

USO DE LA IMPRESIÓN 3D EN LA IMPLANTOLOGÍA DENTAL Y LA REHABILITACIÓN BUCOMAXILOFACIAL EN CUBA

APPLICATION OF 3D PRINTING IN DENTAL IMPLANT DENTISTRY AND ORCHOMAXILOFACIAL REHABILITATION IN CUBA

Ing. Carla Pascau Carnesoltas - Centro de Neurociencias de Cuba (CNEURO)

Dr. Alfredo Álvarez Rivero - Centro de Investigaciones Médicas Quirúrgicas (CIMEQ)

Dra. Rosany Magaly Denis Echezarreta - Centro de Investigaciones Médicas Quirúrgicas (CIMEQ)

Dra. Wilma Marín Páez - Centro de Neurociencias de Cuba (CNEURO)

Ing. Yaima Contino Matos - Centro de Neurociencias de Cuba (CNEURO)

Resumen

Desde hace varios años la implantología oral y la rehabilitación bucomaxilofacial se han visto muy beneficiadas con el uso de las tecnologías de CAD/CAM y, actualmente, la tendencia mundial es la digitalización de los procedimientos para alcanzar resultados más fiables y estéticamente atractivos. El objetivo principal de esta investigación fue desarrollar dispositivos biomédicos (sistema de accesorios de retención y fijación mecánica para prótesis osteointegradas y guías quirúrgicas para implantología oral) utilizando las tecnologías de CAD/CAM que puedan implementarse en la red de hospitales del Sistema de Salud Cubano. Se utilizaron programas de diseño y simulación, software de visualización y procesamiento de imágenes médicas, impresoras 3D y resinas biocompatibles. Se imprimieron los elementos del sistema de accesorios y las férulas de guía quirúrgica.

Palabras claves: CAD/CAM, guía quirúrgica, sistema de retención de implantes osteointegrados, impresión 3D.

Abstract

For several years now, oral implantology and oral-maxillofacial rehabilitation have greatly benefited from the use of CAD/CAM technologies and, currently, the worldwide trend is the digitization of procedures to achieve more reliable and esthetically appealing results. The main objective of this research was to develop biomedical devices (system of retention and mechanical fixation accessories for osseointegrated prostheses and surgical guides for oral implantology) using CAD/CAM technologies that can be implemented in the hospital network of the Cuban Health System. Design and simulation programs, visualization and medical image processing software, 3D printers and biocompatible resins were used. The elements of the accessory system and the surgical guide splints were printed.

Keywords: CAD/CAM, surgical guide, osseointegrated implant retention system, 3D printing.

1. Introducción

En los últimos años, los avances tecnológicos y científicos han revolucionado el mundo de la odontología y la rehabilitación bucomaxilofacial. Desde los inicios de la implantología a principios del siglo XX, las técnicas quirúrgicas y los protocolos protodóncicos, han sufrido importantes cambios. Actualmente, una de las principales preocupaciones es el conseguir una restauración implanto protésica correcta, no sólo desde un punto de vista protésico, sino también desde el punto de vista biológico y estético(Cornejo et al., 2022; Puricelli & Chem, 2021)(Puricelli & Chem, 2021).

A nivel internacional la implantología dental y la rehabilitación bucomaxilofacial se han visto muy beneficiadas con la aparición de las tecnologías de Diseño Asistido por Computadora y Manufactura Asistida por Computadora (CAD/CAM por sus siglas en inglés) (dos Santos et al., 2020). El desarrollo de programas informáticos ha permitido mejorar considerablemente la eficacia de procedimientos quirúrgicos al brindar la posibilidad de procesar imágenes tomográficas y modelos obtenidos con escáneres de los pacientes para poder realizar una planificación más certera, además de brindar la

posibilidad de diseñar elementos personalizados y adaptables a los sistemas de implantes y herramientas utilizados por los especialistas.

La impresión 3D, que en sus inicios fue concebida únicamente para el prototipado, actualmente ha ampliado su rango de acción y se ha convertido en una herramienta muy versátil que garantiza acabados de alta fidelidad y una calidad excepcional (Cano Vicent & Serrano Aroca, 2021). La investigación en el área biomédica ha permitido sacar al mercado varios materiales para impresión biocompatibles con buenas propiedades mecánicas y estéticas (Barreiro & Serra, 2019; Hernández & Reinecke, 2020; Jose et al., 2021; Woge et al., 2020), esto sumado al desarrollo y perfeccionamiento de nuevas tecnologías de impresión 3D ha permitido elevar la calidad y precisión de los diferentes dispositivos utilizados en la implantología oral y la rehabilitación protésica bucomaxilofacial.

Los elementos desarrollados en esta investigación suponen un gran beneficio. Nuestro país se vería grandemente beneficiado por los elementos que se proponen en este trabajo, ya que, en el caso de las guías quirúrgicas permitiría ejecutar la cirugía con un alto grado de fidelidad a lo concebido por el protesista en la planificación quirúrgica, evitando así daños a los tejidos del paciente, en la actualidad, son contados los hospitales en los que se fabrican este tipo de dispositivos y puesto que los que se confeccionan son manufacturados el margen de error es mayor. Por su parte el set de dispositivos de fijación y retención para prótesis osteointegradas sería de gran ayuda para el país ya que actualmente estos deben ser importados, contar con un diseño propio permite no solo adecuarlo a las necesidades de los hospitales sino que, también, brinda la posibilidad de fabricar de acuerdo a la demanda dentro de nuestras fronteras.

Los objetivos de este trabajo fueron: Elaborar un protocolo para la confección de las férulas de guías quirúrgicas utilizando programas de CAD/CAM e impresión 3D, diseñar cuatro variantes de cilindros para guías quirúrgicas utilizando programas de CAD/CAM, diseñar un sistema de aditamentos para la retención y fijación de prótesis bucomaxilofaciales osteointegradas utilizando programas de CAD/CAM e impresión 3D.

2. Materiales y Métodos

2.1 Guía quirúrgica para implantología oral

2.1.1 Cilindros guía

Los cilindros de las guías quirúrgicas deben guiar efectivamente las fresas de los micromotores sin comprometer la integridad física de la férula, es por esto que, por lo general, se fabrican en metales resistentes y biocompatibles y van acopladas a las mismas por diversos métodos mecánicos y/o químicos.

Para una primera etapa de desarrollo se diseñaron 4 versiones de guías quirúrgicas. A continuación se presentan los modelos con una breve caracterización, los diámetros interiores y exteriores se ajustarán al sistema de implantes que se utilicen en los hospitales en los que se implemente esta tecnología.

2.1.1.1 Versión 1

Guía de 3.2 mm de altura, pared exterior completamente lisa y un espesor de pared constante de 0.4 mm (Fig. 1).

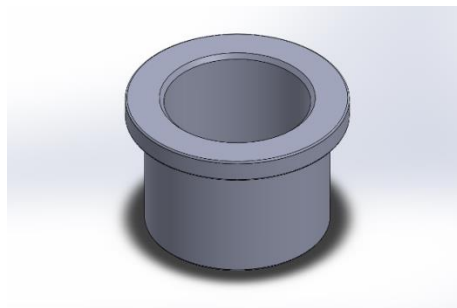


Figura 1. Primera propuesta de cilindro guía.

2.1.1.2 Versión 2.

Guía de 3.2 mm de altura. El diseño cuenta con 3 hileras de crestas con un perfil en forma rectangular de 0.2 mm de ancho y 0.1 mm de altura, con un espacio entre cada una de 0.2 mm. El espesor de pared en la zona lisa de la guía es de 0.4 mm y en las crestas aumenta hasta 0.5 mm (Fig. 2).

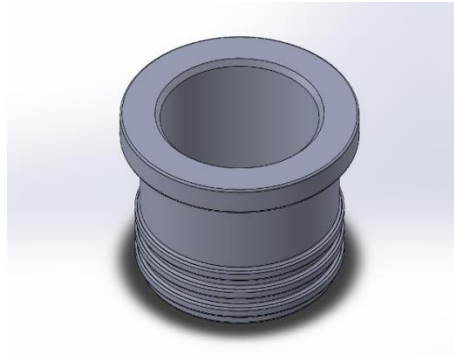


Figura 2. Segunda propuesta de cilindro guía.

2.1.1.3 Versión 3.

Guía de 3.2 mm de altura. El diseño cuenta con 2 guías con un perfil en forma rectangular de 0.8 mm de ancho y 0.4 mm de altura, ubicadas diametralmente en los laterales del cilindro. El espesor de pared en la zona lisa de la guía es de 0.4 mm y en las guías retentoras aumenta hasta 0.8 mm (Fig. 3).

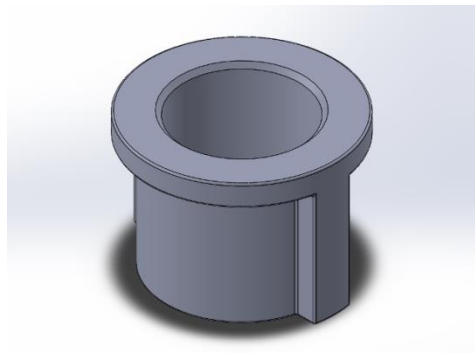


Figura 3. Tercera propuesta de cilindro guía.

2.1.1.4 Versión 4.

Guía de 3.2 mm de altura. El diseño cuenta con 3 hileras de crestas con un perfil en forma triangular con un ángulo en el pico externo de 30° y una altura variable para cada uno, la primera cresta de abajo tiene una altura de 0.1 mm, la segunda 0.15 mm y la tercera 0.2 mm con un espacio entre cada una de 0.2 mm. El espesor de pared en la zona lisa de la guía es de 0.4 mm y en las crestas aumenta hasta 0.5 mm, 0.55 mm y 0.6 mm respectivamente (Fig. 4).

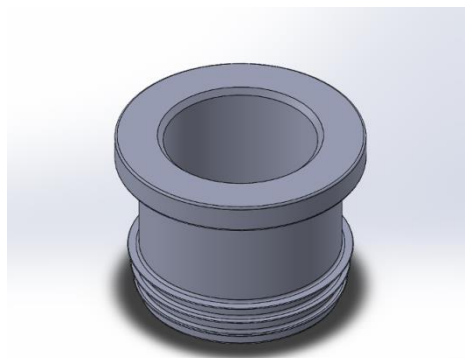


Figura 4. Cuarta propuesta de cilindro guía.

2.1.2 Procedimiento para obtener la férula

Las férulas en la que se posicionarán los cilindros guías se confeccionan para cada paciente, por lo tanto primero se deberá obtener un modelo de la arcada sobre la cual diseñar e imágenes tomográficas para hacer la planificación de la cirugía.

Primeramente se deben obtener las imágenes médicas mediante tomografía axial computarizada. Estas luego serán procesadas en el programa de visualización y edición 3D Slicer, este *software* gratuito permitirá visualizar en todos los ejes la calidad y disponibilidad del hueso, el espacio disponible entre las piezas dentales y otros requerimientos que, con la ayuda de un especialista en implantología, permitirán obtener la planificación protésica ideal para el paciente.

Una vez se llegue a un consenso se ubicará un cilindro en formato STL previamente importado con las dimensiones adecuadas y se desplazará hasta la posición definida. Esto servirá para hacer el corte en la férula donde se posicionará el cilindro guía.

El modelo 3D que se aprecia en 3D Slicer es una renderización basada en las imágenes DICOM del paciente y por lo tanto no se pueden utilizar en otros programas de diseño, por esta razón es necesario importar al área de trabajo un modelo en formato STL de las arcadas del paciente.

Para esto el protesista debe obtener las impresiones del paciente por el método tradicional, utilizando cubetas y alginato, resultando en un modelo de yeso que posteriormente será escaneando con el escáner 3D del fabricante 3Shape disponible en el centro.

Una vez digitalizado el modelo se obtiene un modelo hueco en formato STL con algunos agujeros y fallas en la malla. Estos son procesados con el *software* Meshmixer, pensado para la edición de mallas para su posterior impresión. Efectuados todos los arreglos pertinentes se llega a un resultado más limpio, con únicamente los elementos necesarios e indispensables para facilitar el diseño de la férula (Fig. 5).

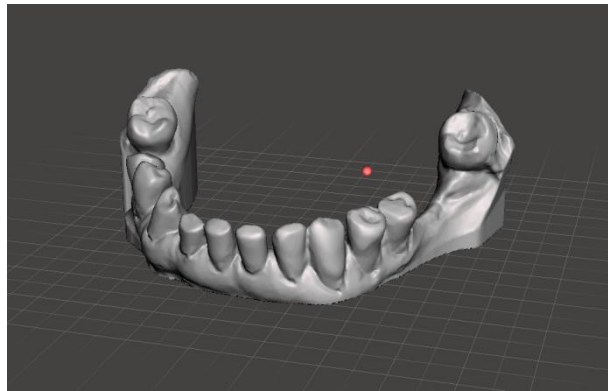
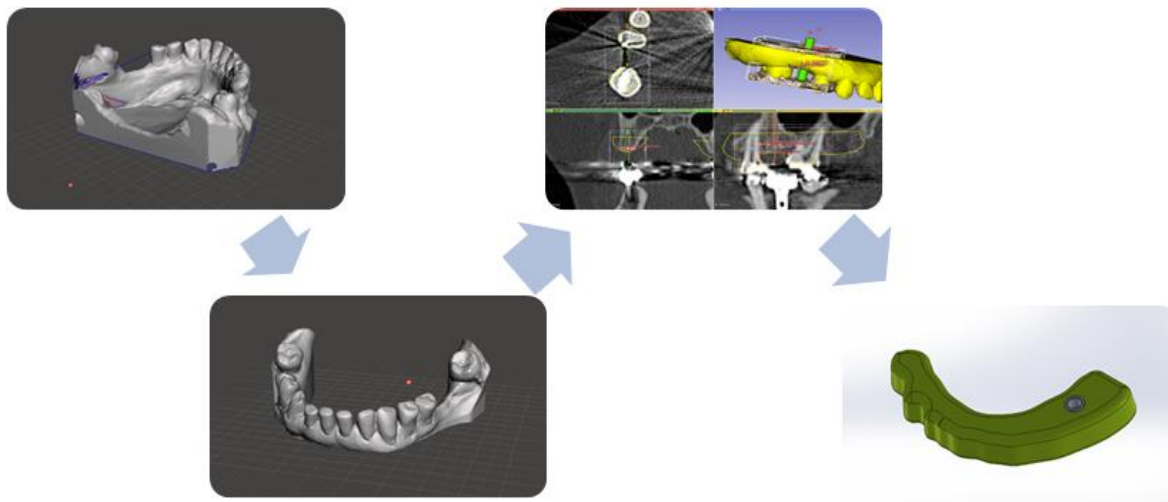


Figura 5. Modelo de la arcada del paciente editado.

Este modelo es importado al 3D Slicer y con las herramientas disponibles en el programa se alinea con el *render* 3D hasta lograr una coincidencia de al menos el 98%. Al superponer ambas estructuras la planificación quedará reflejada también en el modelo STL, entonces se exportarán en este mismo formato el cilindro y la arcada del paciente, es necesario revisar que se guardó la relación entre ambos elementos.

Concluido este proceso se pasa al software de diseño FreeCad y se obtiene por varios procesos un sólido en formato STEP. Con el modelo ya en un formato editable comienza a diseñar como tal el dispositivo. Se importa al software de diseño SolidWorks la arcada del paciente con la planificación incluida y se trazan los croquis necesarios para obtener un sólido y con una operación booleana de resta se obtiene el modelo definitivo de la férula.

Una vez realizadas todas las operaciones se pasa al ensamblaje para corroborar que los elementos de acoplan correctamente entre sí (Fig. 6).



Fi

gura 6. Procedimiento para obtener la guía quirúrgica.

Los componentes luego son impresos, utilizando en el caso de la férula una resina fotopolimerizable biocompatible específicamente formulada para guías quirúrgicas, actualmente el Centro de Neurociencias de Cuba cuenta para la confección de guías quirúrgicas con la resina SurgicalGuide de Formlabs, la impresión de la férula se llevó a cabo en la impresora Form 2 de Formlabs, disponible en el CNEURO.

Para los cilindros se propone utilizar polvos metálicos de acero 316L o la aleación de titanio Ti6Al4V en la impresora 3D SLM.

2.2 SISTEMA DE ACCESORIOS

Hoy en día el sistema barra clips es uno de los sistemas más utilizados de conjunto con los implantes osteointegrados por su gran capacidad de retención, fijación y estabilidad. Una de las principales ventajas de este sistema es la facilidad de colocación y extracción de la prótesis, ello hace que el paciente no pierda tiempo en la colocación diaria, ya que son segundos, frente a los cinco minutos o más que puede emplear un paciente con experiencia para colocar la misma prótesis con adhesivos, pues hay que dejarla secar un poco al aire y luego situar bien la prótesis a la primera sobre la superficie cutánea.

Los diseños que se propone están concebidos para obtenerse por impresión 3D.

2.2.1 Tapón de cicatrización

Hace unos años, al insertar el implante, se cubría con tejido esperando a la osteointegración. Transcurrido un periodo entre 3 y 6 meses, se abría de nuevo para añadir el pilar transepitelial que serviría de conector entre el implante y la prótesis. En la actualidad, se ha avanzado mucho el proceso, ya que en la misma cirugía se coloca el implante y el pilar a la vez y no se cubre con tejido, sino que se protege de forma externa con unos tapones de cicatrización y vendajes en 8 de guarismo entre dichos tapones. El tiempo de espera a la osteointegración se ha reducido notablemente hasta las 6 semanas.

El tapón de cicatrización que integra este sistema de accesorios tiene un diámetro de la base de 9 mm y una altura de 18 mm. El diámetro del cilindro interior depende del sistema de implantes osteointegrados que se utilicen (Fig. 8).

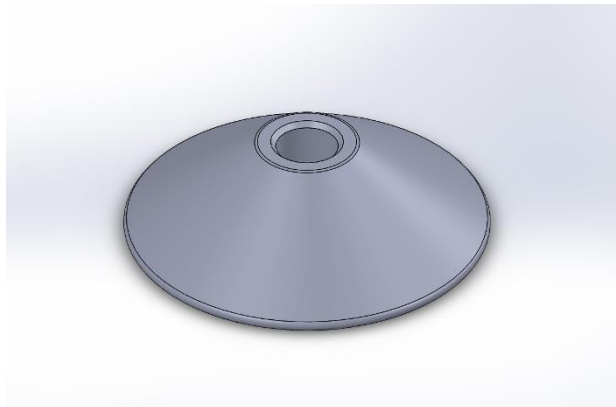


Figura 8. Tapón de cicatrización

Como este elemento puede estar en contacto con tejido sensible por un período prolongado de tiempo se propone el uso de BioMed Clear (Formlabs), resina que en su ficha técnica especifica que es un material biocompatible y bioinerte, para evitar complicaciones. Este elemento se imprime por estereolitografía en la impresora Form 2 (Formlabs).

2.2.2 Cilindros de conexión y barra

Una vez que los tornillos de titanio del implante se osteointegraron es momento de montar la estructura en la que descansará la prótesis, para ello se utilizan los cilindros de conexión y las barras. Las barras se colocan sobre las réplicas de los pilares del modelo de trabajo y se ubican los cilindros de conexión sobre las mismas con cera adhesiva o acrílica.

La barra no debe extenderse más de 8 a 10 mm más allá del pilar para reducir el movimiento de flexión de los accesorios, luego esta estructura se retira del modelo y se procede a colar por el método tradicional.

El cilindro de conexión tiene una altura de 6 mm. El diámetro del cilindro interior depende del sistema de implantes osteointegrados en la que se soportará la estructura (Fig. 9).

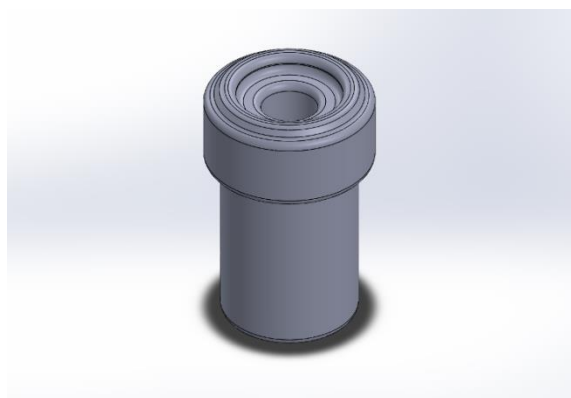


Figura 9: Cilindro de conexión

Las barras miden 25 mm de largo y 2 mm de radio (Fig. 10).

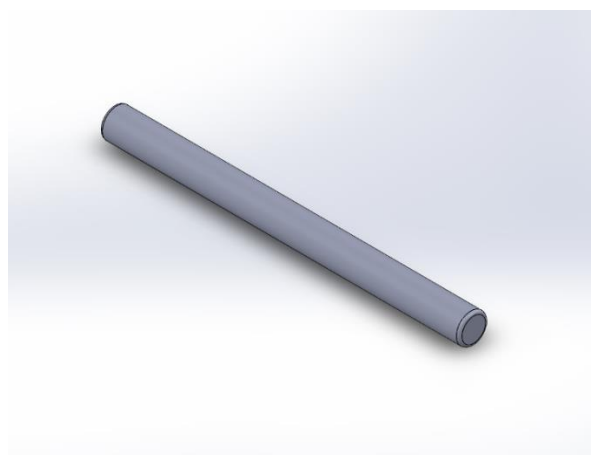


Figura 10: Barra

Ambos elementos se imprimen por estereolitografía en resina fotorpolimerizable calcinable, específicamente las resinas CastableResin (Formlabs) para su uso en la impresora Form 2 (Formlabs), se utiliza la técnica procesamiento digital de luz, DLP por sus siglas en inglés.

2.2.3 Clips de retención

Después de fundida la estructura se revisa cuidadosamente en el modelo de trabajo y en el paciente para determinar si se ajusta pasivamente. Luego se colocan clips de retención en la barra y se hace una placa acrílica; la que se prueba en el paciente para verificar el ajuste y los contornos. Estos clips tienen diferentes ángulos en la apertura que va a acoplarse en la barra, lo que permite seleccionar el más adecuado en dependencia de forma de la prótesis.

Los clips tienen 15 mm de altura total, con crestas de 0.6 mm. La altura del cilindro de anclaje es de 12 mm, el diámetro del cilindro interior es de 1.8 mm y la apertura que permite el anclaje es de 0.7 mm. Los ángulos de las aperturas con respecto a una línea horizontal paralela a la base son de 30°, 60° y 90°. En la Fig. 11 se muestra el diseño de un clip con un ángulo de apertura de 30°

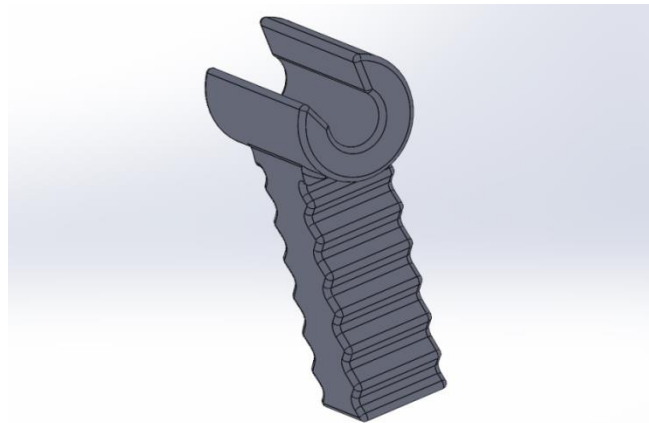


Figura 11. Clip de 30°

Estos elementos se imprimen por estereolitografía, para los clips es recomendable utilizar resinas que una vez curadas tengan cierto nivel de dureza, teniendo esto en cuenta se decidió utilizar la resina Shell-300 (EnvisionTec) para esta primera etapa de desarrollo, la impresora utilizada fue la D4KPro (EnvisionTec).

3. Análisis de los Resultados

Se modelaron e imprimieron los elementos necesarios para confeccionar un set de dispositivos de fijación y retención para prótesis bucomaxilofaciales osteointegradas, esto en un futuro ayudaría a mantener un suministro capaz de satisfacer la necesidad de aquellos pacientes cubanos cuyas prótesis utilicen este tipo de retención.

Se llevó a cabo un análisis por el Método de Elementos Finitos de los clips, ya que estos elementos son los encargados de fijar la prótesis en la estructura que se coloca sobre los implantes osteointegrados y, por lo tanto, es necesario comprobar que el material es capaz de deformarse lo suficiente como para anclarse a la barra sin que sufra daños que comprometan su integridad estructural. Se verificó que, atendiendo a la geometría descrita y la resina seleccionada, los dispositivos serán capaces de soportar las tensiones a las que serán sometidos.

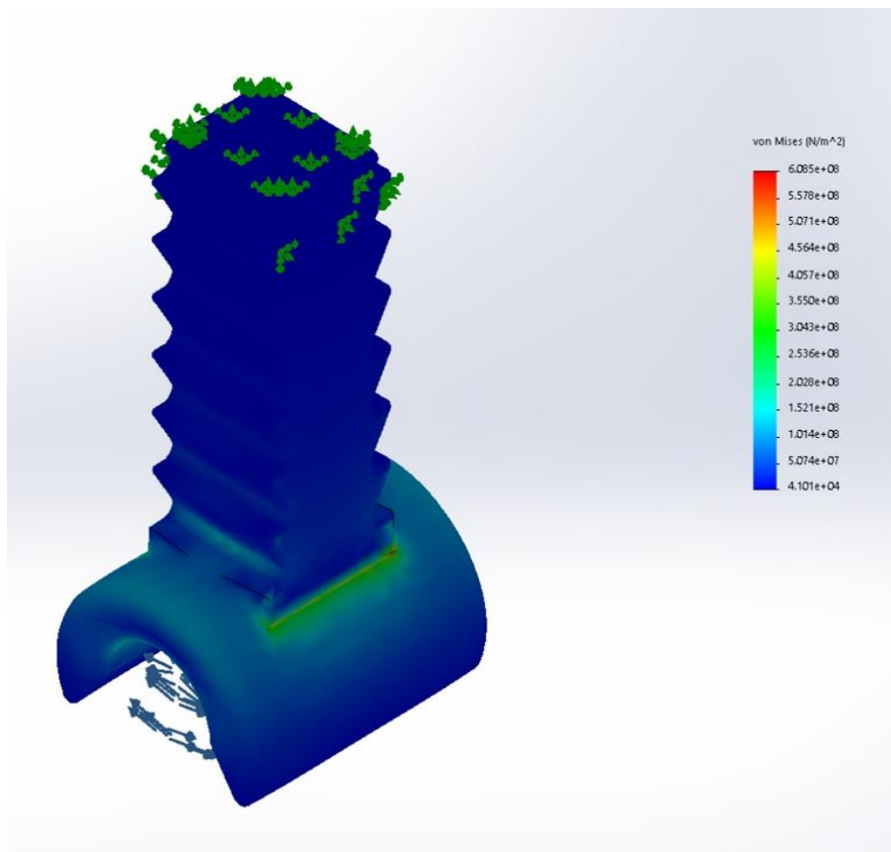


Figura 12: Diagrama de Von Mises del Clip de 90°

Es la primera vez que en Cuba se desarrolla desde su concepción hasta su materialización un protocolo de obtención de guías quirúrgicas utilizando las tecnologías CAD/CAM y de impresión 3D lográndose imprimir utilizando la tecnología DLP, 2 prototipos de férulas de guía quirúrgica, un primero con un espesor de pared variable y otro con 2 mm de espesor constante en toda la férula. Estos dispositivos garantizan llevar a cabo la cirugía de acuerdo a lo planificado por el protesista garantizando que no haya complicaciones para el paciente asociados con la posición del implante.

Para garantizar que las férulas de guía quirúrgica no sufran alguna rotura en el momento de la cirugía, las resinas con las que se impriman deben estar formuladas por los fabricantes específicamente para este uso, además de cumplir ciertas propiedades mecánicas. Según el fabricante Nobel Biotec las férulas de guía quirúrgica deben cumplir con los siguientes estándares:

Tabla 1. Características mecánicas del material para fabricar guías quirúrgicas por impresión 3D.

Datos después del curado	Métrica	Método
Resistencia a la tensión	≥41 MPa	ASTM D 638
Módulo de tracción	≥2030 MPa	ASTM D 638
Elongación hasta la rotura	4 - 7 %	ASTM D 638
Temperatura de distorsión térmica		ASTM D 638
a 66	Psi 41 °C	
a 264	Psi 46 °C	
Resistencia a la flexión	≥50 MPa	ISO 20795-1/ASTM D 790
Módulo de flexión ISO	≥1500 MPa	20795-1/ASTM D 790
Dureza Shore ASTM	≥80 D	D2240

Fuente: Ficha técnica para la fabricación de guías quirúrgicas de la empresa Nobel Biotec

La resina que se utilizó para imprimir los prototipos, la SurgicalGuide de Formlabs cumple con casi todos los parámetros expuestos en la tabla anterior, en comparación con lo recomendado, esta resina tiene una dureza un poco menor y una capacidad de elongación hasta la rotura mayor, sin embargo se encuentra dentro de los rangos permisible, por lo tanto se considera acertada la selección del material. A continuación se muestra la tabla de las propiedades de esta resina poscurada.

Tabla 1. Características mecánicas de la resina SurgicalGuide de Formlabs, formulada para la impresión de guías quirúrgicas

Resina SurgicalGuide (Formlabs)			
Datos	después del curado	Métrica	Método
Resistencia a la tensión		73MPa	ASTM D 638
Módulo de tracción		2900MPa	ASTM D 638
Elongación rotura	hasta la	12 %	ASTM D 638
Temperatura de distorsión térmica a 66 a 264	de	-	-
Resistencia a la flexión		103MPa	ASTM D 790
Módulo de flexión		2500 MPa	ASTM D 790
Dureza Shore		67 D	ASTM D2240

Todos los elementos se imprimieron en 3D con las tecnologías y resinas correspondientes. Se planea en un futuro realizar las pruebas mecánicas pertinentes para validar los resultados obtenidos hasta este momento en la investigación.

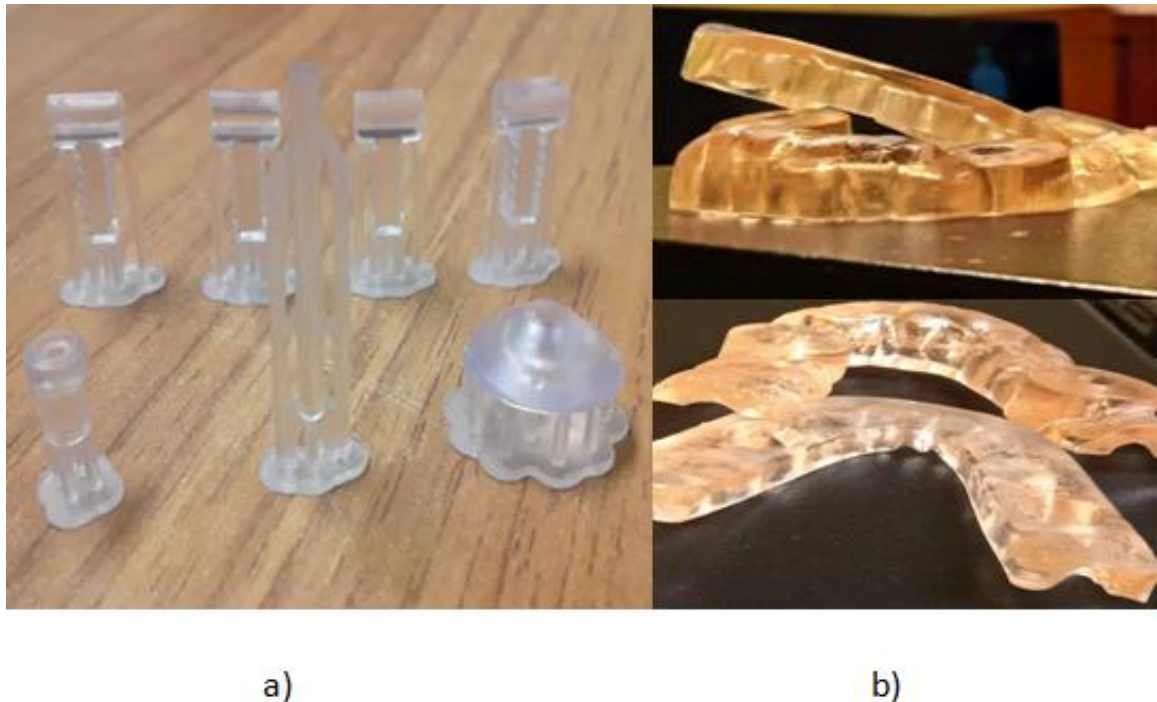


Figura 13. Modelos obtenidos por Impresión 3D a partir de los diseños propuestos

a) Set de accesorios de fijación y retención de prótesis osteointegradas,

b) Prototipos de guías quirúrgicas.

4. Conclusiones

Se obtuvo un protocolo para diseñar y posteriormente imprimir los componentes de las guías quirúrgicas haciendo uso de tecnologías CAD/CAM e impresión 3D. Se diseñaron e imprimieron los elementos de un sistema de retención y fijación para prótesis osteointegradas con programas CAD/CAM y tecnologías de impresión 3D. El desarrollo de estos elementos supone un gran progreso para la implantología oral y la rehabilitación en Cuba ya que permitirá incorporar a los servicios del sistema de salud cubano elementos que eleven la calidad de los servicios brindados y en consecuencia la calidad de vida de los pacientes.

5. Referencias

Barreiro, P., & Serra, J. (2019). Desarrollo de nuevos filamentos para impresión 3D basados

en cerámicas bioinspiradas Development of new filaments for 3D printing based on bio-inspired ceramics. *AEMAC, revista de la asociación Española de materiales compuestos*, 3, 65–69.

Cano Vicent, A., & Serrano Aroca, Á. (2021). Impresión 3D por modelado por deposición fundida: Manejo, funcionamiento y aplicaciones biomédicas. *Nereis. Interdisciplinary Ibero-American Journal of Methods, Modelling and Simulation.*, 13, 227–238.
https://doi.org/10.46583/nereis_2021.13.809

Cornejo, J., Cornejo-Aguilar, J. A., Vargas, M., Helguero, C. G., Milanezi de Andrade, R., Torres-Montoya, S., Asensio-Salazar, J., Rivero Calle, A., Martínez Santos, J., Damon, A., Quiñones-Hinojosa, A., Quintero-Consuegra, M. D., Umaña, J. P., Gallo-Bernal, S., Briceño, M., Tripodi, P., Sebastian, R., Perales-Villaruel, P., De la Cruz-Ku, G., ... Russomano, T. (2022). Anatomical Engineering and 3D Printing for Surgery and Medical Devices: International Review and Future Exponential Innovations. *BioMed research international*, 2022, 6797745. <https://doi.org/10.1155/2022/6797745>

dos Santos, K. W., Rech, R. S., Wendland, E. M. D. R., & Hilgert, J. B. (2020). Rehabilitation strategies in maxillofacial trauma: systematic review and meta-analysis. *Oral and Maxillofacial Surgery*, 24(1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10006-019-00808-8>

Hernández, J. R., & Reinecke, H. (2020). Aplicaciones biomédicas actuales de la impresión 3D y fabricación aditiva. *Revista de plásticos modernos: Ciencia y tecnología de polímeros*, 119(754), 4.

Jose, T., Del, A., & Ramos, A. (2021). *Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecatrónica Desarrollo de prótesis biomédica transradial con impresión 3D para adultos en Huancayo.*

Puricelli, E., & Chem, R. C. (2021). Thirty-eight-year follow-up of the first patient of mandibular reconstruction with free vascularized fibula flap. *Head and Face Medicine*, 17(1).
<https://doi.org/10.1186/s13005-021-00293-z>

Woge, O. G., Morán, C. O. G., & Chau, A. L. (2020). Introducción al método del elemento finito: Solidworks y Matlab. *Ideas en Ciencias de la Ingeniería*, 1(1), 27–47.
<https://ideasencienciasingenieria.uaemex.mx/article/view/14589>