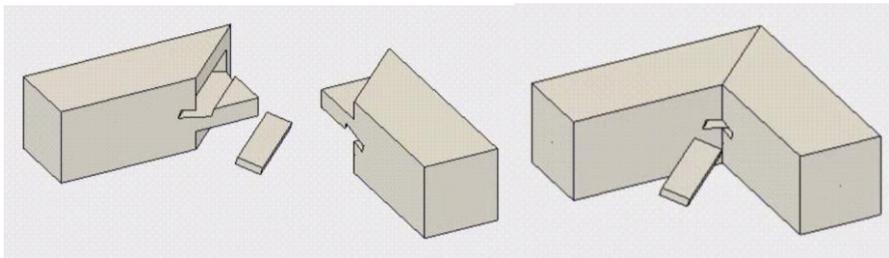


Fig. 20. Representación de la unión "Hako-aikaki-shachi-sen-shikuchi".

- **Kinegata-chigiri-tsugi (unión en forma de L deslizante):**

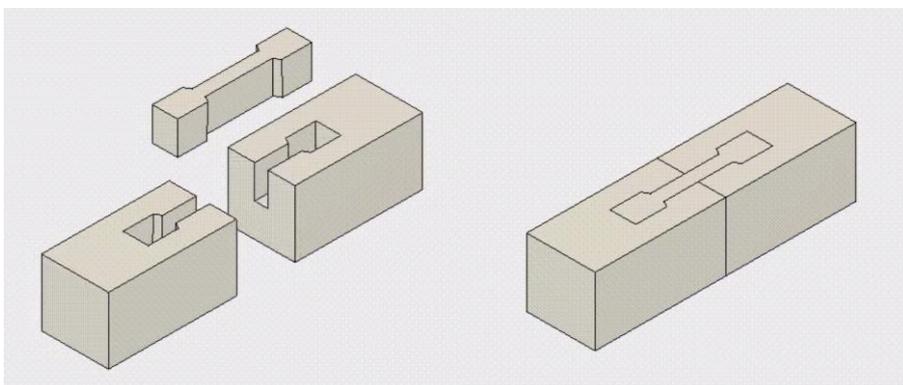


Fig. 21. Representación de la unión "Kinegata-chigiri-tsugi".

Estos son algunos de los miles de ejemplos de uniones japonesas existentes, las cuales tienen diferentes características y aplicaciones,

por lo que su elección depende del tipo de unión requerida y el propio diseño del producto. Este tipo de uniones varían en las formas y técnicas de encaje, pero comparten el objetivo de lograr una conexión sólida y duradera entre las diferentes partes.

La utilización de este tipo de uniones en productos impresos en 3D consigue combinar la tradición y la artesanía con la innovación tecnológica. Sus principales ventajas son: el menor coste de ensamblaje, la eliminación de sustancias tóxicas durante el proceso de fabricación y/o ensamblado, y la posibilidad de reutilizar las piezas (en algunos casos).

4.1.10. Modelos y prototipos (digitales y físicos)

Un modelo o prototipo es una muestra inicial que servirá como una simulación del producto final para comprobar el funcionamiento y las características de este.

Pueden existir modelos en todas las etapas del diseño o mejora de un producto.

En el caso de los modelos digitales, permiten visualizar y manipular los diseños en un entorno virtual (como pueden ser AutoCAD, SolidWorks, Blender, etc.), y sus principales ventajas son:

- La exploración creativa: Permiten experimentar con diferentes tamaños, formas, aspectos de materiales y configuraciones sin necesidad de invertir en la fabricación de prototipos físicos, lo que facilita el desarrollo de ideas más innovadoras.
- Aceleran la iteración en los diseños, ya que permiten realizar cambios y modificaciones de manera ágil y rápida.
- Permiten realizar simulaciones y análisis (de ergonomía, resistencia o de la interacción de los usuarios) utilizando software especializado, a un precio más bajo que en prototipos físicos.



Fig. 22. Los modelos digitales se utilizan en campos muy diversos, como puede ser el diseño de moda. En la imagen se observa el modelo 3D realizado en el software "Browzwear" y el producto final.

En cuanto a los prototipos físicos, suponen una representación tangible del diseño y su papel es crucial para la evaluación más realista de los productos. Se suelen generar utilizando materiales como arcilla, madera y poliestireno expandido (entre muchos otros), aunque en las últimas décadas está creciendo a un ritmo vertiginoso el uso de la impresión 3D en casi todos los campos y materiales. Sus principales ventajas son:

- Permiten una evaluación táctil y visual del diseño, por lo que permiten evaluar aspectos, texturas, calidades y sensaciones al tacto de los objetos, lo que ayuda a tener una experiencia lo más cercana a la realidad.
- Se pueden realizar pruebas de funcionalidad y de durabilidad en los productos que así lo requieran.
- Dan la posibilidad de presentarlos a clientes, expertos, u otros interesados que puedan dar *feedback* y opiniones para avanzar el diseño a siguientes iteraciones y mejoras.

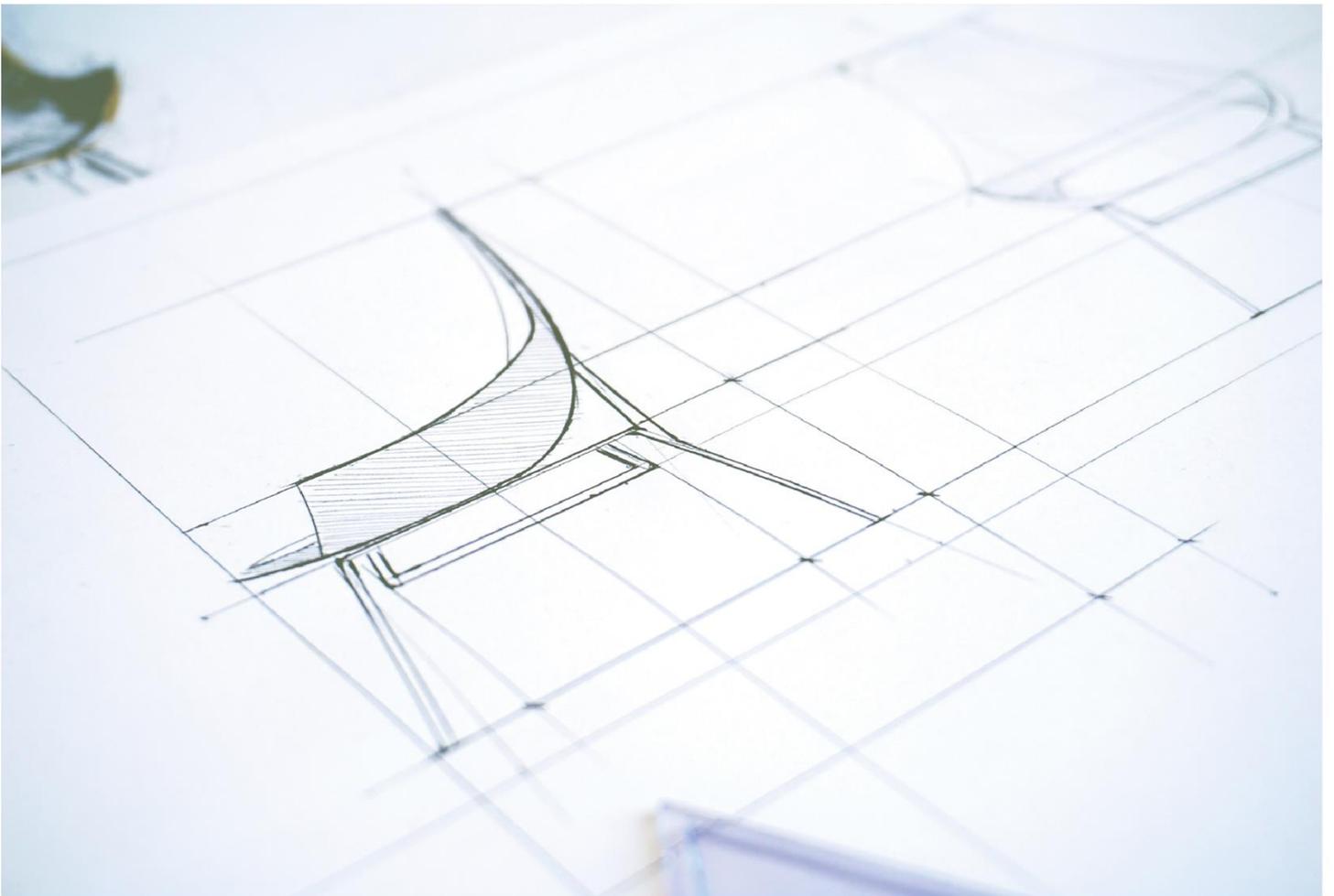


Fig. 23. En la industria del automóvil son usuales los prototipos físicos hechos de arcilla.

La utilización de modelos y prototipos tanto digitales como físicos se ha convertido en un paso casi imprescindible en la fase de diseño de cualquier producto, ya que contribuyen en el proceso de diseño haciéndolo más eficiente, preciso, de mayor calidad y aumentan las posibilidades de satisfacción del usuario con el producto final.

DISEÑO

Realidad virtual e impresión 3D aplicada al diseño y construcción de mobiliario



5. Diseño

El proceso de diseño seguido en la realización de este TFM se puede dividir en diversas etapas o fases. Aunque pueden variar ligeramente, es fundamental seguirlas para la correcta creación de productos que satisfagan las necesidades de los usuarios. Las fases seguidas en el proceso de diseño de este TFM han sido:

- I. Generación de un briefing.
- II. Fase de investigación.
- III. Diseño conceptual.
- IV. Selección de conceptos (matriz de valoración).
- V. Diseño y desarrollo de los conceptos (modelado 3D).

5.1. Briefing de diseño

A través de este briefing de diseño se abordarán los aspectos clave que deben cumplirse en el desarrollo del conjunto de la pieza de mobiliario descrita en este TFM.

Este diseño pretende la creación de una pieza de mobiliario funcional, estéticamente atractiva y adaptable a distintas situaciones y entornos. La pieza para diseñar elegida ha sido una silla, debido a que solo se dispone de una impresora 3D doméstica y por su tamaño es la pieza más adecuada para este proyecto.

Este producto se producirá por partes y se utilizará una impresora 3D doméstica con unas medidas de impresión de 300x300x400 mm.

Objetivos del desarrollo: Los principales objetivos serán la utilización de la impresión 3D para lograr formas de cierta complejidad y aprovechar la personalización que permite esta tecnología para adaptar la silla a distintas situaciones y preferencias de los usuarios.

Target: La adaptabilidad de esta línea debe permitir enfocarla a cualquier tipo de usuario final, desde bares y restaurantes a hogares privados.

Estilo y temática: Debe combinar “líneas rectas” con formas más orgánicas, ya que la impresión 3D lo permite y se pretende mostrar su potencial.

Ergonomía: Las medidas deben cumplir con los requisitos ergonómicos especificados en la normativa.

Materiales: Se fabricará completamente en impresión 3D, por lo que los materiales se limitarán a polímeros, como pueden ser el PLA, PETG, ABS o ASA, entre otros.

Sostenibilidad: Los materiales anteriormente descritos son todos 100% reciclables, y en el caso del PLA también es biodegradable. Además, se fabricarán el máximo de piezas a la vez, lo que intentará minimizar el consumo energético de las impresoras 3D.

Pruebas y prototipos: Se realizará un análisis de elementos finitos, para comprobar la resistencia del modelo con el material seleccionado. Más tarde se realizará un prototipo de la silla para analizar su montaje y funcionalidad, así como su adaptabilidad.

5.2. Fase de investigación

Durante la fase de investigación se ha realizado una búsqueda de productos fabricados utilizando como material principal el plástico, que permite obtener formas más complejas que utilizando materiales más tradicionales como pueden ser la madera o los metales. Además de productos diseñados con impresión 3D. Toda esta investigación se ha realizado a través de la búsqueda por internet y a través de libros y publicaciones.

Algunos de los productos observados que han servido de inspiración para el diseño de la línea de mobiliario han sido:

- Armchair for the 1900 Paris Exhibition, Otto Wagner (1900)



Fig. 24. Armchair de Otto Wagner.

- Sitzgeiststuhl, Heinz & Bodo Rasch (1927)



Fig. 25. Sitzgeiststuhl de Heinz & Bodo Rasch.

- Stacking child's chair (Model N° 4999/5), Marco Zanuso & Richard Sapper (1961-1964)



Fig. 26. Stacking child's chair de Marco Zanuso & Richard Sapper

- Dangari, Pierre Paulin (1978)



Fig. 27. Dangari de Pierre Paulin

5.2.1. Estudio ergonómico

Se realiza un breve estudio antropométrico de las partes generales relacionadas con el acto de sentarse con el fin de conseguir la máxima comodidad y seguridad a la hora de descansar sobre el producto.

Este estudio se lleva a cabo teniendo en cuenta una postura estática del sujeto, para mejorar al máximo la toma de medidas.

Un inconveniente de este análisis es la complicación de adaptar el producto a toda la población, debido a la gran variedad de formas y medidas en los cuerpos entre personas con la misma edad y estatura. Por esto se tratará de realizar un producto adaptado a la mayor parte de la población, y no a su totalidad.

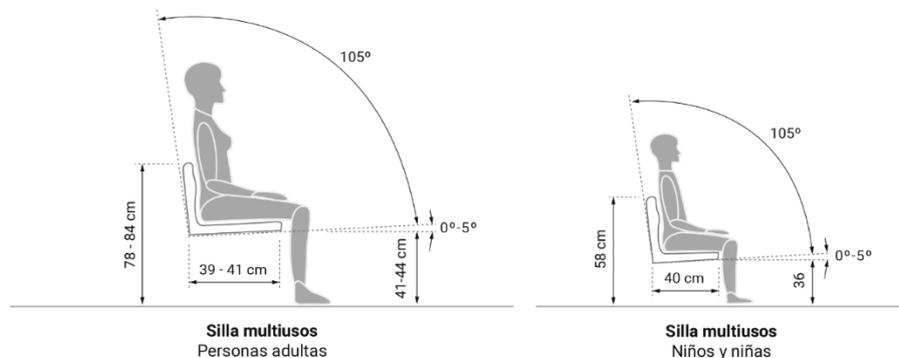


Fig. 28. Medidas generales de asientos para personas adultos y niños.

Además de estas medidas generales, se tratará de adaptar las formas del asiento para que sus curvaturas se adapten a las formas del cuerpo humano.

5.3. Proceso de diseño

5.3.1. Diseño conceptual

Para comenzar con la etapa de diseño conceptual, se construye un moodboard. Un moodboard es una herramienta creativa que sirve para la visualización rápida de imágenes, texturas, colores y/o palabras que se utilizan como una lluvia de inputs y que pueden servir para preparar la fase de ideación de un producto o proyecto.



Fig. 29. Moodboard.

Para la realización de este moodboard se colocaron algunas imágenes de las sillas que se han nombrado anteriormente, así como imágenes de otras sillas y arquitectura que han servido como inspiración por sus formas orgánicas.

Posteriormente a la investigación y a continuación de la concreción del moodboard, se procede a la realización de varios bocetos tomando como inspiración todo lo observado en las fases anteriores. De todos los bocetos, han sido elegidos 3, los cuales serán evaluados en la matriz de valoración, para posteriormente continuar con las demás fases del diseño.

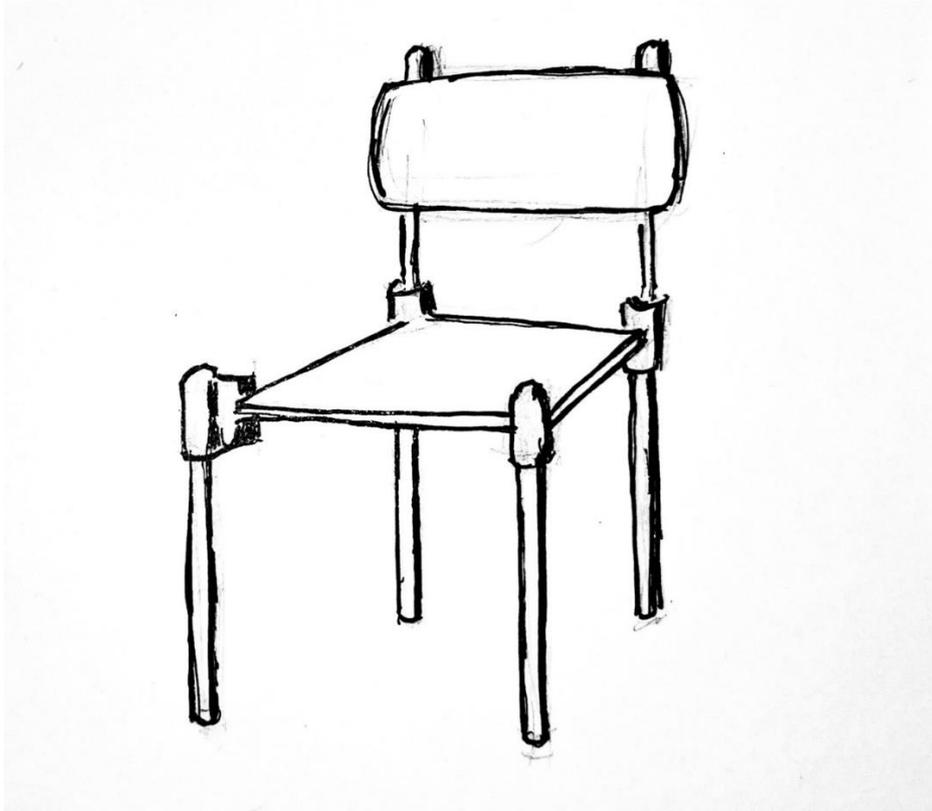


Fig. 30. Boceto 1.



Fig. 31. Boceto 2.



Fig. 32. Boceto 3.

5.3.2. Matriz de valoración

Se genera una matriz de valoración, en la cual se evalúan las distintas características de las propuestas mostradas anteriormente en base a los criterios de forma, confort y fabricación que deben cumplir las propuestas.

CRITERIO		PROPUESTAS		
				
		Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3
Forma	Adaptabilidad a distintos entornos	4	4	4
	Aspecto físico	3	4	4
	Ligereza visual	5	4	3
Confort	Ergonomía	3	4	4
	Comodidad	3	4	4
Fabricación	Facilidad de fabricación (impresión 3D)	4	3	2
	Posibilidad de fabricar en impresoras domésticas	5	5	5
	Facilidad de ensamblado	4	3	3
	Uso de los mínimos materiales	2	4	4
TOTAL		33	35	33

Tabla 1. Matriz de valoración.

Para la correcta interpretación de esta tabla puntúan los diferentes criterios de la siguiente forma:

1. No cumple
2. Cumple poco
3. Cumple
4. Cumple mucho
5. Cumple perfectamente

Como resultado de esta valoración, se obtiene que el diseño más apropiado para el fin que se pretende conseguir es el de la propuesta número 2, por lo que se procederá a precisar más detalladamente la propuesta en las siguientes fases.

5.3.3. Modelado 3D

En esta etapa se llevará a cabo la creación del modelo digital de la silla elegida utilizando el software de diseño 3D “Autodesk Fusion 360”. Dicho modelo se utilizará más tarde para su visualización VR y su prototipado.

En esta etapa se ha modelado la silla en 3 piezas claramente diferenciadas: la estructura, el asiento y el respaldo. Aunque estas partes están formadas por una sola pieza, más tarde se deberán dividir para que se adapten al tamaño de impresora del que se dispone.

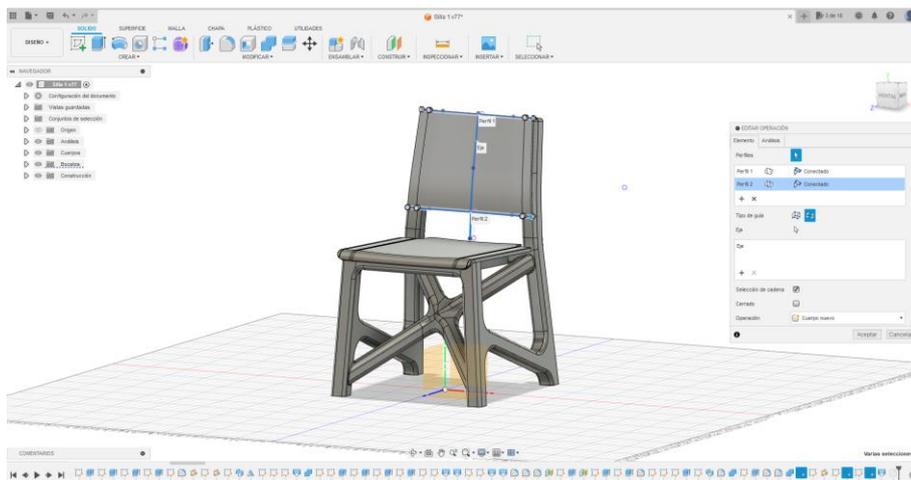


Fig. 33. Modelo elegido durante el modelado 3D de la parte del respaldo.

El modelado de esta etapa es un modelado básico, en el que se distinguen tan solo las partes principales y sus medidas o proporciones generales, pero no se incluyen detalles como los sistemas de unión

entre piezas ni posibles divisiones. Estos procesos más detallados de modelado se realizarán más tarde, después de la comprobación a través de la VR.

IMPLEMENTACIÓN VR

Realidad virtual e impresión 3D aplicada al diseño y construcción de mobiliario



6. Implementación VR

6.1. Preparación del modelo en Blender

Anticipadamente a la visualización a través de las gafas VR, es necesario optimizar y adaptar el modelo en el programa que será utilizado para la observación de los modelos, en este caso Blender.

Blender es un software de modelado y animación 3D de código abierto y gratuito. Es ampliamente utilizado en la industria del cine, los videojuegos, la animación y el diseño.

Estos son algunos de los pasos seguidos en el proceso de preparación:

- Importación del modelo: Se importan los modelos de la silla y la mesa y se añaden a la escena ya prediseñada extraída de internet.
- Optimización de la geometría: Aunque siempre es recomendable realizar una mejora de la geometría en la que se reduzcan los polígonos “innecesarios” y se simplifiquen los detalles, en el caso de este modelo no será necesario, debido a la baja carga gráfica que puede tener sobre el ordenador en el que se visualiza.
- Aplicación de materiales: Se asignan materiales a las diferentes partes del modelo para definir su apariencia visual, principalmente colores, ya que el foco principal de este apartado es la observación de aspecto y tamaño de los modelos.

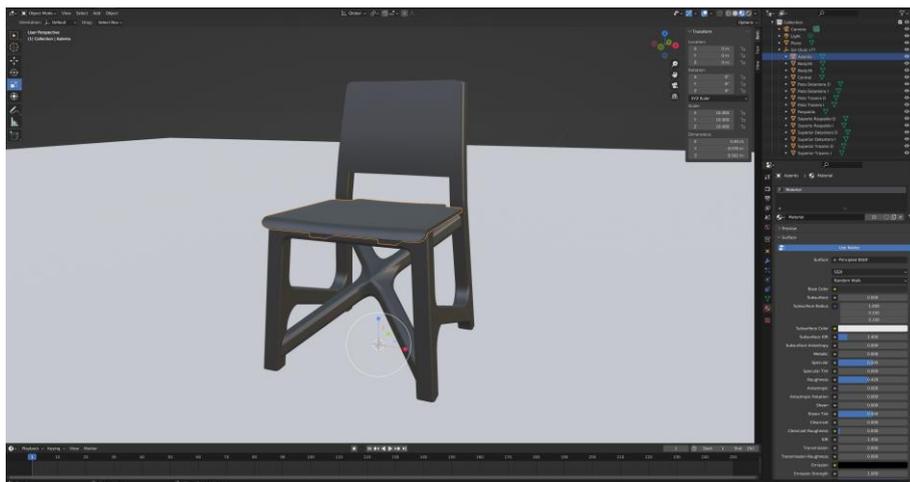


Fig. 34. El material seleccionado es un material básico con un color similar al que se pretende tener en el diseño final.

- Posicionamiento de la cámara: Se configura una cámara en Blender para representar el punto de vista del usuario en las gafas

VR, por lo que la posición de la cámara variará con el movimiento del observador.

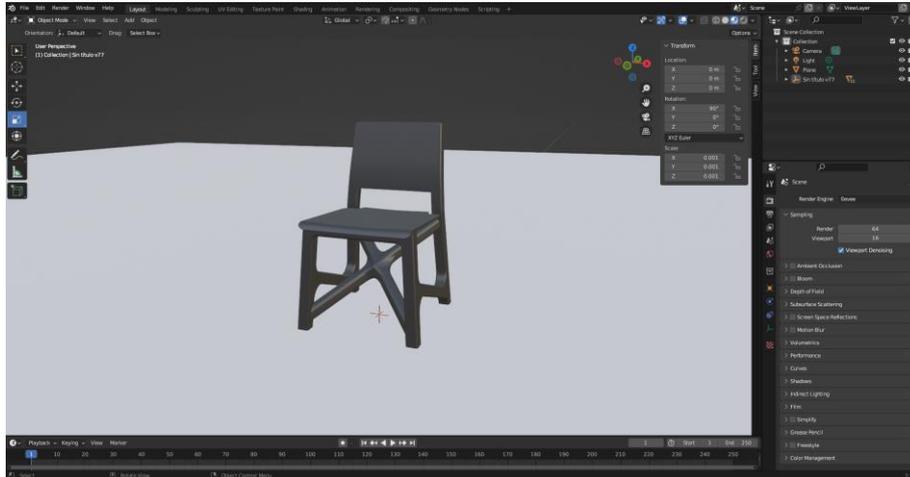


Fig. 35. Captura de pantalla de la escena con la silla seleccionada para su visualización VR en Blender.

6.2. Visualización

Tras la importación del modelo a Blender, se procede a su visualización con las gafas. En el caso de este TFM, se utilizará el modelo Quest 2 de META, uno de los modelos más avanzados del momento.

Los principales puntos que se quieren comprobar con la visualización son:

- Aspecto general: consistirá en comprobar la proporción y la cantidad de elementos superfluos de los modelos.
- Dimensionamiento general del producto: es decir, si las dimensiones generales (altura y anchura) se corresponden con las de una silla de esta tipología (silla de comedor).
- Altura del asiento: si los pies de una persona promedio llegarían al suelo completamente al estar sentada correctamente.
- Inclinación del respaldo: se trata de observar si la inclinación podría ser poco o demasiado pronunciada para aparentar ser cómoda para el usuario.



Fig. 36. META Quest 2 durante su uso para la visualización de las propuestas.

RESULTADOS TESTEO VR

Realidad virtual e impresión 3D aplicada al diseño y construcción de mobiliario



7. Resultados testeo VR

7.1. Análisis y evaluación inmersiva del modelo

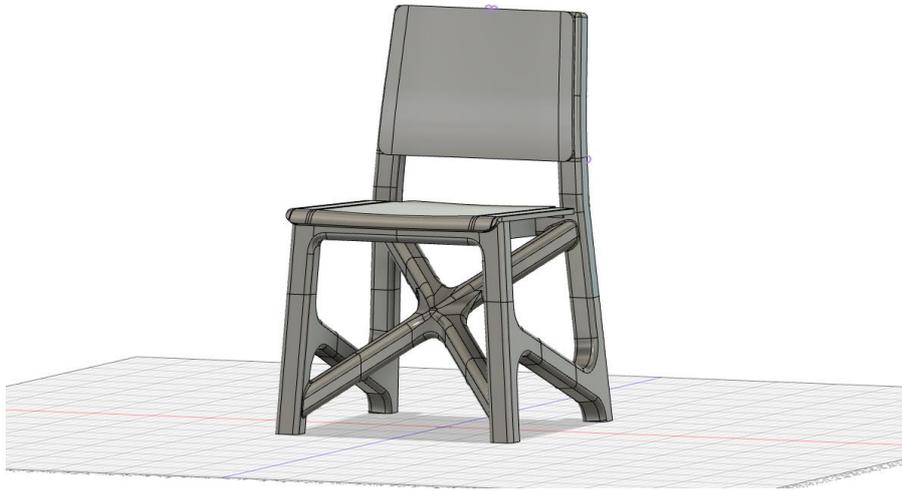


Fig. 37. Propuesta elegida.

Se observa la propuesta elegida, advirtiendo en un primer golpe de vista el tamaño adecuado de las patas y las otras partes de la estructura, aunque parece demasiado sobrecargada la parte de la cruz central, que tiene como función el evitar la apertura de las patas al sentarse.

Por otra parte, la altura del asiento, así como la anchura, la profundidad y la altura total de la silla parecen correctas, así que con esta información se procede a realizar la siguiente propuesta en la cual se trata de solventar lo comentado anteriormente.

7.2. Mejoras del diseño

Se procede a un rediseño de la propuesta mostrada anteriormente para tratar de mejorarla visualmente sin perder su resistencia y funcionalidad.

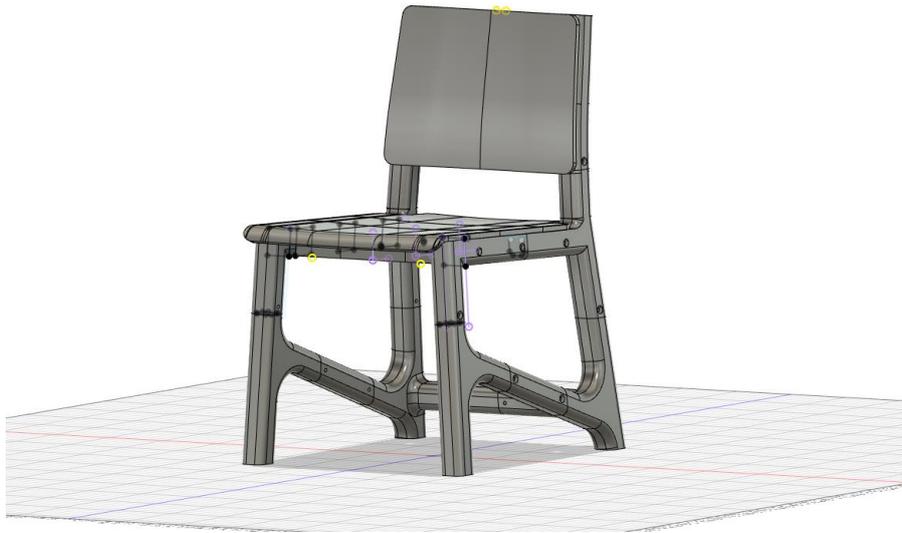


Fig. 38. Rediseño de la propuesta elegida.

En el rediseño de la propuesta se trata de solventar la sobrecarga visual en la “X” central, eliminándola y añadiendo un travesaño entre las patas traseras para evitar la apertura de las patas.

Asimismo, se cambia el modo de apoyo del asiento, apoyándose ahora en los laterales y no en las partes frontal y trasera, como anteriormente.



Fig. 39. Fotografía tomada durante la visualización de la Propuesta 2.

7.3. Diseño final

Después de toda la observación realizada utilizando la realidad virtual la propuesta elegida para continuar con las siguientes fases será la Propuesta 2. Por lo que se procederá a realizar las particiones necesarias y a crear las uniones entre las distintas piezas para el correcto ensamblaje de las partes.



Fig. 40. Vistas de alzado, planta y perfil renderizadas del diseño elegido.

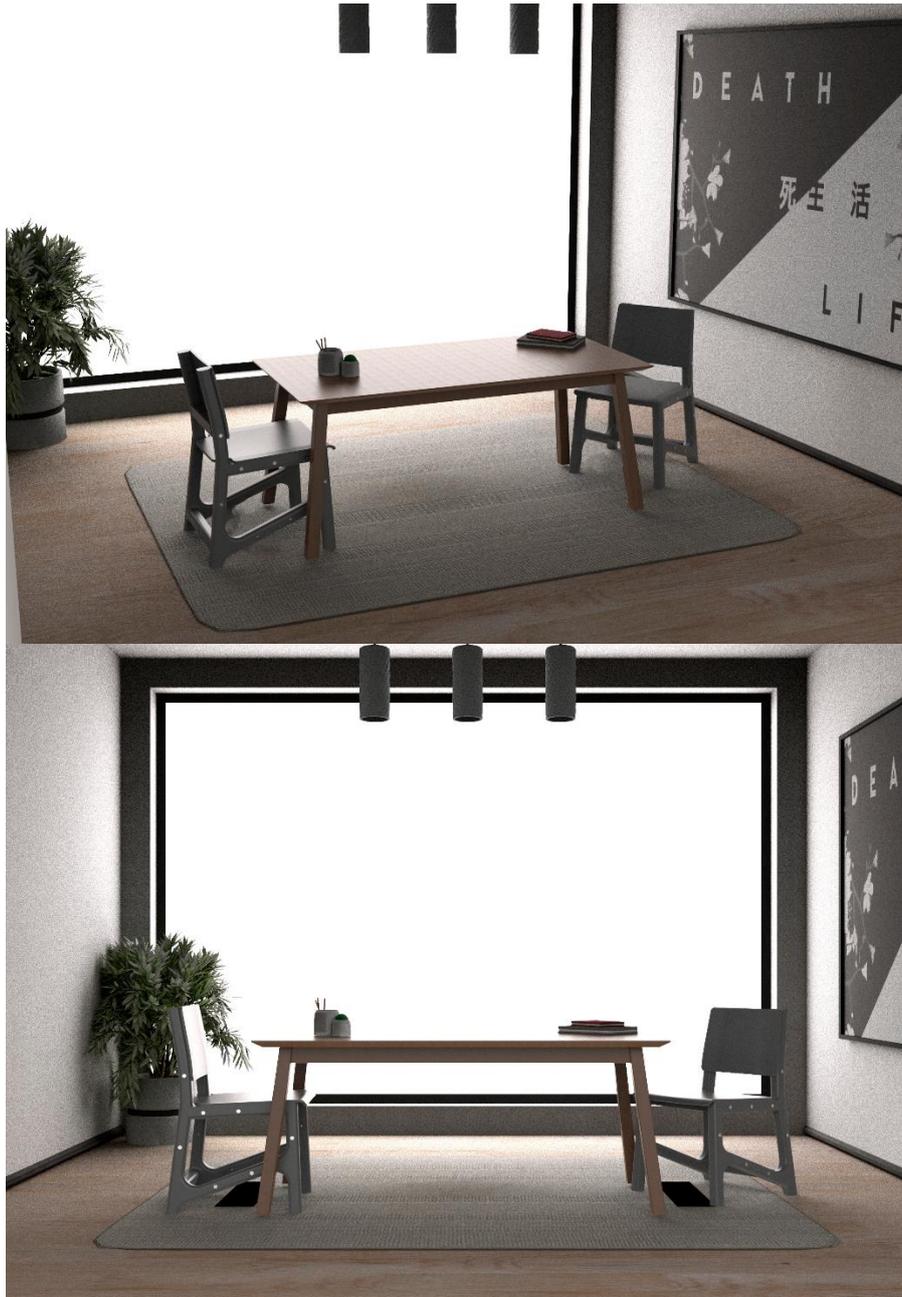


Fig. 41. Imágenes renderizadas del diseño en un ambiente.

7.3.1. Color

Una de las ventajas de la fabricación mediante impresión 3D es la posibilidad de la alternación de colores entre diferentes piezas, e incluso sobre las mismas si se cambia el filamento durante el proceso de impresión. Además, el PLA puede encontrarse en combinación con otros materiales, como varios tipos de madera o diversos metales. Todo esto hace que los diseños fabricados con este método de fabricación posean una gran variedad de acabados.

En el caso de la silla diseñada en este proyecto, se ha decidido por brindarle un aspecto más sobrio, aunque también se le puede dar una apariencia más alegre o juvenil añadiéndole colores más llamativos o combinándolos entre sí, como en las siguientes imágenes.



Fig. 42. Silla en color negro.

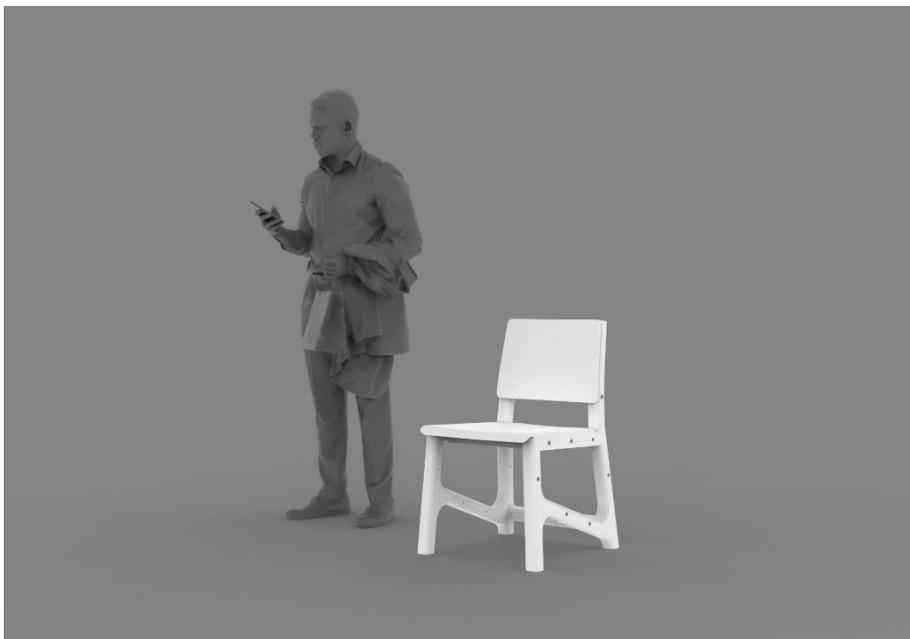


Fig. 43. Silla en color blanco.



Fig. 44. Silla en combinación de colores (rojo, amarillo, azul, negro y blanco), inspirada en el arte de Piet Mondrian.

7.4. Diseño de detalle

Se tratará que las particiones realizadas en el modelo sean las adecuadas para acomodarlas en la impresora doméstica del tamaño mencionado anteriormente (300x300x400mm), intentando conseguir el mínimo número de partes en el modelo. Para ello se crearán uniones en las que se combinan las uniones japonesas con partes metálicas, como tornillos, para asegurar las uniones y permitir que sean desmontables.

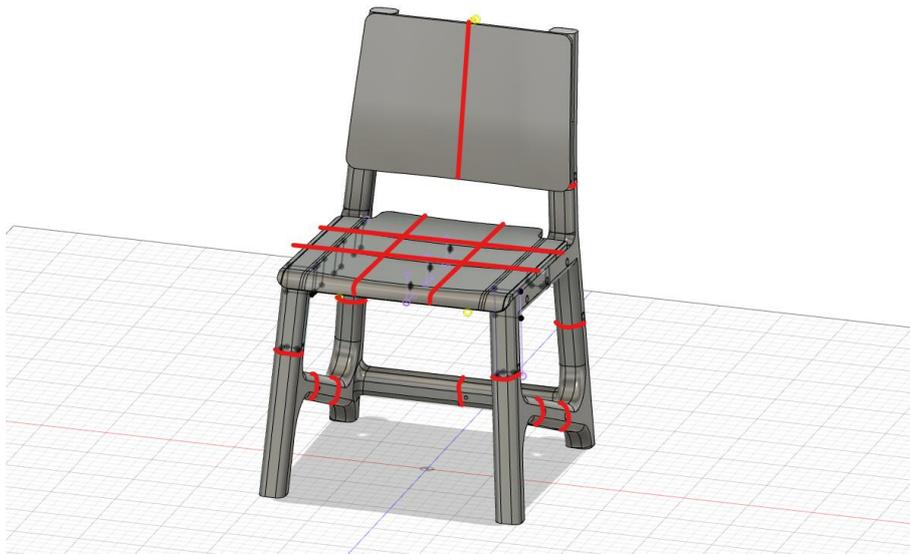


Fig. 45. Vista de las zonas de corte de la propuesta.

Las zonas de corte se han marcado con líneas rojas en la imagen anterior. Con estas particiones se generan un total de 23 piezas, correspondiendo 12 a la estructura, 9 al asiento y 2 al respaldo.

Para las uniones elegidas se encastrará una espiga de entre 30 y 40mm en la parte con un hueco para este fin. Para asegurar la unión se utilizarán tornillos de cabeza avellanada de M8 y 50 mm de longitud, los cuales funcionan con una llave Allen. La razón de la elección de tornillos y no de uniones fijas es la facilidad de transporte del producto, ya que esto permite almacenarlo más adecuadamente mientras no se esté utilizando.

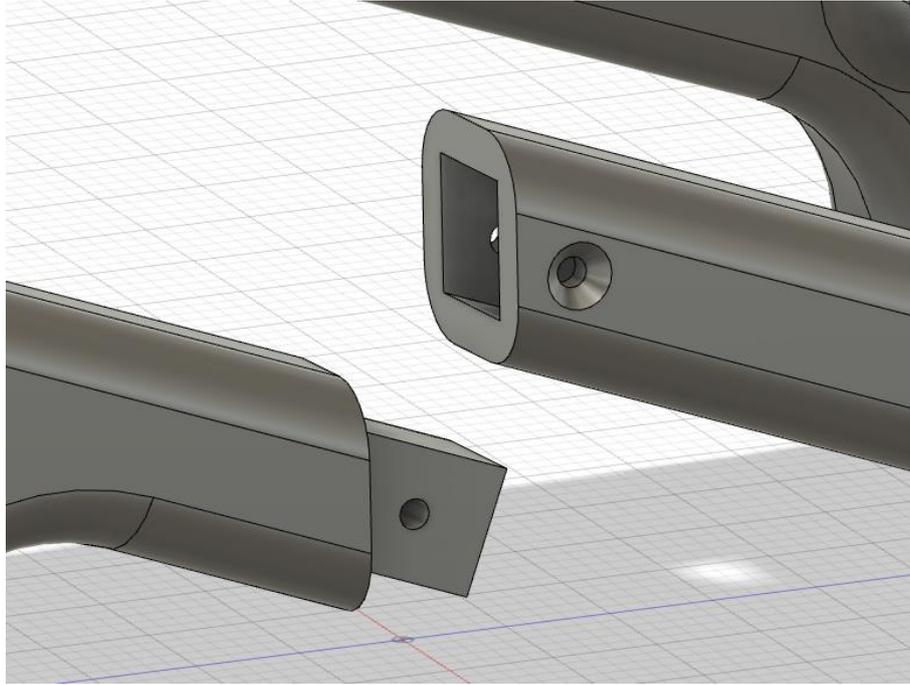


Fig. 46. Vista de detalle de las uniones entre piezas.

Para conseguir que los tornillos no sobresalgan de las partes y así evitar posibles enganrones se ha avellanado con el mismo ángulo que las cabezas la zona de apriete de los tornillos, lo que permite que el tornillo entre hasta el final y no quede expuesto, mejorando también la parte estética al quedar ocultos si se ven de perfil.

CÁLCULO DE RESISTENCIA MECÁNICA

Realidad virtual e impresión 3D aplicada al diseño y construcción de mobiliario



8. Cálculo de resistencia mecánica

Previo a la elección y adquisición del material para la fabricación del prototipo, y como comprobación inicial de las limitaciones de diseño respecto a la fabricación a través de la impresión 3D, se ha realizado un análisis de elementos finitos para comprobar la resistencia a las cargas del modelo de la silla.

Para ello se ha utilizado el material más asequible y eco-sostenible de los disponibles para el proceso de fabricación: el PLA.

El **PLA (ácido poliláctico)** es el material más común en la impresión 3D. Es un polímero biodegradable derivado de varias fuentes renovables, como pueden ser el almidón de maíz o la caña de azúcar. Entre sus principales ventajas, se encuentran:

Facilidad de impresión: Necesita una “baja” temperatura de fusión y se adhiere correctamente a la cama de impresión debido a su poca deformación durante la impresión.

Amplia gama de colores y acabados: Esto permite adaptarlo a diferentes tipos de productos y prototipos.

No emite olores: Se puede trabajar de una forma más agradable en entornos cerrados.

Biodegradable: Se descompone de forma natural en condiciones adecuadas, ya que proviene de materiales orgánicos.

Bajo precio: Al tratarse del polímero más utilizado, se pueden encontrar rollos de material a un precio realmente asequible.

A parte de las ventajas descritas, el PLA también tiene limitaciones, como la menor resistencia a las altas temperaturas y menor resistencia a impactos que otros materiales disponibles en la impresión 3D.

El software elegido para este cálculo ha sido el SolidWorks (Fusion 360 habría sido mejor elección debido a que el modelado ha sido realizado íntegramente en este programa, pero debido a las limitaciones de la versión para estudiantes del software, se ha decidido importarlo a SolidWorks, ya que se dispone de una versión completa de este).

Los pasos seguidos para la simulación han sido:

1. **Vaciado del modelo:** en la impresión 3D no son habituales las piezas impresas completamente sólidas, por lo que esto supone la adición de cierta dificultad, ya que complica el modelado y el mallado que se realizará más tarde. Para tratar de solventar este problema del modo más cercano a la realidad, se vacían las piezas con un espesor similar al que tendrán en la realidad, en el caso del modelo a estudiar se dará un espesor de 4mm a todas las paredes.



Fig. 47. Sección de las patas con el vaciado de espesor 4mm.

Las posibles zonas frágiles que se pueden encontrar entre las capas no se tendrán en cuenta, ya que esto es complicado de simular con el hardware que se dispone.

2. **Creación y aplicación del material:** en este caso PLA. Se le han aplicado los parámetros siguientes, extraídos de la ficha técnica del material:

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	3500000000	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.38	
Densidad	1240	kg/m ³
Límite de tracción	55000000	N/m ²
Límite de compresión	73000000	N/m ²
Límite elástico	60000000	N/m ²

Tabla 2. Propiedades del PLA utilizado para el cálculo.

3. **Selección de las sujeciones:** se seleccionan las bases de las cuatro patas y se les aplica una sujeción fija. Si bien podría ser una deslizante, por simplificar el estudio se aplica una fija.

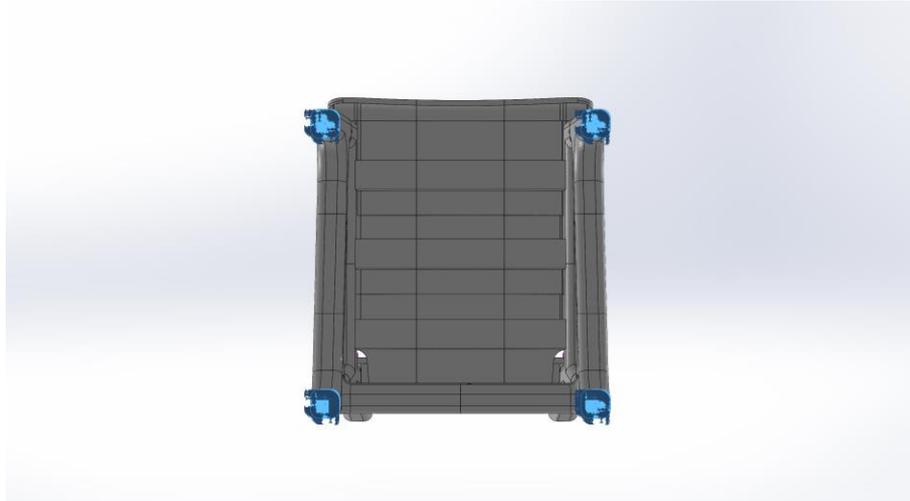


Fig. 48. Vista inferior de las sujeciones fijas.

- 4. Aplicación de las cargas:** en la normativa para mobiliario en la que se detallan los requisitos de seguridad, resistencia y estabilidad para sillas y mesas (UNE-EN 12520:2007), se define como carga mínima que debe soportar un asiento en 120kg, por lo que para el cálculo de resistencia del diseño se han realizado dos simulaciones, una para una carga de 1200N (120kg) y otra de 2000N (200kg) repartidas en la parte superior del asiento. Además, se aplica una fuerza de 500N (50kg) en el respaldo, para simular el apoyo de la espalda en él.

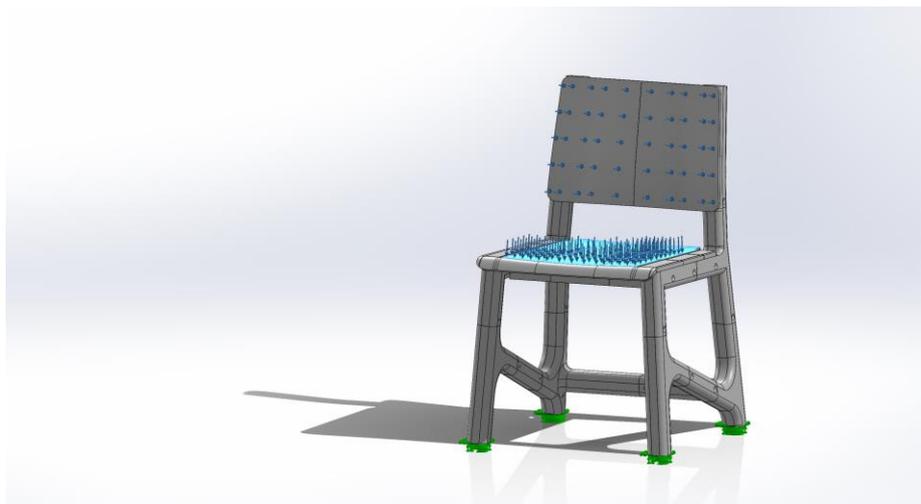


Fig. 49. Vista de zonas de aplicación de la carga.

- 5. Mallado del modelo:** debido a las limitaciones de hardware del que se dispone y a que se pretende tener unos resultados aproximados y no exactos, para la decisión entre un material y otro, se malla el

objeto con un tamaño de malla de 5mm con zonas más densas, como pueden ser las zonas de las uniones y otras partes más débiles.

6. **Simulación:** los resultados que se pretenden obtener son las deformaciones totales del modelo y las máximas tensiones Von Mises, para conocer si hay alguna zona por la que el modelo pudiera romperse o tener más tensión de la que debería, teniendo en cuenta la carga mínima especificada en la norma.

7. **Resultados:**

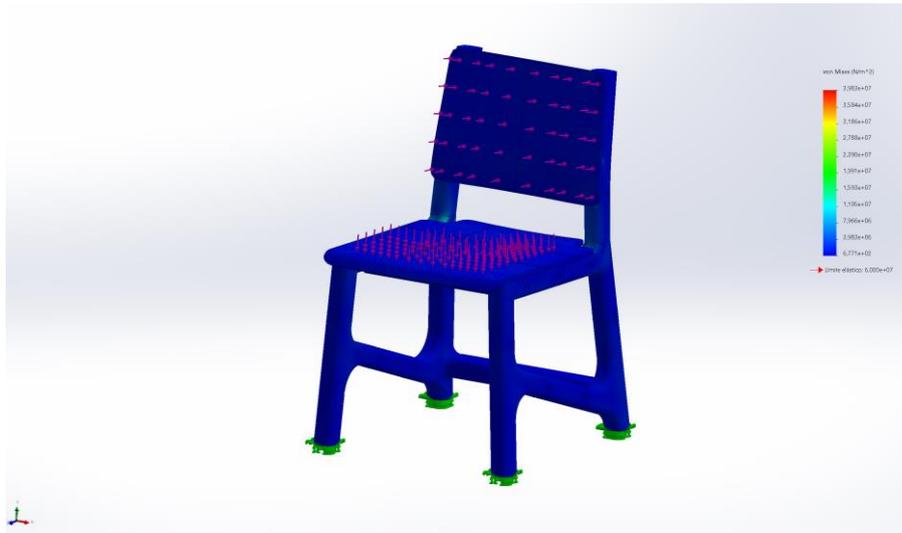


Fig. 50. Tensión Von Mises resultante en una carga de 120kg en el asiento.

- Tensión Von Mises máxima = $3.978e+07 \text{ N/m}^2$
- Límite elástico del material = $6000e+07 \text{ N/m}^2$

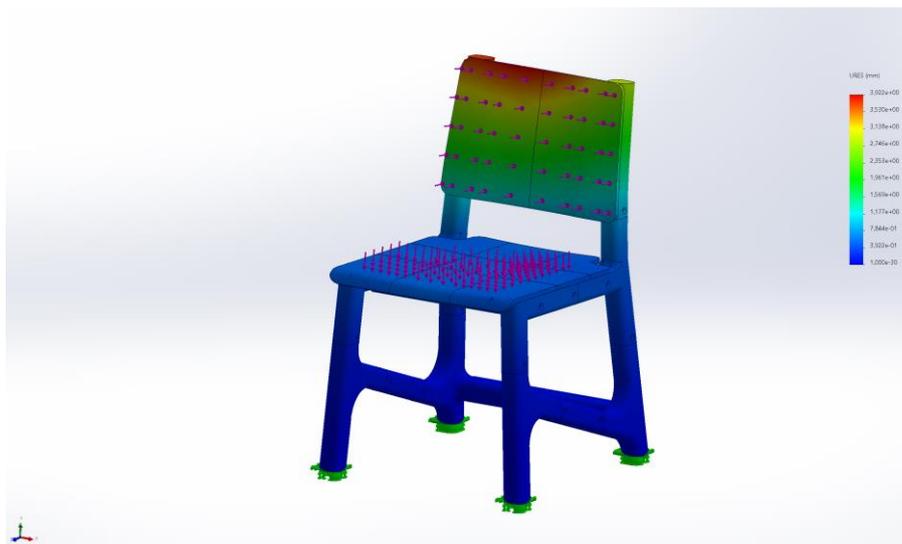


Fig. 51. Deformación resultante en una carga de 120kg en el asiento.

- Desplazamiento máximo = 3.923 mm

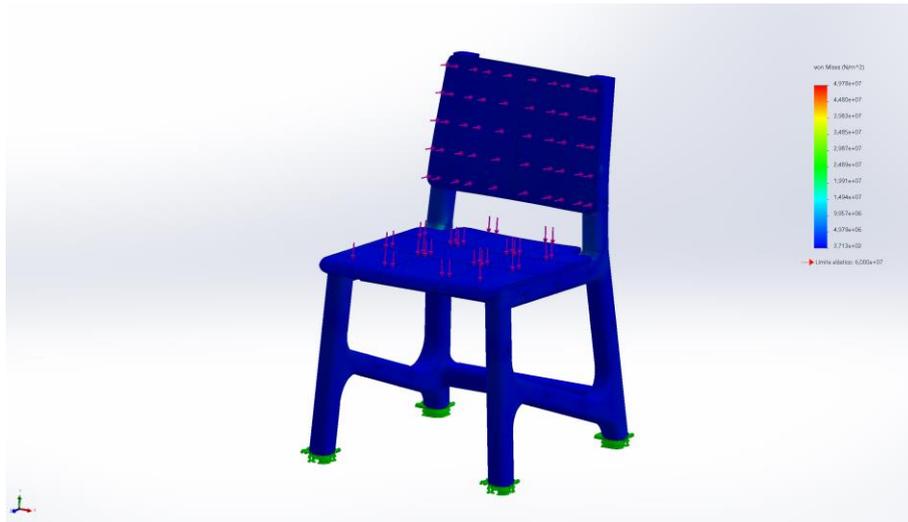


Fig. 52. Tensión Von Mises resultante en una carga de 200kg en el asiento.

- Tensión Von Mises máxima = $4.978e+07 \text{ N/m}^2$
- Límite elástico del material = $6000e+07 \text{ N/m}^2$

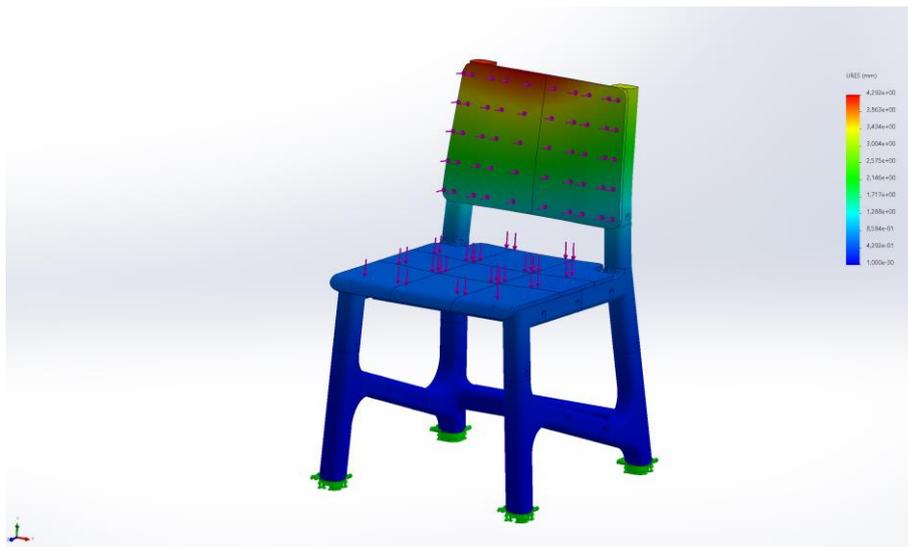


Fig. 53. Deformación resultante en una carga de 200kg en el asiento.

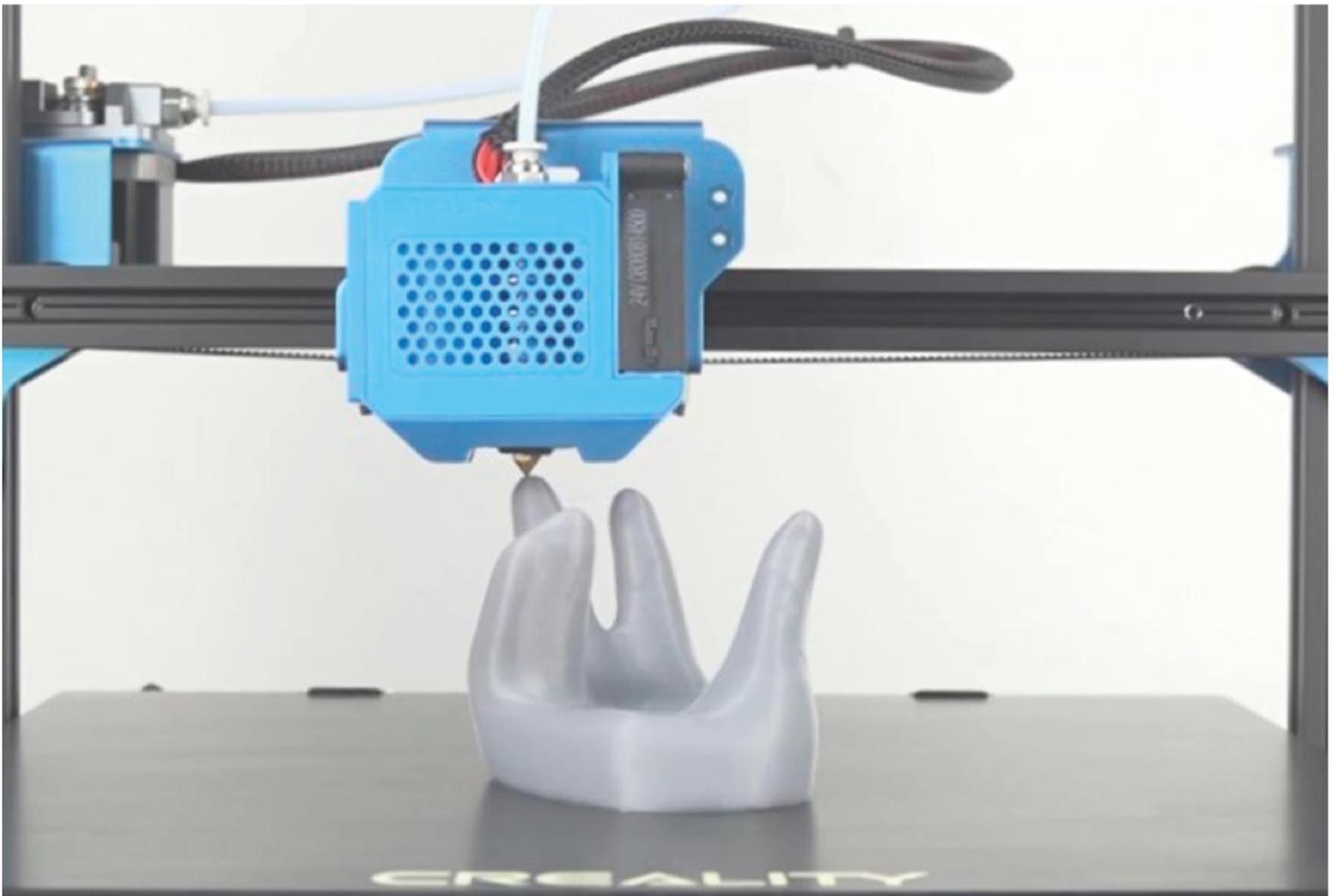
- Desplazamiento máximo = 4.292 mm

Con esto, se obtiene la información de que la silla no debería romperse con estas cargas y condiciones. Además de esto, la deformación no es demasiado elevada para tratarse de una silla con una carga de 200kg en el asiento y 50kg en el respaldo.

Por esto se pasará a las siguientes partes de definición de planos e impresión en 3D con el material simulado.

IMPRESIÓN 3D

Realidad virtual e impresión 3D aplicada al diseño y construcción de mobiliario



9. Impresión 3D

En este apartado se abordará la fabricación de un prototipo de la silla elegida utilizando una impresora 3D doméstica. En este caso, la impresora elegida es un modelo de la marca Creality, en concreto la CR-10 V2, la cual dispone de una cama de 300x300mm y una altura de impresión de 400mm, por lo que sería suficiente para fabricar todas las piezas del modelo.

El nozzle o boquilla elegida para la impresión de estas partes ha sido uno de gran tamaño (1mm), ya que son piezas de gran tamaño y no es necesaria tanta precisión en su fabricación. Además, la utilización de un nozzle de mayor tamaño hace posible la impresión en alturas de capa mayores, lo cual disminuye el número de capas necesarias y aumenta la resistencia de la parte, ya que tiene menos capas por las que separarse.

Las partes se han exportado en formato “STL” desde Fusion 360, ya que es el formato más utilizado y el que mejores resultados aporta en la impresión 3D. Estos archivos se han importado al software slicer Cura, el cual permite la modificación de la orientación de las piezas para imprimir y la aplicación de parámetros según las preferencias del usuario.

Al tratarse de piezas de gran tamaño, la razón de la elección de los parámetros para la fabricación ha sido siempre la priorización de la velocidad de impresión (sobre todo en las variables de la altura de capa y la velocidad de impresión), dejando de lado la precisión (pero sin descuidarla). Los parámetros elegidos para la impresión de las piezas de la estructura han sido:

PARÁMETRO	VALOR
Altura de capa	0.6 mm
Altura de capa inicial	0.32 mm
Anchura de las paredes	4 mm
Cantidad de capas en la pared	5
Espesor superior	2.12 mm
Capas superiores	5
Espesor inferior	2.12 mm
Capas inferiores	5
Densidad del relleno	15%
Patrón de relleno	Rejilla
Temperatura de impresión	215º C

Temperatura de la cama	50° C
Flujo	85%
Velocidad de impresión	50 mm/s
Patrón de soporte	Rejilla
Densidad de soporte	7%

Tabla 3. Parámetros utilizados en la impresión 3D.

En el caso de las piezas para los tableros del asiento y el respaldo los parámetros han sido iguales, aunque se han variado la cantidad de capas en la pared, disminuyendo el número a 3 y reduciendo así el gasto de material.

En la impresión 3D, es importante tener en cuenta la orientación de las piezas al imprimir, ya que de esto depende directamente la resistencia del producto final, así como el gasto de material y la posibilidad de la aparición de errores o fallos en la impresión. Por esto se debe conocer cómo se aplicarán la mayoría de cargas en la pieza, y en base a esto colocar la pieza en el software Cura.

En cuanto a la orientación para la impresión de las piezas de la estructura, se ha elegido la impresión vertical en todas las partes, salvo en los soportes del respaldo y los travesaños, que se han impreso en horizontal al soportar cargas más a flexión y no a compresión como el resto de la estructura. En el caso de las patas delanteras, su colocación ha sido al revés, ya que así se ahorra material al imprimir menos soportes.

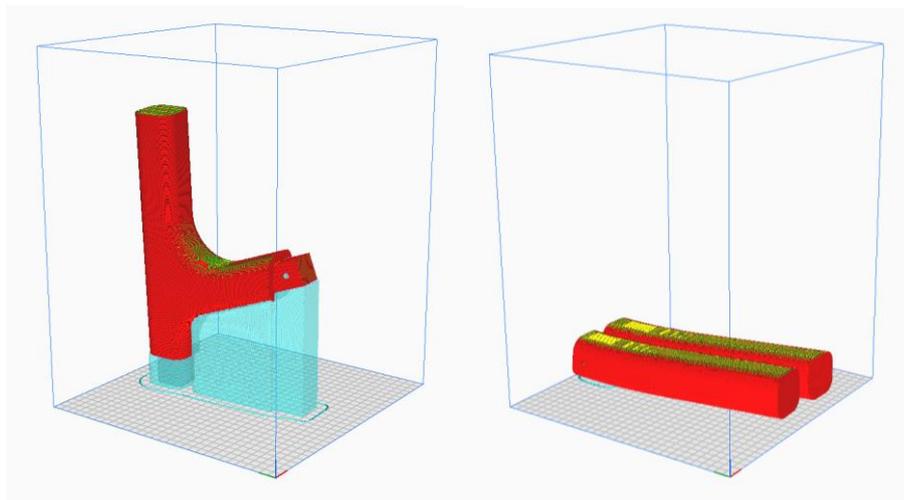


Fig. 54. Previsualización de la impresión de la pata delantera derecha (izquierda) y de los soportes del respaldo (derecha).

Más tarde se han exportado los programas en formato “gcode” generados con el slicer y se han introducido en la impresora para comenzar con la fabricación de las partes.

Al arrancar la impresora, es recomendable precalentar las partes antes, ya que así se asegura que la cama se ha calentado uniformemente y no solo en las zonas de los calentadores. También se debe hacer un calibrado de la cama y una limpieza del nozzle, para evitar atascos si ha quedado plástico de alguna impresión anterior.

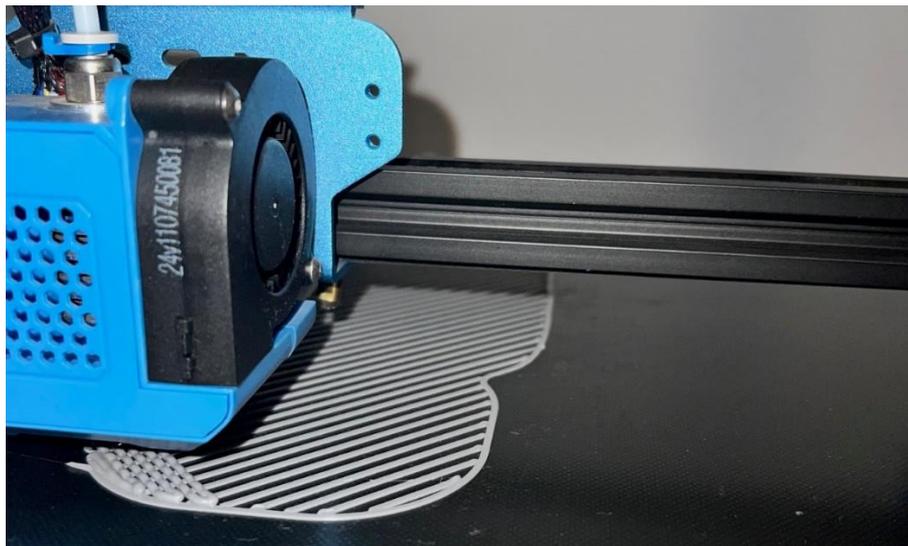


Fig. 55. Impresora durante la impresión de la primera capa.

La capa más importante es la inicial, ya que de esta dependerá el que la pieza se mantenga fijada a la cama y no se despegue durante toda la impresión. Por ello, en los parámetros mostrados anteriormente la primera capa tiene una altura considerablemente menor que las siguientes, en nuestro caso esta altura es de 0.32mm.

Si la primera capa no se imprime correctamente, ya sea porque no se ha realizado una correcta nivelación de la cama, porque la primera capa es demasiado alta o bien porque el nozzle o el tubo de PTFE (teflón) se encuentra algo taponado y el flujo de plástico no es el correcto, pueden surgir varios problemas, los cuales pueden ir desde que se suelte la pieza a que esta se imprima pero sin buena adhesión entre capas, resultando una pieza frágil.



Fig. 56. Fallos debidos a la mala impresión de la primera capa (izquierda) / Fallo debido al taponamiento parcial del tubo de teflón (derecha).

Al finalizar la impresión de las partes, estas se encuentran unidas a los soportes que se han generado en el software slicer, y todo esto se encuentra unido a la cama de la impresora, por lo que es necesario despegarlo con cuidado. Para esto, se debe dejar enfriar la cama a temperatura ambiente y después de esto despegar la pieza utilizando una espátula.



Fig. 57. Algunas piezas del prototipo antes de remover los soportes.

Después del despegado de cada pieza, es el momento de remover los soportes. Se debe ser cauteloso en este paso, ya que se puede romper

la pieza. En este punto se pueden utilizar los alicates normales o los de corte para ir removiendo los soportes poco a poco y sin forzar la pieza demasiado.

El filamento para la impresión elegido ha sido el Creality Ender Series de 1.75mm en color gris. La razón de la elección de este material ha sido el pertenecer a la misma marca que la impresora, funcionando en buena sintonía con esta, además de las buenas propiedades mecánicas que tiene este filamento.



Fig. 58. Filamento utilizado.

En cuanto a tiempos de impresión, varían notablemente dependiendo del tamaño de las piezas, aunque no es lo mismo si una pieza es más grande en el eje Z que si lo es en el plano XY, ya que el movimiento en el eje Z es más lento.

También nos encontramos con que algunas piezas pueden ser fabricadas a la vez, con lo que se ahorra tiempo y energía. Con esto, se han contemplado los siguientes tiempos de fabricación:

PARTE O PARTES	TIEMPO
Pata Delantera D	18h
Pata Delantera I	18h
Pata Trasera D	18h
Pata Trasera I	18h
Travesaño D + Travesaño I	10h
Soporte Res. D + Soporte Respaldo I	14h
Superior Del. D + Superior Del. I	16h

Superior Trasero D	15h
Superior Trasero I	15h
Asiento 1 + Asiento 4	15h
Asiento 2	7h
Asiento 3	8h
Asiento 5 + Asiento 9	13h
Asiento 6	6h
Asiento 7 + Asiento 8	13h
Respaldo D	20h
Respaldo I	20h

Tabla 4. Tiempos de impresión de cada parte.

Estos tiempos se pueden mejorar con impresoras de mayor calidad, incluso con filamentos que permitan una mayor velocidad de impresión sin comprometer la calidad ni la seguridad del modelo.

9.1. Postprocesado del prototipo

Posteriormente a la impresión de las partes, suele ser necesaria la realización de un postprocesado, la función del cual suele ser la mejora estética y de propiedades del producto.

En el caso del prototipo realizado en este TFM, se realiza un postprocesado que incluye el lijado para conseguir el encaje deseado entre las piezas al ensamblarlas y otro lijado para eliminar las posibles imperfecciones que surgen durante el proceso de la impresión 3D como pueden ser desplazamientos entre capas o algunas rebabas.

9.2. Ensamblado del prototipo

A continuación, se procede al ensamblado de las partes, para ello es insertan las espigas y se aseguran con los tornillos hexagonales de M8x50mm.



Fig. 59. Vistas de alzado, planta y perfil del prototipo.



Fig. 60. Vista de detalle de las uniones.

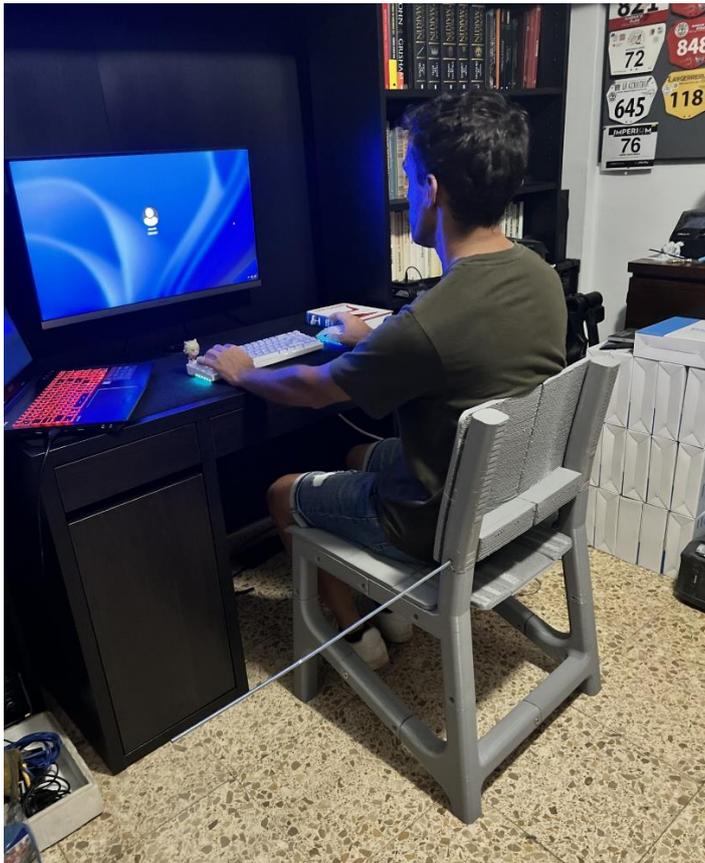
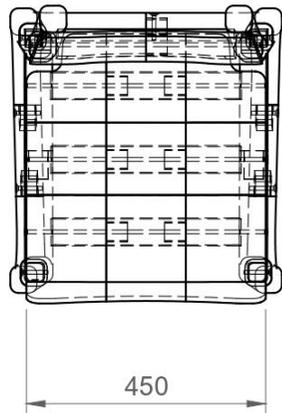
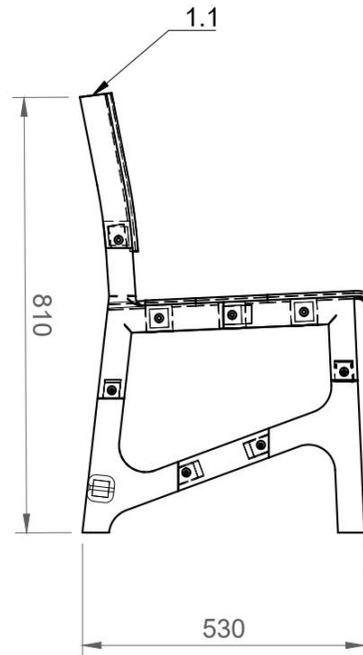
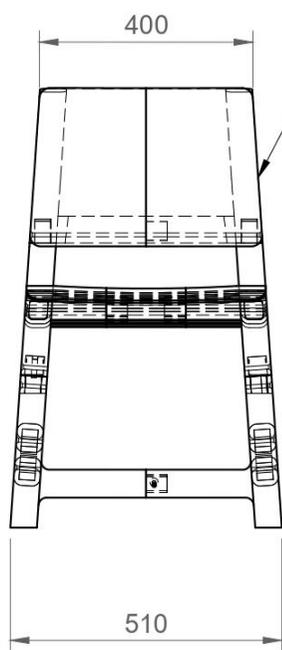
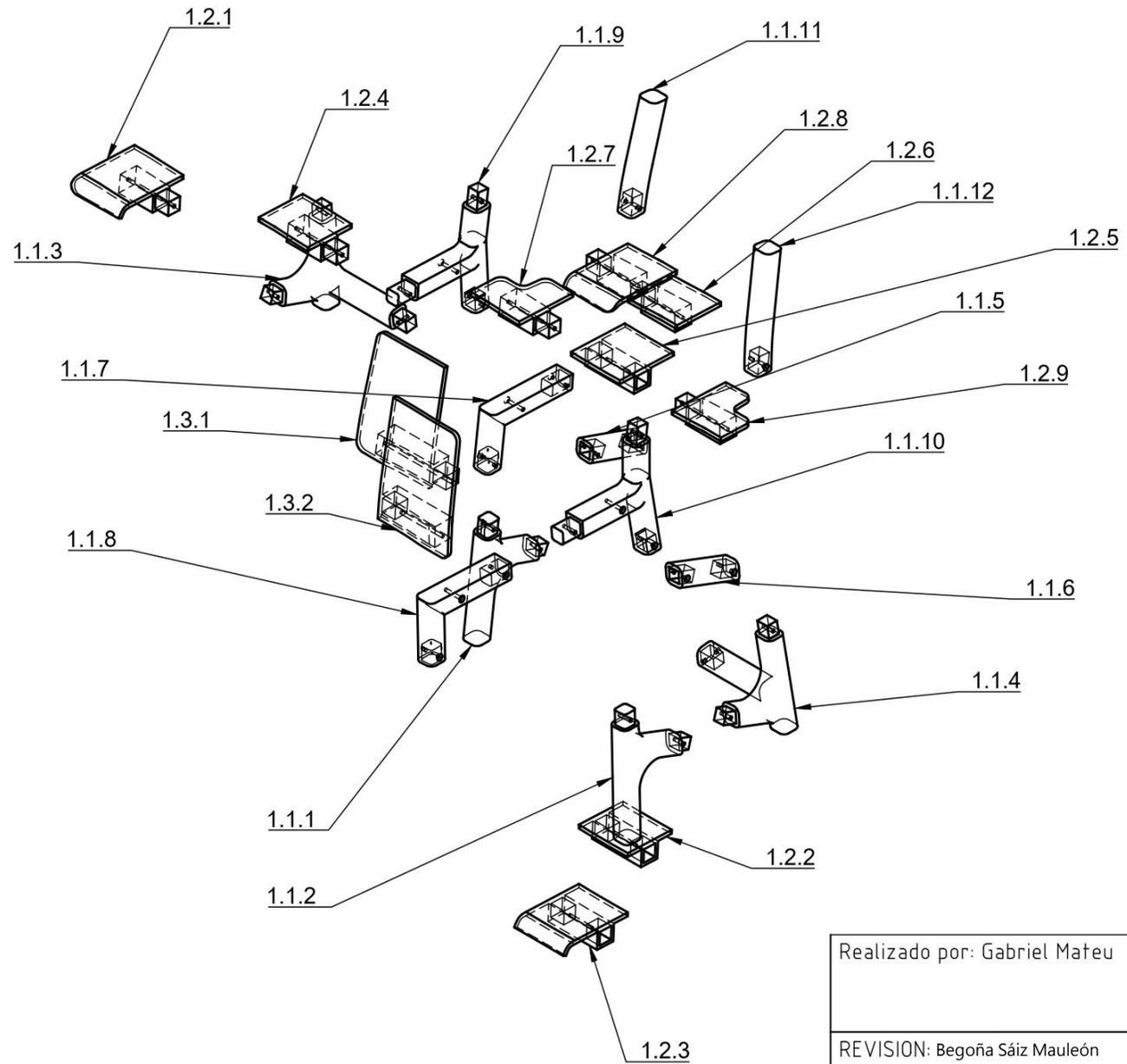


Fig. 61. Primeras pruebas del prototipo para comprobar su resistencia durante un uso normal.



1.3	SUBCONJUNTO 1.3		PLA	1
1.2	SUBCONJUNTO 1.2		PLA	1
1.1	SUBCONJUNTO 1.1		PLA	1
MARCA	DENOMINACIÓN	REFERENCIA	MATERIAL	CANTIDAD
Realizado por: Gabriel Mateu		TITULO DEL TRABAJO: SILLA PARA FABRICACIÓN EN IMPRESIÓN 3D		
REVISION: Begoña Sáiz Mauleón Pedro M. Cabezos Bernal		TITULO DEL DIBUJO: SUBCONJUNTO 1		
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:		Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA <small>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</small>		HOJA: 1 de 28
FECHA: 12/07/23	1:10			
FORMATO: DIN A3				



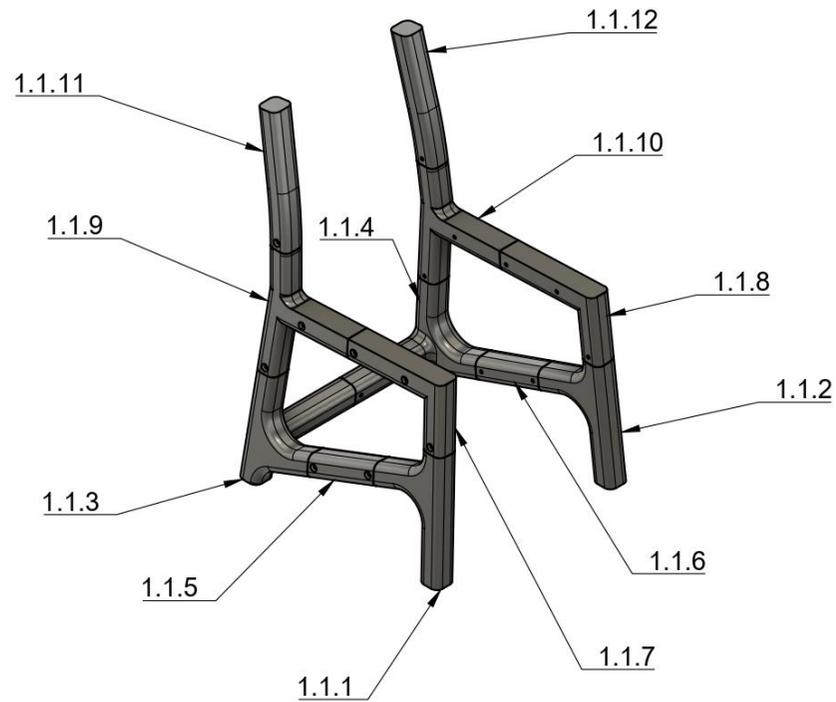
Realizado por: Gabriel Mateu		TITULO DEL TRABAJO: SILLA PARA FABRICACIÓN EN IMPRESIÓN 3D	
REVISION: Begoña Sáiz Mauleón Pedro M. Cabezos Bernal		TITULO DEL DIBUJO: EXPLOSIONADO	
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:	Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:		
FECHA: 12/07/23	1:10		HOJA: 2 de 28
FORMATO: DIN A3			

Listado de elementos

Después de la creación del producto utilizando el software Autodesk Fusion 360, se desglosan todos los elementos necesarios para el ensamblado del producto. Todos los elementos se muestran en la siguiente tabla ordenados según su marca.

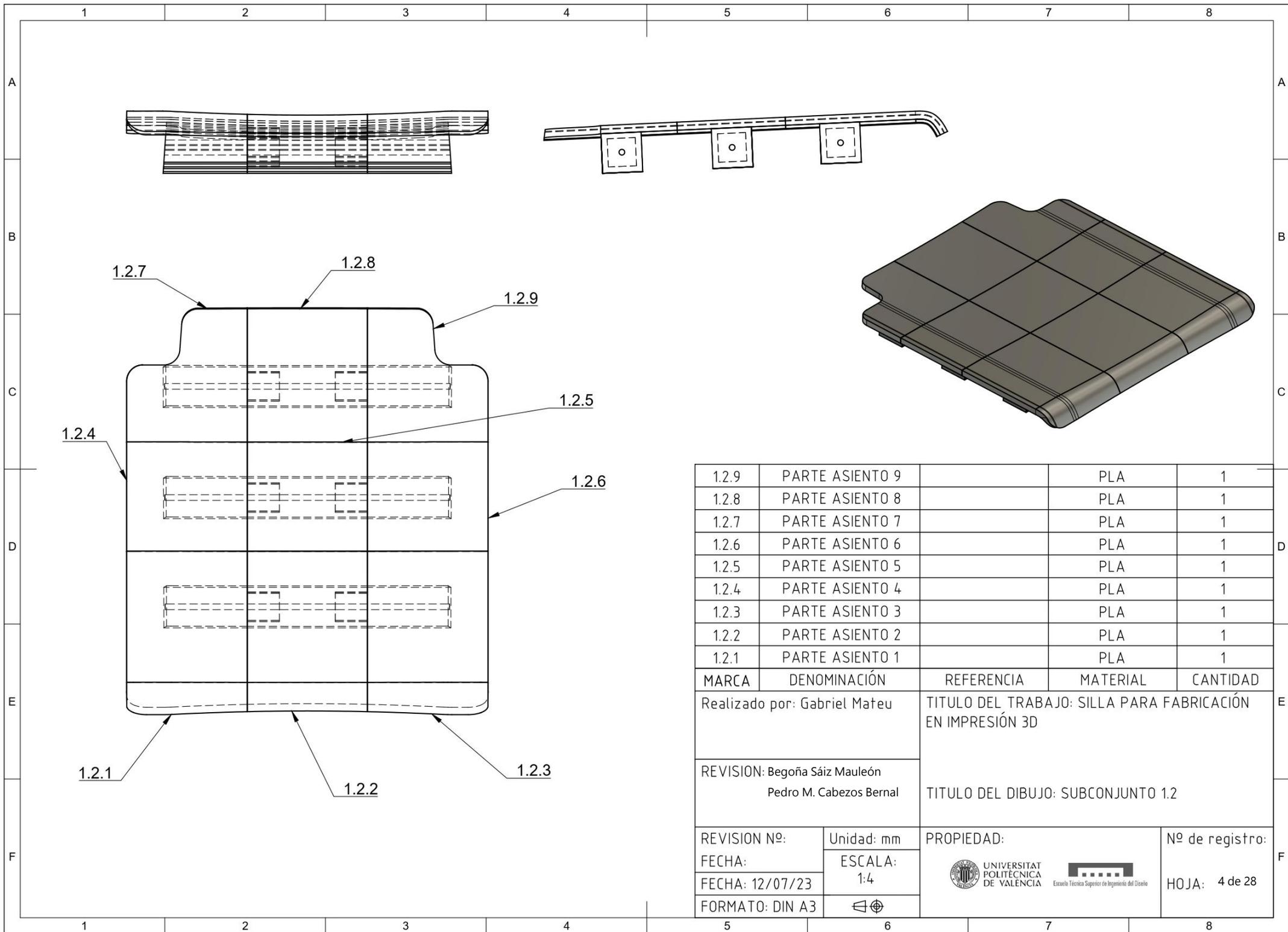
MARCA	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	Subconjunto 1	PLA	1
1.1	Estructura	PLA	1
1.1.1	Pata Delantera D	PLA	1
1.1.2	Pata Delantera I	PLA	1
1.1.3	Pata Trasera D	PLA	1
1.1.4	Pata Trasera I	PLA	1
1.1.5	Travesaño D	PLA	1
1.1.6	Travesaño I	PLA	1
1.1.7	P. Sup. Del. D	PLA	1
1.1.8	P. Sup. Del. I	PLA	1
1.1.9	P. Sup. Tras. D	PLA	1
1.1.10	P. Sup. Tras. I	PLA	1
1.1.11	Soporte Respaldo D	PLA	1
1.1.12	Soporte Respaldo I	PLA	1
1.2	Asiento	PLA	1
1.2.1	Parte Asiento 1	PLA	1
1.2.2	Parte Asiento 2	PLA	1
1.2.3	Parte Asiento 3	PLA	1
1.2.4	Parte Asiento 4	PLA	1
1.2.5	Parte Asiento 5	PLA	1
1.2.6	Parte Asiento 6	PLA	1
1.2.7	Parte Asiento 7	PLA	1
1.2.8	Parte Asiento 8	PLA	1
1.2.9	Parte Asiento 9	PLA	1
1.3	Respaldo	PLA	1
1.3.1	Respaldo Derecha	PLA	1
1.3.2	Respaldo Izquierda	PLA	1

Tabla 5. Listado de elementos del diseño.

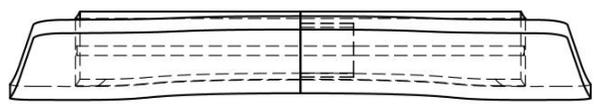
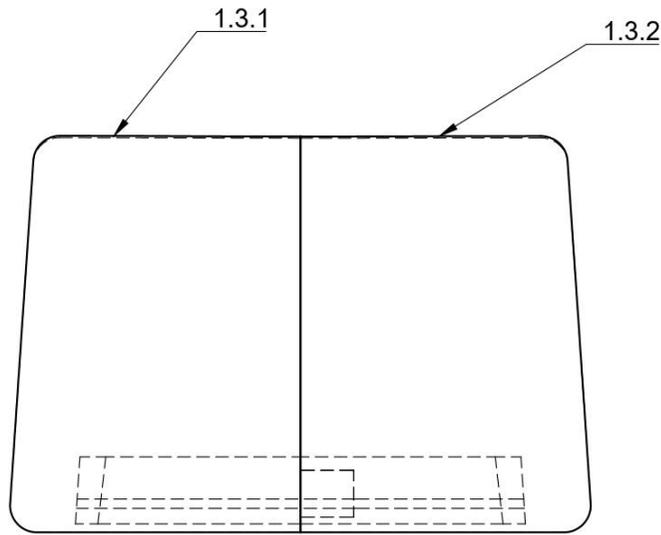


1.1.12	SOPORTE RESPALDO I		PLA	1
1.1.11	SOPORTE RESPALDO D		PLA	1
1.1.10	P. SUP. TRAS. I		PLA	1
1.1.9	P. SUP. TRAS. D		PLA	1
1.1.8	P. SUP. DEL. I		PLA	1
1.1.7	P. SUP. DEL. D		PLA	1
1.1.6	TRAVESAÑO I		PLA	1
1.1.5	TRAVESAÑO D		PLA	1
1.1.4	PATA TRASERA I		PLA	1
1.1.3	PATA TRASERA D		PLA	1
1.1.2	PATA DELANTERA I		PLA	1
1.1.1	PATA DELANTERA D		PLA	1

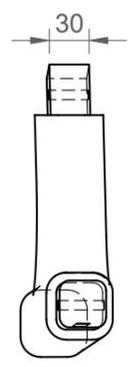
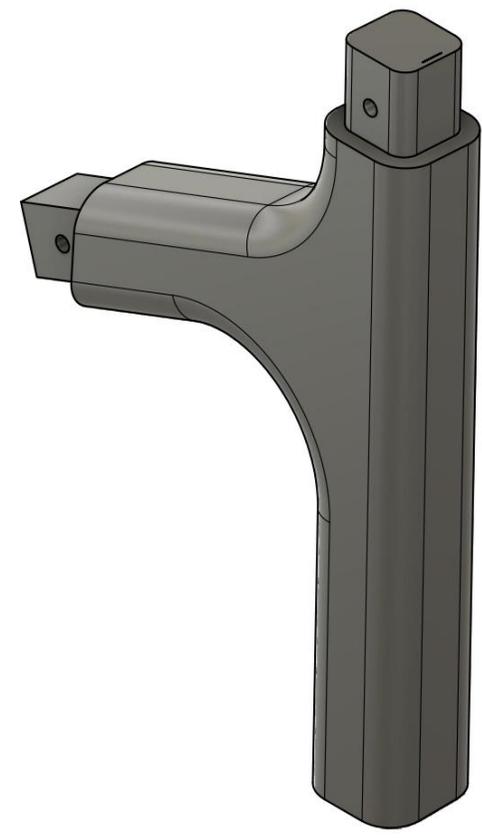
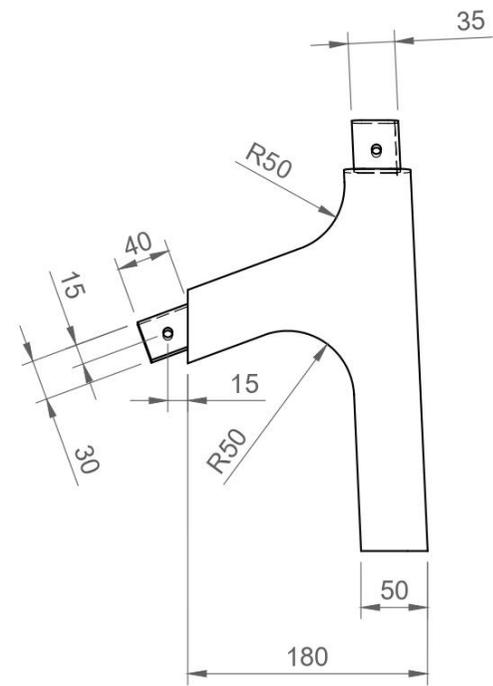
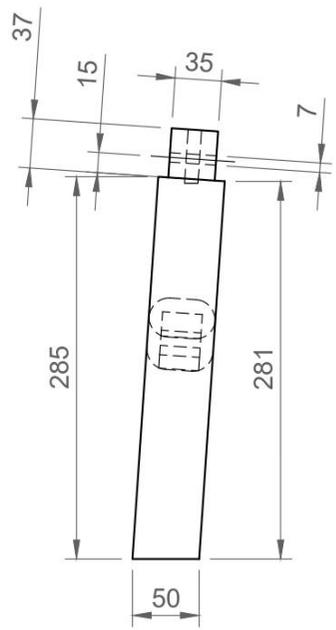
MARCA	DENOMINACIÓN	REFERENCIA	MATERIAL	CANTIDAD
Realizado por: Gabriel Mateu		TITULO DEL TRABAJO: SILLA PARA FABRICACIÓN EN IMPRESIÓN 3D		
REVISION: Begoña Sáiz Mauleón Pedro M. Cabezos Bernal		TITULO DEL DIBUJO: SUBCONJUNTO 1.1		
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:		Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:			HOJA: 3 de 28
FECHA: 12/07/23	1:10			
FORMATO: DIN A3				



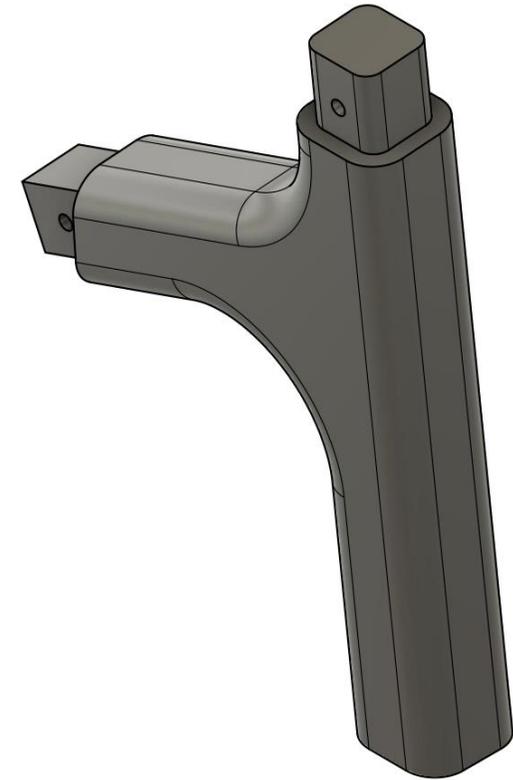
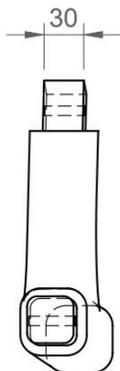
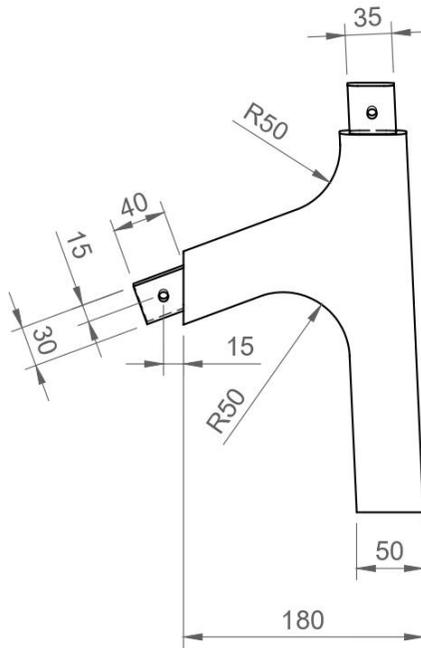
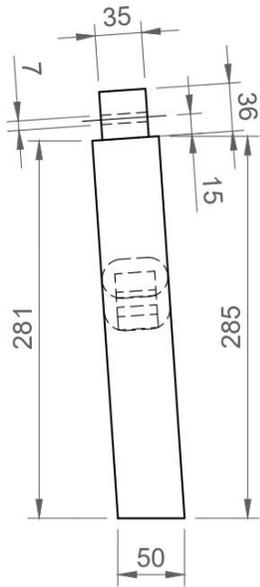
MARCA	DENOMINACIÓN	REFERENCIA	MATERIAL	CANTIDAD
	PARTE ASIENTO 9		PLA	1
	PARTE ASIENTO 8		PLA	1
	PARTE ASIENTO 7		PLA	1
	PARTE ASIENTO 6		PLA	1
	PARTE ASIENTO 5		PLA	1
	PARTE ASIENTO 4		PLA	1
	PARTE ASIENTO 3		PLA	1
	PARTE ASIENTO 2		PLA	1
	PARTE ASIENTO 1		PLA	1
Realizado por: Gabriel Mateu		TITULO DEL TRABAJO: SILLA PARA FABRICACIÓN EN IMPRESIÓN 3D		
REVISION: Begoña Sáiz Mauleón Pedro M. Cabezos Bernal		TITULO DEL DIBUJO: SUBCONJUNTO 1.2		
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:		Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:	 		HOJA: 4 de 28
FECHA: 12/07/23	1:4			
FORMATO: DIN A3				



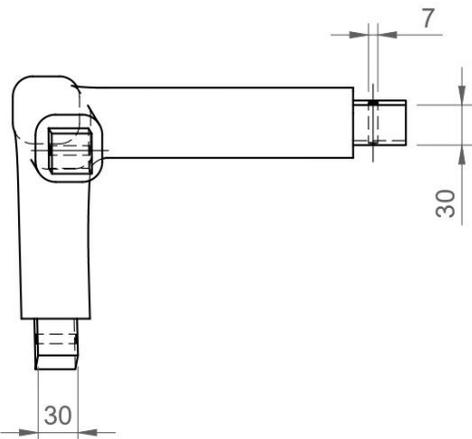
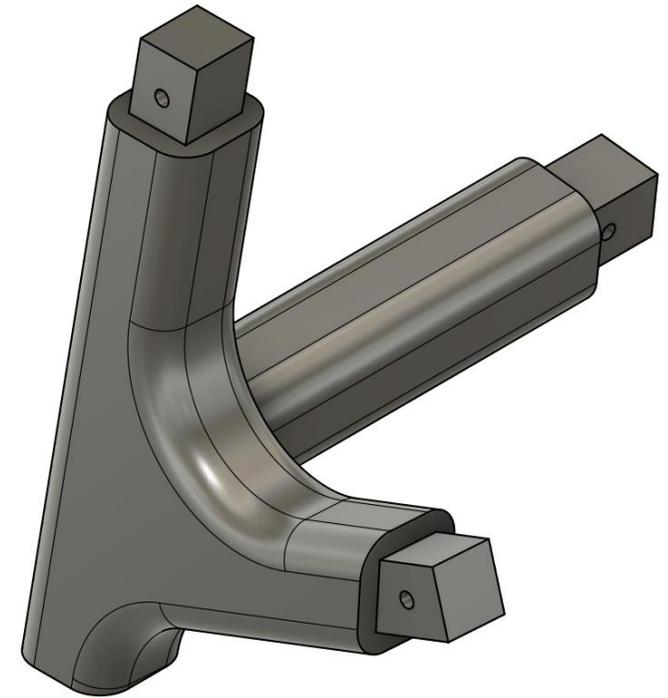
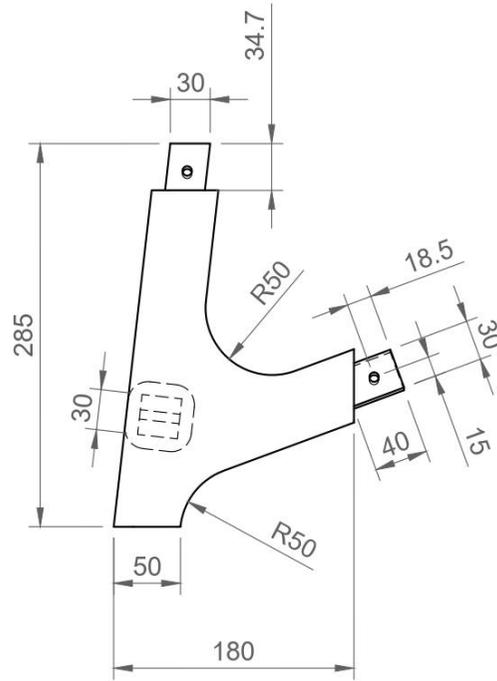
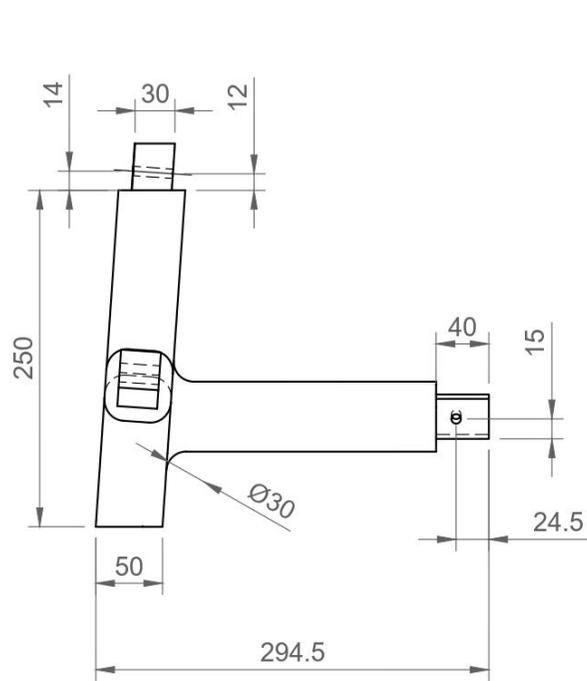
1.3.2	RESPALDO IZQUIERDA		PLA	1
1.3.1	RESPALDO DERECHA		PLA	1
MARCA	DENOMINACIÓN	REFERENCIA	MATERIAL	CANTIDAD
Realizado por: Gabriel Mateu		TITULO DEL TRABAJO: SILLA PARA FABRICACIÓN EN IMPRESIÓN 3D		
REVISION: Begoña Sáiz Mauleón Pedro M. Cabezos Bernal		TITULO DEL DIBUJO: SUBCONJUNTO 1.3		
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:		Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño		HOJA: 5 de 28
FECHA: 12/07/23	1:4			
FORMATO: DIN A3				



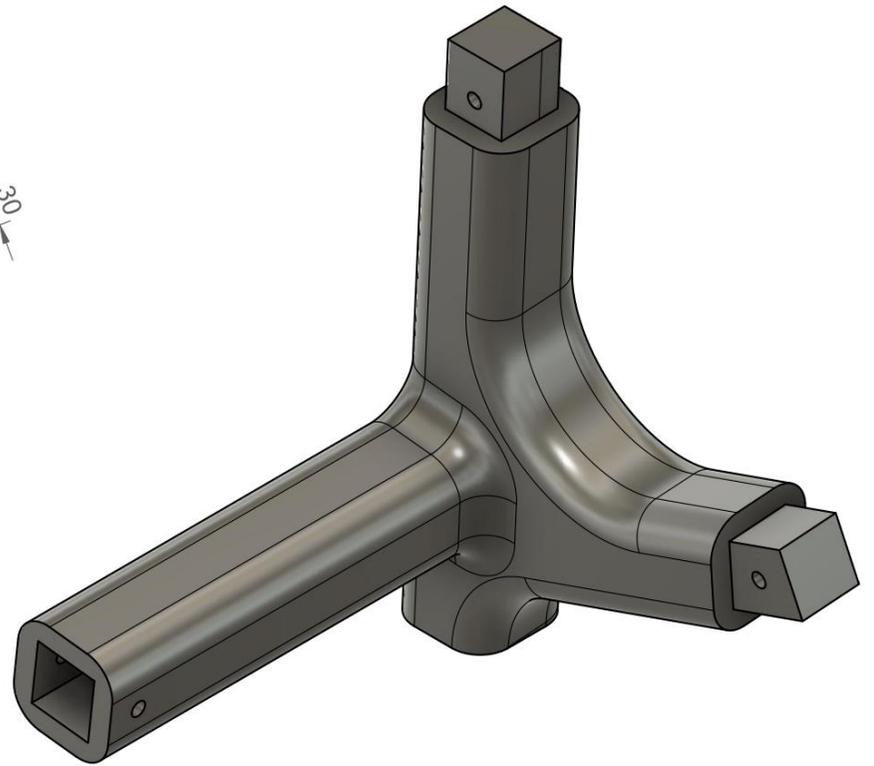
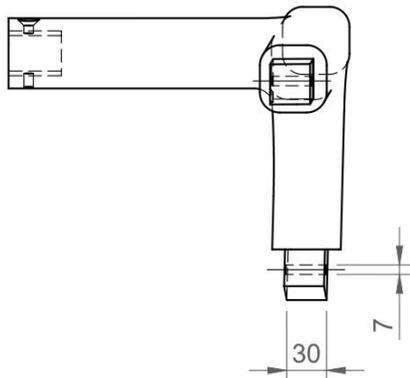
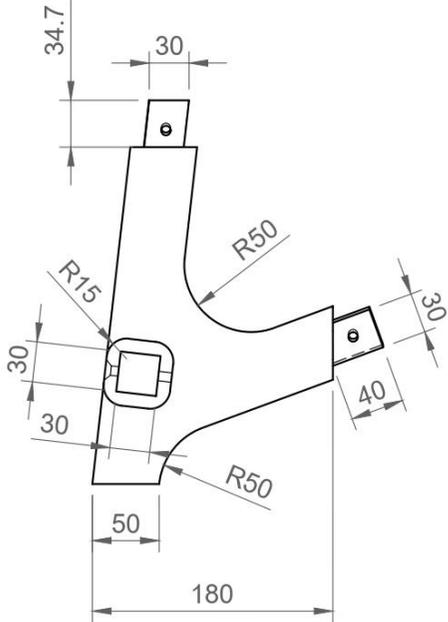
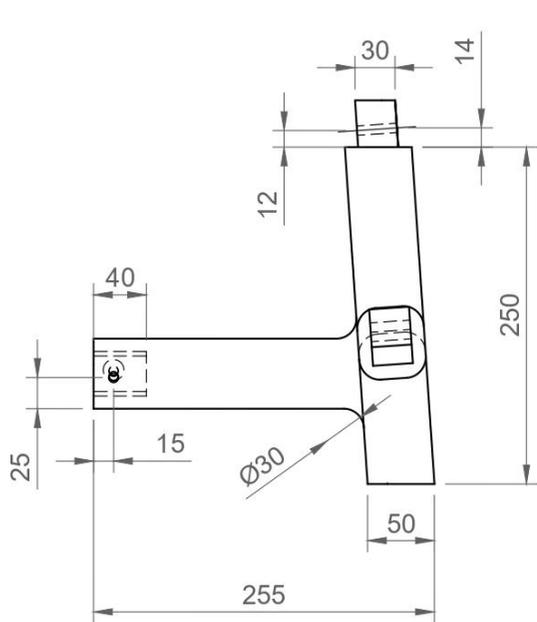
Realizado por: Gabriel Mateu		TITULO DEL TRABAJO: SILLA PARA FABRICACIÓN EN IMPRESIÓN 3D	
REVISION: Begoña Sáiz Mauleón Pedro M. Cabezos Bernal		TITULO DEL DIBUJO: PATA DELANTERA DERECHA	
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:	Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:		
FECHA: 12/07/23	1:2	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA <small>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</small>	HOJA: 6 de 28
FORMATO: DIN A3			



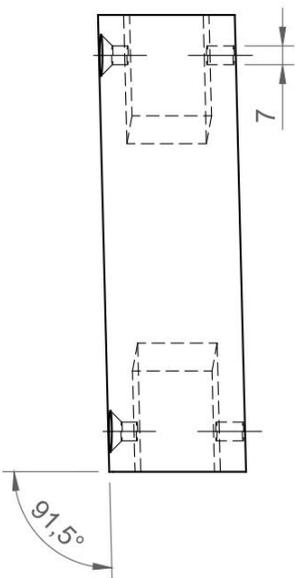
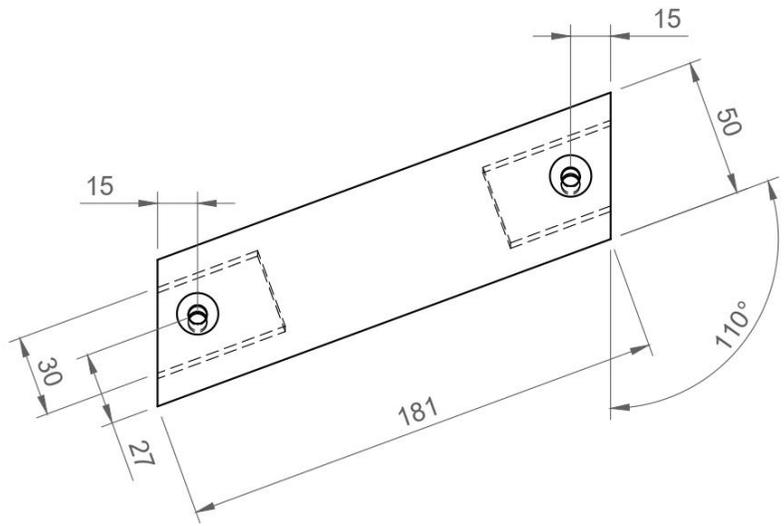
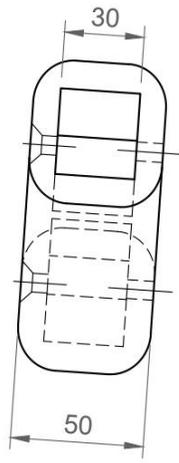
Realizado por: Gabriel Mateu		TITULO DEL TRABAJO: SILLA PARA FABRICACIÓN EN IMPRESIÓN 3D	
REVISION: Begoña Sáiz Mauleón Pedro M. Cabezos Bernal		TITULO DEL DIBUJO: PATA DELANTERA IZQUIERDA	
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:	Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:		
FECHA: 12/07/23	1:2	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA <small>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</small>	HOJA: 7 de 28
FORMATO: DIN A3			



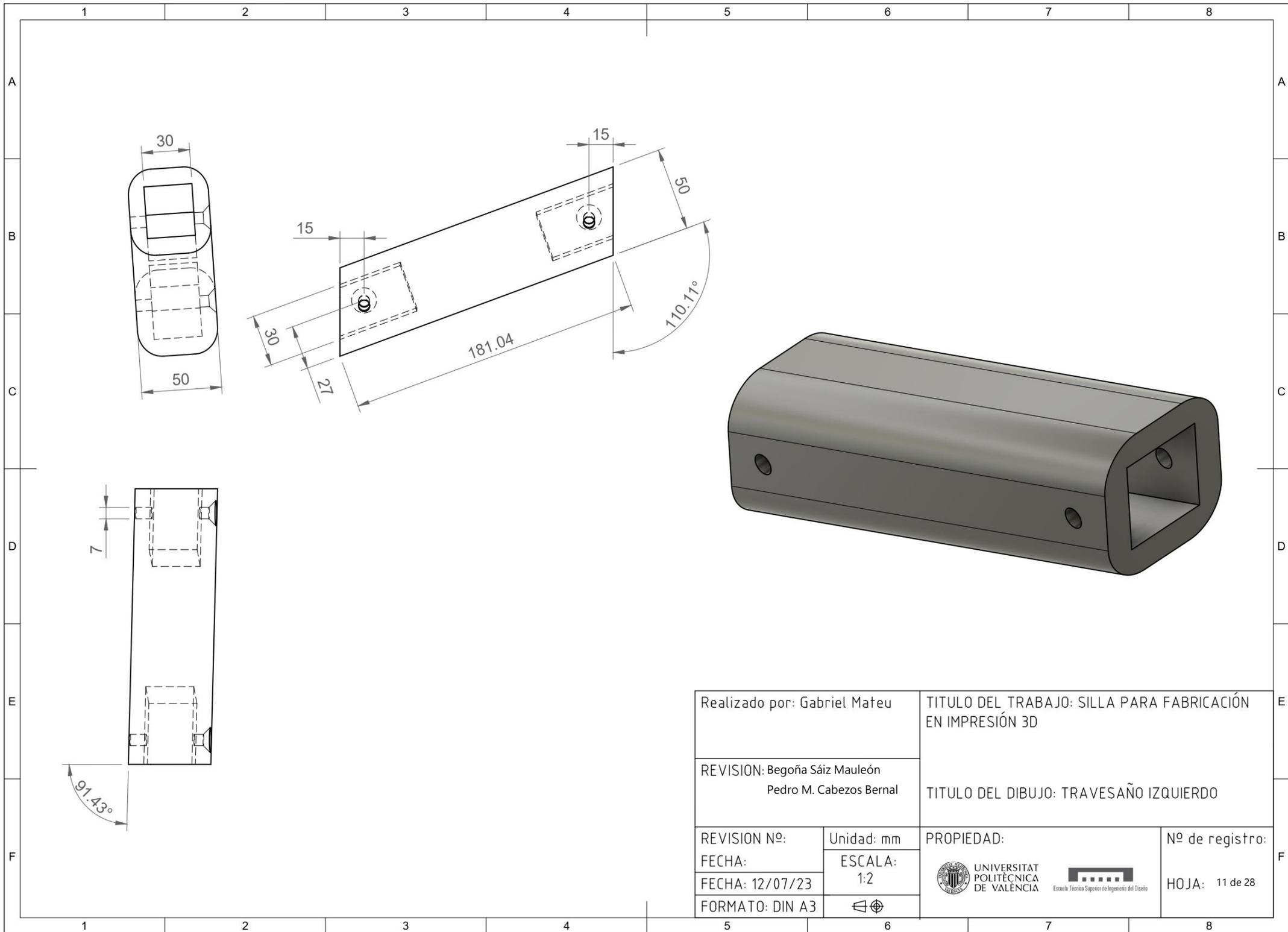
Realizado por: Gabriel Mateu		TITULO DEL TRABAJO: SILLA PARA FABRICACIÓN EN IMPRESIÓN 3D	
REVISION: Begoña Sáiz Mauleón Pedro M. Cabezos Bernal		TITULO DEL DIBUJO: PATA TRASERA DERECHA	
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:	
FECHA:	ESCALA:	 	
FECHA: 12/07/23	1:2		
FORMATO: DIN A3			
		Nº de registro: HOJA: 8 de 28	



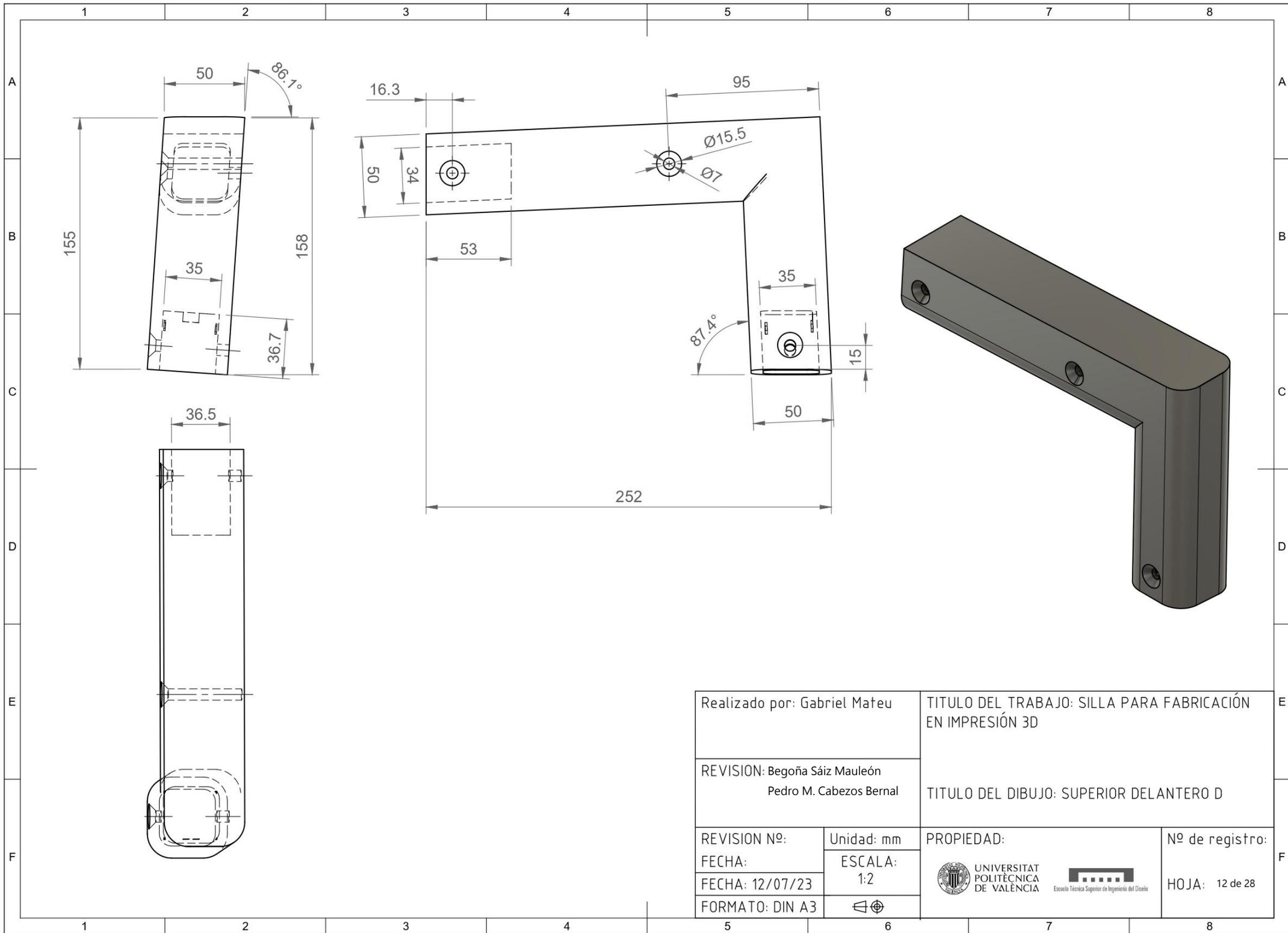
Realizado por: Gabriel Mateu		TITULO DEL TRABAJO: SILLA PARA FABRICACIÓN EN IMPRESIÓN 3D	
REVISION: Begoña Sáiz Mauleón Pedro M. Cabezos Bernal		TITULO DEL DIBUJO: PATA TRASERA IZQUIERDA	
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:	Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:		
FECHA: 12/07/23	1:2	 	HOJA: 9 de 28
FORMATO: DIN A3			



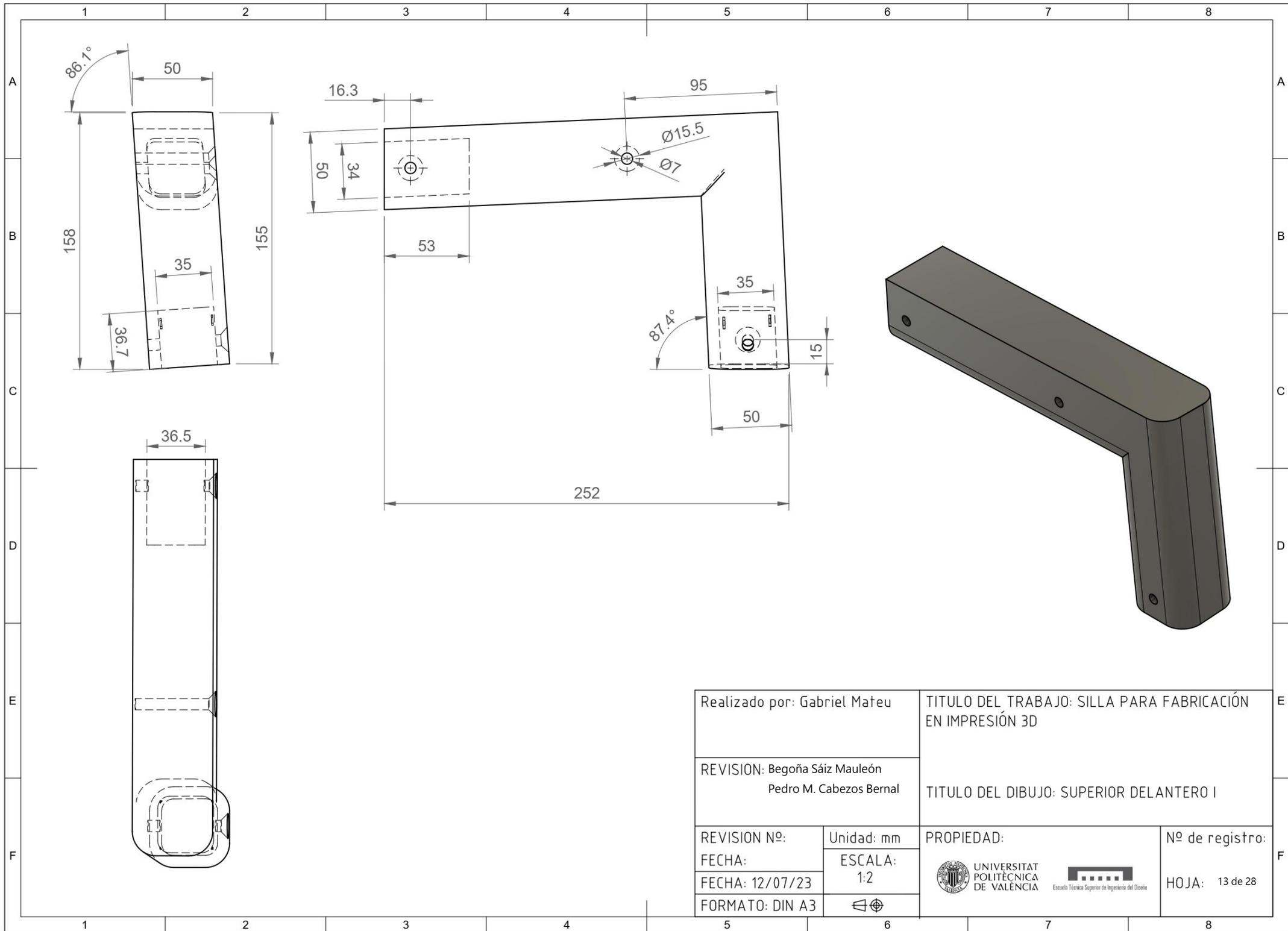
Realizado por: Gabriel Mateu		TITULO DEL TRABAJO: SILLA PARA FABRICACIÓN EN IMPRESIÓN 3D	
REVISION: Begoña Sáiz Mauleón Pedro M. Cabezos Bernal		TITULO DEL DIBUJO: TRAVESAÑO DERECHO	
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:	Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:		
FECHA: 12/07/23	1:2	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA <small>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</small>	HOJA: 10 de 28
FORMATO: DIN A3			



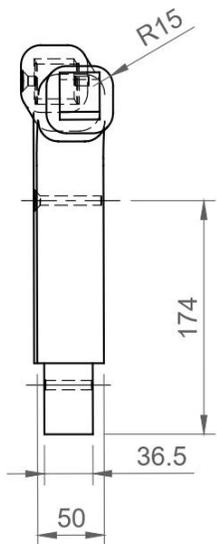
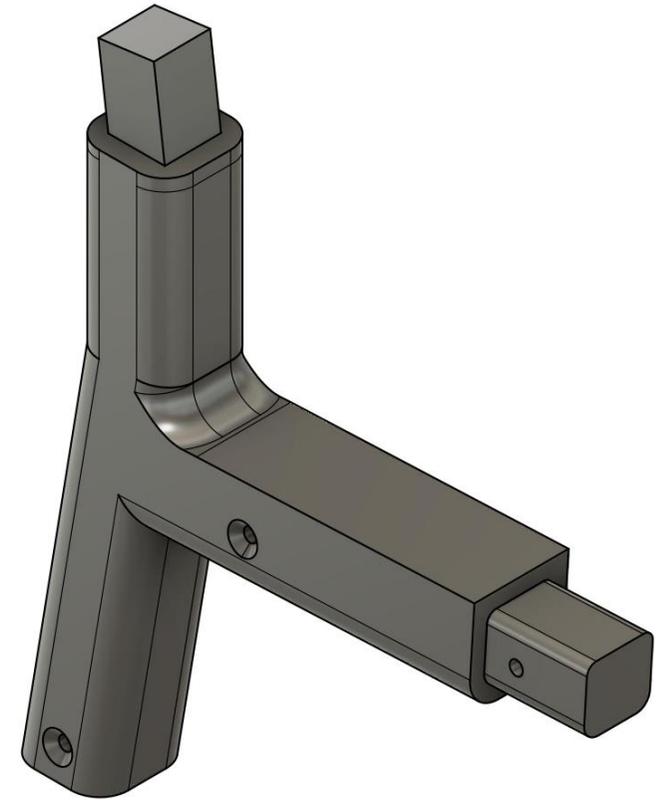
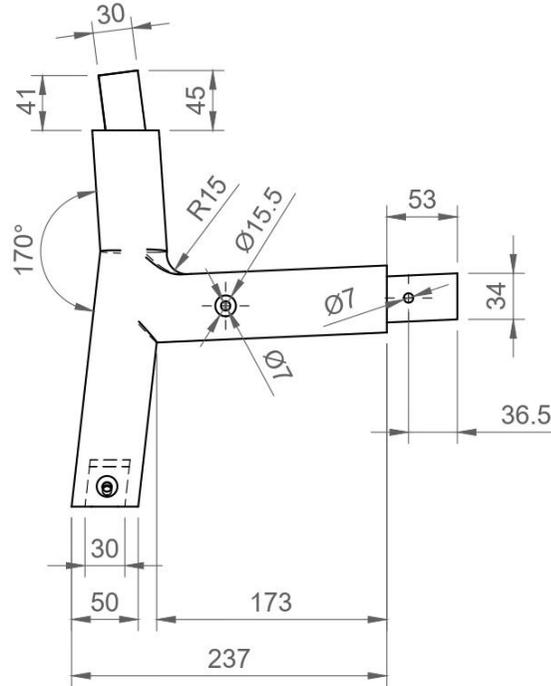
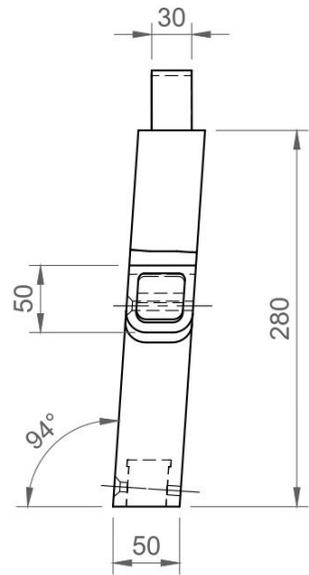
Realizado por: Gabriel Mateu		TITULO DEL TRABAJO: SILLA PARA FABRICACIÓN EN IMPRESIÓN 3D	
REVISION: Begoña Sáiz Mauleón Pedro M. Cabezos Bernal		TITULO DEL DIBUJO: TRAVESAÑO IZQUIERDO	
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:	Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:		
FECHA: 12/07/23	1:2	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA <small>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</small>	HOJA: 11 de 28
FORMATO: DIN A3			



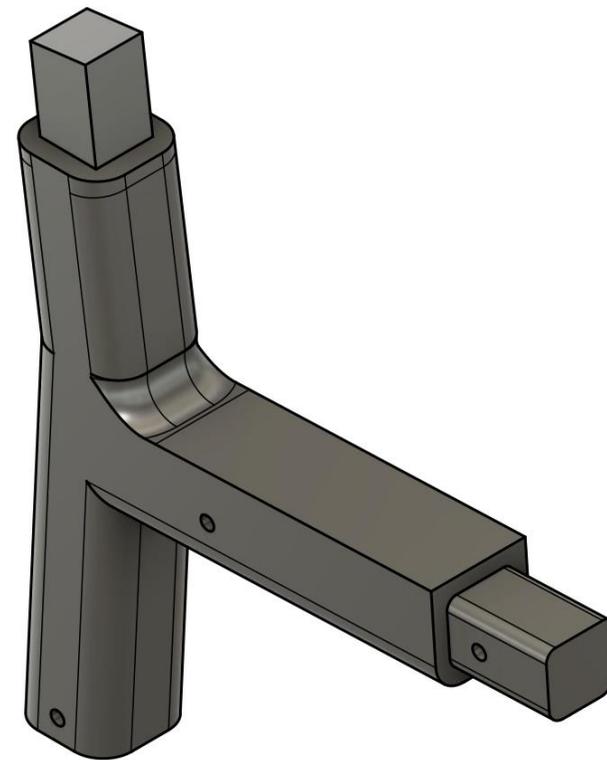
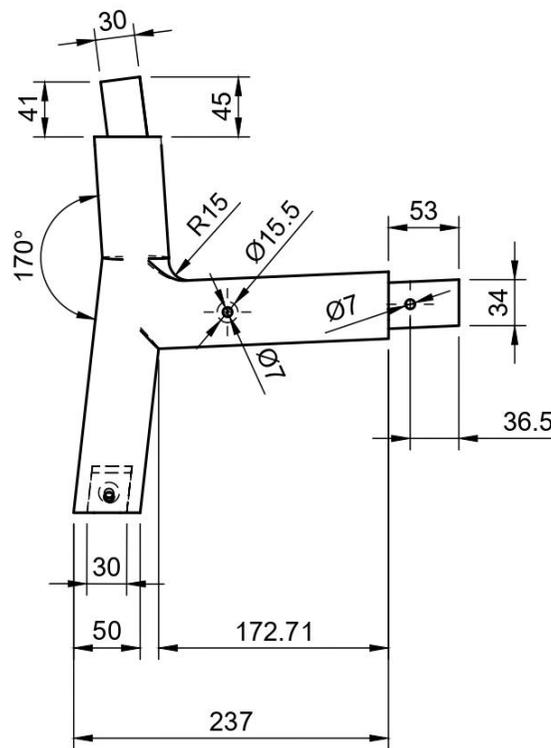
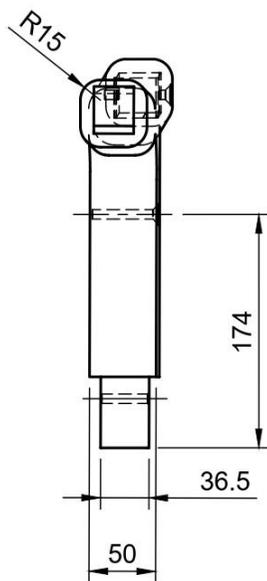
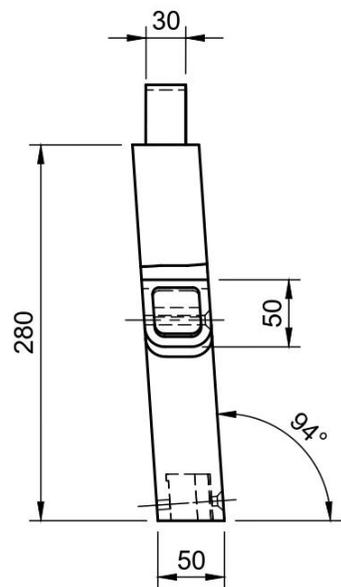
Realizado por: Gabriel Mateu		TITULO DEL TRABAJO: SILLA PARA FABRICACIÓN EN IMPRESIÓN 3D	
REVISION: Begoña Sáiz Mauleón Pedro M. Cabezos Bernal		TITULO DEL DIBUJO: SUPERIOR DELANTERO D	
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:	
FECHA:	ESCALA:		
FECHA: 12/07/23	1:2		
FORMATO: DIN A3		Nº de registro:	
		HOJA: 12 de 28	



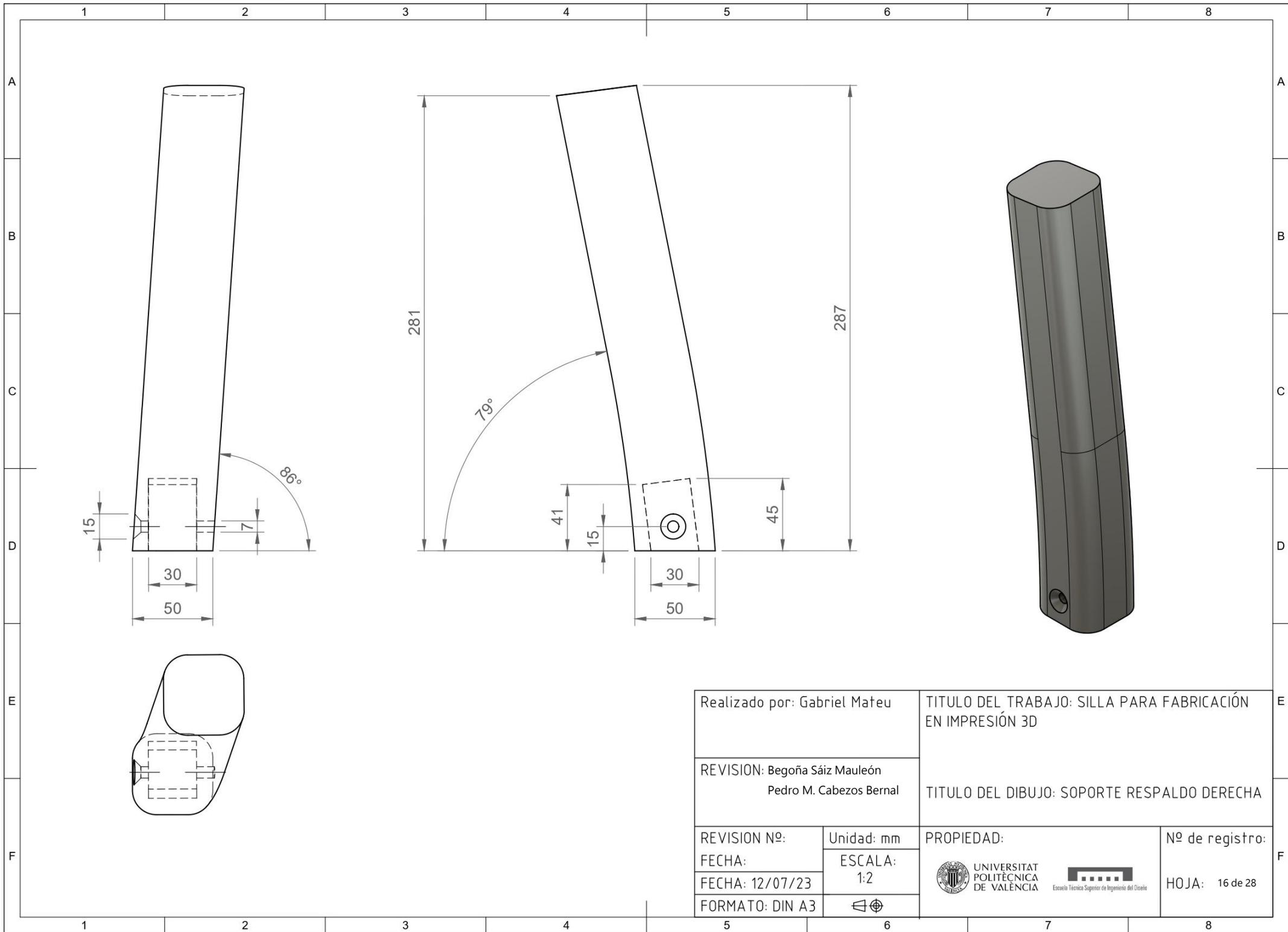
Realizado por: Gabriel Mateu		TITULO DEL TRABAJO: SILLA PARA FABRICACIÓN EN IMPRESIÓN 3D	
REVISION: Begoña Sáiz Mauleón Pedro M. Cabezos Bernal		TITULO DEL DIBUJO: SUPERIOR DELANTERO I	
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:	Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:		
FECHA: 12/07/23	1:2	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA <small>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</small>	HOJA: 13 de 28
FORMATO: DIN A3			



Realizado por: Gabriel Mateu		TITULO DEL TRABAJO: SILLA PARA FABRICACIÓN EN IMPRESIÓN 3D	
REVISION: Begoña Sáiz Mauleón Pedro M. Cabezos Bernal		TITULO DEL DIBUJO: SUPERIOR TRASERO DERECHO	
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:	Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:		
FECHA: 12/07/23	1:2	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA <small>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</small>	HOJA: 14 de 28
FORMATO: DIN A3			



Realizado por: Gabriel Mateu		TITULO DEL TRABAJO: SILLA PARA FABRICACIÓN EN IMPRESIÓN 3D	
REVISIÓN: Begoña Sáiz Mauleón Pedro M. Cabezos Bernal		TITULO DEL DIBUJO: SUPERIOR TRASERO IZQUIERDO	
REVISIÓN Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:	Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:		
FECHA: 12/07/23	1:2	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	HOJA: 15 de 28
FORMATO: DIN A3			



Realizado por: Gabriel Mateu

TITULO DEL TRABAJO: SILLA PARA FABRICACIÓN EN IMPRESIÓN 3D

REVISION: Begoña Sáiz Mauleón
Pedro M. Cabezos Bernal

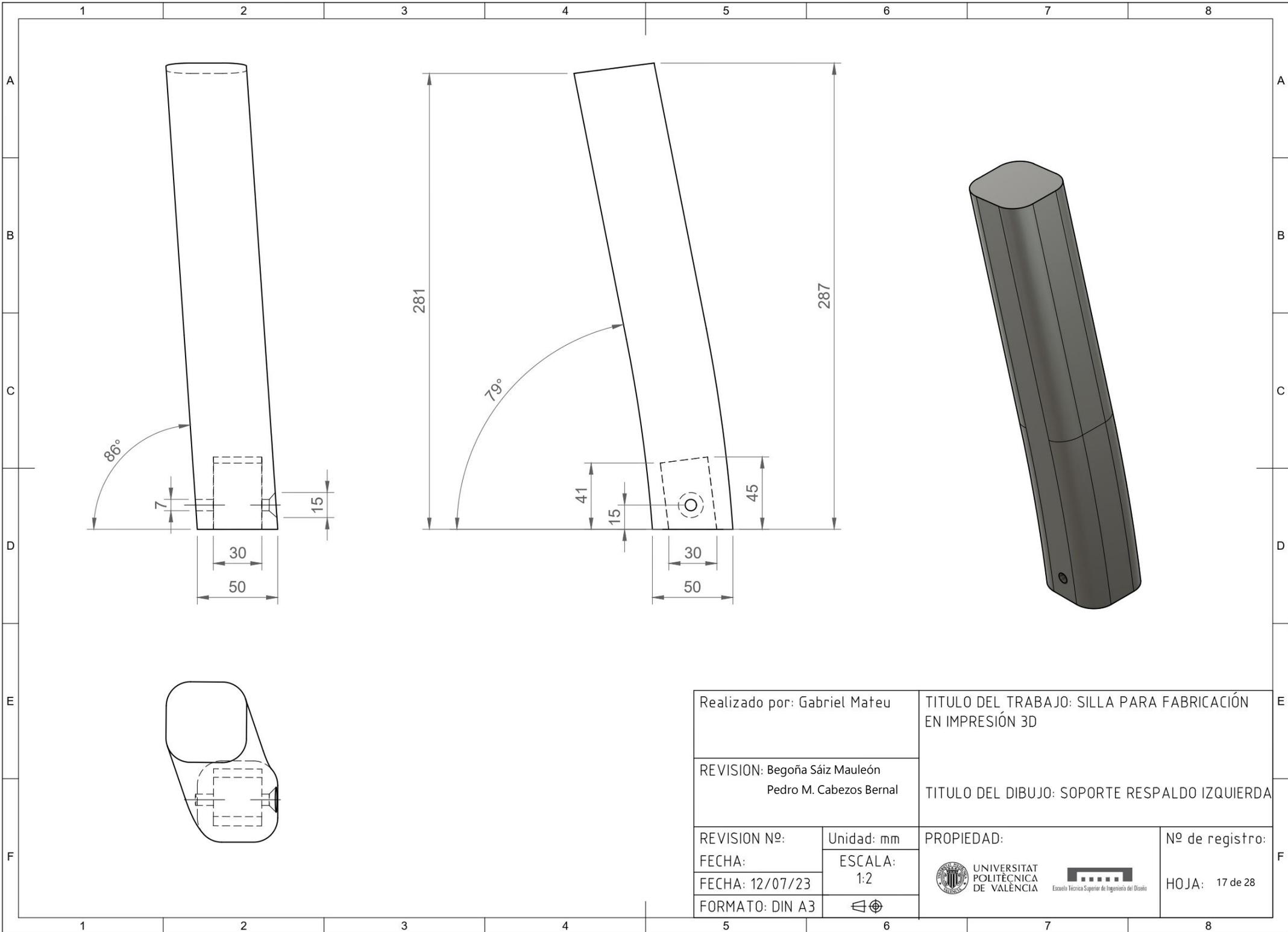
TITULO DEL DIBUJO: SOPORTE RESPALDO DERECHA

REVISION Nº:
FECHA:
FECHA: 12/07/23
FORMATO: DIN A3

Unidad: mm
ESCALA:
1:2
⊕

PROPIEDAD:
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
Escola Tècnica Superior de Enginyeria del Disseny

Nº de registro:
HOJA: 16 de 28

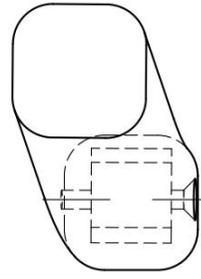


1 2 3 4 5 6 7 8

A
B
C
D
E
F

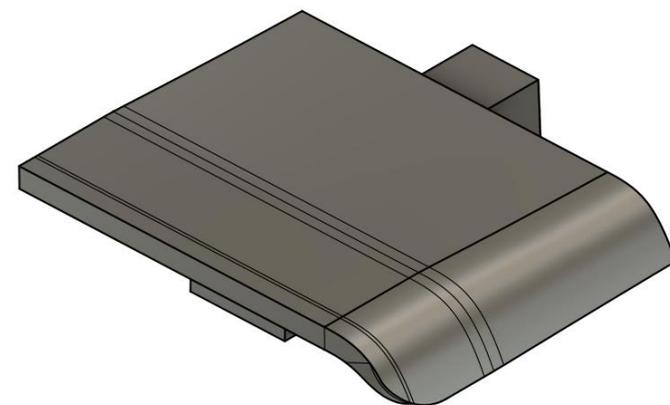
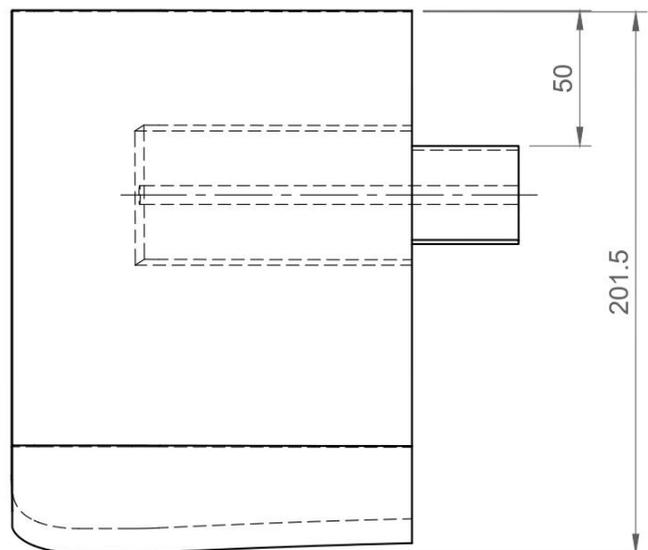
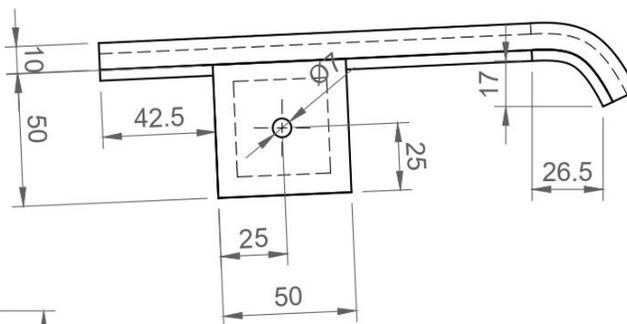
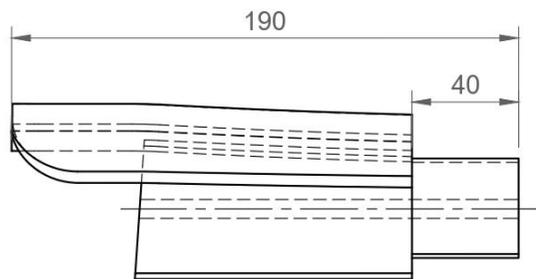
86°
7
15
30
50

281
79°
41
15
30
50
45
287

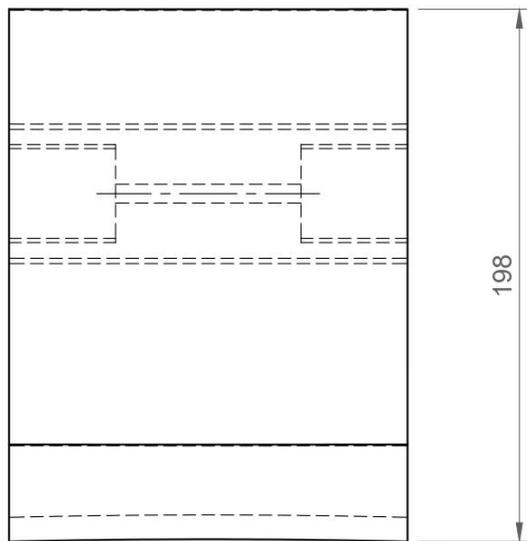
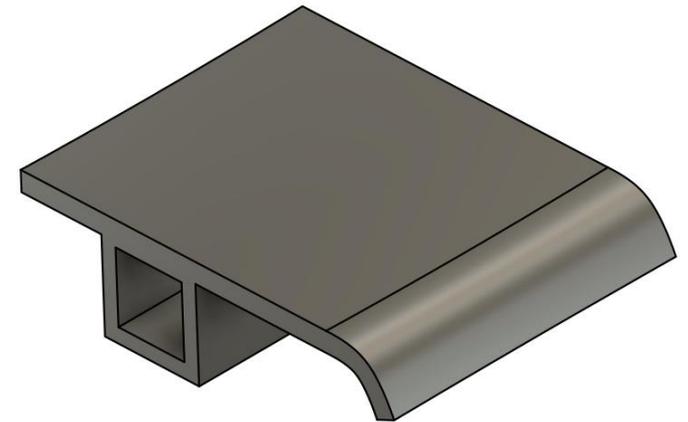
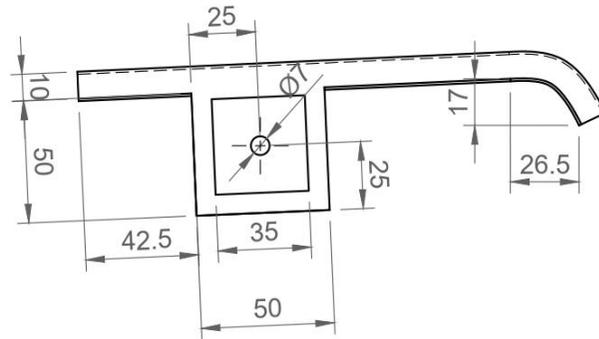
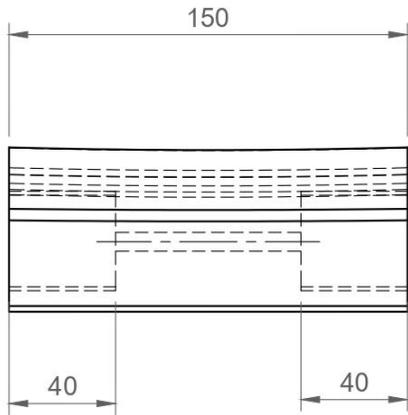


Realizado por: Gabriel Mateu		TITULO DEL TRABAJO: SILLA PARA FABRICACIÓN EN IMPRESIÓN 3D	
REVISION: Begoña Sáiz Mauleón Pedro M. Cabezos Bernal		TITULO DEL DIBUJO: SOPORTE RESPALDO IZQUIERDA	
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:	Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:		
FECHA: 12/07/23	1:2	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	HOJA: 17 de 28
FORMATO: DIN A3			

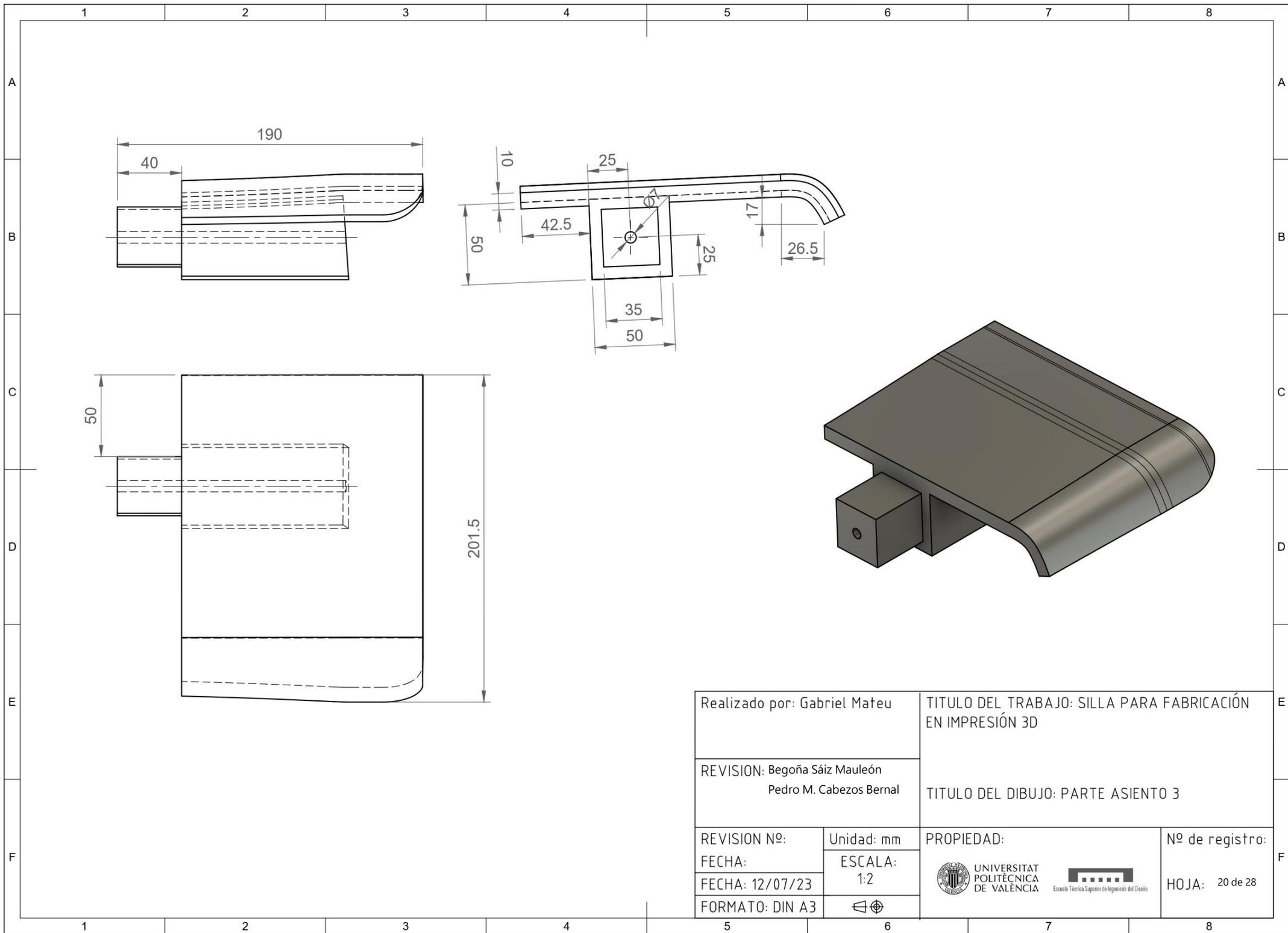
1 2 3 4 5 6 7 8



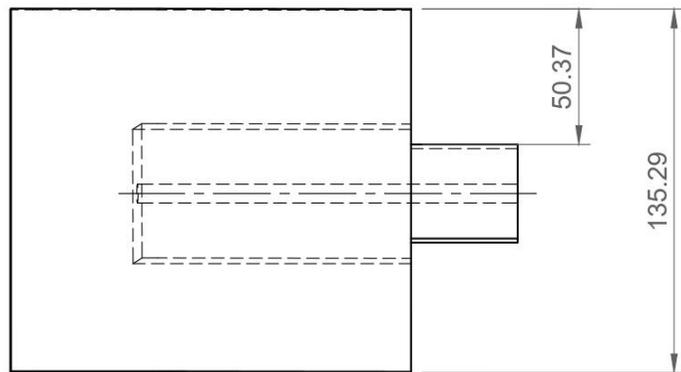
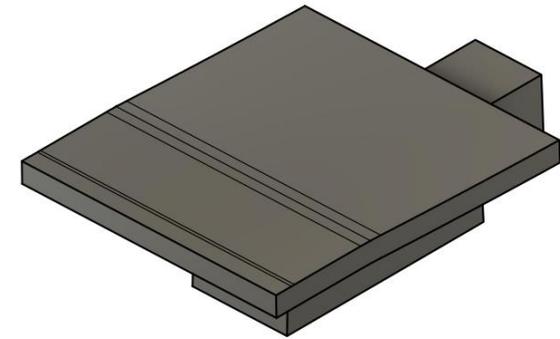
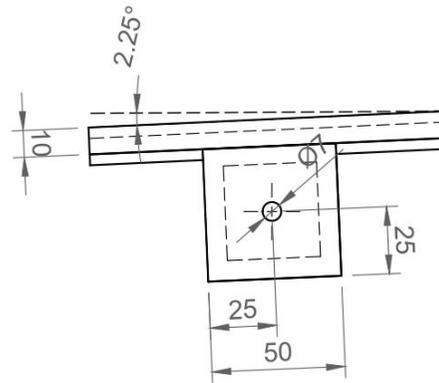
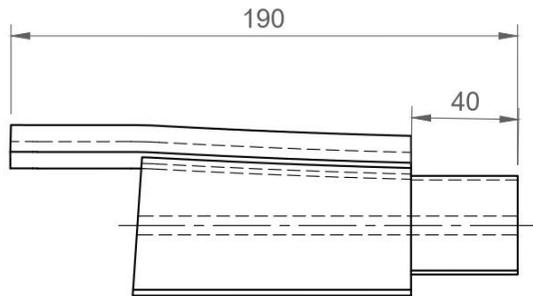
Realizado por: Gabriel Mateu		TITULO DEL TRABAJO: SILLA PARA FABRICACIÓN EN IMPRESORA 3D	
REVISION: Begoña Sáiz Mauleón Pedro M. Cabezos Bernal		TITULO DEL DIBUJO: PARTE ASIENTO 1	
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:	Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:		
FECHA: 12/07/23	1:2	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	HOJA: 18 de 28
FORMATO: DIN A3			



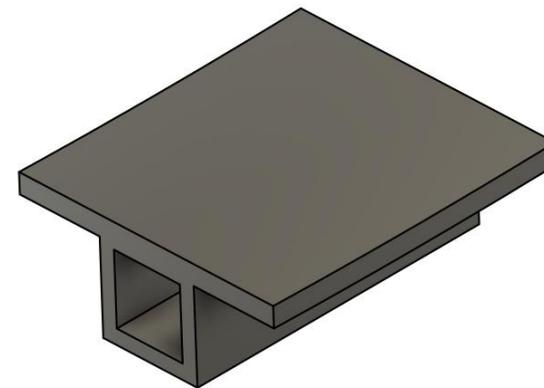
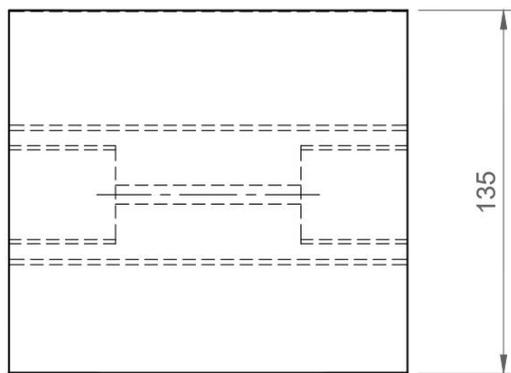
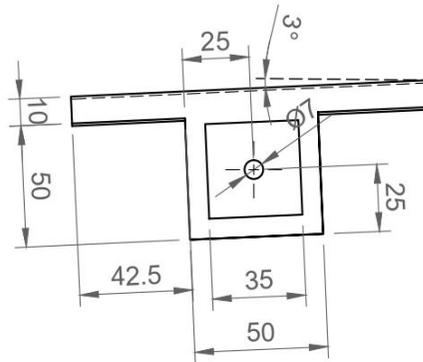
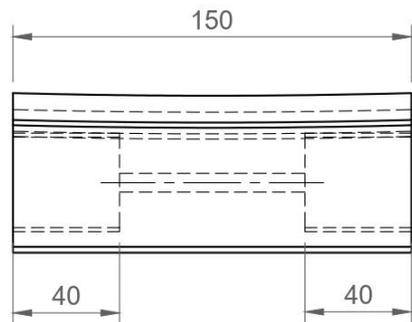
Realizado por: Gabriel Mateu		TITULO DEL TRABAJO: SILLA PARA FABRICACIÓN EN IMPRESIÓN 3D	
REVISION: Begoña Sáiz Mauleón Pedro M. Cabezos Bernal		TITULO DEL DIBUJO: PARTE ASIENTO 2	
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:	Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:		
FECHA: 12/07/23	1:2	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA <small>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</small>	HOJA: 19 de 28
FORMATO: DIN A3			



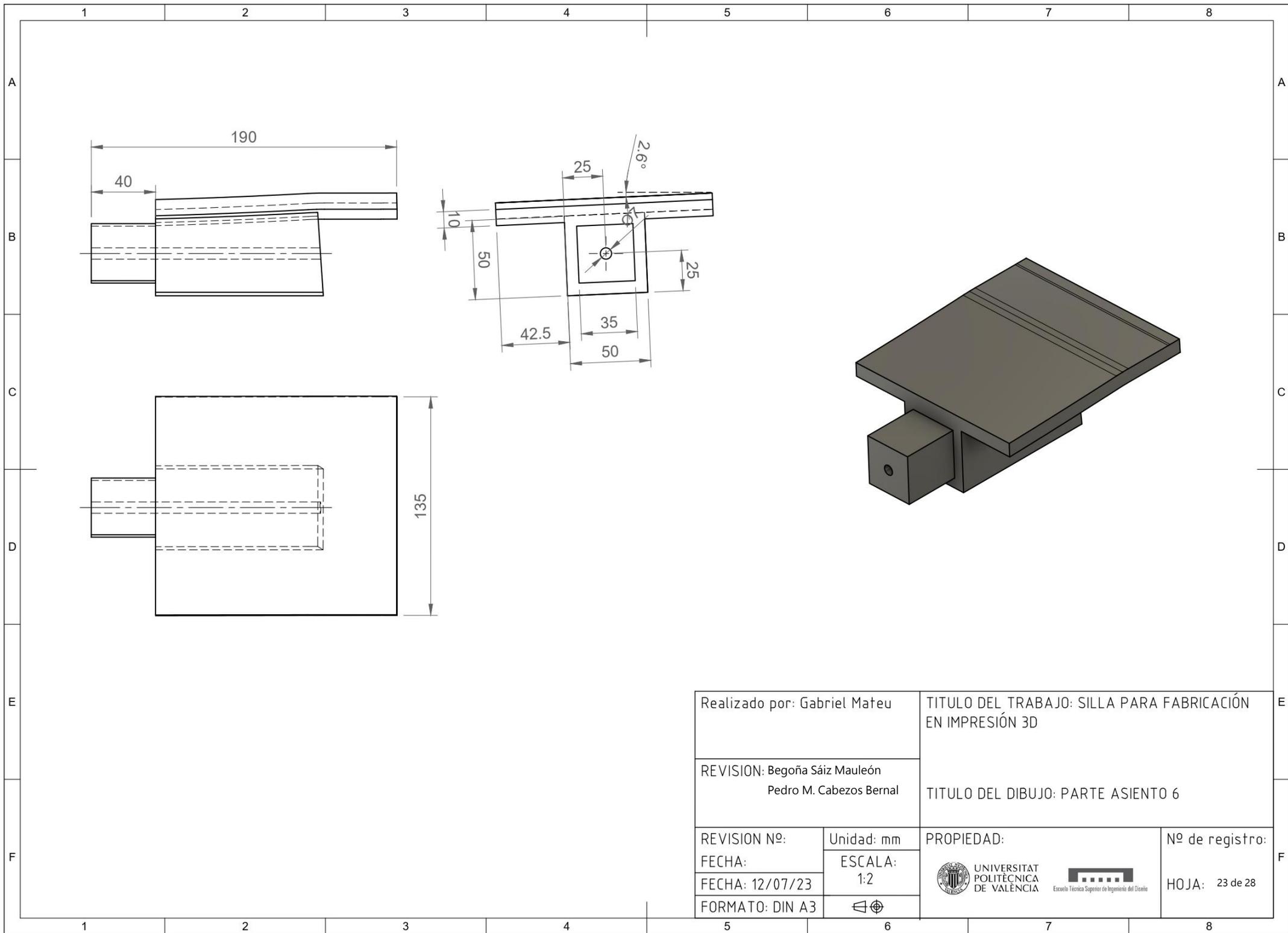
Realizado por: Gabriel Mateu		TITULO DEL TRABAJO: SILLA PARA FABRICACIÓN EN IMPRESIÓN 3D	
REVISION: Begoña Sáiz Mauleón Pedro M. Cabezos Bernal		TITULO DEL DIBUJO: PARTE ASIENTO 3	
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:	Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:		
FECHA: 12/07/23	1:2	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA <small>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</small>	HOJA: 20 de 28
FORMATO: DIN A3			



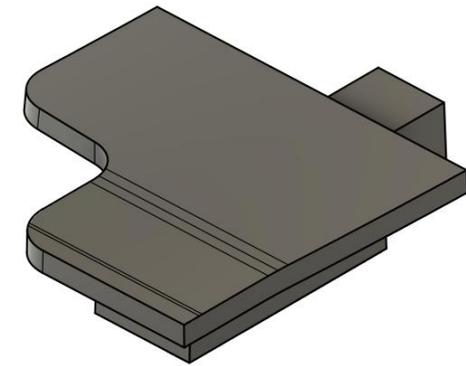
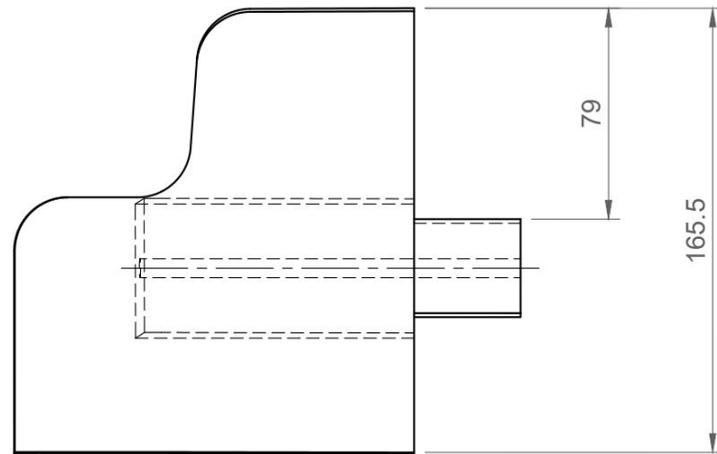
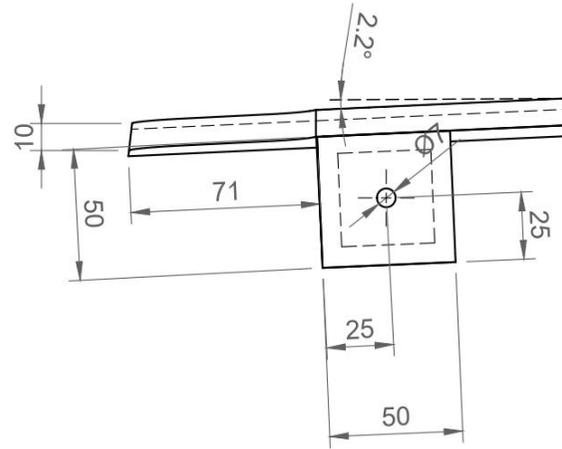
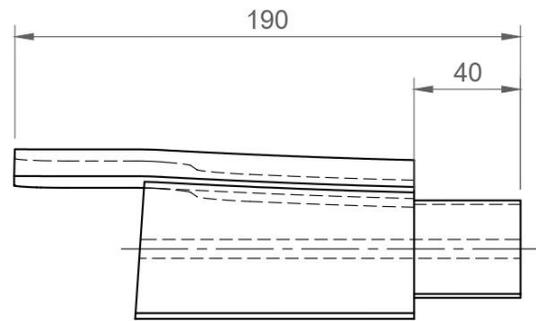
Realizado por: Gabriel Mateu		TITULO DEL TRABAJO: SILLA PARA FABRICACIÓN EN IMPRESIÓN 3D	
REVISION: Begoña Sáiz Mauleón Pedro M. Cabezos Bernal		TITULO DEL DIBUJO: PARTE ASIENTO 4	
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:	Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:		
FECHA: 12/07/23	1:2	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	HOJA: 21 de 28
FORMATO: DIN A3			



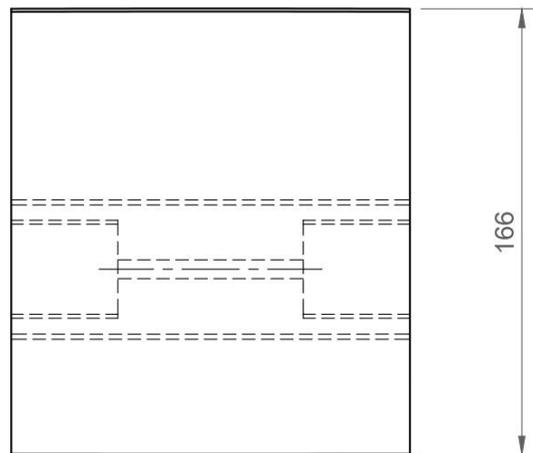
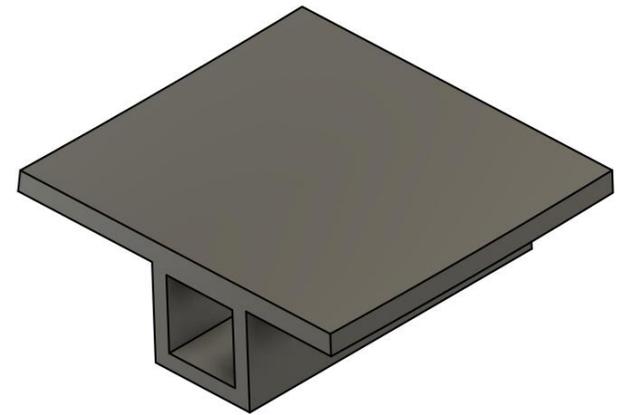
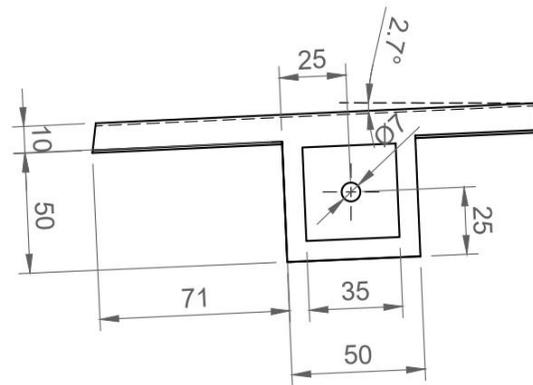
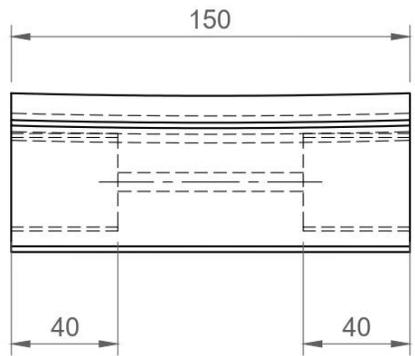
Realizado por: Gabriel Mateu		TITULO DEL TRABAJO: SILLA PARA FABRICACIÓN EN IMPRESIÓN 3D	
REVISION: Begoña Sáiz Mauleón Pedro M. Cabezos Bernal		TITULO DEL DIBUJO: PARTE ASIENTO 5	
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:	Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:		
FECHA: 12/07/23	1:2	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA <small>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</small>	HOJA: 22 de 28
FORMATO: DIN A3			



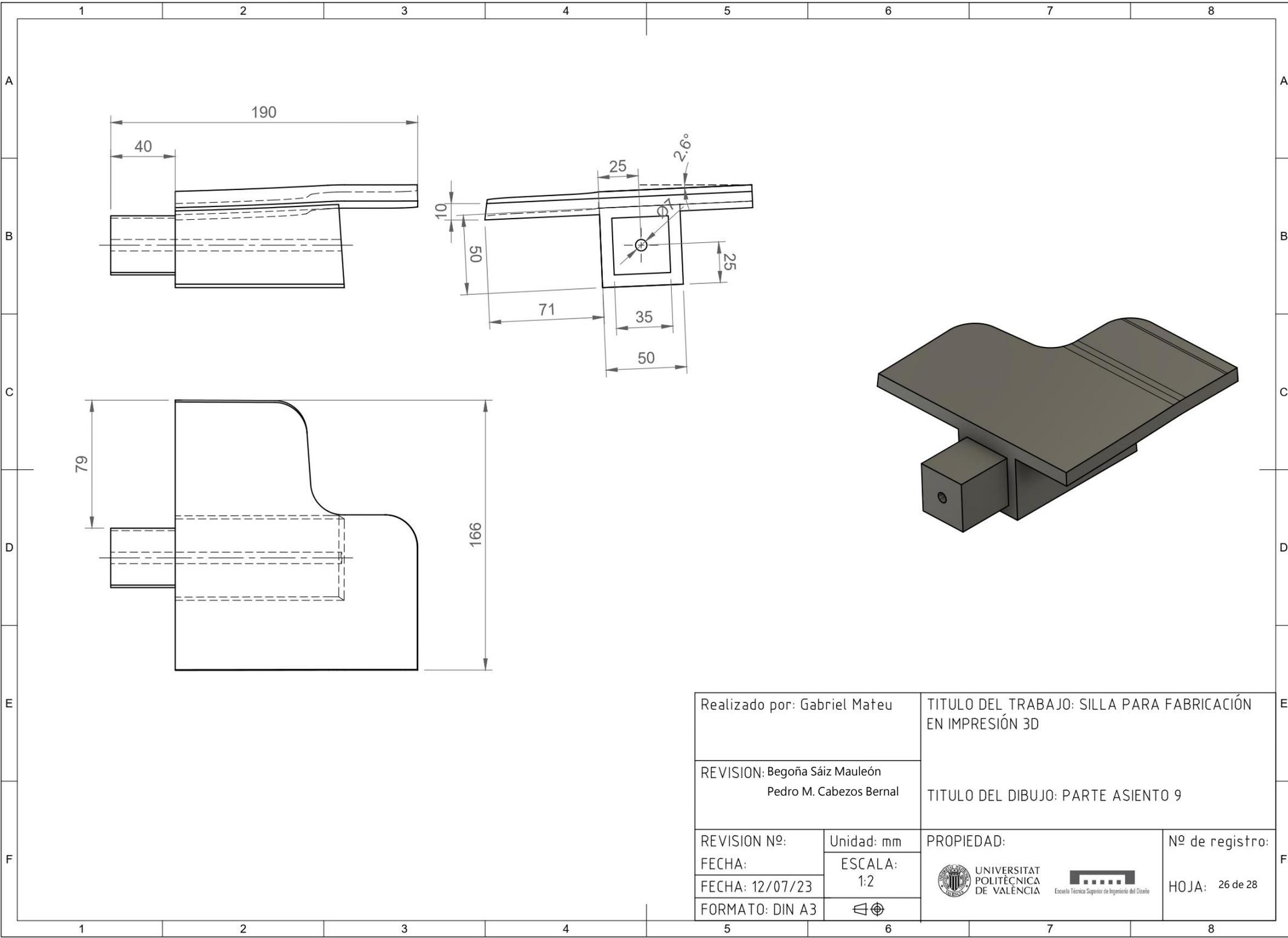
Realizado por: Gabriel Mateu		TITULO DEL TRABAJO: SILLA PARA FABRICACIÓN EN IMPRESIÓN 3D	
REVISION: Begoña Sáiz Mauleón Pedro M. Cabezos Bernal		TITULO DEL DIBUJO: PARTE ASIENTO 6	
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:	Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:		
FECHA: 12/07/23	1:2	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA <small>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</small>	HOJA: 23 de 28
FORMATO: DIN A3			



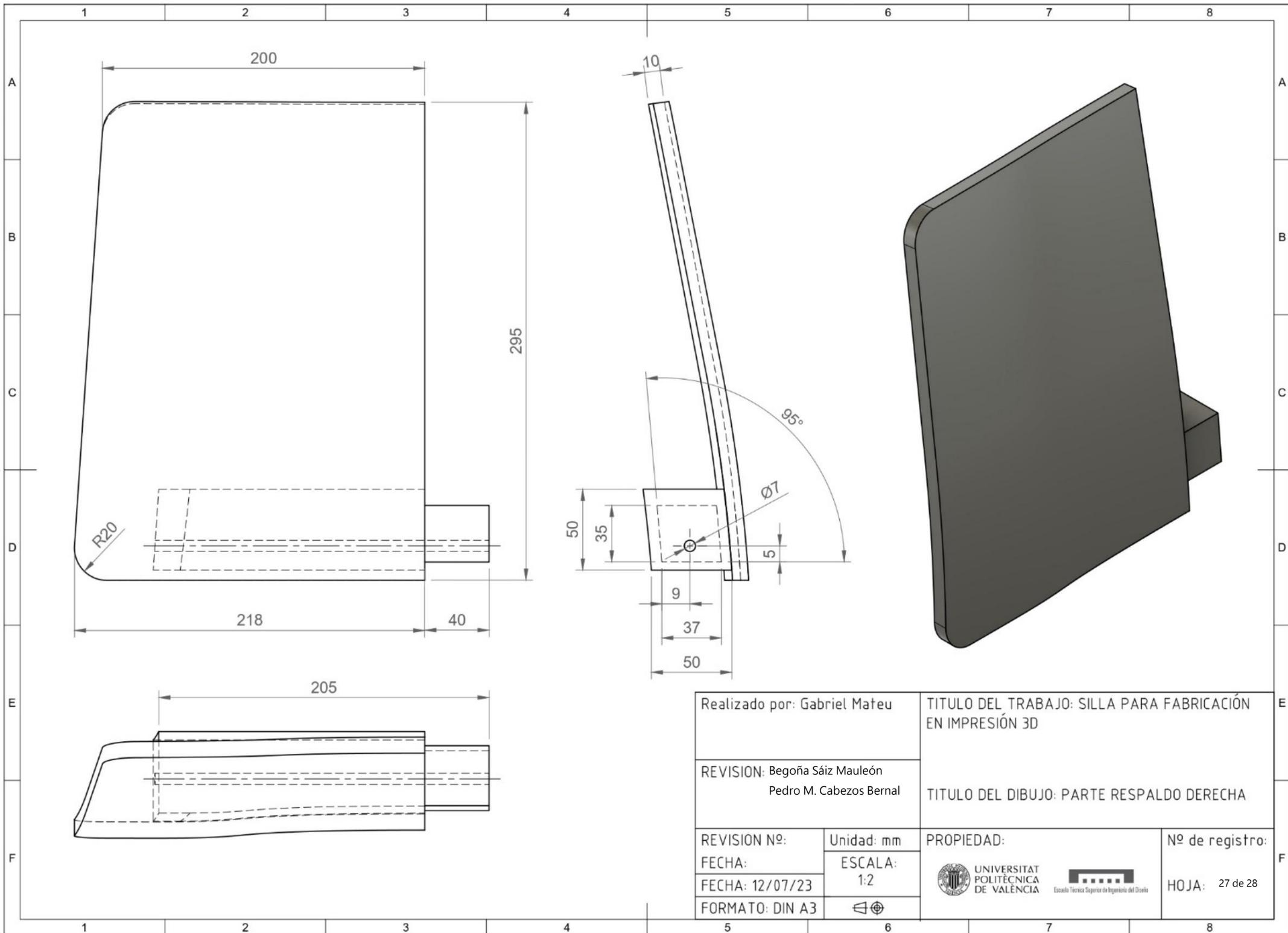
Realizado por: Gabriel Mateu		TITULO DEL TRABAJO: SILLA PARA FABRICACIÓN EN IMPRESIÓN 3D	
REVISION: Begoña Sáiz Mauleón Pedro M. Cabezos Bernal		TITULO DEL DIBUJO: PARTE ASIENTO 7	
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:	Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:		
FECHA: 12/07/23	1:2	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA <small>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</small>	HOJA: 24 de 28
FORMATO: DIN A3			

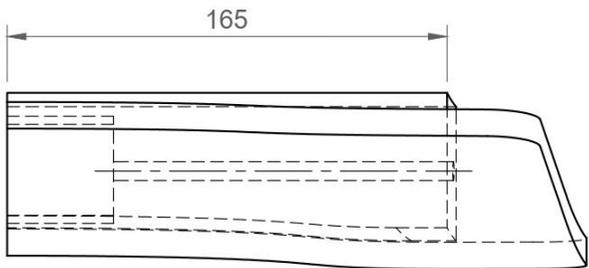
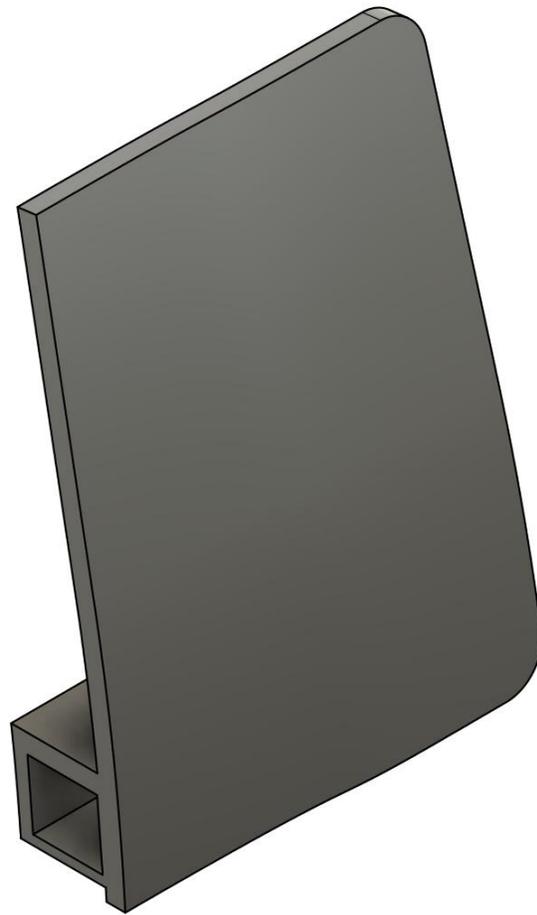
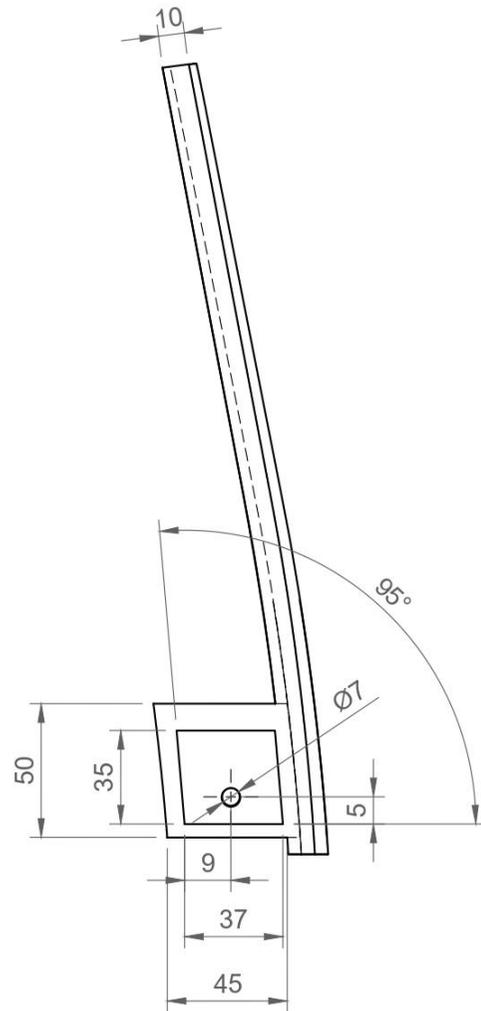
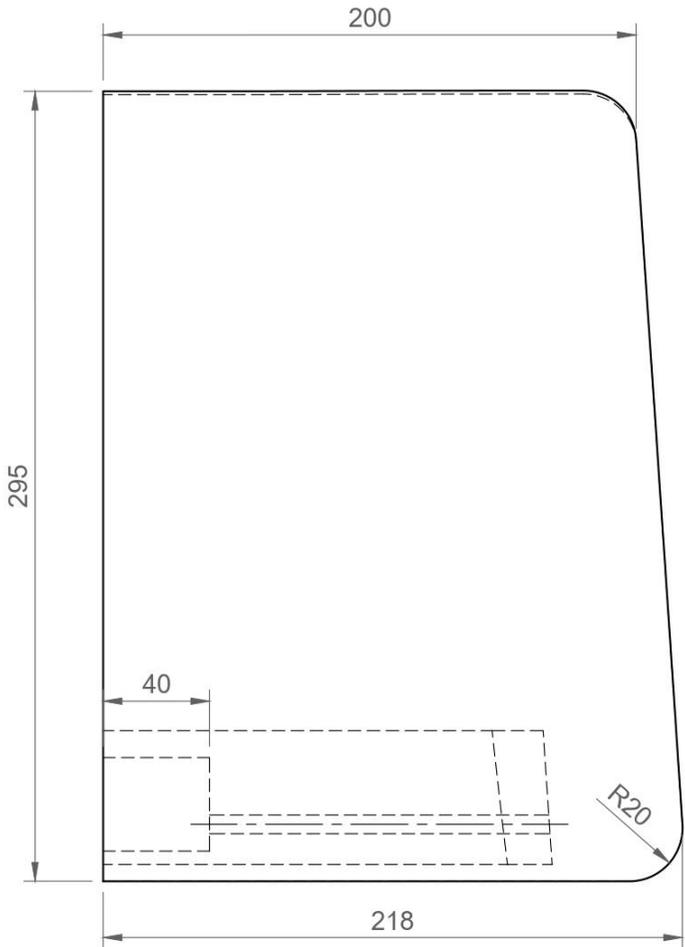
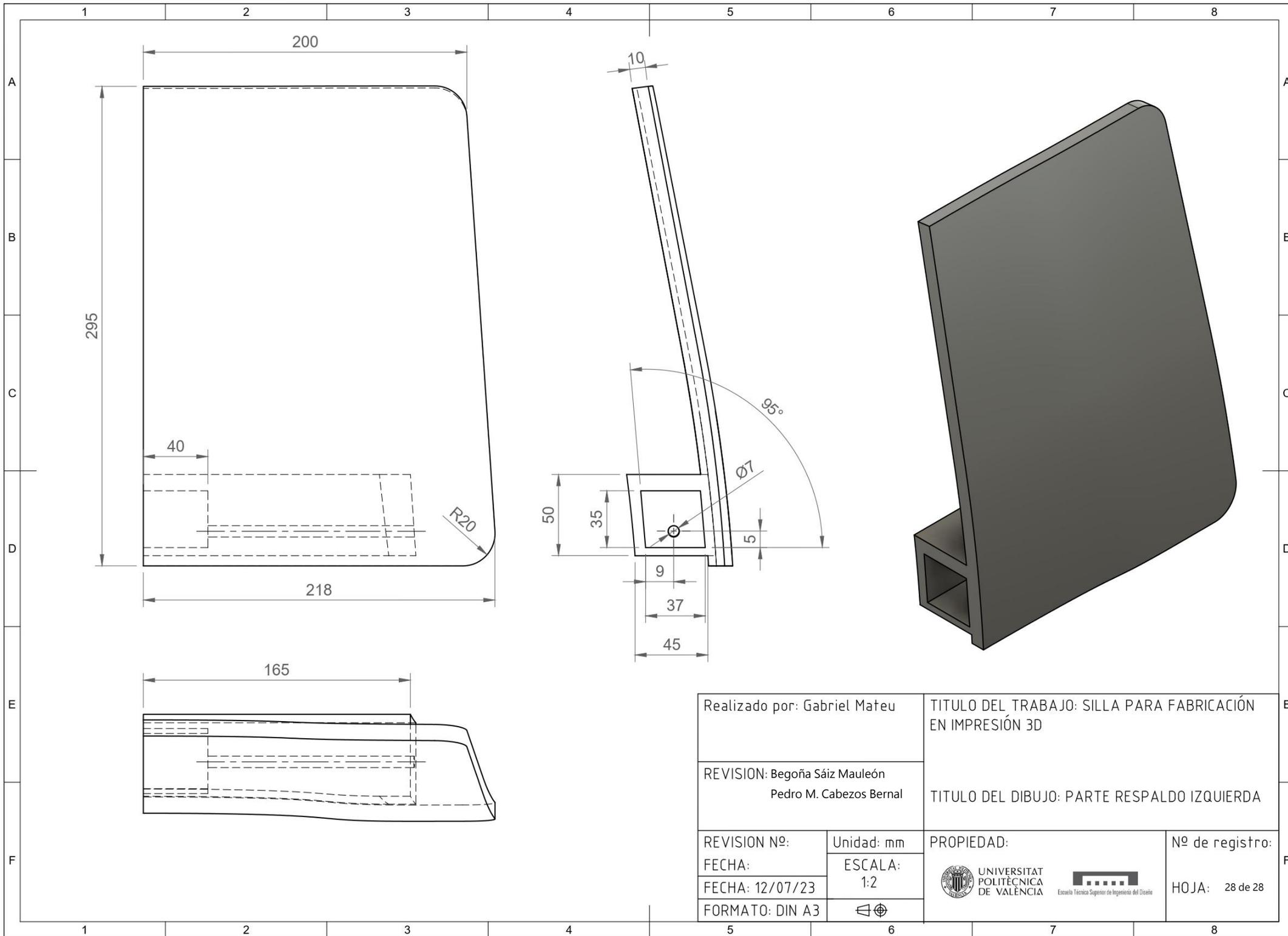


Realizado por: Gabriel Mateu		TITULO DEL TRABAJO: SILLA PARA FABRICACIÓN EN IMPRESIÓN 3D	
REVISION: Begoña Sáiz Mauleón Pedro M. Cabezos Bernal		TITULO DEL DIBUJO: PARTE ASIENTO 8	
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:	Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:		
FECHA: 12/07/23	1:2	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  Escola Tècnica Superior d'Enginyeria del Disseny	HOJA: 25 de 28
FORMATO: DIN A3			



Realizado por: Gabriel Mateu		TITULO DEL TRABAJO: SILLA PARA FABRICACIÓN EN IMPRESIÓN 3D	
REVISION: Begoña Sáiz Mauleón Pedro M. Cabezas Bernal		TITULO DEL DIBUJO: PARTE ASIENTO 9	
REVISION Nº:	Unidad: mm	PROPIEDAD:	Nº de registro:
FECHA:	ESCALA:		
FECHA: 12/07/23	1:2	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA <small>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</small>	HOJA: 26 de 28
FORMATO: DIN A3			





Realizado por: Gabriel Mateu		TITULO DEL TRABAJO: SILLA PARA FABRICACIÓN EN IMPRESIÓN 3D	
REVISION: Begoña Sáiz Mauleón Pedro M. Cabezos Bernal		TITULO DEL DIBUJO: PARTE RESPALDO IZQUIERDA	
REVISION Nº:	Unidad: mm	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	Nº de registro: HOJA: 28 de 28
FECHA:	ESCALA: 1:2		
FECHA: 12/07/23			
FORMATO: DIN A3			

PLIEGO DE CONDICIONES

Realidad virtual e impresión 3D aplicada al diseño y construcción de mobiliario



Pliego de condiciones

1. Objeto y alcance

Pliego de condiciones para el diseño de un producto utilizando la tecnología de realidad virtual y su posterior fabricación utilizando la impresión 3D.

Este documento corresponde al Trabajo de Fin de Master (TFM) del Master Universitario en Ingeniería del Diseño de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Diseño (ETSID) en la Universitat Politècnica de València (UPV).

El proyecto pretende mostrar las sinergias existentes entre las tecnologías de la impresión 3D y la realidad virtual que, aunque existen desde hace varias décadas, han crecido y mejorado notablemente en los últimos años y pueden ser muy buenas aliadas en el diseño de productos, reduciendo los plazos y los costes considerablemente.

2. Marco normativo

En lo que respecta al marco normativo, hasta la fecha de realización de este TFM no existe una normativa internacional aplicada a las sillas de interior, las normativas existentes varían según países y regiones y difieren según los tipos de sillas y sus usos previstos.

En general, las sillas de interior en España están sujetas a normativas relativas a la seguridad, materiales, diseño y etiquetado, entre otras características. Las principales normas a contemplar en estos aspectos son:

UNE-EN 12520:2007+A1:2010

Muebles. Sillas y mesas. Requisitos de seguridad, resistencia y estabilidad.

UNE-EN 1728:2013

Muebles. Asientos. Determinación de la resistencia y durabilidad.

UNE-EN 1022:2018

Muebles. Asientos. Métodos de ensayo para la determinación de la estabilidad.

UNE-EN 15373:2018

Muebles. Resistencia, durabilidad y seguridad. Requisitos para sillas de uso no doméstico.

3. Requerimientos técnicos

En este apartado se expondrán todos los materiales y herramientas utilizados en la impresión 3D y el postprocesado de las piezas, así como su ensamblado que se han realizado en este TFM.

Se ha pretendido minimizar el consumo de materiales y energía durante todo el proyecto, además de la utilización de materiales biodegradables, o al menos reciclables.

3.1. Materiales de uso en el taller

En este apartado se muestran los materiales utilizados durante el trabajo en taller para la fabricación y ensamblado del prototipo de la silla. Aquí se indica que materiales son consumibles y se deberán reponer al acabarse.

En el caso de los materiales para la impresión 3D, se han importado desde la República Checa, ya que no se encontraban con el color y características deseadas en España. Si en posteriores fabricaciones del prototipo se encontrara un material similar en España probablemente se puede encontrar con mejor precio, o al menos mejor plazo de envío.

MATERIAL	CANT.	UNIDAD DE MEDIDA	APLICACIÓN	CONSUMIBLE
Cianocrilato	2	ud	Posibles reparaciones en la impresión	Si
Cinta americana	2	M	Fijación de las piezas durante el ensamblado	Si
Papel de lija de grano grueso	5	Ud	Eliminación de imperfecciones	Si

			después de la impresión 3D	
Papel de lija de grano fino	5	Ud	Eliminación de imperfecciones después de la impresión 3D	Si
Guantes de seguridad para alta temperatura	2	Ud	Manipulación de la impresora 3D	No
Nozzles de impresora 3D de 1mm (Creality)	5	Ud	Impresión 3D	Si
Desatascadores de nozzle para impresora 3D	5	Ud	Eliminación de material atascado en los nozzles al finalizar la impresión	Si
Tubo de PTFE (Teflón) Capricorn	3	M	Guía para el filamento en extrusores tipo Bowden	Si
Filamento 3D de 1.75mm	15	Kg	Impresión 3D	Si
Tornillos avellanados de M8x50mm	20/2	Ud	Unión desmontable de piezas	Si
Varillas roscadas de 50cm	3	Ud	Refuerzo para el asiento	Si
Broca 7mm	1	Ud	Taladro	Si

Tabla 6. Listado de materiales de taller.

3.2. Herramientas de uso en el taller

En este punto se especifican las herramientas utilizadas en la fabricación del prototipo. En la tabla se especifica si el tipo de funcionamiento es manual o eléctrico.

HERRAMIENTA	CANT.	APLICACIÓN	FUNCIONAMIENTO
Pinzas para impresión 3D	1	Desatascado de nozzle y manipulación del filamento	Manual
Pinzas comunes	1	Manipulación del filamento	Manual
Alicates	1	Eliminación de soportes y sujeción	Manual

Alicates de corte	1	Eliminación de soportes	Manual
Alicates de corte de filamento	1	Corte de filamento	Manual
Cortadora de tubos de PTFE	1	Corte correcto de tubos de teflón	Manual
Taladro	1	Repaso de agujeros y eliminación de soportes	Eléctrico
Impresora 3D (Volumen de 300x300x400mm)	1	Impresión 3D	Eléctrico
Cúter	1	Corte de partes y eliminación de soportes	Manual
Tijeras	1	Corte de partes y eliminación de soportes	Manual
Llaves Allen (medidas varias)	1	Inserción de los tornillos avellanados	Manual
Llave fija 6mm o llave para nozzles	1	Desmontado y montado de nozzles	Manual
Llave fija 10mm	1	Desmontado de tubos de PTFE	Manual
Destornillador plano	1	Eliminación de soportes	Manual
Destornillador Phillips	1	Manipulación de la impresora	Manual
Espátula	1	Separación de piezas de la cama de impresión 3D	Manual

Tabla 7. Listado de herramientas de taller.

PRESUPUESTO

Realidad virtual e impresión 3D aplicada al diseño y construcción de mobiliario

2

3

5

8

13

21

34

55

89

144

233

377

610

987

Presupuesto

En este apartado se realiza el cálculo aproximado del coste de fabricación de la silla diseñada. Para esto se tienen en cuenta los materiales, las herramientas, la mano de obra, el proceso, los acabados y el montaje.

A través de este punto se adquirirán los conocimientos necesarios para comprender la viabilidad económica del proyecto.

Se cuenta con una tira inicial de 100 unidades, ya que es un producto bajo demanda y tampoco se conoce la acogida que puede tener en el mercado.

1. Procesos de fabricación y maquinaria

La impresora 3D que se tiene en cuenta para este proyecto es una impresora doméstica, pero con algunas mejoras puede utilizarse en industria sin mayor problema, aunque tiene la limitación de un volumen de impresión no demasiado elevado, si bien no es pequeño, tampoco podemos incluirla entre las impresoras de gran formato.

Se estima que en una empresa dedicada a este proceso de fabricación se pueden encontrar unas 10 impresoras iguales trabajando a la vez.

La impresora utilizada es la CR-10 V2 de Creality, la cual se puede encontrar a un precio de unos 400€.

- **COSTE IMPRESORAS = $10 \cdot 400\text{€} = 4000\text{€}$**

Este coste se trataría de un coste solo para la primera tirada, ya que cada impresora puede tener un ciclo de vida muy largo si se le van cambiando las pequeñas partes que se pueden ir dañando.

- El tiempo aproximado de fabricación de la silla completa son 244h, 10 días completos.
- Se tiene en cuenta un consumo de 0.15€ el kW/h.
- El consumo medio de la impresora son 0.5kW por hora.

Con esto, se obtiene un precio de 0.075€ por hora de funcionamiento de una máquina.

- **PRECIO ELECTRICIDAD POR SILLA** = $0.075\text{€} \cdot 100 \text{ horas por silla} = 7.5\text{€}$
- **PRECIO ELECTRICIDAD PARA 100 SILLAS** = $7.5\text{€} \cdot 100 = 750\text{€}$

Por tanto, el precio total de la electricidad serán **750€**.

- **COSTE TOTAL PROCESO FABRICACIÓN Y MAQUINARIA** = $4000\text{€} + 750\text{€} = 4750\text{€}$

2. Materiales

El material de impresión (PLA) se ha adquirido, en este caso y para un particular, a 12€ por kg, pero para una empresa podría ser mucho menor.

Se utilizan alrededor de 12kg por silla.

- $12\text{€} \cdot 12\text{kg} = 144\text{€}$

El precio de los tornillos utilizados (M8x50mm) es de 0.50€ por unidad.

Se utilizan 17 tornillos por silla.

- $0.50\text{€} \cdot 17 = 8.50\text{€}$

- **Precio de materiales unitario** = $144\text{€} + 8.50\text{€} = 152.50\text{€}$
- **Coste materiales total tirada 100 unidades** = $152.50\text{€} \cdot 100 = 15250\text{€}$

3. Mano de obra

En la fabricación de las piezas será necesario un oficial de 2ª, que supone un coste de 8€/h.

Para el cálculo del coste de la mano de obra, se calcula:

- $100\text{h} \cdot (100 \text{ unidades de la tirada} / 10 \text{ impresoras simultaneas}) = 1000\text{h}$
- $1000\text{h} \cdot 8\text{€/h} = 8000\text{€}$

A este coste, se debe sumar el tiempo de postprocesado y ensamblado, el cual puede ser realizado por el mismo u otro operario durante el tiempo de fabricación.

Se calculan 1h de postprocesado y ensamblado por silla, ya que se cuenta con el mismo operario para realizar esta tarea durante los tiempos de impresión.

- $1h \cdot 100 \text{ sillas} = 100h$
- $100h \cdot 8€ = 800€$

Con estos datos, se calcula el coste total del operario:

- $\text{COSTE TOTAL OPERARIO} = 8000€ + 800€ = 8800€$

Por tanto, el coste total del operario será de **8800€**.

4. Coste total

El coste total se obtiene de la suma de todos los costes calculados con anterioridad, correspondientes al funcionamiento de la maquinaria, los materiales y la mano de obra. En todos los costes mencionados el IVA (21%) se encuentra incluido.

CONCEPTO	COSTE (€)
Funcionamiento maquinaria	4750
Materiales	15250
Mano de obra	8800
COSTE TOTAL TIRADA (100 unidades)	28800€

Tabla 8. Sumatorio de costes.

Por tanto, el coste total de la tirada será de 28800€.

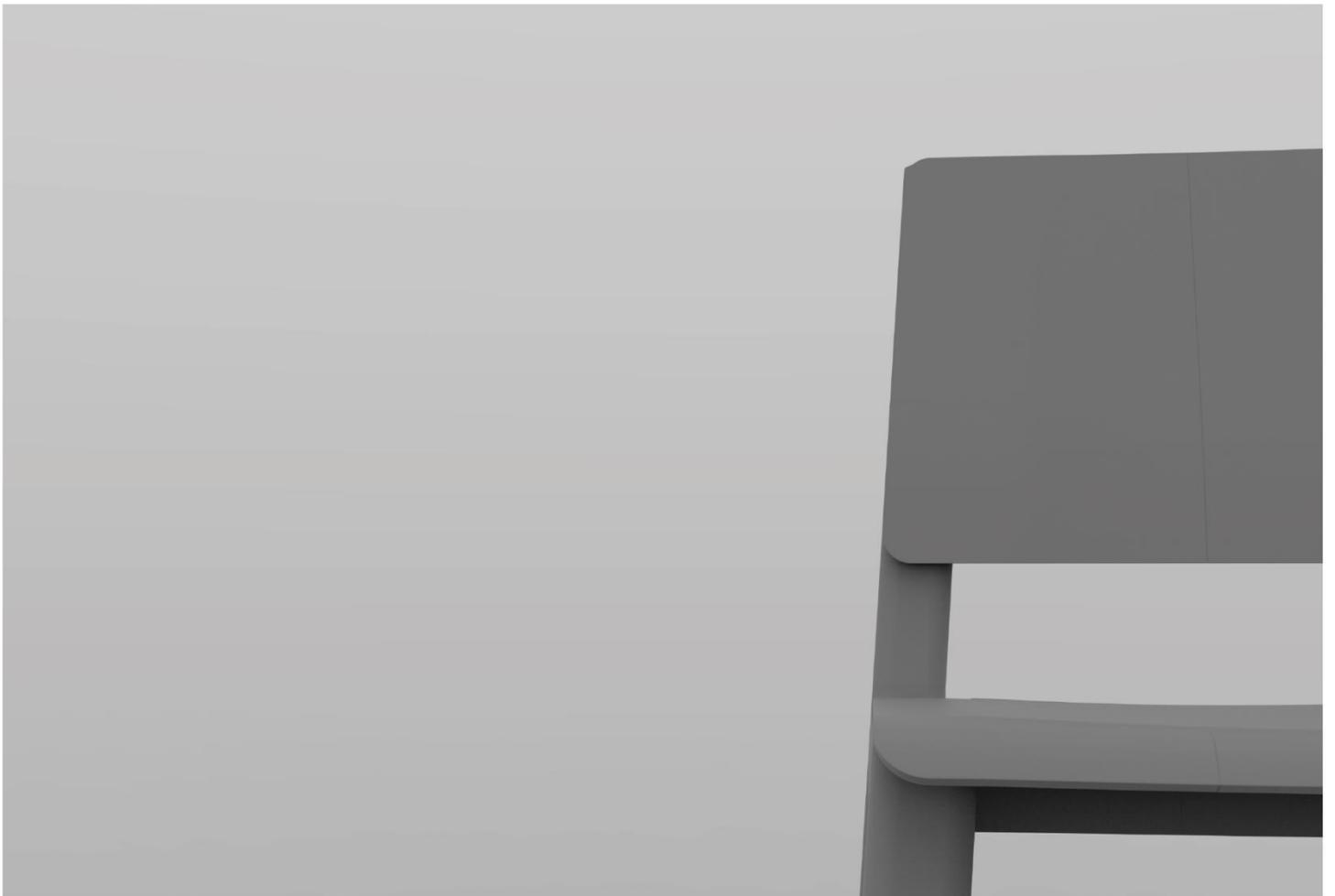
Conociendo que la tirada es de 100 unidades:

Precio por unidad = $28800\text{€} / 100 = 288\text{€}$ por unidad

Pese tratarse de un producto en el que se pretende un aspecto y acabados de calidad, el coste es moderadamente elevado. Esto es debido a que la fabricación se realiza íntegramente utilizando impresoras domésticas, las cuales hacen obligatorio la división de la silla en más partes de las deseables. No cabe duda que en un caso ideal en el que se dispusiera de impresoras de mayor tamaño en las que se pudiera fabricar el producto sin divisiones este coste se reduciría muy considerablemente.

CONCLUSIONES

Realidad virtual e impresión 3D aplicada al diseño y construcción de mobiliario



10. Conclusiones

Como se había descrito anteriormente, el principal objetivo de este TFM es explorar la aplicación de las tecnologías de la realidad virtual y la impresión 3D en el diseño y posterior producción de mobiliario.

Como conclusiones, se puede extraer que la VR mejora la percepción del diseñador al comprobar los modelos 3D que se han realizado previamente, ya que con esto se pueden observar a escala real los modelos y así verificar que las medidas reales son las correctas y que las proporciones percibidas por el público general serán las adecuadas. Además, al tratarse de una experiencia inmersiva, permite una interacción con el diseño muy cercana a la que se podría tener en la realidad, pudiendo elegir entre, por ejemplo, posibles colores y texturas mientras se observa el producto.

En el caso de la impresión 3D, se observa la rapidez para generar prototipos de diversos materiales sin necesidad de tener pérdidas de tiempo elevadas en la creación de prototipos en taller. Además, se puede utilizar como un sistema de fabricación si se dispone de cierta cantidad de máquinas trabajando simultáneamente.

Para reducir los costes de fabricación, lo más adecuado sería conseguir impresoras del tamaño de la pieza a fabricar o cercanas a este, ya que así se consigue el menor número de divisiones en los productos, disminuyendo el consumo de material y energía y maximizando la resistencia del objeto fabricado. Si además de esto se aumenta el número de impresoras es posible reducir el coste considerablemente.

Durante el proceso de la impresión 3D se han encontrado varias complicaciones técnicas debido al uso intensivo de la máquina. Entre las principales se encuentra el desajuste de la cama al finalizar las impresiones y, al no disponer de una cama autonivelable, se debe calibrar antes de iniciar una nueva impresión, con su correspondiente pérdida de tiempo. Otro problema surgido durante la impresión ha sido el atasco de nozzles y tubos de teflón, en el caso de los primeros es algo que suele ocurrir y no incurre en mayor problema, ya que existen desatascadores para este tipo de boquillas o en cualquier caso se pueden reemplazar, pero en el caso de los tubos de PTFE generan más problemas, ya que esto hace que el filamento se enrede en el extrusor y en otras partes, por lo que en nuestro caso se ha decidido reemplazar estos tubos por unos de mayor calidad (los de la marca *Capricorn*) y con esto se redujo considerablemente el problema. El problema de los tubos atascados se podría minimizar con impresoras con extrusión directa en vez del tipo *Bowden*, por lo que se tratará de

hacer un cambio a este tipo de extrusión para los siguientes prototipos fabricados.

En resumen, estas dos tecnologías aún tienen un margen de mejora muy elevado, pero ya se encuentran entre dos alternativas enormemente innovadoras y eficientes a los procesos de diseño y fabricación que se vienen utilizando en el sector del diseño de mobiliario, entre otros.

11.Referencias

Fleury, S., Nollet, A., Chaniaud, N., Poussard, B., Blanchard, P., Richir, S. (2022). *Virtual Reality as a tool for furniture design* [2022 International Conference on Cyberworlds, Kanazawa (Japan)].

Hernández Borges, C. (s.f). La visión estereoscópica o estereopsis. MARTINEZ DE CARNEROS. <https://www.martinezdecarneros.com/la- vision-estereoscopica-o- estereopsis/#~:text=La%20estereopsis%20es%20la%20capacidad,un a%20%C3%BAnica%20imagen%20total%20tridimensional.>

Klarariosp. (2 de febrero de 2019). Fotografía estereoscópica. *Historia de la Fotografía*. <https://historiadefoto.home.blog/2019/02/02/fotografia-estereoscopica/>

Nicolau, A., Pop, M.A., Cosereanu, C. (2022). *3D Printing Application in Wood Furniture Components Assembling*. [Materials 2022]. <https://doi.org/10.3390/ma15082907>

Viciosa, M. (24 de febrero de 2019). Así nació la realidad virtual... en 1968. *EL INDEPENDIENTE*. <https://www.elindependiente.com/futuro/2019/02/24/asi-nacio-la-realidad-virtual-en-1968/>

Yang, S., Du, P. (2022). *The Application of 3D Printing Technology in Furniture Design*. [Scientific Programming, vol. 2022]. <https://doi.org/10.1155/2022/1960038>

12. Fuentes bibliográficas

4Experience. (s.f.). Enhancing Digital Twins through VR and AR Technology. Recuperado el 20 de junio de 2023 de <https://4experience.co/digital-twin-in-ar-v>

Burdea, G. C., & Coiffet, P. (2003). *Virtual Reality Technology*. John Wiley & Sons.

Criterios de diseño y ergonomía. (s.f). *el Recetario*. <https://el-recetario.net/principios-de-diseno-y-ergonomia/>

DESIGN FOR ADDITIVE MANUFACTURING: SIMULACIÓN POR MÉTODOS DE ELEMENTOS FINITOS. (1 de marzo de 2019). *INGENIUS*. <https://eddm.es/blog-ingenius/design-for-additive-manufacturing-simulacion-por-metodos-de-elementos-finitos/>

Feduchi, L. (1975). *Historia del Mueble*. Blume.

Fiell, C., Fiell, P. (1997). *1000 Chairs*. TASCHEN

Fuchs, P., Moreau, G. (2011). *Virtual Reality: Concepts and Technologies*. CRC Press.

History Of Virtual Reality. (s. f.). Virtual Reality Society. Recuperado 7 de septiembre de 2022. <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.htm>

Jixia, L. (2016). *Interior design method based on virtual reality technology*. [2016 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City]. <http://dx.doi:10.1109/ICITBS.2016.125>

Kelly, J. F., Hood-Daniel, P. (2011). *3D Printing: Build Your Own 3D Printer and Print Your Own 3D Objects*. Apress.

Marchante, A. (21 de enero de 2023). ¿Qué es la fabricación aditiva?. *3Dnatives*. <https://www.3dnatives.com/es/fundamentos-fabricacion-aditiva/>

Ramos Nava. M., Larios Delgado, J., Cervantes Cabrera, D. & Leriche Vázquez, R. (2007). Creación de ambientes virtuales inmersivos con software libre. *Revista Digital Universitaria*. <https://www.revista.unam.mx/vol.8/num6/art47/art47.htm>

Rodgers, P., Milton, A. (2011). *Diseño de producto*. Promopress.

Sáiz Mauleón, B., Ivorra Martínez, E., Verdejo Gimeno, P., Cisneros Vivó, J. (2020). Diseño y análisis de productos y espacios con técnicas de prototipado virtual interactivo. [VI Congreso nacional de innovación educativa y docencia en red]. Universitat Politècnica de València.

Suesada, H., Miyamoto, K., Shibusawa, T., Aoki, K., Inayama, M. (2019). *Reinforcing effect of hardwoods on the moment resistance performance of traditional Japanese “nuki”-column joints* [Journal of Wood Science, Tokyo (Japan)].

<https://doi.org/10.1186/s10086-019-1844-y>

Sutherland, I. (1965). *The Ultimate Display*. Proceedings of IFIPS Congress 65(2), pp. 506-508. http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/Show& id=caadria2010_039/paper/c58e

Twitter. (s.f.). The Joinery. Recuperado el 5 de mayo de 2023 de https://twitter.com/TheJoinery_jp