



Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología

GRADO EN INGENIERÍA DE ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

Curso académico 2023/24 Trabajo de Fin de Grado.

**APRENDIZAJE-SERVICIO: CUIDAR3D, MEJORA
DE LA ESTANCIA HOSPITALARIA DEL PACIENTE
ONCOLÓGICO INFANTIL A TRAVÉS DE
TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN ADITIVA.**

Autor: Victor Moro Ludeña.

Tutor: Sandra Carolina Cinfuentes.

Cotutor: Alejandro Cortés Fernández.

ÍNDICE

1.	RESUMEN.....	6
2.	INTRODUCCIÓN	7
2.1	Descripción del problema.	7
2.1.1	Desafío para los pacientes	7
2.1.2	Desafío para equipo médico	8
2.1.3	Salud mental del paciente pediátrico y familiares. Posibles beneficios mediante el uso de CHEMOBOX.....	8
2.2	CHEMOBOX.	9
2.3	Proyecto de Aprendizaje-Servicio (ApS).....	10
2.4	Introducción a la fabricación aditiva (impresión 3D) y su relevancia en el ámbito industrial y médico.....	12
2.5	Relevancia de la fabricación aditiva en ámbito industrial. Ventajas y desventajas ..	12
2.5.1	Aplicaciones de la fabricación aditiva en el ámbito médico.	14
2.5.2	Implicación del proyecto en el ámbito médico.....	15
2.6	Relevancia Científico-Tecnológica y Estado del Arte.....	15
2.6.1	Avances en fabricación aditiva.....	15
2.6.2	Fused Deposition Modeling (FDM).....	16
2.7	Contextualización Industrial	18
2.7.1	Descripción del mercado de la impresión 3D y su crecimiento en el sector médico.....	18
2.7.2	Revisión de las normativas y estándares aplicables a dispositivos médicos impresos en 3D.....	18
2.7.3	Justificación de la relevancia industrial del proyecto y su potencial para innovar en la atención médica.	19
3.	OBJETIVOS	20
3.1	OBJETIVOS GENERALES.....	20
3.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS	20
4.	METODOLOGÍA	21
4.1	Identificación de las necesidades y fase de aprendizaje.	21

4.2	Herramienta de Diseño. FUSION 360.....	22
4.3	Funcionalidades y características de la herramienta de diseño	23
4.4	Herramienta de laminado. BCN3D Stratos UltiMaker.....	24
4.4.1	Impresora 3D.....	25
4.4.1.1	BCN3D Sigmax.....	26
4.5	Identificación de los requisitos, requerimientos y fase de diseño.....	27
4.5.1	Integración de las filosofías de diseño en el proyecto CHEMOBOX.....	28
4.5.1.1	Diseño para ensamblado.....	28
4.5.1.2	Diseño para fabricación.....	28
4.5.1.3	Diseño para el medioambiente.....	29
4.5.2	Identificación de requerimientos.....	29
4.5.3	Aspectos para tener en cuenta en la impresión de la CHEMOBOX.....	30
4.5.3.1	Selección del material.....	30
4.5.3.2	Criterios generales de diseño y parametrización.....	31
5.	RESULTADOS Y/O DISCUSIÓN.....	35
5.1	Diseño inicial de CHEMOBOX.....	35
5.2	Diseño CHEMOBOX. Visualización etapa por etapa	38
5.3	Análisis del resultado.....	44
5.4	Detección de defectos y posibles mejoras	47
6.	CONCLUSIONES	50
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Ejemplos de CHEMOBOX [11].	10
Figura 2. Diferencia de ApS con otras metodologías comunitarias. [12]	11
Figura 3. Etapas en el proyecto ApS.	11
Figura 4. Comparativa Costes unitario vs Volumen de producción.[14]	13
Figura 5. Anisotropía en las capas de la CHEMOBOX. [12]	14
Figura 6. FDM. Extrusión del filamento fundido.	17
Figura 7. Flujo de archivos en impresión 3D.	24
Figura 8. Componentes de una impresora 3D.	26
Figura 9. Impresora BCN3D SigmaX.	27
Figura 10. Patrones de relleno [12]	31
Figura 11. Ejemplo: Diferencias de impresión en función del espesor de capa. [31]	32
Figura 12. Ejemplo: Pérdida de pasos en el motor. [31]	32
Figura 13. Ejemplo: Defectos por temperaturas de extrusión altas. [32]	33
Figura 14. Ejemplo: Defecto por temperaturas de extrusión bajas [33]	33
Figura 15. Ejemplo: Defecto por pandeo.[35]	34
Figura 16. Mecanismo BRIM en la plataforma de adhesión.[36]	34
Figura 17. Diseño inicial CHEMOBOX.	35
Figura 18. Soporte y eje de la bisagra.	36
Figura 19. Cilindro hueco unido a la tapa.	36
Figura 20. Diseño inicial, análisis centro de masa y punto de equilibrio.	37
Figura 21. Diseño inicial, análisis centro de masa y punto de equilibrio.	37
Figura 22. Alzado del plano de las tapas [mm].	38
Figura 23. Sólido inicial sobre el que se hará la geometría [mm].	39
Figura 24. Forma del perfil [mm].	39
Figura 25. Figuras del sólido con planos de simetría.	40
Figura 26. Perfiles de tapas vacías y nervaduras [mm].	41
Figura 27. Plano acotado del asa [mm].	41
Figura 28. Tapa con asa y gancho [mm].	42
Figura 29. Boceto del tapa-cubos y nuevo componente [mm].	43
Figura 30. Levas de la tapa superior [mm].	43
Figura 31. Soportes utilizados para las partes en voladizo.	44
Figura 32. Tiempo de impresión de la tapa inferior.	45
Figura 33. Tiempo de impresión de la tapa superior.	45
Figura 34. Tiempo de impresión del tapa-cubos.	45
Figura 35. Resultado final con la caja cerrada y abierta.	46

Figura 36. Personalización de la CHEMOBOX.....	47
Figura 37. Defecto por poca adhesión de la primera capa.	47
Figura 38. Defecto en el gancho debido al cambio de filamento.	48
Figura 39. Defecto en el asa por la separación de los soportes.	49
Figura 40. Defecto de cierre debido al ajuste entre nervadura e imán.	50

INDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Tabla comparativa propiedades mecánicas material (1).[12]	30
Tabla 2. Tabla comparativa propiedades mecánicas material (2).[12]	30
Tabla 3. Punto de fusión e impresión de materiales.	31
Tabla 4. Parámetros escogidos para FDM.....	44

1. RESUMEN

El Trabajo de Final de Grado presentado en este documento es un proyecto realizado a través de la metodología Aprendizaje-Servicio, con el objetivo principal de fabricar una pieza utilizando tecnologías de fabricación aditiva, más comúnmente conocidas como impresión 3D, para brindar un servicio a un paciente oncológico infantil.

Esta estrategia educativa combina el aprendizaje, con la participación en la sociedad, brindando un servicio a la comunidad o a individuos específicos. De esta manera, se busca que el alumno adquiera nuevos conocimientos y los aplique a una necesidad comunitaria real, creando una sinergia entre el conocimiento, el desarrollo personal y la mejora de la comunidad.

Este proyecto se enfoca en la adquisición de competencias en el uso de softwares de diseño profesionales y en la capacitación para llevar a cabo un proceso productivo real. Esto se plasma en la fabricación de una CHEMOBOX mediante técnicas de fabricación aditiva FDM (*Fused Deposition Modeling*).

La CHEMOBOX es una caja diseñada para cubrir y proteger la bolsa de quimioterapia que llevan los pacientes oncológicos infantiles en el porta-sueros durante su tratamiento, tratando de ocultar al “monstruo” que los acompaña. Este periodo de hospitalización puede tener impactos tanto físicos, como psicológicos, afectando negativamente la salud mental de los pacientes.

Los objetivos del proyecto se dividen en tres ámbitos: educativo, social y personal, tomando como guía algunos de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) de la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas.

En el ámbito educativo, los objetivos incluyen la adquisición de conocimientos sobre software de diseño industrial, parametrización y manejo de herramientas de fabricación aditiva, así como el razonamiento crítico a lo largo del ciclo completo de un proyecto de APS, desde el análisis del problema hasta la fabricación del objeto final y su impacto en el paciente.

En el ámbito social, los objetivos abarcan la expansión de la empatía y la sensibilización social, comprendiendo las experiencias y desafíos de los pacientes. También se busca desarrollar el sentido de responsabilidad al identificar problemas sociales y encontrar soluciones, mejorando la experiencia y estancia del paciente durante el tratamiento, lo que puede influir positivamente en su recuperación emocional, como a nivel biológico.

En cuanto a los objetivos personales, se diferencia entre el desarrollo personal y profesional. A nivel personal, se busca adquirir habilidades técnicas en el uso de software de diseño y manufactura, fomentar la creatividad y la innovación en el rediseño de una CHEMOBOX funcional y ergonómica. En el desarrollo profesional, los objetivos incluyen la adquisición de

competencias técnicas y habilidades de gestión de proyectos, y la capacidad de comunicar o presentar ideas técnicas.

El proyecto se desarrolló en cuatro etapas basadas en la metodología *Aprendizaje-Servicio*. En la primera etapa, **Diseño y planificación**, se estudian las necesidades de la comunidad y se generan ideas que integren el conocimiento de FDM con servicios que se pudiesen brindar a la comunidad.

En la segunda etapa, **Implementación**, se adquieren los conocimientos necesarios para ejecutar el proyecto de manera óptima.

La tercera etapa, **Integración curricular**, permite al alumno aplicar los conocimientos adquiridos durante el grado en un contexto real, diseñando y fabricando una pieza con el apoyo de competencias adicionales en software de diseño industrial y dispositivos de fabricación.

Finalmente, una vez fabricada la pieza, se personaliza la caja para generar un impacto positivo en la calidad de vida de los pacientes, considerando sus gustos o motivaciones. El objetivo es satisfacer las necesidades del paciente y proporcionar un apoyo emocional, lúdico y educativo durante su tratamiento, contribuyendo así a su bienestar general y facilitando su recuperación.

2. INTRODUCCIÓN

2.1 Descripción del problema.

El tratamiento oncológico presenta una serie de desafíos que no solo afectan al campo de la medicina sino también en términos de la experiencia y el bienestar de los pacientes. Dentro de estos desafíos se ha identificado como crítica, la gestión de la bolsa de quimioterapia durante la administración al paciente. Esta bolsa contiene los agentes quimioterapéuticos necesarios para el tratamiento, esta debe de estar conectada durante largos periodos de tiempo al paciente. Esto supone una serie de problemas que afectan tanto al equipo médico, al paciente como al entorno hospitalario en general.

2.1.1 Desafío para los pacientes.

- **Movilidad reducida:** El paciente ve reducida su movilidad ya que se ve obligado a mantener una conexión continua con el porta-sueros que transporta la bolsa de quimioterapia. Esto puede tener efectos negativos en su bienestar general y en la experiencia hospitalaria, ya que esta restricción, puede generar incomodidad física y psicológica que se suman a la situación de vulnerabilidad en la que se encuentran debido a la enfermedad y el tratamiento [1].
- **Riesgo de Daño:** Aunque las bolsas cumplen los estándares de seguridad, esto no asegura una resistencia del 100% y las bolsas son susceptibles a daños accidentales, como pueden ser

pinchazos o derrames. Este tipo de situaciones pueden verse más frecuentemente en niños debido a la naturaleza activa y curiosa, que estos experimentan durante esa etapa vital [2].

- Impacto psicológico: El efecto que puede generar la visión constante de la bolsa de quimioterapia y el resto de los instrumentos médicos, puede ser una fuente de estrés y ansiedad para el paciente [3]. Por lo que la creación de un ambiente de tratamiento más amigable y confortable puede hacer que el impacto de estas consecuencias se vea notablemente reducidas. Suponiendo una fortaleza para el paciente a la hora de afrontar la estancia durante su tratamiento.

2.1.2 Desafío para equipo médico.

- Manipulación y Seguridad: El personal médico también tiene que enfrentarse a una serie de dificultades como es el manejo y gestión de las bolsas de quimioterapia. Estas tienen que ser manejadas con cuidado para evitar daños y mantener la asepsia¹. Se pensó entonces que teniendo en consideración estos aspectos, si se diseñaba una caja ergonómica para el equipo médico podía suponer una ventana extra de protección para que el tratamiento aumentase su probabilidad de éxito y evitar posibles complicaciones accidentales que pusiesen en riesgo el tratamiento, causando consecuencias en el paciente.
- Control de infecciones: Teniendo en cuenta los aspectos anteriores, se pensó también en un diseño ergonómico que cumpla con los estrictos protocolos de manipulación de las bolsas y los equipos utilizados. Disminuyendo así el contagio de una infección nosocomial².

2.1.3 Salud mental del paciente pediátrico y familiares. Posibles beneficios mediante el uso de CHEMOBOX.

El impacto psicológico que supone el tratamiento quimioterapéutico en los pacientes pediátricos es un aspecto muy importante dentro del bien estar del individuo. Aunque los estudios específicos sobre si el uso de la CHEMOBOX y como esta puede impactar en la vida de los pacientes no existan [4]. Aunque la comercialización y de estos dispositivos no sea masiva y sean pocos los niños a los que les llega un dispositivo como este, el personal médico encargado de darles el tratamiento a los pacientes, aseguran que estos experimentan un tratamiento más llevadero, con una mejora significativa en su salud mental. Este dispositivo les ayuda a aceptar mejor la medicación, evitando el rechazo que a veces pueden presentar al medicamento que puede salvarles la vida [5]. Pero no son solo los pacientes los que sufren efectos psicológicos cuando, sino que también los familiares más cercanos son objetos de estos posibles efectos, especialmente los padres [6]. La convivencia con esta enfermedad afecta tanto físicamente como mentalmente a

¹ Ausencia de microorganismos que pueden ser causantes de infecciones y enfermedades

² Infección adquirida durante el tiempo que el paciente está hospitalizado

los familiares, generando desconcierto y ansiedad. Los niños, normalmente, no comprenden que está sucediendo realmente, y la hospitalización les supone un cambio drástico en su entorno habitual [7]. Este cambio afecta a su lugar de residencia, relaciones y libertad, y puede provocar alteraciones en sus emociones y en su comportamiento. Generando estrés, miedo, ansiedad, depresión, rechazo a la medicación, falta de motivación, evitación, agresividad y déficit de atención [8].

Con el fin de reducir esos efectos, los hospitales utilizan diferentes estrategias y programas de apoyo a los pacientes infantiles. Este tipo de estrategias incluyen terapias de entretenimiento, como la payaso-terapia, musicoterapia o teatro-terapia, así como la creación de espacios adaptados y decorados con temas alegres en las plantas de oncología [9]. Tratando de hacer que el ambiente sea más esperanzador y positivo alrededor de los niños y familias que lo sufren.

Aunque no haya estudios sobre los beneficios psicológicos de la CHEMOBOX en los pacientes, las opiniones positivas recibidas por parte de los equipos sanitarios afirman que el uso de esta sugiere una mejora en el estado de ánimo de los pacientes oncológicos infantiles [4]. El diseño personalizado del dispositivo acorde con los gustos del paciente contribuye a que la medicación sea vista como un proceso menos intimidante para los niños, mejorando su bienestar emocional y reduciendo la evitación a recibir el tratamiento. Esta mejora del estado emocional en los niños supone también un efecto positivo en los familiares más cercanos al ver que sus hijos están manejando la situación de una manera más esperanzadora y llevadera. Por estos motivos, el rediseño y la fabricación de una CHEMOBOX sirvieron de motivación para desarrollar el presente proyecto.

2.2 CHEMOBOX.

La CHEMOBOX es un dispositivo médico el cual nace de un proyecto de Aprendizaje-Servicio. Este dispositivo con forma de caja se encarga de cubrir, sujetar y proteger la bolsa de quimioterapia que se administra a los pacientes durante su dura etapa de lucha contra la enfermedad. El objetivo principal es el de reducir los efectos negativos y efectos psicológicos que pueden sufrir los niños al verse hospitalizados durante tanto tiempo y sufrir cambios no sólo físicos, si no también bilógicos. Esta iniciativa trata de hacer una experiencia más llevadera personalizando la caja con dibujos animados, superhéroes o un gusto propio del paciente, que se plasma en las cajas como se puede ver en los ejemplos mostrados en la (Figura 1).



Figura 1. Ejemplos de CHEMOBOX [10].

2.3 Proyecto de Aprendizaje-Servicio (ApS).

El Aprendizaje-Servicio es una metodología educativa que combina el aprendizaje académico y los servicios comunitarios. El objetivo principal de esta metodología es el desarrollo del alumno en un nuevo campo, adquiriendo nuevos conocimientos de manera que pueda plasmarlos en un proyecto real, brindando un servicio a la comunidad, o a un individuo en concreto. Los principios fundamentales que soportan a un proyecto ApS pueden verse a continuación.

- Integración curricular: La adquisición de conocimientos y habilidades nuevas, con el fin de plasmarlos en un proyecto real para brindar un servicio a la comunidad hace de esta metodología una manera muy motivadora para que el alumno sienta una motivación extra a la hora de aprender nuevos conocimientos.
- Reflexión crítica: Los estudiantes involucrados en estos proyectos desarrollan habilidades de reflexión estructurada para poder analizar y comprender la experiencia del aprendizaje combinada con la experiencia de servicio brindado.
- Servicios: Los proyectos que se apoyan en esta metodología deben de responder a una o varias necesidades identificadas dentro de la comunidad.

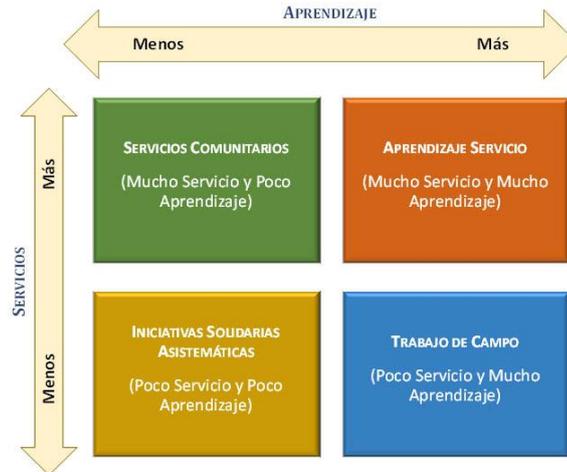


Figura 2. Diferencia de ApS con otras metodologías comunitarias. [11]

- **Colaboración conjunta:** El desarrollo de los proyectos de debe de hacer de manera conjunta, entre el sujeto desarrollador y los beneficiaros del servicio prestado. De esta manera se asegura que las soluciones encontradas son efectivas y funcionales.

En el contexto del desarrollo e implementación del proyecto expuesto en esta memoria, la metodología APS ha jugado un papel integral para realizar la estructura y orientación del proyecto completo. A continuación, se mostrarán las etapas consecutivas que han sido clave para la llevar a cabo el proyecto.

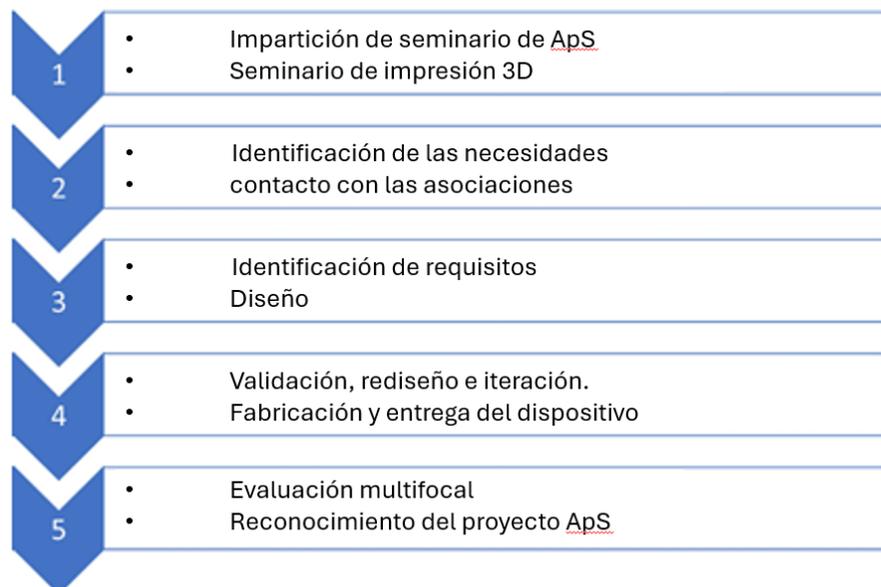


Figura 3. Etapas en el proyecto ApS.

2.4 Introducción a la fabricación aditiva (impresión 3D) y su relevancia en el ámbito industrial y médico.

La fabricación aditiva también conocida como impresión 3D, es una tecnología de fabricación que ha revolucionado distintos sectores industriales permitiendo crear piezas complejas de alta precisión y eficiencia. Esta tecnología ofrece una serie de ventajas en cuanto a personalización reducción de costes y tiempos de producción. A diferencia de los métodos de fabricación tradicionales, que generalmente implican técnicas de moldeo o corte y perforado de estas, la fabricación aditiva nos permite generar objetos tridimensionales de cualquier complejidad mediante la adición consecutiva de capas de material. El origen de estas piezas comienza con la creación de un modelo digital, lo que nos ofrece esta ventaja de personalización del diseño y flexibilidad mencionada anteriormente.

2.5 Ventajas y desventajas. Relevancia de la fabricación aditiva en ámbito industrial.

Dentro del sector industrial este tipo de tecnología supone una revolución por una serie de características claras que ofrece, generando ventajas frente a otros procesos[12].

- **Prototipado rápido:** Las empresas ven un gran ahorro de tiempo debido a la facilidad para crear prototipos de manera muy rápida pudiendo ahorrar muchos tiempos y costes en las fases de diseño y pruebas del ciclo de desarrollo de un producto.
- **Personalización de la producción:** La fabricación aditiva ofrece una gran ventaja frente a las tecnologías de fabricación tradicionales en este aspecto. Por el simple hecho de la facilidad de crear piezas personalizadas únicas y de bajo volumen de producción. Esto supone que podemos crear este tipo de piezas sin realizar una gran inversión en moldes y en el diseño de estos.
- **Reducción del coste.** Esta tecnología es la más barata en comparación con tecnologías de moldeo o de mecanizado para lotes de poco tamaño (<150 piezas aproximadamente). Aunque una vez el volumen de producción va aumentando esta tecnología va quedándose atrás en cuanto a reducción de costes. Siendo la fabricación por moldeo formativa la más barata a partir de un volumen de producción de 800 piezas aproximadamente (Figura 4).

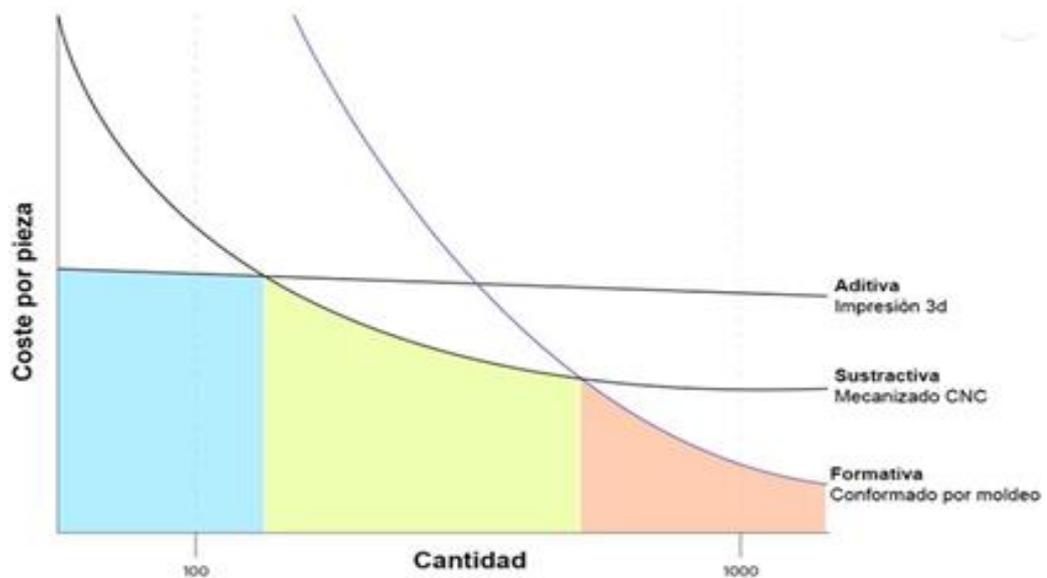


Figura 4. Comparativa Costes unitario vs Volumen de producción.[13]

- Reducción de residuos: El compromiso con las prácticas económicas y más sostenibles que nos ofrece esta tecnología se sale de lo cotidiano, ya que nos ofrece un ahorro agigantado no solo en el material principal y residuos, sino en toda la cantidad de materiales y herramientas que nos ahorramos en el proceso productivo y la posterior obsolescencia de estos.
- Eliminación de los moldes.
- Optimización del diseño: Los ingenieros se ven con la facilidad de crear piezas complejas, las cuales sería imposible hacer mediante el uso de otros métodos de fabricación. Suponiendo una optimización en las propiedades mecánicas y en la funcionalidad del producto. Gracias a la optimización tipológica [14] podemos analizar y simular distintos estados y situaciones a los que puede estar sometido nuestro producto final, antes de producirlo. De esta manera podemos optimizar la pieza antes de la puesta en marcha de la fabricación, suponiendo ahorros vinculados a los cambios durante el proyecto, ahorros en material, etc.

Pero como todo proceso de producción ofrece unas ventajas frente al resto, pero eso supone que también existen una serie de desventajas, las cuales se identifican y muestran a continuación [12].

- Productividad limitada. La velocidad de fabricación y el tamaño de las piezas son una limitación para esta tecnología ya que las velocidades no son iguales que las de un proceso en serie como puede ser el modelo por inyección o el mecanizado.
- Costes de producción altos para grandes series, a diferencia que para pequeños lotes. (Figura 4)
- Coste de los materiales. Los materiales usados para este tipo de tecnología pueden ser más caros en el formato de uso para la fabricación aditiva que en otros procesos de fabricación.

Esto se debe al preprocesamiento que se necesita para llegar al consumible en su forma correcta para la fabricación aditiva.

- Peor acabado dimensional.
- Propiedades mecánicas anisótropas. Esto significa que la pieza no tiene las mismas propiedades mecánicas en todas las direcciones [12,15]. Esto es debido a que la impresora va extruyendo capas de un material en un mismo plano, si superponemos varias capas en una misma dirección, la pieza tendrá mucha resistencia a tracción en esa dirección, pero en cambio muy malas propiedades a tracción en la dirección perpendicular.

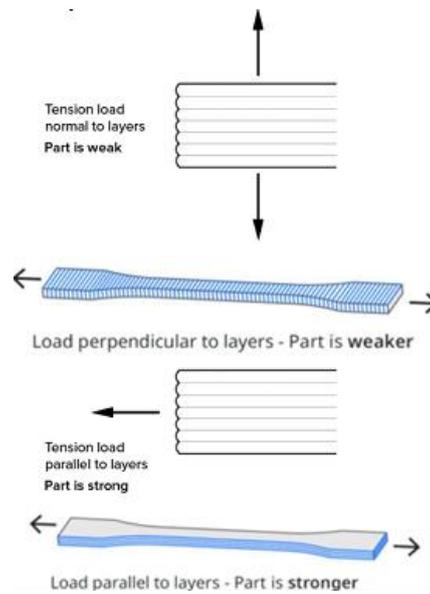


Figura 5. Anisotropía en las capas de la CHEMOBOX. [12]

2.5.1 Aplicaciones de la fabricación aditiva en el ámbito médico.

La fabricación aditiva ha permitido avances importantes en la creación de prótesis personalizadas. Estas prótesis se ajustan con precisión a la anatomía de cada individuo, mejorando su funcionalidad, ergonomía y comodidad. Gracias a esta tecnología, los pacientes pueden disfrutar de una experiencia más natural y eficiente con sus prótesis.

En el ámbito médico, la impresión 3D ha hecho posible la creación de modelos anatómicos detallados. Estos modelos replican órganos y estructuras del cuerpo humano con gran precisión, lo que permite a los equipos médicos simular procedimientos quirúrgicos y anticipar posibles complicaciones. Esta capacidad de preparación y planificación mejora significativamente los resultados de las intervenciones.

Además, la fabricación aditiva ha revolucionado la producción de dispositivos médicos personalizados, como implantes y férulas. Estos dispositivos se diseñan específicamente para satisfacer las necesidades individuales de cada paciente, optimizando así la eficacia de los

tratamientos médicos. La personalización asegura que los pacientes reciban soluciones perfectamente adaptadas a sus cuerpos y condiciones.

Por último, en el ámbito de la investigación y la educación, los modelos impresos en 3D se han convertido en herramientas esenciales. Se utilizan ampliamente para explorar nuevos tratamientos y para la enseñanza de la anatomía, proporcionando representaciones tangibles que facilitan el aprendizaje y la investigación. Estas herramientas son valiosas tanto para los estudiantes como para los profesionales de la salud, enriqueciendo su comprensión y habilidades en el campo de la medicina.

2.5.2 Implicación del proyecto en el ámbito médico.

El proyecto de diseño y de fabricación de la CHEMOBOX se enmarca en el contexto de innovación en el ámbito médico. El proyecto no solo busca la aplicación de las tecnologías de fabricación aditiva para resolver un problema práctico, sino que también busca la alineación con la tendencia de la personalización de la atención médica.

Mediante el uso de tecnologías avanzadas, como puede ser la impresión 3D, el proyecto adquiere el potencial de marcar una diferencia significativa en la calidad de vida de los pacientes infantiles que reciben un tratamiento oncológico, dando visibilidad a la capacidad de la fabricación aditiva para contribuir a soluciones innovadoras y centradas no solo en el paciente, sino también al equipo médico en el campo de la medicina, dando soluciones multidisciplinarias con distinto público objetivo dentro del entorno.

2.6 Relevancia Científico-Tecnológica y Estado del Arte.

2.6.1 Avances en fabricación aditiva.

En el siguiente apartado, se presenta un resumen de algunas de las tecnologías de fabricación aditiva más avanzadas [16] y sus aplicaciones en el sector sanitario:

La Stereolithography (SLA) emplea un láser para curar y solidificar resinas fotopoliméricas líquidas capa por capa. Esta tecnología es utilizada para la creación de piezas detalladas, encontrando aplicaciones en el campo dental y médico, así como en la joyería, debido a la alta precisión y detalle que puede alcanzar.

Por otro lado, el Selective Laser Sintering (SLS) utiliza un láser para sinterizar partículas de polvo de materiales como plásticos, cerámicas o metales. En el ámbito médico, esta tecnología es frecuentemente utilizada para la fabricación de implantes, proporcionando soluciones eficaces y personalizadas para los pacientes.

La tecnología de Binder Jetting se basa en el uso de un agente aglutinante que une las partículas de polvo, las cuales posteriormente son sometidas a un proceso de sinterización. Esta técnica es comúnmente empleada para la producción de piezas de gran escala y moldes, ofreciendo versatilidad en la creación de componentes complejos.

Finalmente, Material Jetting deposita pequeñas gotas de material fotopolimérico que son curadas de manera instantánea mediante luz UV. Esta tecnología es especialmente útil para la fabricación de modelos médicos y dentales de alta resolución, proporcionando una precisión y detalle excepcionales para aplicaciones clínicas y de diagnóstico.

2.6.2 Fused Deposition Modeling (FDM)

A continuación, se hará hincapié en la tecnología utilizada para la realización de este proyecto, dentro de las tecnologías de fabricación aditiva. Entre todas las tecnologías de impresión 3D, FDM destaca por la facilidad para acceder a la tecnología, la versatilidad que brinda y el gran rango de aplicaciones en las que se puede usar.

Esta tecnología nace a finales de los años 80 cuando Scott Crump, cofundador de Stratasys, Ltd., junto a su mujer Lisa Crump fundaron Stratasys en 1988, presentando la patente [17,18]. Pero no sería hasta 1992, cuando se lanzó la primera máquina FDM comercial, marcando el inicio industrial de esta tecnología.

Durante los años 90 la empresa continuó desarrollando y mejorando la tecnología FDM, aumentando cada vez más la precisión, variedad y calidad de las piezas fabricadas mediante el uso de esta tecnología. En los años 2000 la expiración de patentes permitió a otros competidores entrar en este mercado por lo que este método de fabricación experimentó grandes avances. Sería en 2005, cuando Adrian Bowyer entró en juego con el proyecto RepRap [19], popularizando las impresoras 3D. En 2010, la impresión en 3 dimensiones empezó a ser más accesibles para la población y las pequeñas empresas, debido a la disminución de costes y mejoras importantes en la tecnología.

Hoy en día esta tecnología está presente dentro de los programas educativos de muchos lugares del mundo, dando visibilidad a muchos estudiantes conceptos relacionados con el diseño, la ingeniería y la industria de la manufactura. Además, la continua investigación en centros de investigación y centros educativos superiores de todo el mundo ha supuesto una serie de mejoras e innovaciones como puede ser la utilización de materiales avanzados, como las fibras de carbono reforzadas y los filamentos flexibles. Mejorando además la precisión y la velocidad con la que estas impresoras generan piezas. Optimizando la producción y facilitando la creación de piezas cada vez más complejas.

El funcionamiento de la tecnología se basa en la extrusión de un material termoplástico a través de una boquilla calentada la cual hace que el sólido funda y pase a un estado en el que puede fluir por esta. El material fundido se deposita en forma de filamento, capa por capa sobre una plataforma llamada cama caliente donde se enfría y solidifica formando el objeto final. Los materiales más comúnmente utilizados para la fabricación de las piezas mediante FDM son el ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), PLA (Ácido Poliláctico), PETG (Polietileno Tereftalato Glicol) y materiales compuestos como los filamentos de fibra de carbono reforzada.

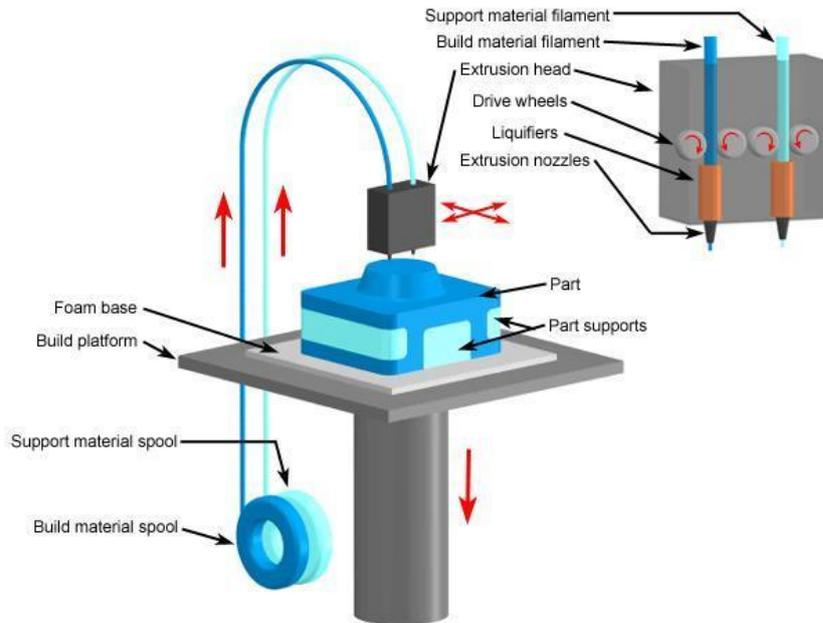


Figura 6. FDM. Extrusión del filamento fundido.

La tecnología ha experimentado avances significativos en los últimos años en cuanto a términos de precisión, velocidad de producción y calidad final de las piezas se refiere.

Las mejoras en la calidad de las superficies de las piezas generadas se ven incrementadas gracias a los nuevos diseños de las boquillas y sistemas de enfriamientos, generando superficies cada vez más lisas y detalladas. Las aplicaciones potenciales de FDM también se han visto ampliadas gracias al desarrollo de nuevos filamentos, en los cuales se incluyen materiales biodegradables y de alta resistencia. Además, la implementación del uso de algoritmos avanzados y los softwares de slicing han optimizado los parámetros de impresión, reduciendo el tiempo de producción y mejorando la precisión dimensional.

La elección de FDM para la producción de la CHEMOBOX se basa en primer lugar en la capacidad de personalización para la producción de la pieza, esta flexibilidad y facilidad de personalizar el diseño de la caja ha sido un punto a favor para tener en cuenta las necesidades de los pacientes y médicos, y adaptar el nuevo diseño con facilidad teniendo en cuenta todos los requisitos que la pieza requería.

Por otra parte, la rapidez con la que se podía diseñar y fabricar la pieza se vio como otro punto para tener en cuenta a la hora de diseñar la nueva CHEOBOX, para en un futuro, iterar y mejoras de una manera rápida y eficaz el diseño del artefacto.

Por último, la relación de coste-eficiencia de la fabricación aditiva nos brinda un proceso económico a la vez que eficiente en el sentido de las propiedades físicas y mecánicas de las piezas resultado, pudiendo producir dispositivos médicos asequibles sin comprometer la calidad de estos.

2.7 Contextualización Industrial

2.7.1 Descripción del mercado de la impresión 3D y su crecimiento en el sector médico.

El impacto causado por la tecnología en muchos de los sectores industriales ha sido considerable, pero en uno de los sectores donde este tipo de tecnologías ha tenido un gran impacto ha sido en el ecosistema sanitario. La capacidad anteriormente mencionada de crear estructuras personalizadas y compleja, usando materiales biocompatibles ha conseguido abrir un mundo muy amplio de posibilidades.

El mercado de la impresión 3D en el sector sanitario ha continuado su crecimiento durante los últimos años. Según un informe reciente, se estima que el mercado global de dispositivos médicos fabricados mediante esta tecnología alcanzará un volumen de 3770 millones de dólares para el año actual, suponiendo una tasa de crecimiento anual compuesta del 16,4% con respecto al año 2023 [20,21]. El crecimiento reflejado es debido a la creciente demanda de dispositivos médicos personalizados, prótesis, implantes, ortesis, y modelos anatómicos para planificaciones quirúrgicas. No conformes con este crecimiento el volumen estimado del mercado para el año 2032 sea de 8440 millones de dólares [22].

2.7.2 Revisión de las normativas y estándares aplicables a dispositivos médicos impresos en 3D.

Los procesos de fabricación de dispositivos médicos mediante el uso de fabricación aditiva están sujetos a una normativa y estándares rigurosos, con el fin de garantizar la seguridad y eficacia de estos productos. La *Food and Drug Administration (FDA)* estadounidense y la *European Medicines Agency*, han establecido una serie de normas y directrices para fabricar mediante esta tecnología en el sector médico [23]. Teniendo en cuenta desde la etapa de diseño, producción, validación y el control de calidad de los dispositivos. Una serie de directrices marcadas por la FDA, conocidas como *Technical Considerations for Additive Manufactures Medical Devices*,

abordan aspectos como la calificación de materiales, el diseño y la fabricación, pruebas de rendimiento y la biocompatibilidad de los materiales cuando estos van a estar en contacto directo con el cuerpo de los pacientes. El cumplimiento de estos estándares es clave para asegurar el correcto funcionamiento de los dispositivos, la seguridad y la eficacia de estos. A estas directrices tenemos que sumarle una serie de estándares internacionales relevantes como pueden ser la norma ISO 13485 para sistemas de gestión de calidad en dispositivos médicos y la ISO/ASTM 52900, que proporciona un marco general para la terminología y las especificaciones de los procesos de fabricación aditiva [24,25].

Durante el desarrollo de la CHEMOBOX, se ha prestado especial atención al cumplimiento de los estándares, para que el producto final sea seguro, ergonómico y funcional, tanto para los pacientes como para el equipo médico.

2.7.3 Justificación de la relevancia industrial del proyecto y su potencial para innovar en la atención médica.

La creación de la CHEMOBOX toma un puesto dentro del contexto médico-industrial en pleno crecimiento, en el que se encuentra las tecnologías usadas para su creación. La innovación en dispositivos que puedan servir de ayuda para el sector brinda una oportunidad para mejorar la atención sanitaria y conseguir hacerla cada vez más personalizada [26]. En cuanto al impacto que puede suponer este proyecto, no solo es el de mejorar la calidad de vida de los pacientes oncológicos infantiles, sino también el de la optimización de procesos dentro del entorno hospitalario [27]. La personalización de la CHEMOBOX según la personalidad y gustos del paciente puede suponer una reducción del estrés y de la incomodidad que puede suponerle la situación que está viviendo, mejorando así su experiencia.

El éxito del proyecto puede servir como modelo para futuras innovaciones en el campo de la impresión 3D médica. Como resultados se pueden obtener nuevos desarrollos significativos en el diseño y producción de dispositivos personalizados, fruto de la combinación del conocimiento técnico sobre la fabricación aditiva y una fuerte comprensión de las necesidades clínicas. Así el proyecto reflejado en esta memoria no solo sirve de ejemplo de avance técnico, sino que, además, puede suponer un ejemplo de cómo la combinación de la colaboración multidisciplinar con los avances tecnológicos puede generar soluciones valiosas y prácticas en la sociedad actual. En nuestro caso, en el sector médico, integrando tecnologías avanzadas de fabricación aditiva con un enfoque centrado en el paciente, se puede alcanzar mejoras significativas en la calidad de la atención médica y la experiencia de quien la tiene que vivir de primera mano una etapa de su vida dentro de un entorno sanitario/hospitalario.

3. OBJETIVOS

Profundizando en los objetivos del proyecto, a continuación se presenta un desglose de los objetivos que han servido de motor para enfrentar cada una de las etapas del mismo.

3.1 OBJETIVOS GENERALES

El objetivo general del proyecto es la fabricación de una CHEMOBOX utilizando tecnologías de fabricación aditiva, enfocándose en mejorar la experiencia hospitalaria de los pacientes oncológicos infantiles durante su tratamiento.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Una vez clara la dirección a tomar, se definieron las “vías” para completar cada etapa del camino. Para ello se definieron una serie de objetivos específicos.

Objetivos Educativos.

- Adquirir el conocimiento necesario para el dominio de los productos Autodesk Fusion 360 y BCN3D Stratos.
- Adquirir el conocimiento sobre la técnica de FDM, así como la parametrización durante la etapa de diseño y fabricación, optimizando el proceso productivo y el producto final.
- Manejar y parametrizar las herramientas FDM
- Implementar técnicas de diseño y fabricación para producir un dispositivo médico real.
- Desarrollar la capacidad de reflexión crítica continua durante el transcurso del proyecto.

Objetivos sociales.

- Desarrollar responsabilidad civil y compromiso cívico fomentando la empatía y la sensibilización hacia los desafíos que enfrentan los pacientes oncológicos infantiles, asumiendo un rol activo en la identificación de estos problemas.
- Generar un impacto en la comunidad hospitalaria mejorando la estancia del paciente y la experiencia de los equipos médicos, siguiendo una evaluación constante para asegurar ambos objetivos.

Objetivos personales.

- Experimentar un desarrollo personal significativo, mejorando habilidades de autogestión, trabajo en equipo y creatividad, participando en el proceso de innovación de un modelo existente de CHEMOBOX.

- Preparación profesional del alumno mediante la adquisición de competencias técnicas y habilidades de gestión de proyectos, desarrollando la capacidad de comunicación y presentación efectiva de ideas técnicas.

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

- ODS 3: Salud y Bienestar: Contribuir a garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos los individuos en condiciones adversas.
- ODS 4: Educación de Calidad: Promover oportunidades de aprendizaje a través de proyectos reales que solucionan problemas de la sociedad.
- ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura: Fomentar la innovación en la industria médica mediante el uso de tecnología manufacturera.

Objetivos de emprendimiento social.

- Formar parte de un equipo que busca soluciones a problemas sociales, desarrollando habilidades aplicables en el futuro.
- Facilitar la visibilidad de proyectos APS, promoviendo la metodología en los centros educativos superiores.
- Ganar autonomía para iniciar y ejecutar un proyecto APS de manera independiente.

4. METODOLOGÍA

Llegados a este punto se profundizará en cada una de las fases del proyecto ApS (Figura 3). Se seguirá cada una de las fases y se llegará al bajo nivel de las diferentes metodologías utilizadas en cada una de las fases.

4.1 Identificación de las necesidades y fase de aprendizaje.

En primer lugar, cuando se planteó la idea de hacer un proyecto de APS. El equipo docente nos presentó la idea de poder combinar las competencias de la fabricación aditiva brindando un servicio a la comunidad y se pensó que era una oportunidad muy buena para poder desarrollar nuevas competencias, poniendo en práctica parte de la asignatura de Tecnologías de Fabricación del grado de IOI, con el fin de brindar un servicio comunitario.

Esta etapa de identificación de las necesidades fue complicada y no era fácil conocer las necesidades de la sociedad que podíamos solucionar a través de la tecnología. Por lo que se comenzó a hablar con asociaciones y entidades que brindan servicios por si entre las dos partes, éramos capaces de encontrar una necesidad. Hasta que se detectó que una asociación llamada Ayúdame 3D, realizaba los proyectos de CHEMOBOX y se puso la idea de realizar un rediseño de este dispositivo, teniendo en cuenta el feedback del personal médico que lidiaba con algunos

diseños que ya estaban implementados en centros hospitalarios. Se puso como requisito no solo cumplir con la función social durante el periodo de tratamiento, sino que también se pensó en que este dispositivo fuese funcional a posteriori, y lo pudiese usar a modo de merendero o porta juguetes. Los aspectos mencionados y fueron evaluados, llegando a la conclusión que eran de la suficiente relevancia como para ponernos en marcha con el proyecto de CHEMOBOX, convirtiendo el trabajo de final de grado en un proyecto de Aprendizaje-Servicio.

Con el proyecto una vez definido se pasó a adquirir el conocimiento necesario para la correcta realización de este. Los tutores del ApS, nos impartieron dos seminarios los cuales nos sirvieron como primer contacto con la metodología y con las tecnologías que se tenían que usar.

- Aprendizaje experiencial a través de un servicio a la comunidad. Impartido por la docente Judith Gañán Aceituno.
- Curso de Fabricación aditiva para ApS. Impartido por la profesora Sonia García Rodríguez.

Una vez se completaron estas sesiones, era hora de explorar más a fondo cada una de las tecnologías que se iban a utilizar, completando la fase de adquisición de nuevos conocimientos y competencias. A continuación, se exponen las tecnologías utilizadas en base al conocimiento adquirido por el alumno.

4.2 Herramienta de Diseño. FUSION 360.

La primera etapa del proyecto en la que se utiliza una tecnología para la producción del dispositivo es la de Diseño. Durante el grado de Ingeniería en Organización industrial, mantuvimos el contacto con la asignatura de expresión gráfica donde pudimos conocer las bases del diseño poniéndolas en práctica con el software AUTOCAD. Al tratarse de un proyecto de aprendizaje servicio, se decidió realizar con otro software de diseño industrial llamado Fusión 360.

Fusion 360 es un producto desarrollado por Autodesk, este producto es muy utilizado en muchas industrias para el diseño de los productos, simulaciones y manufactura digital. El producto ofrece una integración unificada en una plataforma que recoge todas las funcionalidades de las herramientas necesarias para el diseño industrial de un producto. Haciendo más fácil la colaboración y la iteración rápida durante el proceso de desarrollo de cualquier producto.

4.3 Funcionalidades y características de la herramienta de diseño.

Fusion 360 nos permite crear modelos detallados mediante herramientas de modelado directo y paramétrico. En el caso expuesto se ha utilizado el enfoque paramétrico. Este enfoque es característico por el uso de parámetros y restricciones que definen la geometría de la pieza. Desde el inicio del programa se genera un historial de construcción, lo que permite cambiar y modificar pasos anteriores sin afectar a pasos posteriores directamente, aunque parámetros posteriores que guarden una relación con los modificados, también se verán modificados, pero guardando la relación en todo momento.

Una de las ventajas más destacadas de *Fusion 360* es la capacidad de almacenamiento y procesamiento en la nube. Esta arquitectura facilita el acceso desde cualquier lugar y dispositivo, permitiendo a los miembros de un mismo equipo trabajar simultáneamente con una versión del producto centralizada y actualizada. Esta característica puede suponer una serie de ventajas en esta etapa, como pueden ser el ahorro de tiempos y costes, además de la capacidad de generar modelos muy complejos desde dispositivos que originalmente no serían capaces de realizar todo este procesamiento computacional para generar modelos precisos y simulaciones sobre estos.

Las herramientas de simulación que permiten al usuario realizar un análisis de estrés, propiedades mecánicas y térmicas entre muchas otras. Estas simulaciones fueron importantes a la hora de asegurarnos de que la CHEMOBOX tuviera la resistencia y durabilidad necesarias para cumplir con la función de protección de la bolsa de quimioterapia sin suponer una situación de compromiso al paciente.

Otra de los puntos fuertes de este software, son las capacidades de renderizado avanzado de las que dispone, siendo capaz de generar visualizaciones fotorrealistas del diseño creado. Esto puede servir de gran ayuda para tener una imagen realista de cómo será la pieza final, dándonos la posibilidad de presentar el proyecto a los interesados o a los jefes del proyecto que darán una retroalimentación previa a la fase de producción. Ofreciendo una flexibilidad y rapidez en las fases previas a la producción, lo que puede suponer un gran ahorro de costes. (Foto de la curva de costes con la gestión de cambios en la planificación de producción).

Por último, el programa facilita la información directa de la generación de planos técnicos y documentación necesaria para la fabricación del dispositivo. Las herramientas de Computer-Aided Manufacturing que contiene, nos permite generar directamente preparar el diseño para la impresión 3D, generando el archivo .gcode, interpretado por la impresora 3D. Este código contiene las sentencias y parametrizaciones que la impresora necesita para realizar su función y generar la pieza. (Flujo de datos desde el diseño al archivo .gcode)

4.4 Herramienta de laminado. BCN3D Stratos UltiMaker.

Una vez el modelo ha sido diseñado y fijándonos en el flujo de la figura 7 pasamos a la fase de simulación del laminado. Una vez se ha creado el modelo 3D se debe de exportar el modelo en un archivo STL. Esta extensión del archivo lo que hace es aproximar la superficie del modelo con triángulos (foto de diferencia entre el renderizado y del archivo STL). Este método de triangulación le manda a la impresora información precisa y detallada, como por ejemplo la posición de cada uno de los vértices de cada uno de los triángulos para cada capa, interpretando la información y traduciéndola en movimientos que hace el cabezal mecánico depositando el material fundido exactamente siguiendo el trazado que ordena el archivo con extensión .gcode, consiguiendo reproducir en tres dimensiones el prototipo diseñado en la etapa anterior.

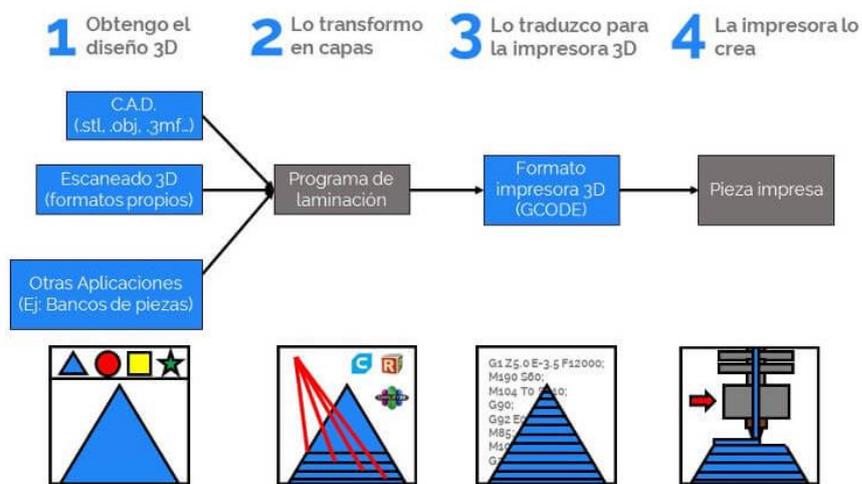


Figura 7. Flujo de archivos en impresión 3D.

El software de laminado tiene como función principal convertir el modelo 3D en las instrucciones que ejecutará la impresora, pero, además, el programa nos permite parametrizar la impresión de la pieza mediante una serie de parámetros como puede ser la temperatura de la extrusión, de la cama caliente, la velocidad de impresión o la resolución de la capa. Estos ajustes son muy importantes y mediante la combinación de estas tendremos una impresión con unas características físicas y mecánicas deseadas. Ma adelante se profundizará en los aspectos de la parametrización y se explicaran estos parámetros y como afectaron a la impresión.

En caso de ser necesarios, el sistema también optimizará la colocación de los soportes necesarios para las partes voladizas de la pieza, en este caso, el asa. Minimizando el material utilizado y facilitando la retirada de estos soportes cuando se finalice la impresión.

Antes de generar el archivo .gcode, BCN3D UltiMaker, interpretará las parametrizaciones que se han hecho y proporcionara una simulación visual de cómo va a ser la impresión del dispositivo. Esto nos podrá ayudar a identificar posibles problemas que puedan surgir o defectos que se puedan

generar, facilitando la identificación de problemas y evitando tener la pieza fabricada antes de darse cuenta de los problemas y volver atrás en esta etapa.

Una vez analizada la tecnología se puede asegurar que juega un papel crucial en esta etapa del proyecto. La capacidad que tiene de gestionar los detalles técnicos de la fabricación aditiva nos asegura que la CHEMOBOX cumplirá con los estándares de calidad y eficacia requeridos y expuestos en (mencionar el apartado de normalización y regularización) requeridos en la aplicación de FDM en el contexto sanitario.

4.4.1 Impresora 3D.

Una impresora 3D es un dispositivo que es capaz de construir un objeto tridimensional capa por capa. Esto es, uno o varios extrusores dependiendo del modelo de impresora que contienen un extrusor por el que sale un filamento de material fundido y va depositándolo capa por capa siguiendo un recorrido marcado por el software de slicing. Cada una de las capas que se depositan se fusionan debido a la temperatura a la que son extruidos generando una estructura rígida tridimensional.

Los componentes principales de una impresora 3D se muestran a continuación:

- **Extrusor:** En el extrusor se funde y se extruye el material con el que se imprime la pieza. Existen impresoras con un único, o varios extrusores lo que permite la combinación de materiales y colores.
- **Hotend:** Parte del extrusor que se calienta y funde el material por encima del punto de fusión. Es el encargado de controlar la temperatura de salida para asegurar una correcta adhesión entre las capas.
- **Cama caliente:** Es la superficie sobre la que se imprime el objeto. Puede ser de diversos materiales como vidrio, metales u otros materiales. Debe de estar nivelada y a una temperatura adecuada para asegurar una buena adhesión de la primera capa.
- **Estructura de soporte/marco:** Este componente sostiene todos los componentes de la impresora.
- **Sistema de movimiento:** Compuesto por tres motores en los ejes X, Y, Z. El sistema mueve la plataforma o el extrusor o una combinación de los dos.
- **Controlador y electrónica:** La placa base y los componentes electrónicos que interpretan los movimientos y los parámetros de impresión interpretando el archivo .gcode y coordina la operativa de la impresora.

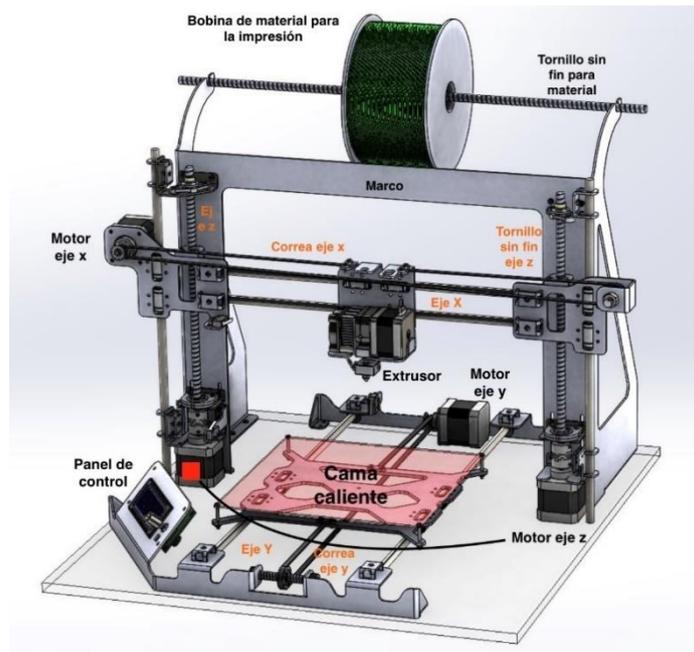


Figura 8. Componentes de una impresora 3D.

4.4.1.1 BCN3D Sigmax.

Una vez conocida el funcionamiento y componentes de las impresoras 3D vamos a pasar a exponer las características de la impresora utilizada para imprimir la CHEMOBOX. El modelo Sigmax de la empresa BCN3D nos ofrece una calidad de impresión alta y una flexibilidad en el uso de materiales. La impresora se escogió porque era la herramienta disponible por la Universidad Rey Juan Carlos en el Campus de Móstoles, que soportaba las dimensiones requeridas por la caja. A continuación, se mostrarán las características de esta impresora.

- Doble extrusor independiente (IDEX). Esta tecnología permite tener dos extrusores independientes que pueden moverse de manera autónoma. Aunque para el proyecto no fue necesario ya que toda la caja iba a ser del mismo material. Supone una ventaja en la calidad de impresión y la posibilidad de crear soportes con materiales solubles, mejorando la postproducción.
- Volumen de impresión mayor. Es capaz de ofrecer un volumen de impresión de 420 x 2970 x 210 mm, ideal para la impresión de piezas grandes.
- Auto bed leveling, o sistema de nivelación automática que permite una nivelación inicial muy precisa de la plataforma de impresión, mejorando la adhesión de la primera capa y reduciendo la posibilidad de que haya fallos en la impresión.
- Interfaz de Usuario. Tiene una pantalla táctil de 4,3 pulgadas que hace más fácil al usuario el control de la impresora.

- Compatibilidad con gran variedad de materiales. La Sigmax es capaz de PLA, ABS, PETG, Nylon y materiales más avanzados como PVA (soportes solubles) y CPE. Ofreciendo una gran versatilidad para distintas aplicaciones que necesiten más o menos requisitos mecánicos
- Sistema de extrusión de alta precisión, compuesto por extrusores de última generación que proporcionan una extrusión precisa y consistente del material, para asegurar los detalles finos con alta calidad, lo que supone un acabado muy bueno de las piezas
- Integración con el BCN3D Cura, software de slicing basado en UltimakeCura donde, como hemos visto anteriormente, podemos parametrizar muchos de los parámetros para optimizar la producción.
- Control remoto y conectividad, permitiéndonos imprimir con una gestión remota, si la impresora está conectada a la red. Pudiendo controlarla desde cualquier lugar, suponiendo una optimización del proceso, pudiendo avanzar en otras etapas del proceso que lo permitan.

Estas características además de la necesidad de una superficie grande por los requerimientos de la pieza hacen de la BCN3D Sigmax, la impresora ideal para la realización del proyecto dentro de las posibles opciones que se tenían a disposición del alumno.

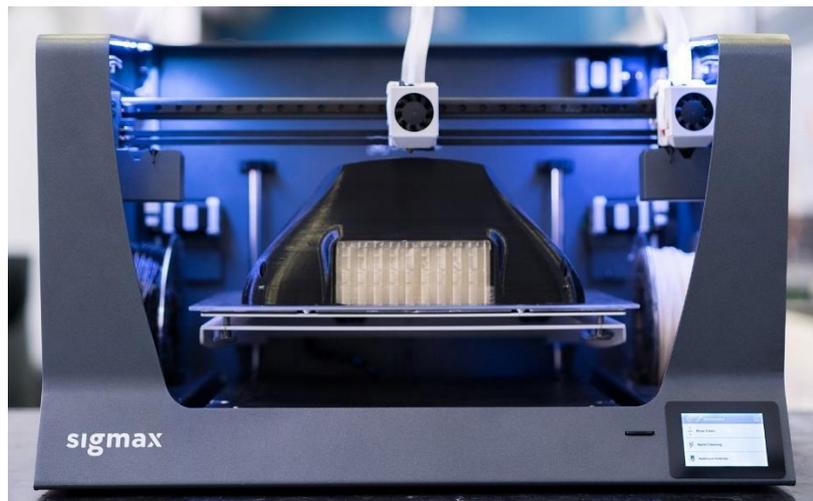


Figura 9. Impresora BCN3D SigmaX.

4.5 Identificación de los requisitos, requerimientos y fase de diseño.

En esta fase se diseña un plan de acción teniendo en cuenta las tecnologías de diseño, simulación/slicing, fabricación y servicio comunitario. Durante el transcurso del proyecto se mantuvo el contacto con expertos en el campo de la impresión 3D y profesionales de la salud para tratar de estar lo más compenetrados posibles y cumplir con las necesidades de estos y los requerimientos de la pieza.

4.5.1 Integración de las filosofías de diseño en el proyecto

CHEMOBOX.

Para la realización del diseño nos hemos basado en tres filosofías de diseño. Diseño para ensamblado (DFA), Diseño para fabricación (DFM) y Diseño para el medioambiente (DFE). Estas tres metodologías de diseño han servido como guía en el proceso de diseño y fabricación con el fin de garantizar que el producto no solo cumpla con los objetivos y sea funcional, si no que sea eficiente a la hora de fabricarse y este cumpla con los requisitos de sostenibilidad.

4.5.1.1 Diseño para ensamblado.

Esta filosofía se basa en buscar la reducción del número de piezas y optimizar el diseño para que el montaje sea intuitivo, rápido y económico, con el objetivo de simplificar el proceso de ensamblaje del producto final.

En primer lugar, se diseñó la pieza para minimizar el número de componentes necesarios, integrando las funcionalidades en piezas únicas mientras fuese posible.

En cuanto a la facilidad de ensamblaje, los diferentes componentes fueron diseñados de manera lógica y sencilla de manera que las tapas encajasen de manera perfecta mediante el uso de cuatro imanes. Eliminando la necesidad de herramientas adicionales para ensamblar la caja. Además, como uno de los objetivos era que la caja no solo fuese funcional durante el tratamiento del paciente, este método de unión hacía más fácil el manejo tanto para el equipo médico como para el paciente una vez termine su tratamiento, haciendo de la pieza un dispositivo ergonómico para todos los usuarios.

4.5.1.2 Diseño para fabricación.

Esta metodología de diseño trata de enfocar los diseños de productos de tal manera que sean fáciles y económicos de fabricar. En esta etapa se incluye la selección de materiales, los procesos de fabricación utilizados y las consideraciones sobre tolerancias y técnicas de ensamblaje necesarias.

Los materiales más comúnmente utilizados para la tecnología de Fused Deposition Modeling son el ABS o el PLA, ya que ofrecen buenas propiedades mecánicas y ofrecen una impresión más sencilla.

Teniendo en cuenta el aspecto como el grosor de las paredes, ángulos de inclinación de determinadas partes y la minimización de la utilización de soportes durante la impresión, se optimizó el diseño para su fabricación. Además, se realizó un curso impartido por el equipo docente de la URJC para conocer los parámetros de impresión antes del proceso, como la

velocidad, temperatura y el diseño de los rellenos, para asegurar una impresión eficiente y de alta calidad.

4.5.1.3 Diseño para el medioambiente.

Esta última filosofía tiene como objetivo reducir el impacto ambiental que puede tener los procesos de fabricación utilizados y el producto, a lo largo de su ciclo de vida, desde la selección de materiales hasta su eliminación total. Promoviendo el uso de materiales sostenibles, eficiencia energética y diseño del reciclaje.

Se seleccionaron materiales biodegradables como el PLA, para minimizar el impacto ambiental que podía tener la CHEMOBOX, este material es fácilmente degradable en contacto con el agua y el dióxido de carbono, pero es verdad que son necesarias una serie de condiciones específicas que de manera general se consiguen en plantas de compostaje, por lo que para reducir su impacto debería de realizarse un correcto reciclaje de esta.

Mediante el ajuste de parámetros como la velocidad de impresión y temperatura de extrusión, se optimizó el proceso de impresión minimizando el consumo de energía.

4.5.2 Identificación de requerimientos.

Cuando hablamos de requerimientos, hablamos de características que requiere tener la caja para su correcto uso y funcionalidad. Con la ayuda de la asociación Ayudame3D, que están acostumbrados a trabajar con CHEMOBOX, y pautas dadas por los tutores del proyecto, se consiguieron definir los siguientes requerimientos.

- Dimensionado de las cajas: La asociación Ayudame3D, facilitó unas medidas estandarizadas para que la caja fuese funcional para bolsas pequeñas, como para bolsas grandes. Siendo las dimensiones interiores del dispositivo de 27 x 17 x 7.
- El dispositivo debe de cumplir unos estándares de seguridad para minimizar el riesgo de accidente al estar en contacto con la bolsa, evitando cortes o perforaciones sobre la bolsa. Para ello no se podía dejar ninguna arista viva en la geometría interna de la caja.
- Implementación de un gancho interior que sujete la bolsa de quimioterapia, quedando esta oculta dentro de la caja.
- Resistencia a desinfectantes. Los dispositivos médicos están sometidos continuamente a procesos de desinfección ya que el contacto será directo en todo momento. Por lo que el material con el que se imprimiría la caja debería ser resistente a corrosión química, para asegurar una durabilidad y la conservación de las propiedades mecánicas de la CHEMOBOX.
- La caja debería de estar abierta durante el tratamiento ya que el equipo médico debe de acceder fácilmente a la visión de esta para el control del suero y la medicación.

- A la bolsa están conectadas las vías a través de las cuales se les suministra la medicación por vía intravenosa, por lo que el diseño debía tener algún tipo de orificio por el que pudiesen salir esas vías sin estar en contacto con alguna de las aristas de la caja.
- El dispositivo no tenía que ser funcional solo durante el tiempo de tratamiento del paciente. Este debería de cumplir con una funcionalidad extra una vez el tratamiento hubiese finalizado. Por lo que se pensó en un diseño a modo de merendero o porta juguetes (mostrado en la figura de resultados).

4.5.3 Aspectos para tener en cuenta en la impresión de la CHEMOBOX.

4.5.3.1 Selección del material.

En la universidad contábamos con la opción de imprimir con dos materiales, ABS y PLA [29]. Por lo que hicimos un análisis de las propiedades mecánicas que nos brindaban cada uno de estos materiales y llegamos la conclusión que escogeríamos el material PLA, debido a que el dispositivo no iba a estar sometido esfuerzos mecánicos elevados.

Material	Imprimibilidad (Dificultad de Impresión)	Rigidez (Módulo de Flexión)	Rigidez (Módulo de Tracción)	Resistencia (Resistencia a la Flexión)	Resistencia (Tensión de Tracción en el Límite Elástico)	Resistencia (Tensión de Tracción en la Ruptura)
PLA	●	●●●●	●●●	●●●●	●●●	●
PLA Resistente	●●	●●●●	●●●	●●●	●●●●	●●
ABS	●●	●●●●	●●●	●●●	●●●	●●

Tabla 1. Tabla comparativa propiedades mecánicas material (1).[12]

Material	Ductilidad (Elongación a la Ruptura)	Tenacidad (Resistencia al Impacto)	Dureza (Dureza a la Indentación)	Resistencia a la Temperatura (Resistencia al Calor Ambiental)
PLA	●	●	●●●●	●
PLA Resistente	●●	●●	●●●	●●
ABS	●●	●●	●●●	●●

Tabla 2. Tabla comparativa propiedades mecánicas material (2).[12]

Además, el PLA facilita la impresión ya que la temperatura de extrusión mínima es menor [29]. Obteniendo acabados superficiales muy similares, diferenciados porque el ABS tiene un color mate frente a un color brillante del PLA.

Nombre del material	Punto de fusión normal	Temperatura utilizada en FDM
ABS	105 °C	230 °C
PLA	65 °C	180 °C

Tabla 3. Punto de fusión e impresión de materiales.

Teniendo en cuenta las características con las que hemos comparado los dos materiales, finalmente se decidió imprimir en PLA.

4.5.3.2 Criterios generales de diseño y parametrización.

El espesor de pared define la resistencia mecánica de la pieza final. A mayor espesor obtendremos unas mejores propiedades mecánicas[30]. En nuestro caso como hemos mencionado anteriormente los esfuerzos a los que va a estar sometido no son exigentes por lo que por ahorrar tiempo y material escogeremos un espesor de pared = 1,2 mm..

Un mayor porcentaje de relleno nos ofrece mejor resistencia mecánica, pero por contrapartida aumenta el tiempo de impresión a la vez que este porcentaje aumenta [12]. Otro aspecto es el patrón de relleno (Figura 10), en función de los patrones de relleno obtendremos distintas propiedades mecánicas, pero en nuestro caso no es relevante. Por lo que utilizaremos un infill rectangular estándar. Escogiendo un porcentaje de relleno del 20%

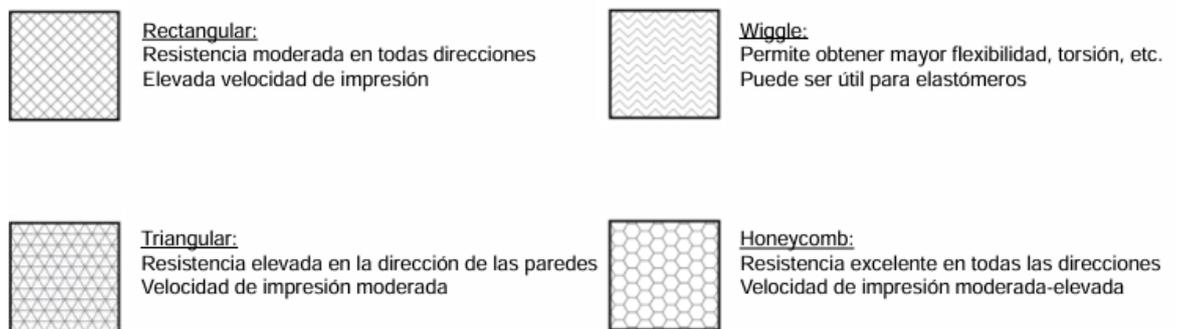


Figura 10. Patrones de relleno [12]

La altura de capa influye mayoritariamente en la resolución de la pieza (Figura 13) [31]. A menor altura de capa, mayor será la resolución, pero penalizando el tiempo de impresión y el coste ya que hay que imprimir un número mayor de capas. Seleccionamos una altura comúnmente usada de 0,2 mm.

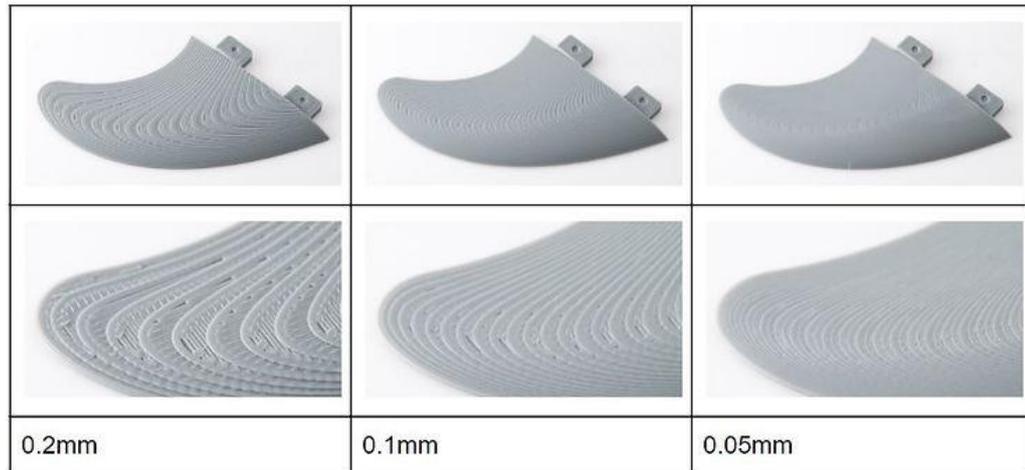


Figura 11. Ejemplo: Diferencias de impresión en función del espesor de capa. [31]

La configuración de las velocidades de impresión es un aspecto muy importante para tener en cuenta a la hora de parametrizar la impresión [32]. Una velocidad muy alta puede tener consecuencias como la separación de la pieza de la base, una mala unión entre las paredes y los rellenos o la llamada ‘perdida de pasos en el motor’ (Figura 12). Por el contrario, una velocidad de impresión muy baja tiene impacto en el tiempo de impresión, debido a que el caudal de extrusión es menor y aumenta el coste de operación. Por lo que se parametriza una velocidad de impresión de 45 mm/s.

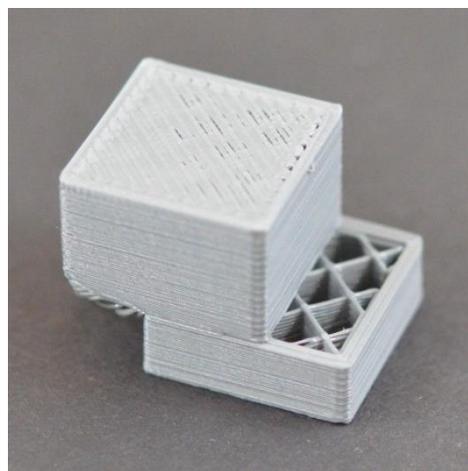


Figura 12. Ejemplo: Pérdida de pasos en el motor. [32]

Teniendo en cuenta que el PLA es extruible a partir de 180 °C (Tabla 3), la temperatura de extrusión [33] es otro parámetro crítico a configurar antes de comenzar con la impresión. Si tenemos una temperatura de extrusión muy alta podemos encontrar defectos como descuelgues en voladizos, Levantamiento de esquinas o curling, falta de detalle, aparición de hilos o una extrusión inconsistente (Figura 13).

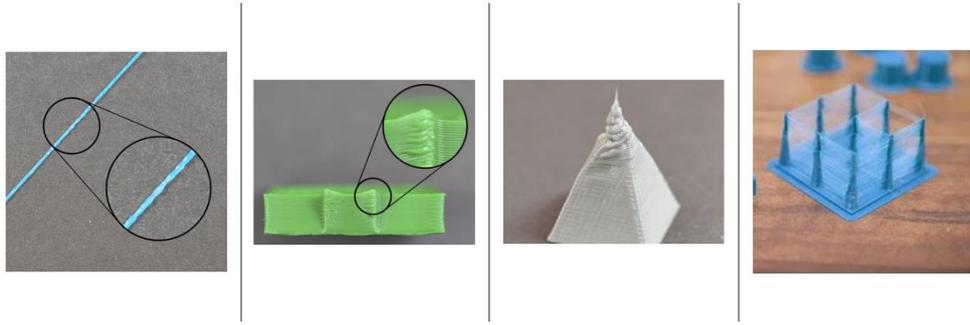


Figura 13. Ejemplo: Defectos por temperaturas de extrusión altas. [33]

En cambio, si tenemos una temperatura de impresión demasiado baja podemos encontrar defectos de atascos y falta de extrusión, poca adherencia entre capas provocando una inconsistencia en la pieza final (figura 14).

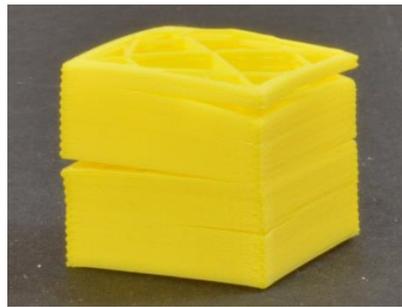


Figura 14. Ejemplo: Defecto por temperaturas de extrusión bajas [33]

considerando estos aspectos la temperatura de extrusión se ha parametrizado una temperatura de 210 °C.

La temperatura de la base también juega un papel importante para una buena adhesión de la pieza final, pero también a la hora de evitar un fenómeno conocido como pandeo o wrapping (Figura 15) [34]. Este fenómeno se produce debido a la contracción del material al enfriarse. Por lo que una adecuada configuración de la temperatura de la base puede hacer que el gradiente de temperatura sea más lineal y suave, evitando así la deformación de las esquinas en contacto con la base debido a este fenómeno. Parametrizando una temperatura final de la base de 60 °C.



Figura 15. Ejemplo: Defecto por pandeo.[34]

Un problema común es la falta de adhesión entre la base de la pieza y la base caliente de la impresora. Hay distintos métodos comúnmente utilizados, pero en nuestro caso hemos utilizado el BRIM ya que este funciona muy bien para piezas con bases de gran superficie con esquinas redondeadas [35]. Este método consiste en una pequeña ampliación perimetral de la primera capa que deberá de ser retirada posteriormente (figura 16) .



Figura 16. Mecanismo BRIM en la plataforma de adhesión.[35]

Para una mejora del tiempo de impresión y acabado configuraremos el uso de esta funcionalidad. Esta configuración consiste en que el software adapta automáticamente el espesor de las capas en función del Angulo de inclinación de las capas sucesivas que está imprimiendo. Por ejemplo, si está imprimiendo una parte totalmente vertical, podríamos aumentar el espesor de la capa ya que no necesitamos tanto detalle y no corremos el riesgo de un acabado inesperado en esas zonas. Por el contrario, en las zonas inclinadas o redondeadas utilizara un espesor de capa menos para no perjudicar el acabado final de la pieza.

5. RESULTADOS Y/O DISCUSIÓN

5.1 Diseño inicial de CHEMOBOX.

A continuación, se mostrará el primer diseño que se hizo del dispositivo, este primer diseño estaba pensado para imprimir la pieza de una sola vez, sin tener que hacer varias impresiones de cada uno de los componentes, el conjunto se compondría de un gancho, un asa, dos tapas y un sistema de cierre mediante bisagras. Pero la información que nos aportó la asociación ayúdame 3D, en cuanto al feedback que les daban los equipos médicos, era que las bisagras eran muy incómodas para su manejo, por lo que se hizo un análisis para detectar los posibles inconvenientes que suponían la incorporación de bisagras en el sistema de cierre y la búsqueda de una solución óptima.

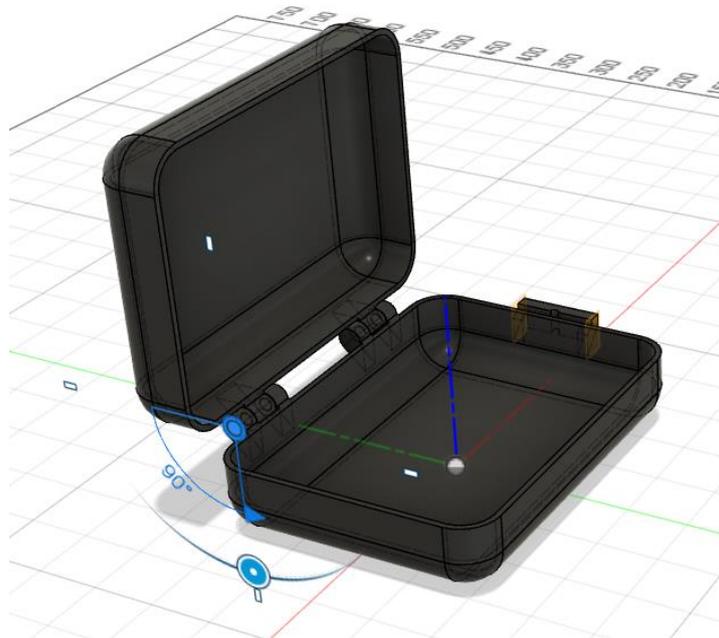


Figura 17. Diseño inicial CHEMOBOX.

El primer problema se daba en la etapa de fabricación. La manera de fabricar una bisagra funcional en la misma impresión es generando un soporte sobre la tapa que contendrá el eje (Figura 18). Mientras que en la otra tapa se hará un soporte igual, pero con un cilindro hueco que requerirá del uso de soportes para poder imprimir en voladizo. (Figura 19)

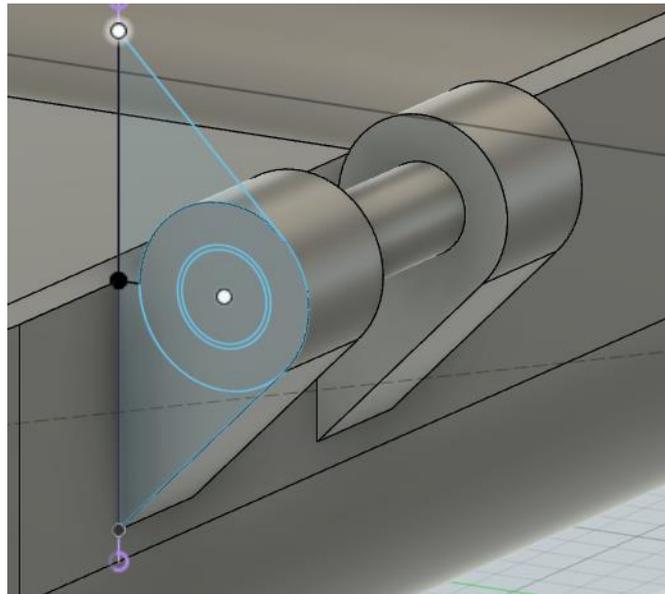


Figura 18. Soporte y eje de la bisagra.

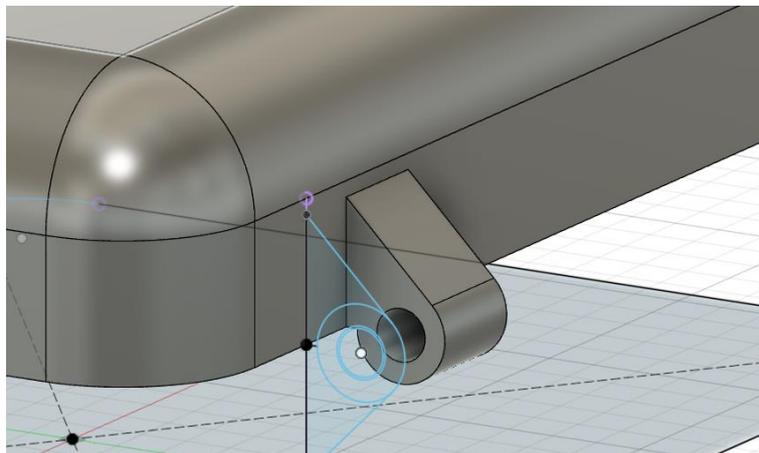


Figura 19. Cilindro hueco unido a la tapa.

Otro inconveniente era que, para fabricar esta bisagra, había que hacer una holgura entre el cilindro hueco y el eje, y para asegurar el funcionamiento de estas se tuvo que generar unos soportes entre estas dos partes que habría que quitar posteriormente a través de técnicas de mecanizado. Pero teniendo en cuenta el espacio de 0,5 mm entre las dos partes, el acabado no iba a ser óptimo, generando fricción y un sistema de apertura/cierre muy incómodo para el personal médico, detectando uno de los posibles causantes del problema que reportaban los equipos médicos.

Otro problema añadido, lo encontrábamos con el punto de equilibrio del conjunto respecto al eje de giro una vez la pieza estaba colgada del porta sueros. Si la caja estaba cerrada, la situación de equilibrio en la que se encontraba podía ser ergonómica para el personal. Pero el problema surge cuando abrían la caja, ya que el eje de giro se encontraba en el mismo lugar, pero el centro de masa del conjunto total cambiaba haciendo que la caja rotase hacia su punto de equilibrio. A

continuación, les mostraremos una simulación a modo de comparación de cómo se comportaría el dispositivo cuando este colgado cerrado, frente al comportamiento que tendría estando abierto para ser manipulado por el equipo médico.

En esta primera figura (Figura 20) se aprecia que, con la caja cerrada, la caja no rota.



Figura 20. Diseño inicial, análisis centro de masa y punto de equilibrio.

Como se puede apreciar en la siguiente imagen, en el caso de estar la caja abierta el centro de masa cambiaría, rotando el dispositivo hasta el punto de equilibrio, en este caso el eje de mínima distancia entre el Eje de rotación y el punto donde se ejerce la fuerza CM, en este caso el peso debido a la gravedad (Figura 21).



Figura 21. Diseño inicial, análisis centro de masa y punto de equilibrio.

Además, uno de los nuevos requerimientos, exigía que la caja fuese impresa en dos partes, ya que mientras el paciente iba a recibir la medicación, solo la tapa inferior, sería la que estuviese colgada al porta-sueros sujetando la bolsa de quimioterapia.

Teniendo estos dos aspectos en cuenta se decidió rediseñar la CHEMOBOX, diseñando un sistema de cierre por imanes

5.2 Diseño CHEMOBOX. Visualización etapa por etapa

Una vez analizado los diseños previos de CHEMOBOX, y teniendo en cuenta el feedback del personal sanitario que lidia con el manejo de los dispositivos, y las dimensiones estándares aportadas por la asociación Ayudame3D, se pasó a la fase de diseño y puesta en práctica de los conocimientos. Dentro de las fases del proyecto ApS, compone la parte de integración curricular del alumno, donde pone en práctica los conocimientos y competencias adquiridos.

En primer lugar, sobre un plano en 2D generamos el plano con las medidas estándares interiores de la caja.

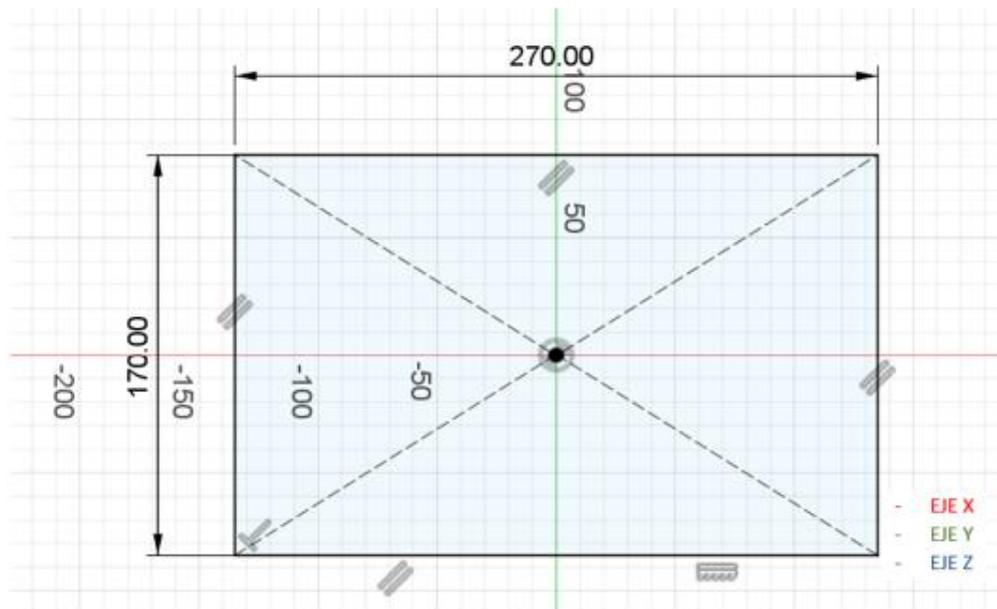


Figura 22. Alzado del plano de las tapas [mm].

Sobre este primer plano hacemos uso de la herramienta ‘extrusión’ para generar un sólido a partir del plano inicial.

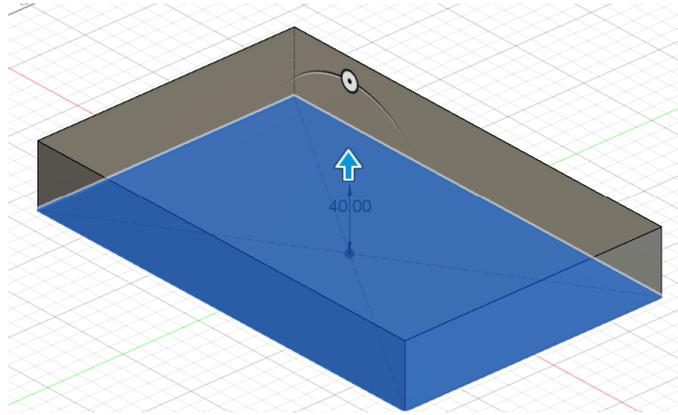


Figura 23. Sólido inicial sobre el que se hará la geometría [mm].

Sobre este sólido, se hizo la geometría para llegar al acabado final de los perfiles de las tapas. A continuación, con el fin de cumplir con las medidas interiores, se utilizó la herramienta boceto para esbozar lo que sería el perfil de las caras (Figura 24), y posteriormente la herramienta extrusión para completar las 4 paredes exteriores de la caja (Figura 25 a y b). Además, teniendo en consideración que el ángulo máximo de voladizo para que la impresión sea correcta es de 45° sobre la vertical (Figura 24) [12].

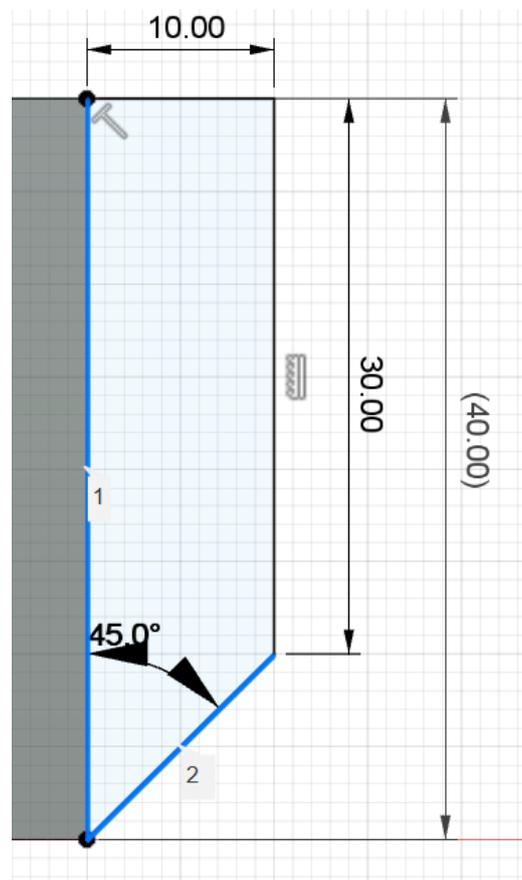


Figura 24. Forma del perfil [mm].

Para replicar esto en cada una de las caras del sólido, se utilizó la herramienta de plano medio para conseguir los dos planos simétricos [XZ, YZ], consiguiendo una réplica simétrica de los 4 perfiles, (Figura 25 b).

Para completar las esquinas y evitar aristas vivas, se utilizó la herramienta de revolución para generar las esquinas sólidas a partir del boceto de la (Figura 25 c).

Con el sólido completo generamos otro plano de simetría [XY], generando la tapa complementaria de la caja (Figura 25 d).

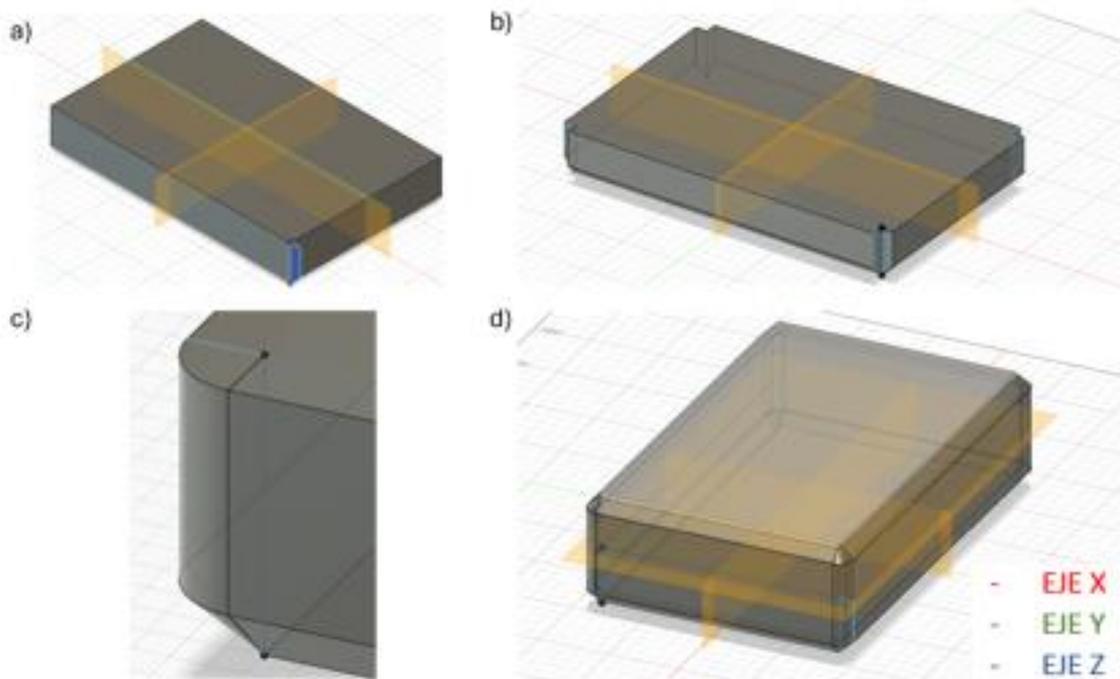


Figura 25. Figuras del sólido con planos de simetría.

Sobre la caja de la (Figura 25 d), haremos un vaciado para quedarnos con el espesor de pared de 5 mm escogido (Figura 26 a) y configurado en BCN3D Stratos. Puede apreciarse en la (Figura 26 b) el resultado de vaciar las tapas.

Para evitar el efecto de pandeo durante la impresión, diseñamos unas nervaduras para las cuatro esquinas de cada tapa (Figura 26 c). Estos elementos, además, dan más rigidez y resistencia a las estructuras en los posibles puntos de concentradores de tensión que se pueden generar en las esquinas (Figura 26 d).

El diámetro inferior (10,05 mm) se extruye negativamente -1,05 mm sobre el eje Z, ya que se introducirán unos imanes cilíndricos de radio, $R=10$ mm, y de altura, $h=1$ mm. Estos imanes serán acoplados a la caja mediante el uso de técnicas de adhesión usando un pegamento resistente. Esta

tolerancia de + 0,5 mm es debida a requerimientos de las impresoras 3D para piezas acoplables, para asegurar que el encaje de los componentes sea adecuado.

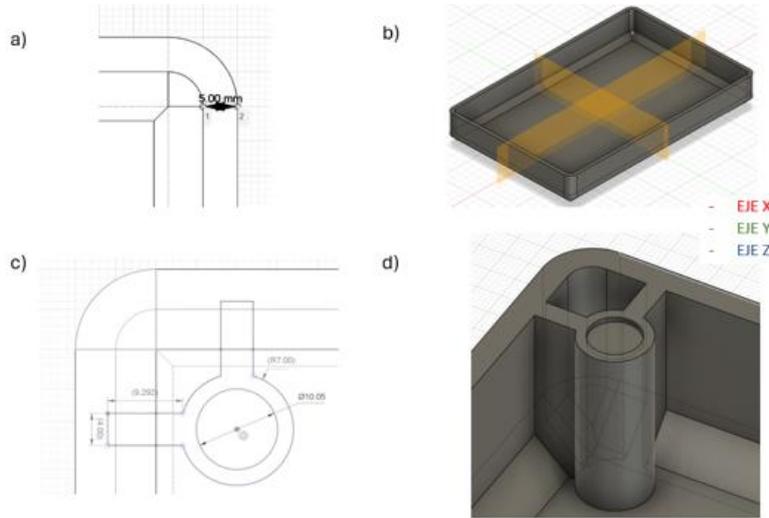


Figura 26. Perfiles de tapas vacías y nervaduras [mm].

Hasta ahora habíamos tratado de manera simétrica cada una de las modificaciones sobre las dos tapas de la caja. Ahora diferenciaremos entre la tapa inferior y tapa superior, ya que a partir de ahora las modificaciones serán independientes sobre cada uno de estos componentes.

Sobre la tapa inferior realizamos un boceto sobre el plano perpendicular de la cara del perfil superior, para hacer el asa del que se colgará la CHEMOBOX (Figura 27).

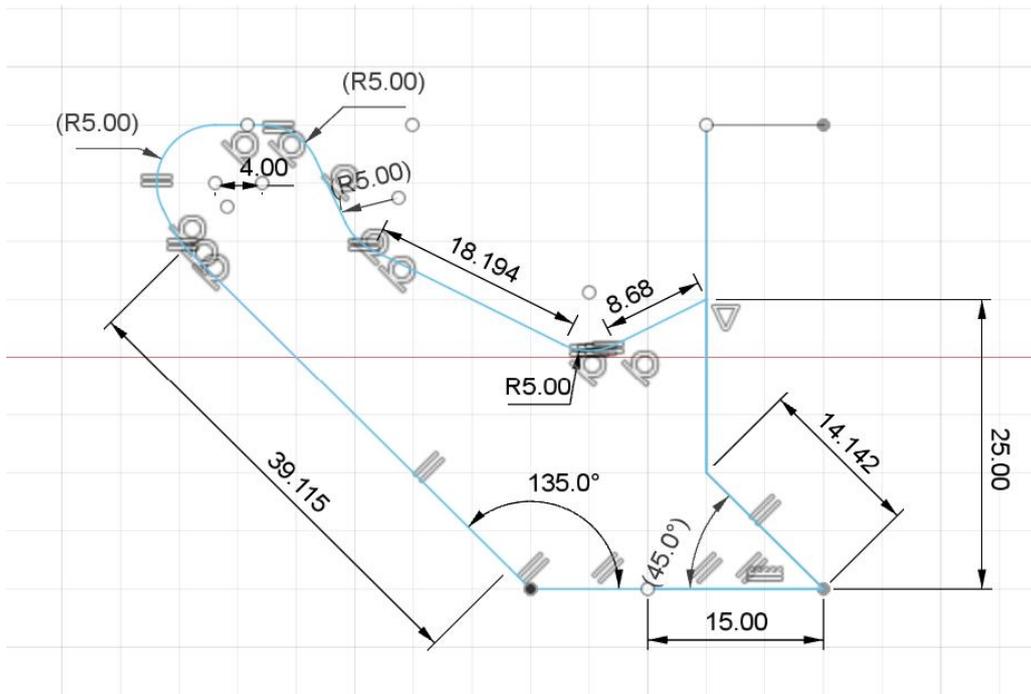


Figura 27. Plano acotado del asa [mm].

Para generar el asa sólida, utilizamos las herramientas de extrusión de plano de simetría XZ creándose un asa sólida simétrica con respecto a este plano, la cual se combina con la tapa inferior obteniendo el sólido mostrado en la (Figura 28 a).

Anterior a la última modificación se diseñó el gancho encargado de sostener la bolsa. Primero se realizó el boceto (Figura 28 b) sobre el plano XZ, y se realiza una extrusión simétrica en a la dirección perpendicular al plano. Por último, se utilizó el asistente de diseño para el chaflanado de la base del gancho, que nos propuso un diseño optimizado en base a la unión de la tapa inferior al gancho (Figura 28 c).

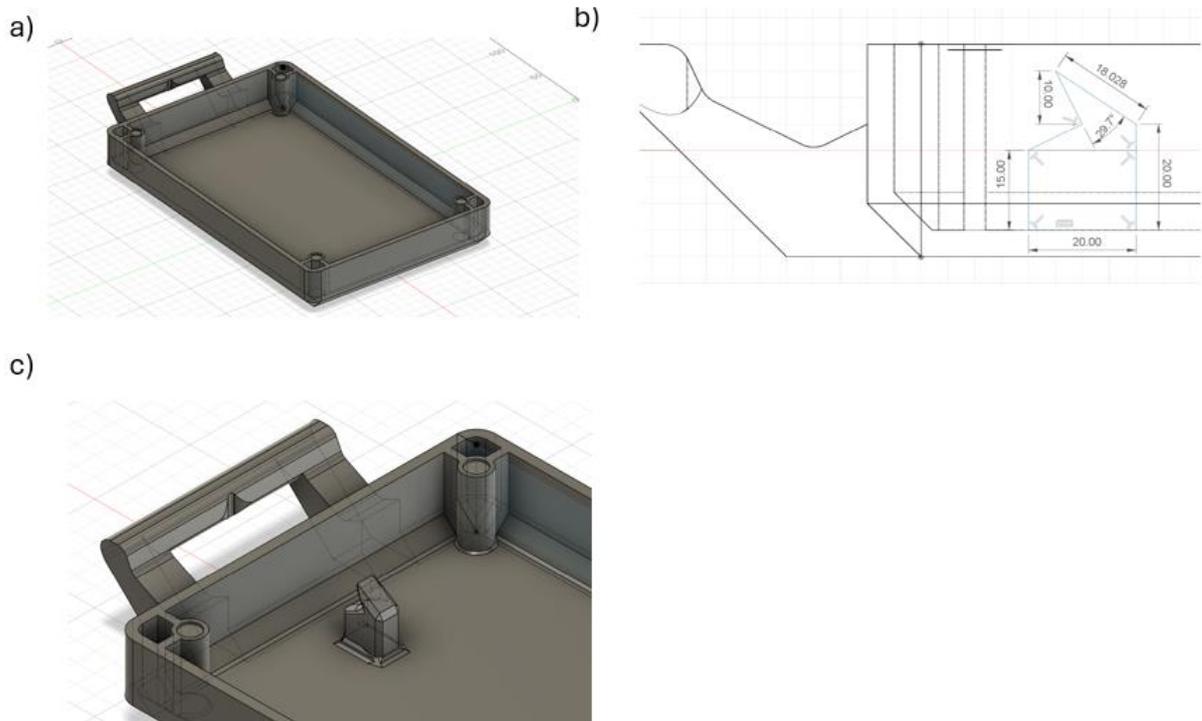


Figura 28. Tapa con asa y gancho [mm].

Por último, en la tapa inferior, se realiza una ranura para que las vías que van conectadas a las bolsas no estén en contacto con las aristas vivas de la caja (Figura 29 a). Posteriormente se separa la ranura hecha de la pieza, generando un componente nuevo que se pegará a la tapa una vez el paciente termine el tratamiento (Figura 29 b).

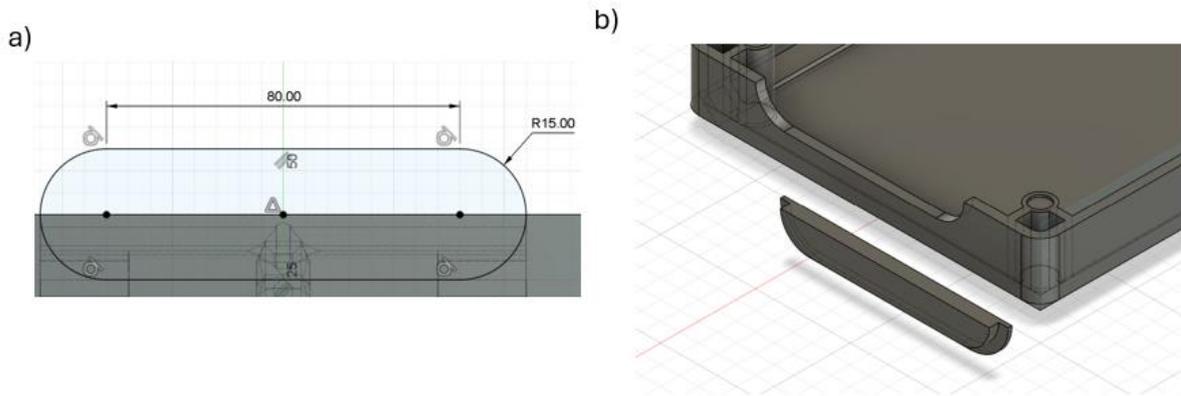


Figura 29. Boceto del tapa-cubos y nuevo componente [mm].

En el caso de la tapa inferior se le realiza una única modificación. Esta es, la incorporación de unas levas que sobresalen de los perfiles superior, y laterales con el fin de hacer más ergonómica la caja, tanto para el equipo médico, como para el paciente (Figura 30 a y b).

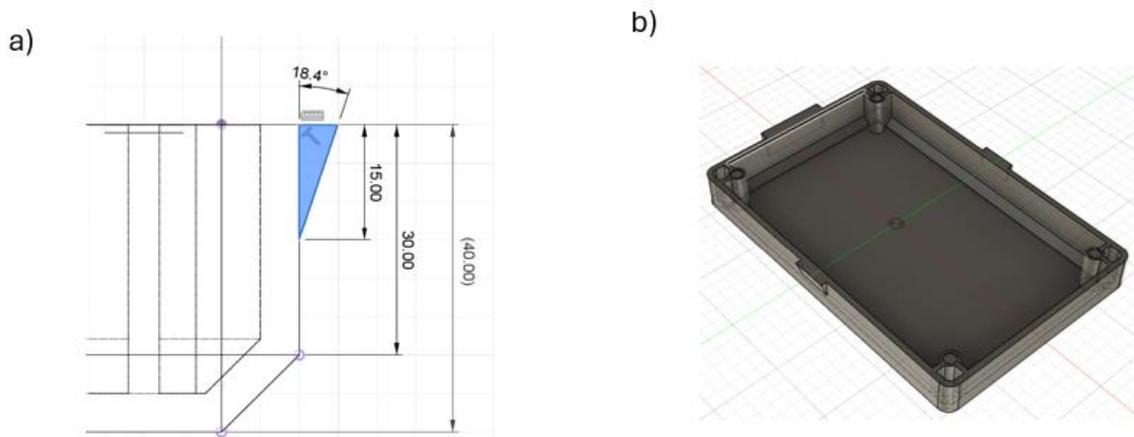


Figura 30. Levas de la tapa superior [mm].

Una vez terminado el diseño, es el momento de exportar el archivo a su extensión .STL, que abriremos en el programa de slicing donde configuraremos los parámetros relevantes para el proceso de fabricación por moldeo por deposición fundida (FDM), como son:

Parametrización de BCN3D Stratos	
Espesor de pared	1,2 mm
% Relleno	20%
Patrón relleno	Rectangular
Altura/ espesor de capa	0,2 mm
Velocidad de impresión	45 mm/s
Tª de extrusión	210°C
Tª cama caliente	60°
Plataforma de adhesión	BRIM
Capas adaptativas	Si
Ángulo máximo de impresión	45°

Tabla 4. Parámetros escogidos para FDM.

En este apartado se puede ver como la herramienta te genera los soportes en los puntos que son de voladizo de la Tapa superior (Figura 31).

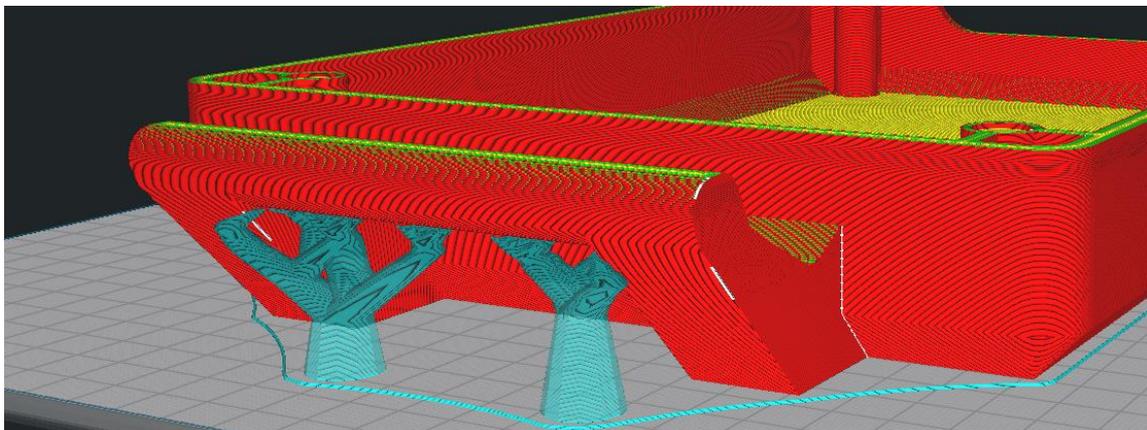


Figura 31. Soportes utilizados para las partes en voladizo.

5.3 Análisis del resultado.

Una vez completada la fase de fabricación digital, se muestran los resultados obtenidos tras la simulación de impresión de la caja. El tiempo total de impresión es un factor limitante ya que la suma de tiempos de los tres componentes resulta en un total de 2 días 2 horas y 10 minutos (Figura 32, Figura 33, Figura 34). Este elevado tiempo es debido a las grandes dimensiones de la caja y las parametrizaciones hechas.

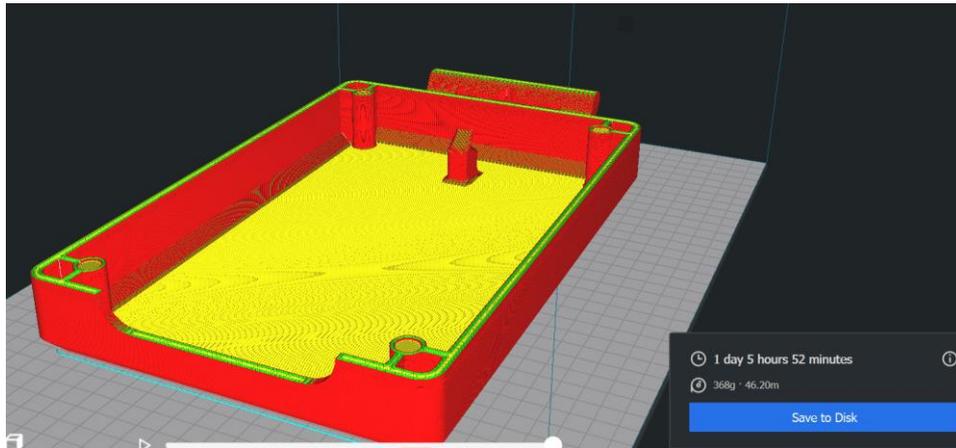


Figura 32. Tiempo de impresión de la tapa inferior.

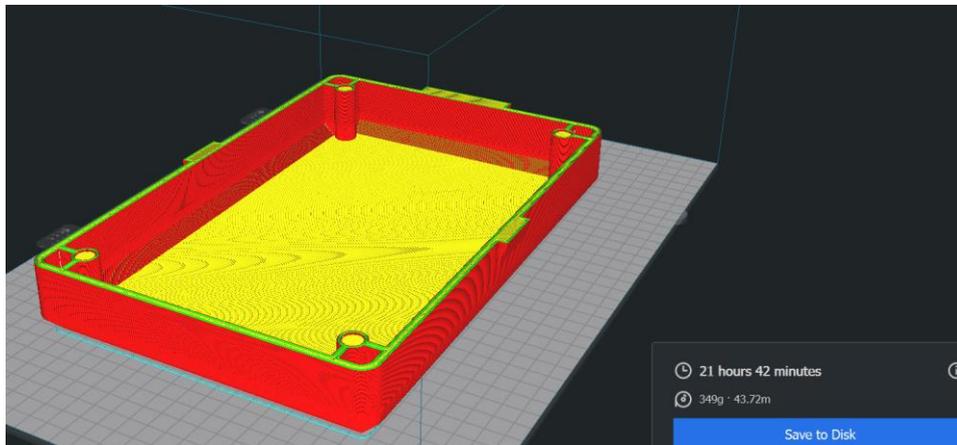


Figura 33. Tiempo de impresión de la tapa superior.

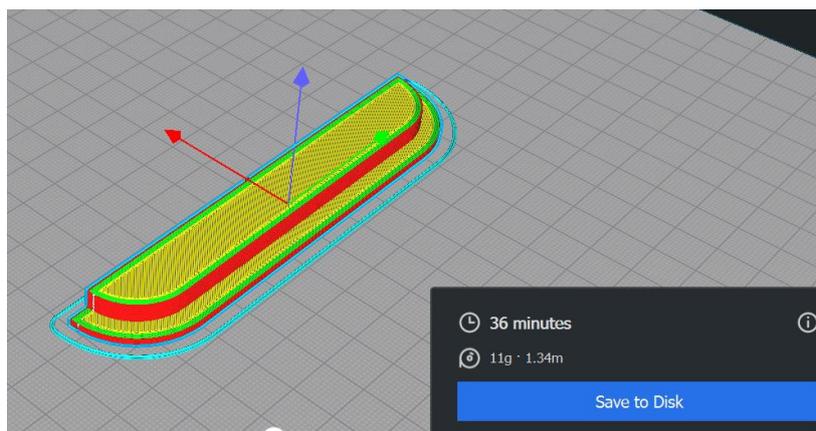


Figura 34. Tiempo de impresión del tapa-cubos.

En las siguientes imágenes se muestra el resultado final de la caja una vez impresa. Una vez acabado el proceso de impresión, se tuvieron que utilizar técnicas de lijado, debido a que durante la impresión las boquillas se bloquearon y se tuvieron que utilizar tres filamentos distintos. Este

cambio de material supuso una serie de desajustes a la hora de reiniciar la impresión, aunque los efectos no fueron muy grandes.

En la figura inferior, (Figura 35) podemos ver el resultado final de la caja, pudiendo apreciar los tres filamentos que se utilizaron para imprimir la pieza.

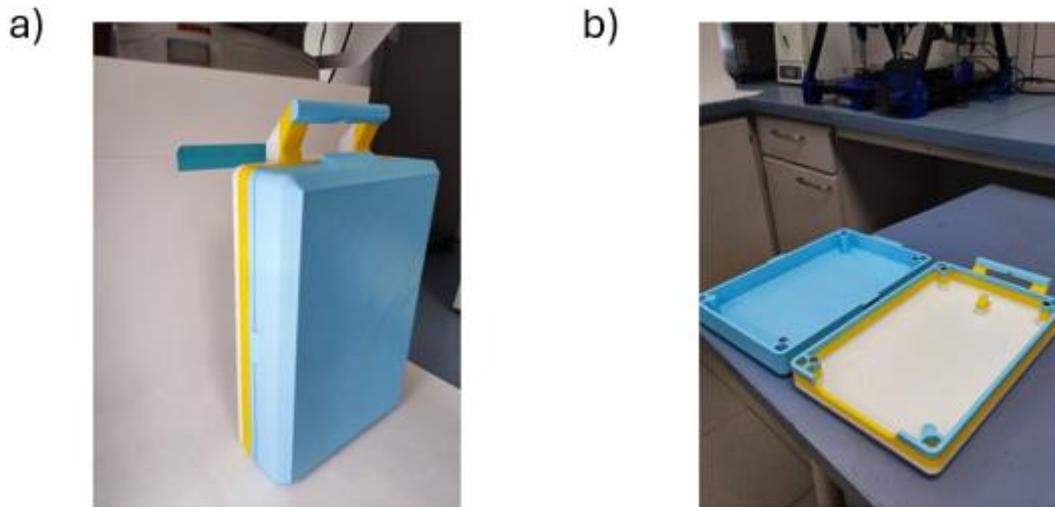


Figura 35. Resultado final con la caja cerrada y abierta.

El resultado final de la caja es satisfactorio, ya que cumple con todos los requisitos establecidos antes de la etapa de diseño, así como las configuraciones necesarias para obtener una pieza con el acabado y las propiedades mecánicas requeridas. El sistema de cierre funcionó correctamente, aunque los ajustes entre las nervaduras y los imanes impidieron un encaje perfecto.

Además, como se muestra en la figura 38, se imprimió un logotipo de superhéroe con un bolígrafo 3D, el cual se adhirió a la caja mediante el uso de un pegamento resistente (Figura 36).



Figura 36. Personalización de la CHEMOBOX.

5.4 Detección de defectos y posibles mejoras

Se aprecia en la Figura 37 un defecto de adhesión de la primera capa al resto de la estructura. El problema puede originarse por una mala configuración de la cama caliente, una temperatura poco elevada de esta puede causar un enfriamiento rápido del filamento y una mala adhesión con la siguiente capa. Para ello proponemos un aumento de la temperatura de impresión a 70°C.

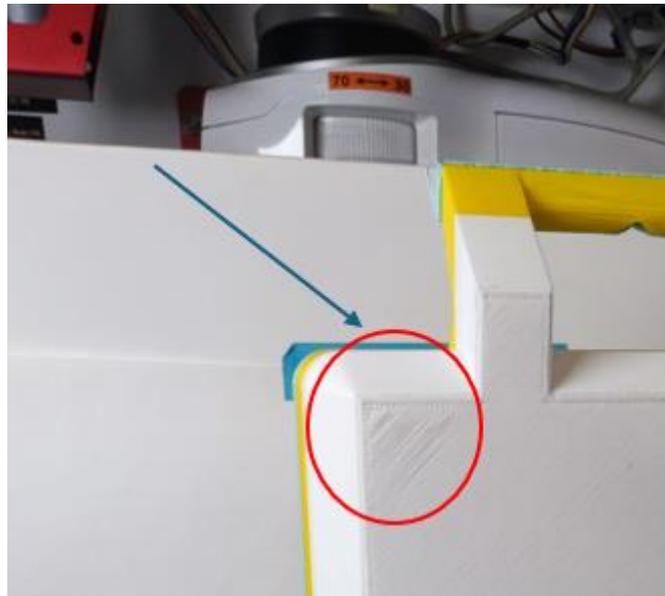


Figura 37. Defecto por poca adhesión de la primera capa.

Este defecto de precisión en la parte azul del gancho en Figura 40 es debido a una mala calibración entre la capa de deposición y la boquilla de extrusión. Se puede ver que, en la primera capa extruida con el filamento azul en el gancho, esta distancia era menos a 1mm. Ocasionando que la

deposición del material no fuese óptima y el filamento se deformase. No obstante, el gancho fue lijado una vez terminada la pieza para que esos acabados no infringiesen arañazos ni pinchazos en la bolsa de quimioterapia.

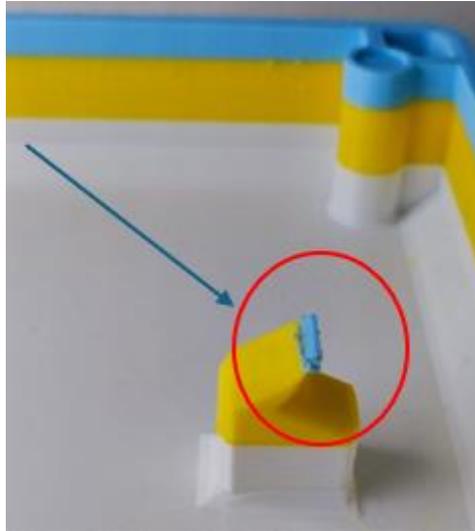


Figura 38. Defecto en el gancho debido al cambio de filamento.

El uso de soportes en la impresión 3D genera un acabado superficial no muy bueno en estas zonas ya que mediante esfuerzos mecánicos y técnicas de mecanizado tienen que ser retirados. En este caso, el uso de los soportes en la parte de voladizo del asa hizo que a la hora de retirarlos se quedasen adheridos a estos filamentos de la parte inferior del voladizo (Figura 39). Desprendiéndose parte de los filamentos de esas primeras capas.

Como alternativa y aprovechando que la impresora tiene dos extrusores en uno de ellos podríamos utilizar material PVA, este material es soluble y una vez finalizada la impresión podríamos eliminarlo introduciéndolos en una disolución, disolviendo el material del soporte y manteniendo la integridad de la pieza.

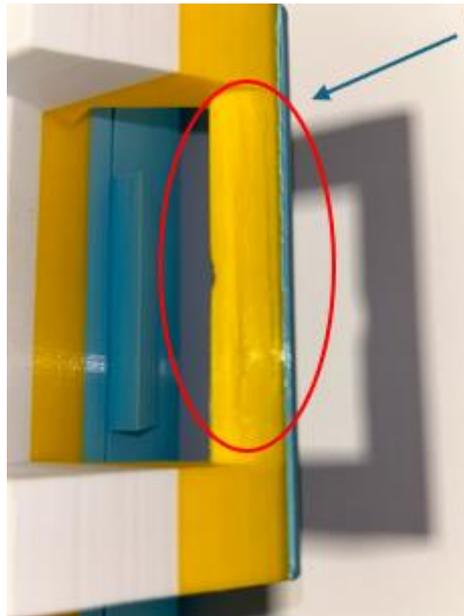


Figura 39. Defecto en el asa por la separación de los soportes.

La tolerancia escogida no fue bien calculada ya que se calculó + 0,5mm de diámetro interno del boceto en las nervaduras, sin tener en cuenta la tolerancia del diámetro del imán. Este error supuso que en una de las nervaduras tuviésemos que lijar el interior del espacio donde iba ir el imán colocado, Figura 40 a). Además, este ajuste ocasionó que el imán no encajase perfectamente, sobresaliendo un poco sobre el hueco diseñado y generando una pequeña apertura a la hora de solapar las dos tapas Figura 40 b).

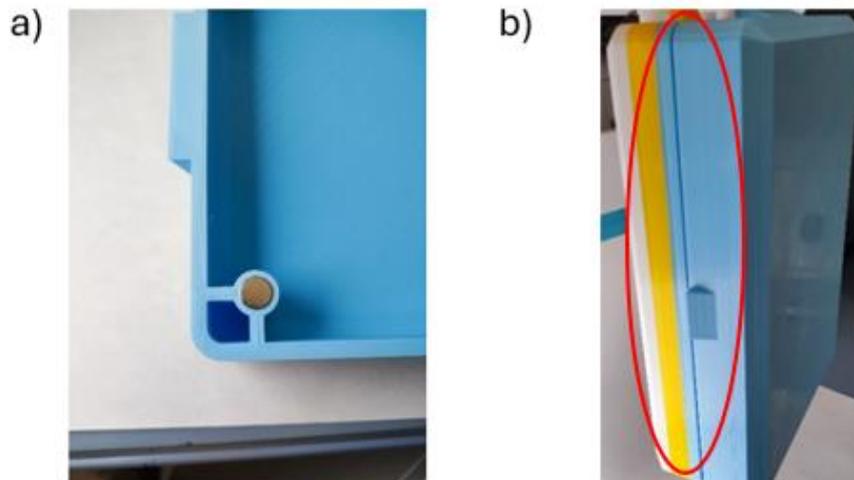


Figura 40. Defecto de cierre debido al ajuste entre nervadura e imán.

6. CONCLUSIONES

Las experiencias que estos tipos de pacientes sufren, causan efectos negativos en ellos, tanto físicos como psicológicos. El uso de dispositivos como la CHEMOBOX puede proporcionar soluciones a estos problemas, sobre todo en los psicológicos, durante el periodo de tratamiento. Tras el transcurso del proyecto y después del análisis del problema y el estudio de diseño y fabricación se ha llegado a una serie de conclusiones que se muestran a continuación.

Bajo la primicia del uso de la fabricación aditiva para la realización del proyecto, se seleccionó el Software Fusion 360 para el diseño de la pieza, por su versatilidad y experiencia de usuario intuitiva. En cuanto al software de simulación y parametrización se hizo uso del programa BCN3D Stratos basado en Ultimaker cura, debido a la compatibilidad con la impresora 3D facilitada por la Universidad Rey Juan Carlos para la realización del proyecto. Esta tecnología, además es óptima para la fabricación de pequeños lotes frente a otras tecnologías ya que a nivel económico es más barata y eficiente, ahorrando costes de producción y siendo flexible antes de la etapa de producción, pudiendo suponer un gran ahorro económico debido a los cambios generados por problemas o rediseños identificados durante todo el proyecto.

Tras un análisis de las propiedades mecánicas entre los dos materiales con los que podíamos imprimir, PLA y ABS, seleccionamos el PLA ya que los esfuerzos mecánicos a los que iba a ser sometido el dispositivo no eran lo suficientemente exigentes como para que las diferencias que iba a suponer el fabricar con un material u otro fueran a ser redundantes, aunque cabe destacar que el PLA nos brinda mejores propiedades mecánicas, ofreciendo una vida útil del dispositivo más larga, si el uso de este es adecuado. Lo que sí que se ha podido concluir es que el acabado de las piezas impresas con PLA es más brillante, generando un estímulo más fuerte frente a la percepción de los colores y pudiendo suponer un aumento del impacto positivo sobre el paciente. También, el PLA es un material que requiere una temperatura de impresión de 180 °C, frente a los 230° C del ABS. Esto genera ahorros en el gasto de energía haciendo de este proyecto más sostenible frente a la fabricación con ABS. La resistencia química del PLA también ha sido un factor a tener en cuenta para la selección de este material, ya que las cajas serán sometidas a tratamientos de desinfección, en los cuales el material no se puede ver deteriorado.

La fabricación de la CHEMOBOX ha sido exitosa ya que los pequeños defectos de impresión no han sido significantes ni limitantes para el futuro uso de esta. El uso de tres filamentos distintos ha supuesto una serie de defectos como la precisión de impresión en el gancho, aunque mediante el uso de la técnica de lijado se ha conseguido que estas imperfecciones fueran corregidas. En cuanto al impacto visual de los tres colores no ha supuesto un problema porque la paleta de colores

es adecuada y genera una buena impresión a la vista. Otro de los defectos ha sido la falta de precisión a la hora de imprimir el gancho, ya que en la impresión de la parte final de este se tuvo que hacer un cambio de filamento y la calibración entre la boquilla y la pieza en este momento fue de menos de 1mm, generando un acabado no óptimo al utilizar una altura de capa mayor a esta calibración. Por último, hemos observado que la temperatura de la capa caliente no ha sido suficiente para que las primeras capas de la tapa inferior no se adhieran bien generando un pequeño defecto en una de las esquinas de esta. Para solventar este problema en futuras impresiones de este diseño, se aumentaría la temperatura de la cama a unos 70° C.

El sistema de cierre de la caja ha sido diseñado para evitar uno de los mayores problemas que enfrentan los médicos cuando manipulaban el dispositivo, combinando el uso de imanes que se acoplan en las nervaduras de la tapa inferior. Aunque el cierre de esta no ha sido hermético debido a un ajuste entre imán y nervadura, el cierre y la manipulación del dispositivo han sido mejorados evitando los problemas mencionados por los equipos médicos. Para futuras impresiones, este defecto podría solucionarse con el rediseño del radio inferior de la nervadura, aumentando 0,25mm el radio de este.

En conclusión, el resultado obtenido cumple con la función principal de reducir el impacto psicológico que supone la estancia hospitalaria de los pacientes oncológicos infantiles, pudiendo mejorar su salud mental y estado anímico durante este periodo de tiempo.

Gracias a la oportunidad brindada por la Universidad Rey Juan Carlos de formar parte del proyecto Aps “*Mejorando la inclusión y accesibilidad mediante la fabricación aditiva*” se ha conseguido entender la importancia que supone la realización de estos proyectos. Brindando un servicio a la comunidad al mismo tiempo que el alumno ha obtenido nuevos conocimientos teórico-prácticos sobre la fabricación aditiva, en concreto la impresión 3D.

7. BIBLIOGRAFÍA.

- [1]. Arriaga, P., Melo, A. S., & Caires, S. (2020). The effects of hospital clowning on physical and emotional states of pediatric patients during chemotherapy treatment. *Child Youth Care Forum*, 49, 365–381. <https://doi.org/10.1007/s10566-019-09532-6>
- [2]. American Cancer Society. (2020). Medidas de seguridad con el uso de la quimioterapia. <https://www.cancer.org/treatment/children-and-cancer/when-your-child-has-cancer/dealing-with-diagnosis.html>
- [3]. Nguyen, L. B., Vu, L. G., Le, T. T., et al. (2023). Impact of interventions on the quality of life of cancer patients: A systematic review and meta-analysis of longitudinal research. *Health Qual Life Outcomes*, 21, 112. <https://doi.org/10.1186/s12955-023-02189-9>

- [4]. American Cancer Society. (2020). Children diagnosed with cancer: Dealing with diagnosis. <https://www.cancer.org/treatment/children-and-cancer/when-your-child-has-cancer/dealing-with-diagnosis.html>
- [5]. Bluebond-Langner, M. (2020). The impact of pediatric cancer on patients and their families. *Journal of Pediatric Hematology/Oncology*, 42(8), 459-465.
- [6]. Clarke, N. E., et al. (2018). Pediatric oncology patients: The psychosocial impact of illness and hospitalization. *Pediatric Blood & Cancer*, 65(7), e26966.
- [7]. Kazak, A. E., & Noll, R. B. (2021). The psychological impact of cancer on children and families: Implications for treatment and care. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 71(5), 385-403.
- [8]. Zebrack, B., & Chesler, M. (2019). Psychological distress in long-term survivors of childhood cancer. *Social Work in Health Care*, 50(4), 289-305.
- [9]. World Health Organization. (2014). WHO guidelines on the pharmacological treatment of persisting pain in children with medical illnesses. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/84307>
- [10]. Cinco riojanos ponen su pasión por la impresión 3D al servicio de los niños con cáncer. (s.f.). <https://www.eldiario.es> .
- [11]. Aprendizaje Servicio - ASFACEUBB. (s.f.). <https://www.ubiobio.cl> .
- [12]. Universidad Rey Juan Carlos. (s.f.). Fabricación aditiva e impresión 3D, Tecnologías de fabricación.
- [13]. Qué puede aportar la impresión 3D en la fabricación de moldes. (s.f.). <https://www.filament2print.com>
- [14]. Nociones básicas de optimización topológica: Cómo usar modelos algorítmicos para crear un diseño ligero. (s.f.). <https://www.formlabs.com>
- [15]. Validación de la isotropía en la impresión 3D por estereolitografía (SLA). (s.f.). <https://www.formlabs.com>
- [16]. Fabricación aditiva: Tendencias del sector y su futuro. (s.f.). <https://www.formlabs.com>
- [17]. Crump, S. (1992). Apparatus and method for creating three-dimensional objects. United States Patent No. 5121329.
- [18]. Stratasys, Inc. (s.f.). History of Stratasys and FDM Technology. <https://www.stratasys.com>
- [19]. Jones, R., et al. (2011). RepRap – The replicating rapid prototyper. *Robotica*, 29(1), 177-191. <https://doi.org/10.1017/S026357471000069X>
- [20]. 3D Printing Medical Devices Market Size, Growth | 2024 to 2029. (s.f.). <https://www.marketdataforecast.com>
- [21]. 3D Printing Medical Devices Market: Global Analysis and Forecast 2029. (s.f.). <https://www.maximizemarketresearch.com>

- [22]. 3D Printing Market Size, Growth, Share | Global Report [2032]. (s.f.).
<https://www.fortunebusinessinsights.com>
- [23]. U.S. Food and Drug Administration. (2017). Technical considerations for additive manufactured medical devices. FDA.
- [24]. International Organization for Standardization. (2016). ISO 13485: Medical devices — Quality management systems — Requirements for regulatory purposes. ISO.
- [25]. International Organization for Standardization. (2015). ISO/ASTM 52900: Additive manufacturing — General principles — Terminology. ISO.
- [26]. Journal of Medical Devices. (s.f.). Advancements in 3D printing of medical devices: A review. ASME Digital Collection.
- [27]. BiblioMed. (2020). Impact of 3D printing technology on the medical field: A review. BiblioMed.
- [28]. Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review. (s.f.). <https://www.sciencedirect.com>
- [29]. Melting temperature and FDM temperatures of ABS and PLA. (s.f.).
<https://www.researchgate.net>
- [30]. El grosor mínimo de pared para la impresión 3D. (s.f.). <https://www.formlabs.com>
- [31]. Altura de capas y resolución en la impresión 3D. (s.f.). <https://www.3dworks.cl>
- [32]. Velocidades y aceleraciones en impresión 3D. (s.f.). <https://www.filament2print.com>
- [33]. Temperaturas de impresión 3D y optimización. (s.f.). <https://www.filament2print.com>
- [34]. Soluciones fáciles contra el warping (PLA, PETG, ABS). (s.f.). <https://www.all3dp.com>
- [35]. Para qué sirve el Skirt, el Brim y el Raft. (s.f.). <https://www.filament2print.com>