

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**Protocolo para diseño y fabricación de guías quirúrgicas
dentales usando manufactura aditiva.**

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previo la obtención del Título de:

Magister en Ingeniería Biomédica

Presentado por:

JUAN SEBASTIAN UGUÑA ENCALADA

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2024

AGRADECIMIENTO

Deseo manifestar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido a la realización de esta tesis. En primer lugar, extendiendo mi gratitud a mi tutor, el Dr. Gabriel Helguero, cuya invaluable guía, paciencia y apoyo constante han sido fundamentales a lo largo de todo el proceso de investigación. Sus consejos y conocimientos han sido pilares esenciales para el desarrollo y culminación de este trabajo.

Agradezco también al Ingeniero Diego Narvárez García, al Ingeniero William Narvárez García y a la Licenciada Andrea Ullauri Román por su constante ánimo y comprensión en los momentos más difíciles. Su compañía y apoyo han enriquecido enormemente esta experiencia de aprendizaje.

Finalmente, deseo expresar mi agradecimiento al Dr. Manuel Estuardo Bravo y a su equipo de trabajo en la Clínica de Especialidades Odontológicas Orthodent. Gracias a ustedes, he contado con las herramientas académicas y personales necesarias para completar mi formación.

A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento por su inestimable contribución y apoyo.

DEDICATORIA

Este trabajo va dirigido a mis padres y hermanos, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida. A Mamá, que, con su amor incondicional, sacrificios y palabras de aliento me han guiado en cada paso de este camino. A mi Papá, su sabiduría, ejemplo, comprensión y apoyo constante han sido mi mayor inspiración. Gracias por creer en mí y por enseñarme el valor del esfuerzo y la dedicación.

A mi novia, cuyo apoyo constante, paciencia y cariño han sido un pilar fundamental en este viaje. Gracias por estar a mi lado en los momentos de desafío y celebración, y por compartir conmigo la ilusión de este logro.

Por último quiero resaltar unas palabras para mi abuelita quien me acompaña en el cielo, sé que este logro la hubiese llenado de felicidad y orgullo por lograr un paso más en mi vida profesional.

Este trabajo es una humilde muestra de agradecimiento por todo lo que me han dado. Sin ustedes, nada de esto habría sido posible.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Juan Sebastian Uguña Encalada doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Juan Sebastian Uguña Encalada

COMITÉ EVALUADOR

Ph.D. Carlos Gabriel Helguero Alcívar

PROFESOR TUTOR

Ph.D. Edwin Valarezo Añazco

PROFESOR EVALUADOR

RESUMEN

Las cirugías dentales actualmente en Ecuador son realizadas de manera tradicional, estas mantienen sesgos, debido a que realizan una técnica manual para la colocación de implantes, endodoncia, aumento de corona clínica y osteotomía dividida sagital bilateral, por lo que optar por un método de cirugía guiada es crucial para el éxito clínico, ya que ayuda a prevenir lesiones en las estructuras atómicas y optimiza el proceso de rehabilitación.

Uno de los inconvenientes es que existen variados procesos de diseño y fabricación de guías quirúrgicas las mismas que cada uno mantiene un resultado final distinto, y no existe un método normado en el Ecuador que me asegure el éxito del modelo final.

Por lo tanto, esta investigación propone como su objetivo principal desarrollar un protocolo que permita optimizar el diseño y fabricación de guías quirúrgicas dentales por medio del uso de manufactura aditiva, para garantizar mayor precisión, eficiencia y seguridad en los procedimientos odontológicos.

El proceso para el diseño y fabricación de guías quirúrgicas consta de varias etapas. Primero, en la valoración médica, se establecen los requisitos para la adquisición de datos anatómicos mediante la tomografía axial computarizada o escáner intraoral. Luego, en la edición y segmentación de la imagen, se realiza el acondicionamiento y se delimita el área de interés para el diseño de la guía quirúrgica dental. A partir de esta imagen, se crea un modelo tridimensional, para que en la siguiente etapa establecer la tecnología adecuada para el diseño de la guía y la elección del material de impresión. Así, la implementación de este protocolo proporciona un procedimiento claro y estandarizado para guiar a los

profesionales en el diseño y fabricación de guías quirúrgicas dentales en el ámbito odontológico.

PALABRAS CLAVE: Guía quirúrgica dental, manufactura aditiva, protocolo, impresión 3D, cirugía dental

ABSTRACT

Currently, dental surgeries in Ecuador are predominantly performed with traditional methods, which often introduce biases due to the manual techniques used for dental implants, endodontics, clinical crown lengthening and bilateral sagittal split osteotomy. Adopting a guided surgery approach is crucial for clinical success, as it helps prevent injury to anatomical structures and optimizes the rehabilitation process.

One of the main challenges is the existence of different surgical guide design and manufacturing processes, each of which yields different final results. In Ecuador, there is no standardized method that guarantees the success of the final model.

For this reason, the main objective of this research is to develop a protocol that optimizes the design and fabrication of dental surgical guides through additive manufacturing, guaranteeing greater precision, efficiency and safety in dental procedures.

The surgical guide design and fabrication process consists of several stages. First, during the medical evaluation, requirements are established for the acquisition of anatomical data through computed tomography or intraoral scanning. Then, in the image editing and segmentation phase, the image is processed and the area of interest for the design of the dental surgical guide is delimited. From this image, a three-dimensional model is created and used to determine the appropriate technology for guide design and impression material selection. The application of this protocol provides a clear and standardized procedure to guide practitioners in the design and fabrication of dental surgical guides in the field of dentistry.

Keywords: *Dental surgical guide, additive manufacturing, protocol, 3D printing, dental surgery.*

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO

DEDICATORIA

DECLARACIÓN EXPRESA

COMITÉ EVALUADOR

RESUMEN I

ABSTRACT III

ÍNDICE IV

ABREVIATURAS VII

Simbología VIII

ÍNDICE DE FIGURAS IX

CAPITULO 1 1

1. INTRODUCCIÓN 1

1.1. Descripción del Problema. 1

1.2. Justificación del problema. 2

1.3. Objetivos. 2

1.3.1. Objetivo General. 2

1.3.2. Objetivos Específicos 3

1.4. Alcance. 3

CAPITULO 2 4

2. MARCO TEÓRICO 4

2.1. Manufactura aditiva	4
2.1.1. Definición de manufactura aditiva.	4
2.1.2. Tipos de tecnologías de manufactura aditiva.	4
2.1.2.1. Extrusión	5
2.1.2.2. Fotopolimerización.	6
2.1.2.3. Sinterización selectiva por láser (SLS, Selective Laser Sintering).	7
2.2. Tecnología de diseño asistido por computadora.	7
2.3. Definición de guías quirúrgicas dentales.	9
2.4. Definición de Imagen médica.	12
2.5. Tipos de imágenes médicas usadas en la fabricación de guías quirúrgicas dentales.	12
2.5.1. Tomografía axial computarizada	12
2.5.2. Escáner intraoral.	14
2.6. Formatos de imágenes tridimensionales computarizadas.	15
2.6.1. DICOM	15
2.6.2. STL	16
2.6.3. IGES	16
CAPITULO 3	18
3. PROTOCOLO Y DISEÑO DE FABRICACIÓN	18
3.1 Parámetros idóneos para la obtención de la Tomografía Axial Computarizada. ..	20
3.1.1. Campo de visión	20
3.1.2. Espesor de la capa	21

3.1.3. Preparación del paciente	21
3.2 Parámetros para la obtención del escáner intraoral.	22
3.3 Acondicionamiento de la TAC.	23
3.4 Diseño de guía quirúrgica dental.	24
3.5 Fabricación de guía quirúrgica dental.	25
3.6 Esterilización.....	25
3.7 Implementación de caso de estudio.....	26
CAPITULO 4.....	33
4. RESULTADOS	33
4.1 Encuesta realizada a profesional sobre la importancia de las guías quirúrgicas. 33	
4.2 Comportamiento biomecánico realizado en una simulación de un software.	38
CAPITULO 5.....	41
5. CONCLUSIONES	41
BIBLIOGRAFÍA	43

ABREVIATURAS

3D	Tridimensional
CAD	Diseño Asistido por Computadora
CAM	Fabricación Asistida por Computadora
DLP	Procesamiento de Luz Directa
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FDM	Modelado por Deposición Fundida
FEM	Análisis de Elementos Finitos
FOV	Campo de Visión
IGES	Formato de Intercambio de Gráficos Inicial
MA	Manufactura Aditiva
OSBRM	Osteotomía Dividida Sagital Bilateral de Rama Mandibular
SLA	Estereolitografía
SLS	Sinterización Selectiva por Laser
STL	Lenguaje de Teselación Estándar
TAC	Tomografía Axial Computarizada
UV	Ultravioleta

Simbología

°C	Grados Celsius
#	Número
Min	Minutos
mm	Milímetros
MPa	Mega Pascales

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 Funcionamiento por extrusión Fuente: Propia	5
FIGURA 2.2 Técnicas de impresión SLA y DLP. Fuente: Propia	7
FIGURA 2.3. Sinterización selectiva por láser. [9]	7
FIGURA 2.4. Modelo digital en RayWare. Fuente: Propia	8
FIGURA 2.5 Cirugía guiada para implante dental. [11]	10
FIGURA 2.6 Guía quirúrgica para aumento de corona clínica. [12]	10
FIGURA 2.7 Guía quirúrgica para OSBRM. [13]	11
FIGURA 2.8 Guía quirúrgica para endodoncia. [14]	11
FIGURA 2.9 Tomografía axial computarizada. [17]	13
FIGURA 2.10 Escaneo intraoral. Fuente: Propia	14
FIGURA 2.11. Protocolo DICOM Fuente: Propia	16
FIGURA 3.1 Flujograma del protocolo para el diseño y fabricación de guías quirúrgicas .Fuente Propia	19
FIGURA 3.2 Tomografía tomada a paciente con los parámetros recomendados. Fuente: Propia	20
FIGURA 3.3 Tomografía tomada a paciente con los parámetros recomendados. Fuente: Propia	22
FIGURA 3.4 Acondicionamiento de la TAC. Fuente: Propia	23
FIGURA 3.5 Aislamiento de mandíbula y maxilar. Fuente: Propia	23
FIGURA 3.6 Secuencia de creación de guía quirúrgica. Fuente: Propia	24
FIGURA 3.7 Guía quirúrgica sin alineación de TAC y escáner intraoral. Fuente: Propia	24
FIGURA 3.8 Guía quirúrgica con alineación de TAC y escáner intraoral. Fuente: Propia	25
FIGURA 3.9 Escaneo con escáner intraoral . Fuente: Propia	26
FIGURA 3.10 Tomografía tomada a paciente con los parámetros recomendados. Fuente: Propia	26
FIGURA 3.11 Aislamiento de mandíbula y maxilar. Fuente: Propia	27
FIGURA 3.12 Alineación de mandíbula y escaneo intraoral. Fuente: Propia	28

FIGURA 3.13 Generación de modelo de guía quirúrgica en Blue Sky Plan 4S. Fuente: Propia	29
FIGURA 3.14 Guía quirúrgica en mandíbula. Fuente: Propia	29
FIGURA 3.15 Guía quirúrgica en maxilar. Fuente: Propia	29
FIGURA 3.16 Lavado y secado de guía quirúrgica. Fuente: Propia	30
FIGURA 3.17 Curado de guía quirúrgica. Fuente: Propia	31
FIGURA 3.18 Prueba de guía quirúrgica en modelo. Fuente: Propia	31
FIGURA 3.19 Guía quirúrgica con anillo. Fuente: Propia	32
FIGURA 4.1 Repuesta pregunta 1. Fuente: Propia	34
FIGURA 4.2 Repuesta pregunta 2. Fuente: Propia	34
FIGURA 4.3 Repuesta pregunta 3. Fuente: Propia	35
FIGURA 4.4 Repuesta pregunta 4. Fuente: Propia	35
FIGURA 4.5 Repuesta pregunta 5. Fuente: Propia	36
FIGURA 4.6 Repuesta pregunta 6. Fuente: Propia	36
FIGURA 4.7 Repuesta pregunta 7. Fuente: Propia	37
FIGURA 4.8 Repuesta pregunta 8. Fuente: Propia	37
FIGURA 4.9 Repuesta pregunta 9. Fuente: Propia	37
FIGURA 4.10 Repuesta pregunta 10. Fuente: Propia	38
FIGURA 4.11 von Mises. Fuente: Propia	39
FIGURA 4.12 Desplazamiento. Fuente: Propia	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Resultados Análisis de esfuerzo. Fuente: propia	38
Tabla 4.2 Resultados de desplazamiento. Fuente: propia	39

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción del Problema.

En la actualidad, se ha demostrado que para tener un éxito clínico dental es requerido el uso de implantes puesto que con ello se ha logrado prevenir lesiones de estructuras anatómicas y de esta manera agilizar el proceso de rehabilitación. Las cirugías de implantes dentales que se realizan actualmente son asistidas por ordenadores, este método requiere de un sistema de navegación partir de una tomografía computarizada, donde se obtienen los datos para brindar una mayor precisión a la planificación de la perforación. El método tradicional para realizar implantes dentales, se realiza a mano alzada sin tener una precisión de la ubicación y posicionamiento del implante. Es por ello que, los sistemas de guías quirúrgicas dentales brindan mayor precisión y exactitud en este tipo de cirugías. Cabe recalcar que, al existir diferentes diseños de implantes y protocolos, se pueden producir diferentes resultados en la exactitud y la precisión entre los sistemas de implantes, por lo cual se requiere de un ente regulador para garantizar el éxito clínico. [1]. Ecuador carece de un protocolo oficial que regularice el proceso de diseño de fabricación de guías quirúrgicas dentales [2]. Por lo cual, los odontólogos del sistema de salud en el Ecuador, en su mayoría, utiliza el método tradicional de implantación o cirugía guiada. Este método tradicional pudiese llegar a modificar su exactitud y precisión basado en la diversidad de métodos de implementación existentes, generando una problemática al momento de escoger o experimentar con distintos protocolos.

1.2. Justificación del problema.

Las cirugías de implantes dentales que se realizan actualmente son asistidas por ordenadores, este método requiere de un sistema de navegación partir de una tomografía computarizada, donde se obtienen los datos para brindar una mayor precisión a la planificación de la perforación. El método tradicional para realizar implantes dentales, se realiza a mano alzada sin tener una precisión de la ubicación y posicionamiento del implante. Es por ello que los sistemas de guías quirúrgicas dentales brindan mayor precisión y exactitud en este tipo de cirugías. Cabe recalcar que, al existir diferentes diseños de implantes y protocolos, se pueden producir diferentes resultados en la exactitud y la precisión entre los sistemas de implantes, por lo cual se requiere de un ente regulador para garantizar el éxito clínico [1]. Ecuador carece de un protocolo oficial que regularice el proceso de diseño de fabricación de guías quirúrgicas dentales [2]. Por lo cual, los odontólogos del sistema de salud en el Ecuador, en su mayoría, utiliza el método tradicional de implantación o cirugía guiada. Este método tradicional pudiese llegar a modificar su exactitud y precisión basado en la diversidad de métodos de implementación existentes, generando una problemática al momento de escoger o experimentar con distintos protocolos.

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo General.

Desarrollar un protocolo que permita optimizar el diseño y fabricación de guías quirúrgicas dentales por medio del uso de manufactura aditiva, para garantizar mayor precisión, eficiencia y seguridad en los procedimientos odontológicos.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Definir parámetros técnicos adecuados que permitan la obtención de imágenes con el fin de diseñar guías quirúrgicas dentales.
- Especificar las diferentes técnicas de manufactura aditiva dentro de la fabricación de guías quirúrgicas dentales.
- Implementar un método de validación mediante el comportamiento biomecánico realizado en una simulación de un software para análisis de elementos finitos.
- Establecer indicadores técnicos que permitan obtener una impresión tridimensional de guías quirúrgicas dentales óptima, según el caso.

1.4. Alcance.

Mediante la investigación y la búsqueda de información acerca de los diferentes tipos de obtención de imágenes se estandarizará un protocolo más preciso en la digitalización de guías quirúrgicas. Se espera determinar las ventajas y desventajas de las distintas tecnologías de impresión 3D y materiales existentes en el mercado. De esta manera se logrará obtener el mejor procedimiento que mantenga características idóneas para el diseño y fabricación de la guía quirúrgica dental. Finalmente se espera adquirir un método estandarizado que brinde al paciente y al profesional una precisión y calidad en los procedimientos quirúrgicos.

CAPITULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Manufactura aditiva

2.1.1. Definición de manufactura aditiva.

Manufactura Aditiva (MA), es el proceso secuencial de ir adicionando capas de material en la sección transversal del objeto, desde la base hasta la parte superior. El proceso de fabricación de MA comienza a partir de un diseño tridimensional (3D) el cual es realizado mediante un software de Diseño Asistido por Computadora o su equivalente en inglés Computer-Aided Design (CAD), y su finalización en un modelo físico, Cada capa se debe considerar de obtener un espesor fino con el fin de tener un resultado muy semejante al diseño original. [2]

Las máquinas de MA, que se encuentran en el mercado, en la cual su principio de funcionamiento es basado por adición de capas, se diferencian a partir del material que se puede colocar, la rapidez de fabricar las capas, tiempo de pos-procesamiento mayor, consideraciones físicas de la máquina, de la manera de como generan las capas y el costo. Mediante estos parámetros de consideración, la pieza final se evalúa las propiedades del material, propiedades mecánicas y la precisión con la que es diseñada la pieza. [1] [2]

2.1.2. Tipos de tecnologías de manufactura aditiva.

Los tipos de tecnologías de manufactura aditiva usadas en la fabricación de guías quirúrgicas son: extrusión, fotopolimerización y sinterización selectiva por láser.

2.1.2.1. Extrusión.

También conocida como modelado por deposición fundida (FMD, Fused Deposition Modeling), su método de funcionamiento es mediante la extrusión de un filamento de polímero para realizar una capa del modelo, su plataforma tiene una traslación vertical de 1mm hacia abajo, que es requerida para posicionar cada capa, una encima de otra. El producto final tiende a ser anisotrópico en el cual el modelo final mantiene una debilidad en donde las capas se llegan a unir. [1] [2][4]

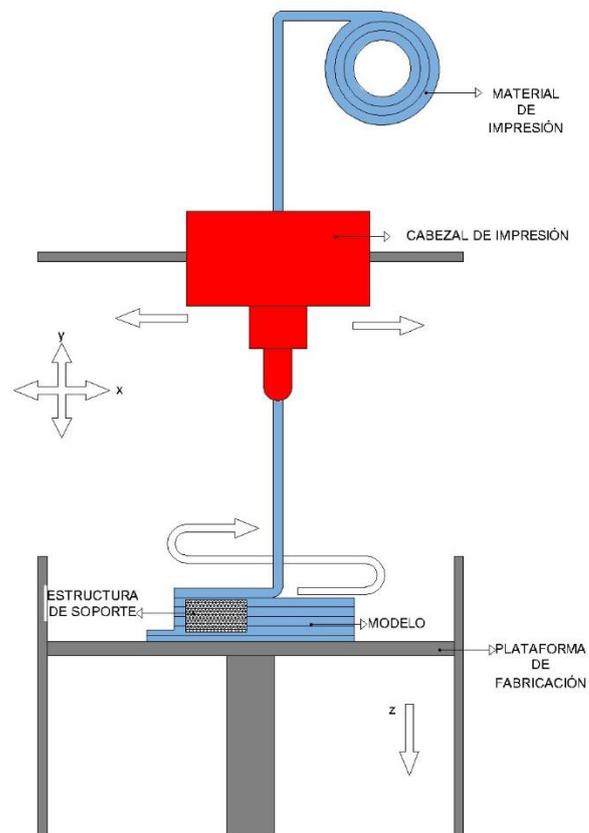


FIGURA 2.1 Funcionamiento por extrusión Fuente: Propia

2.1.2.2. Fotopolimerización.

El funcionamiento se basa en una cámara de resina líquida la cual se endurece a la presencia de luz ultravioleta (UV). Dentro de la fotopolimerización se cuenta con dos métodos: los cuales son: estereolitografía (SLA, Stereolithography Apparatus) y procesamiento de luz directa (DLP, Digital Light Processing).

En el sistema SLA, la plataforma para la fabricación del modelo desciende en la resina, mientras que en el sistema DLP, la plataforma asciende. Para realizar la fabricación del modelo la capa se agrega luego de endurecer la capa anterior mediante la luz UV, y siguiente a este proceso se realiza un escaneo láser para colocar la siguiente capa, de esta manera se mantiene el proceso secuencial de MA.

La posición del láser UV se coloca dependiendo de la tecnología a utilizar, en el caso de SLA, la pieza se sumerge en la cámara y mediante una ventana el láser puede ir endureciendo la resina y el modelo desciende en el contenedor, y en el sistema DLP, la pieza se extrae del contenedor de resina, y el láser se encuentra debajo del tanque, escaneado a través del cristal; Los sistemas SLA o DLP son muy referenciado debido a su alta confiabilidad en calidad, resolución y precisión. [1] [2] [3] [4]

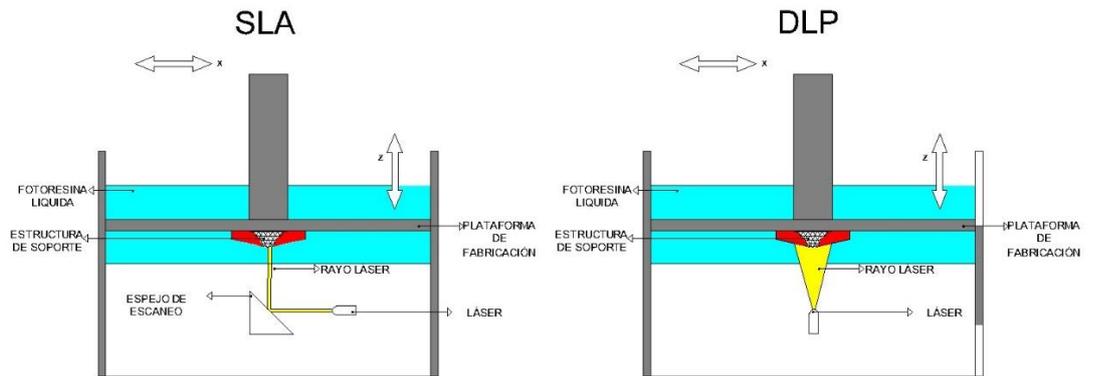


FIGURA 2.2 Técnicas de impresión SLA y DLP. Fuente: Propia

2.1.2.3. Sinterización selectiva por láser (SLS, Selective Laser Sintering).

Es un método de prototipado en la cual la plataforma contiene un polvo de polímero u otro material no metálico y polvo de metales, en el cual un láser de alta potencia o un haz de electrones para metales, escanea y funde el polvo formando la capa de manera secuencial formando el prototipo. La anisotropía puede existir si el diseño no está realizado de manera correcta.

[1] [2] [7]

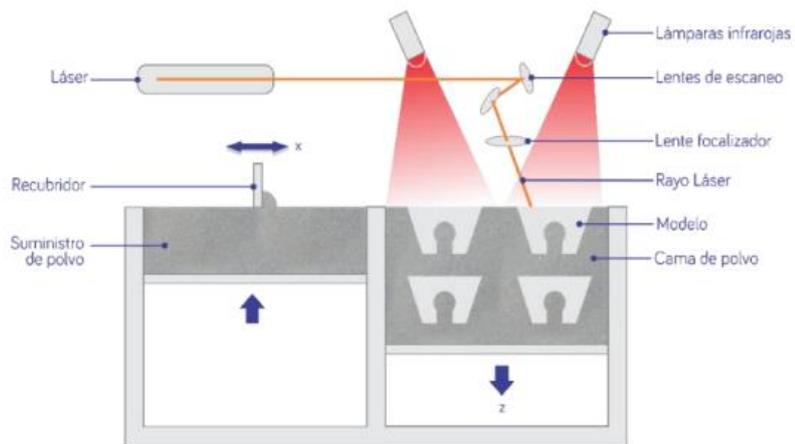


FIGURA 2.3. Sinterización selectiva por láser. [9]

2.2. Tecnología de diseño asistido por computadora.

Un sistema CAD se refiere a un conjunto de software y herramientas especializados que permiten a los diseñadores e ingenieros crear modelos digitales

tridimensionales de prototipos. Estos sistemas contienen un conjunto de herramientas para el modelado geométrico, análisis y diseño, en el cual utilizan un formato de transmisión de datos estándar (STL).

Las funciones de sistemas de modelado sólido, en el cual se puede realizar estudios de análisis de elementos finitos (FEM), en el cual es un método computacional en el cual es eficiente para analizar estructuras y formas intrincadas, en el cual se puede estudiar mecánicas y comportamientos estáticos, dinámicos o más parámetros físicos para determinar la deformación, flexibilidad o rigidez. La mayoría de softwares utilizan el método de desplazamientos, en los cuales son elementos interconectados mediante nodos, líneas o superficies para formar una malla. La capacidad FEM depende del hardware del computador y software a implementar en las cuales los más utilizados Fusión 360, Nastran e Inventor de la empresa Autodesk, Solid Works, MATLAB y ANSYS.

Otra implementación de un software CAD, es en el desarrollo de impresión 3D es una gran ventaja en el diseño o visualización de una imagen real del modelo, en el cual pueden verificar y corregir errores en tamaño o formas.

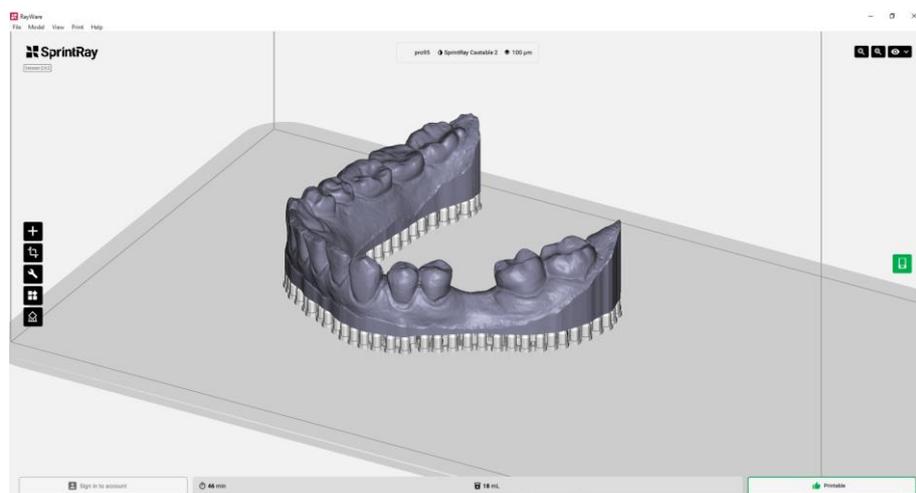


FIGURA 2.4. Modelo digital en RayWare. Fuente: Propia

En el área médica se ha introducido en el diseño de prótesis e implantes que se han adaptado a la geometría de tejidos o huesos, en las cuales a partir de las imágenes médicas DICOM digitalizan a un formato para el uso en softwares CAD, STL mediante la intervención de distintos softwares para su evaluación. [1] [10]

2.3. Definición de guías quirúrgicas dentales.

Las Guías quirúrgicas dentales es un elemento protético que nos permiten mantener una cirugía guiada en todo momento en una posición deseada, basado en estudio y evaluación del paciente con el fin de mantener una efectividad alta y tiempos de ejecución y recuperación más cortos [5]. La aplicación de las guías quirúrgicas dentales en colocación de implantes, endodoncias, aumento de la corona clínica, osteotomía dividida sagital bilateral de rama mandibular, ortognática bimaxilar y genioplastia.

Las guías quirúrgicas dentales para implantes, es usada para posicionar la ubicación de fresado del tornillo de implante, en el cual pasa por un estudio y evaluación previa de un paciente, para mantener una efectividad alta en la optimización de tiempos de ejecución de cirugía y mejorando los resultados posoperatorios. [5].

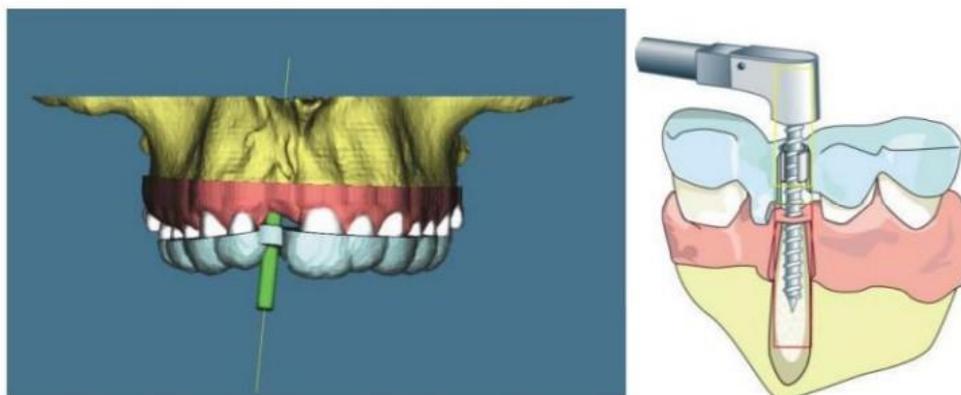


FIGURA 2.5 Cirugía guiada para implante dental. [11]

La cirugía guiada en el aumento de corona clínica, es usado para remover el exceso de encía o tejido gingival y la modificación del tejido óseo, en el cual se mantienen en un límite de distancias biológicas para que se mantengan estabilidad en el transcurso de tiempo. [12]



FIGURA 2.6 Guía quirúrgica para aumento de corona clínica. [12]

Para la Osteotomía Dividida Sagital Bilateral de Rama Mandibular (OSBRM) , se ha requerido de igual manera el uso de cirugía guiada, en el cual ayuda en el fresado para la ubicación de los tornillos y el corte de corticotomía de cresta oblicua bucal, lingual y externa, mediante el uso de la guía es un apoyo para limitar el área

de desprendimiento de tejido blando y brindar fuerza necesaria para corte y perforación de hueso. [13]

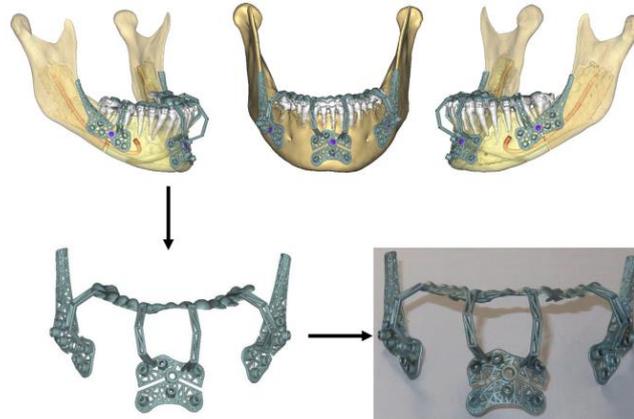


FIGURA 2.7 Guía quirúrgica para OSBRM. [13]

La endodoncia guiada para tratamientos de conductos es otro uso de una guía quirúrgica dental que permite posicionar de manera correcta la fresa en la entrada a al conducto radicular para la perforación, haciendo que sea menos invasiva y prevenir daños a la pieza dentaria o nervios presentes al momento de la perforación.

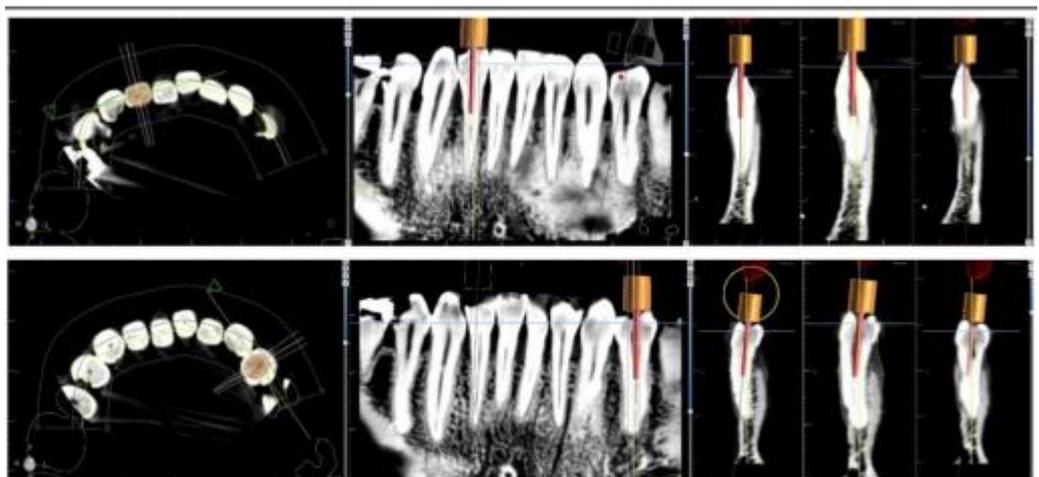


FIGURA 2.8 Guía quirúrgica para endodoncia. [14]

2.4. Definición de Imagen médica.

Las imágenes médicas son una representación visual del interior del cuerpo u organismo humano mediante la irradiación de energía en las cuales se puede observar las estructuras y funciones que pueden tener los órganos, la técnica para obtener las imágenes médicas pueden ser radiología, ecografía, endoscopía, medicina nuclear, fotografía médica, microscopía, tomografía y resonancia magnética.

Con la implementación de sistemas computacionales para el procesamiento de las imágenes médicas, se ha incursionado en la era de la digitalización con imágenes, que ayudan al fácil almacenamiento, manipulación, transmisión, y el procesamiento de estas, con el fin de mejorar la visualización. [15]

Dentro del análisis óseo el uso de radiología y tomografía es el indicado, ya que su principio de funcionamiento corresponde a exponer un cuerpo a una fuente de radiación ionizante en el cual permite obtener un mapa de atenuación dependiendo de la densidad del cuerpo irradiado.

2.5. Tipos de imágenes médicas usadas en la fabricación de guías quirúrgicas dentales.

2.5.1. Tomografía axial computarizada.

La Tomografía Computarizada (TC), también conocida como Tomografía Axial Computarizada (TAC), es una técnica de imagen médica que utiliza un haz de rayos X y giran alrededor de todo el cuerpo, en las cuales mediante computadoras procesan las señales de distintos cortes, para obtener imágenes tridimensionales detalladas de la anatomía interna del cuerpo humano.

Una TAC contiene una fuente móvil de rayos x que gira alrededor del Gantry, mientras el tubo de rayos X gira alrededor del cuerpo. Al momento de realizar la TAC, el gantry se mueve de manera transversal a la camilla, mientras el tubo de rayos X, girar alrededor del paciente. Esta técnica de escaneo contiene detectores digitales que se encuentran frente a la fuente de rayos X, que envían la información al computador, en el cual mediante métodos matemáticos procesan las señales y reconstruye los cortes transversales este proceso se llama retroproyección, en el cual se pueden visualizar los cortes o crear imágenes tridimensionales. [1] [16]

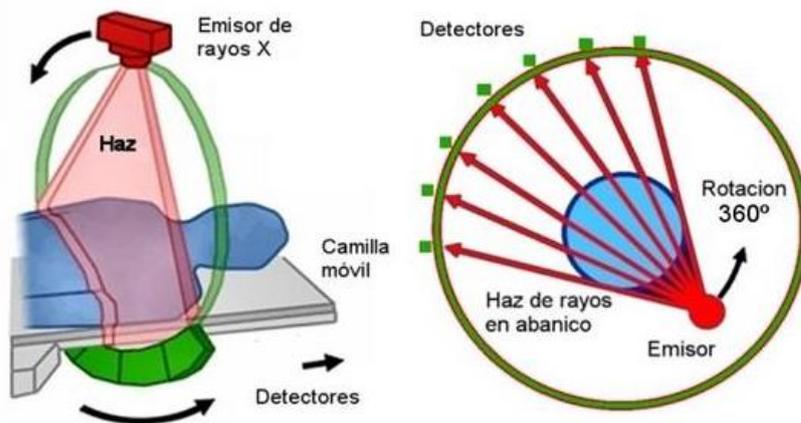


FIGURA 2.9 Tomografía axial computarizada. [17]

Al usar rayos X en la TAC, produce radiación ionizante la misma que puede provocar cambios o efectos biológicos a la materia o tejido, el cual va aumentando la probabilidad con respecto a la suma de su exposición durante los años, por lo cual durante los años han ido teniendo presente el principio de ALARA, que menciona que las exposiciones de radiación deben mantenerse en los niveles más bajos como sea posible. [17]

2.5.2. Escáner intraoral.

Un escáner intraoral es un dispositivo utilizado en odontología para tomar imágenes digitales detalladas del interior de la boca, incluidos los dientes y las encías. Estos escáneres se han convertido en una alternativa avanzada a las tradicionales impresiones en yeso utilizadas para realizar modelos dentales. Permiten a los profesionales dentales obtener rápida y fácilmente información precisa sobre la anatomía bucal de sus pacientes.

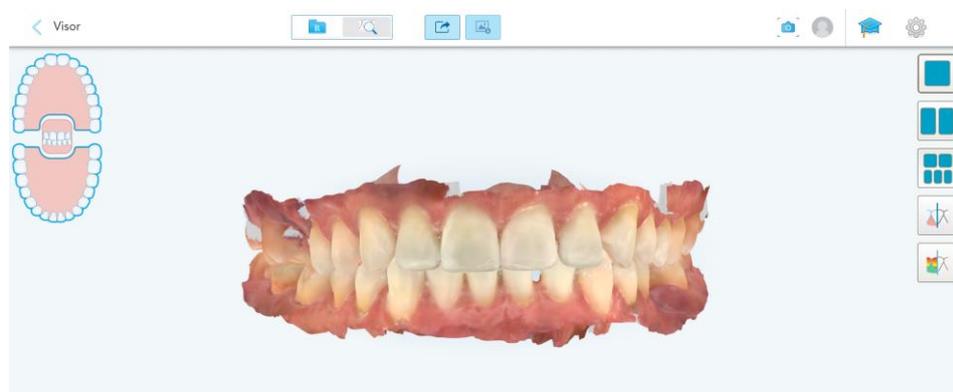


FIGURA 2.10 Escaneo intraoral. Fuente: Propia

El funcionamiento del escáner intraoral utiliza un haz de luz para capturar imágenes tridimensionales de alta resolución y estructuras circundantes, elimina el método tradicional de uso de yeso el cual es incómodo el uso a ciertos pacientes; las imágenes que son captadas por el equipo se digitalizan y son utilizados para crear modelos 3D. Al ser un modelo 3D digitalizado, puede integrar de manera fácil a un sistema CAD y a una fabricación asistida por computadora (CAM).

El escáner intraoral elimina errores asociados a las impresiones tradicionales y mejora el resultado final de la imagen capturada, estos dispositivos son más comunes en el uso en el área dental. [8]

2.6. Formatos de imágenes tridimensionales computarizadas.

2.6.1. DICOM

DICOM significa "Imágenes digitales y comunicaciones en medicina" y es un estándar internacional utilizado en el campo médico para gestionar, almacenar, imprimir y transmitir información médica en forma de imágenes médicas y datos relacionados. Este estándar garantiza la interoperabilidad y compatibilidad entre los diversos dispositivos y sistemas utilizados en la industria de la salud.

DICOM permite la inclusión de metadatos clínicos, como son los datos de pacientes, datos del estudio y configuración del dispositivo. Los protocolos de red utilizados se basan en comunicación y transmisión de imágenes médicas entre escáneres, estaciones de trabajo y sistema de almacenamiento, también se utiliza un conjunto de sistemas PACS (Sistema de archivo y comunicación de imágenes) para el almacenamiento, recuperación y distribución de las imágenes dentro del establecimiento y a distintas instalaciones médicas y países. El sistema de seguridad cumple estándares seguridad, privacidad, confidencialidad e integridad de los datos del paciente y el establecimiento. [1]

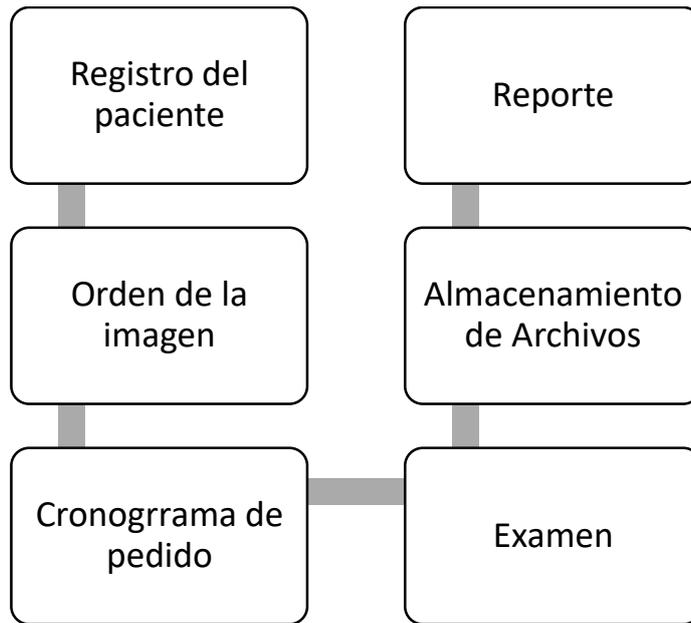


FIGURA 2.11. Protocolo DICOM Fuente: Propia

2.6.2. STL

El formato STL, que significa "lenguaje de teselación estándar" o "estereolitografía", es un formato de archivo. STL representan la geometría tridimensional mediante una serie de triángulos que está definido por sus vértices y normales. Este formato puede estar representado en Binario y ASCII, donde el formato binario puede ser más compacto y eficiente mientras que el formato ASCII puede ser más legible y fácil del editar o moldear; este formato STL es compatible con los softwares de diseño asistido por ordenador (CAD) y máquinas de manufactura aditiva (MA). [1]
[3]

2.6.3. IGES

Formato de Intercambio de gráficos inicial (IGES, Initial Graphics Exchange Format), es un formato estándar desarrollado por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología, para de mantener un estándar de intercambio y formato

de datos neutral en sistemas CAD para el intercambio de digital de modelos bidimensionales o tridimensionales con el fin de modelar superficies y sólidos, a partir de archivos vectoriales apoyado en ecuaciones matemáticas. Las versiones iniciales se enfocaban únicamente a sistemas CAD. La versión 2.0 de IGES, fue destinada para el intercambio de datos de elementos finitos y placas de circuito integrado y las versiones posteriores fueron han mejorado las capacidades de intercambio de datos. [19]

CAPITULO 3

3. PROTOCOLO Y DISEÑO DE FABRICACIÓN

Dentro del proceso de fabricación se inicia con la valoración médica con el fin de obtener los datos anatómicos del paciente, los mismos que deben satisfacer los requisitos para garantizar la obtención de estos datos. En el siguiente proceso de edición y segmentación de la imagen se define el área de interés y partes ajenas al tejido óseo, en el caso del escáner intraoral se procede a incorporar los tejidos blandos como las encías ya que se requieren para las técnicas de implantes, endodoncias y aumento de corona clínica. En el siguiente proceso, se crea la superficie tridimensional que me permitirá diseñar la guía quirúrgica a partir de las imágenes TAC o de escáner obtenidas, para la posterior aprobación médica y paso a la impresión con manufactura aditiva, en el cual se selecciona la técnica más idónea para el proceso quirúrgico. En proceso final consta del empaquetado y técnica de esterilización. A continuación, se expone el flujograma para el proceso de Diseño y fabricación de guía quirúrgicas.

Protocolo para diseño y fabricación de guías quirúrgicas

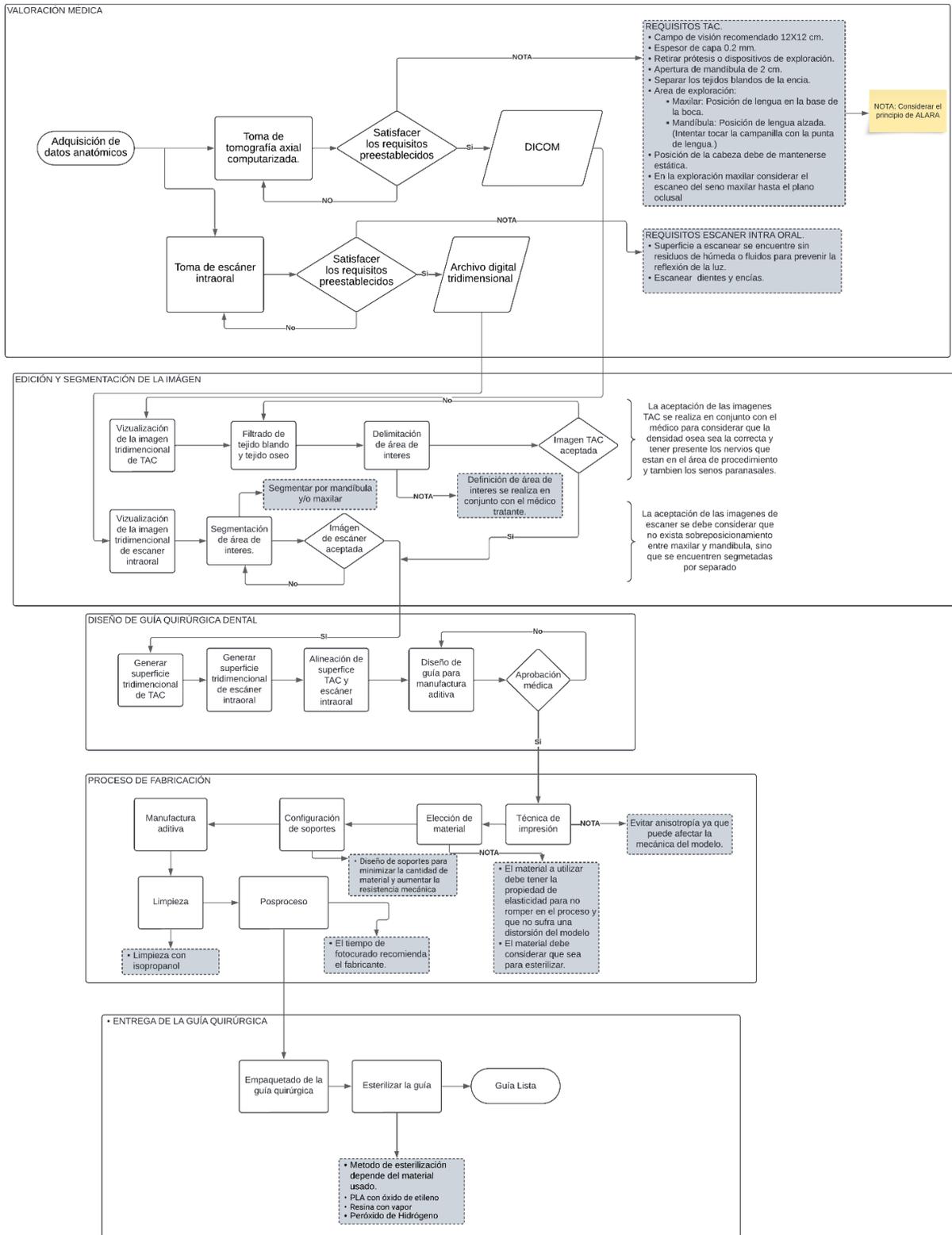


FIGURA 3.1 Flujograma del protocolo para el diseño y fabricación de guías quirúrgicas. Fuente Propia

3.1 Parámetros idóneos para la obtención de la Tomografía Axial

Computarizada.

3.1.1. Campo de visión

El campo de visión (FOV, ingles: Field-of-View) recomendado para enfocar el área de interés corresponde a 120x120 mm, en el cual captura toda la mandíbula y senos paranasales, en el caso que dicha dimensión no sea posible se puede realizar un campo de visión de 80x80mm. [20]

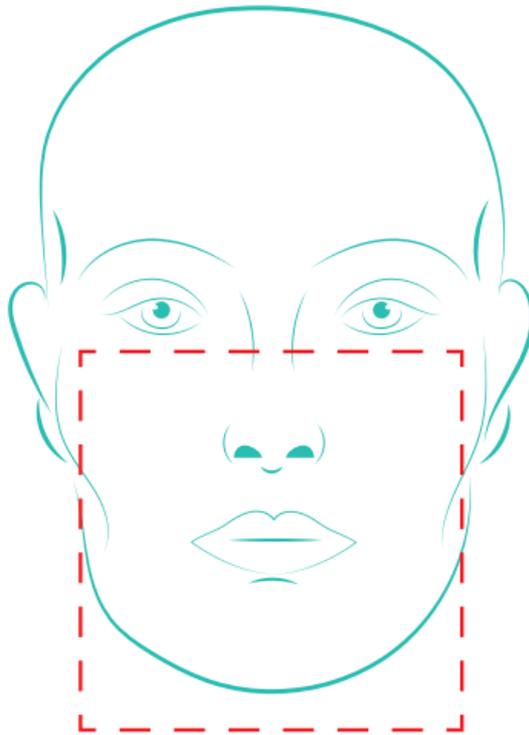


FIGURA 3.2 Tomografía tomada a paciente con los parámetros recomendados.

Fuente: Propia

3.1.2. Espesor de la capa

El espesor de capas corresponde al grosor del corte que se toma durante el escaneo, cuya unidad corresponde en milímetros (mm), en el cual el recomendado para la fabricación de guías quirúrgicas es de un grosor 0.2mm. Considerar que para espesores finos el tiempo de escaneo puede ser mayor al igual que la exposición a la radiación al paciente. [20]

3.1.3. Preparación del paciente

En el escaneo por TAC, se procurará mantener en una posición óptima al paciente, en la cual no exista pérdida de datos en la imagen por movimientos involuntarios de la cabeza, mandíbula o tejidos blandos, por ende, se opta por las siguientes consideraciones. [20]

- El paciente no debe llevar consigo prótesis o algún objeto de exploración.
- La posición de la cabeza debe mantenerse estática, al momento del escaneo, no se debe flexionar o realizar movimientos laterales o de rotación.
- Se debe mantener una apertura de mandíbula de 20 milímetros (mm).
- Se requiere de separar los tejidos blandos que se encuentra entre la mejilla y la encía, con la ayuda de torundas de algodón.
- Si el área de exploración contempla la mandíbula, la posición de la lengua debe alzarse, de tal manera que la punta de la lengua intente tocar la campanilla.
- Si el área de exploración corresponde al maxilar, la lengua permanece en la base de la boca y considerar el escaneo del seno maxilar hasta el plano oclusal.
- Se procede a la exportación en formato DICOM del escaneo del paciente.



FIGURA 3.3 Tomografía tomada a paciente con los parámetros recomendados.

Fuente: Propia

3.2 Parámetros para la obtención del escáner intraoral.

El uso del escáner intraoral para la adquisición de modelos tridimensionales es muy importante cuando se trata para el uso en cirugía guiada en el cual se recomienda seguir los siguientes parámetros para un correcto escaneo, Figura 2.10.

- Mantener el espejo del escáner, limpio y configurar el escáner intraoral a la resolución óptima del procesamiento del ordenador, debido a que no existe diferencia significativa en la resolución predeterminada y la alta resolución. [21]
- Considerar el que el escaneo se ve afectado en la superficie del diente y el molar, al igual que la superficie distal. [22] [23]
- Retirar prótesis o algún objeto de exploración o retenedores. [21]
- Limpieza y secado de los dientes puede afectar en la obtención de los datos. [22]
- Escanear todas las superficies completas ya sea mandíbula o maxilar. [22]

- Verificar que no exista área faltante o fallos en la obtención del escaneado, si existe algún problema escanear nuevamente, debido a que puede afectar al modelo final o la pérdida de precisión. [22]

3.3 Acondicionamiento de la TAC.

Luego de haber sido aprobada es escaneo de la TAC, es necesario acondicionar la imagen con el fin de seleccionar únicamente el tejido óseo con la configuración de umbral de tejido óseo.

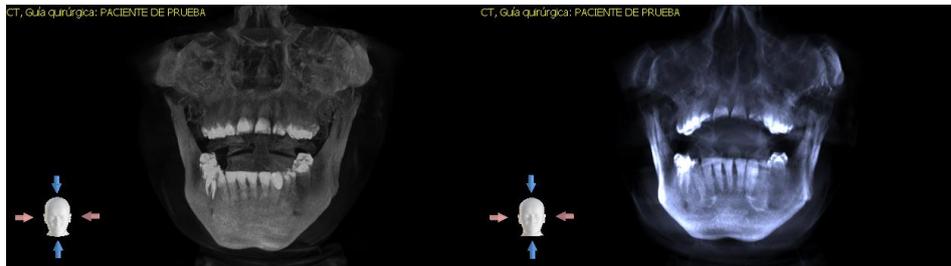


FIGURA 3.4 Acondicionamiento de la TAC. Fuente: Propia

Con la ayuda de un software CAD se realiza la transformación a superficie tridimensional, una vez realizada este proceso se recomienda aislar las superficies y el área de interés como es el caso de maxilar o mandíbula.



FIGURA 3.5 Aislamiento de mandíbula y maxilar. Fuente: Propia

3.4 Diseño de guía quirúrgica dental.

A partir de los archivos tridimensionales, se considera los parámetros que van a influir en la cirugía y con la ayuda del software CAD, Blue Sky Plan 4S se realiza el diseño de la guía quirúrgica a partir del escaneo TAC, intraoral o la alineación de los dos escaneos que me darán una muestra clara, de las superficies de los tejidos blandos de las encías y superficies óseas con el fin de limitar esta cavidad de tejido que no se encuentra al momento de realizar un escaneo TAC.

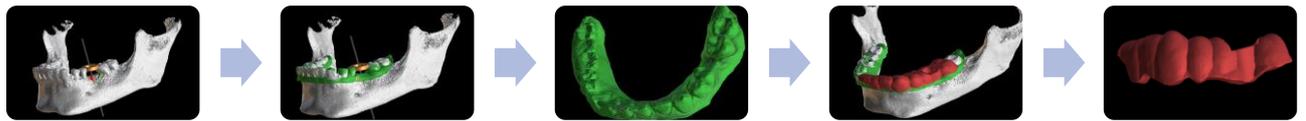


FIGURA 3.6 Secuencia de creación de guía quirúrgica. Fuente: Propia

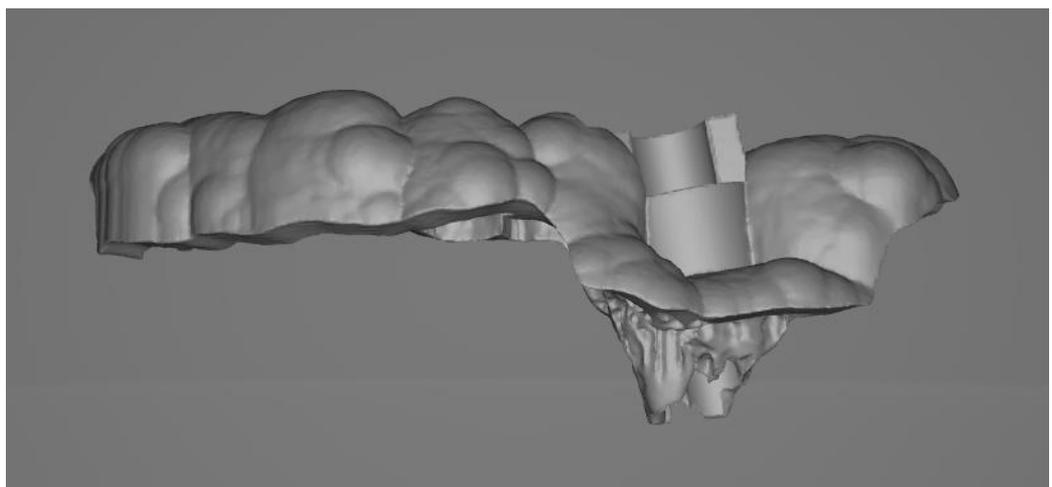


FIGURA 3.7 Guía quirúrgica sin alineación de TAC y escáner intraoral.

Fuente: Propia

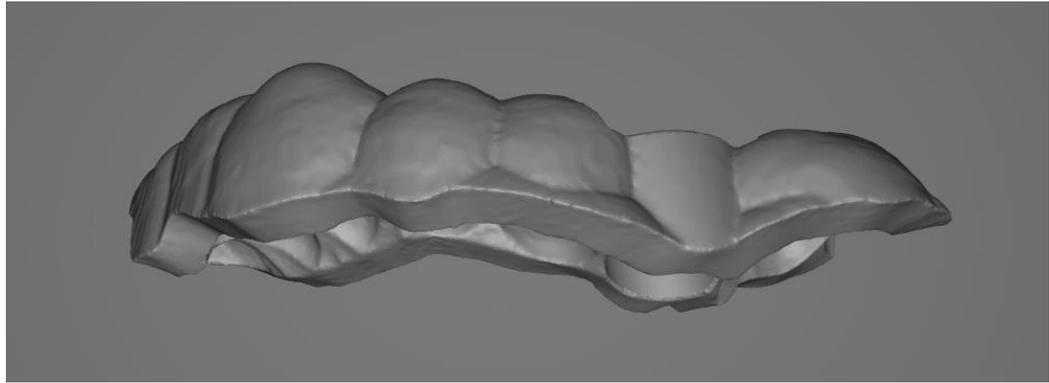


FIGURA 3.8 Guía quirúrgica con alineación de TAC y escáner intraoral.

Fuente: Propia

3.5 Fabricación de guía quirúrgica dental.

Para la fabricación de la guía quirúrgica es importante elegir la correcta tecnología de impresión, debido a que en el área de la odontología se requiere de una impresión de confiabilidad de la calidad, resolución y la precisión, por lo que se recomienda el uso de tecnología de impresión DLP o SLA. Existen diferentes marcas de impresoras en el mercado ya sean comerciales para la industria de manufactura aditiva o especializadas en el área odontológica. La elección de material de impresión se recomienda que sea resistente, ya que se encuentran fuerzas ejercidas alrededor de la guía por el constante movimiento durante la cirugía dental.

3.6 Esterilización.

Existen materiales de impresión sensibles a temperaturas se recomienda utilizar métodos y técnicas de esterilización a baja temperatura o técnicas de temperatura alta el cual es recomendado por el fabricante para mantener la integridad física de la guía. En el caso de realizar implantes dentales se recomienda realizar la esterilización con los anillos de fresado ya introducidos en la guía.

3.7 Implementación de caso de estudio.

Se toma en consideración el caso de un paciente en el cual requiere la colocación de implantes dentales ubicados en la posición #16 (maxilar) y #36 (mandíbula), a paciente anónimo, en el cual se consideró los parámetros planteados anteriormente.

Se realiza el escaneo intraoral y escaneo de TAC para la obtención de las imágenes de escaneo.



FIGURA 3.9 Escaneo con escáner intraoral . Fuente: Propia

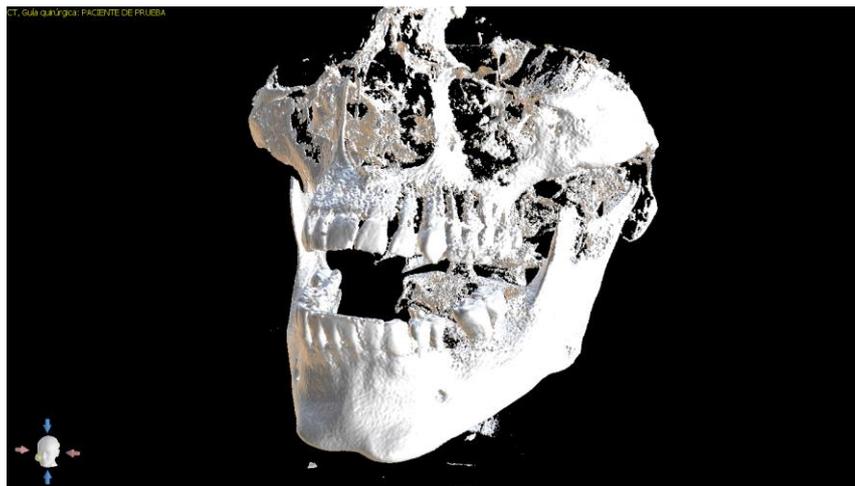


FIGURA 3.10 Tomografía tomada a paciente con los parámetros recomendados.

Fuente: Propia

El acondicionamiento de las imágenes médicas, se realiza en Blue Sky Plan 4S, el cual es un software diseñado por Blue Sky Plan para planificación de tratamiento para odontología. El software es de descarga gratuita el mismo que se puede encontrar en blueskybio.com/pages/download-software, donde se escoge el sistema operativo de preferencia, Blue Sky Plan 4s, mantiene funciones de acondicionamiento de imágenes en la cual se puede realizar operaciones dentro de las cuales puede mejorar y brindar una mejor calidad de las imágenes, partiendo de los cortes axial, coronal y sagital.

El uso de Blue Sky Plan 4s en el procesamiento digital es utilizado el modelado tridimensional a partir del formato DICOM, adquiridos por el TAC, la misma que se recomienda en configurar el umbral de densidad ósea, que me permitirá delimitar la densidad de la superficie y posterior creación del modelo STL.

Para una mejor experiencia de la construcción del modelo 3D, se recomienda aislar la sección a trabajar ya sea mandíbula o maxilar para el posterior diseño de la guía quirúrgica.



FIGURA 3.11 Aislamiento de mandíbula y maxilar. Fuente: Propia

Para proceder con la fabricación de la guía se transpone y se alinea los modelos STL óseo y escaneo intraoral.



FIGURA 3.12 Alineación de mandíbula y escaneo intraoral. Fuente: Propia

Cada implante puede mantener diferentes datos técnicos como longitud, diámetro apical, diámetro oclusal y la posición ya sea en el maxilar superior o mandíbula. La elección del implante es crucial para un éxito de cirugía, ya que depende de varios factores, como la anatomía de la mandíbula o el maxilar, la calidad y cantidad de hueso. La anatomía ósea influye en la elección del tamaño y el tipo de implante ya sea implantes endoóseos (dentro del hueso) e implantes subperiósticos (colocados sobre el hueso), considerando la cantidad de hueso disponible.

El siguiente paso a realizar es la valoración del implante el cual me permite verificar la profundidad de la fresa (Correspondiente a la longitud del implante), violación del tubo guía, distancia mínima, distancia al nervio mínima y el ángulo a implantar. El software brinda una respuesta a si el implante es válido o inválido.

Una vez realizado este proceso de colocación y validación del implante, se procede a realizar la planificación de la guía, en el cual el paso principal a realizarlo es trazar una curva de posicionamiento dental, en el cual la guía va a influir para la posterior generación de la guía y exportación en archivo STL que me va a permitir utilizarlo en la manufactura aditiva.

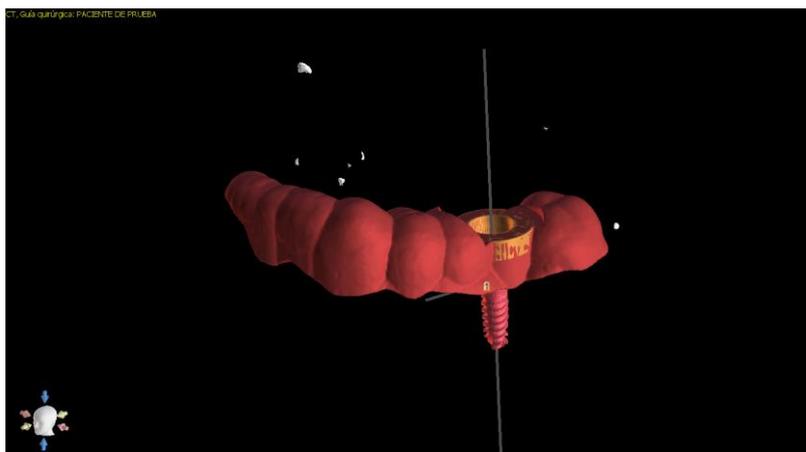


FIGURA 3.13 Generación de modelo de guía quirúrgica en Blue Sky Plan 4S.

Fuente: Propia

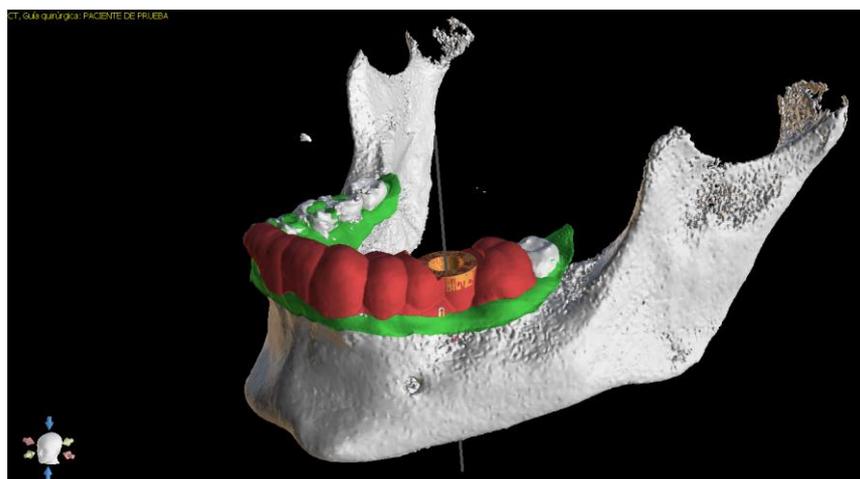


FIGURA 3.14 Guía quirúrgica en mandíbula. Fuente: Propia

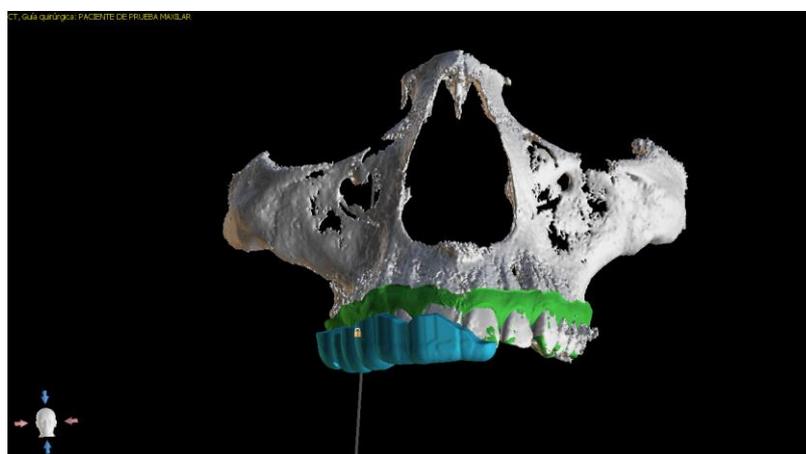


FIGURA 3.15 Guía quirúrgica en maxilar. Fuente: Propia

En la impresión del modelo se realiza en una impresora SprintRay modelo Pro S con tecnología DLP, con material de impresión de resina para guías quirúrgicas, Surgical Guide 3, de la marca SprintRay. La técnica de esterilización que recomienda el fabricante corresponde a 134°C con un tiempo de 5min, con los anillos de fresado introducidos en los agujeros de la guía quirúrgica.

Luego de impresa la guía se realiza un lavado con Isopropanol en el modelo Pro Wash/Dry de la marca SprintRay, para el posterior curado en el modelo ProCure 2 de la marca SprintRay, en el cual permite escoger la resina usada en la impresión con un tiempo de 2:42 min en el área central de la cámara de curado.



FIGURA 3.16 Lavado y secado de guía quirúrgica. Fuente: Propia

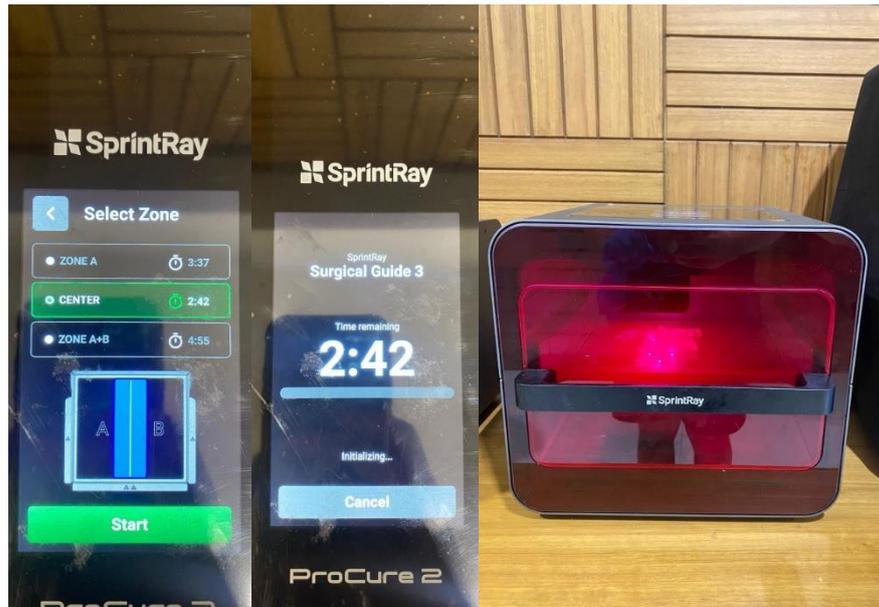


FIGURA 3.17 Curado de guía quirúrgica. Fuente: Propia



FIGURA 3.18 Prueba de guía quirúrgica en modelo. Fuente: Propia



FIGURA 3.19 Guía quirúrgica con anillo. Fuente: Propia

CAPITULO 4

4. RESULTADOS

En este capítulo, presentamos los resultados obtenidos de esta investigación, de acuerdo a los objetivos y parámetros planteados en la Figura 3.1, se realizó un estudio de caso en el cual se obtuvo resultados favorables alcanzando los objetivos planteados. Los resultados fueron recopilados a través de encuesta a un profesional del área de la odontología y el uso de simulación del comportamiento biomecánico.

4.1 Encuesta realizada a profesional sobre la importancia de las guías quirúrgicas.

Se procedió a realizar una encuesta de satisfacción de la valoración de la guía quirúrgica en modelo impreso, con el objetivo de valorar el uso, la ventaja que existe ante el método tradicional y la precisión del método estandarizado. La encuesta fue realizada en la ciudad de Cuenca, Ecuador, a un grupo de especialistas conformado de un odontólogo, dos maxilofaciales y una cirujana oral, en el cual corrobora los parámetros de la Figura 3.1 y una valoración física del posicionamiento del implante, agarre en las paredes de dientes y molares, seguridad de fresado, flexibilidad y resistencia de la guía en un modelo impreso Figura 3.18, para su análisis. A continuación, se procesa a exponer el resultado obtenido, en el cual se considerará cada pregunta con una valencia en la escala de Likert en un rango de 1 al 5, donde 1 es completamente en desacuerdo y 5 es completamente de acuerdo

1. Considerando cómo se realizaba, antes de la impresión 3D, este procedimiento, ¿considera usted que el uso de esta nueva tecnología representa un beneficio en la manera como usted realiza cirugías en sus pacientes?

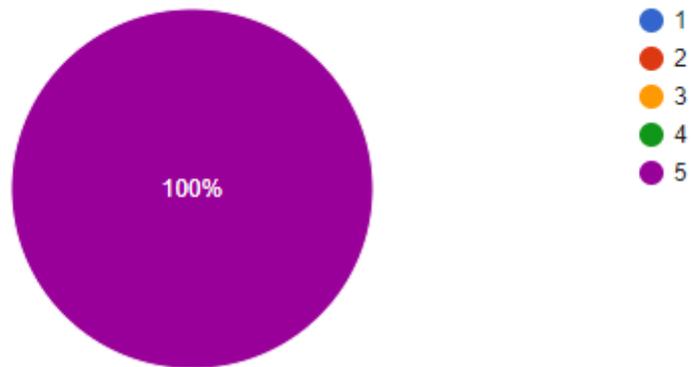


FIGURA 4.1 Repuesta pregunta 1. Fuente: Propia

2. ¿Cree usted que esta tecnología, en su estado actual, está lista para ser usada como un estándar en la asistencia en cirugías dentales?

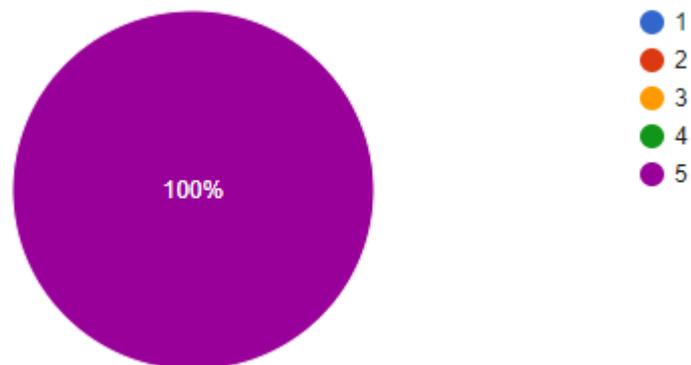


FIGURA 4.2 Repuesta pregunta 2. Fuente: Propia

3. ¿Considera usted que el acabado final de las guías quirúrgicas impresas en 3D es aceptable para la consecución de sus objetivos durante el procedimiento con el paciente?

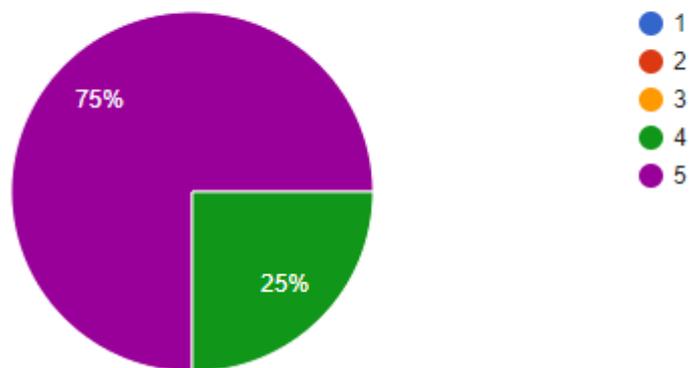


FIGURA 4.3 Repuesta pregunta 3. Fuente: Propia

4. La guía quirúrgica lleva un tiempo de producción de alrededor de 24 horas, ¿Considera usted que el tiempo que toma la creación de una guía quirúrgica, impresa en 3D, es adecuado?

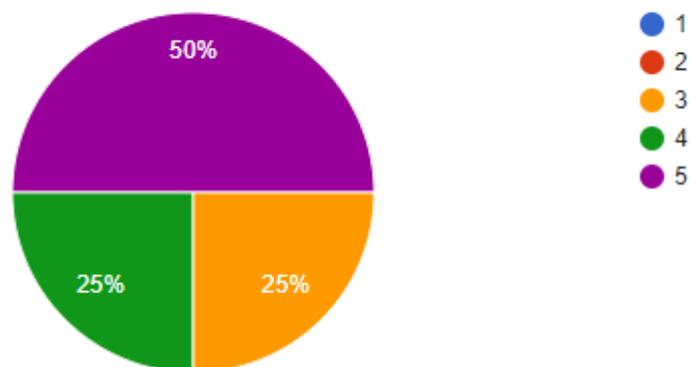


FIGURA 4.4 Repuesta pregunta 4. Fuente: Propia

5. ¿Considera usted que los parámetros para la obtención de las imágenes de escaneo representan un beneficio para futuras implementación de esta técnica en procedimientos?

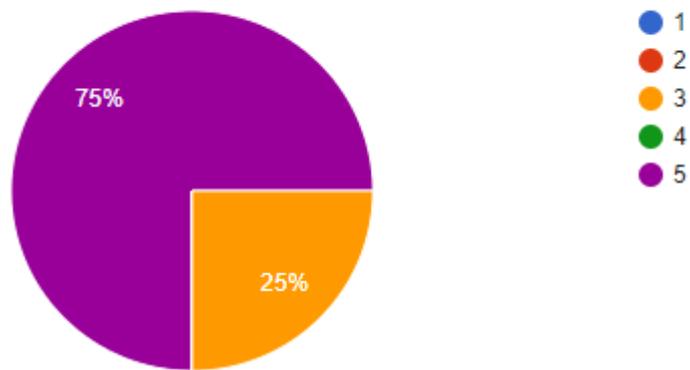


FIGURA 4.5 Respuesta pregunta 5. Fuente: Propia

6. ¿Considera usted que la implementación de la cirugía guiada mantiene optimización en tiempos de procedimientos?

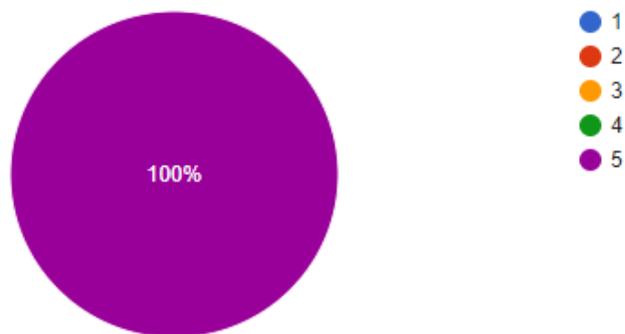


FIGURA 4.6 Respuesta pregunta 6. Fuente: Propia

7. Considerando una cirugía tradicional que genera tiempos de recuperación considerables, ¿Considera usted que la implementación de la cirugía guiada mantiene un impacto positivo en la recuperación post operatoria?

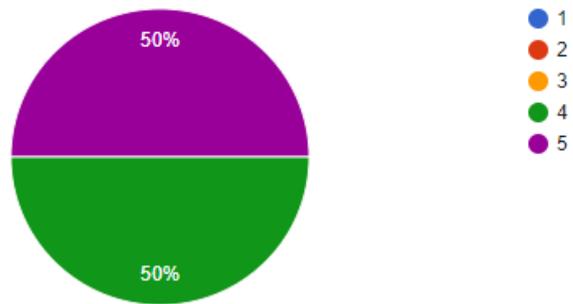


FIGURA 4.7 Repuesta pregunta 7. Fuente: Propia

8. ¿Considera usted que es importante mantener un protocolo que parametrize la adquisición, diseño y fabricación de las guías quirúrgicas?

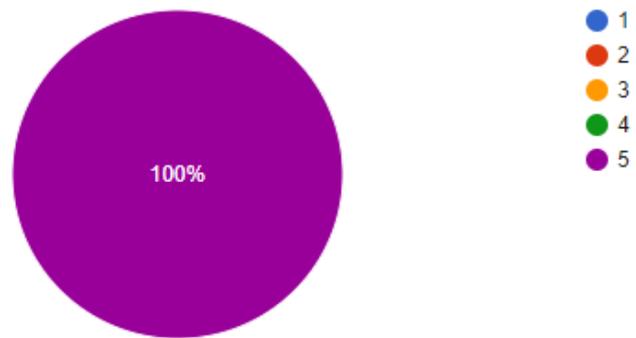


FIGURA 4.8 Repuesta pregunta 8. Fuente: Propia

9. ¿En qué medida crees que la guía quirúrgica mejoró la precisión y la exactitud de la colocación de implantes dentales u otros procedimientos quirúrgicos?

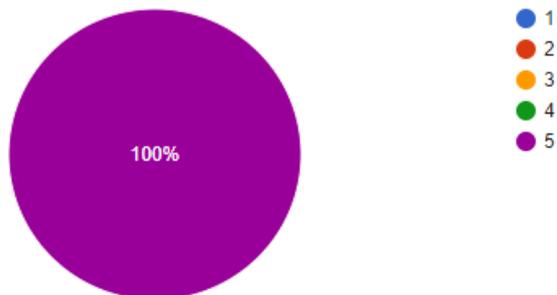


FIGURA 4.9 Repuesta pregunta 9. Fuente: Propia

10. ¿Qué tan probable es que recomendaría este protocolo para el diseño y fabricación de guías quirúrgicas dentales a colegas o compañeros de trabajo en la industria dental?

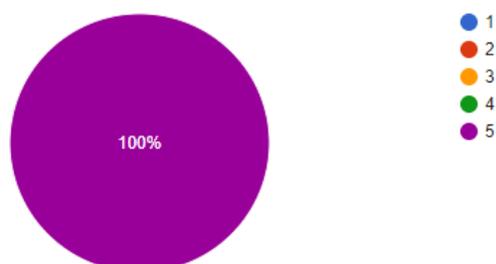


FIGURA 4.10 Respuesta pregunta 10. Fuente: Propia

4.2 Comportamiento biomecánico realizado en una simulación de un software.

Se realiza el análisis de elementos finitos, para simular el comportamiento mecánico de la guía quirúrgica en una cirugía dental, de esta manera previmos el contacto físico con el paciente, y se comprueba la reacción estructural de la guía durante un proceso de cirugía. En el estudio se ejerce una fuerza de 50N vertical a la camisa de la guía recomendada en [6], para simular el fresado y movimiento de la pieza de mano, con las especificaciones técnicas recomendadas por el fabricante del material de impresión utilizada, a continuación, se presentan los resultados de la simulación.

Tabla 4.1 Resultados Análisis de esfuerzo. Fuente: propia

Análisis de Esfuerzo.

Esfuerzo	Mínimo	Máximo
von Mises	7.695E-06 MPa	972.695 MPa
Primera principal	-46.019 MPa	213.245 MPa
Tercera principal	-1038.012 MPa	21.044 MPa

Se presenta la zona que mantiene menos tensión con $7.69E-06$ MPa, mientras que la máxima tensión con 972.965MPa, en el cual es menor a la resistencia del material con 2579Mpa. La Primera principal, es la mayor tensión principal en el cual el valor de -46.019MPa indica compresión y el valor de 213.245MPa indica tensión. La tercera principal es la menor tensión principal, en el cual el -1038.012MPa indica una fuerte compresión en la estructura y 21.044MPa indica una ligera compresión.

[MPa] 0.00  972.695



FIGURA 4.11 von Mises. Fuente: Propia

Tabla 4.2 Resultados de desplazamiento. Fuente: propia

Análisis de Desplazamiento y Deformación.

Desplazamiento	Mínimo	Máximo
Total	0.00 mm	0.205 mm
X	-0.007 mm	0.064 mm
Y	-0.004 mm	0.037 mm
Deformación	Mínimo	Máximo
Equivalente	4.320E-09	0.553
Primera principal	3.038E-09	0.346
Tercera principal	-0.58	1.238E-06

[mm] 0.00  0.205



FIGURA 4.12 Desplazamiento. Fuente: Propia

Se puede observar que el mayor desplazamiento y deformación se ubica en las zonas de apoyo en las cuales se fija con los dientes que se mantiene colocado en los dientes incisivos los cuales dan soporte a la guía y no permite la deformación en la zona de perforación.

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES

Este estudio tuvo como objetivo desarrollar un protocolo que permita optimizar el diseño y fabricación de guías quirúrgicas dentales por medio del uso de manufactura aditiva, para garantizar mayor precisión, eficiencia y seguridad en los procedimientos odontológicos, en los cuales, hasta antes de este estudio, había una ausencia de parámetros y existían guías de procedimientos variados y con diferentes resultados. Por lo tanto, luego de la implementación de este protocolo se obtiene un procedimiento claro y parametrizado de cómo deberían actuar los profesionales frente al diseño y fabricación de guías quirúrgicas dentales del área odontológica.

Se establecieron los parámetros de toma de imágenes en TAC, se recomienda mantener 20 mm de apertura de mandíbula, un rango de campo de visión (FOV) entre 80x80mm-120x120mm, para captar el área de interés, como también el espesor de la capa sea 0.2mm y considerar que la posición del paciente sea la idónea para cada área de interés. Estos parámetros se recolectaron a partir de una búsqueda sistemática de bibliografía. Se estableció que el escáner intraoral se requiere en pocos procedimientos quirúrgicos, manteniendo la importancia para delimitar encías y tejidos blandos, los cuales, no son apreciados al momento de realizar un escáner TAC, manteniendo una gran importancia en el diseño final de la guía quirúrgica.

En el acondicionamiento del escaneo por TAC, se procedió a preestablecer un mejor diseño separando cada área de interés entre mandíbula y maxilar, ya que la posición de la lengua puede interferir con el escaneo final. El diseño de la guía quirúrgica como el acondicionamiento de las imágenes se realizó en el software Blue Sky Plan 4S, en el cual mantiene una secuencia metodológica amigable y avanzada para el diseño de

distintas técnicas de procedimiento en el área odontológica. El tiempo y calidad de acondicionamiento, diseño y generación del archivo STL final de la guía, se relaciona directamente con la capacidades y características del ordenador.

Para la impresión de la guía es primordial, el uso de tecnologías de manufactura aditiva DLP o SLA, para mantener una gran precisión y calidad del modelo final, haciendo uso de un material de impresión recomendado para la fabricación de guías quirúrgicas dentales, considerando las características técnicas de esterilización, elasticidad y rigidez para las fuerzas utilizadas en los procedimientos quirúrgicos dentales.

Esta investigación permitió cumplir con todos los objetivos planteados de manera efectiva y con los resultados obtenidos demostramos la importancia de implementar un protocolo capaz de diseñar y fabricar guías quirúrgicas, dando una alternativa más en procesos de cirugía guiada.

A partir de este estudio se recomienda a los profesionales ampliar el uso de las guías quirúrgicas dentales a diferentes procedimientos quirúrgicos, ya que actualmente su uso en Ecuador está orientado al uso en implantes dentales, por lo tanto, da paso a nuevas líneas de investigación e implementación.

Para uso de tecnología de manufactura aditiva, se recomienda adquirir impresoras con tecnología DLP o SLA, debido a que el modelo final requiere una gran precisión y resolución, de esta manera al momento de fijación en la boca del paciente podrá fijarse a la estructura dental con facilidad y no permitirá que se mantenga suelta.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Yeung, A. A. Abdulmajeed, C. K. Carrico, G. R. Deeb, y S. Bencharit, «Accuracy and precision of 3D-printed implant surgical guides with different implant systems: an in vitro study», *Journal of Prosthetic Dentistry*, vol. 123, n.o 6, pp. 821-828, jun. 2020, doi: 10.1016/j.prosdent.2019.05.027
- [2] O. R. S. René, «Protocolo de creación de biomodelos para planificación quirúrgica de casos complejos de traumatología», 2022.
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/56371>
- [3] I. Gibson, D. W. Rosen, y B. Stucker, *Additive Manufacturing Technologies*. 2015. doi: 10.1007/978-1-4939-2113-3.
- [4] F. R. l'Alzit, R. Cade, A. Naveau, J. Babilotte, M. Meglioli, y S. Catros, «Accuracy of commercial 3D printers for the fabrication of surgical guides in dental implantology», *Journal of Dentistry*, vol. 117, p. 103909, feb. 2022, doi: 10.1016/j.jdent.2021.103909.
- [5] K. V. Wong y A. Hernandez, «A review of additive manufacturing», *ISRN Mechanical Engineering (Print)*, vol. 2012, pp. 1-10, ago. 2012, doi: 10.5402/2012/208760.
- [6] D. Miljanovic, M. Seyedmahmoudian, B. Horan, y A. Stojcevski, «Novel and accurate 3D-Printed surgical guide for mandibular reconstruction with integrated dental implants», *Computers in Biology and Medicine*, vol. 151, p. 106327, dic. 2022, doi: 10.1016/j.combiomed.2022.106327.
- [7] «Guía de impresión 3D mediante sinterizado selectivo por láser (SLS)», Formlabs.
<https://formlabs.com/latam/blog/que-es-sinterizado-selectivo-laser/>
- [8] D. Carbajal, «Ventajas de la integración a la odontología digital. Guía para comparar y elegir el escáner intraoral adecuado.», 2023.
<https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/40349>

- [9] G. Helguero, «HANDOUT - Comparación de tecnologías: proceso de manufactura aditiva»
- [10] N. Sánchez Zamora y I. A. Lira Hernández, «La manufactura aditiva como potenciador de los sistemas productivos», I, vol. 15, n.º 28, pp. 104–112, sep. 2020.
- [11] Od. R. Pino, «Guías quirúrgicas 3D en implantología oral», Plus Odontología, 7 de junio de 2022. <https://plusodontologia.com/guias-quirurgicas-3d-en-implantologia-oral/>
- [12] L. Proaño Miñaca, J. Reyes Landeta, D. Camacho Regalado, y M. Medina Vega, «Aumento de corona clínica por planificación guiada», RO, vol. 24, n.º 2, pp. 30–36, jun. 2022.
- [13] Y. Li, Y. Jiang, N. Zhang, X. Rui, J. Hu, y S. Zhu, «Clinical Feasibility and Efficacy of Using Virtual Surgical Planning in Bimaxillary Orthognathic Surgery Without Intermediate Splint», Journal Of Craniofacial Surgery, vol. 26, n.o 2, pp. 501-505, mar. 2015, doi: 10.1097/scs.0000000000001530.
- [14] L. K. B. Ati, J. F. S. Ledesma, P. Calle, y D. A. P. Parra, «Identificación digital y tecnología de la endodoncia guiada», RECIMUNDO, vol. 7, n.o 2, pp. 107-116, jun. 2023, doi: 10.26820/recimundo/7.(2).jun.2023.107-116.´
- [15] «Ingeniería biomédica. Imágenes médicas», Google Books.
<https://books.google.com.ec/books?id=0KrUsKrVdOYC&lpg=PA9&ots=VKtIMrqemY&dq=que%20es%20im%C3%A1genes%20m%C3%A9dicas&lr&hl=es&pg=PA9#v=onepage&q=que%20es%20im%C3%A1genes%20m%C3%A9dicas&f=false>
- [16] «Tomografía computarizada (TC)», National Institute Of Biomedical Imaging And Bioengineering. <https://www.nibib.nih.gov/espanol/temas-cientificos/tomograf%C3%ADa-computarizada-tc>
- [17] «Las matemáticas y la tomografía».
<https://www.geocities.ws/cytparatodos/vidaytierra/tomografia/index.htm>

- [18] «Protección radiológica - CSN». <https://www.csn.es/proteccion-radiologica#:~:text=El%20t%C3%A9rmino%20ALARA%20corresponde%20a,cuenta%20factores%20sociales%20y%20econ%C3%B3micos>.
- [19] S. Marjudi, F. M. Amran, K. A. Abdullah, S. Widyarto, N. A. A. Majid, y R. Sulaiman, «A review and comparison of IGES and STEP», Proceedings Of World Academy Of Science, Engineering And Technology, ene. 2010, [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Mohd_Fahmi_Mohamad_Amran/publication/215910520_A_Review_and_Comparison_of_IGES_and_STEP/links/0912f507e1d8dd43b3000000.pdf
- [20] MIS Implants Technologies Ltd., «<https://www.mis-implants.com/>», MIS Implants Technologies Ltd. https://www.mis-implants.com/upload/pdf/products/MCENTER/MGUIDE_CBCT_Guidelines.pdf (accedido 30 de abril de 2024).
- [21] A. Chiu, Y. Chen, J. Hayashi, y A. Sadr, «Accuracy of CAD/CAM Digital Impressions with Different Intraoral Scanner Parameters», Sensors, vol. 20, n.o 4, p. 1157, feb. 2020, doi: 10.3390/s20041157.
- [22] Gaby, «Dominando el escaneo intraoral: Tips para impresiones precisas», Reytek, 19 de abril de 2024. <https://reyteklab.com/dominando-el-escaneo-intraoral-tips-para-impresiones-precisas/>
- [23] «Mastering Intraoral Scanning: Tips for Accurate Digital Impressions», <https://www.launcadental.com/>. <https://launcadental.com/es/blog/how-to-take-accurate-intraoral-scans/>