



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

DISEÑO DEL PROGRAMA DE IMPRESIÓN 3D
PARA EL ÁREA DE INGENIERÍA BIOMÉDICA DE
LA CLÍNICA SOMER ARTICULADO CON RONDAS
DE INNOVACIÓN

Estephania Arenas Marulanda

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Bioingeniería
Medellín, Colombia
2020





UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
1803
FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DEL PROGRAMA DE IMPRESIÓN 3D PARA EL ÁREA DE INGENIERÍA
BIOMÉDICA DE LA CLÍNICA SOMER ARTICULADO CON RONDAS DE
INNOVACIÓN

Estephania Arenas Marulanda

Informe de práctica como requisito para optar al título de:
Bioingeniera.

Asesores.

MBA. Juan Guillermo Barreneche Ospina
Bioingeniera. Erika Natalia López Ramírez

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Bioingeniería.
Medellín, Colombia
2020.

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN.....	6
2. INTRODUCCIÓN	6
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
4. JUSTIFICACIÓN.....	8
5. OBJETIVOS	8
5.1 OBJETIVO GENERAL.....	8
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
6. ANTECEDENTES.....	9
7. MARCO TEÓRICO	10
7.1 HISTORIA DE LA IMPRESIÓN 3D.....	10
7.2 EN QUÉ CONSISTE LA IMPRESIÓN 3D	10
7.3 TÉCNICAS DE FABRICACIÓN ADITIVA	11
7.3.1 ESTEREOLITOGRAFÍA (SLA)	11
7.3.2 SINTERIZADO SELECTIVO POR LÁSER (SLS)	11
7.3.3 MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA (FDM)	12
7.4 PARÁMETROS FUNDAMENTALES DE FABRICACIÓN EN IMPRESORAS 3D CON TECNOLOGÍA FDM	12
7.4.1 ALTURA DE CAPA	13
7.4.2 TEMPERATURA DE EXTRUSIÓN	13
7.4.3 VELOCIDAD DE IMPRESIÓN	13
7.4.4 POSICIÓN DE LA PIEZA	13
7.4.5 DENSIDAD Y PATRÓN DE RELLENO	14
7.5 PROBLEMAS COMUNES AL USAR LA TÉCNICA DE MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA.....	14
7.5.1 BOQUILLA BLOQUEADA.....	14
7.5.2 WARPING	14
7.5.3 CRACKING.....	15
7.5.4 STRINGING	16
7.6 MATERIALES COMPATIBLES CON EL MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA	17
7.6.1 ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno).....	17
7.6.2 PLA (Ácido poliláctico).....	18
7.6.3 NYLON.....	18
7.7 REGULACIÓN	18
7.8 MANTENIMIENTO BIOMÉDICO.....	19

7.8.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	19
7.8.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO.....	20
7.9 INNOVACIÓN HOSPITALARIA.....	20
8. METODOLOGÍA.....	20
8.1 GENERARACIÓN DE UN BANCO DE IDEAS DE DISPOSITIVOS Y REPUESTOS QUE PUEDEAN SER IMPRESOS, MEDIANTE LA INFORMACIÓN OBTENIDA DE LAS RONDAS DE INNOVACIÓN Y LOS DATOS HISTÓRICOS DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS BIOMÉDICOS.....	20
8.2 EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE LA FABRICACIÓN DE ESTOS ELEMENTOS MENDIANTE IMPRESIÓN 3D, PRIORIZANDO SU POSIBLE INCORPORACIÓN AL PROCESO DE IMPRESIÓN 3D.....	21
8.3 DISEÑO CAD DE LAS IDEAS PRIORIZADAS PARA VALIDAR LOS REQUERIMIENTOS NECESARIOS PARA LA CREACIÓN DEL MODELO DEL PROGRAMA DE IMPRESIÓN 3D.....	23
8.4 DISEÑO DEL MODELO DE OPERACIÓN DEL PROGRAMA DE IMPRESIÓN 3D PARA EL ÁREA DE INGENIERÍA BIOMÉDICA DE LA CLÍNICA SOMER TENIENDO EN CUENTA LAS RONDAS DE INNOVACIÓN Y LA INFORMACIÓN DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS BIOMÉDICOS.....	24
9. RESULTADOS Y ANÁLISIS	25
9.1 BANCO DE IDEAS Y PRIORIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS	25
9.2 DISEÑO CAD	27
9.3 MODELO DE OPERACIÓN DEL PROGRAMA DE IMPRESIÓN 3D.....	30
10. CONCLUSIONES.....	37
11. BIBLIOGRAFÍA.....	38
12. ANEXOS	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de trabajo.....	12
Figura 2. Ejemplo de error en la impresión debido a warping [25].	15
Figura 3. Ejemplo de error en la impresión debido a cracking [23].	16
Figura 4. Ejemplo de error en la impresión debido a stringing [23].	16
Figura 5. Metodología para la fabricación de un banco de ideas de partes o repuestos desde los registros históricos de mantenimiento biomédico.	21
Figura 6. Pasos a seguir para reconocer la viabilidad de fabricación de una pieza.....	23
Figura 7. Metodología para la realización de diseños de las piezas en un programa CAD.	24

Figura 8. Metodología para el diseño del programa de impresión 3D.	24
Figura 9. Ejemplos de daños que se podrían solucionar por medio de impresión 3D.	25
Figura 10. Piezas comunes para fabricación por impresión 3D.....	26
Figura 11. Vistas de la pieza diseñada con respecto a la pieza original para la perilla del monitor de signos vitales Nellcor N5600.	28
Figura 12. Vistas de la pieza diseñada con respecto a la pieza original para la perilla del monitor de signos vitales Edan M50.	29
Figura 13. Soporte para bolsa de sangre.	29
Figura 14. Recipiente para acomodar instrumental que posteriormente se vaya a someter a esterilización.	30
Figura 15. Plano de la primera planta del área de ingeniería biomédica.....	36
Figura 16. Plano de la segunda planta del área de ingeniería biomédica.....	37

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Softwares más usados en diseño 3D.	27
Tabla 2. Cuadro comparativo impresora 3D	31

1. RESUMEN

La gestión adecuada de la tecnología biomédica es esencial para brindar una atención segura al usuario además de generar mejores condiciones de trabajo para el personal asistencial, es por esto se busca la manera de disminuir los tiempos de parada de los equipos biomédicos y costos cuando estos requieren de mantenimientos preventivos y correctivos. Para mejorar la atención en el servicio de la tecnología biomédica, las áreas encargadas del mantenimiento han buscado estar a la vanguardia para prestar un servicio rápido, eficaz y seguro, de aquí nace la iniciativa de la creación de un programa de impresión 3D que permita la producción de piezas y repuestos para los equipos biomédicos y además sea un aporte a la innovación institucional por medio de las rondas de innovación. En el presente proyecto se desarrolla el diseño del programa de impresión 3D para el área de ingeniería biomédica de la clínica SOMER articulado con rondas de innovación, en el cual se realiza un banco de ideas de piezas posibles a imprimir, se lleva a cabo una priorización de estas para seleccionar las más adecuadas para finalmente realizar un diseño CAD en el programa Fusion 360, además se logra consolidar el programa con la compra de la impresora 3D.

Palabras claves: Impresión 3D, equipos biomédicos, piezas, repuestos, innovación.

2. INTRODUCCIÓN

El uso y la producción de impresoras 3D en los últimos años ha tenido un gran crecimiento, esto debido a la disponibilidad actual de las tecnologías, además de que es un método de obtención de productos de bajo costo, rápido, fiable y con un alto grado de personalización [1]. Generalmente se ha usado esta tecnología en la prefabricación de piezas o componentes para la arquitectura y el diseño industrial, hoy en día se está extendiendo su uso en la industria médica, así como en fabricación de prótesis, diseño de guías para cirugías, impresión de órganos, desarrollo de medicamentos, entre otros, ya que este tipo de impresión permite adaptar cada pieza fabricada a las características exactas requeridas [2].

La tecnología biomédica es uno de los componentes más complejos en el sistema de atención en salud, ésta es la principal herramienta de diagnóstico y vigilancia de enfermedades, es por esto que se requiere mantener funcional mediante el mantenimiento adecuado [3]. Uno de los retos actuales en Colombia es el acceso a repuestos y piezas para conservar los equipos en correcto funcionamiento, por lo que se han buscado alternativas para la adquisición de los mismos, así como la impresión 3D en donde gracias a la versatilidad y cantidad de productos que se pueden fabricar por medio de esta tecnología, se prevé que el 85% de proveedores de piezas de repuestos en 5

años habrán incluido la fabricación aditiva como técnica de producción complementaria [4].

Los efectos de la globalización han forzado que las empresas busquen nuevas herramientas de competitividad diferentes al precio y es allí donde la innovación juega un papel importante ya que no solo se aplica para productos, sino en procesos, lo cual ayudará a la disminución de tiempos y optimización de recursos, en donde articulando el programa de impresión 3D con las rondas de innovación (acompañamiento de procesos), los colaboradores podrán establecer una cultura de innovación, donde se incentive la participación activa y constante, generando así acciones preventivas, correctivas y mejoras continuas en todos los procesos [5].

Lo que se pretende con este proyecto es diseñar un programa de impresión 3D para el área de ingeniería biomédica, con el fin de fabricar partes y repuestos para los equipos biomédicos a los cuales se les realiza mantenimiento y de este modo disminuir tiempos de parada de los equipos así como costos; este programa será articulado con rondas de innovación para lograr un alcance institucional, en donde todos los colaboradores puedan conocer de la iniciativa y aportar a la mejora de procesos por medio de la fabricación, ideación o mejora de dispositivos biomédicos.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La gestión adecuada de la tecnología biomédica es esencial para brindar una atención segura al usuario además de generar mejores condiciones de trabajo para el personal asistencial, es por esto que cada día se busca la manera de disminuir los tiempos de parada de los equipos biomédicos cuando estos requieren de mantenimientos preventivos y correctivos [6].

Se registró que para el año 2019 los pedidos de repuestos a proveedores se demoraron aproximadamente 28 días en llegar a la clínica desde el día en que se realiza el encargo, debido a esto es que para mejorar la atención en el servicio de la tecnología biomédica, las áreas encargadas del mantenimiento han buscado estar a la vanguardia para prestar un servicio rápido eficaz y seguro, es por esto que sale a relucir el uso de la impresión 3D, ya que es una tecnología eficiente que se utiliza en la fabricación de repuestos y permite producir piezas que se muevan, enrosquen, giren y sean ensamblables, dando como resultado una optimización en tiempo y costos de producción o mantenimiento de equipos biomédicos, de este modo no se depende directamente de un proveedor en donde dependiendo de su localización y del tipo de repuesto que se requiera se puede demorar hasta varios meses en la obtención de la pieza requerida, por medio de la impresión 3D se pueden obtener prototipos funcionales en cuestión de horas, sin embargo todo esto depende de la calidad de impresión y del tamaño de la pieza [7].

El programa de impresión 3D realiza un aporte a la innovación institucional, en donde las rondas de innovación son el componente principal, ya que, desde allí, por medio de los acompañamientos realizados se detectan problemas o surgen ideas para la optimización de diferentes procesos ejecutados en las áreas de la clínica.

4. JUSTIFICACIÓN

Una de las tecnologías con una gran evolución en los últimos años es la construcción de piezas mediante impresoras 3D. En los últimos meses se han multiplicado las noticias sobre las posibilidades de estas impresoras en numerosos sectores productivos. En este contexto se debe situar la mención de Barack Obama (ex-presidente de EEUU) en el discurso sobre el estado de la Nación del 2013: "*La impresión 3D tiene el potencial de revolucionar la manera en que hacemos casi todo*" [8].

En este trabajo se pretende crear un programa de impresión 3D dentro del área de ingeniería biomédica de la clínica SOMER en donde se permita la fabricación de piezas y repuestos para los equipos biomédicos que lo requieran, esto con el fin de disminuir tiempos de parada causados por la adquisición de repuestos, en donde dependiendo del tipo de pieza que se requiera se puede pasar de un tiempo de espera de 28 días a un 1 o 2 días si la pieza requiere post procesos, de igual modo se pretende disminuir el costo de adquisición de repuestos en un 30 % aproximadamente.

Otro punto fuerte de la tecnología de impresión 3D es la presencia que ha tenido en la lucha contra el Covid-19, en donde se han fabricado partes del equipo de bioseguridad para el personal asistencial, además de repuestos para ventiladores mecánicos, aquí se puede destacar la versatilidad en los usos de esta tecnología ya que no se adquiere solo para un fin, sino que se puede adaptar según las necesidades [9],[10].

Para lograr que la tecnología sea bien recibida y se aproveche su adquisición al máximo es necesario contar con un programa que permita que tanto el personal técnico, como el personal asistencial estén enterados del funcionamiento de la tecnología en la clínica, así mismo como de los alcances a los que se puede llegar, es por esto, que se realiza la articulación con las rondas de innovación en donde el personal asistencial es el principal protagonista, ya que allí se realiza un acompañamiento en los procesos que estos llevan a cabo y surgen ideas para la mejora de los procedimientos por medio de dispositivos.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un programa de impresión 3D para el área de ingeniería biomédica de la clínica SOMER con el fin de producir dispositivos partes y repuestos tanto para

los equipos biomédicos a los cuales se les realiza mantenimiento en el área, como para las ideas aprobadas que surjan de las rondas de innovación y acompañamiento de procesos que se requieran en las diferentes áreas de la clínica.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Generar un banco de ideas de dispositivos y repuestos que puedan ser impresos, mediante la información obtenida de las rondas de innovación y los datos históricos de mantenimiento de equipos biomédicos.
- Evaluar la viabilidad de la fabricación de estos elementos mediante impresión 3D, priorizando su posible incorporación al proceso de impresión 3D.
- Realizar el diseño CAD de las ideas priorizadas para validar los requerimientos necesarios para la creación del modelo de operación del programa de impresión 3D.
- Diseñar el modelo de operación del programa de impresión 3D para el área de ingeniería biomédica de la clínica SOMER teniendo en cuenta las rondas de innovación y la información de mantenimiento de equipos biomédicos.

6. ANTECEDENTES

S.Torres, J.Cárdenas & R. Torres (2017) Describieron la implementación de un laboratorio de cocreación bajo la modalidad de MakerSpace, para áreas de salud en el Hospital General de Medellín “Luz Castro de Gutiérrez”, esto como respuesta a la necesidad de generar capacidades de innovación para resolver problemas organizacionales, siendo este el primer espacio en su tipo del cual se tiene evidencia en un hospital público en Colombia y Latinoamérica [11].

Según la revista Dinero, en Colombia el mercado de impresión 3D se abre con fuerza, en donde el sector salud es el que más involucra soluciones con esta tecnología, así como FabriLab, que fabrica prótesis de mano, brazos, piernas o productos para personas con discapacidad visual, de los cuales una parte son donados a niños de escasos recursos, de igual manera la empresa Undos 3D ofrece la elaboración de biomodelos para planeación quirúrgica [12].

J.Noval (2019) del Instituto Roche menciona que la impresión 3D ha encontrado aplicación en gran parte de áreas científicas, tecnológicas e, incluso, industriales y su utilización y potencial en el campo de la medicina es cada vez mayor, algunas de las aplicaciones en las que estas impresoras han entrado en auge en el área de la medicina son: mejora o corrección de funciones mecánicas y fisiológicas, impresión de medicamentos, modelos pre-quirúrgicos y bioimpresión [13].

La revista La Vanguardia, publicó recientemente un artículo en donde mencionan un hospital italiano que logró producir válvulas de repuesto para los respiradores con el fin de mitigar la emergencia ocasionada por el Covid-19, de igual manera que se aplicó en los respiradores se busca darle un uso a la tecnología de impresión 3D para la producción de piezas de repuesto para equipos biomédicos [14].

7. MARCO TEÓRICO

7.1 HISTORIA DE LA IMPRESIÓN 3D

Hideo Kodama fue la primera persona en publicar acerca de un modelo sólido fabricado con un sistema de prototipado rápido de fotopolímero en 1981. Alain Le Méhauté, Oliver de Witte y Jean Claude André, presentaron una patente para una técnica en donde se consiguen piezas de resina epoxi, denominada estereolitografía en 1984, sin embargo, su técnica fue abandonada ya que no tenía perspectiva de negocio. En ese mismo año Charles Hull presenta su propia patente para el método de la estereolitografía (SLA), la técnica consistía en que un láser ultravioleta solidificaba una fina capa de resina acrílica, repitiendo este proceso al añadir resina encima y solidificando de nuevo; de esta manera se creaba un objeto en 3 dimensiones al añadir capa sobre capa [15].

En el año de 1988 Scott Crump inventa el modelado por deposición fundida (FDM) el cual consiste en la superposición de capas de material fundido que posteriormente se solidifica con la forma deseada [16]. Desde ese momento los avances se han dado a pasos gigantes surgiendo nuevos tipos de impresoras hasta el punto actual en donde la impresión 3D es tan popular y usada que cualquiera puede acceder a ella.

7.2 EN QUÉ CONSISTE LA IMPRESIÓN 3D

Es un proceso mediante el cual se fabrican objetos físicos colocando material por capas, con base en un modelo digital. El proceso da inicio de manera digital, generando un diseño de la pieza que se desea fabricar por medio de un software de diseño o por imágenes tomadas por cámara y transformadas en un modelo CAD [17].

Una vez se tenga el diseño de la pieza este se debe convertir a formato STL el cual es reconocido por el software de laminación 3D "slicer" en este software se modifica la cantidad de capas a imprimir, el grosor de cada capa, etc. Este software genera un archivo de extensión gcode el cual es el encargado de dar las órdenes a la impresora 3D; es decir, indica los movimientos de los motores y cabezales [17].

7.3 TÉCNICAS DE FABRICACIÓN ADITIVA

Para la formación de objetos tridimensionales a partir de diseños y modelos digitales es necesaria una impresora 3D, sin embargo, existen diferentes técnicas para conseguir dichos objetos, entre estos procesos de manufactura aditiva se pueden resaltar: proceso por fotopolimerización donde la peculiaridad de esta técnica es que el material de aporte para formar objetos es sensible a la luz y se encuentra en forma líquida; la impresora en su proceso se realiza por medio del enfoque de un láser sobre el material líquido una solidificación, dando como resultado la formación de capa por capa. Proceso de extracción en donde su funcionamiento depende de la aportación de filamentos de material, que se calienta hasta fundirse y es depositado capa por capa hasta formar el objeto diseñado. Por último, el proceso comúnmente se encuentra en la manufactura industrial en donde el material de aporte se encuentra en forma de polvo, en un recipiente de contención donde es fundido por un láser y depositado hasta formar el objeto deseado [18].

7.3.1 ESTEREOLITOGRAFÍA (SLA)

También es conocida como fabricación óptica o de foto solidificación, la técnica consiste en la aplicación de un haz de luz ultravioleta a una resina líquida sensible a la luz. La luz UV solidifica la resina capa por capa, la base en la cual se encuentra soportada la estructura se mueve hacia abajo dejando que la luz ejerza su acción sobre las nuevas capas de resina que se van aplicando hasta alcanzar la forma deseada [16]. Una vez terminada la pieza se sumerge en un baño químico para eliminar el exceso de resina y posteriormente se cura en luz ultravioleta. Una de las principales ventajas de este tipo de impresión es que las piezas obtenidas no son porosas por lo que no necesitan de un tratamiento posterior para hacerlas impermeables al agua o aire. Y su mayor inconveniente proviene de la característica de las resinas fotosensibles de curar con luz ultravioleta, ya que las propiedades de dureza y resistencia obtenidas del curado cambian a lo largo del tiempo, volviéndose las piezas cada vez más frágiles [17].

7.3.2 SINTERIZADO SELECTIVO POR LÁSER (SLS)

La técnica consiste en colocar una capa fina de material en polvo en un recipiente, un láser de CO₂ impacta en el polvo causando que se fusione y solidifique en la forma deseada de la pieza, la base en la que está ubicado el material desciende para dar paso a la formación de una nueva capa del objeto a fabricar. El material que no es solidificado se usa en nuevos objetos a fabricar, por lo que no hay desperdicio de material [16].

7.3.3 MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA (FDM)

También conocida como FFF por sus siglas en inglés (*fused filament fabrication*), consiste en depositar material fundido sobre una base, en donde en primer lugar se obtiene un diseño de la pieza en un software CAD, posteriormente el software de la impresora divide el gráfico en capas del tamaño del diámetro de salida de la boquilla, para cada capa la impresora se desplaza sobre la base adicionando el material sobre las coordenadas adecuadas. El material en primera instancia se encuentra en estado sólido almacenado en rollos, este se funde y por medio de una boquilla, sale en forma de hilos los cuales dan la forma al objeto que se desea formar. Esta es la técnica más común usada en la actualidad, una de sus principales ventajas es la gran variedad de materiales que se pueden usar y además es una tecnología bastante asequible [16].

En la *Figura 1* se encuentra de manera resumida el flujo de trabajo que se debe llevar a cabo cuando se usa la técnica FDM, este diagrama se puede aplicar de igual modo a las técnicas mencionadas anteriormente.

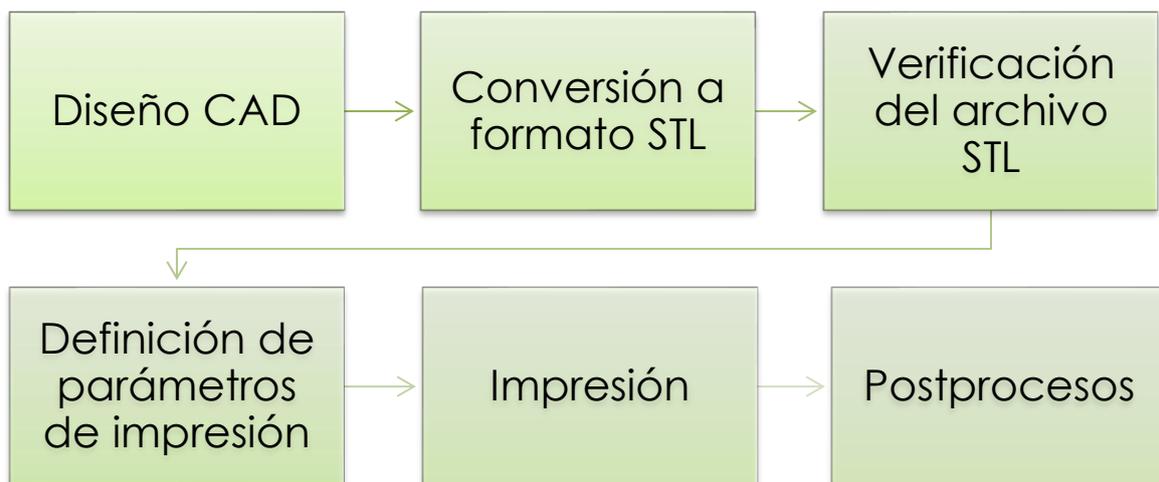


Figura 1. Diagrama de flujo de trabajo.

7.4 PARÁMETROS FUNDAMENTALES DE FABRICACIÓN EN IMPRESORAS 3D CON TECNOLOGÍA FDM

En los procesos de manufactura aditiva luego de la creación de la pieza por medio de un software CAD y la exportación a formato STL, se deben configurar diferentes parámetros los cuales afectan directamente a la calidad de la pieza a obtener, además se puede conseguir un control sobre el proceso de impresión. Cabe resaltar que estas propiedades dependen del software específico que se use para la impresión, sin embargo, en casi todos se pueden encontrar los mismos parámetros para modificar.

7.4.1 ALTURA DE CAPA

Se define como la dimensión Z en una pieza, en donde dependiendo de la altura de capa y la altura de la pieza se obtendrá una cantidad específica de capas que constituirán la pieza completa, esto influye directamente en el tiempo de fabricación ya que entre más finas sean las capas mayor tiempo tomará fabricar la pieza, pero esta tendrá una mejor resolución y calidad [19]. Se debe tener en cuenta para escoger una altura de capa adecuada el diámetro de la boquilla, no son recomendables alturas de capa superiores al 80% del diámetro de la boquilla, tampoco lo son inferiores al 40% de ésta [19].

7.4.2 TEMPERATURA DE EXTRUSIÓN

Es un factor que depende del material que se esté usando y del fabricante, ya que cada uno tiene su temperatura de fusión y de cristalización. La temperatura de extrusión tiene consecuencias en la precisión dimensional y en la dureza de la pieza. Es importante tomar como referencia los valores de temperatura que indica el fabricante del material, pero aun así en muchas ocasiones será necesario ajustarlos para obtener los mejores resultados [19].

7.4.3 VELOCIDAD DE IMPRESIÓN

Controla la velocidad con la que el extrusor se desplaza mientras va depositando material sobre la placa o sobre el resto de la pieza en el caso de capas superiores. Esta velocidad está ligada a la temperatura del extrusor, ya que, al extruir a temperaturas más altas, el material saldrá ligeramente más fundido, es decir, más líquido por lo que se puede aumentar la velocidad, además se pueden escoger diferentes velocidades dependiendo de la zona que se esté imprimiendo, es decir, las zonas internas de relleno se pueden imprimir con una velocidad mayor que las zonas del perímetro externo para en este caso asegurar una calidad exterior óptima [20].

7.4.4 POSICIÓN DE LA PIEZA

Es fundamental elegir con criterio la posición de la pieza. Siempre se busca: maximizar la superficie de apoyo, minimizar la cantidad de soporte, orientar las capas en función de la fuerza que deba resistir la pieza y reducir los tiempos de impresión [21].

7.4.5 DENSIDAD Y PATRÓN DE RELLENO

La densidad de relleno define la densidad de la estructura interna en la pieza, esta se puede modificar entre 0 % y 100 %. Al variar el porcentaje de relleno se optimiza el uso del material y el tiempo de impresión. Cuando se escoge un porcentaje de relleno elevado la pieza adquiere mayor resistencia, pero también mayor consumo de material y mayor tiempo de impresión. La selección del porcentaje de relleno depende del uso que se le dará al objeto luego de su impresión [22].

El patrón de relleno puede variar entre diversos patrones (lineales, hexagonales, cuadrículados, etc.) que se pueden modificar, ya sea para reducir tiempos de impresión o lograr piezas con mayor resistencia mecánica. También cabe destacar que es un parámetro que depende del software utilizado, no todos los programas de laminado 3D tienen las mismas opciones, pero la mayoría de ellos son comunes, siendo los más frecuentes y utilizados: hexagonal o en panal de abeja, el cual se utiliza mucho ya que las piezas serán muy resistentes estructuralmente con respecto a los demás; cúbico; triangular; lineal; concéntrico; en zigzag, etc. [22].

7.5 PROBLEMAS COMUNES AL USAR LA TÉCNICA DE MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA

Existen diversos problemas que pueden hacer que la pieza que se requiera imprimir no salga con la forma correcta, calidad o dimensiones adecuadas, sin importar la falta de errores al momento de diseñar la pieza, es por esto que es importante conocer los problemas a los que diariamente las personas que usan impresoras 3d FDM se enfrentan.

7.5.1 BOQUILLA BLOQUEADA

No es inusual que al querer imprimir no salga filamento por la boquilla, esto ocurre cuando en trabajos anteriores se ha acumulado material dentro de la boquilla bloqueando la salida, este problema es el más sencillo de solucionar ya que lo único que se necesita es calentar la boquilla para que el material atascado se coloque blando y una aguja para desatascarlo, de igual manera en el mercado existen filamentos para limpiar boquillas bloqueadas [23].

7.5.2 WARPING

El warping o base curvada consiste en el levantamiento de las primeras capas de la impresión, lo que ocasiona que la pieza no se forme de la manera adecuada, esto puede ocurrir debido a falta de adherencia en la base o cama,

también por contracción térmica de las últimas capas, que al momento de encogerse halan las capas inferiores ocasionando una deformación total en la pieza o hasta una fractura de la misma. Si el problema es falta de adherencia se puede solucionar usando laca adhesiva, si por el contrario se ocasiona por contracción térmica lo más recomendable es cerrar la impresora para que la temperatura se mantenga constante tanto en las capas superiores como en las inferiores [24].

En la *Figura 2* se encuentra encerrado en un círculo rojo como luce una pieza con error debido a warping, aquí se puede observar claramente como la base de la pieza se encuentra ligeramente levantada en una de las esquinas.

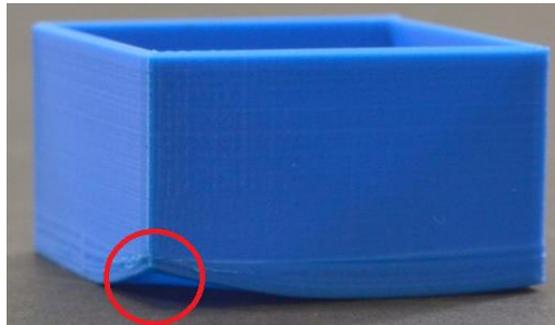


Figura 2. Ejemplo de error en la impresión debido a warping [25].

7.5.3 CRACKING

El cracking o grietas en la impresión es un problema muy común en modelos 3D de alturas elevadas, en este caso lo que ocurre es que capas continuas se encuentran separadas, esto puede ocurrir por mala adherencia entre capas o por contracción térmica. Si el problema consiste en falta de adherencia comúnmente es falta de temperatura en la extrusión del filamento, por otro lado, si se debe a contracción térmica lo que se debe hacer es conseguir crear un entorno cálido en el área de impresión al igual que con el warping se debe cerrar la impresora para mantener la temperatura dentro del ambiente de la impresora [24].

En la *Figura 3* se encuentra encerrado en un círculo rojo como luce una pieza con error debido a cracking, aquí se evidencia claramente como capas continuas de la pieza se encuentran separadas.

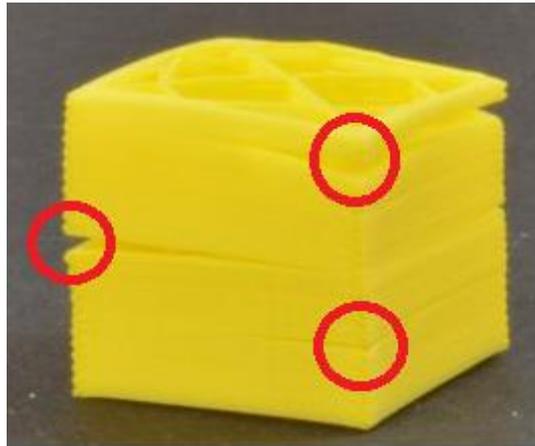


Figura 3. Ejemplo de error en la impresión debido a cracking [23].

7.5.4 STRINGING

Stringing o hilos en la pieza ocurre cuando la boquilla al desplazarse de un punto tiene pequeños residuos de material que queda adherido en ambos puntos, dejando así un hilo entre los dos puntos de movimiento. Para solucionar este problema es necesario configurar en el software la retracción, es decir, dar la orden para que la impresora retraiga el filamento al moverse entre puntos aquí se pueden modificar los parámetros de distancia de retracción y velocidad de retracción. De igual modo se puede solucionar ajustando la temperatura de extrusión ya que se puede encontrar bastante elevada y por esto al desplazarse la boquilla quedan hilos [23].

En la *Figura 4* dentro del círculo negro se puede observar cómo luce una pieza con error debido a stringing o hilos en la pieza. Se puede evidenciar que entre los picos hay hilos sobrantes que no hacen parte del diseño original de la pieza.

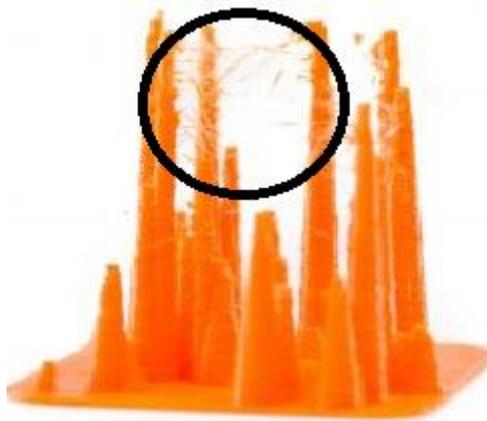


Figura 4. Ejemplo de error en la impresión debido a stringing [23].

7.6 MATERIALES COMPATIBLES CON EL MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA

En la manufactura aditiva por medio de la tecnología de modelado por deposición fundida los materiales más empleados son los polímeros termoplásticos, estos materiales se denominan de este modo ya que al aplicar calor se ablandan pudiendo moldearse de diferentes maneras, esto es posible gracias a su estructura interna, en donde las largas cadenas de carbono por las que principalmente están compuestos, se encuentran entrelazadas mediante fuerzas de Van der Waals, los cuales son enlaces débiles que con el calor se rompen [26].

Los materiales usados en impresión 3D se usan en forma de filamento, es decir hilos enrollados que a medida que se usan se van desenvolviendo de la base en la que se encuentran, es importante resaltar que las propiedades de las piezas formadas por medio de impresión 3D con la tecnología de FDM dependen tanto del material como del patrón de relleno, la densidad de relleno y la dirección de impresión, propiedades que se modifican en el software de impresión [27].

7.6.1 ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)

Es un polímero compuesto por tres monómeros diferentes: acrilonitrilo, butadieno y estireno). Al encontrarse constituido por distintos monómeros recibe el nombre de terpolímero, en donde cada uno de sus constituyentes aporta diversas propiedades a lo que será el material como tal [28].

El acrilonitrilo aporta rigidez, resistencia a ataques químicos, dureza y estabilidad a altas temperaturas, por otra parte, el butadieno el cual es un elastómero proporciona tenacidad a cualquier temperatura lo cual es importante en ambientes con temperaturas bajas en donde el material se vuelve quebradizo, para finalizar el estireno le da resistencia mecánica y rigidez. Esta mezcla de propiedades hace que el producto final sea de gran aplicación en la fabricación aditiva, además que puede someterse a procesos de postproducción [28].

El filamento de ABS tiene una temperatura de fusión de aproximadamente 200°C, por lo que se recomienda que el extrusor se encuentre entre 230 y 260 °C, además de esto la base de la impresora debe ser caliente entre 80 y 130 °C ya que es un material que se encoge al momento de enfriarse, de igual manera se recomienda el uso de una impresora con cámara cerrada ya que en el momento de imprimir el material suelta partículas que pueden ser dañinas para la salud humana [29].

El ABS es usado comúnmente en carcasas de dispositivos electrónicos, electrodomésticos, automóviles, piezas de decoración o juguetes, entre otros [30].

7.6.2 PLA (Ácido poliláctico)

Es un polímero que se puede producir a partir de recursos naturales y puede ser biodegradable si se somete a las condiciones necesarias de temperatura, humedad y presencia de microorganismos. Ofrece una buena resistencia a la tracción y calidad superficial, facilita el trabajo a altas velocidades de impresión, simplifica el uso en entornos domésticos y de oficina y permite la creación de piezas de alta resolución [31].

El PLA es un material que no emite gases nocivos por lo que no requiere que la impresora sea cerrada, no es necesario el uso de base caliente, tiene una temperatura de fusión de aproximadamente 160°C se recomienda que el extrusor se encuentre a unos 200°C [32].

Se usa comúnmente en empaques, envases y en general piezas que se encuentren en contacto constante con alimentos, piezas decorativas, maquetas y es de los más usados al momento de solicitar piezas de gran tamaño debido a su sencillez en la impresión [33].

7.6.3 NYLON

Es un polímero artificial perteneciente al grupo de las poliamidas, generado por poli condensación de un diácido con una diamina. Es un material en donde sus principales características como alta resistencia, elevada flexibilidad y durabilidad extrema en términos de posible rotura, todo esto unido a un elevado rendimiento en los resultados lo hacen un material apetecible para diversas aplicaciones en impresión 3D [34].

Es un material complejo de imprimir con respecto a los demás, esto debido a la falta de adhesión a la bandeja, es por esto que se recomienda el uso de cama calefactada y laca adhesiva en caso de presentar dicho problema, es importante tener en cuenta que se debe imprimir a temperaturas de 260°C a 280°C, lo cual sería un inconveniente ya que muchas impresoras no llegan a alcanzar temperaturas tan altas. Tiene una amplia gama de aplicaciones, así como: partes y equipos mecánicos, tejidos textiles, refuerzos para neumáticos de automóviles, entre otros [35].

7.7 REGULACIÓN

En la actualidad en Colombia no hay una regulación para los dispositivos fabricados mediante la tecnología de fabricación aditiva, sin embargo, la FDA (*Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos*) tiene historia en la investigación de tecnologías innovadoras para generar conocimiento y experiencia, sin dejar de proteger la salud pública. Entre estas investigaciones se encuentra la impresión 3D, para evaluar la seguridad,

eficacia, calidad y rendimiento de los productos desarrollados a través de esta tecnología. Se prevé que esta investigación ayude a informar el “desarrollo de normas y establecer parámetros para escala, materias y otros aspectos críticos que contribuyen a la seguridad del producto y la innovación” [15].

En 2017 la FDA publicó una guía en la cual establece los principales puntos que hay que abordar a la hora de fabricar mediante impresión 3D: “Technical Considerations for Additive Manufactured Devices” (Consideraciones técnicas para dispositivos fabricados aditivamente); El objetivo de esta guía es pautar una serie de recomendaciones generales que puedan seguir los fabricantes, variando lo que consideren necesario, siempre que cumplan con los requerimientos regulatorios del sistema de calidad. A pesar de la publicación de esta guía, por el momento no existe un reglamento o normativa que especifique de forma clara y precisa las directrices que hay que seguir en la impresión 3D y en la aprobación de sus productos [36].

7.8 MANTENIMIENTO BIOMÉDICO

Según la ley 100 de 1993, indica que cada institución prestadora de servicios de salud debe invertir en mantenimiento cada año para proteger su infraestructura y equipamiento, en donde según la circular No 29 define los objetivos de mantenimiento de la siguiente manera:

1. Garantizar la seguridad de los pacientes y el personal que administra y utiliza los recursos físicos del hospital [37].
2. Apoyar el servicio de salud en el cumplimiento de los objetivos de calidad ordenados por la ley [37].
3. Asegurar la disponibilidad y el funcionamiento eficiente de los recursos físicos necesarios para prestar servicios de salud [37].

Para garantizar estas condiciones se implementan diferentes tipos de mantenimiento a los equipos biomédicos.

7.8.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo de los equipos biomédicos es un proceso, el cual consiste en una serie de inspecciones periódicas de los equipos biomédicos, a los cuales se les realizan tareas de limpieza, lubricación, ajuste, comprobación y reemplazo de componentes defectuosos, con el fin de mantener el equipo funcionando siempre en un estado óptimo. La aplicación del mantenimiento preventivo permite que los equipos puedan ser usados de manera permanente o cuando sea requerido su uso para un procedimiento específico, eliminando los posibles riesgos de parada prolongada o total de la producción generando altos costos [38].

7.8.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El mantenimiento correctivo es el trabajo realizado sobre un equipo para restaurar su estado operacional luego de presentar una falla. Este tipo de mantenimiento no es planificado, y solo se lleva a cabo a partir del reporte que hace el usuario del equipo o el personal que realiza el mantenimiento programado, este proceso tiene actividades técnico administrativos las cuales deben garantizar de manera oportuna las herramientas, instrumentos, repuestos y accesorios a fin de desarrollarlo en un plazo determinado, en este caso, se hace necesario tener procedimientos de acción claramente definidos, con el fin de minimizar el impacto causado por la falla y el tiempo de paro del servicio [39].

7.9 INNOVACIÓN HOSPITALARIA

La innovación consiste de aquellas circunstancias, hechos o elementos que condicionan de forma clara y determinante la modificación del comportamiento general o específico en un sector. La posibilidad de desarrollo permanente de métodos y estrategias aplicados a los procesos, tales como la organización y el desempeño institucional, la gestión del servicio de salud y la actividad administrativa relacionada con el paciente son determinantes al momento de hablar sobre innovación hospitalaria. El desarrollo tecnológico aplicado a la investigación en ciencias biomédicas se tradujo en la disponibilidad de instrumentos para un mejor diagnóstico y tratamientos de múltiples padecimientos fruto de una creciente inventiva y aplicación de tecnologías innovadoras; por tanto, la innovación ha logrado afectar al modelo de atención en salud de tal manera que los procesos de innovación impactan de modo visible en las instituciones donde se presta el servicio de salud [40].

8. METODOLOGÍA

8.1 GENERACIÓN DE UN BANCO DE IDEAS DE DISPOSITIVOS Y REPUESTOS QUE PUEDAN SER IMPRESOS, MEDIANTE LA INFORMACIÓN OBTENIDA DE LAS RONDAS DE INNOVACIÓN Y LOS DATOS HISTÓRICOS DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS BIOMÉDICOS.

En la *Figura 5* se observan los pasos que fueron seguidos para la elaboración de un banco de ideas de repuestos, en primer lugar es necesario realizar un análisis de los documentos en donde se deposita la información de los equipos que requieren mantenimiento correctivo, posteriormente se filtró la información buscando los daños de partes que pudieran ser fabricados por medio de la impresora 3D, para seleccionar dichas partes se tuvo como criterio que el material original de la pieza fuera polimérico; de igual manera se realizó una consulta con los tecnólogos del área por medio de una encuesta, con el fin de

conocer las piezas que ellos consideran serían las más comunes para imprimir, de este modo se consolida una lista de partes o repuestos.

De igual manera este banco de ideas se alimenta a medida que surjan necesidades desde las rondas de innovación, en donde se realiza un acompañamiento a las diferentes áreas de la clínica, allí se lleva a cabo una observación de los diferentes procesos que en cada área ejecuten, además se realizan charlas y encuestas con el personal asistencial en donde ellos pueden aportar desde su experiencia las falencias que encuentren en los procesos evaluados y las posibles soluciones a estas.



Figura 5. Metodología para la fabricación de un banco de ideas de partes o repuestos desde los registros históricos de mantenimiento biomédico.

8.2 EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE LA FABRICACIÓN DE ESTOS ELEMENTOS MENDIANTE IMPRESIÓN 3D, PRIORIZANDO SU POSIBLE INCORPORACIÓN AL PROCESO DE IMPRESIÓN 3D.

A continuación, en la *Figura 6* se muestra un diagrama de flujo en donde respondiendo las preguntas, las cuales se construyeron analizando el modelo actual que se tiene en la clínica SOMER para la adquisición de repuestos, agregándole el nuevo componente de la fabricación de las piezas por medio de impresión 3D, se puede llegar de una manera sencilla a reconocer si es viable fabricar o no la pieza. Para evaluar la viabilidad de la fabricación de las piezas se deben tener en cuenta aspectos como: uso de la pieza que se requiere fabricar, importancia en el funcionamiento del equipo y tipo material en el que se encuentra fabricada la parte original. Es fundamental realizar estos cuestionamientos ya que así se conocerá el tipo de propiedades que debe

cumplir la pieza que se desea fabricar. Una vez se tenga esta parte resuelta se puede comenzar a responder lo planteado en el diagrama de flujo.

Con el modelo planteado se pueden obtener dos resultados diferentes y opuestos, el de fabricar la pieza o no fabricar la pieza.

Cuando se realiza la pregunta ¿Es posible fabricar la pieza? se evalúan los conceptos mencionados anteriormente: uso de la pieza, importancia en el funcionamiento del equipo y tipo material en el que se encuentra fabricada la parte original, de este modo al conocer el destino y el uso que se le dará la pieza la persona encargada de la impresión sabrá si es factible o no la impresión de la misma, al responder "No" se toma inmediatamente como resultado: no se fabrica y se llega al fin del diagrama de flujo. Mientras que si la respuesta es afirmativa es posible seguir con la evaluación para la fabricación.

Al evaluar la pregunta ¿Se encuentra en stock? Se debe buscar en el inventario de la bodega si la pieza solicitada se encuentra disponible para uso, esto se realiza con el fin de usar los repuestos que se encuentren en el inventario y así evitar la impresión de una pieza con la cual ya se contaba con anterioridad.

Antes de solucionar la pregunta: ¿El tiempo y costo es mayor o menor por medio de impresión 3D? se debe revisar en registros históricos si la pieza ya había sido solicitada anteriormente a un proveedor, comparando costos y tiempo de entrega con el tiempo de fabricación y costo de impresión. En caso de que nunca se haya solicitado una pieza de esa naturaleza se debe buscar en el mercado el valor comercial y los tiempos de entrega que manejan diferentes proveedores; sin embargo, en caso de que se trate de una urgencia en donde el equipo biomédico sin dicha parte deba dejar de funcionar, se procederá inmediatamente a la producción de la pieza en caso de contar con lo necesario para realizar el diseño de la misma y proceder con la impresión.

La estimación del costo de una impresión se realiza analizando diferentes variables, así como la altura de capa, densidad y patrón de relleno con el que se va a fabricar, al ajustar estos parámetros en el software de impresión este arroja un costo estimado de la pieza y el tiempo que tomará en producirse. Si como resultado a esta pregunta la respuesta es: Mayor, se procede a analizar si la pieza necesaria se consigue con proveedor, al obtener una respuesta afirmativa no se produce la pieza, mientras que si la respuesta es negativa se procede a fabricar; si el resultado a la pregunta es: Menor, se pregunta ¿Se cuenta con el diseño o es posible realizarlo? Si la respuesta es afirmativa se procede a fabricar la pieza, mientras que si es negativa se realiza la pregunta ¿Existen alternativas para realizar el diseño? Si la respuesta es afirmativa se fabrica la pieza, mientras que si es negativa no se fabrica. Estas dos últimas preguntas son muy importantes ya que sin contar con las herramientas como la pieza de manera física o fotografías de las cuales se puedan obtener las dimensiones sería imposible la fabricación de una pieza funcional.

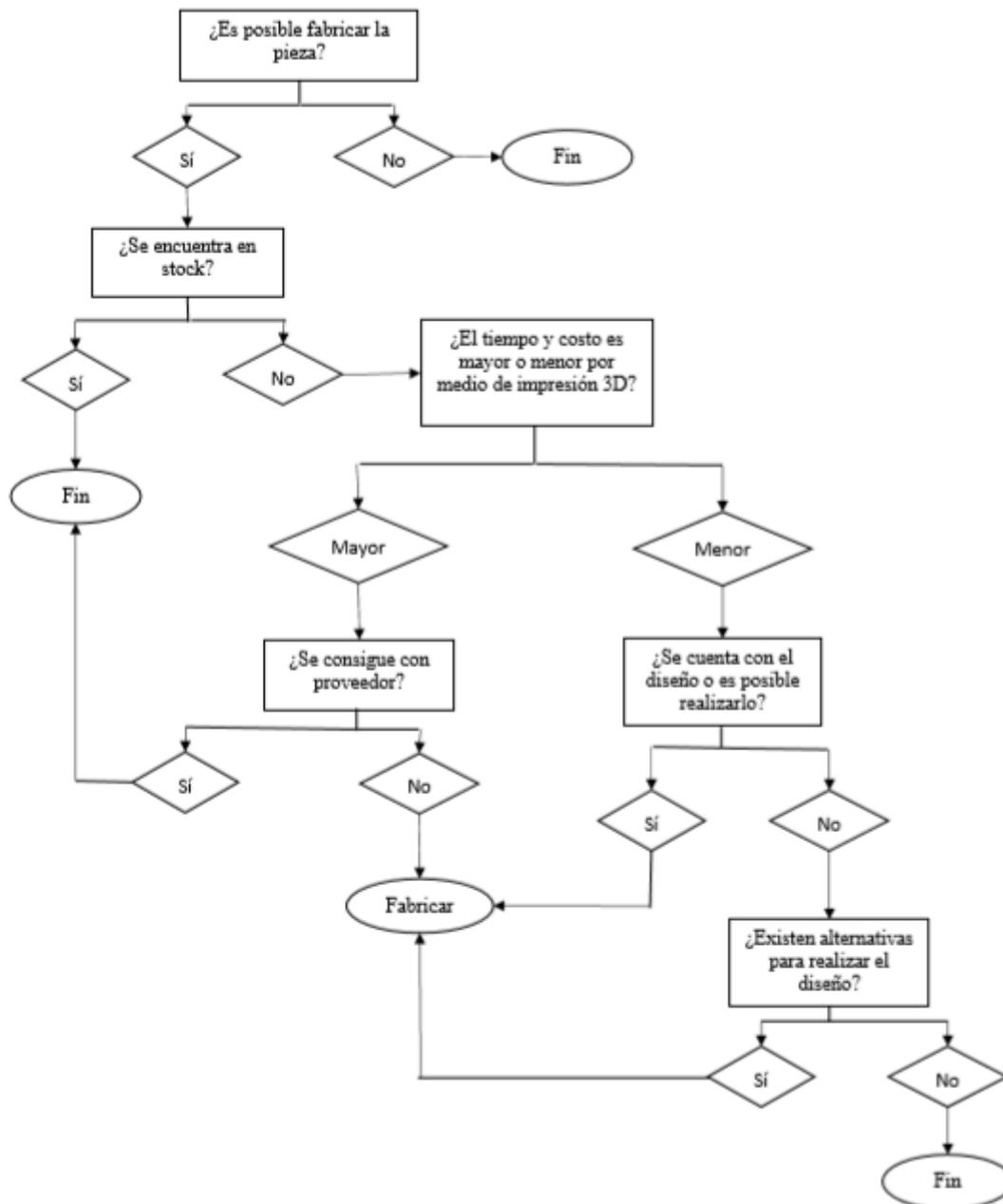


Figura 6. Pasos a seguir para reconocer la viabilidad de fabricación de una pieza.

8.3 DISEÑO CAD DE LAS IDEAS PRIORIZADAS PARA VALIDAR LOS REQUERIMIENTOS NECESARIOS PARA LA CREACIÓN DEL MODELO DEL PROGRAMA DE IMPRESIÓN 3D.

Para proceder con el diseño de las piezas seleccionadas, en primer lugar, se debe realizar la toma de medidas de la pieza, esto se puede lograr con un pie de rey si se tiene la pieza en físico, en caso de no contar con la pieza de manera física existen diferentes softwares que por medio de fotografías obtienen las dimensiones necesarias para realizar el diseño, esto siempre y cuando la fotografía cuente con una escala de medición. Luego se procede a seleccionar el software de diseño, para esto se tuvieron en cuenta los siguientes criterios: que fuera de libre acceso y que tuviera la opción de guardar el archivo en formato

STL ya que este es el formato que se conecta con el software de la impresora, para finalizar se realiza el diseño en el programa seleccionado, así como se observa en la *Figura 7*.



Figura 7. Metodología para la realización de diseños de las piezas en un programa CAD.

8.4 DISEÑO DEL MODELO DE OPERACIÓN DEL PROGRAMA DE IMPRESIÓN 3D PARA EL ÁREA DE INGENIERÍA BIOMÉDICA DE LA CLÍNICA SOMER TENIENDO EN CUENTA LAS RONDAS DE INNOVACIÓN Y LA INFORMACIÓN DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS BIOMÉDICOS.

En la *Figura 8* se encuentran plasmados los pasos que se llevaron a cabo para el diseño del programa de impresión 3D, en donde en primer lugar se realizó una evaluación de la tecnología según los requerimientos y características deseados, luego se realizaron visitas de referenciación al Hospital General de Medellín y al Hospital San Vicente Fundación, ya que en ambos cuentan con impresora 3D y para finalizar se analizaron los complementos del programa como lo serían ubicación de la impresora dentro del área, el recurso humano necesario para llevar a cabo el programa y la inversión inicial necesaria para la implementación del programa.

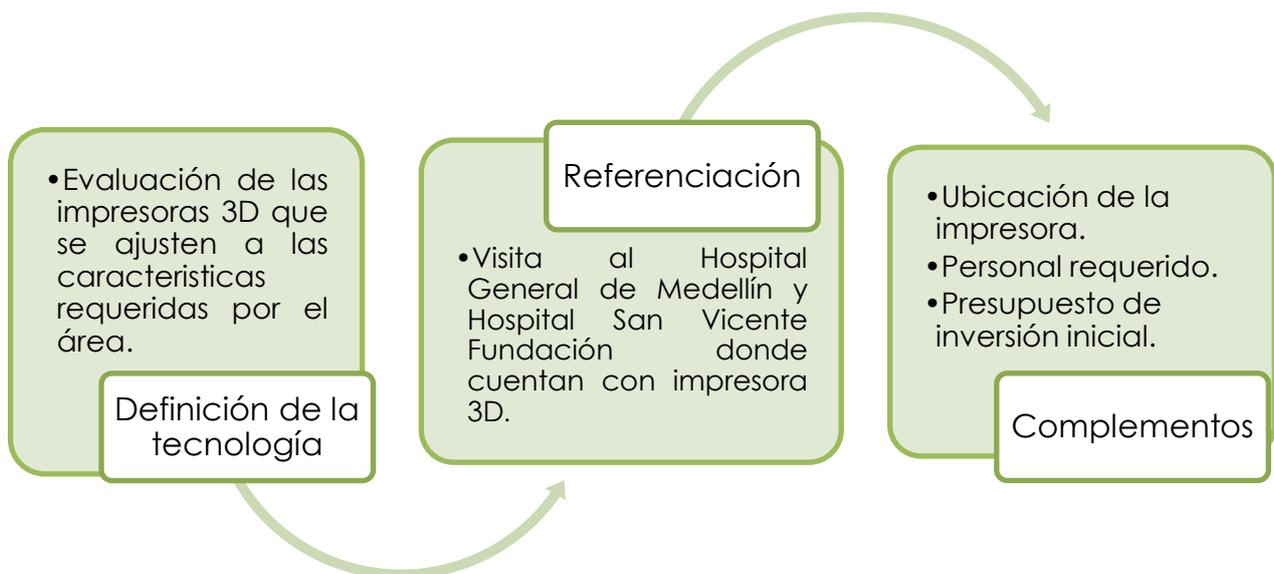


Figura 8. Metodología para el diseño del programa de impresión 3D.

Para la evaluación de la tecnología necesaria para llevar a cabo el programa de impresión 3D, se buscó que la impresora contara con:

- Capacidad de impresión de 30cm de alto x 30 cm de largo x 30 cm de ancho.
- Variedad de materiales de impresión.
- Elevada de temperatura del extrusor o posibilidad para adaptarlo.
- Buen acompañamiento de proveedor.

9. RESULTADOS Y ANÁLISIS

9.1 BANCO DE IDEAS Y PRIORIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS

Para el año 2019 se realizaron 2114 mantenimientos correctivos en la clínica SOMER, de la totalidad de estos mantenimientos se encontraron 122 que posiblemente se pudieran solucionar por medio de la impresión 3D, en la *Figura 8* se muestran los daños que se podrían haber solucionado con la impresora, estos fueron seleccionados según la encuesta realizada a los tecnólogos del área y siguiendo los lineamientos de que la pieza a reemplazar debía ser de un material polimérico.

- a. Monitor de signos vitales el cual se encuentra sin la perilla.
- b. Manija de una nevera portátil reventada.
- c. Adaptador de una manta térmica quebrado.
- d. Carcasa en donde va ubicado el espirómetro quebrada.
- e. Balanza con el conector de pilas sin tapa.
- f. Monitor de signos vitales con la carcasa reventada.
- g. Cable de saturación reventado.
- h. Carcasa de regulador de vacío quebrada.
- i. Perilla de flujómetro quebrada.

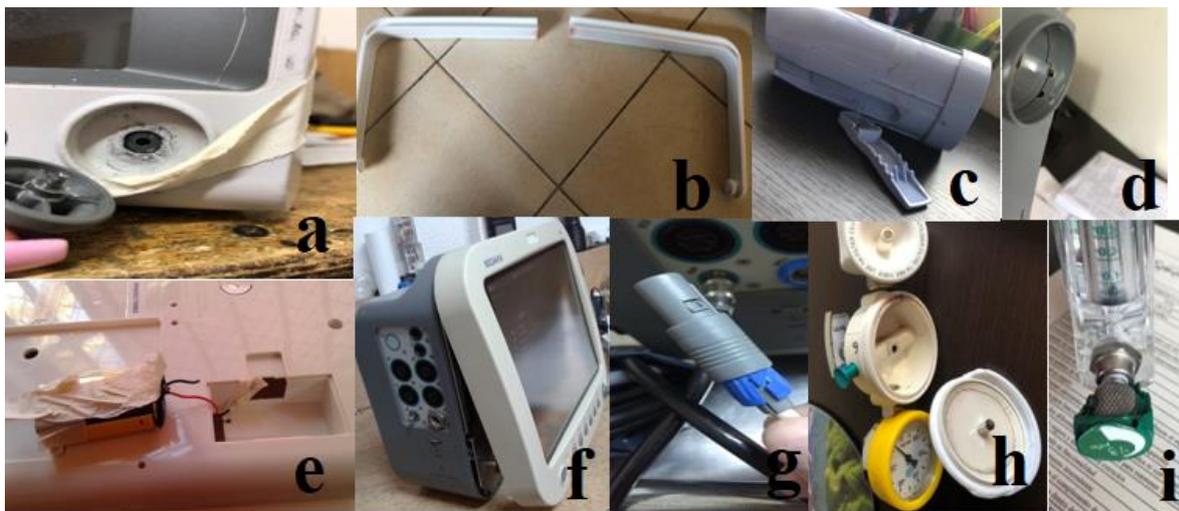


Figura 9. Ejemplos de daños que se podrían solucionar por medio de impresión 3D.

En total estos daños tuvieron un costo de \$ 7.944.651, para calcular el valor que tendría imprimir una pieza se usa la ecuación 1 [41].

$$\text{Costo impresión} = \frac{\text{Gramos usados de material} * \text{Costo de 1Kg de material}}{1000 \text{ gramos de material}} \quad (1)$$

De este modo suponiendo que una perilla de monitor de signos vitales se gaste 100 g de material y esta se fabricara en ABS, el cual tiene un costo en el mercado de \$ 100.000 [42], el costo total de la perilla sería de \$10.000, mientras que el daño de la perilla del monitor de signos vitales le costó a la clínica \$ 250.000, en este caso en particular se tendría un ahorro del 96 %, es importante resaltar que para todos los daños mencionados no sería de la misma manera, ya que hay procesos de producción en masa que hacen que algunas partes sean más costosas en impresión 3D, así como la tapa del conector de pilas de balanza.

A cada uno de los técnicos de mantenimiento del área se le realizó una encuesta (Anexo 1) con diferentes preguntas para conocer cuál es la expectativa con la adquisición de la impresora 3D, una de estas preguntas se relacionaba con las piezas que ellos consideran serían las más comunes para imprimir, en la *Figura 10* se puede observar que para ellos lo que se imprimiría con mayor frecuencia serían piñones, tapas de baterías, carcacas de equipos, tapas de aspiradores, visores, cremalleras, esquineros de cunas, soportes de vaso de aspirador, pinzas, rodamientos y aspas.

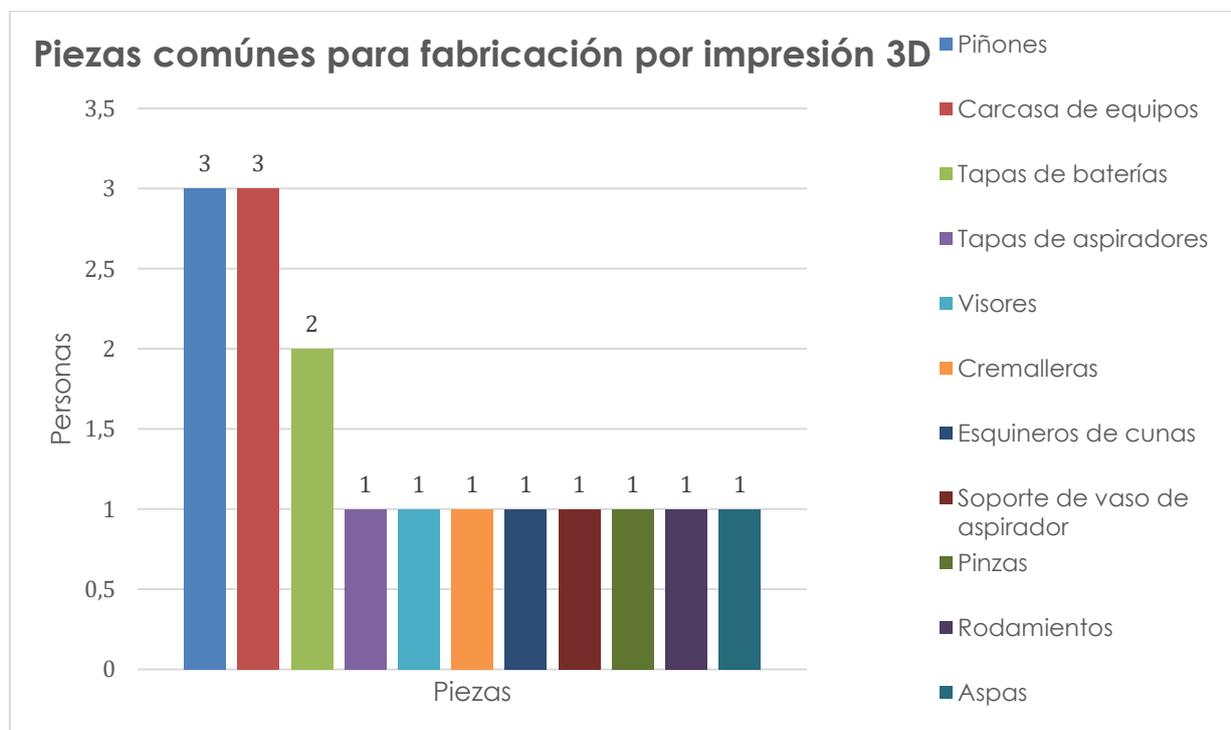


Figura 10. Piezas comunes para fabricación por impresión 3D.

Además de lo encontrado en los análisis históricos de mantenimiento biomédico y la encuesta realizada a los técnicos, por medio de las rondas de innovación surgieron dos ideas que se ajustan a la fabricación por impresión 3D, estas son: recipientes de almacenamiento de bolsas de sangre y recipientes para la esterilización de instrumental quirúrgico.

Según las ideas encontradas que se podrían fabricar mediante impresión 3D y teniendo en cuenta la disponibilidad de las piezas para la toma de medidas, el costo de impresión y los tiempos de parada de los monitores, en donde se demoró 32 días en llegar el repuesto de la perilla a la clínica se priorizaron las perillas o encoder de monitores de signos vitales marca Edan y Nellcor, para la realización del diseño CAD, se eligieron específicamente estas marcas ya que son los que más se encuentran en el inventario de la clínica.

9.2 DISEÑO CAD

Para llevar a cabo el diseño de las ideas priorizadas, fue necesario realizar una evaluación y comparación de los softwares disponibles para el diseño CAD, en la *Tabla 1* se encuentra una lista de los softwares más usados en diseño 3D, de los cuales todos permiten la conversión de archivos a formato STL, de esa lista se elimina automáticamente aquellos por los cuales se debe pagar una licencia.

Tabla 1. Softwares más usados en diseño 3D.

Software	¿Es de libre acceso?
TinkerCad	Sí
Paint 3D	Sí
FreeCAD	Sí
SketchUP	Sí
OpenSCAD	Sí
Fusion 360	Sí
SolidWorks	No
Blender	Sí
Autodesk Inventor	No
AutoCAD	No

De los softwares nombrados en la lista se decidió probar los siguientes: TinkerCAD, FreeCAD y Fusion 360, ya que estos son calificados como los más interactivos para usuarios que están iniciando con el diseño 3D. Es importante

resaltar que la elección del software depende mucho del diseñador ya que los atributos de un programa pueden ser idóneos para una persona, pero a otra le puede parecer complicado, es por esto que es una decisión subjetiva.

Luego de haber probado los 3 programas mencionados anteriormente, se eligió Fusion 360 ya que es un programa amigable con el usuario, gratuito y además tiene la ventaja de guardar los archivos en la nube por lo que es posible trabajar de forma remota en él.

Al llegar a la fase de implementación del programa será necesario que la persona que quede encargada del manejo de este seleccione el software con el que se sienta cómodo y seguro al momento de trabajar, aplica tanto para el software de diseño, como para el software de la impresora.

Para continuar con el diseño de las piezas elegidas se realiza una toma de medidas con un pie de rey o calibrador lo cual es fundamental para obtener una pieza con las mismas características a la original, posteriormente con el programa seleccionado se procede a realizar el diseño de las piezas.

Por medio del software de diseño CAD Fusion 360 se realizó el diseño de la perilla para monitor de signos vitales Nellcor modelo N5600. En la *Figura 11* se puede observar en la parte **a** las diferentes vistas de la pieza original, mientras que en la parte **b** se tienen las vistas de la pieza diseñada.

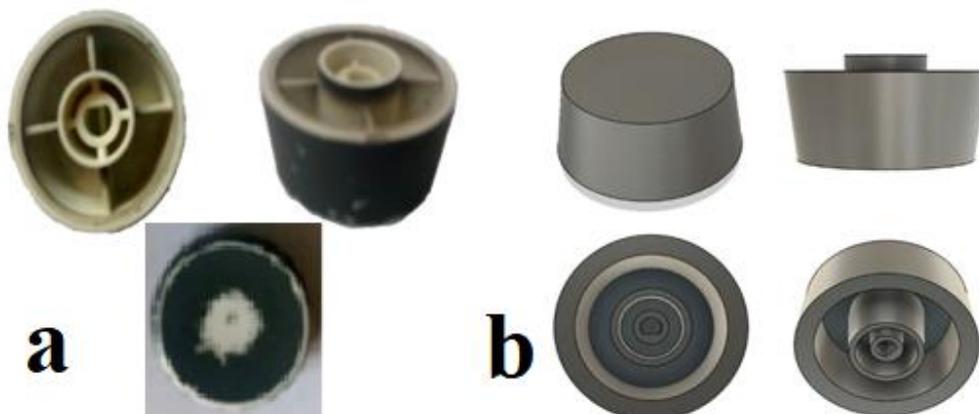


Figura 11. *Vistas de la pieza diseñada con respecto a la pieza original para la perilla del monitor de signos vitales Nellcor N5600.*

En la *Figura 12* se encuentra la perilla o encoder del monitor de signos vital Edan M50, en la parte a se encuentran diferentes vistas de la perilla original, mientras que en la parte b se tienen las vistas del diseño de la pieza.

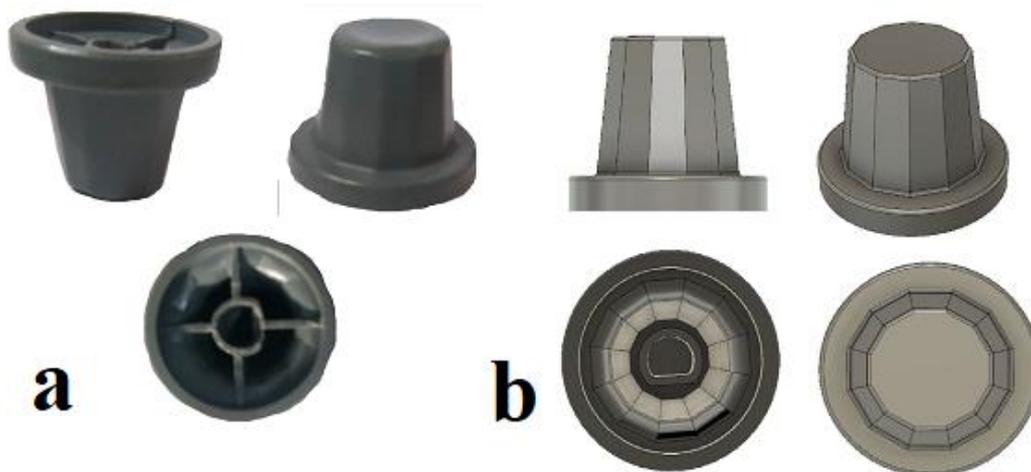


Figura 12. Vistas de la pieza diseñada con respecto a la pieza original para la perilla del monitor de signos vitales Edan M50.

Hasta el momento por medio de rondas de innovación surgieron dos ideas, una desde el acompañamiento y observación en el banco de sangre de la clínica, allí se detectó que los recipientes que se usan para guardar las bolsas de sangre de manera vertical en la nevera se fracturan con frecuencia, es por esto que se le realiza el diseño a dicha pieza.

En la *Figura 12* se encuentra el diseño de esta pieza, en donde en la parte a se puede observar la pieza original, mientras que en la parte b se tiene la pieza diseñada.

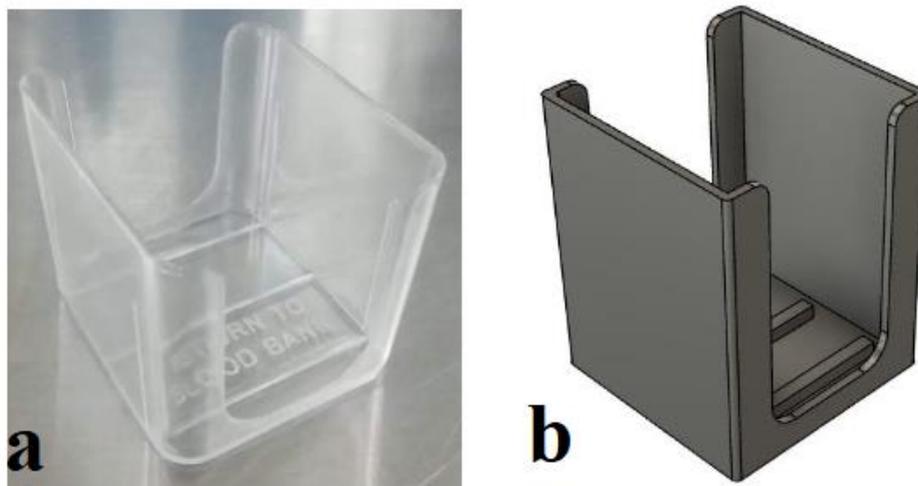


Figura 13. Soporte para bolsa de sangre.

La otra idea surge desde la central de esterilización en donde los recipientes en los cuales se acomoda el instrumental para esterilizar fallan con frecuencia, es por esto que se realiza un diseño que podría sustituir las cajas que se usan en la actualidad. En la *Figura 13* se observa un diseño en los cuales se podría ubicar

instrumental que se vaya a esterilizar, este es un diseño versátil ya que se podría fabricar de diferentes tamaños según la necesidad que se tenga.

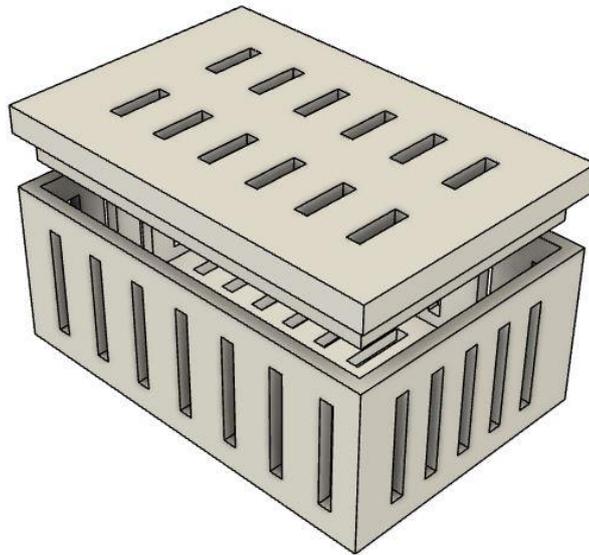


Figura 14. Recipiente para acomodar instrumental que posteriormente se vaya a someter a esterilización.

9.3 MODELO DE OPERACIÓN DEL PROGRAMA DE IMPRESIÓN 3D

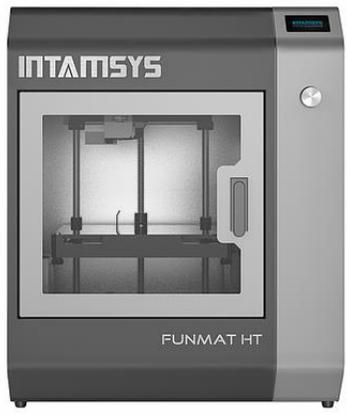
Teniendo en cuenta los aspectos mencionados en la metodología para la evaluación de la tecnología, se obtienen las impresoras evaluadas en la *Tabla 2*.

Tabla 2. Cuadro comparativo impresora 3D

Equipo requerido	Impresora 3D					
Generalidades a tener en cuenta	1. Capacidad de impresión de piezas de 30cmx30cmx30cm. 2. Variedad de materiales de impresión. 3. Elevada temperatura de extrusor.					
EQUIPOS CONSIDERADOS						
Marca	Pegasus		Fused Form		INTAMSYS	
Modelo	Standar		FF-300		FUNMAT HT	
Proveedor	3D maker		Fused Form Corp		3D Solutions	
Características	1. Reanuda la impresión después de una interrupción de electricidad. 2. Resolución de 30 a 320 micras 4. Velocidad de impresión 30 a 150mm/s 5. Nivelación de cama automática. 6. Sensor de ausencia de filamento.	3	1. Sistema de recuperación de impresión, tras un corte de energía 2. Resolución de 20 micras. 3. Velocidad de impresión de 50 a 70mm/s 5. Sensor de ausencia de filamento. 6. Posibilidad de adaptación de boquilla adicional.	3	1. Temperatura de cámara interior de 90°C 2. Resolución 50 a 300 micras. 3. Velocidad de impresión de 30 a 300 mm/s 4. Capacidad de imprimir cualquier tipo de material debido a la alta temperatura del extrusor.	3
Dimensiones de la impresora	71cmx74cmx77cm	3	63cmx54cmx55cm	3	54cmx54cmx54cm	3
Incluye base calefactada	Si	3	Si	3	Si	3
Temperatura de la base	30°C - 120°C	3	Hasta 120°C	3	Hasta 160°C	3

Temperatura del extrusor	25°C a 300°C	2	Hasta 290°C	2	Hasta 450°C	3
Diámetro de filamento	1,75 mm	3	1,75 mm	3	1,75mm	3
Volumen de extrusión	40cmx40cmx40cm	3	36cmx30cmx32cm	3	26cmx26cmx26cm	2
Software de impresión	Slic3r Cura Software libre (Simplify 3D valor adicional)	3	Cura Simplify 3D	3	Intamsuite Cura Simplify 3D	3
Archivos aceptados	STL OBJ AMF 3DS THING Entre otros	3	STL OBJ	2	STL OBJ	2
Transferencia de archivos	Impresión directa desde software WiFi USB Memoria SD	3	Memoria SD USB WiFi	3	Memoria SD USB	2
Capacitación con proveedor	Sí, puede ser online o presencial (4 horas)	3	No, manual de usuario y videos tutoriales	1	Si, 5 horas de capacitación con experto.	3
Incluye filamento	Sí, 1 kg ABS/PLA	2	Sí, 2 kg PLA	3	Sí, 1 kg de PLA	2

Incluye puertas	Sí	3	No, tienen costo adicional \$ 654,500	1	Sí	3
Materiales de impresión	PLA, ABS, PETG,HIPS,PCL, PVA,ASA,Nylon,Fibra de Carbono con Nylon, Fibra de vidrio con Nylon, TPU, TPE , TPU-95A, Cleaning, Magnetico, Conductivo, Bronce, Cobre, Aluminio, Acero, Madera, Bamboo, Smooth.	3	PLA, ABS, PETG, HIPS, TPU, ASA, PVA, PA, entre otros. (Carrete libre)	3	PLA,ABS, CPE,ASA,Fibra de carbono, Nylon, PP, POM, ULTEM, PEEK,HDPE,PC, Filamentos especiales, entre otros.	3
Adicional incluido	1. Manual de usuario. 2. Memoria SD. 3. Boquilla 0,6 mm para materiales abrasivos. 4. Asesoría personalizada. 5. Membresía para descuentos especiales.	3	1. Manual de usuario. 2. Memoria SD.	2	1. Manual de usuario. 2. Licencia de software intamsuite. 3. Kit básico de herramientas. 4. Memoria SD. 5. Boquilla extra.	3
Garantía	1 año, con posibilidad de extenderla.	3	1 año y medio, con posibilidad de extenderla.	3	1 año	3
Asistencia técnica	1 año gratuito.	3	NE	1	NE	1
Precio (IVA incluido)	\$9.103.500	3	\$9.010.000	3	\$33.136.740	1
Descuento	NE	1	NE	1	NE	1

<p>Imagen</p>			
<p>Calificación total</p>	<p>92,98</p>	<p>80,70</p>	<p>82,46</p>

Para el diseño del programa fueron fundamentales las visitas realizadas al Hospital General de Medellín y al Hospital San Vicente Fundación, ya que por medio de estas se logró reconocer una aplicación poco explorada para la impresión 3D como lo es su uso en clínicas y sobre todo el uso en el área de ingeniería de estos lugares.

En el Hospital General de Medellín se visitó propiamente el laboratorio de co-creación, el cual es reconocido por su iniciativa de innovación en la ciudad, allí fabrican dispositivos que ayuden a la mejora de la práctica asistencial, mientras que en el Hospital San Vicente Fundación se visitó el área de mantenimiento biomédico, la cual cuenta con una impresora 3D que utilizan para la fabricación de repuestos de los equipos biomédicos.

Es por esto que teniendo estos dos referentes en la ciudad de Medellín se busca consolidar un programa de impresión 3D que sea integral tanto para proyectos que permitan la fabricación de nuevos dispositivos, como la impresión de partes y repuestos de equipos biomédicos.

Otro punto importante de las visitas fue la visualización de las diferentes impresoras 3D con las que contaban en cada espacio, en el Hospital General de Medellín cuentan con una impresora 3D Pegasus Xtreme de la marca 3D maker, la cual es la versión de gran formato de la impresora Pegasus Standar, la cual fue la ganadora en el momento de realizar el comparativo con las demás marcas para la adquisición en la clínica, fue importante conocer por medio de ellos las diferentes características, así como el acompañamiento por parte del proveedor, la versatilidad de materiales que se pueden usar, los problemas frecuentes que tienen con la impresora, la adquisición de repuestos para la impresora; todas estas inquietudes fueron resueltas favorablemente asegurando así que la recomendación para la clínica SOMER de la adquisición de esta impresora es correcta.

En el Hospital San Vicente Fundación se logró consolidar la idea de materializar en un futuro la impresora 3D para la fabricación de repuestos de equipos biomédicos, ya que allí tienen en su base de datos hasta 200 archivos de repuestos que han fabricado hasta la fecha, además de asegurar que es una inversión segura, ya que según ellos desde las primeras piezas impresas se logró solventar el costo de la impresora.

Para la adquisición y el funcionamiento de un programa de impresión 3D para el área de ingeniería biomédica de la clínica SOMER, es necesario contar con un espacio adecuado para la realización de las actividades que dicho programa requiera, es por esto que se realizó un plano del área de ingeniería biomédica, allí se pueden encontrar los diferentes espacios con los que cuenta el área, es de vital importancia resaltar que en los espacios existentes se puede ubicar sin ningún problema la impresora 3D, además de contar allí mismo con

un almacén en la segunda planta, en el cual se podrían guardar los filamentos necesarios para imprimir.

En la *Figura 15* se encuentra el plano de la primera planta del área de ingeniería biomédica, en esta planta es donde se realizan los mantenimientos preventivos y correctivos de los equipos biomédicos de la clínica SOMER, allí se ubican en diferentes puestos de trabajo marcados con los números del 1 al 6 los tecnólogos, el ingeniero y el practicante del área técnica, de igual manera en esta planta se tiene ubicado el archivo del área y la bodega, este lugar se sugiere como posible localización para la impresora 3D ya que solo se tendría que adecuar un escritorio para ubicar la impresora.

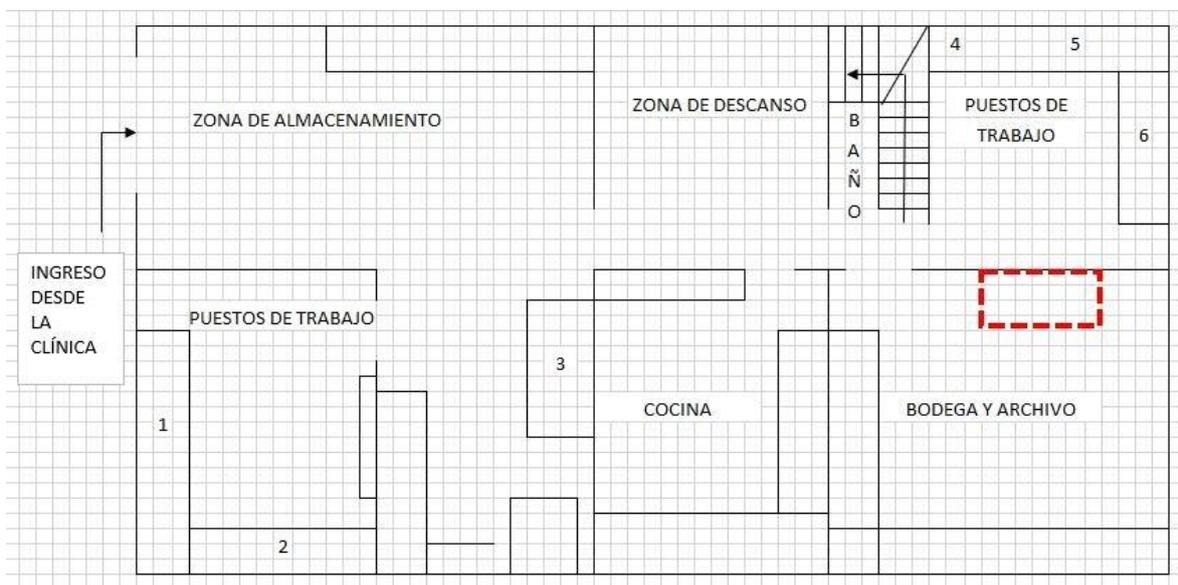


Figura 15. Plano de la primera planta del área de ingeniería biomédica.

En la *Figura 16* se encuentra el plano de la segunda planta del área de ingeniería biomédica, allí se encuentran las oficinas en donde se realiza la gestión de todo lo referente al área, en esta planta se ubican la jefe del área, 2 ingenieras biomédicas, 3 practicantes de ingeniería y la persona encargada del sistema de gestión, todos estos ubicados en los puestos numerados del 7 al 13, de igual manera en la segunda planta se encuentra el almacén de repuestos, en el cual se guardarán los filamentos y las partes, repuestos, accesorios o dispositivos que se fabriquen con la impresora 3D.

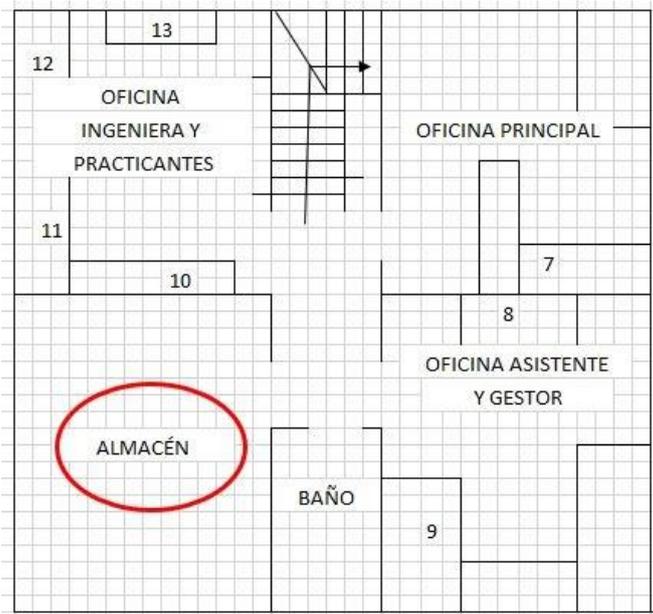


Figura 16. Plano de la segunda planta del área de ingeniería biomédica.

Para llevar a cabo el programa en su totalidad es indispensable la adquisición de la impresora 3D, la cual se vio suspendida por el momento debido a la emergencia nacional causada por el COVID19; sin embargo, el proyecto de adquisición y formación del programa de impresión 3D fue aprobado por el comité de compras, quedando así a disposición de la clínica realizar la compra en el momento que consideren oportuno, de igual modo es indispensable que una persona fija del área o de la clínica se apropie en su totalidad del uso de la impresora, ya que al ser una tecnología que está en constante crecimiento se requiere de alguien que continuamente se esté actualizando sobre el tema y de este modo el programa pueda avanzar a la vez que lo hace la tecnología, ya sea en técnicas de impresión, en nuevos materiales, en optimización de tiempos, entre otros. Además, queda el diseño del programa definido con una lista de piezas para diseñar, piezas que se podrían fabricar para comprobar su funcionalidad, la elección de la impresora 3D, referencias de otros lugares en donde implementan un programa similar y la ubicación de la impresora dentro del área de ingeniería biomédica.

Para finalizar es valioso mencionar que las impresoras han adquirido un valor significativo en estos tiempos de crisis, ya que por medio de estas se ha podido apoyar al sector salud fabricando equipos de bioseguridad e ideando maneras de socorrer la falta de repuestos para ventiladores mecánicos.

10. CONCLUSIONES

- La generación de un banco de ideas para la implementación de un programa de impresión 3D es un trabajo continuo, ya que depende de las necesidades que surjan dentro de los diferentes servicios y áreas de la clínica SOMER.

- El software de diseño e impresión 3D no es un parámetro fijo, ya que la decisión de usar uno u otro es subjetiva ya que depende del gusto y el conocimiento que tenga la persona encargada del manejo de la impresora.
- La experiencia usando el software de diseño Fusion 360 fue satisfactoria, debido a que se logró poner en práctica y ampliar los conocimientos adquiridos sobre diseño CAD durante la carrera.
- Se recomienda llevar a cabo una constante evaluación e inspección de las piezas que en un futuro sean impresas para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos biomédicos, ya que en la actualidad no hay una regulación que normatice la fabricación de estos repuestos.
- La impresión 3D es una tecnología que se encuentra en un avance constante debido que en diferentes campos de investigación se está utilizando es por esto que es indispensable contar con personal fijo que se mantenga a la vanguardia de la tecnología y de este modo se mantenga el programa actualizado.
- El desarrollo de herramientas y actividades que permitan el mejoramiento continuo es un pilar fundamental para la correcta ejecución de cualquier proceso que se lleve a cabo dentro de la clínica, por lo que la articulación con las rondas de innovación se presenta indispensable en el momento de llevar a cabo el programa de impresión 3D debido a que la tecnología se ajusta a los requerimientos que tenga cada uno de los servicios.
- Un sistema de impresión 3D puede mejorar considerablemente la operación y funcionamiento de los equipos médicos, ya que mediante este se pueden sustituir rápidamente piezas defectuosas o dañadas; además de disminuir los costos y tiempos de operación y mantenimiento de equipos biomédicos.

11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Cristina and T. Sánchez, "La Impresora 3D Innovadora Herramienta Frente Al Cáncer," 2018, [Online]. Available: <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/MARIA CRISTINA TERRES SANCHEZ.pdf>.
- [2] R. Antoni, "Impresión 3D y sus aplicaciones en Medicina," *Univ. Nac. Tucumán*, vol. 1, pp. 1–15, 2018, [Online]. Available: https://bdigital.uncuyo.edu.ar/objetos_digitales/13174/17-ciencia-tecnologia-e-innovacion-lopez-roberto-unt.pdf.
- [3] W. Orozco Murillo and F. Cortés Mancera, "Caracterización de la gestión del mantenimiento de equipo biomédico en servicios de urgencia de clínicas y hospitales de medellín en el período 2008-2009," *Rev. Ciencias la Salud*, vol. 11, no. 1, pp. 35–44, 2013.
- [4] "Impresión 3d en el mantenimiento industrial ¿Cómo será su futuro?," 2019. <https://www.impresioni3d.com/como-es-el-futuro-del-mantenimiento-industrial-con-la-impresion-3d/> (accessed May 17, 2020).

- [5] Ministerio de Ciencia. Tecnología e Innovación Productiva, *Estudio de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva en tecnologías de impresión 3D para alimentos*, 1st ed. 2015.
- [6] D. E. Zazueta Salinas and E. E. Montijo Valenzuela, "Identificación Y Gestión Del Mantenimiento Del Equipo Y Tecnología Biomédica De Un Hospital PÚblico, Utilizando Herramientas Digitales.," *Rev. Investig. Acad. sin Front.*, pp. 1–22, 2019.
- [7] M. Joselinne, "Proceso de la impresión 3D como aporte al Diseño Gráfico," p. 97, 2015, doi: 10.5897/ERR2015.
- [8] A. Alarte, "Diseño e impresión 3D. Aplicaciones a la docencia," 2014.
- [9] M. Juan, "Coronavirus en Colombia: Empresa de impresión 3D donará piezas para luchar contra el covid-19 - Novedades Tecnología - Tecnología - ELTIEMPO.COM," 2020.
<https://www.eltiempo.com/tecnosfera/novedades-tecnologia/coronavirus-en-colombia-empresa-de-impresion-3d-donara-piezas-para-luchar-contra-el-covid-19-479902> (accessed May 17, 2020).
- [10] Garcia Jorge G, "Impresión 3D para evitar el colapso de los recursos sanitarios por el coronavirus | Tecnología | EL PAÍS," Mar. 20, 2020.
<https://elpais.com/tecnologia/2020-03-20/impresion-3d-para-evitar-el-colapso-de-los-recursos-sanitarios-por-el-coronavirus.html> (accessed May 17, 2020).
- [11] S. Torres, J. D. Cardenas, R. Torres, and A. Quintero, "Laboratorio de cocreación en salud," *Encuentro Int. Educ. en Ing. ACOFI 2017*, 2017, [Online]. Available:
<https://www.acofipapers.org/index.php/eiei2017/2017/paper/view/2372>.
- [12] "Casos de impresión 3D en Colombia," Sep. 08, 2018.
<https://www.dinero.com/empresas/articulo/casos-de-impresion-3d-en-colombia/260785> (accessed Jul. 15, 2020).
- [13] J. L. J. Noval, "Bioimpresión en la medicina del futuro," *Inst. Roche*, no. 1, p. 32, 2019.
- [14] Peco Ramón, "Expertos en impresión 3D crean respiradores para las UCI," Mar. 18, 2020.
<https://www.lavanguardia.com/tecnologia/20200318/474236590135/impresion-3d-respiradores-uci-covid-open-source.html> (accessed Jul. 15, 2020).
- [15] B. Mariano, "La impresión 3D y su aplicación en los servicios médicos (prótesis, fármacos, órganos).," no. June, 2016.
- [16] López José Enrique, "NOTA DE FUTURO 2/2016 IMPRESORAS 3D." Accessed: May 17, 2020. [Online]. Available:
https://intranet.bibliotecasgc.bage.es/intranet-tmpl/prog/local_repository/documents/17854.pdf.
- [17] H. Guillermo, "Desarrollo de un mango adaptado para personas mayores mediante impresión 3D.," 2019.
- [18] F. TIZOL, "Desarrollo E Innovación Tecnológica En El Proceso De Manufactura, Con El Uso De Impresora 3D," *Core.Ac.Uk*, 2017, [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/94669279.pdf>.
- [19] B. M. Rodríguez, "Estudio Sobre La Optimización De Los Parámetros De Fabricación En Una Impresora 3D Con Tecnología Fdm," p. 95, 2017.
- [20] Ureta Samuel, "Consejos de impresión en 3D con tecnología FFF (1ª

- parte)." <http://www.dima3d.com/consejos-de-impresion-en-3d-con-tecnologia-fff-1a-parte/> (accessed May 17, 2020).
- [21] B. Lobach, *Diseño Industrial*, vol. 91. 2017.
- [22] C. y T. Ministerio de Educación, Cultura, "Conceptos básicos de la impresión 3D," [Online]. Available: <https://h3d.educar.gob.ar/storage/app/file/ckeditor/conceptos-basicos-de-la-impresion-3d-5d643cfc70382.pdf>.
- [23] "Los 5 Problemas más comunes en la Impresión 3D y Cómo solucionarlos - TRESDE," Aug. 16, 2019. <https://tresde.pe/los-5-problemas-mas-comunes-en-la-impresion-3d-y-como-solucionarlos/> (accessed May 17, 2020).
- [24] bitfab, "La guía para resolver problemas impresión 3D de Bitfab." <https://bitfab.io/es/blog/problemas-impresion-3d/> (accessed May 17, 2020).
- [25] "Warping - E-ELEKTRONIC." <https://e-elektronic.com/7-errores-montar-impresoras-3d/warping/> (accessed May 17, 2020).
- [26] B. Luis, "UTILIZACIÓN DE LA TÉCNICA DE PROTOTIPADO RÁPIDO EN EL PROCESO DE FUNDICIÓN POR REVESTIMIENTO Y SU APLICACIÓN EN LA FABRICACIÓN DE REPUESTOS PARA LA INDUSTRIA DE CONFECCIONES," *Pontif. Univ. Católica Del Perú*, vol. 1, p. 113, 2015, [Online]. Available: http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6097/ACOSTA_CARLOS_DISEÑO_MAQUINA_REBANADORA.pdf?sequence=1.
- [27] R. Muñoz, Á. Hernández, F. Roshardt, R. Christoph, and J. R. Vega Baudrit, "Impresión 3D: pruebas de resistencia de materiales de acuerdo a norma ASTM D638-10," *Lab. NANOTECNOLOGÍA Impresión 3D - Nanotecnología - Nanomater.*, no. June, p. 8, 2015.
- [28] Massó Marc, "Propietats de la resina ABS." [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/76406/Annex D ABS \(1\).pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/76406/Annex_D_ABS(1).pdf) (accessed May 17, 2020).
- [29] 3Dnatives, "El filamento de ABS en la impresión 3D - 3Dnatives," Jun. 06, 2019. <https://www.3dnatives.com/es/filamento-de-abs-impresion-3d-06062019/> (accessed May 17, 2020).
- [30] hxx, "Materiales de impresión 3D (II): ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) | HXX," Mar. 25, 2015. <http://hxx.es/2015/03/23/materiales-de-impresion-3d-ii-abs-acrilonitrilo-butadieno-estireno/> (accessed May 17, 2020).
- [31] Ultimaker, "Ficha de datos técnicos PLA," May 2017.
- [32] IMPRESORAS3D, "ABS y PLA: diferencias, ventajas y desventajas - impresoras3d.com," Jan. 12, 2017. <https://www.impresoras3d.com/abs-y-pla-diferencias-ventajas-y-desventajas/> (accessed May 17, 2020).
- [33] IMPRESORAS3D, "Filamento PLA para impresoras 3D - trucos, consejos y características," Jan. 03, 2018. <https://www.impresoras3d.com/filamento-pla-consejos-caracteristicas-y-mucho-mas/> (accessed May 17, 2020).
- [34] S. N. Montagud, "Desarrollo De Piezas De Poliamida Mediante Impresión 3D," 2015.
- [35] "Todo sobre el Nylon (PA). Propiedades, Cómo Usar y las Mejores Marcas." <https://descubrearduino.com/nylon-impresion-3d/> (accessed May 17, 2020).
- [36] P. Maria, "Impresión 3D de medicamentos: Principales técnicas y perspectivas de futuro," pp. 1–22, 2019, [Online]. Available:

- [http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/MARIA PRADA BOU.pdf](http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/MARIA_PRADA_BOU.pdf).
- [37] E. Juan and C. Pedro, "GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS MÉDICOS EN LA FUNDACIÓN CLÍNICA INFANTIL CLUB NOEL: MÓDULO DE INGENIERÍA BIOMÉDICA," vol. 11, no. 2, pp. 10–14, 2011, doi: 10.16194/j.cnki.31-1059/g4.2011.07.016.
- [38] D. Iv and L. Este, "Plan de Mantenimiento Preventivo del equipamiento Biomedico 2009," pp. 1–28, 2009, [Online]. Available: www.hospitalsjl.gob.pe/ArchivosDescarga/.../PlanMantenimiento.pdf%5Cn.
- [39] D. F. Primero, J. C. Díaz, L. F. García, and A. González-Vargas, "Manual para la Gestión del Mantenimiento Correctivo de Equipos Biomédicos en la Fundación Valle del Lili," *Rev. Ing. Biomédica*, vol. 9, no. 18, pp. 81–87, 2015, doi: 10.24050/19099762.n18.2015.771.
- [40] F. Palencia-Sánchez and J. C. García-Ubaque, "Innovación e investigación en hospitales universitarios," *Rev. la Fac. Med.*, vol. 64, no. 4, p. 741, 2016, doi: 10.15446/revfacmed.v64n4.54837.
- [41] Lorenzo Jorge, "▷ ¿Cuánto Cuesta Imprimir en 3D? 【CALCULADORA ONLINE】 ." <https://of3lia.com/cuanto-cuesta-imprimir-en-3d/> (accessed Jul. 15, 2020).
- [42] "Filamento ABS+ Negro para impresora 3D 1.75mm | makeR." <https://somosmaker.com/producto/filamento-abs-plus-negro/> (accessed Jul. 15, 2020).

12. ANEXOS

1. Formato encuesta realizada a personal técnico del área de ingeniería biomédica.

ASPECTOS TÉCNICOS IMPORTANTES PARA LA ADQUISICIÓN DE IMPRESORA 3D.

1. ¿Cuál es el volumen aproximado de la pieza más grande que se desea imprimir? De un ejemplo.
2. ¿Cuáles serían las piezas más comunes a fabricar por medio de la impresora 3D?
3. ¿Qué materiales considera usted que serían indispensables para la impresión?
4. La calidad de impresión (Resolución de la pieza, calidad en la impresión de detalles) debe ser alta, mediana, baja. ¿Por qué?
5. Mencione otros aspectos que considera que sean claves en el momento elegir la impresora 3D.
6. ¿Conoce alguna referencia de impresora 3D? Menciónela.