



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería Biomédica

**RECONSTRUCCIÓN 3D DE ROSTROS A PARTIR DE UNA
SECUENCIA MULTIMODAL PARA EL DISEÑO DE MASCARAS
DE APNEA DE SUEÑO**



Memoria y Anexos

Autor: Edna Julieth Tibaquirá Artunduaga
Director: Eduardo Soudah Prieto
Convocatoria: enero 2020

Resum

Al llarg del segle XXI la reconstrucció i impressió en 3D s'ha anat desenvolupat en gran mesura perquè és un dels avanços tecnològics més prometedors utilitzat en qualsevol sector o àrea que el requereixi. La medicina és el sector on més sol donar-se usos innovadors a les tecnologies perquè és una àrea emergent que explora maneres de substituir o ajudar a les estructures biològiques existents i les possibilitats que ja s'ofereixen per a ser aplicades i integrades en qualsevol servei mèdic. Aquest treball es basa en el desenvolupament i implementació de les noves tecnologies que poc a poc evolucionen tenint en compte la reconstrucció i impressió en 3D. El propòsit d'aquest mateix és la reconstrucció d'un objecte en 3D a partir d'una seqüència d'imatges en 2D per a després dur a terme la impressió 3D. El mètode utilitzat es basa principalment en la incorporació de programes de processament d'imatges que desenvolupen la reconstrucció 3D mitjançant seqüències d'imatges en 2D, incloent així el procés d'impressió 3D de l'objecte reconstruït.(1)(2)

Aquest treball es fonamenta en la implementació del processament d'imatges per mitjà de la reconstrucció 3D del rostre a partir d'imatges en 2D per a posteriorment crear un prototip de màscara personalitzada d'apnea del somni que permeti a les persones que pateixin aquesta patologia sentir-se més còmodes dormint. Per al compliment dels objectius va ser necessari exposar una metodologia prèvia que es va realitzar perquè va ser una part important en el desenvolupament d'aquest document. La metodologia principal es divideix en dos mètodes; el primer utilitzant el programa d'ordinador KScan 3D per al desenvolupament del model en 3D del rostre i el segon mitjançant l'aplicació mòbil Game Avatar per al desenvolupament del model en 3D del rostre. No obstant això, la metodologia utilitzada per a desenvolupar el prototip de la màscara d'apnea del somni va ser el mateix per a tots dos mètodes. Finalment, d'aquest projecte es va obtenir una gran visió per a implementar un gran nombre d'aplicacions perquè sigui més fàcil portar una patologia, ja que el tractament és especialment personalitzat d'acord amb les necessitats i abast que té la tecnologia actualment.

Paraules claus: Apnea, mascaretes, prototip, reconstrucció, rostre, 3D.

Resumen

A lo largo del siglo XXI la reconstrucción e impresión en 3D se ha ido desarrollado en gran medida puesto que es uno de los avances tecnológicos más prometedores utilizado en cualquier sector o área que lo requiera. La medicina es el sector donde más suele darse usos innovadores a las tecnologías puesto que es un área emergente que explora formas de sustituir o ayudar a las estructuras biológicas existentes y cuyas posibilidades ya se ofrecen para ser aplicadas e integradas en cualquier servicio médico. Este trabajo se basa en el desarrollo e implementación de las nuevas tecnologías que poco a poco evolucionan teniendo en cuenta la reconstrucción e impresión en 3D. El propósito de este mismo es la reconstrucción de un objeto en 3D a partir de una secuencia de imágenes en 2D para luego llevar a cabo la impresión 3D. El método utilizado se basa principalmente en la incorporación de programas de procesamiento de imágenes que desarrollan la reconstrucción 3D mediante secuencias de imágenes en 2D incluyendo así el proceso de impresión 3D del objeto reconstruido. (1) (2)

Este trabajo se fundamenta en la implementación del procesamiento de imágenes por medio de la reconstrucción 3D del rostro a partir de imágenes en 2D para posteriormente crear un prototipo de mascarilla personalizada de apnea del sueño que permita a las personas que sufran de esta patología sentirse más cómodas al dormir. Para el cumplimiento de los objetivos, fue necesario exponer una metodología previa a la que se realizó puesto que fue una parte importante en el desarrollo del este documento, la metodología principal se divide en dos métodos; el primero utilizando el programa de ordenador KScan 3D para el desarrollo del modelo en 3D del rostro y el segundo mediante la aplicación móvil Game Avatar para el desarrollo del modelo en 3D del rostro, sin embargo la metodología utilizada para desarrollar el prototipo de la mascarilla de apnea del sueño fue el mismo para ambos métodos. Finalmente, de este proyecto se obtuvo una gran visión para implementar un sin número de aplicaciones para que sea más fácil llevar una patología porque el tratamiento es especialmente personalizado acorde con las necesidades y alcance que tiene la tecnología hasta ahora.

Palabras claves: Apnea, Mascarillas, Prototipo, Reconstrucción, Rostro, 3D.

Abstract

Throughout the 21st century, 3D reconstruction and printing has developed greatly as it is one of the most promising technological advances used in any sector or area that requires it. Medicine is the sector where technologies are most often given innovative uses, as it is an emerging area that explores ways of replacing or helping existing biological structures and whose possibilities are already being offered for application and integration in any medical service. This project is based on the development and implementation of new technologies that gradually evolve, taking into account 3D reconstruction and printing. The purpose of this project is the reconstruction of a 3D object from a sequence of 2D images and then carry out the 3D printing. The method used is mainly based on the incorporation of image processing programs that develop the 3D reconstruction by means of sequences of 2D images, thus including the process of 3D printing of the reconstructed object. (1) (2)

This work is based on the implementation of image processing by means of 3D facial reconstruction from 2D images to later create a prototype of a personalized sleep apnea mask that allows people suffering from this pathology to feel more comfortable when sleeping. In order to achieve the objectives, it was necessary to expose a previous methodology, which is a vital step that takes part in the development of this document. The main methodology is divided into two methods: the first one using the computer program KScan 3D for the development of the 3D model of the face and the second one using the mobile application Game Avatar for the development of the 3D model of the face. However, the methodology used to develop the prototype of the sleep apnea mask was the same for both methods. Finally, a great vision was obtained from this project to implement a number of applications to make it easier to carry a pathology because the treatment is specially customized according to the needs and scope that the technology currently has.

Keywords: Apnea, face, masks, prototype, reconstruction, 3D.



Agradecimientos

Quiero dar mis más profundos agradecimientos a todas las personas que hicieron posible el desarrollo de este trabajo.

- En primer lugar, doy gracias a mi tutor Eduardo Soudah por guiarme y acompañarme en el proceso, desarrollo e implementación de este trabajo, siempre con la mejor actitud y disposición para poder llevar a cabo el objetivo esperado, por ser un excelente tutor y persona, dándome la oportunidad de finalizar mis estudios de grado con él como mi tutor y guía.
- Quiero agradecer de antemano a la universidad politécnica de Cataluña por darme la oportunidad de ser alumna de doble titulación siendo esto un gran privilegio.
- De todo corazón quiero agradecer a todas y cada una de las personas que estuvieron presentes a lo largo de mi formación profesional porque con estas experiencias aprendí cada día que la formación profesional además de formarnos como personas capacitadas en un campo nos brinda la posibilidad de formarnos como personas integrales.
- Quiero agradecer a Alejandro Villalba, por ser la persona que me motiva a ser mejor cada día dándome su apoyo y brindándome serenidad en todo momento.
- Finalmente, y no menos importante quiero agradecer a mi familia, que siempre ha estado presente en todos los momentos de mi vida apoyándome y dándome seguridad en la construcción de mi futuro, a mi madre (Beatriz Artunduaga) y padre (Carlos Tibaquirá) por ser quienes me motivan para cumplir las metas que me propongo siempre con amor incondicional, a mi hermano (Juan Diego Tibaquirá) y hermana (Laura Tibaquirá) quienes me recuerdan que aunque la distancia nos separa nuestras raíces nos unen sin importar el tiempo ni las circunstancias. Este logro es especialmente para ellos y por ellos.



Glosario

<i>2D.</i>	<i>Segunda Dimensión (x, y)</i>
<i>3D.</i>	<i>Tercera Dimensión (x, y, z)</i>
<i>CPAP.</i>	<i>Presión positiva continua en la vía aérea</i>
<i>PMVS.</i>	<i>Patch multi view stereo (paquete multivista estéreo)</i>
<i>CMVS.</i>	<i>Clustered multi view stereo (Estéreo multivista en Cluster)</i>
<i>APP</i>	<i>Aplication (Aplicación)</i>

Índice

RESUM	I
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
AGRADECIMIENTOS	V
GLOSARIO	VII
1. PREFACIO	1
1.2. Motivación	1
1.3. Requerimientos previos.....	2
2. INTRODUCCIÓN	3
2.1. Objetivos del trabajo	3
2.1.1. General.....	3
2.1.2. Específicos.....	3
2.2. Alcance del trabajo	4
3. ESTADO DEL ARTE.	5
3.1. Reconstrucción 3D.....	5
3.1.1. ¿Qué es la reconstrucción 3D?	5
3.1.2. Origen de la reconstrucción 3D.	5
3.1.3. Conceptos Básicos de la reconstrucción 3D.	7
3.1.4. Métodos utilizados para la reconstrucción 3D.....	9
3.1.5. Pasos para la reconstrucción 3D.....	10
3.2. Impresión 3D.....	11
3.2.1. ¿Qué es la impresión 3D?	11
3.2.2. Origen de la impresión 3D.	11
3.2.3. Conceptos básicos de la impresión 3D.	12
3.2.4. Métodos utilizados en la impresión 3D.	12
3.3. Apnea del Sueño.....	13
3.3.1. ¿Qué es la apnea del sueño?	13
3.3.2. Síntomas.....	14
3.3.3. Tipos de Apnea.....	14
3.3.4. Tratamientos.....	14

4. METODOLOGÍA	17
4.1. Metodología previa.....	17
4.2. Metodología principal.....	21
4.3. Método 1.....	22
4.3.1. Obtención de imágenes.	22
4.3.2. Post proceso.	23
4.3.3. Match y exportación.....	24
4.4. Método 2.....	26
4.4.1. Obtención de imágenes y exportación.	26
4.5. Creación de prototipo de mascarillas.....	27
4.6. Comparativa de rostros y mascarillas.....	30
4.6.1. Rostros.....	31
4.6.2. Mascarillas.....	33
5. RESULTADOS.	34
5.1. Método 1.....	34
5.2. Método 2.....	36
5.3. Prototipo de Mascarillas.	40
5.3.1. Rostro 1.....	40
5.3.2. Rostro 2.....	42
5.4. Comparativa de rostros y mascarillas.....	45
5.4.1. Rostros.....	45
5.4.2. Mascarillas.....	46
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	47
7. FUTURAS MEJORAS.	49
7.1. Método 1.....	49
7.2. Método 2.....	49
7.3. Creación de prototipo de mascarillas.....	49
7.4. Comparación de rostros y mascarillas.....	50
7.4.1. Rostros.....	50
7.4.2. Mascarillas.....	50
8. ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL	51
CONCLUSIONES.	52
PRESUPUESTO Y ANÁLISIS ECONÓMICO	53

PLAN DE TRABAJO	55
BIBLIOGRAFÍA	57
ANNEX A	61
A1. CALIBRACIÓN	61
A2. RECONSTRUCCIÓN.....	63

1. Prefacio

1.2. Motivación

Hoy en día las nuevas tendencias en diseño 3D abarcan muchísimos campos desde la medicina, la ingeniería, la construcción, entre otras. Teniendo en cuenta los avances tecnológicos en la reconstrucción e impresión en 3D, la ciencia utiliza programas y algoritmos que permiten a los pacientes y doctores tener un recurso adicional para los tratamientos e investigaciones médicas. (3)

Existen diferentes documentos que exponen la reconstrucción e impresión 3D, en el año 2013 el centro de Información Tecnológica publicó un artículo llamado “Reconstrucción Tridimensional de Superficies en el Cuerpo Humano” que presenta un estudio del proceso de alineación de datos obtenidos de morfologías humanas mediante un dispositivo de adquisición por láser en el cual se utiliza un dispositivo digitalizador tridimensional de última generación y se establece una metodología de trabajo para el proceso de alineación de los datos obtenidos de morfologías humanas. Además, se indican las directrices para resolver los problemas derivados de esta alineación y se realiza el estudio comparativo de programas de tratamiento de nubes de puntos. (4)

Otra investigación fue publicada por la revista Latinoamericana de Cirugía Ortopédica el año 2016, titulada “Nuestra experiencia con impresión 3D doméstica en Cirugía Ortopédica y Traumatología” que expone el uso de la impresión 3D como posibilidad de traslación de una planificación virtual a modelos tangibles, teniendo en cuenta que el uso hospitalario de las impresoras 3D comercializadas para uso doméstico facilita la obtención de forma autónoma de reproducciones realistas al mínimo coste. (5)

De igual manera la revista española de cardiología publicó en el 2017 un artículo llamado “Impresión tridimensional de modelos cardiacos: aplicaciones en el campo de la educación médica, la cirugía cardíaca y el intervencionismo estructural” al igual que la revista Sanid Milit Mex que anunció un artículo “Impresión de modelos 3D para fracturas de radio distal: un estudio piloto en el Instituto Nacional de Rehabilitación” los cuales introducen al lector en la tecnología de la impresión 3D. (6) Así como el artículo expuesto en la editorial IEEE en el año 2018 titulado “Reconstrucción de rostro humano en 3D usando el sensor de profundidad Kinect 2.0” (7)

El presente documento pretende implementar procesamiento de imágenes para un modelo en impresión 3D cuya motivación es la de promover el desarrollo de prototipos impresos en 3D para el crecimiento, innovación y desarrollo del área de la salud teniendo en cuenta la necesidad específica que presenta cada paciente.

1.3. Requerimientos previos

Los requerimientos previos para el desarrollo de este proyecto fueron principalmente:

- Manejo de lenguaje de programación Python.
- Conocimientos de tratamiento de imágenes.
- Experiencia en el tratamiento de datos.
- Habilidades en el uso de la “Kinect”
- Conocimiento en manejo de programas para reconstrucciones, alineaciones y uniones para formar imágenes en 3D.
- Conocimiento de los métodos que existe para reconstrucciones faciales.
- Experiencia en el manejo del comando central.
- Habilidades en el uso de tecnologías móviles.

2. Introducción

La ciencia y la tecnología siempre han evolucionado de forma conjunta al hombre, el desarrollo de una conlleva o potencia el desarrollo de la otra, es por ello que siempre están en constante cambio. Una de las actividades humanas que busca implementar tecnologías de la información y la comunicación es la Medicina. Cada vez se incrementa el número de usuarios e Instituciones que se han incorporado a la búsqueda de diferentes medios o métodos que permitan mejoras en el tratamiento y calidad de vida de los pacientes.(8)

La reconstrucción e impresión 3D se ha ido popularizando en los últimos años Constantemente se publican noticias resaltando nuevas maravillas de esta tecnología emergente. La invención de estas nuevas tecnologías apunta principalmente a reducir el tiempo necesario para obtener el prototipo de un producto y eliminar restricciones de los métodos de producción tradicionales.(9)

Este proyecto busca la implementación del procesamiento de imágenes por medio de la reconstrucción 3D en el área de la medicina a partir de imágenes en 2D para posteriormente llevar a cabo el prototipo o modelo 3D de una mascarilla de apnea del sueño.

2.1. Objetivos del trabajo

2.1.1. General

- Generar métodos de reconstrucción de rostros que conduzcan a tratamientos personalizados con el propósito de tratar enfermedades como la apnea del sueño creando prototipos de mascarillas.

2.1.2. Específicos.

- Investigar métodos que conlleven al tratamiento personalizado de sujetos que sufren de apnea del sueño.
- Aplicación de 2 métodos para la reconstrucción 3D de rostros.
- Creación de prototipos de mascarillas aplicada a los rostros obtenidos de los dos métodos utilizadas para su reconstrucción.
- Comparación digital y visual de los rostros arrojadas al aplicar cada uno de los métodos de reconstrucción.
- Comparación digital y visual en paralelo del prototipo de mascarillas de apnea del sueño.

2.2. Alcance del trabajo

El proyecto busca, tratamientos personalizados para evitar tratamientos genéricos de patologías como la apnea del sueño implementando programas específicos donde se desarrollen mascarillas teniendo en cuenta las necesidades y características anatómicas del rostro del paciente a tratar.

3. Estado del Arte.

3.1. Reconstrucción 3D

3.1.1. ¿Qué es la reconstrucción 3D?

La reconstrucción 3D es el proceso mediante el cual, objetos reales, son reproducidos en la memoria de una computadora, manteniendo sus características físicas (dimensión, volumen y forma). Esta es un área en constante desarrollo e investigación. Debido a los avances tecnológicos en sistemas de computación, y a la disminución progresiva de los costos de software y hardware, los recursos requeridos para llevar a cabo la reconstrucción 3D, en la actualidad son mucho más accesibles. Teniendo en cuenta esta oportunidad, se puede satisfacer la necesidad de tratar datos en tres dimensiones para su reconstrucción. (1)

3.1.2. Origen de la reconstrucción 3D.

La primera patente de 3D se registró en el siglo XIX y los primeros cortos con estereoscopía se proyectaron en 1915. A principios del siglo XX ya se sabía de sobra que había que ofrecer distinta información a cada ojo para mostrar relieve. Las imágenes en tres dimensiones no son algo nuevo sino un invento cuyos fundamentos aparecieron en el siglo XIX.

En la Grecia antigua ya Euclides explicó los principios de la visión binocular, concluyendo que cada ojo veía una versión un poco diferente de la misma escena y que la mezcla de esta información en el cerebro produce la percepción de profundidad. No hay que remontarse tanto para conocer los primeros inventos relacionados con el 3D, aunque se trata de un pasado todavía muy lejano tecnológicamente hablando.

En 1833, siete años después de que Joseph Nicéphore Niepce tomara la primera fotografía que aún se conserva y antes del perfeccionamiento de los daguerrotipos, el británico Charles Wheatstone construyó 'The Mirrorescope', el primer ingenio estereoscópico. Se basaba en dos imágenes, cada una dirigida a un ojo, reflejadas en sendos espejos colocados cada uno de ellos en un ángulo oblicuo frente al espectador.

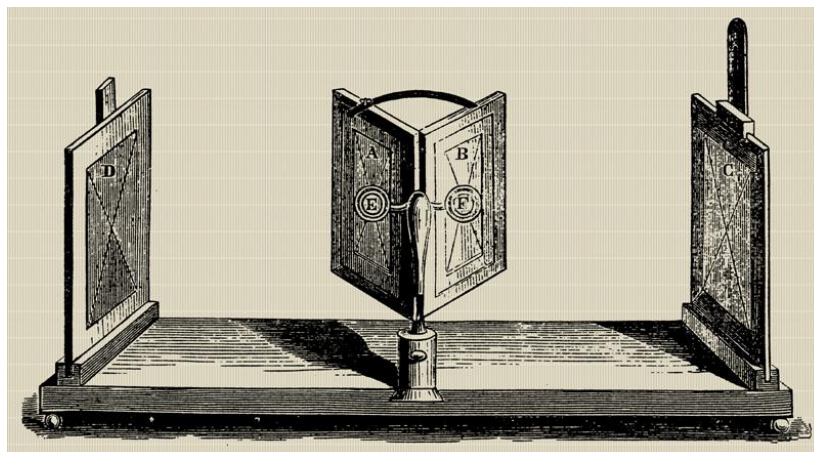


Fig. 3.1. "The mirroscope"

La técnica de Wheatstone fue depurada años más tarde por el escocés David Brewster, que añadió al conjunto dos lentes cortadas que desviaban la vista a cada ojo, retirando así los espejos. Se trataba de momento de convertir imágenes en 3D, hasta que a finales del siglo XIX William Freese-Greene incorporó al registro de patentes la primera cámara fotográfica con doble lente.

Mientras Greene patentaba su creación, Louis Arthur Ducos du Hauron inventó unas gafas con un filtro azul y otro rojo, que producen las llamadas imágenes de anaglifo y que han pervivido hasta hoy. De esta forma, cada filtro deja pasar unos colores y cada ojo recibe dos imágenes dispares que se juntan en el cerebro. Estas lentes tendrían posteriormente un impacto considerable en el consumo del 3D.



Fig. 3.2. Gafas Anaglíficas. (10)

Con el cinematógrafo de los hermanos Lumière en marcha desde 1895, la primera proyección en tres dimensiones no tardó en llegar. En 1915, el teatro Astor de Nueva York acogió la exhibición de unos cortos de carácter documental utilizando el sistema anaglifo, pero modificado, con los colores rojo y verde.

En los años 50 llegó la televisión, que comenzó a robar espectadores de las salas de cine. La calidad de la tecnología 3D aún dejaba que desear. Se utilizaban dos cámaras para mostrar las imágenes, aunque después se comenzó a probar un proyector de dos tiras de cinta. Pero también el contenido era malo. Se sacrificaba el guion a cambio de efectos espectaculares, un estilo que no parece tan lejano en el tiempo. Incluso Alfred Hitchcock llegó a rodar en 3D su afamada película *Crimen perfecto* (1954).

Tras un nuevo parón, en los años 80 surge una nueva oleada de cine en 3D de la mano de IMAX Corporación. Prevalece la misma fórmula de contenido pobre y espectacularidad. Pero la técnica consiste ahora en un solo proyector, que emite las dos imágenes, derecha e izquierda. Se necesitan ópticas duales con filtros y se añade cristal líquido para mejorar el resultado. Hacer películas de calidad era muy caro. Aunque destaca *Las alas del coraje*, dirigida por Jean-Jacques Annaud y proyectada en 1995, que contó con un gran presupuesto. Fue la primera película de ficción en 3D en IMAX.

Después de estar décadas exiliado de las salas de cine, exceptuando los espacios dedicados de IMAX, el 3D ha renacido ya en el siglo XXI. Y lo ha hecho de mano de la animación. Pero, sobre todo, lo que más ha influido en esta vuelta ha sido la tecnología digital, tanto en la filmación como en la proyección de las imágenes.

Se empezaron a adaptar las cintas grabadas en 2D a 3D, obteniendo un pobre resultado en cuanto a efectos. Ahora cada vez existen más avances en el área de tres dimensiones. El impulso del 3D ha llegado a los hogares e institutos de investigación. Muchos de las tecnologías de alta gama de hoy en día soportan las tres dimensiones, incluso sin gafas. Esto se debe en buena medida a las barreras parallax, una tecnología que se dio a conocer en 1901 y cuya integración en una pantalla electrónica se produjo un siglo después, de la mano de Sharp. Así, se ha implementado esta técnica en dispositivos electrónicos de última generación.(11)

3.1.3. Conceptos Básicos de la reconstrucción 3D.

Para un humano, generalmente es una tarea fácil hacerse una idea de la estructura 3D que se muestra en una imagen. Debido a la pérdida de una dimensión en el proceso de proyección, la estimación de la verdadera geometría 3D es difícil y se llama un problema mal planteado, porque generalmente infinitas superficies 3D diferentes pueden producir el mismo conjunto de imágenes.

El objetivo de la reconstrucción 3D de múltiples vistas es inferir la estructura geométrica de una escena capturada por una colección de imágenes. Por lo general, se supone que la posición de la cámara y los parámetros internos son conocidos o se pueden estimar a partir del conjunto de imágenes. Mediante el uso de múltiples imágenes, la información 3D se puede recuperar (parcialmente) resolviendo un problema de correspondencia en píxeles. Dado que la estimación automática de correspondencia suele ser ambigua e incompleta, es necesario un mayor conocimiento (conocimiento previo) sobre el objeto. Un prior típico es suponer que la superficie del objeto es lisa.

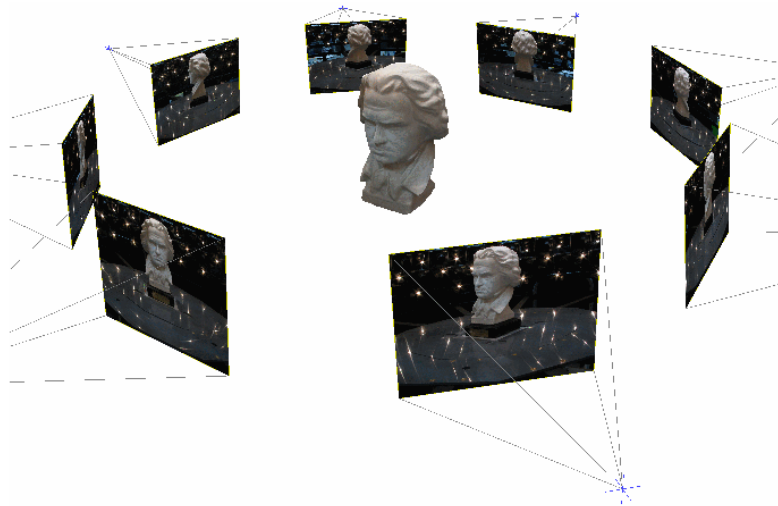


Fig. 3.3. Imágenes tomadas desde distintos ángulos. (11)(12)

Cuando tomamos una imagen con una cámara con orificios, perdemos información importante, es decir, la profundidad de la imagen. O qué tan lejos está cada punto de la imagen de la cámara porque es una conversión de 3D a 2D. Por lo tanto, es una pregunta importante si podemos encontrar la información de profundidad utilizando estas cámaras. Y la respuesta es usar más de una cámara. Nuestros ojos funcionan de manera similar cuando usamos dos cámaras (dos ojos) que se llama visión estereó. Antes de pasar a las imágenes de profundidad, primero comprendamos algunos conceptos básicos en geometría de vistas múltiples. En esta sección trataremos la geometría epipolar.

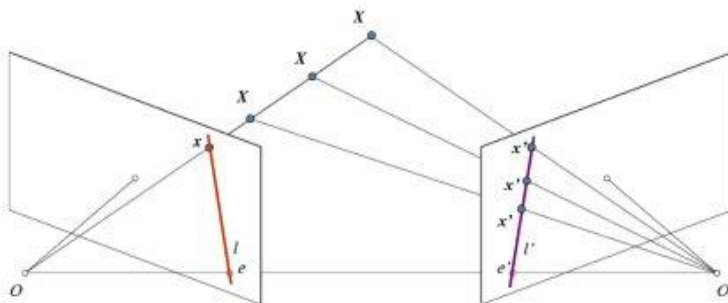


Fig. 3.4. Configuración básica con dos cámaras que toman la imagen de la misma escena.

Si estamos usando solo la cámara izquierda, no podemos encontrar el punto 3D correspondiente al punto X en imagen porque cada punto en la línea OX se proyecta al mismo punto en el plano de la imagen. Pero considere la imagen correcta también. Ahora diferentes puntos en la línea OX proyectos a diferentes puntos (X') en el plano derecho. Entonces, con estas dos imágenes, podemos triangular el punto 3D correcto. Esta es toda la idea.

La proyección de los diferentes puntos en OX forman una línea en el plano derecho (línea l') Lo llamamos epilina correspondiente al punto X . Significa, encontrar el punto X en la imagen de la derecha, busque a lo largo de esta epilina, para encontrar el punto de coincidencia en otra imagen, no necesita buscar en toda la imagen, solo buscar a lo largo de la epilina por tanto proporciona un

mejor rendimiento y precisión; esto se llama restricción epipolar. Del mismo modo, todos los puntos tendrán sus correspondientes epilinas en la otra imagen. El plano $XO O'$ se llama plano epipolar.

O y O' son los centros de cámara. De la configuración dada anteriormente, puede ver esa proyección de la cámara derecha O' se ve en la imagen de la izquierda en el punto, E . Se llama epipole que es el punto de intersección de la línea a través de los centros de las cámaras y los planos de la imagen. Del mismo modo E' es el epipole de la cámara izquierda. En algunos casos, no podrá ubicar el epipole en la imagen, pueden estar fuera de la imagen lo que significa que una cámara no ve la otra.

Todas las epilinas pasan por su epipole. Entonces, para encontrar la ubicación del epipole, podemos encontrar muchas epilinas y encontrar su punto de intersección.(13)

3.1.4. Métodos utilizados para la reconstrucción 3D.

La investigación de la reconstrucción 3D siempre ha sido un objetivo difícil. Utilizando la reconstrucción 3D, se puede determinar el perfil 3D de cualquier objeto, así como conocer la coordenada 3D de cualquier punto del perfil. La reconstrucción 3D de objetos es una tecnología de problema y el núcleo generalmente científica de una amplia variedad de campos, como el diseño asistido por ordenador geométrica (CAGD), gráficos por ordenador, animación por ordenador, visión por ordenador, imágenes médicas, ciencias de la computación, la realidad virtual, los medios digitales, etc. Por ejemplo, la información de la lesión de los pacientes se puede presentar en 3D en la computadora, lo que ofrece un enfoque nuevo y preciso en el diagnóstico y, por lo tanto, tiene un valor clínico vital. Los modelos de elevación digital se pueden reconstruir utilizando métodos como la altimetría láser en el aire el radar de apertura sintética.

3.1.4.1. Métodos activos.

Los métodos activos, es decir, los métodos de datos de rango, dado el mapa de profundidad, reconstruyen el perfil 3D mediante un enfoque de aproximación numérica y construyen el objeto en un escenario basado en el modelo. Estos métodos interfieren activamente con el objeto reconstruido, ya sea mecánica o radiométricamente usando telémetros, para adquirir el mapa de profundidad, por ejemplo, luz estructurada, telémetro láser y otras técnicas de detección activa. Un ejemplo simple de un método mecánico usaría un medidor de profundidad para medir la distancia a un objeto giratorio colocado en un plato giratorio. Los métodos radiométricos más aplicables emiten resplandor hacia el objeto y luego mide su parte reflejada. Los ejemplos van desde fuentes de luz en movimiento, luz visible coloreada, láser de tiempo de vuelo hasta microondas o ultrasonido 3D.

3.1.4.2. Métodos pasivos.

Los métodos pasivos de reconstrucción 3D no interfieren con el objeto reconstruido; solo usan un sensor para medir la radiación reflejada o emitida por la superficie del objeto para inferir su estructura

3D a través de la comprensión de la imagen . Normalmente, el sensor es un sensor de imagen en una cámara sensible a la luz visible y la entrada al método es un conjunto de imágenes digitales (una, dos o más) o video. En este caso, hablamos de reconstrucción basada en imágenes y la salida es un modelo 3D . En comparación con los métodos activos, los métodos pasivos se pueden aplicar a una gama más amplia de situaciones.(14)

3.1.5. Pasos para la reconstrucción 3D.

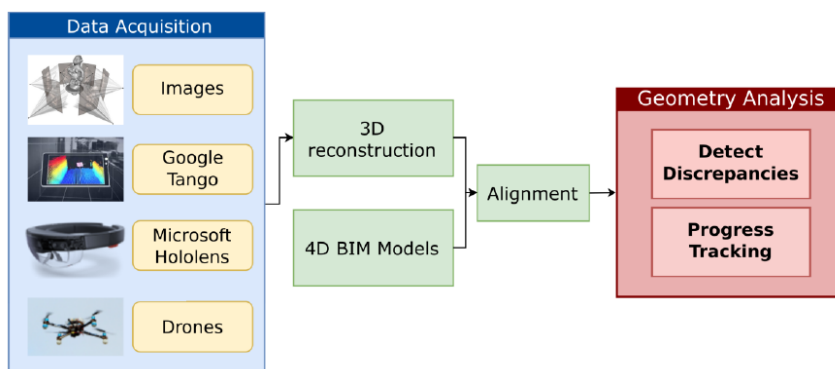


Fig. 3.5. Proceso para la reconstrucción 3D. (15)

3.1.5.1. Adquisición de imágenes.

La adquisición de imágenes digitales en 2D es la fuente de información de la reconstrucción en 3D. La reconstrucción 3D comúnmente utilizada se basa en dos o más imágenes, aunque en algunos casos puede emplear solo una imagen. Existen varios tipos de métodos para la adquisición de imágenes que dependen de las ocasiones y propósitos de la aplicación específica. No solo se deben cumplir los requisitos de la aplicación, sino también la disparidad visual, la iluminación, el rendimiento de la cámara y la característica del escenario.

3.1.5.2. Calibración de cámara.

La calibración de la cámara es una parte básica y esencial en la reconstrucción 3D.

3.1.5.3. Extracción de características

El objetivo de la extracción de características es obtener las características de las imágenes, a través de las cuales se procesa la correspondencia estéreo. Como resultado, las características de las imágenes se vinculan estrechamente con la elección de los métodos de correspondencia.

3.1.5.4. Correspondencia estéreo

La correspondencia estéreo es establecer la correspondencia entre los factores primitivos en las imágenes, es decir, hacer coincidir $P_1(u_1, v_1)$ y $P_2(u_2, v_2)$ de dos imágenes. Deben notarse ciertos

factores de interferencia en el escenario, por ejemplo, iluminación, ruido, características físicas de la superficie, etc.

3.1.5.5. Restauración

Según una correspondencia precisa, combinada con los parámetros de ubicación de la cámara, la información geométrica 3D se puede recuperar sin dificultades. Debido al hecho de que la precisión de la reconstrucción 3D depende de la precisión de la correspondencia, el error de los parámetros de ubicación de la cámara, etc., los procedimientos anteriores deben realizarse con cuidado para lograr una reconstrucción 3D relativamente precisa. (14)

3.2. Impresión 3D.

3.2.1. ¿Qué es la impresión 3D?

La impresión 3D es un grupo de tecnologías de fabricación por adición donde un objeto tridimensional es creado mediante la superposición de capas sucesivas de material. Las impresoras 3D son por lo general más rápidas, más baratas y más fáciles de usar que otras tecnologías de fabricación por adición, aunque como cualquier proceso industrial, están sometidas a un compromiso entre su precio de adquisición y la tolerancia en las medidas de los objetos producidos. Las impresoras 3D ofrecen a los desarrolladores de un producto la capacidad para imprimir partes y montajes hechos de diferentes materiales con diferentes propiedades físicas y mecánicas, a menudo con un simple proceso de ensamble. Las tecnologías avanzadas de impresión 3D pueden incluso ofrecer modelos que pueden servir como prototipos de producto.(16)

3.2.2. Origen de la impresión 3D.

El inicio de la impresión 3D se remonta a 1976, cuando se inventó la impresora de inyección de tinta. En 1984, algunas adaptaciones y avances sobre el concepto de la inyección de tinta transformaron la tecnología de impresión con tinta a impresión con materiales. A lo largo de las últimas décadas, ha habido una gran variedad de aplicaciones de la tecnología de impresión 3D que se han desarrollado a través de varias industrias. (17)

En el año 1976 se desarrollaron equipos y materiales de fabricación de aditivos tempranos. En 1981, Hideo Kodama, del Instituto Municipal de Investigaciones Industriales de Nagoya, inventó dos métodos de fabricación AM de un modelo de plástico tridimensional con un polímero fotoendurecible, en el que el área de exposición a rayos ultravioleta era controlada por un patrón de máscara o transmisor de fibra de barrido. El 16 de julio de 1984, Alain Le Méhauté, Olivier de Witte y Jean Claude André presentaron su patente para el proceso de estereolitografía. Esto fue tres semanas antes de que Chuck Hull presentase su propia patente de estereolitografía. La aplicación de los inventores franceses fue abandonada por la compañía General Electric francesa (ahora Alcatel-Alsthom) y CILAS (The Laser

Consortium). La razón aducida fue "por falta de perspectiva empresarial". Luego, en 1984, Chuck Hull de 3D Systems Corporation desarrolló un sistema prototipo basado en el proceso conocido como estereolitografía, en el que se añaden capas mediante el curado de fotopolímeros con láseres de rayos ultravioleta. Hull definió el proceso como un «sistema para generar objetos tridimensionales mediante la creación de un patrón transversal del objeto a formar», pero esto ya había sido inventado por Kodama. La contribución de Hull fue el diseño del formato de archivo STL (STereoLithography) ampliamente aceptado en la actualidad por el software de impresión 3D, así como las estrategias digitales de corte y relleno comunes a muchos procesos actuales. El término «impresión en 3D» se refería originalmente a un proceso que empleaba cabezales de impresión de chorro de tinta estándar y personalizados. La tecnología utilizada por la mayoría de las impresoras 3D hasta la fecha es el modelado por deposición fundida, una aplicación especial de extrusión de plástico.(18)

Charles Hull, más tarde, el cofundador de 3D Systems, inventa la estereolitografía, un proceso de impresión que permite que un Objeto en 3D se cree a partir de datos digitales. Se utiliza la tecnología para crear un modelo 3D a partir de una imagen y permite que los usuarios prueben un diseño antes de que este invierta en la fabricación del modelo definitivo. Las impresoras 3D funcionan como las impresoras de chorro de tinta, en vez de tinta, las impresoras 3d depositan el material deseado en una serie de capas sucesivas para crear un objeto procedente de un formato digital.(19)

3.2.3. Conceptos básicos de la impresión 3D.

El aditivo de fabricación se lleva a planos virtuales de diseño asistido por ordenador(CAD) o el software de modelado y animación, se encuentran en secciones digitales para la máquina para utilizar sucesivamente como una guía para la impresión. Dependiendo de la máquina que se utiliza, el material o un material de unión se deposita sobre el lecho de construcción o de la plataforma hasta que el material de estratificación / aglutinante se completa y el modelo 3D final ha sido "impreso". Una interfaz estándar de datos entre el software CAD y las máquinas de impresión es el formato de archivo STL (STL (siglas provenientes del inglés "STereo Lithography")) es un formato de archivo informático de diseño asistido por computadora (CAD) que define la geometría de objetos 3D, excluyendo información como color, texturas o propiedades físicas que sí incluyen otros formatos CAD). Un archivo STL se aproxima a la forma de una pieza o un ensamblaje utilizando facetas triangulares. Facetas más pequeñas producen una superficie de mayor calidad. CAPA es un formato de archivo de entrada analizador generado, y VRML (WRL) o archivos a menudo se utilizan como entrada para las tecnologías de impresión 3D que son capaces de imprimir a todo color.(14)

3.2.4. Métodos utilizados en la impresión 3D.

Existe un gran número de tecnologías disponibles para la impresión 3D que están en competencia. Sus principales diferencias se encuentran en la forma en la que las diferentes capas son usadas para crear piezas. Algunos métodos usan fundido o ablandando el material para producir las capas, por ejemplo sinterizado de láser selectivo (SLS) y modelado por deposición fundida (FDM), mientras que otras depositan materiales líquidos que son solidificados con diferentes tecnologías. En el caso

de manufactura de objetos laminados, se cortan capas delgadas para ser moldeadas y unidas juntas.

Cada método tiene sus propias ventajas e inconvenientes; por ello, algunas compañías ofrecen elegir entre polvos y polímero como material de fabricación de la pieza según sean las prioridades del cliente. Generalmente las consideraciones principales son velocidad, coste del prototipo impreso, coste de la impresora 3D, elección y coste de materiales, así como capacidad para elegir el color.

Tipo	Tecnologías	Materiales
Extrusión	Modelado por deposición fundida (FDM)	Termoplásticos, por ejemplo PLA, ABS, HDPE, poliuretano termoplástico (TPU), metales eutécticos, materiales comestibles
Hilado	Fabricación por haz de electrones (EBF ³)	Casi cualquier aleación
Granulado	Sinterizado directo de metal por láser (DMLS)	Casi cualquier aleación
	Fusión por haz de electrones (EBM)	Aleaciones de titanio
	Sinterizado selectivo por calor (SHS)	Polvo termoplástico
	Sinterizado selectivo por láser (SLS)	Termoplásticos, polvos metálicos, polvos cerámicos
	Proyección aglutinante (DSPC)	Yeso
Laminado	Laminado de capas (LOM)	Papel, papel de aluminio, capa de plástico
	Estereolitografía (SLA)	fotopolímero
Fotoquímicos	Fotopolimerización por luz ultravioleta (SGC)	fotopolímero

Tabla. 3.6. Métodos de impresión 3D. (14)

3.3. Apnea del Sueño.

3.3.1. ¿Qué es la apnea del sueño?

La apnea del sueño es un trastorno del sueño potencialmente grave en que la respiración se detiene y recomienza repetidas veces; es un trastorno común en donde la respiración se interrumpe o se hace muy superficial. Estas interrupciones pueden durar desde unos pocos segundos a minutos y pueden ocurrir más de 30 veces por hora.(20)

“Lo que ocurre con las personas que tienen apnea del sueño es que durante la noche tienen un colapso de la faringe. Este colapso es periódico, especialmente en algunas fases del sueño (como el REM)”, explica a CuidatePlus Eusebi Chiner, neumólogo y coordinador de SeparPacientes, de la Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica (Separ). (21)

El fenómeno es bien conocido clínicamente, con diagnosis y tratamientos médicos contrastados, pero no existe una metodología sencilla ni los instrumentos y técnicas de análisis necesarias para conocer y valorar cualitativa y cuantitativamente la respuesta física y clínica de una actuación mandibular concreta. (22)(23)

3.3.2. Síntomas.

Los signos y síntomas de la apnea obstructiva y la apnea central del sueño coinciden, por lo que a veces es más difícil determinar el tipo de apnea. Los signos y síntomas más comunes de la apnea obstructiva y la apnea central del sueño incluyen los siguientes:(24)

- Ronquidos fuertes.
- Episodios en los que dejas de respirar durante el sueño (lo cual señala otra persona).
- Jadeos al respirar durante el sueño.
- Despertarse con la boca seca.
- Dolor de cabeza por la mañana.
- Problemas para mantenerse dormido (insomnio).
- Sensación de sueño excesiva durante el día (hipersomnía).
- Dificultad para prestar atención mientras estás despierto.
- Irritabilidad.

3.3.3. Tipos de Apnea

Los principales tipos de apnea del sueño son:

3.3.3.1. Apnea obstructiva del sueño.

La forma más común, que ocurre cuando los músculos de la garganta se relajan. Esto ocurre cuando los músculos en la parte posterior de la garganta se relajan. Estos músculos sostienen el paladar blando, la porción triangular de tejido que cuelga del paladar blando (úvula), las amígdalas, las paredes laterales de la garganta y la lengua. Cuando los músculos se relajan, las vías aéreas se estrechan o se cierran cuando respiras. No puedes recibir suficiente aire, lo que puede bajar el nivel de oxígeno en la sangre. El cerebro detecta que no puedes respirar y te despierta brevemente para que puedas volver a abrir las vías aéreas. Este despertar generalmente resulta tan breve que no lo recuerdas. Podrías resoplar, ahogarte o jadear. Este patrón se puede repetir de 5 a 30 veces o más cada hora, durante toda la noche, lo que dificulta tu capacidad de alcanzar las etapas profundas y reparadoras del sueño.(24)

3.3.3.2. Apnea central del sueño.

Ocurre cuando el cerebro no envía señales correctas a los músculos que controlan la respiración. Este tipo menos frecuente de apnea del sueño ocurre cuando el cerebro deja de transmitir señales a los músculos de la respiración. Esto significa que no haces esfuerzo para respirar durante un período breve de tiempo. Es posible que te despiertes con dificultad para respirar o que te cueste volver a dormir o seguir durmiendo.(24)

3.3.4. Tratamientos.

Es más generalizado es el uso de una máscara que emite un chorro de aire a presión, que reabre las paredes de la vía aérea y evita su colapso. Es lo que se denomina **CPAP**, es decir, presión positiva continua en la vía aérea. Lo cierto es que se trata de un tratamiento muy efectivo, pero suele

resultar incómodo para el paciente, por lo que desgraciadamente desemboca en abandonos del protocolo y subsecuentes recaídas.

La presión de aire positiva permite mantener las vías aéreas abiertas facilitando la respiración y es ejercida a través de una máscara que se coloca sobre la nariz y/o boca del paciente. El aire suministrado a través de la mascarilla puede ir o no enriquecido en O₂ según la situación y características del paciente.(25)

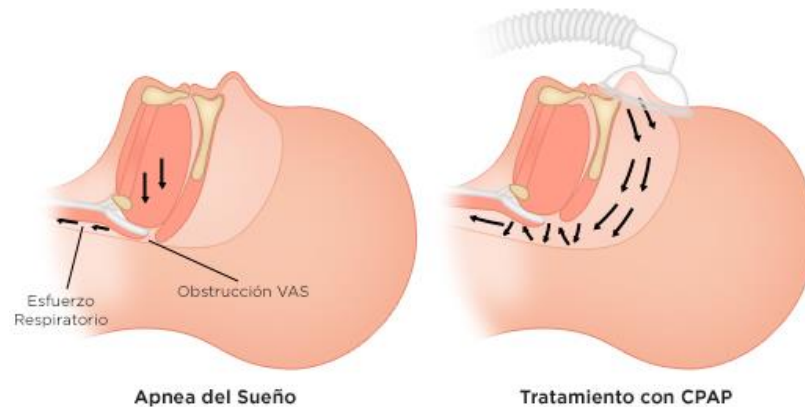


Fig. 3.7. Tratamiento con CPAP. (26)



Fig. 3.8. Tipos de mascarillas CPAP. (27)

La persona se coloca una máscara sobre la nariz o la nariz y la boca mientras duerme. La máscara está conectada por medio de una manguera a una pequeña máquina que permanece al lado de su cama y mientras tanto la máquina bombea aire bajo presión a través de la manguera y la máscara hacia las vías respiratorias mientras usted duerme. Esto ayuda a mantener abiertas las vías respiratorias.(28)



Fig. 3.9. Equipo de CPAP. (29)

Otra opción son las **férulas o dispositivos de avance mandibular** realizadas a medida, que se emplean por la noche para aumentar el área faríngea. Tienen el inconveniente de ser solo efectivas en las apneas leves.

Por último, los doctores nos cuentan que también se realizan **intervenciones quirúrgicas** que buscan una solución permanente a los puntos de obstrucción de la vía respiratoria superior. La más efectiva es el avance mandibular, que está especialmente indicado para los pacientes que presentan una posición retrasada de la mandíbula.(30)

4. Metodología

En este capítulo se explicará la metodología que se ha desarrollado para el cumplimiento de los objetivos propuestos de este documento. Antes de exponer la metodología principal utilizada, se expondrá a continuación, toda la metodología previa que se desarrolló antes de utilizar los programas y aplicaciones de la metodología principal. El desarrollo de la metodología en general según es el siguiente:

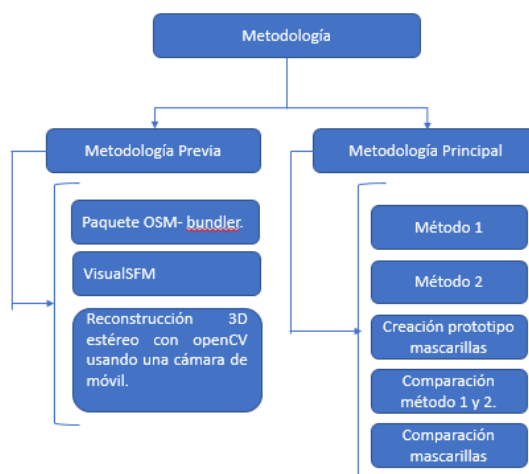


Fig. 4.1. Metodología general del proyecto.

4.1. Metodología previa.

Teniendo en cuenta que el primer paso para el desarrollo del prototipo de mascarillas personalizadas es la reconstrucción 3D del rostro; se realizó una profunda investigación sobre los diferentes caminos para desarrollar la reconstrucción 3D en el rostro considerando programas de reconstrucción, algoritmos y aplicaciones en las diferentes herramientas tecnológicas que se tenían para realizar tal actividad.

Por tal motivo, antes de hablar de las dos maneras en que se desarrollaron los rostros en 3D, se describirán las diferentes formas en que se intentó realizar la reconstrucción a priori:

➤ Paquete OSM-bundler.

Considerando la investigación, el paquete OSM-bundler cuenta con ser una paquete simple y fácil de manejar para la reconstrucción 3D de objetos, sin necesidad de codificación. Es un paquete que implementa 3 algoritmos; el primero es el Bundler que realiza una reconstrucción 3D escasa, el segundo el PMVS (*patch multi view stereo*) que toma como entrada la escasa reconstrucción que ejecuta Bundler y produce una malla densa de reconstrucción 3D y por último CMVS (*Clustered multi view stereo*) que es lo mismo que PMVS, simplemente que es

mucho más rápido y debe usarse cuando se procesan muchas imágenes. A continuación, se describirán todos los pasos para que el paquete OSM-bundler se ejecutara. (31)

DESCARGA E INSTALACIÓN DE DIFERENTES PROGRAMAS. (GRATUITOS)

1. Descargar e instalar el paquete OSM-Bundler, extrayéndolo en la unidad D.
2. Descargar e instalar Python 2.7.6, además de Python Imaging Library para ver los modelos 3D.
3. Descargar e instalar Meshlab.

PROCEDIMIENTO PARA CONSTRUIR UN MODELO 3D.

1. Tomar imágenes del objeto con cámara desde múltiples puntos de vista; en este caso se tomaron 22 fotos de un muñeco de felpa que contenía textura teniendo como fondo una pared blanca; se giró alrededor del objeto y se tomaron las fotos rotando cada pocos grados.
2. Se abrió el comando central del equipo.
3. Se escribió el siguiente comando:


```
>> cd D:\datos c\Escritorio\TFG\osm-bundler2 \osm-bundlerWin64.
```
4. Ejecutar Bundler en la carpeta donde se encuentran las imágenes:


```
>> python RunBundler.py -photos = D:\datos c\Escritorio\TFG\monki
```
5. El paquete Bundler opera en la imagen, esté abrirá una carpeta temporal con las salidas de Bundler.
6. Ejecutar PMVS en la carpeta de salida temporal del paquete utilizando el siguiente comando:


```
>> python RunPMVS.py -bundlerOutputPath = " <BundlerOutputPath>"
```

Sin embargo, en el ordenar la carpeta temporal no se creó y el comando principal generaba el siguiente error,

Problema al compilar desde el cmd central:

```
D:\datos c\Escritorio\TFG\osm-bundler2 \osm-bundlerWin64. Python RunPMVS.py —
bundlerOutputPath = . . . \ App Data \ Local \ Temp \...
```

Error

Python script helper para iniciar el software PMVS en los archivos de resultados de Bundler.

Permitir calcular una nube de puntos densa.

-BundlerOutputPath =

La única opción obligatoria

-help

Imprimir ayuda y salir

Por lo que fue imposible, seguir desarrollando este camino. Investigando sobre este error; el ordenador no tenía unos drivers que se necesitaban para la ejecución de este paquete, no obstante, este si los tenía instalados.

➤ **VisualSFM**

Tomando en consideración la investigación, VisualSFM es una aplicación GUI para la reconstrucción en 3D usando la estructura del movimiento (SfM). El sistema de reconstrucción integra diferentes anteriores tales como : SIFT en GPU (SiftGPU) , Ajuste de paquete multinúcleo y Hacia la estructura incremental en tiempo lineal desde el movimiento. VisualSFM se ejecuta rápidamente al explotar el paralelismo multinúcleo para la detección de características, la coincidencia de características y el ajuste de paquetes.



Fig. 4.2. VisualSFM.(32)

Para la reconstrucción densa, este programa integra la ejecución de la cadena de herramientas PMVS / CMVS de Yasutaka Furukawa. La salida SfM de VisualSFM funciona con varias herramientas adicionales, incluidas CMP-MVS de Michal Jancosek, MVE del grupo de investigación de Michael Gróesele, SURE de Matthias Rothermel y Konrad Wenzel y MeshRecon de Zhuoliang Kang. (33)(34)(35)(36)

Sin embargo, al descargarlo e instalarlo en el ordenador, en el momento cargar las imágenes es que son necesarias demasiadas imágenes para que exista un match entre puntos y se reconstruya la imagen, a continuación, se expondrá en imagen lo que se quiere expresar:

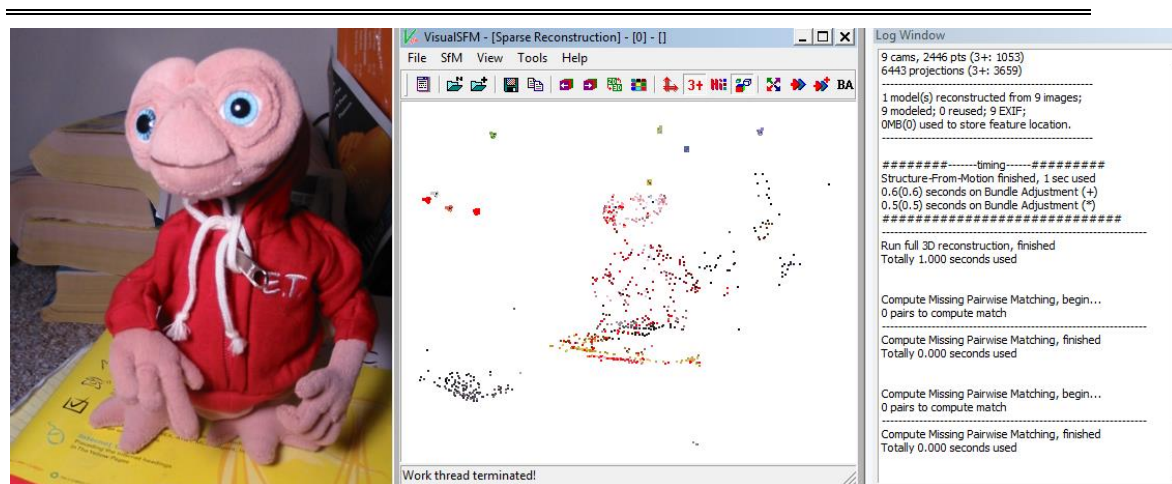


Fig. 4.3. Unión de puntos por medio de VisualSFM.

Por lo que fue imposible, seguir desarrollando este camino. Son necesarias demasiadas imágenes para que la reconstrucción sea un poco más nítida y poder desarrollar las mascarillas de apnea.

➤ **Reconstrucción 3D estéreo con openCV usando una cámara de móvil.**

Tomando en consideración la investigación, este método se basa en un mapa de profundidad que es una imagen donde cada píxel tiene información de profundidad (en lugar de información de color), representada como una imagen en escala de grises.

Hay diferentes formas de obtener un mapa de profundidad y estas dependen del sensor que se utilice, este determinará la precisión del mapa de profundidad. La esencia de este método consiste en observar la misma imagen desde dos ángulos diferentes, buscando la misma cosa en ambas imágenes e inferir la profundidad a partir de la diferencia de posición. Es por esto que la reconstrucción estéreo 3D requiere los siguientes pasos: (37)

DESCARGA E INSTALACIÓN DE DIFERENTES PROGRAMAS. (GRATUITOS)

1. Descargar e instalar Python 3.7.1.
2. Descargar e instalar OpenCV 3.4.4.
3. Descargar e instalar las librerías Numpy, Glob, tqdm y Pillow.

PROCEDIMIENTO PARA LA RECONSTRUCCIÓN 3D.

1. Calibración de la cámara: use un montón de imágenes para inferir la distancia focal y los centros ópticos de su cámara. Este procedimiento consiste en hacer que el ordenador escanee una imagen con un patrón de tablero de ajedrez e identifique las esquinas internas varias veces con diferentes imágenes. En este caso se tomaron 35 fotos de un tablero de ajedrez tomando varias fotos del mismo patrón. Una vez que se tomaron suficientes fotos, se ejecutó el código expuesto en el Anexo A llamado **CALIBRACIÓN**.(38)
2. Una vez que la cámara está calibrada, se ejecutó el código expuesto en el Anexo A llamado **RECONSTRUCCIÓN**. En donde existe una coincidencia de características; buscando características similares entre ambas imágenes y creando un mapa de profundidad, proyectando puntos utilizando el mapa de profundidad para proyectar píxeles en el espacio 3D y finalmente construyendo una nube de puntos que contenga puntos en el espacio 3D para visualizar el objeto.(39)

Sin embargo, teniendo en cuenta la reconstrucción, hacen falta una nube de puntos más densa para poder desarrollar la mascarilla considerando un rostro. A continuación, por medio de una imagen de un objeto se podrá observar lo dicho anteriormente:

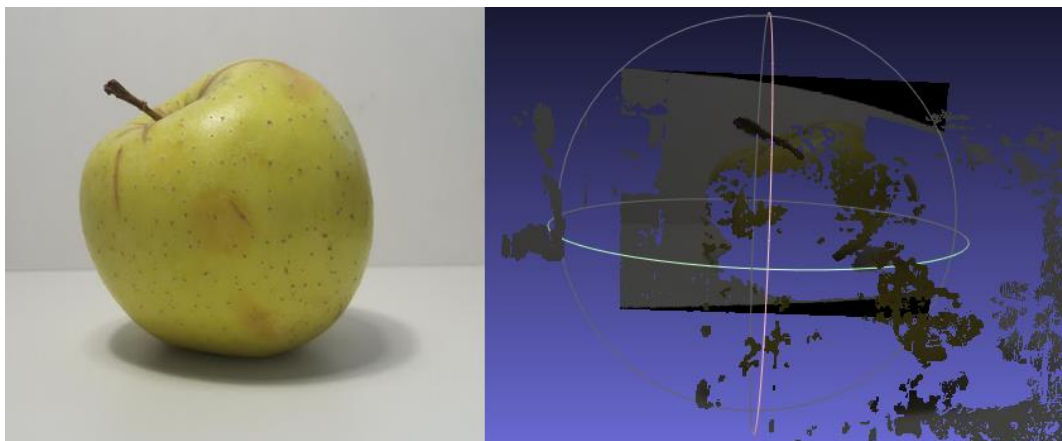


Fig.4.4. Reconstrucción por medio del algoritmo.

Por lo que fue imposible, seguir desarrollando este camino. Son necesarias demasiadas imágenes para que la reconstrucción sea un poco más nítida y poder desarrollar las mascarillas de apnea.

4.2. Metodología principal

Antes de describir los métodos utilizados, a continuación, se expondrán de forma simple las herramientas utilizadas para el desarrollo del proyecto.

- **KScan 3D.** Es un programa que puede escanear, editar, procesar y exportar datos de manera rápida y fácil para usar con su software de modelado 3D favorito, este programa tiene la capacidad de convertir los datos de color y profundidad capturados por los sensores en mallas 3D; al capturar datos desde múltiples ángulos, puede crear una malla completa de 360 grados. Una vez que haya capturado los datos que son necesarios, este programa puede eliminar puntos innecesarios, diezmar mallas, suavizar datos y entre otras. Finalmente, las mallas finales se pueden exportar en formatos. fbx, .obj, .stl, .ply y .asc para diferentes aplicaciones como lo son utilizarlo con efectos visuales, desarrollo de juegos, CAD / CAM, impresión 3D, visualización en línea, entre otras. (40)
- **Kinect.** Este es un dispositivo que inicialmente se pensó como un controlador de juegos, teniendo en cuentas los componentes que lo integran: sensor de profundidad, cámara RGB, array de micrófonos y sensor de infrarrojos tiene la capacidad de capturar el esqueleto humano, reconocerlo y posicionarlo en un plano; permite a los usuarios controlar e interactuar con la consola sin necesidad de tener contacto físico con un controlador de videojuegos tradicional, mediante una interfaz natural de usuario que reconoce gestos, comandos de voz y objetos e imágenes.(41) Por lo que este dispositivo se puede hacer uso para programar una serie de aplicativos de interacción virtual a través de los distintos movimientos del cuerpo humano.(42)(43)

- **Game Avatar.** Esta es una app de móvil Android que crea un modelo 3D de una cabeza a partir de una sola foto selfie exportando archivos. ply actualizado el 3 de julio del 2017 cuenta con 84 millones de descargas, su versión actual es la 1.0.8 teniendo como desarrolladores Itseez3D, Inc. (44)
- **GiD.** Es un programa que presenta un sistema de pre y postproceso para análisis por métodos numéricos como elementos finitos, diferencias finitas u otras variables desarrollado por el International Center Numerical Methods in Engineering de la Universidad Politécnica de Cataluña.(45)
- **Meshmixer.** Es una aplicación de modelado en 3D, con la cual se puede crear, reconstruir y esculpir diseños de forma sencilla y fácil; es una plataforma para el modelado en 3D, gratuita que se encuentra disponible para sistemas operativos Windows y Mac OS X. (46)
- **Meshlab.** Este es un programa cuya finalidad es mejorar la imagen de las figuras en 3D con las que se trabaja en el ordenador. Se trata de una herramienta de gran utilidad para los desperfectos de la imagen.(47)

Una vez mencionadas las herramientas y teniendo en cuenta la anterior descripción de estas mismas, se procederá a exponer el paso a paso de la metodología principal utilizada para la realización del proyecto:

La metodología principal se divide en dos métodos para el cumplimiento de los objetivos; El primero método utilizando el programa de ordenador KScan 3D y el segundo mediante la aplicación móvil Game Avatar, sin embargo, la metodología utilizada para desarrollar el prototipo de la mascarilla de apnea del sueño fue el mismo para ambos métodos

4.3. Método 1.

Utilizando el programa KScan 3D con ayuda de la Kinect para la toma de las fotografías del rostro para la debida reconstrucción de este mismo se desarrolló la reconstrucción 3D del rostro de diferentes personas que interactuaron con la realización del proyecto, en base a las reconstrucciones obtenidas se crearon mascarillas prototipo de apnea del sueño. Este método tiene distintas etapas tanto manuales como automáticas que se explicaran a continuación.

4.3.1. Obtención de imágenes.

Para comenzar se debe tener en cuenta que los parámetros del entorno donde se toman las fotografías deben ser luminoso y con fondos claros; los movimientos de rotación del sujeto deben ser de 8°-10° en el plano Z aproximadamente, se deben evitar los movimientos de translación puesto que sin translación los datos son más nítidos y el ruido de la imagen es menor. La Kinect fue la principal

herramienta en esta etapa puesto que fue el equipo que se utilizó para la toma de las imágenes del rostro está era conectada al ordenador donde desde el programa KScan 3D se ejecutaba la orden para la toma de las fotografías. Se tomaron aproximadamente 12 fotografías al rostro en diferentes ángulos de rotación En las Fig. 4.5. se puede observar la realización de esta fase:



Fig. 4.5. Obtención de imágenes Método 1.

4.3.2. Post proceso.

Obtenidas las imágenes tomadas desde la Kinect se procede a hacer una limpieza del ruido obtenido en estas mismas de forma manual, se entiende como ruido, partes de la imagen que no son útiles para la reconstrucción 3D del rostro. La herramienta principal para este proceso fue el programa KScan 3D. Para este proceso debe realizar la limpieza imagen por imagen.



Fig. 4.6. Limpieza de imágenes tomadas desde la Kinect.

4.3.3. Match y exportación.

Teniendo en cuenta que las imágenes estuvieron en la etapa de limpieza, el programa KScan 3D tiene una opción para generar la unión de las imágenes mediante el botón “Combine” para la reconstrucción sin embargo manualmente se deben superponer las imágenes para que sea más sencillo para el programa, como se muestra a continuación en la Fig. 4.7 cabe resaltar que es un proceso largo puesto que el programa busca las características o puntos comunes para hacer una unión coherente. Finalmente se realiza el alineamiento de todas las imágenes y a posteriori mediante el botón “Finalize” se trazan unos paramentos para generar la malla final de la reconstrucción esto se puede observar en las Fig. 4.8. y Fig. 4.9. El modelo es exportado en archivo. ply tal y como se puede visualizar en la Fig. 4.10.

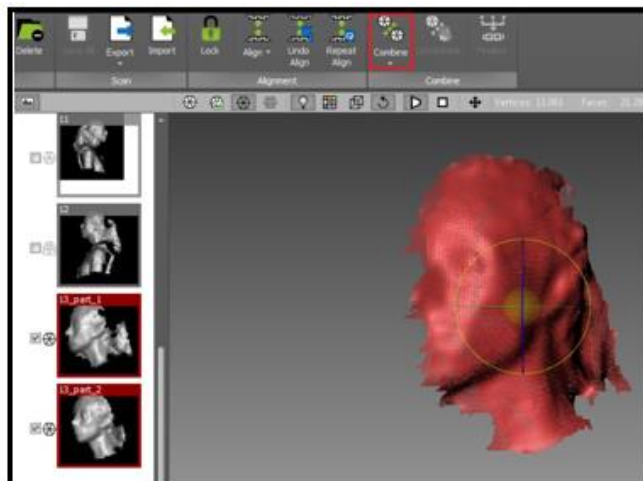


Fig. 4.7. Alineación manual y match automático

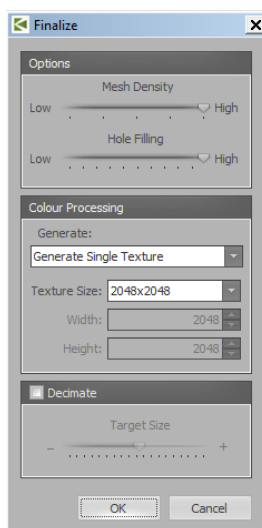


Fig. 4.8. Menú para creación final de la malla.

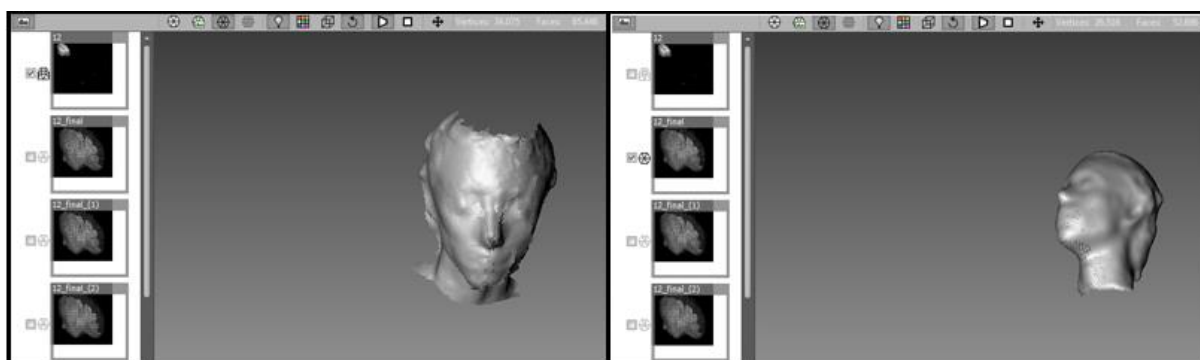


Fig. 4.9. Reconstrucción facial antes y después la creación completa de la malla.

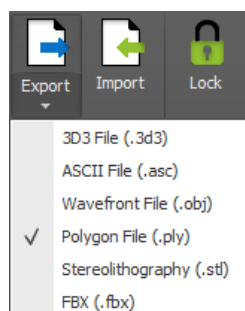


Fig. 4.10. Exportación de rostro en archivo. ply

4.4. Método 2.

Utilizando la aplicación móvil Game Avatar con ayuda de un móvil de sistema operativo Android que contaba con una cámara frontal para la toma de una fotografía del rostro para la debida reconstrucción de este mismo se obtuvo la reconstrucción 3D del rostro de la autora del documento, tutor y demás personas que interactuaron con la realización del proyecto, en base a las reconstrucciones obtenidas se crearon mascarillas prototipo de apnea del sueño.

4.4.1. Obtención de imágenes y exportación.

Los parámetros para la obtención de la imagen que es necesaria para la reconstrucción 3D del rostro no fueron restrictivos, es un método completamente automatizado y gratuito. A continuación, se pueden observar las Fig. 4.11., la obtención de una única fotografía mediante la cámara frontal del teléfono móvil, posterior a esto en la Fig. 4.12. se puede visualizar el tratamiento de la imagen para crear la reconstrucción del rostro 3D completamente automático. Y finalmente la Fig. 4.13. muestra la exportación del rostro en archivo. ply hacia otras aplicaciones como lo son Facebook y Email.



Fig. 4.11. Obtención de fotografía para reconstrucción 3D del rostro.

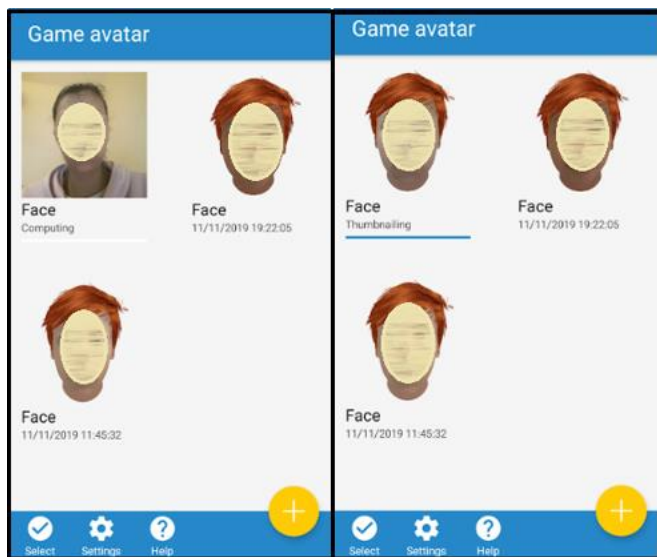


Fig. 4.12. Reconstrucción 3D automática del rostro.

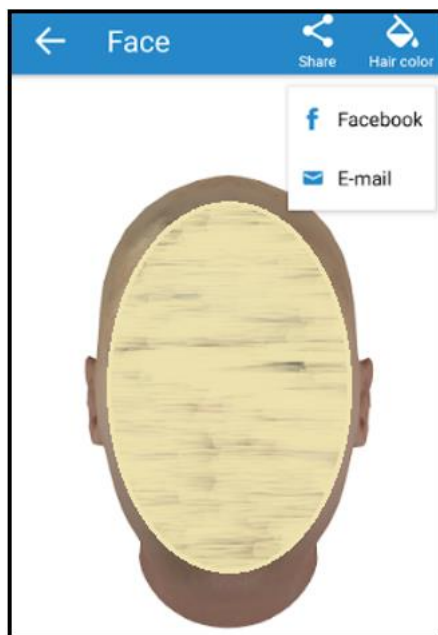


Fig. 4.13. Exportación del rostro en archivo. ply

4.5. Creación de prototipo de mascarillas.

A continuación, se podrá observar el desarrollo del prototipo de las mascarillas de apnea del sueño; estas fueron desarrolladas por medio del programa GiD manualmente mascarilla por mascarilla.

Los rostros se importaron en archivo .ply tal como lo indica la Fig. 4.14. teniendo el rostro exportado realizamos lo que se observa en la Fig. 4.15. para que su superficie se convierta de malla a geometría.

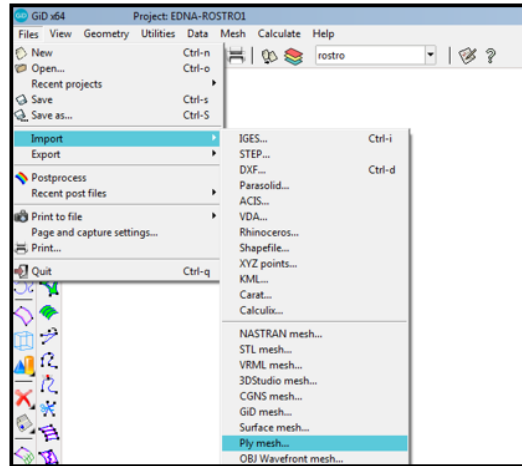


Fig. 4.14. Importación del rostro.

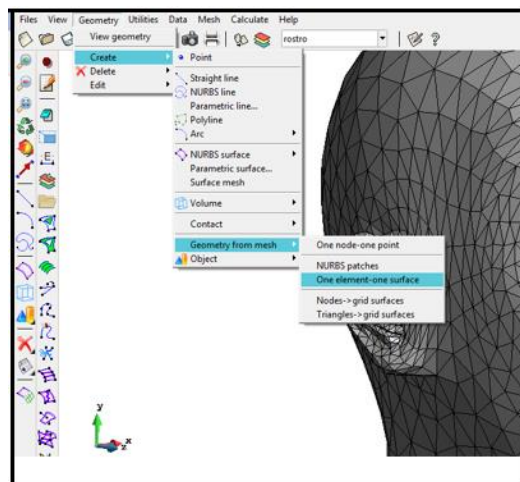


Fig. 4.15. De malla a geometría.

Teniendo en cuenta que la malla del rostro se convierte a geometría, es así como se obtiene una primera capa llamada “rostro” para la creación de la mascarilla. Se crea una segunda capa llamada “mascarilla”; las mascarillas fueron creadas a partir de figuras geométricas tales como esfera volumétrica haciendo el trabajo de mascarilla y cilindro volumétrico haciendo el trabajo de tubo que genera la presión positiva continua en la vía aérea no obstante se debe toma en consideración que el punto más óptimo para la creación de las mascarillas es la punta de la nariz, es decir, la esfera debe tener un centro genérico por lo que se decidió que fuera la punta de la nariz de cada rostro aproximadamente algunos puntos obtenidos de las mascarillas creadas son los siguientes como se observa en la Fig. 4.16. posteriormente en la Fig. 4.17. se puede observar cómo se situó el rostro y de qué forma se escoge el punto.

Puntos utilizados (coordenadas x, y, z)	
Rostro A	-0.00018 -0.021280 0.102522
Rostro B	67.683166 -45.033905 1020.764770

Tabla. 4.16. Puntos utilizados en mascarillas.

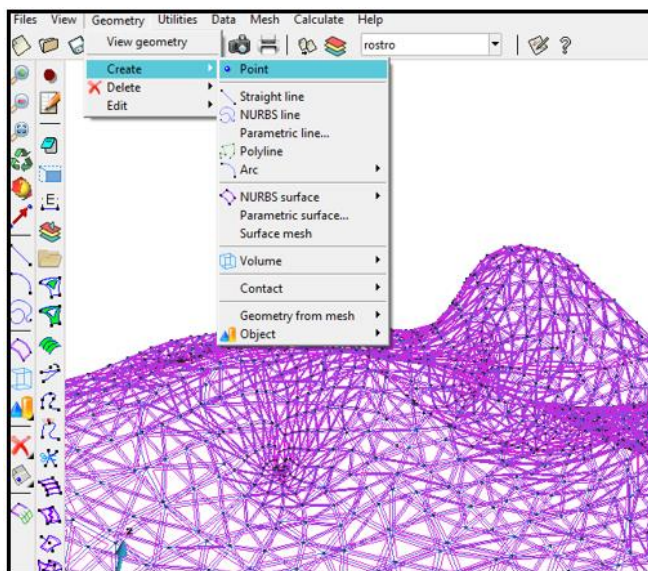


Fig. 4.17. Punto como centro de la esfera.

Una vez obtenido el centro de la esfera se procede a seleccionar dentro de las figuras geométricas la esfera con la capa llamada “mascarilla” mencionada anteriormente; en todos los rostros el radio de esta fue de 0,60mm a escala aproximadamente como se observa en la siguiente figura:

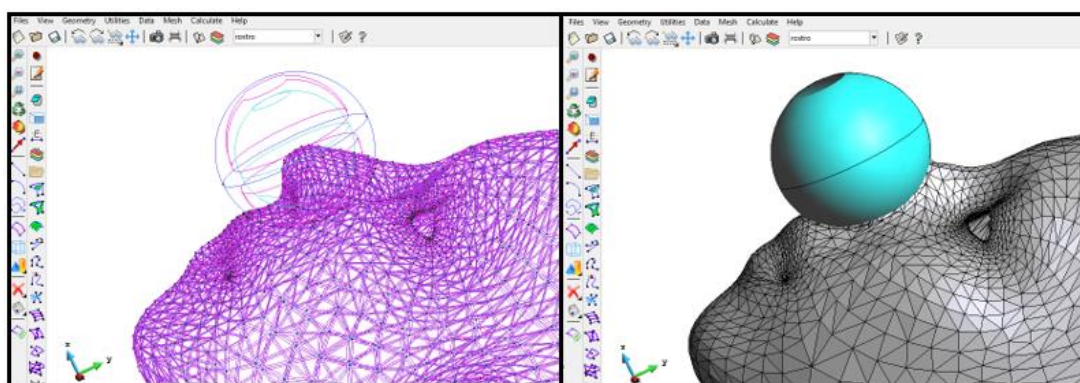


Fig.4.18. Esfera con centro en la punta de la nariz.

Se continua el proceso con la creación de otra capa llamada “intersección” como su nombre lo indica posteriormente se realizará una intersección entre la capa “rostro” y la capa “mascarilla”; esta intersección va a generar la forma de la nariz que se adapta a las necesidades anatómicas de cada persona. Lo que se realiza es seleccionar a grosso modo la

zona que se interceptan el rostro y la esfera se puede observar en la Fig. 4.19. la tapa verde es la intersección descrita anteriormente.

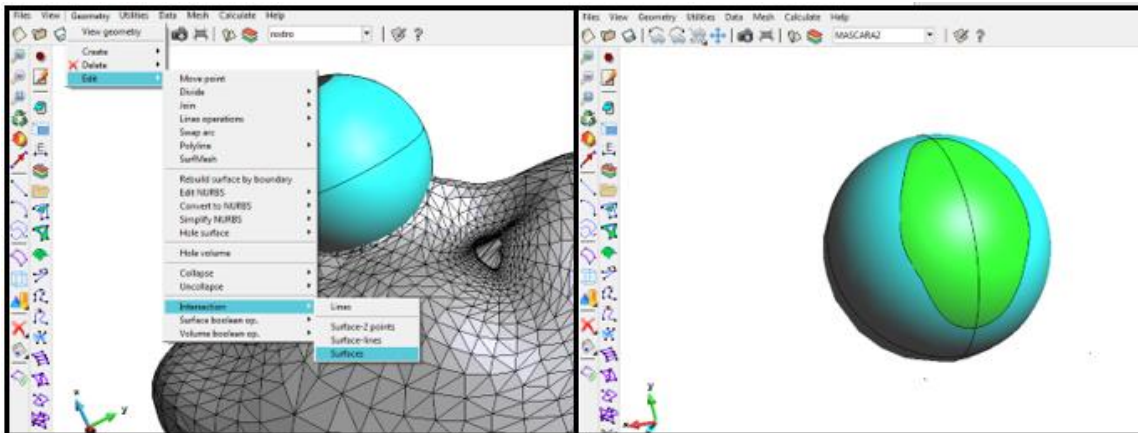


Fig. 4.19. Intersección entre rostro y esfera.

Considerando que algunas mascarillas tradicionales cuentan con una intersección en donde se encuentra el tubo de presión continua positiva, se volvió a realizar todo el proceso explicado anteriormente; desde ubicar el centro de tubo en la punta de la nariz como la esfera hasta generar la intersección de la esfera y el tubo. Las dimensiones del tubo o cilindro tienen medidas de 0,4mm de diámetro y 0,20 mm de longitud a escala aproximadamente. A continuación, en la Fig. 4.20. se puede observar el hecho descrito.

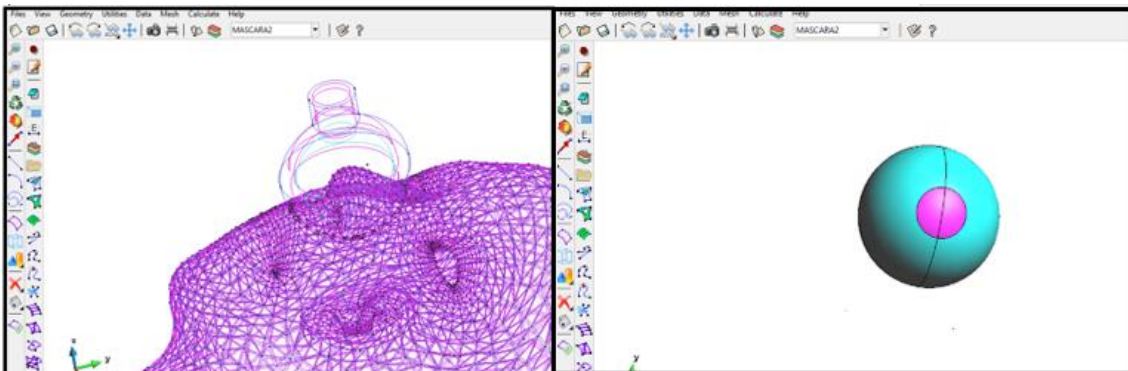


Fig. 4.20. Intersección entre cilindro y esfera.

4.6. Comparativa de rostros y mascarillas.

Teniendo en cuenta que los rostros ya están reconstruidos y sus respectivas mascarillas también. A posteriori recordando que el objetivo principal del proyecto es realizar un prototipo de mascarilla de apnea del sueño personalizado con rostros reconstruidos, se decide realizar una comparativa de rostros por medio del programa Meshlab calculando la diferencia geométrica entre dos modelos 3D.(48)

En primer lugar, los modelos utilizados en GiD fueron extraídos con archivo. stl para poder trabajar estos en Meshlab; como se muestra en la siguiente Fig. 4.21; Meshlab tiene la ventaja de poder trabajar con dos mallas para poder hacer la comparativa. Cabe recalcar que las dos mallas o modelos comparados son: en la primera comparativa el rostro del sujeto con los 2 métodos obtenemos naturalmente 2 rostros y en la segunda comparativa las mascarillas de estos mismos en este caso haciendo una comparativa directamente desde los resultados obtenidos.

4.6.1. Rostros.

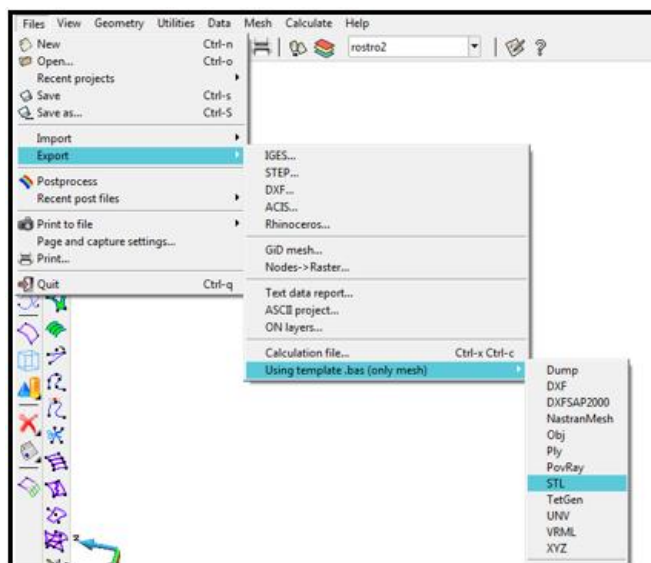


Fig. 4.21. Exportación de modelos en archivo. stl

Una vez importadas los dos modelos como se puede observar en la Fig. 4.22. se procede a escalar las mallas para que queden de un mismo tamaño como se muestra en la Fig. 4.23. Ahora sin más preámbulo se aplica el filtro de distancia Hausdorff, este es un filtro que mide la distancia entre dos subconjuntos de un espacio métrico ; convierte el conjunto y subconjuntos compactos no vacíos de un espacio métrico en un espacio métrico por derecho propio, dos conjuntos están cerca en la distancia de Hausdorff si cada punto de cualquiera de los conjuntos está cerca de algún punto del otro conjunto.(49)

$$d_H(X, Y) = \max \left\{ \sup_{x \in X} \inf_{y \in Y} d(x, y), \sup_{y \in Y} \inf_{x \in X} d(x, y) \right\}, \quad (\text{ecuación 1})$$

Estas dos medidas no son simétricas. En los filtros de Hausdorff, Meshlab calcula solo la versión unilateral

$$\sup_{x \in X} \inf_{y \in Y} d(x, y) \quad (\text{ecuación 2})$$

dejando la tarea de obtener el máximo de los dos para el usuario. Meshlab utiliza un método de muestreo para calcular la fórmula anterior teniendo un montón de puntos sobre una malla X y la

búsqueda de cada x el punto más cercano y en una malla Y . Eso significa que el resultado se ve fuertemente afectado por la cantidad de puntos que toma X y hay muchas opciones para eso. La ejecución del filtro se puede observar en la figura 4.24.

Finalmente, el filtro guarda en el campo de calidad de uso múltiple de los vértices de la malla muestreada los valores de distancia calculados. Para visualizar mejor el error, simplemente puede convertir estos valores (para la malla de alta resolución) en colores usando el filtro Color (colorear por calidad) esto se puede observar en la Fig. 4.25.

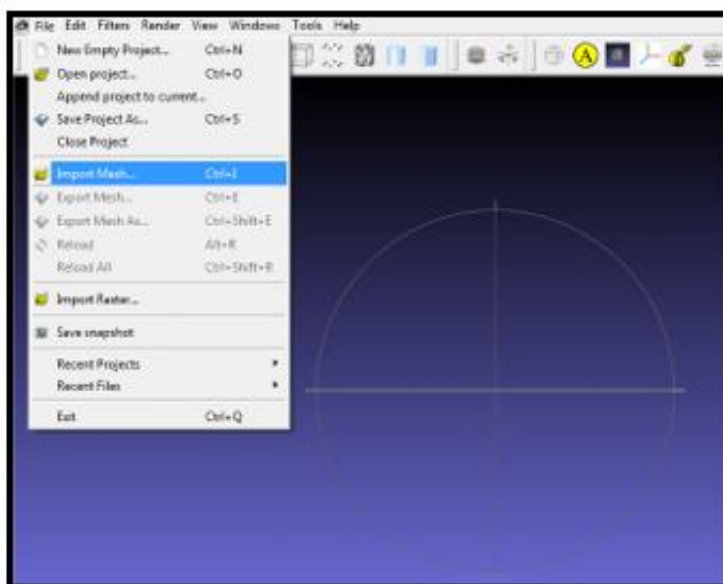


Fig. 4.22. Importación de modelos en archivo .stl

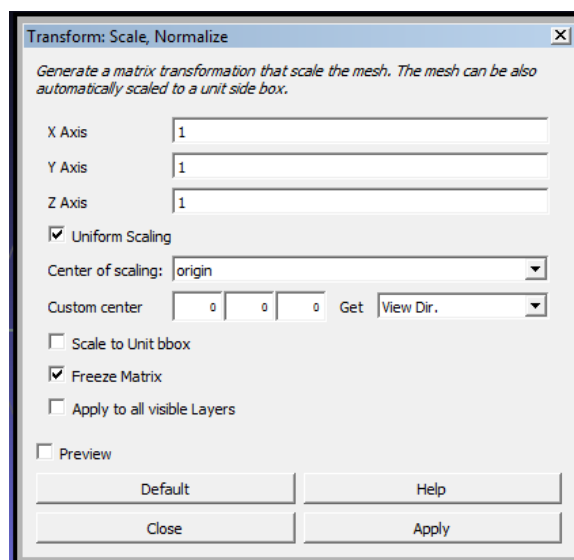


Fig. 4.23. Parámetros para escalar los modelos.

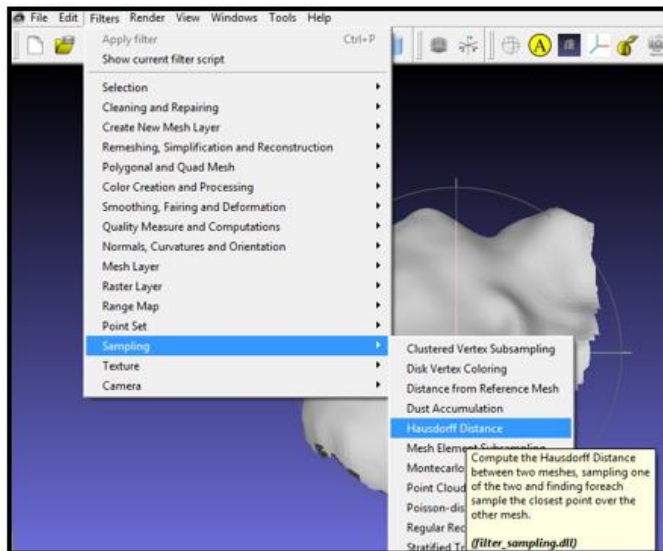


Fig. 4.24. filtro de distancia Hausdorff.

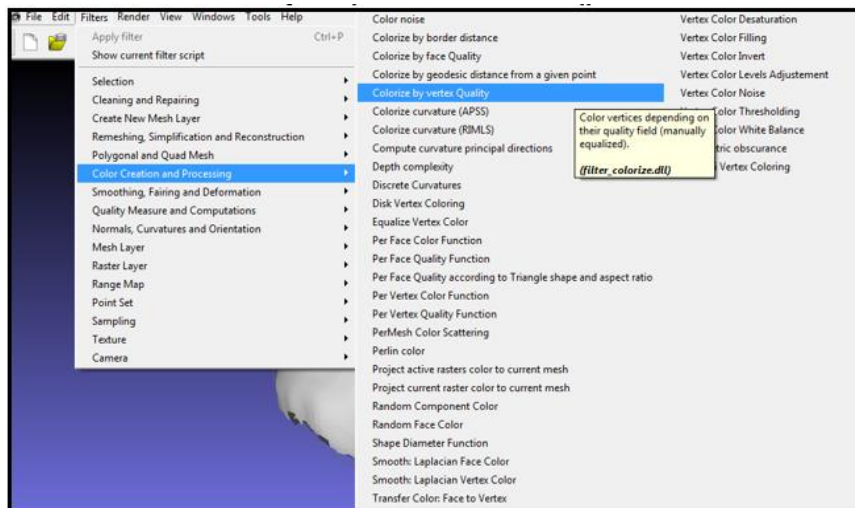


Fig. 4.24. filtro de Color.

4.6.2. Mascarillas.

La comparación de las mascarillas se realizó visualmente puesto que estas tenían las mismas dimensiones de radio; y aunque la intersección que tienen entre rostro y la mascarilla sea diferente teniendo en cuenta los resultados a simple vista se pueden observar diferencias significativas.

5. Resultados.

En este capítulo se expondrán los resultados finales del proyecto en relación a la metodología descrita anteriormente. En el primer apartado se presentará los modelos de reconstrucción 3D del rostro creados mediante el primer método utilizado, seguidamente se expondrán los modelos de reconstrucción 3D del rostro creados mediante el segundo método utilizado, posteriormente se mostraran los prototipos de mascarillas que se crearon a partir de las características obtenidas de los rostros reconstruidos; para finalmente presentar la comparación entre los métodos utilizados y las diferencias entre el prototipo de mascarilla.

5.1. Método 1.

Los resultados obtenidos por medio de este método se pueden visualizar en las siguientes imágenes; se pueden observar los rostros en diferentes texturas como lo son malla y sólido, también se puede observar la reconstrucción que se realizó mediante la rotación del rostro. Se tomaron las imágenes de 3 sujetos. Enumerados como Rostro 1, Rostro 2 y Rostro 3.

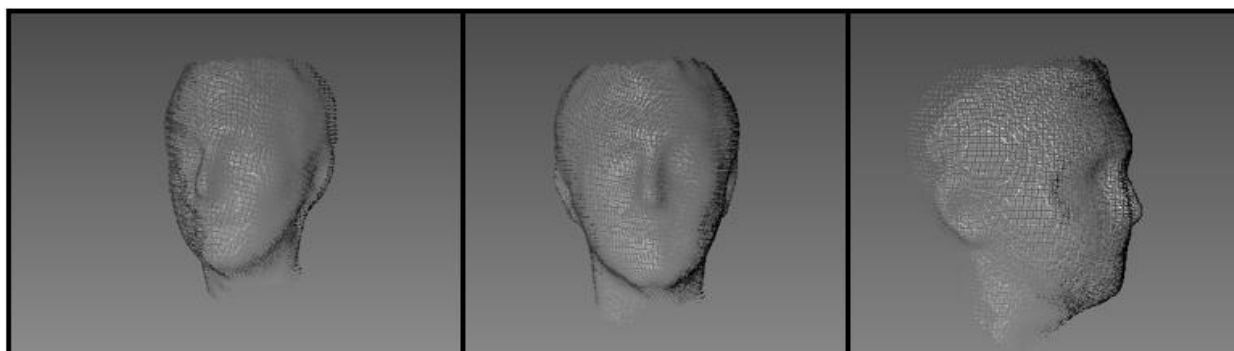


Fig. 5.1. Rostro 1 malla mediante método 1



Fig. 5.2. Rostro 1 solido mediante método 1

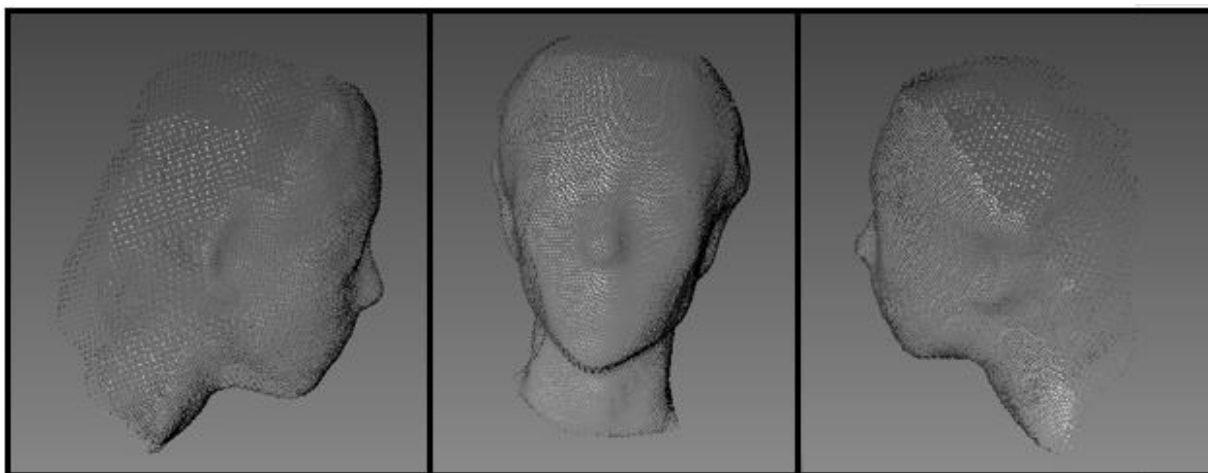


Fig. 5.3. Rostro 2 malla mediante método 1.

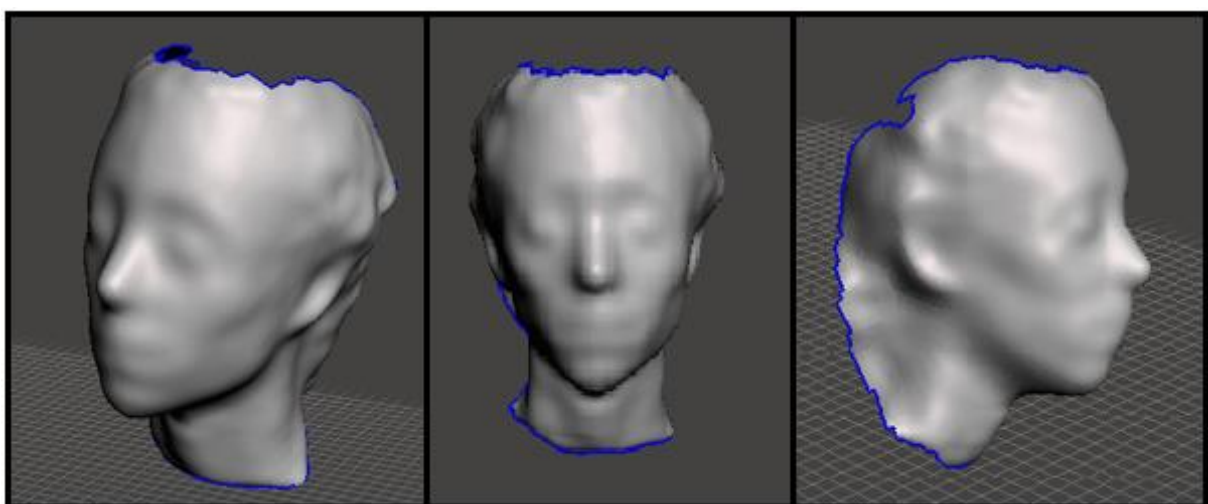


Fig. 5.4. Rostro 2 sólido mediante método 1.

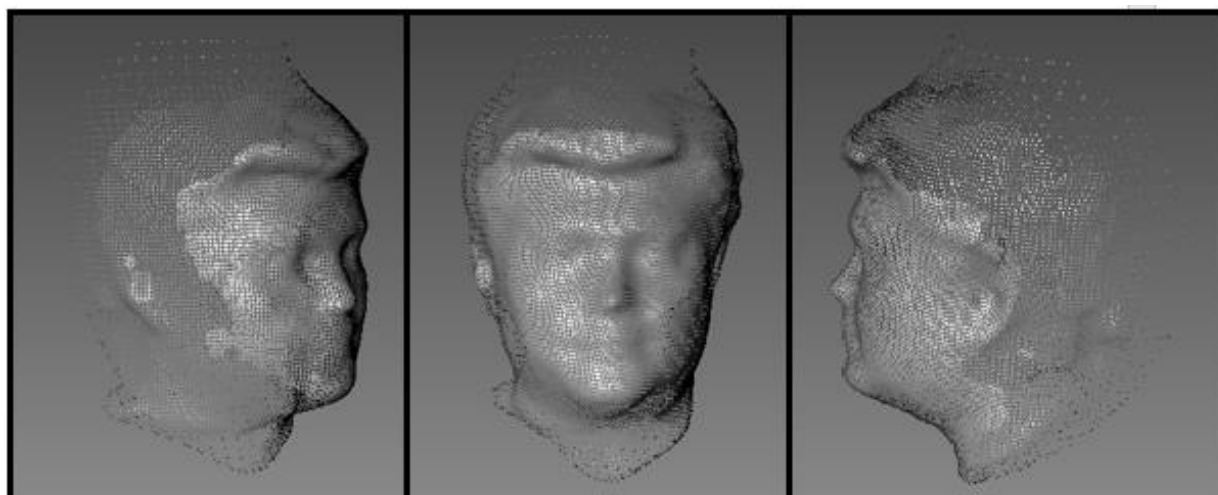


Fig. 5.5. Rostro 3 malla mediante método 1.

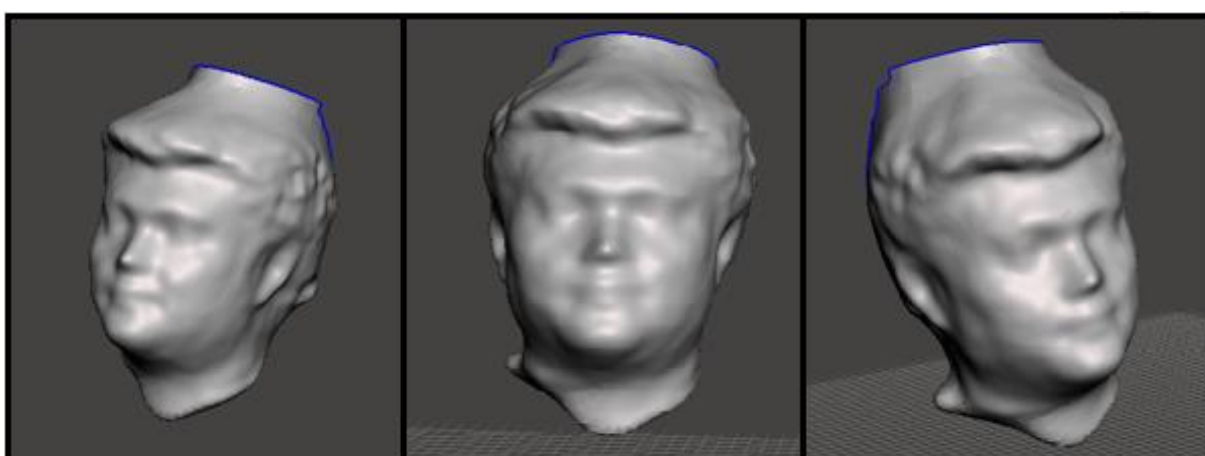


Fig. 5.6. Rostro 3 sólido mediante método 1.

Los resultados vistos anteriormente surgen a partir de la conexión entre Kinect y KScan 3D que tuvieron como objetivo principalmente hacer la reconstrucción 3D del rostro de un individuo por medio de una secuencia de imágenes en diferentes ángulos de rotación con parámetros de toma de imagen específicos.

5.2. Método 2.

Los resultados obtenidos por medio de este método se pueden visualizar en las siguientes imágenes; se pueden observar los rostros en diferentes texturas como lo son malla y sólido, también se puede observar la reconstrucción que se realizó mediante la toma de una única imagen. Los rostros reconstruidos son de los mismos sujetos enumerados como Rostro 1, Rostro 2 del primer método expuesto anteriormente, el rostro 4 es de otro sujeto diferente al rostro 3 del primer método.

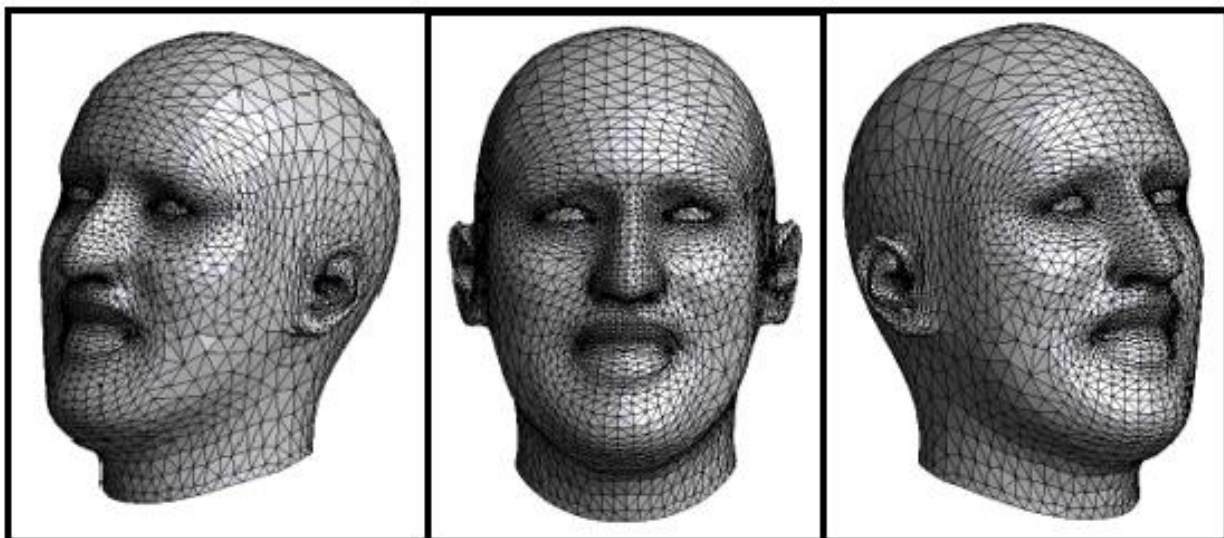


Fig. 5.7. Rostro 1 malla mediante método 2.

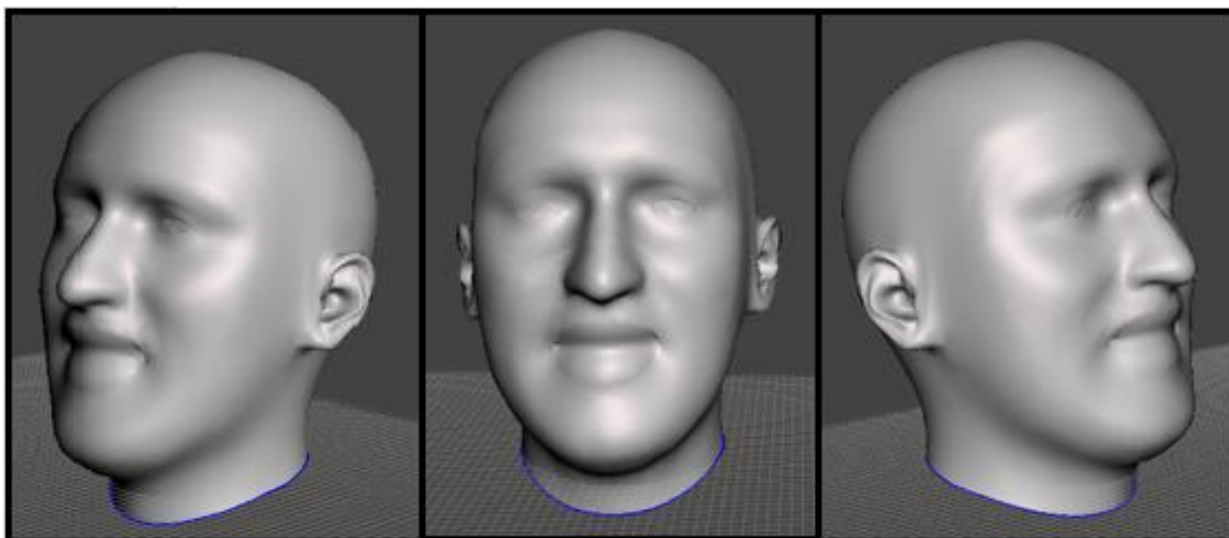


Fig. 5.8. Rostro 1 sólido mediante método 2.

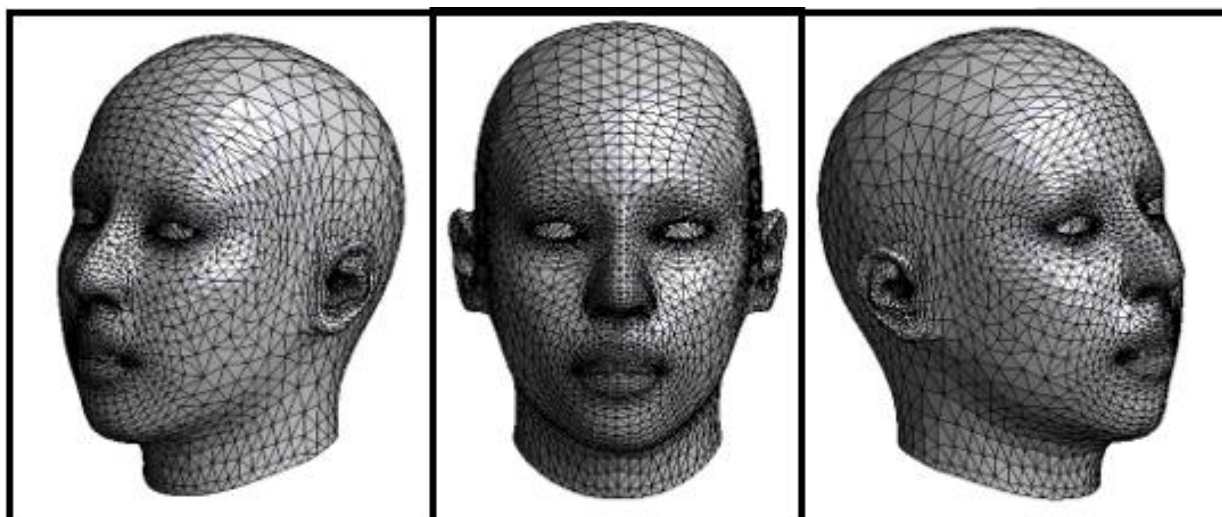


Fig. 5.9. Rostro 2 malla mediante método 2.

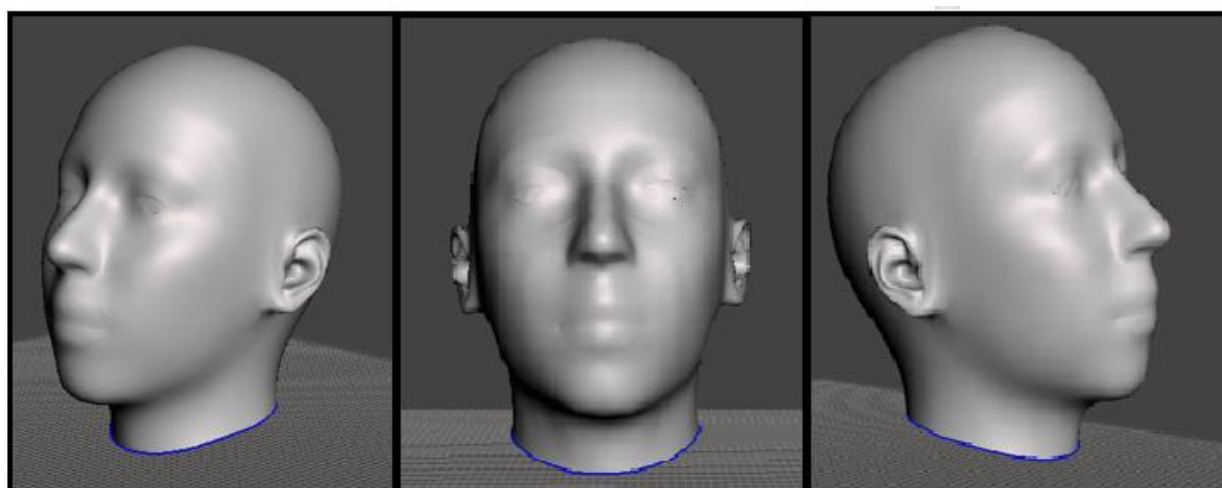


Fig. 5.10. Rostro 2 sólido mediante método 2.

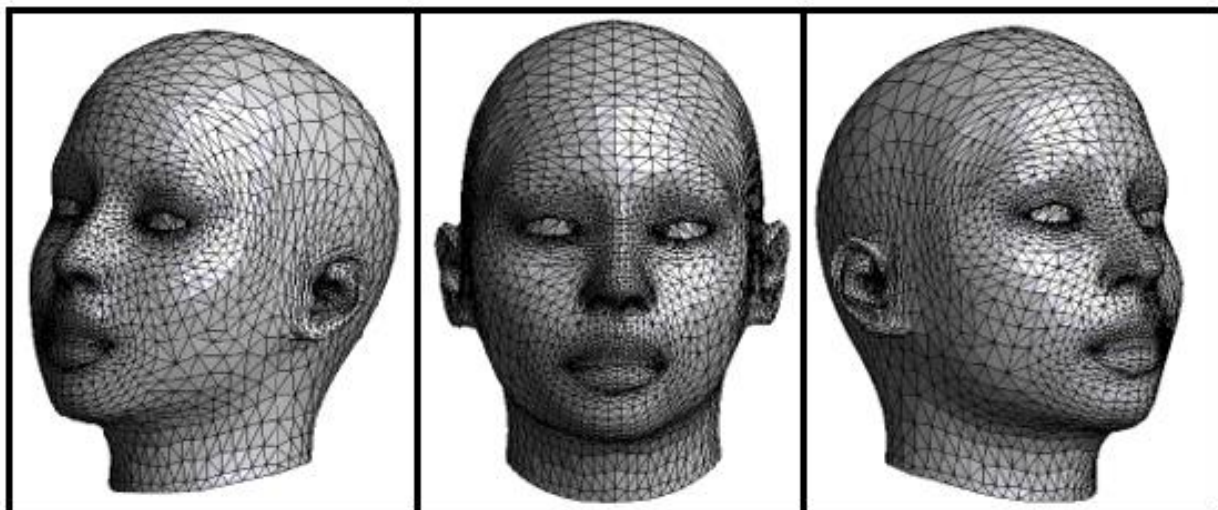


Fig. 5.11. Rostro 4 malla mediante método 2.

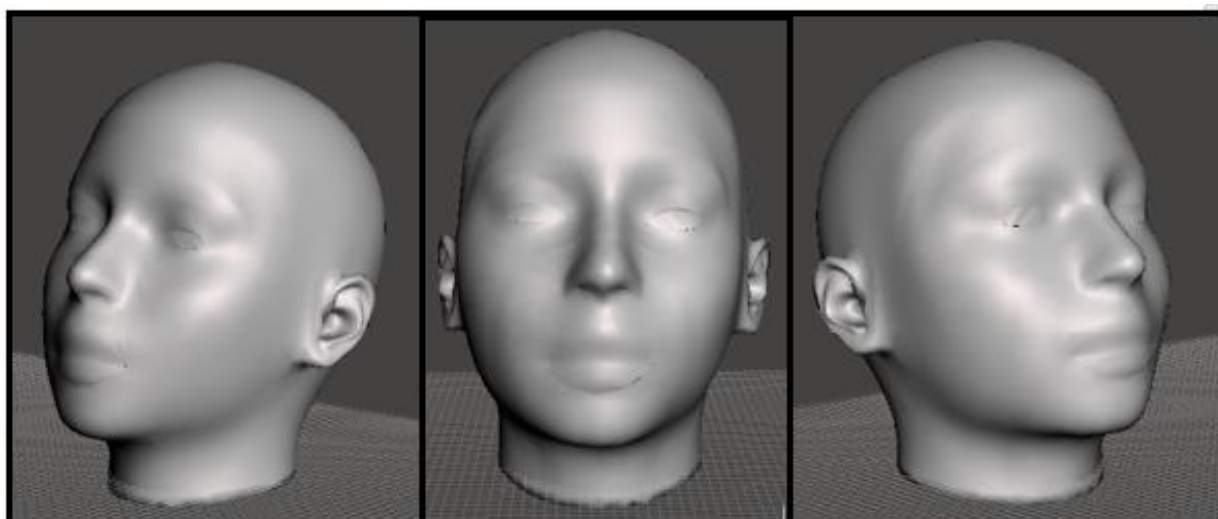


Fig. 5.12. Rostro 4 sólido mediante método 2.

Los resultados que se observaron anteriormente surgen a partir de una app llamada “Game Avatar” que por medio de una única imagen realiza la reconstrucción 3D del rostro automáticamente sin necesidad de parámetros específicos para la toma de la imagen; únicamente contar con un dispositivo tecnológico que presente el sistema operativo Android y que cuente con una cámara frontal para mayor comodidad del usuario que se está tomando la fotografía.

5.3. Prototipo de Mascarillas.

A continuación, se observarán la creación de las mascarillas teniendo como parámetro principal el acoplamiento de esta misma en el rostro reconstruido para que sea un producto completamente personalizado para los rostros 1 y 2 que se reconstruyeron en los métodos 1 y 2.

5.3.1. Rostro 1.

En este apartado se mostrarán las mascarillas creadas para el rostro 1 teniendo en cuenta los dos métodos utilizados para la reconstrucción 3D de este mismo.

5.3.1.1. Método 1.

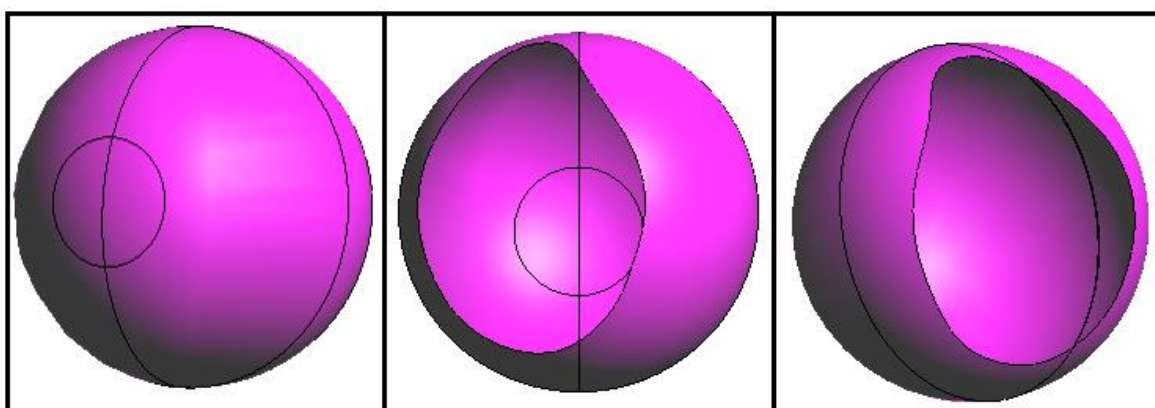


Fig. 5.13. Mascarilla con intersecciones de corte rostro 1 método 1.

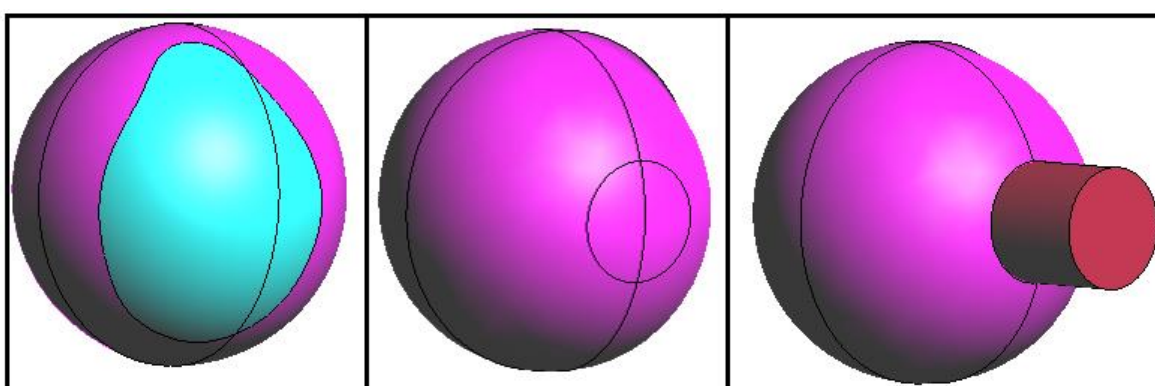


Fig. 5.14. Mascarilla con superficies de intersección diferente rostro 1 método 1.

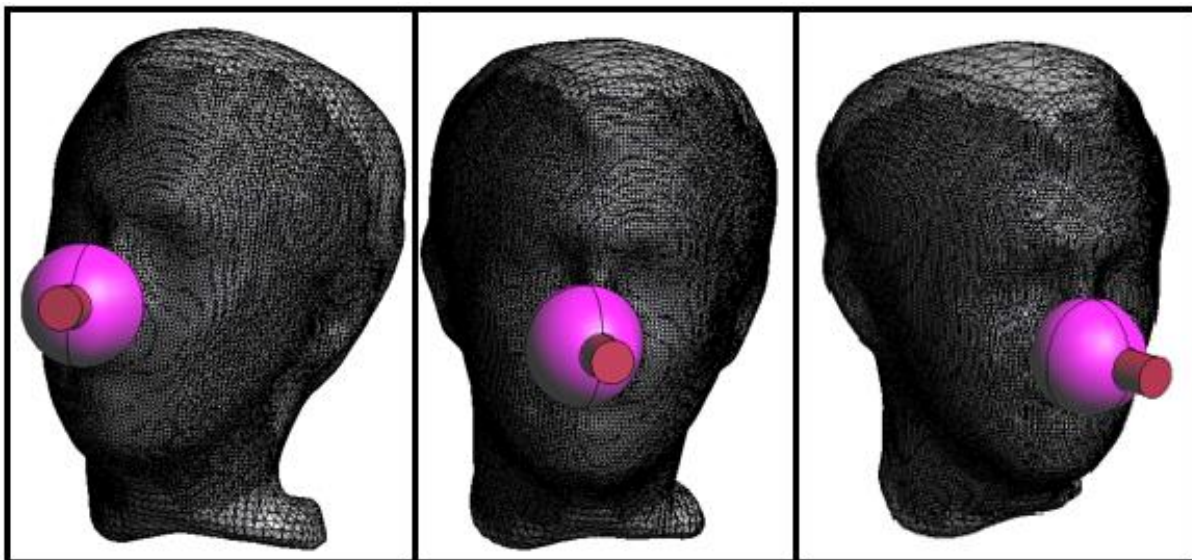


Fig. 5.15. Mascarilla prototipo rostro 1 método 1.

5.3.1.2. Método 2.

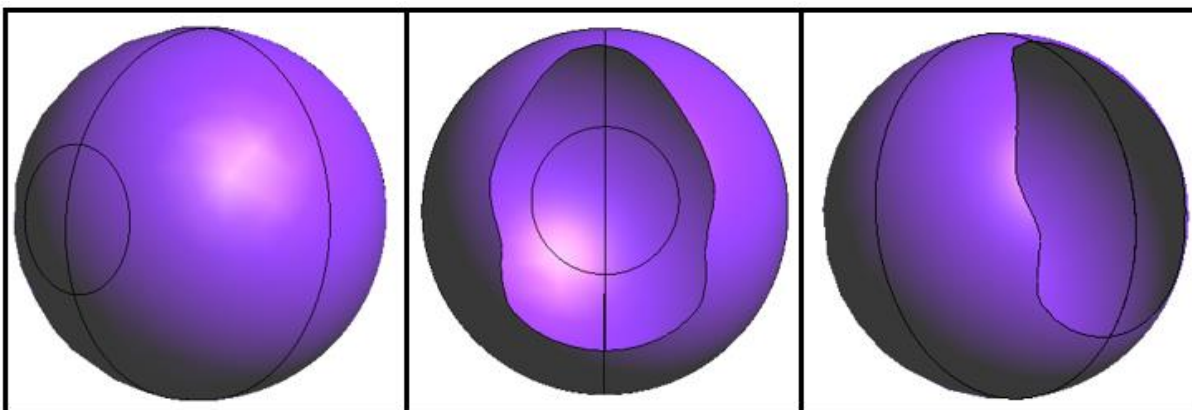


Fig. 5.16. Mascarilla con intersecciones de corte rostro 1 método 2.

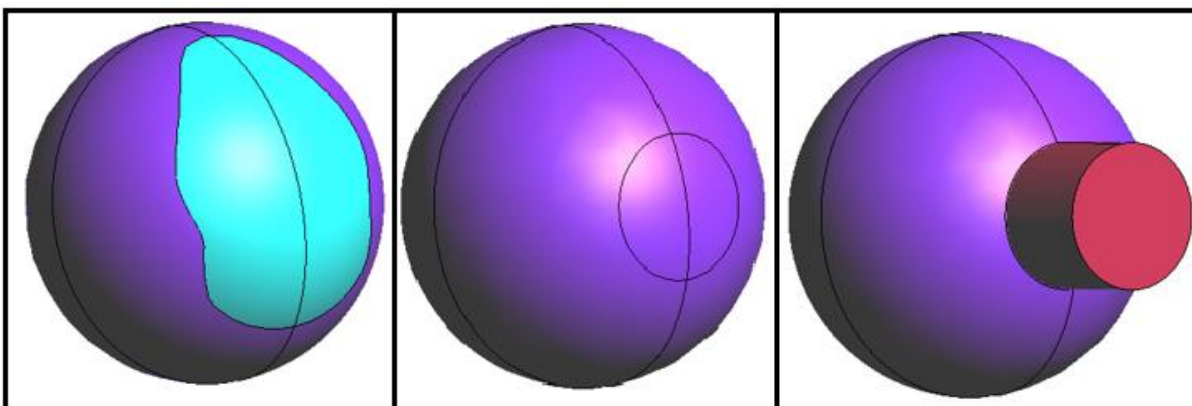


Fig. 5.17. Mascarilla con superficies de intersección diferente rostro 1 método 2.

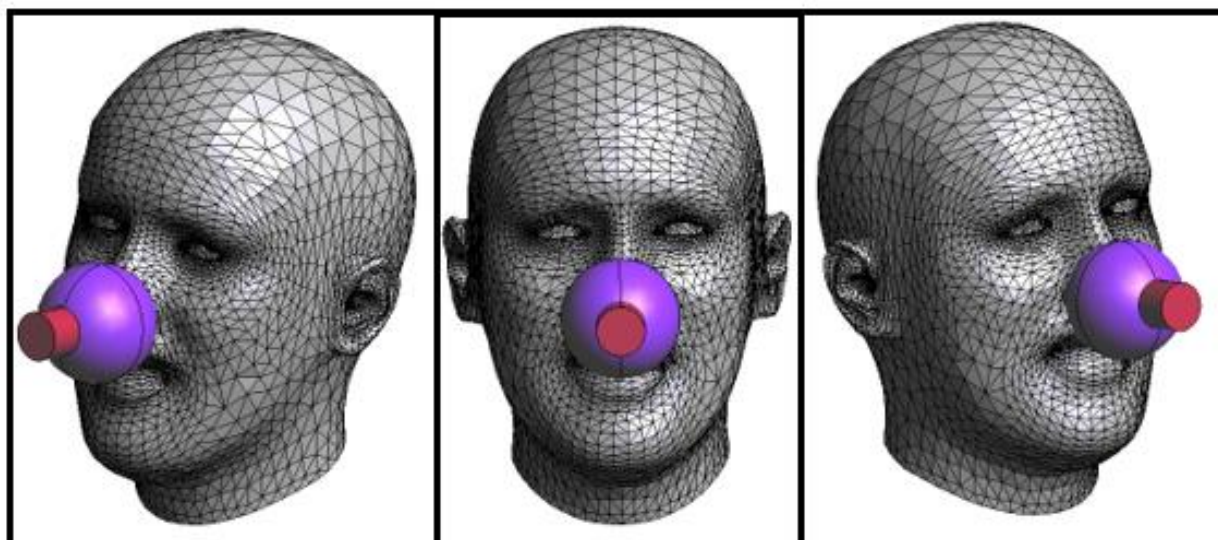


Fig. 5.18. Mascarilla prototipo rostro 1 método 2.

5.3.2. Rostro 2.

En este apartado se mostrarán las mascarillas creadas para el rostro 1 teniendo en cuenta los dos métodos utilizados para la reconstrucción 3D de este mismo.

5.3.2.1. Método 1

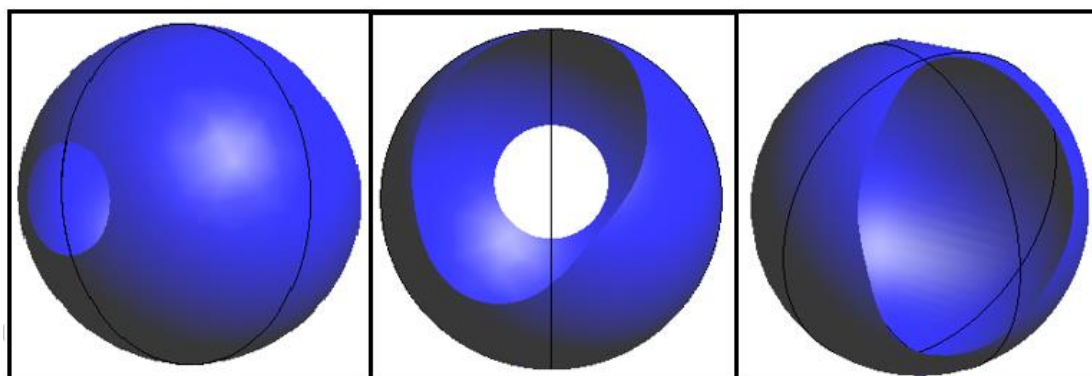


Fig. 5.19. Mascarilla sin intersecciones de corte rostro 2 método 1.

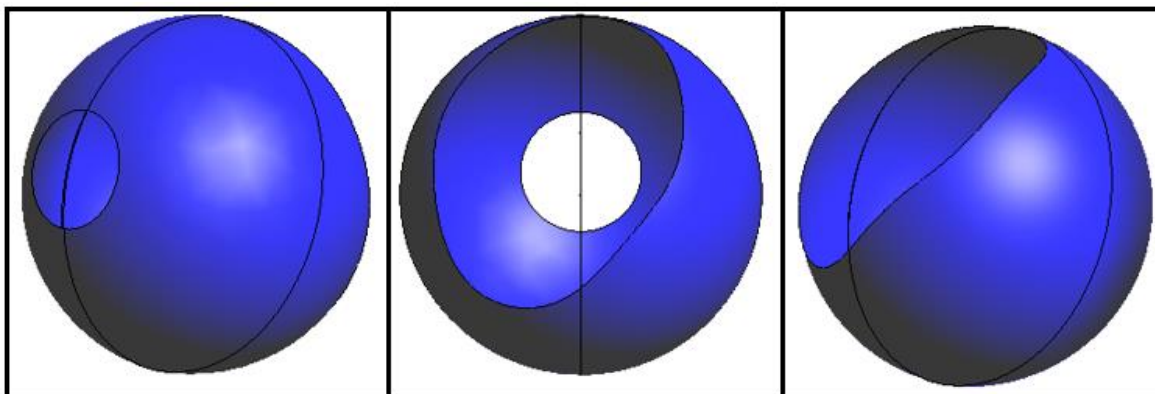


Fig. 5.20. Mascarilla con intersecciones de corte rostro 2 método 1.

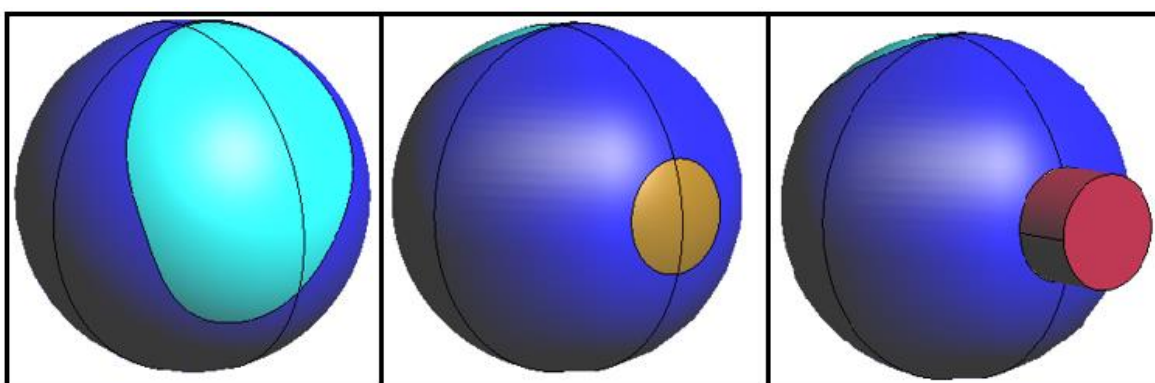


Fig. 5.21. Mascarilla con superficies de intersección diferente rostro 2 método 1.

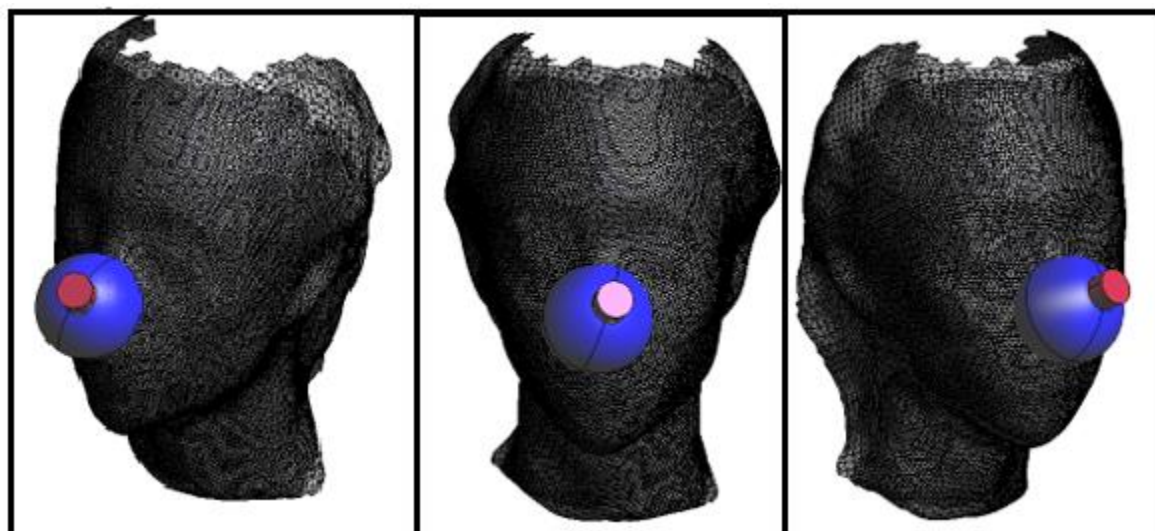


Fig. 5.22. Mascarilla prototipo rostro 2 método 1.

5.3.2.2. Método 2

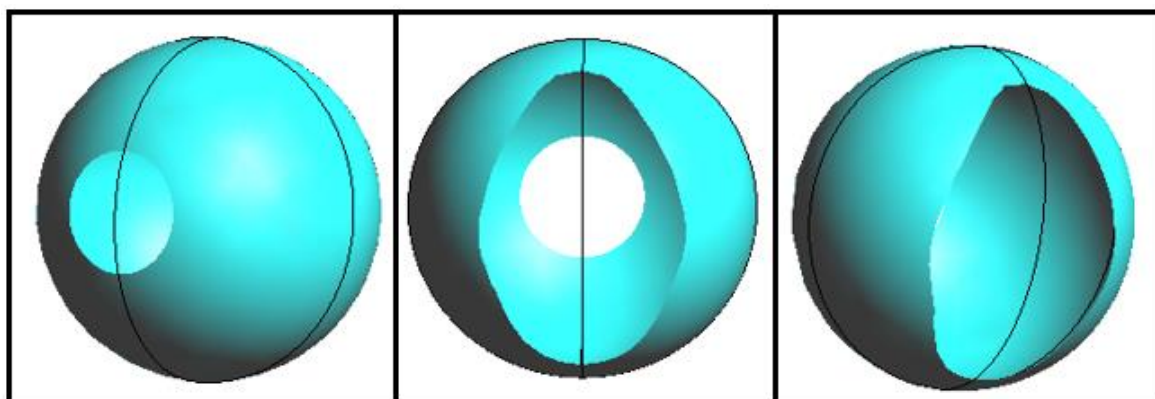


Fig. 5.23. Mascarilla sin intersecciones de corte rostro 2 método 2.

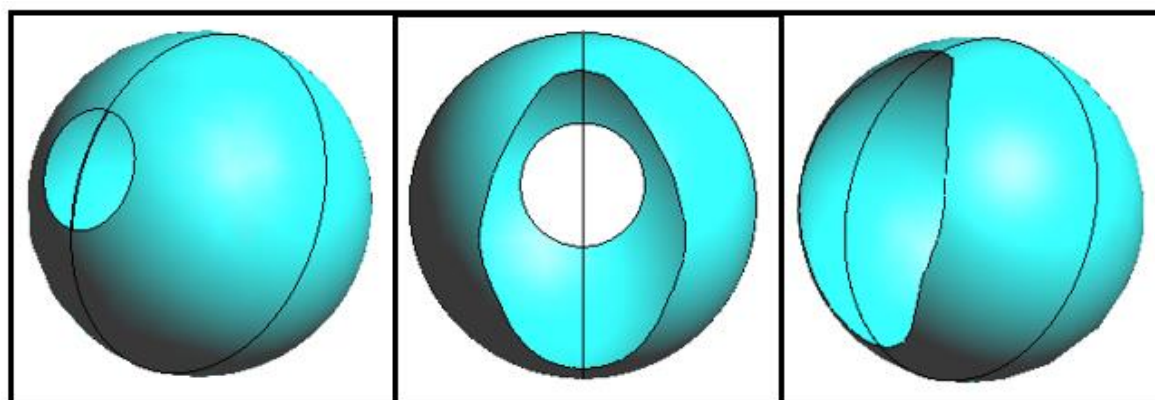


Fig. 5.24. Mascarilla con intersecciones de corte rostro 2 método 2.

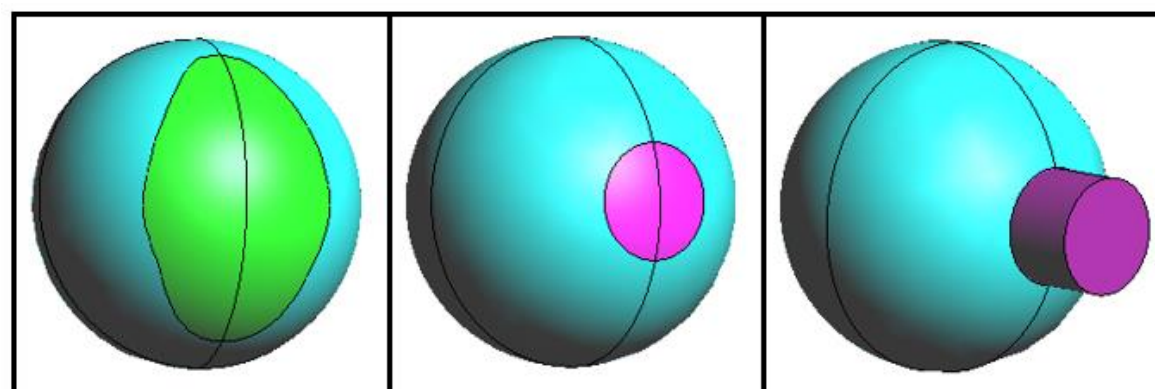


Fig. 5.25. Mascarilla con superficies de intersección diferente rostro 2 método 2.

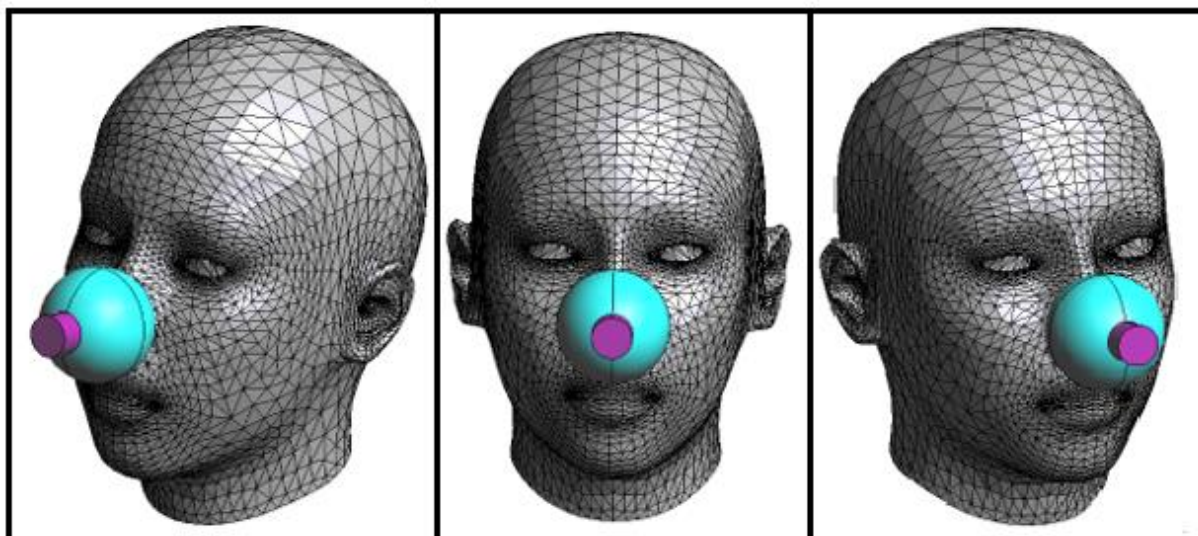


Fig. 5.26. Mascarilla prototipo rostro 2 método 2.

Los resultados muestran que a partir de un programa llamado GiD, se pueden desarrollar en este caso, prototipos de mascarillas para la apnea del sueño, que se acoplan a los rostros reconstruidos sin importar el método utilizado; ya sea el método 1 o el método 2.

5.4. Comparativa de rostros y mascarillas.

En este apartado se visualizarán las diferencias que existen entre el rostro 2 teniendo en cuenta los dos métodos utilizados descritos anteriormente, además de las diferencias que pueden presentar el prototipo de mascarillas considerando que se crean a partir de un mismo rostro obtenido de 2 formas diferentes para que sean especialmente estas personalizadas.

5.4.1. Rostros.

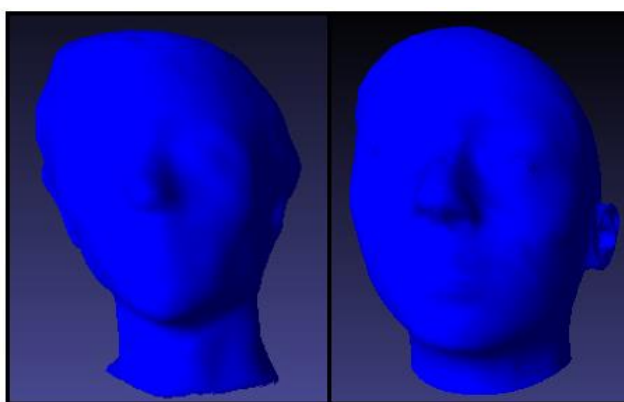


Fig. 5.27. rostro método 1 vs rostro método 2 (rostro 2)

5.4.2. Mascarillas.

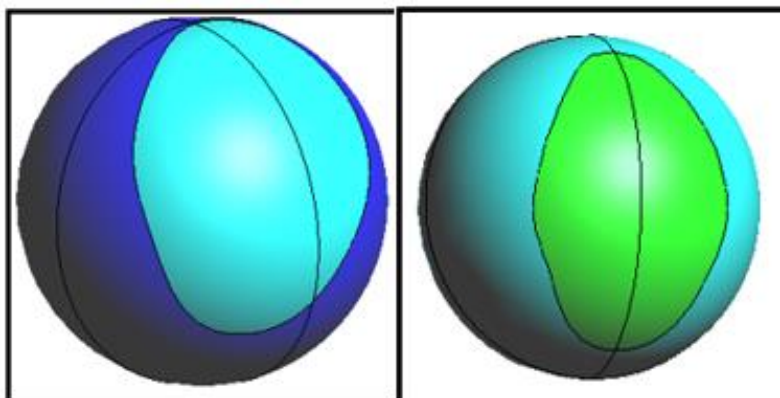


Fig. 5.28. mascarilla rostro método 1 vs mascarilla rostro método 2 (rostro 2)

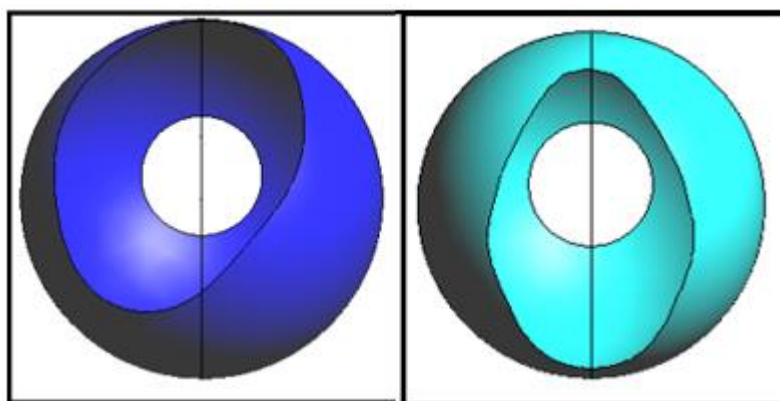


Fig. 5.29. mascarilla rostro método 1 vs mascarilla rostro método 2 (rostro 2)

6. Análisis de Resultados

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos podemos inferir que con los dos métodos utilizados para el desarrollo de la reconstrucción de los rostros, se logró en primer lugar la reconstrucción 3D de estos; cuentan con características propias de los sujetos que ayudaron a la realización de esta etapa, no obstante y considerando la comparación de los rostros de una misma persona con los dos métodos utilizados a groso modo se pueden observar diferencias significativas como lo son el perfil del rostro, el tamaño de boca y de la nariz, las cuencas de los ojos, entre otras cosas como el cabello que se observa que en el primer método se reconstruye el rostro con el cabello del sujeto y en el segundo método el rostro no cuenta con cabello. Esto se debe principalmente a que el primer método tuvo muchos pasos manuales y tenía muchos parámetros para la toma de las fotografías además que podría existir un error de toma de fotografía por los grados de rotación que se presentaban cada vez que se movía el sujeto; se tenía que reconstruir la cabeza para observar las características faciales del sujeto mientras que el segundo método solo era la toma de una sola fotografía del rostro, captaba las características faciales frontales por lo que en este caso la aplicación móvil eliminaba de la reconstrucción el cabello del sujeto.

Comparando los rostros mediante el programa Meshlab el filtro utilizado guardaba en el campo de calidad de uso múltiple de los vértices de la malla muestreada los valores de distancia calculados. Para visualizar mejor convertimos estos valores en colores por calidad que asigna un mapa de colores RGB, Dada la distribución no uniforme de los valores, solo todo el rostro tiene el color azul lo que significa error alto, esto no es inusual puesto que por lo dicho anteriormente con relación a los métodos utilizados para la reconstrucción y teniendo en cuenta el mismo rostro en los métodos utilizados los rasgos de los dos rostros reconstruidos tienen un parecido al rostro de la persona sin embargo no son muy similares el rostro del método 1 y el rostro del método 2 si son comparados conjuntamente.

Ahora, considerando la creación del prototipo de mascarillas con respecto a los rostros reconstruidos y teniendo en cuenta que estas cuentan de las mismas dimensiones de radio su análisis radica principalmente en la intersección del rostro con la esfera. La mascarilla que se obtuvo en base al rostro de primer método es una mascarilla que no es simétrica, el lado izquierdo superior cuenta con un mayor diámetro que el lado derecho superior y observando la mascarilla en el rostro el cilindro que actuaría de tubo para CPAP tampoco se encuentra ubicado simétricamente a simple vista esto se debe principalmente a que el rostro contenía una malla demasiado densa y obtener el punto central de la esfera para crear la mascarilla posiblemente no se obtuvo eficientemente, además de que los ejes del rostro no estaban completamente alineados, esto se debe a la reconstrucción sin embargo el rostro de una persona no es completamente simétrico pero aun así existe una simetría. La mascarilla que se obtuvo en base al rostro del segundo método al contrario de la descrita anteriormente es una mascarilla simétrica, su lado izquierdo y derecho son complemente iguales el cilindro que actuaría de

tubo para CPAP se encuentra ubicado simétricamente a simple vista y esto se debe principalmente a que el rostro contenía una malla no tan densa, es decir, no posee a su vez tantos puntos o vértices en la nariz, porque fue más eficaz y sencillo encontrar el punto “punta de la nariz” como eje central de la esfera.

7. Futuras mejoras.

En este apartado se propondrán futuras mejoras, para estos se dividirá en las mismas secciones de metodología y resultados del proyecto. Sin embargo, del proyecto en general una futura mejora podría llegar a ser el tratamiento de datos de otra parte del cuerpo haciendo la reconstrucción para generar tratamientos personalizados en otros campos de la medicina.

7.1. Método 1.

Futuras mejoras del método 1:

- Tener un espacio amplio donde se tomen las fotografías que cumpla con los parámetros para que estas sean más nítidas.
- Tener un grado de rotación menor para obtener menos error en la alineación de las imágenes.
- Optar por la reconstrucción de otro tipo de parte del cuerpo para la personalización de otro tratamiento.
- Generar una malla no tan densa.

7.2. Método 2.

Este es un método netamente automático por lo que no tiene mejoras para aplicar.

7.3. Creación de prototipo de mascarillas.

Futuras mejoras de la creación de mascarillas:

- Tener en cuenta la ergonomía y el material utilizado para la impresión de esta.
- Saber el material utilizado en las mascarillas reales para implementar las mascarillas como producto.
- Crear diferentes formas para la mascarilla, no únicamente esféricas. Como la siguiente:

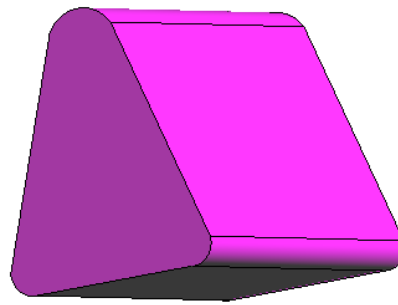


Fig. 7.1. Diseño de mascarillas diferentes.

- Creación de una mascarilla genérica para que automáticamente esta se ajuste al rostro reconstruido.
- Estudio fluidodinámico de la máscara.

7.4. Comparación de rostros y mascarillas.

Teniendo en cuenta que la comparación de los rostros y las mascarillas fue por medio de programas y observaciones de los resultados, las futuras mejoras podrían ser:

7.4.1. Rostros.

- Obtener histograma para observar los píxeles que se encuentran en las zonas de interés.

7.4.2. Mascarillas.

- Observar el error de las mascarillas superponiendo las intersecciones presentadas.
- Medir el área de diferencia entre las mascarillas.

8. Análisis del Impacto Ambiental

Para la realización del proyecto se utilizaron los siguientes aparatos tecnológicos como los son el móvil, el ordenador y la Kinect; los cuales ayudaron a la modelación realizada por los métodos utilizados para desarrollar el proyecto, la creación de prototipos de mascarillas digitalmente con el uso de softwares y aplicaciones o programas así como la investigación es de anotar que estos aparatos generan un gasto de energía pequeño; sin embargo para disminuir dicho impacto, se tomaron algunas medidas:

- Permanecer encendidos el ordenador y la Kinect siempre y cuando se estén utilizando.
- Conectar el ordenador el tiempo necesario para cargar la batería.
- Trabajar con un plan de energía economizador para los aparatos tecnológicos utilizados.
- Trabajar en ambientes aprovechando la luz del día.
- Utilizar el papel necesario sin llegar a excesos.
- Evitar impresiones a color en los diferentes borradores.

Conclusiones.

Al finalizar este proyecto, se puede concluir que ha logrado la implementación del procesamiento de imágenes por medio de la reconstrucción 3D en el área de la medicina a partir de imágenes en 2D para posteriormente llevar a cabo el prototipo o modelo 3D de una mascarilla de apnea del sueño; generando métodos de reconstrucción de rostros que conduzcan a tratamientos personalizados con el propósito de tratar enfermedades como la apnea del sueño creando prototipos de mascarillas.

Por otra parte, se pudieron investigar métodos que conlleven al tratamiento personalizado de sujetos que sufren de apnea del sueño. Se aplicaron dos métodos para la reconstrucción 3D de rostros además de crear prototipos de mascarillas aplicada a los rostros obtenidos de los dos métodos utilizadas para su reconstrucción.

Así mismo se desarrolló la comparación digital y visual de los rostros arrojadas al aplicar cada uno de los métodos de reconstrucción y conjuntamente la comparación digital y visual en paralelo del prototipo de mascarillas de apnea del sueño.

Finalmente se puede concluir que aunque los dos métodos presentaron muy buenos resultados en relación a los rostros reconstruidos el segundo método cuenta con la capacidad de ser automático por lo que su error al tratar datos es muy bajo; las mascarillas obtenidas presentaron de igual forma muy buenos resultados sin embargo al basarse su creación en los rostros reconstruidos en 3D la mascarilla que más simétrica es y a la vista mejor para el tratamiento de este tipo de patologías son las mascarillas que pertenecen a los rostro reconstruidos a partir del método 2

Se ha desarrollado un proyecto que se basa en las necesidades propias y únicas de los pacientes que necesitan un tratamiento específico para una patología como la tratada en este documento, es necesario que la medicina comience a desarrollar tratamientos personalizados en productos sanitarios puesto que para la comodidad del paciente y su calidad de vida es importante tener en cuenta que un tratamiento como lo es la personalización de una mascarilla genera acogimiento por parte del paciente.

Presupuesto y Análisis Económico

En este apartado se expondrá el presupuesto considerando el desarrollo del proyecto; se incluirá en el presupuesto el coste de personal, así como el coste del material utilizado.

Materiales.

En este inciso se tendrán en cuenta los costes de los materiales que hacen referencia a los elementos que fueron necesarios en el desarrollo y realización del proyecto. Considerando los aparatos tecnológicos, programas y demás. A continuación, por medio de la siguiente tabla se podrá observar el coste desglosado de los elementos utilizados.

Materiales	Coste
Ordenador	700,0 €
Móvil.	300,00 €
Kinect 2.0.	99,44 €
KScan 3D.	0,00 €
Game Avatar.	0,00 €
GiD	0,00 €
Meshlab	0,00 €
Impresión 3D	40,00 €
Coste TOTAL	1.139,44 €

Fig. 8.1. Tabla de Costes de materiales.

Personal.

Por otra parte, en este inciso se tendrá en cuenta los costes del personal, estos son valores subjetivos considerando que en el desarrollo del proyecto se realizaron reuniones de tutoría, investigación, metodología previa, metodología principal que consta del método 1, método 2, creación del prototipo de mascarillas además de la comparación entre los rostros y mascarillas, entre otros. A continuación, por medio de las siguientes tablas se podrán observar el coste desglosado de cada actividad realizada a lo largo del desarrollo de este proyecto teniendo en cuenta el coste por hora realizada. El coste por hora de la estudiante de grado es de 10 € y el coste por hora del coordinador tutor del proyecto es de 60 €.

Coste estudiante.

Actividad	Coste por hora	Cantidad de horas	Coste total
Planeación	10 €	20	200,00 €
Investigación	10 €	100	2.000,00 €
Desarrollo del proyecto	10 €	300	6.000,00 €
Redacción del documento	10 €	80	800,00 €
Coste Total			9.000,00 €

Fig. 8.2. Tabla de Costes del Estudiante.

Coste Coordinador del proyecto

Actividad	Coste hora	Cantidad de horas	Coste total
Tutorías y coordinación del proyecto	60	100	6.000,00 €
Coste Total			6.000,00 €

Fig. 8.3. Tabla de Costes del Coordinador del proyecto.

Coste total del Proyecto.

A continuación, se puede observar el coste total del proyecto considerando el coste de los materiales, el coste del personal (estudiante y coordinador del proyecto).

Tipo de coste	Coste
Materiales	1.139,44 €
Estudiante de grado	9.000,00 €
Coordinador del proyecto	6.000,00 €
Coste total Proyecto	16.139,44 €

Fig. 8.4. Coste total del proyecto.

➤ Enero del 2020.

En este último mes se finaliza la redacción del documento del proyecto y a su vez se hace la presentación del proyecto tanto digitalmente con el documento como presencialmente con la presentación frente al tribunal.

ACTIVIDADES	2020																														
	ENERO																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Redacción del documento																															
Resumen																															
Agradecimientos																															
Glosario																															
Prefacio																															
Introducción																															
Estado del arte																															
Metodología																															
Resultados																															
Análisis de resultados																															
Futuras mejoras																															
Análisis del impacto ambiental																															
Conclusiones																															
Presupuesto y análisis económico																															
Plan de trabajo																															
Bibliografía																															
Anexos																															
Presentación Final																															
Entrega de documento digital																															
Presentación frente a tribunal																															

Bibliografía

1. Luis, I. i Rojas, F.C. «SISTEMA DE RECONSTRUCCIÓN 3D MULTICÁMARA» Tesis profesional presentada por. A: .
2. 7 avances en la medicina que la impresión 3D puede hacer YA. A: [en línea]. [Consulta: 31 diciembre 2019]. Disponible a: <https://impresiontresde.com/cosas-impresion-3d-medica-puede-hacer-ya/>.
3. Introducción a la impresión 3D | VermisLAB. A: [en línea]. [Consulta: 31 diciembre 2019]. Disponible a: <https://www.vermislab.com/introduccion-a-la-impresion-3d/>.
4. Risent, J. et al. Reconstrucción Tridimensional de Superficies en el Cuerpo Humano. A: *Informacion Tecnologica*. 2013, Vol. 24, núm. 5, p. 31-40. ISSN 07168756. DOI 10.4067/S0718-07642013000500005.
5. Pérez-Mañanes, R. et al. Nuestra experiencia con impresión 3D doméstica en Cirugía Ortopédica y Traumatología. Hazlo tú mismo. A: *Revista Latinoamericana de Cirugía Ortopédica*. Elsevier BV, 2016, Vol. 1, núm. 2, p. 47-53. ISSN 24449725. DOI 10.1016/j.rslaot.2016.06.004.
6. Valverde, I. *Impresión tridimensional de modelos cardiacos: aplicaciones en el campo de la educación médica, la cirugía cardiaca y el intervencionismo estructural*. 1 abril 2017. Ediciones Doyma, S.L.,2017. DOI 10.1016/j.recesp.2016.09.043.
7. Siv, R., Ardiyanto, I. i Hartanto, R. 3D human face reconstruction using depth sensor of Kinect 2. A: *2018 International Conference on Information and Communications Technology, ICOIACT 2018*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018,p. 355-359. ISBN 9781538609545. DOI 10.1109/ICOIACT.2018.8350702.
8. Sánchez, D. et al. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN PROYECTO FIN DE GRADO TÍTULO: Reconocimiento de movimientos faciales mediante Kinect v2 Miembros del Tribunal Calificador. A: .
9. Introducción a la impresión 3D. A: [en línea]. [Consulta: 31 diciembre 2019]. Disponible a: <https://www.sculpteo.com/es/impresion-3d/introduccion-la-impresion-3d/>.
10. imagen de gafas 3D - Búsqueda de Google. A: [en línea]. [Consulta: 31 diciembre 2019]. Disponible a: https://www.google.com/search?q=imagen+de+gafas+3D&safe=active&sxsrf=ACYBGNR_WfiOcyWy9TBkojBl34E0wQpSdw:1570481458895&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewiQgO-rg4vIAhWc8uAKHapvCZUQ_AUIEigB&biw=624&bih=588#imgsrc=h8Cew1jkUGsQjM.
11. Breve historia del 3D comercial. A: [en línea]. [Consulta: 31 diciembre 2019]. Disponible a: <https://blogthinkbig.com/breve-historia-3d-comercial>.
12. Reconstrucción 3D a partir de múltiples imágenes - Wikipedia. A: [en línea]. [Consulta: 31 diciembre 2019]. Disponible a: https://en.wikipedia.org/wiki/3D_reconstruction_from_multiple_images.
13. OpenCV: Geometría Epipolar. A: [en línea]. [Consulta: 31 diciembre 2019]. Disponible a: https://docs.opencv.org/3.4.4/da/de9/tutorial_py_epipolar_geometry.html.

14. Reconstrucción 3D + - Wikipedia. A: [en línea]. [Consulta: 31 diciembre 2019]. Disponible a: https://en.wikipedia.org/wiki/3D_reconstruction+.
15. Built2Spec D4.3-3D Capture Deliverable Primary Author: ETH Contributors: R2M, EURECAT, TNO, NUIG 1 st Quality reviewer: Myriam Servières (ECN) 2 nd Quality reviewer: Daniele Bortoluzzi (R2M) 3 rd Quality reviewer: Sata Casciati (R2M). A: .
16. Cignoni, P. i Scopigno, R. Sampled 3D models for CH applications: A viable and enabling new medium or just a technological exercise? A: *Journal on Computing and Cultural Heritage*. Association for Computing Machinery, 2008, Vol. 1, núm. 1. ISSN 15564711. DOI 10.1145/1367080.1367082.
17. Breve historia de la impresión 3D - impresoras3d.com. A: [en línea]. [Consulta: 31 diciembre 2019]. Disponible a: <https://www.impresoras3d.com/breve-historia-de-la-impresion-3d/#ixzz61hyr37oK>.
18. Sequin, C.H. *Rapid prototyping: A 3D visualization tool takes on sculpture and mathematical forms*. juny 2005. 2005. DOI 10.1145/1064830.1064860.
19. Valverde, R. Impresoras 3D: Marco teórico, modelos de desarrollo y campos de aplicación. A: *Cuenca: Universidad de Castilla-La Mancha Blender.[en l{f}inea][Consulta 16 de febrero de 2012]* Disponible en: <http://www.blender.org>. 2009,
20. Apnea del Sueño - Causas, síntomas y tratamiento de la Apnea del Sueño. A: [en línea]. [Consulta: 31 diciembre 2019]. Disponible a: <https://www.iis.es/sindrome-de-apnea-del-sueno-obstructiva-sintomas-consecuencias/>.
21. Apnea del Sueño: Tratamientos, síntomas e información en CuidatePlus. A: [en línea]. [Consulta: 31 diciembre 2019]. Disponible a: <https://cuidateplus.marca.com/enfermedades/respiratorias/apnea.html>.
22. Soudah, E. et al. Comportamiento de los dispositivos mandibulares en el tratamiento de la apnea del sueño. A: *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería* [en línea]. 2012, Vol. 28, núm. 4, p. 237-242. ISSN 02131315. DOI 10.1016/j.rimni.2012.07.002. [Consulta: 15 gener 2020]. Disponible a: https://www.scipedia.com/public/Soudah_et_al_2012aa.
23. Martínez, A., Muñiz, A. L., Soudah, E., Calvo, J., Suárez, A. Á., & Cobo, T. (2019). Computational Fluid Dynamics and Functional Imaging in the Evaluation of Mandibular Advancement Device Positioning. *Journal of Biomedical Engineering and Biosciences (JBEB)*, 6(1), 1-8.
24. Apnea del sueño - Síntomas y causas - Mayo Clinic. A: [en línea]. [Consulta: 31 diciembre 2019]. Disponible a: <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/sleep-apnea/symptoms-causes/syc-20377631>.
25. ¿Qué es el BiPAP (Sistema de bipresión positiva)? – Curiosoando. A: [en línea]. [Consulta: 12 gener 2020]. Disponible a: <https://curiosoando.com/que-es-el-bipap-sistema-de-bipresion-positiva>.
26. ¿Qué es el CPAP? - Clínica Las Condes. A: [en línea]. [Consulta: 6 gener 2020]. Disponible a: <https://www.clinicalascondes.cl/CENTROS-Y-ESPECIALIDADES/Centros/Centro-de-Enfermedades-Respiratorias/Programa-Trastornos-Respiratorios-del-Sueno/que-es-el-cpap>.
27. Apnea del sueño (SAHS): Almohada especial para terapia respiratoria CPAP en Ortopedia Plantia,

de Donostia-San Sebastian -. A: [en línea]. [Consulta: 6 gener 2020]. Disponible a: <https://plantiaortopedia.com/apnea-del-sueno-sahs-almohada-especial-para-terapia-repsiratoria-cpap-en-ortopedia-plantia-de-donostia-san-sebastian/>.

28. Tratamiento de presión positiva en las vías respiratorias: MedlinePlus enciclopedia médica. A: [en línea]. [Consulta: 12 gener 2020]. Disponible a: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/001916.htm>.

29. Presión positiva continua en la vía aérea - Wikipedia, la enciclopedia libre. A: [en línea]. [Consulta: 12 gener 2020]. Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/Presión_positiva_continua_en_la_vía_aérea.

30. La apnea del sueño, un problema con consecuencias graves | Tu canal de salud. A: [en línea]. [Consulta: 31 diciembre 2019]. Disponible a: <https://www.tucanaldesalud.es/es/canalciencia/articulos/apnea-sueno-problema-consecuencias-graves>.

31. Una guía fácil y práctica para la reconstrucción 3D | Blog de CV de Gil. A: [en línea]. [Consulta: 31 diciembre 2019]. Disponible a: <https://gilscvblog.com/2014/05/15/an-easy-and-practical-guide-to-3d-reconstruction/>.

32. VisualSFM : A Visual Structure from Motion System. A: [en línea]. [Consulta: 31 diciembre 2019]. Disponible a: <http://ccwu.me/vsfm/>.

33. De Cantabria, U. i Acceder Al Título, P. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN modelos 3D a partir de secuencias de imágenes (Study of Structure from Motion algorithm). A: . 2017.

34. Wu, C. Towards Linear-time Incremental Structure from Motion. A: [en línea]. [Consulta: 31 diciembre 2019]. Disponible a: <http://homes.cs.washington.edu/~ccwu/vsfm/>.

35. Wu, C. et al. *Multicore bundle adjustment*.

36. [Herramienta] SiftGPU: una implementación de GPU de la transformación de características invariables de escala (SIFT) - WWW de Teng-Yok Lee. A: [en línea]. [Consulta: 31 diciembre 2019]. Disponible a: <http://www.recheliu.org/researchblog/toolsiftgpuagpuimplementationofscaleinvariantfeaturetransformersift>.

37. Tutorial: reconstrucción 3D estéreo con openCV usando una cámara de iPhone. Parte 1. A: [en línea]. [Consulta: 31 diciembre 2019]. Disponible a: <https://becominghuman.ai/stereo-3d-reconstruction-with-opencv-using-an-iphone-camera-part-i-c013907d1ab5>.

38. Tutorial: reconstrucción 3D estéreo con openCV usando una cámara de iPhone. Parte II. A: [en línea]. [Consulta: 31 diciembre 2019]. Disponible a: <https://medium.com/@omar.ps16/stereo-3d-reconstruction-with-opencv-using-an-iphone-camera-part-ii-77754b58bfe0>.

39. Tutorial: reconstrucción 3D estéreo con OpenCV usando una cámara de iPhone. Parte III. A: [en línea]. [Consulta: 31 diciembre 2019]. Disponible a: <https://medium.com/@omar.ps16/stereo-3d-reconstruction-with-opencv-using-an-iphone-camera-part-iii-95460d3eddf0>.

40. Acerca de KScan3D - KScan3D. A: [en línia]. [Consulta: 31 desembre 2019]. Disponible a: http://manual.kscan3d.com/1.0/index.php/About_KScan3D.
41. Kinect face tracking – first contact | Kinect for Developers. A: [en línia]. [Consulta: 31 desembre 2019]. Disponible a: <http://www.kinectfordevelopers.com/es/2013/05/31/kinect-face-tracking-first-contact/>.
42. *Microsoft Fully Unveils Kinect for Xbox 360 Controller-Free Game Device* [en línia]. Einnews.com, 2010. [Consulta: 31 desembre 2019]. Disponible a: <http://www.einnews.com/pr-news/90197-microsoft-fully-unveils-kinect-for-xbox-360-controller-free-game-device>.
43. Kinect - Wikipedia, la enciclopedia libre. A: [en línia]. [Consulta: 31 desembre 2019]. Disponible a: <https://es.m.wikipedia.org/wiki/Kinect>.
44. Game Avatar en App Store. A: [en línia]. [Consulta: 31 desembre 2019]. Disponible a: <https://apps.apple.com/us/app/game-avatar/id1190889496>.
45. Cesga - El CIMNE presenta en el CESGA el Paquete Software GiD de pre y postproceso en métodos numéricos [Traducción automática]. A: [en línia]. [Consulta: 31 desembre 2019]. Disponible a: http://www.cesga.es/es/ver_nova/idnoticia/784/p/808.
46. Autodesk Meshmixer: Herramienta gratuita para modelado en 3D - NeoTeo. A: [en línia]. [Consulta: 31 desembre 2019]. Disponible a: <https://www.neoteo.com/autodesk-meshmixer-herramienta-gratuita-para-modelado-en-3d/>.
47. MeshLab - Descargar Gratis. A: [en línia]. [Consulta: 31 desembre 2019]. Disponible a: <https://www.portalprogramas.com/meshlab/>.
48. Cosas de MeshLab: midiendo la diferencia entre dos mallas. A: [en línia]. [Consulta: 1 gener 2020]. Disponible a: <http://meshlabstuff.blogspot.com/2010/01/measuring-difference-between-two-meshes.html>.
49. Cignoni, P., Rocchini, C. i Scopigno, R. Metro: Measuring Error on Simplified Surfaces. A: *Computer Graphics Forum*. Blackwell Publishing Ltd., 1998, Vol. 17, núm. 2, p. 167-174. ISSN 01677055. DOI 10.1111/1467-8659.00236.

Annex A

A1. CALIBRACIÓN

```
'''
Created by Omar Padierna "Parallax" on Jan 1, 2019
This program is free software: you can redistribute it and/or modify
it under the terms of the GNU General Public License as published by
the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
(at your option) any later version.
This program is distributed in the hope that it will be useful,
but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
GNU General Public License for more details.
Acoplado para el TFG de Edna Tibaquirá por ella misma.
'''
import cv2
import numpy as np
import glob
from tqdm import tqdm
import PIL.ExifTags
import PIL.Image

#=====
# Camera calibration
#=====

#Define size of chessboard target.

chessboard_size = (7,5)

#Define arrays to save detected points
obj_points = [] #3D points in real world space
img_points = [] #3D points in image plane

#Prepare grid and points to display

objp = np.zeros((np.prod(chessboard_size),3),dtype=np.float32)

objp[:, :2] = np.mgrid[0:chessboard_size[0],
0:chessboard_size[1]].T.reshape(-1,2)

#read images

calibration_paths = glob.glob('./calibration_images/*')

#Iterate over images to find intrinsic matrix
for image_path in tqdm(calibration_paths):

    #Load image
    image = cv2.imread(image_path)
    gray_image = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    print("Image loaded, Analyzing...")
    #find chessboard corners
```

```

ret, corners = cv2.findChessboardCorners(gray_image,
chessboard_size, None)

if ret == True:
    print("Chessboard detected!")
    print(image_path)
    #define criteria for subpixel accuracy
    criteria = (cv2.TERM_CRITERIA_EPS +
cv2.TERM_CRITERIA_MAX_ITER, 30, 0.001)
    #refine corner location (to subpixel accuracy) based on
criteria.
    cv2.cornerSubPix(gray_image, corners, (5,5), (-1,-1),
criteria)
    obj_points.append(objp)
    img_points.append(corners)

#Calibrate camera
ret, K, dist, rvecs, tvecs = cv2.calibrateCamera(obj_points,
img_points, gray_image.shape[:-1], None, None)

#Save parameters into numpy file
np.save("./camera_params/ret", ret)
np.save("./camera_params/K", K)
np.save("./camera_params/dist", dist)
np.save("./camera_params/rvecs", rvecs)
np.save("./camera_params/tvecs", tvecs)

#Get exif data in order to get focal length.
exif_img = PIL.Image.open(calibration_paths[0])

exif_data = {
    PIL.ExifTags.TAGS[k]:v
    for k, v in exif_img._getexif().items()
    if k in PIL.ExifTags.TAGS}

#Get focal length in tuple form
focal_length_exif = exif_data['FocalLength']

#Get focal length in decimal form
focal_length = focal_length_exif[0]/focal_length_exif[1]

#Save focal length
np.save("./camera_params/FocalLength", focal_length)

#Calculate projection error.
mean_error = 0
for i in range(len(obj_points)):
    img_points2, _ = cv2.projectPoints(obj_points[i], rvecs[i], tvecs[i],
K, dist)
    error = cv2.norm(img_points[i], img_points2,
cv2.NORM_L2)/len(img_points2)
    mean_error += error

total_error = mean_error/len(obj_points)
print (total_error)

```

A2. RECONSTRUCCIÓN

```
'''
Created by Omar Padierna "Parallax" on Jan 1 2019. This program is free
software: you can redistribute it and/or modify it under the terms of the
GNU General Public License as published by the Free Software Foundation,
either version 3 of the License, or (at your option) any later version.
This program is distributed in the hope that it will be useful, but
WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the GNU General
Public License for more details.
Acoplado para el TFG de Edna Tibaquirá por ella misma.
'''

import cv2
import numpy as np
import glob
from tqdm import tqdm
import PIL.ExifTags
import PIL.Image
from matplotlib import pyplot as plt

#=====
# Function declarations
#=====

#Function to create point cloud file
def create_output(vertices, colors, filename):
    colors = colors.reshape(-1,3)
    vertices = np.hstack([vertices.reshape(-1,3), colors])

    ply_header = '''ply
format ascii 1.0
element vertex %(vert_num)d
property float x
property float y
property float z
property uchar red
property uchar green
property uchar blue
end_header
'''

    with open(filename, 'w') as f:
        f.write(ply_header %dict(vert_num=len(vertices)))
        np.savetxt(f, vertices, '%f %f %f %d %d %d')

#Function that Downsamples image x number (reduce_factor) of times.
def downsample_image(image, reduce_factor):
    for i in range(0, reduce_factor):
        #Check if image is color or grayscale
        if len(image.shape) > 2:
            row, col = image.shape[:2]
        else:
            row, col = image.shape

        image = cv2.pyrDown(image, dstsize= (col//2, row // 2))
    return image
```

```

#=====
# Stereo 3D reconstruction
#=====

#Load camera parameters
ret = np.load('./camera_params/ret.npy')
K = np.load('./camera_params/K.npy')
dist = np.load('./camera_params/dist.npy')

#Specify image paths
img_path1 = './reconstruct_this/left2.jpg'
img_path2 = './reconstruct_this/right2.jpg'

#Load pictures
img_1 = cv2.imread(img_path1)
img_2 = cv2.imread(img_path2)

#Get height and width. Note: It assumes that both pictures are the same
size. They HAVE to be same size and height.
h,w = img_2.shape[:2]

#Get optimal camera matrix for better undistortion
new_camera_matrix, roi =
cv2.getOptimalNewCameraMatrix(K,dist,(w,h),1,(w,h))

#Undistort images
img_1_undistorted = cv2.undistort(img_1, K, dist, None,
new_camera_matrix)
img_2_undistorted = cv2.undistort(img_2, K, dist, None,
new_camera_matrix)

#Downsample each image 3 times (because they're too big)
img_1_downsampled = downsample_image(img_1_undistorted,3)
img_2_downsampled = downsample_image(img_2_undistorted,3)

#cv2.imwrite('undistorted_left.jpg', img_1_downsampled)
#cv2.imwrite('undistorted_right.jpg', img_2_downsampled)

#Set disparity parameters
#Note: disparity range is tuned according to specific parameters obtained
through trial and error.
win_size = 5
min_disp = -1
max_disp = 127 #min_disp * 9
num_disp = max_disp - min_disp # Needs to be divisible by 16

#Create Block matching object.
stereo = cv2.StereoSGBM_create(minDisparity= min_disp,
    numDisparities = num_disp,
    blockSize = 5,
    uniquenessRatio = 5,
    speckleWindowSize = 5,
    speckleRange = 5,
    disp12MaxDiff = 100 ,
    P1 = 8*3*win_size**2,#8*3*win_size**2,

```

```
P2 =32*3*win_size**2) #32*3*win_size**2)

#Compute disparity map
print ("\nComputing the disparity map...")
disparity_map = stereo.compute(img_1_downsampled, img_2_downsampled)

#Show disparity map before generating 3D cloud to verify that point cloud
will be usable.
plt.imshow(disparity_map, 'gray')
plt.show()

#Generate point cloud.
print ("\nGenerating the 3D map...")

#Get new downsampled width and height
h,w = img_2_downsampled.shape[:2]

#Load focal length.
focal_length = np.load('./camera_params/FocalLength.npy')

#Perspective transformation matrix
#This transformation matrix is from the openCV documentation, didn't seem
to work for me.
Q = np.float32([[1,0,0,-w/2.0],
                [0,-1,0,h/2.0],
                [0,0,0,-focal_length],
                [0,0,1,0]])

#This transformation matrix is derived from Prof. Didier Stricker's power
point presentation on computer vision.
#Link : https://ags.cs.uni-kl.de/fileadmin/inf\_ags/3dcv-ws14-15/3DCV\_lec01\_camera.pdf
Q2 = np.float32([[1,0,0,0],
                [0,-1,0,0],
                [0,0,focal_length*0.05,0], #Focal length
multiplication obtained experimentally.
                [0,0,0,1]])

#Reproject points into 3D
points_3D = cv2.reprojectImageTo3D(disparity_map, Q2)
#Get color points
colors = cv2.cvtColor(img_1_downsampled, cv2.COLOR_BGR2RGB)

#Get rid of points with value 0 (i.e no depth)
mask_map = disparity_map > disparity_map.min()

#Mask colors and points.
output_points = points_3D[mask_map]
output_colors = colors[mask_map]

#Define name for output file
output_file = 'reconstructed.ply'

#Generate point cloud
print ("\n Creating the output file... \n")
create_output(output_points, output_colors, output_file)
```