DESIGN OF CUSTOM EYE FRAMES BY SCANNING AND 3D PRINTING

DISEÑO DE MARCOS OCULARES PERSONALIZADOS MEDIANTE ESCANEEO E IMPRESIÓN 3D

Karina Elizabeth Sarzosa García^{1✉}, Carlos David Vallejo Armas¹, Ramiro Sebastián Vargas Cruz¹

¹Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador

✉ karina.sarzosa8628@utc.edu.ec

Recebido: 28 outubro 2018 / Aceito: 20 novembro 2018 / Publicado: 23 dezembro 2018

ABSTRACT. The following projects focuses on students from Applied Sciences and Engineering Faculty in Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga city – Ecuador. The majority of them constantly require the usage of glasses due to multiple vision issues. Since glasses are a permanently used product, it is evident the various specific problems they can cause. This fact, due to the standard size and weight under which glasses are manufactured. It results in discomforts such as pain and pressure marks over face areas and the head (nasal bone, temporal bone, temple and nape), see Fig. 1. As a consequence, it also leads to headache on the user, especially in those who start to use glasses.

FIGURA 1. PARTES AFECTADAS.

FUENTE: TOMADO DE AUTORES

Consequently, there is a need to create a different and innovative product which particularity is the personalization of glasses frame through technology. By using 3D (three dimensional) scanning, real data can be obtained regarding the shape of the face and head of the user. Hence, precise measurements are determined as manufacturing parameters for the product (glasses frame).

Once the 3D scanned model is obtained, an informatics tool is used to design the glasses frame. It

allows the designer to fulfill all the required parameters: color, size, esthetic and shape. The 3D design helps the consumer to pre-visualize the product and, if it were needed, make changes. Finally, the modelled glasses frame is printed using plastic material (ABS, Acrylonitrile butadiene styrene) which is a thermoplastic with appropriate properties. Some of the advantageous material properties are: strength, hardness, flexibility and lightness. This last material characteristic is crucial because of, in comparison with the weight of different metal alloys, ABS's weight adapts adequately to the user. Moreover, its cost is relatively low for the potential consumers' budget.

This product aims to be a potential competitor on the market. It is meant to be comfortable for every consumer based on their specific needs. On the other hand, by involving the usage of new technologies for the project, it becomes a new and innovative manufacturing method in the industry.

Keywords: 3D printing, 3D scanning, glasses frame, personalization, technology.

RESUMEN. El presente proyecto está enfocado en los estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi de la ciudad de Latacunga-Ecuador, quienes mayoritariamente requieren el uso constante de lentes por diversas razones. Al ser un producto de uso permanente se evidencian varios problemas causados específicamente por el tamaño y peso de los mismos, debido a que estos productos son fabricados con medidas estándar. Esto ocasiona molestias como, dolor y enrojecimiento en las zonas del rostro y cabeza (hueso nasal, hueso temporal, sien y nuca) como se muestra en la Fig. 1, lo que como consecuencia genera dolores de cabeza en los usuarios, en especial en quienes inician con el uso de este producto.

Consecuentemente, nace la idea de crear un producto diferente e innovador, en donde su particularidad es la personalización del mismo a través de la tecnología.

Gracias al escaneo 3D (Tridimensional) se pueden obtener datos reales de la forma de rostro y cabeza del cliente, logrando así determinar las medidas precisas que se necesitan como condición para la fabricación del producto.

Una vez obtenidos los datos que arroja el escaneo 3D, se procede al diseño de los marcos oculares mediante una herramienta virtual que permite cumplir con todos los requerimientos de diseño como: color, tamaño, estética y forma; la misma que ayudará para que el cliente pueda pre-visualizar su producto y, de ser necesario, realizar cambios. Una vez finalizado el diseño, se continúa con la impresión 3D, la cual permite plasmar el boceto virtual en un producto real utilizando un material plástico como el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), un termoplástico con propiedades adecuadas al objetivo de diseño en cuanto a: tenacidad, dureza, flexibilidad y liviandad. Esta última característica es primordial debido a que, en comparación al peso de distintas aleaciones metálicas, su peso se adapta de manera adecuada al usuario. Además, es un material de bajo costo que se acopla a la economía de potenciales consumidores.

Este producto puede llegar a ser un potencial competidor en el mercado, debido a que brinda comodidad al consumidor, basado en necesidades particulares del cliente. Por otro lado, gracias a la tecnología utilizada en la realización del proyecto, se incursiona en un nuevo método de producción personalizada a nivel industrial.

Palabras clave: Escaneo 3d, impresión 3d, marcos oculares, personalización, tecnología.

1 INTRODUCCIÓN

La palabra lentes del latín: lens, lentis (“lenteja”), se conceptualiza como un objeto transparente alojado en un marco, cuyo objetivo es desviar la trayectoria de los rayos luminosos (Real Academia Española, 2014). En 1290 se concibe por primera vez el concepto de “lentes” en la parte norte de Italia en la región de Pisa (Ilardi, 2007), no obstante, varios historiadores aún debaten la autoría de su original invención. Ciertas teorías apuntan a que el explorador Marco Polo introdujo los lentes al continente europeo tras uno de sus viajes a China, aun cuando la historia menciona la utilización de lentes en China únicamente desde el siglo XV (Needham, 1962). Desde su descubrimiento, los lentes han formado parte del diario vivir de un porcentaje considerable de la humanidad; ya sean lentes: correctivos, de protección industrial, de incremento de la realidad (3D, Tridimensional), lectura o descanso, su uso se convierte en una necesidad altamente común.

A nivel laboral, se ha demostrado que incluso personas que gozan de una perfecta salud visual, podrían desarrollar miopía como respuesta del cuerpo humano ante el estrés generado por condiciones inapropiadas de trabajo. La ergonomía de trabajo, incluye ergonomía visual, es decir: luz ambiente y una correcta distancia trabajador – objetivo (Ehrlich, 1987). Este último punto de vista es más evidente en pilotos de avión, en donde el nivel de visión del operario debe alcanzar altos niveles. Ante un ambiente visualmente no ergonómico, el ojo humano presentará tres tipos de respuesta: evasión, dificultad para trabajar y adaptación; en el primer caso, el trabajador simplemente evitará tareas que conlleven un ambiente no adecuado y consecuentemente produzcan estrés; en el segundo caso, el operario efectuará el trabajo con un rendimiento intermedio; finalmente en el tercer caso, el ojo humano intentará adaptarse a las condiciones de trabajo produciendo miopía en el operario (Anshel, 2005).

De acuerdo a (Pheasant, 2014), el termino antropometría comprende la rama de las ciencias humanas que se encarga del estudio de medidas del cuerpo humano; por ende, este concepto está directamente ligado al diseño ergonómico. Básicamente, a través de medidas antropométricas se realiza el dimensionamiento ergonómico de un determinado producto o espacio de trabajo. No obstante, realizar un diseño personalizado basado en la ergonomía del usuario final no siempre ha sido catalogado como una prioridad en cuanto a producción en masa se refiere. En 1996 Stephen Pheasant identificó lo que mundialmente se daría a conocer como

los “cinco errores fundamentales” con respecto al diseño de productos enumerados en la Tabla 1.

TABLA 1. CINCO ERRORES FUNDAMENTALES

Nº	Error
1	Si el diseño es satisfactorio para mí, será satisfactorio para cualquier persona.
2	Si el diseño es satisfactorio para la persona promedio, será entonces satisfactorio para todo mundo.
3	La gente se adapta, por ende, su variabilidad no es importante.
4	La ergonomía es costosa.
5	El diseñador puede confiar en su instinto, por ende, no necesita datos previos o estudios empíricos.

FUENTE: CUADRO TOMADO DE SCOTT, 2005

Pero más allá de un diseño ergonómico, el efecto colateral de la incomodidad visual ya sea por el diseño del espacio de trabajo o el diseño de los lentes del usuario en sí, pueden tener como consecuencia síntomas y enfermedades tales como la astenopia, misma que es evidente principalmente en personas cuyo trabajo incluye un considerable número de horas frente a un computador. Algunos de los síntomas característicos de esta enfermedad son: fatiga visual, dolor de cabeza, irritación, entre otros (Sheedy, Hayes y Engle, 2003).

Con el pasar del tiempo y gracias a la invención de nuevas herramientas y máquinas para la manufactura y mecanizado por computador, el diseño ergonómico se ha abierto a nuevos panoramas en donde la variabilidad humana no es más una barrera para el diseño personalizado. Es así que mediante el escaneo 3D (tridimensional) el diseñador tiene la posibilidad de acoplar su producto a las medidas específicas del cliente final. Una de las primeras aplicaciones de alto impacto del Diseño Asistido por Computador – CAD por sus siglas en inglés “Computer Aided Design” en sinergia con tecnologías de prototipado rápido surge en el año 2003 donde básicamente un implante craneal metálico es sustituido por uno de acrílico (Gronet, Waskewicz y Richardson, 2003). Gracias a las evidentes ventajas que tiene la impresión 3D en medicina se han puesto a prueba nuevos biomateriales en pro de un mejor acoplamiento con los sistemas biológicos, así mismo la tecnología de impresión se ha visto afectada con el desarrollo de nuevas mejoradas técnicas para la deposición de material que implica el proceso de prototipado 3D (Chia y Wu, 2015). Adicionalmente y contrario al paradigma de aquellos que poseen conceptos básicos de impresión 3D, en la última década se han llegado a desarrollar materiales compuestos de tungsteno para la impresión de piezas flexibles, es decir la pieza impresa daría la apariencia de rigidez; pero, al manipularla es totalmente flexible como si se tratase de una pieza de goma (Miller et al., 2011).

Considerando la tecnología de impresión 3D aplicada específicamente al diseño de montura oftálmica se han evidenciado estudios cuyo enfoque se encamina a la personalización de color y forma sin considerar el diseño ergonómico (Martínez et al., 2013). Así mismo se han desarrollado proyectos cuyo objetivo principal es el de reciclar material aun cuando mantienen el enfoque de imprimir monturas oftálmicas (Ceron y Eraso, 2016). A diferencia de los proyectos anteriormente expuestos, la presente investigación se enmarca dentro de los parámetros de diseño ergonómico utilizando las nuevas tecnologías para la creación de monturas oftálmicas en base al escaneo 3D.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

En el mundo existen más de 6000 millones de personas con características físicas diferentes tales como: variedad de formas, tamaños, proporciones, colores de piel, tipos de cabello, etc., a esto se lo denomina variabilidad humana (Lescay, 2017).

Cada persona tiene una estructura y un estilo diferente y por ende su personalidad varía. Esto hace que los seres humanos se inclinen por obtener diferentes objetos que ayuden a cumplir las necesidades que se generan en ellos (Lescay, 2017).

Para que un producto se puede adaptar de forma correcta al usuario se debe tomar en consideración los parámetros de adaptación, los cuales son:

Angulo Pantoscópico. - Este ángulo está formado por el plano del lente y la vertical medida en grados (Fig. 2), es decir el extremo inferior del lente con respecto a la cara de la persona (Guerra, Piñero y Basulto, 2017).

FIGURA 2. ÁNGULO PANTOSCÓPICO.

FUENTE: TOMADO DE AREGAY, SALAVDÓ Y FRANSOY, 2001

Triángulo de contacto. - El peso de las monturas se reparte en 3 puntos principales de la cabeza, en las dos orejas y en el hueso nasal como se muestra en la Fig. 3, es así que cuando la persona se encuentra con la cabeza recta, el hueso nasal soporta dos tercios del peso del lente (Rodríguez, 2014).

FIGURA 3.TRIÁNGULO DE CONTACTO.

FUENTE: TOMADO DE AREGAY, SALAVDÓ Y FRANSOY, 2001

Este proyecto se desarrolló en la Universidad Técnica de Cotopaxi, direccionado a los estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

Para realizar la investigación, se utilizó la técnica de la encuesta, misma que permitió recopilar información antes de la creación del producto, acerca de los criterios de selección, requerimientos y problemas que el usuario presenta con respecto al uso de los marcos oculares.

Además, el instrumento que se empleó para el cumplimiento de la técnica antes mencionada fue un cuestionario, que consistió en un conjunto de preguntas que abarcaron temas como: frecuencia de uso del producto, tipo de incomodidades que presenta, factores de selección del producto y tipo de producto que utilizan las personas.

Dentro de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, existe una población total de 2130 estudiantes, en base a la cual se aplicó la siguiente fórmula para obtener el tamaño de la muestra Ec. (1).

Fórmula:

n = Tamaño de la muestra

$Z = 95\%$ (1.96) Nivel de confiabilidad

$p = 0.5$ Probabilidad de ocurrencia

$q = 0.5$ Probabilidad de no ocurrencia

$E = 5\%$ (0.05) Error de muestra

$N = 2130$ Tamaño de la población

$$n = \frac{Z^2 pqN}{NE^2 + Z^2 pq}$$
$$n = \frac{(1.96)^2 (0.5)(0.5)2130}{2130(0.05)^2 + (1.96)^2(0.5)(0.5)}$$
$$n = 325$$

Ec. (1)

Tamaño de la muestra= 325 datos muestrales.

Una vez obtenida la muestra se procedió a elaborar la encuesta con un cuestionario de 9 preguntas, misma que se aplicó vía internet utilizando el formulario de google validando el ingreso de datos de los estudiantes con sus respectivos correos institucionales.

Con los datos de los requerimientos del usuario, se realizó el escaneo 3D utilizando el software Skanect 1.9.1 para obtener el modelo virtual del sujeto de prueba y de esta manera mediante el programa Solidworks obtener las medidas antropométricas del usuario y a la vez los requerimientos de diseño para la creación del producto.

De igual manera se procedió a modelar los marcos oculares en el programa antes mencionado con las medidas antropométricas recopiladas, como: ancho del hueso nasal, distancia interpupilar, ángulo pantoscópico y distancia de sien a sien.

El archivo a escala real fue impreso en 3D, con la máquina de impresión Kinect V 1.8.0 en material ABS, ya que este posee las características de dureza, liviandad y resistencia adecuadas para la elaboración del marco ocular.

3 RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la investigación se muestran a continuación:

3.1 ENCUESTA

La pregunta número 1 muestra la frecuencia con la que los encuestados utilizan lentes; se obtuvo que el 15 % nunca los han utilizado, por lo tanto, el 85 % han usado este producto con diferente frecuencia, como se indica en la Fig. 5.

FIGURA 5. PREGUNTA 1. ¿CON QUÉ FRECUENCIA UTILIZA UD. LENTES?.

FUENTE: TOMADO DE AUTORES.

En la pregunta número 2 se evidencia si han sentido algún tipo de incomodidad al utilizar lentes, a lo que responden que el 78 % si lo ha padecido de un total de 216 encuestados como se muestra en la Fig. 6, los cuales son el 85% que utilizan lentes.

FIGURA 4. PREGUNTA 2. ¿SIENTE O HA SENTIDO ALGUNA VEZ CIERTO TIPO DE INCOMODIDAD AL UTILIZAR LENTES?

FUENTE: TOMADO DE AUTORES.

Los encuestados respondieron a la pregunta número 3, donde el 53 % mencionaron que sintieron molestias al primer mes de uso, otro dato interesante es que el 23% siguen presentando molestias hasta la actualidad (Fig. 7).

FIGURA 7. PREGUNTA 3. ¿EN QUÉ ETAPA DEL USO DE SUS LENTES SINTIÓ ESTA INCOMODIDAD?.

FUENTE: TOMADO DE AUTORES.

En la pregunta número 4 se puede observar el tipo de incomodidades que se presentan en los estudiantes, por ejemplo, el 62% padece incomodidad en el hueso nasal, el 34% incomodidad en el hueso temporal, el 25 % incomodidad en la sien, el 8 % incomodidad en la nuca y el 3 % en otra región craneal (Fig. 8).

FIGURA 8. PREGUNTA 4. ¿CUÁL DE LAS SIGUIENTES MOLESTIAS HA EXPERIMENTADO?.

FUENTE: TOMADO DE AUTORES.

Al momento de elegir un marco ocular se toman en cuenta algunos criterios, por lo cual el 63% de los encuestados respondieron que los seleccionan por el diseño, el 42% por la ergonomía, el 28% por el precio y solamente el 6% por la marca (Fig. 9). Lo que evidencia que lo más importante para los usuarios es la ergonomía y el diseño.

FIGURA 5. PREGUNTA 5. ¿CUÁL FUE SU CRITERIO EL MOMENTO DE SELECCIONAR EL MARCO DE SUS LENTES?.

FUENTE: TOMADO DE AUTORES.

3.2 ESCANEEO 3D

Se realizó el escaneo tridimensional (3D), mediante el software Skanect 1.9.1 que permitió obtener un modelo a escala real del sujeto de prueba (Fig. 10).

FIGURA 6. ESCANEEO 3D.

FUENTE: TOMADO DE AUTORES.

Con el modelo a escala real se obtuvo las medidas faciales mostradas en la TABLA 2, mediante el software SolidWorks, como se puede observar en la Fig. 11.

Debido a que distancia temporal (DT) que tiene el sujeto de prueba es mayor a la DT del marco ocular estándar (Fig. 12), ha tenido incomodidad en el hueso temporal, dolor,

enrojecimiento y marcas de las varillas. Otro problema que se evidenciaba es que la medida del ancho nasal es menor a del marco ocular estándar y como consecuencia el mismo tiene tendencia a resbalar sobre su hueso nasal, presentando incomodidad al momento de ponerlo en su lugar, esta medida es muy importante en el triángulo de contacto, ya que es el que soporta el peso una vez que la cabeza se inclina.

TABLA 2 MEDIDAS FACIALES FRONTALES.

Sigla	Descripción	Medidas sujeto de prueba	Medidas marco ocular estándar
DT	Distancia temporal	17,35 cm	13,7 cm
a	Ancho nasal	0,96 cm	1,1 cm
ANF	Ángulo nasal frontal	24°	35°

FUENTE: CUADRO TOMADO DE AUTORES.

FIGURA 7. MEDIDAS FACIALES VISTA FRONTAL.

TOMADO DE AUTORES.

FIGURA 8. MEDIDAS FRONTALES MARCO OCULAR ESTÁNDAR.

TOMADO DE AUTORES.

Con la vista lateral del modelo (Fig. 13) se obtuvo las medidas faciales de perfil como se muestra en la TABLA 3. La longitud de varilla es otra parte importante del triángulo de contacto debido a que este soporta las 2/3 partes del peso cuando la cabeza esta erguida, la

medida del sujeto de prueba es mayor al del marco ocular (Fig. 14) estándar por tal motivo presenta incomodidad en el hueso temporal y la oreja.

TABLA 3 MEDIDAS FACIALES DE PERFIL.

SIGLA	DESCRIPCIÓN	MEDIDAS SUJETO DE PRUEBA	MEDIDAS MARCO OCULAR ESTÁNDAR
V	LONGITUD TOTAL DE LA VARILLA	13,5 CM	13,3 CM
L	LONGITUD VARILLA	9,8 CM	9,8 CM
I	ÁNGULO PANTOSCÓPICO	12°	10°

CUADRO TOMADO DE AUTORES.

FIGURA 9. MEDIDAS FACIALES VISTA LATERAL.

FUENTE: TOMADO DE AUTORES.

FIGURA 10. MEDIDAS DE PERFIL MARCO OCULAR ESTÁNDAR.

FUENTE: TOMADO DE AUTORES.

En la Fig. 15 se puede observar que el sujeto de prueba tiene un defecto con respecto a la posición de sus orejas, es decir, la oreja derecha se encuentra ubicada más arriba que la oreja izquierda, obteniendo una diferencia de altura de 0,392 cm.

Este es el problema principal del sujeto de prueba, porque debido a este defecto sus marcos oculares con el tiempo han llegado a tener una desnivelación.

FIGURA 11. DIFERENCIA DE ALTURA DE OREJAS.

FUENTE: TOMADO DE AUTORES.

3.3 MODELADO 3D

Con las medidas frontales y de perfil se procedió a modelar en Solid Works el marco ocular, donde se obtuvo el modelo virtual como se puede observar en FIGURA 12.

FIGURA 12 RENDERIZADO DE MARCO OCULAR.

FUENTE: TOMADO DE AUTORES.

Para obtener el modelo físico se imprimió en 3D con el filamento ABS como se muestra en la FIGURA 13.

FIGURA 13 MARCO OCULAR PERSONALIZADO.

FUENTE: TOMADO DE AUTORES.

Se realizó una comparación de medidas entre el marco ocular estándar y personalizado como se muestra en la TABLA 4. De esta manera se evidencia la diferencia de medidas mostrando que los problemas que se presentan son debido a la variabilidad antropométrica que existe entre cada usuario y en su caso defectos que pueda presentar.

TABLA 4 COMPARACIÓN DE MEDIDAS

Sigla	Descripción	Medidas marco ocular estándar	Medidas marco ocular personalizado
DT	Distancia temporal	13,7 cm	17,35 cm
a	Ancho nasal	1,1 cm	0,96 cm
ANF	Ángulo nasal frontal	35°	24°
v	Longitud total de la varilla	13,3 cm	13,5 cm
l	Longitud varilla	9,8 cm	9,8 cm
i	Ángulo pantoscópico	10°	12°

FUENTE: CUADRO TOMADO DE AUTORES.

Con respecto al problema presentado debido a la desnivelación de las orejas del sujeto de prueba se necesitó realizar una modificación en la varilla derecha aumentando su grosor en 0,392 cm (FIGURA 14), de esta manera estará nivelado el marco ocular y no sufrirá modificaciones a largo plazo.

FIGURA 14 GROSOR VARILLA DERECHA.

FUENTE: TOMADO DE AUTORES.

3.4 DISCUSION

En el Ecuador los marcos oculares existentes en el mercado son de medida estándar (Hernández, 2012), a nivel mundial existe una técnica para resolver el problema de los marcos oculares que no se acoplan al usuario (Rodríguez, 2014), la cual permite realizar la adaptación

de los mismos bajo tres parámetros importantes como son: ángulo de talón, ángulo pantoscópico y triángulo de contacto. Estas adaptaciones son limitadas dependiendo del material que estén fabricados los marcos, por tal razón el problema se resuelve parcialmente, ya que en casos donde la persona tenga defectos genéticos, como se pudo evidenciar con el sujeto de prueba, aquellos no podrán ser resueltos debido a que estos problemas no están considerados dentro de los parámetros antes mencionados.

En Ecuador esta técnica no es utilizada por lo que el usuario al adquirir su producto no realiza ninguna modificación, ocasionando que el mismo sufra deformaciones con el tiempo, incrementado las incomodidades en los usuarios.

En (Ceron y Eraso, 2016) se realiza una propuesta de marcos oculares personalizados basado en el reciclaje de materiales plásticos, mencionando los mismos para la impresión del producto, permitiendo personalizar color y forma basados en medidas estándar para la fabricación, por ende, no se centran en la variabilidad antropométrica del usuario y la personalización se basa en la estética del producto.

Existe un estudio del escaneo 3d (Martinez et al., 2013), centrándose también en la personalización de marcos oculares pero enfocado al color y forma, dejando de lado la ergonomía del producto. Las medidas antropométricas son diferentes en cada usuario teniendo en cuenta también factores como: sexo, herencia genética y edad, por esta razón la personalización a través de la tecnología 3D permite que los marcos oculares se adapten al usuario, cumpliendo con el principio básico de la ergonomía.

5 CONCLUSIÓN

La frecuencia con la que los estudiantes usan lentes tiene un porcentaje alto, además que este mismo porcentaje ha experimentado incomodidad al momento de usarlos, y es por esta razón que se diseñó marcos oculares personalizados, además que se tomó en consideración las zonas que tienen más afectación por el uso de los lentes, llegando así a la conclusión de que en la mayoría de personas el hueso nasal y hueso temporal son las partes en donde se generan más dolor y enrojecimiento, como se pudo evidenciar en las pruebas que se realizaron al sujeto de prueba, ya que la distancia temporal del mismo era mayor a la del marco ocular estándar. Es así que las varillas presionaban el hueso temporal de la persona, haciendo que la misma se adapte

con el tiempo al objeto, y de esta manera se podía evidenciar huellas muy marcadas en el rostro y al mismo tiempo deformaciones en el producto.

La variabilidad antropométrica es un factor muy importante a considerar al momento de crear un nuevo producto, ya que no todas las personas son iguales, ni tampoco poseen las mismas medidas en el rostro. Gracias a la personalización se creó un marco ocular en base a las medidas y los requerimientos del sujeto de prueba, con la finalidad de eliminar los problemas que sobrellevaba cuando este utilizaba el marco ocular estándar.

El escaneo 3D permite detectar defectos genéticos, tomando en cuenta que el rostro humano es asimétrico, por tal motivo la personalización basada en esta tecnología permite que los objetos se adapten a imperfecciones de cualquier índole.

REFERENCIAS

- Real Academia Española, **Diccionario de la Lengua Española**, 23 ed., Madrid: Asociación de Academias de la Lengua Española, 2014.
- ILARDI, V., Renaissance vision from spectacles to telescopes, **Philadelphia: American Philosophical Society**, 2007.
- NEEDHAM, J., Science and Civilisation in China, vol. 4:1, Cambridge: JSTOR, 1962.
- EHRLICH, D. L., Near vision stress: vergence adaptation and accommodative fatigue, **Ophthalmic and Physiological Optics**, vol. 7, nº 4, pp. 353-357, 1987.
- ANSHEL, J., **Visual ergonomics handbook**, Boca Raton, Florida: CRC Press, 2005.
- PHEASANT, S., **Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics And The Design Of Work: Anthropometry, Ergonomics And The Design Of Work**, Londres: CRC Press, 2014.
- SCOTT, A., **The black art of ergonomics**, Queensland University of Technology, 2005, pp. 91-94.
- SHEEDY, J. E.; HAYES, J. y ENGLE, J.; Is all asthenopia the same?, **Optometry and vision science**, vol. 80, nº 11, pp. 732-739, 2003.
- GRONET, P. M.; WASKEWICZ, G. A. y RICHARDSON, C., Preformed acrylic cranial implants using fused deposition modeling: a clinical report, **The Journal of prosthetic dentistry**, vol. 90, nº 5, pp. 429-433, 2003.
- CHIA, H. N. y WU B. M.; Recent advances in 3D printing of biomaterials, **Journal of biological engineering**, vol. 9, nº 1, p. 4, 2015.
- MILLER, B. W.; MOORE, J. W.; BARRETT, H. H.; FRYE, T.; ADLER, S.; SERY, J. y FURENLID, L. R., 3D printing in X-ray and gamma-ray imaging: A novel method for fabricating high-density imaging apertures, **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment**, vol. 659, nº 1, pp. 262-268, 2011.

- MARTINEZ, B. Mateo; VIZCAYA, J. Selles; ROS, F. Fos; GARCIA, F. J. Navarro; PEREZ, D. Moro; BERNABE, E. Parrilla; VICENTE, C. Atienza y MAESTRE, R. Moraga, Gafas totalmente personalizadas, **Revista de biomecnica**, vol. 59, pp. 55-58, 2013.
- CERON, J. y ERASO, M., **Estudio de factibilidad para la creación de una empresa para la Fabricación de monturas para gafas, a partir del reciclado de Materiales Plásticos.**, Pereira: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA - FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, 2016.
- LESCAY, R.; **ANTROPOMETRÍA. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS PARA LA CAPTACIÓN DE LAS DIMENSIONES ANTROPOMÉTRICAS**, HABANA-CUBA: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, 2017.
- GUERRA, C.; PIÑERO, D. y BASULTO, M., Evaluación de la calidad de vida en usuarios de lentes oftálmicas progresivas, **Gaceta de Optometría y Óptica Oftálmica**, nº 530, pp. 42-50, 2017.
- AREGAY, J.; SALAVDÓ, J. y FRANSOY, M., **Tecnología óptica: lentes oftálmicas, diseño y adaptación**, Barcelona: Universidad Técnica de Catalunya, 2001.
- RODRÍGUEZ, J. I., Adaptación de monturas, Santiago de Compostela: Universidad Santiago de Compostela, 2014.
- CASTAÑO, M. d. M., PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE GAFAS DE SOL DE MATERIALES NATURALES, PIEDRA Y MADERA, Madrid: Universidad Pontificia de Comillas, 2014.
- HERNÁNDEZ, L., **Maximización de utilidades a través de proyecciones financieras para el sector oftalmológico en el Ecuador**, Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2012.