



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Mecánica

**Desarrollo de máscaras de protección
facial utilizando termoconformado e
impresión 3D.**

Autor:

del Ser Gómez, Mario

Tutor:

**Mansilla Gallo, Alberto
CMeIM, EGI, IM, IPF**

Valladolid, Julio del 2022.

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA.





Resumen:

Este proyecto trata del diseño, fabricación y ensayo de máscaras de protección facial específicas para las lesiones nasales y para cada paciente. Dicha fabricación se realizará en diferentes materiales, y se emplearán dos procesos de fabricación diferentes, la impresión 3D y el termoconformado.

Para la fabricación de dichas máscaras mediante termoconformado, se habrán empleado materiales compuestos, y el molde empleado en dicho proceso, será fabricado en impresión 3D.

Dentro del trabajo se realizará un estudio previo de ambos procesos de fabricación, así como de los materiales empleados durante el proyecto.

Una vez realizado el correspondiente estudio e investigación de los procesos anteriores se habrá detallado el proceso de diseño CAD de la máscara, así como el procedimiento seguido en la fabricación de estas.

Por último, se habrán sometido dichas máscaras a ensayos mecánicos, realizando después un estudio de los resultados obtenidos y las posibles vías de futuro del proyecto.

Palabras clave: Máscara. Termoconformado. Impresión3D. DiseñoCAD. Ensayos.

Abstract:

This project deals with the design, manufacture and testing of facial protection masks specifically for nasal lesions and for each patient. This manufacturing will be carried out in different materials, and two different manufacturing processes will be used, 3D printing and thermoforming.

For the manufacture of these masks by thermoforming, composite materials will have been used, and the mould used in this process will be manufactured in 3D printing.

The work will include a preliminary study of both manufacturing processes, as well as the materials used during the project.

Once the corresponding study and investigation of the previous processes has been carried out, the CAD design process of the mask will have been detailed, as well as the procedure followed in its manufacture.

Finally, the masks will have been subjected to mechanical tests, followed by a study of the results obtained and the possible ways forward for the project.

Key words: Mask. Thermoforming. 3D printing. CAD design. Testing.

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA.





ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	3
2.1. LESIONES FACIALES.	3
2.2. MÁSCARAS DE PROTECCIÓN FACIAL.....	4
2.3. ESCANEADO 3D.	7
2.4. IMPRESIÓN 3D.....	8
2.5. TERMOCONFORMADO.	16
2.5.1. Fases del termoconformado. (Schwarzmann, 2019).....	16
2.5.2. Tipos de termoconformado:	19
2.5.3. Ventajas y desventajas del termoconformado.....	22
3. DESARROLLO DE LA MÁSCARA	23
3.1. DISEÑO.	23
3.1.1. Escaneo del rostro del paciente.	23
3.1.2. Modificaciones realizadas sobre la malla.	24
3.1.3. Creación de la careta sobre la malla.....	28
3.2. IMPRESIÓN 3D DE LAS MÁSCARAS.....	33
3.2.1. Impresora empleada.	33
3.2.2. Materiales empleados.....	34
3.2.3. Proceso de impresión y resultado final.	35
3.3. TERMOCONFORMADO DE LAS MÁSCARAS.	39
3.3.1. Máquina utilizada.	39
3.3.2. Materiales empleados.....	42
3.3.3. Procedimiento seguido y problemas encontrados.....	45
3.3.3.1. Medida de la temperatura.....	45
3.3.3.2. Diseño y fabricación del primer molde empleado.....	46
3.3.3.3. Primera prueba de termoconformado.....	47
3.3.3.4. Creación del desarrollo plano de la máscara.....	49
3.3.3.5. Segunda prueba de termoconformado.	52
3.3.3.6. Tercera prueba de termoconformado.	55
3.3.3.7. Diseño del segundo molde empleado.....	62
3.3.3.8. Cuarta prueba de termoconformado.....	63



3.3.3.9. Quinta prueba de termoconformado.....	64
4. ENSAYO DE LAS MÁSCARAS.	69
4.1. DISEÑO DEL BANCO DE ENSAYOS.....	69
4.2. REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS.	75
4.3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.	79
5. CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS.....	87
BIBLIOGRAFÍA:	89
Anexo I: Ficha técnica PLA.	93
Anexo II: Ficha técnica PCTG.....	95
Anexo III: Ficha técnica PP.....	97
Anexo IV: Fichas técnicas materiales empleados en el termoconformado.....	99
EASYPREG A1-AC205K-53.....	99
EASYPREG A1-C245K-56.....	100
EXACT-FILM 210.....	101
SILICONAS ROJA Y TRANSPARENTE.....	102
FIBRAS DE CARBONO Y ARAMIDA.....	103
TPU HARDNESS+.....	104
NYLSTRONG.....	105



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Incidencia de las diferentes lesiones faciales en el Hospital General Docente “Ciro Redondo García” de Artemisa, Cuba.....	3
Ilustración 2: Fabricación de un molde.	5
Ilustración 3: Molde positivo de la cara del paciente.....	6
Ilustración 4: Etapas escaneado 3D.....	7
Ilustración 5: Impresión 3D de edificios en Valencia.	8
Ilustración 6: Impresión SLS.....	10
Ilustración 7: Impresión SLA.	11
Ilustración 8: Esquema impresión FFF/FDM.....	12
Ilustración 9: Pieza con defecto de warping.....	13
Ilustración 10: Distintas densidades y patrones de relleno.....	14
Ilustración 11: Anisotropía probetas impresas en 3D.....	15
Ilustración 12: Esquema principio de funcionamiento del termoconformado.	16
Ilustración 13: Lámparas radiantes de la termoconformadora empleada.	17
Ilustración 14: Calentadores de contacto de rodillos.....	18
Ilustración 15: Termoconformado positivo.....	20
Ilustración 16: Termoconformado negativo con empleo de macho.	21
Ilustración 17: Termoconformado positivo-negativo.....	21
Ilustración 18: Malla obtenida del escaneo del rostro.....	23
Ilustración 19: Resultado de la reparación de la malla de la cabeza.	24
Ilustración 20: Pantalla de la herramienta esculpir.	25
Ilustración 21: Comparación entre la superficie inicial y la final.	26
Ilustración 22: Vista de sección del recrecido.....	27
Ilustración 23: Superficie final con la zona de la nariz recrecida.	27
Ilustración 24: Secciones tomadas para crear la superficie de partida.	28
Ilustración 25: Comparativa de la superficie antes y después de realizar la operación tirar.....	29
Ilustración 26: Cuerpo sobre el que se creará la máscara.	30
Ilustración 27: Máscara con la forma sin redondeos.....	31
Ilustración 28: Diferentes perspectivas de la forma final de la máscara.	32
Ilustración 29: Impresora 3D empleada.....	33
Ilustración 30: Programa Ultimaker Cura con la máscara para imprimir.	37
Ilustración 31: Máscara fabricada en PLA.	37
Ilustración 32: Máscara fabricada en PCTG.....	38
Ilustración 33: Máscara fabricada en PP.	38
Ilustración 34: Máquina empleada.	39
Ilustración 35: Detalle del cuadro de control de la termoconformadora.....	40
Ilustración 36: Tomas exteriores de la termoconformadora.....	41
Ilustración 37: Patrón de tejido Twill 2/2.....	44
Ilustración 38: Captura del programa de la cámara termográfica.....	45



Ilustración 39: Molde impreso en TPU Hardness+	47
Ilustración 40: Montaje del primer ensayo.....	48
Ilustración 41: Resultados obtenidos en la primera prueba.....	49
Ilustración 42: Desarrollo plano de la máscara.	50
Ilustración 43: Pliegues formados en las pruebas.....	51
Ilustración 44: Prueba realizada con la cuña.....	51
Ilustración 45: Pliegues formados en la tela y marcas de colocación del material.....	52
Ilustración 46: Montaje del segundo ensayo.	54
Ilustración 47: Modelo de la pieza diseñada para hacer el vacío auxiliar.	56
Ilustración 48: Croquis del marco de vacío completo.	57
Ilustración 49: Marco de vacío fabricado.	57
Ilustración 50: Montaje del tercer ensayo.....	58
Ilustración 51: Control de la temperatura durante el calentamiento.	59
Ilustración 52: Rugosidad generada en el tercer ensayo.....	60
Ilustración 53: Comparativa del molde antes y después de la tercera prueba.	61
Ilustración 54: Resultado de la máscara en la tercera prueba.....	61
Ilustración 55: Diseño final del nuevo molde.....	63
Ilustración 56: Aspecto final del molde de Nylstrong.....	63
Ilustración 57: Resultado de la máscara en la cuarta prueba.....	64
Ilustración 58: Corte de las planchas con distinta orientación de las fibras. .	65
Ilustración 59: Aspecto del material con seis capas antes del termoconformado.	65
Ilustración 60: Diferentes etapas del proceso de vaciado.....	66
Ilustración 61: Resultado de la máscara en la quinta prueba.....	67
Ilustración 62: Planchas unidas antes de realizar el termoconformado.	67
Ilustración 63: Máscara fabricada en fibra de carbono.....	68
Ilustración 64: Diseño del banco de ensayos original.....	69
Ilustración 65: Pieza de contacto para simular el impacto.....	70
Ilustración 66: Cara de colocación de la máscara en los ensayos.	71
Ilustración 67: Ensamblaje del banco de ensayos.....	71
Ilustración 68: Montaje del banco de ensayos, con el utillaje para ensayar las caretas.	72
Ilustración 69: Máscara y cara con el montaje del switch.....	73
Ilustración 70: Controlador del banco de ensayos en LabView.	74
Ilustración 71: Modificación del programa de LabView.....	75
Ilustración 72: Imagen del montaje del ensayo de las caretas de polipropileno (impresa en 3D) y de fibra de carbbono (termoconformada).....	76
Ilustración 73: Detalle del contacto existente entre la cara, la careta y la pieza de contacto.	77
Ilustración 74: Daños sufridos en el ensayo fallido.	78
Ilustración 75: Gráfica de resultados de los ensayos de la careta de PLA.	80



Ilustración 76: Gráfica de resultados de los ensayos de la careta de PP.....	81
Ilustración 77: Gráfica de resultados de los ensayos de la careta de PCTG. .	82
Ilustración 78: Gráfica de resultados de los ensayos de la careta de fibra de carbono.....	83
Ilustración 79: Gráfica de resultados de los ensayos de la careta de aramida y fibra de carbono.....	84
Ilustración 80: Resumen de los resultados de los ensayos.....	84



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características impresora Ultimaker 3.	33
Tabla 2: Parámetros de impresión empleados.	36
Tabla 3: Masas de las caretas.	78



1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.

INTRODUCCIÓN:

Hoy en día la práctica de deporte se ha vuelto cada vez más habitual en gran parte de la población, puesto que se ha demostrado que es altamente beneficioso para la salud, y las autoridades sanitarias recomiendan su práctica varios días a la semana. Sin embargo, al aumentar la práctica de deporte, aumentan también las lesiones, siendo más frecuentes de lo que parecen los daños faciales, sobre todo en deportes de contacto como el fútbol, el baloncesto. Dentro de dichas lesiones, existirán las de mandíbula, de ceja, de pómulos, de nariz..., en este proyecto nos vamos a centrar en las de la nariz, porque como se mostrará más adelante, son las lesiones faciales más comunes. (J. C. Quintana Díaz & Giralt López, 2005)

Lo ideal sería un uso habitual de dichas máscaras, las cuales ayudarían a prevenir estas lesiones, pero no se suelen utilizar al no ser que haya habido una lesión previa o recientemente.

La recuperación de estos daños suele ser un proceso delicado y largo, por lo que, para ayudar a reincorporarse a la práctica deportiva tras de la lesión, se utilizan dichas máscaras de protección facial, las cuales aportan una mayor seguridad frente a impactos en dicha zona.

Unos años atrás, dichas máscaras eran solamente utilizadas por deportistas profesionales de alto nivel, los cuales buscaban volver a la competición lo antes posible tras la lesión. En cuanto a los deportistas aficionados, no las usaban mucho, puesto que dichas máscaras tenían un gran coste, pero actualmente, el gran desarrollo que han tenido tecnologías como la impresión 3D o el termoconformado, hacen que estas máscaras se hayan vuelto más asequibles y accesibles para una mayor cantidad de gente.

Otro punto importante también, ha sido el desarrollo de materiales más ligeros y resistentes, los cuales son un gran punto a favor para la comodidad de dichas protecciones.

Por todo esto, este proyecto abarcará el diseño y fabricación de máscaras por ambos métodos de fabricación, y empleando distintos tipos de materiales compatibles con dichos procesos, para que, una vez obtenidos los productos deseados, poder realizar una comparación entre estos, estudiando cual puede realizar la máscara más resistente y que material ha sido empleado.



OBJETIVOS:

Los objetivos que plantean en este trabajo, comenzarán en el estudio de ambas tecnologías de fabricación empleadas, conociendo el funcionamiento de estas. Por otra parte, se buscará realizar un diseño de máscara que sea aplicable a un rostro específico, definiendo el proceso a seguir a la hora de realizar dichas máscaras para cualquier otra persona.

A continuación, se estudiarán varios materiales en los cuales se fabricarán dichas máscaras, tanto de impresión 3D como de termoconformado.

Después, se procederá a la realización de un ensayo de resistencia de dichas máscaras, para lo cual será necesario diseñar un procedimiento de ensayo y los pertinentes utillajes para la realización de estos.

Y, por último, se estudiarán los resultados obtenidos en los ensayos realizados, obteniendo unas conclusiones en base a estos, y las posibles vías de desarrollo futuras para este proyecto, si es que tienen cabida.



2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

2.1. LESIONES FACIALES.

El rostro es una de las partes más importantes de nuestro cuerpo, ya que suele ser en gran parte el aspecto visible en nuestras relaciones sociales, pero, aun así, también ejerce de elemento protector para ciertos órganos y sentidos, tales como la vista o el olfato, y también es la vía de entrada de dos de nuestros sistemas vitales, el respiratorio y el digestivo. Nariz y boca son fundamentales en dichos procesos, ya que protegen el organismo, la nariz por su parte, con sus distintos componentes, tales como vellos y mucosas, calientan y limpian el aire que entra en nuestros pulmones. Mientras que la boca, gracias a la mandíbula y sus músculos, junto con los dientes favorecen el proceso de la digestión de los alimentos.

Todo esto demuestra que el rostro es una parte fundamental de nuestro cuerpo, la cual a veces no suele ir lo suficientemente protegida en concordancia a su importancia, sobre todo cuando practicamos deportes.

Las lesiones faciales pueden ser muy variadas, con fracturas de todo tipo, mandíbula, nariz, pómulos, dentales...

En la siguiente imagen, se muestra un estudio realizado sobre el número de lesiones faciales deportivas, donde se ve que las fracturas nasales son las más comunes:

Ilustración 1: Incidencia de las diferentes lesiones faciales en el Hospital General Docente "Ciro Redondo García" de Artemisa, Cuba.

TIPO DE FRACTURA	No	%
. Nasales	18	64.2
. Dentoalveolares	5	17.8
. Maxilomalares grado III	2	7.2
. Maxilomalares grado I	1	3.6
Mandibular	1	3.6
. Selectiva de piso de orbita	1	3.6
TOTAL	28	100

Fuente: Quintana Díaz & Giralt López, 2005

Como son varios los estudios que se refieren a las lesiones nasales (Brook & Wood, 1983; J. Quintana Díaz et al., 1998; Telfer et al., 1991; Torgersen & Tornes, 1992), como las lesiones faciales más comunes mientras se practica



deporte, en este proyecto se procederá a realizar una máscara de protección facial, específica para lesiones nasales.

2.2. MÁSCARAS DE PROTECCIÓN FACIAL.

Las máscaras de protección facial se emplean en todo tipo de deportes, pero mayoritariamente en aquellos en los que el contacto físico es un aspecto importante y también hay riesgo de sufrir impactos en la cara con la pelota (fútbol, baloncesto...) (Sherry & Wilson, 2002).

Las funciones que cumplirán dichos complementos serán las siguientes:

- **Proteger la cara** en general, es decir, nariz, mandíbula, cejas, pómulos, etc. La protección debe centrarse en la zona en la que exista una lesión, ya que es la más vulnerable, de ahí la importancia de realizar un diseño correcto de esta.
- Para que la protección sea eficaz, la máscara debe de ser capaz de **absorber la energía** que pueda producir el choque o impacto que tenga lugar, por lo que es importante cuantificar la carga máxima que puedan soportar, o a partir de la cual su funcionalidad pudiera verse comprometida.
- A parte de su funcionalidad y resistencia, la máscara debe de resultar lo más **cómoda** posible para el paciente, por lo cual es muy importante que el diseño se adapte y ajuste perfectamente a este.
- Otro aspecto muy importante de las máscaras es el psicológico, ya que el paciente tras la lesión, va a tender a ser más cuidadoso a la hora de realizar deporte, debido al miedo de poder volver a lesionarse dicha zona otra vez. La función de la máscara en este caso, será proporcionar al deportista la confianza de que si recibe un impacto la careta va a protegerlo de las posibles consecuencias de este,

La forma de fabricar dichas máscaras ha ido evolucionando mucho en los últimos años, puesto que anteriormente para elaborar el molde de la cara del paciente se realizaba con yeso u otros materiales, como se puede ver en la siguiente imagen:



Ilustración 2: Fabricación de un molde.



Fuente: Cascone et al., 2008

La manera de proceder en dicha manufactura del molde era la siguiente (Cascone et al., 2008):

1. Se cubren los ojos y las fosas nasales del paciente con algodones y gasas protectoras, para evitar que penetre el material en ellas. También se utiliza grasa para cubrir las zonas con cabello y así evitar que el material se pegue a ellas.
2. Se vierte un material sobre la cara el cual se quede con la forma de esta, en el caso de la Ilustración 2, se utilizó alginato, material muy empleado para este tipo de aplicaciones y en ortodoncia. En la misma ilustración, se puede observar en la imagen de la derecha, que se añaden clips al alginato para proporcionarle una mayor rigidez y estabilidad.
3. Una vez solidificado el alginato, se vierte una capa de yeso por encima, para protegerla y proporcionarla mayor rigidez.
4. Después de endurecerse el yeso, se retira el molde del paciente, obteniéndose un modelo negativo de la cara de este.
5. A continuación, se vierte yeso en la cavidad obtenida, para obtener el molde positivo final de la cara, sobre el cual se realizarán las modificaciones pertinentes (en función de la patología que tenga el paciente) para garantizar el correcto funcionamiento de la máscara.
6. Por último, se termoconforma una lámina plástica la cual da forma a la careta.



Ilustración 3: Molde positivo de la cara del paciente.



Fuente: Cascone et al., 2008

Este proceso tradicional se ha sustituido gracias al desarrollo de la tecnología de escaneo e impresión 3D, puesto que es más cómodo para el paciente, ya que no hay que aplicarle yeso en la cara. A parte de la comodidad, también se genera un salto de calidad en los modelos, mejorando también la productividad, ya que un escaneo facial es más rápido que todo el proceso descrito previamente.

Otro punto muy importante también, es la eliminación de todos los residuos que produce el proceso tradicional, que con el escaneo en 3D se ven reducidos prácticamente a cero.



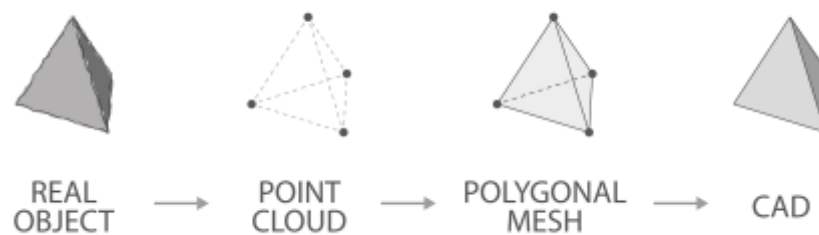
2.3. ESCANEADO 3D.

El escáner 3D es una herramienta la cual permite digitalizar todo tipo de objetos, generando un modelo 3D de ellos, con el cual se puede trabajar informáticamente, utilizando programas de CAD.

La herramienta lo que hace es obtener una nube de puntos que tendrá la forma del objeto, estando cada punto referenciado según su propio sistema de coordenadas. Estos puntos compondrán una malla, la cual será la superficie del elemento sobre el que hayamos realizado el escaneo. Dicha malla, se podrá modificar usando programas de CAD, tal y como se describirá más adelante.

En la siguiente figura, se muestra un esquema de las etapas que sigue el escaneo 3D:

Ilustración 4: Etapas escaneado 3D.



Fuente: Cad Crowd, 2022

En sus inicios, esta tecnología era muy específica y muy costosa, por lo que sus aplicaciones eran muy específicas, utilizándose en metrología industrial y en la industria del automóvil. En la actualidad, al haberse realizado un gran desarrollo de esta tecnología, su precio se ha reducido, pudiéndose encontrar equipos a precios asequibles, lo que ha conllevado a una ampliación del rango de aplicaciones, siendo muy utilizado especialmente en el sector médico y ortopédico, arquitectura, ingeniería...



2.4. IMPRESIÓN 3D.

La impresión 3D, también conocida como fabricación aditiva es un proceso de conformado, el cual consiste en la generación de un modelo virtual en 3D utilizando programas de CAD, para después fabricar el modelo real, mediante la adición de capas de material, dichas capas corresponderán las secciones transversales sucesivas del modelo 3D. Los materiales que se utilizan son principalmente plásticos, pero podrían emplearse cualquier tipo, tales como metales, hormigón...

Este proceso de fabricación, se utiliza en el prototipado y optimización de piezas, para producir rápidamente distintas versiones de estas. También se emplea en la fabricación de elementos médicos personalizables y adaptables al paciente (AFOs, máscaras de protección...), incluso se pueden imprimir edificios, como se observa en la siguiente imagen:

Ilustración 5: Impresión 3D de edificios en Valencia.



Fuente: Bemore3D, 2022

Existirán varios tipos de impresión 3D, los más importantes se enumerarán y explicarán brevemente a continuación:

- **Impresión LMD** (Laser Material Deposition).



Este tipo de impresión se caracteriza porque emplea un láser como fuente de energía, el cual incide sobre una superficie sobre la cual se desea que el material se pegue, de tal manera que el láser fundirá ligeramente el área sobre el que incide, Al mismo tiempo se va liberando polvo metálico, el cual se fundirá al entrar en contacto con el material previamente fundido, creando una nueva capa de material. En este proceso, se suele utilizar gas inerte para rociar el material fundido, y así evitar que este se oxide, promoviendo así una mejor adhesión entre capas. (3D HUBS B.V., 2022b)

- **Impresión SLS (Sinterizado Selectivo por Láser):**

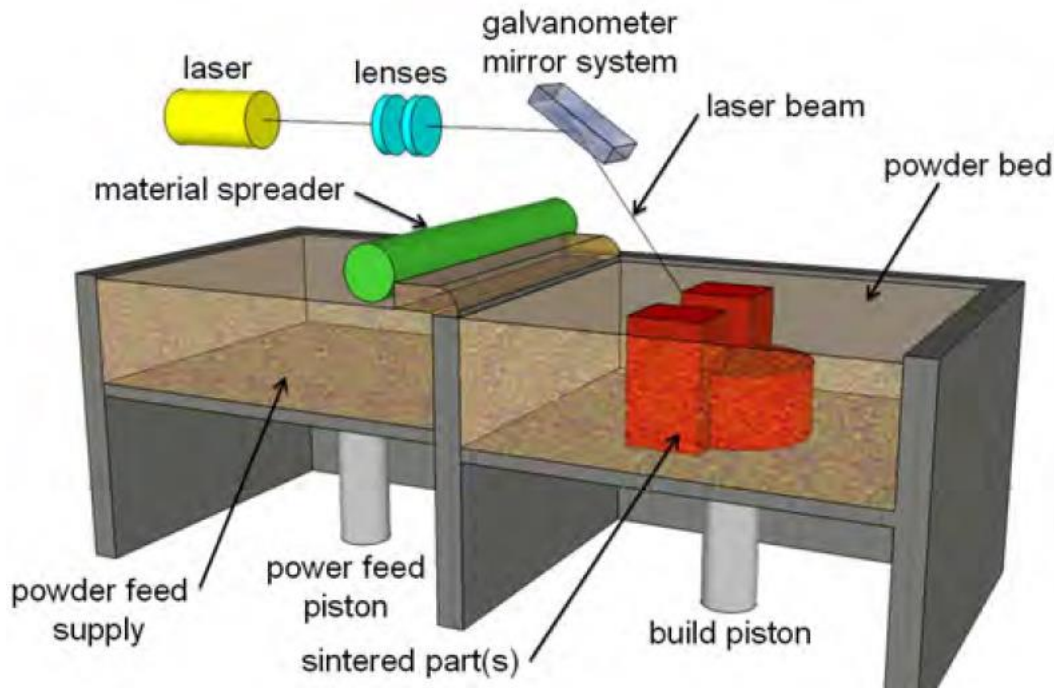
La tecnología de impresión SLS emplea también un rayo láser, el cual sinteriza un polímero o un material composite con matriz metálica, que se encontrará en estado de polvo. El sinterizado es un proceso a través del cual dicho polvo se compacta y se calienta hasta una temperatura por debajo del punto de fusión de dicho material, de tal modo que las capas se van uniendo entre sí, y forman una estructura cohesionada.

El proceso de impresión comenzará calentando el recipiente que contiene el material en polvo a alta temperatura. A continuación, se deposita una capa muy fina (normalmente de 0,1 mm) sobre la plataforma de construcción. Después de depositar una capa, el rayo láser comienza a escanear la superficie. El rayo láser sinteriza selectivamente el polvo y solidifica la sección transversal de la pieza. Una vez escaneada toda la sección transversal, la plataforma de construcción baja un nivel. El polvo sin sinterizar permanece en su lugar para soportar las capas posteriores, lo que elimina la necesidad de estructuras de soporte. Después se deposita una nueva capa de polvo sobre la capa escaneada y el rayo láser comienza a sinterizar una sección transversal continua de la pieza sobre la sección transversal previamente solidificada. Dicho proceso se repetirá sucesivamente hasta que se complete toda la pieza, entonces la pieza se encontrará sumergida en el polvo de impresión, el cual se puede limpiar con aire a presión. (3D HUBS B.V., 2022a)

En la siguiente imagen se presenta un esquema del funcionamiento de la impresión SLS:



Ilustración 6: Impresión SLS



Fuente: Torras, 2016

- **Impresión SLA** (Estereolitografía):

Este tipo de impresión 3D utiliza resina fotosensible, de la cual se parte en estado líquido, para a continuación aplicar un haz de luz sobre esta, que la endurecerá. Dicho proceso se conoce como fotopolimerización.

La plataforma para la impresión está sumergida en el tanque de agua. Contiene líquido fotopolimerizable (resina) y se coloca a una profundidad de una capa (según el espesor de capa determinado). Después un rayo incide sobre dicha capa en la superficie del tanque (generalmente un rayo ultravioleta o de electrones), para trazar un camino designado en él, que se corresponderá con la sección de la pieza deseada. Cuando la radiación golpea, el material se solidifica. Estas impresoras utilizan un sistema de espejos para guiar el láser.

Nada más imprimir una capa, la plataforma se mueve hacia abajo una distancia igual al espesor de una capa. Este trabajo deja una fina capa de resina líquida nueva en la superficie del tanque volviéndose a iniciar el proceso, tantas veces como el número de capas de las que conste la pieza a imprimir.

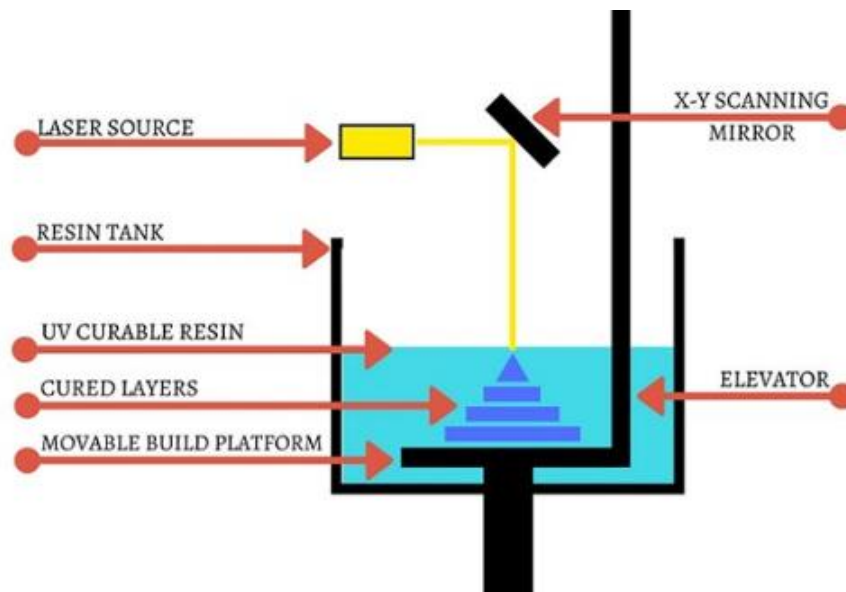
Después de la impresión, la pieza no está completamente curada y requiere la realización de un post-procesado para el cual se empleará luz ultravioleta, que proporcionará a la pieza unas propiedades mecánicas y térmicas mejores.



La ventaja más importante de la impresión SLA es la capacidad que tiene de realizar piezas de alta calidad, con una resolución fina de tan solo 10 μm . Por otro lado, es relativamente lento, caro y la gama de materiales para la impresión es muy limitada. Además, la cinética de la reacción y el proceso de curado son complejos, por lo que su uso no está muy generalizado. (Ngo et al., 2018)

En la siguiente imagen se observa una ilustración que resume el proceso de impresión SLA:

Ilustración 7: Impresión SLA.



Fuente: Sbags, 2020

- **Impresión FDM o FFF** (Modelado por Deposición Fundida/Fabricación con Filamento Fundido).

Este va a ser el tipo de impresión que se ha empleado en nuestro proyecto, tanto en la fabricación de las máscaras como del utillaje que ha sido necesario, por lo que se explicará con más detalle. Esta tecnología seguramente será la más empleada de entre los distintos tipos existentes, ya que es la más accesible desde el punto de vista económico.

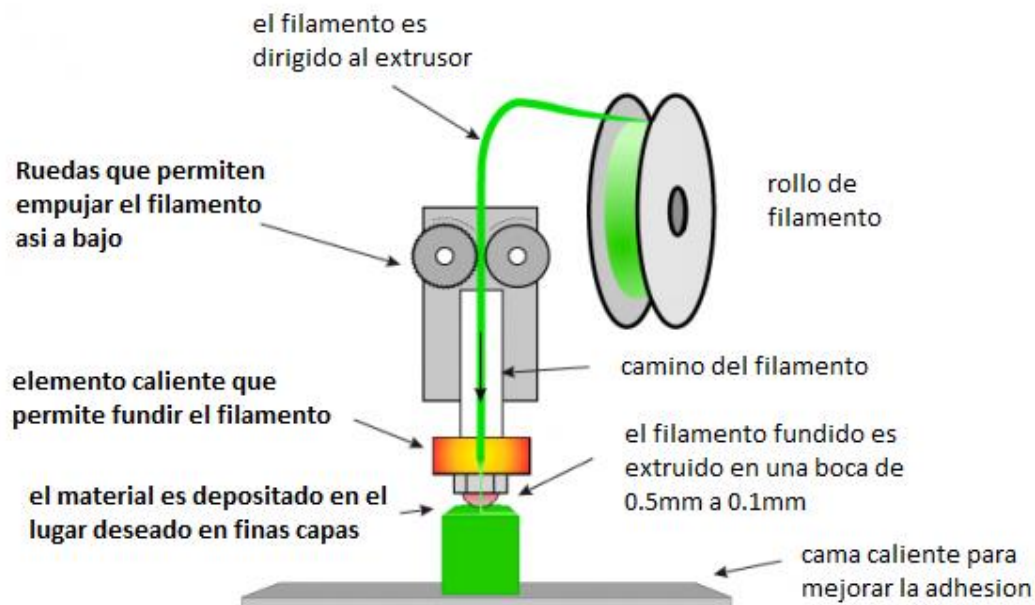
En este método se va a utilizar un filamento continuo de material, normalmente un termoplástico, el cual será depositado capa a capa pasando por una boquilla. El material se calienta justo antes de llegar al extrusor hasta que alcanza un estado semilíquido, momento en el que se extruye sobre la cama para formar una capa. En la mayoría de los casos, dicha cama suele estar caliente, para garantizar la correcta adhesión del material extruido. Una vez que



se ha completado una sección, la placa soporte se posicionará para comenzar a extruir la capa siguiente. Este proceso se repite continuamente hasta que, mediante la superposición de capas, se consigue llegar a la forma final de la pieza.

En la siguiente imagen se puede observar un esquema del funcionamiento de las impresoras FFF/FDM:

Ilustración 8: Esquema impresión FFF/FDM.



Fuente: 3D Market, 2015

Es necesario configurar varios parámetros en este método, tales como la altura y el grosor de la capa, el relleno de la pieza y la orientación del filamento, serán los parámetros más importantes para determinar las propiedades mecánicas de la pieza final. Además, debido a sus propiedades mecánicas, la elección de los materiales utilizados es fundamental. Los materiales más utilizados en FDM son el PLA y el ABS, dos termoplásticos que, por sus propiedades, dan lugar a numerosas posibilidades de impresión.

Estos parámetros se configuran a través de distintos softwares informáticos, tales como CURA, Simplify o Slic3r, entre otros muchos. El que se ha utilizado en este proyecto ha sido el CURA, ya que es el software de la marca de la mayoría de las impresoras con las que se cuenta en el laboratorio del edificio LUCIA, donde se ha realizado este proyecto. Otras razones aparte, es la gran cantidad de parámetros que se pueden configurar con este programa, que son



más de 160. Todo esto teniendo una interfaz de usuario muy intuitiva y fácil de usar.

A continuación, se hablará un poco de los parámetros más influyentes en este tipo de impresiones:

- **Temperatura de impresión:** dependiendo del modelo de la impresora, y más concretamente de si tiene cama caliente o no, dicho parámetro se divide en dos; la temperatura de extrusión del material, y la temperatura de la cama caliente. Lo que se busca con dichos parámetros es, por una parte, con la temperatura del extrusor, que el material fluya bien y no sufra desgaste al salir por la boquilla. En cuanto a la temperatura de la cama, es importante definirlo bien, ya que evita que se sufran contracciones en las capas iniciales de la pieza (defecto conocido como warping), a continuación, se muestra una pieza con dicho defecto:

Ilustración 9: Pieza con defecto de warping.



Fuente: Kivela, 2021

Dichos valores serán diferentes dependiendo del material que se emplee y se suelen utilizar los parámetros que el propio fabricante del material recomienda, salvo pequeñas variaciones de $\pm 5^{\circ}\text{C}$, en caso de que la impresión no se realizase correctamente.

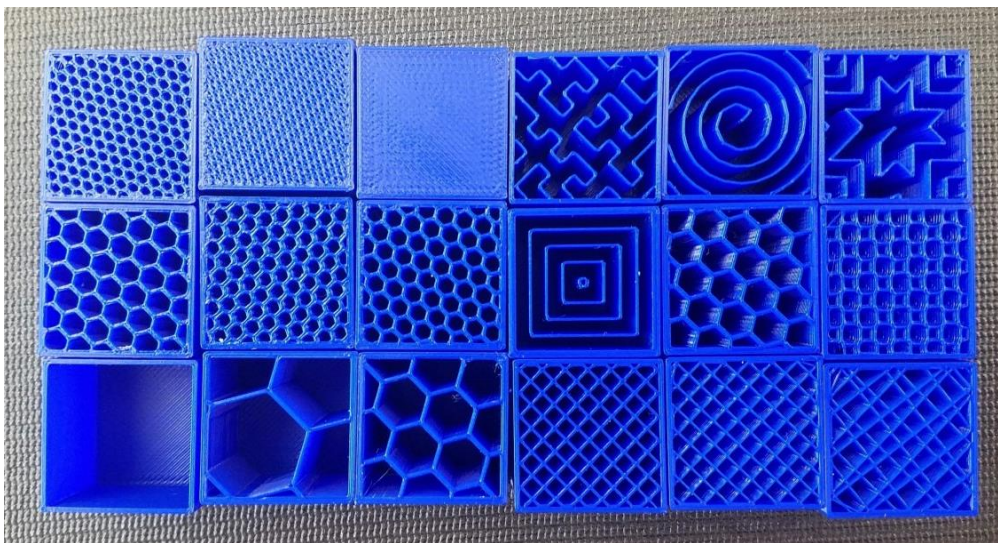
- **Altura de capa inicial:** será un parámetro muy importante, ya que de él depende la correcta adhesión de la impresión a la cama, se suele poner inferior a la del resto de capas, para asegurar dicho pegado.
- **Altura de capa:** Este parámetro definirá en gran parte el aspecto de la pieza. También nos va a indicar la cantidad de material que sale por el extrusor. A menor altura de capa, mayor calidad superficial y mayor



tiempo de impresión, por lo que hay que valorar la condiciones y requerimientos de la pieza.

- **Densidad de relleno:** es un parámetro que indica la cantidad de material que irá en el interior de la pieza, si es del 100%, la pieza estará completamente rellena, si es inferior, habrá huecos en el interior. El patrón que siguen dichos huecos se puede configurar también, pudiendo ser de distintas formas, triangular, hexagonal, cuadrado... En la siguiente imagen se pueden observar diferentes patrones y porcentajes de relleno:

Ilustración 10: Distintas densidades y patrones de relleno.



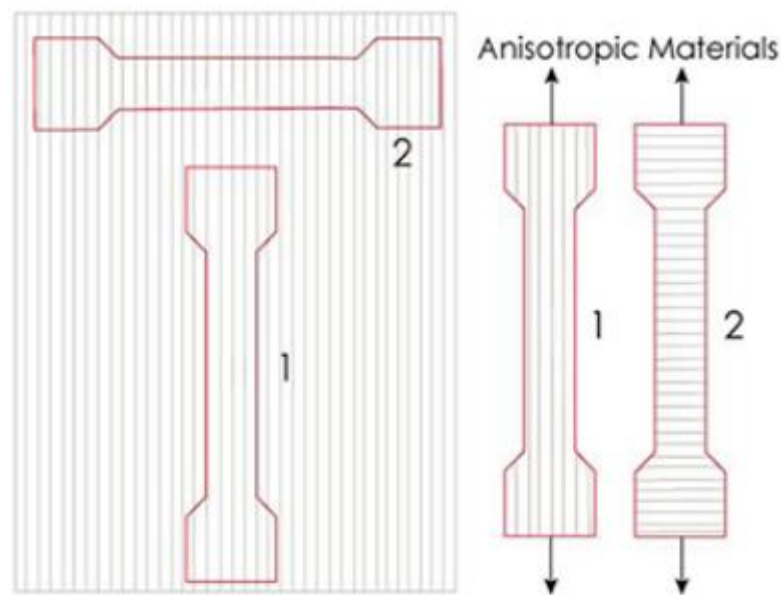
Fuente: Peter, 2019

- **Grosor de pared:** cuando las piezas no cuentan con un relleno del 100%, se debe de elegir dicho parámetro, que indica el espesor de las paredes de la pieza.
- **Soportes:** se suelen utilizar en las zonas de voladizo, y en las paredes que tienen una inclinación menor de entre 45° y 50° . Se puede elegir qué tipo de soportes realiza la máquina, dependiendo de lo que se busque, puesto que a veces estos soportes tienen difícil acceso y se realizan de tal manera que son fáciles de retirar. También está la opción de no realizarlos, arriesgándose a que la pieza aguante, o se caiga y la impresión no sea válida.



Un aspecto a tener muy en cuenta a la hora de fabricar piezas por impresión FFF, es la dirección de la impresión y de los filamentos, puesto que los productos de este tipo de impresión son anisotrópicos, es decir, sus propiedades varían en función de la dirección en la que se estudian. Esto se debe a la dirección del filamento y la adhesión entre capas, ya que la fuerza de unión entre estas no será igual que la que tenga el propio filamento entre sí, por lo que se deberá fabricar las piezas, de tal manera que la mayor parte de los esfuerzos se realicen en la dirección del filamento.

Ilustración 11: Anisotropía probetas impresas en 3D.



Fuente: Filament2Print, 2020

En la ilustración anterior, se observan dos probetas iguales pero impresas de manera diferente, de tal manera que la probeta 1 soportará mayores esfuerzos (en la dirección marcada en la imagen) que la 2, ya que el esfuerzo se realizará en la dirección de los hilos de impresión.

En cuanto a las ventajas que presenta este método frente a otros de impresión 3D existentes, es que los equipos de tecnología FDM tienen un coste bajo comparado con los otros, imprimiendo a velocidades altas comparándolas con otras técnicas, y todo ello con un proceso de impresión muy simple.

Las desventajas que presenta, es que las piezas que se fabrican por FDM tienen unas propiedades mecánicas, acabado y apariencia inferiores al de otras tecnologías, así como una menor precisión dimensional. (Ngo et al., 2018).



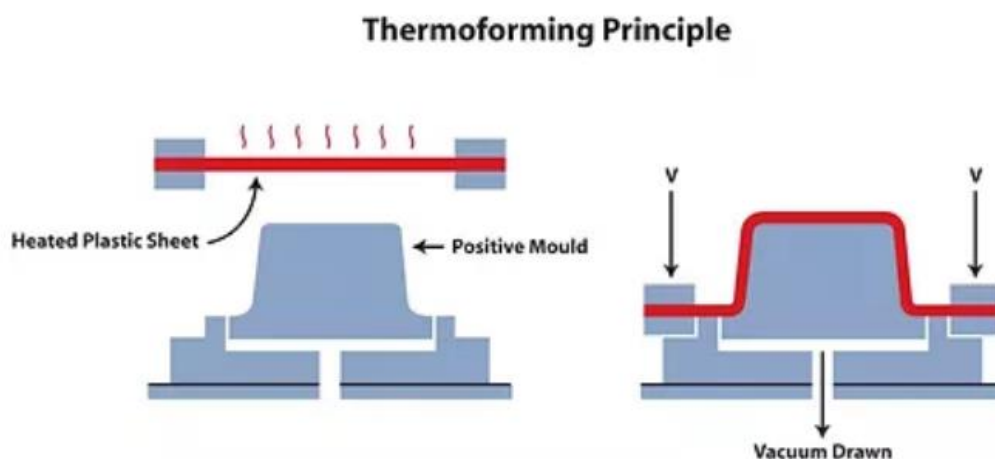
2.5. TERMOCONFORMADO.

Se define al termoconformado como un proceso de transformación el cual consiste en calentar una lámina de plástico, y, una vez esta esté lo suficientemente caliente, aplastarla contra un molde, quedando así dicha lámina con la forma de este. En este proyecto, las láminas utilizadas van a ser de composites, los cuales estarán compuestas por una matriz termoplástica (poliamida, polipropileno...), y fibras de aramida y de carbono.

Por otra parte, los moldes que se usan en este tipo de procesos suelen ser fabricados en madera, escayola, acero... esto dependerá del número de veces que se vaya a utilizar dicho molde. En el caso de nuestro proyecto, los moldes van a ser realizados mediante impresión 3D, tema sobre el cual hablaremos más adelante.

A continuación, se muestra un esquema simple, en el que se observa el funcionamiento básico del termoconformado:

Ilustración 12: Esquema principio de funcionamiento del termoconformado.



Fuente: Eascaure Ibérica, 2020

2.5.1. Fases del termoconformado. (Schwarzmann, 2019)

El proceso de termoconformado, se puede dividir en 5 fases, las cuales se detallan a continuación:

1. Calentamiento del material:

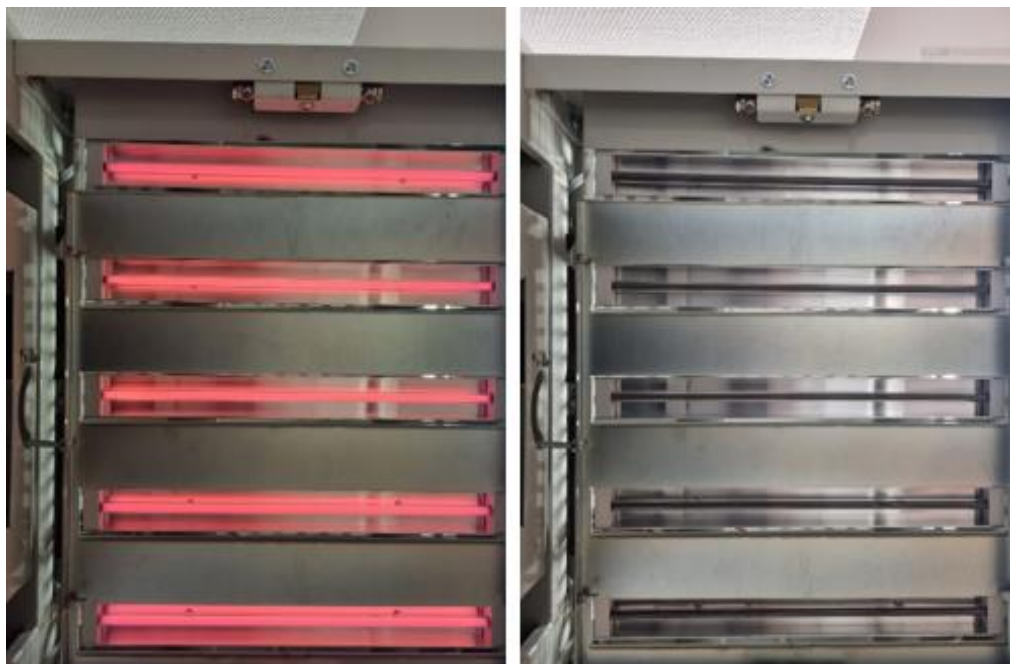
En esta etapa se calienta el material hasta la temperatura a la que debe realizarse el termoconformado. Este proceso, se puede realizar mediante tres tipos distintos de calentadores:



-Calefactores radiantes: este tipo de calentadores se basan en la transferencia de calor mediante radiación infrarroja, la cual es absorbida por el material, teniendo cada uno su propia curva de absorción, que dependerá de las condiciones de este (color, acabado superficial...). Por esta última razón, es necesario conocer muy bien las características del material, para conseguir la temperatura necesaria en función de estas.

Otro parámetro que influye mucho en la transferencia del calor, es la distancia entre el calefactor y el material, la cual habrá que ajustar de manera correcta, para que el material se caliente lo más uniformemente posible.

Ilustración 13: Lámparas radiantes de la termoconformadora empleada.



Fuente: Propia.

-Calentadores de contacto: con este tipo de elementos el calor se transfiere a la pieza a través del contacto entre ambas, es decir, se calienta una superficie a la temperatura deseada, y se pone en contacto con la superficie de la lámina a termoconformar. Este tipo de calentamiento permite un control exacto de la temperatura, impidiendo que la lámina se sobrecaliente, o que no alcance la temperatura deseada.

Una parte negativa con la que cuenta este montaje, es la posibilidad de que el material se adhiera al calentador, ya que algunos de los materiales utilizados en el termoconformado, se adhieren fácilmente a las superficies cuando alcanzan temperaturas elevadas. Por este motivo, hay que aplicar



recubrimientos antiadherentes a los calentadores, y en algunas ocasiones, este recubrimiento se le debe aplicar al material también.

Ilustración 14: Calentadores de contacto de rodillos.



Fuente: Schwarzmann, 2019

-Calentadores de convección: este tipo de máquinas utilizan el calor por convección, normalmente se suele utilizar como preparatorio para precalentar el material, utilizando otro tipo de calentadores para alcanzar la temperatura final, ya que, para obtener una temperatura precisa y uniforme, el tiempo de calentamiento debería de ser más prolongado. Otro uso que se le dan a este tipo de calentadores, es el del secado previo del material a termoconformar.

2. Preformado:

Este proceso consistirá en la realización de un estirado previo del material a termoconformar, el cual se realizará en todos procesos. Con este proceso se produce un alargamiento previo del material, el cual se realizará con el objetivo de tener un espesor lo más uniforme posible del material. En la mayor parte de los procesos de termoconformado, el preformado es la parte que más influencia tiene en el espesor de la pieza final.

En este proyecto, el preestirado se ha realizado mecánicamente, es decir, con el propio contacto entre el molde y material, en el instante antes de hacerse el vacío.

En otro tipo de máquinas, este proceso se realiza de otras formas, como, por ejemplo, mediante la inyección de aire a presión, el cual cree una especie de burbuja con el material.



3. Moldeado.

Es la parte del proceso en la que el material adquiere la forma del molde, que será la forma que tenga la pieza final. Este proceso se puede realizar de varias formas, el más común es mediante la realización de vacío entre la plancha y el molde, es el método que se empleará en este proyecto. Otra forma de realizar este proceso es empleando aire a presión, el cual comprime el material contra el molde, o incluso una mezcla de los dos procesos, es decir que por una parte se realice una compresión, y por la otra el vacío. Algunas máquinas utilizan machos, los cuales ayudan al material a adquirir la correcta forma del molde. (Throne, 2008)

4. Enfriamiento.

Una vez realizado el moldeado, se debe reducir la temperatura del material antes de retirarlo de la máquina, puesto que, si el material se retira a una temperatura elevada, este perderá la forma final. Por ello, la temperatura de enfriamiento es un parámetro importante de este proceso, ya que el correcto resultado de la pieza depende de ella.

Para realizar este proceso, la forma más económica será dejar enfriar la pieza al aire. Este proceso se puede realizar siempre y cuando la pieza no sea susceptible de sufrir oxidaciones o contaminación al permanecer a temperaturas elevadas. Otras formas de proceder en el enfriamiento serán emitir un chorro de aire contra la pieza o emplear una neblina de agua pulverizada que enfríe el aire (en piezas que no sean susceptibles de absorber la humedad).

5. Desmoldeo.

Una vez enfriado el material correctamente, se procede a retirar este de la máquina y del molde.

2.5.2. Tipos de termoconformado:

A continuación, se detallarán los distintos tipos de termoconformado que habrá, que variará en función de cómo sea el molde:

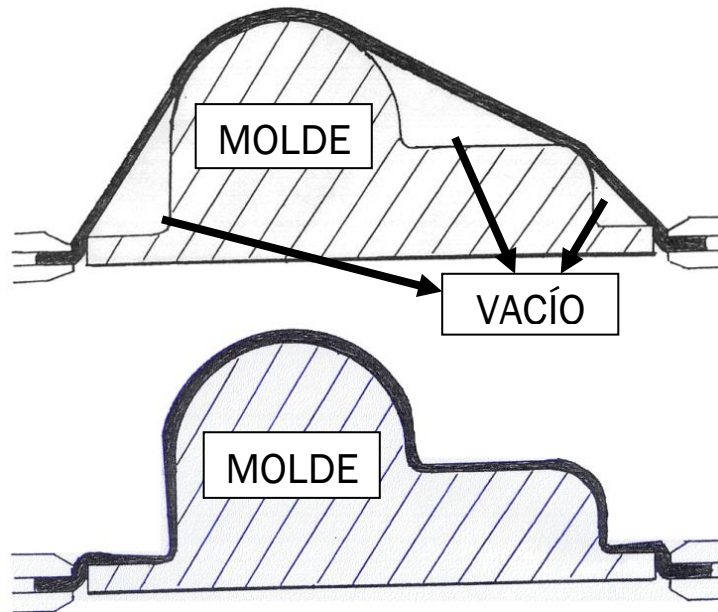
- **Termoconformado positivo:** en este tipo de termoconformado, el molde tendrá la forma externa de la pieza que busquemos. Dentro de este tipo de proceso, existirán varios subtipos, los cuales dependerán de si se



realiza algún tipo de preestiramiento sobre el material previamente o no, también dependerán del modo de realizar el moldeo, es decir, de si emplea vacío, presión...

En la siguiente imagen se mostrará un simple esquema del termoconformado positivo.

Ilustración 15: Termoconformado positivo.

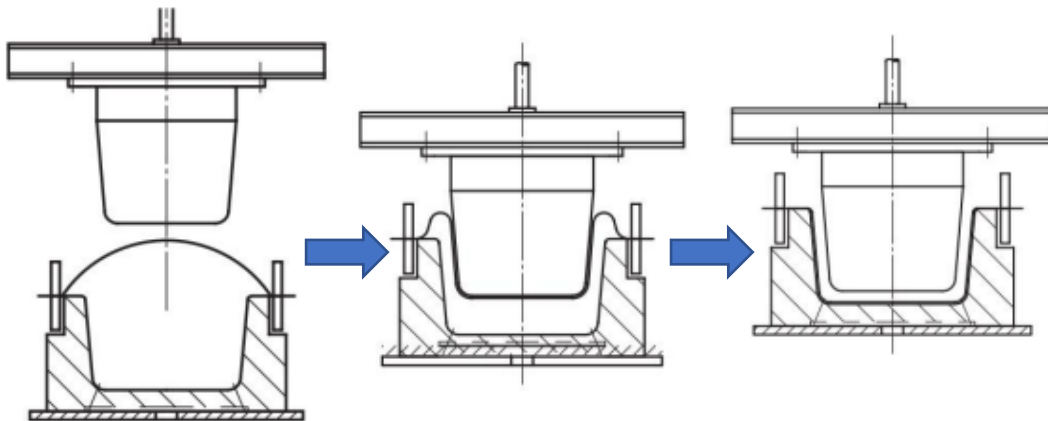


Fuente: Medina, 2014

- **Termoconformado negativo:** en este proceso, el molde tendrá la forma del interior de la pieza final. Al igual que en el positivo, dentro de este tipo habrá varios subtipos, los cuales dependerán de si existe preestirado previo, y de cómo se ha realizado. Estos tipos dependerán también de cómo se haga el moldeo, es decir, de si emplea vacío, presión...

En la siguiente imagen se muestra un esquema del funcionamiento de una termoconformadora negativa, en el cual se observa el uso de un macho, para favorecer la correcta adhesión del material al molde:

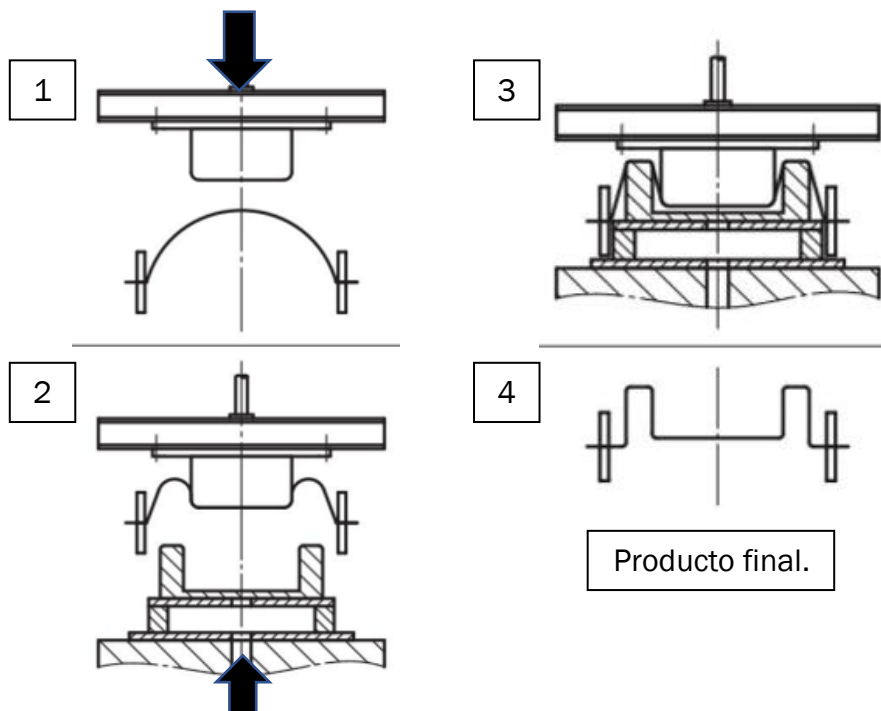
Ilustración 16: Termoconformado negativo con empleo de macho.



Fuente: Schwarzmann, 2019

- **Termoconformado positivo-negativo:** será un tipo de termoconformado, el cual emplee una mezcla de los dos tipos anteriores, ya que tendrá partes que se realicen por un tipo de procedimiento, y otras zonas por otro, todo ello al mismo tiempo, como se muestra en la siguiente imagen:

Ilustración 17: Termoconformado positivo-negativo.



Fuente: Schwarzmann, 2019



2.5.3. Ventajas y desventajas del termoconformado.

Es un proceso de fabricación el cual va a poder brindar un buen ajuste dimensional de la pieza, ya que, si el molde tiene las dimensiones correctas, la pieza final saldrá exactamente con estas, siempre y cuando el proceso se haya realizado correctamente.

En el termoconformado se pueden obtener espesores de pared muy finos, como por ejemplo los que se obtienen en los envoltorios de las pastillas. También otra ventaja importante del termoconformado, es la gran variedad en el tamaño de las piezas a fabricar, ya que el rango puede ir desde envoltorios de pastillas, pilas de botón... cuyas dimensiones son muy pequeñas, hasta piezas de 5 o 6 metros de longitud, como por ejemplo grandes bidones para contener líquidos.

Otro punto fuerte, es que es un proceso adecuado para bastantes tipos de materiales, algunos de ellos son, materiales de espumas (goma Eva) o materiales de fibra, como en este proyecto.

También, los moldes empleados en termoconformado son menos costosos que los que se emplean por ejemplo en el moldeo por inyección, ya que los primeros deberán tener detalles de la pieza solo, por un lado, mientras que los otros deben de tener por todo el contorno.

El termoconformado será un proceso bueno para realizar en tiradas cortas de producción, es decir, cuando se vayan a fabricar pocas piezas, puesto que es más económico que otras tecnologías similares. Sin embargo, un aspecto negativo del termoconformado, será su menor adecuación a realizar producciones largas, puesto que será más costoso que otros procesos, por eso el termoconformado se emplea en grandes producciones cuando se requieren espesores de pared, o cuando se requiere tener una gran tasa de producción. (Schwarzmann, 2019)



3. DESARROLLO DE LA MÁSCARA.

Dentro de este apartado se van a ir describiendo todos los procesos seguidos para realizar las máscaras, desde el diseño previo hasta la fabricación de estas.

3.1. DISEÑO.

En este punto nos centraremos en las distintas etapas por las que el proceso de diseño ha ido avanzando. El diseño de la forma final de la careta, ha sido realizado en base a un estudio de diferentes productos de este tipo existentes en el mercado.

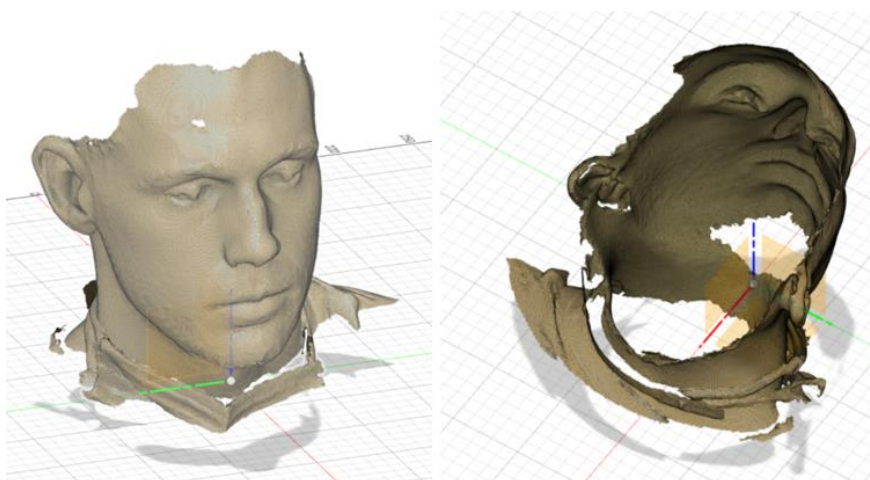
3.1.1. Escaneo del rostro del paciente.

En este proceso, para el escaneo de la cara se ha utilizado un escáner 3D de mano de la marca Shining 3D, concretamente el modelo EinScan Pro. El escaneado se debe realizar teniendo en cuenta muchos aspectos como por ejemplo la iluminación ambiental, una correcta calibración del escáner, o tener en cuenta la forma y el color del objeto a escanear, puesto que todo influye en el resultado final.

En este caso, la mayor problemática a la hora de realizar el escaneo de la cabeza del paciente, se encuentra en el cabello de este, puesto que es una zona compleja y con muchos elementos diferentes (pelos) y que, además, si el paciente es moreno, el escáner será más difícil de realizar correctamente, puesto que las superficies oscuras se procesan peor por el escáner, por lo que en esta ocasión se ha optó por no escanear el cabello, solo el rostro,

La superficie obtenida tras realizar el escaneado será la siguiente:

Ilustración 18: Malla obtenida del escaneo del rostro.



Fuente: Propia.



En la imagen anterior se puede apreciar la malla obtenida al realizar el escaneado. El programa utilizado para visualizar dicha malla ha sido el *Autodesk Fusion 360*, el cual es muy útil para manejar superficies complejas como esta. Se observa también que dicha malla está sin cerrar, tiene agujeros, esto se debe a zonas que no se han escaneado, ya que no son útiles para nuestro producto, estas serán toda la zona del cabello y la parte anterior de la cabeza, así como la zona debajo de la barbilla, que tampoco influirá en el diseño de la careta.

3.1.2. Modificaciones realizadas sobre la malla.

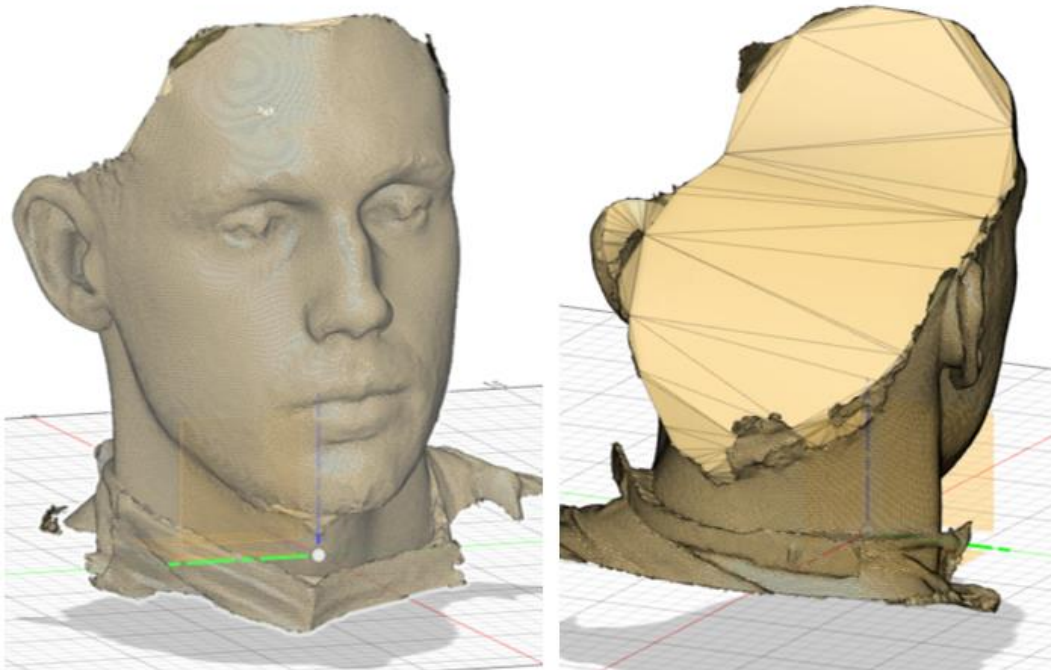
Como se ha podido observar, la malla original debe ser sometida a varias modificaciones antes de empezar el diseño de la máscara.

Estas serán las siguientes:

1. Reparación de la malla:

La primera operación que se debe hacer, es la reparación de la malla, para cerrar los agujeros que esta tenía. Esta operación se realiza con *Fusion 360*, con el parámetro “*Reparar*” dentro de la paleta de mallas. El resultado se muestra a continuación:

Ilustración 19: Resultado de la reparación de la malla de la cabeza.



Fuente: Propia.



2. Generación de la parte de la cabeza que falta:

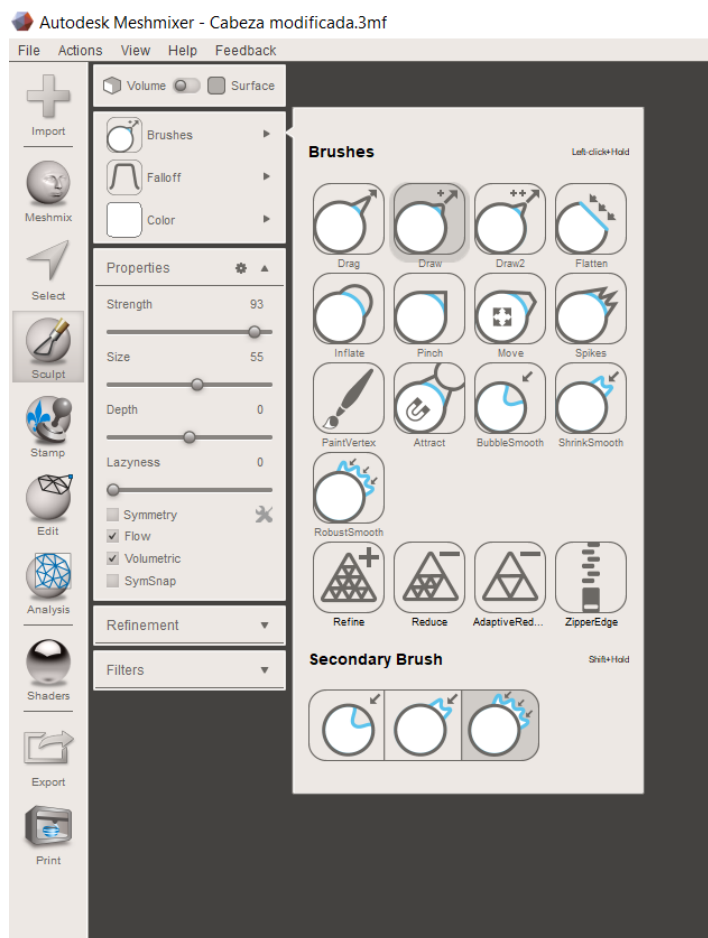
Como se explicó previamente, la parte del cabello no se escaneó, por lo que es necesario crearla manualmente. Como esta zona no va a influir en el diseño de la máscara, se puede realizar manualmente, puesto que no será necesario que reproduzca la forma real de una manera tan precisa como la del rostro.

Será necesario crearle, puesto que, como más adelante se mostrará, dichas superficies van a ser necesarias para la fabricación de distintos utensilios.

Para la creación de dicha forma, se ha utilizado el programa “Autodesk Meshmixer”, que es otro programa dedicado al trabajo con superficies, y que permite realizar otro tipo de operaciones diferentes a las de “Fusion 360”.

Dichas operaciones será la de esculpir, cuyos parámetros se pueden variar para obtener un mejor resultado:

Ilustración 20: Pantalla de la herramienta esculpir.



Fuente: Propia.



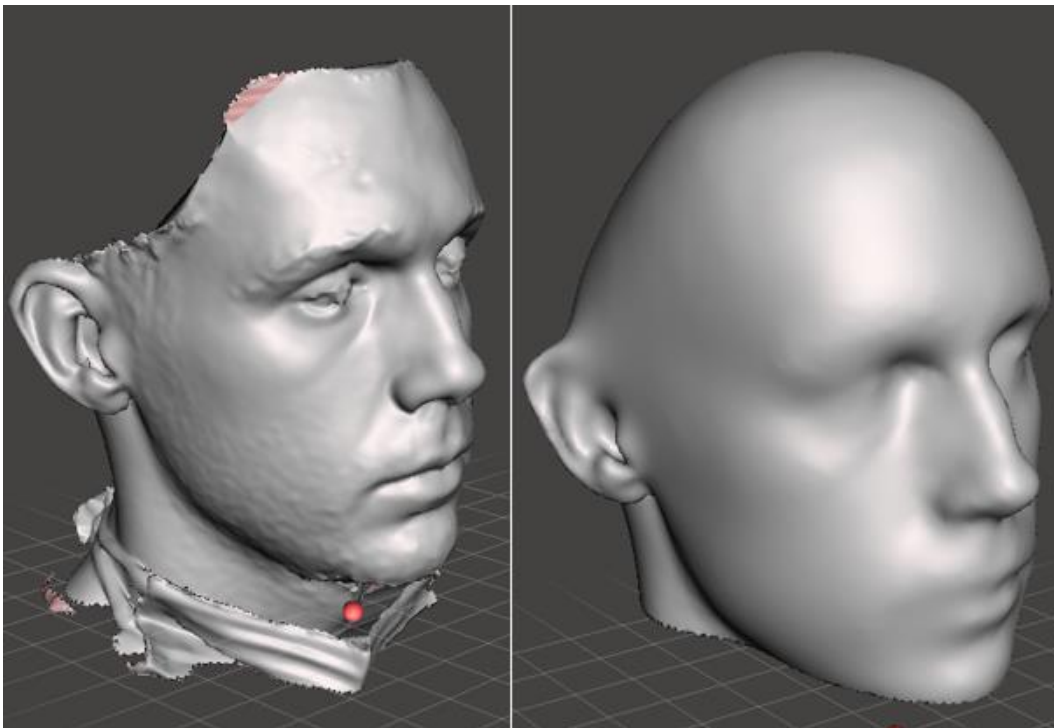
Dicha herramienta lo que hará será estirar la superficie, de tal manera que al pinchar con el cursor se comienzan a estirar las zonas por las que este pase.

Se habrá utilizado dicha herramienta por toda la superficie de la cara, para realizar un suavizado de toda ella, ya que por ejemplo en la zona de las cejas y la barba, la superficie original contaba con una rugosidad indeseada a la hora de realizar la careta, por lo que se han eliminado.

También se ha realizado un corte de la superficie en la zona del cuello, puesto que dicha parte no es necesaria para el diseño de la careta, por lo que se ha cortado por un plano, utilizando la herramienta “Plane cut” del grupo de “Edit”.

A continuación, se muestra una comparativa entre la superficie inicial y la final:

Ilustración 21: Comparación entre la superficie inicial y la final.



Fuente: Propia.

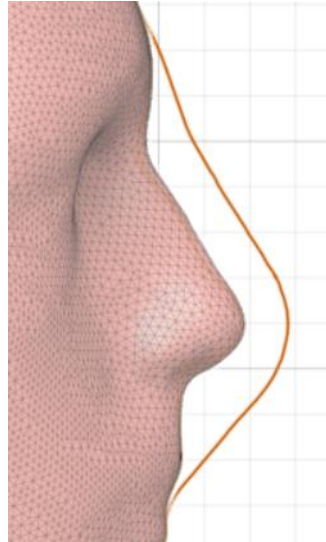
3. Recrecido de la zona de la nariz a proteger:

El siguiente paso a seguir, fue realizar el recrecido de la zona sobre la que debe realizar la protección la máscara, que es la nariz. Dicho recrecido se ha realizado utilizando la misma herramienta que en el paso anterior, la de esculpir. Se ha dado a esa zona un sobre espesor aproximadamente de 1cm.



En la siguiente imagen se observa el contorno del recrecido y la superficie de la cara:

Ilustración 22: Vista de sección del recrecido.



Fuente: Propia.

Por lo que finalmente, el resultado de la superficie tras las modificaciones realizadas es el que se muestra a continuación:

Ilustración 23: Superficie final con la zona de la nariz recrecida.



Fuente: Propia.



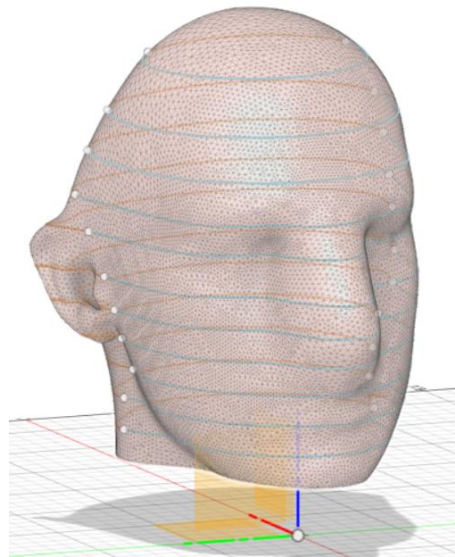
3.1.3. Creación de la careta sobre la malla.

Una vez ya finalizada la malla sobre la que se debe crear la careta, se comenzará con la etapa de diseño de esta, realizándose toda ella con el programa “*Fusion 360*”. Los pasos previos han sido una preparación de la superficie, para ahora facilitar la parte del diseño. El procedimiento seguido a la hora de crear la careta será el siguiente:

1. Creación de una superficie de partida a partir de la malla:

Para crear dicha superficie, se utilizan diferentes “*Bocetos*”, entiendo estos como dibujos realizados en un plano específico dentro del modelo. Para la creación de estos bocetos, se han utilizado planos paralelos entre sí, tomando como referencia el plano XY original del escaneo. Por su parte, para la creación del dibujo de tal manera que sea igual a la sección correspondiente de la malla, se ha utilizado la herramienta de “*Crear boceto de sección de malla*” la cual nos dará la sección exacta. Se han realizado 11 cortes, para tener 11 secciones diferentes de la malla original. Obteniéndose el siguiente resultado, donde los bocetos serán las líneas azules que se observan:

Ilustración 24: Secciones tomadas para crear la superficie de partida.



Fuente: Propia.

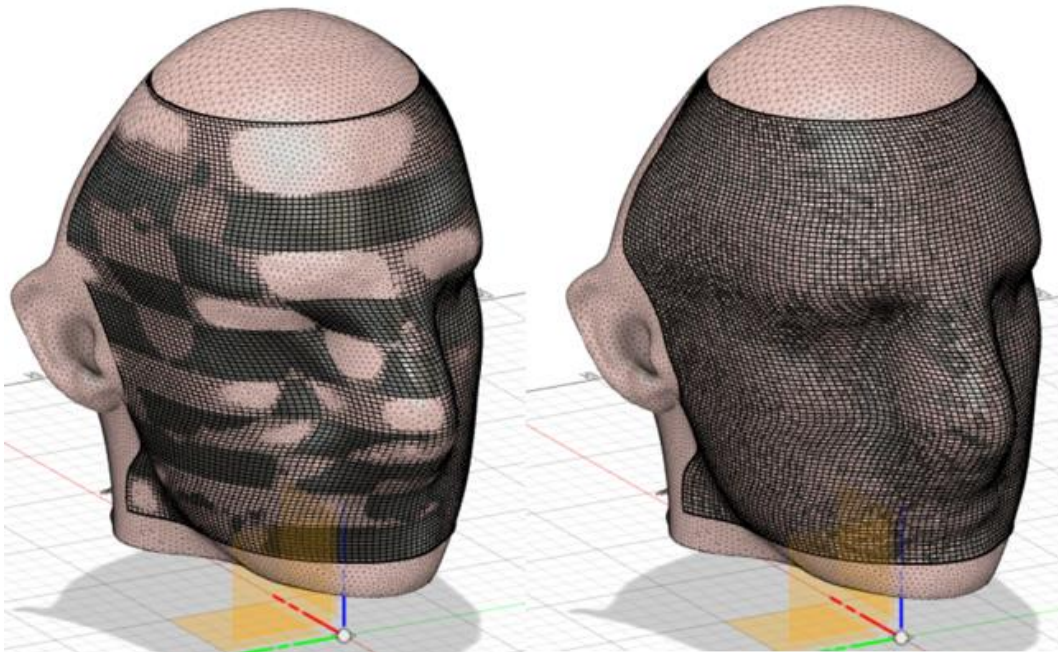
Una vez obtenidos los bocetos, se utilizará la herramienta “*Solevación*” dentro de la paleta de forma. Dicha herramienta va fusionando bocetos creados previamente, creando una superficie que atraviese todos ellos y los contenga en ella. Dicha operación da la opción de crear una malla de gran tamaño, en este caso se escogió una con más de diez mil puntos, de tal manera que se ajuste lo mejor posible a la superficie.



Aun creando tal cantidad de puntos, no se ajusta perfectamente a la malla original, por lo que se debe usar la herramienta “Tirar” la cual llevará todos estos puntos sobre la superficie elegida, en este caso la malla original.

En la siguiente imagen (Ilustración 21) se puede observar claramente el efecto de la operación tirar, puesto que antes de aplicarla, se observan zonas rosas (pertenecientes a la malla original) que sobresalen sobre la superficie negra, que es la superficie que buscamos obtener. Por su parte, en la segunda ilustración, se ve que la superficie se ajusta perfectamente a la malla original, y es la superficie de partida definitiva.

Ilustración 25: Comparativa de la superficie antes y después de realizar la operación tirar.



Fuente: Propia.

2. Creación del sobre espesor necesario para introducir goma EVA protectora:

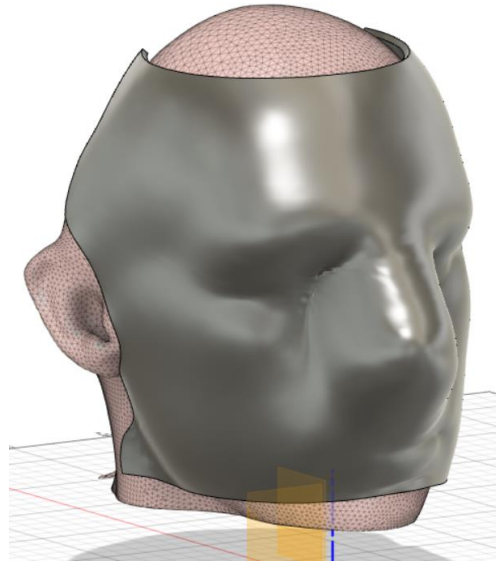
Una vez obtenida la superficie original, se la dará un sobre espesor con respecto a la malla original, de tal manera que la separación entre una y otra sea de 3mm en todos los puntos, ya que es el espesor de la goma EVA que se va a emplear. También se dará un espesor a la superficie de 3 mm, que será el espesor final que tendrá la máscara, ya que con este grosor se conseguirá la resistencia necesaria a los impactos recibidos.

También se deberá convertir dicha superficie en un sólido, sobre el que se podrán realizar las siguientes operaciones para dar forma a la careta.



El aspecto que tendrá el cuerpo después de realizar esta operación será el siguiente:

Ilustración 26: Cuerpo sobre el que se creará la máscara.



Fuente: Propia.

3. Recorte de la forma de la careta:

Una vez obtenido el sólido sobre el que poder realizar operaciones, se va a proceder a crear los bocetos necesarios para realizar dichas operaciones. Estas serán el recorte de los laterales y de los ojos de la careta.

Lo primero que hay que hacer para dar la forma deseada a la careta, es crear los bocetos que se van a utilizar para realizar los diferentes cortes en el sólido existente. Dichos bocetos se crearán en un plano intermedio de la pieza, y luego el corte se hará simétrico, de tal manera que quedará igual a ambos lados.

Por otra parte, para cortar la parte por debajo de la nariz, se utiliza un boceto que se situará en un plano creado con una inclinación de 30° con la vertical, de tal manera que, al realizar el corte, la máscara quede con una forma que se adapte mejor a la cara y permita un mejor apoyo de la máscara sobre los pómulos, puesto que, si se da un corte en horizontal, la protección no apoyaría lo suficiente sobre la zona de los pómulos, y su protección se vería reducida, incluso llegando a ser peligroso para el paciente.

En cuanto al recorte de los orificios de los ojos, lo primero de todo se ha debido de crear un plano de simetría de estos, para así solo tener que realizar un boceto y un corte, haciendo después la simetría de dicha operación respecto



de ese plano. A continuación, se ha creado otro plano, donde se realizará el boceto con la forma del agujero del ojo. Dicho plano tendrá una inclinación de 15° que será aproximadamente el ángulo que se formaría entre un plano paralelo a la cara y un eje que vaya desde el punto interior del ojo (lagrimal), hasta el punto más exterior de este (comisura). Una vez creados dichos planos, se crea el boceto, el cual imitará la forma de los cristales de una gafa, siendo un poco esta forma un poco más grande, para evitar que el paciente reduzca su visión al llevar la máscara.

Para realizar dichas operaciones se ha empleado la herramienta de extruir, seleccionando la operación de “Cortar” y después eligiendo el boceto deseado. Se ha realizado una operación para cada corte.

La forma de la máscara hasta este punto será la siguiente:

Ilustración 27: Máscara con la forma sin redondeos.



Fuente: Propia.

4. Redondeos y remates finales:

Por último, se realizará a la máscara 4 ranuras, cuya función será introducir las gomas de sujeción de esta. La forma de actuar para realizar dichos cortes, será la misma que en los procedimientos anteriores, creación de un boceto con la forma de esta, y después realizar una simetría, para que quede a ambos lados igual.

Por otra parte, en esta etapa final del diseño, se eliminarán las aristas vivas del diseño, las cuales al ser redondeadas darán un diseño más estético, y se reducirán los riesgos de lesiones con ellas.

El resultado final de la máscara será el siguiente:

Ilustración 28: Diferentes perspectivas de la forma final de la máscara.



Fuente: Propia.



3.2. IMPRESIÓN 3D DE LAS MÁSCARAS.

En dicho punto, se analizará todo el proceso seguido a la hora de fabricar las máscaras, así como los materiales empleados, y el equipo empleado.

3.2.1. Impresora empleada.

La impresora 3D que se ha empleado para la fabricación de las caretas será la Ultimaker 3, de la empresa Ultimaker.

Dicha impresora empleará la tecnología FDM, y sus características más importantes serán las siguientes:

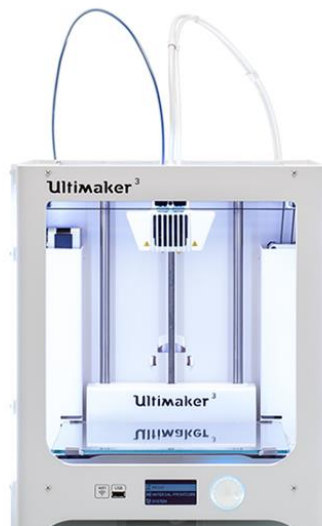
Tabla 1: Características impresora Ultimaker 3.

Volumen de impresión.	215mm X 215mm X 200mm
Diámetro de filamento.	2.85mm
Diámetro de la boquilla.	0.25mm / 0.4mm / 0.8mm
Velocidad de impresión.	30-300mm/s

Fuente: Ultimaker, 2022

El movimiento que realizará esta impresora a la hora de imprimir, consistirá en mover el extrusor en los plano XY, dibujando las diferentes secciones de la pieza a imprimir, y cuando haya finalizado la sección, la cama se desplazará en el eje Z, hasta haber realizado todas las secciones.

Ilustración 29: Impresora 3D empleada.



Fuente: Ultimaker, 2022



3.2.2. Materiales empleados.

Los materiales empleados para dichas máscaras serán 3 diferentes y serán los siguientes:

-PLA:

PLA es el nombre que recibe el ácido poliláctico, el cual es un polímero termoplástico obtenido de la fermentación de elementos naturales, como son el almidón maíz o la caña de azúcar. Esto implica que sea un producto biodegradable bajo ciertas condiciones ambientales.

En cuanto a sus características, es un material resistente pero bastante frágil, que no resiste altas temperaturas, puesto que su temperatura de transición vítrea (T_g) suele tener un valor en torno a los 65°C , por lo que a partir de dicha temperatura el material se reblandecerá y perderá su rigidez. (Bates-Green & Howie, 2017)

La impresión con este material es muy sencilla, puesto que no necesita temperaturas elevadas de impresión, y no hacen falta ambientes controlados. También es un material barato, por lo que es el material más empleado a la hora de realizar prototipados rápidos en las distintas etapas de diseño. Las piezas definitivas no se suelen imprimir en este material, puesto que sus propiedades mecánicas no son muy buenas.

En el caso de este proyecto, se va a realizar la primera máscara en PLA, para ver primero la correcta funcionalidad y adaptabilidad a la cara de esta, y más tarde se ensayará también, para ver la capacidad que tendría este material de resistir los impactos, y ver si sería funcional un modelo fabricado en este.

La ficha técnica del PLA se adjuntará en el Anexo I: Ficha técnica PLA.

-PCTG:

El PCTG será un filamento de impresión 3D, el cual será un derivado del PETG. Es un material que tiene una gran resistencia a los impactos, que es una de las características que buscamos para nuestra aplicación. Por otra parte, también tendrá una resistencia a la temperatura superior a la del PLA, aunque para nuestro producto dicho valor no sea muy interesante.

Este material también tendrá buena resistencia química y a la radiación ultravioleta, por lo que se podrá exponer a la luz del sol. Dichas características son importantes, ya que las máscaras se usarán tanto en exteriores como en interiores, y además al estar en contacto con la piel mientras se hace deporte, entrará en contacto con el sudor, lo cual lo resistirá perfectamente. (Fiberlogy, 2022b)



Dicho material tampoco será complicado de imprimir, puesto que tiene muy poca contracción, y no necesita de cámara caliente, por lo que se puede imprimir en la gran mayoría de impresoras.

La ficha técnica del PCTG se adjuntará en el Anexo II: Ficha técnica PCTG.

-PP:

El polipropileno es un polímero que tiene gran cabida en el mundo industrial, ya que, se emplea en un gran abanico de industrias, como por ejemplo en medicina o en la industria del embalaje, teniendo unos usos tan variados y diferentes como pueden ser el empleo de este material para la fabricación de ortesis del cuerpo humano, o su uso para fabricar tuberías.

Sus mejores cualidades son su gran flexibilidad, su baja densidad; lo que le convierte en un material muy ligero, su resistencia a los productos químicos y a la radiación ultravioleta, cualidades por las que los productos fabricados en polipropileno son muy duraderos.

Es un material que, aunque sus propiedades mecánicas no sean a priori mejores que las de los otros dos materiales elegidos, puede resultar muy interesante fabricar las caretas en él, ya que nos va a brindar una gran durabilidad de esta. (Fiberlogy, 2022a)

Por otra parte, la impresión de piezas utilizando el filamento de polipropileno, será más compleja que la de los materiales anteriores, ya que es un filamento que al enfriarse puede sufrir contracciones que produzcan fenómenos no deseados en la impresión, como el *warping*, que implica que la pieza se desprege en las esquinas de la cama, dando a la impresión un mal acabado dimensional. Para evitar este fenómeno, se suelen emplear impresoras que cuentan con una cámara de impresión cerrada, para que el enfriamiento del material no sea tan brusco, y además, se debe de emplear pegamento o laca, con la finalidad de que la pieza quede bien adherida a la cama de impresión.

La ficha técnica del PP se adjuntará en el Anexo III: Ficha técnica PP.

3.2.3. Proceso de impresión y resultado final.

Para el proceso de impresión se habrán empleado para cada material unos parámetros específicos, puesto que cada uno tiene unos requerimientos específicos, sobre todo en el caso del polipropileno, como se ha mencionado anteriormente.

Un parámetro importante en la impresión 3D, como es el relleno del material en la pieza, será en todas las máscaras del 100%, puesto que al tener un



espesor de 3mm, todas las capas realizadas, serán consideradas como capas de pared.

Parámetros más importantes empleados en las impresiones:

Tabla 2: Parámetros de impresión empleados.

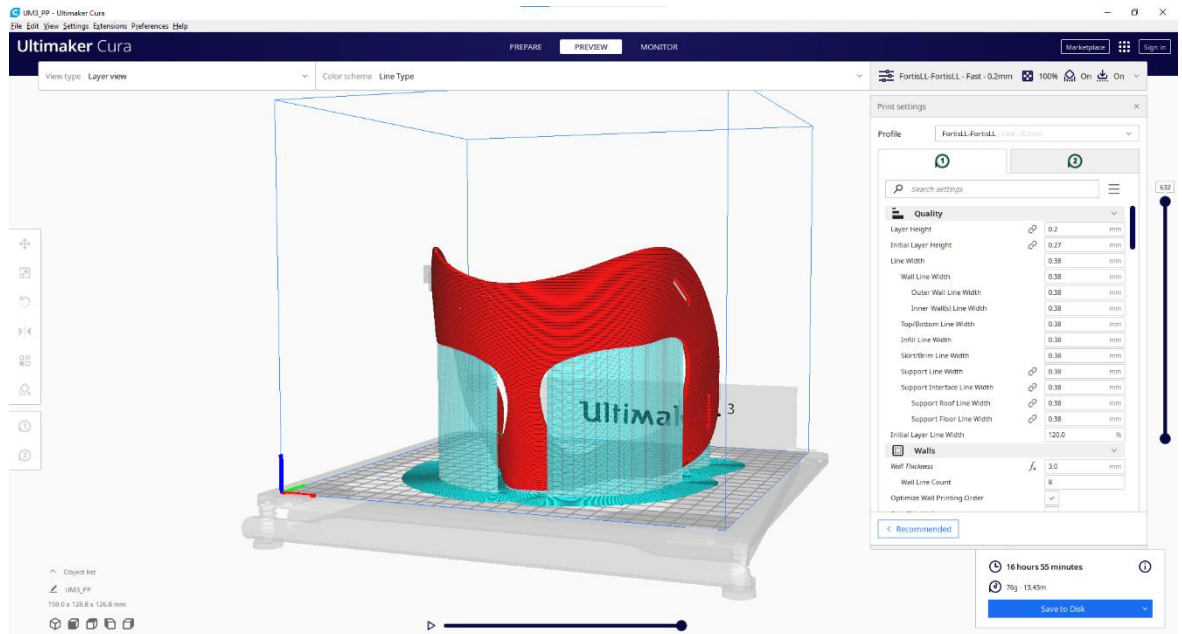
Material:	PLA	PP	PCTG
Altura de capa:	0.2mm	0.2mm	0.2mm
Altura de capa inicial:	0.2mm	0.27mm	0.3mm
Anchura de línea:	0.4mm	0.38mm	0.4mm
Temperatura de impresión:	215°C	260°C	260°C
Temperatura de cama:	70°C	100°C	70°C
Velocidad de impresión:	50mm/s	30mm/s	45mm/s
Anchura de brim: (brim se llama al material que se imprime a mayores en la primera capa, para asegurar que la impresión no se despegue de la cama)	8mm	20mm	8mm
Soportes:	Normales, en zigzag, con densidad de relleno del 15% y en todos los lados menos en los agujeros para las gomas de sujeción.		

Fuente: Propia.

A continuación, se muestra una captura de pantalla del programa con el que se controla la impresión, *Ultimaker Cura*, esta se corresponde con la impresión del PCTG, el resto de las máscaras serán iguales, solo que se cambiarán algunos parámetros, de los enumerados anteriormente:



Ilustración 30: Programa Ultimaker Cura con la máscara para imprimir.



Fuente: Propia.

Una vez realizadas las impresiones, los resultados obtenidos serán los siguientes:

- Máscara de **PLA**:

Ilustración 31: Máscara fabricada en PLA.



Fuente: Propia.



- **Máscara de PCTG:**

Ilustración 32: Máscara fabricada en PCTG.



Fuente: Propia.

- **Máscara de PP:**

Ilustración 33: Máscara fabricada en PP.



Fuente: Propia.

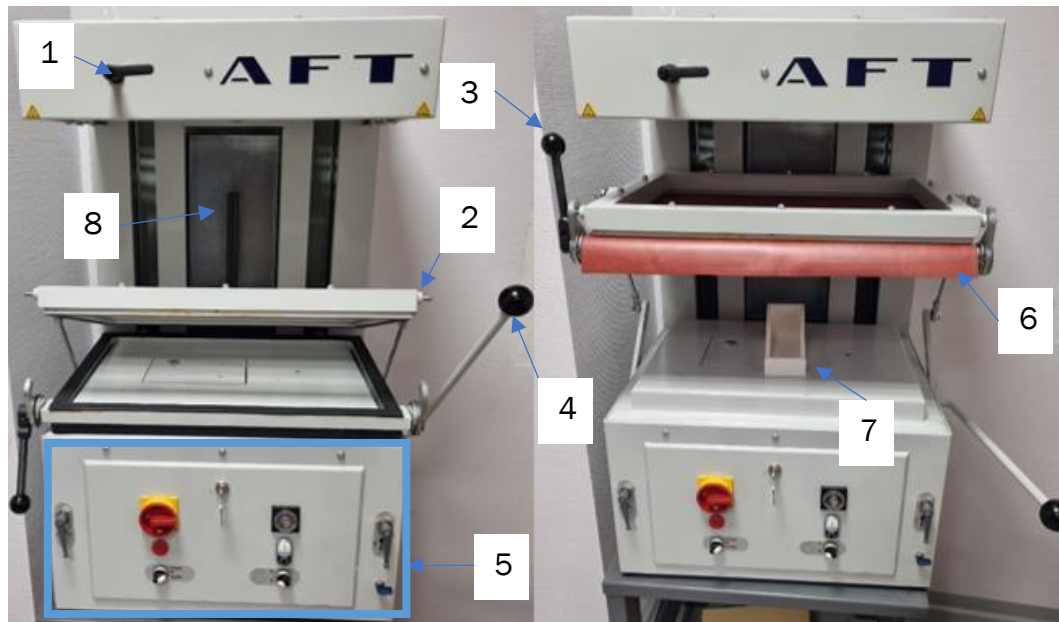
3.3. TERMOCONFORMADO DE LAS MÁSCARAS.

A continuación, se explicará todo lo relacionado con el proceso de fabricación de las máscaras mediante termoconformado, es decir, equipos empleados, materiales, el procedimiento seguido, y los problemas que han surgido, con sus soluciones correspondientes.

3.3.1. Máquina utilizada.

La termoconformadora empleada será de la marca alemana, AFT, el modelo Vacutec. Las dimensiones del marco, y de la plancha de material que se puede utilizar será de 600mmX450mm. A continuación, se muestran dos imágenes de la máquina:

Ilustración 34: Máquina empleada.



Fuente: Propia.

Los números se corresponderán con las siguientes partes:

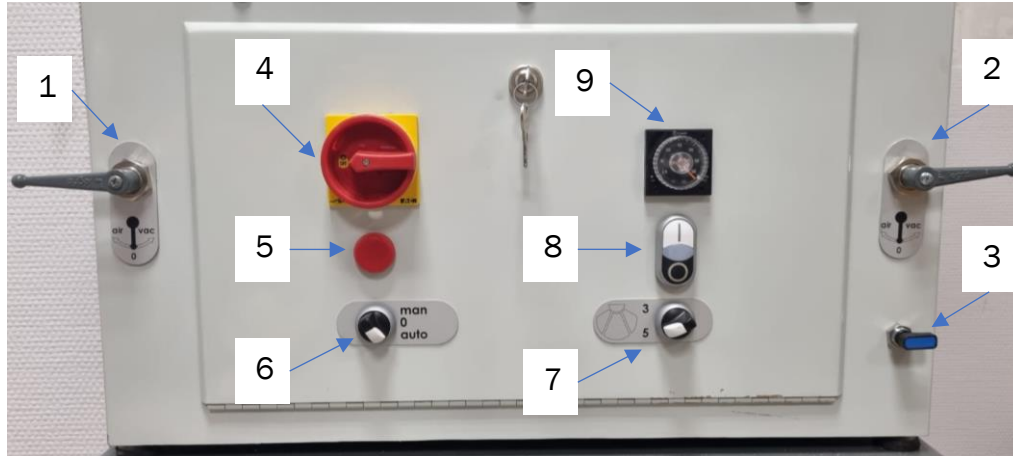
- 1- Palanca de apertura y cierre de la puerta de las lámparas infrarrojas.
- 2- Marco de sujeción del material a termoconformar.
- 3- Palanca de cierre del marco.
- 4- Palanca de control de la altura del marco.
- 5- Cuadro de control de la máquina. (Detallado en la "Ilustración 26")
- 6- Plancha de material a termoconformar o de silicona empleada para hacer el vacío.
- 7- Lugar de colocación del molde, y molde.



- 8- Plataforma para calentar planchas de pequeñas dimensiones, las cuales no se puedan sujetar en el marco grande.

A continuación, se detallarán los diferentes controles con los que cuenta la máquina:

Ilustración 35: Detalle del cuadro de control de la termoconformadora.



Fuente: Propia.

Estos controles serán los siguientes:

- 1- Llave de control, la cual será una válvula de tres vías. En la posición VAC se hará el vacío. En la posición AIR, se abre la válvula y deja entrar el aire, se utiliza para retirar la pieza termoconformada, y en la posición O no hace nada.
- 2- Otra llave de control, pero en este caso es para las salidas externas con las que cuenta la máquina. Cuenta con las mismas posiciones que la otra válvula.
- 3- La llave 3, se emplea en el caso de que se conecte un compresor a la máquina, el cual proporcionará aire que se utilizará para enfriar la pieza más rápidamente. Con esta llave se abrirá y se cerrará dicho flujo de aire.
- 4- Interruptor para encender la máquina.
- 5- Luz que marca que la máquina está encendida.
- 6- Control de la bomba de vacío. Tendrá tres posiciones, una manual, en la cual se hace el vacío hasta que la máquina ya no puede succionar más, otra posición automática, en la cual la máquina empieza a succionar ella sola al accionar un final de carrera cuando se baja la plataforma y dejará de hacer el vacío a la presión determinada en el

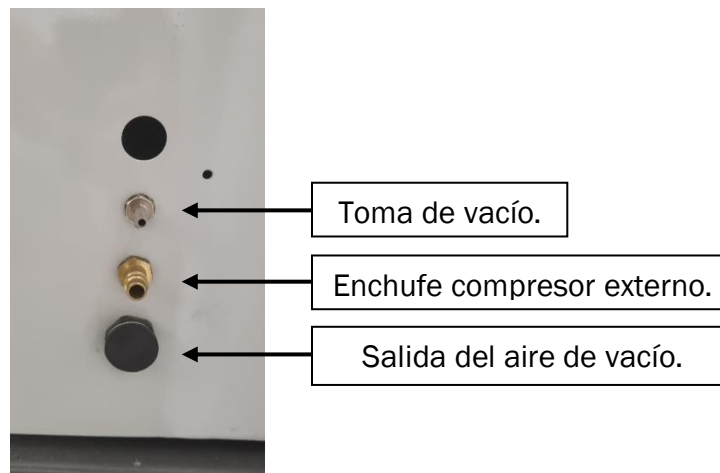


presostato de la bomba. Y luego la posición 0, en la que la bomba estará parada.

- 7- Interruptor para controlar el número de lámparas que se encienden, se puede elegir encender tres o cinco lámparas.
- 8- Interruptor de encendido y apagado de las lámparas.
- 9- Reloj controlador del tiempo que están encendidas las lámparas.

Las entradas exteriores con las que cuenta la máquina, se encuentran en un lateral de esta y se muestran a continuación:

Ilustración 36: Tomas exteriores de la termoconformadora.



Fuente: Propia.

En cuanto al funcionamiento de la máquina, el calentamiento se realizará mediante lámparas infrarrojas, situadas en la parte superior de la máquina. Estas lámparas tendrán también una tapa metálica, la cual al cerrarse (usando la palanca mencionada anteriormente) accionará un final de carrera y se apagarán las lámparas. Esto sirve para evitar que estas se accionen con la tapa cerrada.

Por otra parte, el vacío se hará gracias a una bomba de vacío de la marca alemana Becker, la cual se podrá accionar manualmente o automáticamente, gracias a otro final de carrera, el cual se acciona al bajar la plataforma. La bomba dejará de hacer el vacío a una presión determinada, que se podrá regular gracias a dos presostatos con los que cuenta la máquina.

Para realizar el vacío, si la plancha de material a termoconformar es más pequeña que el marco de sujeción, se utilizarán unas planchas de silicona las cuales son muy elásticas y resisten altas temperaturas, lo cual es necesario



para estos procesos de termoconformado, ya que, en este caso, los materiales a termoconformar deben de ser calentados hasta unos 200°C.

3.3.2. Materiales empleados.

Los materiales que se han empleado en esta parte del proyecto, serán planchas de materiales compuestos por una fibra y una matriz termoplástica, consiguiéndose así, que, al unir ambos componentes en un mismo material, dicho producto resultante disponga de unas propiedades mejores que las que podría tener cada componente de forma individual.

Dichos materiales habrán sido suministrados por la empresa, *The Care Walker Company*, siendo estos productos fabricados por la empresa alemana *Exact Plastics GMBH*.

La función de cada parte del material, es decir de las fibras y de la matriz, será diferente, por su parte, las fibras serán responsables de la resistencia del componente y, entonces, determinarán principalmente las propiedades de la pieza acabada. Las fibras con las que están formadas los materiales empleados en este proyecto serán aramida y de carbono. (Exact Plastics GmbH, 2022)

En cuanto a la matriz, su cometido será el de fijar las fibras de refuerzo, transmitir y distribuir fuerzas y tensiones entre ellas, protegiéndolas también de influencias mecánicas, térmicas y químicas externas (influencias ambientales, resistencia a productos químicos). También decide sobre la posible conformación térmica, la resistencia al calor y la reciclabilidad, por lo que es la que marca como debe de ser procesado el material. En los materiales empleados, la matriz será de poliamida.

Los puntos fuertes de este tipo de materiales serán:

- Tienen una densidad baja, y buenas propiedades mecánicas, por lo que los productos obtenidos serán ligeros y resistentes.
- Materiales aptos para aplicaciones sanitarias, que impliquen el contacto de estos con el cuerpo humano, ya que tienen buena resistencia química, lo que les hace resistentes al contacto de fluidos corporales como el sudor.

Un inconveniente de dichos materiales, será su anisotropía, es decir, que sus propiedades variarán en función de la dirección en la que se ensayen. También variarán en función de la construcción de las fibras que se emplee. Esta anisotropía, se puede reducir considerablemente, gracias a la adición de varias capas de material, las cuales tengan una orientación diferente de las fibras,



pudiéndose variar también otros parámetros como la relación entre volumen de fibra y el de la matriz. Este parámetro será importante, ya que cuanto mayor sea la fracción de volumen de fibra, más fuerte será el material, pero también más rígido y quebradizo.

Las fibras empleadas en los materiales compuestos que se usan para la fabricación de las caretas serán las siguientes:

- **Aramida:** también llamada poliamida aromatisada. Será un polímero orgánico, cuyos filamentos serán de color amarillo, y tendrán una alta resistencia, tanto mecánica, como térmica, por lo que entrará dentro de los materiales de alto rendimiento, y todo ello con una densidad muy baja. Por ello, dichas fibras se emplean en tejidos tales como, ropa de protección en trabajo y deportes, fabricación de chalecos antibalas, las cuales serán muy ligeras, y también en otra gran variedad de utilidades, como en la industria armamentística o aeronáutica. (Reglero Ruiz et al., 2017)
- **Fibra de carbono:** dichas fibras se producirán a partir de materias primas ricas en carbono, siendo la más empleada el poliacrilonitrilo (PAN). Dichos filamentos serán de color negro, teniendo una alta resistencia a la tracción y a la flexión, teniendo también un muy buen comportamiento a temperaturas elevadas. Tendrá una densidad algo mayor que la aramida, por lo que las piezas no serán tan ligeras. Sus usos son muy variados, y están más extendidos que la aramida. Es muy empleado en la industria automovilística y aeronáutica, y cada vez se emplea más en artículos de consumo, como raquetas de frontenis, relojes, ordenadores, cañas de pesca... (Morgan, 2005)

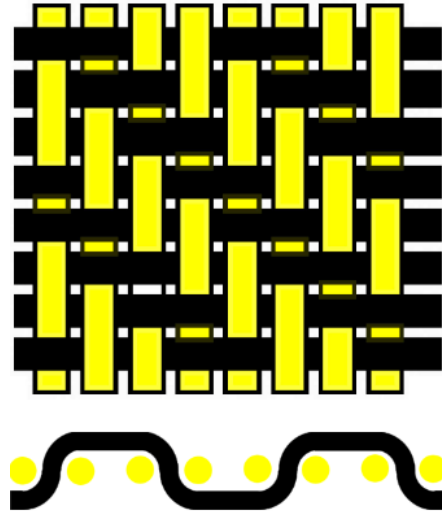
Entonces, los materiales elegidos para este proyecto, se muestran a continuación, empleando la codificación que usa el fabricante:

- **EASYPREG A1-AC205K-53:** dicho material estará formado por fibras de aramida y de carbono, las cuales se irán entrelazando unas con otras siguiendo la construcción normalizada Twill 2/2 (la cual se muestra en la Ilustración 37). La matriz por su parte, estará compuesta de poliamida, y tendrá un punto de fusión de unos 175°C. Las planchas tendrán un espesor de 0.3mm. La ficha técnica de este material se adjuntará en el *Anexo IV: Fichas técnicas materiales empleados en el termoconformado*.
- **EASYPREG A1-C245K-56:** este material estará formado por fibras de carbono y al igual que en el anterior, la matriz será de poliamida. Las fibras estarán trenzadas también siguiendo el patrón Twill 2/2 (Ilustración 37), y las planchas tendrán un espesor de 0.3mm. La ficha



técnica de dicho material, se adjuntará en el *Anexo IV: Fichas técnicas materiales empleados en el termoconformado*.

Ilustración 37: Patrón de tejido Twill 2/2.



Fuente: Exact Plastics GmbH, 2022

Otros materiales que se han empleado durante la fabricación de las máscaras, pero que no forman parte de estas, serán los siguientes:

- **Planchas de silicona roja y transparentes:** son una parte fundamental de este proyecto, ya que su elevada resistencia a la temperatura es la que permite procesar correctamente el resto de materiales. Dichas planchas serán suministradas también por *Exact Plastics*, y su ficha técnica se adjunta en el *Anexo IV: Fichas técnicas materiales empleados en el termoconformado*.
- ***Exact-Film 210*:** dicho material será la película antiadherente empleada para que el material no se quedase adherido a las superficies con las que entre en contacto. Por otra parte, al procesarlo junto a los materiales de la careta, el uso de esta película, proporciona al producto final un acabado brillante más estético. La ficha técnica se adjuntará en el *Anexo IV: Fichas técnicas materiales empleados en el termoconformado*.
- ***EASYPREG BLEEDER FLEECE X10*:** este material será el empleado para favorecer la correcta realización del vacío al termoconformar. Su uso será imprescindible, puesto que se han realizado pruebas sin emplear dicho material, y los resultados no son óptimos, debido a que dicho vacío no se realiza correctamente. La ficha técnica de este material, se



adjuntará también en el *Anexo IV: Fichas técnicas materiales empleados en el termoconformado*.

- **Materiales empleados en la realización de los moldes:** estos materiales serán primero el TPU Hardness+ y el Nylstrong, sus fichas técnicas se podrán ver en el *Anexo IV: Fichas técnicas materiales empleados en el termoconformado*.

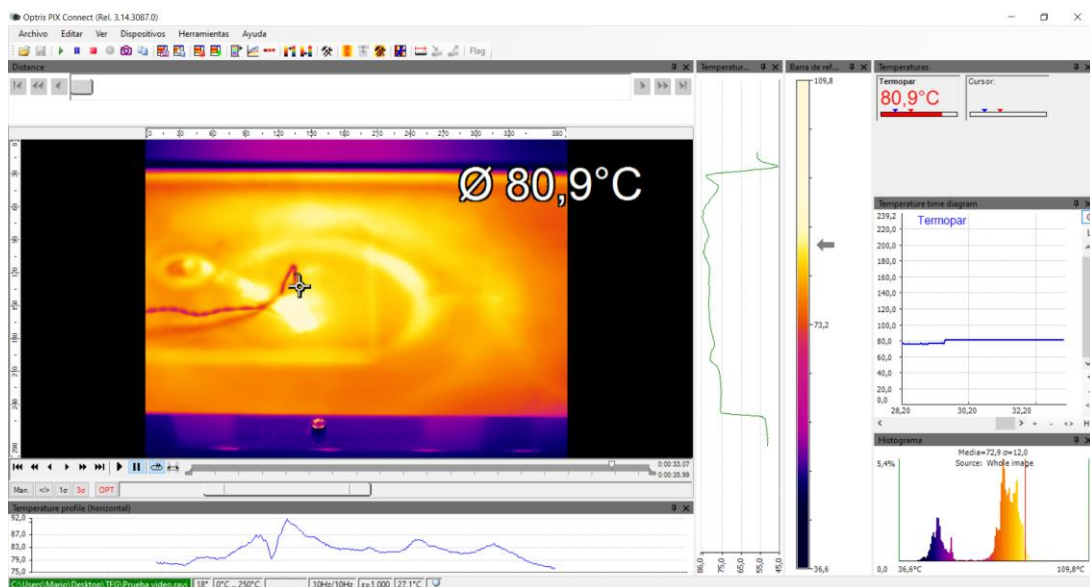
3.3.3. Procedimiento seguido y problemas encontrados.

3.3.3.1. Medida de la temperatura.

El primer paso antes de comenzar a termoconformar, es realizar un control preciso de la temperatura, para ello, se ha utilizado una cámara termográfica, un termómetro infrarrojo y un termopar, de tal modo que con el termopar se ha comprobado que las medidas de las otras dos herramientas son fieles a las que hay realmente.

La cámara termográfica empleada será de la marca Optrix, el modelo Xi 80/400, y con las imágenes que esta nos proporciona, se puede ver la uniformidad con la que se produce el calentamiento de la plancha a termoconformar. A continuación, se muestra una de las imágenes tomadas, con el software que emplea la cámara, Optrix PIX Connect:

Ilustración 38: Captura del programa de la cámara termográfica.



Fuente: Propia.



En ella se puede observar en la parte central, la imagen que proporciona la cámara, siendo la parte anaranjada, la plancha del material a termoconformar, y la parte más azulada, es el marco de la máquina, la cual estará más fría. En medio de la plancha, se ve una línea de color azulado, que se corresponde con el cable del termopar.

La ventaja de trabajar con este tipo de cámaras, es que se puede saber la temperatura que tiene cada punto, tan solo con pasar el cursor por encima de la imagen, pudiéndose crear diferentes puntos, los cuales se pueden situar en el lugar deseado, y medir siempre la temperatura en dichos puntos.

La problemática de esta herramienta, es que es más complejo de medir correctamente la temperatura, y, además, dichos instrumentos son muy delicados, por lo que se han buscado otras herramientas más sencillas, las cuales no nos proporcionarán tantos valores de temperatura diferentes, pero si nos proporcionarán rapidez y sencillez en la medición.

El termómetro infrarrojo empleado será de la marca FLIR, el modelo TG54, el cual será el que se emplea finalmente durante el proceso, ya que las medidas son muy rápidas y fiables, lo cual se ha comprobado previamente con el termopar.

3.3.3.2. Diseño y fabricación del primer molde empleado.

El siguiente paso seguido, ha sido el diseño del molde, y su fabricación, empleando impresión 3D, lo cual facilitará su fabricación, y nos permitirá que el molde se ajuste exactamente a la forma requerida.

Para la fabricación del molde, se habrá empleado el modelo mostrado en la Ilustración 21, el cual se habrá modificado, creando un plano de corte recto, para que el modelo quede perfectamente plano, y apoye correctamente a la hora de realizar el termoconformado.

Una problemática surgida al fabricar dicho molde, ha sido el material en cual fabricarlo, ya que tiene que ser uno que resista a altas temperaturas, unos 190°C, lo cual en filamentos de impresión 3D, es difícil de conseguir, por lo que el siguiente paso fue buscar dicho material. Al principio la búsqueda se centró en los materiales que tenían disponibles en el laboratorio donde se imprimieron las caretas. El primer material elegido fue el **TPU Hardness+**, el cual contará con una dureza Vicat de 164°C. Dicho parámetro medirá la temperatura a la que dicho material sufre una deformación de 1mm de profundidad, cuando se presiona contra él una punta de acero con un área de 1mm². Dicha temperatura será algo inferior a la necesaria, pero se imprimió una prueba para



comprobar si resistía la temperatura, puesto que era el material disponible más adecuado. El resultado del molde impreso se muestra a continuación:

Ilustración 39: Molde impreso en TPU Hardness+



Fuente: Propia.

3.3.3.3. Primera prueba de termoconformado.

Una vez se han realizado todos los pasos anteriores, se procede a realizar el termoconformado. Para esta primera vez, se empleó una sola capa de material, ya que, al ser la primera prueba a altas temperaturas, se prefirió no emplear más capas por si aparecía cualquier problema durante el proceso.

En cuanto al material, en este caso se empleó una plancha del EASYPREG A1-AC205K-53, de la cual se recortó un rectángulo de 165mmx300mm, con la intención de una vez realizado el termoconformado, recortar la forma de la careta correctamente.

Los utensilios empleados en esta primera prueba fueron los siguientes:

- 1- Molde fabricado en TPU Hardness+.
- 2- Una capa de material termoconformado, EASYPREG A1-AC205K-53.
- 3- Plancha de silicona roja.

En el procedimiento seguido en este caso, se empleó la plataforma de calentamiento pequeña, se situó en ella la plancha de material, y se calentó hasta unos 190°C/200°C, de tal manera que cuando se alcanzó dicha



temperatura, se colocó encima del molde con la ayuda de unos guantes de protección térmica. En este punto surgió un problema, y es que el material al calentarse, se quedó ligeramente adherido a la plataforma, lo que hizo que, al retirarlo de ahí, se deformara ligeramente. La posición de calentamiento, se muestra a continuación:

Ilustración 40: Montaje del primer ensayo.



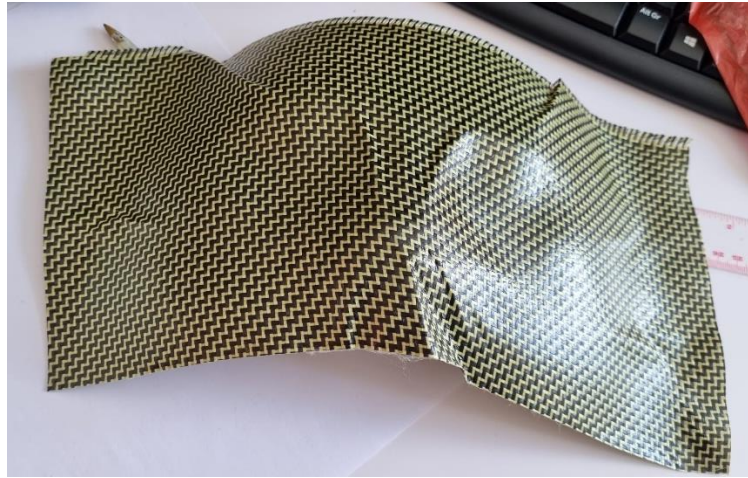
Fuente: Propia.

Previamente a realizar el paso anterior, se colocó la plancha de silicona en el marco de la termoconformadora. Una vez colocado el material sobre el molde, se bajó el marco con la silicona y se hizo el vacío.

A continuación, se dejó enfriar el material por debajo de los 40°C y se procedió al desmoldeo. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:



Ilustración 41: Resultados obtenidos en la primera prueba.



Fuente: Propia.

Como se puede ver en la imagen, el material perdió la forma casi por completo al ser desmoldeado. Se concluyó que esto se debía a un enfriamiento previo del material, en el tiempo transcurrido desde que se sacó de la plataforma de calentamiento hasta que se realizó el termoconformado. También se debe a que como el material no tenía la forma de la máscara, no se ha ajustado bien al molde, por lo que el siguiente paso a seguir, es crear un desarrollo plano de la máscara para recortar el material previamente con dicha forma.

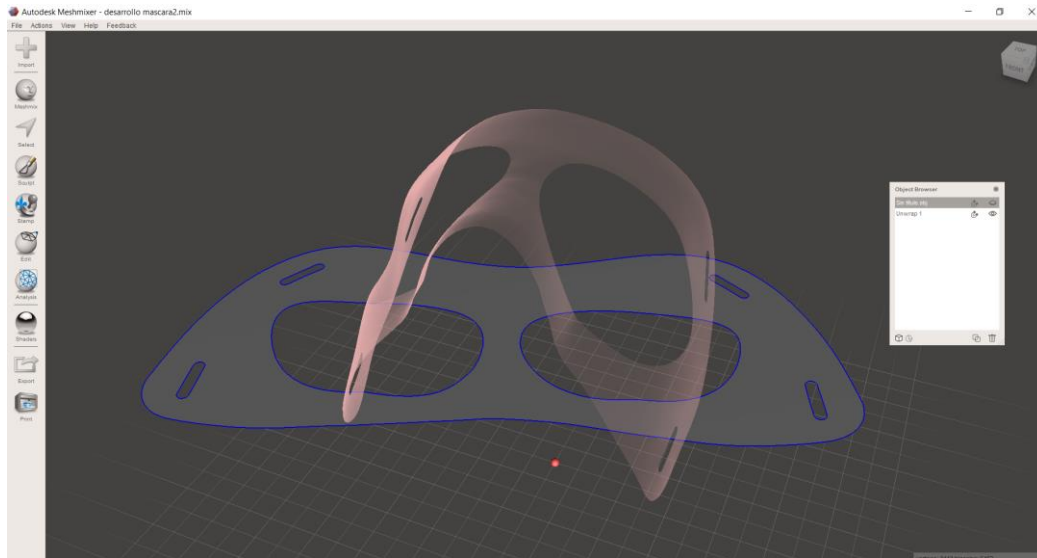
3.3.3.4. Creación del desarrollo plano de la máscara.

Una vez se ha realizado el primer ensayo, se ha procedido a realizar el desarrollo plano de la máscara. Esto se hará para recortar previamente los materiales con dicha forma, para que se favorezca que el material se ajuste correctamente al molde a la hora de realizar el termoconformado, evitando la formación de pliegues indeseados y favoreciendo el proceso.

Para ello, se ha vuelto a emplear el programa *Autodesk Meshmixer*. De tal manera que, se introduce en dicho programa la superficie a desarrollar, esta será una de las caras de la careta, la cual se seleccionará en el modelo creado en *Fusion 360*. Una vez se tiene dicha superficie, se debe introducir en *Meshmixer* para realizar el desarrollo, utilizando la operación *Unwrap*. El resultado obtenido se muestra a continuación:



Ilustración 42: Desarrollo plano de la máscara.



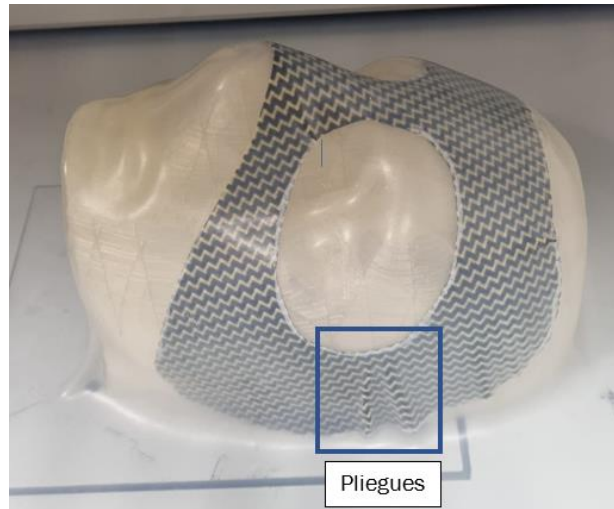
Fuente: Propia.

Al crear este desarrollo, se recorta el material previamente con dicha forma, permitiendo ahorrar material, ya que no será necesario luego realizar grandes recortes sobre el modelo.

Una vez recortado el material, se ha comprobado si se ajustaba correctamente al molde, sin formar pliegues o arrugas, Para ello se ha realizado el procedimiento de termoconformar, pero sin calentar el material, puesto que estos materiales, una vez los calientas, ya no se puede volver a trabajar con ellos. Los resultados obtenidos, se muestran en la siguiente imagen, donde se puede observar claramente que el material forma pliegues, y no se ajusta correctamente al molde.



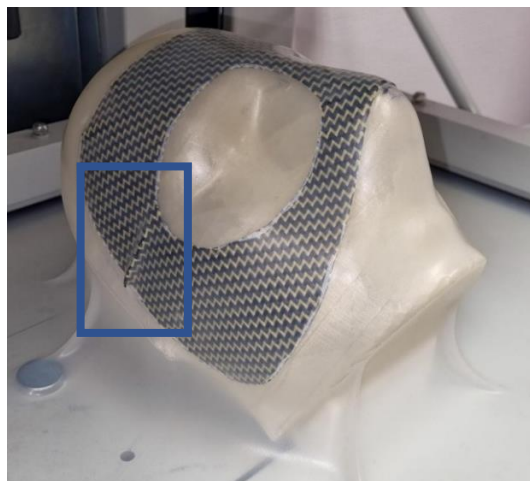
Ilustración 43: Pliegues formados en las pruebas.



Fuente: Propia.

Para tratar de evitar la formación de dichos pliegues, se ha diseñado una cuña, cuya función será inclinar el molde un ángulo de 26° , de tal manera que la parte de la nariz y la frente de este, formen una línea recta que sea paralela con el suelo, para facilitar la colocación del material, y el ajuste de este al molde. Como se puede comprobar en la siguiente imagen, usando la cuña siguen apareciendo arrugas en el material, aunque la colocación de este sea más fácil.

Ilustración 44: Prueba realizada con la cuña.



Fuente: Propia.

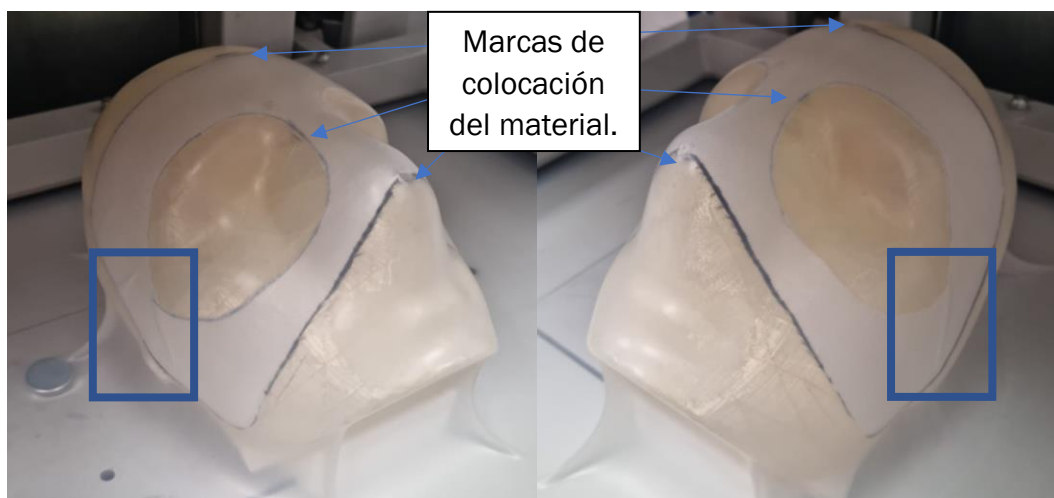
Como seguían formándose pliegues, se optó por realizar el desarrollo de la máscara de otra forma. Se recortó una tela con la forma obtenida en el



desarrollo anterior, esta tela es una que no se estira, ya que no es elástica, por lo que se garantiza que la forma obtenida es la necesaria. Por otra parte, también se realizaron una serie de marcas sobre el molde (se observan en la Ilustración 45), para asegurar la correcta colocación del material, y hacer que dicha posición se repita siempre.

El siguiente paso fue volver a llevarlo a la máquina, a realizar el proceso de termoconformado como anteriormente. Una vez realizado este proceso, se vieron las arrugas que se forman, de tal manera que estas se quedan marcadas en la tela, como se puede ver a continuación:

Ilustración 45: Pliegues formados en la tela y marcas de colocación del material.



Fuente: Propia.

Una vez marcadas los pliegues en la tela, esta se soldó empleando un estañador, de tal manera que se eliminaron las arrugas existentes.

Finalmente, para comprobar que dicho procedimiento había funcionado correctamente, se volvió a colocar la tela en la termoconformadora, y se realizó el proceso anterior, verificando que no se formaban dichos pliegues.

3.3.3.5. Segunda prueba de termoconformado.

Una vez se han realizado todos los pasos anteriores, se procede a realizar una segunda prueba de termoconformado. Igual que la primera vez, se empleó una sola capa de material, ya que, al fallar la primera prueba, se prefirió seguir operando con una sola capa, para ahorrar material en caso de que esta prueba volviera a resultar fallida.



En dicha prueba se busca cambiar tanto la forma de calentamiento del material, como la forma del material, ya que se recorta con la forma del desarrollo plano obtenida anteriormente.

Otra parte importante de esta segunda prueba, se debe al problema surgido previamente en el primer ensayo, de que el material al calentarse se adhirió a la plataforma de calentamiento. En este caso, para evitar que el material se adhiriera a las superficies, se preguntó al proveedor de los materiales como solucionar dicha problemática. Para ello, nos suministró de una película especial, cuya funcionalidad es evitar que el material se adhiera a las superficies, dicha película tendrá 25µm de espesor y soportará temperaturas de hasta 315°C, que es suficiente para nuestro proceso.

La colocación del material de la careta a la hora de realizar el calentamiento también se va a variar en esta segunda prueba, puesto que se va a sujetar este con el marco de la termoconformadora. Se va a buscar realizar una especie de “sándwich” al material de tal manera que este se va a sujetar entre medias de dos planchas las cuales se sujetarán sobre dicho marco de la termoconformadora.

La plancha superior de dicho “sándwich” será la plancha de silicona roja, que ya fue empleada previamente en la primera prueba, y será la encargada de asegurar el vacío necesario para realizar el termoconformado.

Por su parte, la plancha inferior del “sándwich”, deberá o bien ser porosa, o contar con unas perforaciones por las que se permita el paso del aire, para que el vacío se realice en la plancha superior y no en esta plancha. Como esta plancha no debe cumplir otra función que la de sujetar el material, se emplea la película antiadherente a la cual se realizarán una serie de agujeros, para asegurar que fluye bien el aire por ella. Además, al utilizar dicho material, también se solventa el problema de que la máscara se adhiriese al molde.

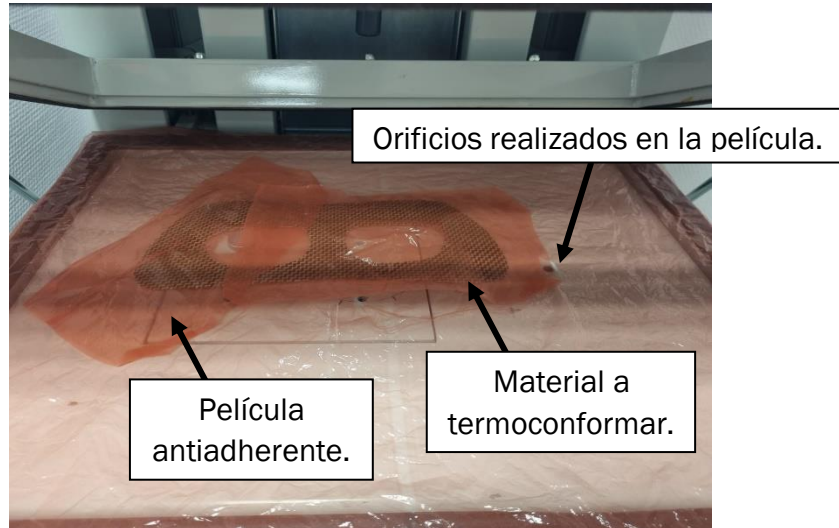
Dicha película será de color rojo, pero al ser tan fina, nos permite ver perfectamente a través de ella, la cual nos dejará comprobar la correcta colocación del material sobre el molde, siendo esto una parte muy importante ahora, ya que el material está recortado previamente con una forma determinada, y se ajustará perfectamente al molde únicamente si se coloca en la posición exacta. Para garantizar dicha posición, se utilizan como guía las marcas realizadas previamente, las cuales se pueden observar en la Ilustración 45.

Por otra parte, para evitar que el material se pegue a la plancha de silicona roja superior, se pondrá otra capa de dicha película antiadherente sobre el material de la máscara.



Una vez colocado todo lo anterior, el montaje tendrá este aspecto, a falta de colocar la plancha de silicona superior:

Ilustración 46: Montaje del segundo ensayo.



Fuente: Propia.

Una vez colocada la plancha de silicona roja, se procede a calentar el material.

Durante el calentamiento, se observa como la película inferior sobre la que se sujeta el material comienza a estirarse, y el material se separa excesivamente de la capa superior, por lo que la temperatura no llega a alcanzar los 190°C, los cuales son el mínimo necesario para realizar el termoconformado de dicho material, y a su vez la temperatura de la plancha superior comienza a subir por encima de los 230°C/240°C, por lo que se decide abortar la prueba, ya que la plancha de silicona superior, a partir de los 270°C solo soporta dichas temperaturas durante un tiempo breve y es factible que se incendie.

Las conclusiones obtenidas de este ensayo, es que se debe emplear una plancha inferior similar a la plancha superior, de tal manera que entre las dos no se generen huecos, y por otra parte, se ha demostrado que el uso de la película antiadherente es necesario, ya que, aunque no se ha calentado todo lo necesario, con la temperatura alcanzada el material ya se hubiera pegado a la plancha de silicona inferior, por lo que dicha película ha cumplido con su cometido.



3.3.3.6. Tercera prueba de termoconformado.

En la siguiente prueba realizada, se vuelve a utilizar el mismo material de termoconformado de antes, ya que no ha sufrido ninguna alteración debido a que no se alcanzó su temperatura de procesado.

Las variaciones introducidas en este ensayo con respecto al anterior, consistieron en sustituir la sujeción inferior del material, que antes se realizaba con la película antiadherente. En esta prueba, se va a emplear una plancha de silicona igual que la empleada en las pruebas anteriores para hacer el vacío, con la diferencia de que la plancha que pongamos ahora en la parte inferior será transparente, debido a que, como se ha explicado antes, esto nos ayuda a colocar correctamente el material a termoconformar. La única diferencia reseñable con la plancha de silicona roja, será que la transparente aguantará menos temperatura, pero a priori esta será suficiente para nuestra prueba.

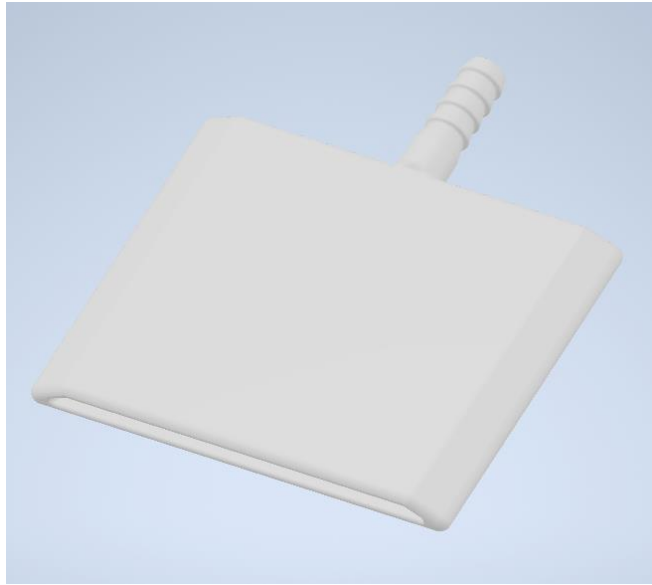
En un principio, se pensó en realizar otra vez aberturas en la plancha inferior, para permitir hacer el vacío correctamente, pero luego se concluyó que al realizar esto se obtendría el mismo resultado que en la prueba anterior, es decir, la formación de una cámara de aire entre ambas planchas, quedando el material a termoconformar entre medias, lo que impediría un correcto calentamiento de este, y además cabría la posibilidad de que este perdiera su posición. Por lo que esta idea se descartó.

Teniendo en cuenta esto, introdujo la posibilidad de realizar un doble vacío, es decir, realizar un primer vacío entre ambas planchas de silicona, para así eliminar la cámara de aire existente entre ellas y además fijar la posición del material a termoconformar. Esto será posible gracias a la salida de vacío auxiliar con la que cuenta la máquina de termoconformar, la cual se muestra en la Ilustración 36.

Una vez surgida esta posibilidad, se comenzó con el diseño de un utillaje específico para la realización de este vacío. Los primeros prototipos se hicieron pensando en la idea de hacer una abertura entre ambas planchas de silicona, y después con la presión ejercida por el marco, sellar dicha abertura, de tal manera que se obtuvo un primer modelo, el cual se muestra a continuación:



Ilustración 47: Modelo de la pieza diseñada para hacer el vacío auxiliar.



Fuente: Propia.

Se imprimió un prototipo en PLA de este modelo, el cual tenía una altura de 5mm. Al probarlo en la termoconformadora, se vio que era demasiado alto, y el marco no sellaba correctamente los laterales de la pieza, por lo que el vacío no se realizaba correctamente. Para intentar evitar esto, se imprimió un modelo igual, pero con una altura de solo 2mm, que era la menor que se podía dar a dicha pieza, de tal manera que se imprimiera correctamente.

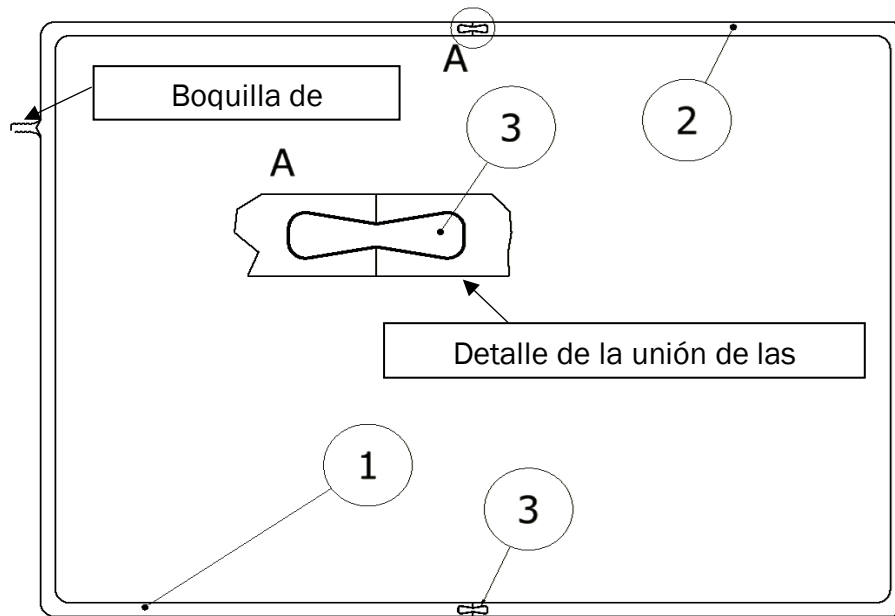
Se volvió a probar esta pieza más estrecha, y tampoco sellaba correctamente con las planchas de silicona, por lo que se buscaron otras opciones.

El siguiente diseño que se realizó consistía en un marco completo con las mismas dimensiones que el de la máquina, de tal manera que al cerrar este entre las dos planchas de silicona, al ser la pieza un marco entero, no quedaría ningún hueco por el que pudiera entrar el aire. Una problemática de este diseño, es que en el laboratorio no se dispone de impresoras 3D con una cama de impresión en la que entrara dicho diseño, por lo que hubo que dividir el diseño en dos piezas, las cuales se unirían con una tercera pieza.

El vacío se hará gracias a un orificio realizado en el marco, el cual lo atravesará por completo, y se unirá a la boquilla de succión, la cual se muestra en la Ilustración 48.

El marco completo se muestra en la siguiente imagen:

Ilustración 48: Croquis del marco de vacío completo.



Fuente: Propia.

Dicho marco se imprimió en PLA, y una vez fabricado se ensambló. Las juntas de unión se sellaron empleando una película plástica, de tal manera que se taparan las pequeñas ranuras existentes. También se unió la tubería de vacío, empleando una brida de sujeción para fortalecer la unión. Una vez realizado el montaje, el marco de vacío tendrá el siguiente aspecto:

Ilustración 49: Marco de vacío fabricado.



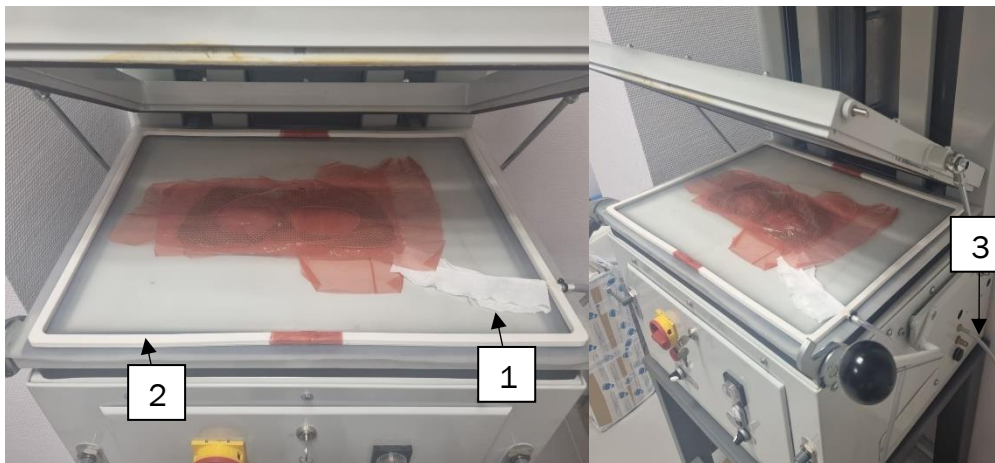
Fuente: Propia.



Después de montarlo, se procedió a realizar pruebas para comprobar su funcionamiento, para ello, simplemente se le colocó entre las dos siliconas, se cerró el marco de la termoconformadora, y se hizo el vacío. El resultado fue que la máquina realizó correctamente el vaciado, ya que la bomba se paró automáticamente al alcanzar la presión de vacío marcada en el presostato (en las pruebas realizadas con los diseños previos no llegó a pararse nunca). Hay que destacar que, al rato de pararse, se volvió a encender, lo cual nos indica la existencia de pequeñas aberturas por las que entre el aire. Dichas pérdidas de vacío, no serán lo suficientemente grandes como para que afecte al proceso de termoconformado, por lo que se da el diseño por válido.

Una vez se dispone del marco de vacío, se realiza el montaje de los materiales de la siguiente manera:

Ilustración 50: Montaje del tercer ensayo.



Fuente: Propia.

En la imagen anterior en la marca 1 se puede observar otro de los materiales empleados, el cual será una tela porosa, resistente a altas temperaturas, cuya función es permitir que se haga correctamente el vacío entre las dos planchas de silicona, puesto que, si no se emplea dicha tela, se taponan las salidas del aire con las propias planchas de silicona, provocando que haya zonas en las que este no se realice. El espesor de dicha tela será de $40\mu\text{m}$, por lo que no influye en el resultado final del termoconformado. Por otra parte, la marca 2 se corresponde con el marco de vacío, y la marca 3 al enganche de este a la máquina.

Una vez colocados todos los materiales correctamente, se sitúa el molde y la cuña y se procede al calentamiento del material hasta los $190^{\circ}\text{C}/200^{\circ}\text{C}$.



Ilustración 51: Control de la temperatura durante el calentamiento.



Fuente: Propia.

Una vez alcanzada dicha temperatura, se baja el marco de la termoconformadora, y se realiza el vacío. Al realizar el vacío, se observa que comienzan a aparecer formas que no se corresponden con la forma del molde, como se puede comprobar en la siguiente imagen:



Ilustración 52: Rugosidad generada en el tercer ensayo.



Fuente: Propia.

Después de realizar el vacío y de que aparecieran dichas formas extrañas, se dejó enfriar el material por debajo de 40°C para realizar el desmoldeo, puesto que, si se realiza con el material por encima de dicha temperatura, este perderá la forma.

Por otra parte, el marco de vacío también habrá que dejarlo enfriar correctamente, ya que el PLA por encima de los 60°C pierde su consistencia y se vuelve maleable. Aunque la temperatura de este tampoco se eleva mucho por encima de ese valor, puesto que el marco de vacío está protegido por el marco de la termoconformadora.

Una vez realizado el desmoldeo, se observa que el molde ha perdido la forma original, quedando este el aspecto que se ve a continuación:



Ilustración 53: Comparativa del molde antes y después de la tercera prueba.



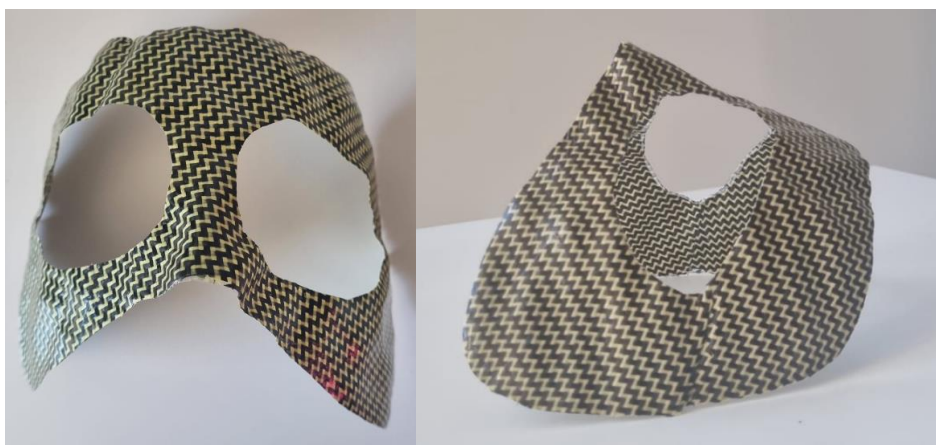
Fuente: Propia.

Se observa que el molde ha perdido la forma casi por completo, lo cual se debe a que el material de este se ha calentado por encima de su temperatura de distorsión térmica, ha perdido su rigidez y se ha deformado. Esto implica que se debe buscar otro material para realizar el molde.

Este problema no ha surgido previamente, porque el material no se ha llegado a calentar tanto en ninguna de las pruebas realizadas anteriormente.

En cuanto a la máscara, el resultado pese a tener todas las marcas surgidas al deformarse, es favorable, ya que el material no pierde la forma, y se han formado dos pliegues, los cuales han quedado pegados entre sí, quedando casi imperceptibles. Su aspecto final se muestra a continuación:

Ilustración 54: Resultado de la máscara en la tercera prueba.



Fuente: Propia.



Como conclusiones de esta prueba, se puede validar el proceso realizado, siendo este el que se repetirá en los próximos ensayos.

Como parte negativa, surge la necesidad de hacer un estudio de otros materiales resistentes a mayor temperatura que el TPU Hardness+, el cual ha sido empleado en el molde anterior fallido, por lo que el siguiente paso a seguir será la realización de otro molde.

3.3.3.7. Diseño del segundo molde empleado.

Debido al fallo que sufrió el molde en el anterior ensayo, surge la necesidad de volver a fabricar otro de nuevo. Lo primero de todo, será investigar los materiales existentes, los cuales deben de resistir a temperaturas elevadas, por lo que se buscan basándose en esta premisa.

El material elegido esta vez será el **Nylstrong**, el cual será un filamento compuesto de poliamida 6 (nylon) y fibra de vidrio, que tendrá una temperatura de reblandecimiento en torno a los 210°C, lo cual, a priori, es suficiente para nuestra aplicación.

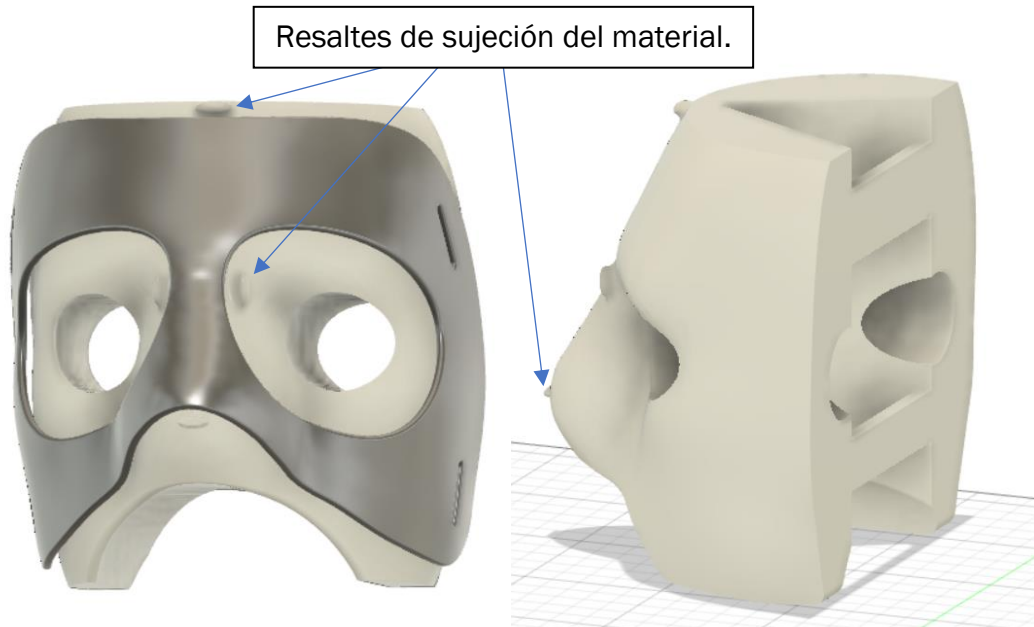
Una vez elegido el nuevo material, se procede a realizar unos cambios en el molde original, los cuales se resumen en:

- 1- Reducción del tamaño del molde, ajustándolo más a los bordes de la careta, para así ahorrar material y reducir el tiempo de impresión.
- 2- Creación de unos resaltes, los cuales van a servir para la colocación del material en la posición correcta a la hora de termoconformar, eliminando la necesidad de realizar marcas.
- 3- Se han realizado también unos orificios en la zona de los ojos para favorecer la realización del vacío en esa zona.
- 4- Con el objetivo de reducir más el material empleado y el tiempo de impresión, se ha realizado un canal inferior.

Con dichas modificaciones se logró reducir el tiempo de impresión más de la mitad, de veintidós horas, a solamente trece horas.

El resultado final el diseño del nuevo molde será el siguiente:

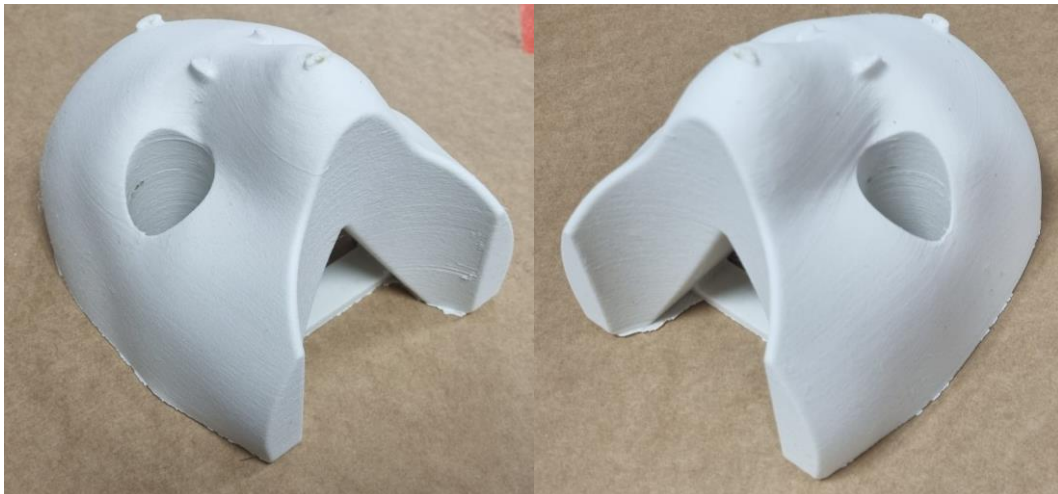
Ilustración 55: Diseño final del nuevo molde.



Fuente: Propia.

Al finalizar la impresión del molde, su aspecto es el siguiente:

Ilustración 56: Aspecto final del molde de Nylstrong.



Fuente: Propia.

3.3.3.8. Cuarta prueba de termoconformado.

Una vez se fabrica el nuevo molde, se procede a realizar un nuevo ensayo, para el cual se usa el mismo montaje de los materiales que en el tercer ensayo, el



cual se puede observar en la Ilustración 50. Después de montar correctamente dichos materiales, se coloca el molde y se calienta el material. La colocación del molde será más fácil de realizar esta vez, ya que el nuevo modelo cuenta con los resaltos que hacen de guía, los cuales se diseñaron con esta intención.

Los resultados obtenidos tras este ensayo serán los siguientes:

Ilustración 57: Resultado de la máscara en la cuarta prueba.



Fuente: Propia.

Como se puede ver en la anterior imagen, el resultado obtenido en esta prueba es correcto, por lo que las conclusiones que se sacan de esta es que el nylstrong es un material válido para realizar moldes para termoconformar este tipo de materiales, y, por otra parte, que el proceso seguido en este ensayo es el correcto, y el cual se seguirá en las siguientes pruebas, en las que se emplearán diferentes materiales para la máscara, juntando varias capas de estos.

3.3.3.9. Quinta prueba de termoconformado.

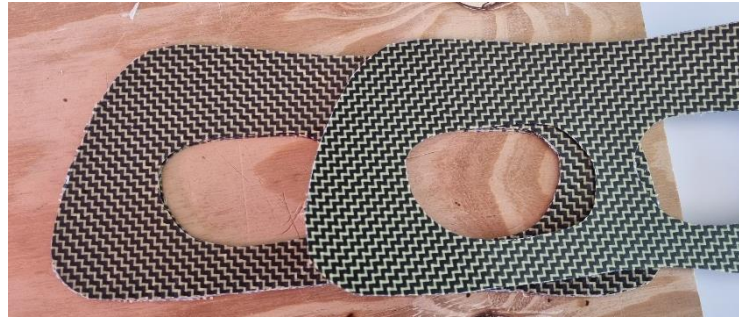
En este ensayo, se va a realizar el mismo procedimiento que en el anterior, a diferencia que esta vez se van a termoconformar seis capas del material, en vez de solo una, como se ha hecho anteriormente. Se utilizarán seis capas, por lo que el espesor final será de en torno a los 1.8 mm, ya que cada capa tiene un espesor de 0,3mm. No se han puesto más capas, ya que, si se querían hacer más pruebas como esta, se iba a necesitar más material y no se disponía de demasiado.

La manera de proceder a la hora de preparar el material será la siguiente:



- 1- Dibujo de la forma a recortar en las planchas del material. Se van a realizar la mitad con una orientación de las fibras, y la otra mitad con la otra orientación, esto se hará así para aumentar la isotropía de la máscara, las dos orientaciones se muestran en la siguiente imagen:

Ilustración 58: Corte de las planchas con distinta orientación de las fibras.



Fuente: Propia.

- 2- Unión de dichas planchas, realizando una pequeña soldadura con la soldadora de calor. Las planchas se dispondrán de tal manera que se irán intercalando, primero colocando una de una orientación y a continuación otra de la otra, y así sucesivamente hasta haber unido todas. Dicha unión se realiza para garantizar que dichas capas del material permanecen unidas, y no se mueven una respecto de la otra. La forma final de las planchas tras unir las entre sí será la siguiente:

Ilustración 59: Aspecto del material con seis capas antes del termoconformado.



Fuente: Propia.

En la imagen anterior, ya se encuentra el material colocado en la termoconformadora. Una vez colocados el resto de elementos, se procede a realizar el calentamiento del material, el cual se deberá realizar con extrema



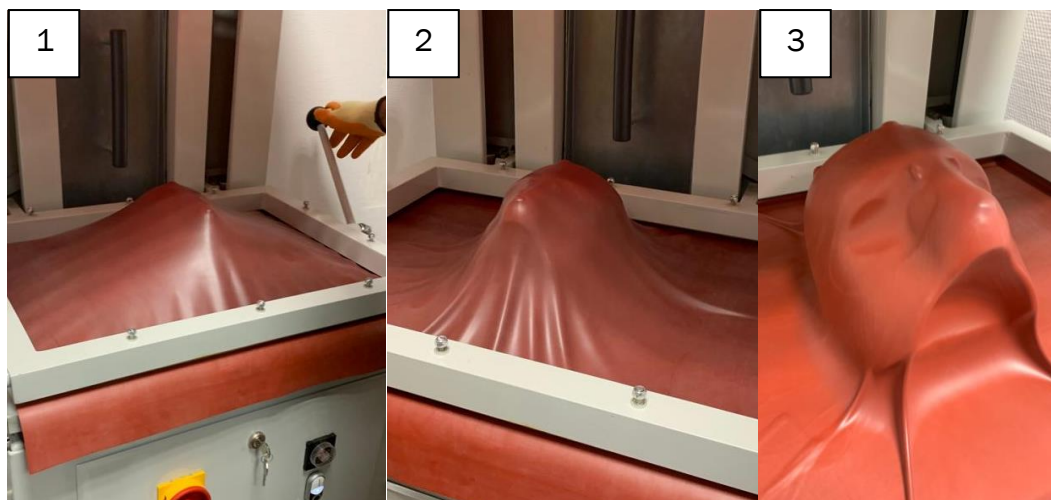
precaución, puesto que ahora al tener un mayor espesor del material, tardará más en realizarse. Para garantizar que la temperatura se va homogeneizando poco a poco, y no se produce un sobrecalentamiento en la parte superior, se debe de ir subiendo la plataforma de calentamiento poco a poco, de tal manera que la temperatura arriba y abajo sea lo más similar posible. Esto se deberá a que, si se eleva demasiado rápido la plataforma, la temperatura en la parte superior se va a elevar muy rápido, pudiéndose llegar a la temperatura límite de la plancha de silicona superior.

Las diferentes capas introducidas del material a termoconformar, se unirán entre sí, gracias a la fusión de la matriz de poliamida con la que cuentan, lo cual tendrá lugar a partir de los 175°C.

Una vez alcanzada la temperatura de 190°C, se realiza el termoconformado, al igual que en los ensayos anteriores, durante el proceso de vaciado, se pasará por las siguientes fases:

- 1- Bajada de la plataforma y preestiramiento de las planchas de silicona.
- 2- Inicio del vaciado, las planchas comienzan a adquirir la forma del molde.
- 3- Vaciado completado, se observa perfectamente la forma del molde. Se observa que no se han producido pliegues en la zona de la máscara, por lo que el diseño del molde y de la plantilla del material es correcto. Además, se puede observar otra función de la cuña que se introduce debajo del molde, que será la de elevar el molde, dejando un hueco entre este y el suelo de la máquina. Este será necesario para evitar la formación de arrugas en las planchas de silicona, como las que se pueden observar en la parte delantera, donde dicho hueco entre ambas, es mínimo.

Ilustración 60: Diferentes etapas del proceso de vaciado.

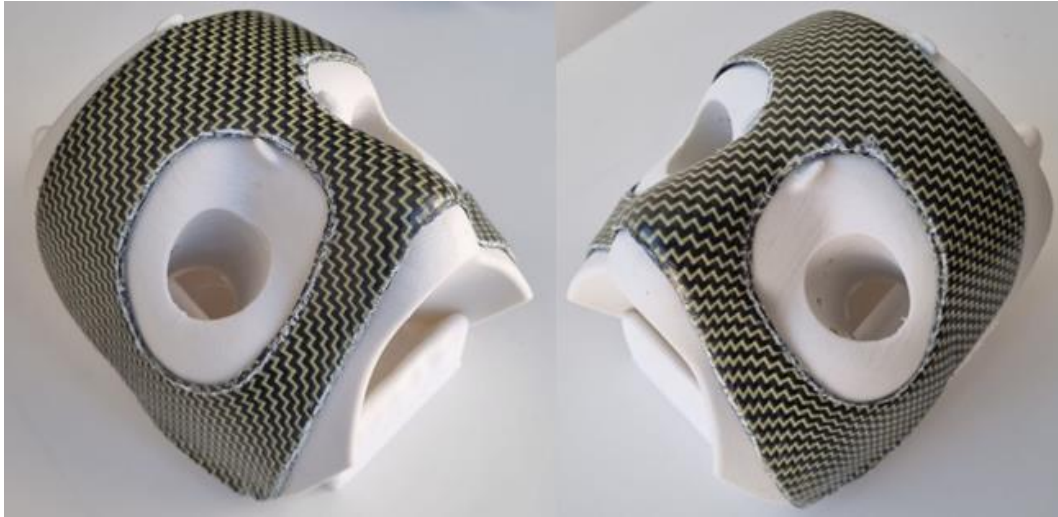


Fuente: Propia.



Una vez que la temperatura se reduce por debajo de los 40°C en todo el material, se procede al desmoldeo, obteniéndose los siguientes resultados:

Ilustración 61: Resultado de la máscara en la quinta prueba.



Fuente: Propia.

El resultado obtenido en dicho ensayo será ya una máscara con el aspecto que se esperaba obtener, por lo que se da el procedimiento seguido por válido. La máscara será funcional, a falta de lijar los bordes correctamente.

A continuación, se procede a realizar exactamente el mismo proceso, incluido el recorte y unión de las planchas entre sí, pero esta vez se empleará otro material, el cual es el **EASYPREG A1-C245K-56**.

Los resultados obtenidos con dicho material serán los siguientes:

Ilustración 62: Planchas unidas antes de realizar el termoconformado.



Fuente: Propia.



Una vez realizado el termoconformado y el desmoldeo, la máscara tendrá el siguiente aspecto:

Ilustración 63: Máscara fabricada en fibra de carbono.



Fuente: Propia.

Se puede apreciar que la máscara no ha adoptado la posición correcta en el molde, esto se debe a que, durante el calentamiento al ir a controlar la temperatura por la zona inferior, se ha golpeado el molde con el termómetro, moviéndolo de la posición original, recolocándolo después aproximadamente, pero como se puede observar, dicha colocación no fue la correcta, ya que el material no ha coincidido con las guías.

Aunque la forma de la máscara está ligeramente torcida, y tenga la forma de los posicionadores en la zona de los ojos, esto se podría solucionar eliminando dichas formas, mediante el empleo de una radial u otras herramientas similares. Como no disponemos de dichas herramientas, la máscara sigue siendo funcional, y puede ser sometida a los ensayos, se da el modelo por válido.



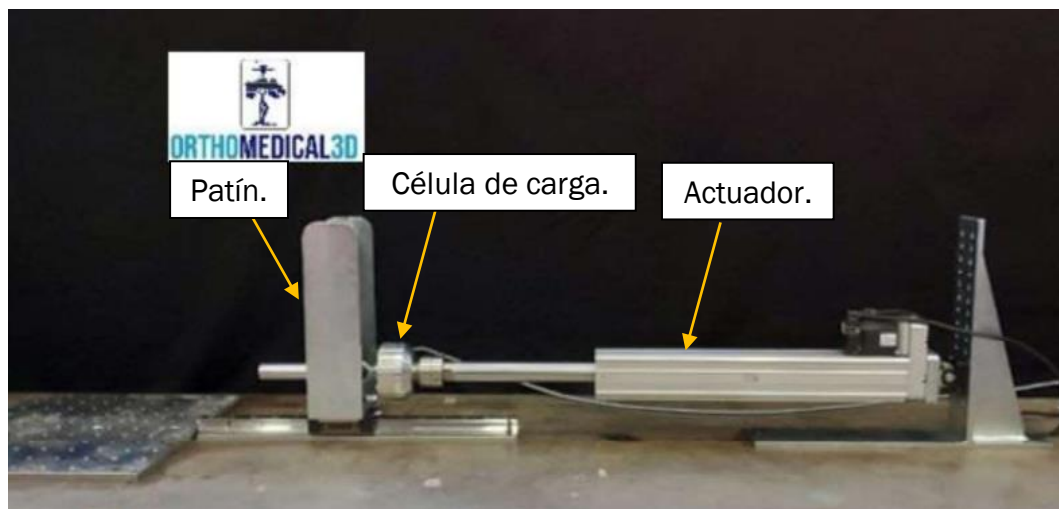
4. ENSAYO DE LAS MÁSCARAS.

A continuación, se describirá el proceso seguido para realizar los ensayos de las máscaras, desde el diseño del banco, hasta la realización de los ensayos, con sus correspondientes conclusiones.

4.1. DISEÑO DEL BANCO DE ENSAYOS.

Para el diseño del banco de ensayos se habrá partido de un diseño ya existente, el cual fue realizado por Guillermo Santos Martínez en su trabajo final de grado “Diseño, desarrollo y prototipado de un sistema de ensayo a fatiga para piezas impresas en 3D”. El diseño inicial será el que se muestra a continuación:

Ilustración 64: Diseño del banco de ensayos original.



Fuente: Santos Martínez, 2021

Sobre dicho montaje, dicho montaje está pensado para montar diferentes conjuntos en el carril, los cuales sirvan para ensayar distintos tipos de piezas.

El diseño realizado en este proyecto, consistirá en realizar un montaje específico para ensayar caretas, incorporando nuevas piezas a dicho banco y nuevos elementos de control.

La idea principal que tienen dichos ensayos, es medir la fuerza de impacto máxima que puede resistir cada careta, para que esta sufra una deformación, y tenga lugar un contacto sobre la nariz, que es lo que simularía la situación límite a la que la careta dejaría de cumplir su función, que es proteger la nariz.

El primer paso seguido fue realizar el diseño de las piezas que compondrán el montaje en el programa de CAD Autodesk Inventor. Dichas piezas serán las siguientes:



- Pieza de contacto: será la pieza encargada de simular el golpeo, la cual se anclará al patín original. Dicha pieza se fabricará mediante impresión 3D en PLA. Para el diseño de esta parte, se habrá buscado que la superficie de contacto con la máscara sea plana, para intentar simular un contacto puntual. En esta cara plana, se habrá adherido una plancha de latón de 2mm de espesor, para aportar rigidez a esta parte de la pieza. En la siguiente imagen se puede observar la pieza, y como se realiza la unión de esta con el patín:

Ilustración 65: Pieza de contacto para simular el impacto.



Fuente: Propia.

- Bancada de sujeción de la careta: se habrá empleado un sistema ya existente, el cual simulará una cuña, fabricada con perfiles de la marca fasten de 40x40, los cuales cuentan con carriles, gracias a los cuales se puede realizar una unión de piezas a mayores. Este aspecto se utilizará más adelante para unir la cara de sujeción.
- Cara de colocación de la careta: se imprimió un modelo de la cara real, con el objetivo de colocarle la careta sobre ella, y proceder al ensayo de impacto. Previamente se realizaron unas modificaciones sobre dicho modelo, con el objetivo de poder realizar la unión de esta pieza a la bancada. Estas modificaciones consistieron en la realización de unos agujeros, en los que luego irán alojados los tornillos utilizados para la unión.



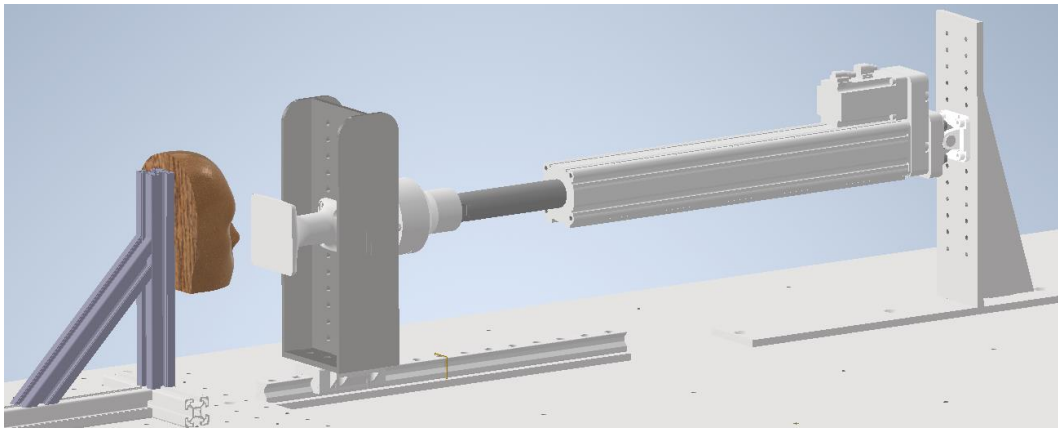
Ilustración 66: Cara de colocación de la máscara en los ensayos.



Fuente: Propia.

Antes de fabricar las piezas, se procedió a realizar un ensamblaje del banco en el *Inventor*, el cual tendrá el siguiente aspecto:

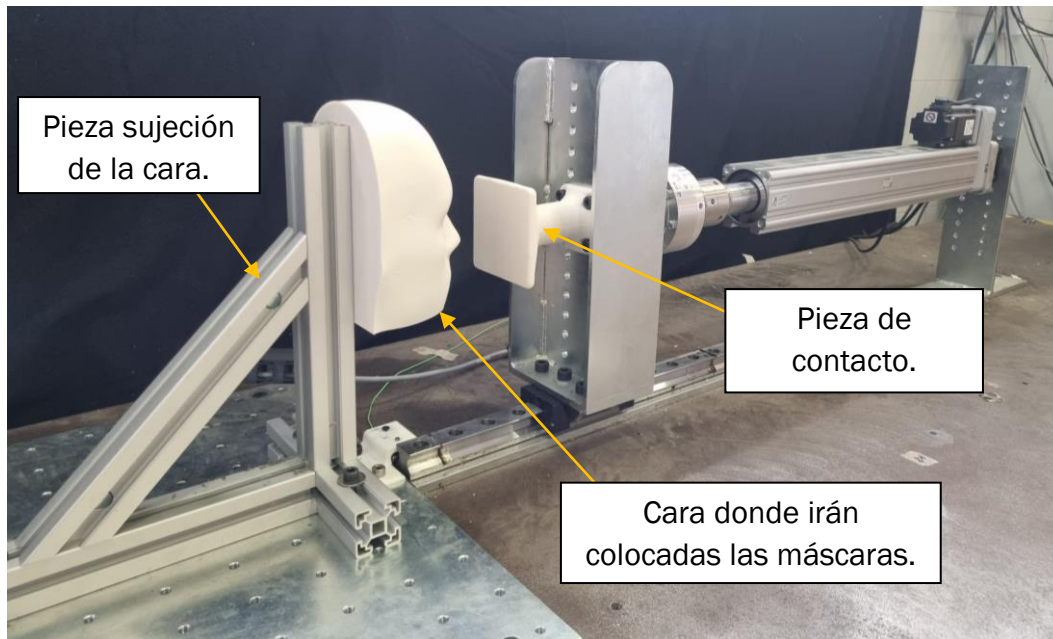
Ilustración 67: Ensamblaje del banco de ensayos.



Fuente: Propia.

Una vez realizado la fabricación y el montaje de dichas piezas, el banco de ensayos tendrá el aspecto siguiente:

Ilustración 68: Montaje del banco de ensayos, con el utillaje para ensayar las caretas.



Fuente: Propia.

Por otra parte, se habrá añadido también un *switch* de control, el cual marcará el momento en el que la careta y la nariz entran en contacto, de tal manera que este envía dicha señal al programa controlador, y se detenga el actuador en dicho instante. Para el diseño de este implemento, se habrá empleado una tarjeta de adquisición de datos, concretamente la NI-6000 del fabricante National Instruments. Será un módulo que contará con 8 puertos para señales analógicas y 4 para señales digitales. La conexión de dicha tarjeta al ordenador, se realizará mediante conexión USB.

En este montaje, la señal que se va a usar será digital, es decir que envíe un 1 si están en contacto la máscara y la cara, o un 0 si no lo están. Para ello se utilizará el programa LabView, en el cual se realizará la programación de dicho módulo.

Antes de llevar el módulo al banco de ensayos, se realizará la programación de este por separado, donde únicamente se programará que al entrar en contacto los dos cables (uno del puerto de entrada, y otro del puerto de salida), se encienda un piloto en la pantalla del ordenador.

Una vez se comprobó que el programa funcionaba correctamente con los conectores, se utilizó una cinta adhesiva metálica (debido a que es necesario que sean conductoras), la cual se adhiere una tira a la careta por el interior, y otra a la cara. Dichas cintas tendrán un espesor ínfimo, por lo que no se



considerarán influyentes en los resultados obtenidos. Una vez pegada esta cinta a ambas partes, se unirán los cables a estas con otra cinta adhesiva, obteniéndose el siguiente resultado:

Ilustración 69: Máscara y cara con el montaje del switch.

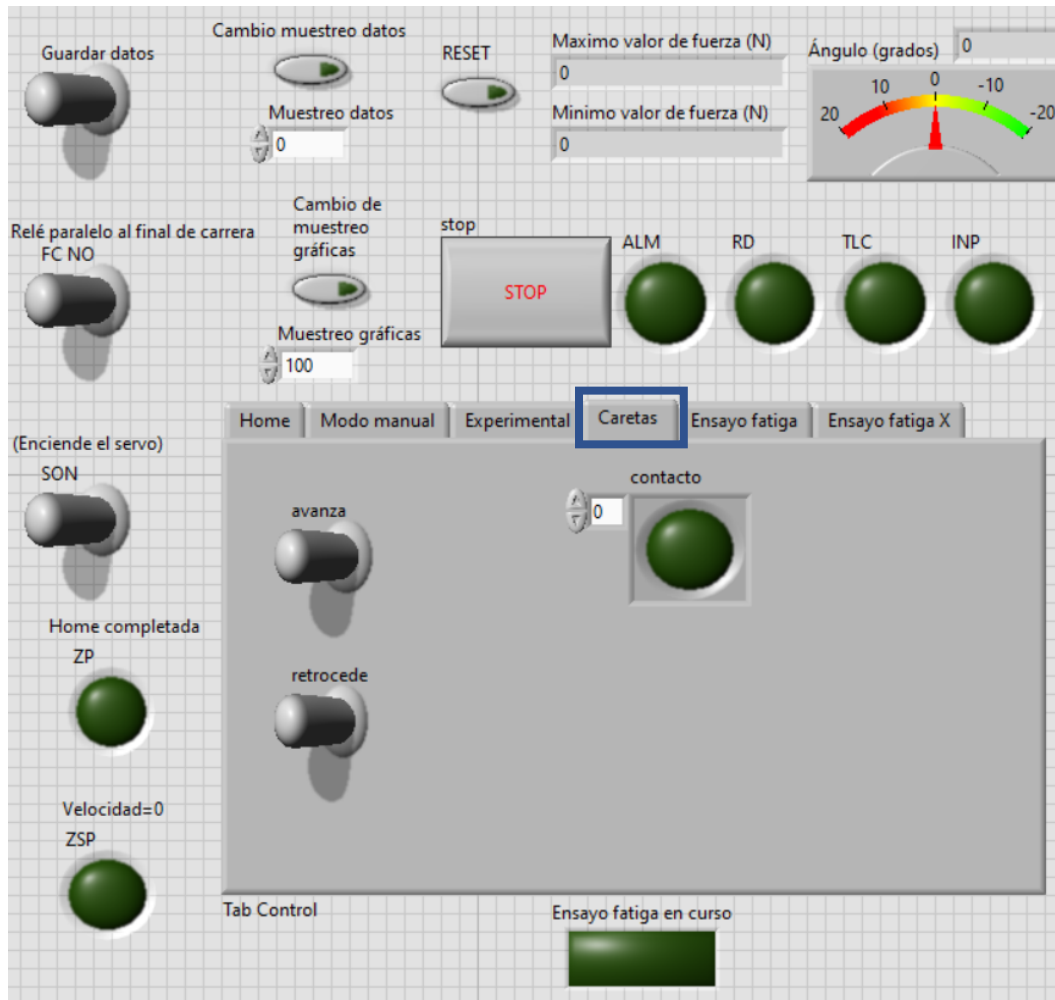


Fuente: Propia.

Este montaje se tendrá que realizar igual para todas las caretas, cambiando solo los cables de una careta a otra. Una vez comprobado que, con este montaje, al haber contacto entre ambas partes, se enciende el piloto del programa, se procederá a realizar una modificación sobre el programa original del banco de ensayos, realizado también en LabView. Para ello, se ha introducido una nueva pestaña en el controlador principal del banco, que contendrá los controles empleados al ensayar las caretas, como se puede ver a continuación:



Ilustración 70: Controlador del banco de ensayos en LabView.



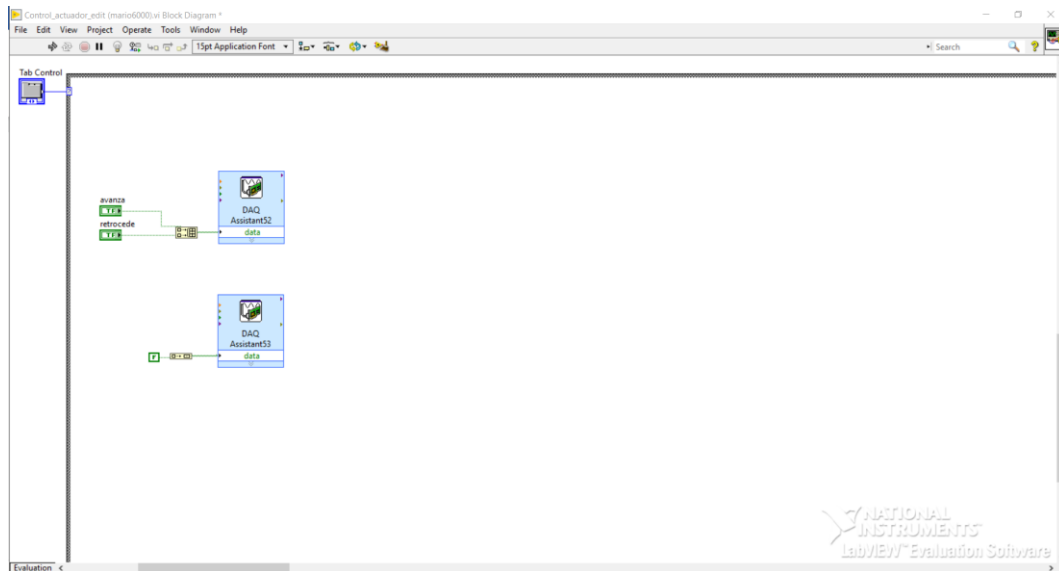
Fuente: Propia.

Dicha pantalla será muy simple, ya que contendrá solamente dos controles, los cuales servirán para manejar el actuador, uno lo hará avanzar hasta que se pare el solo, en el instante en el que hagan contacto ambas partes y se encienda el testigo contacto. Entonces se activará el botón de retroceder, para que el actuador vuelva hacia atrás. Durante todo este proceso, el programa irá recogiendo datos y los irá escribiendo cada 100ms.

El diagrama de bloques de dicho programa será el siguiente (se adjunta solo la parte realizada para este proyecto):



Ilustración 71: Modificación del programa de LabView.



Fuente: Propia.

4.2. REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS.

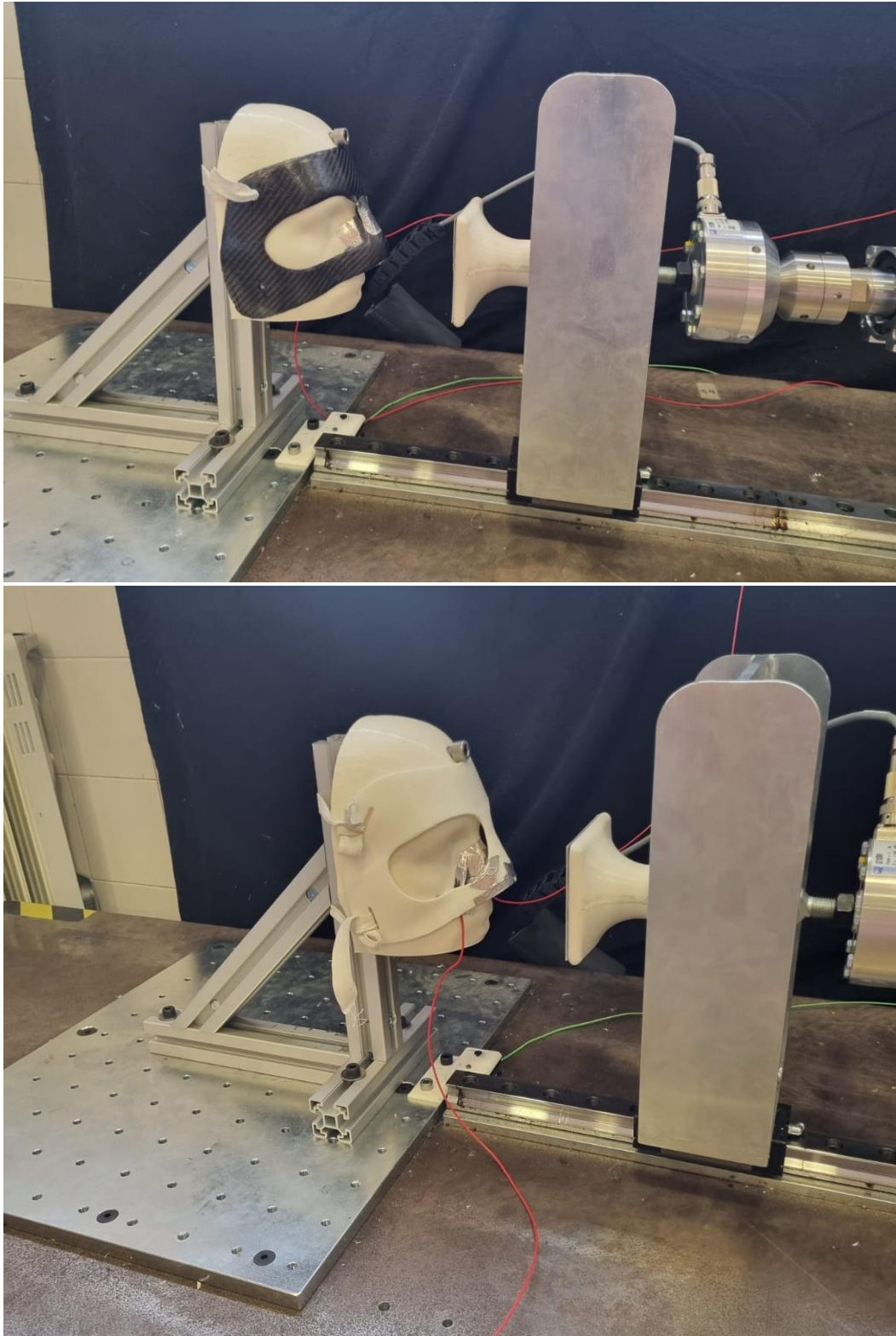
Una vez realizada toda la programación, habiéndose comprobado previamente que el funcionamiento de esta es correcto, se procede a la realización de los ensayos.

Estos consistirán en someter a las caretas a un golpe en la parte de la nariz, midiendo la fuerza empleando la célula de carga del banco, para poder obtener mejores conclusiones en torno a la repetibilidad de estos ensayos, se decide realizar cuatro golpes sobre la careta, midiendo la fuerza en todos ellos, para así poder si se obtienen valores similares de fuerza en todos ellos.

A continuación, se muestran unas imágenes del transcurso de los ensayos.



Ilustración 72: Imagen del montaje del ensayo de las caretas de polipropileno (impresa en 3D) y de fibra de carbono (termoconformada).



Fuente: Propia.



Ilustración 73: Detalle del contacto existente entre la cara, la careta y la pieza de contacto.



Fuente: Propia.



En la siguiente imagen, se adjunta el resultado de un ensayo erróneo, en el cual no funcionó correctamente el switch de contacto, por lo que el actuador se tuvo que parar manualmente, y la plancha de 2 mm que se adhirió a la pieza de contacto sufrió daños, estos daños también los sufrió dicho útil, los cuales se muestran a continuación:

Ilustración 74: Daños sufridos en el ensayo fallido.



Fuente: Propia.

Para paliar los efectos del útil de contacto, se volvió a poner otra placa igual, ya que, si se realizan los ensayos con dicho defecto, se perderá la condición que se busca de tener un contacto puntual al realizar el impacto.

Por otra parte, también se han pesado todas las caretas, para tener una comparación de los pesos de estas. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3: Masas de las caretas.

Material	PP	PCTG	PLA	Fibra de carbono	Aramidita y CF
Masa (g)	56,6	79,5	68,7	55,5	54,3

Fuente: Propia.

Se observa que las máscaras termoconformadas son más ligeras que las fabricadas por impresión 3D, esto es razonable, ya que son más estrechas. De entre las impresas, la más ligera es la de polipropileno, lo cual tiene sentido ya que es el material con menor densidad de los tres.



4.3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

En este apartado, se presentarán los datos obtenidos en los ensayos, los cuales se mostrarán en gráficas, en las que se representarán la posición del actuador en una función, y la fuerza medida por la célula de carga en otra, siendo las dos representadas en función del tiempo transcurrido en el ensayo.

En todos estos gráficos se van a observar 4 picos en ambas funciones, los cuales se corresponderán con los valores que aparecen junto a ellos, y marcarán el punto en el que se detectó contacto entre la máscara y a nariz, midiendo la fuerza y la posición del actuador en este momento. Habrá tantos picos como ciclos de ensayo se hayan hecho, en este caso serán cuatro picos.

Dentro de estos picos, en la función de la posición se puede observar una pendiente positiva, y una negativa. La primera se corresponde con el recorrido que sigue el actuador en su avance hacia la máscara, y la pendiente negativa se corresponde con el retroceso de este. Entre pico y pico se puede observar un punto en el que la función es 0, ya que ese es el instante que hay entre que el actuador llega a la posición de reposo, y se le vuelve a accionar para iniciar un nuevo ciclo. El accionamiento es manual, desde el control del banco en *LabView*, por lo que estos intervalos no serán todos iguales.

Por su parte, la función de la fuerza, tendrá 4 zonas destacables, la primera, cuando el actuador avanza hacia la máscara, pero no hace contacto con esta, donde se puede apreciar que la célula marca el posible rozamiento que haya entre el patín y el carril, el cual, realizando una media de los valores de este a lo largo de todas las gráficas, se ha cuantificado en 5,3 N para PLA, PCTG, fibra de carbono y aramida. En cuanto al rozamiento medido en el ensayo del PP, tendrá un valor más alto de 10,3N, esto se concluyó que puede ser a un tarado de la célula menos exacto que en los otros ensayos.

Una vez se va aproximando el actuador a la careta, cuando entran en contacto, se observa que a fuerza empieza a elevarse, hasta que llega a su punto máximo cuando el actuador se detiene. Después, inicia el retroceso, y ahí se observa el rozamiento de vuelta, el cual no nos influirá en nuestros resultados, y por último, cuando el actuador alcanza la posición de reposo, la fuerza se hace 0, aunque se observa que los valores no son exactamente 0, pero si muy cercanos. Esto puede deberse a vibraciones mínimas que detecte la célula.

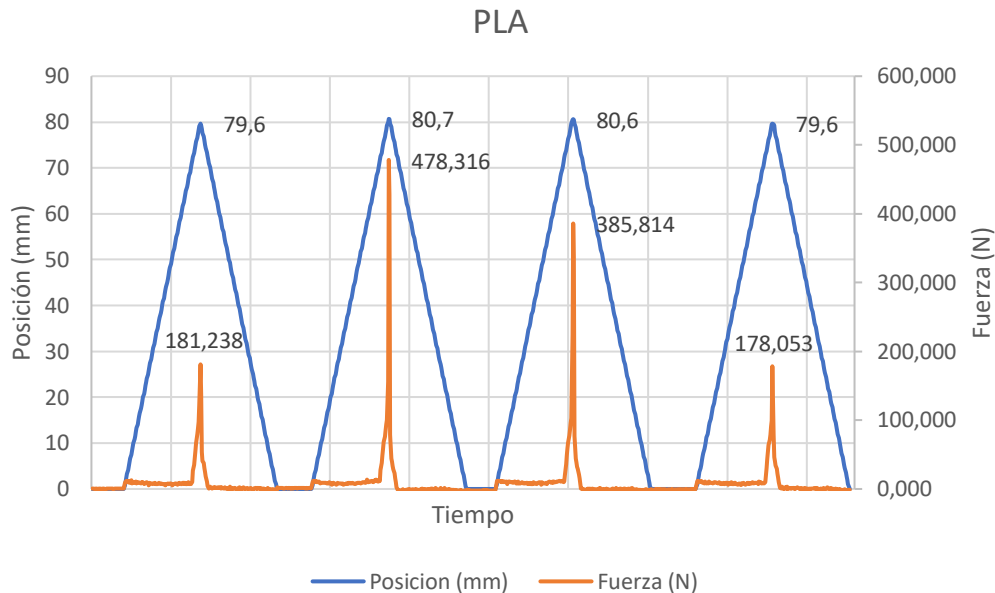
Después de explicar el aspecto de las gráficas, se mostrarán los resultados obtenidos, con sus pertinentes conclusiones:



- **Máscara PLA:**

Los resultados obtenidos para la máscara de PLA se muestran en la siguiente gráfica:

Ilustración 75: Gráfica de resultados de los ensayos de la careta de PLA.



Fuente: Propia.

En esta gráfica, se observa que los valores máximos alcanzados en estos picos, no todas las veces son repetitivos, y que hay valores muy elevados, los cuales no parecen lógicos. Esto puede ser debido a un error en el switch de contacto, y a que los aparatos de toma de datos no tienen una frecuencia muy elevada de lectura y escritura, lo que implica que, si el actuador no se detiene en el momento exacto en el que la nariz y la careta hacen contacto, el actuador comienza a presionar ambos elementos, lo que produce que se eleve la fuerza rápidamente, y que ese valor no represente la realidad. Por esta razón, se eliminan el dato del segundo y tercer ciclo, puesto que se observa un valor de la fuerza muy elevado, y la posición varía mucho respecto a los otros dos valores (en torno 1 mm mayor). El valor final de la resistencia de dicha máscara se habrá obtenido del valor medio del primer y cuarto ciclo.

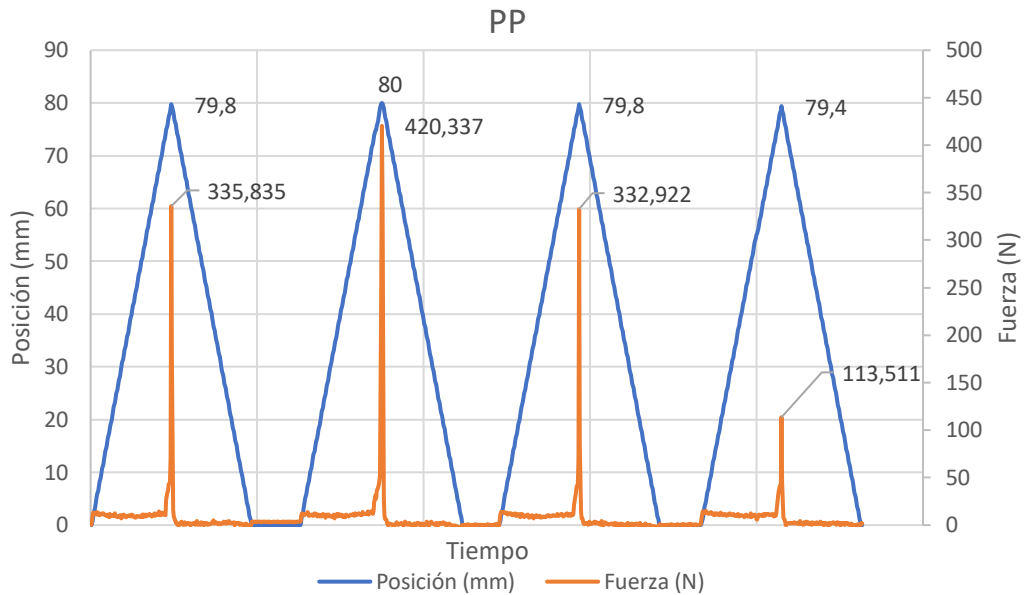
Dicho esto, la fuerza que soportará la máscara de PLA antes de entrar en contacto con la nariz, será de **179,65N**.



- **Máscara PP:**

Los resultados de este ensayo, se muestran en la siguiente imagen:

Ilustración 76: Gráfica de resultados de los ensayos de la careta de PP.



Fuente: Propia.

En este caso, se vuelve a apreciar que, en el primer, segundo y tercer ciclo, la fuerza medida es muy superior a la real, lo cual se debe al mismo razonamiento seguido antes de que el actuador se detuvo después de lo que debería, comprimiendo ligeramente la máscara, la cara y la pieza de contacto, lo que dispara el valor de las fuerzas. Por lo tanto, dichos valores no se tendrán en cuenta, quedándonos solo la última medida.

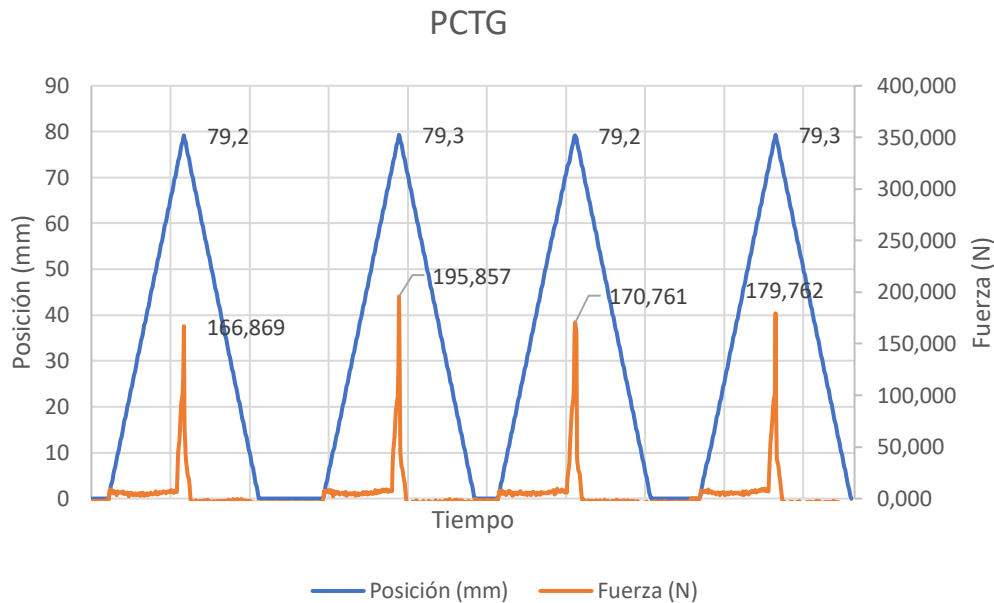
Dicho esto, la fuerza que soportará la máscara de polipropileno antes de hacer contacto con la nariz, será de **113,51N**.

- **Máscara PCTG:**

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para la máscara fabricada en PCTG:



Ilustración 77: Gráfica de resultados de los ensayos de la careta de PCTG.



Fuente: Propia.

En este ensayo, será en el que mejores resultados se hayan obtenido, ya que el actuador se ha detenido en torno a la misma posición en todos los ciclos, y se observa que los valores de fuerza obtenidos en estos son similares entre ellos, por lo que para determinar la fuerza máxima que soporta dicha careta, se realiza la media entre estos valores.

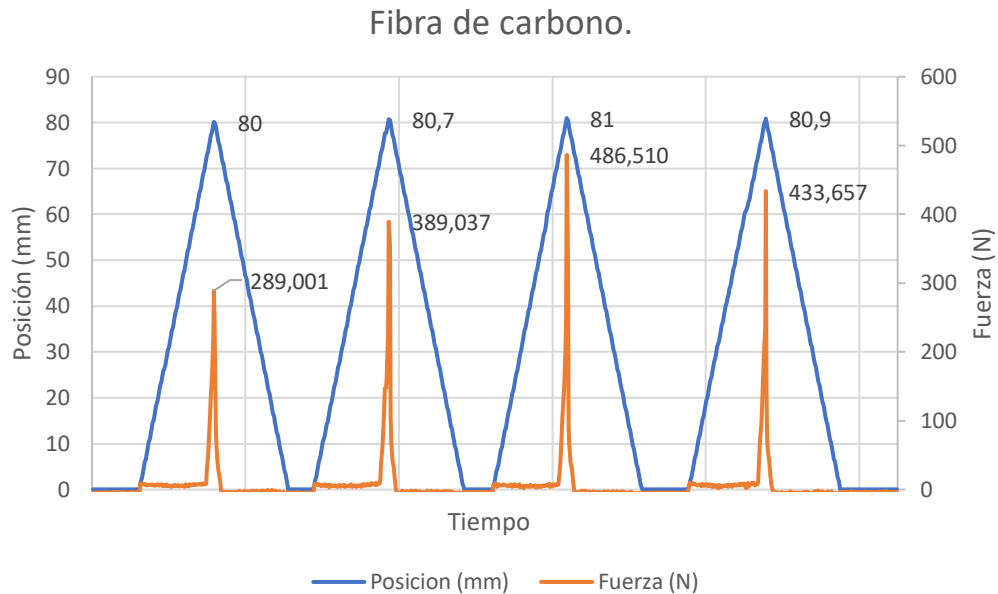
Por lo tanto, la fuerza máxima que resiste esta careta antes de hacer contacto con la nariz, será de **178,31N**.

- **Máscara fibra de carbono:**

Los resultados obtenidos en los ensayos de esta máscara serán los siguientes:



Ilustración 78: Gráfica de resultados de los ensayos de la careta de fibra de carbono.



Fuente: Propia.

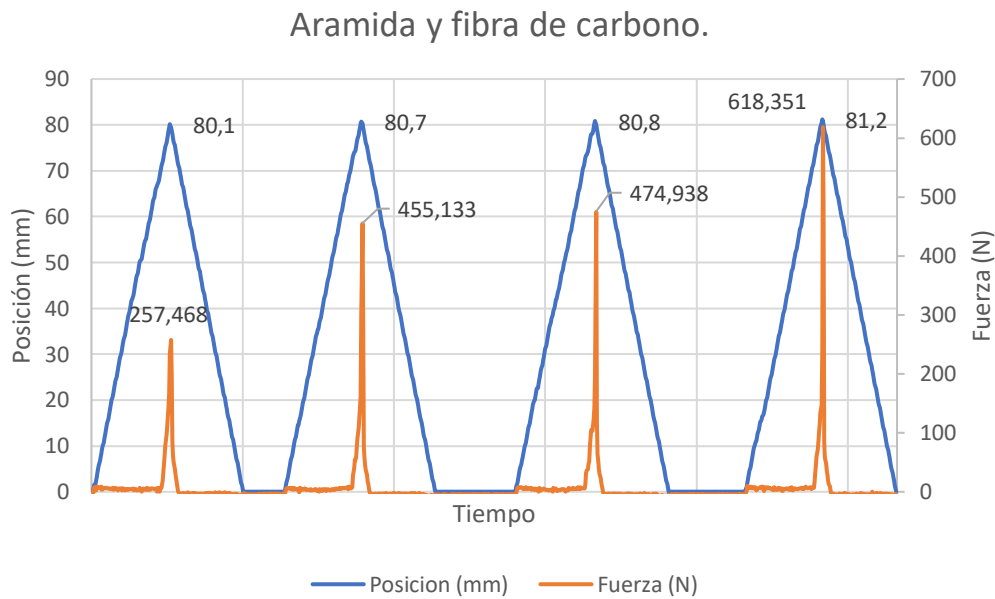
En los ensayos de esta careta, se vuelve a observar la existencia de picos elevados, los cuales se deben a un mal funcionamiento del switch de contacto, y a la baja frecuencia de lectura y escritura de datos, como se ha explicado anteriormente. Por ello, el segundo, tercer y cuarto pico se descartarán, ya que en dichas medidas se estaría comprimiendo ligeramente la máscara, la cara y la pieza de contacto, produciendo un aumento importante de la fuerza detectada por la célula de carga. Dicho esto, la fuerza que máxima que soportará esta máscara antes de que exista contacto entre la cara y ella será de **289N**.

- **Máscara aramida y fibra de carbono:**

Por último, se mostrarán los resultados de la máscara de aramida y fibra de carbono:



Ilustración 79: Gráfica de resultados de los ensayos de la careta de aramida y fibra de carbono.

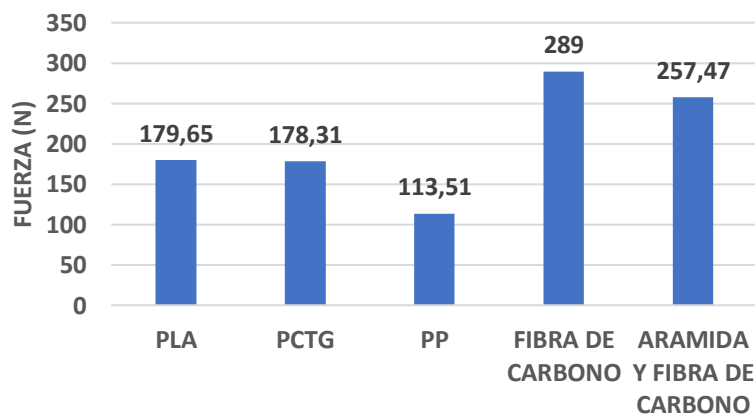


Fuente: Propia.

En este último ensayo, se vuelve a observar que el actuador se detuvo tarde en los tres últimos ciclos, volviéndose a producir picos importantes de fuerza, los cuales no se tendrán en cuenta, igual que en los casos anteriores. Por esto, se tendrá que la fuerza que resistirá la careta antes del contacto entre esta y la nariz, será la del primer ciclo, la cual será de **257,47N**.

Una vez mostrados todos los resultados de los ensayos estos se pueden resumir en el siguiente gráfico:

Ilustración 80: Resumen de los resultados de los ensayos.



Fuente: Propia.



Según los resultados de los ensayos, se puede concluir que las máscaras fabricadas por termoconformado resistirán impactos más fuertes antes de golpear la nariz del paciente, aunque estas sean más complejas de fabricar que las realizadas mediante impresión 3D. A parte, también serán las más ligeras como se puede apreciar en la Tabla 3.

Estos resultados parecen coherentes, puesto que, si miramos las características de cada material por separado, los resultados coinciden con ellas, puesto que las mejores características en cuanto a resistencia mecánica las tiene la fibra de carbono, y es también la máscara que mejores resultados ha obtenido.

En el otro extremo se encuentra la máscara de polipropileno, la cual ha obtenido los resultados más bajos en los ensayos, lo cual es coherente ya que este es un material flexible, pero que cuenta con las características mecánicas más bajas.

También hay que destacar que, con los ensayos realizados, solo se puede deducir cuál de las máscaras es la más resistente respecto a las otras, pero no se puede garantizar que esta resistencia sea suficiente para resistir impactos reales que se puedan recibir durante la actividad deportiva en la cara, puesto que, para cuantificar esto, se debería de realizar otro ensayo en el cual se tenga en cuenta el amortiguamiento que puedan producir el cuello, o la propia cara, entre otros muchos factores, y en este proyecto eso no se ha tenido en cuenta, ya que la cara se ha puesto empotrada.

Por otro lado, debido a la poca repetibilidad que han tenido los ensayos, se deberían realizar más pruebas para determinar cuál es la máscara más resistente, aunque los resultados obtenidos en este proyecto nos puedan dar una idea.





5. CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS.

CONCLUSIONES:

Se concluye el proyecto dando por funcional el producto hecho por ambos métodos de fabricación, que era el objetivo principal de este, por otra parte, al fabricar las máscaras por ambos procesos se dan por conseguidos los objetivos planteados de estudiar y entender los procesos de fabricación de termoconformado e impresión 3D, ya que los productos obtenidos de estos son válidos.

También durante este proyecto ha sido posible realizar un gran estudio dentro de los materiales de impresión 3D, puesto que se han usado para varias aplicaciones dentro de este proyecto, en las que se han buscado diferentes materiales, los cuales tuvieran unas características adecuadas para cada una de ellas.

Respecto a los ensayos, aunque se han podido conseguir conclusiones bastante claras, estos ensayos no han sido lo suficientemente repetitivos y variados, por lo que, se deberían ampliar para verificar los resultados obtenidos.

LINEAS FUTURAS:

En cuanto a las líneas futuras en las que se podría seguir trabajando en este proyecto, se encuentra el realizar un cambio en el procedimiento de la colocación del material en la termoconformadora, para evitar que sufra desplazamientos, y vaya siempre en la misma posición, porque como ya se ha visto en este proyecto, según el procedimiento seguido hay que ser extremadamente preciso y cuidadoso para que dicho material adquiera la posición adecuada respecto del molde.

En la impresión 3D se podrían realizar otros modelos, en materiales más similares a los del termoconformado, para poder realizar una comparación de ambos procesos de fabricación más fiel.

Por otro lado, se debería de profundizar más en la parte de los ensayos, realizar un rediseño del mecanismo del switch, o elegir otro aparato de adquisición de datos, para conseguir que el actuador se detenga en el momento exacto.

Otro punto que se podría introducir, es la realización de un estudio de mercado y de costes, para ver la viabilidad de estos productos, y si sería rentable la idea de comercializarlos, y de qué forma hacerlo.





BIBLIOGRAFÍA:

- 3D HUBS B.V. (2022a). *How to design parts for SLS 3D printing* | Hubs. <https://www.hubs.com/knowledge-base/how-design-parts-sls-3d-printing/?action>
- 3D HUBS B.V. (2022b). *Tipos de impresión 3D | concentradores*. <https://www.hubs.com/knowledge-base/types-of-3d-printing/>
- 3D Market. (2015, May 14). *Impresoras 3d Como Funcionan*. <https://www.3dmarket.mx/consejos-impresion/impresora-3d-amazon/>
- Bates-Green, & Howie. (2017). *Materials for 3D Printing by Fused Deposition*.
- Bemore3D. (2022). *Viviendas, dispositivos y construcción 3D* | Bemore3D. <https://bemore3d.com/>
- Brook, I. M., & Wood, N. (1983). Aetiology and incidence of facial fractures in adults. *International Journal of Oral Surgery*, 12(5), 293–298. [https://doi.org/10.1016/S0300-9785\(83\)80016-7](https://doi.org/10.1016/S0300-9785(83)80016-7)
- Cad Crowd. (2022). *Hire Freelance Point Cloud Modeling Services for Your Company* | Cad Crowd. <https://www.cadcrowd.com/architectural-design/point-cloud-modeling-services>
- Cascone, P., Petrucci, B., Ramieri, V., & TitoMatteo, M. (2008). Security Hi-tech Individual Extra-light Device Mask: a new protection for [soccer] players. *The Journal of Craniofacial Surgery*, 19(3), 772–776. <https://doi.org/10.1097/SCS.0B013E31816B1AD4>
- Escaure Ibérica, S. A. (2020). *Termoconformat* | Escaure Ibèrica, S.A. <https://www.escaure.com/termoconformat?lang=es>
- Exact Plastics GmbH. (2022). *EasyPreg* - www.exact-plastics-gmbh.de. <https://www.exact-plastics-gmbh.de/>
- Fiberlogy. (2022a). *Filamento de polipropileno: extremadamente duradero y flexible*. <https://fiberlogy.com/es/filamentos/pp/>
- Fiberlogy. (2022b). *PCTG | Filamento resistente a los impactos - una alternativa al PET-G*. <https://fiberlogy.com/es/filamentos/pctg/>
- Filament2Print. (2020). *La importancia de la isotropía en la impresión 3D*. https://filament2print.com/es/blog/91_isotropia-impresion-3d.html
- Kivela, L. (2021, April 16). *3 soluciones fáciles contra el warping (PLA, PETG, ABS)* | All3DP. <https://all3dp.com/es/2/warping-impresion-3d-soluciones/>



- Medina, F. (2014). *THERMOFORMING MANUAL and TROUBLE-SHOOTING GUIDE*.
https://www.academia.edu/31181655/THERMOFORMING_MANUAL_and_TROUBLE_SHOOTING_GUIDE
- Morgan, P. (2005). Carbon Fibers and Their Composites. *Carbon Fibers and Their Composites*. <https://doi.org/10.1201/9781420028744>
- Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T. Q., & Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143, 172–196. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2018.02.012>
- Peter. (2019, January 26). *Rellenos en impresión 3D. Definen estructura, resistencia y peso*. <https://3dwork.io/rellenos-en-impresion-3d/>
- Quintana Díaz, J. C., & Giralt López, B. M. (2005). ETIOPATOGENIA DE FRACTURAS FACIALES EN ACCIDENTES DEPORTIVOS. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de La Actividad Física y El Deporte*, 5(19), 214–221. <http://cdeporte.rediris.es/revista/revista19/arttrauma14.htm>
- Quintana Díaz, J., Hernández Izquierdo, D., & Giralt López, B. (1998). Incidencia de fracturas maxilofaciales en el municipio Artemisa. *Revista Cubana de Ortopedia y Traumatología*, 12(1–2), 69–71. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-215X1998000100013
- Reglero Ruiz, J. A., Trigo-López, M., García, F. C., & García, J. M. (2017). Functional Aromatic Polyamides. *Polymers 2017*, Vol. 9, Page 414, 9(9), 414. <https://doi.org/10.3390/POLYM9090414>
- Santos Martínez, G. (2021). *Diseño, desarrollo y prototipado de un sistema de ensayo a fatiga para piezas impresas en 3D*. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/47268>
- Sbags. (2020). *Bolsas personalizadas 3D Técnicas de impresión*. <https://sbags.es/proyecto-bolsas-personalizadas-3d-tecnicas-de-impresion/>
- Schwarzmann, P. (2019). Thermoforming A Practical Guide. In *Thermoforming*. Hanser. <https://doi.org/10.3139/9781569907092.001>
- Sherry, Eugene., & Wilson, S. F. (2002). *Manual Oxford de medicina deportiva*. https://www.academia.edu/17887482/Manual_Oxford_de_Medicina_Deportiva_Eugene_Sherry_and_Stephen_F_Wilson



Smart Materials 3D. (2022a). *Comprar PLA - Filamentos SmartMaterials3D*.
https://www.smartmaterials3d.com/pla-filamento#/2-tamano-m_750g/11-color-true_black/26-diametro-175_mm

Smart Materials 3D. (2022b). *NYLSTRONG*.
<https://www.smartmaterials3d.com/nylstrong-filamento>

Smart Materials 3D. (2022c). *TPU HARDNESS+*.
<https://www.smartmaterials3d.com/innovatefil-tpu-hardness>

Telfer, M. R., Jones, G. M., & Shepherd, J. P. (1991). Trends in the aetiology of maxillofacial fractures in the United Kingdom (1977-1987). *The British Journal of Oral & Maxillofacial Surgery*, 29(4), 250–255.
[https://doi.org/10.1016/0266-4356\(91\)90192-8](https://doi.org/10.1016/0266-4356(91)90192-8)

Throne, J. L. (2008). Understanding thermoforming: Second edition. In *Understanding Thermoforming: Second Edition*. Hanser.
<https://doi.org/10.3139/9783446418554>

Torgersen, S., & Tornes, K. (1992). Maxillofacial fractures in a Norwegian district. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 21(6), 335–338. [https://doi.org/10.1016/S0901-5027\(05\)80756-8](https://doi.org/10.1016/S0901-5027(05)80756-8)

Torras, M. (2016). *Tipos de Impresoras 3D | EntresD*.
<https://entresd.es/blog/tipos-de-impresoras-3d/>

Ultimaker. (2022). *Ultimaker 3*. <https://ultimaker.com/es/3d-printers/ultimaker-3>





Anexo I: Ficha técnica PLA.

PLA

Biodegradable filament and ok for all 3d printers. It is very easy to print as it has no contractions so you can make really big pieces. With our PLA filament you can achieve a fantastic finish and lively colours in all your pieces.



Recyclable
Recyclable
Recyclable



Apto para contacto
con alimentos
Food Approved
Alimenti approvati



Biocompostable
Biocompostable
Biocompostabile

	TYPICAL VALUE	UNITS	TEST METHOD		
PHYSICAL PROPERTIES					
Chemical Name	Polyactic Acid				
Material Density	1.24	g/cm ³	ISO 1183		
Glass Transition Temperature	60	°C	D3418		
MECHANICAL PROPERTIES					
Tensile Strength at Break	50	MPa	D882		
Tensile Yield Strength	60	MPa	D882		
Tensile Modulus	3.5	GPa	D882		
Tensile Elongation	6	%	D882		
Notched Charpy Impact	5	KJ/m ²	ISO-179-1eA		
Flexural Strength	83	MPa	D790		
Flexural Modulus	3.8	GPa	D790		
THERMAL PROPERTIES					
Heat Distorsion Temperature (0.45 MPa)	55	°C	E2092		
PRINTING PROPERTIES					
Print Temperature	200-240	°C			
Hot Pad	0-60	°C			
Fan Layer	ON (100)	%			
SIZE	NET W.	GROSS W.	DIAMETERS	COLOR	PACKAGING
S	330 g	475 g	1.75 mm	Various colors	SmartBag, security seal, desiccant bag
M	750 g	975 g	1.75 mm/2.85 mm	Various colors	
L	1000 g	1256 g	1.75 mm/2.85 mm	Various colors	

Fuente: Smart Materials 3D, 2022a





Anexo II: Ficha técnica PCTG.

Physical Properties	Test Method	Unit	Typical Value
Specific Density	ISO 1183	g/cm ³	1.23
Mechanical Properties	Test Method	Unit	Typical Value
Tensile Strength @ Yield	ISO 527	MPa	43
Tensile Strength @ Break	ISO 527	MPa	45
Tensile Modulus	ISO 527	MPa	2000
Elongation @ Yield	ISO 527	%	4
Elongation @ Break	ISO 527	%	220
Flexural Strength	ISO 178	MPa	60
Flexural Modulus	ISO 178	MPa	1600
Izod Impact Strength (Notched) @ 23°C	ISO 180	kJ/m ²	92
Thermal Properties	Test Method	Unit	Typical Value
Heat Distortion Temperature @ 0.45 MPa	ISO 75	°C	76
Heat Distortion Temperature @ 1.8 MPa	ISO 75	°C	64
Vicat Softening Temperature	ISO 306	°C	81
Glass Transition Temperature T _g	DSC	°C	88
Melting Temperature T _m	DSC	°C	-
Continuous Use Temperature (UL Yellow Card)	UL 746	°C	50

The information set forth herein has been gathered from standard reference materials and/or supplier test data. To the best knowledge and belief of Fiberlab S.A. they are accurate and reliable. Information is offered only for your consideration, investigation and verification. Fiberlab S.A. makes no warranties, expressed or implied, with respect to the use of such information or the use of the specific material identified herein combination with any other material or process, and assumes no responsibility therefore.

Last update: January 20, 2022

Fuente: Fiberlogy, 2022b





Anexo III: Ficha técnica PP.

Physical Properties	Test Method	Unit	Typical Value
Specific Density	ISO 1183	g/cm ³	1.05
Mechanical Properties	Test Method	Unit	Typical Value
Tensile Strength @ Yield	ISO 527	MPa	26
Tensile Strength @ Break	ISO 527	MPa	21
Tensile Modulus	ISO 527	MPa	1100
Elongation @ Yield	ISO 527	%	>30
Elongation @ Break	ISO 527	%	250
Flexural Strength	ISO 178	MPa	18
Flexural Modulus	ISO 178	MPa	1200
Izod Impact Strength (Notched) @ 23°C	ISO 180	kJ/m ²	20
Thermal Properties	Test Method	Unit	Typical Value
Heat Distortion Temperature @ 0.45 MPa	ISO 75	°C	80
Heat Distortion Temperature @ 1.8 MPa	ISO 75	°C	65
Vicat Softening Temperature	ISO 306	°C	135
Glass Transition Temperature T _g	DSC	°C	-
Melting Temperature T _m	DSC	°C	163
Continuous Use Temperature (UL Yellow Card)	UL 746	°C	65

The information set forth herein has been gathered from standard reference materials and/or supplier test data. To the best knowledge and belief of Fiberlab S.A. they are accurate and reliable. Information is offered only for your consideration, investigation and verification. Fiberlab S.A. makes no warranties, expressed or implied, with respect to the use of such information or the use of the specific material identified herein combination with any other material or process, and assumes no responsibility therefore.

Last update January 20, 2022

Fuente: Fiberlogy, 2022a





Anexo IV: Fichas técnicas materiales empleados en el termoconformado.

EASYPREG A1-AC205K-53.



Technical datas / data sheet

EASYPREG A1-AC205K-53


Product declaration

- EASYPREG A1-AC205K-53

Product description / application area

- Fibre composite with thermoplastic matrix
- Application primarily in 2-way vacuum thermoforming machines
- Very good to drape during the vacuum thermoforming process
- Wide range in construction and arrangement through manifold possibilities of combination

Characteristics

	Type A	
Material	Aramid-Carbon Hybrid	
Weave construction	Twill 2/2	
Weight per m ²	205 g/m ²	
Thickness	0,30 mm	
Volume of fibres	53 %	
Meltpoint of matrix	175 °C	
Process temperature	200 – 250 °C	
Width	1,00 m	

Storage conditions

- dry
- clean
- warm

Processing

- The material is to cut by scissors or accu-cutter by means of model templates. Afterwards placed in Thermoforming machine between 2 silicon mats, layer by layer to a laminate, Now the materials is heated up to the melting point of the matrix.
- Following the thermoforming process is starting
- If the laminate is cold is possible to start with further processing.
- The max. rigidity the material reaches after 4 hours.
- Details you will find in our manual, you will find at our website www.exact-plastics.de.

Important

- Based on the high temperature thermoforming you have to use only materials, which tested from us.

Our technical suggestions are based on long term experience and lots of tests in practice. They are without any commitment and dont absolve the hand crafter from tests.

Fuente: Exact Plastics GmbH, 2022



EASYPREG A1-C245K-56.



Technical datas / data sheet

EASYPREG A1-C245K-56

Product declaration

- EASYPREG A1-C245K-56

Product description / application area

- Fibre composite with thermoplastic matrix
- Application primarily in 2-way vacuum thermoforming machines
- Very good to drape during the vacuum thermoforming process
- Wide range in construction and arrangement through manifold possibilities of combination

Characteristics

	Type A	
Material	Carbon	
Weave construction	Twill 2/2	
Weight per m ²	245 g/m ²	
Thicknesse	0,30 mm	
Volume of fibres	56 %	
Meltpoint of matrix	175 °C	
Process temperature	200 - 250 °C	
Width	1,15 m	

Storage conditions

- dry
- clean
- warm

Processing

- The material is to cut by scissors or accu-cutter by means of model templates. Afterwards placed in Thermoforming machine between 2 silicon mats, layer by layer to a laminate, Now the materials is heated up to the melting point of the matrix.
- Following the thermoforming process is starting
- If the laminate is cold is possible to start with further processing.
- The max. rigidity the material reaches after 4 hours.
- Details you will find in our manual, you will find at our website www.exact-plastics.de.

Important

- Based on the high temperature thermoforming you have to use only materials, which are tested by us.

Our technical suggestions are based on long term experience and lots of tests in practice. They are without any commitment and dont absolve the handcrafter from tests.

Fuente: Exact Plastics GmbH, 2022



EXACT-FILM 210.



Technical datas

Exact-Film 210

Product declaration

- Exact-Film 210

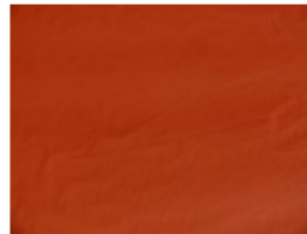
Product description / application area

- Special release film, high temperature resistant and high elongation.
- For shiny surfaces of laminates.

Characteristics

- Release film for manufacturing EASYPREG reinforced fibres and fabrics
- Usable for vacuum and pre-preg processes

Temperature resistance	315 °C
Ultimate elongation	> 500%
Thickness	25 µm
Colour	red-brown
Width	1,22 m
Length	152,40 m
Quantity	reel or m



Advantage

- Production processes with EASYPREG materials needs high temperatures. Other release films are not to use, they don't have the resistance against heat for processes more than 300°C.
- Through special characters of this film it possible to manufacture laminates with high glossy surfaces.

Our technical suggestions are based on long term experience and lots of tests in practice. They are without any commitment and dont absolve the handcrafter from tests.

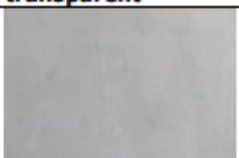
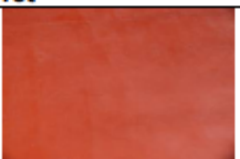
Fuente: Exact Plastics GmbH, 2022



SILICONAS ROJA Y TRANSPARENTE.

**Technisches Datenblatt****Silikonmatten**

mehr Infos

Standardausführung	transparent	rot
		
Temperaturbeständigkeit (kurzzeitig)	-60 bis +200 °C (250 °C)	-60 bis +270 °C (300 °C)
Dichte	1,13 g/cm ³	1,13 g/cm ³
Shore A Härte	30, 40, 50, 60, 70, 80°	40, 50, 60, 70, 80°
Reißdehnung	550 %	450 %
Elektr. Leitfähigkeit	23 kV.mm ⁻¹	23 kV.mm ⁻¹
Dielektrizitätszahl	2,9	2,9
Verlustfaktormessung	3x10 ⁻⁴	3x10 ⁻⁴
Spezifischer Widerstand	3x10 ¹⁵ Ω.cm	3x10 ¹⁵ Ω.cm
Thermische Leitfähigkeit	0,24 W.m ⁻¹ .K ⁻¹	0,24 W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Zugfestigkeit	11,1 mPa	7 mPa
Weiterreißfestigkeit	14 N/mm	10,2 N/mm
Dicken	ab 0,3mm in 0,1mm Schritten bis 12mm am Lager: 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 10.0mm	ab 0,3mm in 0,1mm Schritten bis 12mm am Lager: 0.3, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0mm
Farbe	transluzent	rotbraun
Typenübersicht	talkumiert (Standard) talkumfrei auf Träger einseitig selbstkleb. nicht vulkanisiert	talkumiert (Standard) talkumfrei auf Träger einseitig selbstkleb. nicht vulkanisiert
Oberfläche	glatt	glatt
Rollenbreite	bis 1,8 m am Lager 1000/1200mm	bis 1,8 m am Lager 1000/1200mm
Rollenlänge	1 bis 10,0 m	1 bis 10,0 m
Lieferform	Platte, Rolle, Laufmeter, Zuschnitte	Platte, Rolle, Laufmeter, Zuschnitte

Fuente: Exact Plastics GmbH, 2022



FIBRAS DE CARBONO Y ARAMIDA

FIBRA	CARBONO	ARAMIDA
DENSIDAD (g/cc)	1.7-1.9	1.4-1.5
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (GPa)	2.4-7	2.5-3.5
MÓDULO DE ELASTICIDAD (GPa)	230-700	60-130
ALARGAMIENTO A LA ROTURA (%)	1.4	2.8

Fuente: Exact Plastics GmbH, 2022

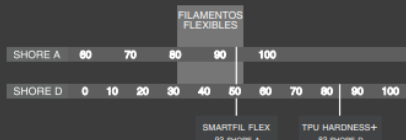


TPU HARDNESS+

Innovatefil® TPU Hardness+, es un poliuretano termoplástico que combina dureza, elasticidad y resistencia mecánica, por lo que mantiene todas las ventajas de este elastómero para que podamos fabricar piezas completamente rígidas. Sus principales características son:

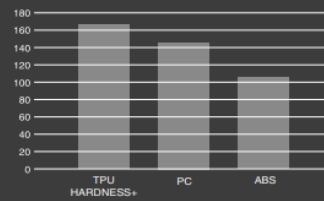
- Alta resistencia al desgaste y abrasión.
- Disminuye el impacto y las vibraciones.
- Alta resistencia a grasas, aceites, oxígeno y ozono.
- Gran resistencia a la hidrólisis y estabilizado en luz UV.
- Alta resistencia a los microorganismos.

ESCALA SHORE



RESISTENCIA TERMICA

DUREZA VICAT
(A/10N) ISO 306



	VALOR	UNIDADES DE MEDIDA	STANDARD
PROPIEDADES FISICAS			
Nombre Químico	Polyurethane thermoplastic		
Densidad	1.22	g/cm ³	ISO 1183-1-A
PROPIEDADES MECÁNICAS			
Resistencia a la tracción	67	MPa	DIN 53504-S2
Alargamiento de rotura	170	%	DIN 53504-S2
Resistencia al desgarro	310	N/mm	ISO 527
Módulo de elasticidad-Ensayo de tracción	2000	MPa	ISO 527
Dureza	83	Shore D	ISO 7619-1
PROPIEDADES TÉRMICAS			
Dureza Vicat (A/10N)	164	°C	ISO 306
PROPIEDADES DE IMPRESION			
Temperatura de impresión	210-230	°C	
Temperatura de la cama	80-100	°C	
Ventilador de capa	20-100	%	
Velocidad de impresión	40-60	mm/s	

Fuente: Smart Materials 3D, 2022c



NYLSTRONG.

NYLSTRONG

Reinforced Nylon (PA6) with great impact resistance and a unique balance between hardness and mechanical resistance. Besides, its high thermal resistance makes this material perfect for industrial purposes.



Recyclable
material

	TYPICAL VALUE	UNITS	TEST METHOD		
PHYSICAL PROPERTIES					
Material Density	1.58	g/cm ³	ISO 1183		
Chemical Name	Polyamide with Fiber Glass				
MECHANICAL PROPERTIES					
Tensile Strength	160	MPa	ISO 527 -1/-2		
Notched Izod Impact	11,5	kJ/m ²	ISO 180		
THERMAL PROPERTIES					
Vicat Softening Temperature	212	°C	ISO 306		
PRINTING PROPERTIES					
Print Temperature	245-265	°C			
Hot Pad	90-100	°C			
Fan Layer	ON (20 - 100)	%			
Fan Height	> 0,2				
SIZE	NET W.	GROSS W.	DIAMETERS	COLOR	PACKAGING
M	750 g	975 g	1.75 mm/2.85 mm	Natural	SmartBag, security seal, desiccant bag



Due to glass loads, this material is **highly abrasive** so to avoid wear in brass nozzles it is **necessary to use hardened steel nozzles**.

Fuente: Smart Materials 3D, 2022b