

Trabajo Fin de Grado

PROTOCOLO PARA LA DIGITALIZACIÓN E
IMPRESIÓN 3D DE FÉRULAS ORTOPÉDICAS

PROTOCOL FOR SCANNING AND 3D
PRINTING OF ORTHOPEDIC SPLINTS

Autor

Carmen Fernández Manero

Director

Jorge Santolaria Mazo

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
2016

PROTOCOLO PARA LA DIGITALIZACIÓN E IMPRESIÓN 3D DE FÉRULAS ORTOPÉDICAS

RESUMEN

Con este Trabajo de Fin de Grado se busca crear un protocolo lo más sencillo posible, mediante el cual el proceso de crear las férulas u órtesis se realice de manera más precisa, económica y confortable de cara al paciente, para lo cual se propone el uso de la tecnología de prototipado rápido e impresión 3D.

En primer lugar se ha realizado un estudio en el cual se nos presenta si existe un mercado importante en este sector para realizar las mejoras necesarias. Así pues se han estudiado tanto a nivel nacional como europeo los movimientos en producción y consumo de este tipo de productos.

Después se ha realizado un estudio acerca del producto, donde se explica el fin de este producto así como los distintos tipos que existen y sus clasificaciones. También se ha abordado la composición de la que están hechos y las técnicas que se utilizan actualmente con las consideraciones pertinentes y los inconvenientes que se encuentran.

A continuación se propone un procedimiento completo para la realización de las férulas mediante el uso de la tecnología, donde se recogen los distintos métodos de escaneado, los ensayos de escaneado realizados con las pertinentes complicaciones observadas y la selección del método idóneo propuesto. El trabajo con la nube de puntos, el tratamiento del CAD a partir del cual obtendremos un diseño de la férula basándonos en los modelos existentes y aplicando cuando sea posible y necesario una optimización del material para reducir la masa y coste del producto, conservando sus propiedades mecánicas.

Por último se realizará un breve estudio acerca de la fabricación aditiva, los tipos de impresoras 3D y los materiales existentes, para proponer cuál de ellos es el más adecuado a nuestro caso. Después se realizará la impresión 3D de un modelo representativo y se abordará el gasto económico que supondría la implantación de este método.

Además se incluyen varios anexos: En el primero de ellos se explica un poco más en profundidad los distintos tipos de escaneo, y cuál es su funcionamiento. En el segundo de ellos se explica de forma más incisiva los materiales que utilizan las impresoras 3D.



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación)

D./D^a. CARMEN FERNÁNDEZ MANERO

con nº de DNI 73159754C en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
GRADO, (Título - del Trabajo)

PROTOCOLO PARA LA DIGITALIZACIÓN E IMPRESIÓN 3D DE FÉRULAS
ORTOPÉDICAS

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 22 de Septiembre de 2016

Fdo: Carmen Fernández Manero

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1 OBJETO Y ALCANCE	6
2. CARACTERÍSTICAS DEL SECTOR	7
2.1 EL SERVICIO DE PRESTACIÓN ORTOPROTÉSICA NACIONAL	7
2.3 PRIMERA APROXIMACIÓN AL MERCADO EUROPEO	8
3. LESIONES SUSCEPTIBLES DEL TRATAMIENTO CON FÉRULAS	11
3.1 ESTUDIO DE LOS DISTINTOS TIPOS DE FÉRULAS	11
3.1.1 TIPOS DE FÉRULAS SEGÚN MOVIMIENTOS [4]	11
3.1.2 TIPOS DE FÉRULAS SEGÚN HORARIO DE USO [3]	12
3.1.3 TIPOS DE FÉRULAS PRINCIPALES SEGÚN ANATOMÍA [2] [3] [4]	12
3.2 MATERIALES UTILIZADOS ACTUALMENTE [5]	13
3.3 TÉCNICAS UTILIZADAS ACTUALMENTE Y CONSIDERACIONES	14
4. PROCEDIMIENTO PROPUESTO	17
4.1 ESCANEEO	17
4.1.1 MODELOS DE ESCANEEO	17
4.1.2 PRUEBAS REALIZADAS	19
4.1.3 COMPLICACIONES OBSERVADAS	21
4.2 NUBE DE PUNTOS	21
4.3 CAD	24
4.3.1 DISEÑO DE FÉRULA TOBILLO-PIE	24
4.3.2 DISEÑO DE FÉRULA MUÑECA-MANO	25
4.3.3 FÉRULA DEDO	27
4.4 OPTIMIZACIÓN Y REDISEÑO	28
4.4.1 ESTUDIO DE FUERZAS	29
4.4.2 COMPROBACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS	30
4.4.3 OPTIMIZACIONES PROPUESTAS	31
4.4.4 REDISEÑO Y COMPROBACION DE DESPLAZAMIENTOS	32
4.5 IMPRESIÓN 3D	34
4.5.1 FABRICACIÓN ADITIVA	34
4.5.2 MÉTODOS DE IMPRESIÓN 3D	35
4.5.3 MATERIALES	37
5. VIABILIDAD	38
5.1 VIABILIDAD TECNOLÓGICA	38

5.2	VIABILIDAD HUMANA	38
5.3	VIABILIDAD ECONÓMICA	38
6.	CONCLUSIONES	43
	Bibliografía	44
	ANEXO I: AMPLIACIÓN DE LOS TIPOS DE ESCANEOS EXISTENTES	46
	ANEXO II: AMPLIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES ABS Y PLA	50

1. INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETO Y ALCANCE

El objeto de este proyecto es la proposición de un procedimiento para la sustitución del modo manual de realización de las férulas por un servicio en el que sean personalizadas fabricadas mediante impresión 3D, la idea que surge tras comprobar en varias experiencias cercanas la incomodidad y fallos del procedimiento de una férula realizada de manera convencional, teniendo el usuario que repetir el procedimiento tantas veces como sea necesario hasta que consiguieran que la férula cumpla los requisitos.

Además, la sencillez y el bajo coste serán también puntos importantes del proyecto, tratando de prestar un servicio final accesible a todo el público, tanto desde el punto de vista técnico de los médicos y personal sanitario, como económico desde la visión del paciente.

El alcance de este proyecto es crear un procedimiento para la obtención de férulas ortopédicas a través del escaneo de la parte del cuerpo que la necesita, para lo cual primero se estudiarán todas las técnicas posibles de escaneo hasta seleccionar el método más eficaz teniendo en cuenta variables como la comodidad del paciente, el tiempo o la precisión. Después, tras el tratamiento de la nube de puntos, trabajo con el CAD y la optimización posterior, la imprimiremos en 3D.

Esta propuesta supone una mejora en la comodidad del paciente, dado que el principal problema actual es un tiempo muy largo de preparación de las férulas forzando la posición en la articulación y por otro lado también una disminución en la cantidad de residuos, ya que, además de ahorrar los recortes generados al realizar los diseños en placas grandes, tampoco obtendremos tantos modelos que no sirven al paciente y han de ser desechados.

Por otro lado se persigue optimizar su geometría cumpliendo con los requisitos mecánicos requeridos, obteniendo mediante fabricación aditiva férulas de mucho menor coste y muy fácil reproducibilidad.

2. CARACTERÍSTICAS DEL SECTOR

Para poder conocer la magnitud de este sector, así como su importancia nos vamos a apoyar en el Libro Blanco de la prestación ortoprotésica [1], cuyo estudio ha sido promovido por Federación Española de Ortesistas Protesistas (FEDOP) y el Comité Español de Representantes de Personas con Discapacidad (CERMI) y realizado por EDAS SC entre 2009 y 2011.

Su objetivo es presentar el perfil del sector ortoprotésico con datos incuestionables, basados en estadísticas oficiales y comparaciones con otros países del entorno europeo.

2.1 EL SERVICIO DE PRESTACIÓN ORTOPROTÉSICA NACIONAL

En la siguiente tabla se observa el consumo desglosado de los apartados de la prestación ortoprotésica del año 2009:

TIPO DE PRESTACIÓN	CONSUMO (en Euros)
1. Implantes quirúrgicos	969.088.354,03
2. Total ortoprotésis externas (OPE)	159.852.208,30
2.2 Prótesis externas	27.504.571,53
2.2 Órtesis	61.372.153,16
2.3 Sillas de ruedas	53.823.033,56
2.4 Ortoprotésis especiales	15.813.579,34
TOTAL PRESTACION ORTOPROTÉSICA	1.128.940.562,33

Tabla 1. Consumo Nacional en prestaciones ortoprotésicas 2009. Fuente: Ministerio de Sanidad, S.G. Alta inspección y Cartera de Servicios.

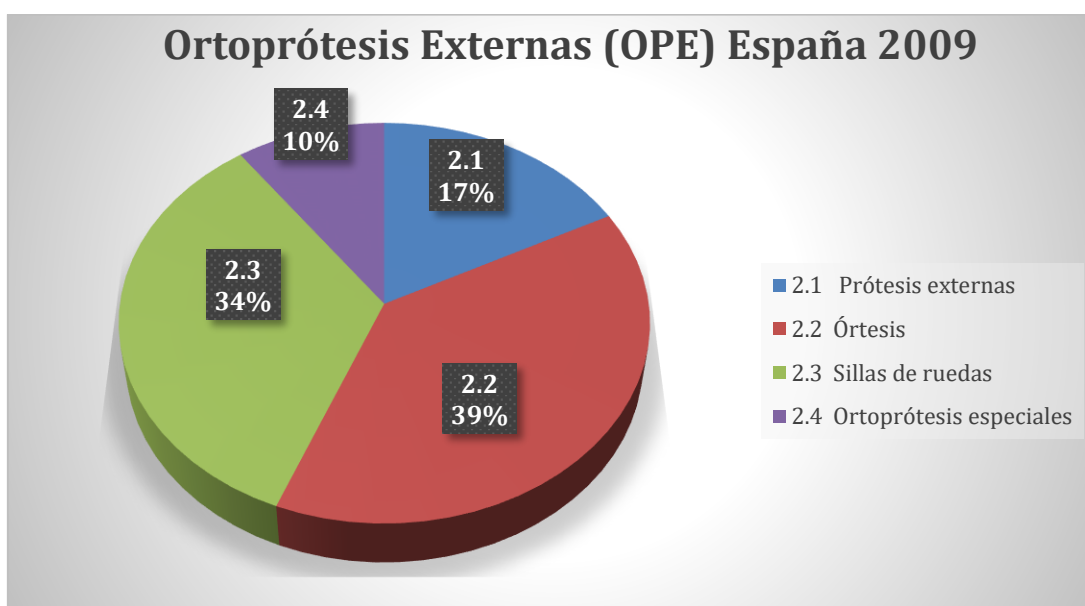


Gráfico 1. OPE España 2009. Fuente: Elaboración propia.

A partir de la tabla y del gráfico anteriores se observa que las órtesis suponen el 39% del consumo total nacional de ortoprótesis externas, lo que supone un desembolso de casi 61.5 millones de euros.

A continuación se va a presentar la evolución de la producción española a lo largo de diez años de manufacturas ortopédicas, particularmente para el caso de Aparatos ortopédicos, férulas y otros:

PRODUCCIÓN ESPAÑOLA A LO LARGO DE 10 AÑOS (en miles de euros)									
1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
28.796	33.819	44.063	43.925	49.187	53.274	67.740	75.290	82.463	80.356

Tabla 2. Diez años de producción española de manufacturas ortoprotésicas. Fuente: Elaboración propia de EDAS SC con datos del INE y Eurostat.

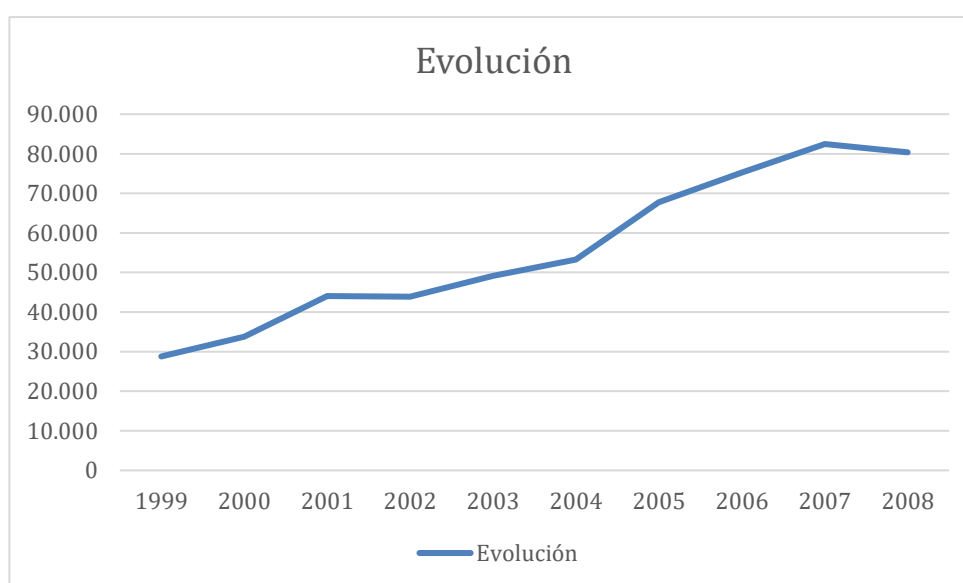


Gráfico 2. Diez años de producción española de manufacturas ortopédicas. Fuente: Elaboración propia.

En vista a los datos recogidos a lo largo de 10 años hasta 2008, queda reflejado que la tendencia para este sector es ascendente. El crecimiento total observado en estos 10 años es de aproximadamente un 280%.

2.3 PRIMERA APROXIMACIÓN AL MERCADO EUROPEO

Sobre estos mimbres internacionales, se va a realizar una primera aproximación a la dimensión internacional del sector objeto de estudio, a partir de los datos que elabora Eurostat para el conjunto de la Unión Europea.

Con la siguiente tabla, se observa la producción europea en manufacturas ortoprotésicas del año 2008:

TIPO DE PRESTACIÓN	PRODUCCIÓN (en Miles de Euros)
1. Aparatos para la sordera	815.191
2. Partes y accesorios de audífonos	284.178
3. Marcapasos	1.450.869
4. Vehículos sin propulsión mecánica	290.117
5. Vehículos de tracción mecánica	259.380
6. Partes y accesorios de vehículos	240.000
7. Asientos convertibles en camas	1.500.000
8. Articulaciones artificiales	1.650.559
9. Aparatos ortopédicos, férulas y otros	1.757.820
10. Dientes artificiales de plástico	173.903
11. Dientes artificiales no de plástico	376.520
12. Accesorios dentales	2.479.024
13. Partes artificiales del cuerpo	1.464.189
14. Partes y accesorios ortopédicos	1.320.000
TOTAL PRODUCCIÓN EUROPEA	14.061.750

Tabla 3. Producción europea de manufacturas ortoprotésicas. Fuente: Elaboración de EDAS SC sobre las cifras PRODCOM de Eurostat para cada país europeo en 2008

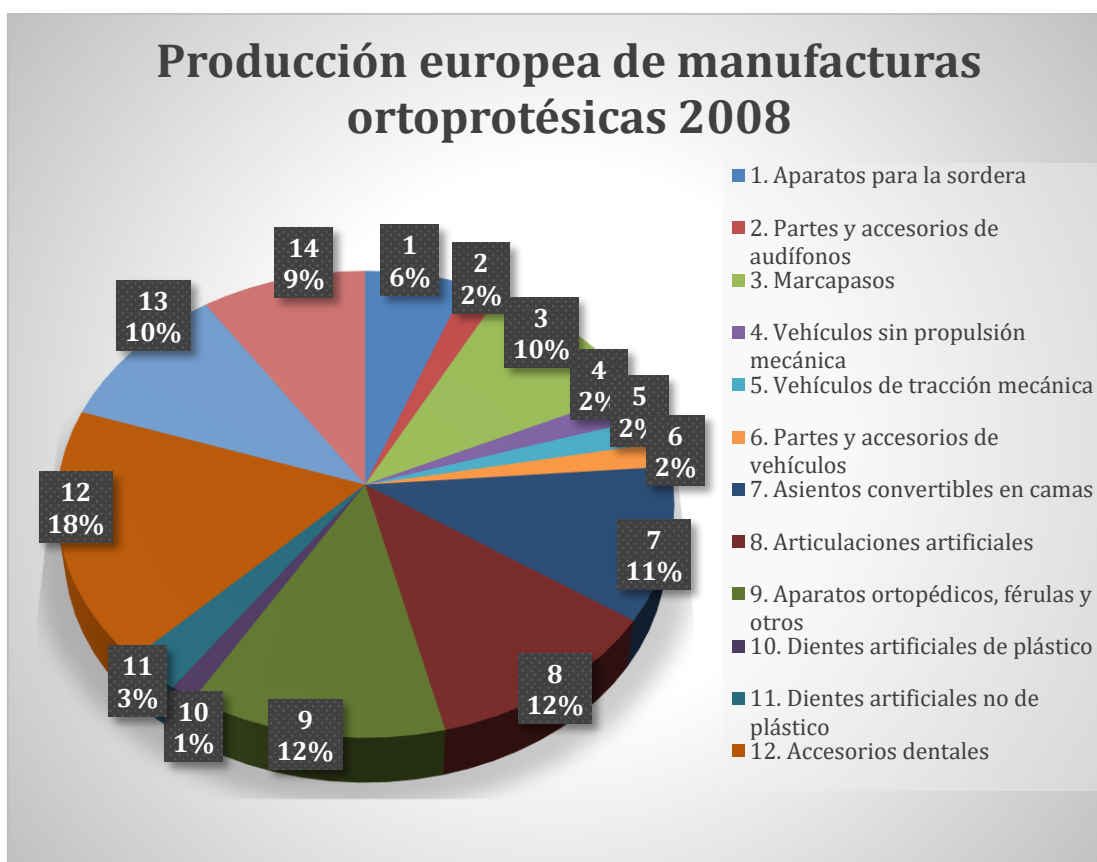


Gráfico 3. Producción europea de manufacturas ortoprotésicas 2008. Fuente: Elaboración propia.

Para conocer el crecimiento de este sector, se va a exponer la producción de Europa en Miles de euros en 1995:

TIPO DE PRESTACIÓN	PRODUCCIÓN (en Miles de Euros)
1. Aparatos para la sordera	234.631
2. Partes y accesorios de audífonos	57.820
3. Marcapasos	240.000
4. Vehículos sin propulsión mecánica	176.393
5. Vehículos de tracción mecánica	115.573
6. Partes y accesorios de vehículos	118.737
7. Asientos convertibles en camas	1.723.197
8. Articulaciones artificiales	418.923
9. Aparatos ortopédicos, férulas y otros	589.182
10. Dientes artificiales de plástico	70.229
11. Dientes artificiales no de plástico	77.425
12. Accesorios dentales	1.144.158
13. Partes artificiales del cuerpo	353.109
14. Partes y accesorios ortopédicos	281.695
TOTAL PRODUCCIÓN EUROPEA	5.601.072

Tabla 4. Elaboración de EDAS SC sobre las cifras PRODCOM de Eurostat para Europa en 1995

Se observa que el motivo de nuestro estudio se engloba en el punto 9 de la tabla y asciende a la cifra de casi aproximadamente 1.800 Millones de Euros, lo que supone un 12% del total de producción de este sector. Si lo contrastamos con la producción de este sector en 1995, que ascendía a un valor de 589.182 miles de euros, observamos un incremento en el sector de un 298%.

3. LESIONES SUSCEPTIBLES DEL TRATAMIENTO CON FÉRULAS

En primer lugar es necesario definir el concepto de férula, para poder comprender qué misión tiene sobre el paciente. Una férula u órtesis un dispositivo que adaptado externamente sobre diferentes partes del cuerpo, modifican su forma o funcionamiento, con el fin de mantener, mejorar o recuperar la función alterada [2]. Son dispositivos externos confeccionados con materiales ligeros, como el polipropileno, que se puede modelar después de calentarlo a altas temperaturas, lo que hace posible que se amolde de forma precisa al segmento corporal en el que se va a utilizar.

Algunas férulas pueden ser hechas a medida para tratar otras condiciones médicas asociadas con defectos congénitos o deficiencias motoras. Aparatos ortopédicos en las piernas son un tipo de férula que puede utilizarse para apoyar parcialmente los músculos débiles para ayudar en el desarrollo de la fuerza muscular. Las férulas se pueden utilizar también para tratar enfermedades profesionales tales como el síndrome del túnel carpiano. Las férulas pueden ayudar mediante la inmovilización parcial de la muñeca y ayudar al paciente a desarrollar una mejor posición de las manos para el trabajo repetitivo.

Las férulas ortopédicas se utilizan para tratar una variedad de lesiones y condiciones médicas que están relacionados con los huesos y el tejido muscular circundante. Hay férulas para tratar las lesiones en casi todas las áreas de los especialistas del cuerpo y ortopédicos pueden elegir entre una variedad de férulas para el tratamiento de lesiones específicas.

Así pues los principales objetivos son [3]:

- Prevenir o corregir deformaciones ortopédicas
- Preservar, facilitar o suplir una función
- Proporcionar un mayor bienestar.

3.1 ESTUDIO DE LOS DISTINTOS TIPOS DE FÉRULAS

3.1.1 TIPOS DE FÉRULAS SEGÚN MOVIMIENTOS [4]

OBJETIVOS	
ESTÁTICAS	<ul style="list-style-type: none">- No permiten movimiento.- Mantienen una postura determinada.
DINÁMICAS	<ul style="list-style-type: none">- Permiten o facilitan el movimiento.

Tabla 5. Clasificación por movimientos.

3.1.2 TIPOS DE FÉRULAS SEGÚN HORARIO DE USO [3]

OBJETIVOS	
DE DÍA	<ul style="list-style-type: none"> - Prolongar las posibilidades de marcha. - Permitir estar de pie. - Prevenir las deformidades (acción complementaria)
DE NOCHE	<ul style="list-style-type: none"> - Complemento del tratamiento rehabilitador - Prevenir actitudes incorrectas durante la noche. - No interferir en la calidad del sueño.

Tabla 6. Clasificación por horario.

3.1.3 TIPOS DE FÉRULAS PRINCIPALES SEGÚN ANATOMÍA [2] [3] [4]

	OBJETIVOS	EJEMPLO
HOMBRO, CODO, MUÑECA	<p>Articuladas: Postural que además permiten o asisten determinados movimientos</p> <p>No articuladas: Postural o inmovilizadora</p>	
CODO	Dispositivos articulados o no para controlar progresivamente el grado de flexión o extensión	
MUÑECA Y MANO	<p>Dinámicas: asisten los movimientos de flexo-extensión</p> <p>Estáticas: Posturales</p>	
DEDOS	<p>Dinámicas: aumentan y controlan la flexo-extensión de los dedos</p> <p>Estáticas: Mantener inmovilizado para permitir su recuperación, prevenir o impedir deformidades.</p>	
PIE Y TOBILLO (DAFOS)	<p>Influyen en el cuerpo entero.</p> <p>Mejorar el apoyo del pie.</p>	



RODILLA	Descarga del peso Rehabilitación postoperatoria	
PLANTAR SIMPLE	Limitar la desviación hacia los lados.	

Tabla 7. Clasificación por anatomía.

3.2 MATERIALES UTILIZADOS ACTUALMENTE [5]

MATERIAL	APLICACIONES	PROPIEDADES	VENTAJAS	INCONVENIENTES
POLIETILENO	Férulas Corsés Plantillas Encajes de prótesis provisionales	A medida que aumenta la densidad aumenta la temperatura de fusión, la resistencia a la tracción y la dureza pero disminuyen la resistencia al impacto, la translucidez y la resistencia al estrés. Se moldea en horno a temperatura entre 120° y 180°, mediante la técnica del vacío.	Fácil de retocar. Poco peso. Lavable. Poco ruidoso. Bajo coste. Transparente a los Rx.	Al ser impermeable aumenta la sudoración. Frágiles para soportar la fatiga de uso. Alergias en algunos pacientes
POLIETILENO BAJA TEMPERATURA	Férulas Corsés Plantillas Encajes de prótesis provisionales	Espesores disponibles: 1.5, 2.4, 3, 4 y 8 mm. Perforado o sin perforar. Se moldea a baja temperatura (aprox. 80°) *Permite moldearlo directamente sobre la piel del paciente. Para trabajarlo se calienta en una cubeta de agua caliente o con pistola de aire.	Rapidez en la confección. Muy fácil de retocar. Lavable. Si se calienta de nuevo recupera completamente su forma original. Transparente a los Rx.	Costo elevado. A partir de 80° se deforma por lo que no puede acercarse a una fuente de calor.

<p>POLIPROPILENO</p>	<p>Órtesis de marcha</p> <p>Corsés</p> <p>Encajes para prótesis femorales y tibiales, provisionales o definitivos.</p>	<p>Es el más ligero de los plásticos.</p> <p>Tiene una elevada resistencia a la tracción, rigidez y dureza.</p> <p>Su elevado punto de fusión hace que las piezas sean esterilizables.</p> <p>Se moldea en horno a temperatura entre 120° y 180°, mediante la técnica del vacío</p>	<p>Ligeros de peso.</p> <p>No son ruidosos.</p> <p>Transparente a los Rx.</p> <p>Lavables.</p> <p>Fácil de retocar.</p> <p>Bajo coste.</p>	<p>Difícil de pulir los cantos.</p> <p>Sudoración.</p> <p>A veces alergias.</p>
<p>PLASTAZOTE</p>	<p>Plantillas</p> <p>Calzados</p> <p>Acolchados de férulas, aparatos, corsés etc.</p>	<p>Es una espuma de polietileno de baja densidad.</p> <p>Existe en diversos colores: rosáceo, amarillo, rojo y azul.</p> <p>Puede ser perforado o no.</p> <p>Se puede moldear con calor.</p> <p>Se puede utilizar sin calentar para cualquier tipo de almohadillado.</p>	<p>Baja absorción de la humedad.</p> <p>Alta flexibilidad.</p> <p>Resistencia a la fatiga.</p> <p>Buen amortiguador de impactos.</p> <p>Muy fácil de trabajar.</p> <p>Lavable.</p>	

Tabla 8. Tabla de materiales.

3.3 TÉCNICAS UTILIZADAS ACTUALMENTE Y CONSIDERACIONES

El procedimiento y las consideraciones de estas técnicas se ven recogidas en un artículo de la Revista Chilena de Terapia Ocupacional [6].

Las consideraciones básicas son:

- Incremento del área de aplicación de la fuerza para dispersar la presión.
- Incremento de ventaja mecánica para reducir la presión y el confort.
- Asegurar tres puntos de presión.
- Posición de la articulación.

Principios de Diseño: El desafío es crear una férula que no sólo cumpla con los objetivos funcionales, sino que además debe ser aceptable y tolerada por el usuario.

Principios Generales de Diseño:

- Considerar factores individuales en el usuario (edad, motivación, medidas corporales, nivel de actividad,...)
- Presentar un diseño sencillo y de aspecto agradable (Lo más sencillas posible, permitir el funcionamiento óptimo del miembro afectado).
- Permitir la función óptima de la extremidad.
- Permitir la óptima sensación (el diseño de la férula debe dejar la mayor cantidad de área táctil libre de material oclusivo).
- Permitir una eficiente construcción y ajuste.
- Proporcionar una fácil aplicación y retirada.

Principios Específicos de Diseño:

- Identificar las articulaciones involucradas.
- Revisar el propósito (inmovilizar, incrementar el movimiento pasivo o sustituir el movimiento activo).
- Identificar áreas de disminución de la sensibilidad (Debido a la alta posibilidad para generar necrosis por presión).
- Determinar la superficie de aplicación de la férula.

Método de fabricación:

La propuesta presenta tres etapas:

- Etapa inicial: Construcción teórica.
Selección de todos los materiales que formaran la férula. (Termoplástico, sujeciones, acolchados,..).
- Segunda etapa: Diseño, elaboración y adaptación de la Férula.
 1. Toma de medidas antropométricas.
 2. Cálculo de las dimensiones del dispositivo.
 3. Trazado de las piezas en papel.
 4. Preparación de materiales. Corte y calentamiento.
 5. Trazado de las piezas en el termoplástico.
 6. Corte de las piezas mediante aplicación de calor y posterior corte.
Finalmente se pulen con una lima para limpiar la rebaba que pueda molestar al usuario.
 7. Modelado de las piezas. Se calientan las piezas hasta que el material esta maleable y se les da la forma.
 8. Ensamble de las piezas.
 9. Limpieza de la férula.
 10. Acolchado de la férula.
 11. Colocación de correas.
- Etapa final: Resultados.



Diagrama 1. Procedimiento actual de obtención de férulas

En los casos en los que se usa este tipo de procedimientos, el punto 9 del diagrama, de modelado de las piezas, suele realizarse sobre el paciente, para adaptar la férula lo máximo posible a su anatomía, esto implica que, dependiendo del estado de la articulación, el usuario debe permanecer en una postura forzada durante mucho tiempo hasta conseguir el resultado adecuado, lo que implica una incomodidad muy prolongada.

4. PROCEDIMIENTO PROPUESTO

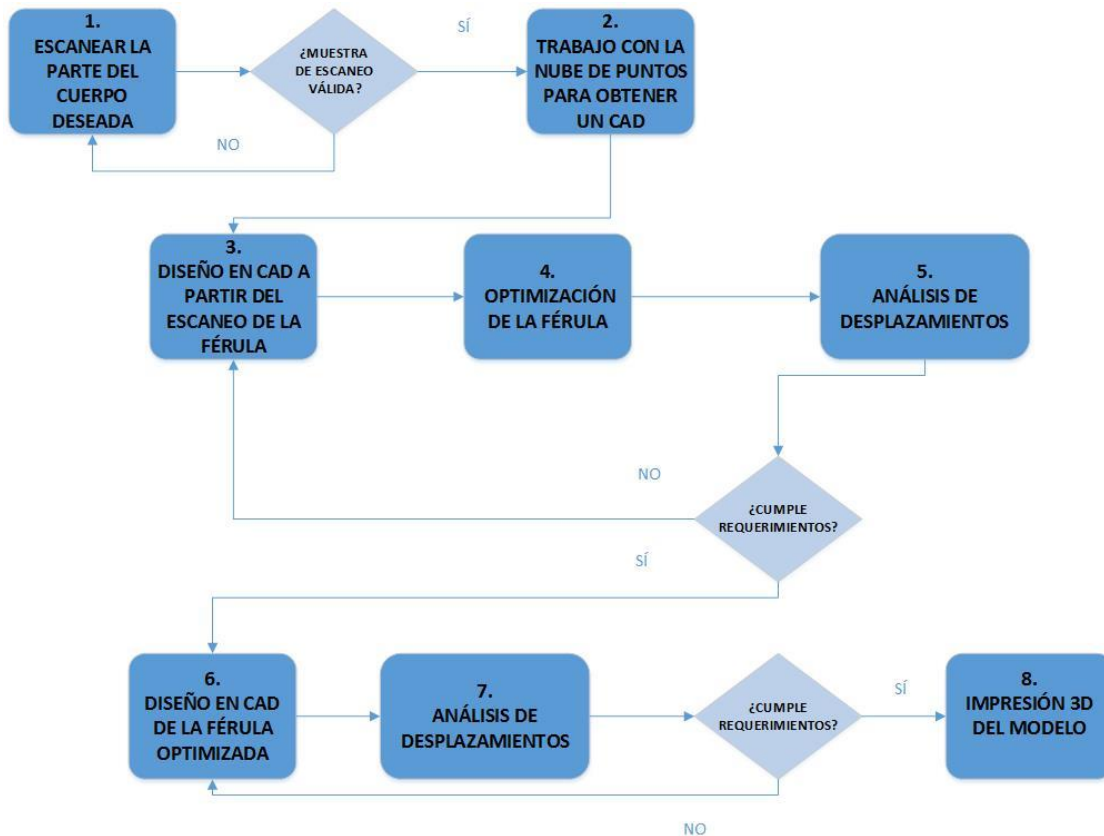


Diagrama 2. Procedimiento propuesto para la obtención de férulas.

4.1 ESCANEO

4.1.1 MODELOS DE ESCANEO

FOTOGRAMETRÍA [7]:

La fotogrametría es una técnica para determinar las propiedades geométricas de los objetos y las situaciones espaciales a partir de imágenes fotográficas. Puede ser de corto o largo alcance.

Es una técnica de medición de coordenadas 3D, también llamada captura de movimiento, que utiliza fotografías u otros sistemas de percepción remota junto con puntos de referencia topográficos sobre el terreno, como medio fundamental para la medición.

Fabricantes:

- Artec scanner 3D. Utilizado para prótesis y ortopedias. Dentro de su gama de productos encontramos el modelo Artec Space Spider [8] ideal para escanear incluso partes del cuerpo humano y el modelo Shapifi booth [9], capaz de realizar un escaneo de cuerpo completo en 12 segundos.



Ilustración 1. Artec Space Spider



Ilustración 2. Shapifi Booth

- Scanify [10]: Los escáneres 3D a color ideal para escanear superficies orgánicas, piel y artefactos.



Ilustración 1. Scanify

ESCANER DE LUZ BLANCA ESTRUCTURADA [11]:

El escáner de luz estructurada es un dispositivo capaz de capturar la forma y características de un objeto mediante la proyección de un patrón de luz y su registro en un sistema de adquisición (véase cámara fotográfica).

El escáner 3D consta de una fuente de luz (que proyectará el haz) y una cámara (que captará los puntos/líneas de las superficies) separados entre sí. Para escanear el objeto se define un sistema de coordenadas esféricas para determinar cada punto del espacio tridimensional que se está capturando.

Fabricantes:

- Nub3D [12]. Capturan un área completa en cada disparo generando una densa nube de puntos de la superficie de la pieza.
- Faro [13]: Faro focus 3D. Diseñado para aplicaciones en exteriores gracias a su mínimo peso, gran rango y dimensión. Gran rango incluso bajo luz solar directa y fácil posicionamiento con su GPS integrado. La función de HDR y la resolución de la imagen HD garantizan resultados de escaneo detallados y con más alta calidad de los datos.



Ilustración 2. Sidio Neo



Ilustración 3. Faro Focus 3D

LASER POR TRIANGULACIÓN [14]:

El escáner láser de triangulación 3D es también un escáner activo que usa la luz del láser para examinar el entorno. El haz de luz láser incide en el objeto y se usa una cámara para buscar la ubicación del punto del láser. Dependiendo de la distancia a la que el láser golpee una superficie, el punto del láser aparece en lugares diferentes en el sensor de la cámara.

Fabricantes:

- Romer [15]: escáner externo está diseñado para el escáner láser de altas prestaciones.



Ilustración 4. ROMER Absolute Arm

- Faro [16]: combina todas las ventajas del brazo FARO con un láser escáner de mano.



Ilustración 5. Faro Scan Arm

4.1.2 PRUEBAS REALIZADAS

Escáner 3D de brazo FARO:

Con el escáner y con el programa de captura Geomagic Qualify se obtuvo la siguiente muestra de una mano real en una posición de uso, para que al colocar la férula en el paciente se permita la máxima utilización de la misma. El tiempo de trabajo para poder escanear la parte del cuerpo solicitada se alarga demasiado debido a la precisión del aparato por lo que, involuntariamente se realizan movimientos respecto de la postura inicial y se producen irregularidades.



Ilustración 6. Escaneo de la muestra

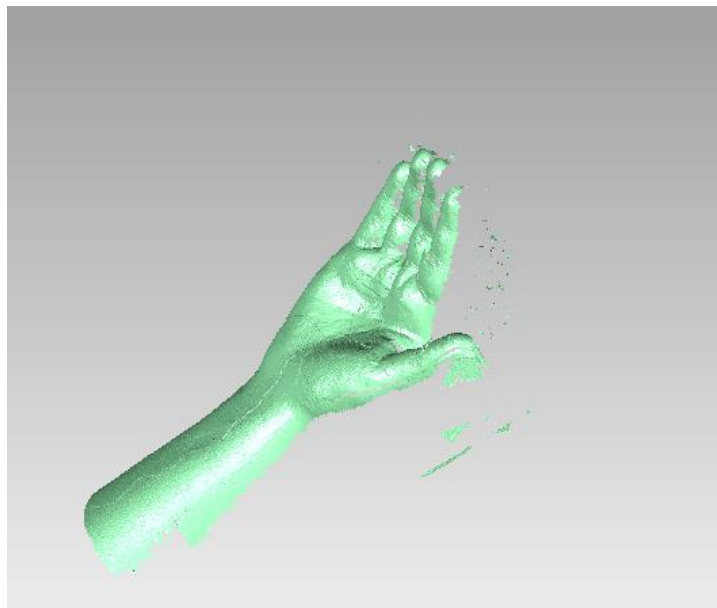


Ilustración 7. Resultado del escaneo

Escáner iSense para iPad

A partir de la aplicación para iPad y el escáner iSense de Apple se han realizado varias pruebas, y se ha observado que en cuanto a movilidad este tipo de aparatos presenta una clara ventaja, ya que todo el sistema se acopla en uno y el procesamiento es automático por la aplicación. Además te permite una vez terminado el escaneo, antes de guardar, realizar modificaciones con herramientas como borrar o cortar para definir la muestra lo más exacta posible. Otra ventaja es que el paso a ordenador se realiza de manera muy sencilla a través de iTunes, y obtienes directamente tus escaneos en formato *.obj, esto es, una malla con la que poder trabajar directamente sin tener que realizar el tratamiento de puntos. Como inconveniente se observa que la precisión no es muy buena y a veces se producen fallos de captura cuando se va moviendo el aparato alrededor de la muestra.



Ilustración 10. iSense iPad



Ilustración 11. Escaneo de la muestra

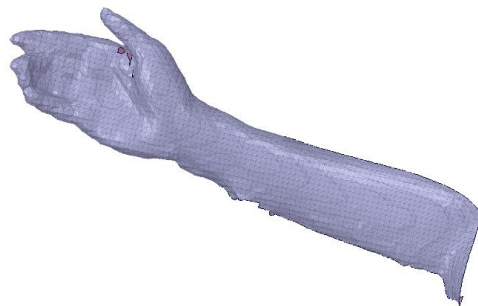


Ilustración 12. Resultado del escaneo con iSense delantero

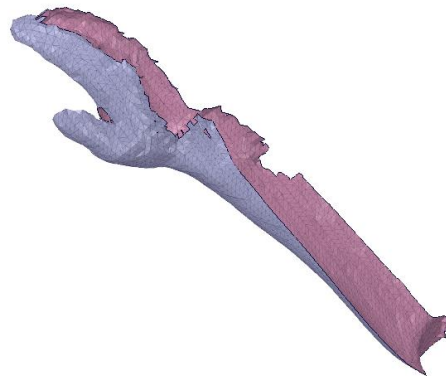


Ilustración 13. Resultado del escaneo con iSense lateral

4.1.3 COMPLICACIONES OBSERVADAS

La principal dificultad que se encuentra a la hora de realizar este paso del procedimiento es la inmovilización, aunque se intente mantener la posición lo más fija posible, inconscientemente se producen movimientos en la postura inicial lo que produce en el caso del brazo laser una irregularidad bastante notable ya que es un equipo de alta precisión y en bastantes casos implica el posterior desecho de la pieza por la imposibilidad de reparar eficazmente la nube de puntos, otra dificultad en este es la dificultad de rodear la articulación para obtener la visión global 3D de la parte del cuerpo.

Por otro lado si utilizamos el de iPad, obtenemos una muy baja precisión en la que no se observan los pequeños movimientos, pero es muy inexacta. Además también resulta complicado conseguir una muestra válida de toda la geometría.

Para este tipo de casos la mejor solución sería el uso de los escáneres de tipo fotogrametría, ya que en una sola captura obtienen una visión del conjunto.

Otra de las dificultades que se plantean en este paso es el momento en el que el usuario sea una persona que presente algún defecto congénito o deficiencia motora, esto implicará que no es capaz de realizar la postura requerida por sus propios medios, por lo que sería necesario definir y crear previamente algún tipo de pre-posicionadores generalizados.

4.2 NUBE DE PUNTOS

Para este paso la aplicación seleccionada es Geomagic Studio 2013. Lo que nos va a permitir es tratar la nube de puntos y repararla hasta conseguir un CAD sobre el que trabajar posteriormente.

Este paso va a resultar muy importante ya que hay que tratar la superficie obtenida con cuidado de no deformarla demasiado respecto a la muestra inicial, pero reparar todos los errores que se producen durante el escaneo.

Para poder comprender el funcionamiento de este programa y los pasos que se han seguido hasta lograr un objeto compatible con la siguiente aplicación véase el diagrama que se muestra a continuación:

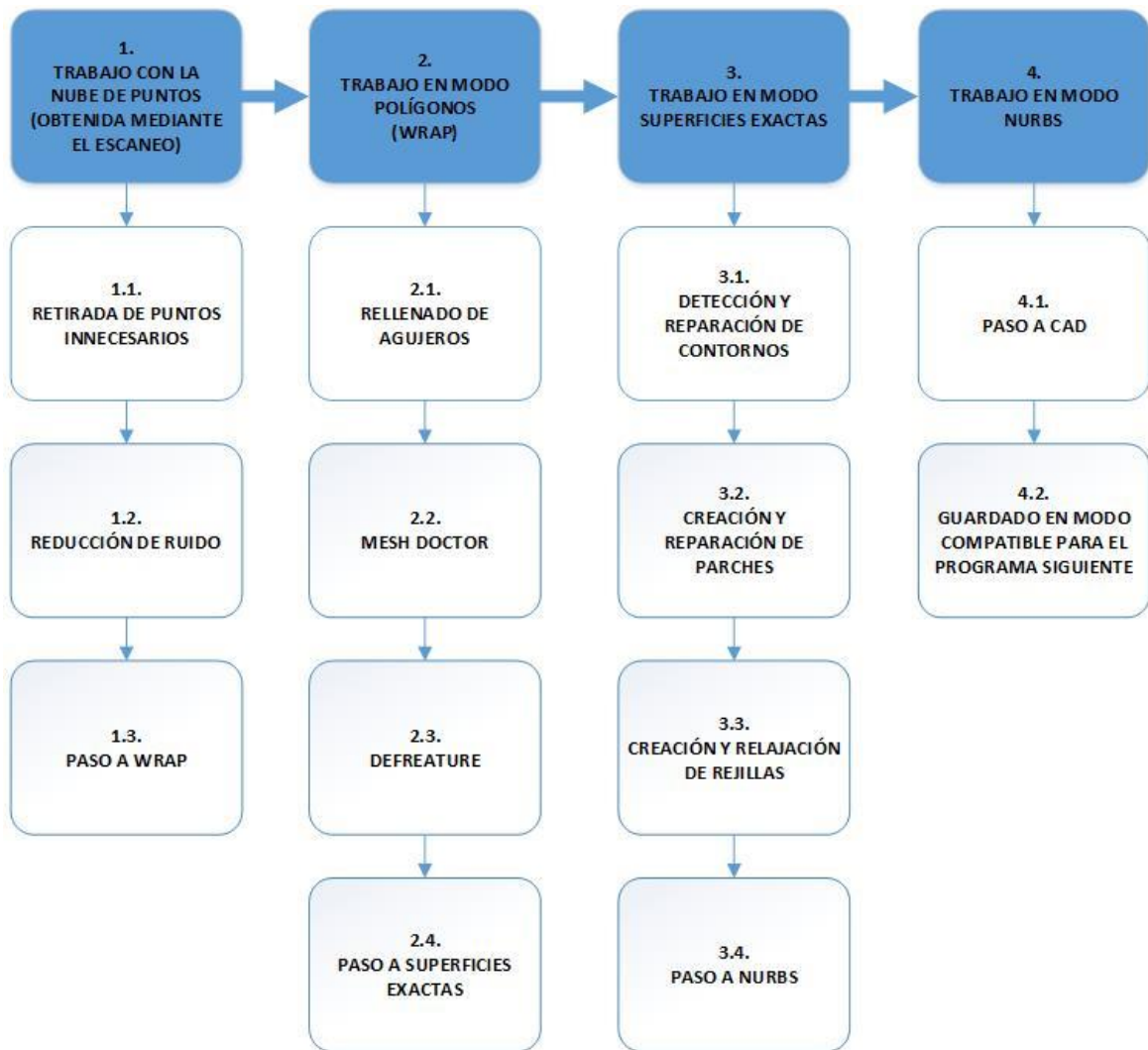


Diagrama 3. Diagrama de flujo del uso de Geomagic general.

A continuación se presenta el procedimiento seguido para una muestra en particular, obtenida a partir del escaneo presentado en el apartado 4.1.2 con el Brazo Faro:

1. Trabajo con la nube de puntos.

A la muestra obtenida en el laboratorio es necesario quitarle todos aquellos puntos obtenidos que no formen parte de la superficie original, así como reducir el ruido para suavizar el resultado.

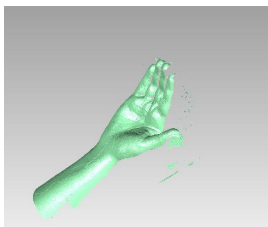


Ilustración 14. Escaneo Brazo Faro

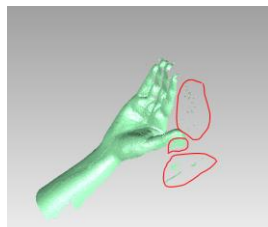


Ilustración 15. Puntos sobrantes

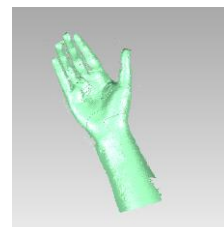


Ilustración 16. Reducción de ruido

2. Trabajo en modo polígonos.

Una vez que la nube de puntos ha sido reparada se pasa a trabajar en modo “WRAP o Polígonos”. En primer lugar se han rellenado los agujeros que presentaba la muestra y se ha aplicado MESH DOCTOR para reparar automáticamente fallos varios y por último para eliminar los errores de irregularidades superficiales se ha utilizado defeature.

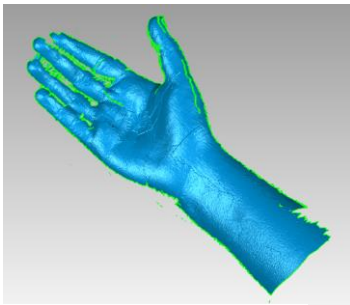


Ilustración 17. Paso a WRAP

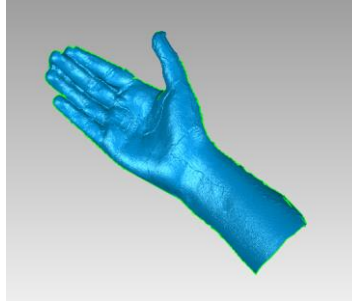


Ilustración 18. Reparar

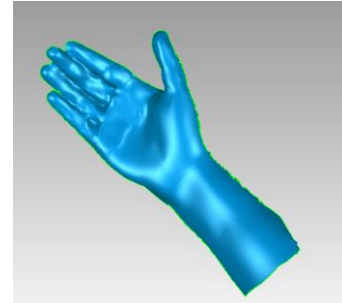


Ilustración 19. Tras defeature.

3. Superficies Exactas.

Una vez tenemos nuestra figura en el modo Superficies Exactas se detectan los contornos, si automáticamente no son muy exactos en este mismo paso se retocan hasta conseguir una composición que defina bien las curvaturas. Después se forman los parches y se reparan manualmente si tiene algún problema. A continuación se crean las rejillas y en caso de obtener puntos problemáticos se aplica una relajación de las mismas. Por último se adapta a superficie para obtener la nube NURBS y se pasa a formato CAD.

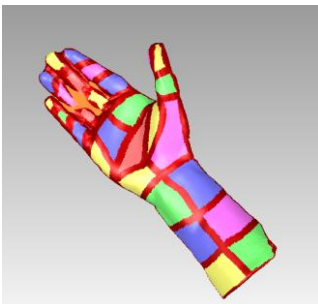


Ilustración 20. Detección y reparación de contornos

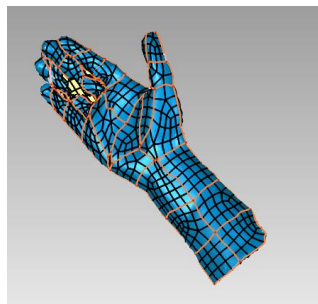


Ilustración 21. Creación y reparación de parches

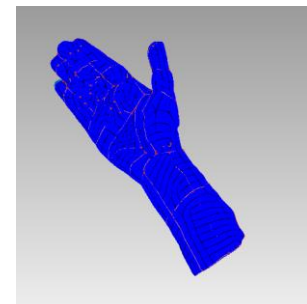


Ilustración 22. Creación y relajación de rejillas.

4. Resultados.



Ilustración 23 Resultado CAD superficies frontal

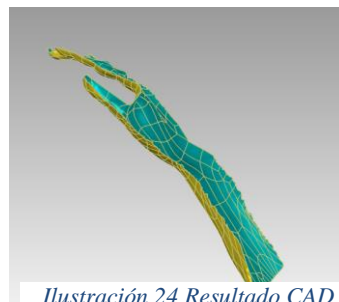


Ilustración 24 Resultado CAD superficies lateral

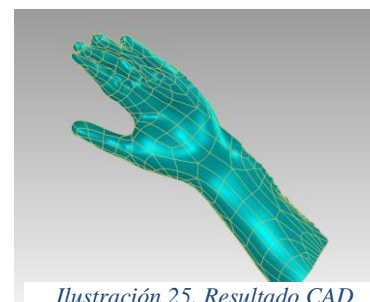


Ilustración 25. Resultado CAD superficies trasera

4.3 CAD

En esta sección del trabajo se ha propuesto como software SpaceClaim 2016, que lo que nos permite es el trabajo con sólidos, mallas y superficies, ofreciendo una amplia gama de posibilidades a la hora de obtener las férulas deseadas.

4.3.1 DISEÑO DE FÉRULA TOBILLO-PIE

En primer lugar, a partir de un STL [17] que representa una pierna simplificada, se ha propuesto un diseño de férula pie-tobillo, mediante el diagrama que se presenta a continuación:

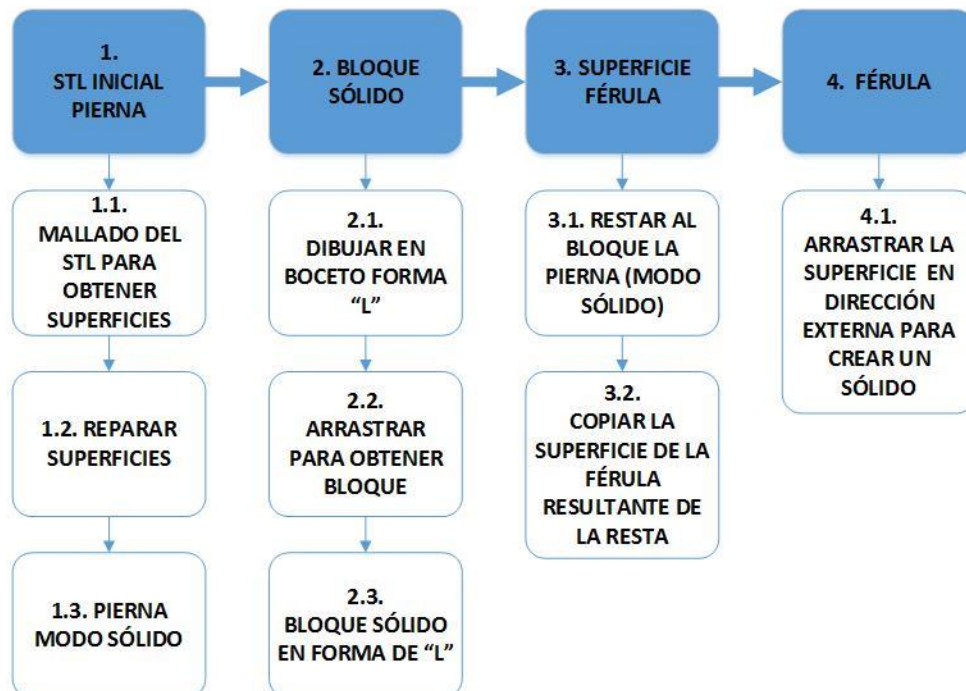


Diagrama 4. Diagrama de flujo de uso de SpaceClaim para el diseño de la férula pie-tobillo

Seguidamente se va a mostrar el procedimiento de manera visual mediante breves explicaciones e imágenes:



Ilustración 26. STL inicial

El primer paso es obtener las superficies del STL para después poder transformarlo a sólido, una vez tenemos toda la pierna mallada, mediante las herramientas de reparar logramos unir las y así formar un sólido.

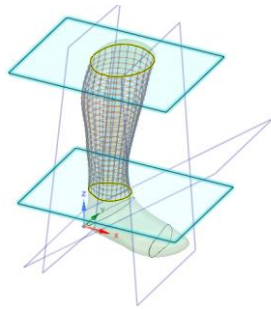


Ilustración 27. Obtención de superficies



Ilustración 28. Pierna en sólido

El siguiente paso es crear un bloque en forma de “L”, al que le restaremos la pierna, de este modo tendremos el molde de la pieza que necesitamos.

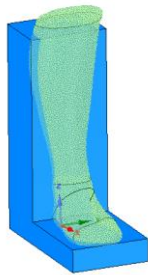


Ilustración 29. Bloque con pierna

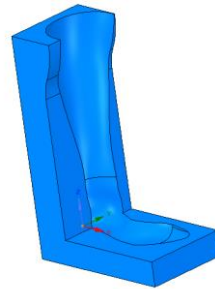


Ilustración 30. Bloque con la pierna restada

Por último copiamos la superficie que queda en el bloque y le damos un espesor utilizando la herramienta de arrastre.

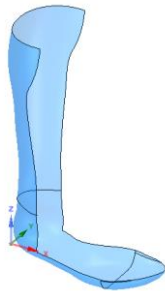


Ilustración 31. Superficie del DAFO



Ilustración 32. DAFO

4.3.2. DISEÑO DE FÉRULA MUÑECA-MANO

En segundo lugar, a partir de la superficie obtenida mediante el escáner FARO, y posteriormente tratada con Geomagic Studio, se ha propuesto un modelo de muñeca-mano con el siguiente procedimiento:

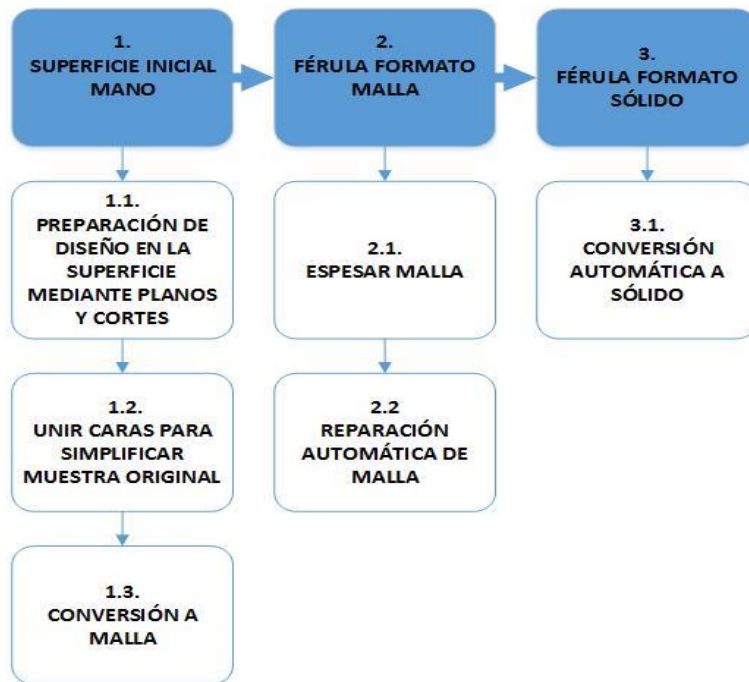


Diagrama 5. Diagrama de flujo de uso de SpaceClaim para el diseño de la férula de mano.

En primer lugar se ha cortado la superficie inicial con varios planos para conseguir el diseño propuesto y se ha reparado utilizando la función combinar caras para simplificar su composición. A continuación esta superficie se ha convertido en formato malla para poder darle un espesor uniforme y después se ha convertido en sólido, obteniendo el resultado final.

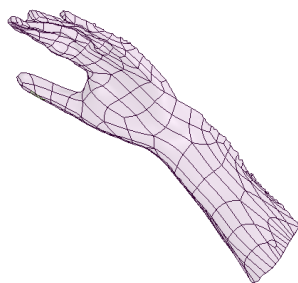


Ilustración 33 Superficie inicial

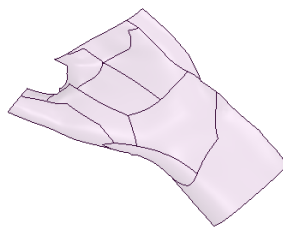


Ilustración 34 Preparación de superficie

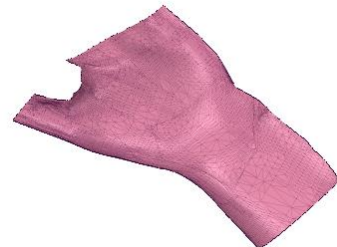


Ilustración 35 Paso a malla



Ilustración 36 Malla espesada

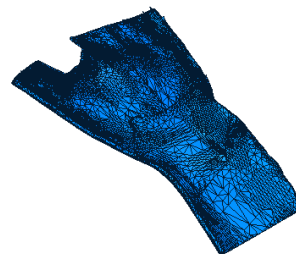


Ilustración 37 Férula mano-muñeca final

4.3.3. FÉRULA DEDO

Por último se ha propuesto una férula de tipo dedo, a partir de un STL [18]:

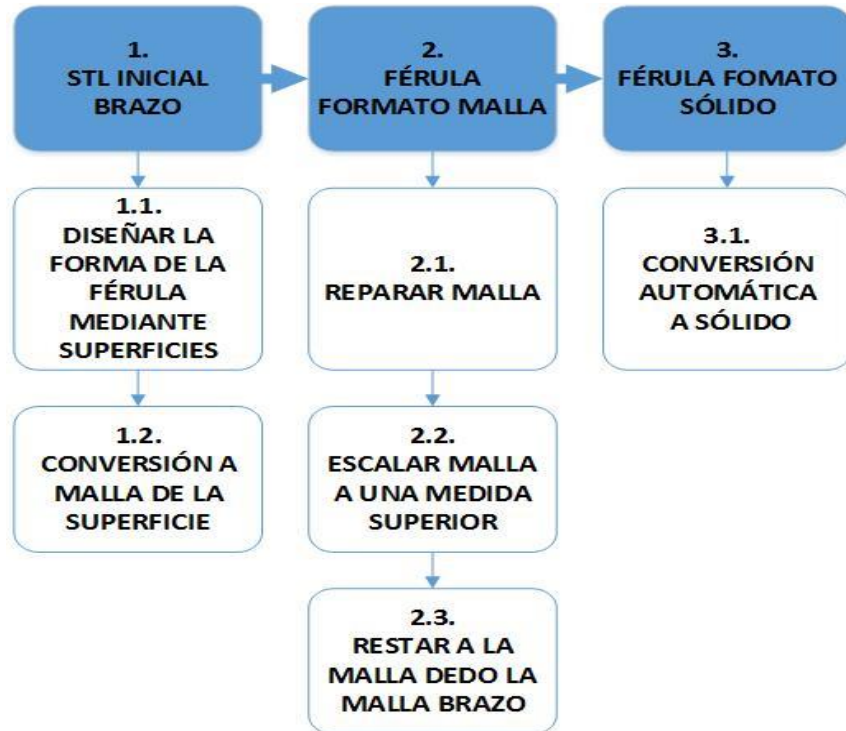


Diagrama 6. Diagrama de flujo de uso de SpaceClaim para el diseño de la férula de dedo.

Para el diseño de esta férula tipo dedo, se parte de un STL, a partir del cual se diseña la forma que tendrá con una superficie. Después se pasa a malla, se repara y se escala a un tamaño mayor. Luego se restan a la muestra la malla del brazo original y obtenemos la forma final. Por último se pasa a formato sólido y ya tenemos la férula tipo dedo completa.



Ilustración 38. STL brazo inicial

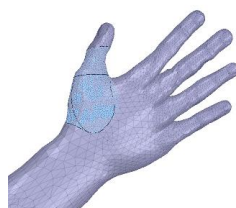


Ilustración 39. Superficies diseño sobre modelo



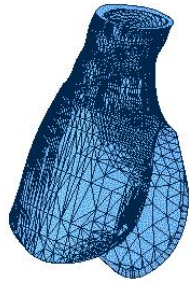
Ilustración 40. Superficies diseño.



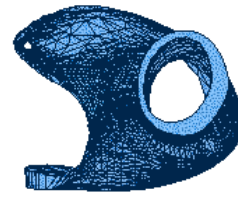
Ilustración 41. Malla reparada



Ilustración 42. Malla escalada



*Ilustración 43. Férula
final vista frontal*



*Ilustración 44. Férula
frontal vista superior*

En el proceso de realización de la órtesis de mano y la de dedo, se ha observado la dificultad de tener unas curvaturas muy complicadas, por lo que al programa le era imposible procesar un espesor partiendo de la superficie mediante la herramienta arrastre utilizada anteriormente en el diseño de la férula pie-tobillo. Así pues se ha propuesto este otro método para obtener un sólido sobre el que trabajar, que presenta un facetado bastante complejo.

El alto número de facetas que presenta nuestro sólido va a ser un problema a la hora de realizar la optimización y el estudio de los desplazamientos, por lo que antes de seguir con el siguiente paso se pasarán los archivos por Geomagic, para reducir los errores y el número de facetas siguiendo el procedimiento descrito en el punto 4.2.

4.4 OPTIMIZACIÓN Y REDISEÑO

Se va a proceder a la optimización, rediseño y comprobación aplicado a la férula de pie-tobillo y la de mano-muñeca, de las diseñadas anteriormente. La parte que se refiere a comprobación y optimización del modelo se va a realizar mediante Inspire, y la parte de rediseño se puede realizar con varios programas como puede ser Evolve, Solid Edge, SpaceClaim,... en nuestro caso debido a la precisión que necesitamos en la cara interna de las férulas se va a utilizar SpaceClaim.

El procedimiento seguido en estos casos se ve explicado en el diagrama de flujo que se muestra a continuación, donde los puntos 1,2 y 4 se realizan con Inspire y el punto 3 es realizado con SpaceClaim y se describirá el procedimiento seguido para cada diseño en el punto 4.4.4:

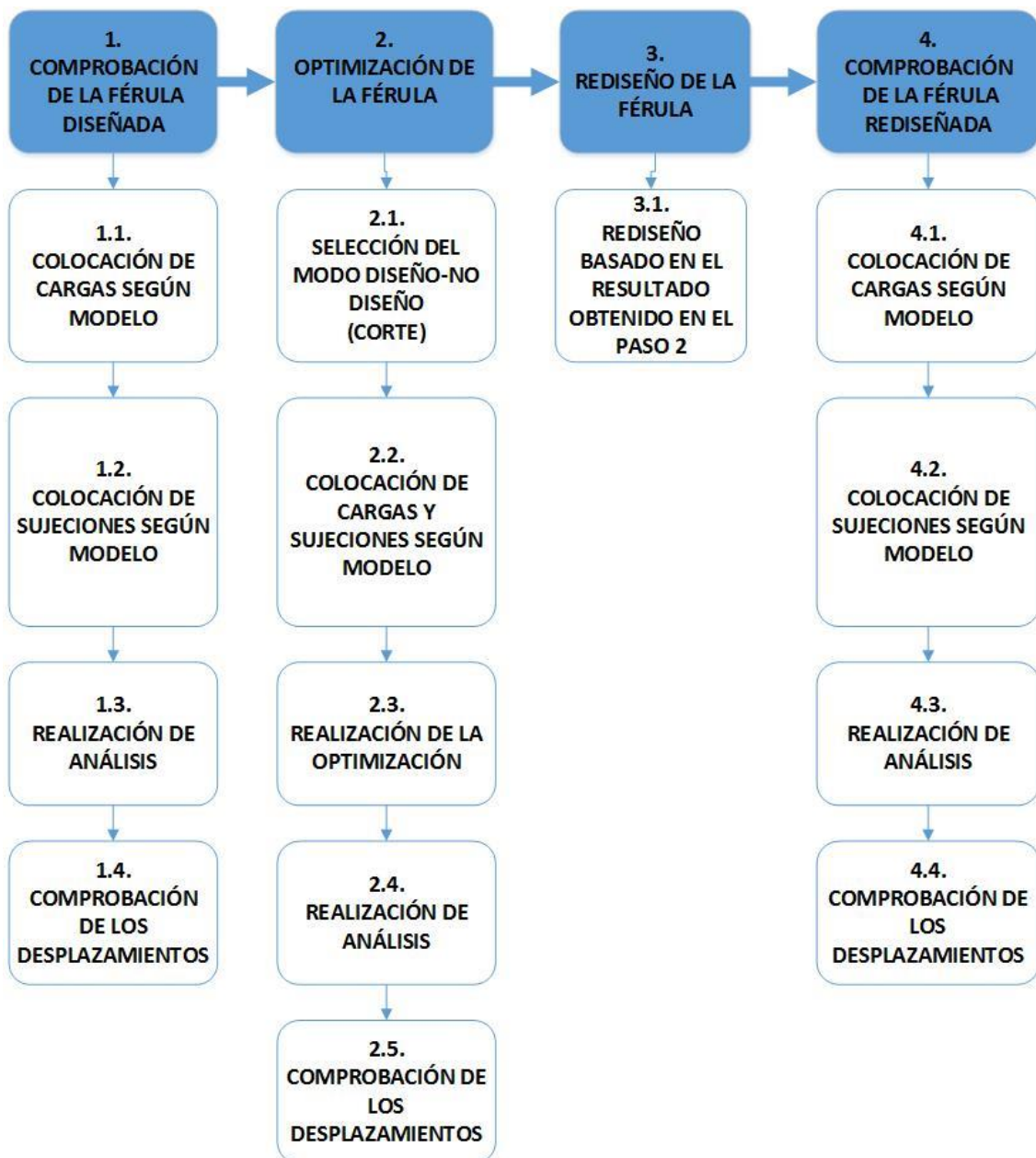


Diagrama 6. Procedimiento de optimización y comprobación mediante Inspire

4.4.1 ESTUDIO DE FUERZAS

La resistencia es uno de los parámetros críticos a la hora de diseñar la órtesis y su posterior optimización ya que es importante que aguante la fuerza que realiza la articulación al colocar la postura correcta.

A continuación se presenta la fuerza media en kg que debe resistir nuestra férula, con datos obtenidos a partir de un estudio realizado en la Universidad Pública de Navarra [19] donde se obtuvieron los datos de forma estadística a partir de los voluntarios.

ARTICULACIÓN	ACCIÓN	MEDIA (kg)
TOBILLO	FLEX DOR dom	19,21
	FLEX DOR no dom	18,18

Tabla 9. Fuerza máxima en valores absolutos (kg) de la articulación de tobillo, en la acción de Flexión dorsal (FLEX DOR) de la extremidad dominante (dom) y no dominante (no dom).

Para el caso de la mano, nos vamos a apoyar en un estudio de la Universidad de Chile [20] en el que se recogen datos de fuerza de puño en sujetos mayores de 20 años a través de mediciones dinamométricas. En la evaluación de la funcionalidad de la mano es imprescindible la medición objetiva de la fuerza de prensión. Esta permite obtener valores que se pueden utilizar para determinar el resultado de un manejo médico ortopédico o quirúrgico de la patología de la mano.

FUERZA	MEDIA HOMBRES (kg)		MEDIA MUJERES (kg)	
PUÑO	Mano dom	Mano no dom	Mano dom	Mano no dom
	51	49,5	32,7	32,2

Tabla 10. Fuerza máxima en valores absolutos (kg) del puño, en hombre y mujeres para mano dominante (dom) y no dominante (no dom).

4.4.2 COMPROBACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS

Para esta parte se va a utilizar Inspire. El valor de carga asumido para ambas muestras es de 190N, ya que se ha estimado que la fuerza de la muñeca es más similar a la del tobillo que a la fuerza que se puede realizar con el puño, y se colocaran de manera distribuida por la zona cargada.

Siguiendo el procedimiento descrito anteriormente en el punto 4.4 vamos a colocar las cargas y sujeciones según modelo y analizar el resultado de desplazamientos obtenido.

Férula pie-tobillo: En este caso, ya que el objetivo principal de este tipo de órtesis es la ayuda a la bipedestación, las cargas serán aplicadas en la zona de la planta del pie, y las sujeciones serán el calzado, que es el encargado de la contención en la parte inferior y la sujeción en la parte lateral superior, donde se coloca un velcro que ayude a la inmovilización a la pierna.

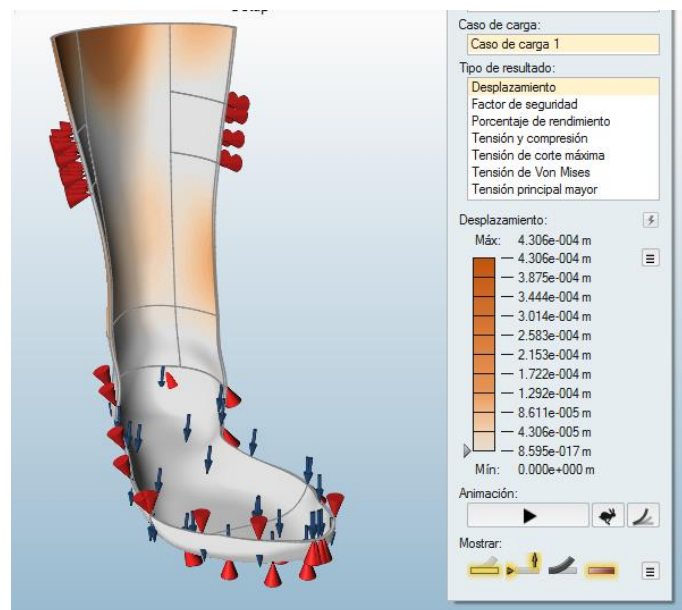


Ilustración 45. Desplazamientos para la férula pie-tobillo.

Férula mano: En esta ocasión la carga distribuida se asume en el extremo de la palma de la mano, mientras que las sujeciones se toman en la zona de la muñeca, donde se sitúa la inmovilización principal mediante velcro.

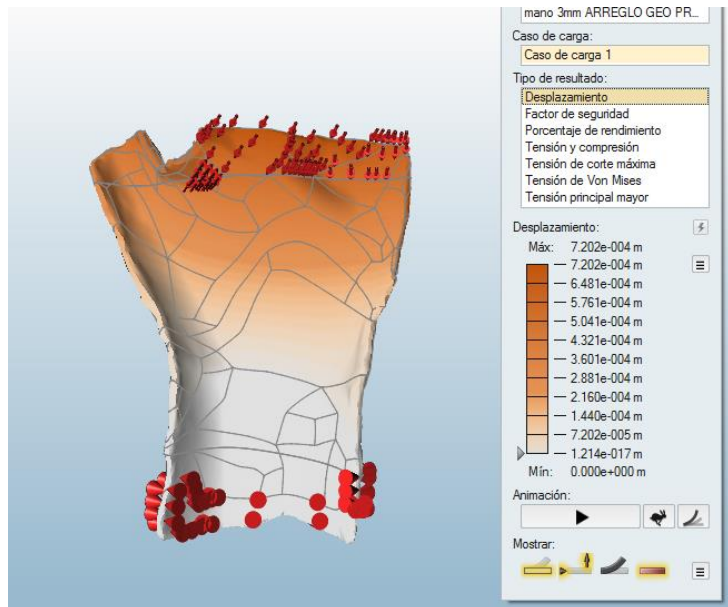


Ilustración 46. Desplazamientos para la férula de mano.

Como podemos observar en ambas imágenes, el desplazamiento máximo que se produce es de menos de 0.8mm, con lo cual se puede asumir que el diseño es correcto y se puede proceder a su optimización.

4.4.3 OPTIMIZACIONES PROPUESTAS

Con el caso de cargas propuesto se realiza una optimización automática realizada por Inspire, obteniendo los siguientes modelos:

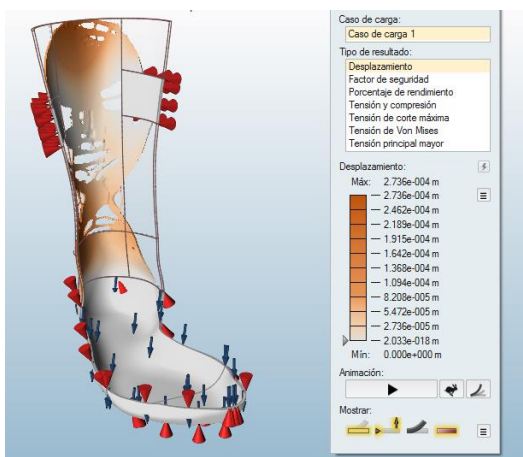


Ilustración 47. Modelo optimizado de pie-tobillo

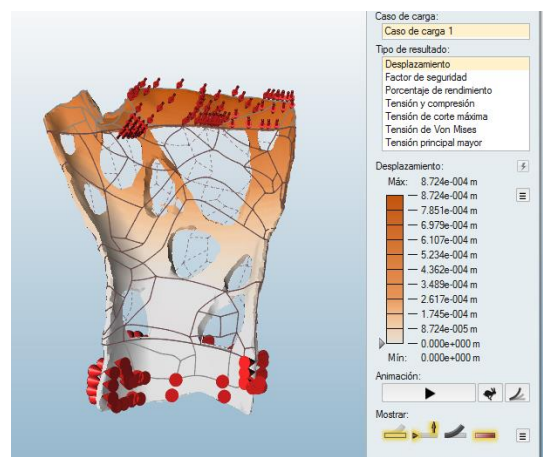


Ilustración 48. Modelo optimizado de mano

Es necesario realizar de nuevo el análisis para comprobar que el modelo optimizado no presente problemas en desplazamientos. En ambos casos se ha obtenido un valor de menos de 1mm, con lo que se puede asumir que son válidos.

4.4.4 REDISEÑO Y COMPROBACION DE DESPLAZAMIENTOS

El rediseño se ha realizado mediante SpaceClaim, siguiendo en cada caso un procedimiento similar a los reflejados en el capítulo 4.3, a continuación se presenta una breve descripción de la nueva fase del procedimiento para ambos casos:

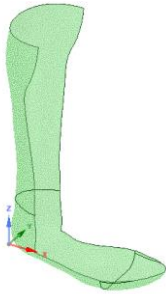


Ilustración 49. Superficie base

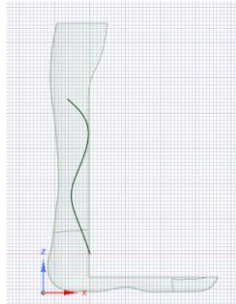


Ilustración 50. Dibujar forma exterior en plano lateral

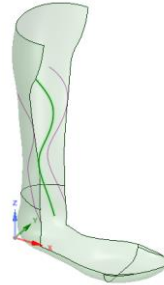


Ilustración 51. Proyectar curva

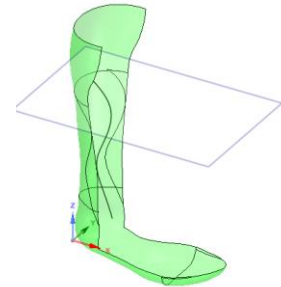


Ilustración 52. Crear plano de corte

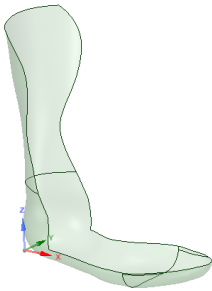


Ilustración 53. Forma exterior

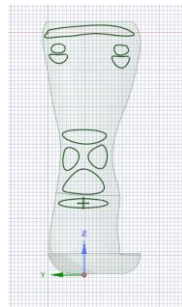


Ilustración 54. Dibujar forma de huecos en plano trasero

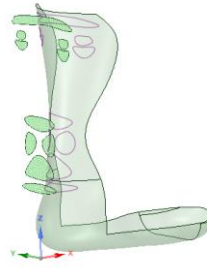


Ilustración 55. Proyectar huecos

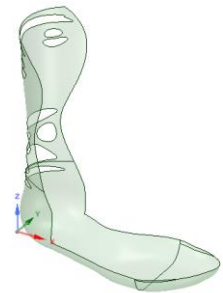


Ilustración 56. Recortar huecos

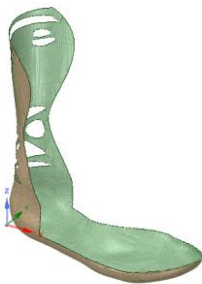


Ilustración 57. Malla diseño final optimizado



Ilustración 58. Diseño final optimizado frente

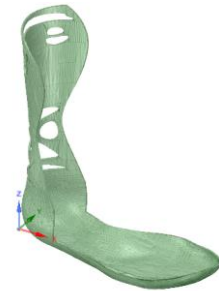


Ilustración 59. Diseño final optimizado lateral

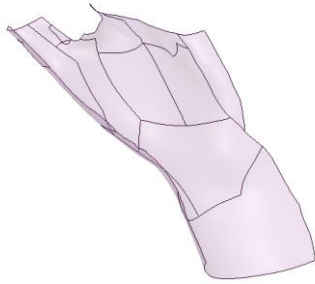


Ilustración 60. Diseño de superficie simplificada

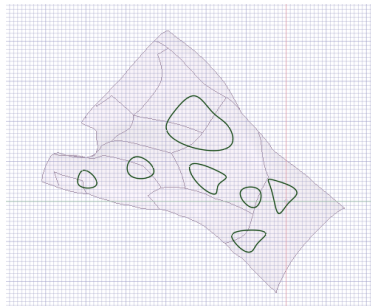


Ilustración 61. Diseño en plano superior de los huecos

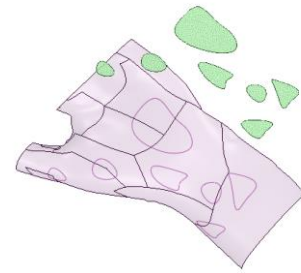


Ilustración 62. Proyección de los huecos en la superficie

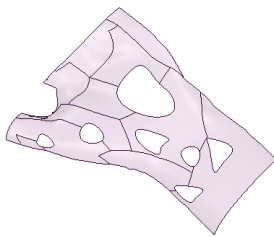


Ilustración 63. Borrado de huecos proyectados



Ilustración 64. Paso a malla



Ilustración 65. Espesar y pasar a sólido

A estos diseños finales es necesario realizarles de nuevo el análisis para comprobar que las características del modelo no han variado de manera significativa después de realizarles la reducción de material, utilizando la distribución de cargas repartida como en el caso anterior.

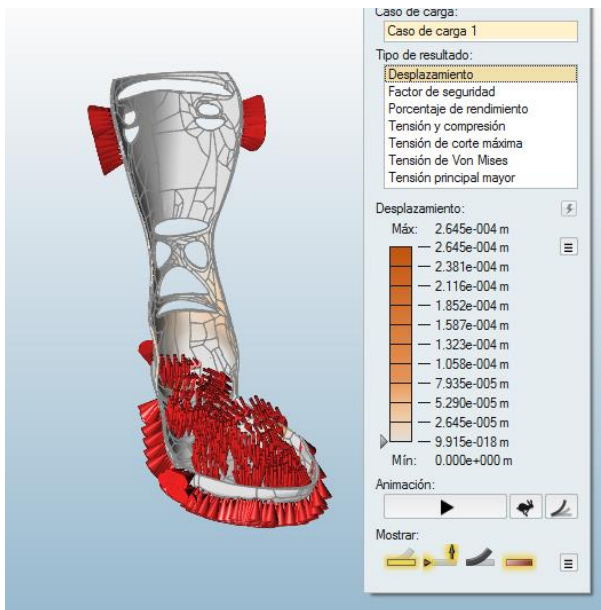


Ilustración 66. Desplazamientos en férula pie-tobillo rediseñada

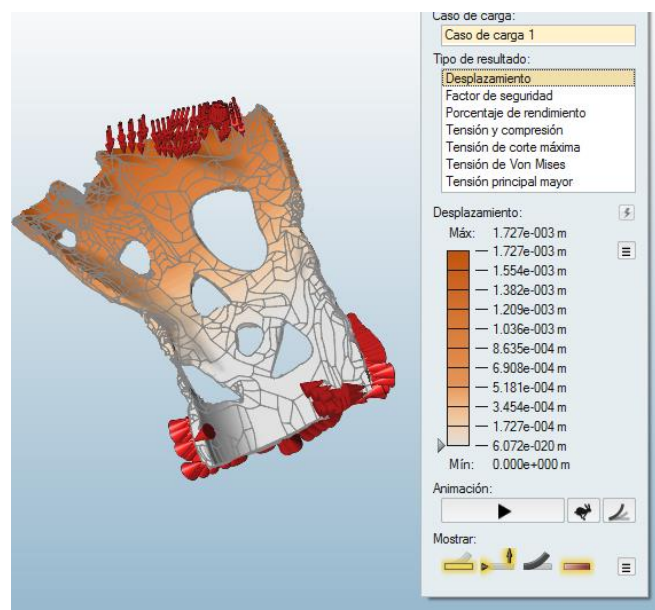


Ilustración 67. Desplazamientos en férula mano rediseñada

En ambos casos observamos que los desplazamientos siguen siendo mínimos aunque han variado respecto a los del modelo optimizado automáticamente por el programa. En el caso de la férula de pie el desplazamiento máximo se ve reducido a 0.27mm aproximadamente y en el caso de la mano se ve aumentado a 1.7mm. A pesar de este aumento, se puede considerar que los diseños son válidos, ya que para analizarlos mediante Inspire es necesario retocarlos en Geomagic como en el caso inicial y al complicar la superficie el programa retira material en exceso al reparar y reducir las facetas.

4.5 IMPRESIÓN 3D

4.5.1 FABRICACIÓN ADITIVA

La Fabricación Aditiva (AM) [21] es el grupo de nuevas tecnologías y procesos que permite generar partes, modelos e incluso conjuntos y ensamblajes en tres dimensiones. Igualmente se le conoce como Impresión 3D.

Las principales características que distinguen el proceso de fabricación de sólidos por adición de capas de material de cualquier otro proceso de fabricación industrial:

- Productos que requieren de una gran complejidad de forma: Paradójicamente, mientras una geometría compleja suele suponer un aumento del coste si se siguen procesos convencionales (sustractivos o conformativos), cuando se aplica AM puede suponer incluso un abaratamiento o simplificación. Adaptar un comportamiento a las necesidades estrictamente necesarias y requeridas en cada caso (resistencia, capilaridad, aerodinámica, conductividad). Estas posibilidades suponen un cambio radical en el proceso de diseño de los productos y permiten gran libertad creativa, así como la réplica exacta de modelos.
- Productos aligerados: Capacidad para la reducir el peso de un objeto por medio de estructuras internas huecas o jugando con la densidad de los materiales, ahorrando materias primas, tiempo de producción y por tanto, abaratando costes.
- Productos multimaterial: Además de jugar con la porosidad de un mismo material, puede fabricar aportando simultáneamente varios materiales en un mismo sólido, para así seguir superando limitaciones actuales en la relación peso/resistencia mecánica o aportando funcionalidades nuevas o abaratando costes.
- Personalización: Permite fabricar productos sin penalizar el coste, independiente de si tiene que fabricarse un determinado número de piezas iguales o todas distintas, lo que facilita la personalización, una de las

principales tendencias actuales en el desarrollo de productos de alto valor añadido.

- Mecanismos integrados en una misma pieza: Al poder integrar distintas geometrías y materiales en un mismo sólido, el AM puede conseguir incluso que simultáneamente se fabrique un mecanismo totalmente embebido en la pieza en la que debe trabajar, sin necesidad de armados y ajustes posteriores. Esta particularidad no se da en todas las tecnologías de AM y principalmente se puede conseguir en aquellas que no necesitan soporte para su fabricación.

4.5.2 MÉTODOS DE IMPRESIÓN 3D

Para distinguir diferentes gamas o tipos de impresoras 3D, lo hacemos principalmente en función a la tecnología que usan para llevar a cabo la impresión.

Teniendo en cuenta esto, podemos distinguir estos tipos de impresoras 3D [22]:

Impresoras 3D por Estereolitografía (SLA):

Esta técnica fue la primera en utilizarse. Consiste en la aplicación de un haz de luz ultravioleta a una resina líquida (contenida en un cubo) sensible a la luz. La luz UV va solidificando la resina capa por capa. La base que soporta la estructura se desliza hacia abajo para que la luz vuelva a ejercer su acción sobre el nuevo baño, así hasta que el objeto alcance la forma deseada. Con este método se consiguen piezas de altísima calidad, aunque, por sacar un inconveniente, se desperdicia cierta cantidad de material en función del soporte que sea necesario fabricar.

Precio aproximado [23]: 3000-16000 €

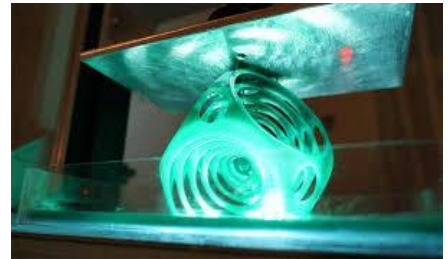


Ilustración 68 Ejemplo de SLA

Impresoras 3D de Sinterización Selectiva por Láser (SLS):

También conocido en inglés como *Selective Laser Sintering* (SLS), esta tecnología se nutre del láser para imprimir los objetos en 3D.

Nació en los años 80, y pese a tener ciertas similitudes con la tecnología SLA, ésta permite utilizar un gran número de materiales en polvo (cerámica, cristal, nylon, poliestireno, etc.). El láser impacta en el polvo, funde el material y se solidifica. Todo el material que no se utiliza se almacena en el mismo lugar donde inició la impresión por lo que, no se desperdicia nada.

Con las dos últimas tecnologías se consigue una mayor precisión de las piezas impresas y mayor velocidad de impresión.

Precio aproximado [23]: 18000-25000 €



Ilustración 69 Ejemplo SLS

Impresoras 3D por Inyección:

Este es el sistema de impresión 3D más parecido a una impresora habitual (de tinta en folio), pero en lugar de inyectar gotas de tinta en el papel, inyectan capas de fotopolímero líquido que se pueden curar en la bandeja de construcción.



Ilustración 70 Ejemplo inyección

Impresión por deposición de material fundido (FDM):

También conocida por FFF (*Fused Filament Fabrication*, término registrado por Stratasys)

La técnica aditiva del modelado por deposición fundida es una tecnología que consiste en depositar polímero fundido sobre una base plana, capa a capa. El material, que inicialmente se encuentra en estado sólido almacenado en rollos, se funde y es expulsado por la boquilla en minúsculos hilos que se van solidificando conforme van tomando la forma de cada capa.

Se trata de la técnica más común en cuanto a impresoras 3D de escritorio y usuarios domésticos se refiere. Aunque los resultados pueden ser muy buenos, no suelen ser comparables con los que ofrecen las impresoras 3D por SLA, por ejemplo. La ventaja principal es que esta tecnología ha permitido poner la impresión 3D al alcance de cualquier persona.

Actualmente se utilizan una gran variedad de materiales, entre los que predominan ABS y PLA.

Precio aproximado [23]: 100-6000€

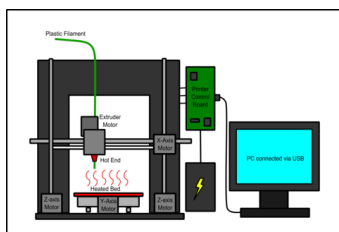


Ilustración 71 Ejemplo funcionamiento FDM

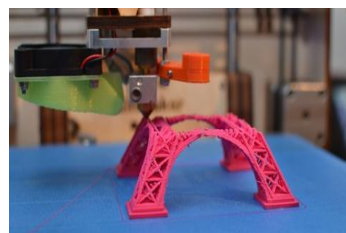


Ilustración 72 Ejemplo FDM

Para seleccionar adecuadamente nuestro equipo de impresión 3D es importante prever que tipo de tolerancia hay que tener en cuenta a la hora de diseñar nuestro modelo. Como actualmente se trata de una realización totalmente manual como ya hemos visto anteriormente, no existen valores predeterminados a tener en cuenta. Así pues se puede asumir que con 1mm de tolerancia podría ser suficiente, siempre y cuando sea hacia la cara externa, ya que si fuera el otro caso podría generarse un peligro de vasoconstricción, y derivar a algún problema mayor con el tiempo. Por tanto al tener tan alta tolerancia se podría utilizar cualquiera de los equipos mencionados, seleccionando como equipo a utilizar el FDM por su menor coste respecto a los demás.

4.5.3 MATERIALES

Dado que nuestro producto va a ser realizado mediante impresión 3D, se debe buscar el material disponible para estos equipos que mejor se adapte a nuestras necesidades, por esta razón se procede a explicar brevemente los dos materiales más utilizados:

- ABS (Acronitrilo Butadieno Estireno) [24]: en cuyas características se encuentran resistencia térmica y química, resistencia a la fatiga, dureza y rigidez, ductilidad a baja temperatura, resistencia al impacto, resistencia a la fusión, facilidad de procesado, brillo, dureza y rigidez. Su densidad varía entre 1.03 y 1.05g/cm³ y la temperatura de transición vítrea entre los 100 y 120°C.
- PLA (Ácido Láctico) [25]: Puede producirse por vía química o por vía biotecnológica, mediante fermentación de carbohidratos con bacterias, copando esta última más del 95% de la producción mundial. Su densidad oscila entre 1.25 y 1.27 g/cm³ y la temperatura de transición vítrea entre los 55 y los 65°C. Su bajo coste, rigidez y capacidad de biodegradación son sus puntos fuertes, además de no emitir gases nocivos.

A partir de estas características observadas el material idóneo de trabajo sería el ABS dado que tiene una temperatura de transición vítrea mayor y será más difícil que se deforme.

5. VIABILIDAD

5.1 VIABILIDAD TECNOLÓGICA

La aplicación de esta metodología a nivel de tecnología es factible dada la situación actual. No se requiere ningún material, software, proceso o tecnología fuera de nuestro alcance, aunque si bien es cierto que hay áreas del proceso que podrían adoptar mejoras, automatizaciones u optimizaciones.

5.2 VIABILIDAD HUMANA

Como se ha explicado a lo largo del proyecto, se trata de una necesidad real, con un nivel de consumo y producción significativo. Además, de instalarse este procedimiento la comodidad del paciente se elevará de forma notable.

5.3 VIABILIDAD ECONÓMICA

Actualmente, como ya se ha comentado, las férulas se realizan con una forma manual y aproximada, aun cuando se solicitan a través de ortopedias, sin embargo el coste de estas ayudas es realmente elevado, incluso cuando se trata de modelos generalizados por tallas sin ningún tipo de adaptación al usuario. A continuación se van a exponer los precios que presentan estos establecimientos, comparado con el precio estimado según nuestro modelo.

Se van a proponer dos tipos distintos de impresoras 3D para los tres tipos de férulas diseñados:

En impresora OBJET. En este caso el coste se calcula fundamentalmente con el consumo de material de modelo y soporte. En fullcure 720, que es el más barato sería:

- Precio material férula mano: 38 €
- Precio material férula pie-tobillo: 294€

Además de este coste de material, se ha de añadir el coste que incluye gastos fijos, amortización de máquina, operario y consumo eléctrico, por tanto el coste de estas piezas se multiplicaría esto como mínimo por 2, siendo habitual multiplicar por factores de 2,5 o de 3 en la venta al público.

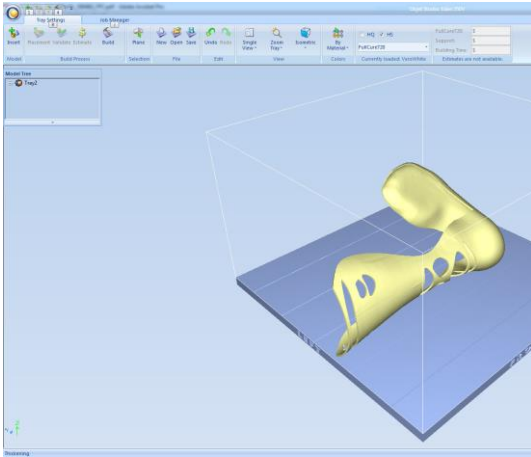


Ilustración 73. Posicionamiento para impresión 3D de la férula pie-tobillo - OBJET

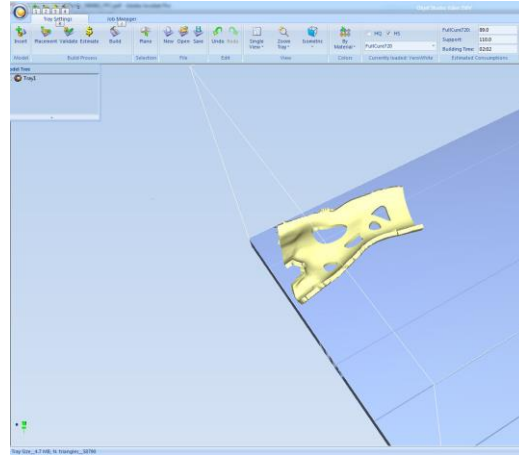


Ilustración 74. Posicionamiento para impresión 3D de la férula mano - OBJET

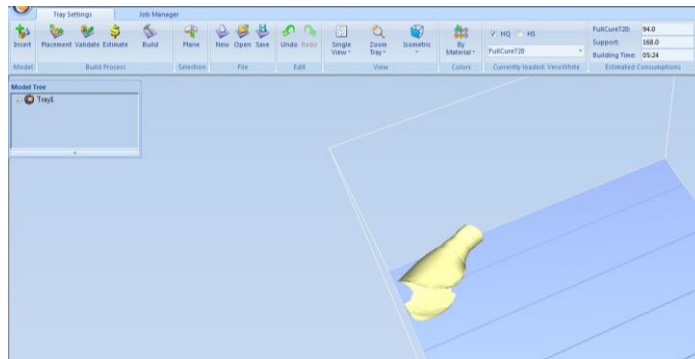


Ilustración 75. Posicionamiento para impresión 3D de la férula dedo - OBJET

En impresora FDM (P.Ej.: prusa hephestos). En este caso el coste de material es muy bajo y el coste final se suele calcular por tiempo.

- Consumo de material férula mano: 22,93 metros
- Consumo de material férula pie-tobillo: 32,19 metros

Para calcular el coste del material se tiene en cuenta que una bobina de material (ABS) está entorno a los 20€ y sabiendo que una bobina de 1Kg de 1,75mm de diámetro tiene unos 350metros, el coste por metro sería de 0.057€/m. En este caso tal y como se ha mencionado anteriormente se añade al precio de material un coste relacionado con el tiempo utilizado para realizar la impresión. En estos momentos este precio ronda los 7€/hora [26].

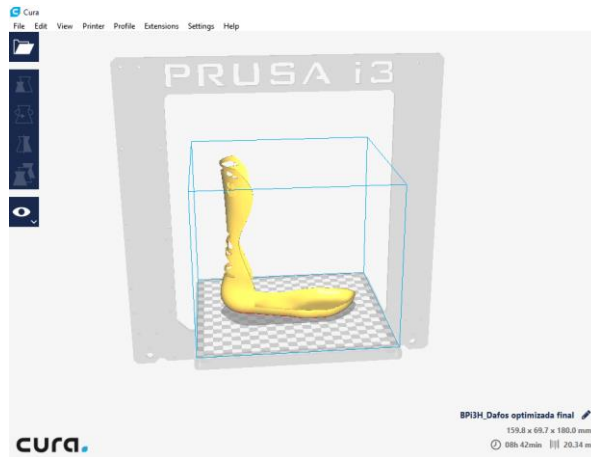


Ilustración 76 Posicionamiento de impresión 3D para férula pie-tobillo - PRUSA



Ilustración 77 Posicionamiento de impresión 3D para férula mano - PRUSA

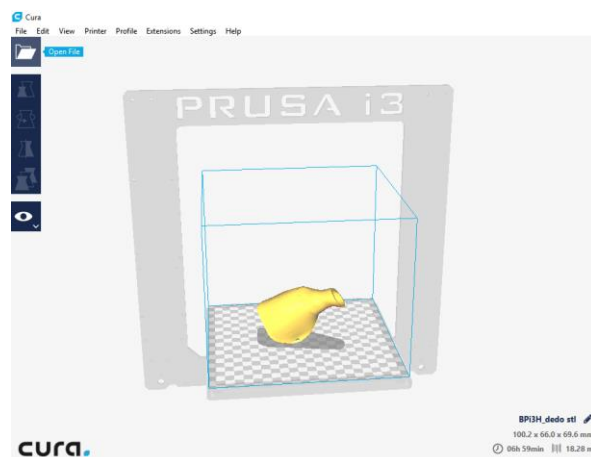


Ilustración 78 Posicionamiento de impresión 3D para férula dedo - PRUSA

Además en ambos casos deberíamos de añadir el coste de los materiales auxiliares como el velcro para las sujeciones o los acolchados, así como el postproceso de la pieza como podría ser el limado y acabado de la pieza. Este coste se va a aproximar al precio de una hora de un operario, unos 8€/h.

En las tablas que se presentan a continuación se muestran todos los costes desglosados:

COSTE DESGLOSADO PARA IMPRESIÓN 3D OBJET			
	PIE-TOBILLO	MANO	DEDO
COSTE MATERIAL [€]	394	38	47
FACTOR	2,5	2,5	2,5
OPERARIO [h]	1	1	1
C. OPERARIO [€/h]	8	8	8
€ TOTALES	993,00 €	103,00 €	125,50 €

Tabla 11. Costes desglosados para impresión 3D OBJET

COSTE DESGLOSADO PARA IMPRESIÓN 3D PRUSA			
	PIE-TOBILLO	MANO	DEDO
MATERIAL [m]	20,34	27,63	18,28
C. MATERIAL [€/h]	0,057	0,057	0,057
C. MATERIAL TOTAL [€]	1,16 €	1,57 €	1,04 €
HORAS [h]	8,7	11,3666667	7
C. IMPRESIÓN FDM [€/h]	7	7	7
OPERARIO [h]	1	1	1
C. OPERARIO [€/h]	8	8	8
€ TOTALES	70,06 €	89,14 €	58,04 €

Tabla 12. Costes desglosados para impresión 3D PRUSA

Por último vamos a proceder a comparar los costes obtenidos anteriormente con los costes actuales:

PRECIOS FINALES			
	ACTUAL	IMPRESORA OBJET	IMPRESORA PRUSA
PIE-TOBILLO	300€	993€	70,06€
MANO-MUÑECA	100€	103€	89,14€
DEDO	40€	125€	58,04€

Tabla 13. Comparativa de costes totales

Tal y como podemos observar el coste en OBJET es más elevado cuando se requiere una mayor cantidad de material, ya que en ese caso lo que más encarece el producto es el mismo. Sin embargo en el caso de la impresión FDM el coste se eleva debido al tiempo que tarda en realizar la impresión pero por otro lado en material el coste apenas llega a los 2 €. En este caso, según estimaciones, con la impresión FDM que ha sido la recomendada anteriormente, obtendríamos férulas con una adaptación anatómica buena y a buen precio. En el caso de la férula de dedo el coste se eleva, pero hay que tener en cuenta que a esta pieza no se le ha realizado la optimización para el ahorro de material como a las otras dos.

6. CONCLUSIONES

En el ámbito del escaneo el futuro será la utilización de un sistema similar al de iPad por su comodidad de uso, pero actualmente por sus bajas precisiones, este procedimiento sería recomendable realizarlo mediante fotogrametría, para obtener la muestra lo más adaptada posible.

Respecto al modelo propuesto de trabajo en cuanto a aplicaciones, las utilizadas nos han permitido la realización de todo el procedimiento y se han seleccionado por su comodidad a la hora de trabajar, lo que no quiere decir que no se pueda realizar con alguna otra similar en caso de que el responsable del procedimiento así lo desee.

Siguiendo el procedimiento descrito, la mejora en el aspecto anatómico es muy notable, sin embargo en el aspecto económico según el método de impresión elegido y con los costes añadidos con los que se está trabajando actualmente, puede resultar que nuestro modelo no sea más económico que los de venta en formatos estándar y regulados mediante tamaños, aunque en el caso de la impresora de tipo FDM, para los diseños optimizados si se ha conseguido una mejora notable en los precios finales del producto.

Bibliografía

- [1] CERMI, FEDOP, Libro Blanco de la prestación ortoprotésica, Madrid: ARTEGRAFIC, 2012.
- [2] D. A. J. G. Martínez., «Neurodidacta.es,» [En línea]. Available: <http://www.neurodidacta.es/es/comunidades-tematicas/neuromusculares/enfermedades-neuromusculares/tratamiento-sintomatico-ayudas-tacnicas-las-enfermedades-neuromusculares/tratamiento-ortopadico>.
- [3] «guíametabolica.org,» [En línea]. Available: <http://www.guametabolica.org/noticia/ferulas-ortesis-ayuda-trastornos-motores-enfermedades-metabolicas>.
- [4] C. Campos, «slideshare,» [En línea]. Available: <http://es.slideshare.net/pkcinty/tipos-de-ortesis-de-miembro-superior>.
- [5] E. d. V. Ponsati, «<http://kinesiouba.com.ar/>,» [En línea]. Available: <http://kinesiouba.com.ar/wp-content/uploads/2014/07/MATERIALES.pdf>.
- [6] J. E. M. B., «DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UNA FERULA,» *Revista Chilena de Terapia Ocupacional*, vol. 12, nº 2, p. 21, 2012.
- [7] «es.wikipedia.org,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Fotogrametr%C3%ADa>.
- [8] «artec3d.com,» [En línea]. Available: <https://www.artec3d.com/es/artec-spider>.
- [9] artec3d.com. [En línea]. Available: <https://www.artec3d.com/es/shapifybooth>.
- [10] «fuel-3d.com,» [En línea]. Available: <https://www.fuel-3d.com/es/scanify/>.
- [11] «es.wikipedia.org,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Esc%C3%A1ner_de_luz_estructurada.
- [12] «nub3d.com,» [En línea]. Available: <http://www.nub3d.com>.
- [13] «faro.com,» [En línea]. Available: <http://www.faro.com/es-es/productos/topografia-3d/laser-scanner-faro-focus-3d/informacion-general>.
- [14] es.wikipedia.org, «es.wikipedia.org,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Esc%C3%A1ner_3D#Triangulaci.C3.B3n.
- [15] «hexagonmetrology.es,» [En línea]. Available: http://www.hexagonmetrology.es/Escaneres-laser_107.htm#.V9VSdSiLTIV.
- [16] «faro.com,» [En línea]. Available: http://www.faro.com/es-es/productos/metrologia/brazo-de-medicion-faro-scanarm/informacion-general?gclid=CjwKEAjwgdS-BRDA7fT68f6s8zMSJADZwHmv0OX95Koa_PPuAqDM-9qCgiKc6KAeBKCnttro_Y1YOxoC0xPw_wcB.
- [17] «ANSYS - SpaceClaim,» [En línea]. Available: http://www.spaceclaim.com/en/Support/Tutorials/Modules/SpaceClaim_Revers_e_Engineering_Tutorials.aspx?t=152#.
- [18] «GRABCAD Community,» [En línea]. Available: <https://grabcad.com>.
- [19] O. B. AIZCORBE, «ESTUDIO DE LOS EFECTOS DEL ENVEJECIMIENTO EN LA FUERZA MUSCULAR Y EN EL EQUILIBRIO».

- [20] J. K. M. A. y. C. P. R. Dapuerto, «EVALUACION DE LA FUERZA DE PUÑO EN ADULTOS,» Universidad de Chile, 2005.
- [21] F. COTEC, «docplayer.es,» 2011. [En línea]. Available: <http://docplayer.es/2863743-Cotec-fabricacion-aditiva.html>.
- [22] C. Escobar, «impresoras3d.com,» 2016. [En línea]. Available: <https://impresoras3d.com/blogs/noticias/102883975-tipos-de-impresoras-3d>.
- [23] «imprimaria3d.com,» [En línea]. Available: <http://www.imprimaria3d.com/catalogoimpresoras3d>.
- [24] «<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/>,» 2011. [En línea]. Available: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/p/sub-indice-los-plasticos.html>.
- [25] «tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es,» 2011. [En línea]. Available: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2011/08/poliacido-lactico-pla.html>.
- [26] «factoriaculturalmadrid.es,» [En línea]. Available: <http://factoriaculturalmadrid.es/laboratorio-de-impresion-3d/>.
- [27] F. COTEC, «docplayer.es,» 2011. [En línea]. Available: <http://docplayer.es/2863743-Cotec-fabricacion-aditiva.html>.

ANEXO I: AMPLIACIÓN DE LOS TIPOS DE ESCANEEO EXISTENTES

FOTOGRAMETRÍA [7]:

La fotogrametría es una técnica para determinar las propiedades geométricas de los objetos y las situaciones espaciales a partir de imágenes fotográficas. Puede ser de corto o largo alcance.

Es una técnica de medición de coordenadas 3D, también llamada captura de movimiento, que utiliza fotografías u otros sistemas de percepción remota junto con puntos de referencia topográficos sobre el terreno, como medio fundamental para la medición.

La metodología de las técnicas de fotogrametría utilizadas para aplicaciones biomecánicas, dependerá de si es para un estudio bidimensional (2D) o tridimensional (3D).

1. Filmación del sistema de referencias: Colocación de cámaras. Una vez colocadas las cámaras filmando un mismo espacio, se procederá a establecer un sistema de referencias, definiendo los ejes y escalas.

2. Filmación de la persona: la fiabilidad del estudio será mayor dentro del espacio calibrado. Sin mover las cámaras se procederá a filmar el movimiento de la persona sujeto a estudio. En función de la rapidez de ese movimiento habrá que ajustar el obturador de las cámaras.

3. Digitalización:

1. Establecer modelo o sistema biomecánico. Ese modelo implicará qué puntos que deben ser digitalizados.

2. Coordenadas 3D

ESCANER DE LUZ BLANCA ESTRUCTURADA [11]:

El escáner de luz estructurada es un dispositivo capaz de capturar la forma y características de un objeto mediante la proyección de un patrón de luz y su registro en un sistema de adquisición (véase cámara fotográfica).

El escáner 3D consta de una fuente de luz (que proyectará el haz) y una cámara (que captará los puntos/líneas de las superficies) separados entre sí. Para escanear el objeto se define un sistema de coordenadas esféricas para determinar cada punto del espacio tridimensional que se está capturando.

Para la mayoría de las situaciones un solo escaneo no producirá un modelo completo del objeto. Generalmente se necesitarán múltiples escáneres, desde diferentes direcciones, para obtener la información tridimensional completa (barrido).

Etapas:

1. Métodos para generar patrones de rayas

Debido a la velocidad de adquisición y la facilidad de modular diferentes patrones se han establecido dos métodos de generación: por interferencia láser y por proyección.

El método por interferencia láser trabaja con dos fuentes de luz y una cámara. Los haces proyectan dos patrones de rayas sobre la escena o el objeto. La interferencia da lugar a patrones regulares y equidistantes entre sí. Variando el tamaño del patrón podemos obtener una adquisición mucho más cuidadosa (generando un patrón mucho más pequeño, cuando existen muchos detalles a tener en cuenta) modificando la inclinación y el ángulo entre las fuentes de luz. Algunos inconvenientes que se asocian al uso de este método son el alto coste de implementación que tienen y la posibilidad de interferencia del haz con las partes reflejadas de otras zonas del objeto debido a no poder modular las rayas individualmente.

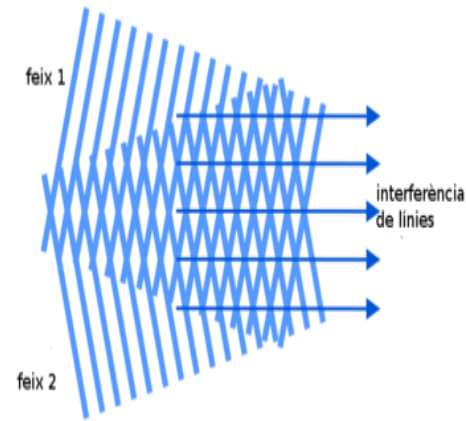


Ilustración 79 Método por interferencia laser

El método por proyección utiliza luz incoherente y funciona básicamente como lo hace un proyector de vídeo. Los patrones son generados por el display que incorpora el proyector, normalmente LCD (pantalla de cristal líquido). Una técnica propietaria es la proyección empleando procesado digital de la luz. Por su naturaleza digital, no absorben la luz de manera significativa, por lo tanto; permiten trabajar con intensidades de luz altas. Otra característica es su linealidad en la reproducción de grises, debido a la modulación que emplea (modulación por ancho de pulsos). Como inconveniente mencionar las discontinuidades que aparecen en las rayas proyectadas, debido a las limitaciones de píxel de las tecnologías utilizadas.

Estos métodos generan señales invasivas que pueden ser cuantificadas en algunos casos: pérdida o alteración de información colorimétrica o de textura de las superficies iluminadas, la inconsistencia del flujo óptico o incluso, la agresión que pueden causar las fuentes láser.

Es por ello que se ha ido trabajando en métodos de proyección de luz en el espectro no visible, cada uno de ellos basados en diferentes tipos de luz: luz estructurada infrarroja, invisible y filtrada.

El primero es el más extendido actualmente ya que no interfiere con la iluminación de la escena y no altera el color de esta.

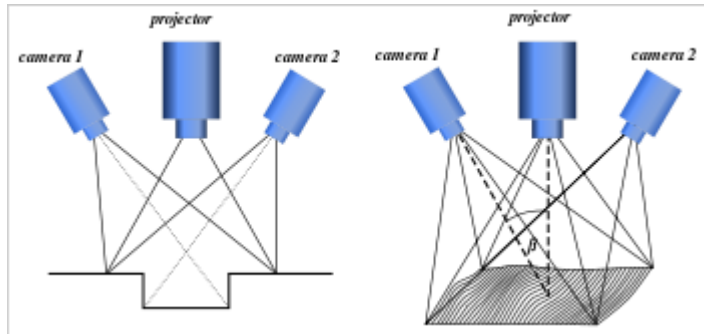


Ilustración 80 Método por proyección

2. Calibración

Con la calibración de la cámara se consigue estimar los parámetros intrínsecos (longitud focal, punto de enfoque, factores de escalado, etc.) y extrínsecos (definidos por la matriz de rotación, el vector de traslación entre el entorno real y el sistema de coordenadas de la cámara, etc.) de esta, los cuales son necesarios para realizar la reconstrucción 3D del entorno y situar la cámara correctamente.

3. Análisis del patrón de rayas

Existen varias estrategias para reconstruir la imagen a partir de la reflexión del objeto. Un buen principio es añadir marcas de profundidad en los patrones de rayas adquiridos. Otro método se basa en proyectar la mitad del patrón en color blanco y la otra mitad en negro, resultando una secuencia binaria en código de Gray (también es común el uso de colores) y asignar un valor a cada muestra codificada. De este modo se consigue depurar la información de profundidad relativa del píxel respecto a sus vecinos. Una vez adquirida la profundidad de todos los píxeles se reconstruye el objeto tridimensional.

Además de las técnicas de reconocimiento y codificación de patrones también se usan técnicas para medir las variaciones de la anchura de las rayas que se generan en la superficie del objeto.

En muchas implementaciones prácticas, el análisis combina técnicas de reconocimiento de patrones, códigos de Gray y transformada de Fourier para una completa y precisa reconstrucción del objeto.

4. Barrido

Para obtener la exploración tridimensional completa se tienen que combinar las diferentes medidas adquiridas para diferentes ángulos. Esto se consigue uniendo los puntos marcados en el objeto (registro) y la combinación de las perspectivas (alineación) haciéndolas coincidir con sus marcadores.

LASER POR TRIANGULACIÓN [14]:

El escáner láser de triangulación 3D es también un escáner activo que usa la luz del láser para examinar el entorno. El haz de luz láser incide en el objeto y se usa una cámara para buscar la ubicación del punto del láser. Dependiendo de la distancia a la que el láser golpee una superficie, el punto del láser aparece en lugares diferentes en el sensor de la cámara.

Esta técnica se llama triangulación porque el punto de láser, la cámara y el emisor del láser forman un triángulo. La longitud de un lado del triángulo definido por la cámara y el emisor del láser es conocida. El ángulo del vértice del emisor de láser se sabe también.

El ángulo del vértice de la cámara (paralaje) puede ser determinado mirando la ubicación del punto del láser en la cámara. Estos tres valores permiten determinar el resto de las dimensiones del triángulo, y por tanto, la posición de cada punto en el espacio.

La precisión de este sistema de medida puede ser muy elevada (milésimas de milímetro), pero depende del ángulo del vértice opuesto al escáner (cuanto más se aparte de 90° más baja es la precisión), lo que limita el tamaño de la escena a analizar. Dado que ese ángulo depende fuertemente de la distancia entre el emisor láser y la cámara, el aumentar el alcance supone incrementar mucho el tamaño del equipo de medida. En la práctica, el alcance máximo de estos escáneres se limita a 20-30 cm.

En la mayoría de los casos en lugar de un punto de medida se proyecta una línea que barre la superficie del objeto para acelerar el proceso de adquisición.

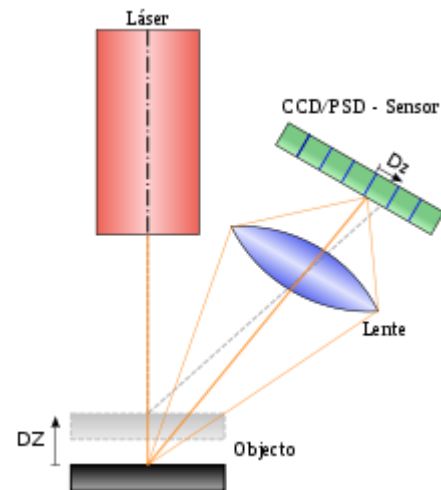


Ilustración 81 Laser de triangulación

ANEXO II: AMPLIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES ABS Y PLA

ABS [24]:

El ABS es el nombre dado a una familia de termoplásticos. Se le llama plástico de ingeniería, debido a que es un plástico cuya elaboración y procesamiento es más complejo que los plásticos comunes, como son las polioleofinas (polietileno, polipropileno). El acrónimo deriva de los tres monómeros utilizados para producirlo: acrilonitrilo, butadieno y estireno. Por estar constituido por tres monómeros diferentes se lo denomina terpolímero (copolímero compuesto de tres bloques).

Los bloques de acrilonitrilo proporcionan rigidez, resistencia a ataques químicos y estabilidad a alta temperatura así como dureza.

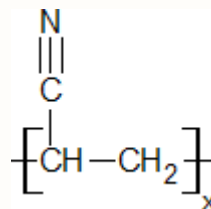
Los bloques de butadieno, que es un elastómero, proporcionan tenacidad a cualquier temperatura. Esto es especialmente interesante para ambientes fríos, en los cuales otros plásticos se vuelven quebradizos.

El bloque de estireno aporta resistencia mecánica y rigidez.

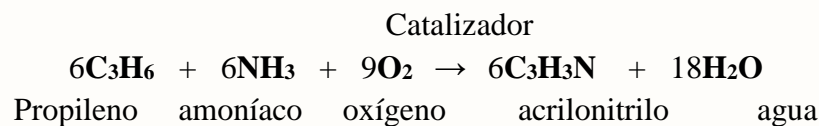
En la actualidad el ABS se produce, preponderantemente, por medio de la polimerización del estireno y el acrilonitrilo en presencia de polibutadieno, quedando como producto una estructura de polibutadieno, conteniendo cadenas de SAN (estireno acrilonitrilo) injertados en él.

Componentes del ABS

Poliacrilonitrilo

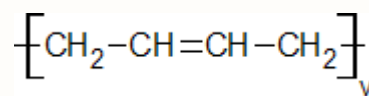


El acrilonitrilo es producido por un método desarrollado en fase vapor en el que se produce la oxidación del propileno y amoníaco con catalizadores.



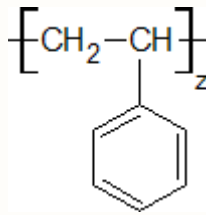
El proceso comercial utiliza un reactor de lecho fluido en el cual el propileno, el amoníaco y el aire se ponen en contacto con un catalizador sólido a una temperatura de 400 a 510 °C y una presión entre 0.5 y 2 atmósferas.

Polibutadieno



El butadieno es producido principalmente como un subproducto en el vapor del cracking de hidrocarburos para producir etileno.

Poliestireno



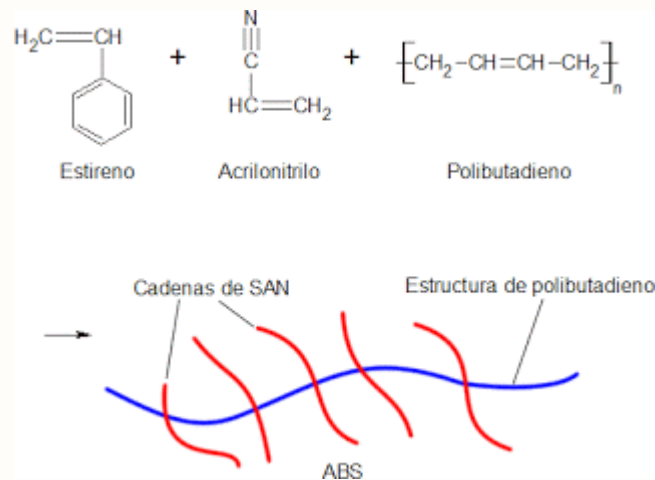
La manufactura del Estireno se realiza principalmente por el método de la deshidrogenación del etilbenceno. Este proceso es simple en concepto:



La deshidrogenación del etilbenceno a estireno toma lugar con un catalizador de óxido de hierro y otro de óxido de potasio, en un reactor de lecho fijo a una temperatura entre 550 – 680 °C en presencia de vapor y a baja presión (0.41 Ata), dado que bajas presiones favorecen el avance de la reacción.

Estructura del ABS

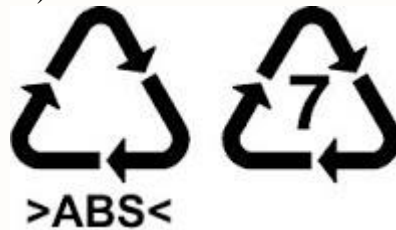
La estructura del ABS es una mezcla de un copolímero vítreo (estireno- acrilonitrilo) y un compuesto elástico principalmente el polímero de butadieno. La estructura con la fase elastómera del polibutadieno (forma de burbujas) inmersa en una dura y rígida matriz SAN.



El ABS es un plástico más fuerte, por ejemplo, que el poliestireno debido a los grupos nitrilo. Estos son muy polares, así que se atraen mutuamente permitiendo que las cargas opuestas de los grupos nitrilo puedan estabilizarse. Esta fuerte atracción sostiene firmemente las cadenas de ABS, haciendo el material más fuerte. También el polibutadieno, con su apariencia de caucho, hace al ABS más resistente que el poliestireno.

Identificación del ABS

Las partes que están fabricadas del material ABS deben estar marcadas de acuerdo con la norma ISO 11469 (DIN 58840):



Propiedades

Los materiales de ABS tienen importantes propiedades en ingeniería, como buena resistencia mecánica y al impacto combinado con facilidad para el procesado.

La resistencia al impacto de los plásticos ABS se ve incrementada al aumentar el porcentaje de contenido en butadieno pero disminuyen entonces las propiedades de resistencia a la tensión y disminuye la temperatura de deformación por calor.

El amplio rango de propiedades que exhibe el ABS es debido a las propiedades que presentan cada uno de sus componentes.

El acrilonitrilo proporciona:

- Resistencia térmica
- Resistencia química
- Resistencia a la fatiga
- Dureza y rigidez

El butadieno proporciona:

- Ductilidad a baja temperatura
- Resistencia al impacto
- Resistencia a la fusión

El estireno proporciona:

- Facilidad de procesado (fluidez)
- Brillo
- Dureza y rigidez

Excepto en películas delgadas, es opaco y puede ser de color oscuro o marfil y se puede pigmentar en la mayoría de los colores, obteniéndose partes lustrosas de acabado fino.

La mayoría de los plásticos ABS son no tóxicos e incoloros.

Pueden ser extruidos, moldeados por inyección, soplado y prensado. Generalmente los grados de bajo impacto son los que más fácil se procesan. Los de alto impacto son más difíciles porque al tener un mayor contenido en caucho los hace más viscosos.

A pesar de que no son altamente inflamables, mantienen la combustión. Hay algunos tipos auto extingüibles para cuando se requiere algún producto incombustible, otra solución consiste en aplicar algún retardante de llama.

Dentro de una variedad de termoplásticos el ABS es importante por sus balanceadas propiedades. El ABS se destaca por combinar dos propiedades muy importantes como ser la resistencia a la tensión y la resistencia al impacto en un mismo material, además de ser un material liviano.

Propiedades cualitativas:

Resistencia a la abrasión	Alta
Permeabilidad	Todos los grados son considerados impermeables al agua, pero ligeramente permeables al vapor.
Propiedades relativas a la fricción	No los degradan los aceites son recomendables para cojinetes sometidos a cargas y velocidades moderadas
Estabilidad dimensional	Es una de las características más sobresalientes, lo que permite emplearla en partes de tolerancia dimensional cerrada. La baja capacidad de absorción de la resina y su resistencia a los fluidos fríos, contribuyen a su estabilidad dimensional
Pigmentación	La mayoría de estas resinas, están disponibles en colores estándar sobre pedido, se pueden pigmentar aunque requieren equipo especial.
Facilidad de unión	Se unen fácilmente entre sí y con materiales plásticos de otros grupos mediante cementos y adhesivos
Cap. de absorción	Baja
Propiedades ambientales	La exposición prolongada al sol produce una capa delgada quebradiza, causando un cambio de color y reduciendo el brillo de la superficie y la resistencia a la flexión. La pigmentación en negro provee mayor resistencia a la intemperie
Resistencia química	Generalmente buena aunque depende del grado de la resina, de la concentración química, temperatura y esfuerzos sobre las partes. En general no son afectadas por el agua, sales inorgánicas, álcalis y por muchos ácidos. Son solubles en ésteres, acetona, aldehídos y en algunos hidrocarburos clorados
Formado	Se adaptan bien a las operaciones secundarias de formado. Cuando se calientan, los perfiles extruidos, se pueden doblar y estampar.
Facilidad de maquinado	Sus características son similares a las de los metales no ferrosos, se pueden barrenar, fresar, torneare, aserrar y troquelar
Acabados superficiales	Pueden ser acabados mediante metalizado al vacío y electroplateado
Resistencia a la fatiga	Se presenta para cargas cíclicas o permanentes mayores a 0.7 Kg mm ²
Recocida	Se mantiene 5° C arriba de la Temp. de distorsión durante 2 a 4 h.

Tabla 14 Propiedades cualitativas ABS

Propiedades Cuantitativas:

Propiedades	Método ASTM	Unidad	Grados de ABS			
			Alto impacto	Impacto medio	Bajo Impacto	Resistente al calor
Mecánicas a 23°C						
Resistencia al impacto, prueba Izod	D2546	J / m	375-640	215-375	105-215	105-320
Resistencia a la tensión	D638	Kg / mm ²	3,3 - 4,2	4,2-4,9	4,2-5,3	4,2-5,3
elongación	D638	%	15-70	10-50	5-30	5-20
Módulo de tensión	D638		173-214	214-255	214-265	214-265
Dureza	D785	HRC(Rockwell)	88-90	95-105	105-110	105-110
Peso específico	D792		1,02-1,04	1,04-1,05	1,05-1,07	1,04-1,06
Térmicas						
Coefficiente de expansión térmica	D696	X 10 ⁵ cm / cm* °C	9,5-11,0	7,0-8,8	7,0-8,2	6,5-9,3
Distorsión por calor	D648	°C a 18,4 Kg /cm ²	93-99	96-102	96-104	102-112

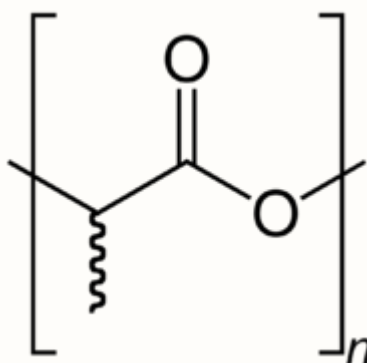
Tabla 15 Propiedades cuantitativas ABS

PLA [25]:

El poli (ácido láctico) o ácido poliláctico (PLA) es un poliéster alifático termoplástico derivado de recursos renovables, de productos tales como almidón de maíz (en los Estados Unidos), tapioca (raíces, o almidón principalmente en Asia) o caña de azúcar (en el resto de mundo). Se pueden biodegradar bajo ciertas condiciones, tales como la presencia de oxígeno, y es difícil de reciclar.

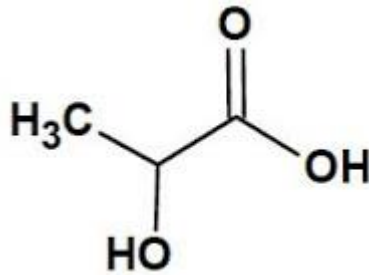
El nombre de "ácido poliláctico" debe utilizarse con precaución, ya que no se ajusta a las nomenclaturas estándar (como la IUPAC) y que podría dar lugar a la ambigüedad (PLA no es un poliácido, sino más bien un poliéster).

Síntesis y estructura química



Fórmula del poli (ácido láctico)

El punto de partida para la obtención del PLA es el ácido láctico.
El ácido láctico (LA) es el ácido 2-hidroxipropanoico



Sus principales aplicaciones industriales se han basado en sectores como:

- Alimentario (acidulante, saborizante, emulsificante, y conservante).
- Farmacéutico (humectantes y pomadas de uso tópico).
- Cosmético (típicamente emulsificante en forma de éster).
- Plásticos (aditivo, agente de terminado, como disolvente en forma de éster).

Existen dos procesos básicos de obtención de ácido láctico (LA) que consisten en rutas químicas y biotecnológicas. Actualmente la ruta biotecnológica produce más del 95 % del consumo mundial de LA

La ruta biotecnológica consiste en la fermentación de carbohidratos con bacterias y hongos, aunque industrialmente está más extendida la fermentación vía bacteriana.

Una de las principales ventajas de las rutas biotecnológicas, es obtención de LA en sus formas enantioméricas, y no como mezcla racémica, tal y como ocurre en la vía química. Sus principales desventajas son: largos tiempos de fermentación (6 días), bajas productividades (1,35 g/L/h).

La obtención de LA por vía fermentativa discurre básicamente a través de cuatro etapas.

- Fermentación
- Hidrólisis del lactato de calcio
- Esterificación y destilación
- Hidrólisis del éster

Los procesos comerciales de obtención se basan en la utilización de bacterias termófilas, de fermentación rápida, y que permiten que el uso de sustratos baratos, con mínima adición de nutrientes.

Algunos de los sustratos más empleados en la fermentación láctica son: sacarosa de caña de azúcar, y de remolacha azucarera, lactosa de lactosueros y dextrosa de almidones hidrolizados.

El ácido láctico es un ácido orgánico con tres carbonos: en un terminal el átomo de carbón es parte del grupo carboxílico; el otro átomo de carbón terminal es parte de un metilo; y el átomo de carbón central está unido a un grupo alcohol.

El ácido láctico no puede ser directamente polimerizado en un producto útil, ya que cada reacción de polimerización genera una molécula de agua, cuya presencia degrada la formación de la cadena polimérica, hasta el punto que sólo se obtienen pesos moleculares muy bajos. En cambio, dos moléculas de ácido láctico se someten a una esterificación simple y luego catalíticamente se cicla para hacer un éster de dilactato cíclico. A pesar de que la dimerización también genera agua, puede ser separada antes de la polimerización debido a una caída significativa en la polaridad. El PLA de alto peso molecular se produce

a partir del éster de dilactato (lactida) por polimerización por apertura de anillo usando por lo general un octoato de estaño como catalizador (a nivel laboratorio se emplea comúnmente cloruro de estaño (II)). Este mecanismo no genera agua adicional, por lo tanto, una amplia gama de pesos moleculares puede obtenerse.

La polimerización de una mezcla racémica de ácidos L y D-lácticos por lo general conduce a la síntesis de poliácidos-DL-láctico (PDLLA), que es amorfo. El uso de catalizadores estereoespecíficos puede llevar a PLA heterotáctico de mayor cristalinidad. El grado de cristalinidad y otras muchas características importantes, es en gran parte controlado por la relación de enantiómeros D y L que se utiliza, y en menor medida del tipo de catalizador utilizado.

Propiedades físicas y químicas

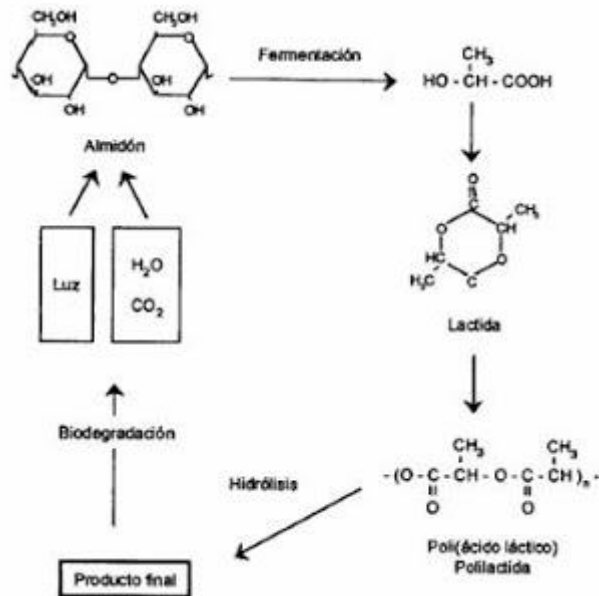
Debido a la naturaleza quiral del ácido láctico, pueden obtenerse distintos tipos de polímero: el poliácido-L-láctico (PLLA) es el producto resultante de la polimerización de ácido L, L-láctico (también conocido como L-láctico). El PLLA tiene una cristalinidad de alrededor del 37%, una temperatura de transición vítrea entre 60-65°C, una temperatura de fusión entre 173-178°C y un módulo de elasticidad entre 2,7 a 16 GPa. Sin embargo, el PLA resistente al calor pueden soportar temperaturas de 110°C (230° F). El PLA tiene propiedades mecánicas similares al PET, pero tiene una temperatura máxima de uso continuo significativamente más bajos.

El ácido poliláctico se puede procesar, como la mayoría de los termoplásticos, en fibra (por ejemplo, usando el proceso convencional de hilatura por fusión) y en película. La temperatura de fusión del PLLA se puede aumentar 40-50°C y la temperatura de deflexión al calor puede incrementarse en aproximadamente 60°C hasta 190°C por mezclado físico del polímero con PDLA (poliácido-D-láctico). El PDLA y el PLLA forman un estereoconflexión muy regular con mayor cristalinidad. La estabilidad de la temperatura se maximiza cuando se utiliza una mezcla 50:50, pero incluso a bajas concentraciones de 3.10% de PDLA, existe una mejora sustancial. En este último caso, el PDLA actúa como un agente de nucleación, lo que aumenta la velocidad de cristalización. La biodegradación de PDLA es más lenta que para el PLA debido a la mayor cristalinidad del PDLA. El PDLA tiene la útil propiedad de ser ópticamente transparente.

También hay poliácidos (L-láctico-co-D, L-láctico) (PLDLLA), usado como PLDLLA / TCP (andamios) para la ingeniería del hueso.

Biodegradación

Una de las características que ha suscitado gran interés en el PLA es su capacidad de biodegradarse bajo condiciones adecuadas a diferencia del resto de los polímeros. Lo que le confiere una gran ventaja desde el punto de vista ecológico. Además es un polímero obtenido de recursos renovables.



Una crítica importante del polímero ocurre durante su fase de interrupción biológica. El PLA lanza dióxido de carbono y metano durante este proceso, sustancias que participan al efecto invernadero. Siendo nulo el balance neto en dióxido de carbono, pues el CO_2 lanzado a la atmósfera es aquel que fue absorbido durante la fotosíntesis de la planta. Otra crítica es que los combustibles fósiles todavía son necesarios para producir el PLA. Aunque los combustibles fósiles no se utilizan en el polímero sí mismo, son necesarios en los procesos de cosechas y recogida de la planta así como en su producción química. Los productores del PLA reconocen que los combustibles fósiles se están utilizando para producir el plástico, pero indican que su fabricación requiere entre 20 y 50 por ciento menos de recursos fósiles que aquellos que provienen del petróleo. Además hacen uso de recursos fósiles abundantes como son el carbón y el gas natural e investigan sobre la utilización de la biomasa.

El ácido láctico, y por lo tanto el PLA, también pueden derivar del trigo, de la remolacha y otras cosechas permitiendo adaptarse a los climas específicos de cada región.

Es importante resaltar que la tecnología de fabricación del PLA es reciente, solamente diez años frente a los casi 100 años de existencia de la petroquímica del plástico, durante los cuales ha ido mejorando.

Otro de los inconvenientes del PLA puede ser el hecho de que al crecer su consumo se deberá generar mayor cantidad de sembradíos para satisfacer la demanda de materia prima para su obtención, lo que elevaría el desmonte de los suelos para ser sembrados.