

Validación de la utilización de los escáneres XYZ Scan y Astra 3d, para el diseño e impresión 3D de una prótesis ocular.

Validation of the use of XYZ Scan and Astra 3d scanners, for the design and 3D printing of an ocular prosthesis.

L. Bonivento *, V. Cadena *, M. Escobar *, K. Pájaro

{ loreidys.bonivento, valeria.cadena, maria.escobar1, karina.pajaro @unisimon.edu.co – {Jcontreras} @unisimonbolivar.edu.co

Estudiantes de Ingeniería Biomédica *Profesor investigador del grupo: Jheison Contreras Salinas*

Universidad Simón Bolívar, Barranquilla-Colombia

Resumen | La intención del presente artículo es mostrar datos de relevancia que permitan establecer la funcionalidad de los scanner XYZ Scan y Astra 3D, en la realización de un prototipo de reproducción 3D de volumen escaneado, por medio del software SolidWorks, que ayude a la optimización del procedimiento actual de la manufactura de prótesis oculares, puesto que la modernización de este proceso representa un mejoramiento en la calidad de atención en salud y en la calidad de vida de los pacientes.

Palabras clave: | Scanner, Prótesis ocular, impresión 3D, Polimetilmetacrilato.

Abstract | The intention of this article is to show relevant data to establish the functionality of the XYZ Scan and Astra 3D scanners, in the realization of a prototype of 3D reproduction of scanned volume, by means of SolidWorks software, which helps to optimize the current procedure for the manufacture of ocular prostheses, since the modernization of this process represents an improvement in the quality of health care and in the quality of life of patients.

Keywords: | Scanner, Ocular prosthesis, 3D printing, Polymethylmethacrylate, Polymethylmethacrylate.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel regional para el año 2010 según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) en el departamento del Atlántico habían alrededor de 7.729 personas las cuales presentaban alteraciones en sus ojos, siendo la discapacidad con mayor número de pacientes. Después de la realización de un proceso de enucleación, el cual consiste en la extracción total o parcial del ojo, se tienen dos opciones: el uso de una prótesis ocular o el uso de parches. La prótesis ocular actualmente es realizada con un alto grado de manualidad [1]. En Colombia el proceso de obtención de una

prótesis ocular tiene un tiempo indefinido, ya que al no estar contempladas en el Plan Obligatorio de Salud (POS), su adquisición depende en gran medida de la capacidad adquisitiva del paciente; En general la duración en la realización de este proceso es de 3 a 7 días para pacientes privados mientras que para aquellos que realizan el proceso con las Empresas Administradoras de Planes de Beneficio (EAPB) puede llegar a tardar meses. Esta situación no hace más que generar una afectación negativa en la salud mental del paciente ya que esta larga espera produce altos niveles de estrés, impaciencia, y crea una sensación de incertidumbre que a la larga termina en una afectación en la autoestima del sujeto.

La impresión 3D es un proceso por el que se crean objetos físicos a través de la colocación de un material en capas a partir de un modelo

digital. Por lo tanto, se trata de un proceso en el que se establece un objeto físico en tres dimensiones a través de un objeto o modelo digital mediante una impresora 3D que puede usar diferentes tecnologías y materiales para ir superponiendo capas hasta crear una réplica perfecta. Antes de comenzar con el proceso de impresión, es el software de impresión el que se encargará de separar la impresión en capas tan finas como el plástico de salida que se va a utilizar.

El presente trabajo tiene como objetivo general validar la utilización de los escáneres XYZ Scan y Astra 3d, para el diseño e impresión 3D de una prótesis ocular y así optimizar el procedimiento actual de creación de prótesis. Logrando con esto el montaje de un prototipo de reproducción 3D de volumen escaneado. Así pues, probar la compatibilidad de tecnología de escaneado 3D actual, definiendo la calidad conseguible con tecnología de impresión 3D con Polimetilmetacrilato (PMMA).

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La enucleación es un procedimiento quirúrgico el cual tiene como objetivo la extirpación completa del globo ocular, en donde se retiran los contenidos internos del ojo y de la esclera (capa externa que envuelve el ojo). Los músculos que controlan el movimiento del ojo quedan intactos y se suturan al implante esférico ocular realizado con un material biocompatible (polimetilmetacrilato). Este procedimiento se hace cuando la persona tiene algún tipo de traumatismo ocular, cáncer o tumor como el melanoma corioideo en caso de adultos y la retinoblastoma en caso de niños.

Una de las zonas más vulnerables de la persona la constituye el rostro por ser la más visible, y cuya alteración tiene una mayor repercusión tanto social como psicológica [2], es por esto que a pesar de ser posible llevar a cabo una vida normal con la visión de un sólo ojo, la pérdida del globo ocular supone importantes consecuencias psíquicas para el paciente. Actualmente existen dos opciones: tapar el ojo o colocar una prótesis ocular. Una de las prótesis maxilofaciales más comunes son las oculares debido que el ojo es el órgano más sensible o delicado en comparación con los del resto de la cara [3], según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) para el año 2010 en el departamento del Atlántico habían alrededor de 7.729 personas las cuales presentaban alteraciones en sus ojos (Tabla 1).

Tabla 1. Población con registro para la localización y caracterización de las personas con discapacidad por estructuras o funciones corporales que presentan alteraciones, según municipio.

Departamento y Municipios	Alteración		
	Los ojos	Los oídos	Los demás órganos de los sentidos (olfato, gusto, tacto)
Barranquilla	1.658	846	60
Baranoa	121	58	10
Campo De La Cruz	299	99	35
Candelaria	109	71	18
Galapa	611	200	32
Juan De Acosta	170	93	88
Luruaco	326	120	47
Malambo	527	244	69
Manatí	300	131	68
Palmar De Varela	222	101	132
Piojó	66	33	10
Polonuevo	93	31	7
Ponedera	385	136	27
Puerto Colombia	108	55	13
Repelón	621	196	39
Sabanagrande	102	51	28
Sabanalarga	698	334	279
Santa Lucía	125	40	11
Santo Tomás	181	89	100
Soledad	476	270	75
Suan	232	63	10
Tubará	239	97	19
Usiacurí	60	27	2
Total	7.729	3.385	1.179

Fuente: DANE marzo 2010 - Dirección de censos y demografía.

Para la realización de este tipo de prótesis se debe llevar a cabo múltiples sesiones con el paciente en el laboratorio en las cuales se realizan diferentes mediciones y tipos de pruebas epicutáneas de alergias a materiales para adaptarse a cada paciente, luego de esto la prótesis pasará a un proceso en donde se pinta y se maquilla cada detalle del iris del ojo del paciente (venas y rasgos característicos). Hoy en día, con base a las consultas realizadas, la gran mayoría de procedimientos relacionados a la fabricación de la prótesis es hecho a mano lo cual implica un prolongado tiempo de espera, que va desde 3 a 7 días para pacientes privados y un tiempo indefinido para aquellos que realizan el proceso con las EAPB, lo que genera

molestias y disconformidad al paciente. Partiendo de esta problemática es donde surge la necesidad de optimizar el procedimiento de fabricación de la prótesis ocular a través de la utilización de scanner 3D e impresión 3D, para que esta tenga una corta duración (1 o 2 días), sin dejar de lado la funcionalidad y estética.

DESARROLLO DEL ARTICULO

III. MARCO TEÓRICO.

El proceso de fabricación de prótesis oculares se ha transformado a través de la historia. En principio se crearon con finalidad artística elaborados en diferentes materiales como madera y oro. En la actualidad son dispositivos médicos artificiales que se fabrican en materiales como polimetilmetacrilato por sus características fisicoquímicas y buena biocompatibilidad, y cuyo propósito es la restauración estética, anatómica y en parte funcional de pacientes que presentan pérdida o malformación del globo ocular de origen congénito o adquirido (trauma o patología).[3]

Su construcción involucra varios procesos, los cuales buscan alcanzar una buena comunicación con el paciente para conocer sus expectativas.

Los procesos principales en dicha fabricación son:

- Realización de la copia de la cavidad orbitaria o impresión;
- fabricación de un molde en yeso a partir de dicha impresión;
- realización de una copia en material plástico - Polimetilmetacrilato-, mediante el proceso de polimerización;
- sobre su superficie anterior, el pintado para copiar las características del ojo (iris y vasos sanguíneos);
- finalmente, el pulido de la superficie, con materiales abrasivos para obtener la apariencia brillante y lisa de un ojo normal.[3]

La prótesis ocular conocida como ojo artificial u ojo protésico es un dispositivo médico sobre medida para la salud visual y ocular que restaura estéticamente la pérdida total o parcial del globo ocular. Se caracteriza fundamentalmente por una superficie convexa donde se ilustran con exactitud todos aquellos detalles de la esclera, iris, pupila, cámara anterior y venas del ojo sano del paciente en

tratamiento, también cuenta con una superficie cóncava diseñada como contra molde de toda la cavidad orbitaria.[4]

El ojo humano

El ojo es el órgano de la vista. Éste es un globo hueco casi esférico lleno de líquidos (humores). La capa o túnica externa (la esclerótica o blanco del ojo y la córnea) es fibrosa y protectora. La capa de la media (compuesta por la coroides, el cuerpo ciliar y el iris) es vascular.[5]

Moore y Dalley, dos profesores distinguidos en el área de la anatomía, definen el globo ocular como el aparato óptico del sistema visual; el cual ocupa la mayor parte de la porción anterior de la órbita, es decir; todas las estructuras anatómicas del interior del globo ocular. Conformado por tres capas y una capa de tejido conjuntivo laxo que esté alrededor de todo el globo ocular, la cual permite los movimientos dentro de la órbita. Esta capa de tejido conjuntivo laxo está formada por detrás de la fascia bulbi, la cual forma un bolsillo para el globo ocular, y por delante de la conjuntiva bulbar.[6]

Duración de las Prótesis Oculares.

Con respecto a la prótesis ocular se realiza una revisión periódica cada 6 meses aproximadamente, así como un completo pulido del material para eliminar porosidades. La prótesis ocular tiene una vida útil de 2 a 3 años para realizar el próximo cambio, o también se tiene la posibilidad de hacer una modificación a esta y si se lleva a cabo se deberá readaptar la prótesis.[7]

Impresión 3D.

La impresión 3D, también llamada manufactura por adición (inglés), es un conjunto de procesos que producen objetos a través de la adición de material en capas que corresponden a las sucesivas secciones transversales de un modelo 3D.[8] El proceso de la impresión de la pieza comienza realizando un modelo virtual del dispositivo que se quiere imprimir, también se tiene en cuenta cuál será la materia prima utilizada al momento de la fabricación.

El software utilizado se llama Computer-aided design (CAD) su funcionamiento consiste en la división del modelo CAD en capas horizontales o verticales dependiendo este del diseño y la impresora. Esta información es enviada a la impresora 3D que materializa el modelo a través de la superposición de estas capas hasta obtener una representación física del modelo digital.[7]

Material biocompatible.

Un material biocompatible es aquel que no genera un proceso tóxico para las células al estar en contacto con alguna membrana del cuerpo en este caso con la órbita ocular, generando algún rechazo o proceso de infección

por alterar la flora natural del tejido expuesto. Es un material compatible con el cuerpo humano.[9] Para nuestra prótesis ocular implementaremos un material biocompatible polimérico llamado Polimetilmetacrilato.

Huesos y estructura de la órbita ocular

La órbita se describe como una cavidad ósea profunda que representa una estructura común al cráneo y la cara.

En la órbita encontramos el canal óptico, ubicado en la base del ala menor del esfenoides, y dos fisuras; la fisura orbitaria superior, delimitada entre el ala menor y el ala mayor del esfenoides, y la fisura orbitaria inferior, ubicada en la región más posterior del límite entre las paredes lateral e inferior de la órbita (ala mayor esfenoidal y maxilar-palatino respectivamente). En la porción anterior y baja de la pared medial se encuentra una fosa para el saco lagrimal, delimitada por las crestas lagrimales anterior y posterior, y hacia inferior el inicio del canal lacrimonasal, el que termina abriéndose en el meato inferior de la cavidad nasal de cada lado. Así mismo a nivel anterior y lateral del techo se encuentra una fosa amplia, donde descansa la glándula lagrimal principal, llamada fosa lagrimal.[10]

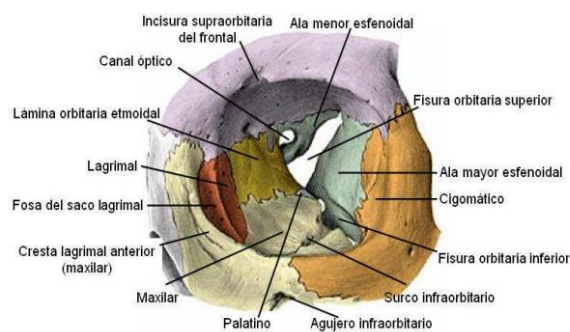


Figura 1. Cavidad orbital

Fuente: https://oftalandes.cl/assets/uploads/2017/07/morfologia_ocular_-_dr_espech.pdf

1. Reborde orbitario:

- Margen superior: hueso frontal
- Margen medial: apófisis frontal del maxilar
- Margen inferior: apófisis cigomática del maxilar

y hueso cigomático

- Margen lateral: apófisis cigomática del hueso y apófisis frontales del hueso cigomático

2. Vértice: agujero óptico.[10]

Tiene forma de pirámide cuadrangular cuya base está representada por el reborde orbitario y cuyo vértice apunta hacia atrás y hacia adentro, siendo representado por la hendidura esfenoidal.[11]

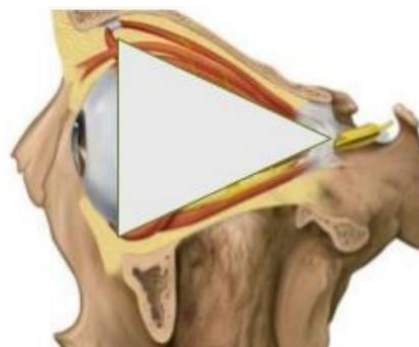


Figura 2. Forma de la cavidad orbital

Fuente:

<https://clasesparticularesdebioquimica.files.wordpress.com/2018/08/visic3b3n-anato.pdf>

Astra 3D camera



Figura 3. Astra 3D camera

Fuente: Propia

Las cámaras Astra 3D permiten docenas de funciones a través de tales como reconocimiento facial, reconocimiento de gestos, seguimiento del cuerpo humano, medición tridimensional, percepción del entorno y reconstrucción de mapas tridimensionales.[12]

A continuación, se presenta en la tabla 2 las especificaciones técnicas del Scanner Astra 3D

nombre del producto	Astra
Rango	0,6 m-8 m
campo de visión	60°H x 49,5°V x 73°D
Resolución de imagen RGB	640x480 @30fps
Resolución de imagen de profundidad	640x480 @30fps
Tamaño	165mm x 30mm x 40mm
La temperatura	0 – 40°C
Fuente de alimentación	USB 2.0
El consumo de energía	< 2,4W
Sistemas operativos	Android/Linux/Windows7/8/10
SDK	Astra SDK u OpenNI 2 o SDK de terceros
Precisión	+/- 1 – 3 mm a 1 metro
Micrófonos	2 incorporados

Tabla 2. Especificaciones técnicas Scanner Astra 3D
Fuente: <https://shop.orbbec3d.com/Astra>

Scanner XYZ



Figura 4. XYZ Scan
Fuente: Propia

Tiene una capacidad de escaneo y velocidad de procesamiento con un rango de funcionamiento entre 25-60 cm y permite escanear objetos grandes o pequeños a distancias de 20-120cm, El escáner permite usar varios formatos de exportación tales como: stl, .obj, .ply y .fbx para imprimir sus modelos y crear rápidamente modelos en 3D para desarrollo de juegos en 3D, realidad virtual o presentaciones inmersivas de realidad aumentada.[13]

Impresora 3D Tairona pulsa XL



Figura 5. Impresora Tairona pulsa XL.
Fuente: propia.

La impresora Tairona XL tiene una estructura y una base para cama caliente en cortes de acero Inoxidable de unos 3mm, realiza movimientos cartesianos (x,y,z) por medio de motores de paso Nema. Cuenta con volúmenes de impresión 30 cm largo x 20 cm ancho x 30cm alto, trabaja con temperaturas entre 10° a 32°, es una impresora 3D de código abierto, operada por Software libre.[14]

Impresora Ender



Figura 6. Impresora Ender.
Fuente: Propia

La impresora Ender tiene una tecnología de impresión FDM (Modelado por deposición fundida), en ella se puede utilizar los materiales como: PLA, ABS, PETG, TPU, Cuenta con un área de impresión de 220x220x250mm, su temperatura máxima de impresión es 260°C. La plataforma de impresión es hecha en vidrio Carborundum (carburo de silicio) UltraBase. Tiene una pantalla LCD Pantalla 4,3 pulgadas no táctil que se utiliza por medio del potenciómetro, la transferencia de archivos se realiza por medio de Tarjetas MicroSD / Micro USB,[15]

IV. ESTADO DEL ARTE.

La investigadora Sara Jiménez, en su artículo "Competencias del optómetra en adaptación de prótesis oculares", resalta algunas complicaciones debido a la mala adaptación de prótesis oculares y el mal manejo que le dan los usuarios a estos dispositivos médicos, también se realizó una encuesta a optómetras y estudiantes de último semestre en el área de las prótesis oculares. Como resultados se obtuvo un total de 5 optómetras encuestados, de los cuales el 83% tiene dificultades para adaptar prótesis ocular. [16]

La investigadora Gómez Flórez en el 2012 desarrolló una indagación encaminada a identificar un método de fabricación de prótesis oculares con polimetilmetacrilato (PMMA) cual correspondiera a un proceso científico de fabricación en una fase exploratoria y una experimental en donde se pudieran describir los materiales, equipos para los procesos de toma de impresión, diseño estético y acabado. La autora, plantea por otra parte, que no existen investigaciones semejantes publicadas sobre la aplicación del PMMA a prótesis oculares. [15]

Gómez 2010, en su artículo "Una mirada a las prótesis oculares" realizó un estudio donde recalca los cambios que ha tenido la elaboración de prótesis oculares en el tiempo, generando como dispositivos artísticos, y en la actualidad como dispositivos médicos elaborados en PMMA, cumpliendo la función de una restauración estética y anatómica para pacientes con pérdida del globo ocular [15] Cevik, Dilber & Eraslan, plantearon en una investigación basada en técnicas diferentes en los que se pueden construir o elaborar una prótesis ocular en el 2015 a la medida con pacientes que presentan diferentes enfermedades en el ojo; la investigación plantea el caso de 3 pacientes. El primero le realizaron una enucleación del ojo debido a un accidente que tuvo 20 años atrás, un hombre de 45 años de edad con pérdida del ojo derecho; el segundo un paciente que perdió el ojo hace 10 años y no fue posible colocarle una prótesis ocular, cuenta

con 81 años de edad. El tercer paciente es un hombre de 78 años de edad, con pérdida del ojo derecho, el cual presentaba una prótesis en mal estado debido a 10 años de uso. [12]

Cortés Linares y Karol Yissely, de la universidad de Antonio Nariño, realizaron una investigación descriptiva, la cual permite identificar las características y destacar las ventajas de una nueva alternativa para la fabricación de prótesis oculares mediante la impresión 3D, con la cual se podrá obtener una pieza totalmente personalizada y de mejor adaptabilidad para el paciente anoftálmico.[17]

V. METODOLOGÍA

Etapas 1 Evaluación de Scanner e impresoras 3D

Durante este período de 1-3 semanas, se buscó revisiones de dispositivos de escaneo en donde se tomarán en consideración los siguientes puntos a evaluar:

Para los Scanners:

- Probar los escáneres y sus diferentes resoluciones
- Determinar debilidades para la aplicación.
- Definir estrategia de diseño de mejora.

Para las impresoras:

- Compatibilidades con CAM.
- Algoritmo de procesamiento y el código de control numérico
- Formato de la entrada de datos

Etapas 2 Diseño y desarrollo de Hardware.

Durante este período aproximadamente de 3 a 6 semanas, se diseñaron y desarrollaron el Hardware a utilizar para ello se realizaron las sgtes. actividades:

- Diseño conceptual de máquina nueva
- Diseño de detalle de prototipo
- Fabricar prototipo, hacer pruebas y ajustes.
- Documentar el diseño de detalle definitivo EYA 3D_1.0

Etapas 3 Diseño y desarrollo de Software.

La fase de diseño y desarrollo de software tuvo una duración de 2 a 12 semanas, durante los cuales se buscó lo siguiente:

- Programar módulos de software de escaneo, impresión, control numérico.
- Desarrollar modelo matemático de algoritmo para procesar

VALIDACIÓN DE ESCÁNERES XYZ SCAN Y ASTRA 3D, PARA EL DISEÑO E IMPRESIÓN 3D DE UNA PRÓTESIS OCULAR.

información geométrica y cinemática, y solucionar incompatibilidades de software original.

- Prototipar procesamiento IA de reconocimiento de imagen de ojo, patrones y generación de apariencia de prótesis.
- Creación de base de datos para el proyecto.

Etapa 4 Revisión

Para esta fase se toman las recomendaciones y errores cometidos en las fases anteriores y así se diseñó producto nuevo Prótesis EYA 3D 2.0 con materiales biocompatibles.

VI. RESULTADOS

Para la realización de pruebas con los scanner se trabajó con 3 de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

Primeramente, se probó el Scanner Astra 3D, el cual proporciona una visión por ordenador que permite docenas de funciones como el reconocimiento facial, el reconocimiento de gestos, el seguimiento del cuerpo humano, y la medición tridimensional. A pesar de la gran variedad de funciones que brinda el Astra 3D durante las pruebas de funcionamiento, se concluyó que este no era apto para su aplicación en este proyecto puesto que no suministraba los datos requeridos para la realización del diseño de la prótesis.

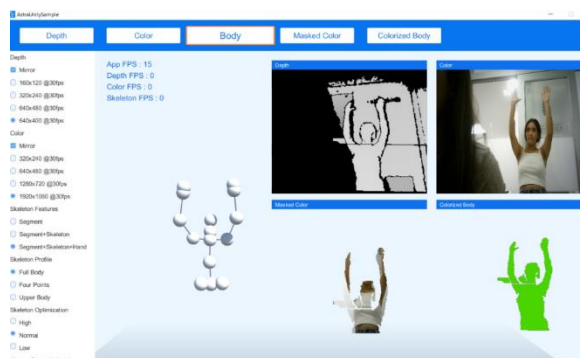


Figura 7. Prueba de las cámaras del scanner Astra 3D.
Fuente: Propia

Pese a las funciones de reconocimiento facial y medición tridimensional, durante la realización de las pruebas no se pudo obtener datos de la estructura de la órbita ocular del modelo, por lo que para las aplicaciones deseadas en el presente trabajo se descarta para su uso.

Seguidamente, se instaló el software del scanner XYZ scan (Figura 8), el cual en una primera instancia resultó complejo de instalar y manipular, luego tras varios intentos fallidos se logró realizar la

primera prueba de escaneado, en la que se encontraron varias desventajas en este scanner, algunas de ellas son que este scanner no es fijo por lo que se necesita que durante el proceso de escaneado sea sostenido en cierta posición por el profesional a cargo, lo que resulta complejo y aumenta el riesgo de errores en los resultados de la impresión.

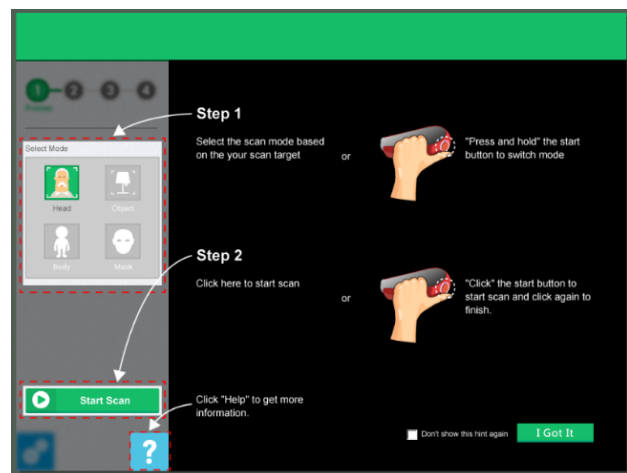


Figura 8. Interfaz software de XYZ scan
Fuente: Propia

Al finalizar la sección de prueba se determinó que el scanner XYZ Scan al igual que el Astra 3D, no era apto para su aplicación en este proyecto puesto que no suministraba los datos requeridos para la realización del diseño de la prótesis. Teniendo en cuenta que este no provee datos relacionados a la profundidad, por lo que se haría imposible obtener una imagen clara y confiable de la cavidad ocular de un paciente al que se le haya realizado el proceso de enucleación.

En lo relacionado al montaje de un prototipo de reproducción 3D y la calidad conseguible con tecnología de impresión 3D con Polimetilmetacrilato (PMMA), se realizaron 3 pruebas en las cuales se pueden evidenciar las especificaciones obtenidas de estas pruebas en las siguientes tablas.

PLANTILLA DE TOMA DE DATOS EYA3D			
ENCARGADA	TODAS	SCANNER	Ninguno
FECHA	2022-09-29	IMPRESORA	Tairona pulsa XL - Endel 3
# DE PRUEBA	1 y 2	MATERIAL	PLA
DISEÑO DEL GLOBO OCULAR			
MEDIDAS		FORMA	
Diámetro	Espesor Central	Se diseñó una esfera con uno de sus polos marcados simulando a pupila	
11,6mm	0,52mm		
TIEMPO EN LA CREACION DEL GLOBO OCULAR			
	HORA DE INICIO	HORA DE FINALIZACIÓN	TIEMPO TOTAL
TIEMPO DE IMPRESIÓN EN TAIRONA PULSA XL	10:00	10:20	20 minutos
TIEMPO DE IMPRESIÓN EN ENDEL 3	10:30	10:50	20 minutos

Tabla 2. Datos recopilados de la creación de la primera y la segunda prótesis ocular

Fuente: Propia

PLANTILLA DE TOMA DE DATOS EYA3D			
ENCARGADA	TODAS	SCANNER	Ninguno
FECHA	2022-10-12	IMPRESORA	Tairona pulsa XL
# DE PRUEBA	3	MATERIAL	PMMA
DISEÑO DEL GLOBO OCULAR			
MEDIDAS		FORMA	
Diámetro	Espesor Central	Se diseño una esfera con uno de sus polos con una pequeña protuberancia con el fin de que indique la parte externa de la prótesis simulado el iris	
11,6mm	0,52mm		
TIEMPO EN LA CREACION DEL GLOBO OCULAR			
	HORA DE INICIO	HORA DE FINALIZACIÓN	TIEMPO TOTAL
TIEMPO DE IMPRESIÓN EN TAIRONA PULSA XL	14:00	14:20	20 minutos

Tabla 3. Datos recopilados de la creación de la tercera prótesis ocular

Fuente: Propia

Luego de la realización de las pruebas se obtuvo que:

En una primera instancia al comparar el tiempo de impresión de las impresoras Tairona pulsa XL - Endel 3, se obtuvo que, para el mismo diseño, en un mismo material tuvieron el mismo tiempo de espera (20 minutos), pero debido a las características del entorno en el que se realizaron estas primeras pruebas se tomó la decisión de hacer uso de la Tairona pulsa XL, esto ya que la Endel 3 libera algo de calor cuando está en funcionamiento, lo que se presume podría ser un inconveniente para los posibles usuarios.

Por otro lado, los resultados de esta primera y segunda prueba realizada con PLA no fueron los esperados, debido a que la textura de la prótesis resulto algo rustica, particularmente en la primera

versión se observó una protuberancia relacionada a un error en la impresión (mire figura 6 y figura 7).

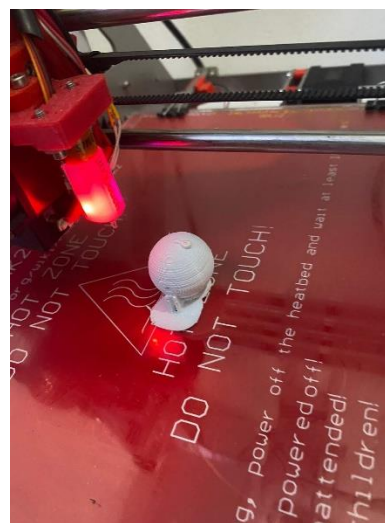


Figura 9. Primera prueba de impresión de la prótesis

Fuente: Propia



Figura 10. Prueba de impresión de la prótesis

Fuente: Propia

Para la prueba #3 se realizaron cambios en el diseño de la prótesis, estos relacionados a realizar una prótesis con una forma lo más parecida posible a la anatomía del globo ocular, es por esto que, en vez de realizar un globo totalmente esférico con una marcación de la pupila, como se había hecho anteriormente, se diseñó una esfera que contara en uno de sus polos con una pequeña protuberancia con el fin de que indique la parte externa de la prótesis simulado el iris. En lo que respecta al PMMA se hizo notoria la calidad de este, obteniendo una prótesis con una textura mucho más agradable al tacto y sin protuberancias.



Figura 11. Prueba de impresión de la prótesis
Fuente: Propia

VII. CONCLUSIONES

Tras el análisis realizado a lo largo este proyecto, se pudo afirmar que los escáneres Astra 3D y XYZ scan no son aptos para el proceso de escaneado de una cavidad ocular, dado no median los parámetros requeridos para la medición de la cavidad ocular es por ello que es necesario implementar otras opciones para la optimización de la fabricación de prótesis oculares. Por otra parte, con respecto a los materiales utilizados se pudo evidenciar las diferencias de temperaturas y texturas del PLA y PMMA, siendo el PMMA el material recomendado para las aplicaciones descritas a lo largo de este proyecto, este termoplástico no solo presenta ligereza y una superficie agradable al tacto, sino que también presenta resistencia a la intemperie y a los rayos ultravioleta lo que garantiza una durabilidad de la prótesis. Otra gran ventaja es su color ya que al ser transparente deja libre una gran cantidad de opciones para su personalización.

Como producto final de esta investigación se obtuvo un modelo de prótesis ocular, que no ha sido probada en pacientes, pero que cumple con la gran mayoría de aspectos que se plantearon al comienzo de este proyecto. Es una prótesis realizada por medio de impresión 3D, con un corto tiempo de espera y que cumple con los requerimientos anatómicos que se pueden esperar de una prótesis realizada por métodos tradicionales.

Referencias

- [1] T. Sethi. "Fabrication of a Custom Ocular Prosthesis". PubMed Central (PMC). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4123284/> (accedido el 4 de septiembre de 2022).
- [2] C. Casanova y A. Carrasco , "Principios y leyes físicas aplicados al planeamiento y diseño de los conformadores oculares", 2001, La Habana, Cuba. Accedido el 6 de marzo de 2022. [En línea]. Disponible: http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/protesis/conformadores_oculares.pdf
- [3] A. Moreno, A. Álvarez y N. Martínez. "Movilidad de prótesis oculares individuales sobre implantes de Hidroxiapatita Porosa Coralina HAP 200". Infomed. http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/protesis/conformadores_oculares.pdf (accedido el 6 de marzo de 2022).
- [4] Gómez, P. M. (2010). *Prótesis oculares: "una mirada a las prótesis oculares | Revista Investigaciones Andina. Investigaciones.*
- [5] J. Hernandez Amaya, A. Carrillo Rodriguez, S. Hernandez Rodriguez, S. Paz Paez, H. Reina Zambrano, Z. Santos Rueda y S. Vidales Correa, Serie cuadernos de optometria, lo que siempre quiso anotar y no alcanzo., Bogota DC: Fundacion Universitaria del Area andina, 2015.
- [6] El ojo. (2022). medlineplus.
- [7] K. Moore y A. Dalley, Anatomia con orientacion clinica., octava edicion ed., Bogota : Panamericana , 2007.
- [8] Marin Lopez, M. S., & Vargas, J. E. (2020). *FABRICACIÓN DE PRÓTESIS OCULAR MEDIANTE IMPRESIÓN.* 2020MarlonSantiagoMarinLopez.pdf.
- [9] P. M. Gómez Floréz, «Protesis ocular apartir del polimetilmetacrilato,» cuaderno de investigaciones - Andina, vol. 1, nº 1, pp. 26-31, 2012.
- [10] (s. f.). Bienvenidos a la Fundación Oftalmológica Los Andes. https://oftalandes.cl/assets/uploads/2017/07/morfologia_ocular_-_dr_-_espech.pdf
- [11] (s. f.). Instituto CBQ – Profesores de enseñanza Universitaria. <https://clasesparticularesdebioquimica.files.wordpress.com/2018/08/visic3b3n-anato.pdf>
- [12] Astra. (s/f). Orbbec. Recuperado el 20 de octubre de 2022, de <https://shop.orbbec3d.com/Astra>

- [13] Xyzprinting.com. Recuperado el 20 de octubre de 2022, de <https://www.xyzprinting.com/es-MX/product/3d-scanner-2-0>
- [14] makeR. (2022, 8 julio). Tairona XL | Impresora 3D para emprendedores | makeR |. Recuperado 20 de octubre de 2022, de <https://somosmaker.com/producto/tairona-xl/>
- [15] Arrow Technology Information SAS. (s. f.). Impresora 3D Creality Ender 3 V2. Impresora 3D Bogotá - Creality, Artillery, Zortrax Colombia. Recuperado 20 de octubre de 2022, de <https://arrowti3d.com/impresora-3d-creality-ender-3-v2>
- [16] *Material_biocompatible*. (2020). [quimica.es. https://www.quimica.es/enciclopedia/Material_biocompatible.html](https://www.quimica.es/enciclopedia/Material_biocompatible.html)
- [17] Santiago, M., López, M., Esteban, J., Lopera, V., Universidad, A., & Nariño. (n.d.). FABRICACIÓN DE PRÓTESIS OCULAR MEDIANTE IMPRESIÓN 3D ARTÍCULO DE REVISIÓN. <http://186.28.225.13/bitstream/123456789/2358/1/2020MarlonSantiagoMarinLopez.pdf>
- [18] M. Santiago, M. López, J. Esteban, V. Lopera, A. Universidad, and Nariño, "FABRICACIÓN DE PRÓTESIS OCULAR MEDIANTE IMPRESIÓN 3D ARTÍCULO DE REVISIÓN" [Online]. Available: <http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/2358/1/2020MarlonSantiagoMarinLopez.pdf>. [Accessed: May 02, 2022]
- [19] P. Cevik, E. Dilber y O. Eraslan, «Diferentes técnicas de fabricación de Prótesis Oculares,» La Revista de Cirugía Craneofacial , vol. 23, n° 6, p. 3, 2012.
- [20] "Astra".Orbbee. <https://shop.orbbee3d.com/Astra> (accedido el 23 de septiembre de 2022).

