

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA
INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE GRADO

***ESTUDIO DE UN PROTOTIPO DE
FOTOGRAMETRÍA PARA EL ESCANEADO
DE ROSTROS Y PARA LA POSTERIOR
REALIZACIÓN DE INGENIERÍA INVERSA***

Alumna: Barón, Gómez, Laura

Director: Eguiraun, Martínez, Harkaitz

Curso: <2018-2019>

Fecha: <Bilbao, 16, julio, 2019>

Resumen:

Ante el problema de que existen pacientes a los que las máscaras respiratorias no se les ajustan a la perfección y, por tanto, no reciben el aire suficiente, nace la necesidad de crear una unión personalizada entre las máscaras respiratorias y las caras de los pacientes.

La solución propuesta es crear un adaptador entre la máscara y la zona de interés de la cara que podrá ser imprimida en 3D y que, gracias a la tecnología de escaneado, podrá adecuarse a cada caso.

Para ello, se harán escaneos de las caras de tres personas con rasgos faciales diferentes. La propuesta para obtener los escaneos es un prototipo de fotogrametría que se encuentra en el Hospital de Cruces. Se obtendrán diez escaneos de cada sujeto y, más adelante, se elegirá uno de entre esos diez. Para comprobar la fiabilidad de la elección se hará una comparación entre los diez escaneos para asegurarse que el elegido es ciertamente fiel a la realidad. Además, se hará el mismo estudio con un escáner industrial llamado GO y se compararán los resultados.

Para el posterior procesamiento y comparación de esos escaneos se utilizará un software gratuito, GOM. También se utilizará para finalmente realizar la ingeniería inversa y conseguir una superficie que servirá como base del adaptador.

Palabras clave: máscara respiratoria, zona de interés de la cara, unión personalizada, prototipo de fotogrametría, escaneado, ingeniería inversa.

Laburpena:

Arnasa-maskara behar duten pazienteen artean ohikoa da maskarak gaizki egokitzea. Ondorioz, pazienteek ez dute aire nahikoa jasotzen. Arazo honi irtenbidea emateko asmoz, arnasa-maskaren eta gaixoen aurpegiaren arteko egokitzaila pertsonalizatuta egitearen ideia sortzen da.

Proposatutako konponbidea, maskararen eta aurpegiko interes-zonaren arteko egokitzaila, 3D imprimagailu baten bidez eratu ahalko da. Eskaner teknologiari esker aurpegi bakoitzari egokitzeko ahalmena izango du.

Horretarako, hiru pertsonen aurpegiak aztertuko dira, Gurutzetako Ospitalean dagoen fotogrametría prototipo bat erabiliz. Hamar eskaneo lortuko dira pertsona bakoitzeko. Hamar horietatik bat aukeratu da eta aukeraren fidagarritasuna egiaztatzeko, hamar eskaneoaren arteko konparazioa egingo da. Horrez gain, prozesu bera jarraituko da GO izeneko industria eskannerarekin eta emaitza berri hauek aurrekoekin alderatuko dira.

Eskaneo horien prozesamendua eta konparazioa egiteko, GOM software librea erabiliko da. Azkenik, egokitzailaaren oinarria izango den gainazala lortzeko alderantzizko ingeniaritza erabiliko da.

Gako hitzak: arnasa-maskara, aurpegiko interes-zona, egokitzaila pertsonalizatua, fotogrametría prototipoa, eskaneoa, alderantzizko ingeniaritza.

Abstract:

Given the problem that there are some patients whose respiratory masks do not fit perfectly and therefore do not receive enough air, the need arose to create a personalized union between the respiratory masks and the faces of the patients.

The proposed solution is to create an adaptor between the mask and the area of interest of the face. This adaptor could be printed in 3D in the future and thanks to the scanning technology used, it can be fitted to each case.

To do this, scans of the faces of three people with different facial features will be made. The proposal to obtain these scans is a prototype of photogrammetry that is currently in the Hospital de Cruces. Ten scans of each subject will be obtained and later one of those ten will be chosen. To verify the reliability of the choice, a comparison between the ten scans will be made to ensure that the chosen one is true to reality. In addition, the same study will be done with an industrial scanner called GO and the results will be compared.

For the subsequent processing and comparison of these scans, a free software, GOM, will be used. It will also be used to finally reverse engineer and get a surface that will serve as the base of the adaptor.

Key words: respiratory masks, area of interest of the face, personalized union, prototype of photogrammetry, scan, reverse engineering.

1 Índice

1	Índice	4
2	Índice de figuras	6
3	Acrónimos utilizados	8
4	Introducción	9
5	Contexto.....	10
6	Objetivos y alcance del trabajo	11
7	Análisis del Estado del Arte	12
7.1	Prototipo de fotogrametría.....	12
7.2	Ingeniería inversa	16
7.3	Escáneres industriales.....	18
7.4	Impresión 3D	19
8	Metodología para la obtención de los escaneos.....	21
9	Uso del escáner industrial GO	23
10	Uso del prototipo de fotogrametría.....	25
11	Procesamiento de datos	26
11.1	Paso 1: Limpiar los escaneos.....	28
11.2	Paso 2: Tapar agujeros.....	30
12	Elección de un escaneo por cada caso	32
12.1	Tres casos del escáner GO.....	39
12.1.1	Escaneos mediante GO a Harkaitz	39
12.1.2	Escaneos mediante GO a Laura	43
12.1.3	Escaneos mediante GO a Victoria	45
12.2	Tres casos del prototipo de fotogrametría	46
13	Comparación entre el GO y el prototipo	47
14	Obtención de la juntura mediante ingeniería inversa.....	50
15	Descripción de tareas, fases, equipos o procedimientos	52
16	Diagrama de Gantt	54
17	Descripción del presupuesto y/o del presupuesto ejecutado	55
18	Conclusiones	57

19	Trabajos futuros	58
20	Bibliografía	59

2 Índice de figuras

Figura 1. Estructura del prototipo	12
Figura 2. Proyección del punto "P" sobre la figura.	14
Figura 3. Ilustración 3D de un escaneo del prototipo con colores.	15
Figura 4. Escáner industrial GO.....	18
Figura 5. Partes más representativas de una impresora 3D.	19
Figura 6. Diagrama de la metodología a seguir.	21
Figura 7. Metodología para el escaneo de caras con el escáner GO.	23
Figura 8. Posición para ser fotografiado por el prototipo.....	25
Figura 9. Definición de una faceta.	26
Figura 10. Escaneado sin procesar.....	28
Figura 11. Escaneado con la zona de no interés seleccionada.	29
Figura 12. Escaneado recortado.	29
Figura 13. Procedimiento para parchear agujeros.	30
Figura 14. Agujero parcheado.	30
Figura 15. Diagrama para comparación de escaneos.	32
Figura 16. Alineación inicial.....	33
Figura 17. Prealineación.....	33
Figura 18. Selección de zona de interés.	34
Figura 19. Errores de selección en una de las capas.....	35
Figura 20. Alineación mediante "Best fit local".	35
Figura 21. Colormap de alineación mediante "prealineación".....	36
Figura 22. "Colormap" de alineación mediante "best fit local".....	37
Figura 23. Tabla en comparación con prealineación.	38
Figura 24. Tabla en comparación con best fit.	38
Figura 25. Ejemplos de comparación entre escaneos del GO a Harkaiz.	40
Figura 26. Diferencia en los labios en los escaneos de Harkaitz hechos con el GO.....	41
Figura 27. Comparación del escaneo de referencia con un escaneo fallido.	42
Figura 28. Error en la primera referencia elegida de Laura con el GO.....	43
Figura 29. Comparación de escaneos de la nueva referencia de Laura con el GO.	44
Figura 30. Comparación con la anterior referencia.	44
Figura 31. Comparación de escaneos de Victoria hechos con el GO.	45
Figura 32. Comparación de escaneos con el prototipo de fotogrametría.	46
Figura 33. Comparación entre los escaneos del GO y los del prototipo.	47
Figura 34. Detalle de las alas nasales de Harkaitz.	48
Figura 35. Detalle de las alas nasales de Victoria.	48
Figura 36. Selección de zona exterior de la base del adaptador.	50
Figura 37. Zona interior de la base del adaptador.....	50

Figura 38. Base del adaptador.....	51
Figura 39. Adaptador superpuesto al rostro correspondiente.....	51
Figura 40. Diagrama de Gantt.....	54
Figura 41. Fechas concretas para cada tarea	54

3 Acrónimos utilizados

TFG – Trabajo de Fin de Grado

USB – Universal Serial Bus

LED – Light emitting diode

3D – Tres dimensiones

ASPRS – American Society for Photogrammetry and Remote Sensing

ISPRS – International Society for Photogrammetry and Remote Sensing

ABS – Acrylonitrile Butadiene Styrene

PLA – Polylactic acid

CMM – Coordinate-Measuring Machine

PTB – Physikalisch-Technische Bundesanstalt

NIST – National Institute of Standards and Technology

stl – STereo Lithography

FEA – Finite Element Analysis

CAD – Computer Aided Design

csf – Content Sealed Format

ply – Polygon File Format

jpg – Joint Photographic Experts Group

4 Introducción

Este trabajo es una colaboración con otra compañera, ya que este proyecto está dividido en dos trabajos de fin de grado. En este TFG se estudia la creación de una pieza que sirva como unión entre las caras y una forma intermedia, mientras que en el segundo se describe el procedimiento para hacer la unión entre esa forma intermedia y las máscaras respiratorias.

Este trabajo, entonces, se centrará en la realización de ingeniería inversa y, para ello, primero habrá que asegurarse de que ese escaneo es fiel a la realidad y seguir una metodología para que este proyecto pueda ser replicado en un futuro.

Como lo que interesa es obtener los escaneos con un prototipo de fotogrametría, ese será uno de los aparatos que se utilizarán. El otro será un escáner industrial, para asegurarse de que los escaneos del prototipo son fiables. En este caso se dispondrá del escáner GO, de cuyas especificaciones se hablará más adelante.

Se eligen tres individuos a los que se les hará el mismo estudio y cuyos resultados determinarán cómo reaccionan los escáneres a diferentes rasgos faciales.

A estos tres sujetos se les realizarán diez escaneos con cada método de escaneo, obteniendo sesenta en total. Se ilustra el proceso en la Figura 6. Para que los resultados sean coherentes, todos los escaneos se harán siguiendo los mismos pasos y con las condiciones iniciales lo más similares posibles.

Estos serían los primeros pasos para la realización de este proyecto. Más adelante se procesarán los escaneos obtenidos, se compararán y se les realizará ingeniería inversa.

5 Contexto

Este trabajo de fin de grado se ha desarrollado en el departamento de Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería de Escuela de Ingeniería de Bilbao en colaboración con BioCruces, iniciativa del Hospital de Cruces.

Como se ha mencionado anteriormente, este proyecto nace de la necesidad de crear una unión personalizada entre las máscaras respiratorias y las caras de los pacientes. Actualmente existe un problema y es que las máscaras no se ajustan perfectamente y, por lo tanto, se escapa parte del oxígeno que debería llegar al paciente.

Falta de oxígeno podría causar hipoxemia o afectar al funcionamiento del sistema nervioso, las glándulas, los músculos y los órganos, aunque en el peor de los casos podría causar la muerte. Por ello, crear un sistema que asegure que el paciente tenga todo el oxígeno que necesita es de vital importancia.

El contexto en el que será necesaria la asistencia de una máscara respiratoria es cuando un paciente no puede respirar o respira insuficientemente. Los respiradores se utilizan principalmente con pacientes de cuidados intensivos, con los que llegan a los servicios de emergencia y los que se hallan en anestesia.

Las máscaras actualmente disponibles tienen tamaños estándar. Existen diferencias entre las máscaras que tienen como objetivo servir a niños comparadas con las de adultos, pero no existen máscaras que tengan en cuenta otros tipos de particularidades faciales. Cualquier tipo de deformidad podría hacer necesario el uso de una máscara personalizada, al igual que si el paciente tiene facciones muy prominentes o que, simplemente, no se adecúan a las medidas de las máscaras existentes.

La solución propuesta es hacer una pieza intermedia que iría entre la cara del paciente y la máscara de oxígeno del hospital. En este proyecto se estudiará la creación del adaptador que iría unido a la cara.

6 Objetivos y alcance del trabajo

El objetivo principal de este trabajo fin de grado es el estudio, desarrollo, implementación y validación de estrategias para obtener un adaptador que se ajuste perfectamente a la cara de un paciente.

Los objetivos específicos que permiten la consecución del objetivo principal son los siguientes:

- Escanear tres individuos de características diferentes mediante dos tipos de escáneres, un prototipo de fotogrametría que se encuentra en el Hospital de Cruces y el escáner industrial GO. Realizar diez escaneos a cada persona con cada método.
- Elegir un escaneo de referencia en cada caso y comprobar que es fiable mediante la comparación con los nueve escaneos restantes.
- Validar que los escaneos realizados con el prototipo son fieles a la realidad. Para ello, comparar los resultados obtenidos con ambos métodos.
- Utilizar el software gratuito GOM como herramienta de trabajo para el procesamiento, comparación y estudio de los escaneos.
- Realizar ingeniería inversa sobre los escaneos de referencia del prototipo de fotogrametría para obtener el adaptador.

Por lo tanto, el alcance del proyecto es el de proveer un método óptimo para escanear individuos y, posteriormente, realizar una pieza de unión que se ajuste con fiabilidad a la cara de un paciente.

7 Análisis del Estado del Arte

7.1 Prototipo de fotogrametría

El prototipo de fotogrametría utilizado en este trabajo de fin de grado es un proyecto que se había llevado a cabo en el departamento de Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería de la EIB y que, posteriormente, había sido donado al centro de investigación del Hospital de Cruces.

El prototipo se trata de un sistema de doce cámaras dispuestas tal y como se puede observar en la Figura 1. Esta estructura está siendo rediseñada actualmente mediante diseño generativo para de esta forma obtener varias posibles soluciones que minimicen el peso, cantidad de material requerido y coste de la estructura. Se espera que con este trabajo se solucionen algunos problemas que se ha comprobado que existen durante la realización de este trabajo y de los que se hablará más adelante.

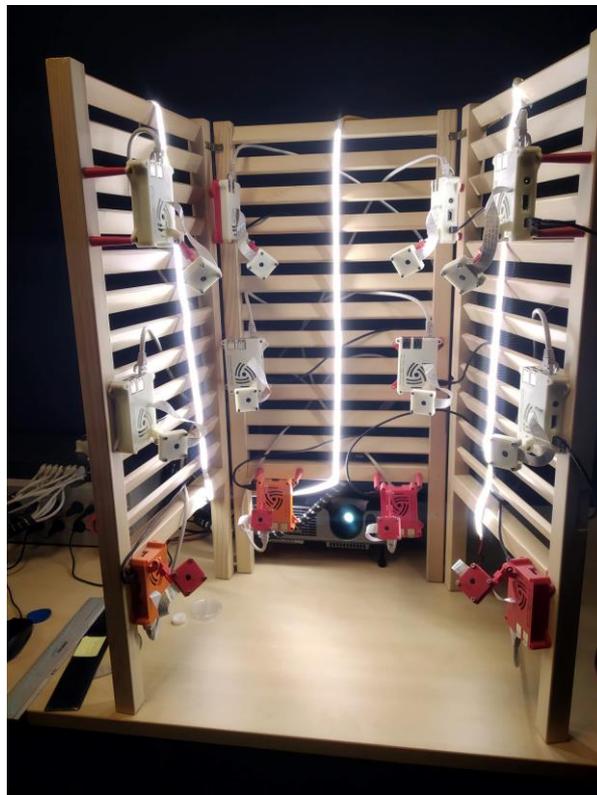


Figura 1. Estructura del prototipo

Cada una de estas doce cámaras está conectada a una tarjeta Raspberry Pi. A su vez, cada tarjeta tiene dos cables. Uno de ellos sería micro USB y el otro Ethernet. Además de esto, en la estructura, también, habrá unas luces LED para poder iluminar la cara de manera uniforme.

También, hay un proyector que será el encargado de proyectar luz estructurada.

La luz estructurada proyecta patrones de luz para generar texturas sintéticas, sus inicios retornan 40 años atrás y ha seguido un desarrollo progresivo hasta hoy. Todavía se investigan nuevas combinaciones de patrones que minimicen la reflexividad del objeto y que permitan analizar zonas más cóncavas e inaccesibles [1].

Se procederá a dar varias definiciones para la fotogrametría:

- “Fotogrametría es la técnica que tiene como objetivo el estudio y la definición de la forma, las dimensiones y/o la posición en el espacio de un objeto. Para la obtención de los datos y las medidas se debe realizar sobre una o varias fotografías.” [2]
- “Fotogrametría es la ciencia de realizar mediciones e interpretaciones confiables por medio de las fotografías, para de esa manera obtener características métricas y geométricas (dimensión, forma y posición), del objeto fotografiado.” [3]
- “Fotogrametría es el arte, ciencia y tecnología para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno, a través de grabación, medida e interpretación de imágenes y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos.” [4]

Esta última definición es más amplia, abarcando técnicas modernas, y eliminando casi las diferencias existentes entre la Fotogrametría y la Teledetección [5].

Es una técnica de medición indirecta, ya que las mediciones no se efectúan sobre el objeto, sino sobre imágenes del mismo. La fotogrametría se apoya fundamentalmente en las relaciones matemáticas de la geometría proyectiva y de la visión estereoscópica que posee naturalmente el ser humano. Es una disciplina que permite formular modelos 3D a partir de fotografías 2D [6].

La fotogrametría se desarrolla y evoluciona en cuatro etapas:

- Metrofotografía: de partir de 1850 hasta 1900. Se inicia con la invención de la fotografía por Niepce y Daguerre en 1839 en Francia. El término Metrofotografía fue ideado por el coronel francés Laussedat hacia 1851; a quien se lo considera el fundador de la Fotogrametría.
- Fotogrametría analógica: desde 1900 a 1960, ciclo que se inicia con dos inventos importantísimos; por un, lado la estereoscopia dando origen a la estereofotogrametría y, por otro lado, el invento de plataformas adecuadas para los sensores (cámaras) como los zeppelines y el aeroplano.
- Fotogrametría analítica: desde 1969 hasta 1980, ciclo iniciado por la aparición de las computadoras.
- Fotogrametría digital: desde 1980 hasta el presente, ciclo iniciado a partir del lanzamiento del primer satélite artificial, el Sputnik de origen ruso y por el uso del

satélite Landsat de origen estadounidense. Es precisamente el tipo de fotogrametría en la que se basa este proyecto.

[7]

Desde sus inicios la aplicación más común de la fotogrametría ha sido siempre la cartografía, generación de mapas, aunque hoy en día sus usos se están diversificando gracias al avance tecnológico.

El método o fundamento de la fotogrametría se basa en la obtención de varias fotografías perpendiculares a la superficie de interés de forma sucesiva. Tomarán un punto común del plano y, a partir de la restitución de los haces de proyección, es posible obtener las coordenadas del punto en ambas fotografías a partir de un eje de referencia relativo y, de esta manera, obtener semejanzas geométricas entre las dos imágenes. Obsérvese que el punto $P(x, y, z)$ de la Figura 2 ubicado en el terreno es proyectado a la fotografía. Obedece al caso general en donde coinciden, en la vertical, el centro de la fotografía y el centro del terreno fotografiado o nadir [6].

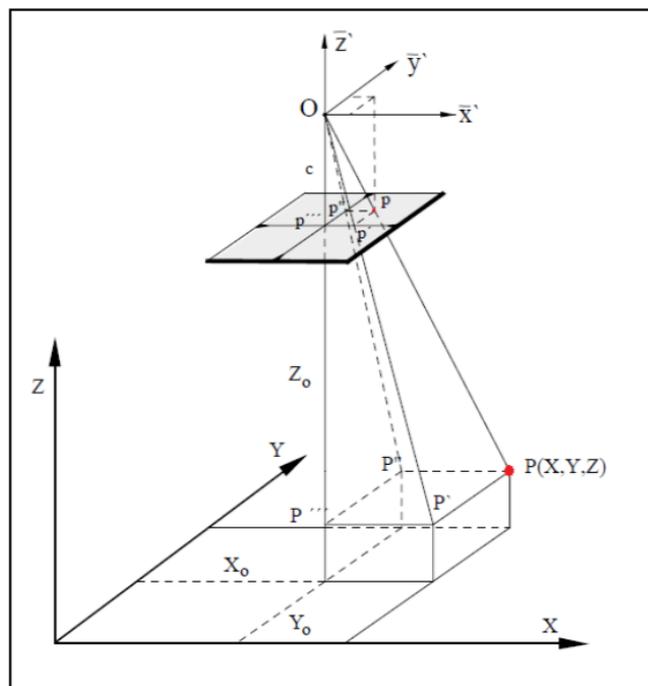


Figura 2. Proyección del punto "P" sobre la figura.

Con este método, el del prototipo de fotogrametría, no solo se obtendrá una malla de puntos de la cara o zona de interés, sino que además puede superponer una malla de colores tal y como

se muestra en Figura 3. L significa que se puede obtener un escaneo en 3D en el que se pueden ver a color las diferentes características de una cara. Esta particularidad puede resultar particularmente útil a la hora de elegir la zona facial en la que irá posada la máscara.

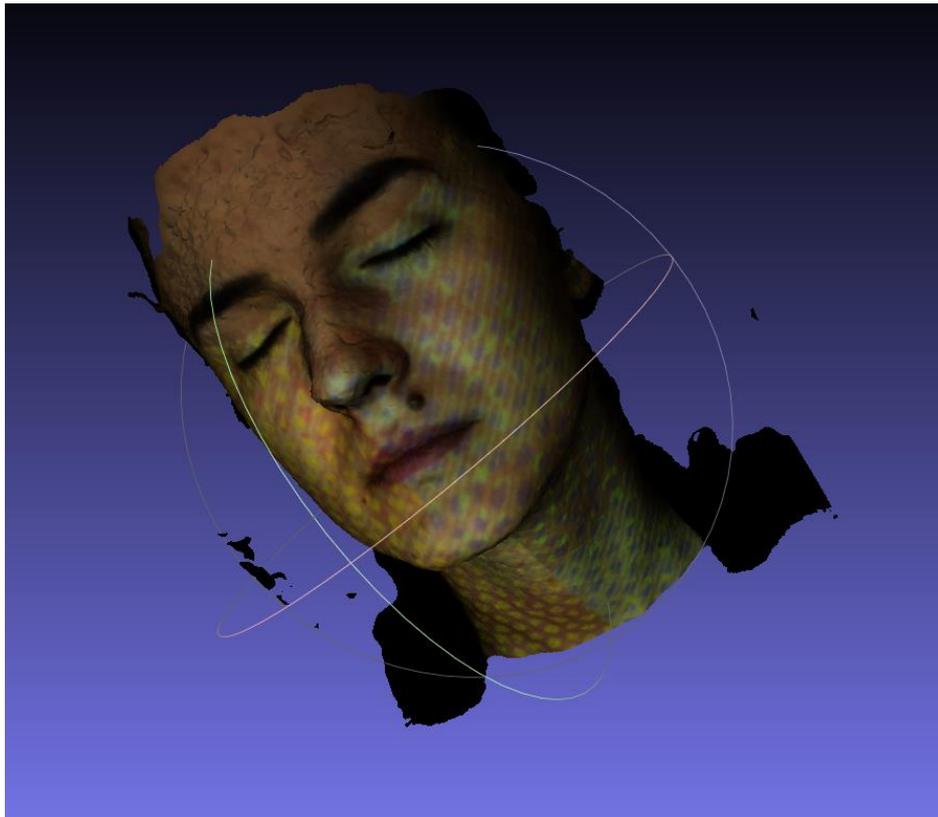


Figura 3. Ilustración 3D de un escaneo del prototipo con colores.

En este caso, se va a utilizar la fotogrametría con fines biomédicos, pero no es algo pionero. Muchas otras universidades y entidades están trabajando con tecnología similar. Ejemplos de ello son:

- El Instituto Universitario de Investigación en Aragón, en la Universidad de Zaragoza, donde están realizando estudios sobre “la utilización de escáner 3D y fotogrametría para digitalizar diferentes partes de la anatomía humana y diseñar posteriormente figuras humanas en 3D con morfologías diferentes. Concretamente: Diseño de modelos humanos antropomórficos y digitalización con fines forenses.” [8]
- “Reconstrução 3D biomédica: fotogrametria versus varrimento por laser.” [9]
- Aplicación en odontología para realización de prótesis e implantes [10].

7.2 Ingeniería inversa

El concepto de ingeniería inversa ha existido desde hace mucho tiempo, antes de las computadoras o la tecnología moderna y, probablemente, se remonta a los días de la revolución industrial.

La definición de ingeniería inversa es "el proceso de analizar un sistema para identificar los componentes del sistema y sus interrelaciones, y para poder crear representaciones del sistema de una forma diferente o atendiendo a un nivel más alto de abstracción." [11]

La ingeniería inversa se lleva a cabo generalmente para obtener conocimiento inexistente, ideas o filosofía de diseño de un objeto cuando dicha información no está disponible [12].

Las aplicaciones para las que más comúnmente se utiliza la ingeniería inversa se encuentran entre las siguientes:

- **Interfacing.** La ingeniería inversa se puede usar cuando se requiere que un sistema se conecte con otro sistema y se necesita establecer cómo ambos sistemas se negociarán. Suele producirse en la interoperabilidad.
- **Fines militares o espionaje comercial.** Es muy útil aprender sobre las últimas innovaciones o investigaciones de un enemigo o competidor robando o capturando un prototipo y desmantelándolo. Esto podría resultar en el desarrollo de un producto similar.
- **Obsolescencia.** Los circuitos integrados a menudo se diseñan en sistemas que se construyen en líneas de producción que se vuelven obsoletas en solo unos pocos años. Cuando hay sistemas a los que ya no se les puede realizar mantenimiento, ya que hay partes que ya no se fabrican, la única forma de incorporar la funcionalidad de la antigua pieza o sistema a las nuevas tecnologías en desarrollo es aplicar ingeniería inversa al chip existente y luego rediseñarlo utilizando herramientas más nuevas, utilizando el conocimiento adquirido como guía. Otro problema originado por obsolescencia que puede resolverse mediante ingeniería inversa es la necesidad de realizar mantenimiento o suministrar de forma continua dispositivos heredados que ya no son compatibles con su fabricante de equipo original. Este problema es particularmente crítico en las operaciones militares.
- **Análisis de seguridad del producto.** Para examinar cómo funciona un producto, cuáles son las especificaciones de sus componentes, estimar costos e identificar posibles infracciones de patentes. También podría servir para adquirir datos confidenciales mediante el desmontaje y el análisis del diseño de un componente del sistema. Unos usos maliciosos que también se podrían darse serían eliminar la protección contra copia, o la elusión de restricciones de acceso.

- **Inteligencia técnica competitiva.** Útil para entender lo que realmente está haciendo el competidor, en lugar de lo que dice que está haciendo.
- **Ahorrar dinero.** En vez de tener que comprar un sistema o aparato entero cuando una de las piezas se rompe o deteriora, se podría reemplazar mediante ingeniería inversa.
- **Reutilización.** Crear un objeto obsoleto para suplir una necesidad diferente a su propósito original.

[12]

En este caso, el objetivo será adquirir información dimensional, de forma y de textura de diferentes rostros y con ello realizar una pieza de unión.

7.3 Escáneres industriales

Los escáneres 3D para uso profesional capturan con enorme precisión la geometría de cualquier objeto. Convierten la luz emitida sobre el objeto en una nube de puntos en 3D a tamaño real. Y cuantos más puntos se recogen, más calidad de malla y más resolución ofrece el escáner.

Las posibilidades que ofrece esta tecnología son enormes. El diseño industrial y mecánico han sido sectores pioneros en el uso de escáneres 3D, pero sectores profesionales como el multimedia, el médico o el de conservación de patrimonio ya han incorporado los escáneres 3D a su lista de herramientas [13].

En este caso, el escáner elegido es el GO!SCAN 3D G1. El tipo de luz que utiliza es luz blanca (LED) y la resolución de medida que proporciona es de hasta 0.100 mm [14].

Existe una gran variedad de escáneres industriales, aunque no todos ellos son propicios para la realización de este proyecto. Por ejemplo, los otros dos escáneres industriales de los que dispone la Escuela de Ingeniería de Bilbao, Handy y ATOS, están diseñados para el escaneo de piezas y otros objetos inmóviles, por lo que no obtendrían resultados aceptables a la hora de escanear una cara.

El escáner GO, que se puede observar en la Figura 4, en cambio, sí que cumple con los requerimientos para la realización de este proyecto y, por ello, es elegido para comprobar que los resultados del prototipo de fotogrametría son los esperados.



Figura 4. Escáner industrial GO.

7.4 Impresión 3D

La impresión 3D se considera una tecnología de fabricación por adición. Es capaz de crear un objeto tridimensional mediante la superposición de capas sucesivas de material [15]. En la Figura 5 se muestran las partes más representativas de una impresora 3D.

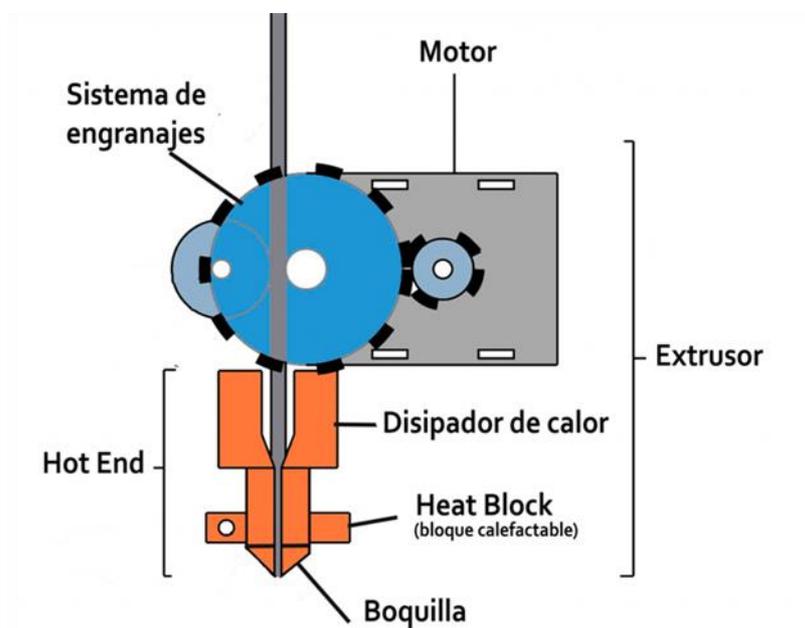


Figura 5. Partes más representativas de una impresora 3D.

El motor mueve un sistema de engranajes que hace que el filamento vaya hacia la boquilla, que está unida a un bloque calefactable y, gracias al cual, consigue extruir el filamento en un estado semi-sólido por capas. Ese material se solidifica y se crea la pieza deseada [16].

El primer paso para la impresión 3D es el diseño asistido por ordenador o CAD. La pieza o superficie a imprimir se dispondrá en secciones digitales para que la máquina pueda utilizar sucesivamente como una guía para la impresión.

Una interfaz estándar de datos entre el software CAD y las máquinas de impresión es el formato de archivo STL (siglas provenientes del inglés "STereo Lithography") del que se hablará más adelante y es, precisamente, el formato en el que se trabajará en este proyecto. En resumen, se trata de una representación triangular de una superficie. A cada pequeño triángulo se le denomina faceta y cuanto menores sean estas facetas mayor será la calidad de la superficie [17].

Aunque los materiales más comunes para la impresión son el ABS y el PLA, también se ha llegado a usar bambú, corcho, cristal o lino [18]. En definitiva, es posible imprimir con materiales con diferentes propiedades físicas y mecánicas, lo que supone que las tecnologías avanzadas de impresión 3D pueden incluso ofrecer modelos que pueden servir como prototipos de producto, como ocurre en este caso.

Las dos grandes ventajas de esta forma de fabricación frente a las convencionales son la customización y el aspecto económico. En las últimas dos décadas ha habido un gran crecimiento en la venta de impresoras 3D. De manera inversa, el coste de las mismas se ha reducido.

Algunas de las aplicaciones de esta tecnología podrían ser: joyería, calzado, diseño industrial, arquitectura, ingeniería y construcción, automoción y sector aeroespacial, industrias médicas, educación, sistemas de información geográfica, ingeniería civil y muchos otros.

8 Metodología para la obtención de los escaneos

La metodología utilizada se ilustra en la Figura 6 y más abajo se encuentra la descripción.

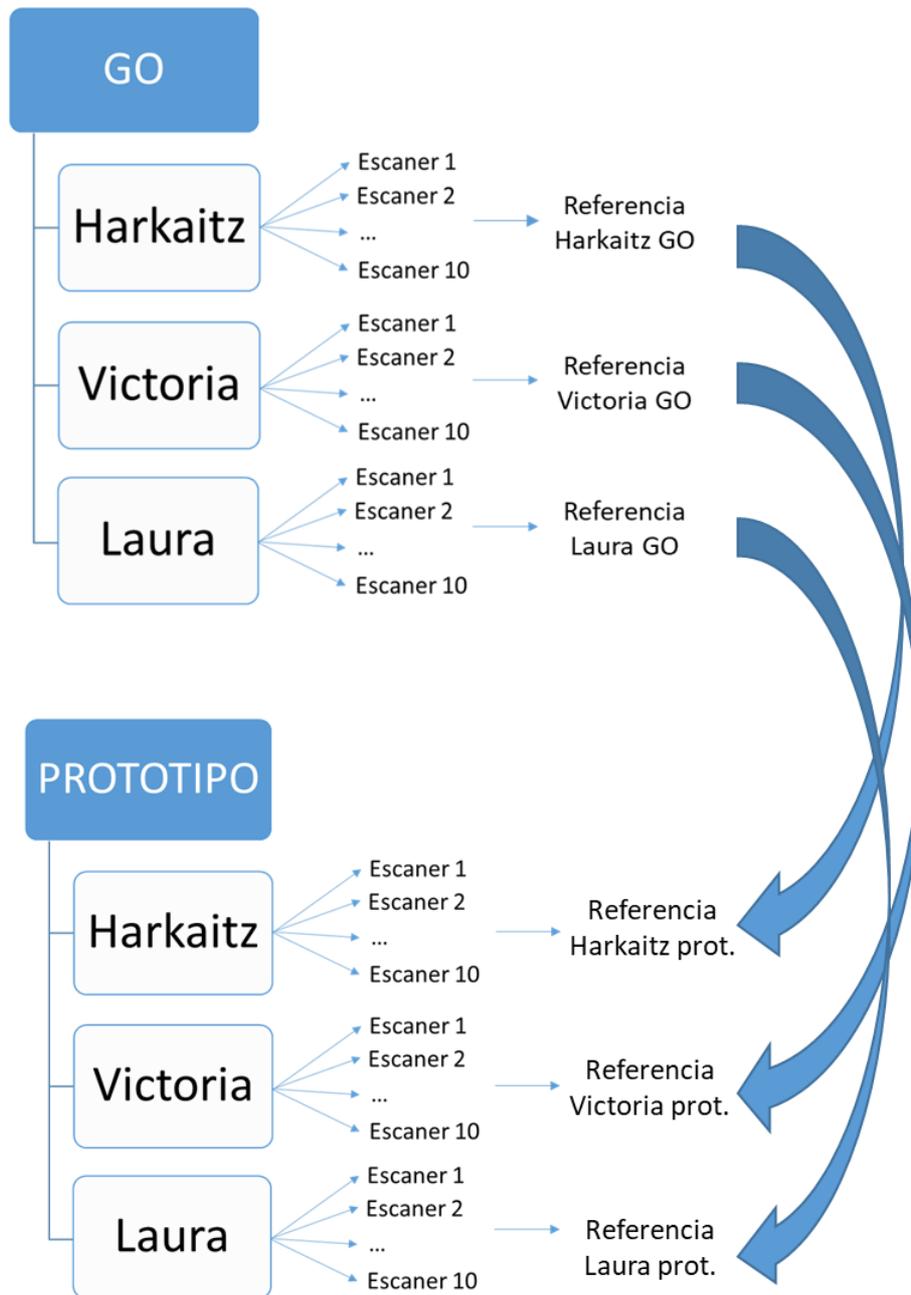


Figura 6. Diagrama de la metodología a seguir.

Se dispone de dos escáneres diferentes: Un escáner industrial, GO, y el prototipo de fotogrametría que se encuentra en el Hospital de Cruces. Con cada uno de ellos se realizarán diez escaneos de las caras de las personas a estudiar. En este caso las tres personas que van a ser objeto de estudio serán: Harkaitz, Victoria y Laura. En total se obtendrán sesenta escaneos diferentes.

Es importante tener varios escaneos de cada caso por si existiese alguna anomalía. Se denominará “caso” a cada conjunto de diez escaneos realizados a la misma persona y con el mismo escáner. De estos diez escaneos habrá que elegir uno solo al que se le realizará la ingeniería inversa.

Más adelante se explicará en detalle el proceso de selección, pero esta es la base: se examinan visualmente los diez escaneos. Es posible que algunos de ellos tengan agujeros, tengan alguna zona con muchas irregularidades o que no contengan la zona de interés (nariz y boca) al completo. Estos escaneos, que visualmente no son óptimos, no serán considerados para elegir la referencia. De entre los que no presentan anomalías, se elegirá uno al que se le denominará “escaneo de referencia”. Para comprobar que efectivamente esa referencia es fiable, se comparará con los nueve escaneos restantes.

Una vez realizada la elección se dispondrá de seis referencias en total: tres del prototipo de fotogrametría (Harkaitz, Victoria y Laura) y otras tres del escáner industrial (mismas personas). Ahora habrá que hacer una comparación entre los escaneos realizados con el GO y los del prototipo. En la Figura 6 se ilustra cómo se compararán. Como ya se ha determinado un escaneo de referencia para cada caso, usaremos estos mismos para la comparación.

9 Uso del escáner industrial GO

Para que los resultados de este proyecto sean fácilmente replicables en el futuro y para que los escaneos tengan una coherencia entre ellos, o sea, para que los resultados sean consistentes, se utilizará siempre el mismo movimiento para realizarlos. El movimiento será circular y se ilustra en la Figura 7.



Figura 7. Metodología para el escaneo de caras con el escáner GO.

En el lado izquierdo superior de la cara se habrá colocado una pegatina que el GO reconoce como referencia para calcular distancias relativas y tamaños. Se empezará a escanear en ese mismo punto y se realizará un movimiento circular en sentido anti horario hasta acabar en el punto de inicio.

Antes de realizar los escaneos habrá que calibrar el instrumento siguiendo los pasos marcados por el fabricante. Se realizará la calibración antes de cada conjunto de diez escaneos, pero no entre ellos, ya que así los diez escaneos estarán en prácticamente las mismas condiciones iniciales.

Las personas a las que se les realizarán los escaneos en este caso son: Laura, Harkaitz y Victoria. Dos de estos tres escaneos (Victoria y Harkaitz) han sido realizados por un operario sin experiencia. Los escaneos de Laura, en cambio, han sido obtenidos por un operario que ha

trabajado con este escáner y similares durante bastante tiempo y, por tanto, es capaz de escanear con mayor rapidez y destreza. Cuanto más lento se escanee una cara mayor será la probabilidad de que la persona que está siendo estudiada realice algún movimiento involuntario y, en consecuencia, se cree un escaneo de peor calidad.

Se ha comprobado que esta diferencia en experiencia tiene un efecto ya que los escaneos hechos por el operario con más experiencia no tienen prácticamente agujeros mientras que los realizados por la otra persona sí. Es un problema que se puede subsanar, aunque requiere más tiempo a la hora de procesarlos.

En cuanto a la calidad del escaneo es difícil saber si son de mayor o menor calidad porque hay otros muchos aspectos que entran en juego también y que no dependen del operario. Por ejemplo: el tipo de piel, bello facial... Más adelante se hablará en detalle sobre esto.

En cuanto a lo que respecta a la posición del paciente, todos los escaneos se realizarán con los ojos cerrados por la razón ya mencionada que un movimiento involuntario podría estropear la calidad del escaneo, además de que la luz puede llegar a ser molesta. También se decide que los escaneos se realicen mientras el sujeto está sentado en una silla para evitar que se canse y para que al operario le sea más fácil al no tener que levantar tanto los brazos.

El paciente o sujeto deberá permanecer tan inmóvil como le sea posible para que los resultados sean los deseados. Conviene también que si tiene pelo largo lo lleve recogido o, al menos, intente retirarlo del rostro. La razón para ello es que se ha comprobado que el pelo es siempre una zona problemática en los escaneos, ya sea porque se mueve o porque refleja la luz de forma errática.

El GO no es un escáner de contacto. Para que funcione de manera óptima hay que colocar el escáner a una cierta distancia del objeto de estudio. Hay dos maneras de saber que el escaneo se está realizando a la distancia correcta.

1. Por un lado, el aparato en sí dispone de tres luces que significan, respectivamente, demasiado cerca, distancia adecuada y demasiado lejos. Se procurará que la luz que indica la distancia adecuada está encendida en todo momento.
2. La otra manera de asegurarse de que la distancia es óptima es mirando al monitor del ordenador. Allí se podrá observar no solo si la distancia está dentro del rango aceptable sino también cómo de cerca o lejos está de una zona no aceptable. Esta última manera de abordarlo es especialmente útil, ya que también se puede observar el escaneo a tiempo real, aunque tiene la desventaja de que no se podrá prestar tanta atención al sujeto y se podría omitir la zona de interés sin querer.

10 Uso del prototipo de fotogrametría

La persona que sea objeto de estudio se sentará frente a la estructura tal y como se muestra en la Figura 8 y el operario procederá a realizar doce fotografías, una en cada cámara, exactamente al mismo tiempo. Como las fotografías se hacen instantáneamente ya no existirá el problema que podía ocurrir con el GO de que el sujeto se moviese.

Aun así, se realizarán las fotos con los ojos cerrados para que después, al hacer la comparación con el GO, las condiciones iniciales sean lo más similares posibles.



Figura 8. Posición para ser fotografiado por el prototipo

Al igual que con el escáner GO, conviene que el sujeto tenga el pelo recogido y que el fondo sea homogéneo y de color oscuro. Se evitarán todas las fuentes de luz que no sean provenientes de las luces LED incorporadas en la estructura o las del proyector.

11 Procesamiento de datos

El software elegido para el procesamiento y tratado de datos es el GOM Inspect 2018.

GOM Inspect es un software para analizar datos de medición 3D de proyección de franjas o escáneres láser, máquinas de medición de coordenadas (CMM) y otros sistemas de medición. El software GOM se utiliza en el desarrollo de productos, control de calidad y producción. Con el fin de garantizar la precisión de la medición precisa, este software ha sido probado y certificado por las instituciones de PTB y NIST. La precisión del software de evaluación se prueba comparando los resultados del software con los resultados de referencia. El software GOM se ha colocado en la Categoría 1, la categoría con las desviaciones de medición más pequeñas [19].

Además, el GOM Inspect es un software gratuito, al contrario de GOM Inspect Professional y GOM Inspect Enterprise, que incluyen más características, pero que no son esenciales para el desarrollo de este trabajo.

Para poder utilizar el GOM como herramienta de trabajo primero habría que conseguir los archivos en formato stl. Además, se ha hablado antes también de que ese formato, stl, es precisamente el que se utiliza para imprimir en 3D.

Las siglas stl provienen del inglés "Standard Triangle Language". Es un formato de archivo informático para el diseño asistido por ordenador, CAD. Su función es definir el dimensionamiento de objetos en tres dimensiones. Mientras que otros formatos de CAD sí que incluyen información como color, texturas o propiedades físicas, el formato stl no. Esta es la base teórica: se tiene una geometría de superficie tridimensional. Esta superficie se descompone en pequeños triángulos denominados facetas. Cuanto menor sean las facetas, mayor será la calidad de la superficie producida. En cuanto a qué es exactamente una faceta: se define por los tres puntos de los vértices del triángulo y por una dirección perpendicular, tal y como se muestra en la fig. [17]

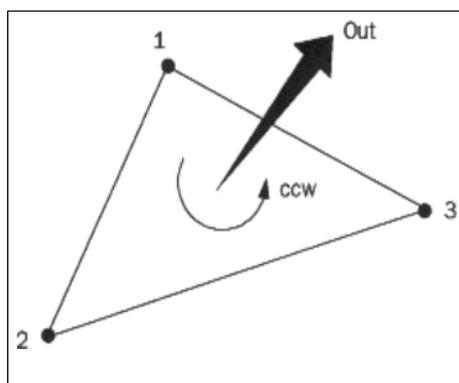


Figura 9. Definición de una faceta.

El uso más común del formato stl es el prototipado, la impresión 3D y la fabricación asistida por ordenador, que coincide exactamente con la línea de trabajo de este proyecto.

Como los dos métodos para el escaneo dan lugar a diferentes formatos, habrá que conseguir los archivos tipo stl de cada uno de manera diferente también:

- El GO lo que proporciona son archivos tipo csf. Para poder convertirlo de csf a stl se utiliza el software VXmodel. Entre las funciones de este software se encuentran: ingeniería inversa, medición de piezas existentes para equipos de posventa o personalizados, integración de las modificaciones del prototipo al archivo CAD, conservación, restauración y archivado digital, análisis de elemento finito (FEA), reparaciones/modificaciones personalizadas... [20]
- El prototipo en cambio proporciona varios formatos diferentes. Para obtener el formato stl utilizaremos el formato ply, aunque también se necesitará el archivo con formato jpg para poder abrirlo.

Polygon file format, ply, es un formato que guarda información de objetos gráficos describiéndolos como conjuntos de polígonos [21].

El programa que se ha utilizado para la conversión en el caso del prototipo es MeshLab 2016, que es un sistema de código abierto para procesar y editar mallas triangulares 3D. Proporciona un conjunto de herramientas para editar, limpiar, curar, inspeccionar, renderizar, texturizar y convertir mallas. Ofrece funciones para procesar datos en bruto producidos por dispositivos/herramientas de digitalización 3D y para preparar modelos para la impresión 3D [22]. En un principio, fue candidato a ser el software utilizado para el procesamiento de las mallas, al igual que VXinspect, VXmodel o VXelements, pero GOM fue finalmente el elegido por sus funciones y facilidad a la hora de utilizarlo.

Una vez obtenidos los archivos en formato stl, se abrirán todos los escaneos uno por uno y se seguirán los siguientes dos pasos en cada uno de ellos:

Se explicará la metodología para el procesamiento de datos y elección de un escaneo por cada caso poniendo los escaneos del GO como ejemplo. Con el prototipo se trabajará de forma análoga.

11.1 Paso 1: Limpiar los escaneos.

La zona de interés en este caso es la nariz y boca. Por esa razón a la hora de realizar los escaneos será la zona a la que más tiempo y dedicación se le dé a la hora de escanear. En cambio, hay zonas como cuello y orejas que no son de interés y por tanto habrá escaneos en los que aparezcan íntegramente y otros en los que no. Como pueden ser muy dispares de un escaneo a otro, lo más adecuado será evitarlas. Otra zona problemática será el pelo, también habrá que eliminarlo.

En la Figura 10 se observa el escaneo sin ninguna acción realizada sobre él. En la Figura 11 se ve la selección de las zonas que no interesa usar y finalmente en la Figura 12 se tiene el escaneado ya recortado que más adelante servirá para comparación con otros escaneos. Se intentará que todos los recortes sean lo más similares entre ellos como sea posible.

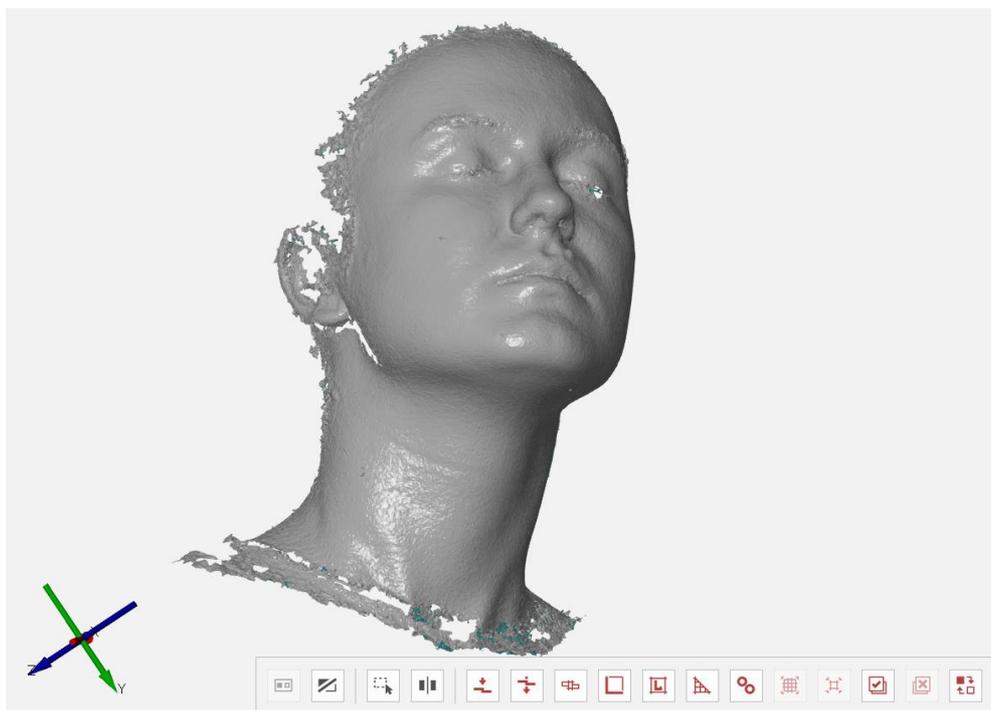


Figura 10. Escaneado sin procesar.

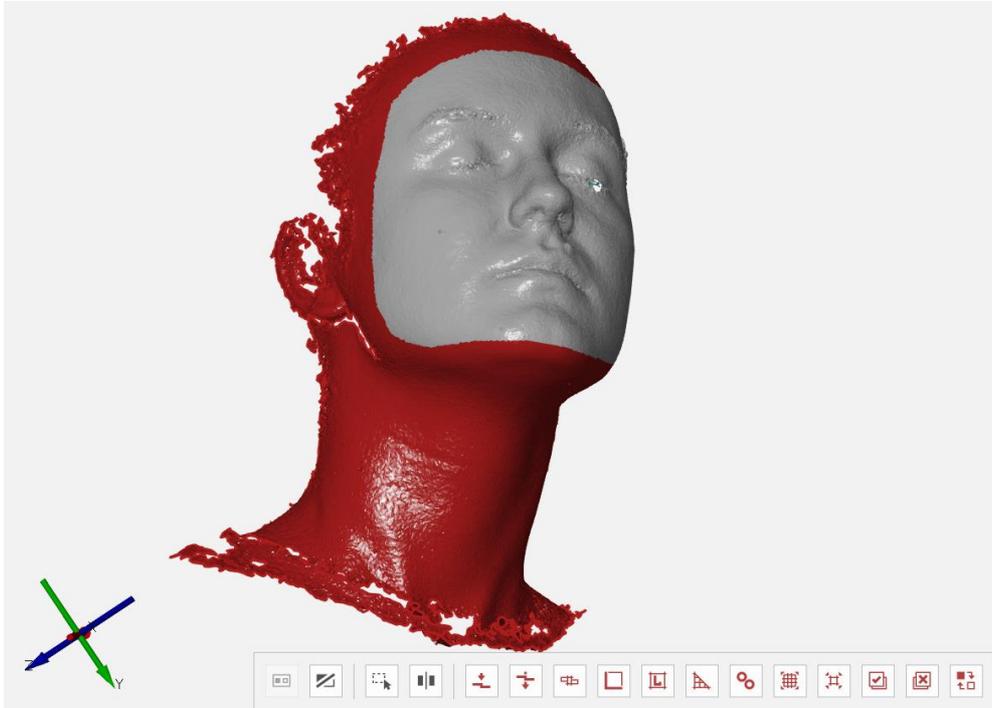


Figura 11. Escaneado con la zona de no interés seleccionada.

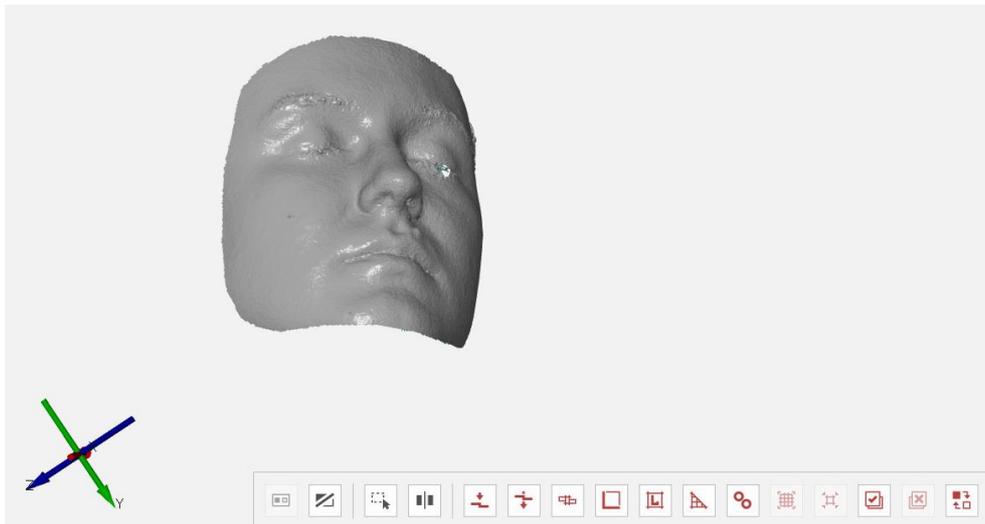


Figura 12. Escaneado recortado.

11.2 Paso 2: Tapar agujeros.

Si existiese algún agujero, generalmente localizados en las zonas de cejas, pestañas e interior de la nariz, habría que taparlos. En la Figura 13 se puede observar un agujero que ha sido previamente seleccionado y los pasos a seguir para que rellenarlo (Operations-> Mesh-> Close Holes-> Automatically). En la Figura 14 se ve el producto final de este relleno.

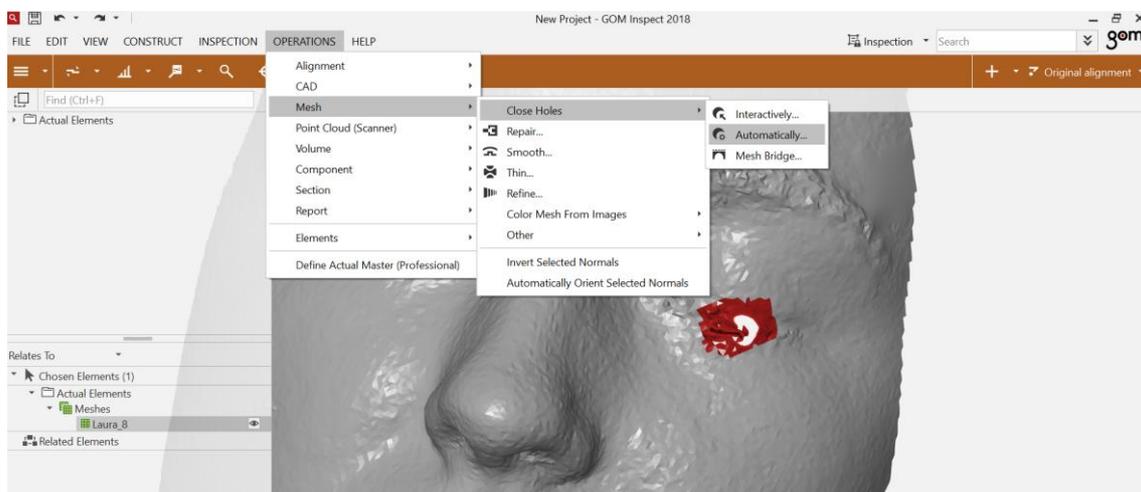


Figura 13. Procedimiento para parchear agujeros.

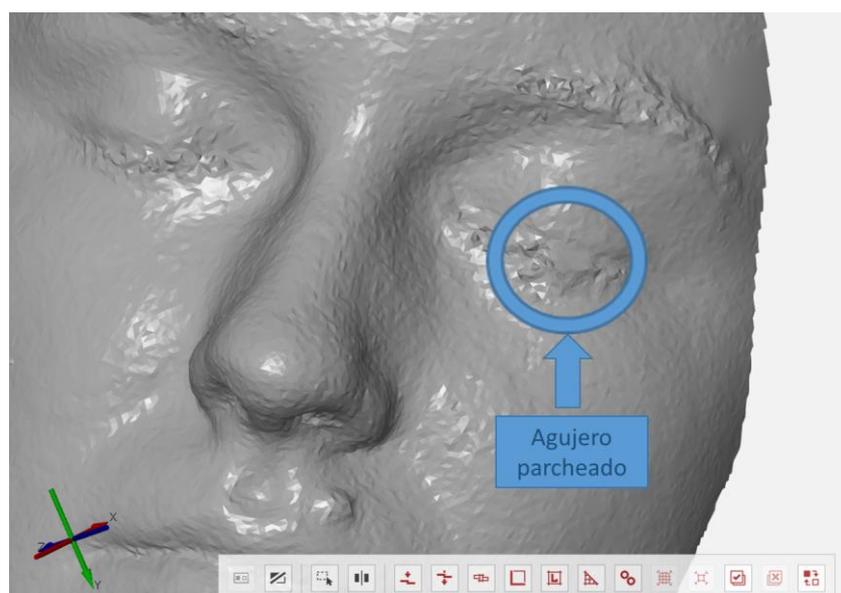


Figura 14. Agujero parchado.

Con esto se obtienen escaneos que pueden ser comparados unos con otros para certificar que son válidos. Se abrirán los diez escaneos de cada caso y se examinarán visualmente. Se elegirá uno que aparentemente sea aceptable, tal y como se ha descrito con anterioridad. Este escaneo, el de referencia, deberá compararse con los otros nueve para comprobar que, efectivamente, sí que es fiel a la realidad y, por tanto, puede ser usado para realizarle ingeniería inversa y así conseguir el adaptador.

A continuación, se describe como se realizará dicha comparación para poder comprobar que la elección del escaneo en cuestión es aplicable.

12 Elección de un escaneo por cada caso

En la Figura 15 se muestra el procedimiento para comparar los nueve escaneos restantes contra el de referencia.

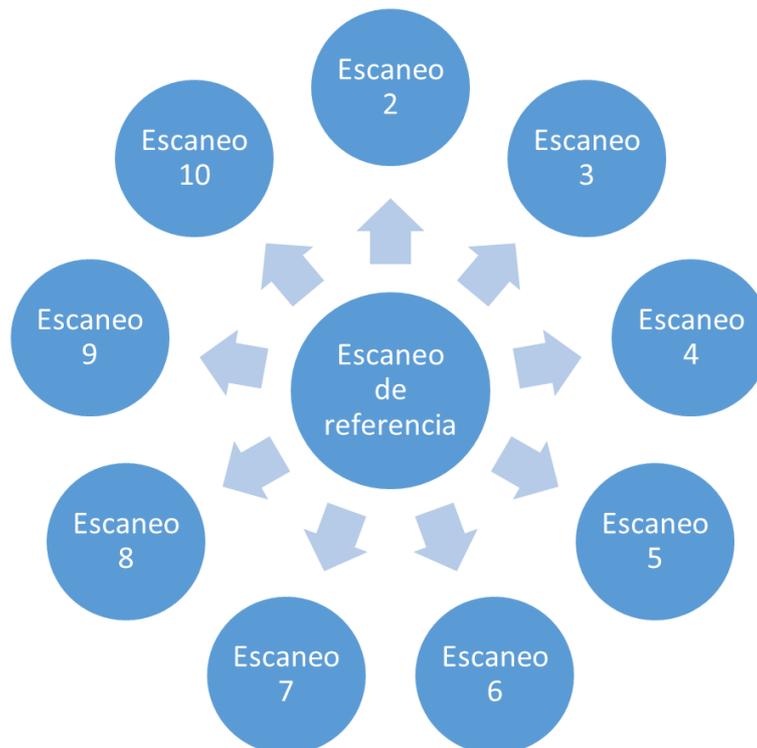


Figura 15. Diagrama para comparación de escaneos.

Para realizar esta comparación se abrirán dos archivos (el de referencia y el que se quiera comparar) en el programa GOM. Uno de ellos será en formato CAD y el otro como malla. Se obtendrá algo similar a lo que se observa en la Figura 16.

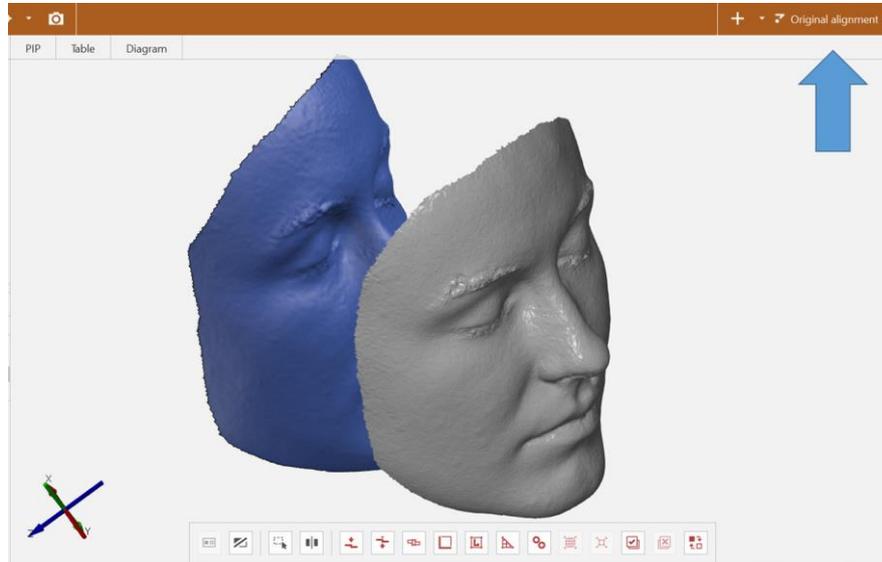


Figura 16. Alineación inicial.

A continuación, se procederá a realizar una prealineación. Es una herramienta integrada en el GOM que alinea ambas capas teniendo en cuenta la totalidad de las superficies. Se puede observar el resultado en la Figura 17.

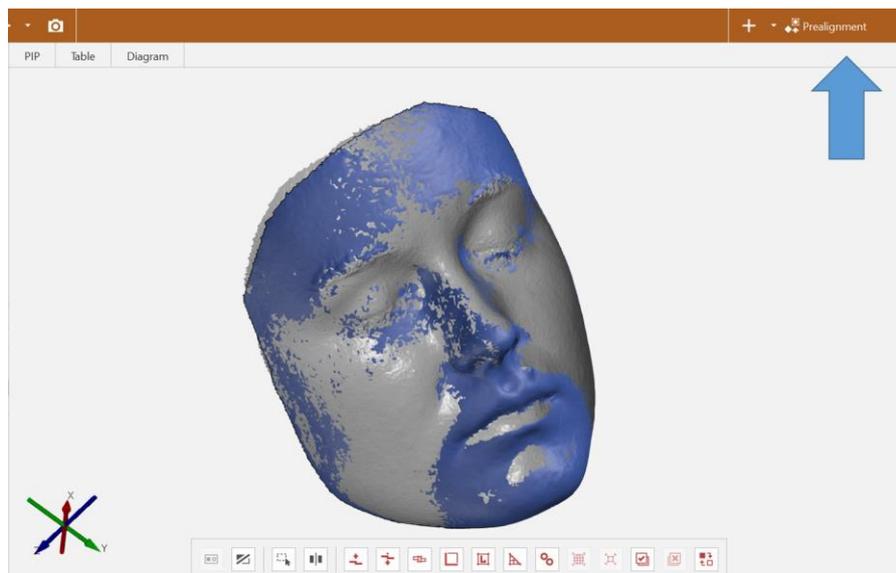


Figura 17. Prealineación.

Después de esto, se seleccionará una parte de la zona de interés que se sabe que no va a variar entre toma y toma, o sea, la nariz. Si se eligiesen los labios, por ejemplo, el sujeto podría haber cambiado su postura entre un escaneo y el siguiente y la comparación entre ellos no nos daría resultados satisfactorios.

Se seleccionara la zona de interés primero en ambas capas a la vez, para que la zona de selección sea muy similar en ambas. Después, se esconderá la primera capa y se mejorará la selección de la segunda. A continuación, se hará lo contrario, ocultar la segunda capa y mejorar la primera. En la Figura 18 se puede ver cuál es esa zona que se va a seleccionar cuando ambas capas están visibles y en la Figura 19 se verá cómo al ocultar una de las capas la zona de selección no cubre perfectamente la zona de interés y habría que des-seleccionar algunas zonas y seleccionar otras. Cuando se haya hecho esta selección se obtendrá una zona que servirá para hacer un “best fit local”.

“Best fit local” es una alineación basada en una zona específica, en este caso la nariz.

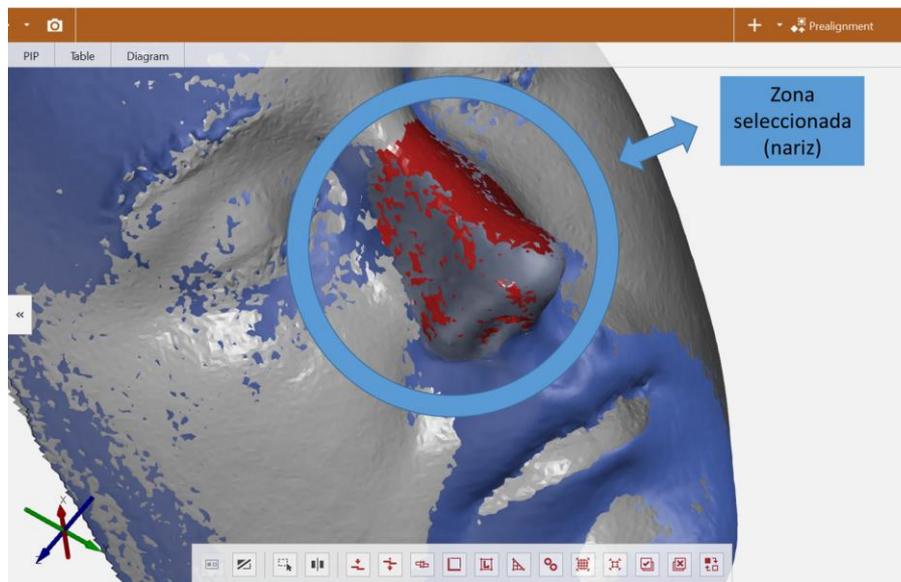


Figura 18. Selección de zona de interés.



Figura 19. Errores de selección en una de las capas.

En la Figura 20 se observan los resultados de ese "best fit local".

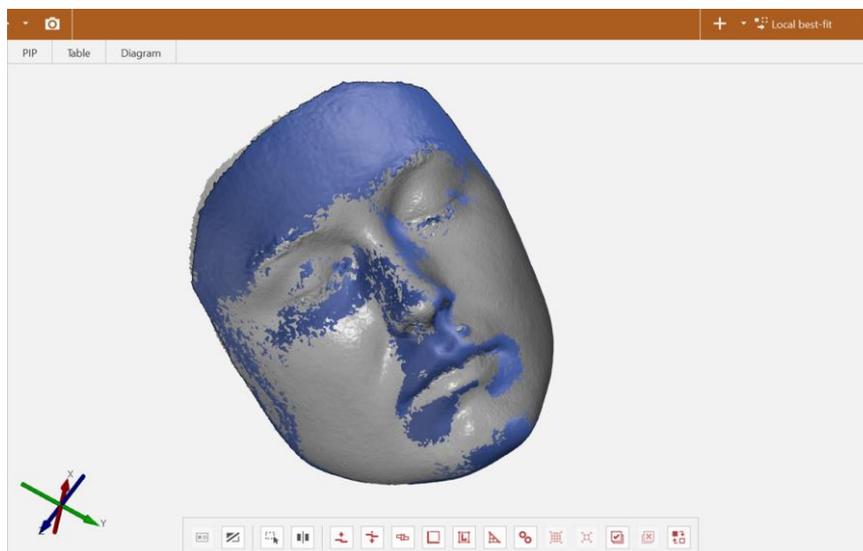


Figura 20. Alineación mediante "Best fit local".

Con esta última alineación se consigue que las dos capas estén dispuestas de tal manera que al realizar un estudio sobre sus distancias relativas se puede afirmar dónde existen errores de medición o de otro tipo.

La razón por la que se utilizará la alineación hecha por un “best fit local” en vez de únicamente la prealineación es la siguiente:

La alineación por “best fit” usa una zona como base, es decir, asegura que la zona elegida esté perfectamente alineada entre ambas capas. La nariz se trata de una parte del cuerpo formada mayormente por hueso y cartílago duro, por lo que es inmóvil. Será una constante entre escaneos, o sea, es una zona que puede servir como referencia.

Al realizar una prealineación, el software tiene en cuenta no solo las partes perfectamente inmóviles como la nariz, sino que toda la malla. Realizará una media entre todos los puntos que existen y, con ello, hará una alineación que tenga el menor error general. Puede parecer que es interesante que el error sea el mínimo posible, pero lo que verdaderamente importa es saber cómo de fiel es una malla a la realidad, por lo que este tipo de alineación queda descartada como solución final. Aun así, resulta útil como paso intermedio para que la selección de la nariz se realice con mayor precisión.

A continuación, se muestran dos imágenes. En la primera, Figura 21, se ha realizado únicamente una prealineación mientras que en la segunda, Figura 22, se ha hecho además un “best fit local” usando la nariz como zona de interés. Para mostrar las diferencias se usa una herramienta del GOM que ilustra mediante un “colormap” las diferencias dimensionales usando colores.

El color verde implica total similitud, mientras que el rojo y el azul oscuro muestran las mayores disparidades entre capas. En la zona derecha de cada imagen se puede observar un gráfico que explica qué distancia relativa está asociada a cada color, en milímetros.

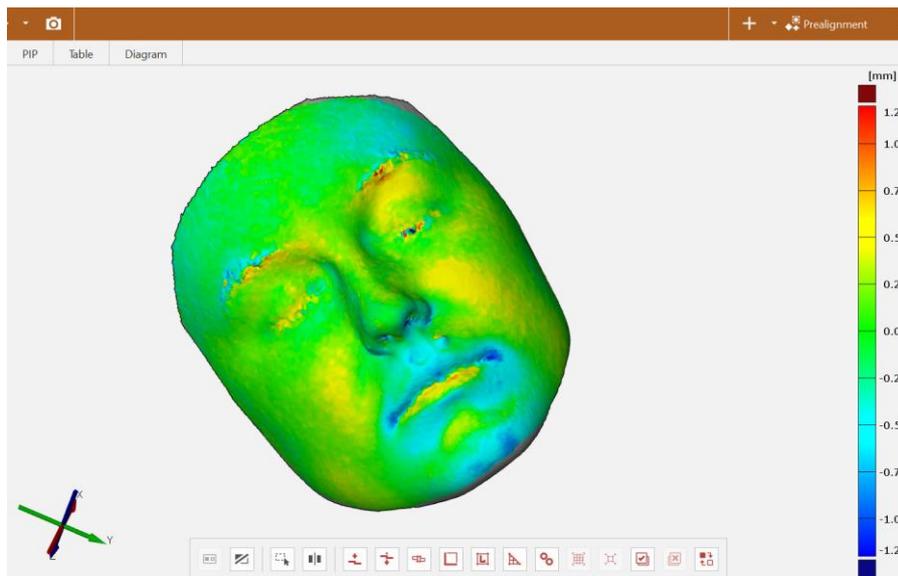


Figura 21. Colormap de alineación mediante "prealineación".

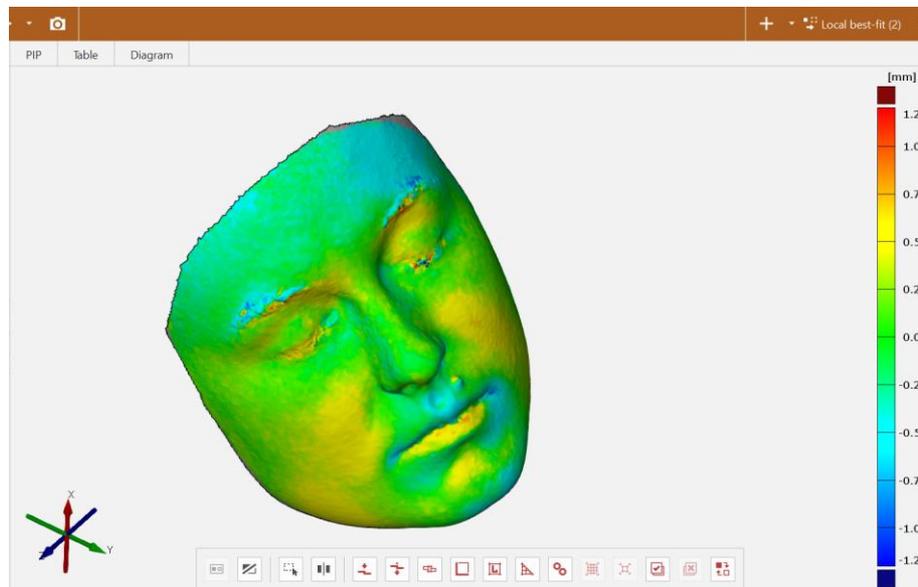


Figura 22. "Colormap" de alineación mediante "best fit local".

Como se puede observar, en la primera existe más homogeneidad, los colores en general son más próximos al verde, pero en la zona de la nariz existen zonas que no son verdes. En la segunda, en cambio, la nariz estará verde, ya que se ha usado como referencia, mientras que otras partes, cejas, pestañas y labios, se observa mayor variedad de colores.

Al asumir que la nariz no puede variar de una toma a otra y viendo que en el caso de la prealineación existen zonas de la nariz que no son verdes, se concluye que el "best fit local" proporciona resultados más satisfactorios.

Se puede comprobar analíticamente lo expuesto anteriormente. En la Figura 23 se observa algunos datos de interés después de haber realizado una prealineación mientras que en la Figura 24 se habrá realizado un "best fit local" también. Tal y como se ha comentado, la Figura 24 tendrá peores resultados globales como en la distancia media, 0'38mm, en comparación con la distancia media de la Figura 23 0'03mm o la desviación estándar 0'59mm frente a 0'42mm. Se ha seleccionado la zona de interés, nariz, y se comprueba que en esa zona los resultados son contrarios. La distancia media en la Figura 24 es 0'17mm, que es mucho menor que 0'47mm de la Figura 23.

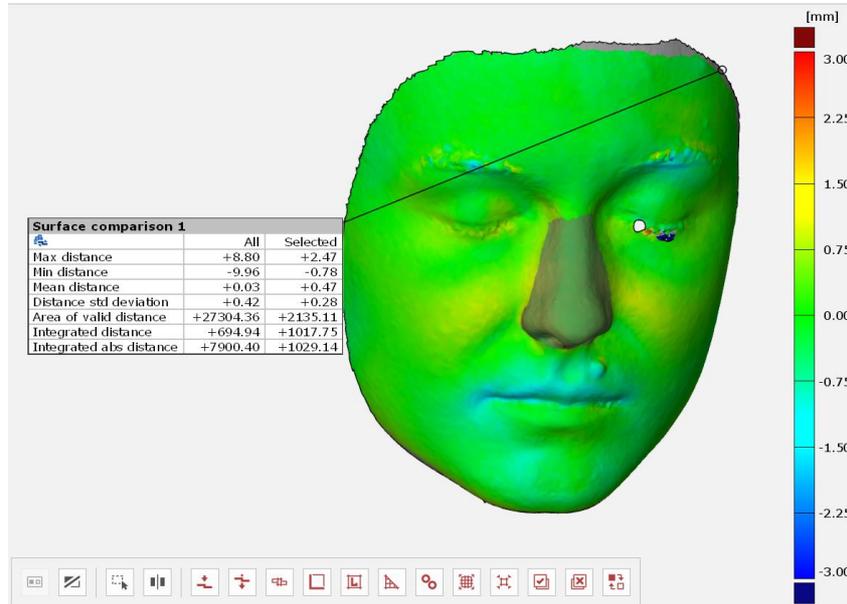


Figura 23. Tabla en comparación con prealineación.

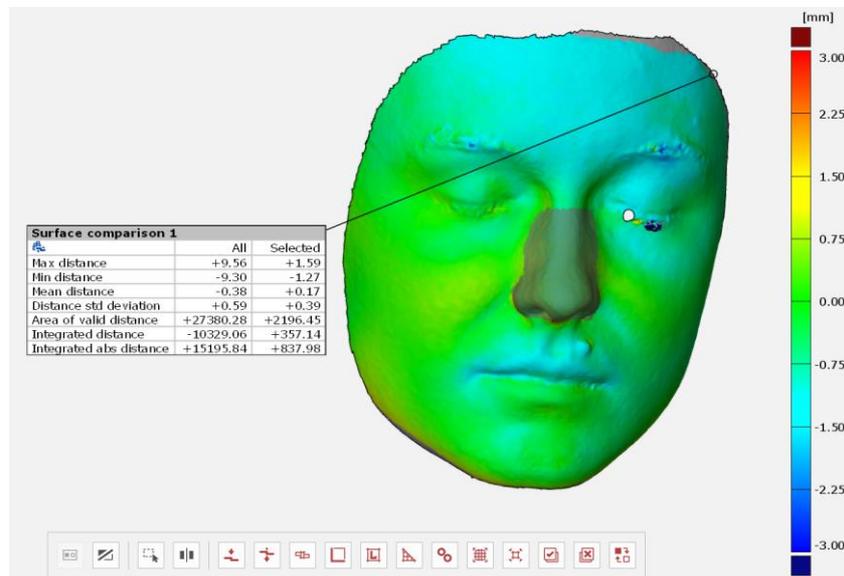


Figura 24. Tabla en comparación con best fit.

Asumiendo que el “best fit local” ha proporcionado resultados satisfactorios, se puede concluir que ambos escaneos son bastante similares entre sí. Como el pelo es difícil de captar, porque varía entre tomas y por cómo refleja la luz, es lógico que en pestañas y cejas se vean diferencias. Los labios es una zona que el paciente fácilmente ha podido mover entre tomas por

lo que es coherente también. Por lo demás, se concluye que ambos escaneos son afines entre sí y, por tanto, es bastante probable que sean fieles a la realidad.

Cuando se haya comparado uno de estos escaneos, el de referencia, con los otros nueve, si los resultados son similares a los aquí obtenidos, se podrá confirmar que, efectivamente, esa referencia es fiel a la realidad. En ese caso, se podrá utilizar para realizar la juntura o unión que es el objetivo de este trabajo de fin de grado.

A continuación se estudiarán los seis casos:

12.1 Tres casos del escáner GO

Se van a comentar los tres casos por separado ya que cada uno tiene sus particularidades. Al final de este punto se conseguirá haber seleccionado un escaneo de cada persona que es fiel a la realidad y que, posteriormente, se utilizará para comprobar la fiabilidad del prototipo de fotogrametría.

12.1.1 Escaneos mediante GO a Harkaitz

Harkaitz es un hombre con bello facial, concretamente barba y bigote. Se puede presuponer que en las zonas en las que existe bello el escaneo será de peor calidad.

En la Figura 25 se muestran cuatro ejemplos de esa comparación. En todos ellos la gran mayoría del rostro se encuentra en verde, indicando gran similitud, mientras que hay algunas zonas que en todos ellos están más dispares. Esas zonas son: cejas, pestañas, barba, bigote y, en menor medida, los labios y arcos ciliares.

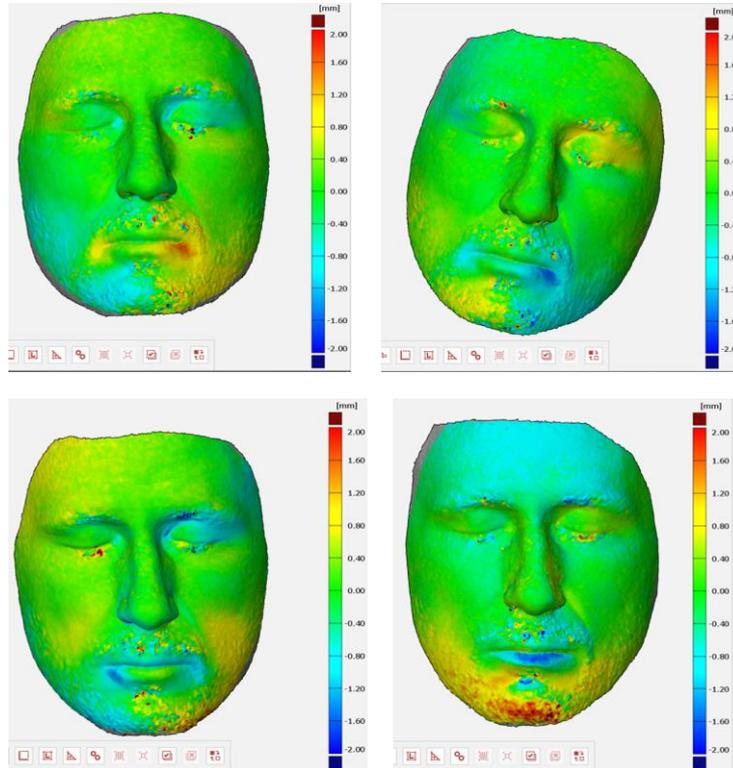


Figura 25. Ejemplos de comparación entre escaneos del GO a Harkaiz.

Ya se ha mencionado el porqué de la disparidad en el bello. Se procederá a comentar las variaciones de color en los arcos ciliares y labios.

Los arcos ciliares o arcada, la zona justamente debajo de las cejas, es una zona complicada por su estrechez. Entre toma y toma el paciente puede haber cambiado la postura ligeramente y la luz llegaría a la zona de manera totalmente diferente.

Acerca de las diferencias en los labios:

Una de las posibles causas para ello es que los labios estén ligeramente húmedos por la saliva y la luz sea percibida de forma diferente.

Otra posibilidad es que al ser los labios una zona de la cara que los humanos pueden mover con mucha facilidad y casi sin darse cuenta, es posible que entre escaneos el sujeto haya movido esa zona. Ejemplo de ello es la Figura 26 en la que se observa perfectamente que el resto de la cara se encuentra perfectamente alineada, pero los labios son de un rojo oscuro, lo que denota gran diferencia. La única explicación plausible para esto es que el sujeto haya movido los labios.

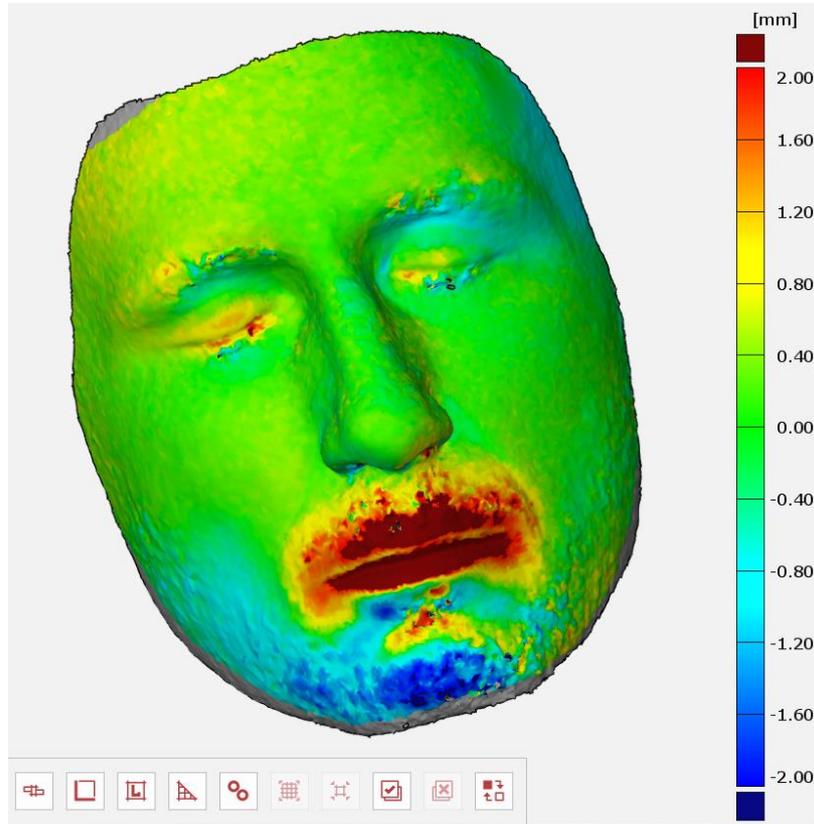


Figura 26. Diferencia en los labios en los escaneos de Harkaitz hechos con el GO.

Otra de las comparaciones que ha llamado la atención es la que se muestra en la Figura 27. Aparentemente era un escaneo perfectamente normal y válido, pero al ser comparado con el de referencia, y posteriormente con otros, se ha descubierto que hay grandes errores en muchas zonas de la cara. Si este hubiera sido elegido como escáner de referencia habría sido descartado más adelante al tratarse de un escaneo fallido.

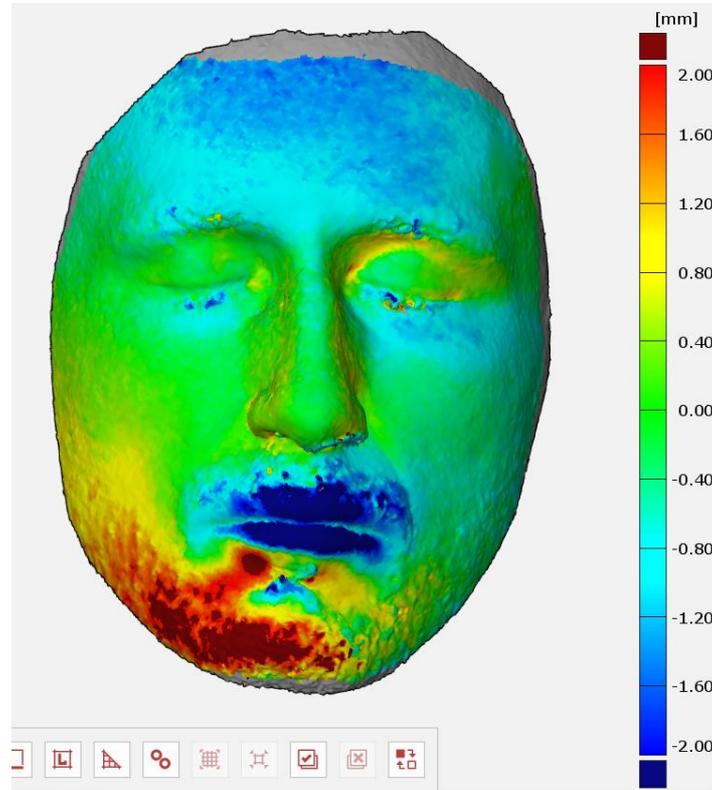


Figura 27. Comparación del escaneo de referencia con un escaneo fallido.

Se concluye que el escáner escogido es fiel a la realidad ya que tiene grandes similitudes con la gran mayoría del resto de escaneos. También se observa que las zonas con bello dan gran error. Los labios, cejas y pestañas no afectan al resultado final ya que no se encuentran en la zona en la que hará contacto el adaptador. La barba, en cambio, sí. Sería preferible si el paciente se afeitase si desea que se le realice un adaptador personalizado con este método.

12.1.2 Escaneos mediante GO a Laura

En la Figura 28 se muestran algunos ejemplos de la comparación entre el escáner escogido como referencia y los demás. Se observa con claridad que hay un problema en la parte de la mandíbula ya que en todos ellos se ve una gran diferencia. También se ve que en las pestañas de uno de los ojos existe mayor error del que debería. Como los ojos no entran dentro de la zona de interés esto no supondría un problema, la mandíbula, en cambio, sí.

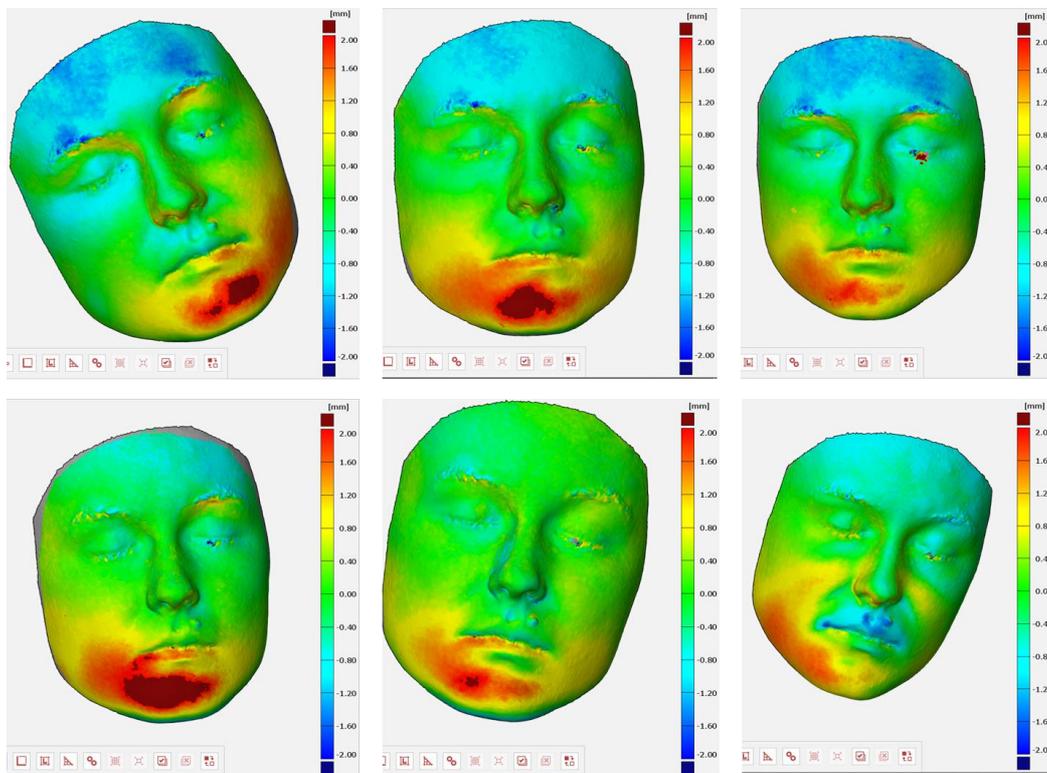


Figura 28. Error en la primera referencia elegida de Laura con el GO.

Esta referencia que, en un principio, se había considerado decente, ha resultado no ser realista. Se procederá a elegir otro escaneo de referencia y realizar las comparaciones de nuevo.

Se observan algunos ejemplos de las comparaciones entre la nueva referencia y el resto de escaneos en la Figura 29.

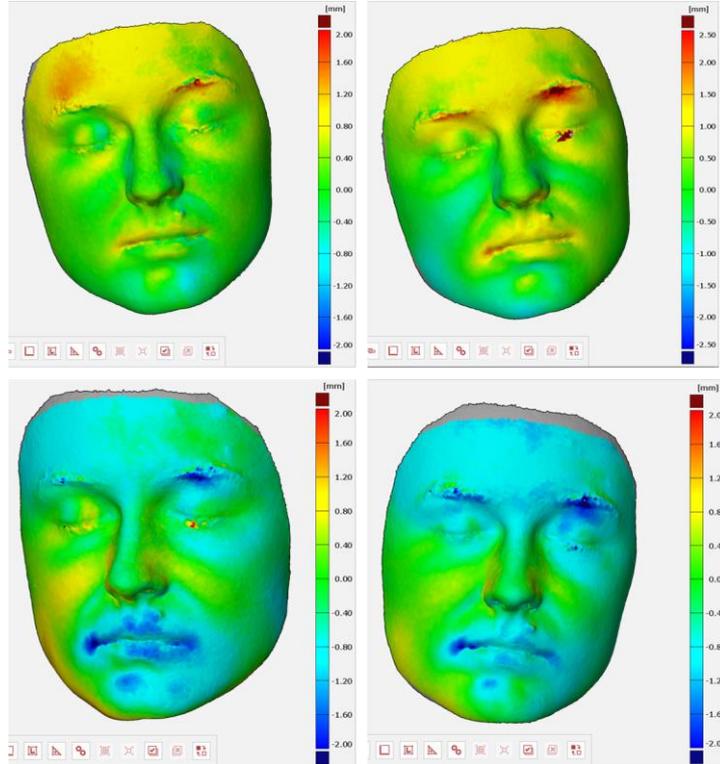


Figura 29. Comparación de escaneos de la nueva referencia de Laura con el GO.

Las zonas más dispares son pestañas, cejas, arcos ciliares y labios. El razonamiento de por qué ocurre esto es el mismo que el ya explicado.

Como podría esperarse, la comparación con el escaneo que previamente se ha descartado da grandes errores. Se comprueba esto en la Figura 30.

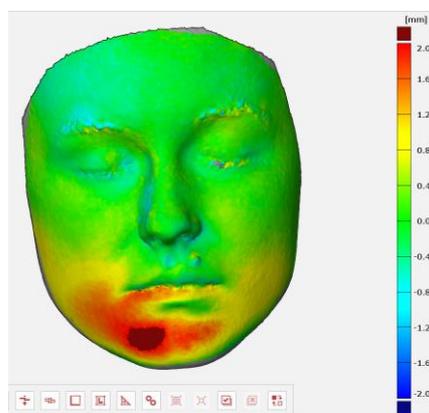


Figura 30. Comparación con la anterior referencia.

12.1.3 Escaneos mediante GO a Victoria

En la Figura 31 se muestran algunas de las comparaciones pertinentes.

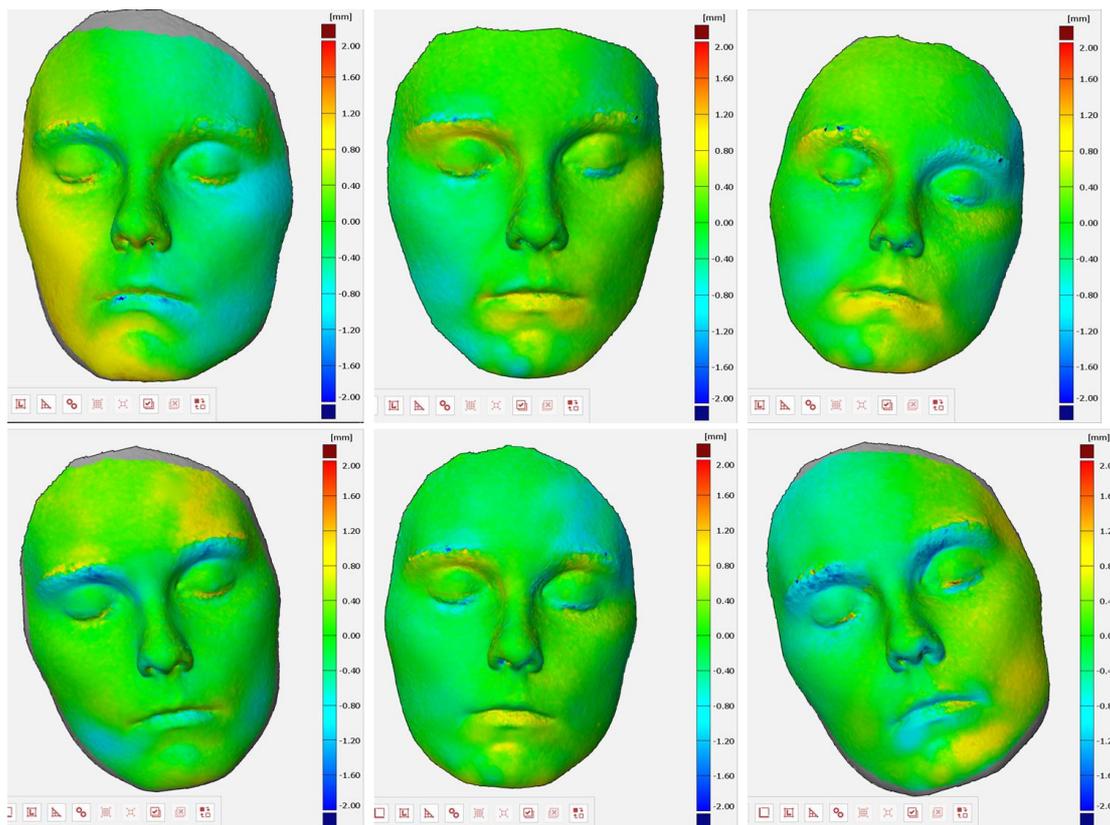


Figura 31. Comparación de escaneos de Victoria hechos con el GO.

Una vez más, se encuentran diferencias en zonas como pestañas, cejas, arcos ciliares y labios. No existe ningún escaneo con el que haya grandes diferencias, al contrario que ha ocurrido con los casos de Harkaitz y Laura. Eso significa que cualquiera de los escaneos podría haber sido elegido como referencia.

Se puede observar que la gran mayoría del rostro está verde, una mayor proporción que en los otros dos casos. La razón para ello podría ser que la piel de Victoria es muy suave, lisa y seca. Mientras que la de Laura por ejemplo tiene más irregularidades y es más grasa.

Con esto se llega a la conclusión de que esta metodología podría funcionar bien en bebés o niños, ya que suelen tener la piel muy suave. En cambio, una persona con acné u otro tipo de condición podría resultar en unos escaneados de menor calidad.

12.2 Tres casos del prototipo de fotogrametría

En este caso, los resultados se van a comentar sin hablar de cada uno de los sujetos pues las conclusiones son análogas en los tres casos. En la Figura 32 se ve un ejemplo de cada uno de los sujetos. Se puede observar que toda la zona se encuentra en verde. Las fotos que se sacan para obtener los modelos tridimensionales se hacen en un periodo muy corto de tiempo por lo que los resultados son que todos los escaneos son muy similares.

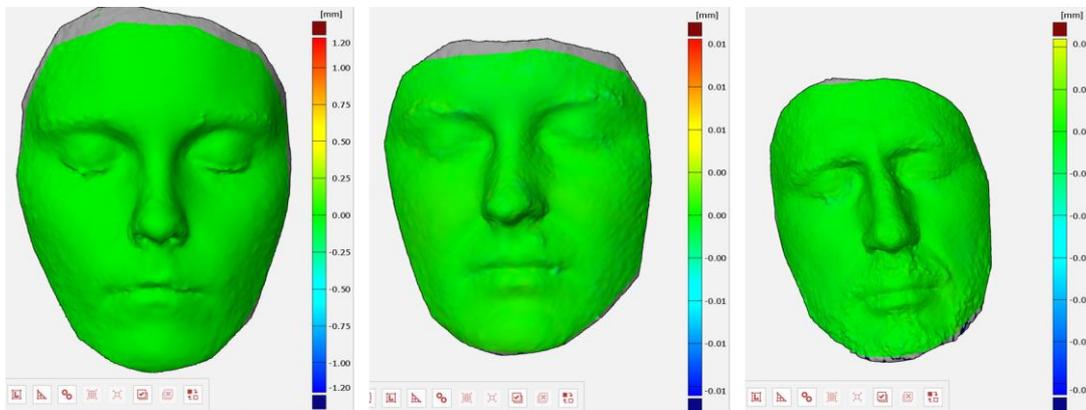


Figura 32. Comparación de escaneos con el prototipo de fotogrametría.

Se obtienen tres escaneos de referencia, uno por persona, que se procederá a comparar con los obtenidos con el escáner industrial GO.

13 Comparación entre el GO y el prototipo

Una vez obtenidos los seis escaneos de referencia se procederá a compararlos para determinar si los resultados del prototipo son aceptables. En la Figura 33 se ven las tres comparaciones y más abajo se comentan las conclusiones.

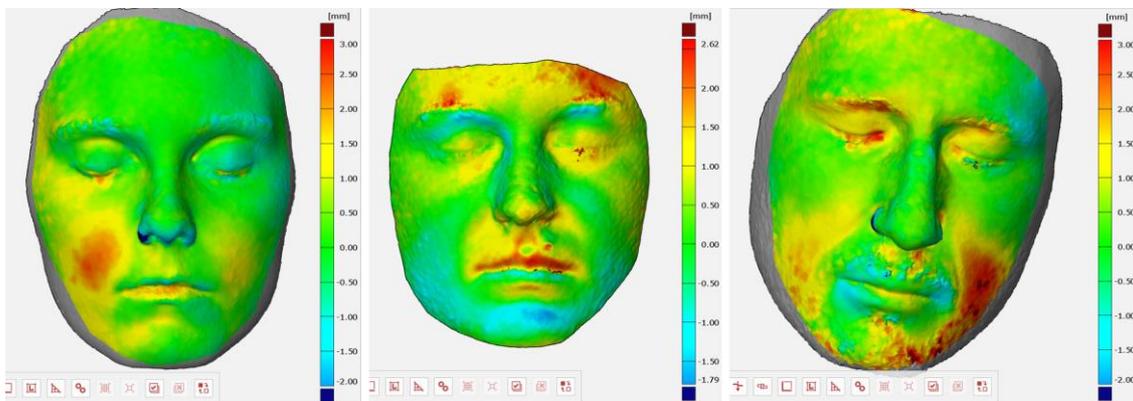


Figura 33. Comparación entre los escaneos del GO y los del prototipo.

En este caso se ven más diferencias que cuando se hacían comparaciones entre escaneos realizados por el mismo escáner. Esto tiene mucho sentido por las siguientes razones:

- Los escaneos realizados con el escáner industrial y el prototipo se realizaron en días diferentes. Va a ser complicado que los sujetos repliquen con exactitud la posición que usaron.
- Se han realizado con tecnologías diferentes.

Aun así, los resultados son lo suficientemente similares para asegurar que el prototipo es un sistema fiable para la obtención de escaneos.

Es interesante hablar de las particularidades que se han dado. La primera de ellas es que, una vez más, los resultados de Victoria son mucho más satisfactorios gracias a su piel.

Otra cuestión de interés son las grandes diferencias observadas en las alas o alas de la nariz. Mientras que al igual que ha ocurrido antes, existen diferencias en las zonas de pestañas, cejas, bello facial, arcos ciliares y labios, por las razones antes mencionadas, también se observan estas otras variaciones que son además bastante significativas.

En la Figura 34 se puede ver este suceso. Se trata del caso de Harkaitz en el que en ambas alas nasales existe un error considerable.

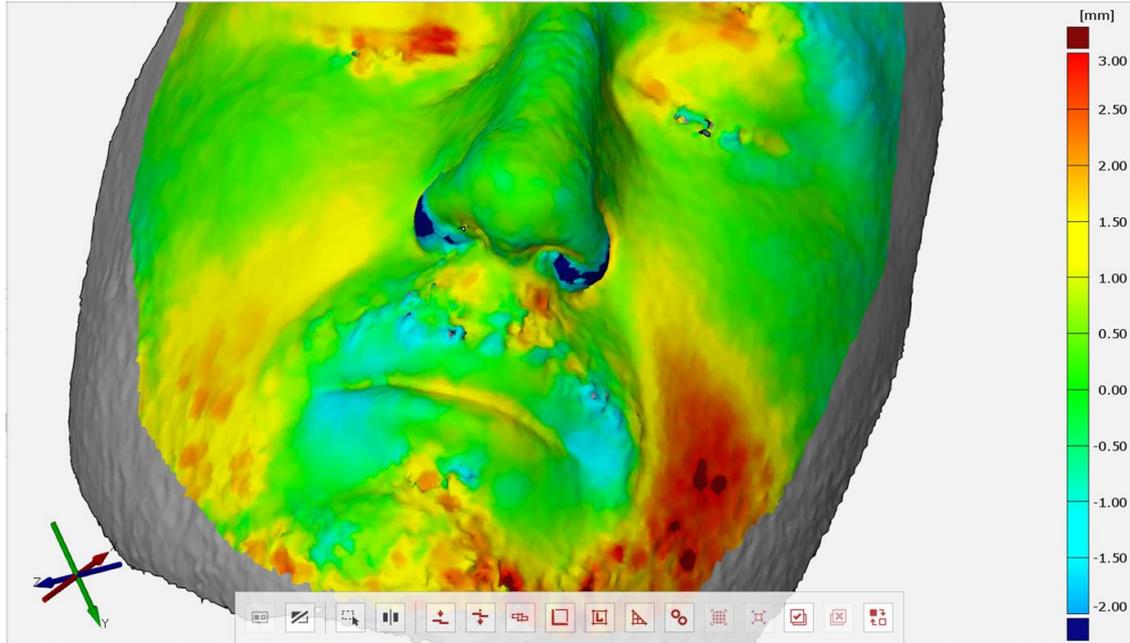


Figura 34. Detalle de las alas nasales de Harkaitz.

En la Figura 35 en cambio, este error solo ocurre en una de las alas nasales. Este se trata del caso de Victoria.

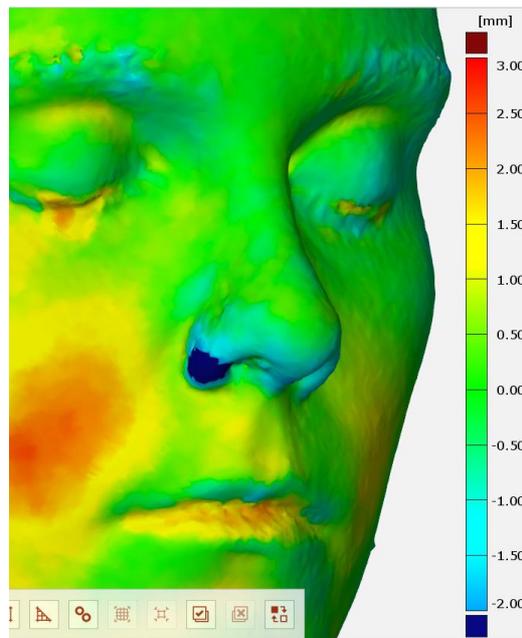


Figura 35. Detalle de las alas nasales de Victoria.

Por último queda el caso de Laura, en el que no se da este fenómeno debido a que su nariz es más puntiaguda y más estrecha que la de los otros dos sujetos.

Esta particularidad se debe a que las cámaras del prototipo de fotogrametría no estarán cuidando las distancias óptimas. Se espera que con el rediseño de la estructura que está siendo llevado a cabo ahora mismo en el departamento este problema desaparezca.

Aun así, las alas nasales no forman parte de la zona en la que el adaptador hará contacto con la piel por lo que es irrelevante.

14 Obtención de la junta mediante ingeniería inversa

Se investiga la posibilidad de realizar esta acción mediante programas como meshlab, VXelements o solid edge, aunque finalmente se elige GOM de nuevo.

Primero se seleccionará la zona donde deberá posarse el adaptador, se le denominará “zona exterior de la base del adaptador”. En la Figura 36 se ilustra dicha selección.

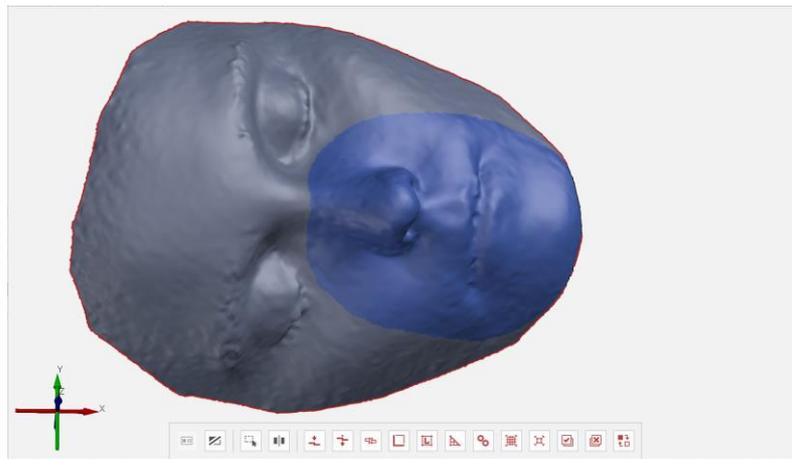


Figura 36. Selección de zona exterior de la base del adaptador.

A continuación se eliminará el resto de la cara. En el trozo de malla que queda se realizará otra selección: “zona exterior de la base del adaptador”, tal y como se observa en la Figura 37.

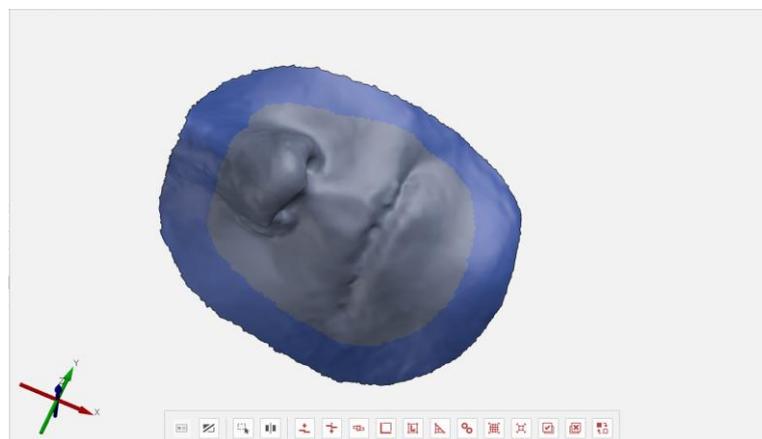


Figura 37. Zona interior de la base del adaptador.

Se eliminará esa parte seleccionada y se dispondrá de una forma como la de la Figura 38.

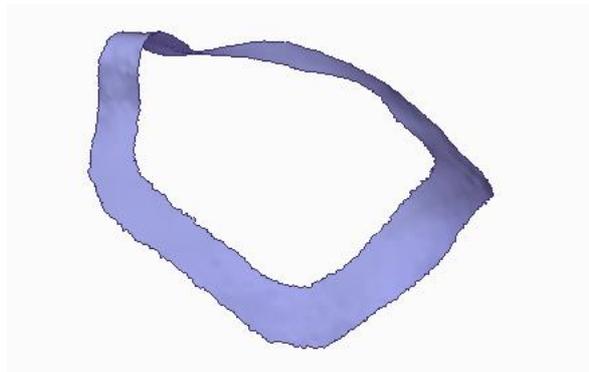


Figura 38. Base del adaptador.

En la Figura 39 se puede observar cómo la base del adaptador se adecúa al rostro del sujeto.

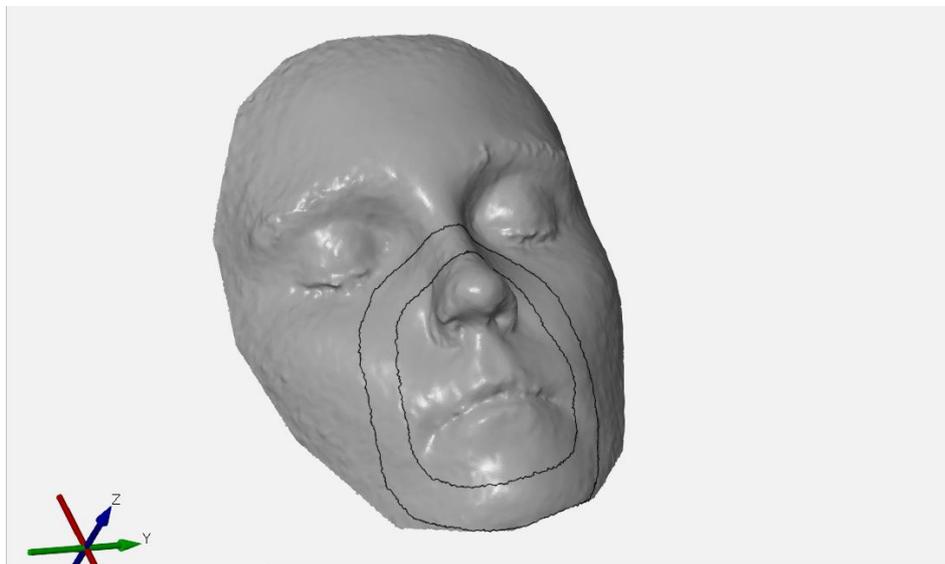


Figura 39. Adaptador superpuesto al rostro correspondiente.

Lo obtenido tras este proceso es la base del adaptador, que se completaría extruyéndolo y adhiriéndolo a la máscara respiratoria.

15 Descripción de tareas, fases, equipos o procedimientos

A continuación, se describen las tareas necesarias y fases a seguir para conseguir los objetivos previamente definidos en este proyecto. También se describirán el equipo necesario y los procedimientos llevados a cabo.

Tarea 1: Definición del proyecto

Se empieza a leer información sobre diferentes métodos de escaneo. Se marcan las pautas para el proyecto y la metodología a seguir.

Tarea 2: Obtención escaneos

Sub-tarea 2.1: Formación escáner industrial GO

La autora del trabajo realiza algunas pruebas de escaneo a maniqués y otros objetos. También se le realizarán diez escaneos a otro sujeto que finalmente no son utilizados en este trabajo, pero que sí que sirven como práctica para el operario. El objetivo de esta actividad es que el autor del proyecto se acostumbre al uso del escáner.

Sub-tarea 2.2: Obtención escaneos GO

En primera instancia se realizan los escaneos a Laura por un operario con experiencia. Más adelante, los escaneos de Harkaitz y Victoria se obtendrán, en días diferentes, se realizan por la autora de este trabajo, un operario sin experiencia.

Sub-tarea 2.3 (Hito): Obtención escaneos prototipo fotogrametría

Las fotografías para la obtención de los escaneos realizados por el prototipo se realizan en el Hospital de Cruces el día 8 de Febrero y se realizan a los tres sujetos.

Tarea 3: Procesamiento de datos

Sub-tarea 3.1: Familiarización con diferentes softwares

Para decidir cuáles serán los software a utilizar en este proyecto se probarán varios: entre ellos se encuentran: VXmodel, VXinspect, VXelements, GOM y meshlab. GOM será el elegido para la gran mayoría del trabajo aunque otros de los mencionados se utilizan también para transformar el formato de los archivos.

Sub-tarea 3.2: Recorte y limpieza de escaneos

Se procede a examinar todos los escaneos obtenidos hasta el momento. Primero se deben catalogar en diferentes carpetas para su fácil acceso. Después de varias pruebas en las que se determinará que hay algunas zonas que podrían comprometer la legitimidad de los escaneos, se decide recortarlas. También se rellenarán agujeros que puedan encontrarse en la superficie de los escaneos, ya que se comprueba que también pueden dar problemas a la hora de la comparación.

Sub-tarea 3.3: Comparación de escaneos realizados con el mismo método

Se tiene sesenta escaneos debidamente recortados y parcheados. Hay seis grupos de escaneos diferentes con diez en cada uno. Se elige una referencia de cada grupo y después se realiza la comparación sistemática con el resto de los nueve escaneos. Se prueban varios métodos hasta llegar a uno con el que los resultados sean satisfactorios. La conclusión de esta tarea son seis escáneres, uno de cada grupo, que se consideran fiables.

Sub-tarea 3.4: Comparación entre los dos métodos de escaneo

Se repite el proceso de comparación que ha resultado ser exitoso en la sub-tarea 3.3, pero esta vez comparando los escaneos realizados a la misma persona. Se concluye que el prototipo proporciona escaneos aceptables para la finalidad de crear un adaptador.

Sub-tarea 3.5: Ingeniería inversa

Estudio y creación de una base para el adaptador.

Tarea 4: Análisis de resultados

Según se van obteniendo los diferentes resultados de la comparación y estudio de los escaneos, se procede a sacar conclusiones y a formular hipótesis.

16 Diagrama de Gantt

En la Figura 40 se observa el diagrama de Gantt en el que se muestran las tareas anteriormente descritas.

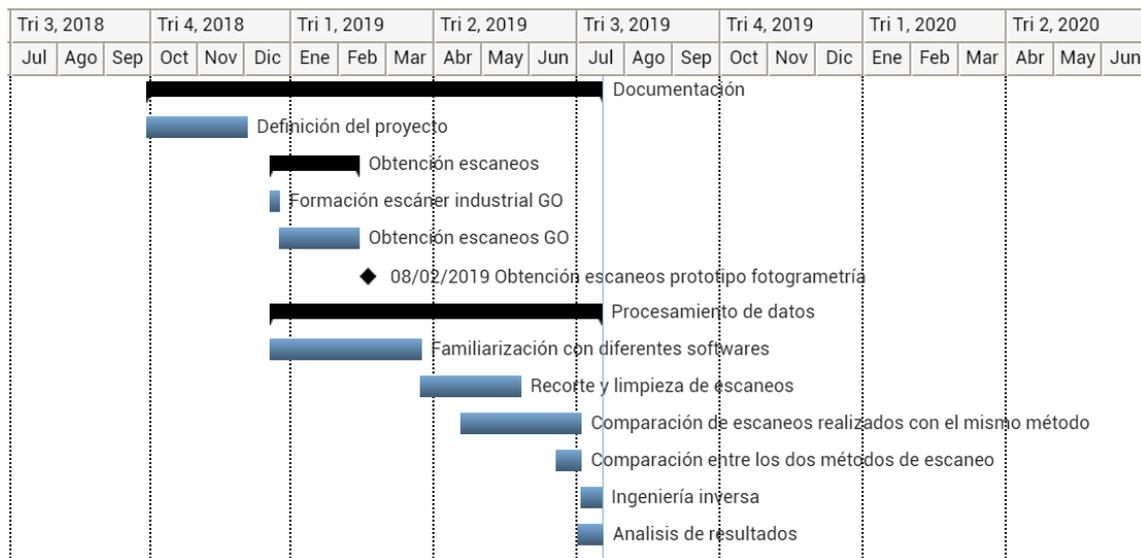


Figura 40. Diagrama de Gantt.

En la siguiente figura, la Figura 41, se pueden ver las fechas concretas de cada tarea.

Nombre	Inicio	Fin
<input type="checkbox"/> Documentación	25/09/2018	16/07/2019
Definición del proyecto	25/09/2018	28/11/2018
<input type="checkbox"/> Obtención escaneos	13/12/2018	08/02/2019
Formación escáner industrial GO	13/12/2018	19/12/2018
Obtención escaneos GO	19/12/2018	08/02/2019
Obtención escaneos prototipo fotogrametría	08/02/2019	08/02/2019
<input type="checkbox"/> Procesamiento de datos	13/12/2018	14/07/2019
Familiarización con diferentes softwares	13/12/2018	20/03/2019
Recorte y limpieza de escaneos	20/03/2019	23/05/2019
Comparación de escaneos realizados con el mismo método	15/04/2019	01/07/2019
Comparación entre los dos métodos de escaneo	15/06/2019	01/07/2019
Ingeniería inversa	01/07/2019	14/07/2019
Analisis de resultados	29/06/2019	16/07/2019

Figura 41. Fechas concretas para cada tarea

17 Descripción del presupuesto y/o del presupuesto ejecutado

Tabla 1. Presupuesto.

HORAS INTERNAS			
Concepto	Horas empleadas	Coste unitario (€/h)	Precio(€)
Ingeniero Junior	260	25	6.500,00 €
Técnico de laboratorio	25	35	875,00 €
Director de proyecto	15	60	900,00 €
Total			8.275,00 €

AMORTIZACIONES				
Inversión	Precio Inicial (€)	Vida útil	Utilización en el proyecto	Precio(€)
Ordenador	850 €	10000 horas	220 h	18,70 €
Paquete office	130 €	1 año	7 meses	75,83 €
Prototipo fotogrametría	120 €	2 años	3 h	0,02 €
Escáner GO!SCAN	80.000 €	8 años	35 h	40,51 €
Total				135,06 €

COSTE TOTAL DEL PROYECTO	
Concepto	Precio
Horas internas	8.275,00 €
Amortizaciones	135,06 €
SUBTOTAL	8.410,06 €

Imprevistos (5%)	420,50 €
Total	8.830,56 €

I.V.A. (21%)	1.854,42 €
TOTAL	10.684,98 €

Queda mencionar que el software principal, el GOM, es un software de uso gratuito, también lo es el software Meshlab. Otros de los softwares utilizados, VXelements, VXmodel y VXinspect, vienen incluidos al comprar el escáner GO!SCAN.

También se ha hecho uso de varias aulas cedidas por la Escuela de Ingeniería de Bilbao. Una de ellas para el desarrollo general del proyecto en la que hay ordenadores con licencia para los programas antes mencionados. Las otras dos salas son los laboratorios donde se encuentran el escáner, más ordenadores y otros equipos de interés como maniqués, soportes, material de oficina...

18 Conclusiones

Este trabajo ha llevado a la afirmación de que el prototipo de fotogrametría, el cual fue fabricado por el departamento de Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería y que actualmente se encuentra en el Hospital de Cruces, es capaz de obtener escaneos fiables de la zona de nariz y boca de un sujeto.

Este escáner es relativamente barato y de fácil montaje y uso. Eso significa que su aplicación en diferentes centros es factible. Para el procesamiento de los escaneos obtenidos ocurre exactamente igual en lo que se refiere al precio y facilidad de uso de los programas. La conclusión es que el sistema de obtención de escaneos mediante un prototipo de fotogrametría como el utilizado en este proyecto podría ser implementado a gran escala en más de un hospital.

Gracias a la customización que este proyecto permite, pacientes que anteriormente habrían podido tener problemas para obtener el aire necesario, ahora tendrían un adaptador que se adecuase a sus rasgos faciales.

Aun así, se ha confirmado que este trabajo tiene algunas limitaciones:

- Sujetos con muchas imperfecciones faciales, pieles grasas o vello facial obtendrán peores resultados.
- Los sujetos deberán mantenerse muy quietos durante el escaneo, puede que niños o bebés tengan problema con esto. También puede ser determinante con personas que sufran de tics nerviosos.
- Hará falta un operario que sea capaz de montar el prototipo de fotogrametría y usarlo si se quisiese llevar a cabo como práctica habitual.
- Personas con epilepsia fotosensitiva no podrán ser tratadas, ya que la luz a la que deberían exponerse podría causarles un ataque.
- No todos los escaneos son adecuados para que posteriormente sean usados en la ingeniería inversa. Habrá que realizar comparaciones entre ellos y determinar cuáles son óptimos y cuáles no.

19 Trabajos futuros

- **Mejoras en el proceso**

Si en un futuro se continuase con este proyecto o se quisiera repetir, hay algunas cosas que se podrían mejorar u optimizar.

Entre ellas se encuentra la redundancia de realizar diez escaneos. En un principio se pensó que quizás se necesitarían tantos escaneos porque muchos de ellos no serían fiables, pero ha quedado comprobado que en la mayoría de los casos ha habido un solo escaneo fallido o ninguno. Por ello, realizar cinco escaneos en vez de diez ahorraría tiempo sin comprometer la fiabilidad del proyecto.

Otra cosa que podría ser implementada en un futuro sería la extracción de la base para el adaptador y futura impresión de la misma mediante tecnología 3D.

También se puede plantear el estudio de caras de personas de edades muy diversas, más específicamente niños o bebés y ancianos. Resultará interesante ver cómo el prototipo de fotogrametría reacciona ante características tales como las arrugas o la piel de infantes. De esta manera se comprobará si esta técnica es factible para su implementación en pacientes de todas las edades o está limitada.

- **Otro tipo de adaptadores**

Este es el caso específico en el que el estudio se hace para crear una unión en las zonas de nariz y boca, pero podría darse el caso de querer ajustar otra zona. Ejemplos de ello serían adaptadores que se ajusten a gafas de natación, audífonos, tubos nasales de respiración, prótesis...

- **Usos prostéticos de carácter estético**

En este trabajo se describe la metodología para obtener escaneos fiables de la zona de nariz y boca de un paciente, pero este mismo conocimiento podría ser aplicado para su utilización en otras zonas del rostro o cuerpo. Con esa información la ingeniería inversa se aplicaría de la misma manera que se ha descrito, excepto que en vez de para crear un adaptador sería para crear otro tipo de terminación. Algunos ejemplos serían personas que o por nacimiento o a causa de un accidente hayan perdido alguna característica facial como la nariz, pómulos u otra.

- **Industria textil o joyería a medida**

Ya que este proyecto podría extrapolarse a otras zonas del cuerpo podría servir para realizar distintas prendas o accesorios diseñados a medida tales como plantillas para zapatos, guantes, anillos, pulseras...

20 Bibliografía

- [1] M. Á. Morillo Romero, Digitalización 3D con escáner de luz estructurada aplicada al área de la gestión de calidad y la conservación del patrimonio histórico-artístico, Sevilla, 2015.
- [2] H. Bonneval, 1972.
- [3] International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, 2007.
- [4] Sensing American Society for Photogrammetry and Remote, Report of Fourth Quadrennial Congress of the International Society of Photogrammetry, 1935.
- [5] J. A. Sánchez Sobrino, Introducción a la Fotogrametría, 2007.
- [6] Universidad Nacional de Nordeste, Principios de Fotogrametría, 2011.
- [7] Konecny, 1981.
- [8] Instituto Universitario de Investigación de Aragón, «i3a.unizar.es,» <https://i3a.unizar.es/es/content/dise%C3%B1o-de-modelos-humanos-antropom%C3%B3rficos-y-digitalizaci%C3%B3n-con-fines-forenses>. [Último acceso: 1 Julio 2019].
- [9] M. Vasco Miguel Nogueira Simões de Varennes, «Reconstrução 3D biomédica : fotogrametria versus varrimento por laser,» Instituto Superior de Engenharia de Lisboa - Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa, Lisboa, 2017.
- [10] PicDental, «www.picdental.com,» 2010. <https://www.picdental.com/es>. [Último acceso: 1 Julio 2019].
- [11] Institute of Electrical and Electronics Engineers, Standard Glossary of Software Engineering Terminology, 1990.
- [12] E. Eilam, Reversing: secrets of reverseengineering, John Wiley & Sons, 2005.
- [13] asorCAD, «www.asorcad.es,» 2019. <https://www.asorcad.es/escaneres-3d-metrologia-3d/>. [Último acceso: 7 Julio 2019].
- [14] AMETEK, «www.creaform3d.com,» 2019. <https://www.creaform3d.com/es/soluciones-de-metrologia/escaneres-3d-portatiles-goscan-3d/especificaciones-tecnicas>. [Último acceso: 7 Julio 2019].

- [15] S. Leal, E-Renovarse o morir: 7 Tendencias tecnológicas para convertirte en un líder digital, LID Editorial, 2015.
- [16] T. Nadal, «toninadal.frax3d.com,» <http://toninadal.frax3d.com/impresoras-fff-extrusor>. [Último acceso: 28 Junio 2019].
- [17] 3D Systems, Inc., StereoLithography Interface Specification, 1989.
- [18] L. C., «www.3dnatives.com,» 11 Julio 2016. <https://www.3dnatives.com/es/materiales-impresion-3d-sorprendentes-210320172/>. [Último acceso: 28 Junio 2019].
- [19] GOM, «www.gom.com,» 2018. <https://www.gom.com/3d-software/gom-inspect.html>. [Último acceso: 2019 Julio 2].
- [20] AMETEK, «www.creaform3d.com,» 2019. <https://www.creaform3d.com/es/soluciones-de-metrologia/vxmodel-modulo-de-software-escaneado-cad>. [Último acceso: 2019 Julio 2].
- [21] P. Bourke, «paulbourke.net,» 2016. <http://paulbourke.net/dataformats/ply/>. [Último acceso: 2019 Julio 2].
- [22] Meshlab, «www.meshlab.net,» 2016. <http://www.meshlab.net/>. [Último acceso: 2019 Julio 2].