



**Universidad
Europea**

UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID
ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO
GRADO EN INGENIERÍA EN SISTEMAS INDUSTRIALES
MENCIÓN EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL
TRABAJO FIN DE GRADO

**Estudio y mejora en la fabricación de prótesis
dentales con impresora 3D**



Director: D. Daniel Santos Gualoto Condor

Alumna: Noemi Noelia Alca Anaya

CURSO: 2022 -2023

Título de tesis: Estudio y mejora en la fabricación de prótesis dentales con impresora 3D

Autor: Noemi Noelia Alca Anaya

Director de proyecto: D. Daniel Santos Gualoto

Fecha: Convocatoria extraordinaria

TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	9
Abstract	10
1. Objetivos del proyecto	11
1.1 Objetivo General.....	11
1.2 Objetivo Específico.....	11
2. Introducción	12
2.1 Tecnologías de impresión 3D	13
2.2 Materiales utilizados en métodos de impresión 3D.....	18
2.3 Aplicación de la impresión 3D en el área médica.....	18
2.4 Impresión 3D en el área odontológica.....	21
2.4.1 Tecnología aplicada para la fabricación de las prótesis	21
3. Marco teórico.....	22
3.3 Prótesis dentales.....	27
3.3.1 Modelado tradicional	29
3.3.2 Modelado por fresado	31
3.4 Softwares utilizados en el área odontológica.....	31
3.4.1 Diseño odontológico	31
3.4.1.1 3Shape	31
3.4.1.2 Blender for dental	32
3.4.1.3 ExoCad	33
3.4.2 Diseño industrial	34
3.4.2.1 SolidWorks	35
3.4.2.2 CATIA.....	35
3.4.2.3 Ansys	35
3.5 Materiales.....	36
3.5.1 PMMA	36

3.5.2 Nylon.....	37
3.5.3 PEEK	38
3.5.4 Fibra de carbono	38
3.6 Impresión 3D en el área odontológica.....	39
3.7 Impresoras 3D.....	42
3.8 Escáner 3D.....	43
3.8.1 Etapas de escaneado	44
3.8.2 Tipos de escáneres utilizados en el área odontológica.....	46
4. Diseño y fabricación	47
4.1 Especificaciones	47
4.1.1 Especificaciones mecánicas	47
4.1.2 Especificaciones estéticas.....	47
4.1.3 Especificaciones biocompatibilidad	48
4.1.4 Especificaciones económicas.....	48
4.2 Materiales utilizados para la fabricación de la prótesis	48
4.2.1 Nylon.....	48
4.2.2 Fibra de carbono	49
4.3 Fabricación de la prótesis.....	50
4.3.2 Fabricación digital	50
4.3.2.1 Procedimiento de escaneo	50
4.3.2.2 Procedimiento de diseño de la prótesis	51
4.3.2.3 Procedimiento de fabricación aditiva.....	52
4.3.2.4 Procedimiento de configuración de la impresora	55
4.3.2.5 Calidad	59
5. Pliego de condiciones.....	59
5.1 Normativas generales	59
5.2 Normativas específicas.....	60
6. Prototipo y ensayos.....	61

6.1 Ensayo de probetas.....	61
6.1.1 Ensayo a tracción	62
6.2 Ensayo de los prototipos	66
6.2.1 Ensayo a compresión	69
7. Análisis y resultados	73
7.1 Masa.....	73
7.2 Prueba a compresión	74
8. Conclusiones	78
9. Líneas futuras.....	83
ANEXOS	84
Bibliografía	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Proceso para la impresión en 3D	12
Figura 2: Clasificación de material según método de impresión 3D	13
Figura 3: Impresión por inyección de aglutinante.....	13
Figura 4: Impresión por extrusión de material.....	15
Figura 5: Impresión por eyección de material.....	15
Figura 6: Impresión por método SLS	16
Figura 7: Impresión por método SLA.....	17
Figura 8: Aplicaciones de impresión en la medicina	19
Figura 9: Uso de la impresión 3D en años posteriores.....	19
Figura 10: Fabricación aditiva clasificados por método y estructura	20
Figura 11: Impresión celular (Vasos sanguíneos impresos en bioimpresoras utilizando el método de extrusión)	21
Figura 12: Proceso de impresión por cada tipo de método de fabricación	22
Figura 13: Puente fijo de arcada completa retenido por implante.....	23
Figura 14: Sobre dentadura completa retenida por implante	24
Figura 15: Coronas unitarias sobre implantes	24
Figura 16: Puente fijo anterior retenido por implante.....	24
Figura 17: Puente diente-implante natural.....	24
Figura 18: Componentes mecánicos típicos de un implante osteointegrado	25
Figura 19: Implante de estructura de titanio	26
Figura 20: Prótesis fija sujeto con implante.....	27
Figura 21: Prótesis removibles	28
Figura 22: Paciente totalmente edéntulo	28
Figura 23: Paciente parcialmente edéntulo.....	28
Figura 24: Modelado de dentadura en 3Shape.....	32
Figura 25. Módulo de 3Shape	32
Figura 26: Modelado de dentadura con implantes.....	33
Figura 27: Modelado final de la boca del paciente.....	33
Figura 28: Diseño de implante en base a la boca del paciente.....	34
Figura 29: Posición de implantes a través de la dentadura	34
Figura 30: Análisis de elementos finitos en implante dental en SolidWorks	35
Figura 31: Diseño mecánico	35
Figura 32: Análisis de elementos finitos en ANSYS	36
Figura 33: Dientes fabricados por material PMMA	37
Figura 34: Prótesis dental de Nylon	37
Figura 35: Puente PEEK.....	38
Figura 36: : Estructura de fibra de carbono	39
Figura 37: Cirugía maxilofacial	40
Figura 38: Cirugía oral (Extracción de muelas de juicio).....	40
Figura 39: Impresora 3D CreatBot PEEK 300	43
Figura 40: Flujograma de escaneo tridimensional.....	44
Figura 41: Proceso para el escaneo de una pieza	44
Figura 42: Técnicas de adquisición de datos.....	45
Figura 43: Medit i500.....	46
Figura 44: InEos X5.....	47
Figura 45: Nylon PA12.....	49
Figura 46: Simulación de escaneo dental en la boca de un paciente	51
Figura 47: Escaneo final en el software Dentsply Sirona	51
Figura 48: Librería de Blender for Dental.....	52
Figura 49: Simulación de dentadura en Blender for Dental.....	52

Figura 50: Opciones de trabajo en el software	53
Figura 51: Configuración de material	53
Figura 52: Configuración de capas.....	54
Figura 53: Configuración de relleno, patrón de relleno, número de pasadas en la primera y última capa y número de paredes.....	54
Figura 54: Configuración de la pieza con el relleno de refuerzo	54
Figura 55: Simulación de la pieza con la cantidad de material configurado	55
Figura 56: Software Eiger.....	55
Figura 57: Kit de accesorios de la impresora.....	56
Figura 58: Galga para nivelar la cama de la impresora.....	56
Figura 59: Cama de impresión	57
Figura 60: Almacenamiento del programa	57
Figura 61: Configuración de fichero a imprimir	58
Figura 62: Proceso de impresión	58
Figura 63: Pieza impresa final.....	59
Figura 64: Software SERVOSIS.....	61
Figura 65: Probetas para ensayo a tracción	62
Figura 66: Probetas para ensayo a tracción	62
Figura 67: Gráfica curva fuerza-desplazamiento 1.....	63
Figura 68: Gráfica curva fuerza-desplazamiento 2.....	63
Figura 69: Gráfica curva fuerza-desplazamiento 3.....	64
Figura 70: Ensayo a compresión prototipo 2	71
Figura 71: Ensayo a compresión prototipo 3	71
Figura 72: Ensayo a compresión prototipo 1.....	72
Figura 73: Ensayo a compresión prototipo 2	72
Figura 74: Ensayo a compresión prototipo 3	73
Figura 75: Masa del prototipo 1.....	71
Figura 76: Masa del prototipo 2.....	71
Figura 77: Masa del prototipo 3.....	72
Figura 78: Masa del prototipo 1.....	72
Figura 79: Masa del prototipo 2.....	73
Figura 80: Masa del prototipo 3.....	73
Figura 81: Gráfica curva desplazamiento-fuerza prototipo 1.....	74
Figura 82: Gráfica curva desplazamiento-fuerza prototipo 1.....	75
Figura 83: Gráfica curva desplazamiento-fuerza prototipo 3.....	75
Figura 84: Gráfica curva desplazamiento-fuerza prototipo 1.....	76
Figura 85: Gráfica curva desplazamiento-fuerza prototipo 2.....	77
Figura 86: Gráfica curva desplazamiento-fuerza prototipo 3.....	77
Figura 88: Tabla de presupuesto.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Materiales utilizados en métodos de fabricación</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 2: Tabla comparativa de un implante dental. Elaboración propia.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 3: Clasificación de materiales utilizados para la impresión de prótesis dentales</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 4: Procedimiento de impresión dependiendo la utilización del material</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 5: Propiedades mecánicas del Nylon PA12.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 6: Propiedades mecánicas de la fibra de carbono.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 7: Tabla comparativa de módulo de elasticidad a la tracción y esfuerzo a la deformación.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 8: Tabla comparativa de las prótesis con sus características</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 9: Tabla de tiempo de impresión y peso.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 10: Tabla de precio Clínica Arturo Soria</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 11: Tabla de precio Sanitas</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 12: Tabla de comparación de prótesis según acabo superficial.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 13: Tabla de energía consumida</i>	<i>83</i>

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo optimizar el tiempo y obtener el menor coste de fabricación de prótesis dentales utilizando la tecnología a base de impresión 3D, mediante la realización de prototipos.

En este proyecto de investigación se podrá encontrar el análisis y estudio de las tecnologías de impresión 3D utilizadas y materiales para poder realizar prototipos, con el propósito de observar el acabado superficial y justificar la mejora que se le puede agregar a los resultados.

Luego, de tal manera que se encuentre el mejor tiempo, costes y calidad de las prótesis.

Finalmente se realizó la viabilidad del proyecto respecto a costes y recursos utilizados durante todo el proceso de fabricación de las propuestas.

Palabras clave: Impresión 3D, procesos de fabricación, acabado superficial, prótesis.

Abstract

The aim of this work is to optimize the time and obtain the lowest cost in the manufacture of dental prostheses using 3D printing technology, by means of prototyping.

In this research project you will find the analysis and study of the 3D printing technologies and materials used to make prototypes, in order to observe the surface finish and justify the improvement that can be added to the results.

Then, the proposals were fabricated and compared in order to find the best time, cost and quality of the prosthesis.

Finally, the feasibility of the project with respect to costs and resources used during the whole manufacturing process of the proposals was carried out.

Keywords: 3D printing, manufacturing processes, surface finish, prosthesis.

1. Objetivos del proyecto

1.1 Objetivo General

Fabricar una prótesis dental con nuevos materiales con características mecánicas similares al hueso, así también evitar colocar sobrecarga al hueso.

1.2 Objetivo Específico

Obtener una prótesis dental ligera, mediante el proceso de fabricación aditiva

2. Introducción

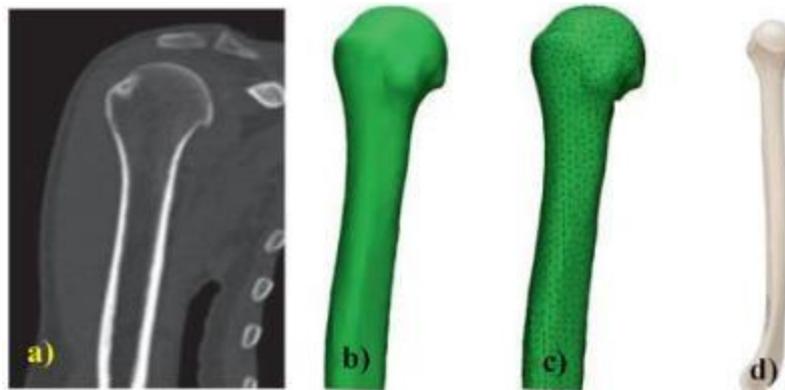
En el sector de la fabricación aditiva de componentes, las empresas están en una constante búsqueda por poder conseguir nuevas maneras de fabricar componentes con la principal razón de optimizar calidad, costes y tiempo.

Actualmente este campo contiene diversos clientes especializados en diferentes sectores como industrias agrícolas, sanitaria, automotriz y aeroespacial. Del mismo modo, la fabricación aditiva es uno de los procesos con más auge dentro de los procesos de fabricación, ya que posibilita conseguir piezas con dimensiones correctas, específicas geometrías y buenos acabados superficiales, así satisfaciendo las necesidades del cliente.

Una de las tecnologías es la impresión 3D que proviene de la tecnología de fabricación de estructuras tridimensionales (3D) capa por capa directamente a partir de dibujos de diseño asistido por ordenador (CAD).

La tecnología de impresión 3D es verdaderamente innovadora y se ha convertido en un campo versátil. Esto trae consigo oportunidades para las empresas que desean aumentar la eficiencia de la producción.

Figura 1: Proceso para la impresión en 3D



Nota. Adaptada de (Yahya Bozkurt, 2021).

Se han desarrollado diferentes tecnologías de impresión 3D con diferentes funciones, las cuales según la norma ASTM F2792, ASTM divide las tecnologías de impresión 3D en siete grupos, que incluyen inyección de aglutinante, deposición directa de energía, extrusión de materiales, eyección de materiales, fusión de capas de polvo, laminación de láminas y fotopolimerización de recipientes.

Las diferencias entre las técnicas son el procesamiento de las capas y el material utilizado. Los métodos de impresión 3D pueden clasificarse según el estado físico del material principal, sólido, líquido o polvo (Yahya Bozkurt, 2021). Es decir, se utilizan diferentes métodos para diferentes tipos de materiales.

Figura 2: Clasificación de material según método de impresión 3D

3D printing method	Material type			Material			
	Liquids	Powder	Solid	Metal	Ceramic	Polymer	Photopolymers
Powder bed fusion	SLS	x		x	X	x	x
	SLM		x	x		x	
	EBM		x	x	X		
VAT- polymerization	SLA	X			X		x
Directed energy deposition	DED		x	x			x
Material jetting		x					x
Binder jetting		x		x	X	x	

Nota. Adaptada de (Yahya Bozkurt, 2021).

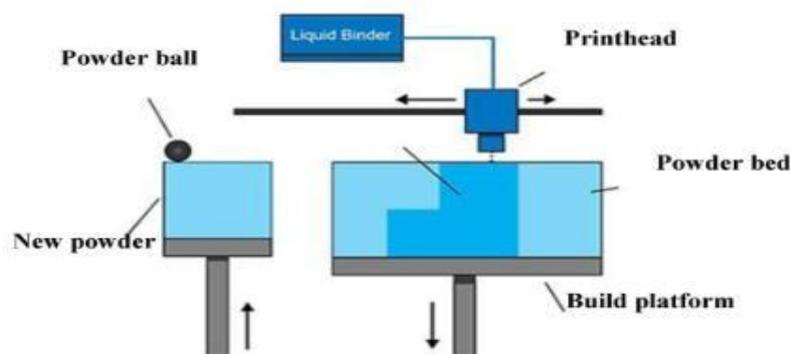
Actualmente, la tecnología de impresión 3D ya no se limita al desarrollo de prototipos, sino que se utiliza cada vez más en la producción de diversos productos.

2.1 Tecnologías de impresión 3D

❖ Inyección de aglutinante

La inyección de aglutinante es un proceso rápido de creación de prototipos e impresión 3D en el que se aplica un aglutinante líquido para mantener unidas las partículas de polvo. La tecnología utiliza la inyección de aglutinante químico sobre el polvo disperso para crear un recubrimiento. La aplicación de la inyección de aglutinante sería la producción de patrones de fundición, productos sinterizados en bruto o productos similares de gran volumen a partir de arena. La inyección de aglutinante puede imprimir una diversidad de materiales, incluidos metales, arenas, polímeros, híbridos y cerámicas. Este proceso de inyección de aglutinante es simple, rápido y económica, porque las partículas de polvo se pegan entre sí.

Figura 3: Impresión por inyección de aglutinante



Nota. Adaptada de (Yahya Bozkurt, 2021).

❖ **Deposición directa de energía**

La deposición directa de energía es un proceso de impresión más complejo que a menudo se utiliza para reparar o agregar material adicional a componentes existentes. La deposición directa de energía tiene un alto grado de control de la estructura del grano y puede producir una buena calidad del objeto. El proceso de deposición de energía dirigida es similar en principio a la extrusión de material, pero la boquilla no está fijada a un eje específico, esta puede moverse en múltiples direcciones. Además, el proceso se puede utilizar con cerámicas, polímeros, pero generalmente con metales e híbridos de base metálica, ya sea en forma de alambre o de polvo. Un ejemplo de esta tecnología es la deposición por láser y la conformación de redes por ingeniería láser (LENS). La deposición láser es la tecnología en auge y se puede utilizar para producir o reparar piezas que miden entre milímetros y metros.

La aplicación láser se está volviendo cada vez más popular en las industrias de utillaje, transporte, aeroespacial y petróleo y gas porque ofrece escalabilidad y versatilidad. Mientras tanto, el láser LENS puede explotar la energía térmica para la fusión durante la fundición y las piezas se logran posteriormente

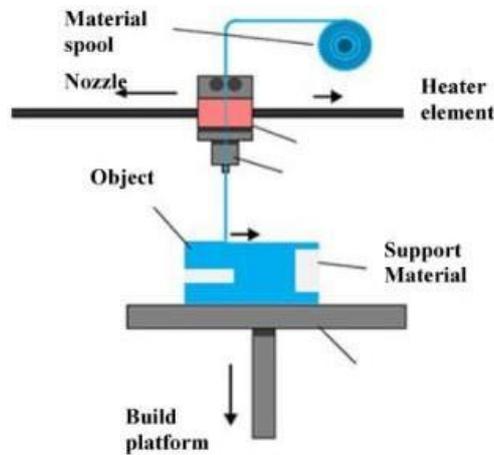
❖ **Extrusión de material**

La extrusión de materiales puede utilizarse para imprimir multimateriales y multicolores de plásticos, alimentos o células vivas. Este proceso es común y económico. Además, con este proceso pueden fabricar piezas de productos completamente funcionales. El modelado por deposición fundida (FDM) es el primer ejemplo de sistema de extrusión de materiales.

El FDM utiliza polímero como material principal. El FDM construye las piezas capa a capa desde abajo hacia arriba calentando y extruyendo filamento termoplástico. Las operaciones que realiza el FDM es que como primer paso el termoplástico se calienta a un estado semilíquido y se deposita como perlas ultra finas a lo largo de la trayectoria de extrusión.

Posteriormente si es que la pieza necesita soporte, la impresora deposita un material fácil de remover como andamiaje.

Figura 4: Impresión por extrusión de material

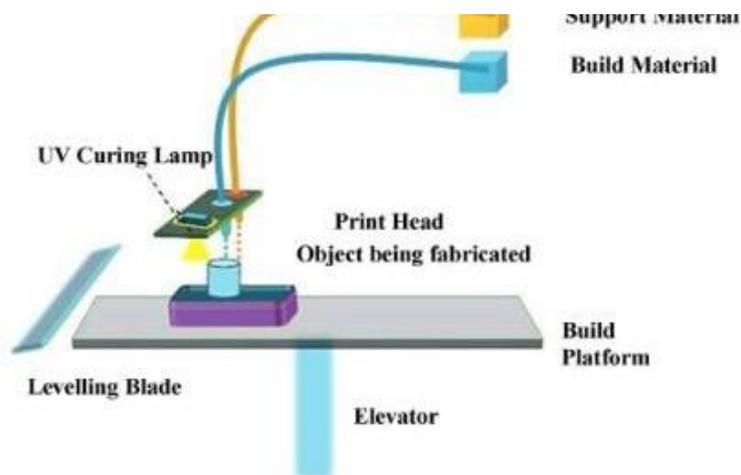


Nota. Adaptada de (Yahya Bozkurt, 2021).

❖ Eyección de materiales

La eyección de materiales es un proceso en el que los materiales de construcción se aplican selectivamente gota a gota. En este proceso, un cabezal de impresión expulsa gotas de un material fotosensible que se solidifica, construyendo una pieza capa a capa bajo luz ultravioleta (UV). Al mismo tiempo, las piezas producidas por eyección de material tienen un acabado superficial muy suave y alta precisión dimensional. La eyección de materiales se utiliza para impresión multimaterial y una amplia gama de materiales como polímeros, cerámicas, compuestos, biológicos e híbridos.

Figura 5: Impresión por eyección de material



Nota. Adaptada de (Yahya Bozkurt, 2021).

❖ Fusión de capas de polvo

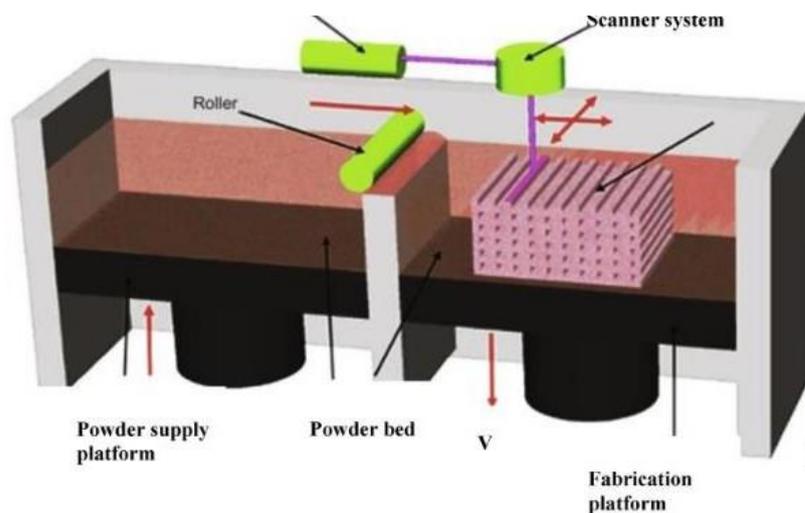
El proceso de fusión de capas de polvo incluye la técnica de fundición por haz de electrones (EBM), la sinterización selectiva por láser (SLS) y la sinterización selectiva por calor (SHS). Este método utiliza un haz de electrones o un láser para fundir o fusionar el material en polvo. Los materiales utilizados en este proceso son metales, cerámicas, polímeros, compuestos e híbridos.

El sinterizado selectivo por láser (SLS) es el principal ejemplo. Este método SLS funciona a gran velocidad, tiene una alta precisión y varía el acabado de la superficie. El sinterizado selectivo por láser puede utilizarse para crear objetos de metal, plástico y cerámica. Este utiliza un láser de alta potencia para sinterizar polvos de polímero y crear un producto 3D.

En cambio, la tecnología SHS utiliza un cabezal térmico en el proceso de fundir el polvo termoplástico para crear una pieza.

Finalmente, la fusión por haz de electrones utiliza una fuente de energía para calentar el material.

Figura 6: Impresión por método SLS



Nota. Adaptada de (Yahya Bozkurt, 2021).

❖ Laminación de láminas

La laminación de láminas es el proceso en el que se unen láminas de materiales para producir una parte del objeto. Los ejemplos de tecnologías que utilizan este proceso son la fabricación de objetos laminados (LOM) y la fabricación aditiva por ultrasonidos (UAM). Las ventajas de este proceso son que la laminación de láminas permite realizar impresiones a todo color, es económica, facilita la manipulación del material y el material sobrante se puede reciclar. La fabricación de objetos laminados (LOM) tiene la capacidad de fabricar geometrías complicadas a un menor coste de fabricación y demorar menos tiempo.

La fabricación aditiva por ultrasonidos (UAM) es una tecnología de proceso innovadora que utiliza el sonido para fusionar capas de metal extraídas de láminas sin características.

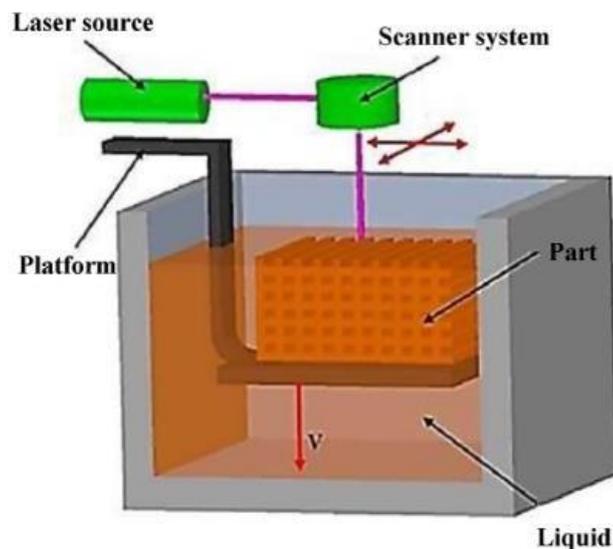
❖ Fotopolimerización de recipientes

La técnica principal de la impresión 3D comúnmente utilizada es la fotopolimerización, que generalmente se refiere al curado de polímeros foto reactivos mediante láser, luz o ultravioleta (UV). Las tecnologías más utilizadas en la fotopolimerización es la estereolitografía (SLA) y el procesamiento digital de la luz (DLP).

El procesamiento de luz digital utiliza fuentes de luz tradicionales, como lámparas de arco con paneles de cristal líquido. Se puede aplicar a toda la superficie del tanque de resina de fotopolímero a la vez, por lo que suele ser más rápido que la estereolitografía. Los parámetros importantes de la fotopolimerización vascular son el tiempo de exposición, la longitud de onda y la cantidad de suministro. Los materiales originales utilizados eran líquidos que se endurecían cuando se exponían a la luz ultravioleta.

La fotopolimerización es adecuada para producir productos de alta calidad con buenos detalles y una superficie de alta calidad.

Figura 7: Impresión por método SLA



Nota. Adaptada de (Yahya Bozkurt, 2021).

2.2 Materiales utilizados en métodos de impresión 3D

Tabla 1: Materiales utilizados en métodos de fabricación

Métodos	Materiales	Ventajas
Modelado por deposición fundida	ABS, PLA, Mezcla de ceras, Nylon	Alta velocidad, alta calidad, utilizado en amplia gama de material
Estereolitografía (SLA)	Resina (Acrilato o Epoxi con foto iniciador patentado)	Construcción fácil de piezas grandes, alta precisión y acabado superficial
Sinterizado selectivo por láser (SLS)	Polvo metálico, poliamidas, PVC	Alta resolución y resistencia
Inyección de material	Foto resina o hidrogel	Buena precisión, muy alto acabado superficial

Nota. Adaptada de (Yahya Bozkurt, 2021).

La técnica de impresión en 3D tiene además una principal ventaja que es la posibilidad de combinar diferentes materiales, esto permite más personalización en vez de más producción. Sin embargo, el uso de polímeros netos no es la mejor opción posible para imprimir piezas, se pueden combinar materiales, estas cuentan con características propiedades mecánicas mejoradas.

Para la fabricación de las prótesis, las combinaciones o los compuestos son diversos, pero los más comunes combinan fibras de carbono continuas y matriz de PLA, porque con esta combinación se consigue tener una buena estabilidad estructural y propiedades con funciones no alcanzables por un único constituyente. Esto es posible solo cuando se añaden partículas como la fibra o nanos refuerzos a los polímeros.

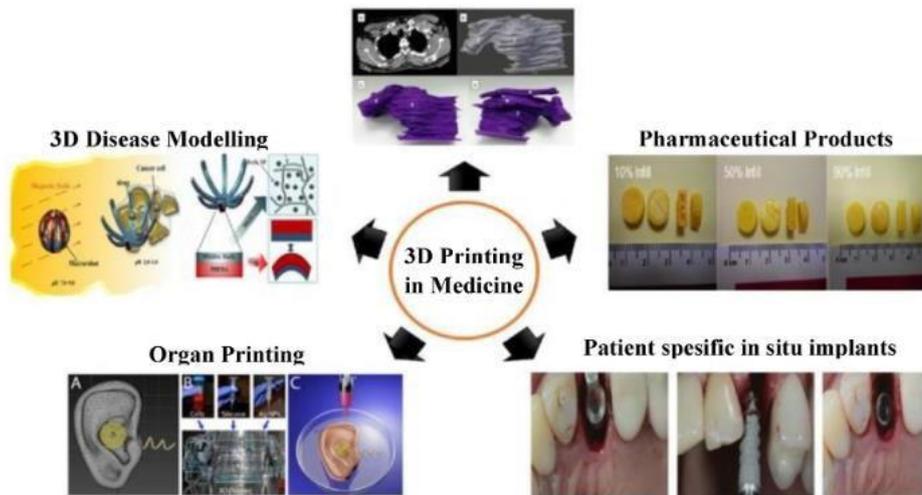
2.3 Aplicación de la impresión 3D en el área médica

La impresión 3D será cada vez más avanzada debido a las diversas posibilidades que ofrece en muchos campos diferentes. Esta tecnología es particularmente popular en muchas aplicaciones de atención médica y, en particular, ofrece grandes ventajas para imágenes médicas y dentales, ya que puede abordar en gran medida investigaciones como la identificación de la anatomía específica del paciente.

Para las aplicaciones en el campo médico, se utilizan los materiales biocompatibles para realizar la creación de tejido intacto a partir de células vivas, la producción de vasos sanguíneos, implantes y prótesis médicas especiales. Estas son algunas de las contribuciones de las impresoras 3D al campo de la biomedicina.

La biomedicina es una rama de la tecnología que se ocupa de la producción de todos los materiales, dispositivos que pueden utilizarse para imprimir piel en 3D, investigación de fármacos y medicamentos, huesos y cartílagos, tejidos de sustitución, órganos, prótesis e implantes odontológicos.

Figura 8: Aplicaciones de impresión en la medicina

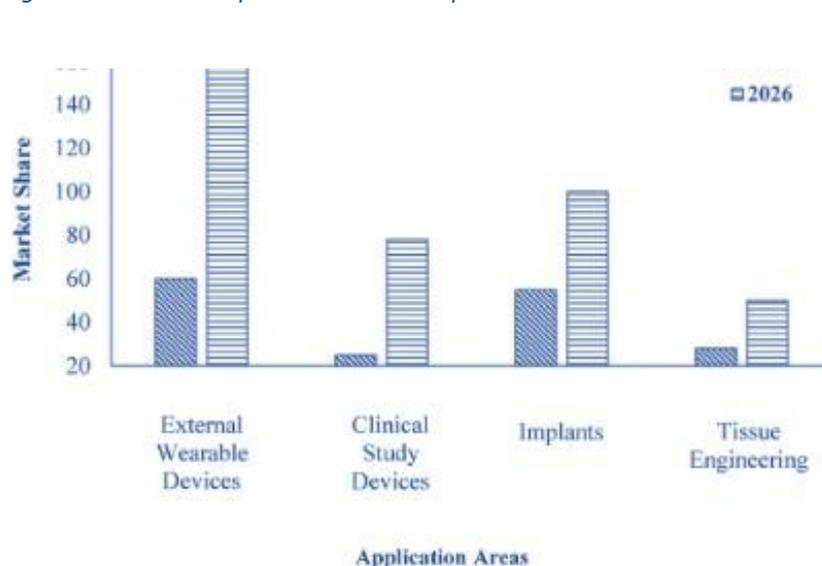


Nota. Adaptada de (Yahya Bozkurt, 2021).

La impresión para estas aplicaciones médicas permite implantes personalizados y hechos a pedido, lo que puede reducir significativamente los costos y el inventario.

Debido a las múltiples ventajas de esta tecnología, su uso en biomedicina está aumentando. Esta tecnología, se utiliza en aplicaciones biomédicas como implantes e ingeniería de tejidos. Se espera que su uso en estos dominios de aplicación aumente en un futuro cercano (Figura 9).

Figura 9: Uso de la impresión 3D en años posteriores

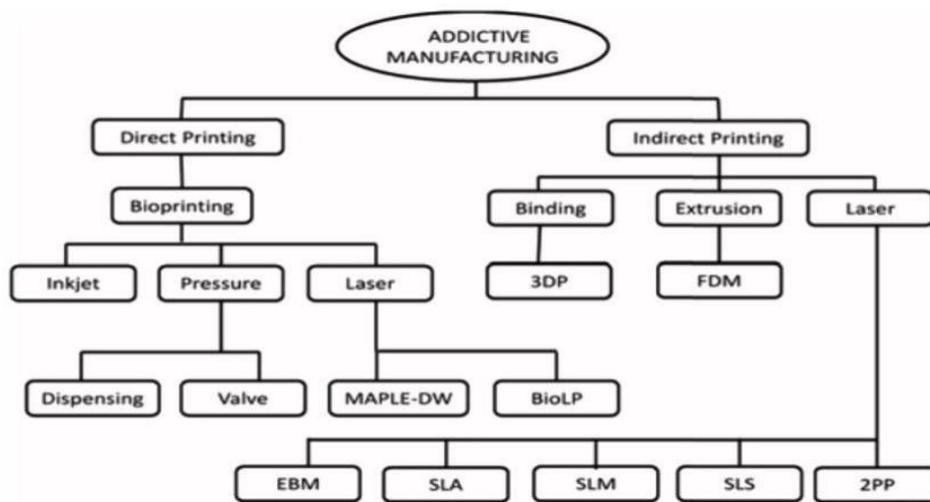


Nota. Adaptada de (Yahya Bozkurt, 2021).

La tecnología de fabricación aditiva (AM) es muy utilizada para la construcción de estructuras de ingeniería tisular debido a que proporciona un control preciso a la macroestructura externa e interna de los andamiajes.

Actualmente existen tres tecnologías para imprimir células directamente sobre los implantes las cuales son inyección de tinta, extrusión y asistida por láser.

Figura 10: Fabricación aditiva clasificados por método y estructura

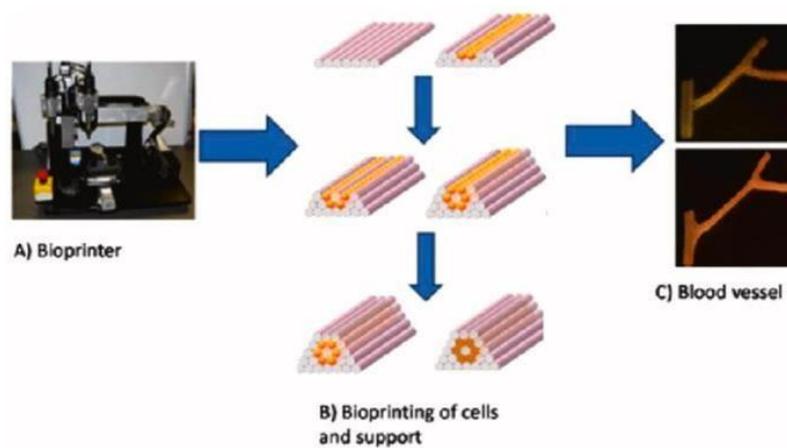


Nota. Adaptada de (Yahya Bozkurt, 2021).

Los implantes de compleja geometría mayormente tienen necesidades específicas, por lo que se produce en pequeños volúmenes, es por eso que la fabricación aditiva es útil para fabricar bioimplantes.

Algunos ejemplos de componentes celulares son la terapia celular, órganos bioartificiales, ingeniería de tejidos, incorporación vital de implantes, sistemas bio híbridos, técnicas de revestimiento celular in vivo.

Figura 11: Impresión celular (Vasos sanguíneos impresos en bioimpresoras utilizando el método de extrusión)



Nota. Adaptada de (Yahya Bozkurt, 2021).

2.4 Impresión 3D en el área odontológica

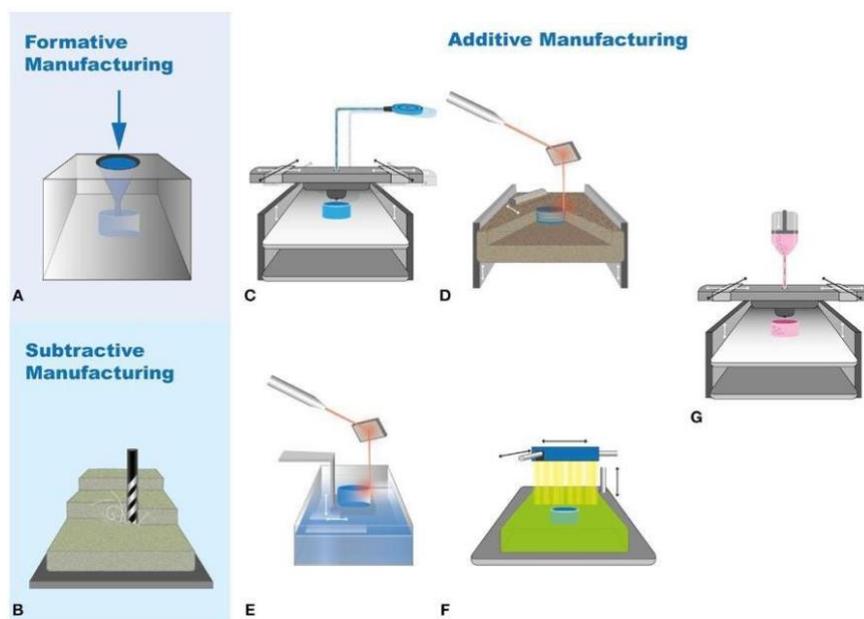
En comparación con una prótesis fabricada con métodos tradicionales, no se aprecia una gran diferencia con respecto a la producida por una impresora 3D. La tecnología 3D es más ventajosa para la producción personal.

Recientemente, la amplia impresión 3D en el diseño de prótesis ha brindado la oportunidad de crear rápidamente prototipos de los diseños deseados, y pueden probarse en poco tiempo a un coste mínimo. La impresora 3D permite fabricar prótesis con las propiedades mecánicas y físicas, totalmente compatibles con el tiempo.

Las prótesis son realistas, se adaptan a la anatomía del paciente y se aproximan a las propiedades mecánicas originales. propiedades mecánicas originales, se fabrican prótesis para el oído, la nariz, los dientes, el hueso, la mano y el pie.

2.4.1 Tecnología aplicada para la fabricación de las prótesis

Entre los métodos de fabricación aditiva más aplicados se encuentran el modelado por deposición fundida (FDM), el sinterizado selectivo por láser (SLS), la estereolitografía (SLA), la impresión por chorro de polietileno y la bioimpresión. Las impresoras de modelado por deposición fundida (FDM) son las más comunes en el campo médico u odontológica debido a la gran disponibilidad y calidad.



Nota. Adaptada de (Yahya Bozkurt, 2021).

2.3.1. Materiales aplicados para la fabricación de las prótesis

Para permanecer en contacto con los tejidos del cuerpo, los materiales deben tener características de biocompatibilidad. En términos de materiales compuestos, tenemos como ejemplo a la fibra de carbono y resina epoxi, que están formados por dos o más fases con propiedades físicas distintas. Las fibras de vidrio y de carbono también son utilizados para la producción de materiales compuestos, en el caso de la fibra de carbono consta de dos o más materiales (fibras de carbono y una matriz).

Por otro lado, se tiene los biomateriales procedentes de la materia viva como reemplazantes óseos.

En los tecnopolímeros, el moldeo por flujo de materiales compuestos (CFM) tiene la capacidad de fabricar materiales compuestos reforzados con fibras largas.

Gracias a este proceso son posibles muchas combinaciones de refuerzos (fibras de carbono, vidrio, Kevlar) y resinas termoplásticas (PEEK, PEI y PPS).

3. Marco teórico

3.1 Introducción

En el siguiente esquema, se podrá observar los pasos que se debe seguir para la fabricación de la prótesis dental.

Proceso para la fabricación de
una prótesis dental

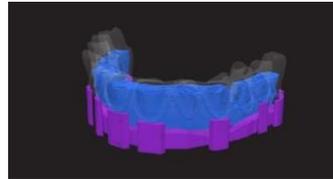
Escáner 3D: Tiene una cámara incorporada por toda la boca del paciente y la cámara en ese instante la recrea en el monitor. Finalmente, se obtiene la imagen en 3D de toda la boca.



Software dental: El archivo de la dentadura se exporta a un software odontológico. El software ayudará a limpiar, preparar, hacer mallas, bases o agujeros a la dentadura para poder imprimir en 3D de una manera eficaz.



Impresión 3D: El archivo del software industrial se exporta en STL para el software de impresión 3D, en donde se configurarán parámetros para una impresión de alta calidad, menor tiempo y menor coste.



Control de calidad: Verificar la calidad de la dentadura impresa en 3D libre de impurezas e irregularidades. Además, de corroborar que contenga las dimensiones exactas y verificar el asentamiento de la dentadura.



Nota. Elaboración propia.

3.2 Implantes

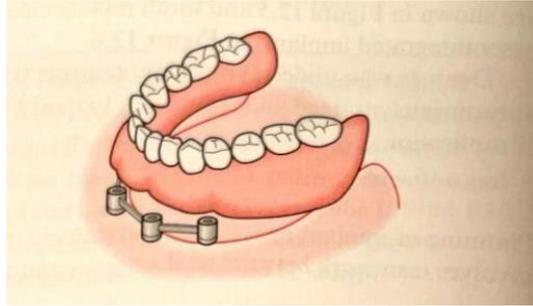
El implante dental es el componente quirúrgico que se encuentra muy cerca al hueso de la mandíbula o el cráneo para soportar prótesis dental como coronas, dentaduras completas, puentes fijos de arco completo, puentes fijos parciales, puentes parciales, reemplazo de un solo diente, puentes de implantes dentales naturales, prótesis orbitales, nasales, auriculares y auditivas (figura 13 – 17).

Figura 13: Puente fijo de arcada completa retenido por implante



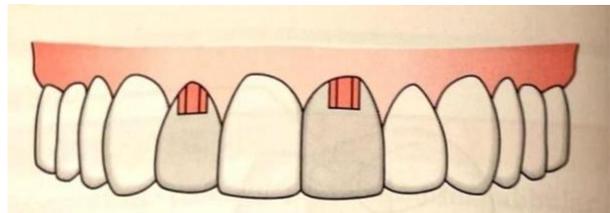
Nota. Adaptada de (Gibson, 2007).

Figura 14: Sobre dentadura completa retenida por implante



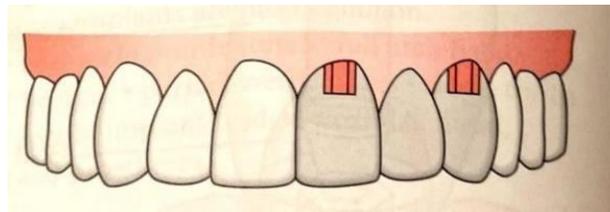
Nota. Adaptada de (Gibson, 2007).

Figura 15: Coronas unitarias sobre implantes



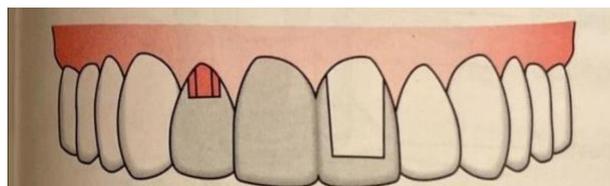
Nota. Adaptada de (Gibson, 2007).

Figura 16: Puente fijo anterior retenido por implante



Nota. Adaptada de (Gibson, 2007).

Figura 17: Puente diente-implante natural



Nota. Adaptada de (Gibson, 2007).

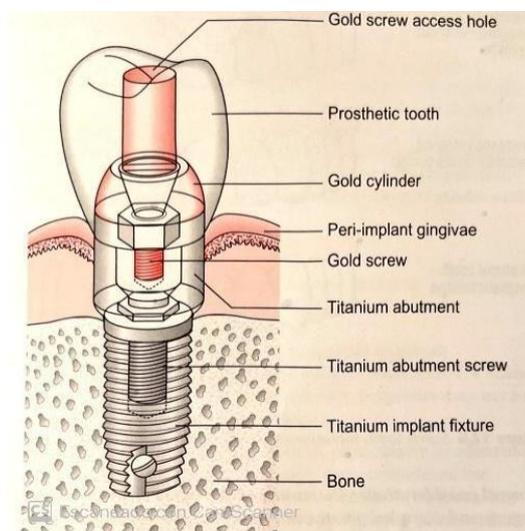
La base de los implantes dentales es la osteointegración, esta se define como la conexión estructural y funcional directa entre el hueso vivo y la superficie de apoyo del implante.

❖ Factores para alcanzar una óptima osteointegración

- Material biocompatible: Usualmente utilizado el titanio puro.
- Diseño de implante adecuado: Largo espacio, forma estable durante el curado, las superficies irregulares son mejores que las lisas.
- Hueso: Adecuada altura, anchura y estado.
- Técnica quirúrgica
- Condiciones de carga: Implantes que no se comporten como una sobrecarga.

❖ Componentes típicos de un implante osteointegrado

Figura 18: Componentes mecánicos típicos de un implante osteointegrado



Adaptada de (Gibson, 2007).

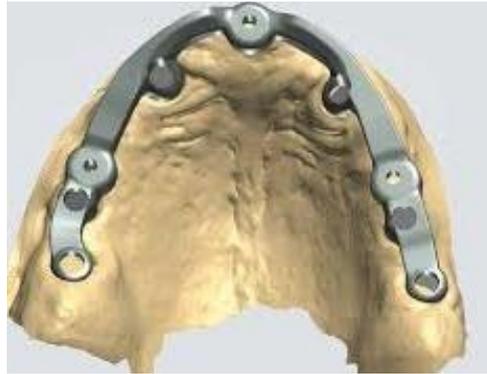
Así el implante se coloca primero de manera que pueda osteointegrarse para después colocar la prótesis dental, también se calcula la tensión a la que se van a ser sometidos el implante y la prótesis durante el funcionamiento normal.

3.2.1 Implante para tipo de prótesis

Para una prótesis removible, se coloca un adaptador adecuado a la prótesis para que las piezas puedan mantenerse juntas. Cuando es fija se le agrega un cemento dental para que pueda pegarse.

Para una prótesis completa fija, se necesita una subestructura (hecho de metal para posicionar los implantes en el lugar adecuado) que sea lo suficiente fuerte y resistente para ser fiable, por lo que se utiliza un sistema modular prefabricado de una estructura de titanio de base y soporte y ajuste para una prótesis completa.

Figura 19: Implante de estructura de titanio



Nota. Adaptada
(Paz, 2020).

❖ Componentes del implante

- Fijación o implante: Proporciona anclaje o sujeción para una restauración
- Pilar: Es el soporte a la corona e integra la interfaz entre la corona y el implante
- Corona: Es la parte que constituye la parte superior de una restauración

❖ Ventajas y desventajas de un implante dental

Tabla 2: Tabla comparativa de un implante dental. Elaboración propia

Ventajas	Desventajas
Mejor estética	Más caro que otras prótesis
Mejor resistencia	Procedimiento clínico complicado
Mejor estabilidad	No recomendable en pacientes con problemas médicos
	Limitaciones anatómicas
	Largos tiempo de procedimientos

Nota. Elaboración propia.

3.2.2 Materiales utilizados para fabricar implantes dentales

Existen distintos tipos de materiales para la fabricación de implantes dentales, estos son los siguientes:

- Implantes dentales metálicos: Los metales más comunes son el titanio, acero inoxidable, Vitallium y aleación de cobalto, cromo y molibdeno.
- Implantes dentales de cerámica.
- Implantes dentales poliméricos: Politetrafluoroetileno y polimetilmetacrilato, no se utilizan por sí solos, siempre junto con otros materiales.

También se tendrá en cuenta la función de la reacción de los materiales utilizados con el hueso

- Implantes bioactivos: El uso de estos materiales ayudan a promover la regeneración ósea y la formación de tejido nuevo.
- Implantes bioinertes: El uso de estos materiales tiene una interacción mínima con el tejido, por ejemplo, el acero inoxidable, titanio, alúmina, circonio parcialmente estabilizado y polietileno de peso molecular ultra alto.

3.3 Prótesis dentales

La prostodoncia es parte de la odontología encargada de diseñar y fabricar las prótesis dentales con la finalidad de brindar un adecuado funcionamiento de la dentadura, además de otorgar un buen aspecto estético. Las prótesis dentales son dispositivos que ayudan a rehabilitar los dientes gastados, dañados o la sustitución de dientes perdidos.

Las prótesis se dividen en:

- Prótesis fijas, las que permanecen unidas a la dentadura del paciente, es decir el paciente no se la puede quitar.

Figura 20: Prótesis fija sujeto con implante



Nota. Adaptada de (Garcia, s.f.).

- Prótesis removibles o mucosoportadas, las que no permanecen unidas a la dentadura del paciente, es decir son las que se pueden quitar para lavar y cepillar las mucosas donde va soportada para luego volver a poner.

Figura 21: Prótesis removibles



Nota. Adaptada de (Freire, s.f.).

Los pacientes que requieren prótesis dentales pueden ser totalmente edéntulos (pérdida de todos los dientes) (Figura 22) o parcialmente edéntulos (pérdida de alguna pieza permanente) (Figura 23).

Figura 22: Paciente totalmente edéntulo



Nota. Adaptada de (Luque, 2016).

Figura 23: Paciente parcialmente edéntulo



Nota. Adaptada de (Luque, 2016).

3.3.1 Modelado tradicional

Las impresiones, es el procedimiento diseñado para replicar la boca del paciente de la manera más confiable y precisa posible. Para obtener esta impresión, se utilizan cubetas, equipos donde se deposita el material blando que se va a colocar sobre la mucosa y dientes y una vez fraguada se rellena con escayola o yeso de piedra.

Se tienen impresiones preliminares, utilizada para obtener una impresión más precisa a la boca del paciente, y definitivas que utilizan las impresiones preliminares para obtener un resultado más exacto.

Tabla 3: Clasificación de materiales utilizados para la impresión de prótesis dentales

	Material	Tipo
<i>Material elástico</i>	Hidrocoloides	Reversible: agar/ gelatina Irreversible: Alginato
	Elastómeros sintéticos Siliconas de condensación Siliconas de adición	Poliéteres
	<i>Materiales no elásticos</i>	Ceras
Pasta		Óxido de zinc-eugenol

Nota. Adaptada de (Gibson, 2007).

El alginato, es un material en polvo que al mezclarse con agua se vuelve gel, un gel irreversible, manipulación fácil, preciso y flexible. Al momento de colocarlo en la boca sufre cambios de dimensión y deshidratación de tal manera que toma la forma de la dentadura del paciente.

Principalmente es utilizado para la elaboración de prótesis completas, parciales, aparatos de ortodoncia, férulas de descarga y modelos de estudio.

- Procedimiento de impresión

Tabla 4: Procedimiento de impresión dependiendo la utilización del material

Material	Procedimiento
Alginato	<ol style="list-style-type: none">1. Cálculo mediante dosificadores cantidad de alginato y agua2. Espatulado del alginato y agua3. Colocación de la mezcla sobre la cubeta4. Ingreso de la cubeta a la boca5. Comprobación del endurecimiento del alginato6. Retiro de la cubeta
Silicona	<ol style="list-style-type: none">1. Preparación del material de manera manual o mediante una pistola de silicona2. Colocación de la silicona pesada y fluida sobre la cubeta fraguando al mismo tiempo ó por separado cada una.

Nota. Elaboración Propia

En el modelado tradicional la fabricación de la prótesis dental demora unos 5 días aproximadamente.

3.3.2 Modelado por fresado

El fresado protésico es un proceso que hace uso de la tecnología del fresado computarizado (CAD/CAM) para la creación de prótesis personalizadas. Este proceso se constituye por varios pasos, los cuales son:

1. Escaneo digitalizado: Se hace un escaneo total de la boca del paciente a través de un escáner oral para obtener imágenes en 3D de los dientes y la estructura de la cavidad bucal.
2. Software dental (CAD): Se utiliza un software en donde se puede ajustar y personalizar el diseño acorde a lo que el paciente requiere.
3. Fresado (CAM): El modelo de la prótesis digital se envía a una fresadora controlado por computadora. En este paso, la fresadora esculpe la prótesis a partir de bloques de material.
4. Acabado y pulido: Una vez hecha la prótesis se realiza prueba de calidad, es decir se pulen las prótesis para perfeccionarlas y dejarlas de una forma exacta a lo que el paciente necesita.

El tiempo que involucra todos los pasos que se necesita para la fabricación de la prótesis utilizando el fresado como método de fabricación, es de 5 días aproximadamente. Es un tiempo mayor en comparación al tiempo que se necesita en fabricarla con impresora 3D.

3.4 Softwares utilizados en el área odontológica

En este apartado se dará a conocer los softwares más utilizados para realizar el diseño de las prótesis y para la fabricación de la prótesis.

3.4.1 Diseño odontológico

En el diseño odontológico existen diferente software, los más utilizados son los siguientes

3.4.1.1 3Shape

Es un software de diseño CAD/CAM utilizado en el campo odontológico, es decir se puede crear modelos dentales en 3D.

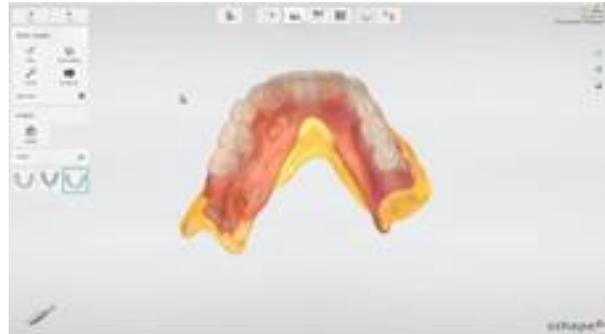
El sistema se basa en el flujo de diseños más usuales y conocidos en los laboratorios para así brindar al usuario ayuda y soporte para indicaciones dentales más específicas y completas.

En el software se puede realizar el diseño de coronas y puentes, articulación dinámica virtual, búsqueda de ajuste oclusor, cofias y armazones de puente.

Además, permite el diseño de prótesis tanto removibles como fijas, la cual se pueden modelar prótesis de buena calidad funcional y estética. También se puede colocar la cara real del paciente

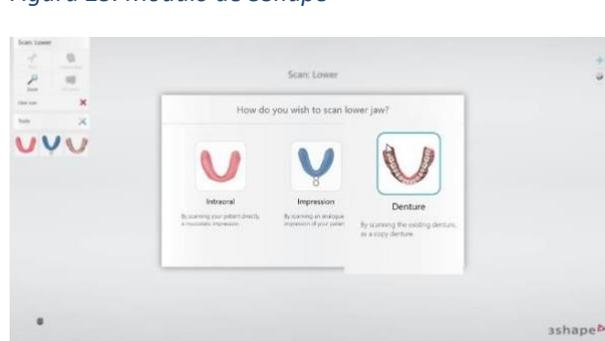
superponiendo las imágenes en 2D.

Figura 24: Modelado de dentadura en 3Shape



Nota. Adaptada de (3Shape, s.f.).

Figura 25. Módulo de 3Shape



Nota. Adaptada de (3Shape, s.f.).

3.4.1.2 Blender for dental

Es un software que sirve para realizar modelados, iluminación, renderizados y animaciones en 3D.

Está creado especialmente para las aplicaciones odontológicas, la cual hace que los modelos de impresión se realicen en menos tiempo.

Contiene varias funcionalidades de cada módulo como diseño de modelos, cubetas personalizadas, componentes y coronas para implantes, diseño de encías, alineador ICP, articulador y arco facial, diseño de férulas, módulo de bloqueos, diseñador de logos, removedor de brackets, coronas y puentes y encerado digital.

Figura 26: Modelado de dentadura con implantes



Nota. Adaptada de (dental, 2021).

Figura 27: Modelado final de la boca del paciente



Nota. Adaptada de (dental, 2021).

3.4.1.3 ExoCad

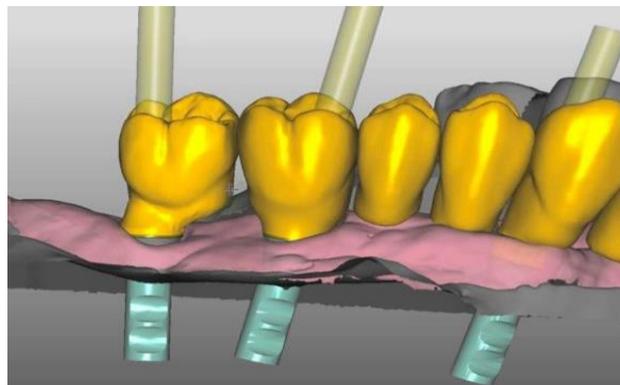
ExoCad-DentalCAD tiene un enfoque simple y flexible para el diseño de una amplia gama de restauraciones. El software ayuda automáticamente en el diseño, la compensación correcta del grosor del material, la prevención del estancamiento y la compensación de los requisitos de fresado.

Estas funciones de autoservicio ahorran tiempo al reducir la posibilidad de errores de reparación. Todos los diseños se construyen con un conjunto de parámetros que usted que se pueden especificar.

La forma resultante se puede ajustar rápidamente haciendo pequeños ajustes a los parámetros o diseñando digitalmente para agregar o quitar material.

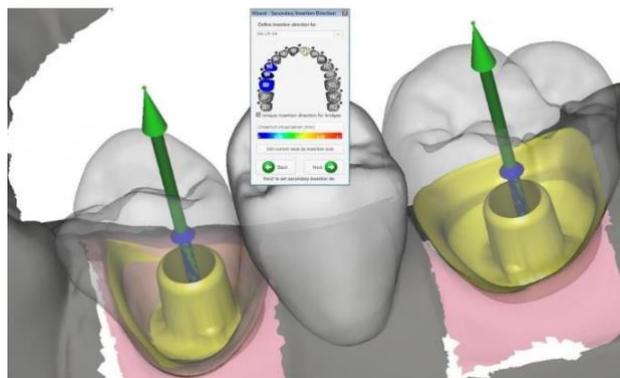
Los módulos que contiene el software son el diseño de cofias simples y puentes, cofias anatómicas y puentes, coronas telescópicas, coronas anatómicas completas, encerado cofias y puentes, incrustaciones anatómicas, barras dentales y personalización de pilares.

Figura 28: Diseño de implante en base a la boca del paciente



Nota. Adaptada de (TecnoCAD, 2016).

Figura 29: Posición de implantes a través de la dentadura



Nota. Adaptada de (TecnoCAD, 2016).

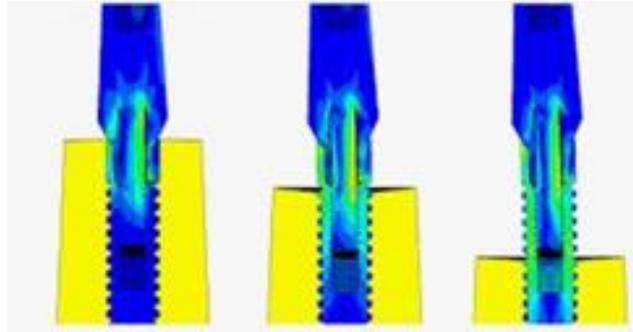
3.4.2 Diseño industrial

En el diseño odontológico existen diferente software para el análisis mecánico de las prótesis, los más utilizados son los siguientes.

3.4.2.1 SolidWorks

Es un software de diseño CAD (diseño asistido por computadora) en 3D para modelar piezas y ensamblajes en 3D, así como dibujos en 2D. El software ofrece una gama de soluciones que cubren todos los aspectos involucrados en el proceso de desarrollo del producto. Tiene la capacidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y administrar datos de procesos de diseño.

Figura 30: Análisis de elementos finitos en implante dental en SolidWorks

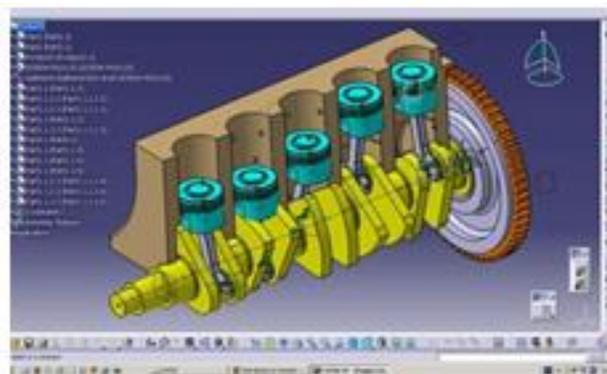


Nota. Adaptada de (Montoya, 2021).

3.4.2.2 CATIA

CATIA es una completa solución de software para el diseño y desarrollo de productos 3D y PLM, el programa es utilizado por ingenieros y diseñadores en la industria automotriz, industria aeroespacial, está orientado al desarrollo de proyectos avanzados, sus principales aplicaciones son modelado avanzado de sólidos, superficie, ensamblaje, producción de dibujos.

Figura 31: Diseño mecánico



Nota. Adaptada de (3DCadPortal, CATIA, s.f.).

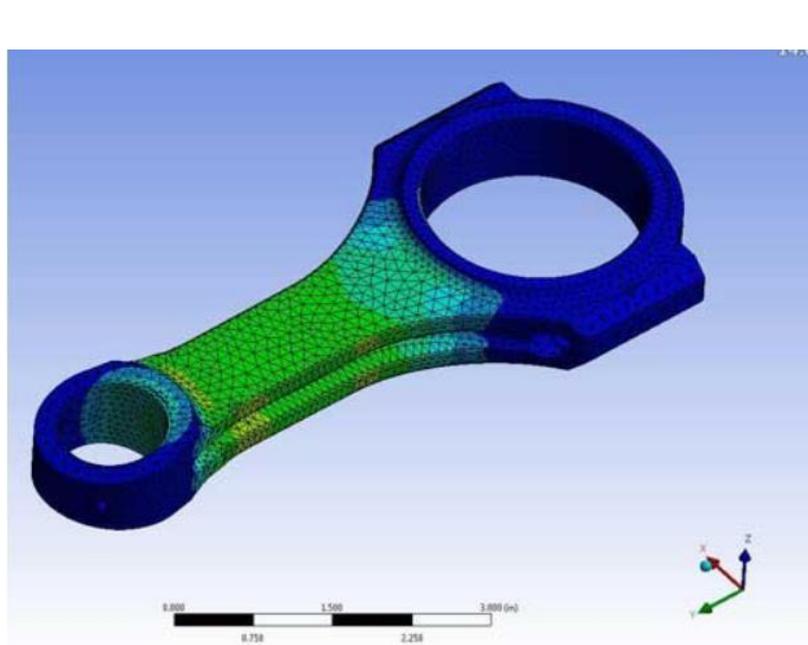
3.4.2.3 Ansys

Ansys contienen programas CAE para diseñar, analizar y simular piezas utilizando elementos finitos,

este incluye fases de preparación, ejecución y acabado. El programa analiza piezas en términos de fenómenos físicos utilizados en ingeniería y diseño Mecánica, que resuelve problemas físicos que exponen a los efectos térmicos, estrés, fluidos, vibraciones y aplicaciones específicas.

ANSYS es una plataforma de software para crear proyectos de análisis CAE en varios campos. Workbench representa gráficamente la intención de las simulaciones de ingeniería y establece relaciones entre los fenómenos físicos y sus módulos, incluida la multifísica.

Figura 32: Análisis de elementos finitos en ANSYS



Nota. Adaptada de (3DCadPortal, s.f.).

3.5 Materiales

Para permanecer en contacto con los tejidos del cuerpo, los materiales deben tener características de biocompatibilidad. Se mencionarán algunos ejemplos de materiales y sus características en los siguientes puntos.

3.5.1 PMMA

El PMMA es un plástico termoplástico transparente, es uno de los materiales más utilizados para la elaboración de prótesis provisionales parciales o completas debido a sus ventajas.

Ventajas

- Buenas propiedades estéticas
- Absorción de agua baja

- Elevada resistencia
- Toxicidad baja

El PMMA se adapta con precisión a la impresión de la boca del paciente. Es un material muy duradero y se puede reparar si se daña. También se utilizan en la producción de dientes artificiales y aparatos de ortodoncia.

Figura 33: Dientes fabricados por material PMMA



Nota. Adaptada de (RESYCAM, 2020).

3.5.2 Nylon

El Nylon es un material que pertenece a las poliamidas de tipo sintético, es uno de los materiales más utilizados para la realización de prótesis dentales flexibles, debido a sus características

Ventajas

- Alta elasticidad
- Alta resistencia
- Flexible

Figura 34: Prótesis dental de Nylon



Nota. Adaptada de (Pejoan, 2019).

3.5.3 PEEK

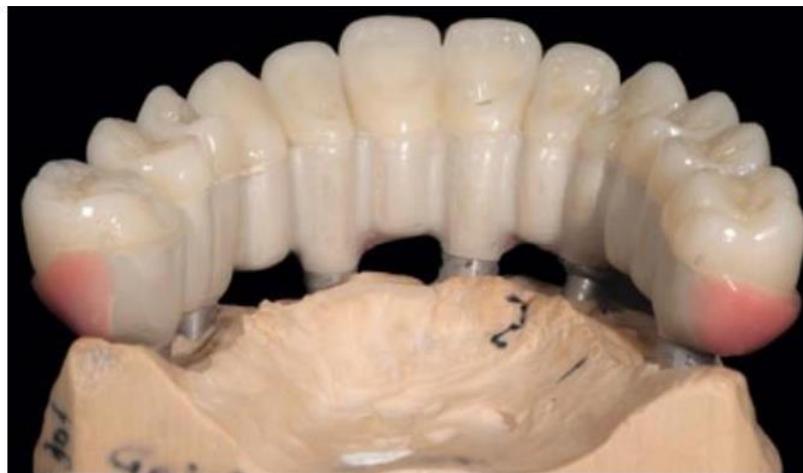
El poliéter éter cetona o PEEK es un polímero termoplástico compuesto. Se encuentra formada por cetonas policromáticas.

Ventajas

- Elevada resistencia
- Estabilidad a elevadas temperaturas
- Insoluble
- Alta estabilidad a radiaciones
- No corrosivo
- No es conductor térmico o eléctrico

Debido a las características o ventajas es un material muy utilizado en múltiples áreas para reemplazar el metal como en la ortopedia, traumatología, prótesis e implantes dentales.

Figura 35: Puente PEEK



Nota. Adaptada de (Stewart, 2020).

3.5.4 Fibra de carbono

El carbono es un material muy ligero de tipo polimérico formado por filamentos finos que está a su vez está conformada por átomos de carbono, muy parecida al grafito y grafeno.

Ventajas

- Elevada resistencia

- Alta resistencia a la fractura
- Gran rigidez
- Alta resistencia mecánica a la fatiga
- Baja densidad

Debido a las ventajas que presenta la fibra de carbono es uno de los materiales que se encuentra en auge actualmente, ya que cumple con las características adecuadas para las prótesis dentales.

Figura 36: : Estructura de fibra de carbono



Nota. Adaptada de (Lopez, 2015).

3.6 Impresión 3D en el área odontológica

En la ingeniería aditiva, algunas de sus principales aplicaciones son los implantes poliméricos biocompatibles, la replicación de geometrías difíciles y andamios biodegradables para ingeniería de tejido.

Se explicará cómo funciona la impresión tridimensional en tres campos diferentes de la odontología.

❖ **Cirugía oral y maxilofacial**

La impresión 3D también hace posible el planificar y realizar totalmente la reconstrucción quirúrgica de defectos maxilo mandibulares a través de métodos virtuales en 3D con carga protésica inmediata.

Una vez se tiene el diagnóstico el médico elabora una planificación quirúrgica implícitamente a medida de cada caso en un software 3D.

Si se cuenta o se ha logrado con los objetivos individuales del tratamiento, se puede fabricar un modelo en el software que simula el resultado final del tratamiento desarrollado en 3D.

Este paso ayuda al paciente a tener una mejor idea de la estrategia quirúrgica al que va a ser sometido y también verá el resultado final antes de la cirugía

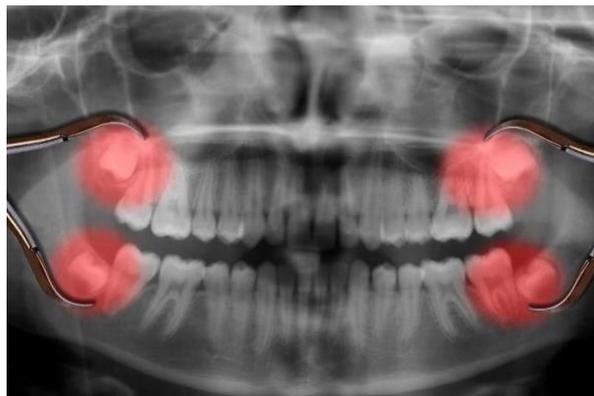
Así la fabricación aditiva es importante porque ayuda a conseguir buenos resultados de tratamiento, mejorar el aspecto y la calidad de vida de los pacientes.

Figura 37: Cirugía maxilofacial



Nota. Adaptada de (DOCTORS, 2014).

Figura 38: Cirugía oral (Extracción de muelas de juicio)



Nota. Adaptada de (Dental, s.f.).

❖ Ortodoncia

En este apartado, se puede estudiar los brackets de ortodoncia, debido al impacto de fabricación aditiva y a la utilización del software es posible efectuar cambios específicos del paciente en términos de angulación, flexión y selección de materiales a lo largo de la fabricación de los brackets.

Además, se puede presentar con antelación los cambios provocados por los brackets.

Actualmente, la impresión tridimensional se utiliza comúnmente para la producción de alineadores de ortodoncia para corregir los dientes.

Figura 39: Alineación de dientes con brackets



Nota. Adaptada de (David Suárez Quintanilla, 2022).

❖ **Prostodoncia**

En la mayoría de los casos, se utilizan polímeros de silicona o alginato para generar impresiones intraorales y técnicas de moldeo por inyección o compresión para poder fabricar prótesis dentales.

Este proceso es muy complicado, se debe dedicar mucho tiempo para obtener las prótesis y además se necesita un protésico dental cualificado.

Con el avance tecnológico, hoy en día se puede agilizar ese proceso imprimiendo directamente estas prótesis a base de silicona, ya que además de ser un proceso más rápido que al hacerlo tradicionalmente, disminuye el número de citas de los pacientes y proporciona un acabado aceptable

Los materiales metálicos y poliméricos son muy utilizados en la fabricación aditiva de prótesis dentales y coronas.

Varios estudios han podido mostrar que la impresión 3D puede utilizarse con éxito en varias aplicaciones como prótesis sobre implantes metálicos mediante fusión selectiva por láser y fusión por haz de electrones.

Añadido a esto, la fabricación aditiva puede emplearse para disminuir el tiempo de trabajo protésico dental y facilita una estructura muy precisa a comparación de la que se hace tradicionalmente.

Figura 40: Prótesis fija completamente edéntula



Nota. Adaptada de (artidental, s.f.).

3.7 Impresoras 3D

Las impresoras 3D tienen la capacidad de imprimir componentes o piezas a partir de un diseño por computadora en tres dimensiones. Hay varios tipos de tecnologías utilizadas en las impresoras 3D como SLS, SLA, FDM, etc. Cada tipo de tecnología trabaja con diferentes materiales y técnica de construcción de la pieza.

Markforged Mark Two

Impresora 3D diseñada para imprimir piezas de alta resistencia utilizando una variedad de materiales compuestos, que incluyen fibra de carbono, fibra de vidrio y Kevlar.

Es una impresora de tipo FFF que comprende dos boquillas de impresión para construir capas y materiales de soporte.

El Mark Two tiene una cámara de calentamiento cerrada para evitar la deformación y mantener la calidad de la pieza. También cuenta con una base de impresión removible, lo que facilita el proceso de remoción de las partes impresas.

Mark Two es popular en industrias como la aeroespacial, automotriz y médica, donde las piezas de alta resistencia y calidad son esenciales.

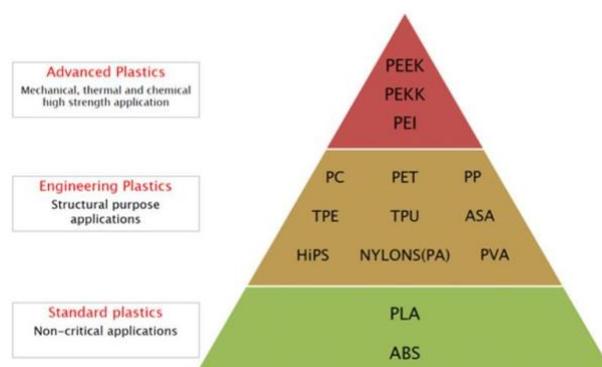
La capacidad de imprimir piezas compuestas como fibra de carbono y Kevlar la convierte en una opción popular para los profesionales que buscan una impresora 3D potente y de alta calidad.

Las impresoras para imprimir materiales dentales como el PEEK, PEI o PEKK, por ejemplo, presentan específicas e importantes características por cumplir, porque este tipo de materiales necesitan un alto grado de temperatura de impresión, cama resistente a altas temperaturas, la cámara impresión, extrusor de material resistente a altas temperaturas, sistema de refrigeración y entre otras cosas más.

Todos estos puntos mencionados son importantes a tener en cuenta para obtener una buena calidad de impresión.

Pirámide de materiales desde los más simple de imprimir a los más complicados.

Figura 41: Pirámide de materiales según su complejidad



Nota. Adaptada de (Marchante, 2023).

CreatBot PEEK-300

Impresora 3D diseñada para imprimir piezas como el PEEK, PLA, ABS, nylon, fibra de carbono, entre otros.

Es una impresora que cuenta con extrusores duales de elevación automática que además estos extrusores tienen la capacidad de resistir a altas temperaturas.

También cuenta con Direct Annealing System (DAS), tecnología que hace que el proceso de templado se pueda monitorear en tiempo real durante la impresión.

El objetivo de esta tecnología es que la impresora pueda entregar piezas de alta calidad en una sola pasada sin distorsiones ni grietas en la impresión de grandes materiales funcionales.

- Temperatura de cama: 200 grados Celsius
- Cámara caliente: 120 grados Celsius
- Sistema de refrigeración: Por bomba de aire y por agua
- Boquilla máxima temperatura: 500 grados Celsius

Figura 42: Impresora 3D CreatBot PEEK 300



Nota. Adaptada de (tridilab, s.f.).

3.8 Escáner 3D

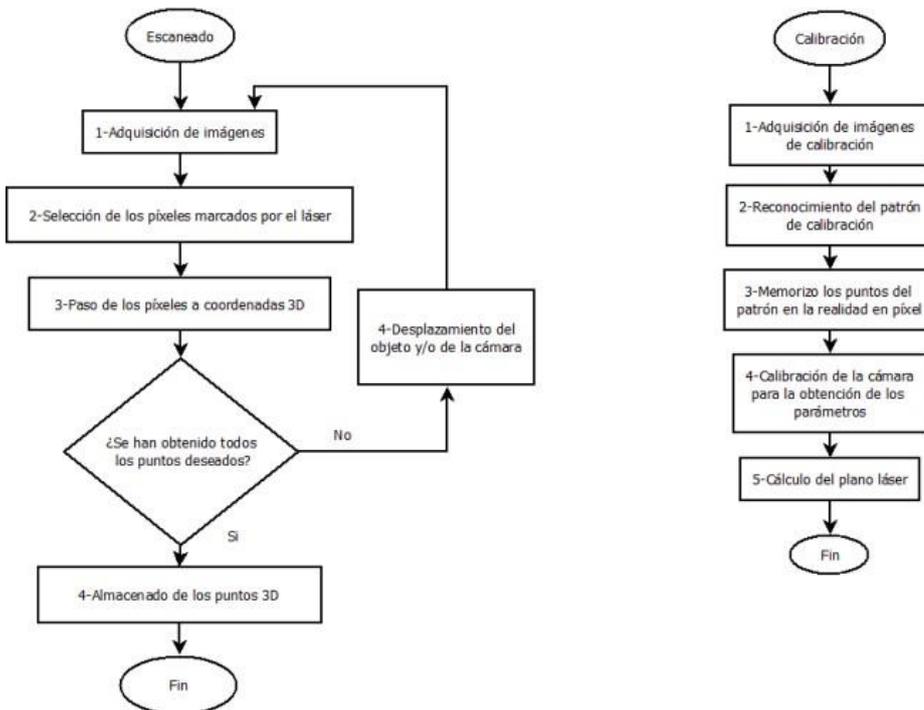
La digitalización 3D es la recopilación de datos de un objeto mediante un sistema óptico (un escáner 3D) para obtener una malla tridimensional o una nube de puntos y convertirla en un archivo digital

que se puede manipular con un software CAD 3D especial. Entonces un escáner 3D es un dispositivo que escanea el objeto que queremos modelar y que al combinar los datos obtenidos se obtiene un modelo del objeto escaneado en 3D.

3.8.1 Etapas de escaneado

1. La calibración de la cámara de escaneo donde se obtienen los parámetros y se calcula el plano láser.
2. El proceso de escaneado de la pieza que a partir de los puntos almacenados se obtiene la imagen.

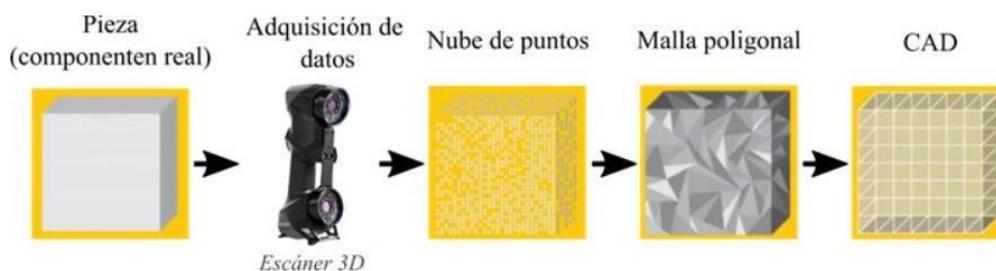
Figura 43: Flujo de escaneo tridimensional



Nota. Adaptada de (Verde, 2019).

3. Pre procesamiento de la nube de puntos para filtrar el ruido, conectar puntos adyacentes, reducir la duplicación y combinar nubes de puntos obtenidas desde diferentes ángulos de visión.
4. Creación de la geometría de la pieza.

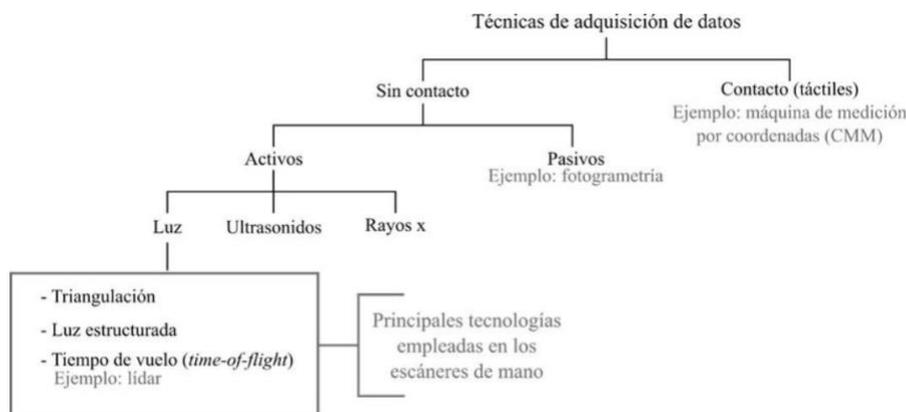
Figura 44: Proceso para el escaneo de una pieza



Nota. Adaptada de (Menéndez, Espinosa-Escudero, & Mar, 2021).

Las técnicas sin contacto utilizadas para la obtención de datos se dividen en activas y pasivas. La técnica activa se basa en la emisión de radiación, puede ser luz, sonido o rayos X para conseguir la información de la pieza a escanear al reflejo que la radiación ha generado. Sin embargo, la técnica sin contacto pasiva utiliza un instrumento que no genera luz y solo se basa en la detección de la radiación del ambiente.

Figura 45: Técnicas de adquisición de datos



Nota. Adaptada de (Menéndez, Espinosa-Escudero, & Mar, 2021).

Existen tres principales tipos de tecnologías usadas en los escáneres ópticos, sin embargo, en el presente proyecto se estudiará la tecnología de la luz estructurada, ya que para el área odontológica es la tecnología más utilizada (Menéndez, Espinosa-Escudero, & Mar, 2021).

❖ Luz estructurada

Los escáneres basados en el uso de luz estructurada consisten en una o más cámaras y un proyector que refleja un patrón, que consiste en líneas en la mayoría de los casos, sobre el objeto a escanear. La superficie del objeto en cuestión forma el patrón proyectado adaptando las líneas a la curvatura del objeto.

El escáner captura el patrón distorsionado con una cámara y crea un modelo 3D a partir de él. Según el grosor de la línea, el escáner determina la distancia del objeto a un punto determinado, cuanto mayor sea la distancia, más delgada será la línea. Por el contrario, cuanto más cerca esté el objeto, más gruesas serán las rayas en el patrón deformado. Para mejorar la precisión y la calidad de las mediciones, se proyectan sobre el objeto diferentes patrones con diferentes composiciones (desde 3 a 10 patrones diferentes en cada ángulo de visión).

Esta técnica de escaneo no permite utilizarse con piezas que tengan áreas reflectantes, ya que la fuente de información es emitir luz en el objeto y al haber una interferencia entre la luz y la del objeto puede causar problemas y pérdida de detalles.

Debido a la velocidad de recopilación de datos, este tipo de dispositivo es menos propenso a imprecisiones debido a perturbaciones ambientales.

3.8.2 Tipos de escáneres utilizados en el área odontológica

❖ Escáneres intraorales

Es un dispositivo que te permite tomar impresiones digitales de la boca del paciente con mayor precisión. Este funciona a través que el escáner emite un haz de luz que se emite sobre los tejidos orales, es decir la cámara captura deformaciones de luz en la superficie y utiliza esta información para calibrar las coordenadas 3D.

Posteriormente se crea nubes de puntos y mallas para reconstruir la imagen 3D. Una vez obtenida la nube de puntos y creada la malla, se deben conectar los puntos adyacentes con líneas rectas, dando como resultado triángulos de varios tamaños y luego una superficie continua.

Figura 46: Medit i500



Nota. Adaptada de (DENTAL, 2022).

Para el presente proyecto se utilizó el escáner Dentsply Sirona, esta permite obtener imágenes de alta calidad de los dientes y la boca de los pacientes.

También, contiene equipos dentales que realizan diversos procedimientos dentales de manera eficiente. Además, permite la impresión dental 3D y la odontología digital. Su sistema de escaneo intraoral CEREC permite a los dentistas crear restauraciones dentales precisas rápidas utilizando la tecnología CAD/CAM.

❖ Escáneres de mesa

Es un dispositivo que permite tomar impresiones digitales a partir de la dentadura en escayola tomada previamente del paciente. Este funciona a través que el escáner emite una luz estructurada que se emite en la dentadura de escayola que va a permitir la calibración de las coordenadas.

Además, para una mejor toma de información, el escáner cuenta con ejes que permiten el movimiento en X, Y y Z de la dentadura para así crear nube de puntos y mallas para reconstruir la imagen en 3D.

Figura 47: InEos X5



Nota. Adaptada de (DESIGN, s.f.).

4. Diseño y fabricación

Para el diseño y fabricación de las probetas de las prótesis fijas se ha utilizado el CAD/CAM/CAE.

- CAD (Computer-Aided-Design): Diseño asistida por ordenador.
- CAM (Computer-Aided-Manufacturing): Fabricación asistida por ordenador.
- CAE (Computer-Aided-Engineering): Ingeniería asistida por ordenador.

4.1 Especificaciones

Al realizar la fabricación de las probetas de las prótesis fijas y haberlas analizado mediante pruebas que se explicarán más adelante, se debe tener en consideración las especificaciones necesarias para poder proponer una mejora en las prótesis dentales.

4.1.1 Especificaciones mecánicas

Es importante cumplir con los siguientes puntos para obtener una prótesis funcional

- Funcionalidad: La prótesis debe ser funcional para que pueda permitir una buena fonación y masticación
- Esfuerzos: La prótesis debe tener la capacidad de contener esfuerzos para que pueda ajustarse suficientemente a la dentadura, al masticar y al hablar.

4.1.2 Especificaciones estéticas

Las prótesis además de ser funcional, también debe cumplir con especificaciones estéticas como

- Color: Las prótesis deben de ser lo más parecido a los dientes naturales de los pacientes.
- Dimensiones: Las prótesis deben tener el tamaño y forma específica a la dentadura de los clientes.

4.1.3 Especificaciones biocompatibilidad

Los materiales utilizados para la fabricación de las prótesis dentales deben estar hechas con biomateriales, es decir materiales que tengan compatibilidad con el hueso de la dentadura.

Es por eso que se analizarán los materiales que cumplan con las características adecuadas para que la prótesis pueda ser funcional y evitar daños. Asimismo, conseguir que la fabricación sea de un menor tiempo de impresión, buena calidad o acabado y menor peso.

4.1.4 Especificaciones económicas

Las prótesis dentales deben tener un precio que pueda tener la capacidad de hacer competencia con los diferentes precios en el mercado, así poder tener una ventaja al momento de comercializarlas.

4.2 Materiales utilizados para la fabricación de la prótesis

4.2.1 Nylon

El nylon es una poliamida sintética, hipoalergénico que no genera ningún tipo de reacción alérgica, que contiene las siguientes propiedades físicas que cumplen con las especificaciones técnicas anteriormente mencionadas como

- Alta resistencia
- Muy ligero
- Alta elasticidad
- No tóxico
- Biocompatible
- Buena translucidez
- Buena retención

Nylon PA12

El material seleccionado para la fabricación de las prótesis dentales es el nylon PA12. Es un material flexible y de gran resistencia.

Este será ubicado en la parte superior de la prótesis suponiendo un porcentaje mínimo. También el nylon se hará presente alrededor de la pieza que forma como una capa para que pueda cubrir la fibra de carbono.

Figura 48: Nylon PA12



Nota. Adaptada de (Fiberlogy, 2023).

❖ Propiedades mecánicas

Tabla 5: Propiedades mecánicas del Nylon PA12

Propiedades	Valor	Unidad
Densidad	1140	Kg/m ³
Módulo elástico	2900	MPa
Coefficiente de poisson	0.39	N/D
Límite de tracción	80	MPa
Límite elástico	N/D	MPa
Coefficiente de expansión térmica	85*10 ⁻⁶	K ⁻¹
Conductividad térmica	0.2	W/(m*K)
Calor específico	1500	J/(Kg*K)

Nota. Adaptado de (Abarretegui, 2022).

4.2.2 Fibra de carbono

La fibra de carbono es el principal material para la fabricación de la prótesis dental. Este material constituirá la gran parte de la prótesis.

Tabla 6: Propiedades mecánicas de la fibra de carbono

Propiedades	Valor	Unidad
--------------------	--------------	---------------

<i>Módulo elástico</i>	60000	MPa
<i>Coefficiente de Poisson</i>	0.27	N/D
<i>Límite de tracción</i>	540	MPa
<i>Límite elástico</i>	540	MPa
<i>Coefficiente de expansión térmica</i>	$-0.8 \cdot 10^{-6}$	K^{-1}
<i>Conductividad térmica</i>	40	W/(m*K)
<i>Calor específico</i>	800	J/(Kg*K)

Nota. Adaptada de (Abarretegui, 2022).

La fibra de carbono es un material idóneo para la fabricación de las prótesis debido a la absorción del golpe que es primordial para las prótesis sobre implantes.

Además, la fibra de carbono es un material biocompatible que es buen indicador para la fabricación de las prótesis, ya que no perjudica la integración con la mandíbula.

En la siguiente tabla se puede observar la diferencia de parámetros de la fibra de carbono con el Nylon.

Tabla 7: Tabla comparativa de módulo de elasticidad a la tracción y esfuerzo a la deformación

	<i>Fibra de carbono</i>	<i>Nylon</i>
<i>Módulo de elasticidad a la tracción (GPa)</i>	60	1,7
<i>Esfuerzo de tracción a la deformación (MPa)</i>	800	51

Nota. Elaboración propia.

Además, la fibra de carbono no va a suponer una carga al hueso de la dentadura, el material pesa unos 6,74g y teniendo en cuenta que la arcada dental natural tiene un valor de 10 a 20g (López, 2015), lo que no hará una sobrecarga a la dentadura del paciente. Es por ello que la fibra de carbono estará ubicada en la parte central de la prótesis, es decir en el núcleo de la pieza.

4.3 Fabricación de la prótesis

Para la fabricación de la prótesis se seguirán los siguientes puntos o pasos para obtener el prototipo final.

4.3.2 Fabricación digital

Se empezará con el escaneo de la dentadura para así obtener las medidas exactas para el diseño de la prótesis.

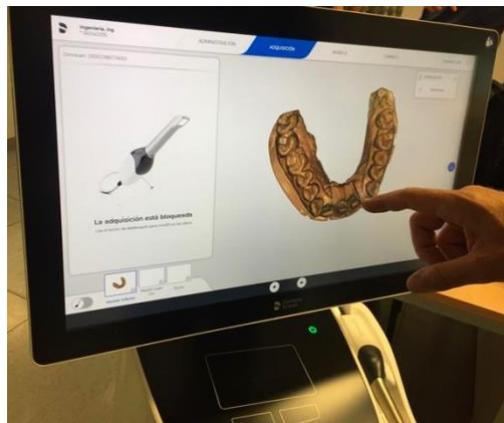
El escáner realiza disparos de fotos constantes a la dentadura como se puede observar en las figuras X y los transfiere al software, donde superpone las imágenes tomadas para obtener la anatomía de la dentadura.

Figura 49: Simulación de escaneo dental en la boca de un paciente



Nota. Elaboración propia.

Figura 50: Escaneo final en el software Dentsply Sirona



Nota. Elaboración propia.

Este archivo se guarda en un USB o en una carpeta en STL para luego ser enviado al software dental, en donde se podrá modelar la dentadura y realizar la prótesis.

4.3.2.2 Procedimiento de diseño de la prótesis

Blender for Dental

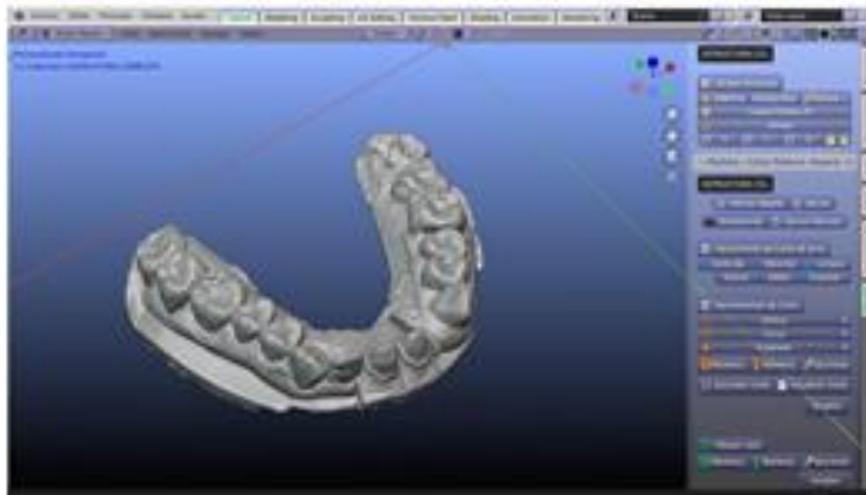
Software dental utilizado en el presente proyecto para modelar, con ayuda del escaneo de la dentadura en STL, la prótesis.

Figura 51: Librería de Blender for Dental



Nota. Elaboración propia.

Figura 52: Simulación de dentadura en Blender for Dental

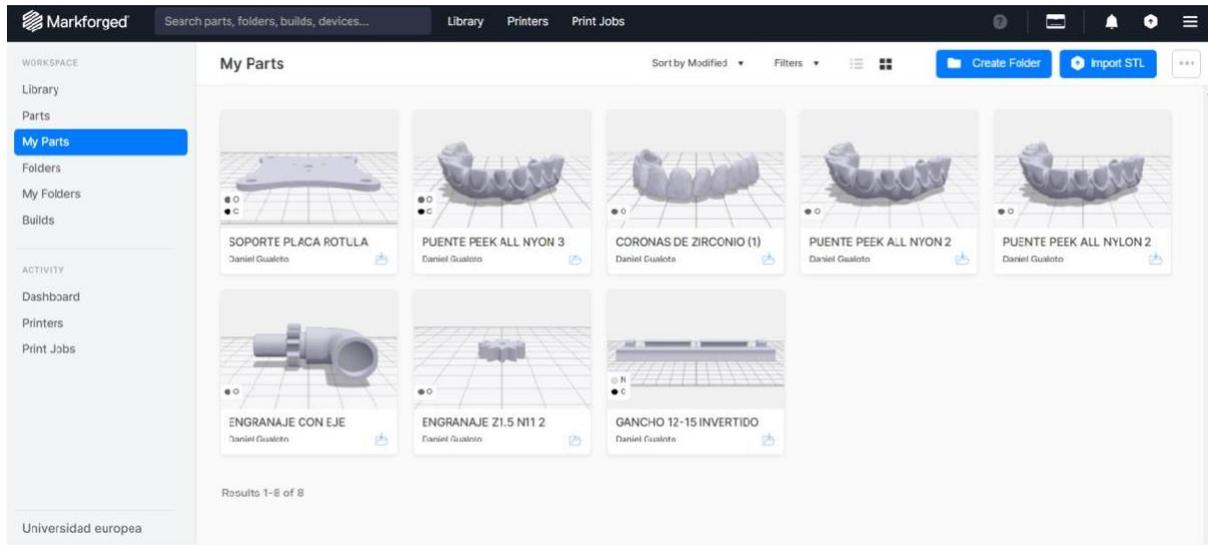


Nota. Elaboración propia.

4.3.2.3 Procedimiento de fabricación aditiva

Se ingresa la prótesis a imprimir al software Eiger, cuenta con librerías, partes, folders y más, para realizar prototipos de diferentes técnicas de impresión y guardarlas con nombres diferentes para posteriormente poder imprimirlas (Figura 53).

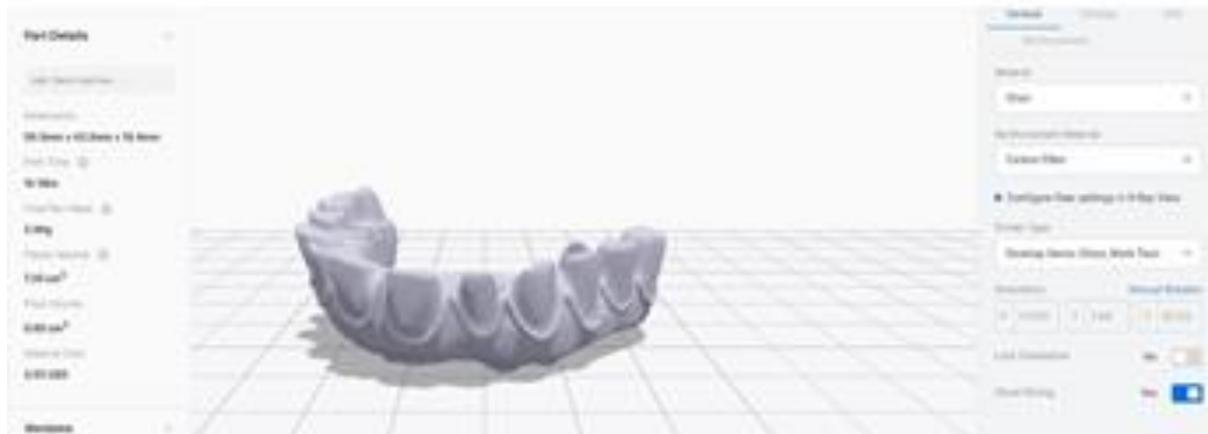
Figura 53: Opciones de trabajo en el software



Nota. Elaboración propia.

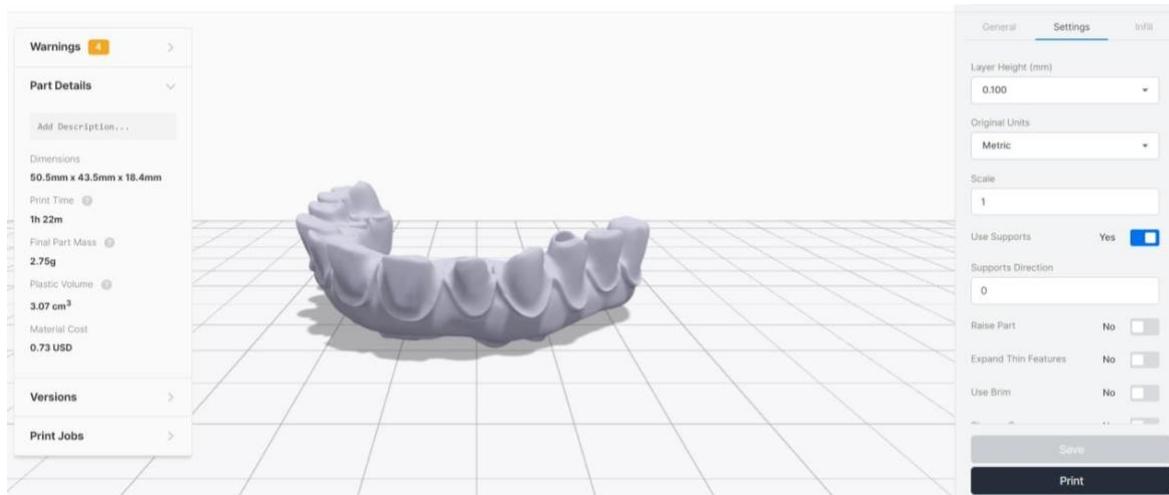
Una vez guardada la prótesis a imprimir, en la opción de PART, se podrá realizar modificaciones como cambiar material de impresión o imprimir solo con un material (Figura 51), seleccionar el patrón de relleno, número de relleno, número de capas (Figura 52), número de paredes, número de pasadas de la primera y última capa de impresión (Figura 53).

Figura 54: Configuración de material



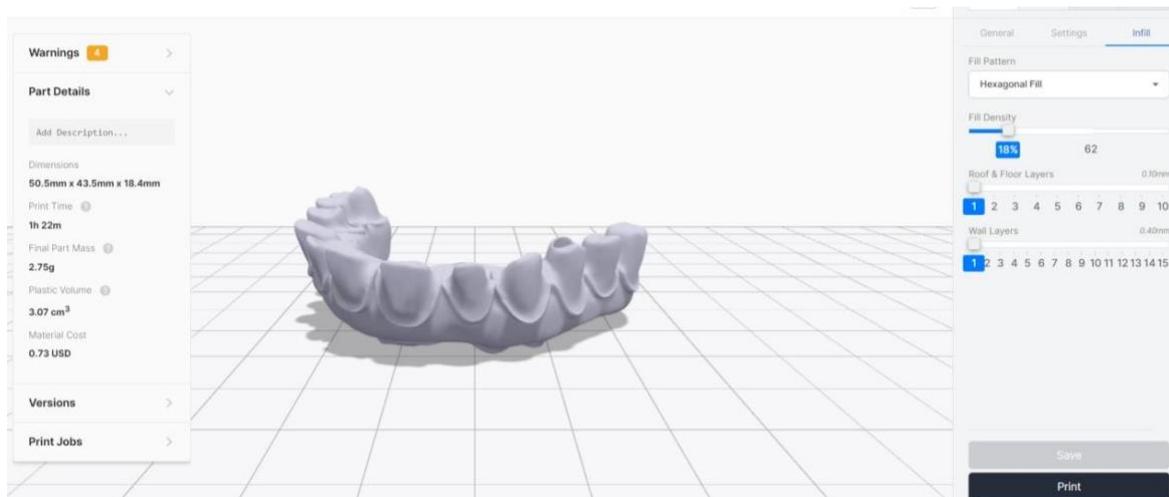
Nota. Elaboración propia.

Figura 55: Configuración de capas



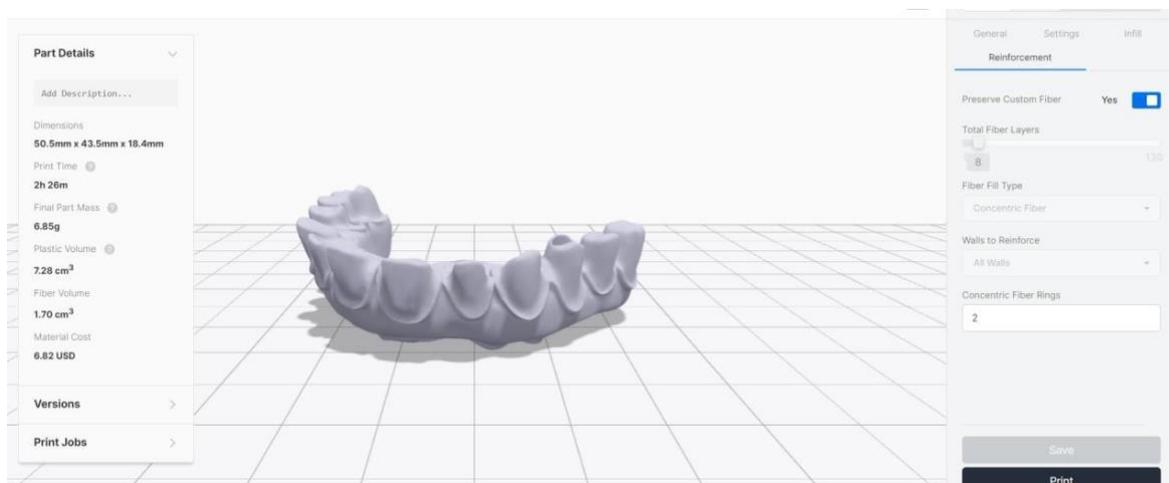
Nota. Elaboración propia.

Figura 56: Configuración de relleno, patrón de relleno, número de pasadas en la primera y última capa y número de paredes



Nota. Elaboración propia.

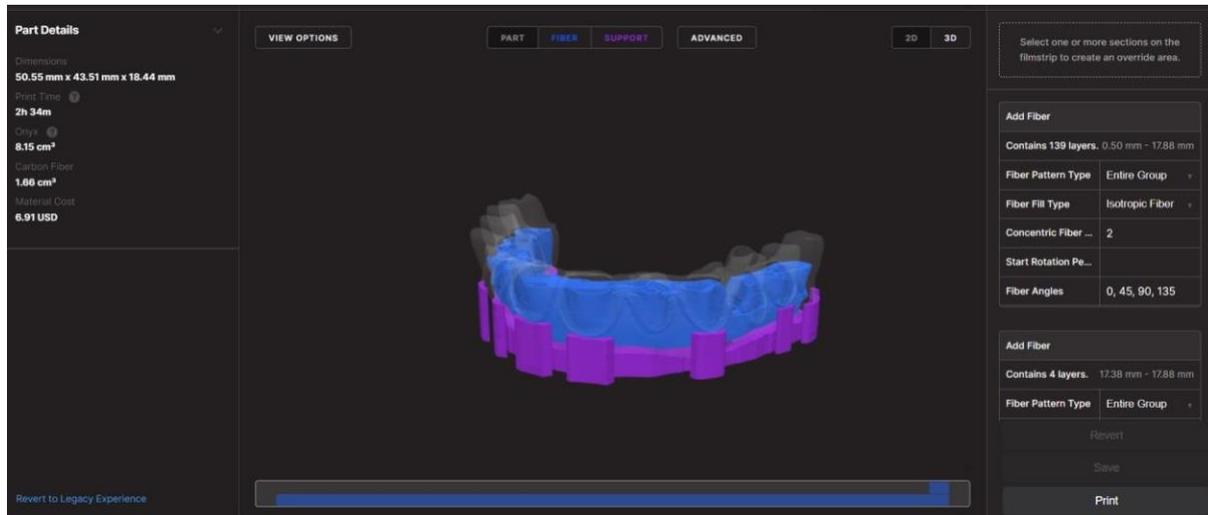
Figura 57: Configuración de la pieza con el relleno de refuerzo



Nota. Elaboración propia.

Luego, una vez realizada la selección de las características, se puede observar la prótesis en la opción de XRAY, se podrá observar qué tanto de material de reforzamiento va a ocupar la prótesis. En este caso el material de reforzamiento será la fibra de carbono (color azul) y se podrá modificar el número de capas que debe tener la prótesis.

Figura 58: Simulación de la pieza con la cantidad de material configurado



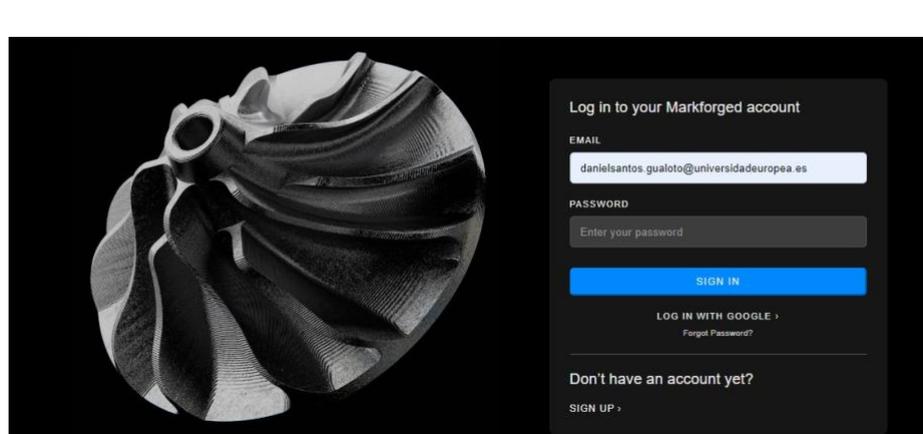
Nota. Elaboración propia.

Finalmente, al haber ingresado los datos necesarios y los parámetros. Se guarda la edición y se envía a imprimir.

4.3.2.4 Procedimiento de configuración de la impresora

La configuración de la impresora es un punto muy importante, de ella depende que la pieza o piezas se obtengan el diseño requerido. Se debe mencionar que la impresora utiliza un software que no es libre, se deben registrar para poder generar las estrategias, pero, no se puede generar el fichero para llevar a la impresora, solo el responsable o profesor que tiene acceso puede generar el fichero.

Figura 59: Software Eiger



Nota. Elaboración propia.

La impresora tiene un KIT que contiene los accesorios necesarios para poder realizar todas las operaciones de calibración y retirada de la pieza.

Figura 60: Kit de accesorios de la impresora



Nota. Elaboración propia.

Partiendo que la impresora está con sus respectivos materiales a imprimir nylon y fibra de carbono, se procede a realizar los siguientes pasos:

1. Nivelar la cama de impresión

Al contar la máquina con doble extrusor nylon y fibra de carbono, se deben nivelar por separado y con distintas galgas (shim), se selecciona en la pantalla nivel de cama (bed level), luego nivel de cama shim y siguiente, primero se nivela el extrusor de nylon (PLASTIC SHIM) y luego el de fibra de carbono (FIBER SHIM).

Figura 61: Galga para nivelar la cama de la impresora



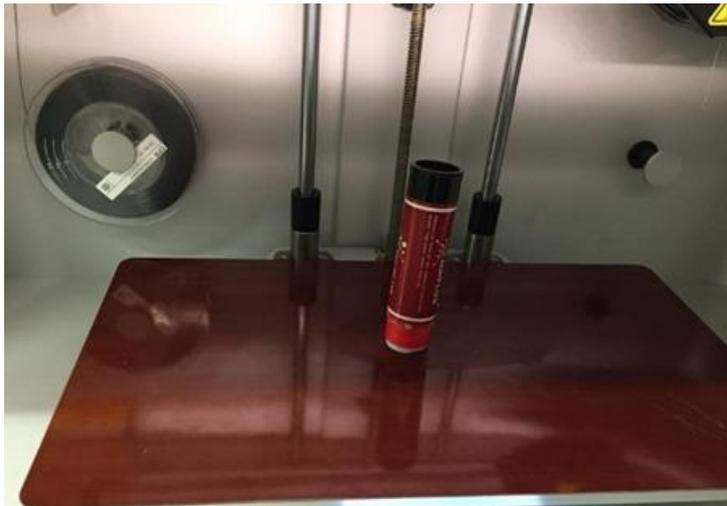
Nota. Elaboración propia.

2. Preparar la cama de impresión

La superficie donde se va a añadir el material es muy resistente a los arañazos y no tiene riesgo de desanimación; sin embargo, la superficie se desgasta después de que se despeguen muchas piezas.

Para evitar que la pieza quede pegada a la cama, se aplica un pegamento y luego se retira con agua tibia.

Figura 62: Cama de impresión

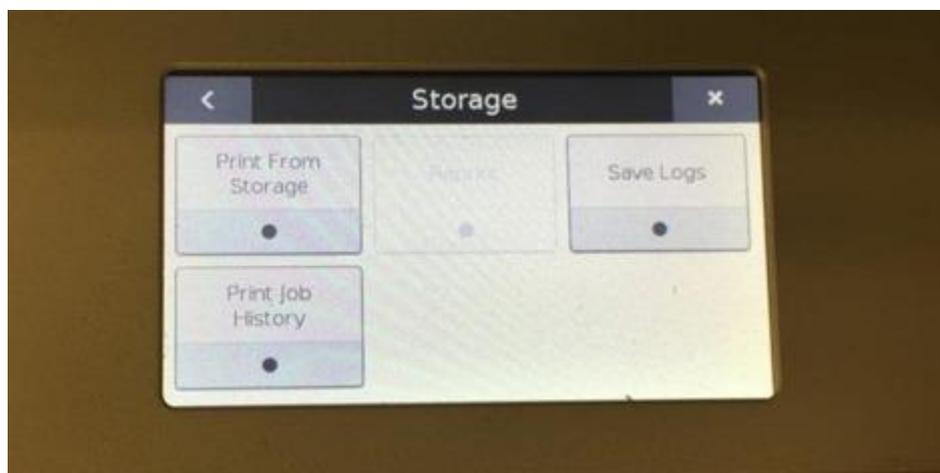


Nota. Elaboración propia.

3. Cargar archivo de impresión

Luego de nivelar y preparar la cama, se carga el programa por medio de un USB, en la pantalla se selecciona el fichero y la máquina empieza a calentar los extrusores para que llegue a la temperatura que necesita el nylon y el carbono.

Figura 63: Almacenamiento del programa



Nota. Elaboración propia.

Figura 64: Configuración de fichero a imprimir

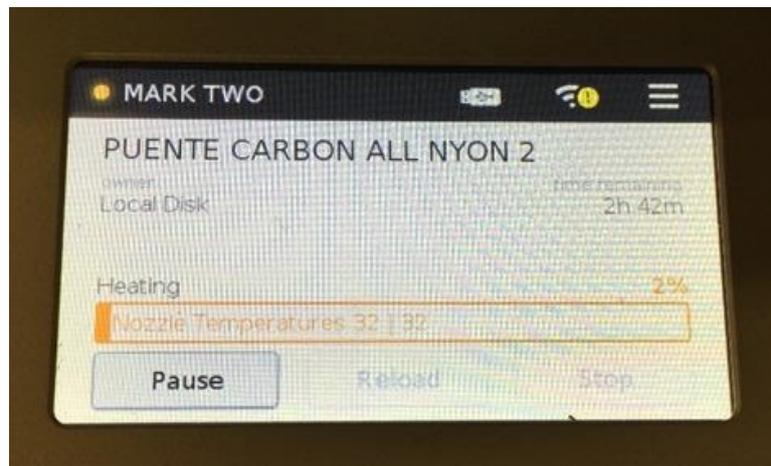


Nota. Elaboración propia.

4. Imprimir

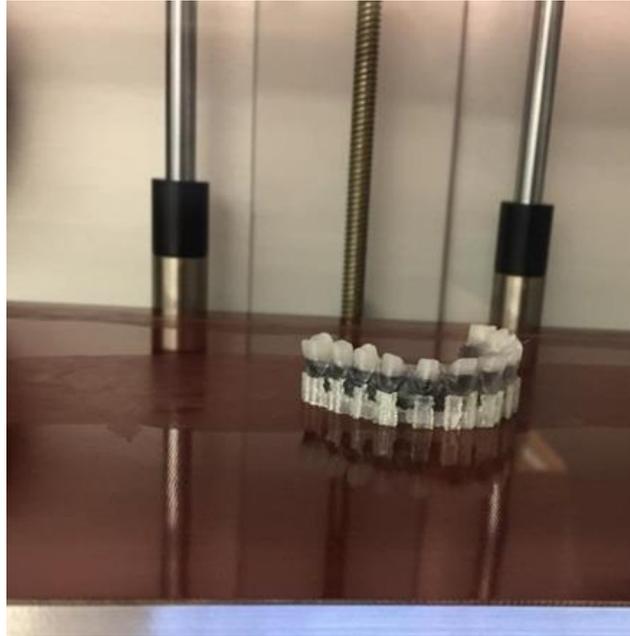
Antes de empezar a imprimir, la impresora abre el archivo y los procesa para calibrar los extrusores.

Figura 65: Proceso de impresión



Nota Elaboración propia.

Figura 66: Pieza impresa final



Nota. Elaboración propia.

5. Retirar partes de la cama de impresión

La pieza se ha terminado de imprimir, para desprender de la capa se utiliza una espátula y obtenemos la pieza final.

4.3.2.5 Calidad

Como se observa en la Figura 63, la prótesis dental cuando se termina de imprimir tiene en la base soportes, lo cual estos sirven para que las partes voladizas de la pieza se pueda imprimir bien y no haya problemas como enredos de material por no poder apoyarse a una base.

Para que la pieza quede utilizable, es decir pueda quedar con la superficie lisa, se realiza inspecciones manuales o se hace uso de herramientas para quitar los soportes de la pieza. También se puede hacer uso de una lupa para ver los últimos residuos de la prótesis. De esta manera, la prótesis queda de buen acabado y se puede utilizar posteriormente.

5. Pliego de condiciones

Las normativas que se mostrarán se dividirán en dos tipos de regulaciones. La primera será el reglamento dirigido a los dispositivos biomédicos sin importar el propósito ni clasificación. La segunda, va dirigida a las prótesis dentales.

5.1 Normativas generales

UNE-EN ISO 13485:2018, Es un sistema de gestión implementado en el ciclo de vida de los productos sanitarios, desde el diseño y desarrollo, producción, almacenamiento, distribución, instalación hasta

la asistencia técnica, de acuerdo con los requerimientos del cliente y los estándares necesarios establecidos por las leyes y referencias aplicables.

ISO 14971:2020, Establece la gestión de riesgos de dispositivos médicos, desde la identificación del riesgo hasta la evaluación de la probabilidad y la gravedad del riesgo y la implementación de medidas de mitigación. La norma también especifica los requisitos de documentación y comunicación para la gestión de riesgos de los dispositivos médicos.

Directiva 93/42/CEE, Define los requisitos básicos de seguridad y rendimiento que deben cumplir los dispositivos médicos en el mercado de la UE. Además, establece los procedimientos de evaluación de la conformidad que los fabricantes de dispositivos médicos deben seguir antes de colocar sus productos en el mercado de la UE.

ISO/TR 80002-2:2017, Describe un enfoque sistemático para gestionar los riesgos del software de dispositivos médicos, desde la identificación y evaluación de riesgos hasta la implementación de medidas de mitigación. Esta norma técnica especifica los requisitos para documentar la gestión de riesgos del software y comunicar información relevante a los usuarios y otras partes relevantes.

5.2 Normativas específicas

UNE-EN 2561:1996, La norma establece los requisitos técnicos y las pruebas necesarias para la aceptación de la calidad de la fibra de carbono para garantizar la calidad y seguridad.

UNE-EN ISO 1567:2000, La norma especifica los requisitos de calibración de los termómetros de contacto utilizados para medir la temperatura durante la fabricación de prótesis dentales. El propósito de esta norma es asegurar la precisión y confiabilidad de los termómetros utilizados en la fabricación de prótesis dentales.

UNE-EN ISO 13485:2016, La norma especifica los requisitos para un sistema de gestión de calidad específico para dispositivos médicos, incluidas las prótesis dentales. El propósito de esta norma es garantizar que las prótesis dentales satisfagan las necesidades de los pacientes y otras partes interesadas al tiempo que cumplen los requisitos legislativos y reglamentarios aplicables.

UNE-EN ISO 10993-1:2010, La norma especifica los requisitos para evaluar la biocompatibilidad de los materiales utilizados en dispositivos médicos, incluidas las prótesis dentales. El propósito de esta norma es asegurar que los materiales utilizados en las prótesis dentales no afecten adversamente al paciente.

UNE-EN 1642:2012, Los productos sanitarios para el cuidado dental. dientes implantados. Una norma europea que define todos los requisitos necesarios relacionados con los accesorios e implantes dentales. Estos requisitos son; características de diseño, componentes, Procesamiento, esterilización, etiquetado, envasado, etiquetado e información del fabricante.

UNE-EN ISO 20795-1:2013, Se aplica a los materiales de impresión utilizados en odontología y establece requisitos y métodos de prueba para evaluar su calidad y desempeño.

UNE-EN ISO 22112:2018, Se refiere a materiales y sistemas adhesivos dentales. Especifica los requisitos y pruebas a realizar para evaluar la calidad y el desempeño de los materiales adhesivos dentales

UNE-EN ISO 22674:2016, La norma especifica los requisitos para los implantes dentales utilizados en la fabricación de prótesis dentales. El propósito de esta norma es garantizar que los implantes dentales se utilicen de forma segura y eficaz en las restauraciones dentales.

6. Prototipo y ensayos

En este apartado se realizarán las pruebas y los ensayos de los prototipos de prótesis para observar el comportamiento de estas a las pruebas de compresión de las prótesis y tracción de las probetas, así justificar que el material se comporte adecuadamente con los requisitos y normas exigidas para la elaboración de una prótesis dental. Para la obtención de los resultados de los ensayos se va a utilizar una máquina de ensayos compresión-tracción-flexión de serie ME-402 de la marca Servosis Testing Machines.

Figura 67: Software SERVOSIS



Nota. Elaboración propia.

6.1 Ensayo de probetas

Realizaron la fabricación de tres probetas para la elaboración del ensayo de tracción para no estropear el prototipo de la prótesis final, ya que las probetas van a ser sometidas a fuerza.

Serán sometidas las tres probetas (Figura 65) para poder medir la resistencia del material a la rotura.

Para el ensayo de tracción a las probetas, se tuvo en cuenta la normativa **UNE-EN 2561:1996, Material aeroespacial. Plásticos reforzados de fibra de carbono. Estratificados unidireccionales. Ensayo de tracción paralelamente a la dirección de la fibra**. Esta norma especifica que la carga debe aplicarse a una velocidad constante de 2 mm/min.

Figura 68: Probetas para ensayo a tracción



Nota. Adaptada de (Abarretegui, 2022).

6.1.1 Ensayo a tracción

- Proceso de la prueba

Para esta prueba, también utilizaron un extensómetro de pinza manual transversal o diámetro de serie CDL para medir la deformación exacta, es decir cambios en la longitud de la muestra durante la prueba.

Figura 69: Probetas para ensayo a tracción

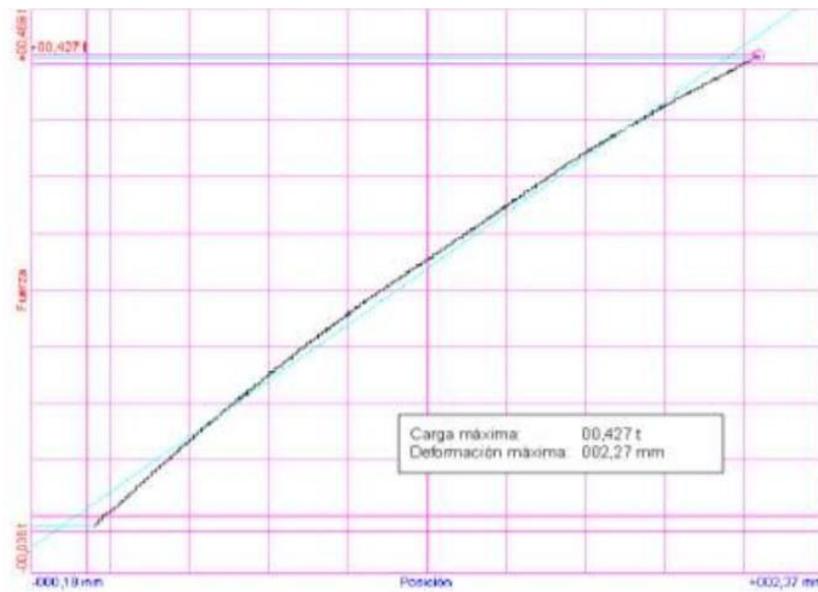


Nota. Adaptada de (Abarretegui, 2022).

- Resultados del software

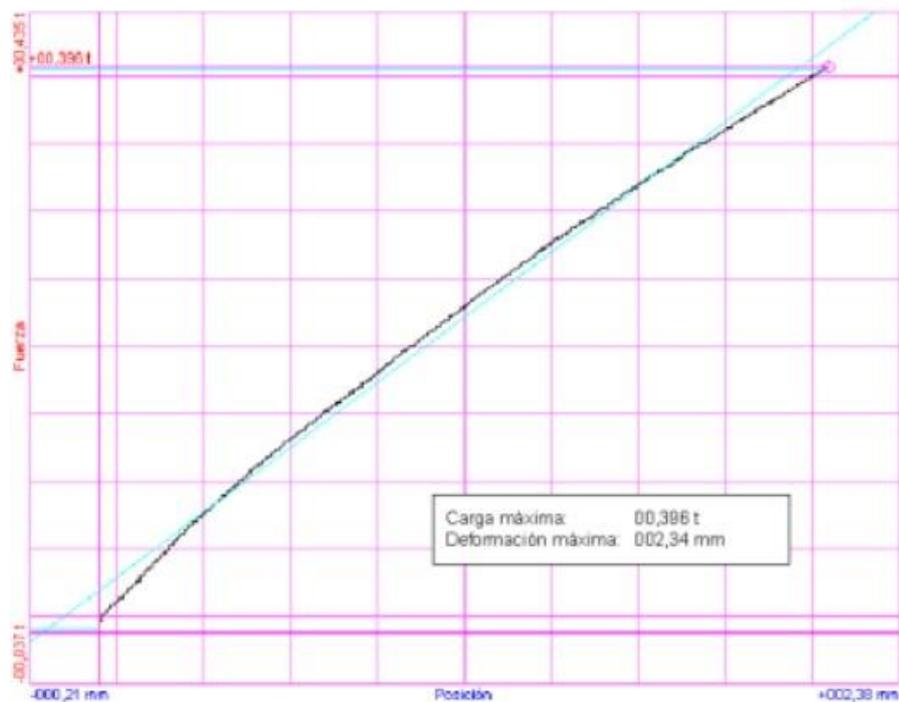
Se mostró los resultados arrojados por el software en dónde a través de gráficos se observó las curvas Fuerza-Desplazamiento conseguidos de los ensayos a cada una de las probetas.

Figura 70: Gráfica curva fuerza-desplazamiento 1



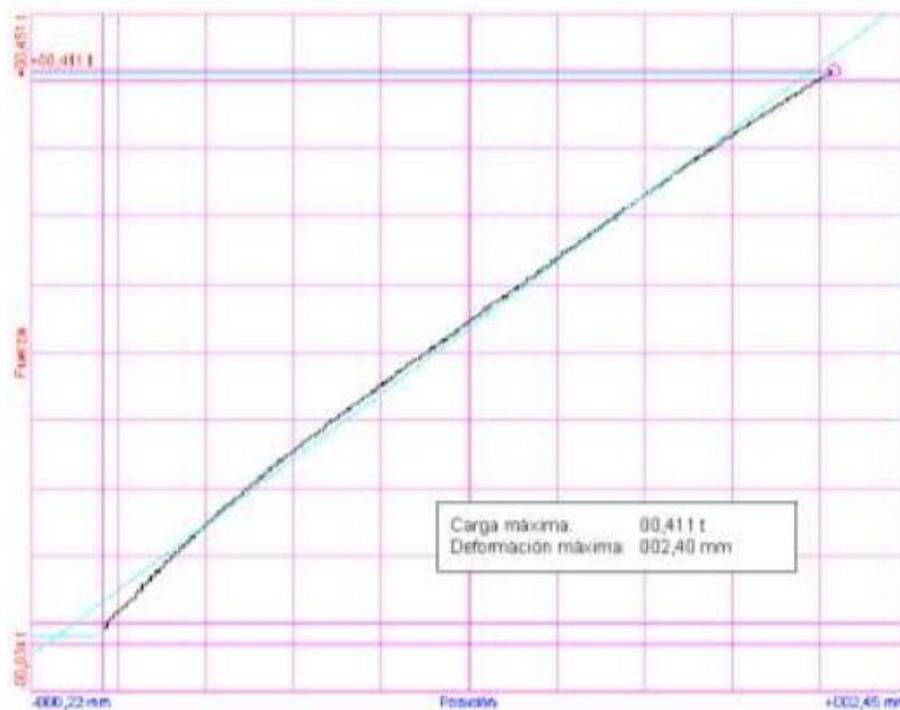
Nota. Adaptada de (Abarretegui, 2022).

Figura 71: Gráfica curva fuerza-desplazamiento 2



Nota. Adaptada de (Abarretegui, 2022).

Figura 72: Gráfica curva fuerza-desplazamiento 3



Nota. Adaptada de (Abarretegui, 2022).

❖ Cálculo de resultados

Para la obtención de las fuerzas de tensión (σ) y el módulo de elasticidad (E) se realizaron los cálculos para cada probeta según el resultado de su gráfica correspondiente.

Datos:

Para la obtención de la sección de la probeta $S = 10,1 * 3,3 \text{ mm}^2$

Distancia del extensómetro al situar la probeta $d_0 = 50 \text{ mm}$

Tensión

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

$$\sigma_1 = \frac{4270 \text{ (N)}}{10,1 * 3,3 \text{ mm}^2} = 128 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_2 = \frac{3960 \text{ (N)}}{10,1 * 3,3 \text{ mm}^2} = 119 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_3 = \frac{4110 \text{ (N)}}{10,1 * 3,3 \text{ mm}^2} = 123 \text{ Mpa}$$

Módulo de elasticidad

$$\sigma = \varepsilon \times E$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Entonces se obtuvo la siguiente fórmula para el módulo de elasticidad

$$E = \frac{\frac{F_2 - F_1}{d_2 - d_1}}{\frac{F_2 - F_1}{d_2 - d_1}}$$

$$E_1 = \frac{\frac{2160 - 230 \text{ N}}{10,1 * 3,3 \text{ mm}^2}}{\frac{0,1753 - 0,023 \text{ mm}}{50 \text{ mm}}} = 18.677 \text{ Mpa}$$

$$E_2 = \frac{\frac{1360 - 500 \text{ N}}{10,1 * 3,3 \text{ mm}^2}}{\frac{0,1062 - 0,037 \text{ mm}}{50 \text{ mm}}} = 18.697 \text{ Mpa}$$

$$E_3 = \frac{\frac{2030 - 390 \text{ N}}{10,1 * 3,3 \text{ mm}^2}}{\frac{0,1527 - 0,0238 \text{ mm}}{50 \text{ mm}}} = 19.086 \text{ Mpa}$$

La tensión media dada por los resultados es $\sigma = 123,3 \text{ Mpa}$ y el valor medio del módulo de la elasticidad $E = 18.220 \text{ Mpa}$.

La fuerza media soportada por las tres probetas es $F = 4133,3 \text{ N}$.

❖ Justificación de resultados

Como se puede observar los resultados de los ensayos a las tres probetas el módulo de elástico de cada una de ellas ha arrojado valores similares con una media de 18.220 Mpa o 18.2 Gpa. Estos datos se van a comparar con el módulo elástico del tejido óseo mandibular que es 18 Gpa y el tejido óseo maxilar que es 20 Gpa (Regalado Berrú, 2021). Con estos resultados se puede observar que realmente el material con el que se ha fabricado las prótesis es realmente bueno, ya que al tener el dato parecido a los tejidos óseos va a posibilitar una excelente disipación de las fuerzas oclusales.

6.2 Ensayo de los prototipos

Se fabricaron en la impresora de carbono 6 diferentes prototipos de prótesis. Estos se dividen en dos grupos. El primer grupo consta de tres prototipos hechos completamente con nylon y el segundo grupo hechos por carbono y nylon. Cada uno de estos tipos de prototipos son totalmente distintos, porque cada uno tendrá diferentes parámetros. Los parámetros que se tendrán en cuenta para la fabricación serán el porcentaje de relleno (densidad), grosor de paredes, el número de capas, la forma de impresión de cada capa de la pieza (patrón de impresión) y el tiempo de impresión.

Estos parámetros son importantes, porque depende de ellos para tener una calidad buena en el prototipo. Es por eso que, se irán cambiando los parámetros a cada prototipo para observar y comparar el acabado superficial, tiempo de impresión y deformación.

Es importante tener en cuenta que habrá prototipos que se han impreso con los valores por defecto que establece el software para tenerlos como base para la comparación con los otros prototipos.

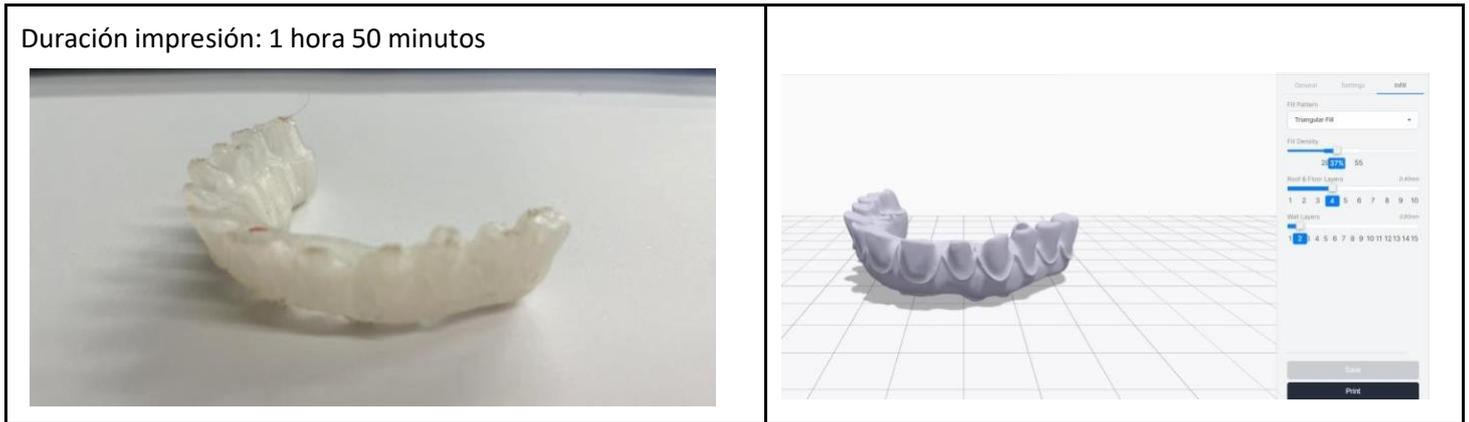
A continuación, se explicará cómo cada uno de estos prototipos han sido impresos, es decir se explicarán las configuraciones específicas y el tiempo de impresión.

Grupo 1

- Prototipo 1: Este modelo se realizó completamente con Nylon con un patrón de impresión triangular, este patrón de impresión viene por defecto en el software y los demás parámetros también. No se realizó ningún cambio, porque el mismo software los configura para obtener una buena calidad. Así que a partir de este modelo se realizaron las comparaciones con otros prototipos para observar las diferencias y obtener el tiempo de impresión.

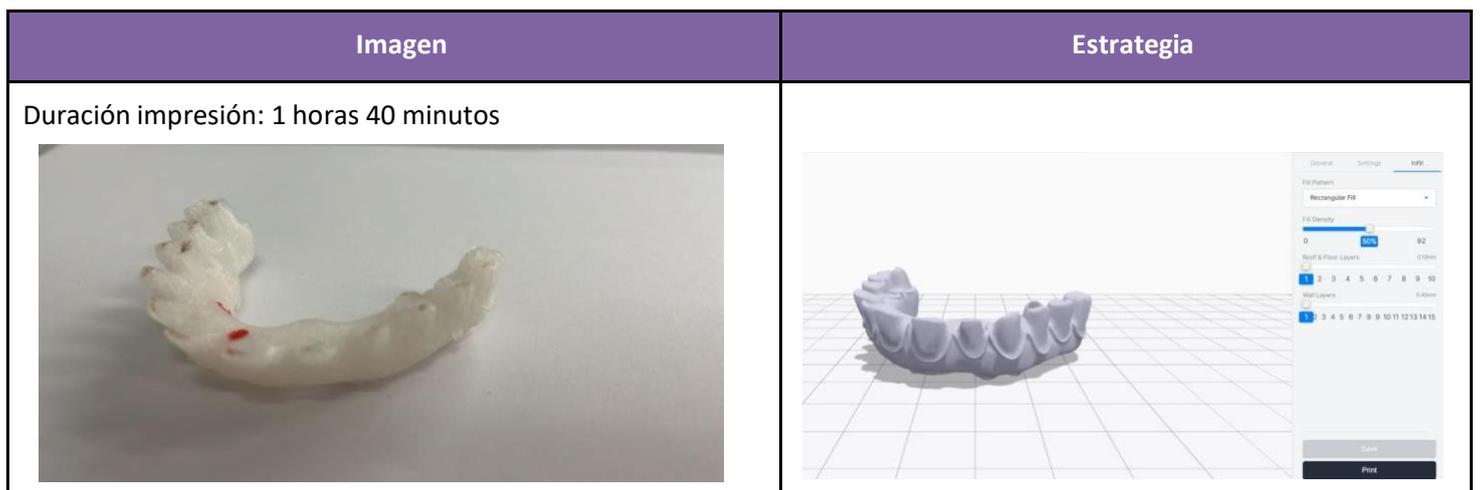
Imagen

Estrategia



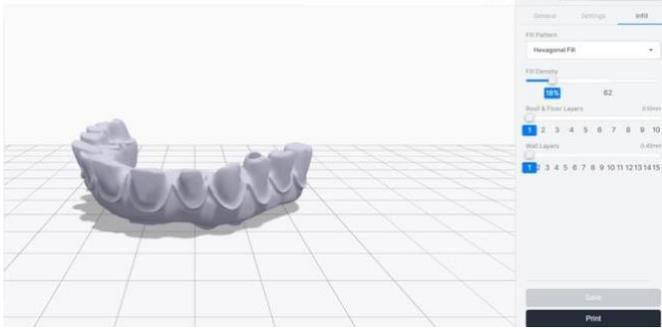
Nota. Elaboración propia.

- Prototipo 2: Este modelo se realizó completamente con Nylon con un patrón de impresión rectangular, el patrón fue cambiado en el software para la impresión de este prototipo. Todos los demás parámetros se cambian, porque al haber realizado las simulaciones con diferentes valores para cada parámetro, se observó que con estos valores se obtiene un menor tiempo de impresión.



Nota. Elaboración propia.

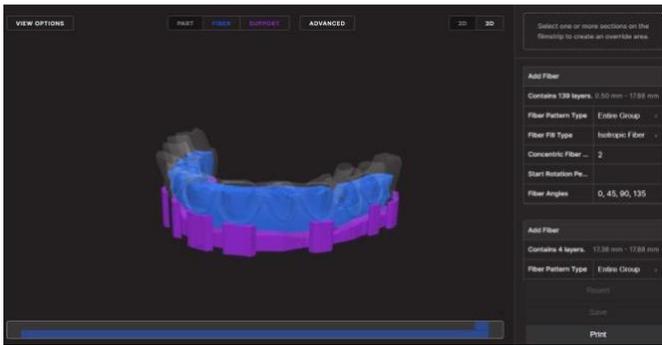
- Prototipo 3: Este modelo se realizó completamente con Nylon con un patrón de impresión hexagonal, el patrón fue cambiado en el software para la impresión de este prototipo. Todos los demás parámetros se cambian, porque al haber realizado las simulaciones con diferentes valores para cada parámetro, se observó que con estos valores se obtiene un menor tiempo de impresión.

Imagen	Estrategia
<p>Duración impresión: 1 hora 22 minutos</p> 	

Nota. Elaboración propia.

Grupo 2

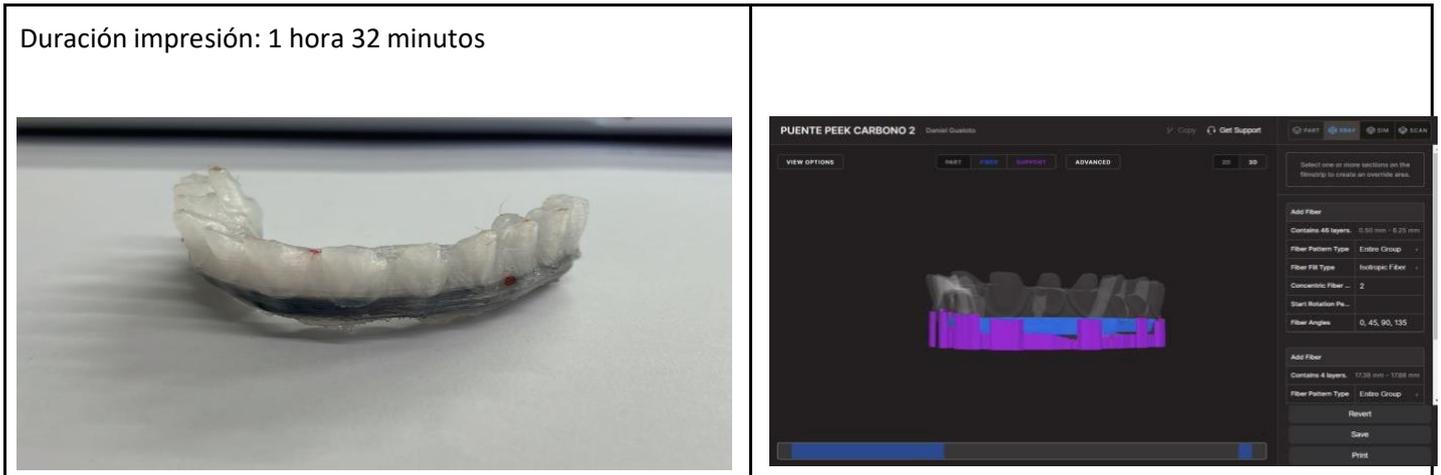
- Prototipo 1: Este modelo se realizó con el 80% de carbono y un 20% de nylon con un patrón de impresión triangular, este patrón viene por defecto en el software y los demás parámetros también. No se le realizó ningún cambio, lo que sí ha cambiado es el número de capas que contiene de carbono y el nylon.

Imagen	Estrategia
<p>Duración impresión: 2 horas 34 minutos</p> 	

Nota. Elaboración propia.

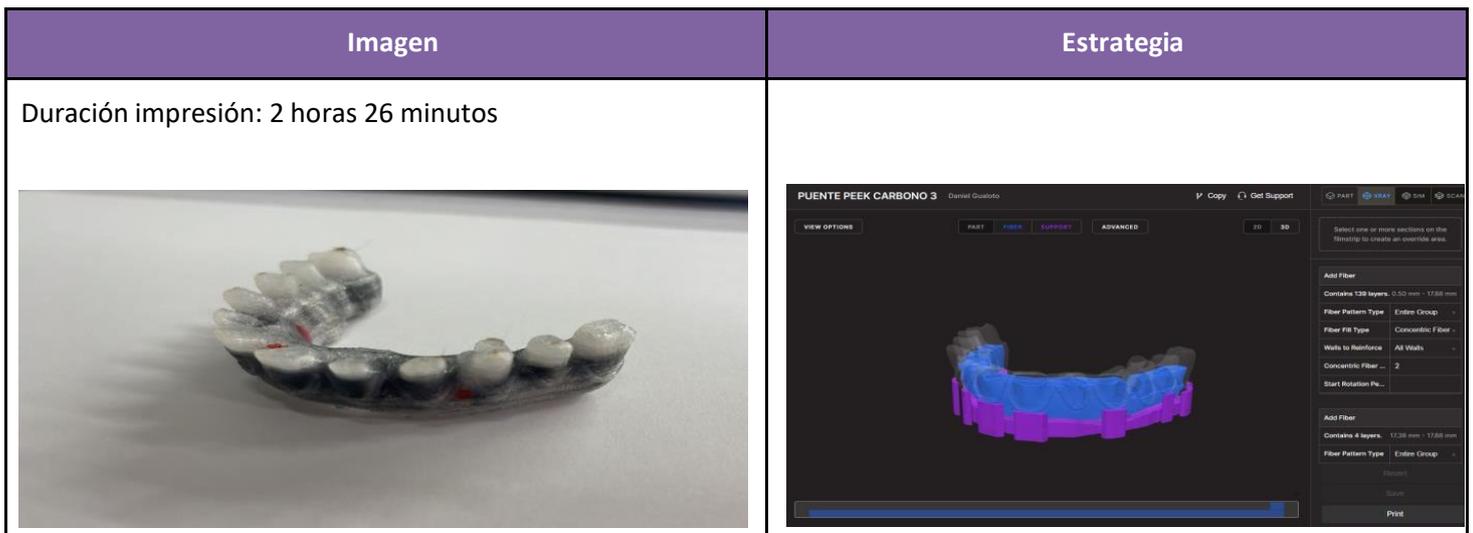
- Prototipo 2: Este modelo se realizó con el 50% de carbono y el 50% nylon con un patrón de impresión triangular, este patrón viene por defecto en el software y los demás parámetros también.

Imagen	Estrategia
--------	------------



Nota. Elaboración propia.

- Prototipo 3: Este modelo contiene un 80% de carbono y un 20% de nylon, aunque a simple vista se puede parecer al primer prototipo, la diferencia es que la estrategia que se utilizó para este modelo ha sido concéntrica, a diferencia de las anteriores que se realizaron con la estrategia isotrópica.



Nota. Elaboración propia.

6.2.1 Ensayo a compresión

Para este ensayo la fuerza que se ha dado de manera general es de 700 N como máximo, ya que la fuerza de oclusión promedio en adultos jóvenes sanos es de 741 N (Okiyama S, 2003), es por eso por lo que se decidió realizar las pruebas con esta fuerza, así simula la fuerza de masticación de una persona y ver qué tanto se deforman y si soportan.

Para el ensayo de compresión, se necesitan superficies planas, se procedió a colocar una varilla de metal encima de la prótesis y también se colocó un metal de base plana para que simule el apriete a la prótesis, así evitamos errores, porque las prótesis tienen superficies irregulares. También, se

necesitó la máquina de compresión - tracción del laboratorio de materiales de la Universidad Europea de Madrid.

Grupo 1

- Prototipo 1

Figura 73: Ensayo a compresión prototipo 1



Nota. Elaboración propia.

- Prototipo 2

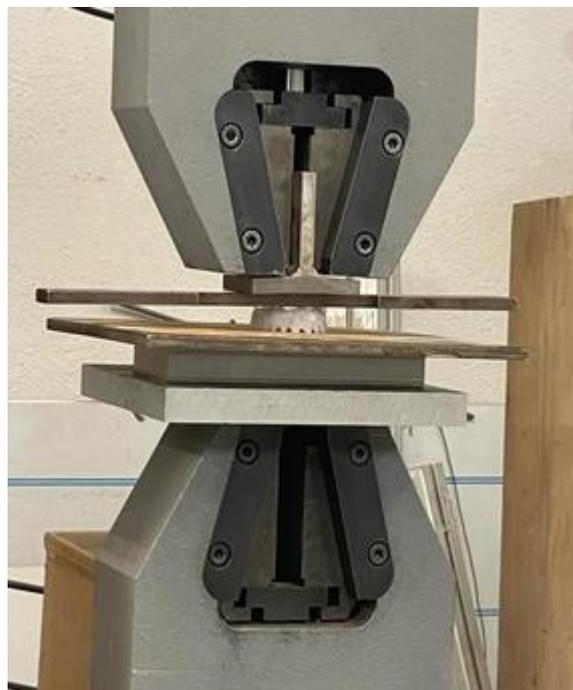
Figura 74: Ensayo a compresión prototipo 2



Nota. Elaboración propia.

- Prototipo 3

Figura 75: Ensayo a compresión prototipo 3



Nota. Elaboración propia.

Grupo 2

- Prototipo 1

Figura 76: Ensayo a compresión prototipo 1



Nota. Elaboración propia.

- Prototipo 2

Figura 77: Ensayo a compresión prototipo 2



Nota. Elaboración propia.

Figura 78: Ensayo a compresión prototipo 3



Nota. Elaboración propia.

7. Análisis y resultados

Se realizará el análisis de los prototipos, así como su acabado superficial, así poder observar qué prototipos, a través de las estrategias utilizadas y mencionadas anteriormente, tienen mejor calidad.

Es importante tener en cuenta la masa de cada uno de ellos, porque hay normas que se deben cumplir para la fabricación de una prótesis, es decir la prótesis no debe suponer para el paciente una sobrecarga en la dentadura.

Finalmente, se realizará el ensayo de compresión para conocer el comportamiento de estas aplicándoles una fuerza, esta fuerza será la simulación de la oclusión de las personas.

7.1 Masa

Se realizó el pesado de cada una de las prótesis para observar la masa, como se puede observar las prótesis pesan mucho menos a la arcada dental natural que tiene un valor de 10 a 20g (López, 2015). Esto es bueno porque no hará una sobrecarga a la dentadura del paciente.

Grupo 1

- Prototipo 1

Figura 79: Masa del prototipo 1



Nota. Elaboración propia.

- Prototipo 2

Figura 80: Masa del prototipo 2



Nota. Elaboración propia.

- Prototipo 3

Figura 81: Masa del prototipo 3



Nota. Elaboración propia.

Grupo 2

- Prototipo 1

Figura 82: Masa del prototipo 1



Nota. Elaboración propia.

- Prototipo 2

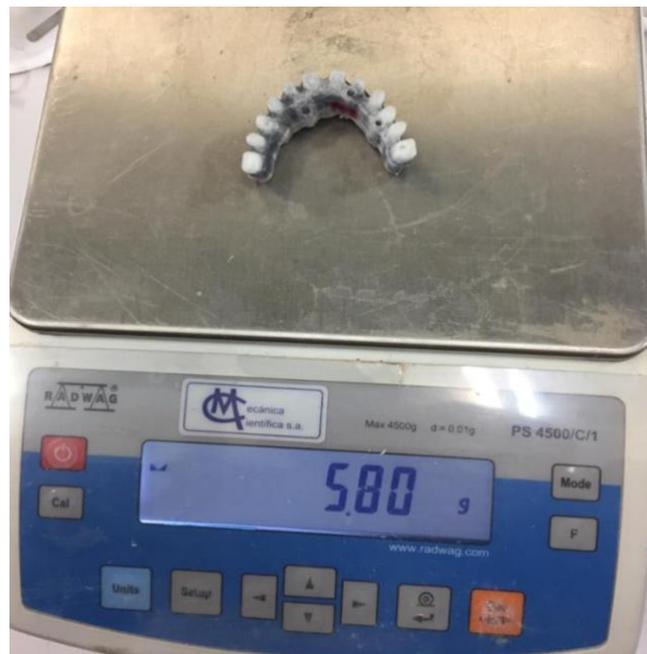
Figura 83: Masa del prototipo 2



Nota. Elaboración propia.

- Prototipo 3

Figura 84: Masa del prototipo 3



Nota. Elaboración propia

7.2 Prueba a compresión

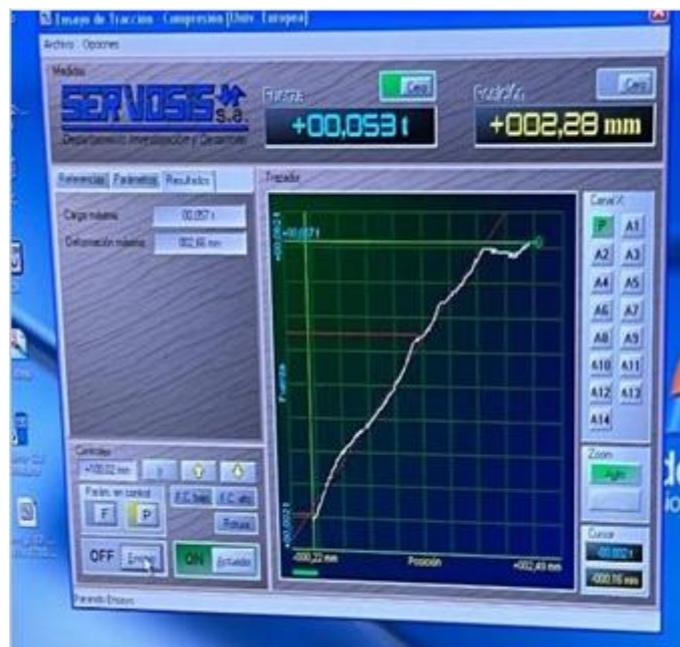
En este apartado se observarán las gráficas de la curva Desplazamiento -Fuerza que cada prototipo ha generado a través del ensayo de compresión. Se analizará la deformación máxima que cada prototipo soporta a medida que se le va aplicando la fuerza.

Grupo 1

- Gráfica curva Desplazamiento- Fuerza de prototipo 1

En la gráfica del prototipo se observa que la prótesis hecha por totalmente Nylon del grupo 1, resiste una deformación máxima de 2,66 mm con una carga máxima de 57 kg. Se retiró la prótesis de la máquina a la carga máxima de 57 kg, porque a partir de este punto la pieza llegó al límite de elasticidad y empezaría a deformarse, y no es el objetivo del proyecto, solo se necesitó observar hasta cuánto puede soportar antes de deformarse.

Figura 85: Gráfica curva desplazamiento-fuerza prototipo 1



Nota. Elaboración propia.

- Gráfica curva Desplazamiento- Fuerza de prototipo 2

En la gráfica del prototipo se observa que la prótesis hecha por totalmente Nylon del grupo 1, resiste una deformación máxima de 3,33 mm con una carga máxima de 65 kg. Se retiró la prótesis de la máquina a la carga máxima de 65 kg, porque a partir de este punto la pieza llegó al límite de elasticidad y empezaría a deformarse.

Figura 86: Gráfica curva desplazamiento-fuerza prototipo 1



Nota. Elaboración propia.

- Gráfica curva Desplazamiento- Fuerza de prototipo 3

En la gráfica del prototipo se observa que la prótesis hecha por totalmente Nylon del grupo 1, resiste una deformación máxima de 3,61 mm con una carga máxima de 32 kg. Se retiró la prótesis de la máquina a la carga máxima de 32 kg, porque a partir de este punto la pieza llegó al límite de elasticidad y empezaría a deformarse.

Figura 87: Gráfica curva desplazamiento-fuerza prototipo 3



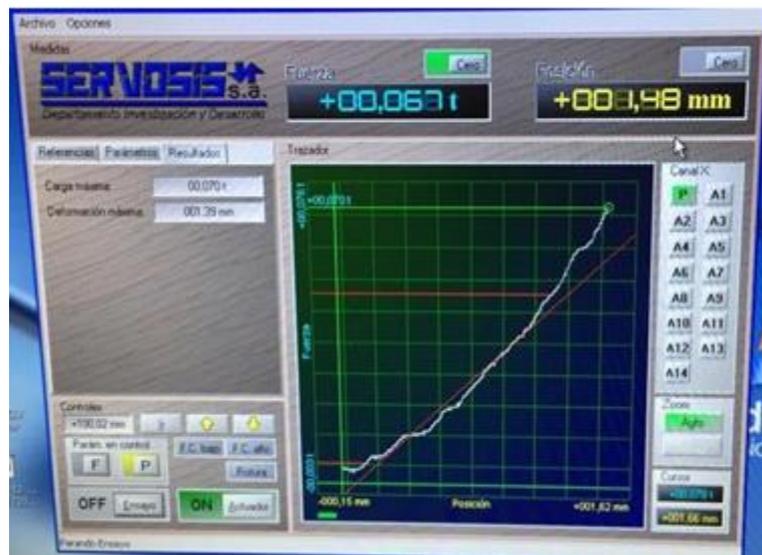
Elaboración propia.

Grupo 2

- Gráfica curva Desplazamiento- Fuerza de prototipo 1

En la gráfica del prototipo se observa que la prótesis fabricada por nylon y carbono del grupo 2 resiste a una deformación máxima de 1,39 mm con una carga máxima de 70 kg. Se retiró la prótesis de la máquina a la carga máxima de 70 kg, porque ha sido la máxima carga que se ha definido para esta prueba, a pesar de que mediante la gráfica se puede aplicar más carga.

Figura 88: Gráfica curva desplazamiento-fuerza prototipo 1



Nota. Elaboración propia.

- Gráfica curva Desplazamiento- Fuerza de prototipo 2

En la gráfica del prototipo se observa que la prótesis fabricada por nylon y carbono del grupo 2 resiste a una deformación máxima de 1,65 mm con una carga máxima de 70 kg. Se retiró la prótesis de la máquina a la carga máxima de 70 kg, porque ha sido la máxima carga que se ha definido para esta prueba, a pesar de que, mediante la gráfica se puede aplicar más carga.

Figura 89: Gráfica curva desplazamiento-fuerza prototipo 2

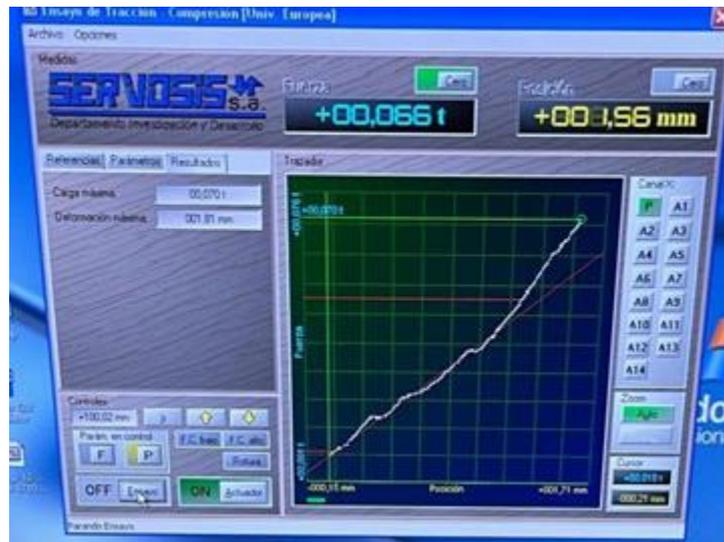


Nota. Elaboración propia.

- Gráfica curva Desplazamiento- Fuerza de prototipo 3

En la gráfica del prototipo se observa que la prótesis fabricada por nylon y carbono del grupo 2 resiste a una deformación máxima de 1,81 mm con una carga máxima de 70 kg. Se retiró la prótesis de la máquina a la carga máxima 70 kg, porque ha sido la máxima carga que se ha definido para esta prueba, a pesar de que, mediante la gráfica se puede aplicar más carga.

Figura 90: Gráfica curva desplazamiento-fuerza prototipo 3



Nota. Elaboración propia.

8. Conclusiones

- TABLA DE COMPARACIÓN DE PRÓTESIS CON SUS CARACTERÍSTICAS

Se ha realizado la comparación de cada una de las prótesis para poder observar el porcentaje de material, la carga máxima soportada y la deformación que presentó cada una a la carga aplicada.

Como se puede observar en la tabla ha habido prótesis que no se ha llegado a aplicar la fuerza de 700N, porque al ser muy frágiles, se podrían haber deformado.

Otras de las prótesis como las que contenían carbono si resistieron a la fuerza aplicada, eso quiere decir que, al aumentar el carbono en la composición en las prótesis, les daba más resistencia.

Tabla 8: Tabla comparativa de las prótesis con sus características

Prótesis	Porcentaje material	Carga máxima (kg)	Deformación (mm)
	100% Nylon	57 kg	2.66
	100% Nylon	65 kg	3.33
	100% Nylon	32 kg	3.61
	80% Carbono 20% Nylon	70 kg	1.39
	50% Carbono 50% Nylon	70 kg	1.65
	80% Carbono 20% Nylon	70 kg	1.81

- TABLA DE TIEMPO DE IMPRESIÓN Y PESO

Se ha realizado la comparación de los tiempos y el peso de cada prótesis para observar la diferencia de ellos. Como se puede observar en la tabla los tiempos de impresión hechos por completamente nylon han sido bajos en comparación con los hechos por carbono y nylon.

Sin embargo, hay una diferencia entre las tres prótesis hechos por nylon, el prototipo 3 pesa mucho menos que las otras, porque los valores de configuración para la fabricación de esta fueron mínimos, lo que también supuso una menor resistencia a la fuerza aplicada.

En comparación con las prótesis hechas por carbono y nylon, estas tienen un tiempo de impresión más alto y el peso también, esto quiere decir que la fabricación de las prótesis con carbono demora más, pero a la vez presentan una mejor resistencia a la fuerza aplicada, esto debido también a la presencia del carbono en la prótesis,

Sin embargo, hay una diferencia de tiempos entre una de ellas, como el prototipo 2, esto se debe a que esta prótesis fue fabricada por 50% carbono y 60% nylon, lo cual compensa el tiempo entre los dos materiales.

Tabla 9: Tabla de tiempo de impresión y peso

<i>Prototipo</i>	<i>Tiempo de impresión</i>	<i>Peso</i>
<i>Nylon (Grupo 1)</i>		
<i>Prototipo 1</i>	1h 50 min	4.58
<i>Prototipo 2</i>	1h 40 min	4.46
<i>Prototipo 3</i>	1h 22 min	2.48
<i>Carbono y Nylon (Grupo 2)</i>		
<i>Prototipo 1</i>	2h 34 min	6,74
<i>Prototipo 2</i>	1h 32 min	5.28
<i>Prototipo 3</i>	2h 22 min	5,80

Nota. Elaboración propia

- TABLA DE COMPARACIÓN DE PRECIOS

Se realizará la investigación de dos clínicas para conocer los precios que equivale la realización de prótesis completas, y observar en cuánto se diferencian cada una de ellas. Se obtuvieron los siguientes datos:

Clínica Arturo Soria

Tabla 10: Tabla de precio Clínica Arturo Soria

Tratamiento	Precio (euros)
Prótesis completa	600

Nota. Elaboración propia.

Sanitas

Tabla 11: Tabla de precio Sanitas

Tratamiento	Precio (euros)
Prótesis completa	604,90

Nota. Elaboración propia.

Como se puede observar, en base a los resultados de la investigación de las dos clínicas se puede concluir que el precio para la fabricación de la prótesis es muy elevado comparado con el presupuesto realizado anteriormente, es decir al hacer la fabricación de las prótesis en impresión 3D conlleva a un gran ahorro de costes como también tiempo.

- COMPARACIÓN DE MATERIALES

En el área odontológica la fabricación de prótesis removibles o fijas, implantes y aparatos de ortodoncia, está muy utilizado la resina basada en metacrilato (Polimetacrilato de metilo (PMMA)) y composites (bisfenol A-metacrilato de glicidilo (biS-GMA)).

No se decidió realizar o fabricar las prótesis con este tipo de materiales, porque los límites para los materiales de PMMA son la repetibilidad imperfecta de polimerización, tiempos de procesamiento limitados, escasa biocompatibilidad. Para biS-GMA los límites son: procedimientos operativos complicados y largos tiempos de transformación (Adela Hervás García, 2006).

- TABLA DE ACABADO SUPERFICIAL

En este apartado se hará la comparación de las prótesis fabricadas cada una con distinta estrategia, se eligió estos dos modelos, porque las demás se fabricaron con la misma estrategia del prototipo 1 menos la que se ha escogido, prototipo 3. Se observará el distinto acabo superficial de cada una y se explicará la razón de la diferencia. También se explicará porque el prototipo 1 es mucho más resistente que el prototipo 3.

Tabla 12: Tabla de comparación de prótesis según acabo superficial

PRÓTESIS 1	
	<p>La prótesis 1 fue hecha con un patrón de impresión isotrópica, como se puede ver en las imágenes, se observa de una diferencia de acabado superficial en comparación con la prótesis 3. Además, este primer modelo de prótesis es mucho más resistente que el tercer modelo, según los resultados de ensayo a compresión, es decir que a la carga de 70 kg aplicada a la prótesis se deformó menos que la prótesis 3.</p> <p>Esto es debido a que sigue un patrón de ángulo de +0, 45, 90 grados, lo cual el extrusor sigue una trayectoria combinando estos ángulos capa a capa que hacen que se entrelacen y formen como un trenzado y es por eso que la hace más resistente a la compresión.</p>
PRÓTESIS 3	
	<p>La prótesis 3 fue hecha con un patrón de impresión concéntrica, como se puede ver en las imágenes, se observa la diferencia de acabado superficial en comparación con la prótesis 1. Este tercer modelo de prótesis es menos resistente que el primer modelo, según los resultados de ensayo a compresión, es decir que a la carga de 70 kg aplicada a la prótesis se deformó más que la prótesis 1.</p> <p>Esto debido a que sigue un patrón de una sola dirección y lineal es por eso que es mucho más fácil que se deforme a una carga alta, porque cada capa sigue una misma dirección.</p>

Nota. Elaboración propia.

- TABLA DE ENERGÍA CONSUMIDA

Para la justificación del por qué no se utilizó otra máquina de fabricación para la fabricación de las prótesis dentales. Se realizó la siguiente tabla de comparación especificando cuánta energía consume cada una. Se toma como base un precio de luz en la hora más cara.

$$\text{Precio de luz} = 0,26479 \frac{\text{euros}}{\text{kWh}}$$

Impresora 3D= 150 W

Fresadora= 1.1 kW

Tabla 13: Tabla de energía consumida

Componente	Energía
Impresora 3D	0,039
Fresadora	0,291

Nota. Elaboración propia.

- Este trabajo también es una introducción de la aplicación en la fabricación de puentes dentales, que forma parte de una tesis doctoral de mi tutor.

9. Líneas futuras

En este proyecto se ha analizado las ventajas de la fabricación aditiva en el área de la Odontología, y en especial en la fabricación de subestructuras, implantes dentales. La aplicación de estas tecnologías ayuda a obtener productos más ligeros y en menor tiempo.

Al ser una tecnología nueva en esta área se debe seguir investigando para validar la aplicación no solo en la fabricación de estas subestructuras, como líneas futuras se puede ir investigando en estos puntos:

- Realizar estudios de fatiga para analizar su vida útil.
- Utilización de nuevos materiales para validar la biocompatibilidad
- Incorporar los nuevos programas Dentales al área de la ingeniería.
- Realizar un protocolo de calidad para garantizar que todas las piezas cumplen las especificaciones de diseño.

ANEXOS

Ficha técnica de la impresora Mark Two (Gen 2)

PRODUCT SPECIFICATIONS

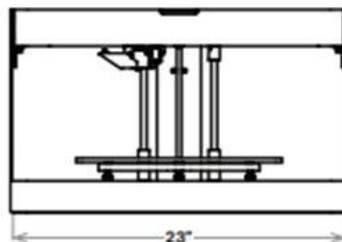


Mark Two (Gen 2)

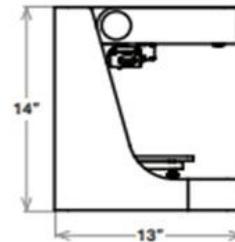
Replace machined aluminum tooling—jigs, jaws, and fixtures—with stronger parts for a fraction of the price. The Mark Two combines our unique continuous carbon fiber reinforcement with workhorse reliability for versatile parts with 26x the strength of ABS, ready same-day for use straight off the printer.

Printer Properties	Process	Fused filament fabrication, Continuous Filament Fabrication
	Build Volume	320 x 132 x 154 mm (12.6 x 5.2 x 6 in)
	Weight	16 kg (35 lbs)
	Machine Footprint	584 x 330 x 355 mm (23 x 13 x 14 in)
	Print Bed	Kinematic coupling — flat to within 160 µm
	Extrusion System	Second-generation extruder, out-of-plastic detection
	Power	100–240 VAC, 150 W (2 A peak)
	RF Module	Operating Band 2.4 GHz Wi-Fi Standards 802.11 b/g/n
Materials	Plastics Available	Onyx, Nylon White, Precise PLA, Smooth TPU
	Fibers Available	Carbon Fiber, Fiberglass, Aramid Fiber (Kevlar®), HSHT Fiberglass
	Tensile Strength	800 MPa (25.8x ABS, 2.6x 6061-T6 Aluminum) *
	Tensile Modulus	60 GPa (26.9x ABS, 0.87x 6061-T6 Aluminum) *
Part Properties	Layer Height	100 µm default, 200 µm maximum
	Infill	Closed cell infill: multiple geometries available
Software	Supplied Software	Eiger Cloud (Other options available at cost)
	Security	Two-factor authentication, org admin access, single sign-on

FRONT VIEW



SIDE VIEW



* Continuous carbon fiber data. **Note:** All specifications are approximate and subject to change without notice. Dupont™ and Kevlar® are trademarks and registered trademarks of E.I. du Pont de Nemours and Company.

Hoja informativa de material

HOJA INFORMATIVA DE MATERIAL



Materiales compuestos

Base para compuestos	Prueba (ASTM)	Onyx	Onyx FR	Onyx ESD	Nylon
Módulo de elasticidad a la tracción (GPa)	D638	2,4	3,0	4,2	1,7
Esfuerzo de tracción a la deformación (MPa)	D638	40	41	52	51
Esfuerzo de tracción a la rotura (MPa)	D638	37	40	50	36
Resistencia a la rotura por tracción (%)	D638	25	18	25	150
Resistencia a la flexión (MPa)	D790 ¹	71	71	83	50
Módulo de flexión (GPa)	D790 ¹	3,0	3,6	3,7	1,4
Temperatura de deflexión térmica (°C)	D648 B	145	145	138	41
Resistencia a las llamas	UL94	—	V-0 ²	—	—
Ensayo de Izod - con mella (J/m)	D256-10 A	330	—	44	110
Resistencia superficial (Ω)	ANSI/ESD STM11.11 ³	—	—	10 ⁵ - 10 ⁷	—
Densidad (g/cm ³)	—	1,2	1,2	1,2	1,1

Las piezas de Markforged están formadas principalmente por materiales base para compuestos. Se pueden reforzar con un tipo de fibra continua.

Dimensiones y construcción de las probetas:

- Tracción: Barras de tipo I o IV de la norma ASTM D638
- Flexión: Flexión de 3 puntos, 4,5 pulg. (l.) x 0,4 pulg. (an.) x 0,12 pulg. (al.)
- Temperatura de deflexión térmica a 0,45 MPa, 66 psi (ASTM D648-07 método B)

1. Se mide mediante un método parecido a ASTM D790. Las piezas solo con base para compuestos no se rompen antes del fin de la prueba de flexión.

2. Onyx retardante de llama (FR) tiene la certificación Blue Card y cumple la especificación UL94 V-0 en espesores con un mínimo de 3 mm.

3. La resistencia superficial se mide en diferentes superficies de la pieza a partir de los ajustes de impresión recomendados por un laboratorio externo homologado. Para obtener más información, consulte la hoja informativa de Onyx ESD.

Fibra continua	Prueba (ASTM)	Carbono	Fibra de carbono FR	Kevlar®	Fibra de vidrio	Fibra de vidrio HSHT
Resistencia a la tracción (MPa)	D3039	800	760	610	590	600
Módulo de elasticidad a la tracción (GPa)	D3039	60	57	27	21	21
Resistencia a la rotura por tracción (%)	D3039	1,5	1,6	2,7	3,8	3,9
Resistencia a la flexión (MPa)	D790 ¹	540	540	240	200	420
Módulo de flexión (GPa)	D790 ¹	51	50	26	22	21
Resistencia a la rotura por flexión (%)	D790 ¹	1,2	1,6	2,1	1,1	2,2
Resistencia a la compresión (MPa)	D6641	420	300	130	180	216
Módulo de compresión (GPa)	D6641	62	59	25	24	21
Resistencia a la rotura por compresión (%)	D6641	0,7	0,5	1,5	—	0,8
Temperatura de deflexión térmica (°C)	D648 B	105	105	105	105	150
Ensayo de Izod - con mella (J/m)	D256-10 A	960	810	2000	2600	3100
Densidad (g/cm ³)	—	1,4	1,4	1,2	1,5	1,5

Dimensiones y construcción de materiales compuestos de fibra
Probetas:

- Las placas de prueba utilizadas en estos datos están reforzadas con fibra de forma unidireccional (capas de 0°)
- Probetas de las pruebas de tracción: 9,8 pulg. (l.) x 0,5 pulg. (al.) x 0,048 pulg. (an.) (composites de fibra de carbono), 9,8 pulg. (l.) x 0,5 pulg. (al.) x 0,08 pulg. (an.) (composites de fibra de vidrio y Kevlar®)
- Probetas de las pruebas de compresión: 5,5 pulg. (l.) x 0,5 pulg. (al.) x 0,085 pulg. (an.) (composites de fibra de carbono), 5,5 pulg. (l.) x 0,5 pulg. (al.) x 0,12 pulg. (an.) (composites de Kevlar® y fibra de vidrio)
- Probetas de las pruebas de flexión: Flexión de 3 puntos, 4,5 pulg. (l.) x 0,4 pulg. (an.) x 0,12 pulg. (al.)
- Temperatura de deflexión térmica a 0,45 MPa, 66 psi (ASTM D648-07 método B)

Los datos de tracción, compresión, resistencia a la rotura y temperatura de deflexión térmica proceden de un laboratorio externo homologado. Los datos de flexión proceden de Markforged Inc. y representan los valores típicos.

Las placas de prueba de Markforged tienen un diseño exclusivo para maximizar el rendimiento de la prueba. Las placas de fibra de prueba están reforzadas con fibras unidireccionales e impresas sin paredes. Las placas de plástico de prueba se imprimen con relleno. Para obtener más información sobre condiciones de prueba específicas o para solicitar piezas a fin de realizar pruebas internas, póngase en contacto con un representante de Markforged. Los clientes deben probar las piezas con sus propias especificaciones.

Las prestaciones de los materiales y las piezas variarán

en función de la disposición de las fibras, el diseño de las piezas, las condiciones de carga, las condiciones de prueba y las condiciones de fabricación, entre otros factores.

Estos datos representativos se han probado, medido o calculado utilizando métodos estándar y pueden cambiar sin previo aviso. Markforged no ofrece garantías de ningún tipo, ni expresas ni implícitas, como por ejemplo las garantías de comerciabilidad, idoneidad para un uso particular o garantía contra la violación de patentes. Tampoco asume ninguna responsabilidad en relación con el uso de esta información. Los datos aquí indicados no deben utilizarse para establecer límites de diseño, control de calidad o especificaciones, y no pretenden sustituir las pruebas que realice para determinar la idoneidad en aplicaciones específicas. El contenido de esta hoja informativa no debe interpretarse como una licencia de uso ni una recomendación para infringir derechos de propiedad intelectual.

DESCRIPCIONES DEL MATERIAL



Materiales compuestos

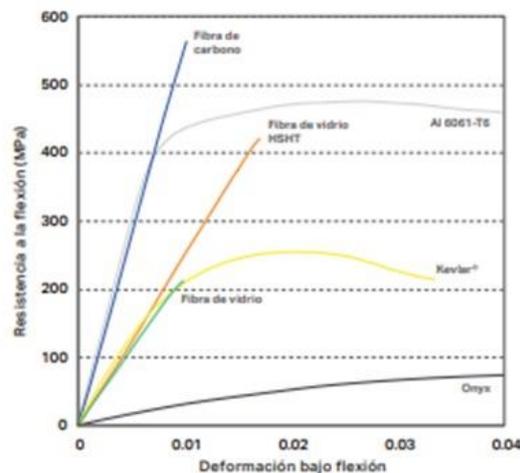
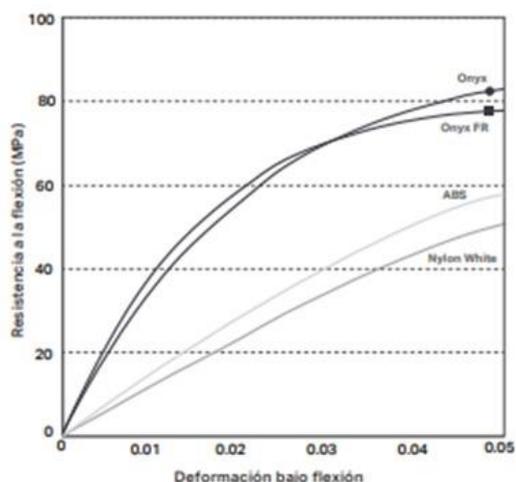
Las impresoras de materiales compuestos de Markforged imprimen con reforzamiento de fibra continua (CFR), un proceso exclusivo que refuerza con fibras continuas de alta resistencia las piezas de fabricación con filamento fundido (FFF). Este tipo de máquinas utilizan dos sistemas de extrusión: uno para extrudir el material base para compuestos en un proceso de FFF estándar y otro para las fibras continuas de hebras largas que se aplican en capas y sustituyen el relleno de FFF.

Base para compuestos

Los materiales base para compuestos de Markforged se imprimen como los termoplásticos de FFF convencionales. Se pueden imprimir solos o reforzarse con nuestras fibras continuas, como fibra de carbono, Kevlar o fibra continua.

Fibra continua

Las fibras continuas se aplican dentro de las piezas a través de una segunda boquilla de fibra. No se pueden imprimir por sí solas, sino que sirven para reforzar las piezas impresas con un material base para compuestos, como Onyx.



● **Onyx** Resistencia a la flexión: 71 MPa

Onyx es un nylon reforzado con microfibras de carbono. Es 1,4 veces más resistente y rígido que el ABS y se puede reforzar con cualquier fibra continua. Onyx marca el estándar por lo que respecta al acabado de superficie, la resistencia química y la tolerancia al calor.

■ **Onyx FR** Resistencia a la flexión: 71 MPa

Onyx retardante de llama (FR) es un material con la clasificación V-0 del estándar UL94 y certificación Blue Card que ofrece unas propiedades mecánicas parecidas a Onyx. Se utiliza en aplicaciones en las que se requiere un material retardante de llama, ligero y resistente.

● **Onyx ESD** Resistencia a la flexión: 83 MPa

Onyx ESD es una variante disipadora de estática de Onyx, que cumple unos requisitos de seguridad antiestática muy estrictos y ofrece unas características excelentes de resistencia, rigidez y acabado de superficie. Se utiliza en aplicaciones que requieren materiales antiestáticos.

● **Nylon** Resistencia a la flexión: 50 MPa

Las piezas de Nylon White son lisas y no abrasivas, y se pintan con facilidad. Este material se puede reforzar con cualquier fibra continua y es adecuado para la sujeción de piezas que se dañan con facilidad, para el contacto prolongado y para fabricar piezas cosméticas.

● **Fibra de carbono** Resistencia a la flexión: 540 MPa

La fibra de carbono tiene la mayor relación peso/resistencia de todas nuestras fibras de refuerzo. El refuerzo de fibra continua es seis veces más resistente y dieciocho veces más rígido que Onyx, y habitualmente se utiliza para fabricar piezas que sustituyen al aluminio mecanizado.

● **Fibra de vidrio** Resistencia a la flexión: 200 MPa

La fibra de vidrio es nuestra fibra continua de nivel básico, que ofrece una alta resistencia a un precio económico. Con el refuerzo de fibra de vidrio se pueden fabricar herramientas de gran resistencia (2,5 veces más resistentes y ocho veces más rígidas que con Onyx).

● **Kevlar®** Resistencia a la flexión: 240 MPa

El Kevlar® tiene una durabilidad excelente y es perfecto para fabricar piezas sometidas a cargas constantes y repentinas. Es un material tan rígido como la fibra de vidrio y mucho más dúctil, lo que lo hace ideal para una amplia gama de aplicaciones.

● **Fibra de vidrio HSHT** Resistencia a la flexión: 420 MPa

La fibra de vidrio de elevada resistencia a altas temperaturas (HSHT) permite producir piezas con la resistencia del aluminio y una alta tolerancia al calor. Este material es cinco veces más resistente y siete veces más rígido que Onyx, y permite fabricar piezas para entornos de altas temperaturas.

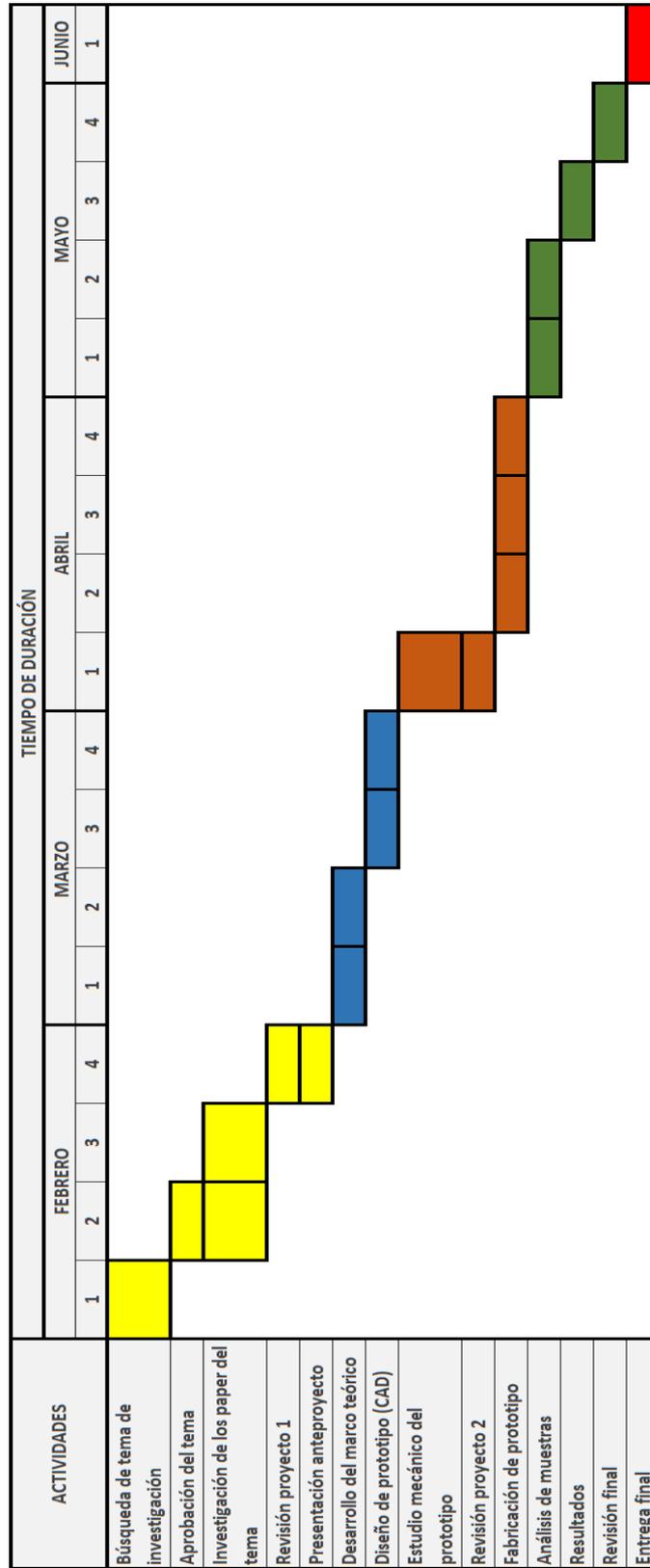
Hoja informativa de la fresadora

P53 FRESADORA DENTAL INTELIGENTE

Parámetros

Modelo	P53
Dimensión	443.5×718×628.5 mm
Peso	87Kg
Voltaje de entrada	AC 200~240V 50~60Hz
Potencia máx	1.1kw
Potencia del husillo	0.52kw
Ejes	5 ejes
Rango de fresado	Eje X/Y/Z:167/206/104mm, eje A :±30° eje B:±360°
Modo de fresado	Seco
Máx velocidad de rotación	30,000rpm
Máx velocidad de alimentación	3000mm/min
Biblioteca de herramientas	11
Cambio de herramientas	Automático (Presión de aire >0.5MPa)
Enfriamiento del husillo	Compresión de aire (Presión de aire 0.25~0.35MPa)
Materiales de fresado	Zirconia, cera, PMMA, PEEK y material suave
Tiempo de fresado	Cofia: Zirconia-10min, cera-4.5min Corona : Zirconia-13min, cera-5.5min
Diámetros de herramientas	2 + 1 + 0.6mm (Φ 4)

PLANIFICACIÓN



PRESUPUESTO

El presupuesto que se realizará a continuación será el estudio económico del prototipo total fabricado. Es decir, cuánto cuesta hacer el prototipo desde la etapa inicial hasta la etapa final de la prótesis. Las etapas o pasos para la fabricación de la prótesis se mencionaron anteriormente.

Coste de escaneo de la dentadura

El escaneo de la dentadura demora 0.16 horas, esto se divide en 5 minutos la arcada superior y 5 minutos la arcada inferior.

El coste se hará teniendo en cuenta la hora del odontólogo de 50 euros.

Coste de operario: 50 euros/hora * 0.16 horas = 8.00 euros

Coste de ingeniero

El ingeniero debe de cumplir con dos funciones importantes para la fabricación de la prótesis como es:

❖ Tiempo de reconstrucción

Este tiempo comprende el diseño de la prótesis en el software dental, es decir limpiar y preparar la dentadura del paciente para luego crear la prótesis.

El tiempo invertido en realizar el diseño de la prótesis depende de la complejidad de caso de cada paciente. Sin embargo, el tiempo puede estar entre 30 minutos a muchas horas.

Por lo que se va a suponer un tiempo promedio de 3 horas.

Coste de operario: 12.5 euros/hora * 3 horas = 37.50 euros

Coste de la máquina imprimiendo

❖ Coste de operario

Este tiempo comprende desde que el archivo es trasladado del software industrial al software de impresión 3D, es decir el archivo en STL para imprimir.

Consta del tiempo de configuración de los parámetros necesarios para la impresión de la prótesis en 3D.

Tiempo invertido = 0.03 horas

Coste de operario = 12.5 euros/hora

Coste de operario: 12.5 euros/hora * 0.03 horas = 0.38 euros

❖ Coste de impresión de la máquina

Este tiempo comprende lo que la pieza se demora en imprimir en la impresora 3D.

Tiempo invertido = 2.34 horas

Coste de impresión = 6.41 euros/hora

Coste de impresión: 6.41 euros/hora * 2.34 horas = 16.41 euros

Coste de calidad

Finalmente, el tiempo de darle un acabado superficial bueno a la prótesis una vez que se haya impreso en la impresora 3D.

Tiempo invertido = 0.5 horas

Coste de operario= 12.5 euros/hora

Coste de operario= 12.5 euros/hora * 0.5 horas= 6.25 euros

Coste de material

❖ Onyx

Volumen= 8.15 cm³

Coste = 11.62 euros

Coste total material Onyx= 94.70 euros

❖ Fibra de carbono

Volumen= 1.66 cm³

Coste = 1.52 euros

Coste total material fibra de carbono= 2.52 euros

Figura 91: Tabla de presupuesto

	Unidad	Tiempo (horas)	Volumen (cm3)	Coste (euros)	Coste total
Coste de dentista					
Escaneo	1	0,16	-	50,00 €	8,00 €
Coste de ingeniero					
Reconstrucción	1	3	-	12,50 €	37,50 €
Coste de impresión					
Operario	1	0,03	-	12,50 €	0,38 €
Impresión de la máquina	1	2,34	-	6,41 €	15,00 €
Coste calidad					
Operario	1	0,5	-	12,50 €	6,25 €
Coste material					
Nylon	1	-	8,15	11,62 €	94,70 €
Fibra de carbono	1	-	1,66	1,52 €	2,52 €
					164,35 €

Elaboración propia.

Bibliografía

Yahya Bozkurt, E. K. (2021). *3D printing technology; methods, biomedical applications, future opportunities and trends*. Istanbul: ELSEVIER.

Gibson, J. (2007). *Clinical desnstitry*.

Garcia, M. (s.f.). *Morillo Garcia* . Obtenido de <https://www.morillogarciadental.es/>

Freire, D. C. (s.f.). *Dr. Carlos Lagares Freire*. Obtenido de <https://clinicadrlagares.es/>

Luque, L. D.-R. (2016). *Prótesis y ortodoncia*. Madrid: SINTESIS.

3Shape. (s.f.). *3shape*. Obtenido de <https://www.3shape.com/es>

dental, B. f. (2021). *Cursos odonto 3D*. Obtenido de <https://www.cursosodonto3d.com/blender-for-dental/>

TecnoCAD. (2016). *ExoCad DentalCAD*. Obtenido de <https://www.tecnocadla.com/productos/exocad-dentalcad>

Montoya, D. (5 de 05 de 2021). *Dassault systems* . Obtenido de <https://blogs.solidworks.com/solidworkslatamyesp/solidworks-blog/3dexperience-world/3dexperience-world-2021/validar-los-disenos-para-la-vida-con-la-simulacion-de-3dexperience-works/attachment/image2-durability-dental-implant-1/>

3DCadPortal. (s.f.). *CATIA*. Obtenido de <https://www.3dcadportal.com/mcad/catia>

3DCadPortal. (s.f.). Obtenido de <https://www.3dcadportal.com/cae/ansys>

RESYCAM. (2020). Obtenido de ¿Qué es el PMMA? Usos en la Odontología: <https://www.resycam.com/que-es-el-pmma/>

Pejoan, M. (2019). *Escola Pejoan*. Obtenido de QUÉ SON LAS PRÓTESIS DENTALES FLEXIBLES: <https://www.escolapejoan.com/las-protesis-dentales-flexibles/>

Stewart, D. B. (2020). Obtenido de PEEK en prótesis dental: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://www.clinicasomosaguas.com/multi-media/peek_protisis_dental.pdf

Lopez, D. (06 de 3 de 2015). *Díaz López Clínica Dental*. Obtenido de La fibra de carbono, aplicación en la prótesis odontológica: <https://www.clinicadentaldiazlopez.com/la-fibra-de-carbono-aplicacion-en-la-protisis-odontologica/>

Dental, C. (s.f.). *Custom dental*. Obtenido de Cirugia oral : <https://customdental.cat/tratamientos/cirugia-oral/>

- DOCTORS, T. (21 de 11 de 2014). Obtenido de La Cirugía Ortognática, clave en Deformidades de Mandíbula: <https://www.topdoctors.mx/articulos-medicos/la-cirurgia-ortognatica-clave-en-deformidades-de-mandibula>
- David Suárez Quintanilla, P. S. (2022). *DENTAL TRIBUNE* . Obtenido de ¿Extracción o Expansión en Ortodoncia?: <https://la.dental-tribune.com/news/extraccion-o-expansion-en-ortodoncia-4/artidental>. (s.f.). *artidental*. Obtenido de Soluciones de Prostodoncia en Madrid: <https://www.artidental.com/tratamientos/prostodoncia/>
- Marchante, A. (2023). *3Dnatives*. Obtenido de El PEEK en la impresión 3D: un material resistente y muy exigente: <https://www.3dnatives.com/es/peek-impresion-3d-material-060420202/>
- tridilab. (s.f.). Obtenido de Impresora 3D CreatBot PEEK-300: <https://www.tridilab.com.mx/products/impresora-3d-creatbot-peek-300>
- Verde, C. D. (2019). *TFG_CRIS_N_VERDE*. Obtenido de ESTUDIO DE LAS OCNDICIONES ESCANEADO 3D EN APLICACIONES MÉDICO-ESTÉTICAS: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://oa.upm.es/54473/1/TFG_CRISTINA_DAMIAN_VERDE.pdf
- Menéndez, L. G., Espinosa-Escudero, & Mar, M. D.-S. (2021). *Escáneres ópticos 3D de mano en ingeniería inversa*. Madrid: UCA.
- DENTAL, R. (2022). *RD DENTAL*. Obtenido de Escáner Intraoral Medit i500: <https://reddental.info/producto/escaner-intraoral-medit-i500/>
- DESIGN, D. (s.f.). Obtenido de Hi Tech : <https://www.laboratoriodentaldesign.es/hi-tech/>
- Fiberlogy. (2023). Obtenido de NYLON PA12: <https://fiberlogy.com/es/filamentos/nylon-pa12/>
- Abarretegui, J. U. (2022). *DISEÑO 3D EN FIBRA DE CARBONO Y NYLON DE UNA PRÓTESIS DENTAL FIJA IMPLANTOSOPORTADA*. Obtenido de TRABAJO DE FIN DE GRADO: [file:///C:/Users/noeli/Downloads/TFG_Jaime_Uzquiano_Abarretegui_22_PRELIMINAR%20\(1\)%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/noeli/Downloads/TFG_Jaime_Uzquiano_Abarretegui_22_PRELIMINAR%20(1)%20(1).pdf)
- Regalado Berrú, D. &. (2021). Estudio comparativo del módulo de elasticidad que presenta la fibra de carbono en comparación al PEEK (polieteretercetona) como material para la confección de subestructura implanto soportadas. *Journal of Multidisciplinary Dentistry*, 41-47.
- Okiyama S, I. K. (2003). *Association between masticatory performance and maximal occlusal force in young men*. (Vol. 30). *J Oral Rehabil*.
- Adela Hervás García, M. A. (2006). Composite resins. A review of the materials and clinical indications . *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 15-20.
- López, D. (2015). *Díaz López clínica dental*. Obtenido de La fibra de carbono, aplicación en la prótesis odontológica: <https://www.clinicadentaldiazlopez.com/la-fibra-de-carbono-aplicacion-en-la-protesis-odontologica/>

- Paz, M. (2020). *Protocolo digital para prótesis sobre implantes mucosoportadas e implatosoportadas en el desentado total*. Obtenido de <https://periocentrum.com/wp-content/uploads/2020/12/Gross-et-al-2020-Digital-protocol-for-oral-rehabilitation-of-edentulous-patients.pdf>
- Stumpel, L. J. (2022). A prefabricated modular subestructura for a 4 implant supported fixed complete denture: A dental tecnique . *THE JOURNAL OF PROSTHESIC DENSTISRY*, 1-6.
- Forillo, L., D'Amico, C., Turkina, A. Y., Nicita, F., Amoroso, G., & Risitano, G. (2020). Endo and exoskeleton: New technologies on composite materials . *MDPI*, 1-9.
- Qassadi, W., Alshebri, T., ALonzi, A., & Aldahayan, I. (2018). Review on Dental Implantology . *The egyptian journal of hospital medicine* , 2217-2225.
- Oberoi, G., Nitsch, S., Edelmayer, M., Janjic, K., Sonja, A., & Agis, H. (2018). 3D Printing- Encompassing the facets of dentistry . *frontiers in Bioengineering and Biotechnology*.
- Farazin, A., Zhang, C., Gheisizadeh, A., & Shahbazi, A. (2022). 3D bio printing for use as bone replacement tissues: A review of biomedical application. *ELSEVIER*.
- Valvez, S., Santos, P., Parentee, J., Silva, M., & Reis, P. (2020). 3D printed continous carbon fiber reinforced PLA composites: A short review. *ELSEVIER* , 394-399.
- Expo, M. (s.f.). Obtenido de UP3D fresadora dental P53: <https://pdf.medicalexpo.es/pdf/shenzhen-up3d-tech-co-ltd/up3d-fresadora-dental-p53/128553-252830.html>
- <https://tarifasgasluz.com/comparador/precio-kwh>. (s.f.). *Tarifasgasluz*. Obtenido de <https://tarifasgasluz.com/comparador/precio-kwh>