

Silla comci

Lucía Rodríguez Díez



Trabajo Fin de Grado en
Ingeniería en Diseño Industrial
y Desarrollo de Producto
Universidad de Valladolid
Curso 2023-24



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto

Diseño, desarrollo y prototipado de mobiliario sostenible mediante impresión 3D FGF

Autora:

Rodríguez Díez, Lucía

Tutor(es):

**Mansilla Gallo, Alberto
CMeIN, EGI, IM, IPF**

Valladolid, julio 2024.

Resumen y palabras clave

En este trabajo de fin de grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto se ha trabajado sobre la impresión 3D en FGF a gran escala. Este proceso de producción destaca por su integración en la economía circular, porque los materiales empleados son reciclados y/o reciclables tras el fin de la vida útil del producto, respetando los objetivos de desarrollo sostenible. Aquí, se lleva a cabo el diseño y construcción de varios objetos; destacando la concepción, modelado y fabricación de una silla dirigida a adultos. Asimismo, se estudió su resistencia y viabilidad de cara a su introducción en el mercado.

Palabras clave: Fabricación aditiva, economía circular, diseño, mobiliario, impresión FGF

Abstract and keywords

In this thesis for a Bachelor's degree in Industrial Design Engineering and Product Development, the topic that has been worked on is FGF, large scale 3D printing. This manufacturing process is highlighted by its complete integration in the idea of circular economy, due to the fact that the materials used are recycled, and/or can also be recycled after the end of a product's lifespan, therefore respecting the sustainable development goals. Here, the design and production of various products are developed, being the prominent one the original idea of a chair for adults. Moreover, the viability so as to introduce the design in the market has been studied.

Keywords: Additive fabrication, circular economy, design, furniture, FGF printing.

Índice de Contenido

1. Introducción y Objetivos.....	11
2. Impresión 3D en FGF	15
3. Diseños para la familiarización con la tecnología FGF	31
3.1. Concepción de una Urna Funeraria para el Ayuntamiento de Valladolid	31
3.1.1. Objetivos	31
3.1.2. Breve Estudio de Mercado	31
3.1.3. Bocetos e ideas previas.....	31
3.1.4. Idea Final	34
3.2. Concepción de Jardineras Urbanas para el Ayuntamiento de Valladolid	35
3.2.1. Objetivos	35
3.2.2. Breve Estudio de Mercado	35
3.2.3. Bocetos	36
3.2.4. Ideas Finales	36
3.2.5. Renders del Producto Final	39
4. Diseño de un asiento dirigido a adultos	41
4.1. Legislación y Normativa	41
4.2. Ergonomía	41
4.3. Bocetos y Conceptos Iniciales.....	45
4.4. Material	45
4.5. Desarrollo e Idea Final.....	46
4.6. Mejoras tras Impresión	56
4.7. Mesa a Conjunto con la Silla 1 y Reposapiés para Silla Alta	60
4.8. Fotografías y Renders	62
4.9. Propiedad Industrial	65
5. Conclusiones e Ideas Futuras	71
Bibliografía.....	73
Agradecimientos.....	76

Índice de Figuras

Figura I.....	12
Figura II.....	13
Figura III.....	14
Figura IV.	15
Figura V.	16
Figura VI.	17
Figura VII.	17
Figura VIII.	18
Figura IX.....	19
Figura X.....	19
Figura XI.....	20
Figura XII.....	20
Figura XIII.....	21
Figura XIV.	21
Figura XV.	22
Figura XVI.	22
Figura XVII.	23
Figura XVIII.	23
Figura XIX.	24
Figura XX.	24
Figura XXI.	25
Figura XXII.	25
Figura XXIII.	26
Figura XXIV.	27
Figura XXV.	27
Figura XXVI.	28
Figura XXVII.	28
Figura XXVIII.	29
Figura XXIX.	29
Figura XXX.	30
Figura XXXI.	31
Figura XXXII.	31
Figura XXXIII.	32
Figura XXXIV.	33
Figura XXXV.	33
Figura XXXVI.	34
Figura XXXVII.	35
Figura XXXVIII.	36
Figura XXXIX.	36
Figura XL.....	37
Figura XLI.....	37
Figura XLII.....	38
Figura XLIII.....	38

Figura XLIV.	39
Figura XLV.	39
Figura XLVI.	40
Figura XLVII.	42
Figura XLVIII.	43
Figura XLIX.....	45
Figura L.....	47
Figura LI.....	48
Figura LII.....	48
Figura LIII.....	50
Figura LIV.....	51
Figura LV.....	51
Figura LVI.....	52
Figura LVII.....	52
Figura LVIII.....	53
Figura LIX.....	54
Figura LX.....	54
Figura LXI.....	55
Figura LXII.....	56
Figura LXIII.....	57
Figura LXIV.	58
Figura LXV.	58
Figura LXVI.	59
Figura LXVII.	60
Figura LXVIII.	61
Figura LXIX.....	62
Figura LXX.....	62
Figura LXXI.....	63
Figura LXXII.....	64
Figura LXXIII.	65
Figura LXXIV.	66
Figura LXXV.	66
Figura LXXVI.	67
Figura LXXVII.	67
Figura LXXVIII.	68
Figura LXXIX.	68
Figura LXXX.	69
Figura LXXXI.	69
Figura LXXXII.	70

Índice de Tablas

1. Medidas antropométricas de población conjunta (Hombres y mujeres).
(Carmona Benjumea, A. 2001). Página 44.

1. Introducción y Objetivos

La industria 4.0, “Fábrica Inteligente” o “Internet industrial” son términos referidos a la manera inédita de estructurar la cadena de producción que ha sido posible gracias a las tecnologías de la información (del Val Román, J. L. 2016); las cuales son herramientas y sistemas utilizados con el fin de recopilar, guardar, procesar y transmitir datos para facilitar la comunicación y su gestión (Belloch, C. 2012).

La fabricación aditiva (FA) es un proceso clave en esta industria 4.0, que consiste en crear un producto físico gracias a superponer capas de material partiendo de un modelo digital. La otra cara de la moneda sería la fabricación sustractiva, que se basa en retirar material de un bloque para generar la geometría necesaria (Zahera, M. 2012).

Para conocer cómo se inició este método de fabricación aditiva, es importante reconocer la introducción de mapas topográficos de terrenos hechos a capas, simulando una superficie tridimensional. Esto está relacionado con el lanzamiento de la patente de su fabricación en 1892 por Joseph E. Blather (López B., O. E. 2022).

También cabe destacar que François Willème, en 1860, saca fotos de un objeto mediante 24 cámaras instaladas en un domo de vidrio. Utilizando las fotografías parciales, podía reconstruir el objeto físicamente en arcilla con una alta precisión. Así comienza la foto escultura. (Ramis, M. 2013). Por otro lado, a principios del siglo XX, Carlo Baese es capaz de patentar un método para construir un modelo físico mediante fotografías y luz expuesta gradualmente a una gelatina fotosensible, empezando de este modo la fabricación capa por capa de la foto escultura.

Sin embargo, la fabricación aditiva más popularizada hoy en día como impresión 3D, comienza en los años 80; fecha en la que Chuck Hull, fundador de la empresa 3D Systems, lleva a cabo la estereolitografía. La patente de esta tecnología se le concede por primera vez el 11 de marzo de 1986 (Arturo, E., & Katiana, B. 2023). La estereolitografía es un tipo específico de FA con el que se puede crear prototipos y piezas rápidamente por la superposición de capas de resina epoxi, un polímero termoestable, que se polimerizan mediante un láser ultravioleta que tiene una baja potencia. (Dynapro 3D 2022).

La FA es una tecnología aplicable a muchísimos campos, tales como la medicina y enfermería con la bioimpresión, que utiliza cultivos de células y sustrato como materia prima o la arquitectura, como realiza la empresa estadounidense Apis Cor Inc, que construyó la vivienda de hormigón más grande impresa en 3D cerca de la ciudad de Boca Chica, en el estado de Tejas (Apis-cor.com. (s/f)).

También es bastante interesante la impresión de alimentos, ya que se puede personalizar la cantidad y el tipo de nutrientes además de otros atributos como la textura para, por ejemplo, atletas de alto nivel, gente con problemas a la hora de masticar o mujeres embarazadas. Esto se basa en procesar la comida a alta temperatura para conformar su estructura a lo deseado. (Tejada-Ortigoza, V. (2022,

agosto 9)). Otra área que está aprovechando las ventajas de la fabricación aditiva es la moda. Los tejidos de la ropa pueden ser creados mediante poliuretano termoplástico (TPU) o la poliamida. (Slow Fashion Next. (2016, agosto 22)).

En este sector destaca Iris Van Herpen, una diseñadora holandesa con sus colecciones como “Ludi Naturae”. Junto con la Universidad Tecnológica de Delft, imprimió su “Foliage Dress” con capas de un grosor de 0,8mm, tardando 260 horas y 60 horas de trabajo manual para obtener el producto acabado. (Contreras, L. (2018, enero 25)).

Figura I.

“Foliage Dress”, pieza diseñada por Iris Van Herpen.



Fuente: Contreras, L. (2018, enero 25)

La FA expande el horizonte de la industria más allá de lo que se podía imaginar hace escaso tiempo, teniendo en cuenta los avances que se van realizando en los últimos años.

Existe una gran variedad de tipos de fabricación aditiva. Basándose en el formato de aporte de materia se clasifican en líquido, polvo y sólido. En la primera, destaca la estereolitografía (SLA) (Trevejo-Bocanegra, A., Fernández, D., & Calderón-Ubaqui, V. (2014)), que se constituye de un tanque lleno de resina fotosensible y una superficie adherente para que la resina cure capa por capa al ser trazada por un láser. Similar es el procesamiento digital de luz (DLP), que en vez de ser las capas curadas con un láser se proyecta una luz, realizando una fotopolimerización (Marchante, A. (2022, octubre 16)). También es parecido el proceso conocido como impresión MultiJet (MJP). Este proceso consta de cabezales de impresión que administran gotas de un fotopolímero que forma la capa de material, la cual se solidificará con luz ultravioleta. (Rossi Garrido, P. (2023)).

Además, están los procesos que parten del polvo para dar forma al producto previamente modelado en CAD. Uno de estos procesos de prototipado rápido es la

fusión selectiva por láser, cuyas siglas son SLM. Se deposita el polvo capa por capa y estas se compactan mediante un rayo láser, siendo una de sus aplicaciones destacadas la odontología utilizando metal en aleaciones (Strietzel, R. (2010)). Además, existe la técnica llamada “Binder Jetting” (BJ) que se basa en colocar un aglutinante adhesivo entre las capas formadas por polvo. Precisa después un postproceso para que puedan usarse. (Systèmes, D. (2021, diciembre 23)).

Por último, están los procesos de fabricación aditiva que emplean materia en estado sólido.

En concreto, en este proyecto se aplicará la impresión 3D FGF, que parte de materia sólida en su proceso. La fabricación granular por fusión (Fused Granular Fabrication, FGF) es una técnica de impresión 3D donde se imprime directamente partiendo de pellets sólidos (ver siguiente figura), que es la materia prima utilizada para crear productos plásticos.

Así, no necesitaríamos convertir los pellets en filamento mediante extrusión, proceso que sí es necesario en otras fabricaciones con filamento fundido (Fused Filament Fabrication, FFF); abaratando el FGF en comparación. (Dativic, 2022).

Figura II.

Pellets de plástico como materia prima en la impresión FGF.



Fuente: O'Neill, B. (2021, noviembre 10)).

Con esta tecnología se puede imprimir con materiales reciclados y/o reciclables, lo que es una ventaja muy importante de cara a fomentar la idea de economía circular.

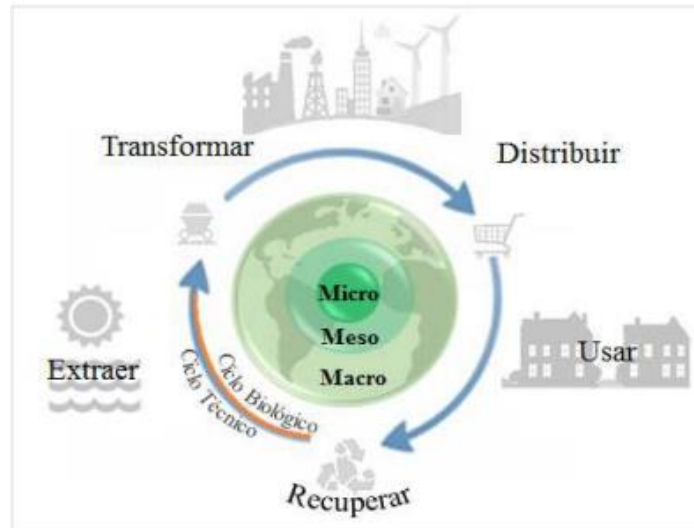
La economía circular, que se está empleando en nuestro día a día en la industria, es un modelo sustitutivo del lineal. Este último basa la producción en una filosofía de “coger, usar y deshacerse”, como si los recursos no se acabasen y siempre estuviesen fácilmente a nuestra disposición; pero esto es insostenible. (Cerdá, E., & Khalilova, A. 2016). En la economía circular se apoya el ecodiseño, que es un estilo de producción de servicios y productos con el foco puesto en reducir el impacto

ambiental en todas sus etapas. (Balboa, C. H., & Somonte, M. D. 2014); fomentando una producción y consumo responsables y un desarrollo sostenible. Este último se puede definir como “satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones del futuro para atender sus propias necesidades” (WCED, (1987)).

El ciclo de economía circular se podría esquematizar como:

Figura III.

El ciclo de economía circular



Fuente: Prieto-Sandoval, V., Jaca-García, C., & Ormazabal-Goenaga, M. 2017.

En este trabajo, la meta principal que se pretende alcanzar es:

- Entender la fabricación aditiva FGF con el fin de diseñar y prototipar una silla útil que se pudiese incluir en el modelo de economía circular, de cara a poder introducirse en el mercado de muebles.

Por otro lado, también se tratará de comprender las posibilidades del programa Rhinoceros para el diseño de producto; además de la concepción y desarrollo de otros diseños como el de una urna funeraria y jardineras urbanas.

2. Impresión 3D en FGF

La impresión por fabricación granular por fusión aplicada a la impresión de gran formato (LFAM) es un proceso de fabricación aditiva que hasta hace relativamente poco no era rentable (Marchante, A. (2021, junio 8)). Sin embargo, la demanda del mercado hizo que se buscara una manera de solucionarlo, por la velocidad de impresión que se podía alcanzar, a pesar de un acabado superficial y tolerancias de una calidad inferior. Así, en el año 2016, la compañía española Discovery 3D Printers sacó la Super Discovery 3D Printer, una impresora FGF de 1'3x2'5x1 metros, precursora en todo el continente. Las etapas de este proceso de impresión se pueden definir como (Mansilla Boyano, P. (2023)):

1. Obtención de la materia prima
2. Mezclado con los aditivos deseados
3. Secado de los gránulos
4. Alimentación del extrusor
5. Procedimiento de extrusión y enfriamiento sucesivo
6. Retirada de la pieza de la cama de impresión

En primer lugar, si se necesita, al material polimérico obtenido en forma de pellets se le puede añadir varios aditivos que aumenten la resistencia a cargas, retardantes de llama, protectores a los efectos de la radiación ultravioleta, colorantes, etc. Después, es importante retirar toda la humedad de los pellets antes de echarlos a la tolva con el fin de que la extrusión, mediante el husillo, sea lo más adecuada posible. En la máquina, por otra parte, se ha calentado el material hasta el punto de fusión para que salga por la boquilla a velocidad constante y luego, se enfriará mediante unos ventiladores y vaya creando así la pieza solicitada. Se debe tener en cuenta que, en la máquina en concreto que se va a utilizar, hay un brazo robótico que guía el extrusor de 6 ejes capaz de imprimir en trayectorias multiplano; lo que da juego a la hora de concebir y diseñar distintas geometrías. Se muestra una fotografía de esta tecnología a continuación:

Figura IV.

Fotografía de la máquina de impresión FGF que se va a utilizar, perteneciente a Newgentechs.



Fuente: elaboración propia.

Asimismo, las dimensiones posibles de impresión son 1'5x1'5x2 (altura) metros; aunque hay diferencias técnicas notables de calidad en las piezas al imprimir más de un metro en el largo o ancho.

2.1. Estudio del Arte

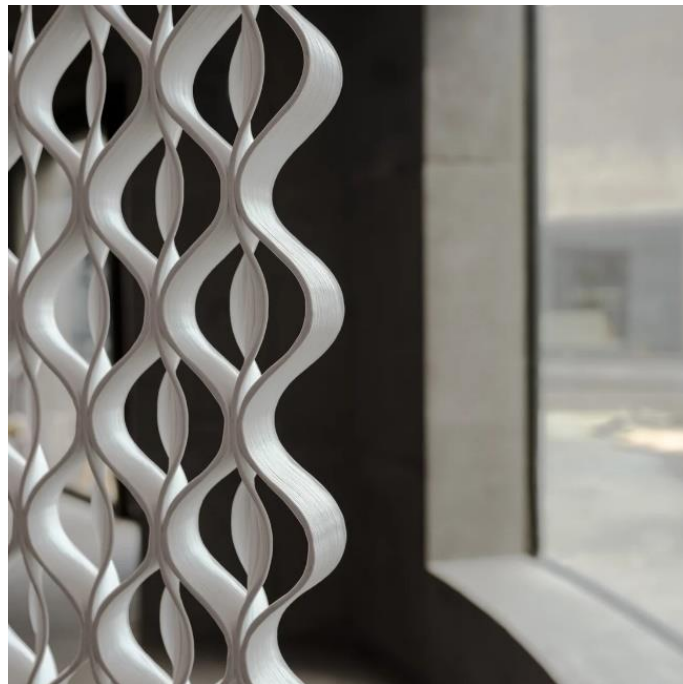
- **Aectual** (Aectual • blog (s/f))

Aectual es un parque tecnológico localizado en Ámsterdam que imprime elementos arquitectónicos con FGF. Por ejemplo, un producto de su catálogo es “Gradient. Curve”, hecho de biopoliamida a base de aceites vegetales y diseñado por “House of DUS”. Este es una pantalla de división con un patrón personalizado a la sombra que quiera el cliente y que no necesita soportes en su fabricación.

Lo crean a demanda, siguiendo una filosofía de 0 stocks, reduciendo costes. Podemos apreciar la capacidad de impresión de curvas en 3 dimensiones de esta tecnología en la siguiente figura.

Figura V.

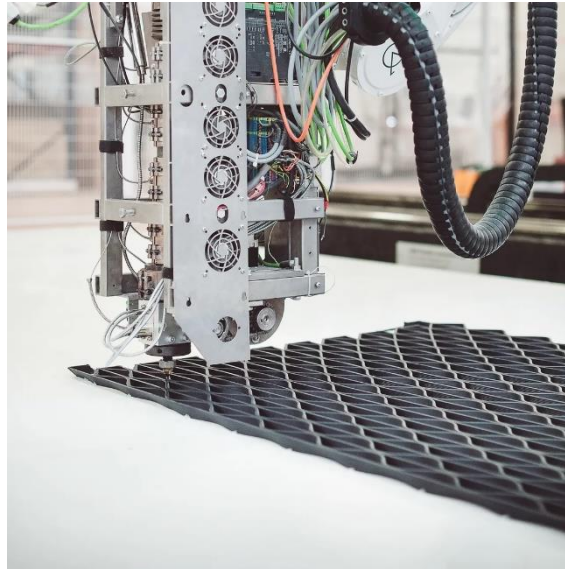
Foto de detalle de “Gradient. Curve”



Fuente: Aectual.

Figura VI.

Proceso de impresión del producto “Gradient. Curve”



Fuente: Aectual.

- **Yuma Labs** (Yuma Labs. (s/f))

Yuma Labs es una empresa de moda belga la cual se caracteriza por diseñar gafas de materiales reciclados; con cabida de forma completa en una economía circular, ya que, también una vez utilizadas, se pueden volver a reciclar, integrándolas en el proceso de fabricación. Se puede observar con este ejemplo que esta tecnología no solo es aplicable a productos de gran escala. En la próxima imagen se ven unas gafas de sol impresas en 3D con el plástico reciclado de los vasos y botellas recogidos en el festival de Tomorrowland de 2019.

Figura VII.

Gafas de la colección de primavera-verano de 2022 de Yuma Labs



Fuente: Yuma Labs-, C. 2022.

- **EOOS** (Madeleine, P. 2021).

EOOS es un estudio de diseño austriaco que destaca por presentar un vehículo motorizado, llamado ZUV (siglas que significan vehículo utilitario de cero emisiones en inglés), impreso en FGF y hecho de 70 kilogramos de residuos de varios supermercados de Viena, dando así una segunda vida a productos que se daban por acabados. De aquí se deduce que, dependiendo del diseño, productos con esta tecnología son capaces de resistir el peso de 2 personas con su equipaje y de integrar partes mecánicas, como es un motor en la parte trasera. Además, si algo se estropea es fácilmente reemplazable, sin tener que tirar todo el producto a la basura.

Figura VIII.

ZUV, proyecto de EOOS



Fuente: Madeleine, P. 2021

- **Sculptur.se** (Sculptur.Se (s/f)).

Esta empresa sueca, fundada en 2019, se dedica a la fabricación aditiva a gran escala mediante robots y destaca por los muebles que provee al mercado. Por ejemplo, han diseñado un stand completo 100% reciclable, empleando el biocompuesto de fibra de madera DuraSense de Stora Enso:

Figura IX.

Stand reciclable con Stora Enso



Fuente: Sculptur.Se (s/f)

- **Nagami** (Nagami. 2018)

Fábrica de muebles en Ávila instaurada en 2016 por Manuel Jiménez García, Miguel Ángel Jiménez García e Ignacio Veguera Ochoa, cuyo objetivo es crear muebles personalizados, mayoritariamente de Ácido poliláctico (PLA) o filamento de polietileno (PETG) reciclados. Varios de sus productos son:

“Robotica TM”. Pese a concebirse como un taburete alto, tiene funcionalidad múltiple, al poder usarse como mesa o estante también. Posee injertos de silicona en la parte superior, dando una resistencia a altas temperaturas.

Figura X.

Robotica TM, producto diseñado por Ross Lovegrove y Nagami.



Fuente: (Nagami. 2018)

La siguiente silla, en colaboración con "Zaha Hadid Architects", es un diseño que destaca por su estética, mostrando el amplio abanico de formas que se pueden crear con FGF.

Pesa 18 kg y está hecha de PLA, por lo que su uso en exteriores no está recomendado. Sin embargo, si estuviese hecha de PETG, a pesar de poder emplearse fuera, su exposición continuada al sol llevaría a la decoloración del producto.

Figura XI.

Rise, de la colección The Brave New World, silla diseñada por Zaha Hadid Architects y Nagami.



Fuente: (Nagami. 2018)

“Nobu”, mostrado en la figura XII, es un diseño de Manuel Jiménez García, cofundador y director de madMdesign, cuyo material es el polímero reciclado PETG y puede personalizarse en varios colores. Pesa 17 kilogramos.

Figura XII.

Nobu, asiento concebido por Manuel Jiménez García



Fuente: (Nagami. 2018)

“Peeler” es un asiento perteneciente a la colección de Nagami “The Brave New World” del arquitecto Daniel Widrig cuyo peso está en 18kg.

Figura XIII.

Peeler, asiento impreso en 3D de Daniel Widrig.



Fuente: (Nagami. 2018)

- **Kooij** (Kooij. (s/f))

Fue fundada en 2009 por Dirk van der Kooij en Eindhoven, Países Bajos. La pregunta que le guió fue: ¿podría el plástico ser un material honesto y duradero? Así, en su investigación, encontró una identidad propia que ahora está presente en su estudio, el uso de materiales no convencionales, aprovechando residuos para fomentar una economía circular. Destacan en sus diseños las luminarias, impresas en 3D con plástico reciclado con retoques de metales para darle el aspecto que tienen (latón, aluminio...), tales como:

Figura XIV.

Helm, luminaria de Kooij



Fuente: Kooij. (s/f).

Figura XV.

Tol, luminaria de Kooij



Fuente: Kooij. (s/f).

Figura XVI.

Fresnel, luminaria de Kooij



Fuente: Kooij. (s/f).

También vende varios asientos:

La siguiente silla diseñada en el año 2012 está incluida, debido a la innovación que presenta, en las colecciones permanentes del Vitra Design Museum y del Museo del Diseño de la capital inglesa.

Figura XVII.

Chubby, asiento de Kooij



Fuente: Kooij. (s/f).

Con un peso de 10 kilogramos, la silla RvR (figura XVIII) está hecha de plástico reciclado y modelada por la extrusión de una forma relativamente simple. Sin embargo, no es apta para el contacto con químicos a la hora de limpieza.

Figura XVIII.

RvR, asiento de Kooij



Fuente: Kooij. (s/f).

Con una versión de mecedora, la siguiente silla se encuentra en 4 museos, incluyendo el Centro Pompidou. Pesa 16 kilogramos y tiene la desventaja que la luz solar directa descoloraría el material y que no se puede limpiar con productos químicos.

Figura XIX.

Endless Chair, asiento de Kooij



Fuente: Kooij. (s/f).

Con la impresión de baja resolución que presenta, el asiento a continuación, de estética minimalista, no malgasta material en su fabricación por impresión 3D.

Figura XX.

Not Only Hollow Chair, asiento de Kooij



Fuente: Kooij. (s/f).

- **Triboo** (Triboo.NI. (s/f))

Esta empresa vende mobiliario realizado con termoplásticos reciclados. Sus diseños presentados a continuación muestran como el robot que imprime es capaz de realizar curvas y geometrías complejas, como son las dos patas de la mesa “Neverending furniture roots” (ver figura XXI), formadas de polipropileno (PP) y tereftalato de polietileno (PET), ambos termoplásticos, reciclados. (Triboo.NI. (s/f))

Figura XXI.

Jardineras impresas en 3D diseñadas por Triboo junto con Nedcam.



Fuente: Triboo.NI. (s/f).

Figura XXII.

Mesa cuyas patas están impresas en 3D, por Triboo.



Fuente: Triboo.NI. (s/f).

- **Model N°** (Model No (s/f))

Esta empresa tiene mobiliario hecho en impresión 3D, cuyo material es una bioresina (totalmente compostable y biodegradable) que utiliza OurCarbon como pigmento. Esto frena las emisiones de gases de efecto invernadero, evita el desperdicio y almacena carbono a largo plazo. Un ejemplo de producto es “Esker Chair”:

Figura XXIII.

Producto Esker Chair



Fuente: Triboo.NI. (s/f).

- **Caracol** (Caracol. (2023, julio 6)).

Caracol es una empresa de fabricación aditiva de gran formato que se dedica a resolver problemas de manufactura de piezas industriales, desde productos para el área aeroespacial, la arquitectura...

Utilizan el programa que desarrollaron ellos, titulado “Eidos Manufacturing”, integrado al hardware robótico “Heron AM” e imprimiendo pellets de polipropileno (PP) con un 30% de fibra de cristal reciclada, acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) junto con un 20% de fibra de carbono o un 30% de fibra de cristal, acrilonitrilo estireno acrilato (ASA) y muchos otros tipos de termoplásticos.

Este amplio rango de materiales permite imprimir piezas muy distintas en cuanto a propiedades mecánicas. Varios ejemplos de aplicaciones que esta compañía ha conseguido, centrados más hacia los objetivos de este proyecto de fin de grado, son:

a) Mobiliario para el exterior:

Figura XXIV.

Ejemplos de mobiliario para ambientes exteriores



Fuente: Caracol. (2023, julio 6)

b) Instalaciones de stands de ferias y eventos

Figura XXV.

Puesto en un stand hecho mediante LFAM



Fuente: Caracol. (2023, julio 6)

c) Decoración de escenarios, eventos, parques temáticos...

Figura XXVI.

Casco decorativo mediante LFAM



Fuente: Caracol. (2023, julio 6)

- **Indus3D** (Indus3D. (2021, julio 5))

Es una entidad similar a las anteriores situada en Vitoria que se centra en la fabricación en serie de piezas 3D con variación de materiales, con la posibilidad de modelos que quepan en un metro cúbico de tamaño. En la siguiente figura se ve un ejemplo de arte y escultura con esta tecnología:

Figura XXVII.

Arte por impresión 3D



Fuente: Indus3D. (2021, julio 5)

También, por otra parte, tienen la capacidad de imprimir prototipos a escala real con gran precisión:

Figura XXVIII.

Fabricación de prototipos por impresión 3D



Fuente: Indus3D. (2021, julio 5)

Por último, mostrar en este apartado este sillón de **Slicelab**, llamado “Sillón Steam” con medidas 83’82 x 78’74 x 91’44 centímetros. Su forma es especialmente curiosa, aprovechando al máximo el rendimiento de esta tecnología de fabricación aditiva.

Tardó 25 horas y se utilizaron 40’82kg de pellets ABS de fibra de carbono. (3D Systems. (2023, abril 28)).

Figura XXIX.

Sillón Steam, fabricado por Slicelab.



Fuente: 3D Systems. (2023, abril 28).

Asimismo, tienen otras piezas de muebles, como la colección de taburete y mesa de café llamada “Ripple effect collection”, hecha de polipropileno (90% de este reciclado de tapones de botella) y fibra de carbono (Slicelab - Design Studio. (s/f)), mostrada a continuación:

Figura XXX.

Ripple effect collection de Slicelab.



Fuente: Slicelab - Design Studio. (s/f)

3. Diseños para la familiarización con la tecnología FGF

3.1. Concepción de una Urna Funeraria para el Ayuntamiento de Valladolid

3.1.1. Objetivos

De cara a este enunciado, se planteó realizar una urna crematoria con un diseño original y llamativo; que se imprimiese sin soportes para no alargar el proceso de producción y gastar el mínimo material posible. Asimismo, con el fin de no sobrepasar un peso adecuado, la pared tendría que ser lo más fina posible aun garantizando una manera de cierre que no disparase el precio y que asegurase que el contenido no saliese de su interior de forma no intencionada.

3.1.2. Breve Estudio de Mercado

La presencia de urnas funerarias se remonta años atrás, encontrando vasijas con forma ovoidal enterradas de la Edad de Bronce en el campo de Norfolk, un condado del Reino Unido (Interfunerarias, 2020). Actualmente, se han mantenido las formas geométricas, con el cierre a encaje en la parte superior, estando la personalización en manos de los acabados; los relieves y dibujos de la urna.

Figura XXXI.

Varias urnas funerarias



Fuente: Love To Treasure. (2024)

3.1.3. Bocetos e Ideas Previas

Figura XXXII.

Bocetos a mano.

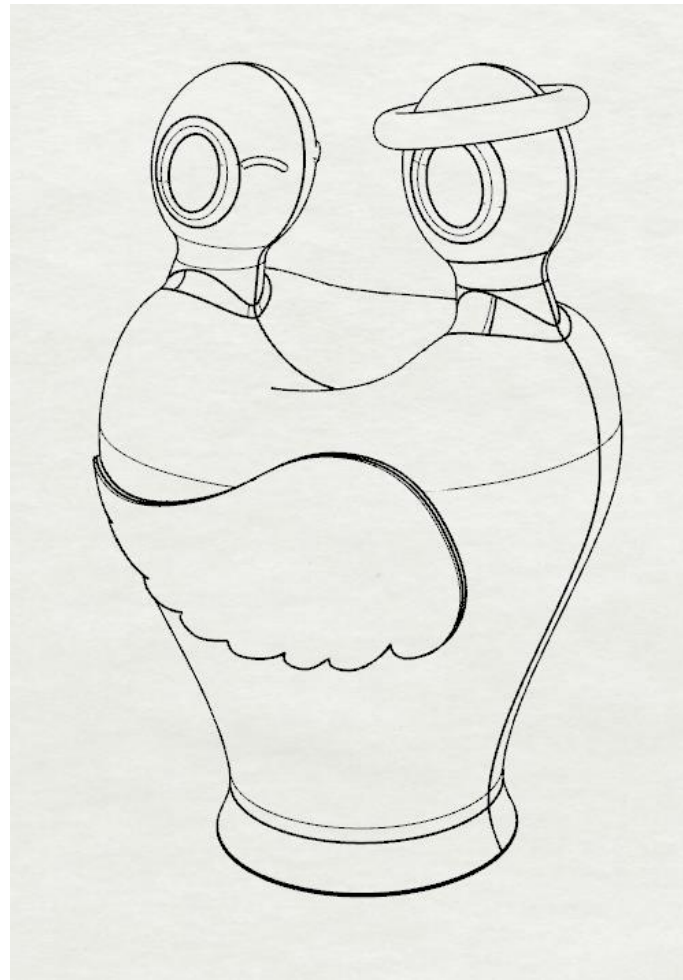


Fuente: Elaboración propia.

Se buscó una forma un poco distinta a la típica ovoidal. Así, este concepto se basaba en el abrazo, una muestra de afecto que todos conocemos y que nos acerca a una persona apreciada; además de dar un sentimiento de bienestar; solo que en este contexto de un ángel. Para realizar el modelado en ordenador de estas ideas, se aprendió a utilizar el software Rhinoceros.

Figura XXXIII.

Vista en perspectiva del primer diseño modelado en Rhinoceros, estilo "Pen".



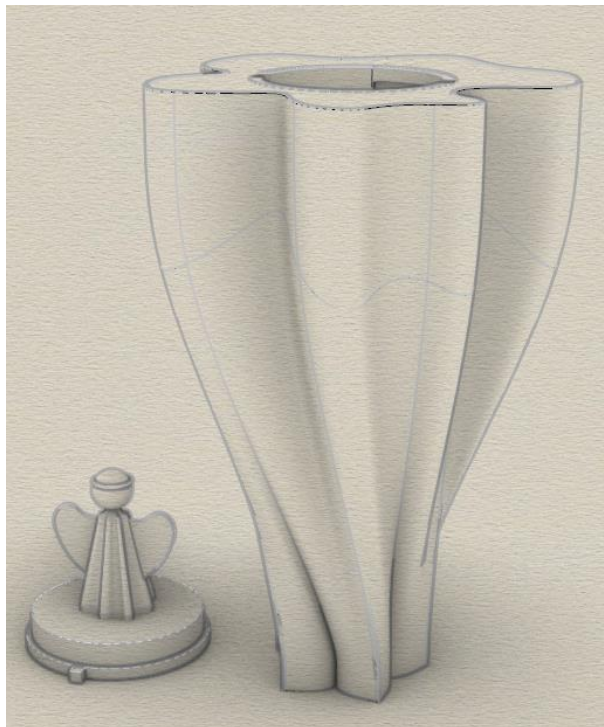
Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, tras ver varios problemas para imprimir los voladizos que contenía y las cabezas de las figuras, se planteó una idea más abstracta sobre el camino de la vida. Así, la base tendría forma de silueta de una flor, y esta crecería en una forma orgánica; asimétrica, que simboliza que la vida de cada persona se desarrolla de manera única. La urna se iría cerrando con un ángulo de 45° para poder prescindir de soportes a la hora de la impresión.

En principio, esta urna se cerraba en la parte superior con una segunda pieza, cuyo diseño permitiría la personalización del usuario. Por ejemplo, la siguiente imagen muestra la figurita de un ángel en la tapa, que además ayudaría al agarre a la hora de abrir y cerrar, pero se podría modelar lo que el usuario deseara.

Figura XXXIV.

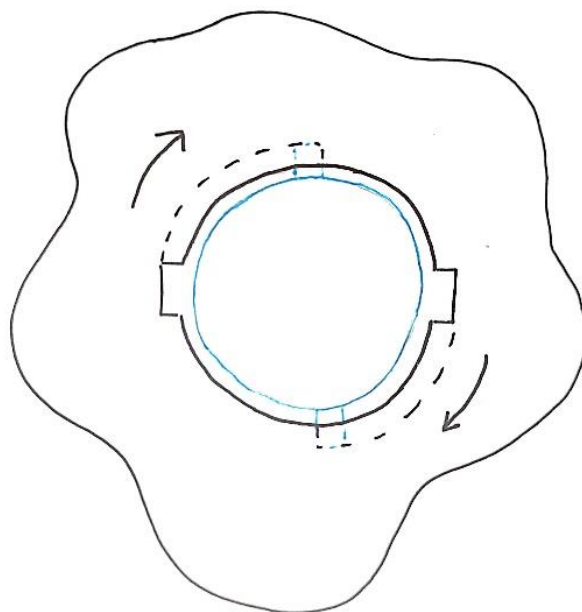
Vista en perspectiva del segundo diseño modelado en Rhinoceros, estilo "Artistic".



Fuente: Elaboración propia.

Figura XXXV.

Esquema dibujado a mano del funcionamiento del sistema de cierre

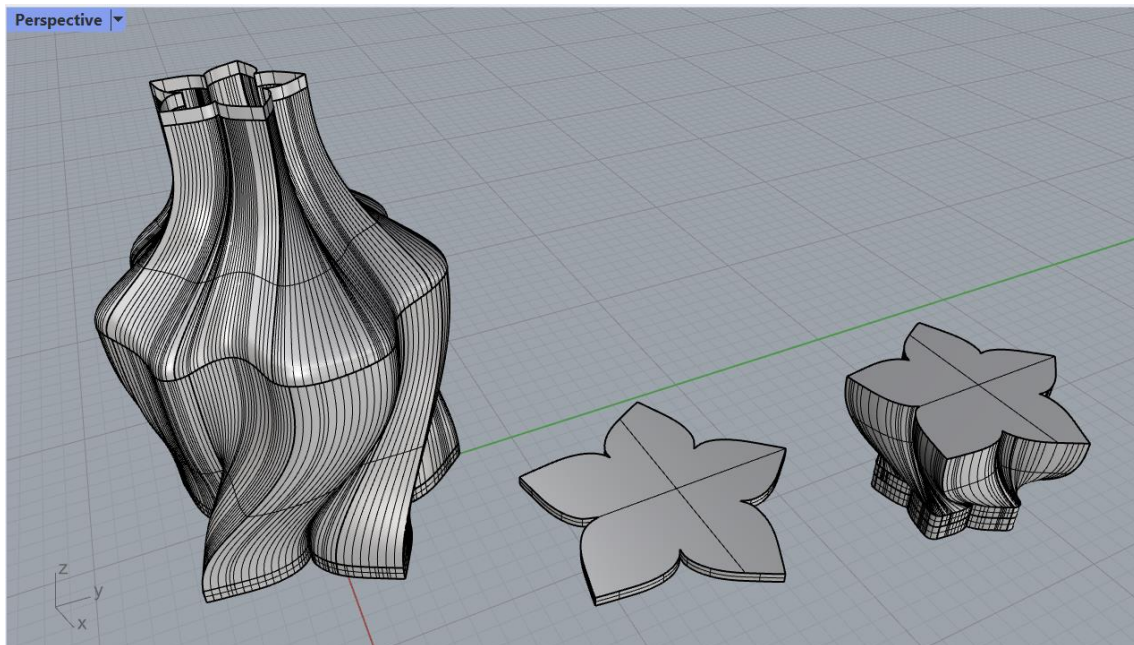


Fuente: Elaboración propia.

Aun así, la manera planteada de cierre necesitaba unas tolerancias menos groseras que las posibilidades de la máquina. Por lo tanto, se siguió jugando con otras ideas. En la siguiente figura se ve una urna dividida en 3 partes para facilitar la impresión. La tapa iría en la parte inferior con tornillos y la parte superior iría pegada al cuerpo principal, sin perder la opción de personalización del producto a gusto del usuario. En la figura XXXV vemos como en vez de un ángel, la tapa se cierra con la forma inicial de flor.

Figura XXXVI.

Vista en perspectiva del tercer planteamiento modelado en Rhinoceros, estilo "Shaded".



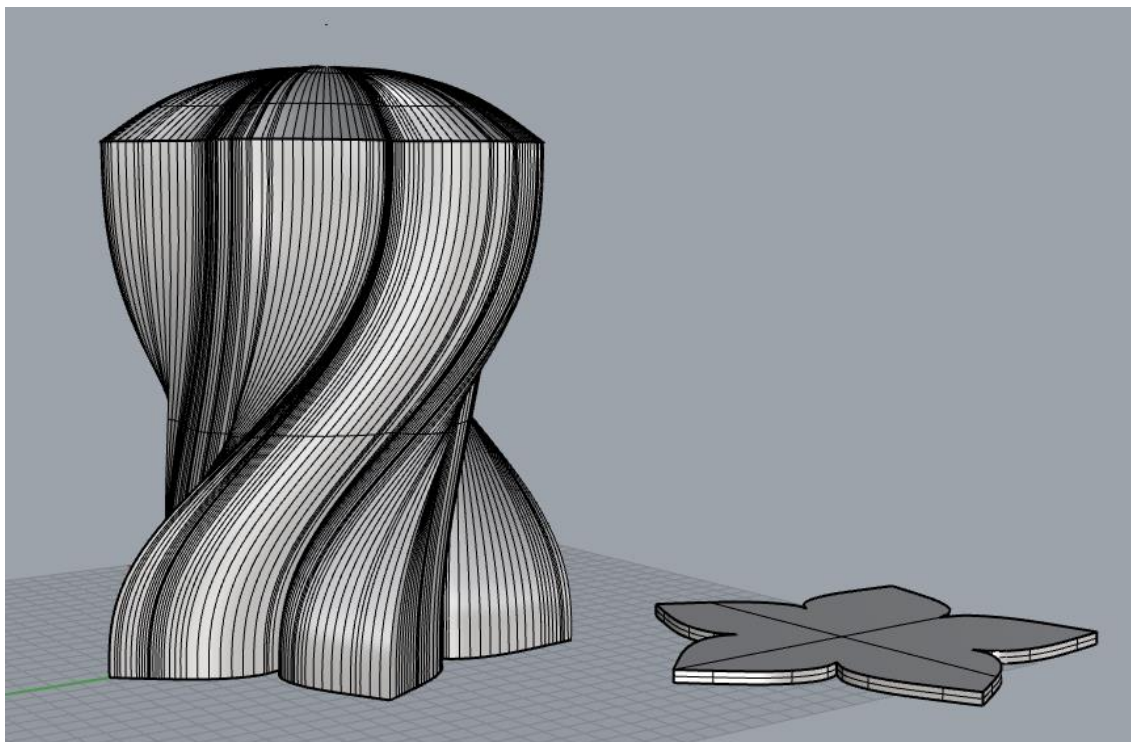
Fuente: Elaboración propia.

3.1.4. Idea Final

La idea al final evolucionó hasta encontrar un planteamiento con solo 2 partes. La tapa iría con tornillos en la zona inferior y el cuerpo principal, de 240 milímetros de altura para conseguir un volumen estándar, se cierra en sí mismo, simbolizando el fin de la vida como etapa inseparable del camino. Además, este modelo se distanciaba de la forma de "botella" a la que recordaba el anterior. Por otro lado, el diseño es escalable para adaptar el volumen interior.

Figura XXXVII.

Vista en perspectiva del planteamiento final modelado en Rhinoceros, estilo "Shaded".



Fuente: Elaboración propia.

3.2. Concepción de Jardineras Urbanas para el Ayuntamiento de Valladolid

3.2.1. Objetivos

Para este proyecto, había que diseñar varias jardineras para el exterior siguiendo unas pautas: un diseño asimétrico, un diseño "girado" y un diseño modular que permitiese poner un grupo de unidades juntas "encajando". Asimismo, se planteó añadir un apoyo isquiático a los diseños.

3.2.2. Breve Estudio de Mercado

Para garantizar la seguridad de los niños y asegurar que, si intentasen escalar este tipo de mobiliario urbano, no sufriesen lesiones accidentales graves, la altura máxima de todas las jardineras será de 90 centímetros, cumpliendo con la normativa vigente.

Además, para evitar tropiezos de la gente, la parte inferior de los diseños no tendrá un diámetro mayor a la superior para que no sobresalga de manera notable.

A continuación, vemos un ejemplo que ya se encuentra por la ciudad, hecho mediante fundición con una forma rectangular y con el símbolo distintivo del escudo oficial de Valladolid:

Figura XXXVIII.

Imagen de jardineras por Valladolid. Imagen de jardineras por Valladolid.



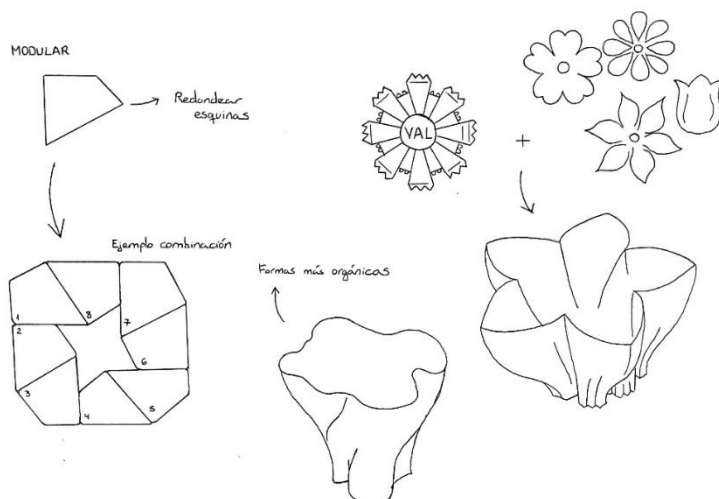
Fuente: Fábregas (2023) Equipamiento y mobiliario urbano ECO Friendly.

3.2.3. Bocetos

Así, mediante bocetado rápido se buscaron diseños innovadores que se pudiesen imprimir con la tecnología FGF disponible:

Figura XXXIX.

Bocetos a mano



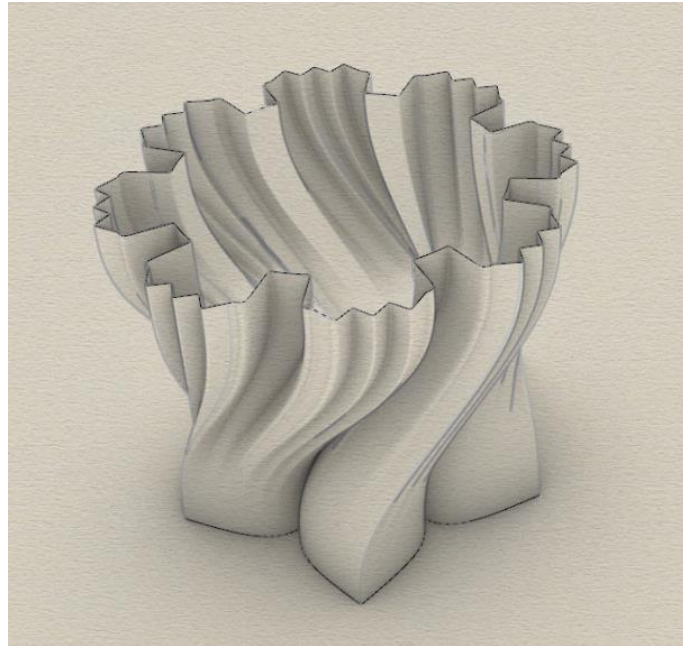
Fuente: Elaboración propia.

3.2.4. Ideas Finales

a) Este diseño se basa en la forma de una flor de 5 pétalos en su base y la silueta del sello de la localidad en un privilegio del Concejo de Valladolid, firmado en 1266 en la parte superior, para que se aprecie (Anta Roca, J. (2022, noviembre 3)). Asimismo, tiene las esquinas ligeramente redondeadas (4 milímetros) por seguridad y con el fin de facilitar su impresión.

Figura XL.

Vista en perspectiva de la jardinera 1 modelada en Rhinoceros, estilo "Artistic".

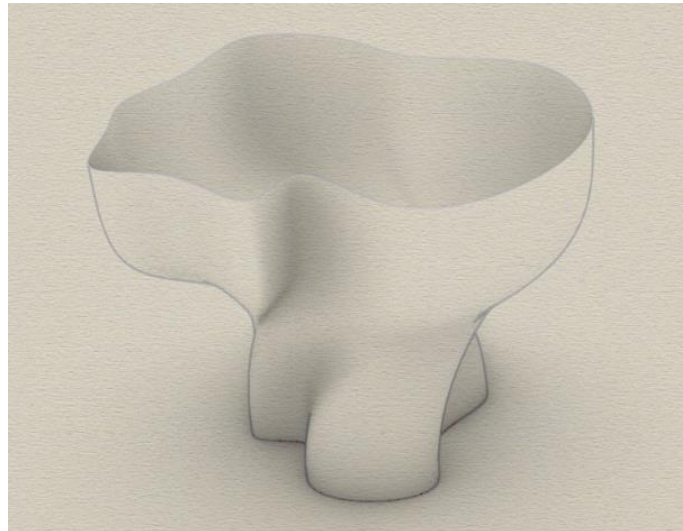


Fuente: Elaboración propia.

b) La jardinera que se aprecia en la figura XL está concebida con un diseño más libre, con formas orgánicas únicas.

Figura XLI.

Vista en perspectiva de la jardinera 2 modelada en Rhinoceros, estilo "Artistic".

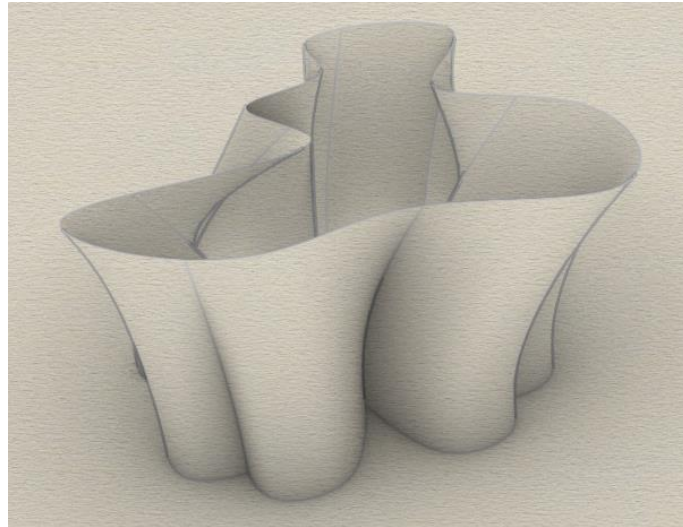


Fuente: Elaboración propia.

c) Este producto posee la forma de un trébol de 4 hojas, simbolizando la suerte en su zona inferior y crece hasta una forma no reconocible, mostrando que cada persona tiene una suerte y un camino distinto.

Figura XLII.

Vista en perspectiva de la jardinera 3 modelada en Rhinoceros, estilo "Artistic".

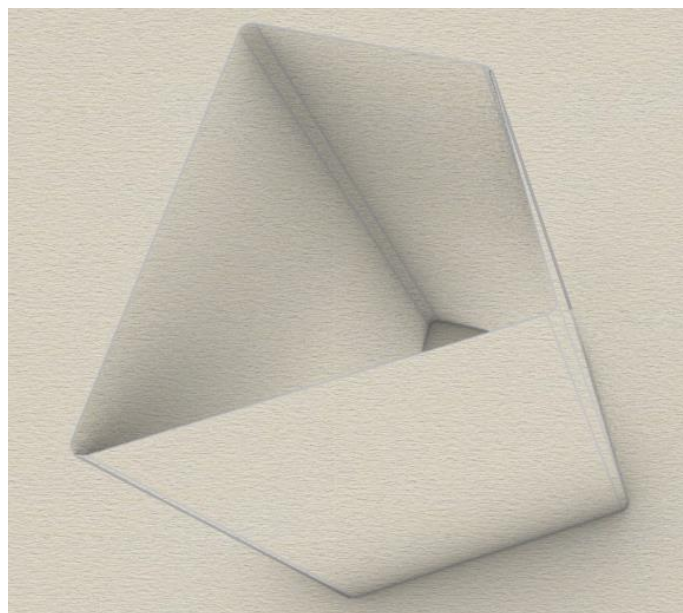


Fuente: Elaboración propia.

d) En última instancia, se planteó una maceta con formas más geometrizadas y simples para conseguir que fuera modular. Aunque se llegó a pensar en realizar en uno de los lados una forma de letra "V", como la inicial de Valladolid, se optó por simplificarlo para que se pudiesen realizar combinaciones más variadas de jardineras.

Figura XLIII.

Vista en perspectiva de la jardinera 4 modelada en Rhinoceros, estilo "Artistic".



Fuente: Elaboración propia.

3.2.5. Renders del Producto Final

Así quedarían, por ejemplo, dos de las jardineras en las calles de la ciudad.

Figura XLIV.

Render de integración en fotografía propia de la jardinera diseñada 1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura XLV.

Render de integración en fotografía tomada de la jardinera diseñada 2.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se ve la primera prueba que hizo el equipo de Newgentechs de una de las jardineras impresa a escala de reducción 1:10. La capa que se observa de distinto color es debido a una limpieza incompleta de la tolva de la máquina cuando se ha cambiado de pellets de material, no es fallo como tal del proceso.

Figura XLVI.

Fotografía de una de las jardineras impresas.



Fuente: Elaboración propia.

3.3. Conclusiones

Tras haber realizado estos ejercicios anteriores de modelaje y fabricación se concluyeron las directrices descritas a continuación para no complicar la elaboración de los productos:

- Realizar los diseños de tal manera que cada capa se imprima en una sola pasada sin que la boquilla tenga que retraerse. Esto hace que solo se use el material que necesita la pieza y que se eviten fallos.
- Redondear aristas vivas.
- Las tolerancias de los diseños tienen que ser groseras. La calidad superficial no es muy alta por lo que si se quieren realizar encajes hay que considerar tolerancias de varios milímetros.
- El brazo robótico de la máquina permite realizar formas en los diseños, giros y ángulos, más complicados. Esto es un atributo diferenciador en el mercado del proceso a utilizar, lo que hay que aprovechar para hacer piezas más orgánicas.

4. Diseño de un asiento dirigido a adultos

El diseño principal de este trabajo es llevar a cabo una silla impresa en 3D con FGF a gran escala. Se decidió realizar el modelo de tal forma que no necesitase soportes ni segundas piezas; lo que facilita el uso mínimo de material y el reciclaje y, por ende, la economía circular, idea representativa de esta tecnología de impresión.

4.1. Legislación y Normativa

Características de seguridad

Por otra parte, se debe aplicar la normativa española UNE-EN 1335-2, donde se especifican unas medidas de seguridad para el mobiliario con el objetivo de minimizar el peligro de lesiones. Aunque esta normativa está aplicada a sillas de oficina y el diseño que se va a realizar no lo es, al no tener mecanismos de ajuste de altura, entre otros atributos, se seguirán ciertas normas de seguridad para garantizar confort. Así, los bordes del asiento, respaldo y posabrazos (en caso de haberlos) con los que el usuario esté en contacto al emplear la silla deben ser redondeados con un radio mínimo de 2 milímetros. Todos los otros bordes y esquinas no tienen rebabas y están bien redondeados o achaflanados.

Asimismo, con respecto a los puntos de cizalla y pinzamiento, no pueden producirse mediante mecanismos de acumulación de energía; así como no debe haber puntos de corte y aplastamiento accesibles al usuario producidos por cargas generadas durante un uso normal del producto.

4.2. Ergonomía

La ergonomía es la ciencia que busca adecuar el diseño de lugares, herramientas y tareas al ser humano y sus capacidades (Guillén Fonseca, M. 2006). Esto incluye el diseño de mobiliario, donde esta disciplina influye en la salud de los usuarios (Siqueira De Queiroz Simoes, J. 2016), tratando de evitar posturas forzadas y molestias psicofísicas que acarreen dolores y enfermedades a medio y largo plazo. Así, lo que se busca en este trabajo es adaptar ergonómicamente una silla dirigida a la población adulta, realizada con la mencionada tecnología FGF.

Para realizar un estudio antropométrico, primero hay que saber a quién se dirige el producto que se ajustará. (Cañavate Buchón, G. 2013). De esta manera, el proceso podrá ser orientado al diseño para una persona en concreto, lo cual sería lo ideal en cuanto a ergonomía y comodidad, pero no siempre es viable ya que el producto suele ser utilizado por más de una persona.

También cabe la opción de diseñar para un grupo pequeño. Esto se puede enfocar en 3 principios: diseño para los extremos, donde se pretende que todo el grupo sea capaz de usar el artículo; diseño para un intervalo ajustable, donde se pueden variar ciertas características del objeto para adaptarlo a cada usuario en ese momento y, por último, el diseño para el promedio, donde se considera la media.

Este último tiene una desventaja clara: promediando los valores se deja fuera a una cantidad considerable de usuarios.

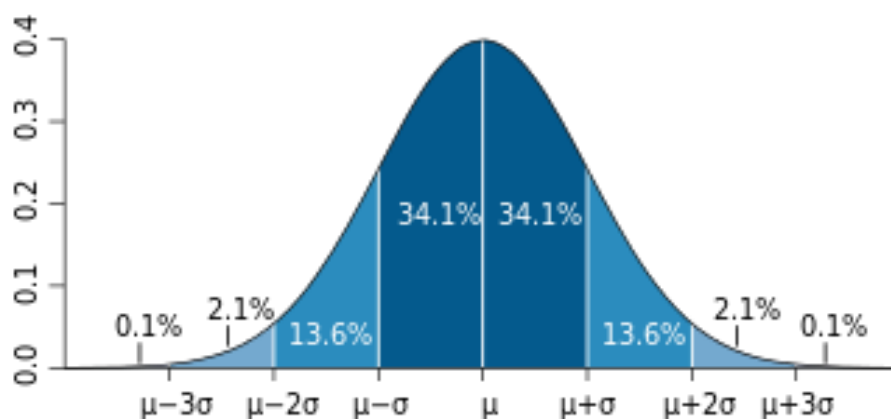
Por otro lado, está la opción de diseñar para una población numerosa. Así, este será el proceso aplicado al caso de esta silla en concreto. Aquí, no es posible medir a cada usuario que interactuará con el mueble, por lo que se debe aplicar la estadística.

Distribución normal

Gran cantidad de las dimensiones de nuestro organismo, al igual que muchos otros fenómenos naturales, siguen una distribución normal; según la curva de Gauss. Esta distribución se caracteriza por tener una forma de campana en la gráfica de la función de densidad, como se muestra en la siguiente imagen:

Figura XLVII.

Curva gráfica de distribución normal.



Fuente: Toews, M.W. (2007, abril 7).

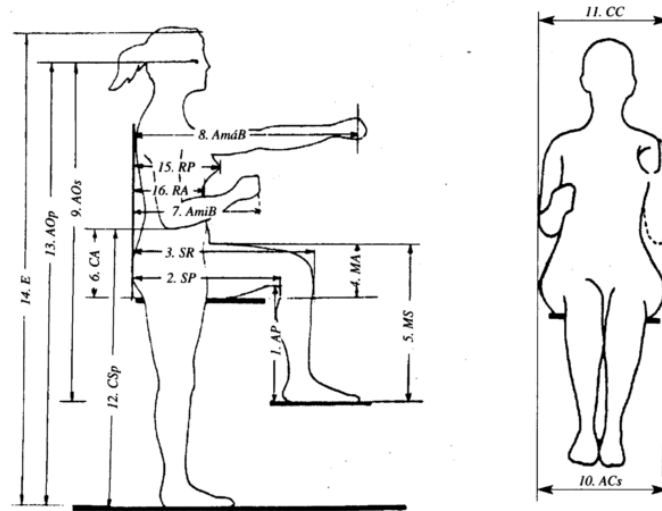
En una población relativamente uniforme, es razonable esperar que las dimensiones antropométricas sigan esta distribución normal, con lo que se pueden aplicar las normas de dicha distribución a los cálculos antropométricos a realizar.

Hay que considerar que, debido al fenómeno de variabilidad humana, distintas poblaciones tienen distintos datos antropométricos. (Valero Cabello, E. s.f.)

Medidas humanas condicionantes en el diseño de una silla

Figura XLVIII.

Leyenda de medidas del cuerpo humano.



Fuente: CERpIE-UPC. (2018, abril 25).

Según la norma UNE-EN 1335-1:2021+A1:2023 en un diseño ergonómico, se toma de referencia de postura de sentarse de una persona la de las características siguientes:

- La planta del pie está apoyada en el suelo.
- El pie forma alrededor de un ángulo recto con la pantorrilla y esta con el muslo.
- La pantorrilla está aproximadamente vertical y el muslo casi horizontal.
- El muslo forma aproximadamente un ángulo recto con el tronco, el cual está en posición vertical.

Además, el diseño debe permitir un movimiento frecuente de la persona que se sienta por su confort y seguridad. Por lo tanto, varias medidas clave que hay que tener presentes son:

- La altura poplítea (Ap) para saber la altura a la que se encontrará el asiento.
- La anchura de caderas (ACs) máxima para determinar el ancho del asiento.
- La distancia sacro-poplítea (Sp) para la profundidad del asiento.

Procedimiento

La población que se considera representativa en este estudio es la publicada en el artículo “Datos antropométricos de la población laboral española” (Carmona Benjumea, A. 2001) ya que el diseño a realizar está enfocado a un colectivo muy numeroso (por lo que no es viable desarrollar un estudio específico para este trabajo de la población, ya que no es un grupo concreto de personas) de adultos.

Sabiendo que los datos siguen una distribución normal, se necesitan saber la media (μ) y la desviación estándar (σ) de los datos a analizar. Los percentiles son también de gran importancia. Estos dan a conocer el porcentaje de la población estudiada que pertenece a un valor igual o inferior. Con el fin de incluir al mayor número de gente, se diseñará para extremos. Los percentiles cumplen con la siguiente expresión:

$$P = \mu \pm Z \cdot \sigma$$

Donde Z representa un valor estadístico del percentil, siendo su fórmula $Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$. X en este caso representa el dato que buscamos.

Tabla 1:

N° (Ref. ISO 7250: 1996)	Designación	Muestra	Media	Desviación típica	Error típico	Percentiles				
						P1	P5	P50	P95	P99
21 (4.2.12)	Longitud de la pierna (altura del poplíteo) (mm)	1721	418,17	29,17	0,703	350	368	419	464	487
20 (4.2.11)	Anchura de caderas sentado (mm)	1718	365,14	30,44	0,734	294	316	364	417	445
43 (4.4.6)	Profundidad de asiento (mm)	1721	493,52	28,05	0,676	426	450	492	540	568

Medidas de la silla

Aunque al principio se planteó seguir el diseño de extremos mencionado anteriormente en un intervalo entre P₅ y P₉₅, al final se decidió unas medidas aproximadas para controlar el peso del diseño. Por ejemplo, la altura del asiento en principio sería de 368 milímetros, pero al final serán 430 milímetros por adaptarse mejor a personas altas. Sin embargo, para las personas de menor altura cuyos pies no llegaran al suelo al sentarse, es recomendable el uso de reposapiés para no perder la ergonomía y confort.

Para determinar la anchura, también siguiendo una filosofía de diseño para extremos, se escogería la anchura de caderas (ACs) máxima. En este caso, aproximadamente, P₉₅ = 417 milímetros, redondeado a 430 milímetros con el fin de dejar holgura para la ropa y para repartir en más material los esfuerzos.

Por último, para poder llegar bien a apoyar la espalda en el respaldo, la profundidad del asiento estará cerca del valor 426 milímetros, siguiendo un percentil 5.

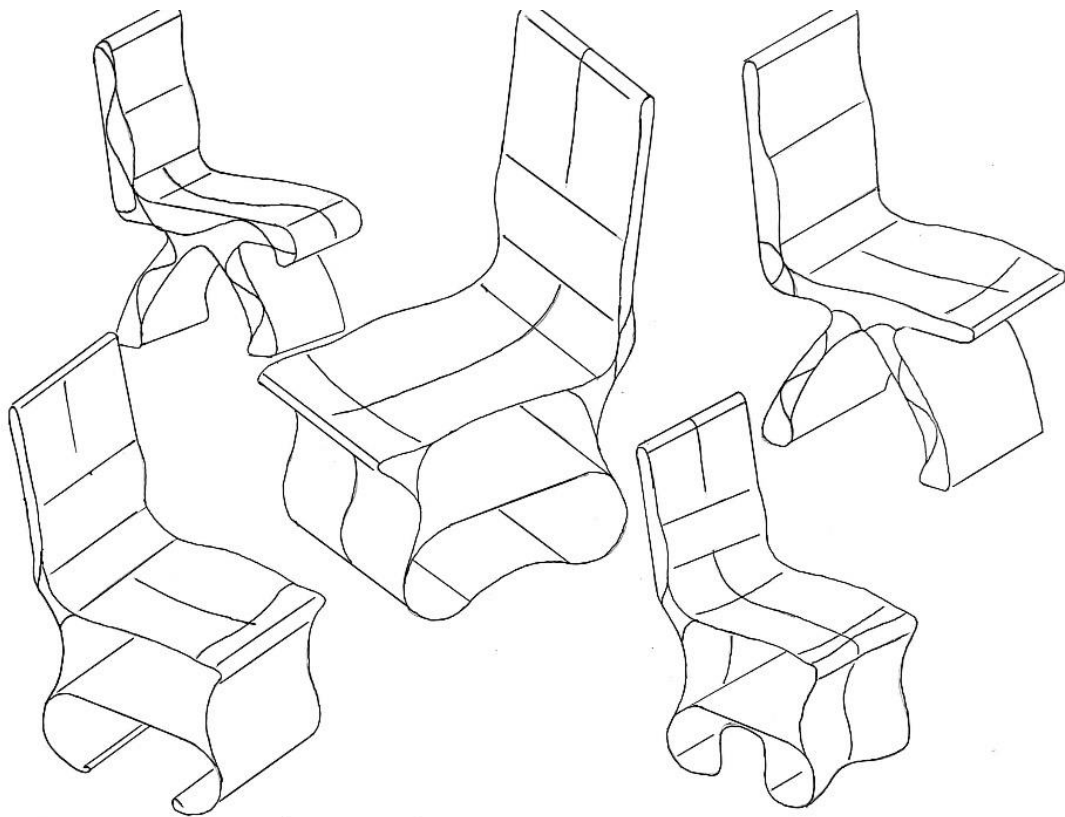
Además, se incluye una curva en el respaldo que sirva de apoyo lumbar a la espalda de la persona y este tiene una ligera inclinación respecto del suelo.

4.3. Bocetos y Conceptos Iniciales

Primero se hizo un brainstorming visual por la técnica de bocetado rápido, buscando preferentemente líneas con formas más orgánicas y partiendo de adaptar sillas infantiles que ya se habían conseguido en Newgentechns a adultos (Mansilla Boyano, P (2023, mayo)):

Figura XLIX.

Brainstorming de la estética de la silla, a mano.



Fuente: Elaboración propia.

4.4. Material

El UPM Formi 3D 20/19, mencionado anteriormente, es un material formado por ácido poliláctico nativo (PLA) y fibras de celulosa de madera proveniente de bosques con certificación PEFC (al 20%); lo que garantiza que esas superficies forestales son cuidadas según los Criterios Globales de Sostenibilidad, tanto medioambientales como sociales y económicos (Pefc.es (s/f)). Fue diseñado por la empresa de Finlandia UPM Biocomposites en el año 2018, de cara específicamente a la LFAM. (Filament2print.com. (s/f)).

Al estar hecho de estas fibras de celulosa, los productos de este material pueden reciclarse o quemarse para la obtención de energía. Su densidad según tests realizados en base a la norma EN ISO 1183 es de $1'2\text{g/cm}^3$, tanto en inyección como impreso en 3D. Como lo que interesa de cara a este proyecto son las propiedades cuando es impreso, a continuación se describe una lista de estos atributos con una boquilla de 4mm de diámetro y un espesor de capa de 1'5mm (acid., N. P. (s/f)):

- Resistencia a la tracción: 32 N/mm^2 (norma ISO 527)
- Resistencia a la tracción en la dirección Z de impresión: 10 N/mm^2 (norma ISO 527)
- Módulo de tracción: 3200 N/mm^2 (norma ISO 527)
- Módulo de tracción en la dirección Z de impresión: 2000 N/mm^2 (norma ISO 527)
- Deformación a tracción: 4% (norma ISO 527)
- Resistencia al impacto, Charpy: 13 kJ/m^2 (norma ISO 179/1eU)
- Temperatura de fusión máxima: entre 135 y 180 °C (norma ISO 11357)
- Temperatura de transición vítrea: 65°C (norma ISO 11357)
- Índice de flujo de fusión (190°C/10kg): 16

El acabado superficial de estas piezas es de un color mate algo amarillo claro. Además, permite el postprocesamiento tal y como la madera, abriendo un amplio abanico de posibilidades de diseño.

Su coste es de 21,11€ el kilogramo incluyendo IVA si se compra ese kilo. Sin embargo, si se compran a granel 960kg, teniendo un precio de 13 249,50 € con IVA, el kilo podría salir a un precio aproximado de 13,80€.

4.5. Desarrollo e Idea Final

Debido al aguante de material y por el peso del producto, al final se decidió que el espesor de impresión (el diámetro de la boquilla) sería de 4 milímetros. La impresión se haría con el producto “tumbado” para no necesitar soportes y así reducir la cantidad de material a usar (siendo más eficientes con el reciclaje y el compromiso con el medio ambiente) y porque era la mejor dirección en cuanto a aguante de esfuerzos.

Así, el diseño propio realizado con los módulos de superficies y sólido del programa CATIA v5 queda de la siguiente manera, pesando 8,8kg:

Figura L.

Render de caja de luz de uno de los modelos de asiento propuesto



Fuente: Elaboración propia.

Uno de los problemas encontrados fue, con el programa actual, lograr que el código interpretase el diseño en modo espiral; es decir, que se consiguiese imprimir de una sola pasada sin parar y sin crear saltos de la boquilla. Esto es porque la maquinaria no retrae bien los pellets con el husillo sin expulsar gotas de material donde no debe. Esto se solucionó forzando al diseño a ser una única línea.

A notar está que la curva de la parte delantera está hecha para poder doblar las piernas hacia dentro. También, los apoyos con el suelo son así para dificultar volcar al usar el mueble y son 4 apoyos para complicar más que cojee.

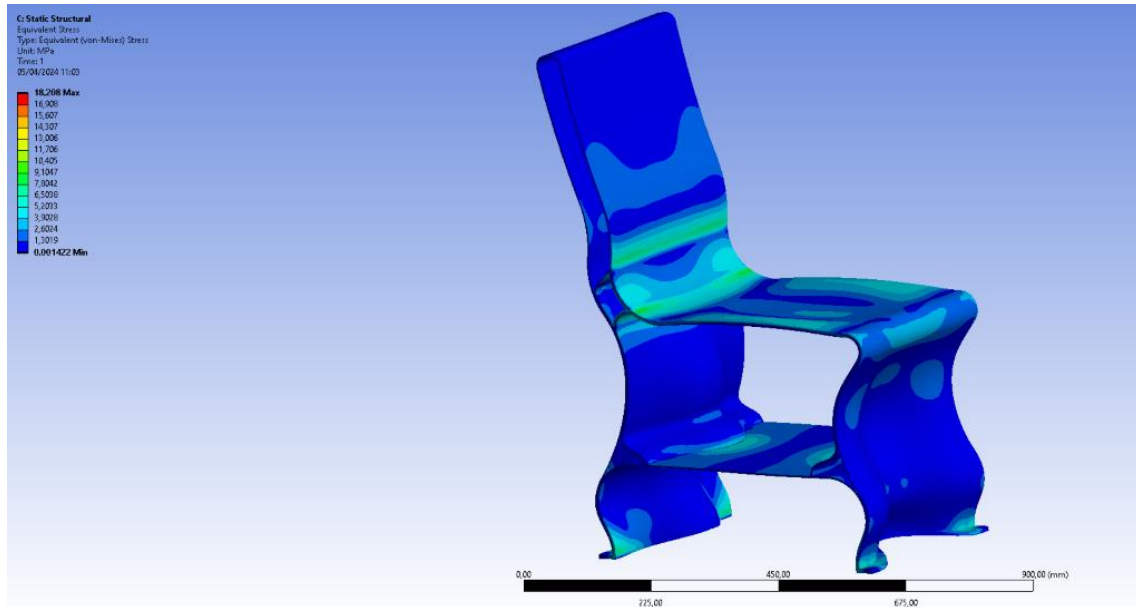
Ensayo de resistencia teórico en ANSYS

Con el programa ANSYS 2021, una aplicación de simulación de esfuerzos, se reprodujo el comportamiento del asiento en caso de que lo usase una persona que pesase 100 kilogramos, soportando ese estado tensional tridimensional. Así, se evaluó el esfuerzo de Von-Mises, viendo qué puntos llegan en primer lugar al estado de plastificación del UPM Formi 3D 20/19. Esto es un criterio de fallo que dice que este ocurre en el momento que la energía de distorsión total en un volumen unitario

es superior al valor de energía de distorsión pertinente a la resistencia de fluencia de ese volumen. (Abasolo, M., Navalpotro, S., Iriondo, E., Corral, J. (s/f))

Figura LI.

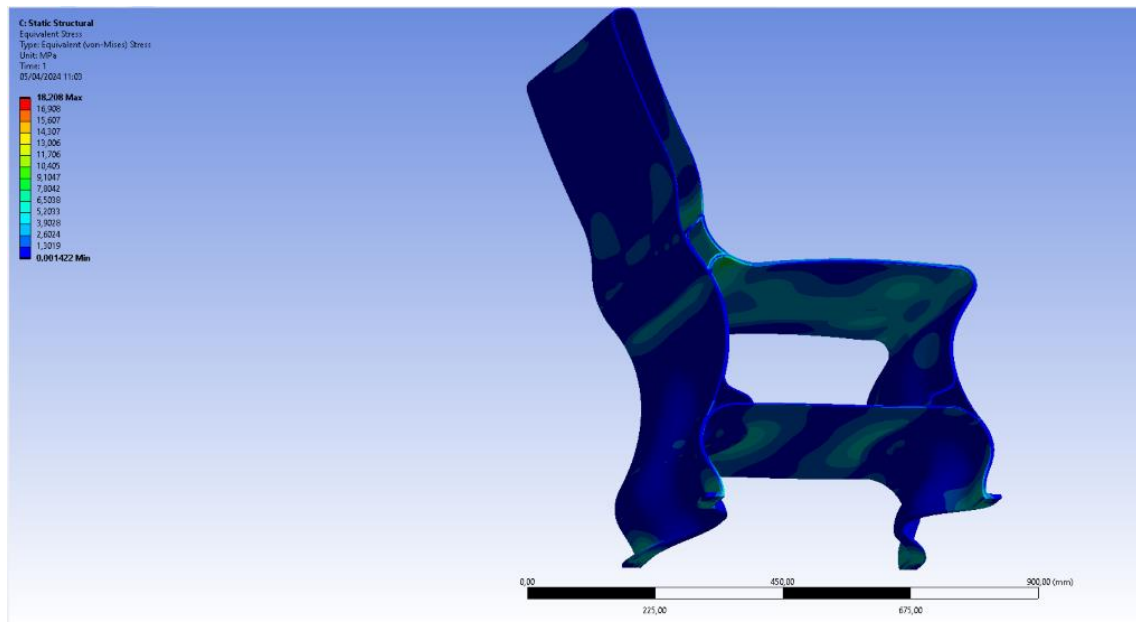
Captura 1 del ensayo de ANSYS del modelo 1 de la silla.



Fuente: Elaboración propia.

Figura LII.

Captura 2 del ensayo de ANSYS del modelo 1 de la silla.



Fuente: Elaboración propia.

Se observa que las mayores tensiones, de alrededor de 7'8 MPa, se concentran en la parte trasera del asiento, razón por la cual el refuerzo es más grueso en esa zona. La resistencia de los pellets de este material utilizado para realizar la impresión en 3D es de 32 N/mm², (acid., N. P. (s/f)).

Por el desconocimiento de la resistencia de este material a fatiga se decidió que el límite habría que multiplicarlo por 0'25 (=8MPa), para asegurar que tuviera cierta resistencia a la fatiga.

Se decidió utilizar este criterio para realizar una aproximación, aunque grosera, de las máximas tensiones que se pueden aplicar ya que depende de varios factores, porque es el que se aplicaba antiguamente al acero cuando tenía que trabajar a fatiga, antes de que se descubriera su comportamiento a fatiga real. Por lo tanto, la silla en teoría aguantaría los esfuerzos presentados.

Asimismo, la forma geométrica de este refuerzo es parecida a la letra "C" ya que la curvatura se traducía en una resistencia superior. El segundo refuerzo, más fino, está situado en la base del refuerzo lumbar para aumentar la resistencia del respaldo. Por otro lado, la razón de ser de la estantería debajo del asiento, aparte de su utilidad, es evitar que las patas cedan hacia fuera por deformación.

Impresión

Sin embargo, a la hora de imprimir, el programa seguía sin conseguir espiralizar el diseño. Tras un ejercicio de brainstorming, se decidió simplificar las curvas de la parte interior para que no diese tantos problemas de espesor inconsistente.

Además, se forzó al diseño a que en cada capa se empezase y acabase en el mismo punto para facilitar el proceso, haciendo que la costura estuviese en la estantería.

También se comprobó que el hecho de pasar del programa de modelado al de impresión se conseguía haciendo que los distintos churros (exterior e interior) fuesen bloques sólidos en distintos *bodies* de CATIA, para que después simplemente contornease las figuras. Así se alcanzó el primer perfil impreso, interpretando 2 churros cuya costura estaba en la estantería:

Figura LIII.

Foto de la primera prueba lograda de impresión del perfil de la silla.



Fuente: Elaboración propia.

Con el resultado se vio que habría que aumentar la altura del asiento ya que quedaba demasiado bajo, por lo que se incrementó este parámetro a 500 milímetros.

Además, para dificultar que las patas se fuesen abriendo por fatiga, se propuso la idea de añadir cinta antideslizante en los 4 apoyos, aunque al final se descartó al ver que no hacía falta.

Por otro lado, el siguiente reto sería que el programa lograra espiralizar los 3 churros, modelando 3 *bodíes* separados, incluyendo el refuerzo del respaldo para que la silla aguantase los esfuerzos previstos en su uso.

Figura LIV.

Perfil de 15 capas impreso a escala real. Segunda prueba de espiralizar el diseño.



Fuente: Elaboración propia.

Después, tras ver el perfil, se atinaron más las medidas generales. Con todo esto, la siguiente silla quedó tal que así, pesando 10'93kg según CATIA:

Figura LV.

Render de caja de luz de uno de los modelos de asiento propuesto.



Fuente: Elaboración propia.

Para visualizar cómo quedaría el mueble integrado en un ambiente interior, se elaboró el render siguiente:

Figura LVI.

Render del asiento en habitación modelada con 3Ds Max.

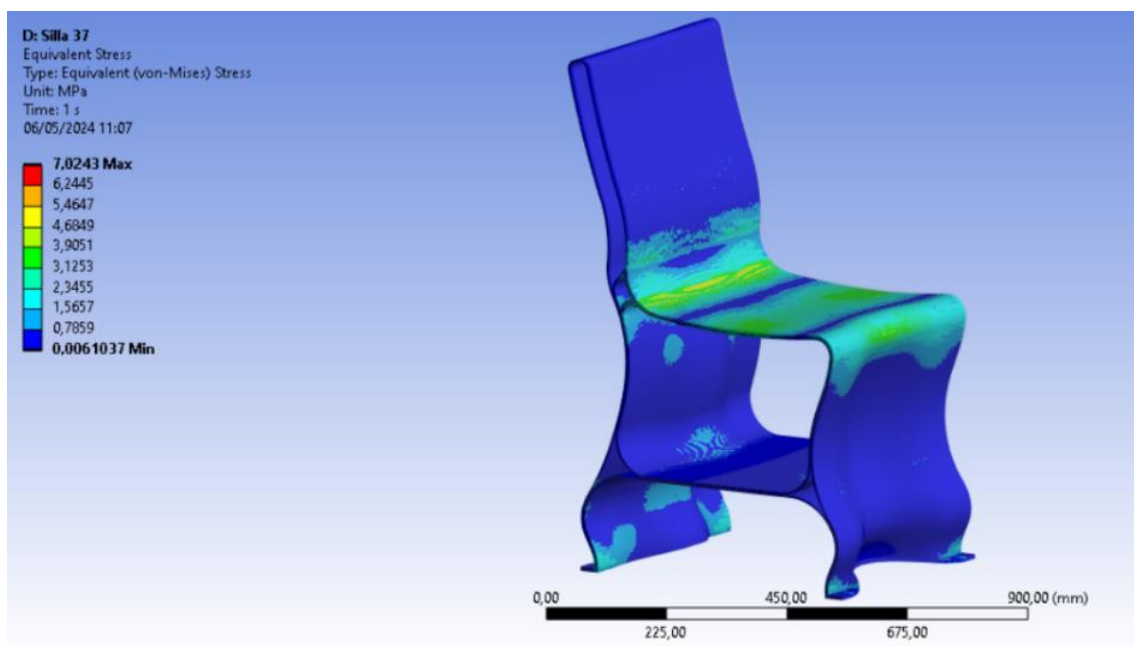


Fuente: Elaboración propia.

Segundo ensayo de resistencia teórico en ANSYS

Figura LVII.

Captura 1 del ensayo de ANSYS del modelo 2 de la silla.



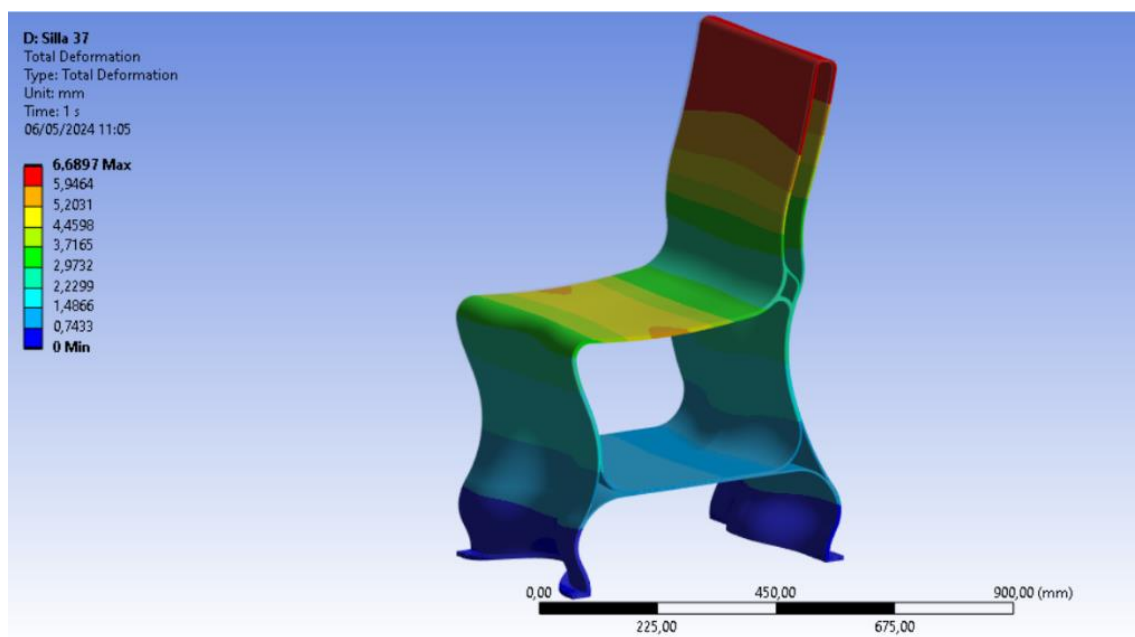
Fuente: Elaboración propia.

En la imagen superior vemos que los esfuerzos de Von-Mises que la silla soporta al ser usada por una persona que pesa 100kg máximos están en torno a 5MPa en las zonas amarillas/naranjas. Esto supone una mejora respecto al modelo evaluado con ANSYS anteriormente sin modificar la estética del diseño, aunque aumentando el peso. Esto, sin embargo, se decidió que era necesario para tratar de asegurar la usabilidad del mueble.

En la siguiente foto vemos que la mayor deformación teórica que se presenta es en la parte alta del respaldo, de un total de 6'69 milímetros máximo. Esto es un valor aceptable.

Figura LVIII.

Captura 2 del ensayo de ANSYS del modelo 2 de la silla.



Fuente: Elaboración propia.

Además, se hicieron varias pruebas de impresión. Vemos en la imagen LIX la realización de la mitad del mueble, que se paró por problemas de alimentación de la máquina. Con esto, se observan los detalles a mejorar en el proceso.

Serían la costura de unión, antiestética, que ahora se sitúa en la estantería y que es la zona donde antes rompería y, por otra parte, tratar de mejorar la limpieza de la tolva para que no queden restos de otros materiales.

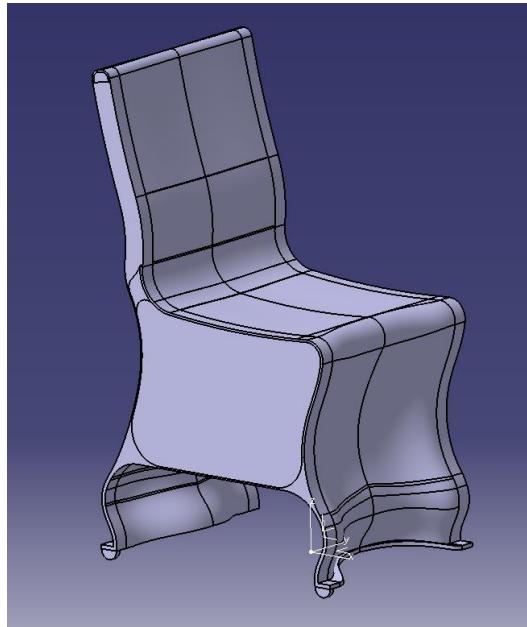
También hay que tener en cuenta que mientras la cama de impresión se enfriaba, el modelo se levantaba y combaba, haciendo que a medida que avanzaba el proceso las geometrías perdían calidad y el brazo imprimía sobre el aire.

Para arreglar esto, se incluyeron 3 *bodies* más al modelar en CATIA que serían 3 salientes laterales, 2 en las patas y uno en el interior del respaldo, de espesor 1

centímetro. Estos servirían para atornillar el producto a la mesa de impresión y, después, se mecanizarían para restarlos. El modelo de CATIA quedó tal que así:

Figura LIX.

Modelo de impresión en CATIA



Fuente: Elaboración propia.

Figura LX.

Foto de la mitad del mueble impreso por FGF.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, hay un enlace donde se muestra la maquinaria realizando las primeras capas del mueble diseñado. En total, en modo rápido, se tardó 14 horas en imprimir la pieza entera en escala real. Se eligió la posición que se muestra ya que no se requerirían soportes que alargasen la producción ni usase más material del necesario (siguiendo así el principio de reducción, fomentando la economía circular). Asimismo, por la posición Z del eje de impresión elegida, aguantaría más los esfuerzos de uso.

<https://youtu.be/asvpDacp3dQ>

Resultado

Tras imprimir el modelo entero, en la vida real el asiento pesaba 11'8kg, ya que en la fabricación hay puntos donde la máquina sobreimprimía.

Figura LXI.

Foto del mueble entero impreso por FGF.



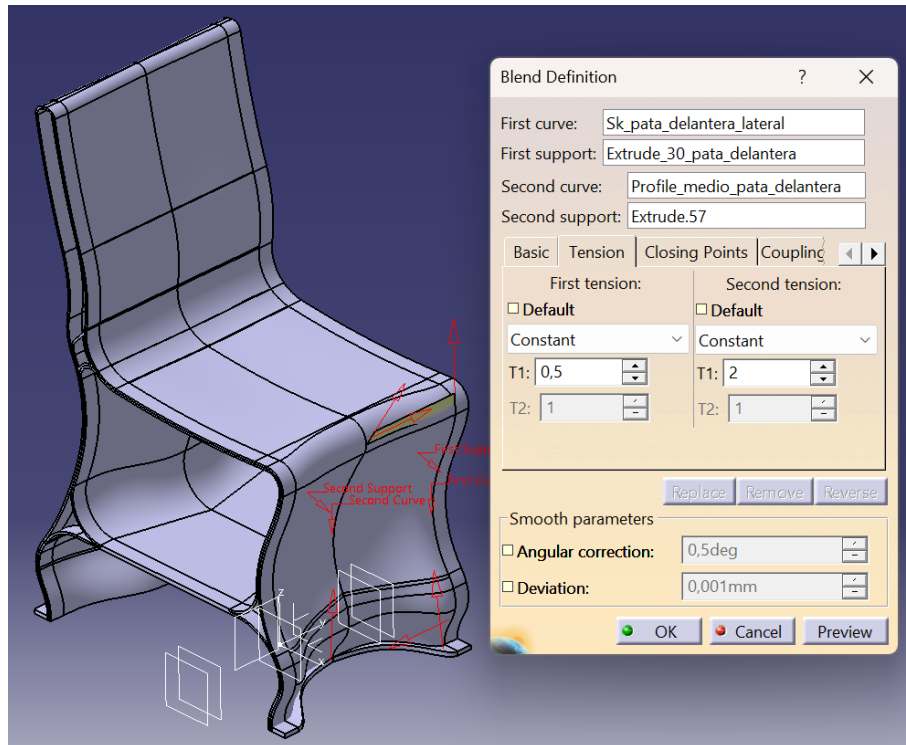
Fuente: Elaboración propia.

4.6. Mejoras tras Impresión

Al probarla, el principal problema que se encontró fue que no era medianamente fácil meter las piernas hacia dentro, por lo que se mejoró la comodidad mediante la apertura de la curva de la pata delantera, cambiando las tensiones de la herramienta *blend* del módulo de superficies en CATIA.

Figura LXII.

Captura de CATIA v5.

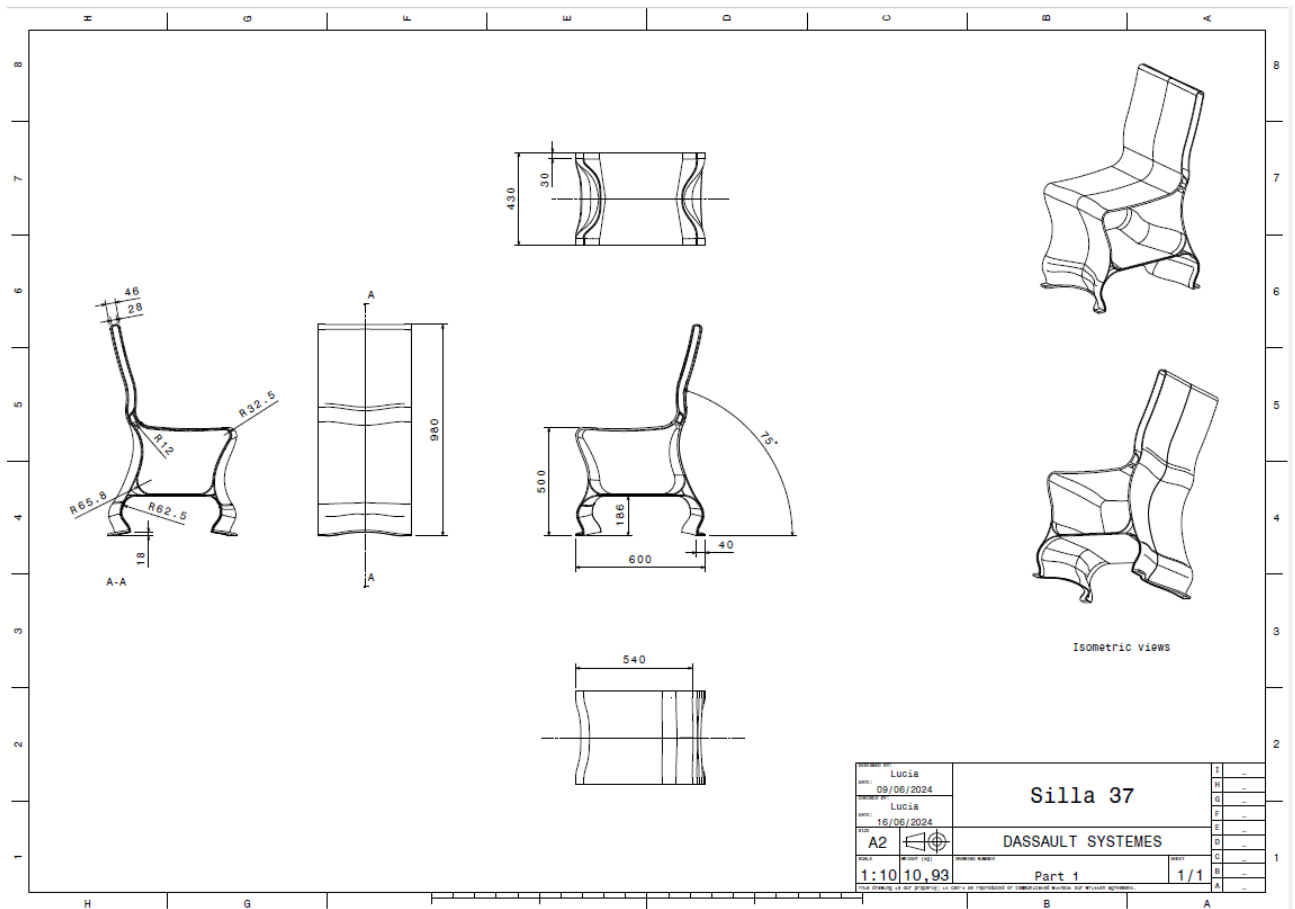


Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura hay un plano que se realizó con el fin de visualizar mejor las dimensiones generales del diseño.

Figura LXIII.

Vistas y medidas generales del modelo final de silla.



Fuente: Elaboración propia.

Además, se planteó hacer una segunda versión de la silla, manteniendo el estilo, que sirviese destinada a usarla con mesas altas. Este modelo de asiento tiene una altura de 600 milímetros respecto del suelo.

En la siguiente figura se observa un render de caja de luz con ambos modelos de silla al lado de una persona de altura aproximada 175 centímetros.

Figura LXIV.

Render con ambos modelos de silla.



Fuente: Elaboración propia.

También, tras conseguir la impresión por parte del equipo de Newgentechs, se lijó la costura de impresión con una Dremel, siendo el resultado como el que se muestra en la siguiente imagen:

Figura LXV.

Proceso de lijado de la costura de impresión.



Fuente: Elaboración propia.

Este sería el post procesado necesario para mejorar la estética, pero no se pintaría ni lacaría, a pesar de que el material se ensucia fácilmente, con el fin de no perder

la ventaja de que, al final de la vida útil del mueble, este se podría reciclar y el material vuelto a ser convertido en pellets para impresión en FGF.

Un detalle de esto último es que la empresa responsable de este proceso tendría que cuantificar cuánta resistencia y propiedades ha perdido el material UPM Formi 19/20 tras haber sido empleado años en forma de esta silla específica.

En cuanto a resistencia, la principal causa de fallo es la delaminación de las capas entre sí debido a una falta de adhesión de una capa respecto al resto. Newgentechs, a futuro, ensayará el diseño a fatiga con un modelo de tamaño reducido en el banco de ensayos que se muestra a continuación:

Figura LXVI.

Foto de la silla en el banco de ensayos



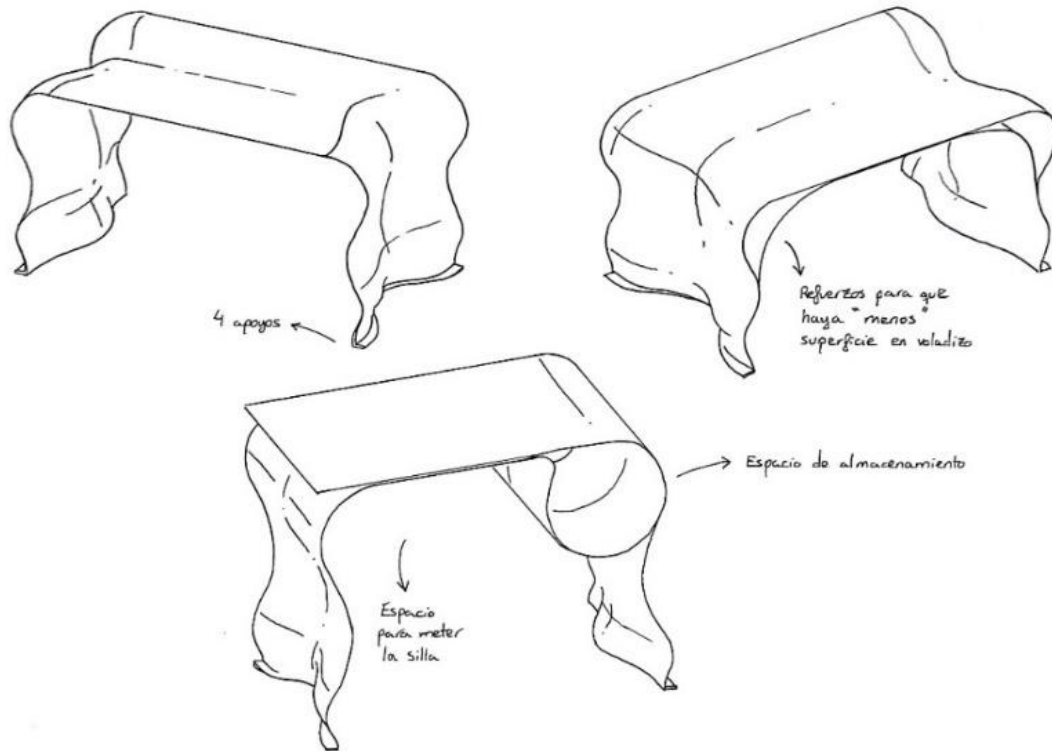
Fuente: Elaboración propia.

4.7. Mesa a Conjunto con la Silla 1 y Reposapiés para Silla Alta

Tras diseñar el asiento, se planteó realizar una mesa siguiendo la misma estética que el primer mueble. A continuación, hay bocetos previos en busca de soluciones:

Figura LXVII.

Bocetos a mano sobre ideas para el planteamiento de la mesa.



Fuente: Elaboración propia.

Se decidió realizar una mesa baja de café en vez de una alta sobre la que trabajar, no solo por ahorro de material, si no por reducir la posibilidad de error a la hora de impresión. La decisión planteada inicial quedó así, simétrica, con unas dimensiones de 850x500 milímetros y una altura de 400mm y pesando 7'53kg. Se imprimiría con una boquilla de grosor 4mm.

Figura LXVIII.

Render de caja de luz de la mesa baja propuesta con 3Ds Max.



Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, al pensar sobre la resistencia de la mesa, se vio que las patas podrían flectar si se posara mucho peso sobre la tabla. Por esto mismo, se planteó buscar antideslizante de goma que se pudiese poner en los 4 apoyos y así minimizar el riesgo de fallo.

La silla alta, por otra parte, iría acompañada de un reposapiés ya que la ergonomía está en poder apoyar los pies al sentarse. Esta pieza de mobiliario seguiría la misma estética, basándose el modelado 3D en un escalado de la mesa mientras se mantiene el espesor de impresión constante con ciertos retoques, como el de quitar los refuerzos, que no son necesarios en esta pieza, ya que así se ahorra material.

Este elemento tendría una altura de 15'5 centímetros, con unas dimensiones generales de 600x400 mm y espesor 8mm, y también lo podría usar gente de baja estatura que no llegase al suelo con los pies en cualquiera de los modelos de asientos.

Figura LXIX.

Render de caja de luz del reposapiés propuesto con 3Ds Max.



Fuente: Elaboración propia.

4.8. Fotografías y Renders

A continuación, se muestra una fotografía de los 4 muebles de la colección diseñada impresa con filamento al 17% del tamaño real para hacerse una idea del resultado final de este trabajo.

Figura LXX.

Foto de los prototipos de productos finales a escala.



Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se llevaron a cabo distintos renders para presentar la colección del mobiliario:

Figura LXXI.

Render de presentación.



Fuente: Elaboración propia.

Figura LXXII.

Render de integración de los modelos.



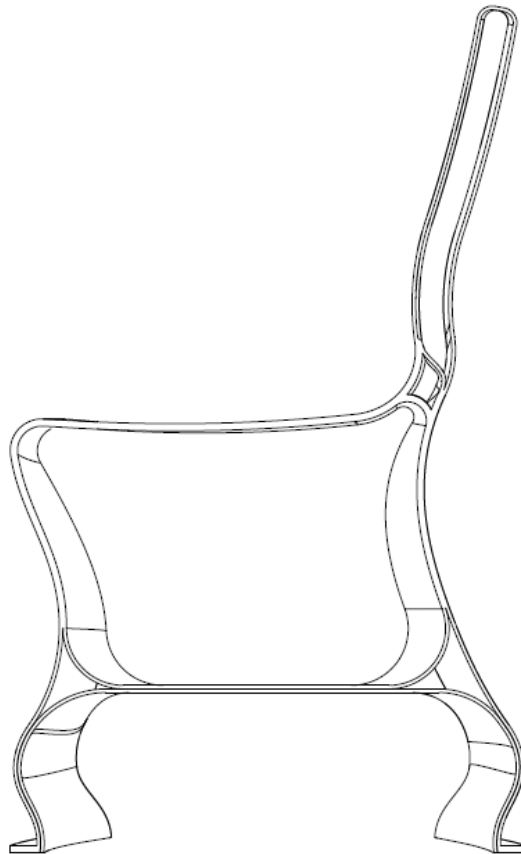
Fuente: Elaboración propia sobre fotografía de Medhat Ayad, recuperada de:
<https://www.pexels.com/photo/round-beige-and-brown-wooden-table-and-chair-447592/>

4.9. Propiedad Industrial

Con los siguientes dibujos en blanco y negro hechos del modelo final en CATIA, la empresa Newgentechs planteó registrar el diseño del asiento como Diseño Industrial, dando así un derecho exclusivo a la estética del producto.

Figura LXXIII.

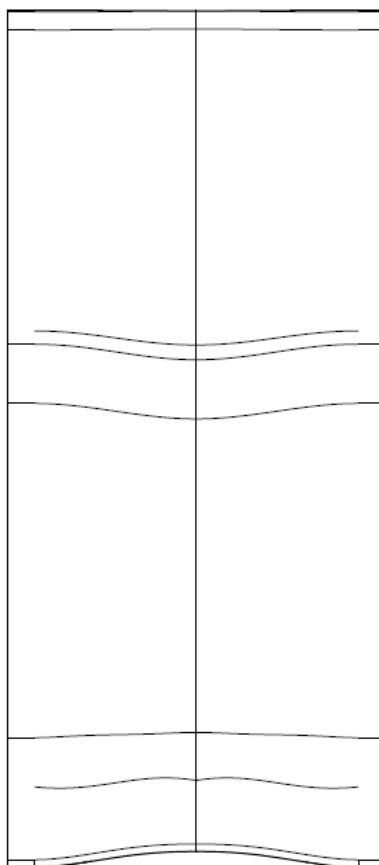
Dibujo de la silla: alzado



Fuente: Elaboración propia.

Figura LXXIV.

Dibujo de la silla: perfil



Fuente: Elaboración propia.

Figura LXXV.

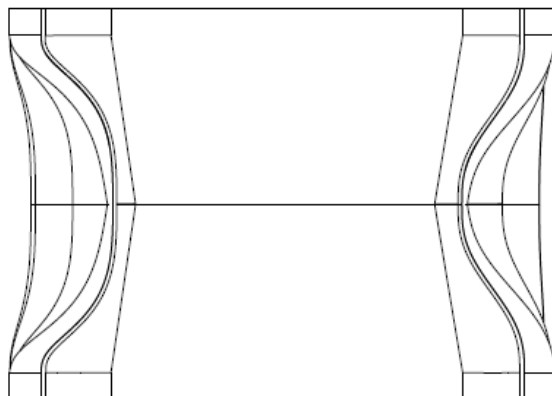
Dibujo de la silla: planta superior



Fuente: Elaboración propia.

Figura LXXVI.

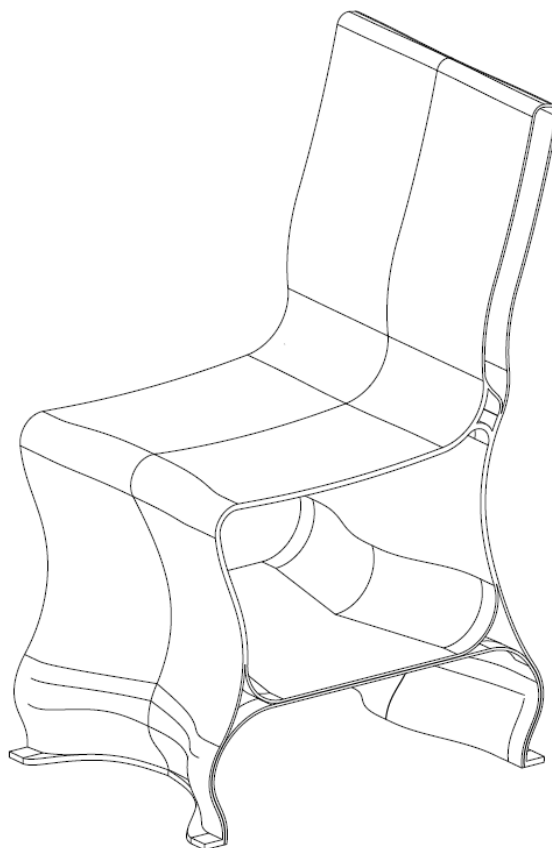
Dibujo de la silla: planta inferior



Fuente: Elaboración propia.

Figura LXXVII.

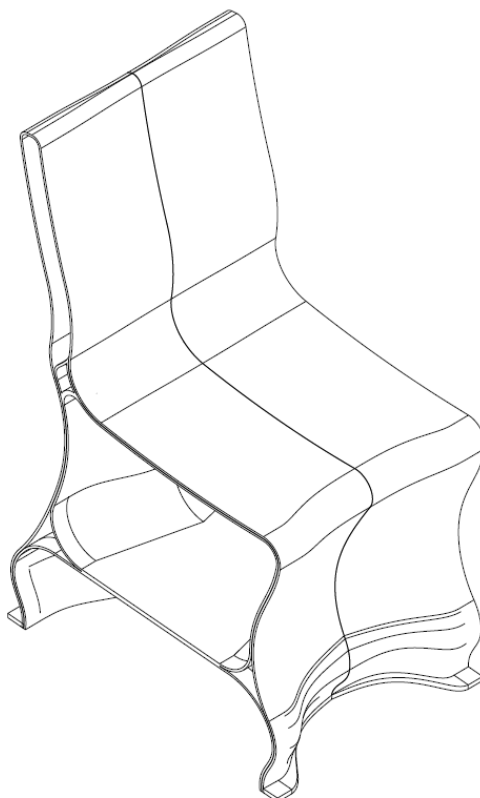
Dibujo de la silla: vista isométrica 1



Fuente: Elaboración propia.

Figura LXXVIII.

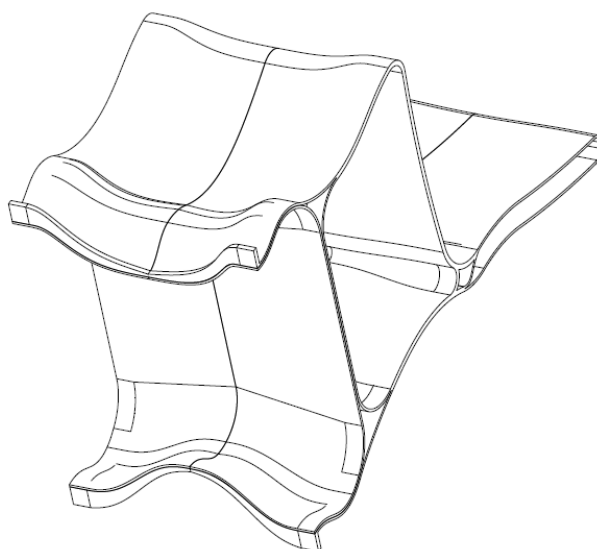
Dibujo de la silla: vista isométrica 2



Fuente: Elaboración propia.

Figura LXXIX.

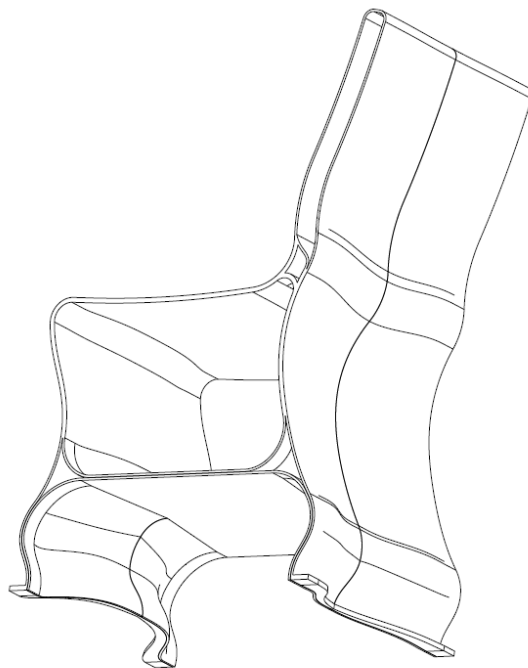
Dibujo de la silla: vista isométrica 3



Fuente: Elaboración propia.

Figura LXXX.

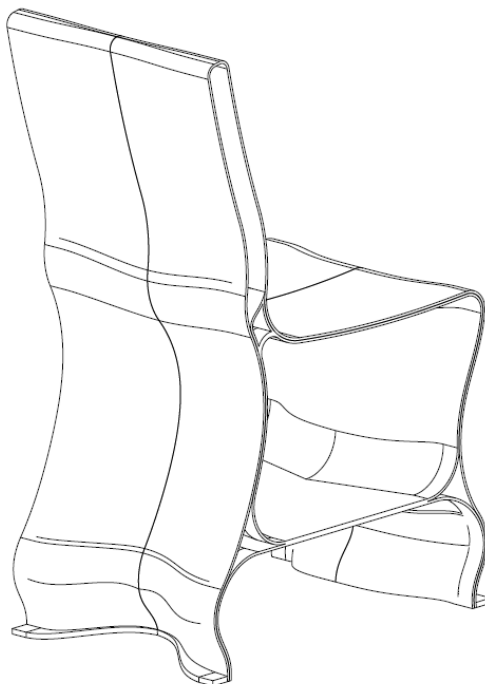
Dibujo de la silla: vista isométrica 4



Fuente: Elaboración propia.

Figura LXXXI.

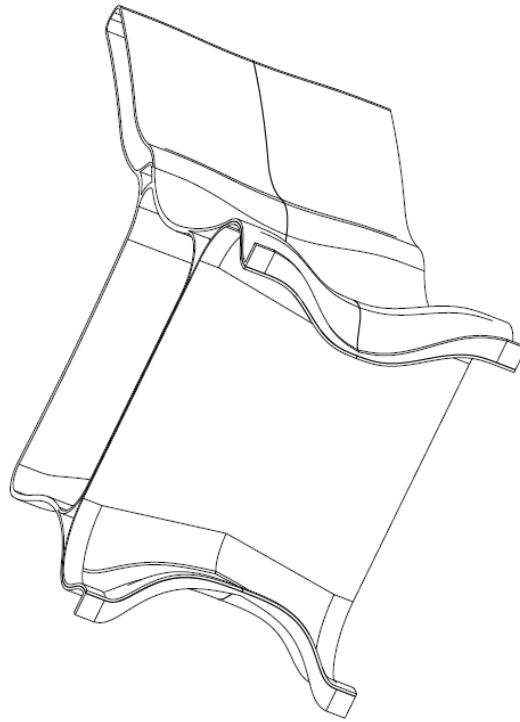
Dibujo de la silla: vista isométrica 5



Fuente: Elaboración propia.

Figura LXXXII.

Dibujo de la silla: vista isométrica 6



Fuente: Elaboración propia.

5. Conclusiones e Ideas Futuras

Objetivos alcanzados

Se ha conseguido realizar una silla funcional a tamaño real, estética, imprimible por impresión FGF, además de otras piezas de mueble, con materiales reciclados y/o reciclables. Asimismo, a pesar de no poder ser regulable por la tecnología de proceso empleada, es lo más ergonómica y cómoda posible, pensando en una persona de complexión estándar. Es difícil de volcar.

Por otro lado, se han llevado a cabo otros diseños para el brazo de impresión 3D con Rhinoceros v7, como las jardineras y la urna funeraria; a pesar de que esta última diese fallos de impresión, por lo que se puede decir que se ha aprendido a utilizar este potente software.

Puntos por dónde avanzar

Otros modelos de silla podrían ser diseñados para abarcar más gustos diferentes de los clientes. Asimismo, se podría imprimir este modelo con materiales menos densos para ver si se llegaría a un peso todavía más funcional sin perder resistencia.

Además, la resistencia del modelo a fatiga debería ser evaluada y el diseño adaptado en caso de que los resultados fueran inferiores a lo estipulado por normativa. Queda por imprimir la mesa, que por ser una tecnología costosa no se ha realizado y, por ende, evaluar también su resistencia.

Bibliografía

- 3D Systems. (2023, abril 28). *Mobiliario único impreso en 3D gracias a la extrusión de pellets*. <https://es.3dsystems.com/unique-3d-printed-furniture-made-possible-with-pellet-extrusion>
- Abasolo, M., Navalpotro, S., Iriondo, E., Corral, J. (s/f). *TEORIAS DE FALLO ESTATICO*. Fallo Frágil, 1. Fallo Dúctil. Ehu.eus.
- acid., N. P. (s/f). *UPM Formi 3D20/19 08.02.2022*. Ceadgroup.com. https://ceadgroup.com/wp-content/uploads/2023/09/Product-data-sheet-UPM-Formi-3D20_19.pdf
- Aectual • blog (s/f). Aectual.com. <https://blog.aectual.com/>
- Anta Roca, J. (2022, noviembre 3). *EL ESCUDO DE LA CIUDAD DE VALLADOLID*. Valladolid, la mirada curiosa. <https://jesusantaroca.wordpress.com/2022/11/03/el-escudo-de-la-ciudad-de-valladolid/>
- Apis-cor.com. (s/f). Apis cor. <https://apis-cor.com/>
- Arturo, E., & Katiana, B. (2023). Identificación del proceso de construcción de impresoras 3D para las regiones en el marco del trabajo en fabricación digital de la comunidad maker.
- Balboa, C. H., & Somonte, M. D. (2014). Economía circular como marco para el ecodiseño: el modelo ECO-3. *Informador técnico*, 78(1), 82-90.
- Belloch, C. (2012). Las Tecnologías de la Información y Comunicación en el aprendizaje. *Departamento de Métodos de Investigación y Diagnóstico en Educación. Universidad de Valencia*, 4, 1-11.
- Cañavate Buchón, G (2013, febrero 16). Diseño ergonómico y antropometría. Asociación de Ergónomos C. Valenciana ErgoCV; ErgoCV. <https://ergocv.com/disenio-ergonomico-y-antropometria/>
- Caracol. (2023, julio 6). *Industrial additive manufacturing technologies*. <https://www.caracol-am.com/>
- Cerdá, E., & Khalilova, A. (2016). Economía circular. *Economía industrial*, 401(3), 11-20.
- Dativic (2022, abril 1). *Extrusores de pellets: ¿Es posible mezclar pellets con aditivos directamente?* https://filament2print.com/es/blog/147_extrusores-de-pellets-mezclar-pellets.html
- del Val Román, J. L. (2016, marzo). *Industria 4.0: la transformación digital de la industria*. In Valencia: Conferencia de Directores y Decanos de Ingeniería Informática, Informes CODDII.
- Dynapro 3D (2022, octubre 14). *Qué es la estereolitografía*. | Empresa dedicada al diseño digital e impresión 3D. <https://dynapro3d.com/que-es-la-estereolitografia/>
- Filament2print.com. (s/f). *Pellets UPM Formi 3D20/19*. <https://filament2print.com/es/pellets-y-colorantes/1995-pellets-upm-formi.html>
- Guillén Fonseca, M. (2006). Ergonomía y la relación con los factores de riesgo en salud ocupacional. *Revista cubana de enfermería*, 22(4), 0-0.
- Indus3D. (2021, julio 5). *Indus3D*. <https://indus3d.es/servicio-impresion-3d-gran-formato-en-vitoria-alava-espana/servicio-de-impresion-3d-profesional-gran-formato-vitoria-espana/>
- Interfunerarias (2020, julio 13). *Urnas funerarias: Historia, tipos e ideas [Guía]*. <https://interfunerarias.es/blog/urnas-funerarias/>

- Kooij. (s/f). *Kooij*. <https://dirkvanderkooij.com/>
- López B., O. E. (2022, octubre 1). *Manufactura aditiva: ¿cuándo se originó? Modern Machine Shop México*. <https://www.mms-mexico.com/columnas/manufactura-aditiva-cuando-se-origino>
- Madeleine, P. (2021, agosto 9). *A 3D printed electric tricycle made from recycled waste*. 3Dnatives. <https://www.3dnatives.com/en/zuv-3d-printed-electric-tricycle-made-from-recycled-waste-090820214/>
- Mansilla Boyano, P (2023, mayo). *Análisis de los parámetros del proceso de impresión 3D FGF. Aplicación a la fabricación de mobiliario*. Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid.
- Marchante, A. (2021, junio 8). *Integrar la tecnología FGF para cubrir las necesidades de la industria*. 3Dnatives. <https://www.3dnatives.com/es/tecnologia-fabricacion-fgf-industria-090620212/>
- Marchante, A. (2022, octubre 16). *La impresión 3D DLP puede utilizarse para crear piezas de caucho mejoradas*. 3Dnatives. <https://www.3dnatives.com/es/impresion-3d-dlp-piezas-caucho-mejoradas-171020222/>
- Model No (s/f). *WHY MODEL NO*. <https://www.model-no.com/why-model-no>
- Nagami. (2018, abril 14). *NAGAMI - imagine the impossible, bring the future*. <https://nagami.design/en/>
- O'Neill, B. (2021, noviembre 10). *Guide to pellet additive manufacturing*. Aniwaa. <https://www.aniwaa.com/guide/3d-printers/guide-to-pellet-additive-manufacturing/>
- Pefc.es (s/f). *Certíficate* <https://www.pefc.es/que-puedes-hacer/certificate>
- Ramis, M. (2013, agosto). *La fotoescultura de Françoise Willeme*. <https://proyectoidis.org/la-fotoescultura-de-francoise-willeme/>
- Rossi Garrido, P. (2023). Estudio del ensayo Single-Lap en materiales compuestos de impresión 3D.
- Sculptur.Se (s/f). *Sculptur.Se – recycled 3D printing*. <https://sculptur.se/>
- Siqueira De Queiroz Simoes, J. (2016). Importancia del mobiliario ergonómico en la salud y productividad de los trabajadores.
- Slicelab - Design Studio. (s/f). *Ripple effect* —. <https://slicelab.com/work/ripple-effect>
- Slow Fashion Next. (2016, agosto 22). *Qué significa la impresión 3D para el mundo de la moda*. *Slowfashionnext*. <https://slowfashionnext.com/blog/significa-la-impresion-3d-mundo-la-moda/>
- Strietzel, R. (2010). Fusión selectiva por láser para el procesamiento de polvo de aleación dental. *Quintessence técnica*, 21(5), 291–304. <https://www.elsevier.es/es-revista-quintessence-tecnica-33-articulo-fusion-selectiva-por-laser-el-X1130533910508257>
- Systèmes, D. (2021, diciembre 23). *Binder Jetting*. Dassault Systèmes. <https://www.3ds.com/es/make/guide/process/binder-jetting>

- Tejada-Ortigoza, V. (2022, agosto 9). TecScience: *Impresión 3D de alimentos, ¿qué es y con qué se come?* <https://tecscience.tec.mx/es/divulgacion-ciencia/impresion-3d-de-alimentos-que-es-y-con-que-se-come/>
- Trejejo-Bocanegra, A., Fernández, D., & Calderón-Ubaqui, V. (2014). Estereolitografía: Conceptos básicos. *Revista Estomatológica Herediana*, 23(2).
<https://doi.org/10.20453/reh.v23i2.2300>
- Triboo.NL. (s/f). *TRIBOO AND NEDCAM LISTEN TO FURNITURE CIRCULAR 3D PRINTED FURNITURE - blog - triboo*. <https://en.triboo.nl/blog/triboo-and-nedcam-launch-neverending-furniture-circular-3d-printed-furniture>
- Valero Cabello, E. (s.f.) Antropometría, Centro Nacional de Nuevas Tecnologías, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- WCED, "Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future Acronyms and Note on Terminology Chairman's Foreword," Oxford; New York: Oxford University Press, 1987, Brundtland, 1987.
- Yuma Labs. (s/f). *Yuma Labs*. <https://www.yuma-labs.com/>
- Zahera, M. (2012). *La fabricación aditiva, tecnología avanzada para el diseño y el desarrollo de productos*.

Agradecimientos

Primero, quisiese agradecer a mi tutor, Alberto Mansilla y al equipo de Orthomedical 3D y Newgentechs por estar pendientes de cada avance en el proceso, llevar la silla a la vida real y animarme en cada paso de este trabajo.

Asimismo, reconocer a mis compañeros de laboratorio por la ayuda brindada, incluyendo a Roberto por ver la resistencia de mis diseños, y a mi familia: padres y hermana, porque, como dicen ellos, debería existir un diploma conmemorativo por estar presentes en todo el camino de una estudiante de ingeniería.

Por último, nombrar a mis compañeros y amigos de carrera, en especial a Beatriz Sordo, por enseñarme a aprender juntas en todos los trabajos en equipo. También a la pequeña comunidad que he formado en mi residencia, por sus ánimos en todos estos años de convivencia.

