



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE MECATRÓNICA

DISEÑO DE UNA ARMADURA DE PROTECCIÓN FACIAL PARA
DEPORTISTAS A TRAVÉS DEL ESCÁNER EINSCAN 3D PRO 2X PLUS.

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: WILLIAMS ARIEL PALMA ZAMBRANO.

TUTOR: ING. DIEGO RENÉ URGILÉS CONTRERAS, MSc.

Cuenca – Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Williams Ariel Palma Zambrano con documento de identificación N° 1311112815 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 28 de febrero del 2023

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink that reads "Ariel Palma". The signature is written in a cursive style with a large initial 'A' and 'P'.

Williams Ariel Palma Zambrano
1311112815

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Williams Ariel Palma Zambrano con documento de identificación N° 1311112815, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: “Diseño de una armadura de protección facial para deportistas a través del escáner einscan 3d pro 2x plus.”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando así la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 28 de febrero del 2023

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink that reads "Ariel Palma". The signature is written in a cursive style with the first name "Ariel" on the top line and the last name "Palma" on the bottom line.

Williams Ariel Palma Zambrano


1311112815

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Diego René Urgilés Contreras con documento de identificación N° 0102263480, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UNA ARMADURA DE PROTECCIÓN FACIAL PARA DEPORTISTAS A TRAVÉS DEL ESCÁNER EINSCAN 3D PRO 2X PLUS., realizado por Williams Ariel Palma Zambrano con documento de identificación N° 1311112815, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 28 de febrero del 2023

Atentamente,



Ing. Diego René Urgilés Contreras, MSc
0104431374

Dedicatoria

El presente trabajo lo dedico en principio al gran creador, autor del universo.

A mi madre Yolanda, el más grande ejemplo de trabajo que tengo y el pilar más importante en mi desarrollo como hombre libre y de buenas costumbres, a mi padre Williams a quien junto a la salida del sol espero volver a ver en el oriente eterno, a mi abuela, quien es el referente más grande de amor que conozco y mis hermanos, amigos incondicionales quienes con su apoyo han sabido acompañarme en el camino.

Me gustaría también dedicar este trabajo para aquellos amigos de la costa, sierra y oriente, personas de corazones en llamas que me aceptaron y quisieron en todas las etapas de mi proceso académico.

Agradecimientos

Ariel Palma

Quisiera agradecer en primer lugar al gran creador que me ha permitido crecer y entender el mundo a mi manera.

¿Qué es de un hombre si no es la suma de todas sus partes? En mi, se estructura un edificio hecho con cientos de bloques y cada uno de ellos ha sido moldeado por una persona en mi vida, estoy seguro de que si existe un solo ornamento de belleza en ese castillo, le pertenece Rosaura Díaz, mi abuela a quien le agradezco por cada minuto que ha dedicado a mi, por su amor incondicional.

Además de a mis padres, quienes con su infaltable apoyo han sabido ser la piedra angular en mi desarrollo como hombre, quisiera agradecer a mis amigos, a todos aquellos seres valientes que me han acompañado en mi camino de formación, para esos amigos que estuvieron allí en aquellas noches de risas y llantos, les agradezco infinitamente su acompañamiento, paciencia y amor a mis hermanos Andrés, Adrián, Alexander y mis amigos Carlos, María, Marco, Fisho (Christian) y Pollito (Andrés).

También quisiera agradecer a mi tutor de tesis ing. Diego Urgilés quien siempre supo darme una mano amiga y una luz en los momentos más complejos de mi proceso educativo, gracias por su acompañamiento, consejos y amistad

Este documento fue realizado enteramente en L^AT_EX

Índice

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	I
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana	II
Certificado de dirección del trabajo de titulación	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	XIV
Abstract	XV
1. Introducción	1
2. Problema	1
2.1. Antecedentes	1
2.2. Descripción del problema	3
2.3. Importancia y alcances	4
2.4. Delimitación	4
2.4.1. Espacial o geográfica	4
2.4.2. Temporal	5
2.4.3. Sectorial o institucional	5
2.5. Problema General	5
2.6. Problemas Específicos	6
3. Objetivos	6
3.1. Objetivo General	6
3.2. Objetivos Específicos	6
4. Hipótesis	6
4.1. Hipótesis General	6
4.2. Hipótesis Específicas	7

5. Marco Teórico	7
5.1. Máscara deportiva de protección facial	7
5.2. Tipos de máscaras de protección facial deportivas	7
5.2.1. Lesiones de pómulo y nasales	7
5.2.2. Lesiones del arco cigomático	8
5.2.3. Lesiones máxilofacial	9
5.2.4. Lesiones variadas	10
5.3. Fracturas faciales	10
5.4. Zonas de protección	10
5.5. Resistencias de hueso cortical.	13
5.6. Ingeniería inversa	13
5.6.1. Aplicaciones de la ingeniería inversa	13
5.7. Materiales compuestos	13
5.7.1. Fibra de carbono	14
5.7.2. Resina epoxi	15
5.7.3. Esfuerzo	15
5.7.4. Deformación	15
5.7.5. Módulo de elasticidad	15
5.8. Selección de material	15
5.8.1. Límites de atributos e índices de material	15
5.8.2. Índice de material para un panel rígido y ligero (minimización de masa)	16
5.9. EinScan 3D pro 2x plus.	17
5.10. Blender.	18
5.11. SolidWorks.	18
5.12. Simulación con SolidWorks.	18
6. Propuesta de solución	19
7. Marco metodológico	19
7.1. Metodología de la Investigación	19
7.2. Describir la estructura facial de los deportistas mediante el modelo 3D personalizado obtenido a través del escáner EinScan 3D Pro 2x plus.	20
7.2.1. Protocolo de uso para el escáner EinScan 3D Pro 2x plus.	20
7.2.2. Identificación de necesidad de protección	20
7.2.3. Zonas de protección según la necesidad	21

7.3.	Elaborar mediante el uso del software Blender el modelo de armadura de protección facial de acuerdo con las características estructurales personales del deportista.	22
7.3.1.	Obtención de modelo 3D a partir del escáner EinScan Pro 2x plus. . .	22
7.3.2.	Procesamiento de cuerpos escaneados	22
7.3.3.	Modelado en Blender.	24
7.3.4.	Diseño de parte interna de la máscara	26
7.3.5.	Selección de materiales.	27
7.3.6.	Selección de material para la estructura principal de una armadura de protección facial.	27
7.3.7.	Selección de material para la estructura interna de una armadura de protección facial.	30
7.4.	Simular las propiedades mecánicas de la armadura facial frente a un impacto promedio para una correcta distribución de cargas	32
7.4.1.	Análisis estático de cargas aplicadas sobre la armadura de protección facial para deportistas	32
7.4.2.	Esfuerzo cortante de una hebilla de polipropileno.	35
7.4.3.	Simulación de impacto en zonas del complejo naso-maxilar (Máscara externa)	37
7.4.4.	Simulación de impacto en zonas del complejo naso-maxilar (Máscara interna)	43
8.	Resultados	47
8.1.	Describir la estructura facial del deportista mediante el modelo 3D personalizado obtenido a través del escáner EinScan 3D pro 2x plus.	47
8.2.	Elaborar mediante el uso del software Blender el modelo de armadura de protección facial de acuerdo con las características estructurales personales del deportista.	49
8.3.	Simular las propiedades mecánicas de la armadura facial frente a un impacto promedio para una correcta distribución de cargas.	50
9.	Conclusiones	51
10.	Recomendaciones	52
	Referencias	54

Lista de Tablas

1.	Requerimientos para diseño de una máscara de protección facial.	27
2.	Atributos de material para diseño de máscara externa.	28
3.	Índice de material sobre muestras propuestas.	28
4.	Características y propiedades del prepeg 8HS.	29
5.	Requerimientos para diseño de una máscara de protección facial(estructura interna).	30
6.	Atributos de material para el diseño de la máscara interna.	30
7.	Requerimientos para diseño de una máscara de protección facial.	32
8.	Características implementadas en la simulación.	37
9.	Tabla de resultados.	50
10.	Matriz de consistencia	56

Lista de Figuras

1.	Ubicación geográfica	5
2.	Máscara para lesiones nasales y de pómulos.	8
3.	Máscara para arco cigomático.	8
4.	Máscara para lesiones máxilofaciales.	9
5.	Máscara para lesiones varias.	10
6.	Complejo nasomaxilar	11
7.	Complejo maxilomalar	12
8.	Complejo témporomalar	12
9.	Deformación y tensión de láminas de fibra de carbono.	14
10.	Estructura de panel	16
11.	Protección personalizada	21
12.	Alineación de escaneos en Shining 3D	23
13.	Solidificación de superficies en Meshmizer	24
14.	Boceto de máscara según modelo 3D obtenido con escáner.	25
15.	Representación de la máscara sobre el modelo 3D	25
16.	Diseño de máscara en solitario.	26
17.	Diseño de máscara interna.	26
18.	Selección de materiales externos.	29
19.	Selección de materiales internos.	31
20.	Cargas estáticas aplicadas.	33
21.	Hebilla de polipropileno.	35
22.	Fijación de soportes y fuerzas en el pómulo.	38
23.	Distribución de cargas.	39
24.	Simulación de esfuerzo en el pómulo.	40
25.	Simulación de desplazamiento en el pómulo.	40
26.	Fijación de soportes y fuerzas en la nariz.	41
27.	Simulación de esfuerzo en la nariz.	42
28.	Simulación de desplazamiento en la nariz.	42
29.	Distribución de cargas en el pómulo de máscara interna.	43
30.	Distribución de cargas en máscara interna.	44
31.	Simulación de esfuerzo en pómulo de máscara interna.	45
32.	Simulación de desplazamiento en pómulo de máscara interna.	45
33.	Simulación de esfuerzo en nariz de máscara interna.	46

34.	Simulación de desplazamiento en nariz de máscara interna.	46
35.	Diferentes modelos faciales con el escáner EVA.	48
36.	Comparación de escaneos EVA vs. EinScan	48
37.	Estadísticas del modelado de las máscaras	49

Resumen

El presente trabajo busca explorar las posibilidades que ofrece la ingeniería al momento de relacionarse con el ámbito de la seguridad en el mundo de los deportes, el diseño de una armadura de protección facial puede presentarse como solución a problemáticas de salud como bien pueden ir desde la prevención de lesiones hasta la reducción en tiempo de recuperación post lesión en un deportista, lo que se refleja una reducción de gastos tanto para el usuario como para los clubes deportivos, el trabajo se realizó en Cuenca-Ecuador en la Universidad Politécnica Salesiana a través del escáner EinScan Pro 2x Plus como herramienta principal para la obtención de datos y nube de puntos. La fabricación del modelo 3D se basa en las necesidades presentadas por el usuario según el deporte que practique, se toman en cuenta las características faciales principales del deportista y se enfoca el diseño en las zonas de protección requeridas. Se simularon impactos en las zonas de mayor incidencia para lesiones faciales frente a cargas promedio en el mundo de los deportes.

Palabras clave: Materiales compuestos, Bio estructural, CAD, Prepeg, Naso-maxilar.

Abstract

The present work seeks to explore the possibilities offered by engineering when related to the field of safety in the world of sports, the design of a facial protection armor can be presented as a solution to health problems as they can range from injury prevention to the reduction in post-injury recovery time in an athlete.

The work was carried out in Cuenca-Ecuador at the Universidad Politécnica Salesiana using the EinScan Pro 2x Plus scanner as the main tool for obtaining data and point cloud. The fabrication of the 3D model is based on the needs presented by the user according to the sport he/she practices, taking into account the main facial characteristics of the athlete and focusing the design on the required protection zones.

Finally, impacts were simulated in the areas with the highest incidence of facial injuries against average loads in the world of sports.

Keywords: Composite materials, Biostructural, CAD, Prepeg, Nasomaxillary.

1. Introducción

El deporte, expone a sus practicantes en diversas áreas que necesitan de una gran resistencia física, sin embargo, en los deportes de contacto más comunes nadie está absuelto de recibir algún tipo de trauma facial, ya sea nasal o de pómulos.

En la siguiente investigación, se busca realizar el diseño, análisis y la creación de una máscara con función de armadura facial de alta resistencia y confortabilidad para el usuario, mayormente deportista. Para un mejor resultado se propone escanear el rostro del paciente y generar un modelo 3D que sea editable en un software CAD.

Una vez establecido el diseño personalizado de cada armadura se pretende someter la misma a simulaciones para analizar los resultados estáticos frente a cargas establecidas de impactos promedio en el mundo del deporte y así decidir la viabilidad para la fabricación sobre el material escogido.

2. Problema

A continuación se establecen los datos relevantes para establecer la problemática a solucionar por este trabajo.

2.1. Antecedentes

En el mundo del deporte por tradición o falta de visión a futuro se comete el error del poco o casi nulo uso de protecciones, ya sean preventivas o para alguna fractura ya existente. Buscando una mejora bio estructural para los deportistas, se propone la creación de este tipo de armaduras faciales las cuales deben contar con características que más allá de su función en resistencia, estas deben ser livianas y que brinden comodidad, pues están diseñadas para asegurar el rendimiento del deportista más bien no para afectar el mismo de una forma negativa.

Según (Mora T, 2019) en las estadísticas realizadas en el 2012, a nivel mundial los traumas faciales son el tercer tipo de trauma más común en los seres humanos, entre estas fracturas, las que generan mayor incidencia son las nasales con una equivalencia de 14% a 50%, mayormente estas lesiones nasales afectan a personas jóvenes además el 68% de los traumas nasales tiene predominancia al sexo masculino, la gran cantidad de traumas nasales se debe a que existe una protuberancia que sobresale del macizo facial y por ende es más fácil que se lesione en

comparación con el resto de la cara con lo que se pueden ver afectadas las partes blandas, el esqueleto ósea o cartilaginosa y como consecuencia pueden quedar secuelas tanto funcionales con estéticas en las personas que tuvieron este tipo de daño.

La creación de estas armaduras consta principalmente en tres etapas las que se dividen en; toma de la muestra, realización del molde o modelo 3D y la fabricación. En aspectos de fabricación los métodos más utilizados convencionalmente es el molde por medio de yeso los cuales pueden generar ciertas afecciones alérgicas o muy fácilmente una inserción de material en la cavidad ocular.

Dentro de los traumas de la cara se tiene que los traumatismos nasales, el 40% se producen en accidentes de tránsito, el 20% se generan en accidentes domésticos, el 15% se da debido a agresiones físicas, el 14% se suscitan por caídas casuales, mientras que el 3% se ocasionan por accidentes laborales y 8% representa otros tipos de accidentes (Pesantes, 2020).

En caso de que exista un deportista de alto rendimiento con una lesión de las ya mencionadas antes, tomando en cuenta el costo que represente mensualmente a su club o asociación, este tipo de armaduras brinda una solución tanto en el campo de la salud como en el aspecto económico para los representantes del portador de la máscara.

En América Latina este tipo de protecciones de alta calidad presentan un problema para su adquisición debido a que las marcas productoras de las mismas tienen precios muy elevados, se busca por medio de este estudio más allá de la producción en fibra de carbono se pretende generar alternativas de construcción como sus homónimas generadas en materiales tales como PLA y Polipropileno.

Este tipo de armaduras son utilizadas en varios deportes en donde encuentran principalmente el baloncesto, fútbol americano y sobre todo el fútbol pie siendo este el deporte más popular a nivel mundial, en las diversas partidas o incluso entrenamientos, es común que se generen lesiones a la altura de la nariz, cejas, orbitas de los ojos y en los pómulos, las máscaras deportivas evitan todo ese tipo de contacto directo, distribuyendo la carga de la fuerza por toda el área de aplicación de la protección reduciendo así el impacto final; estas armaduras personalizadas ofrecen beneficios tales como:

- Brindan seguridad y confort al usuario en sus actividades deportivas.
- Protegen áreas sensibles como la nariz, maxilar superior, cejas, pómulos, mentón y las órbitas oculares.
- Absorben y redistribuyen el impacto recibido por una fuerza externa.

2.2. Descripción del problema

Como es de esperarse, en los deportes de contacto son habituales las lesiones en la región facial de los participantes de dichas actividades debido a acciones deportivas mal realizadas, agresiones físicas o accidentes en el campo de juego. La accesibilidad a este tipo de productos en el Ecuador es complicada puesto que no existen empresas que se encarguen de la manufactura no invasiva, donde las únicas que fabrican son ortopedistas, por medio de procesos de manufactura que pueden llegar a ser reactivos en el paciente.

Es preciso mencionar, la dificultad que involucra la adquisición de una máscara de protección facial, por medio de una importación, ya sea de Europa o desde los Estados Unidos de América, a parte del costo de importación, el problema principal reside en que el diseño de esas mascararas se realiza de a través de un molde estandarizado, causando así, dificultades para la adaptación de la estructura facial, debido a que su fisionomía varía dependiendo de cada usuario.

Entre la vestimenta que deben llevar los futbolistas, existe un apartado que señala el uso de equipo de protección deportivo, en el que se contemplan las máscaras, donde estas no deben ser peligrosas ni para el portador ni para otro jugador, con lo que es justamente aplicable el caso de los protectores propuestos.

En el presente trabajo, se evalúan la necesidad de portar una armadura facial deportiva personalizada en el proceso de recuperación de una lesión o en situaciones únicamente de prevención para así mejorar las habilidades en el desarrollo de las actividades en deportes de contacto como baloncesto, fútbol, rugby, etc.

2.3. Importancia y alcances

En esta investigación se busca generar un beneficio para aquellos deportistas en recuperación de una lesión facial, o para aquellos que buscan protección de forma preventiva, se busca también, optimizar los procesos de manufactura, mejorar las propiedades mecánicas de la armadura de protección facial en función de los materiales y el diseño personalizado para cada usuario según sus características faciales y el deporte que practica.

Los procesos efectuados para la creación de la armadura de protección facial, permitirán apoyar a los profesionales en órtesis del Ecuador a brindar servicios especializados conjunto a la aplicación de la tecnología, fomentando el comercio nacional.

2.4. Delimitación

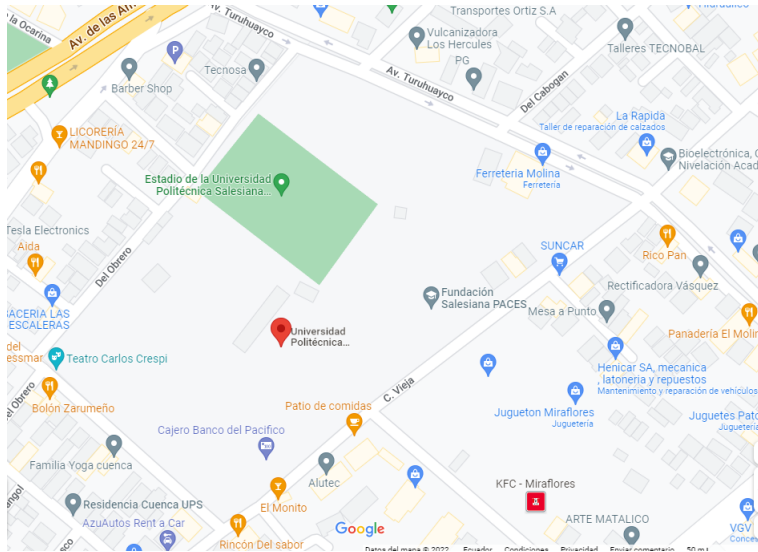
En la presente investigación se busca desarrollar un tipo de órtesis como mejora bio estructural que brinde no solo protección correctiva sino también incluir la protección preventiva fomentando así un tipo de consciencia sobre la importancia del uso de los correctos equipos en los deportes de contacto por medio de mejoras a los diseños ya conocidos en el mercado con un enfoque en la aplicación de la tecnología.

2.4.1. Espacial o geográfica

La presente investigación se llevará a cabo en el Ecuador, Provincia del Azuay dentro de la ciudad de Cuenca en las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana, matiz Cuenca, Ubicado al Noroeste de la ciudad en el sector El Vecino en la Av. Turuhuayco entre la calle Vieja y la calle del obrero, se podrá identificar de forma gráfica la ubicación en el mapa adjunto. (Ver Figura 1)

Figura 1

Ubicación geográfica.



Nota: Imagen tomada de Google maps. Maps (2022).

2.4.2. Temporal

La investigación que se plantea tendrá cavidad de creación dentro del periodo 2022 – 2023 en los meses de octubre y febrero, también se estima que será realizada en un periodo aproximado de 6 meses, englobando aspectos como; investigación de software y anatómica, aplicación de tecnología, simulaciones y ensayos comparativos.

2.4.3. Sectorial o institucional

Esta investigación busca beneficiar como principal sector a la salud, especialmente el área de órtesis, además de a los deportistas buscando mejoras tanto en la recuperación como en la prevención de lesiones.

2.5. Problema General

¿Qué aspectos biomecánicos y anatómicos se deben tener presente para el diseño de una armadura de protección facial para deportistas a través del escáner shining 3D pro 2x plus?

2.6. Problemas Específicos

- ¿Qué aspectos faciales estructurales son necesarios para describir el modelo obtenido a través del escáner shinning 3D pro 2x plus?
- ¿Cuáles son las características estructurales y mecánicas que deben tener presente al momento de elaborar una armadura de protección facial?
- ¿Qué valoraciones recibe la simulación de la armadura de protección facial mediante en software SolidWorks?

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

- Diseñar un modelo de armadura de protección facial para deportistas a través del escáner shinning 3D pro 2x plus.

3.2. Objetivos Específicos

- Describir la estructura facial de los deportistas mediante el modelo 3D personalizado obtenido.
- Elaborar mediante el uso del software Blender el modelo de armadura de protección facial de acuerdo con las características estructurales personales del deportista.
- Simular las propiedades mecánicas de la armadura facial frente a un impacto promedio para una correcta distribución de cargas.

4. Hipótesis

En el siguiente apartado se presentan las hipótesis de los posibles resultados.

4.1. Hipótesis General

- El escáner EinScan 3D pro 2x plus permitirá el modelado de una armadura de protección facial que ofrecerá un mayor nivel de protección facial y desempeño en actividades deportivas del alto riesgo.

4.2. Hipótesis Específicas

- Por medio del modelo 3D personalizado obtenido a través del escáner EinScan 3D pro 2x plus se podrá describir la estructura facial de los deportistas.
- Por medio del software Blender se creará un modelo de armadura de protección facial de acuerdo con las características estructurales personales del deportista.
- Se evaluará las propiedades mecánicas de la armadura facial generada por el proceso de escaneo establecido con un escáner EinScan 3D pro 2x plus frente a un impacto deportivo promedio.

5. Marco Teórico

5.1. Máscara deportiva de protección facial

El uso de una máscara de protección facial de rehabilitación debe tener un uso prescrito por un médico certificado, por lo que, el diagnóstico del especialista sobre la lesión sería crucial para determinar el tipo de máscara a utilizarse debido a que existe una variedad basada en cierto tipo de lesiones, por otro lado, las máscaras de protección usadas preventivamente, enfocan su diseño principalmente en la protección de las zonas más vulnerables en el rostro del usuario o aquellas que están constituidas por tejidos blandos y se encuentran más expuestas en el momento que realiza sus actividades deportivas.

5.2. Tipos de máscaras de protección facial deportivas

Entre la variedad de máscaras que existen, como se sabe se clasifican en las de uso post lesión y en aquellas que se usan de manera preventiva, siendo aplicadas cada una de ellas dependiendo del enfoque del que participe el deportista.

5.2.1. Lesiones de pómulo y nasales

Son aquellas diseñadas a la medida, específicamente para prevenir una región en donde existe concurrencia respecto a lesiones durante la práctica de dicho deporte.

Figura 2

Máscara para lesiones nasales y de pómulos.



Nota: Imagen tomada de la empresa Younext.

5.2.2. Lesiones del arco cigomático

El hueso cigomático o también conocido como hueso malar, pertenece a la región del pómulo y colabora con la formación del arco cigomático, así como las paredes de las fosas temporal e infratemporal, y las paredes inferior y lateral de la cavidad orbitaria del cráneo. Este tipo de lesiones ocurren frecuentemente en accidentes automovilísticos o al recibir el impacto de un puño. En proporción al impacto, el hueso puede desplazarse levemente o resultar severamente desplazado.

Figura 3

Máscara para arco cigomático.



Nota: Imagen tomada de la empresa Younext.

5.2.3. Lesiones máxilofacial

El trauma máxilo-facial puede ser constituido por todas aquellas lesiones que tengan origen traumático la afectación del macizo facial, el mismo que se encuentra conformado por los tercios superiores, medio e inferior del rostro. Estas lesiones no solo se ven enfocadas en la rotura de un hueso sino que también compromete tejidos blandos, cartílagos y las estructuras alveolodentarias, las mismas que se encuentran en el hueso alveolar, las piezas dentarias, tejdos gingivales y la mucosa oral(Márdones, 2011).

Figura 4

Máscara para lesiones máxilofaciales.



Nota: Imagen tomada de la empresa Younext.

5.2.4. Lesiones variadas

Este tipo de máscaras se enfocan en proteger zonas de la cara en específico o pueden llegar a ampliarse de forma completa por el resto de la cara.

Figura 5

Máscara para lesiones variadas.



Nota: Imagen tomada de la empresa Younext.

5.3. Fracturas faciales

Según (Quintana Díaz, 2005) en una investigación dentro del Hospital General Docente “Ciro Redondo García” de Artemisa se evaluó que en un número de 28 fracturas faciales adquiridas en actividades deportivas tratadas, se encontró que una mayor incidencia en las lesiones fue en el béisbol, con un 31.7%, en segundo lugar el fútbol y basquet con 14.4% cada uno y por último el hockey con el 10.37%. Además las causas más frecuentes fueron los impactos contra otros jugadores y golpes con pelotas con el 21.4% seguido por caídas, golpes directos, golpes con implementos con un 11.1% y codazos específicos también tienen un 10.7%

5.4. Zonas de protección

Se pueden clasificar como fracturas nasales no solo a aquellas que afectan únicamente a los huesos propios de la nariz, sino que también se puede incluir a las septum, fracturas-luxaciones, apófisis ascendentes de los maxilares y en general a los componentes cartilagosos que ayudan a estructurar el andamiaje de la pirámide nasal(Sahuquillo, 2016).

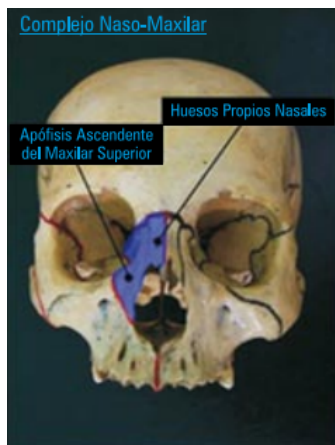
Un factor para tomar en cuenta es que las fracturas nasales son frecuentes, pero solo tienen un impacto clínico aquellas que presentan un desplazamiento, fracturas abiertas o las que se asocian con el tabique nasal.

El tercio medio facial se entiende como una estructura ósea compleja la cual abarca desde los maxilares superiores, huesos propios nasales, huesos malar y temporales.(Avello, 2013)

Dentro del tercio medio facial se encuentran diversos complejos que serán protegidos por la armadura a crear entre los que se ubican Naso-maxilar (Ver Figura 6), máxilo-malar (Ver Figura 7), el complejo temporal (Ver Figura 8), se producen fracturas de diversos indoles como:

Figura 6

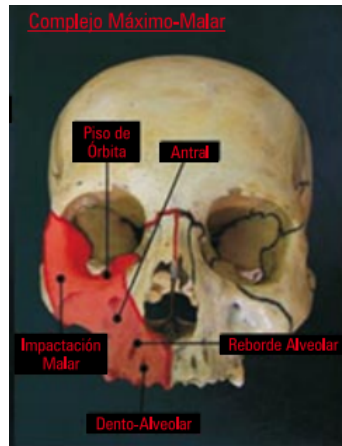
Complejo nasomaxilar.



Nota: Imagen tomada de (Avello, 2013)

Figura 7

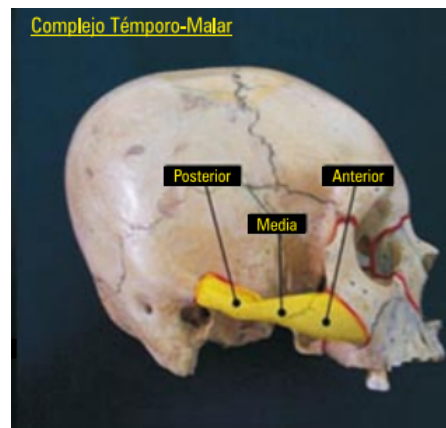
Complejo maxilomalar.



Nota: Imagen tomada de (Avello, 2013)

Figura 8

Complejo témporomalar.



Nota: Imagen tomada de (Avello, 2013)

5.5. Resistencias de hueso cortical.

Dentro de los complejos antes expuestos, el máxilo-malar junto al naso-maxilar son los que se afectan con mayor facilidad y por ende frecuencia, En general, el módulo de elasticidad se encuentra entre 15-20 GPa la resistencia a la tensión se encuentra entre los 80-150 MPa, y la resistencia a la compresión entre los 90-280 MPa, debido principalmente al carácter anisotrópico del hueso.(A.Bascones, 2007)

5.6. Ingeniería inversa

La ingeniería inversa puede ser aplicada en todos los objetos físicos y se utiliza en el campo del diseño para componentes electrónicos, máquinas, dispositivos, etc. Ya que este aparece como un proceso iterativo, muchas veces hace falta una serie de modificaciones posteriores al diseño original. Este tipo de ingeniería se presenta como una herramienta para descubrir y averiguar las dimensiones y características de objetos de fabricación manual o libre de formatos.

5.6.1. Aplicaciones de la ingeniería inversa

- Creación de nuevos modelos a partir de los existentes u modelos obsoletos.
- Réplicas de un producto cuando no se tienen datos del modelo.
- Reconstrucción y modelado de superficies complejas.
- Modelado CAD en 3D.
- Reproducción de dispositivos o herramientas afectados por el desgaste.

5.7. Materiales compuestos

En el presente contexto, se puede clasificar a un material compuesto como un material multifase obtenido artificialmente, a diferencia de los que se encuentran y crean en la naturaleza. Además, las fases constituyentes deben ser químicamente distintas y separadas por una interfaz. En su mayoría, los materiales compuestos, se han creado para mejorar la combinación de propiedades mecánicas tales como rigidez, tenacidad y resistencia a la tracción a temperatura ambiente y a elevadas temperaturas. (Moral y López, 2007)

5.7.1. Fibra de carbono

El nombre de fibra de carbono es otorgado porque contiene hilos compuestos de mini filamentos de carbono, con diámetros entre 5 y 10 μm .(Uribe, 2009)

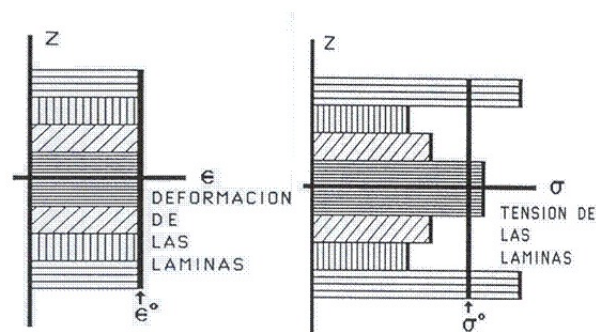
Como la fibra de carbono es un material amorfo, las láminas de átomos de carbono, se encuentran azarosamente foliadas, apretadas o juntas, integrándose las láminas entre capas, lo que incrementa grandemente su resistencia por lo cual, al calentarse un filamento de carbono, este se hace más grueso y corto, normalmente son de color negro, aunque recientemente se presentan al mercado fibras coloreadas. (Periago y Zamudio, 2009)

Para entender mejor las propiedades de la fibra de carbono, es necesario repasar los términos de Isotropía y Anisotropía, pues en base a estas configuraciones se ve afectado el rendimiento de este material compuesto. Como Isotropía se refiere a la existencia de una estructura ordenada dentro de cierto material, manteniendo así propiedades iguales en todas las direcciones y por lo contrario, en los materiales anisotrópicos las propiedades cambian debido a la dirección que toma su estructura.

Tomando en cuenta lo anterior, si la fibra de carbono se maneja en láminas de forma isotrópica, estas se pueden apilar de forma estructurada, mezclando así las propiedades de una estructura ordenada en diferentes ángulos según lo necesite el producto a ser manufacturado.

Figura 9

Deformación y tensión de láminas de fibra de carbono.



Nota: Imagen de defromación y tensión en configuraciones de distintos ángulos.

5.7.2. Resina epoxi

Las resinas epoxi, son productos reactivos que se utilizan en la producción de una clase versátil de polímeros termo-endurecibles. Se caracterizan por la presencia de un grupo éter cíclico de tres miembros comúnmente denominado grupo epoxi, 1,2-epóxido u oxirano (Pham y Marks, 2005).

5.7.3. Esfuerzo

La fuerza por unidad de área, o intensidad de las fuerzas distribuidas sobre una sección dada se conoce como el esfuerzo en dicha sección, y se utiliza la letra griega “sigma” (σ) para designarla (S. Arrieta, 2010).

5.7.4. Deformación

El alargamiento o contracción de un segmento de línea por unidad de longitud se llama deformación uniaxial normal (S. Arrieta, 2010).

5.7.5. Módulo de elasticidad

El módulo de Young, también llamado de elasticidad longitudinal, es un parámetro que consigue revelar el comportamiento de un material elástico en función de la tipología de fuerza que se le aplique y el consiguiente aumento o disminución de la longitud de ese material. Por lo tanto, lo que busca es obtener la relación que se da entre la tensión que se le aplica al objeto en su eje longitudinal y la deformación medida en ese mismo eje. Así, mide su comportamiento elástico y pronostica también el estiramiento de un material determinado (Servosis, 2020).

5.8. Selección de material

En este apartado se toman en cuenta las condiciones necesarias de los materiales que deben componer a la armadura y correas de la misma.

5.8.1. Límites de atributos e índices de material

El rendimiento de un componente puede ser caracterizado de forma matemática mediante una ecuación, esta ecuación está compuesta por grupos de propiedades de materiales. Los índices pueden estar formados por una sola propiedad, por ejemplo, si se mide el rendimiento

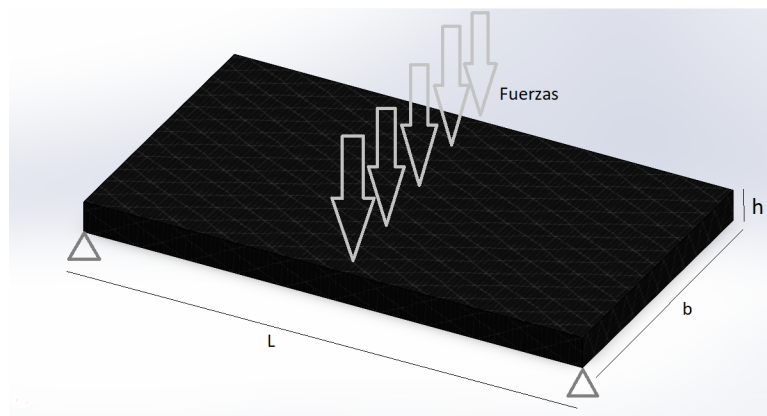
de acuerdo a la rigidez, el índice es el módulo de Young; o si se usa varias propiedades como la rigidez específica, donde el índice es la razón entre el módulo de Young y la densidad (C. Chiriboga, 2018).

5.8.2. Índice de material para un panel rígido y ligero (minimización de masa)

Para el diseño del índice del material para una estructura con forma de panel es necesario tomar en cuenta ciertas características dependiendo del objetivo que se busque, en este caso es la minimización de masa sin dejar de lado la rigidez del panel. Es necesario que el panel resista sin fallar a una carga perpendicular de magnitud F .

Figura 10

Estructura de panel.



Nota: Imagen de autoría propia

Primero se busca una ecuación que describa la cantidad a maximizar o minimizar. Aquí está la masa m del lazo y es un mínimo que se busca. Esta ecuación, llamada función objetivo (Ashby, 2011).

$$m = AL\rho = bhL\rho \tag{1}$$

En donde sus valores de rigidez respecto a la flexión S , debe ser menor o igual a S^*

$$S = \frac{C_1EI^3}{L} \geq S^* \tag{2}$$

Aquí C_1 es una constante que depende solo de la distribución de las cargas: no se necesita su valor. El segundo momento de área, I , para una sección rectangular es: (Ashby, 2011).

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (3)$$

Se puede reducir la masa reduciendo h , pero solo en la medida en que la rigidez todavía se cumple la restricción. Usando las dos últimas ecuaciones para eliminar h en la función el objetivo da: (Ashby, 2011).

$$m = \left(\frac{12S^*}{C_1 b} \right)^{\frac{1}{3}} (bL^2) \left(\frac{\rho}{E^{\frac{1}{3}}} \right) \quad (4)$$

Las cantidades S^* , L , b y C_1 están todas especificadas; la única libertad de elección la izquierda es la del material. El índice es el grupo de propiedades materiales, que se invierte de forma que se busque un máximo: Los mejores materiales para una Los paneles ligeros y rígidos son los que tienen los mayores valores (Ashby, 2011).

$$M_{p1} = \frac{E^{\frac{1}{3}}}{\rho} \quad (5)$$

5.9. EinScan 3D pro 2x plus.

Pese a que existen varios tipos de escáneres, con diferentes tipos de calidades y cada uno de ellos con aplicaciones específicas distintas. Por motivos de disponibilidad se aplicará el uso del escáner EinScan 3D pro 2x plus.

Para la creación de la armadura, se recurre a un proceso de escaneo 3D con el equipo EinScan 3D pro 2x plus. Debido a que el producto debe ser personalizado, es necesario un mapeo facial de buena calidad y que como resultado final brinde un modelo multiplataformas para softwares de diseño.

El escáner EinScan 3D pro 2x plus es una herramienta producida por la empresa Shining 3D, este aparato permite realizar el escaneo de cuerpos tanto desde una perspectiva

rotatoria como desde una perspectiva estática, con una velocidad de escaneo de 30 fps (fotogramas por segundo) en su formato rápido con una precisión de 0.04 mm.

5.10. Blender.

Blender funciona como un software multiplataforma para modelado 3D, sirve para diseñar personajes, objetos, escenas, etc. Al ser una herramienta Blender se ejecuta en sistemas Linux, macOS, así como en Windows. También tiene requisitos de memoria y unidad relativamente pequeños en comparación con otras suites de creación 3D.

5.11. SolidWorks.

SolidWorks es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software que ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. Sus productos ofrecen la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño. (SolidWorks, 2022)

5.12. Simulación con SolidWorks.

Los complementos y herramientas de simulación con los que cuenta el programa permiten al diseñador someter fácilmente sus diseños a las mismas condiciones a las que se expondrá en el mundo real, permitiendo mejorar la calidad de sus productos, optimizar las geometrías y materiales, y además reducir costos tanto en tiempo como en ahorro de prototipos para pruebas reales (Rodríguez y Lopez, 2016).

6. Propuesta de solución

Para los deportistas afectados por lesiones en el área facial y para aquellos que buscan una protección preventiva, se propone el diseño de una armadura de protección facial personalizada a través del escáner EinScan 3D Pro 2x plus.

De esta forma, es importante considerar que el diseño es único para cada usuario debido a cada una de las fisionomías del rostro enfocado en las zonas de protección más importantes, el diseño será evaluado en el software SolidWorks para así comparar resultados preestablecidos sobre los materiales seleccionados con lo que se busca presentar mejores resultados frente a un impacto promedio a comparación de una máscara de producción estándar.

Finalmente, la propuesta será un punto de partida que motive más investigación respecto al tema de protección facial para deportistas, considerando la falta de producción nacional y competitividad en el mercado debido a la poca inclusión de la tecnología en los procesos de diseño.

7. Marco metodológico

A continuación, se presenta la metodología utilizada en el proyecto de titulación.

7.1. Metodología de la Investigación

El enfoque de este proyecto se basa principalmente en la aplicación de un escáner 3D para el diseño de una armadura de protección facial, maneja un enfoque cuantitativo, porque trabaja con parámetros de propiedades mecánicas, cuyos datos serán evaluados e interpretados por un software de diseño y simulación, además es una investigación de tipo aplicada con una fase que será de tipo individual porque va dirigida a una población en específico, esta se enfoca en participantes de deportes de contacto y el alcance de la investigación es de carácter exploratorio, donde se estudiara la estructura facial de los pacientes que utilizaran la armadura, posteriormente se aplicara un alcance descriptivo, donde se aplican procesos de escaneo, diseño y simulación. En el alcance de lo planteado se relacionarán las características de la estructura facial de cada paciente con el diseño del prototipo para finalmente explicar los resultados de resistencia de la armadura frente a condiciones promedio en actividades deportivas.

7.2. Describir la estructura facial de los deportistas mediante el modelo 3D personalizado obtenido a través del escáner EinScan 3D Pro 2x plus.

Para poder lograr un correcto y efectivo diseño de una armadura de protección facial es necesario tomar en cuenta las condiciones fisionómicas de la estructura facial de quien utilice la armadura, pues las condiciones faciales de cada persona llegan a ser diferentes dependiendo de varios factores que van desde la ubicación geográfica hasta una mala posición al respirar.

7.2.1. Protocolo de uso para el escáner EinScan 3D Pro 2x plus.

Para el uso de un escáner no es necesario realizar calibraciones constantemente, sin embargo, siguiendo las normas del fabricante se debe tomar en cuenta el proceso de calibración en las siguientes situaciones:

- Luego de un largo traslado o transporte.
- Una calibración anual dependiendo de la frecuencia de uso y cuidados.
- Según los niveles de precisión que se buscan será necesaria una calibración antes de comenzar la digitalización.
- Cada vez que el escáner se adapte a un nuevo computador.
- Siempre que el escáner presente algún tipo de señal (sonido, vibración, luz, etc.) frente a una distancia establecida.

7.2.2. Identificación de necesidad de protección

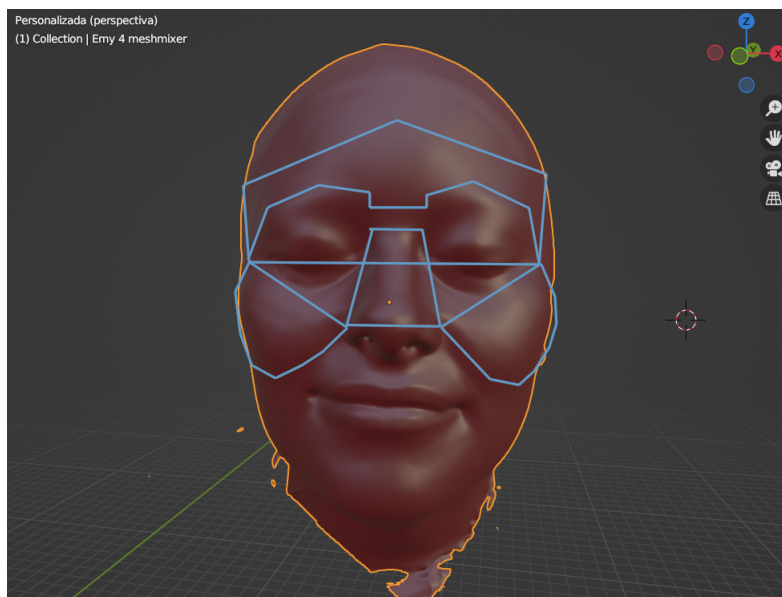
El usuario de la armadura que se tomó en cuenta para el diseño de la armadura de protección facial, es una mujer adulta de 21 años, practicante de baloncesto y kick-boxing. En las disciplinas que practica el usuario, se encuentra frecuentemente expuesta a contacto físico y posibles lesiones en la zona facial debido a impactos no deseados en el baloncesto y por algún impacto mal direccionado durante el entrenamiento de kick-boxing. Frente a la necesidad que presenta el usuario, de protección preventiva en dos disciplinas deportivas, es necesario identificar las zonas que en su mayoría se exponen a lesiones durante estas prácticas deportivas.

7.2.3. Zonas de protección según la necesidad

Como se menciona en la identificación de necesidad del usuario, este realiza tanto baloncesto como kick-boxing, prácticas en las cuales se encuentran expuestas principalmente los complejos naso-maxilar y complejo máxilo-malar. Como se presenta en el modelo 3D obtenido, para el diseño de la armadura de protección facial, es necesario tomar en cuenta las zonas marcadas.

Figura 11

Protección personalizada.



Nota: Representación de zonas necesarias para el diseño.

Según se plantea en las líneas trazadas, el usuario de la armadura presenta una estructura facial de características cuadradas, para lo que se propone el diseño de un tipo de máscara con enfoque de protección en la zona de los pómulos, arco cigomático y hueso frontal en la sección de las cejas, debido a protuberancias estéticas.

7.3. Elaborar mediante el uso del software Blender el modelo de armadura de protección facial de acuerdo con las características estructurales personales del deportista.

7.3.1. Obtención de modelo 3D a partir del escáner EinScan Pro 2x plus.

Para el proceso de la obtención del modelo 3D es necesario seguir una serie de pasos en busca de los mejores resultados. El proceso se realiza con el escáner EinScan Pro 2x plus y el software shining 3D, antes de empezar con la recopilación de datos, es necesaria la calibración del escáner en función de distancias, puntos y blancos. Una vez establecida la calibración hay que tomar en cuenta el protocolo de uso del escáner como se observa en la siguiente tabla.

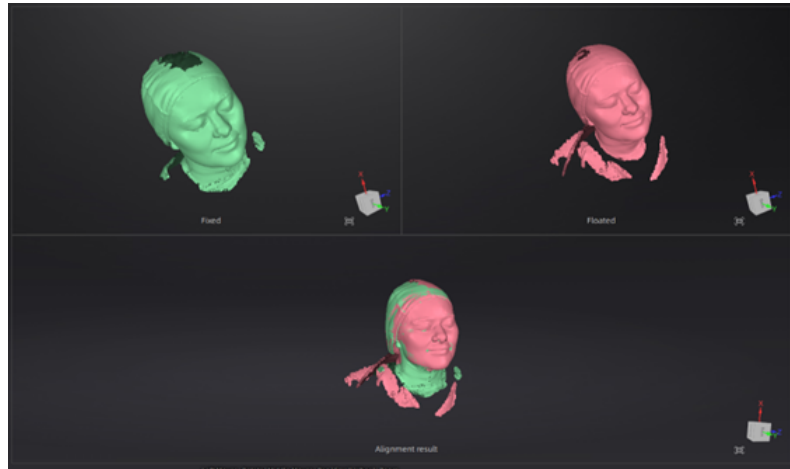
Encabezado	
Título	Nombre del sujeto de escaneo
Proyecto	Nombre del encargado del escaneo
Cuerpo	
Fecha	Fecha y hora del uso del equipo
Escáner	Tipo de escáner
Limpieza	¿Se han limpiado las superficies a escanear? Sí/No
Calibración	¿Se ha realizado la calibración del escáner? Sí/No.
Incidencias	Ninguna/ Especificar incidencias.

7.3.2. Procesamiento de cuerpos escaneados

Según la calidad del sólido deseada, será necesario realizar un número específico de escaneos, siendo el número más bajo dos y el máximo recomendado cinco. Con las diferentes versiones de los escaneos que se realizan en el sujeto de estudio, se genera un sólido exportable a distintos formatos. (Ver Figura 12)

Figura 12

Alineación de escaneos.

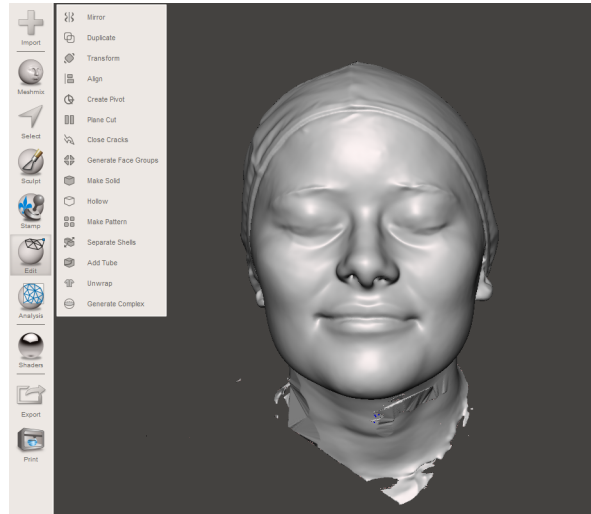


Nota: Imagen tomada del software Shining 3D.

Con el modelo final obtenido se exporta el archivo a un software tipo CAD (Computer-Aided Design) para asegurar que la geometría obtenida sea de utilidad, por su versatilidad y enfoque se usa Meshmixer sobre el cual se arreglan la superficies (Ver Figura 13) .

Figura 13

Solidificación de superficies en Meshmizer



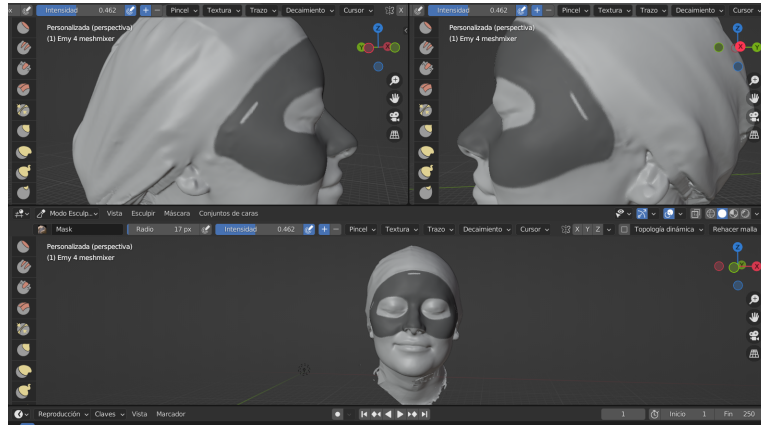
Nota: Imagen tomada del software Meshmixer.

7.3.3. Modelado en Blender.

Pese a que existe gran cantidad de métodos para el diseño de la armadura de protección facial, se optó por buscar un diseño que se pueda realizar con la herramienta de máscara en el software Blender, con lo que se genera una copia fiel al modelo 3D obtenido anteriormente por el escáner, permitiendo centralizar el enfoque del diseño según la necesidad del usuario como se observa en la figura (Ver figura 14).

Figura 14

Diseño de máscara según modelo 3D obtenido con escáner.



Nota: Imagen tomada del software Blender.

Con los patrones del diseño definidos según las áreas que se pretende proteger, el siguiente paso es crear el diseño de la máscara como un cuerpo sólido ya que el resultado en el software Blender se encuentra elaborado como una malla. (Ver figura 15).

Figura 15

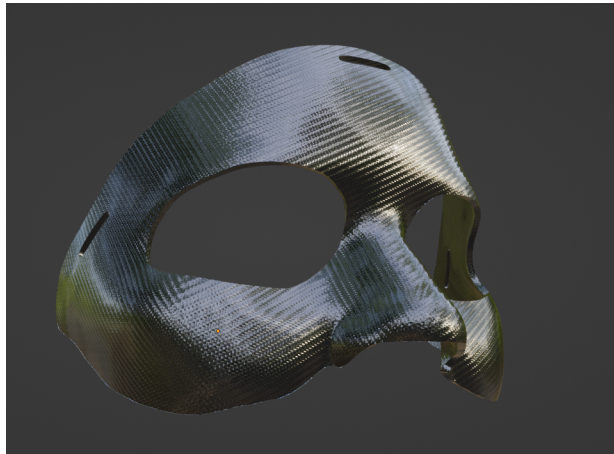
Representación de la máscara sobre el modelo 3D.



Nota: Imagen tomada del software Blender.

Figura 16

Diseño de máscara en solitario.



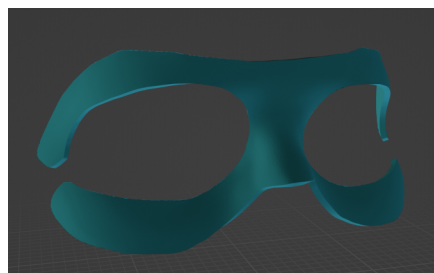
Nota: Imagen tomada del software Blender.

7.3.4. Diseño de parte interna de la máscara

El diseño de la armadura de protección facial, necesita cumplir con requerimientos no solo de dureza y resistencia al impacto, también es necesario considerar la absorción, para lo que se toma en cuenta un material viscoelástico aplicado en zonas críticas de impacto según la práctica deportiva para la que se enfoca el usuario de la armadura, con lo cual se plantea el uso de una máscara interior enfocada en los puntos críticos de contacto(Ver figura 25)..

Figura 17

Diseño de máscara interna.



Nota: Imagen tomada del software Blender.

7.3.5. Selección de materiales.

Dentro de lo que es la selección de materiales se plantea trabajar con la metodología de Michael Ashby, donde se sugiere para una selección adecuada, tomar en cuenta factores como atributos, restricciones, objetivos y variables libres. Todas estas características se ven entrelazadas por el índice de material, dato que se encuentran en una carta de índice de materiales.

7.3.6. Selección de material para la estructura principal de una armadura de protección facial.

Conforme al estudio para la selección de material, es importante tomar en cuenta el enfoque de protección que tiene la máscara. Basándose en la bibliografía, es importante exponer los requerimientos del material, que son las características que tiene que cumplir con las necesidades esperadas. En la siguiente tabla se presentan los requerimientos para realizar la estructura externa de una armadura de protección facial.

Requerimientos para realizar la carcasa de una máscara de protección facial	
Función	Resistencia mayor a 150 MPa, debe ser ligera.
Objetivos	Peso mínimo
Restricciones	Facil limpieza, resistencia al agua, biocompatibilidad.
Variables libres	Grosor de la estructura

Tabla 1

Requerimientos para diseño de una máscara de protección facial.

En la siguiente tabla, según (Paiva, 2006) se presentan los atributos de diferentes materiales recomendados para la fabricación de máscaras de protección facial para deportistas.

En la siguiente tabla se presentan los resultados del cálculo de índice de material sobre las láminas propuestas para la selección del material.

Atributos de material	
Material	Esfuerzo a la tracción MPa.
Prepeg BA T1	950.5
Prepeg BA T2	1185.4
Prepeg 8HS T1	810
Prepeg 8HS T2	985.9

Tabla 2

Atributos de material para diseño de máscara externa.

Índice de material	
Material	Unidades (*) .
Prepeg BA	0.002209
Prepeg BA	0.002304
Prepeg 8HS	0.005326
Prepeg 8HS	0.005687

Tabla 3

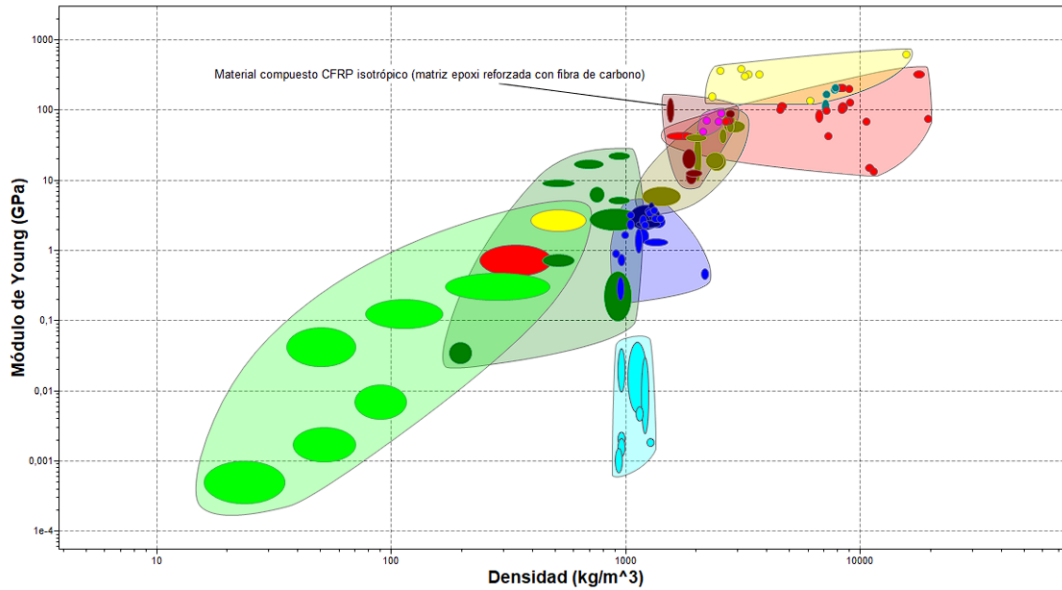
Índice de material sobre muestras propuestas.

$$* = \frac{(GPa)^{\frac{1}{2}}}{\frac{Mg}{m^3}} \quad (6)$$

Para la comparación de los materiales se realizó la representación grafica para la ubicación del material según sus propiedades para una futura selección (Ver Figura 18) .

Figura 18

Selección de materiales externos.



Nota: Imagen tomada del software CES EduPack.

Luego de la comprobación de los datos por parte del software Granta Edupack, se entiende que la opción más viable para la fabricación de una armadura de protección facial es la fibra de carbono epoxi (prepeg 8HS), en la siguiente tabla se presentan los valores de las propiedades del material seleccionado.

Características y propiedades	Valor	Unidad.
Módulo de Young	69 - 150	GPa
Módulo cortante	28 - 60	GPa
Coefficiente de Poisson	0.305 - 0.307	
Resistencia a la tracción	550 - 1.05e3	MPa
Resistencia a la compresión	440 - 840	MPa
Tenacidad a la fractura	6.12 - 20	MPa*m ^{1/2}

Tabla 4

Características y propiedades del prepeg 8HS.

7.3.7. Selección de material para la estructura interna de una armadura de protección facial.

Para el diseño de la estructura interna de la armadura de protección facial es necesario tomar en cuenta la función a cumplir para garantizar la seguridad y confort del usuario. En la siguiente tabla se presentan las características para la selección de material.

Requerimientos para realizar la estructura interna de una máscara de protección facial	
Función	Absorción de impacto en la armadura.
Objetivos	Peso mínimo
Restricciones	Facil limpieza, resistencia al agua, biocompatibilidad.
Variables libres	Grosor

Tabla 5

Requerimientos para diseño de una máscara de protección facial(estructura interna).

En la siguiente tabla se presentan los materiales considerados para la creación de la estructura interna de la armadura de protección facial.

Atributos de materiales	
Material	Resistencia a la rotura .
Silicona S-801	25
Silicona S-471	38
Silicona S-609	40

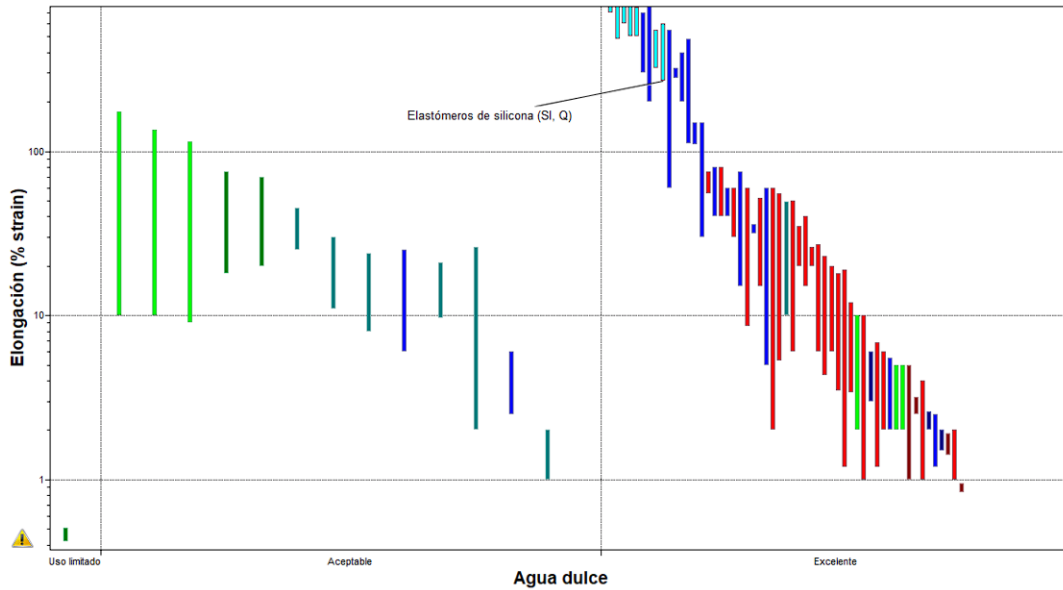
Tabla 6

Atributos de material para el diseño de la máscara interna.

Para la selección de los materiales internos se realizó la representación gráfica respecto a sus propiedades frente a la necesidad de uso por parte del beneficiario (Ver Figura 19).

Figura 19

Selección de materiales internos.



Nota: Imagen tomada del software CES EduPack.

Al observar la representación gráfica obtenida por el software CES EduPack se puede determinar como adecuada la selección del material establecido para la fabricación de la parte interior de una armadura de protección facial para deportistas, en la siguiente tabla se especifican las propiedades del material propuesto.

Entre los requerimientos principales para la selección de material existe la necesidad de que la pieza cumpla la función de absorber impactos, además de que debe ser compatible con fluidos para su limpieza.

Características y propiedades	Valor	Unidad.
Módulo de Young	0.005 - 0.5	GPa
Módulo cortante	*3e-4 - 0.02	GPa
Coefficiente de Poisson	*0.47 - 0.49	
Resistencia a la tracción	7 - 11.5	MPa
Resistencia a la compresión	*8.4 - 13.8	MPa
Tenacidad a la fractura	0.133 - 0.927	MPa*m ^{1/2}
Compatibilidad	Valor	Unidad.
Agua dulce	Excelente	Excelente, Aceptable, Inaceptable
Agua salada	Excelente	Excelente, Aceptable, Inaceptable
Vino	Excelente	Excelente, Aceptable, Inaceptable

Tabla 7

Requerimientos para diseño de una máscara de protección facial.

7.4. Simular las propiedades mecánicas de la armadura facial frente a un impacto promedio para una correcta distribución de cargas

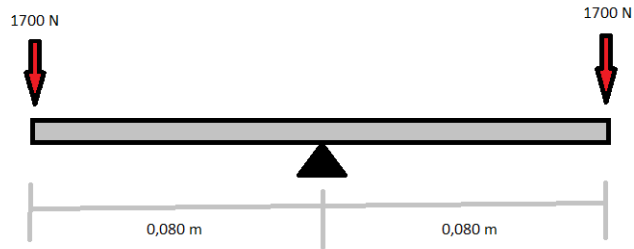
A través del uso del software SolidWorks y por las características estructurales de las piezas de la máscara de protección facial para deportistas se realizaron diversas simulaciones estáticas en las cuales se evalúan los puntos de impacto más comunes en los deportes como son en hueso naso-maxilar a lo largo de sus diferentes alturas.

7.4.1. Análisis estático de cargas aplicadas sobre la armadura de protección facial para deportistas

Para el análisis se tomó en cuenta la mitad de cuerpo debido a las condiciones del impacto, el mismo que es de magnitud 3.4 KN y la máscara tiene una dimensión de 0.160 m

Figura 20

Cargas estáticas aplicadas.



Nota: Imagen de autoría propia.

Para realizar el cálculo del esfuerzo como primer paso es necesario encontrar el Momento y la inercia con lo que se obtuvo lo siguiente:

$$\sum F_y = 0 \quad (7)$$

$$F_1 + F_2 = V_1 \quad (8)$$

Por lo tanto el resultado del Momento puede expresarse como:

$$-M + 1700N(0.080) = -1700N(0.080) \quad (9)$$

$$M = 270Nm \quad (10)$$

Para el cálculo de la inercia se tomó como referencia la fórmula establecida para el cálculo de la inercia en cuerpos. Para la máscara se usa la fórmula de una placa rectangular con masa M

$$I = \frac{1}{12}M(a^2 + b^2) \quad (11)$$

En donde se reemplazan los datos para obtener

$$I = \frac{1}{12}30((0.0085m)^2 + (0.05m)^2) \quad (12)$$

$$I = 0.02431m^4 \quad (13)$$

Una vez obtenidos los datos de la inercia, este valor junto al del momento son reemplazados en la ecuación de esfuerzo a la flexión, con lo que se obtiene:

$$\sigma_1 = \frac{M * y}{I} \quad (14)$$

En donde:

M= Momento

y= Distancia

I= Inercia

$$\sigma_1 = \frac{270Nm * 0.080m}{0.02431m^4} \quad (15)$$

$$\sigma_1 = 888.52KPa \quad (16)$$

Lo que es igual a:

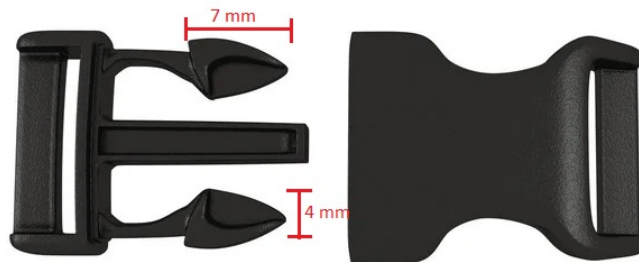
$$\sigma_1 = 8.8852 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \quad (17)$$

7.4.2. Esfuerzo cortante de una hebilla de polipropileno.

El polipropileno presenta valores de resistencia a la tracción de 33 MPa, en donde para aproximar un cálculo, se estima un valor aproximado de levantamiento de peso por parte de un usuario, que es 7 Kg y las dimensiones completas de la hebilla son (15 mm x 18 mm x 10 mm), de las partes de la hebilla que es sometida a tracción son dos piezas de 4 mm de ancho y 7 mm de largo como se observa en la imagen (Ver Figura 20) .

Figura 21

Hebilla de polipropileno.



Nota: Representación del área sometida a esfuerzo de tracción.

A continuación se presenta el cálculo del esfuerzo cortante según los valores antes propuestos:

$$\tau = \frac{P}{A} \quad (18)$$

en donde

$\tau = \text{Esfuerzo(cortante)}$.

$P = \text{Carga interna (peso)}$.

$A = \text{Área}$

Tomando en cuenta que:

$$P = (m)(g) \quad (19)$$

y

$$A = (b)(h) \quad (20)$$

Donde respectivamente:

m= masa.

g= gravedad.

b= base.

h= altura.

Una vez establecidas estas condiciones se procede a reemplazar las ecuaciones (7) y (8) dentro de la ecuación (6).

$$\tau = \frac{(m)(g)}{(b)(h)} \quad (21)$$

$$\tau = \frac{(7kg)(9.81\frac{m}{s^2})}{(4mm)(7mm)} \quad (22)$$

$$\tau = \frac{68.67N}{28mm^2} \quad (23)$$

$$\tau = 2.45 \text{ MPa} \quad (24)$$

Recordar que esa es la fuerza de tracción en una sola pieza por lo que al multiplicar por dos el resultado del esfuerzo cortante al que se someten las piezas de agarre de la hebilla es:

$$\tau = 4.90 \text{ MPa} \quad (25)$$

Se toma en consideración que el esfuerzo de tracción al que se someten las piezas de polipropileno es menor al valor máximo de resistencia máxima a la tracción.

7.4.3. Simulación de impacto en zonas del complejo naso-maxilar (Máscara externa)

Para llevar a cabo la simulación de la estructura externa de la armadura de protección facial de 60 g se tomó en cuenta como material fibra de carbono prepeg o pre impregnado del tipo 8HS T2 de y para las fuerzas de contacto se establece una fuerza aproximada de 3.4 KN según (A.González, 2013). A continuación, se presenta la siguiente tabla donde se encuentran las propiedades de la fuerza y material establecido.

Características de la simulación	
Material	Prepeg 8HS
Fuerza	3.4 kN

Tabla 8

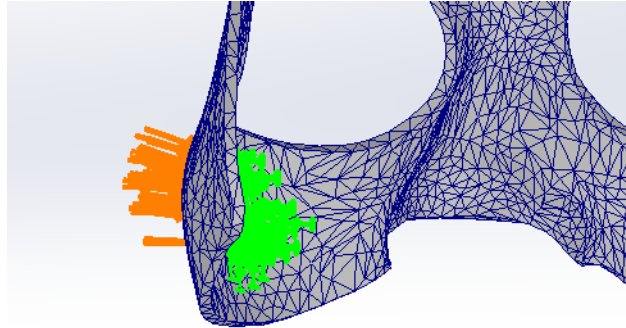
Características implementadas en la simulación.

- **Simulación de impacto en zona del pómulo (máscara externa)**

En busca de mejores resultados se realizó una simulación estática para la cual se tomó en cuenta la parte interna de la zona de contacto como una sujeción de tipo fija y por la parte exterior se muestra la aplicación de las cargas perpendiculares a cada punto (Ver Figura 21) .

Figura 22

Fijación de soportes y fuerzas en el pómulo.

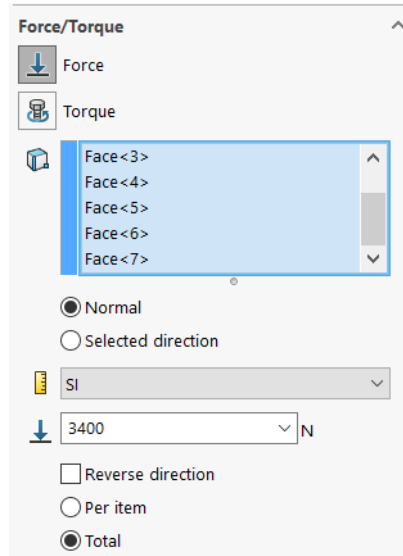


Nota: Imagen tomada del software SolidWorks.

Como se estableció en párrafos anteriores, la simulación es sometida a una carga total de 3.4 kN por lo que se presentó la necesidad de realizar la distribución de esta entre el número de caras seleccionadas como se aprecia en la imagen. (Ver Figura 22)

Figura 23

Distribución de cargas.

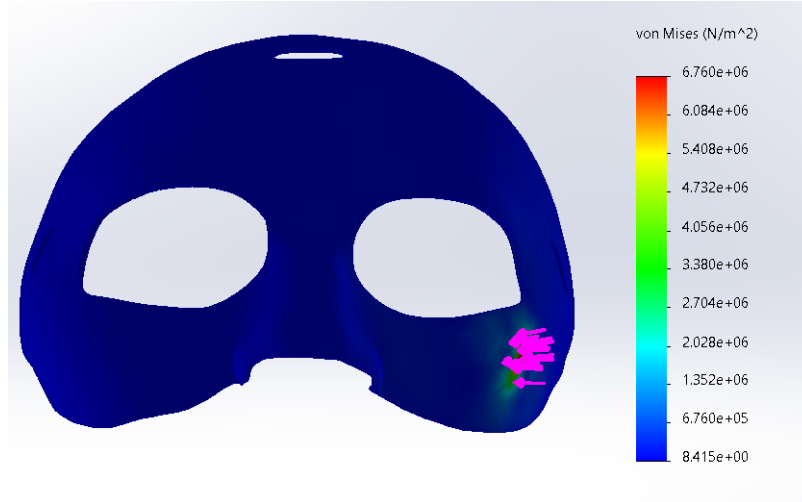


Nota: Imagen tomada del software SolidWorks.

En la imagen se muestran los resultados tanto de deformación del cuerpo exterior de la armadura de protección facial través de la tensión de Von Mises, además que se presentan gráficos de desplazamiento y presión respectivamente. Como se puede apreciar, no existe deformación (Ver Figura 23) ni desplazamiento (Ver Figura 24) en el modelo debido a que los valores están muy por debajo de la resistencia a la compresión del material seleccionado

Figura 24

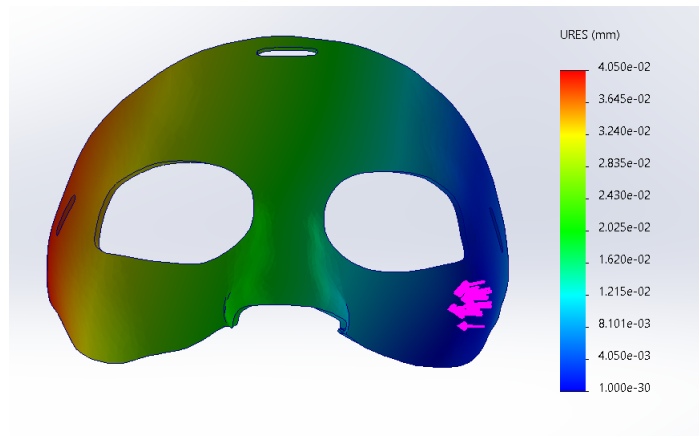
Simulación de esfuerzo en el pómulo.



Nota: Imagen tomada del software SolidWorks.

Figura 25

Simulación de desplazamiento en el pómulo.



Nota: Imagen tomada del software SolidWorks.

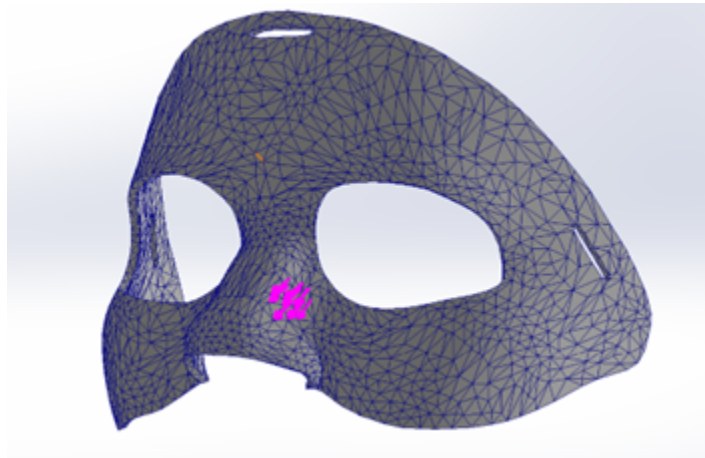
- Simulación de impacto en zona nasal (máscara externa)

En el mundo del deporte los impactos en la zona nasal son bastante comunes, sobre todo en actividades deportivas relacionadas con objetos que llevan una trayectoria de impacto tales como los balones de deportes como el baloncesto o el fútbol. Se establecieron las mismas propiedades de material y únicamente se cambiaron tanto los puntos de presión en la armadura de protección facial según se requirió. En la siguiente tabla se establecen las características de la simulación mencionada (Ver Figura 25).

Se presentan en las siguientes figuras (Ver Figura 26), (Ver Figura 27) los resultados de la simulación de cargas sobre el área del arco cigomático seleccionada.

Figura 26

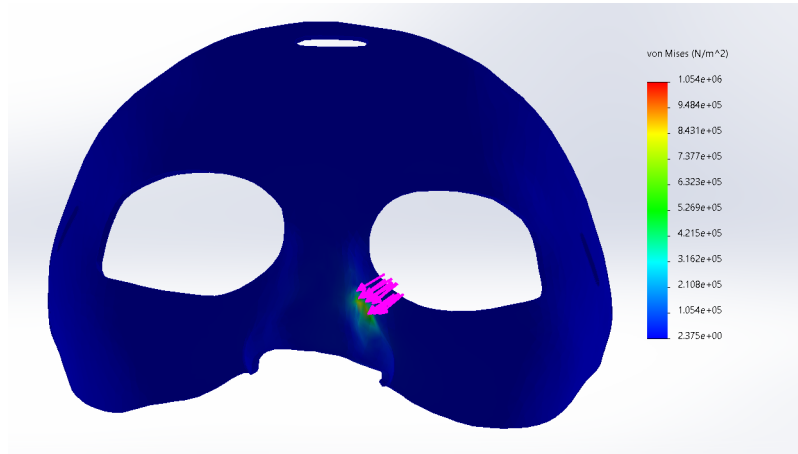
Fijación de soportes y fuerzas en la nariz.



Nota: Imagen tomada del software SolidWorks.

Figura 27

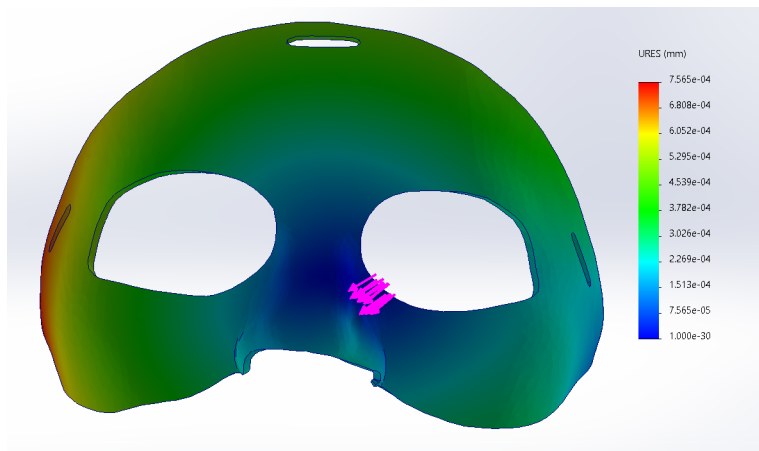
Simulación de esfuerzo en la nariz.



Nota: Imagen tomada del software SolidWorks.

Figura 28

Simulación de desplazamiento en la nariz.



Nota: Imagen tomada del software SolidWorks.

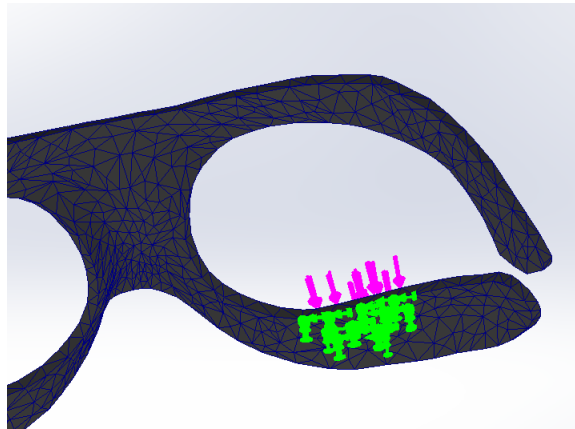
7.4.4. Simulación de impacto en zonas del complejo naso-maxilar (Máscara interna)

- Simulación de impacto en zona del pómulo (máscara interna)

Para poder simular las características del impacto en una protección interna de la armadura de protección facial se establecieron las zonas tanto de resistencia como de impacto de la fuerza en el punto con mayor probabilidad de impacto debido a que es el área más amplia en la estructura de protección, se muestran los puntos y caras establecidas (Ver Figura 28).

Figura 29

Distribución de cargas pómulo de máscara interna.

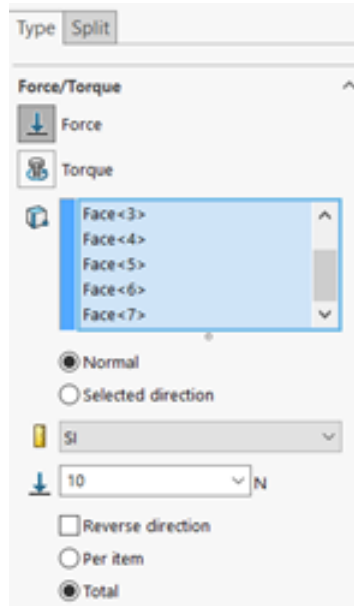


Nota: Imagen tomada del software SolidWorks.

Al igual que con la máscara externa, la carga a la que se enfrenta la máscara protectora interior se ve repartida respecto a la cantidad de área con la que impacta (Ver Figura 29).

Figura 30

Distribución de cargas en máscara interna.

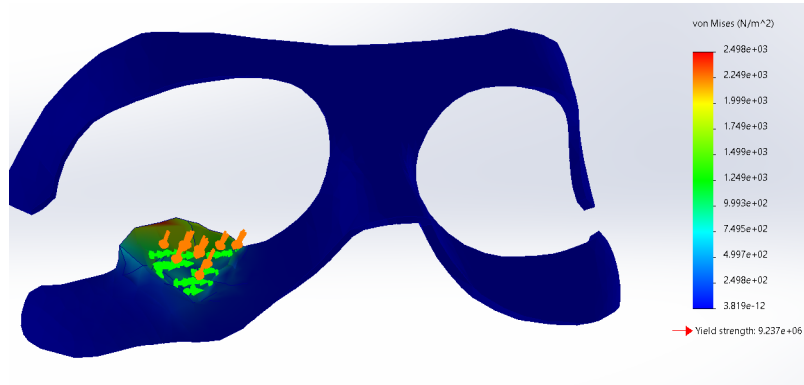


Nota: Imagen tomada del software SolidWorks.

En las siguientes imágenes se aprecian los resultados de esfuerzo y deformación en la simulación estática sobre la estructura interna de la máscara en la zona del pómulo.

Figura 31

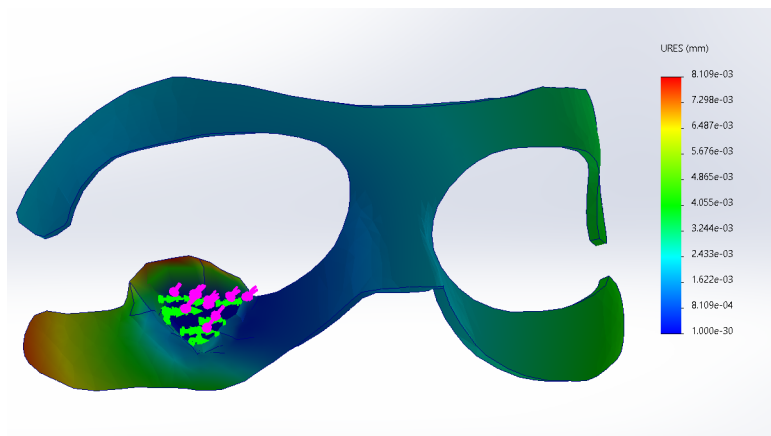
Simulación de esfuerzo en pómulo de máscara interna.



Nota: Imagen tomada del software SolidWorks.

Figura 32

Simulación de desplazamiento en pómulo de máscara interna.



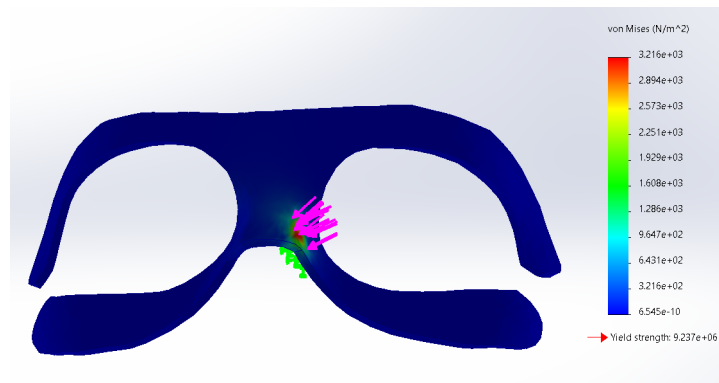
Nota: Imagen tomada del software SolidWorks.

- **Simulación de impacto en zona nasal (máscara interna)**

Respecto a la simulación de la máscara interna en la sección nasal, se encuentra sometida a una carga de 20 N con lo que los valores de esfuerzo y desplazamiento tienen como resultado los siguientes imágenes

Figura 33

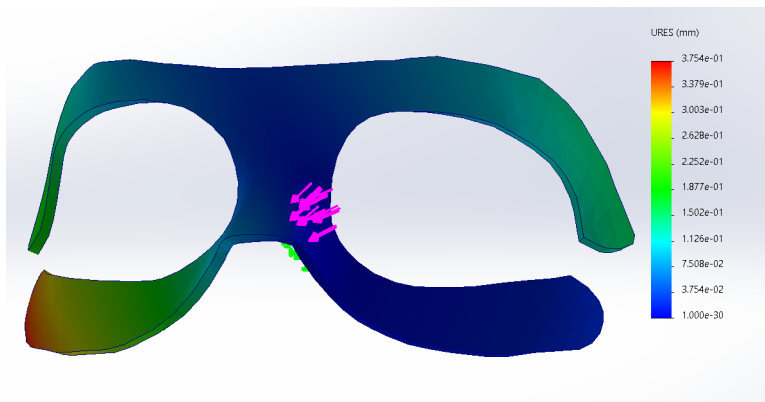
Simulación de esfuerzo en nariz de máscara interna.



Nota: Imagen tomada del software SolidWorks.

Figura 34

Simulación de desplazamiento en nariz de máscara interna.



Nota: Imagen tomada del software SolidWorks.

8. Resultados

En el siguiente apartado se presentan los resultados obtenidos según se plantea en los objetivos específicos.

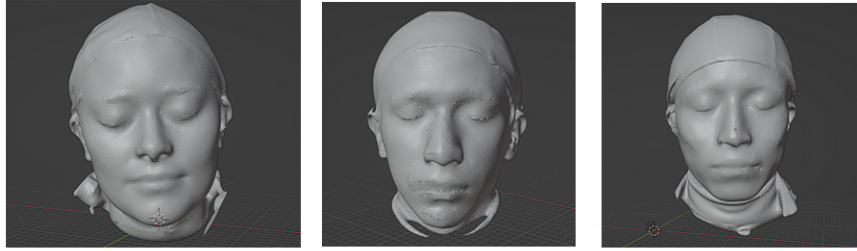
8.1. Describir la estructura facial del deportista mediante el modelo 3D personalizado obtenido a través del escáner EinScan 3D pro 2x plus.

A lo largo del trabajo se realizaron pruebas con diferentes escáneres y participantes/usuarios, con lo cual se obtuvieron distintos modelos 3D (Ver Figura 35), las pruebas fueron realizadas con los escáneres EVA de la marca Artec y el escáner EinScan 3D pro 2x plus de la marca Shining3D, el mismo que presentó los mejores resultados en cuestiones de detalle para el reconocimiento anatómico para las zonas de protección del usuario según sea la necesidad correspondiente al deporte del usuario. En el caso de estudio de este trabajo, el usuario presenta un rostro de tipo cuadrado y por el deporte a practicar.

Entre los modelos 3D obtenidos luego de escanear a los tres sujetos distintos, se puede mencionar que el diseño de cada madura debe ser personalizado debido a que es de suma importancia la forma de la superficie sobre la que se deben realizar los métodos de validación.

Figura 35

Diferentes modelos faciales con el escáner EVA.

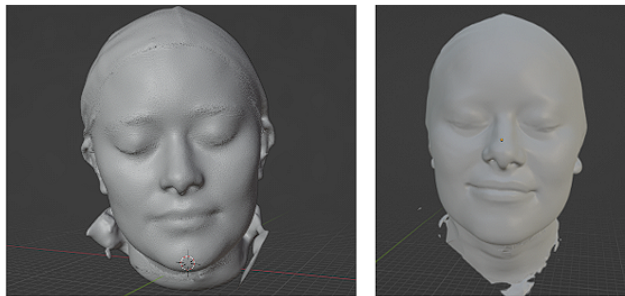


Nota: Comparativa de distintos sujetos de escaneo.

En los modelos realizados con el escáner EVA eran medianamente útiles para la realización de este estudio, debido a que en la solidificación de los cuerpos es necesario que no existan incidencias entre las caras que comprenden al sólido, con lo cual el resultado sobre las superficies es de mejor precisión como se aprecia en las imágenes (Ver Figura 36).

Figura 36

Comparación de escaneos EVA vs. EinScan.



Nota: Comparación de escaneos EVA vs. EinScan.

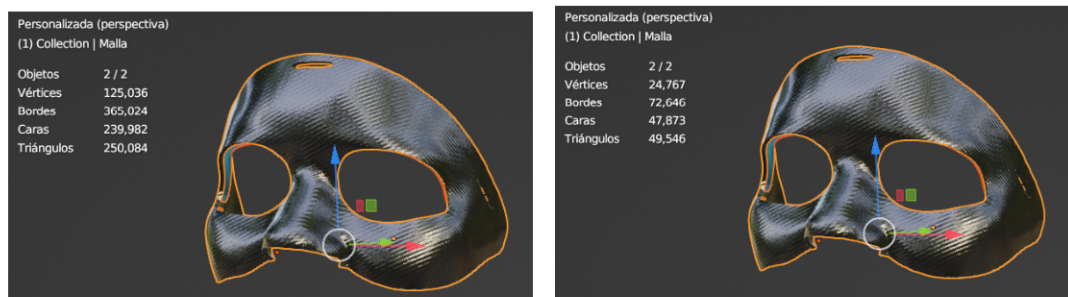
Entre las figuras antes mostradas, la principal diferencia se refleja en los detalles respecto a las terminaciones carnosas y bello facial del sujeto, siendo esta la sección con la que se genera mayor incidencias entre las caras, las mismas que generan problemas en el momento de convertir los cuerpos a un formato sólido.

8.2. Elaborar mediante el uso del software Blender el modelo de armadura de protección facial de acuerdo con las características estructurales personales del deportista.

El software Blender resultó una herramienta muy útil al momento de diseñar debido a que permitió trabajar con mucha precisión sobre una malla, con lo que se presentó la libertad de modelado siendo de suma importancia para adaptar el diseño al busto original. La suma de caras entre los modelos originales tanto de la estructura externa como interna fue de 239,982 con lo cual, para poder llevar a cabo una simulación fue necesario reducir el número de caras en un 20% con el modificador de diezmar en el software Blender para así permitir la transformación de la superficie en un sólido, para lo cual se utilizó el software Fusion 360 con lo cual fue posible realizar las simulaciones estáticas como sólido en el software SolidWorks para finalmente realizar simulaciones individuales de cada uno de los cuerpos que constituyen la armadura.

Figura 37

Estadísticas del modelado de las máscaras.



Nota: Imagen tomada del software Blender.

8.3. Simular las propiedades mecánicas de la armadura facial frente a un impacto promedio para una correcta distribución de cargas.

Los datos que se obtuvieron en la simulación estática, tanto los de esfuerzo como desplazamiento, se encuentran dentro del rango de tolerancias respecto a la tensión de Von Mises. El resultado obtenido era de suposible debido a las propiedades mecánicas de la fibra de carbono, sin embargo la propuesta de diseño personalizado como solución se puede aplicar conjunto al uso de materiales con menores costos, de fácil adquisición y resultados prácticos similares.

Cálculo	Fórmula	Resultado.
Simulación de esfuerzo en el pómulo externo	$\sigma_1 = \frac{M*Y}{I}(26)$	$3.380 \times 10^6 N/m^2$
Simulación de esfuerzo en el pómulo interno	$\sigma_1 = \frac{M*Y}{I}(27)$	$1.249 \times 10^3 N/m^2$
Simulación de esfuerzo en la nariz externa	$\sigma_1 = \frac{M*Y}{I}(28)$	$6.323 \times 10^5 N/m^2$
Simulación de esfuerzo en la nariz interna	$\sigma_1 = \frac{M*Y}{I}(29)$	$1.929 \times 10^3 N/m^2$
Esfuerzo a la tracción de la hebilla	$\tau = \frac{(m)*(g)}{(b)*(h)}(30)$	2.45 MPa

Tabla 9

Tabla de resultados.

9. Conclusiones

El uso de un escáner como herramienta para recopilar datos en forma de nube es de puntos de bastante utilidad dependiendo del nivel de precisión que se requiera, el escáner EinScan Pro 2x Plus que se encuentra ubicado en los laboratorios StartsUps en la Universidad Politécnica Salesiana, por sus características comerciales permitió con facilidad reconocer los puntos más importantes para la protección con respecto a la actividad deportiva que realiza el usuario.

El diseño dentro de la herramienta CAD Blender, es de gran importancia para poder realizar los diseños personalizados con alto grado de precisión, además de ofrecer herramientas para modelado orgánico de tipo escultura con lo cual, la implementación del software para la consideración de patologías específicas es importante para así no afectar los estándares de confort que establece el usuario.

Es importante de igual manera resaltar una de las limitaciones más constantes en el desarrollo de este trabajo es la incompatibilidad de formato entre los cuerpos escaneados y los softwares de simulación, aquellos softwares a los que se tenía acceso únicamente son para la simulación de sólidos más bien no para la simulación de superficies con lo que para el correcto análisis de cuerpos se tomó en consideración realizar un análisis de geometría irregular seccionando en puntos críticos para identificar la deformación.

Con la necesidad de obtener modelos 3D nítidos y sin interferencias no solo se realizó el enfoque en el desarrollo del modelo 3D en el software, sino que también es importante el tratamiento previo de la pieza o sujeto a ser escaneado, por lo que se hace énfasis y la consideración del protocolo como un paso indispensable para la recopilación de datos.

Los resultados de las simulaciones cumplen con las características necesarias para resistir a los impactos planteados debido a las propiedades mecánicas de los materiales por los cuales está constituida, sin embargo para las simulaciones es necesario tomar en cuenta el número de caras sobre las cuales se aplican las caras, con lo cual dependiendo de la capacidad de procesamiento de los equipos de trabajo los resultados se verán reflejados con mayor precisión.

10. Recomendaciones

- Para la caracterización de los parámetros anatómicos del futuro usuario se recomienda tomar en cuenta el deporte a practicar y un enfoque del diseño personalizado para las zonas de protección.
- En el caso de que el modelo 3D obtenido deba ser simulado es recomendado trabajar el formato de los archivos que permita tanto solidificar los cuerpos escaneados como editar el número de puntos que reconoce la imagen.
- A pesar de que se propuso el uso del software SolidWorks y se obtuvieron los resultados esperados, se recomienda realizar simulaciones tanto estáticas como dinámicas en distintos softwares con mayor capacidad de procesamiento para obtener resultados más precisos respecto a la ifgura orgánica del modelo original.

Referencias

- A. Bascones, J. . J. . B. . (2007). Mecanobiología de los huesos maxilares. i. conceptos generales. [Recuperado de: <https://scielo.isciii.es/pdf/odonto/v23n6/original1.pdf>; Accedido el: 26 de mayo del 2022].
- A. González. (2013). *Valoración y contribuidores de fuerzas del puñetazo en atletas de deportes de combate: Implicancias para la fuerza y acondicionamiento*. <https://g-se.com/valoracion-y-contribuidores-de-fuerzas-del-punetazo-en-atletas-de-deportes-de-combate-implicancias-para-la-fuerza-y-acondicionamiento-bp-S57cfb26d3c3bc>.
- Ashby, M. (2011). *Materials selections in mechanical design*. Elsevier.
- Avello, F. (2013). Fracturas del tercio medio facial. experiencia en el hospital nacional dos de mayo, 1999 - 2009. [Recuperado de: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttextpid=S1025-55832013000200007; Accedido el: 25 de mayo del 2022].
- C. Chiriboga, E. O. (2018). Desarrollo de un código de programación en lenguaje python para generación de gráficas de ashby aplicadas a la selección de materiales.
- Maps, G. (2022). Google maps. <https://www.google.com.ec/maps/place/El+Vecino,+Cuenca/@-2.8873495,-78.9897297,19.25z/data=!4m5!3m4!1s0x91cd1827bf094b8d:0x1a38b6a9984f75af!8m2!3d-2.8811271!4d-78.988207?hl=es>.
- Moral, A., y López, M. (2007). Materiales de ultima generacion y materiales eficientes: Materiales compuestos. En (p. 4). Universidad de Alcalá.
- Mora T, D. C. E. J., M; Moya Z. (2019). *Análisis de lesionología de una muestra de 353 autopsias de suicidios, departamento de medicina legal, costa rica del 2010 al 2016*. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-1040441>.
- Márdones, M. M. A. P. C. M. (2011). Traumatología máxilo facial: diagnóstico y tratamiento. *ELSEVIER*.
- Paiva, M. S. . R. M. C., J. M. F. de. (2006). *Comparison of tensile strength of different carbon fabric reinforced epoxy composites*. <https://doi.org/10.1590/S1516-14392006000100016>.
- Periago, y Zamudio. (2009). *Protesis, ortesis y ayudas técnicas*. Paperbackl.
- Pesantes, C. (2020). Diseño y fabricación de una máscara de protección facial deportiva para traumas nasales con materiales compuestos a partir de imágenes médicas dicom del cráneo. En *Universidad central del ecuador facultad de ingeniería ciencias físicas y matemática carrera de ingeniería en diseño industrial*.
- Pham, H., y Marks, M. (2005). *Epoxy resins*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/14356007.a09547.pub2>.

- Quintana Díaz, B., J.C. y Giralt López. (2005). *lesiones faciales*.
<http://cdeporte.rediris.es/revista/revista19/arttrauma14.htm>.
- Rodriguez, C., y Lopez, J. (2016). *Diseño mecánico con solidworks 2015*. Soft coverl.
- Sahuquillo, M. (2016). Fracturas del tercio medio de la cara. En *Universidad de sevil*.
- S. Arrieta, O. C. L. H. I. O., C. Bautista. (2010). Resumen de mecanica esfuerzos y deformaciones. *Universidad Veracruzana*.
- Servosis. (2020). *El módulo de young o módulo de elasticidad longitudinal*.
<https://www.servosis.com/el-modulo-de-young-o-modulo-de-elasticidad-longitudinal/>.
- SolidWorks. (2022). *Solidworks*. [Recuperado de: <https://www.solidworks.com/es>; Accedido el: 27 de mayo del 2022].
- Uribe, L. (2009). Fibra de carbono, presente y futuro de un material revolucionario. [Recuperado de: <http://www.metalactual.com/revista/11/materialescarbono.pdf>; Accedido el: 27 de mayo del 2022].

ANEXOS

Anexo A: Matriz de Consistencia Lógica

Tabla 10

Matriz de consistencia.

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Qué aspectos biomecánicos y anatómicos se deben tener presente para el diseño de una armadura de protección facial para deportistas a través de escáner EinScan 3D pro 2x plus?	Proponer un modelo de armadura de protección facial para deportistas a través del escáner EinScan 3D pro 2x plus.	El escáner EinScan 3D pro 2x plus permitirá el modelado de una armadura de protección facial que ofrecerá un mayor nivel de protección facial y desempeño en actividades deportivas del alto riesgo.	-VI: Modelado de una armadura de protección facial. -VD:: Mayor nivel de protección facial y desempeño en actividades deportivas.	Modelado de una armadura de protección facial para mayor nivel de protección facial y desempeño en actividades deportivas.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Qué aspectos faciales estructurales son necesarios para describir el modelo obtenido a través del escáner EinScan 3D pro 2x plus?	Describir la estructura facial de los deportistas mediante el modelo 3d personalizado obtenido a través del escáner EinScan 3D pro 2x plus.	Por medio del modelo 3D personalizado obtenido a través del escáner EinScan 3D pro 2x plus se podrá describir la estructura facial de los deportistas.	-VI: Modelo 3D personalizado obtenido a través del escáner S3D. -VD: La estructura facial de los deportistas.	Proceso para generar un modelo 3D personalizado obtenido a través del escáner EinScan 3D pro 2x plus para describir la estructura facial de los deportistas.
¿Cuáles son las características estructurales y mecánicas que deben tener presente al momento de elaborar una armadura de protección facial?	Elaborar mediante el uso del software Blender el modelo de armadura de protección facial de acuerdo con las características estructurales personales del deportista.	Por medio del software Blender se creará un modelo de armadura de protección facial de acuerdo con las características estructurales personales del deportista.	-VI: Características estructurales personales del deportista. -VD: Armadura de protección facial.	Características estructurales personales del deportista para el diseño de una armadura de protección facial.
¿Qué valoraciones recibe la simulación de la armadura de protección facial mediante en software Solid-Works?	Simular las propiedades mecánicas de la armadura facial frente a un impacto promedio para una correcta distribución de cargas.	Se evaluará las propiedades mecánicas de la armadura facial generada por el proceso de escaneo establecido con un escáner EinScan 3D pro 2x plus frente a un impacto deportivo promedio.	-VI: Armadura facial. -VD: Propiedades mecánicas.	Simular las propiedades mecánicas de la armadura facial.