

E.T.S. de Ingeniería Industrial,
Informática y de Telecomunicación

Diseño de órtesis para deambulación en apoyo monopodal



Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico

Trabajo Fin de Grado

Andrea Morrás Ripa

José Ramón Alfaro López

Tudela, marzo de 2020

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer a mis padres todo el apoyo que me han dado durante toda la carrera, sobre todo este último año.

También me gustaría agradecer a mi tutor José Ramón Alfaro por la aportación de muchas de las ideas de este trabajo y por estar siempre dispuesto a ayudar y dispuesto a resolver dudas.

Agradezco también a mis amigos y compañeros de clase, que cada vez que me veían me preguntaban por el trabajo y cada día les contestaba una cosa nueva.

Por último, quiero agradecer a Tacho Niubo, por la ayuda recibida en los aspectos médicos del proyecto.

RESUMEN

En el presente Trabajo Fin de Grado se describe el dise1o de una 3rtesis para deambulaci3n en apoyo monopodal.

Est3 3rtesis tiene como objetivo mejorar las posibilidades de desplazamiento de los pacientes que sufren s3ndrome de dolor regional complejo. El uso de este dispositivo depende del paciente, es decir, del grado de la enfermedad. Unos deber3n usarlo durante unos meses, y otro posiblemente durante toda la vida.

Actualmente este dispositivo no es muy conocido y posiblemente sea muy caro. Lo que se usa en la vida cotidiana son las muletas, que te limitan a la hora de hacer cualquier movimiento y son un impedimento para muchas cosas. Por lo que el proyecto trata de resolver esta necesidad, la de poder hacer vida normal y no tener que estar esclavo de usar los brazos para desplazarte.

El dise1o que se ha propuesto est3 compuesto por dos partes: una base con un esqueleto para que se pueda apoyar bien la rodilla y la parte que ir3 desde la rodilla hasta el suelo, haciendo de soporte. Todas las piezas han sido dise1adas con el software NX Unigraphics, salvo lo que viene siendo la pierna, que se ha usado un esc3ner 3D EVA y el programa ArtecStudio para desarrollarla.

PALABRAS CLAVE

NX Unigraphics, esc3ner 3D, SDRC.

ABSTRACT

The end of the course Final Project I want to describe a design for an orthopaedic legbrace for walking.

The aim of this brace is to improve the movement of patients that suffer from complex regional pain syndrome. The use of this device depends on the patient, that is, the degree of severity of the illness. Some must use it only for a few months while others possibly for the rest of their lives.

Practically, this device is not very common and it is very expensive. The aids that are normally used in daily life are crutches. However, they have many limitations to the movement of people and consequently they are an impediment for doing a lot of things. Therefore, the project is about solving your needs and helping you to lead a normal life and not having to be a slave by using your arms to move.

The design proposed is made up of two parts: a base with a frame for supporting the knee and another part that goes from the knee to the ground as a support function. All the parts have been designed using software called NX Unigraphics, except the part that is for the leg. That part has been designed using 3D scanner and the programme ArtecStudio has been used in its development.

KEYWORDS

NX Unigraphics, 3D scanner, SDRC.

ÍNDICE

1.	<i>INTRODUCCIÓN</i>	5
1.1.	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	5
1.2.	OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS PARTICULARES.....	6
1.3.	ALCANCES Y LIMITACIONES	6
1.4.	ASPECTOS INNOVADORES.....	7
2.	<i>ESTADO DEL ARTE</i>	8
2.1.	SÍNDROME DE DOLOR REGIONAL COMPLEJO	8
2.2.	ÓRTESIS	11
3.	<i>METODOLOGÍA EMPLEADA</i>	23
3.1.	PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES.....	23
3.2.	ELECCIÓN DE SOLUCIÓN A DESARROLLAR	25
4.	<i>DESARROLLO DE SOLUCIONES</i>	29
4.1.	ESCANEO DE UNA PIERNA.....	29
4.2.	COMPONENTES	34
4.3.	ELECCIÓN DE MATERIALES	42
4.4.	CORTE POR CHORRO DE AGUA	47
5.	<i>USO DE HERRAMIENTAS</i>	49
5.1.	ESCANER 3D	49
5.2.	TIPO DE SOLUCIONES DE ESCÁNERES 3D	51
5.3.	ESCANER 3D ARTEC EVA	54
5.4.	INGENIERÍA INVERSA	56
5.5.	NX UNIGRAPHICS	58
5.6.	SOLIDWORKS	59
6.	<i>PRESUPUESTO</i>	63
6.1.	Piezas/Material.....	63
6.2.	Licencias de software y herramientas a usar.....	63
7.	<i>CONCLUSIONES</i>	64
8.	<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	65
9.	<i>ANEXOS</i>	67

1. INTRODUCCI3N

El presente TFG que lleva como t3tulo “Diseño de órtesis para deambulaci3n en apoyo monopodal”, tiene como objetivo final el diseño y la fabricaci3n de una órtesis adaptada a una paciente. Para llegar al objetivo, se han tenido en cuenta varias propuestas, se han analizado y descartado hasta llegar a la propuesta final, en la que la opini3n y comodidad de la paciente tiene que ser clave.

Se ha usado un escáner 3D, para estudiar las diferentes posturas de apoyo de la pierna. El estudio se ha realizado con una pierna ajena, ya que la paciente no estaba disponible por maternidad.

1.1. DEFINICI3N DEL PROBLEMA

Las piernas son parte fundamental de nuestro cuerpo. Son el tercer segmento del miembro inferior o pelviano, comprendidas entre la rodilla y el tobillo. Son la parte principal junto a los pies para poder andar, mantenernos en pie, etc. Algo vital para llevar una vida normal y la falta o la incapacidad de su uso puede afectar en cualquier ocasi3n, ya sea para cocinar, conducir, desplazarte c3modamente.

Por todo ello, este trabajo va a estar orientado a mejorar la vida de esta persona en casa, ya que lo que la paciente pide es el menor uso posible de muletas durante su estancia en su hogar.

Para ponerse en situaci3n. La paciente sufre s3ndrome de dolor regional complejo, es un trastorno de dolor cr3nico. Suele afectar a una sola extremidad y generalmente comienza despu3s de una lesi3n. Para afrontarlo hace uso de muletas las 24 horas del d3a, algo inc3modo a la hora de ejercer las tareas del hogar, ya que las manos las tienes ocupadas en aguantar las muletas.

La soluci3n a este problema podr3a ser ajustar una órtesis como puede ser una muleta a las necesidades de la paciente.

1.2.OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS PARTICULARES

El principal objetivo de este proyecto es el diseñar un dispositivo que pueda suplir o sustituir el actual, es decir, las muletas. Tras este objetivo, se seguiría con objetivos más concretos que definirán el diseño.

1.2.1. Objetivos generales

El objetivo va a ser diseñar y fabricar un dispositivo que se pueda adaptar a cualquier persona y que cubra las necesidades de alguien que no pueda apoyar un pie y que el uso de muletas se le haga molesto.

Para ello se ha trabajado con pacientes y fisioterapeutas que han ayudado a la hora de elegir mejor el camino a seguir.

1.2.2. Objetivos particulares

- Que sea económico.
- Duradero.
- Simple.
- Funcional.
- Debe ajustarse bien a la pierna para que el apoyo sea adecuado y la pierna no sufra.
- Que el uso de los brazos sea nulo.
- Que no esté formado por muchas piezas.

1.3. ALCANCES Y LIMITACIONES

Se han planteado los siguientes alcances:

- Estará compuesto por dos partes importantes. La parte que hará de soporte y por otro lado la parte donde irá colocada la rodilla.
- Cada uno de los componentes estarán diseñados con diseño CAD 3D.
- Será un diseño adaptado al paciente, por lo tanto, para el logro de ello usaremos un escáner 3D.

- Muy fácil de montar y desmontar con herramientas básicas.
- Fácil transporte.

El dispositivo también presenta limitaciones:

- La órtesis debe de ser lo más económica posible, por lo que se descartarían materiales o diferentes formas de producción.
- Lo más sencilla posible a la hora del diseño, por lo que no será tan importante la estética, y por lo tanto no será algo muy llamativo para la gente.

1.4. ASPECTOS INNOVADORES

Los aspectos innovadores son:

Por un lado, gracias a los escáneres 3D y al uso del programa ArtecStudio, se podrá diseñar el dispositivo a medida de cada uno, ya que lo primero que se debe hacer es escanear la pierna afectada y con ello elaborar la parte superior del artilugio.

Por otro lado, en ninguna otra ocasión se ha visto utilizar una “muleta” sin la necesidad de usar la fuerza de los brazos, si no que con la fuerza de la misma rodilla se sea capaz de mantener en equilibrio y andar.

2. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se va a tratar sobre el síndrome de dolor regional complejo, como de los tratamientos o ayudas actuales que tienen como fin su mejora.

2.1. SÍNDROME DE DOLOR REGIONAL COMPLEJO

El síndrome de dolor regional complejo (SDRC), también conocido como síndrome doloroso regional complejo, es un trastorno de dolor crónico, que dura más de 6 meses. Suele afectar a una sola extremidad y generalmente comienza después de una lesión.

Se cree que es el resultado de un daño o disfunción de los sistemas nerviosos central compuesto por el cerebro y la médula espinal y periférico compuesto por las señales nerviosas que van desde el cerebro y la médula espinal al resto del cuerpo.

El SDRC se caracteriza por dolor prolongado o excesivo, cambios en el color de la piel y la temperatura, e hinchazón en el área afectada.

El SDRC se divide en dos tipos: SDRC-I y SDRC-II. Se considera que las personas que no tienen una lesión nerviosa confirmada tienen el SDRC-I. En el caso de que haya una lesión nerviosa confirmada, se considera que tienen el SDRC-II.

Los síntomas del SDRC varían en gravedad y duración, aunque algunos casos son leves y finalmente desaparecen. En casos más graves, es posible que las personas no se recuperen y tengan una discapacidad a largo plazo.

2.1.1. Síntomas

El síntoma clave suele ser un dolor duradero que puede llegar a ser constante. Se suele describir como una sensación de ardor, hormigueo, como si alguien te estuviera apretando la extremidad afectada. Es posible que el dolor se extienda a toda la pierna, a pesar de que la lesión haya sido en un dedo solo. En casos extraños, el dolor puede pasarse a la extremidad opuesta. A menudo hay una mayor sensibilidad en el área afectada, donde el contacto normal con la piel puede ser muy doloroso.

Las personas con el SDRC también tienen cambios en la temperatura y el color de la piel o hinchazón de la extremidad afectada. Esto se debe a la circulación anormal causada por el daño a los nervios que controlan el flujo sanguíneo y la temperatura. Como resultado, la

parte afectada puede sentirse más cálida o fría si la comparamos con la extremidad opuesta. La piel de la extremidad afectada puede verse cambiada de color volviéndose azulada, púrpura, pálida o incluso enrojecida.

Otras características pueden ser:

- Cambios en la textura de la piel quedándose brillante y delgada.
- Sudor anormal en el área afectada.
- Cambios en el crecimiento de las uñas y del vello.
- Rigidez en las articulaciones afectadas.
- Problemas para coordinar el movimiento muscular, con menos capacidad para mover la parte afectada.
- Temblores o sacudidas de la extremidad.

2.1.2. Cómo se diagnostica

En la actualidad, no hay ninguna prueba que confirme el SDRC. El diagnóstico está basado en los antecedentes médicos de la persona y síntomas que coinciden con la definición. Hay otros trastornos que causan síntomas parecidos, es importante hacer un examen minucioso para detectarlo. Como la mayoría de las personas mejora gradualmente con el tiempo, el diagnóstico se puede hacer más difícil con el progreso del trastorno.

Las pruebas sirven a su vez para ayudar a descartar otros problemas médicos, como puede ser la artritis, la enfermedad de Lyme, las enfermedades musculares generalizadas o un coágulo en la vena, ya que el tratamiento de estos es diferente. La característica que diferencia el SDRC es que ha habido una lesión en el área afectada. La evaluación debe de ser muy cuidadosa para que no se pase por alto algún otro trastorno que se pueda tratar.

Se puede solicitar una resonancia magnética o una gammagrafía ósea trifásica para ayudar a confirmar el diagnóstico.

2.1.3. Como se trata el SDRC

Las siguientes terapias son las más usadas:

- Rehabilitaci3n y terapia f3sica.

Se basa en una rutina de ejercicios para mantener en movimiento la parte del cuerpo con dolor. Esto puede mejorar el flujo sangu3neo y disminuir los s3ntomas circulatorios. No solo eso sino que, puede ayudar a mejorar la flexibilidad, la fuerza y la funci3n de la extremidad afectada.

La rehabilitaci3n de la extremidad afectada adem3s puede que sea una ayuda para prevenir o revertir los cambios cerebrales secundarios que est3n asociados con el dolor cr3nico. La terapia ocupacional puede ayudar a la persona a aprender nuevas maneras de trabajar y de hacer las tareas diarias.

- Psicoterapia.

A menudo, el SDRC tiene efectos psicol3gicos profundos en las personas afectadas y tambi3n en sus familias. Las personas con el SDRC pueden tener depresi3n, ansiedad o el trastorno por estr3s postraum3tico, lo que hace que aumenta la percepci3n del dolor y dificulta los esfuerzos de rehabilitaci3n. El tratamiento de estas afecciones secundarias es importante para ayudar a las personas a sobrellevar y recuperarse del SDRC.

- Medicamentos.

Varias clases diferentes de medicamentos son eficaces para el SDRC, normalmente cuando se usan al comienzo de la enfermedad. En cambio, la Administraci3n de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos, no ha aprobado ning3n medicamento espec3ficamente para el SDRC y no se puede garantizar que haya un medicamento o combinaci3n de medicamentos que sea eficaz para todas las personas. (Stroke, 2017) (Concepci3n Cuenca Gonz3leza, Mar3a Isabel Flores Torres, Karla Vanesa M3ndez Saavedra, Idoya Barca Fern3ndez, Alejandro Alcina Navarro, Alejandro Villena Ferrer, 2012)



Figura 1: Síndrome de dolor regional complejo (Ramos, 2010)

2.2. ÓRTESIS

La definición más típica es que las órtesis protegen y dan apoyo al sistema locomotor. Las órtesis son dispositivos médicos aconsejados por un doctor en caso de lesiones y enfermedades del sistema óseo y el aparato locomotor y pueden ayudar en la curación. El principal objetivo de estos elementos es ayudar a las personas a mejorar o incrementar su movilidad. Las órtesis pueden estabilizar y aliviar el cuerpo o las extremidades afectadas, o proporcionar terapia fisiológica.

Con una órtesis, una zona corporal afectada puede ser completamente inmovilizada o también movilizada en un proceso controlado. También es posible el uso de las órtesis para corregir posturas o movimientos. Las órtesis neurológicas especializadas son capaces de compensar las funciones corporales. Esto incluye la parálisis completa o incompleta de piernas o brazos.

Así pues, pueden prevenirse, contrarrestarse o corregirse las posiciones incorrectas o cargas de peso inadecuados, o reducir y prevenir el dolor.

Lo ideal es que el producto adecuado se elija siempre junto con el médico y el técnico ortopédico.

Suelen ser fabricarlas utilizando materiales relativamente rígidos con elementos funcionales de ayuda, como pueden ser barras, juntas o varillas.

2.2.1. Tratamientos actuales de órtesis de miembros inferiores

Como ya se había mencionado anteriormente, este tipo de ayudas son dispositivos ortopédicos que se pueden aplicar tanto como para la alineación, corrección, descarga y derotación de las extremidades inferiores.

Los materiales que se suelen usar en estos casos son el aluminio, acero, termoplásticos y que continuamente se fijarán a la extremidad a través de hebillas y velcros. No es necesario que estén unidas al calzado.

2.2.2. Clasificación

Puntos para tener en cuenta para clasificar:

- 1- El número de articulaciones que van a estar involucradas.
 - Cortas: Una articulación.
 - Largas: Dos o más articulaciones.
 - 2- El número de extremidades que incluye, si una o ambas.
 - Simple: Una extremidad.
 - Dobles: Las dos extremidades.
 - 3- En dependencia de su acción.
 - Pasivas: Controlan o tutorean de forma pasiva una corrección lograda.
 - Activas: Gracias al movimiento corrigen la deformidad.
 - De descarga: Inmovilizan y descargan una articulación afecta.
- (Órtesis miembros inferiores)

2.2.3. Principales Órtesis de Miembros Inferiores con su indicación, su función y la tecnología

2.2.Férula de Hallux Valgus

Indicación	Hallux Valgus
Función	Provoca una reducción progresiva de la deformidad y evita una rápida progresión. Solo hay que usarla para estudios iniciales.
Tecnología	Moldean al pie con calor.



Figura 2: Férula de Hallux Valgus (Amazon, s.f.)

Férula Dennis Brown

Indicación	Tratamiento del pie varo equino del metatarso aductor y de los defectos torcionales de las tibias. Su uso es solo de forma permanente durante la fase de y una vez pasado el año al comenzar la marcha solo se usará de noche.
Función	Produce rotación externa de la extremidad y abducción del pie.
Tecnología	Se elabora de aluminio. La distancia entre las planchas o el grado de rotación del calzado puede ser fija o regulable.



Figura 3: Férula Dennis Brown (D, 2016)

Férula Plástica Pie Equino.

Indicación	Para el tratamiento del Equinismo de cualquier causa.
Función	La posición anatómica a la que mantiene el pie es de 90° de tobillo.



Figura 4: Férula Plástica Pie Equino (Clasipar, s.f.)

Órtesis Cortas (simples y dobles)

Indicación	Utilizado para la deambulación.
Función	Se fabrican a la medida del paciente. Está formado por dos varillas de acero con un tope equino a 90° en los tobillos y se a la hora de usarlos se adaptan con calzado especial, como si fuesen unas botas quirúrgicas.



Figura 5: Órtesis corta (Nanopdf, 2017)

Rodilleras Articulada

Indicación	Gonartrosis, inestabilidad, deformidad angular en el adulto.
Función	Estabiliza e inmoviliza la articulación de la rodilla, evita el avance de algunas deformidades.
Tecnología	Puede ser para una rodilla, o para las dos. Se hace a medida del paciente.



Figura 6: Rodillera articulada (Mueller, s.f.)

Rodillera Recurvatum

Indicación	Deformidad en Genus Recurvatum durante el crecimiento óseo, es decir afecta a niños o adolescentes.
Función	Corrección activa durante la marcha de la deformidad.
Tecnología	Se ejecutan de termoplástico y velcro.



Figura 7: Rodillera Recurvatum (Ortopedia41, 2018)

Rodillera Genus Flexus

Indicación	Corrección de la deformidad en flexión de la rodilla.
Función	Corrección activa de la deformidad.
Tecnología	Se confecciona de aluminio, acero, velcro y una rodillera.

Órtesis Larga (Simple o Doble)

Indicación	Las distrofias musculares. Pacientes hemi y parapléjico. Pacientes con secuelas de poliomelitis. Patologías que impidan una ambulación adecuada.
Función	Para la ambulación y/o bipedestación del paciente.
Tecnología	Asentamiento isquiático, se articula en caderas, rodillas y tobillos. Se fábrica de acero, termoplástico, lleva incorporado un cinturón pélvico y la sujeción se basa en rodilleras de piel y hebillas. La forma de anexas al calzado es con un elemento especial como son las botas quirúrgicas o la conocida sandalia introducida.



Figura 8: Órtesis larga (Órtesis miembros inferiores)

Corrector Varo

Función	Se basa en corregir la deformidad angular activamente durante el día.
Tecnología	Botas Dennis Brown a las que hay que realizarles un corte lateral en forma de cuña, a la altura del escafoides se aplica suela de metal articulada en la parte distal. La suela metálica lleva tirante de tracción que puede ser una espiral o un elástico que realiza la abducción dinámica progresiva. Lleva apoyo a nivel del 1er artejo.

Tutor Varo

Indicación	Tratamiento nocturno del genus varo.
Función	Corrección nocturna del genus varo.
Tecnología	Se elabora con barras de aluminio unidos a un calzado nocturno. Posee unas rodilleras las cuales se sujetan a la extremidad.

Tutor Tibia Vara

Indicación	Tibia vara, enfermedad de blound.
Función	Corrección nocturna de la tibia vara y de la enfermedad de blound.



Figura 9: Tutor Tibia Vara
(Órtesis miembros inferiores)

Corrector Tibia Vara

Indicación	Tibia vara, enfermedad de blound.
Tecnología	<p>Botas Denis Brown a las que hay que realizarles un corte lateral en forma de cuña, a la altura del escafoides se aplica suela de metal articulada en la parte distal.</p> <p>La suela metálica lleva tirante de tracción que puede ser una espiral o un elástico que realiza la abducción dinámica progresiva.</p> <p>Lleva apoyo a nivel del 1er artejo.</p>



Figura 10: Corrector Tibia Vera

Tutor Valgo

Indicación	El uso es nocturno para el genus valgo.
Función	Corrección nocturna del genus valgo.
Tecnología	<p>Se elabora con barras de aluminio unidos a un calzado nocturno.</p> <p>Posee unas rodilleras las cuales se sujetan a la extremidad.</p>

Corrector Valgo

Indicación	Su uso es diurno para el genus valgo.
Función	Corrección diurna activa del genus valgo.

Órtesis para Metatarso Aducto

Indicación	<p>Para metatarso aducto.</p> <p>Una vez cumplidos los 3 meses hasta el comienzo de la marcha será de uso continuo.</p> <p>De ahí hasta cumplir los dos años y media, pasará a ser de uso nocturno.</p>
Función	Corrección activa de la deformidad.
Tecnología	<p>Botas Denis Brown a las que hay que realizarles un corte lateral en forma de cuña, a la altura del escafoides se aplica suela de metal articulada en la parte distal.</p> <p>La suela metálica lleva tirante de tracción que puede ser una espiral o un elástico que realiza la abducción dinámica progresiva.</p> <p>Lleva apoyo a nivel del 1er artejo.</p>



Figura 11: Órtesis para metatarso aducto (Muruzábal, 2012)

Órtesis Desrotadora de Tibia

Indicación	Deformidades torcionales de la tibia.
Función	Desrotar la tibia.
Tecnología	<p>Está fabricada con varillas de aluminio que a su vez están unidas a un cinturón pélvico en dependencia del calzado que se le adicione su uso.</p> <p>Puede ser tanto de uso diurno, como de uso nocturno.</p>



Figura 12: Órtesis Desrotadora de Tibia (Órtesis miembros inferiores)

Férula Poncethy

Indicación	Displacia, luxaciones, subluxaciones y ausencia de núcleo en la cadera. Aparece en niños a partir de los ocho meses.
Función	Produce abducción con centraje y contención de las cabezas femorales.
Tecnología	Confeccionada con varillas de aluminio, cinturón pélvico y anillas con cierre de correas de piel.

Tutor de Perthes

Indicación	Enfermedad de perthes.
Función	Inmoviliza y centra la cabeza femoral en abducción y rotación interna.
Tecnología	Esta es una órtesis que fabricada con varillas de aluminio que van unidas al calzado de tipo Dennis Brown. Está sujeta a la extremidad a través de correas.

Órtesis Tachdjian

Indicación	Es un tratamiento diurno de la enfermedad de Legg-Calve-Perthes.
Función	Centraje, contención y descarga de la cabeza femoral.
Tecnología	Fabricada con varillas de aluminio unidas al calzado ortopédico. Tiene un cinturón pélvico asentamiento isquiático, apoyo lateral interno en el caso de la marcha. La extremidad queda suspendida en abducción y rotación interna a pocos centímetros del suelo. Porta calzado ortopédico con plataforma compensatoria contralateral con la misma altura.



Figura 13: Órtesis Tachdjian (Ortopedia Mostkoff, 2019)

Órtesis de Perthes

Indicación	Es un tratamiento diurno de la enfermedad de Legg-Calve-Perthes.
Función	Descargar la cadera afectada.
Tecnología	<p>Se usa para la cadera y está fabricada con varillas de aluminio, cinturón pélvico, asentamiento isquiático.</p> <p>En el extremo distal lleva estribo para la marcha.</p> <p>La extremidad queda suspendida mediante una abrazadera de piel a nivel del tobillo.</p> <p>Se usa unida a calzado ortopédico.</p> <p>El calzado contralateral se alza a una distancia con una plataforma para horizontalizar la pelvis.</p>



Figura 14: Órtesis de Perthes (Hospitalareas)

Órtesis para Contención de la Cadera

Indicación	Coxa valga, coxa vara, coxartrosis, en las artroplastias y otros procesos tanto traumáticos como degenerativos que asienten en dicha articulación.
Función	Centraje y contención de la cadera.
Tecnología	Su fabricación es a medida. Consta de un hemicinturón pélvico y un corselete femoral que se vinculan a través de una articulación que es capaz de controlar los movimientos de la cadera. Se fabrica con termoplástico y cierre de velcro.



Figura 15: Órtesis para contención de la cadera (Orliman)

3. METODOLOGÍA EMPLEADA

En este apartado se van a mostrar los diseños que se han llevado a cabo. Se podrá observar las diferentes ideas, hasta llegar a la solución elegida.

3.1. PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES

En un primer momento estas fueron los dos diseños principales, que no llegaron a evolucionar.

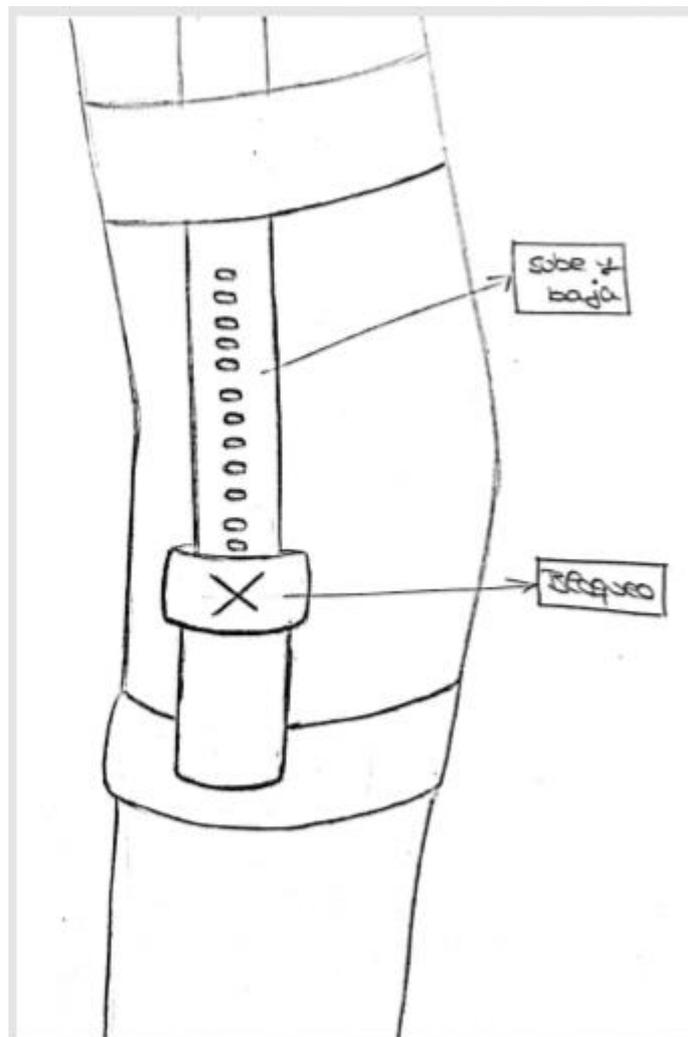


Figura 16: Planteamiento solución 1

Esta primera idea se basa en una pieza que se puede adecuar a tu medida, que se fija con un simple bloqueo. En este caso, la pierna iba a tener que estar recta y sin movimiento, por lo que podría ser un incordio ya que no se podría mover del sitio.

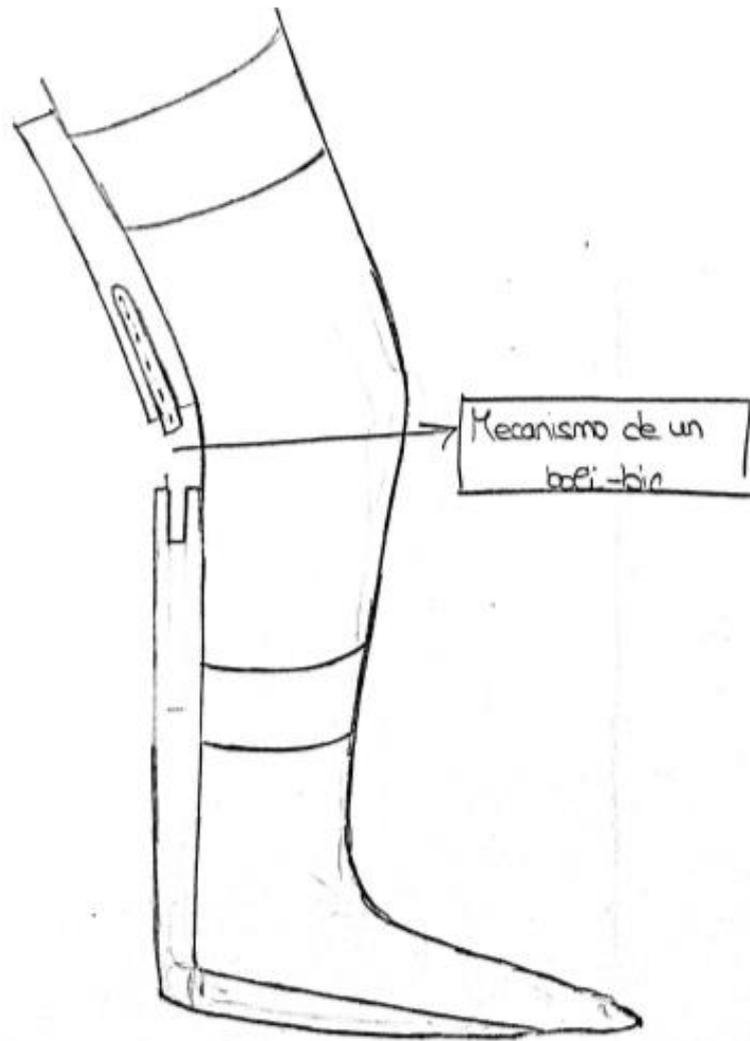


Figura 17: Planteamiento solución 2

La segunda opción fue la de la imagen que se puede observar arriba. El mecanismo es muy simple, ya que está basado en el mecanismo de un boli Bic. El problema que se ve es el mismo que el anterior, que la persona que vaya a usarlo no podrá desplazarse.

Por todo ello, se decidió hacer una solución algo más compleja, que diese la opción de desplazarte de un lado a otro, aunque solo fuese por casa.

También se llegó a plantear el fijarse en las botas de esquiar o patines de línea, algunas se amoldan al pie y centrándonos un poco en ese diseño realizar algo parecido. La idea era buena, pero el problema fue que el tobillo es lo que realmente está afectado por lo que el recubrimiento total de la extremidad no supondría un avance.



Figura 18: Bota de esquí (Esqui.com, s.f.)

3.2. ELECCI3N DE SOLUCI3N A DESARROLLAR

Tras la elaboraci3n de varios bocetos, se decidi3 quedar con el m1s adecuado, a la vez que el que se crey3 que era el m1s sencillo para desarrollar con el fin de lograr todos los objetivos.

La 3rtesis estar1 formada por cuatro componentes: un esqueleto, una base, un enganche y el apoyo.

El primero de ellos ser1 un esqueleto formado por dos “U”-s paralelas, que se ubicar1n perpendiculares a una especie de “L” al rev3s. Tanto las partes verticales de las “U”-s, como la de la “L”, tendr1n tres agujeros con el fin de unir con tornillos el esqueleto a la base.

Estos son los bocetos que dejan más claro la geometría que se quiere lograr:

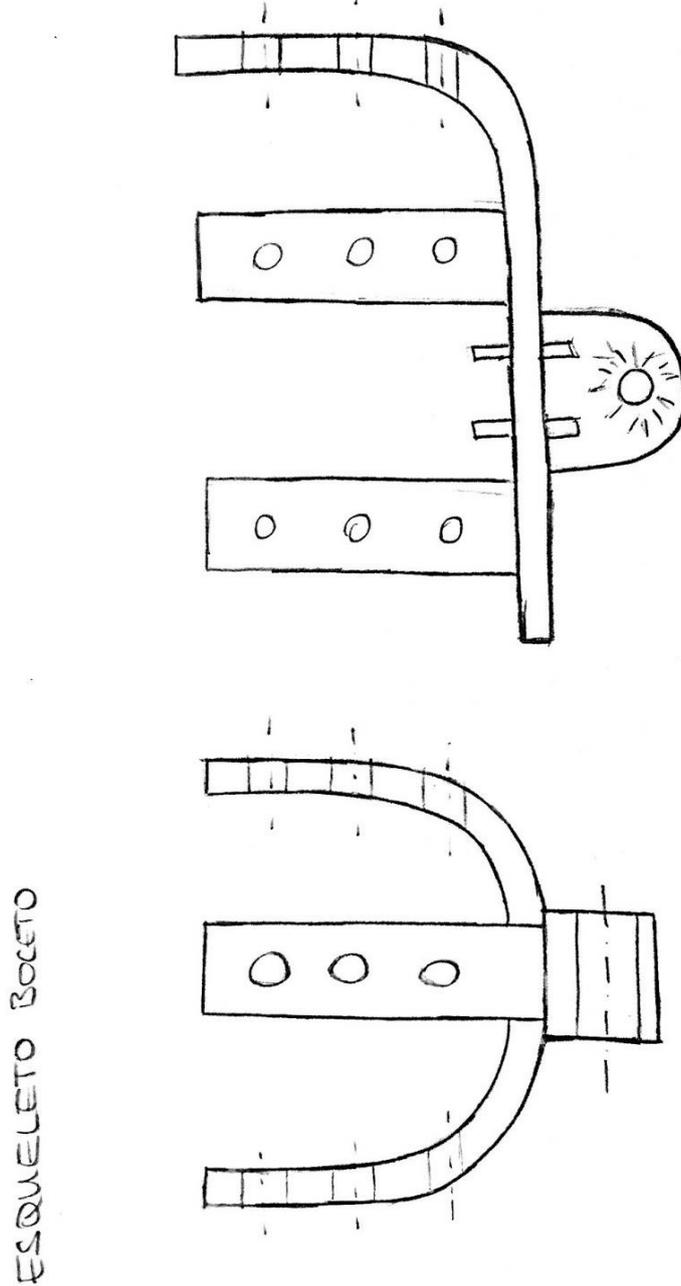


Figura 19: Boceto esqueleto

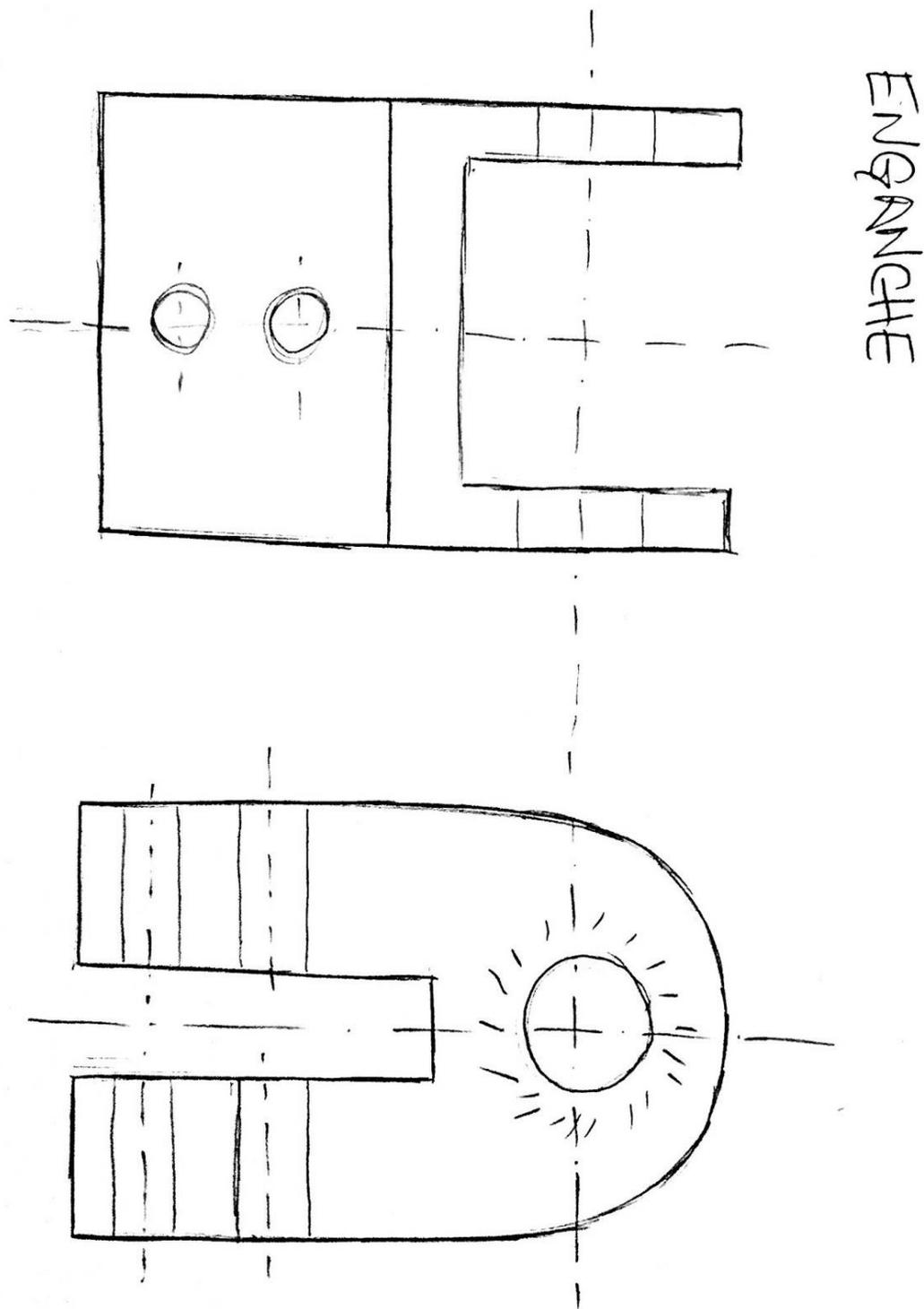


Figura 20: Boceto enganche

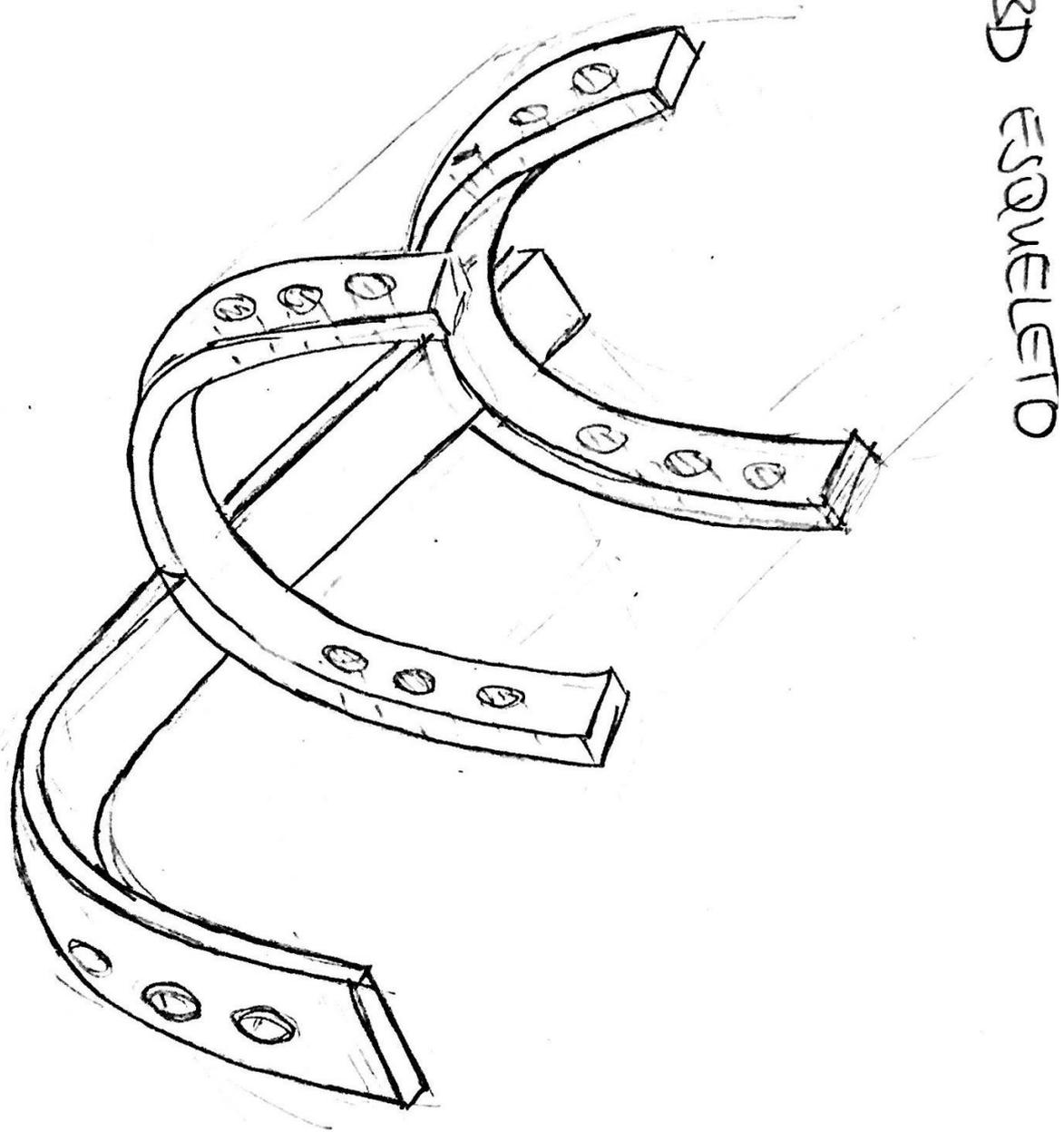


Figura 20: Boceto esqueleto 2

4. DESARROLLO DE SOLUCIONES

En este apartado se podrá observar la solución elegida.

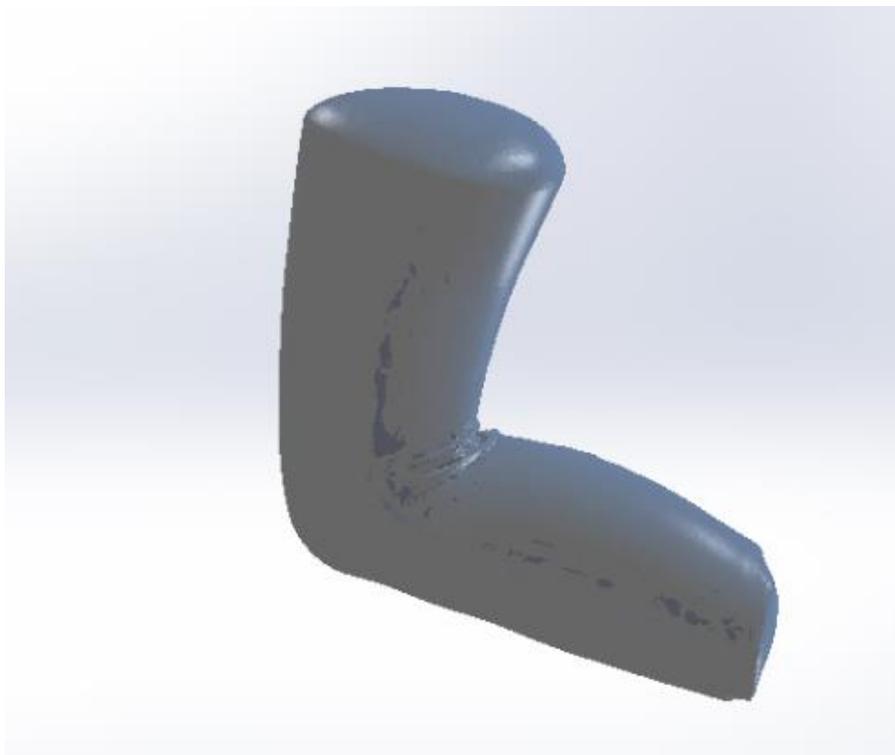
Antes de empezar a desarrollar el diseño final, lo primero se hizo fue escanear una pierna.

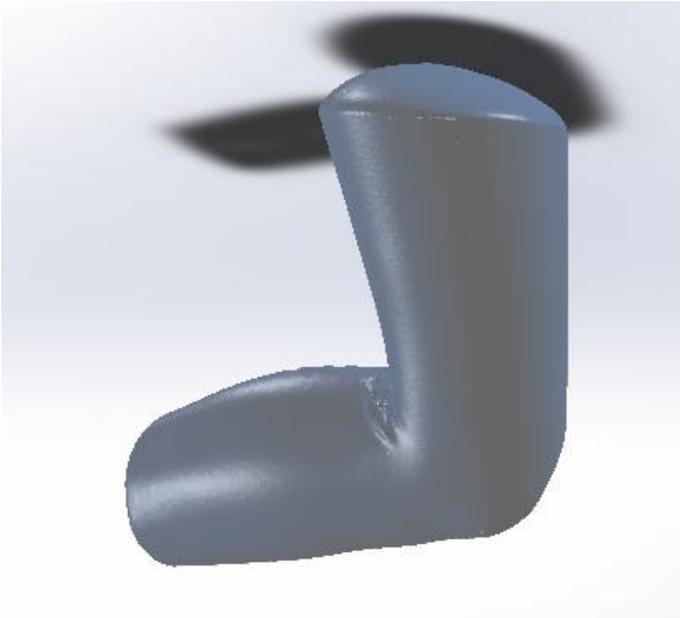
4.1. ESCANEADO DE UNA PIERNA

Una vez conocido el aparato que se va a usar y habiendo enredado con el programa ArtecStudio previamente, se comenzará con el escaneo de una pierna. La pierna a escanear se hará en tres posiciones diferentes y más tarde se elegirá con cuál de ellas seguir adelante.

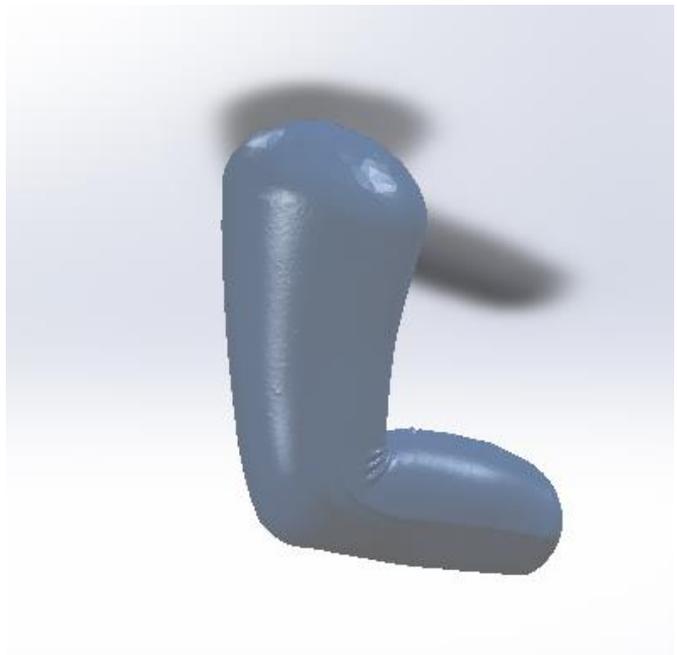
El resultado se guardará y se abrirá con el programa SolidWorks donde se construirá un sólido partiendo de la malla que se ha logrado en ArtecStudio previamente.

Caso 1, la pierna va a estar con un ángulo superior a los 90°:



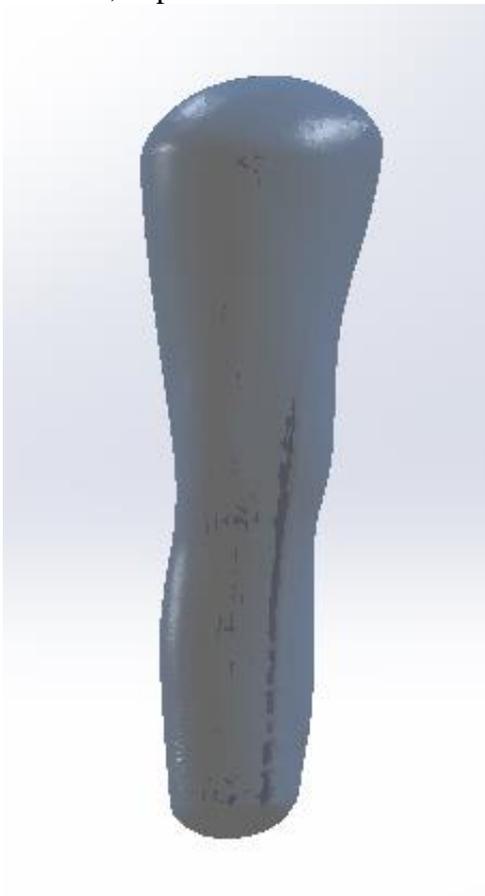


Caso 2, la pierna va a estar con un ángulo de 90°:



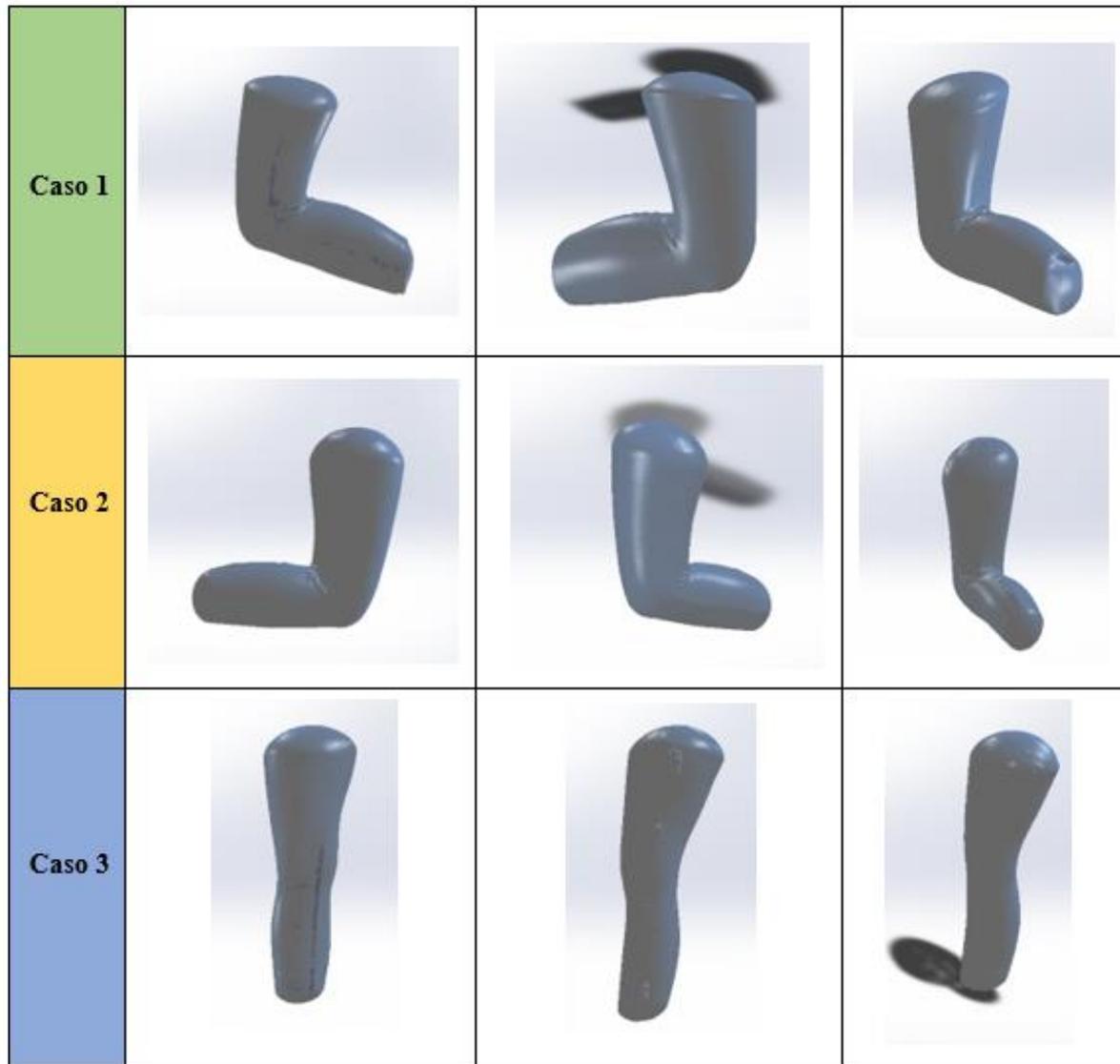


Caso 3, la pierna totalmente estirada, es decir con un ángulo de 180°:





Para que se vea un poco mejor y más claro la comparación de ambos casos o situaciones, se va a añadir una tabla con las distintas posiciones y casos.



Tras analizar los tres casos, se ha decidido escoger el primero de ellos y con el empezar a fabricar la prótesis.

La elección ha sido esa por el ángulo en el que se encuentra, lo justo para que el punto de apoyo sea la rodilla, pero a su vez dejando caer un poco la pierna que será lo que pasará cuando se ponga la órtesis a prueba.

Para hacer el tipo de órtesis elegida la última opción, es decir, el caso tres, no hubiese funcionado, ya que el punto de apoyo principal que se quiere que sea es el punto central de la rodilla, el punto con mayor equilibrio y en este caso es imposible acceder a ese punto.

La opci3n dos est1 basada en un 1ngulo recto, 90° entre lo que viene siendo la parte superior de la pierna y la parte inferior. Hacer este trabajo para una posici3n as1 no hubiese sido la adecuada, ya que es casi imposible mantener la pierna tan recta constantemente y estar de manera c3moda.

Una vez escaneada la pierna, y despu3s de se ha pasado la malla lograda con ArtecStudio a SolidWorks se llevar1 a cabos el dise1o.

4.2. COMPONENTES

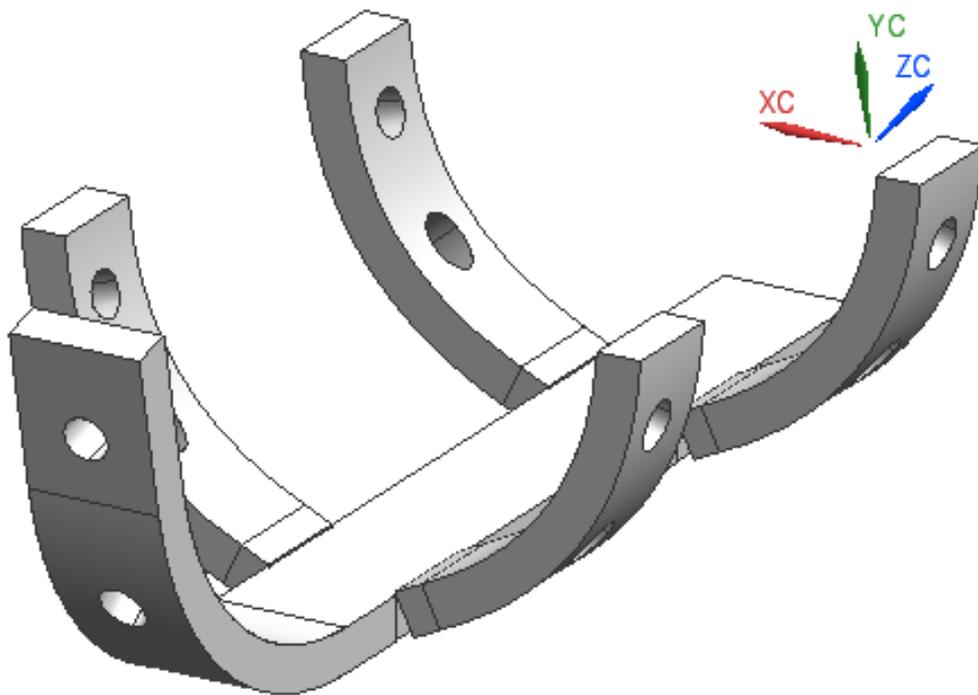
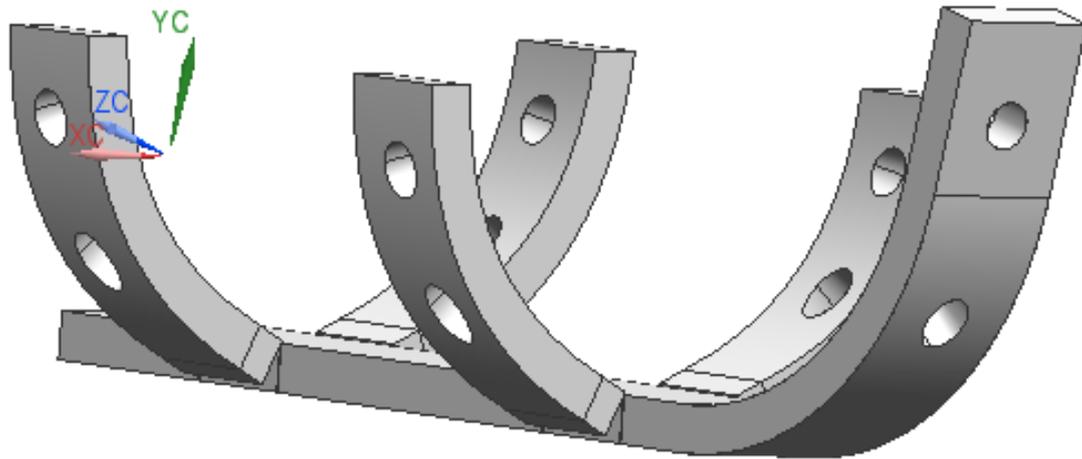
4.2.1. ESQUELETO DE LA RODILLA

En la siguiente imagen se va a poder observar uno de los componentes de este conjunto. Esta va a ser la pieza que sujete la base sobre la que ir1 colocada la rodilla. En este caso, es una pieza hecha a medida, ya que con un previo escaneo se ha logrado las dimensiones requeridas.

Se comenzar1 a desarrollarlo teniendo en cuenta varios conceptos:

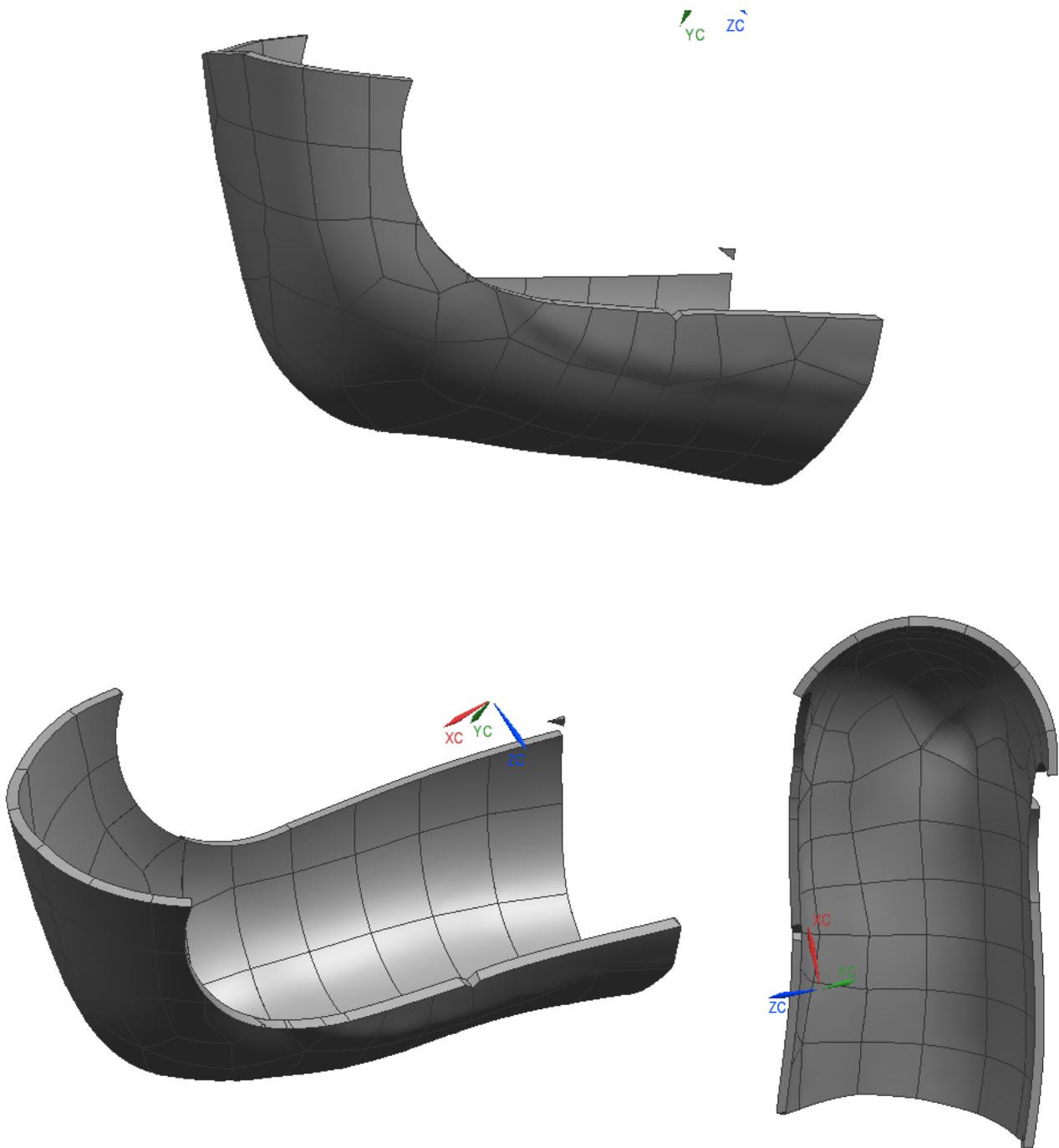
- El m1nimo material posible, para que sea lo m1s econ3mico posible.
- Precisi3n, ya que va a ir todo el peso sobre esta pieza.
- Que sea muy simple.
- Cada una de las U contar1 con tres agujeros para que posteriormente se pueda atornillar la base sin ning3n problema.

Esta parte va a estar fabricada de aluminio que a continuaci3n se va a hablar sobre este material, sobre sus propiedades y sobre sus usos. Tambi3n se contempl3 la posibilidad de hacer el esqueleto con corte por chorro de agua, usando una plancha de aluminio y despu3s dobl1ndolo hasta tener la medida adecuada. El problema de esto fue, que no se le dar1a uso a lo escaneado. Es algo interesante y como era una de las opciones la se va a desarrollar algo m1s en profundidad en el apartado de elecci3n de materiales.



4.2.2. CARCASA PARA APOYO DE RODILLA

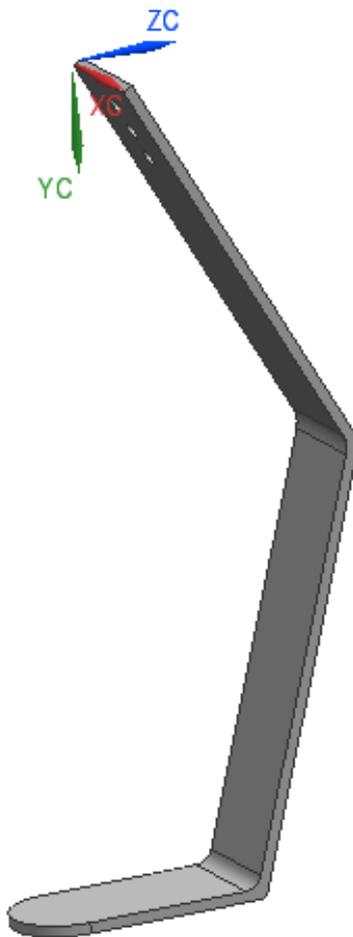
Esta segunda pieza se va a diseñar teniendo en cuenta la geometría lograda con el escáner 3D, para ello se hará un sólido del que se sustraerá la malla y así quede la forma perfecta de la pierna.



4.2.3. FORMA DE PIE

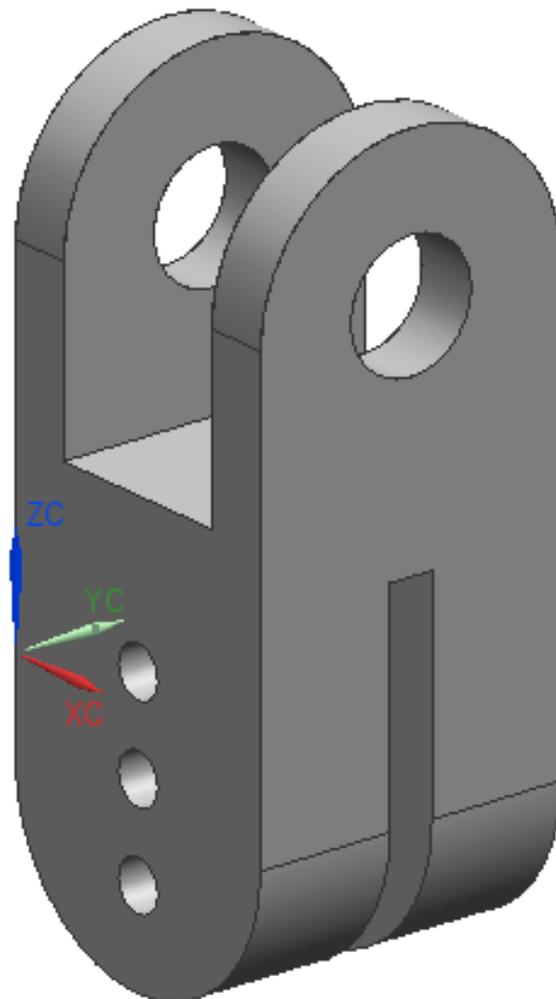
El soporte o pierna que se va a mostrar a continuaci3n va a ser una pieza muy simple con los 3ngulos adecuados a nuestra medida. Estar3 atornillado a un enganche, el cual a su vez estar3 atornillado al esqueleto de este conjunto. La principal idea de este componente es que sea lo m3s sencillo posible, sin ninguna geometr3a complicada o rara, ya que lo que va a hacer es sujetar el peso que se va a depositar.

Este componente, estar3 confeccionado por capas de fibra de carbono, m3s una resina llamada epoxi que se explicar3n un poco m3s adelante las caracter3sticas y propiedades de estos materiales por los cuales se ha decidido que sean los elegidos. En la parte inferior llevar3 una especie de goma pegada, para que el impacto con el suelo sea menor. La goma ir3 pegada al soporte.



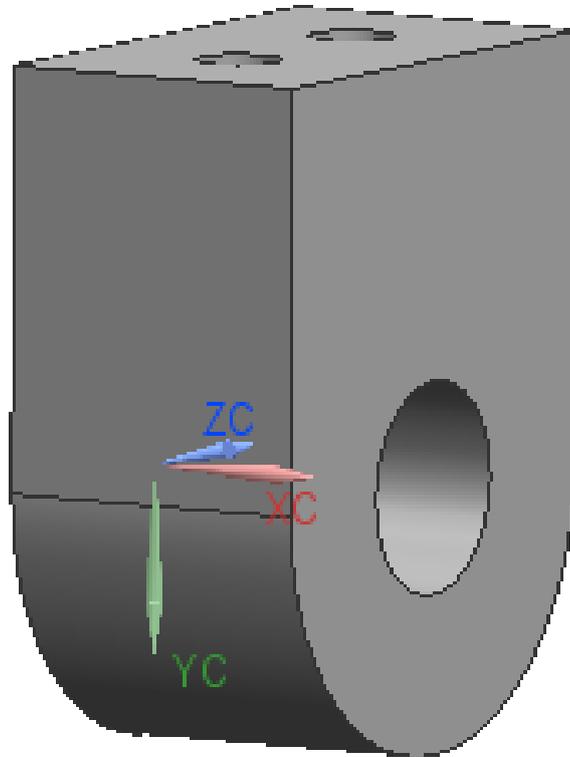
4.2.4. PIEZA DE UNIÓN 1

Esta pieza va a ser la parte que va a unir, mediante tornillos el enganche del esqueleto y la pierna. Va a ser uno de los componentes clave, ya que va a ser el único que se va a poder ajustar a gusto, por el hecho de que tendrá un ratio de giro amplio una vez se desatornille la parte superior. Va a ser una de las partes más fuertes de todo el conjunto, ya que va a tener que aguantar grandes presiones, y por ello se ha decidido fabricarlo de aluminio.

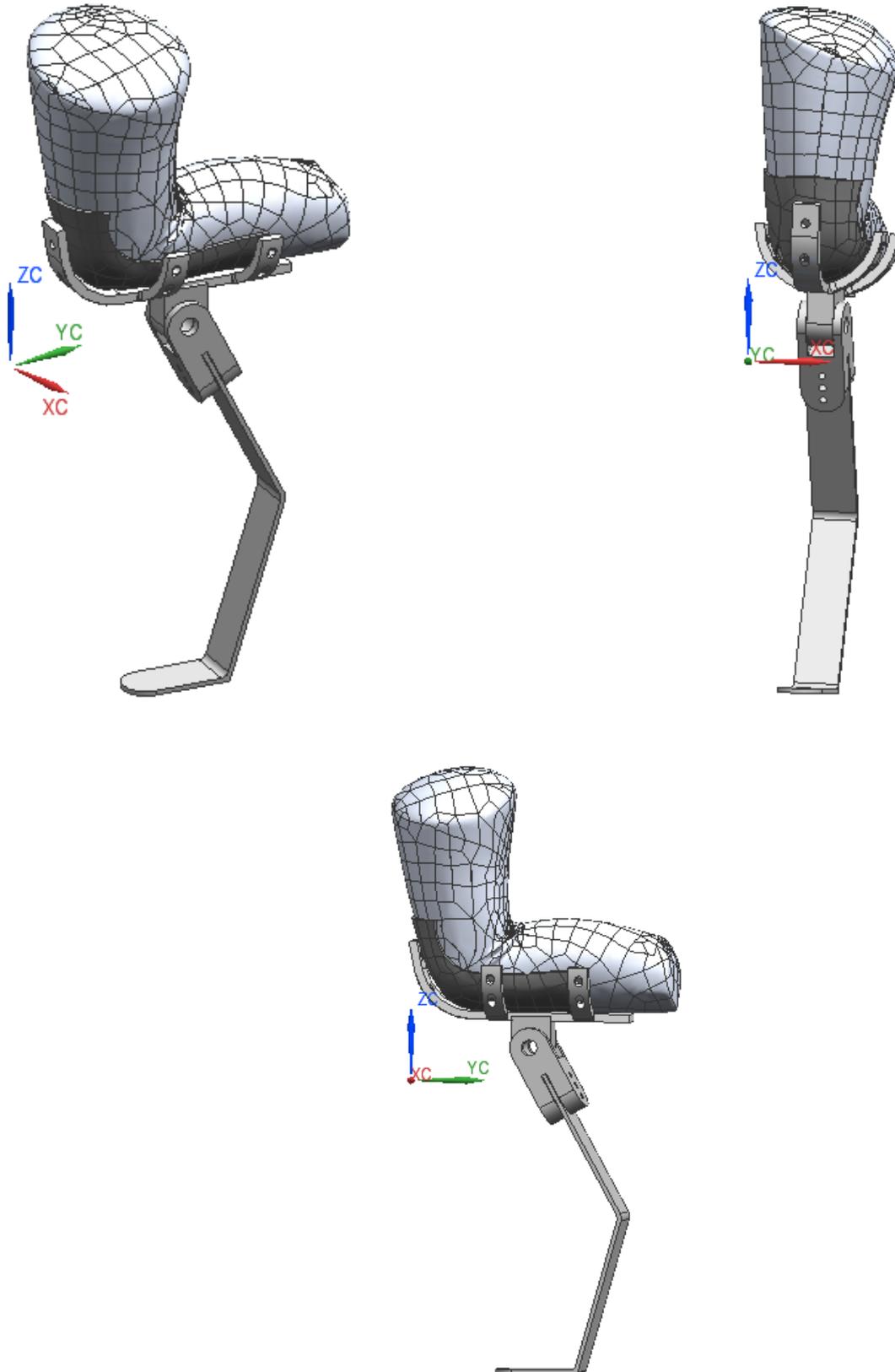


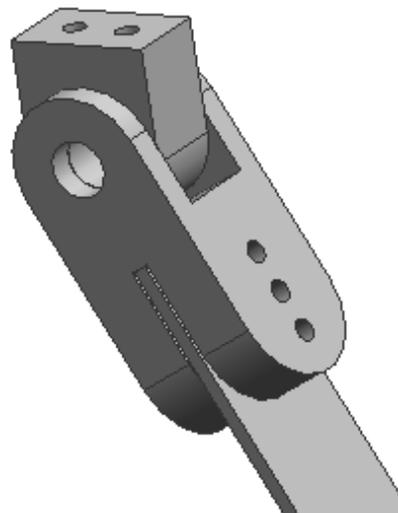
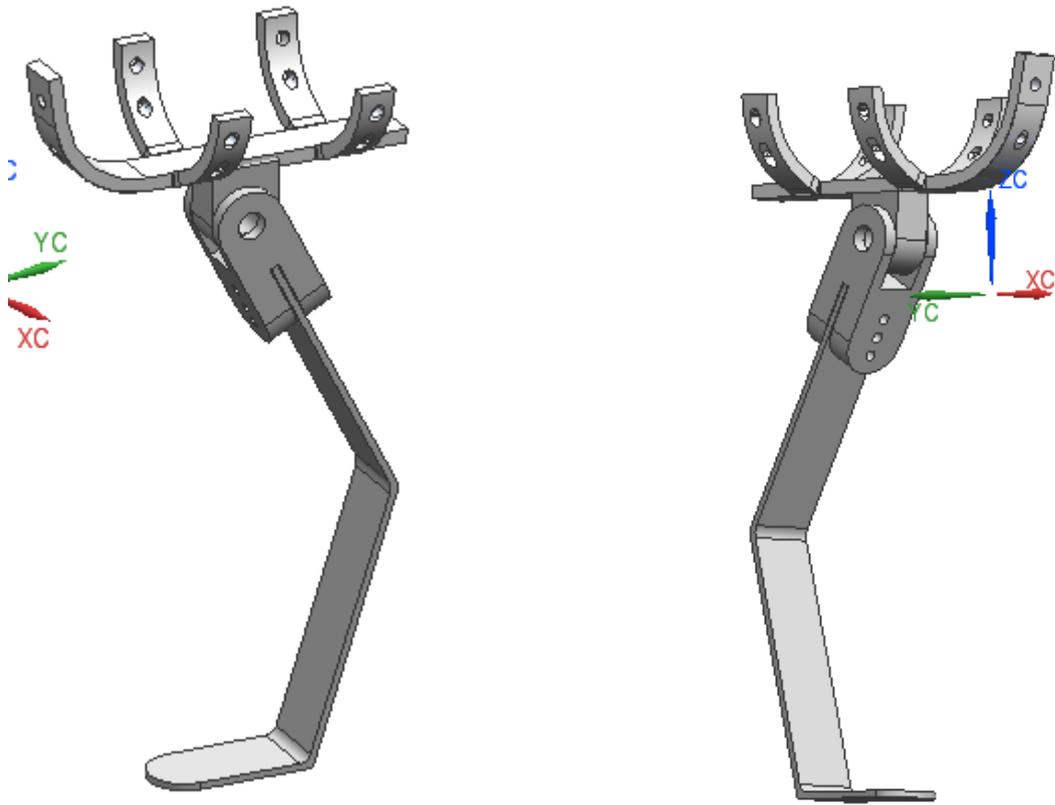
4.2.5. PIEZA DE UNIÓN 2

Esta pieza se elaborará de aluminio también, será el componente que una la pieza de unión 1 con el esqueleto directamente atornillado. Se ha decidido hacer una pieza separada del esqueleto, para que su fabricación sea posible. Va a tener que ser muy fuerte también por el hecho de que la fuerza también va a estar ahí.



4.2.6. ASSEMBLY





4.3. ELECCI3N DE MATERIALES

Tras analizar las diferentes posibilidades para la elaboraci3n de la 3rtesis, tanto por precio, como por sencillez se ha decidido que los materiales a usar deben de ser los siguientes:

- Fibra de carbono
- Aluminio
- Resina epoxi

4.3.1. Fibra de carbono

La estructura at3mica de la fibra de carbono consiste en l3minas de 3tomos de carbono colocados siguiendo un patr3n hexagonal regular.

Este material est3 formado por fibras de entre 50 y 10 micras de di3metro.

Una de las propiedades que m3s llama la atenci3n de las fibras de carbono es la ligereza. Precisamente, la fibra de carbono al ser tan resistente, que es otra de sus virtudes, nos permite usar una menor cantidad de material para la misma resistencia que necesitar3a una pieza met3lica. Al usar menos material, y a ser 3ste de una baja densidad, permite ahorrar unos kilos que se restar3n al c3mputo global.

La fibra de carbono tiene una elevada resistencia mec3nica a la fatiga, adem3s apenas le afecta la variaci3n de temperatura, conservando su forma de manera adecuada.

Por otro lado, tambi3n es un material resistente a los agentes externos. Como sabemos la fibra de carbono se trata con resinas y barnices resistentes, pero presenta la ventaja, por ejemplo, frente a una pieza met3lica, de no presentar corrosi3n. El m3dulo de elasticidad frente a piezas met3licas tambi3n es superior.

La desventaja principal es el precio. Es un material que resulta un tanto laborioso de elaborar, adem3s de necesitar un proceso todav3a largo que no casa con las exigencias de producci3n actuales. Por otro lado, tambi3n es un material dif3cil de ser reciclado, esto es causado por las resinas que se usan en su producci3n

Este material lo usaremos en la parte inferior de la 3rtesis como hemos mencionado anteriormente. (Mariano, 2011)

4.3.2. Aluminio

El aluminio se trata de un metal no ferromagn3tico y es el tercer elemento m3s com3n en la corteza terrestre. Entre las propiedades m3s apreciadas del aluminio, se destacan su capacidad para conducir la corriente el3ctrica y su fortaleza para resistir el desgaste. Por otra parte, resulta un material econ3mico en comparaci3n con otros metales.

El aluminio logra ser un material apropiado para productos tan dis3miles gracias a los diferentes tratamientos que recibe y a las diversas aleaciones a las que se lo somete. En este sentido, las aleaciones m3s frecuentes del aluminio se realizan con cobre, silicio, magnesio y zinc.

Cabe destacar que el aluminio es un material reciclable, que puede recuperarse sin que se experimenten cambios en sus propiedades. Lo que se hace es volver a fundir el aluminio o sus desechos para obtener nuevamente un metal susceptible de m3ltiples usos.

El aluminio tiene muchas propiedades que lo hacen irresistible para m3s de una industria; adem3s de su ya mencionada capacidad de conservar sus cualidades una vez reciclado, se destaca por:

1. Gran porcentaje de energ3a.
2. Valor como residuo, esto representa un importante incentivo para la econom3a.
3. Ligereza: a mismo volumen, pesa alrededor de la tercera parte del acero y del cobre.
4. Resistencia a la corrosi3n, lo cual vuelve el aluminio un material ideal para la construcci3n de productos que se exponen al uso excesivo o poco delicado.
5. Durabilidad.
6. Capacidad de conducir calor y electricidad, una faceta complementaria a su resistencia, que ampl3a considerablemente su campo de aplicaci3n, y por ello es importante en los paneles de un radiador.
7. No es t3xico ni magn3tico, lo que evita ciertos problemas y restricciones de uso en los productos.
8. Refleja eficazmente la luz, esto lo vuelve ideal para sistemas de iluminaci3n de interiores.
9. Inoloro e impermeable: no requiere de muchas precauciones para mantenerlo.

(Morr3s, 2016)

4.3.3. Resina Epoxi

La resina epoxi es un polímero termoestable que está formado por la reacción entre monómeros, es decir entre el ingrediente base y el endurecedor. Estos forman una red de polímeros. Una vez que se ha completado esta reacción, se obtiene un polímero o plástico viscoso o duro.

Las principales propiedades de este producto son una gran resistencia térmica y química, esto hace que sea un material muy empleado para muy diversos fines. El componente principal de la mayoría de los tipos de epoxi es el bisfenol A, cabe mencionar que está prohibido en muchos países, como por ejemplo en toda la Unión Europea.

Hoy en día, existen muchos tipos de resinas epoxi y la gran mayoría de ellos se producen con derivados del petróleo, a pesar de que hay unas pocas que se obtienen a partir de fuentes vegetales.

Otra de sus grandes características es la capacidad de aislamiento térmico y eléctrico, y por ello se utilizan para la fabricación de sistemas y dispositivos eléctricos y electrónicos, así como pinturas, adhesivos, recubrimientos, materiales compuestos como pueden ser la fibra de vidrio o fibra de carbono y en herramientas para la industria.

En el ámbito de la biología, se usan para realizar las preparaciones de muestras biológicas que se utilizan en microscopía electrónica.

Es muy fácil de aplicar y de limpiar, debido a su perfecta flexibilidad, humectación y adherencia los recubrimientos de resina epoxi se aplican con gran facilidad y se limpian cómodamente.

Además, no encoge. A diferencia de otras pinturas y protectores de superficies, la resina epóxica apenas tiene contracción.

4.3.3.1. Tipos de resina epoxi

- Bisfenoles, incluyen el bisfenol A y diglicidil éter, se obtienen por una combinación de bisfenol A y epicloridrina.
- Resina epoxi de bisfenol F.
- Las resinas epoxi alifáticas y cicloalifáticas son sintetizadas mediante glicidilación de alcoholes alifáticos. Algunas de sus características son la baja viscosidad, y por ello generalmente se utilizan como aditivo para reducir la viscosidad de otras resinas.
- Las novolacas son las resinas formadas por crisoles y fenoles. Son sólidas o tienen alta viscosidad y resistencia química y térmica.

Debemos tener en cuenta que las aminas que se emplean para el proceso de fabricación de la resina epoxi generalmente suelen ser corrosiva y muy tóxica. Muchas de ellas se han clasificado como cancerígenas y mutagénicas, y más aun las que son aromáticas.

Las resinas epoxi líquidas son tóxicas para la vida acuática y se considera que alteran más o que pueden llegar a ser más dañinas que las resinas que son duras o sólidas. No solo eso, sino que son irritantes sobre la piel y las mucosas, pueden causar reacciones alérgicas y algunas de ellas han dado muestras de ser descriptores endocrinos, es decir, alteran el equilibrio hormonal del organismo vivo.

La resina epoxi que provoca estos efectos es el bisfenol A, la que a su vez fue muy utilizada en la industria alimentaria hasta que su uso fue prohibido en casi todo el mundo



Figura 21: Resina Epoxi (htt)



Figura 22: Resina Epoxi (curiosoando.com, 2018)

4.3.3.2. Aplicaciones de la resina epoxi

Adhesivos

Dentro de los adhesivos estructurales están las resinas epoxídicas, que incluye el poliuretano, acrílico y cianoacrilato. Se utilizan en la construcción de aviones, automóviles, bicicletas, esquís. Sirven para pegar gran cantidad de materiales, incluidos algunos plásticos, y se puede conseguir que sean rígidos o flexibles, transparentes o de color, de secado rápido o lento.

Según como se seque este tipo de adhesivo adquirirá un tipo de propiedades u otras. Por ejemplo, si se realiza con calor, será más resistente al calor y a los agentes químicos que si se seca a temperatura ambiente.

La resistencia a la tracción de este tipo de adhesivos puede llegar a superar los 350 kg/cm², lo que hace que sea el adhesivo más resistente del mundo.

Materiales compuestos

A la hora de construir moldes o piezas maestras, laminados, extrusiones y otras ayudas a la producción industrial la utilización de este material es una opción, ya que los resultados son más baratos, resistentes y rápidos de producir que los hechos de madera, metal, u otro material.

A pesar de que los compuestos de fibras y epoxi son más caros que los de resinas de poliéster o de éster de vinilo, producen piezas más resistentes.

Además, las resinas epoxi pueden ser infiltradas en espumas metálicas para crear los materiales compuestos.

Sistemas eléctricos y electrónicos

Las resinas epoxi son excelentes aislantes eléctricos como he mencionado anteriormente y se usan en muchos componentes para proteger de cortocircuitos, polvo, humedad...

Por ejemplo, en generación eléctrica encapsulan o recubren los motores, generadores, transformadores, reductoras, escobillas y aisladores, para protegerlos.

El tipo de circuito impreso más frecuente FR-4, vulgarmente más conocido como un sándwich de capas de fibra de vidrio pegadas entre sí por resina epoxi.

(P. Kotlík, 2013) (okdiario) (Wikipedia, 2020) (SciELO, 2019)

4.4. CORTE POR CHORRO DE AGUA

Una de las opciones que se quería desarrollar es el uso de corte por chorro de agua, para la elaboración del esqueleto. Se descartó, ya que al final el esqueleto no iba a ser construido en forma de lámina con todo agujeros y después doblado. Pero al parecer interesante se añadió algo de información acerca de este proceso, ya que podría ser otra forma diferente de construir esa carcasa.

El corte por chorro de agua es uno de los cortes más especiales para llevar a cabo la mecanización de precisión. El chorro de agua es muy potente, por lo que se consigue una energía para micro mecanización muy fuerte. Para realizar este tipo de corte sirve para agua pura o agua con mezcla de abrasivo. Si se utiliza con la primera, cortamos materiales más blandos que con la mezcla de abrasivo. Con esta, se recomienda para los materiales más duros.

Las ventajas de utilizar el corte por chorro de agua son:

- Proceso que no aporta calor.
- No existen tensiones residuales porque el proceso no genera esfuerzos al cortar.
- No se genera contaminación ni gases contaminantes.
- El mecanizado lo puede realizar el mismo ingeniero que ha diseñado la pieza, puesto que no requiere trabajo manual bruto. Lo que hay que hacer es programar la máquina, ubicar la pieza que se quiere cortar y recogerla al terminar.
- Se pueden reutilizar las piezas procedentes de otros trabajos, abaratando los costes finales.
- Si se compara con los sistemas de plasma, oxicorte y láser, el corte por agua permite un trabajo que no afecta ninguna zona del material sobre el que se trabaja.
- Si se compara con el láser, el chorro por agua permite cortar espesores mucho mayores y mucho más duros.

Los materiales a los que se les aplica el corte por chorro de agua son:

Si el agua es pura, se puede trabajar con caucho, tapizado, polipropileno, empaque, fibra de vidrio o cualquier material que no sea metálico.

Por el contrario, si cuenta con mezcla abrasiva, se puede trabajar con mármol, Kevlar, bronce de aluminio, titanio, granito, aluminio, acero de carbón, acero inoxidable, acero templado o latón.

Por lo que hacer nuestra pieza de aluminio no sería una gran dificultad, ya que como hemos visto usando una mezcla abrasiva no tendríamos problema.

(Mecasinc, s.f.)

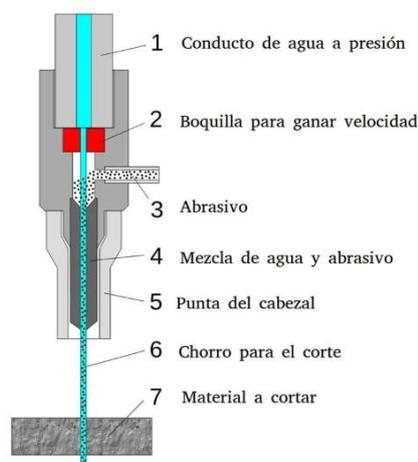


Figura 23: Chorro por agua (Tecnoloblog, s.f.)

5. USO DE HERRAMIENTAS

5.1. ESCANER 3D

El escáner láser 3D captura las coordenadas geográficas de todas las superficies que lo rodean en un radio limitado, en cuesti3n de minutos y sin contacto con los elementos medidos. No solo eso, sino que también cuenta con la incorporaci3n de cámaras fotogríficas, que son las que se encargan de registrar la informaci3n del rango visible, lo que nos puede aportar una informaci3n infinita del objeto. Es capaz de transformar un objeto real en uno virtual, para que luego podamos manipular con nuestros ordenadores y programas especializados.

El resultado es conocido como nube de puntos 3D, que es un conjunto de millones de coordenadas (x, y, z), posicionadas en el espacio y en verdadera magnitud, que representan con rigor y precisi3n la realidad escaneada.

5.1.1. Principios de medici3n

Los principios de medici3n de los actuales escáneres láser se basan en tres principios:

- Triangulaci3n
- Tiempo de vuelo mediante pulsos
- Tiempo de vuelo mediante diferencia de fase

5.1.1.1. Medici3n basada en triangulaci3n

El principio de medici3n se basa en calcular el triángulo formado por los componentes internos del escáner y el elemento a medir.

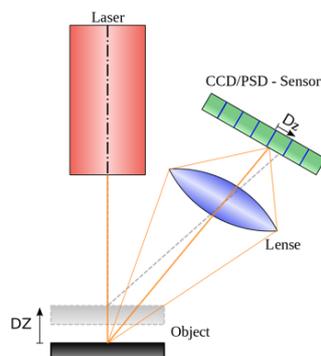


Figura 24: Medici3n basada en triangulaci3n

Las características de este método son:

- Alta precisión (acercándose a la décima o centésima de milímetro).
- Distancia equipo láser-objeto máxima de un par de metros. La distancia máxima está condicionada por el ángulo de intersección en función de la base láser-sensor (cámara).
- Frecuencia elevada (en torno a 100 MHz o superior).

5.1.1.2. Medición basada en el tiempo de vuelo mediante pulsos

Este método determina el cálculo de la distancia en función del tiempo transcurrido en recorrer el haz de luz láser el doble de la distancia entre el emisor y el objeto. El equipo de escáner láser cuenta con un sistema de espejos rotatorios y servomotores que direccionan la trayectoria del haz tanto en el plano vertical como en el horizontal.

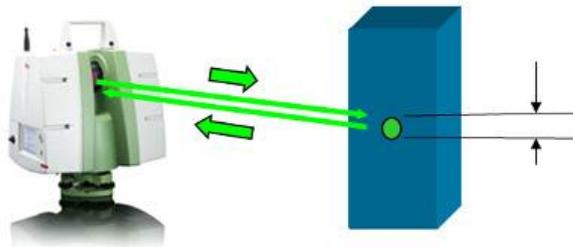


Figura 25: Medición basada en el tiempo de vuelo

Las características son:

- Frecuencia comprendida entre 2-100 MHz.
- Precisiones que oscilan entre los 6-30 mm.
- Largo alcance: desde los centenares de metros hasta kilómetros.

5.1.1.3. Medición basada en el tiempo de vuelo mediante diferencia de fase

El haz de luz láser se propaga según ondas sinusoidales, siendo la longitud de dichas ondas conocida. La distancia a medir se calcula en función del número entero de longitudes de onda y el desfase entre la onda emitida y la reflejada en el objeto.

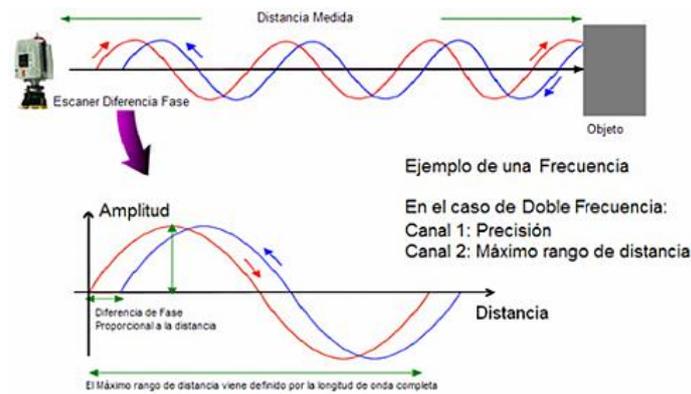


Figura 26: Diferencia de fases

Las características son:

- Alcance intermedio: normalmente inferior a un centenar de metros.
- Muy alta frecuencia: 500 -600 MHz o incluso superior.
- Precisiones en torno a 2-10 mm.

Las características comunes a estos tres tipos de medición son las siguientes:

- Medición mediante pulsos láser. Utiliza como método de medición una fuente de energía generada por el propio equipo, lo convierte en un sensor activo. Esta característica marca una diferencia sustancial con la cámara fotográfica convencional, que, como sensor pasivo, registra la radiación reflejada en el sensor de la cámara.
- Coherencia del haz. La ventaja que tienen estos pulsos láser es el pequeño grado de divergencia del haz (el haz de luz láser coherente ideal no tendría divergencia) con lo que puede localizarse el reflejo del haz en los objetos durante el proceso de barrido.
- Medición a distancia. A diferencia de otro tipo de sensores de contacto, estos escáneres no precisan del contacto físico con el objeto a medir, con lo que, a la hora de trabajar sobre superficies delicadas, ofrece grandes ventajas.

5.2. TIPO DE SOLUCIONES DE ESCÁNERES 3D

5.2.1. Escáner láser 3D estático

Se tratan de equipos que están fijos, bien sea sobre un trípode, bien sobre cualquier elemento de sujeción. Durante el tiempo de la toma de datos, el equipo se mantiene centrado

sobre la misma posición, rotando horizontal y verticalmente sobre sí mismo, para realizar la toma de datos.

- La precisión de la toma de datos es muy alta (2mm a 10m)
- Se combina perfectamente con imagen.
- Se realizan registros (uniones entre diferentes tomas de escaneado) con elevada precisión, bien mediante dianas/esferas o bien por registro visual o similar.
- La productividad está marcada por el tiempo necesario para cada una de las tomas, más el tiempo adicional necesario para mover el equipo hasta la nueva posición y prepararlo para una nueva toma de datos.



Figura 27



Figura 28

5.2.2. Escáner láser 3D cinemático

En este caso el sensor se va moviendo, bien porque el operador lo lleva en la mano mientras va recorriendo la zona a escanear, o bien porque va montado sobre un vehículo que recorre la zona de trabajo.

- La productividad es muy alta, ya que en el caso del escáner láser de mano se basa en el tiempo necesario para ir recorriendo a pie las diferentes zonas a escanear. En el caso de sensores embarcados en vehículos la velocidad puede estar sobre los 60 - 70 km/h, por lo que el rendimiento es muy alto.
- La precisión en el caso de la solución de mano es menor, cercana a los 2 cms. Se emplean técnicas tipo SLAM para la unión de los puntos ya que el escaneado permite una total libertad de movimiento que posteriormente debe ser resuelta por el software encargado de procesarlo.

- El escáner de mano es una herramienta ideal para la toma de datos destinada a entornos BIM, estados actuales de edificios, galerías, zonas de difícil acceso, escenarios complejos con muchos espacios diferentes, etc....
- El escáner montado on-board en un vehículo es la solución ideal para la toma masiva de datos en infraestructuras viarias, entornos urbanos (calles, edificios), así como la realización de inventarios de elementos pertenecientes a estos entornos.



Figura 29: Escáner láser de mano

Su uso es cada vez más frecuente en la documentación de estados actuales por ofrecer considerables ventajas frente a otros métodos de registro, como la topografía clásica o la fotogrametría, como son:

- Mayor volumen de datos
- Mayor velocidad de adquisición de los mismos
- Enormes posibilidades de los actuales softwares de gestión de nubes de puntos para la representación de la realidad escaneada (planos CAD, renders, vídeos, modelos 3D a color de gran detalle y realismo, etc.)

El escáner láser 3D se ha convertido en un producto al alcance de todo profesional con la aparición de empresas especializadas en servicios de medición, que permiten el acceso a esta tecnología a quién no dispone de los recursos económicos suficientes para costear la adquisición de un equipo láser escáner topográfico, software de gestión de datos y el “know how” necesario para obtener resultados satisfactorios.

Su uso es muy variado y actualmente se utiliza en muchos sectores:

- Patrimonio: Conservaci3n de obras de arte. Reproducci3n de esculturas.
- Ingeniería: Control dimensional, control de calidad, ingeniería inversa de piezas.
- Dental: Diseño de prótesis y estudios odontol3gicos.
- Arquitectura: Medici3n y planificaci3n de edificios, levantamiento de planos.
- Arqueología: Estudio de yacimientos arqueol3gicos. Reconstrucci3n de piezas.
- Topografía: Estudio de terrenos, minería. Trazados viales.

Una vez explicados los diferentes tipos de escáneres 3D, se va a hablar un poco del que se va a usar.

5.3. ESCANER 3D ARTEC EVA

Este escáner 3D de luz estructurada es capaz de hacer un modelo 3D rápido, texturizado y preciso de objetos de tamaño mediano, como un busto humano, una rueda de aleaci3n o un sistema de escape de motocicleta.

Es un aparato ligero, rápido y versátil, es uno de los escáneres más popular dentro de su marca y líder del mercado en escáneres de mano 3D. Está basado en una tecnología de escaneo de luz estructurada de uso seguro, es una soluci3n para capturar objetos de casi cualquier tipo, incluidos los objetos con superficies negras y brillantes.

Su facilidad a la hora de su uso, la velocidad y la precisi3n lo hacen un producto eficaz para una amplia gama de industrias. Desde el prototipado rápido hasta el control de calidad, desde la industria automotriz hasta la medicina forense, la medicina y de las prótesis hasta la industria aeroespacial.



Figura 30: escáner EVA (Tridicity, s.f.)

Este dispositivo se utiliza para personalizar, innovar y racionalizar innumerables industrias con visión de futuro.



Figura 31: Escáner EVA

Por último, hay que añadir que no es compatible con todos los programas CAD. Con los que sí que es compatible son los siguientes:



Para poder escanear en 3D, no hay que usar solo el escáner, sino que también se debe hacer uso de un programa llamado ArtecStudio, que es el que va representando la geometría que se va a ir escaneando. Este programa también se usará una vez que se haya acabado de escanear, tanto para retirar partes que no se deseen, como texturas que no hagan falta. Además, se podrá unificar todos los puntos escogidos, consiguiendo una geometría lisa.



(Tridicity, s.f.)

5.4. INGENIERÍA INVERSA

A partir de un fichero de nube de puntos obtenido mediante digitalizado, se puede realizar una reconstrucción de superficies. Este proceso consta de pasar la nube de puntos a un fichero de superficies o un sólido cerrado que pueda emplearse en cualquier sistema CAD.

Ahora es a través del producto, desde donde se parte para nuevos diseños y funcionalidades. Lo que se intenta buscar es la resolución de problemas de una manera directa e incluso la producción a través de copias exactas del original.

La ingeniería inversa, es el proceso de descubrir los principios tecnológicos de un objeto, herramienta, dispositivo o sistema, mediante el razonamiento abductivo de su estructura, función y operación. Expresado de otra manera, se trata de tomar algo, como un dispositivo mecánico, para analizar su funcionamiento en detalle, con el objeto de crear un dispositivo que haga la misma tarea o una similar.

El objetivo principal de este avance tecnológico es lograr la mayor cantidad de información técnica de un producto, del cual no tenemos ni la más mínima información técnica ni de su diseño, ni de su construcción, y por lo tanto tampoco de su funcionamiento, de modo que se debe partir de un todo para comprender cada pieza del sistema, para el cual se tomarán notas suficientemente detalladas. En resumen, consiste en la reproducción de imágenes 3D de piezas que ya están fabricadas, en las que no tenemos ningún tipo de información.

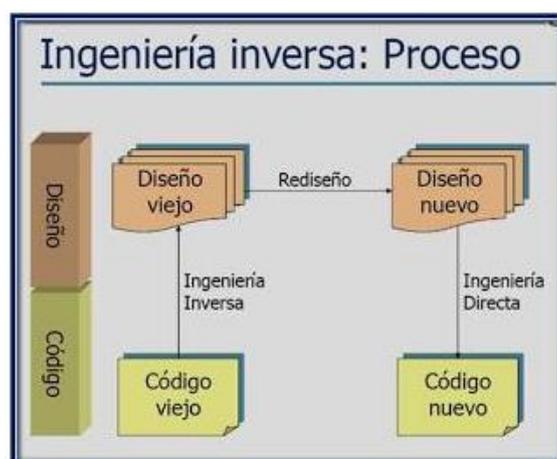


Figura 32: Ingeniería inversa (Press, 2018)

5.4.1. Se comentar3n brevemente los antecedentes

La ingenier3a inversa es una rama relativamente nueva de ingenier3a, donde por lo que se sabe sus or3genes tienen antecedentes en la Segunda Guerra Mundial, cuando uno de los bandos capturaba maquinaria o equipo del otro bando. Entonces lo que hac3an era conocer hasta el m3s m3nimo detalle de la tecnolog3a del enemigo con el prop3sito de encontrar fallos o sus puntos d3biles para as3 conseguir cierta ventaja.

5.4.2. Usos de la ingenier3a inversa

Tiene muchas aplicaciones actualmente, incluso se podr3a decir que se utiliza en casi todos los tipos de empresas, de todo tipo de 3mbitos.

Las principales aplicaciones son las siguientes:

1. Investigar, analizar y comprender la tecnolog3a utilizada por otras naciones o por otras empresas.
2. Analizar los productos de la competencia para analizar si infringen alguna patente de otra empresa.
3. Desarrollar productos que sean compatibles con otros productos, sin tener acceso a los detalles t3cnicos de estos 3ltimos.
4. Comprobar la seguridad de un producto, en inform3tica, por ejemplo, para conocer las brechas de seguridad que puede tener un programa.

5.4.3. Tipos de ingenier3a inversa

En la actualidad, la ingenier3a inversa se divide dos variantes: ingenier3a inversa de producto e ingenier3a inversa de software. La primera de ellas trata todos aquellos productos f3sicos, como pueden ser m3quinas, componentes electr3nicos, dispositivos, etc. La segunda trata protocolos, c3digos de programaci3n, aplicaciones digitales, etc.

Las ventajas m3s evidentes tienen algo que ver con la complejidad, porque lo que hace este proceso es simplificar un conjunto de procesos. No solo eso, tambi3n permite la reutilizaci3n de piezas que, de otra manera, se descartar3an. Igualmente, una vez cogida

agilidad y experiencia, podremos incluso mejorar las piezas, y eso permitiría mejores desarrollos tras la experiencia sin necesidad de grandes inversiones en desarrollo.

(Elsevier, Machine learning and structural characteristics for reverse engineering, 2019) (Elsevier, 2017) (Press, 2018)

5.5. NX UNIGRAPHICS

Otro software que se usa a la hora de ejecutar el diseño de la órtesis sería NX. Se eligió este programa porque es el que he usado durante meses en las prácticas que he realizado en la empresa BSH Electrodomésticos, y por lo tanto es un programa que domino bastante bien. A continuación, algo de información acerca de esta plataforma.

NX es la solución para el desarrollo digital de productos 3D de Siemens PLM Software para la industria, ofrece apoyo a cada aspecto del desarrollo de productos, desde conceptos pasando por la ingeniería y manufactura. NX te ofrece un conjunto de aplicaciones integradas que coordina diferentes etapas y disciplinas en la ingeniería, mantiene la integridad de los datos y la intención de diseño en todo momento.

NX contempla toda una serie de aplicaciones en una solución unificada, su motor de modelado está basado en Synchronous Technology que ofrece:

- Soluciones avanzadas para el diseño conceptual, el modelado 3D y la documentación
- Simulaciones multidisciplinarias para análisis estructurales, de movimiento, térmicas, de flujo, metafísicas y de optimización
- Soluciones completas de manufactura de partes para inspecciones de herramientas, maquinaria y calidad

El primer diseño que se hizo fue medido con un metro y proyectado en NX, por lo tanto, la exactitud de los componentes no iba a ser la adecuada, la desviación entre la realidad y lo proyectado era evidente. Por ello, mi tutor dio la opción de usar un escáner 3D que hay en el laboratorio de la universidad. Gracias a su ayuda y tras lograr información sobre el

funcionamiento de la herramienta ArtecStudio, herramienta necesaria para proyectar lo escaneado en el ordenador, se logr3 el objetivo.

Despu3s de realizar un primer dise1o, se decidi3 descartar el posible uso de este software. Prefer3 usar un programa que controlo algo menos como es SolidWorks, para poder usar los ficheros del esc3ner que nos cost3 trabajo realizarlo. Estos ficheros dan m3s exactitud que las medidas hechas a mano, ya que el dise1o a realizar va a ser m3s que exacto porque se seguir3n los puntos indicados por el archivo escaneado.

(Portal, s.f.)

5.6. SOLIDWORKS

SolidWorks es un software de dise1o CAD 3D (dise1o asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software que ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. Sus productos ofrecen la posibilidad de crear, dise1ar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de dise1o.

5.6.1. Historia y evoluci3n

SolidWorks Corp. fue fundada en 1993 por Jon Hirschtick con sede en Masachuset. Con En el a1o 1995 lanz3 su primera versi3n del CAD 3D al mercado y en 1997 fue adquirida por Dassault Systemes convirti3ndose en una filial de 3sta.

Antes de que SolidWorks Corp. se convirtiera en filial de Dassault Syst3mes, la industria necesitaba de un software que combinara el modelado en 3D con la facilidad de uso del escritorio.

En 1993, el fundador de SolidWorks, Jon Hirschtick, contrat3 a un equipo de ingenieros con el objetivo expl3cito de hacer que la tecnolog3a CAD 3D fuera m3s accesible para todos. Y as3 lo hicieron desarrollando la primera tecnolog3a de CAD en 3D que se ejecutaba en la plataforma de Windows. En el a1o 1995 lanzaron su primera versi3n del CAD 3D al mercado y en dos meses la herramienta gan3 reconocimientos por su facilidad de uso.

En 1997 el gigante mundial de tecnologa Dassault Systemes S.A. adquiri3 SolidWorks como filial por 310 millones de d3lares.

Hoy SolidWorks ofrece un conjunto de herramientas completo para crear, simular, publicar, administrar datos y gestionar proyectos y procesos maximizando la innovaci3n y la productividad de los recursos de ingeniera. Todas estas soluciones funcionan juntas para permitir a las organizaciones dise1ar productos mejores, de forma m3s r3pida y de manera m3s rentable.

Manteniendo su propuesta de valor asociada a la facilidad de uso de la herramienta, ha seguido creando nuevos productos que resuelven situaciones espec3ficas dentro del proceso de desarrollo del producto, ahorrando tiempo y dinero. Actualmente SolidWorks presenta soluciones de Fabricaci3n Inteligente, dise1o y an3lisis, dise1o el3ctrico y electr3nico, gesti3n de datos, proyectos y procesos.

5.6.2. Desarrollo de producto

La labor de SolidWorks en el proceso de desarrollo del producto es muy espec3fica, las soluciones ayudan a acelerar el proceso ahorrando tiempo y dinero dando paso a la innovaci3n de los productos.

Cuando en la mayor3a de las empresas la cadena de valor es un proceso secuencial en el que necesitan terminar las fases anteriores para iniciar las nuevas, las soluciones de SolidWorks permiten llevar el proceso en paralelo en lugar de secuencialmente, con el fin de ganar tiempo y poder tomar mejores decisiones empresariales creando mejores dise1os.

5.6.3. Soluciones

SolidWorks ofrece soluciones intuitivas para cada fase de dise1o. Cuenta con un completo conjunto de herramientas que le ayudan a ser m3s eficaz y productivo en el desarrollo de sus productos en todos los pasos del proceso de dise1o. La sencillez que es parte de su propuesta de valor es decisiva para lograr el 3xito de muchos clientes.

La soluci3n de SolidWorks incluye cinco l3neas de productos diferentes:

- Herramientas de dise1o para crear modelos y ensamblajes
- Herramientas de dise1o para la fabricaci3n mecánica, que automatiza documentos de inspecci3n y genera documentaci3n sin planos 2D.
- Herramientas de simulaci3n para evaluar el dise1o y garantizar que es el mejor posible
- Herramientas que evalúan el impacto medioambiental del dise1o durante su ciclo de vida.
- Herramientas que reutilizan los datos de CAD en 3D para simplificar el modo en que las empresas crean, conservan y utilizan contenidos para la comunicaci3n t3cnica.
- Finalmente, todas estas herramientas están respaldadas por SolidWorks PDM para gestionar y controlar de forma segura los datos mediante una única fuente de datos reales de sus dise1os y SolidWorks Manage, una herramienta que gestiona los procesos y proyectos implicados en todo el desarrollo del producto y est3 conectado al proceso de dise1o.

Todas estas soluciones funcionan de forma conjunta para permitir que las empresas mejoren la fabricaci3n de sus productos y los elaboren de forma m3s r3pida y econ3mica.

5.6.4. Análisis, c3lculo y validaci3n: SolidWorks Simulation

A la hora de analizar donde romper3, flexar3, etc. cada uno de nuestros componentes del ensamblaje usaremos esta herramienta que se basa en lo siguiente.

El software de c3lculo y validaci3n SolidWorks Simulation, somete los dise1os a condiciones id3nticas que experimentar3a en la realidad, aumentando la calidad de los productos al tiempo que reduce el coste de sus prototipos. Sus funcionalidades principales son las siguientes:

- Genera menor n3mero de prototipos gracias a la posibilidad de configurar y probar los productos simulando un entorno real antes de fabricarlos. De esta forma se evitan errores costosos y el producto llega antes al mercado.
- Evalúa el rendimiento de los productos para mejorar la eficacia de éstos desde las primeras fases de dise1o y controlar su ciclo de vida. Se perfeccionan los dise1os gracias al an3lisis de simulaci3n y se adapta el producto seg3n los resultados obtenidos.

- Las pruebas virtuales en las fases iniciales del desarrollo de producto integradas en CAD ayudan a comercializar los productos más rápido utilizando menor número de prototipos físicos los cuales suponen una pérdida de tiempo.

(Solidbi, 2019)

Tras realizar los diseños tanto en SolidWorks, como en NX Unigraphics, se decidió usar el software NX.

6. PRESUPUESTO

En las próximas líneas se especificarán los costes asociados a la elaboración del proyecto, así como los costes de uso de herramientas o el coste del material.

Por lo tanto, los costes se encuentran desglosados en los siguientes grupos:

- Piezas/material.
- Licencia de software.

Desarrollo del presupuesto

6.1. Piezas/Material

En este apartado, se va a mostrar en forma de tabla los costes asociados a la adquisición de material necesario para la elaboración de la órtesis.

PIEZA	PRECIO (€)
Pieza de aluminio cortada por agua	80
Piezas de aluminio mecanizadas	150
Pieza de fibra de carbono	180
Tornillería	10
TOTAL	420

Tabla 6.1.: Costes de pieza

6.2. Licencias de software y herramientas a usar

En este caso, al ser un trabajo para la universidad el coste de las licencias de software ha sido nula, al igual que el uso del escáner 3D EVA.

Pero en el caso de querer desarrollar este proyecto, lo más sencillo sería que fueses universitario o que la empresa en la que trabajas tenga este tipo de herramientas, ya que el precio es más que elevado. Por poner un ejemplo, el escáner tiene un precio de unos 15.000€.

7.CONCUSIONES

Los resultados obtenidos respecto al objetivo de esta investigación que era, diseñar un dispositivo que pueda suplir o sustituir al actual, que son las muletas han resultado ser positivos.

A continuación, se van a exponer una serie de conclusiones:

1. Se ha logrado crear un dispositivo que se puede adaptar a cualquier persona. Esto ha sido gracias al uso del escáner 3D, que nos da la información exacta de las medidas de la pierna de el/la paciente.
2. Se ha conseguido un diseño simple.
3. Se ha conseguido un dispositivo bastante económico, si lo comparamos con los precios que hay en el mercado en estos momentos.
4. Se ha logrado un objeto duradero por la buena elección de materiales.
5. Se ha conseguido un diseño funcional.
6. Se ha conseguido que sea un dispositivo donde la pierna no sufra, ya que el aparato va a ser ajustado a cada persona.
7. Se ha logrado que los brazos sean libres, que era uno de los objetivos más importantes.
8. Se ha conseguido que esté formado por muy pocas piezas y la mayoría de ellas simples.

8. BIBLIOGRAFÍA

- (s.f.). Obtenido de <https://laresinaepoxi.com/resina-epoxica/>
- Amazon. (s.f.). *Hallufix férula Hallux Valgus*. Obtenido de <https://www.amazon.es/Hallufix-f%C3%A9rula-Hallux-Valgus/dp/B06XKX9YZF>
- Clasipar. (s.f.). *Clasipar*. Obtenido de <https://clasipar.paraguay.com/moda-y-belleza/salud-y-belleza/ferula-anti-equino-par-200-mil-unidad-120-mil-990835>
- Concepción Cuenca González, María Isabel Flores Torres, Karla Vanesa Méndez Saavedra, Idoya Barca Fernández, Alejandro Alcina Navarro, Alejandro Villena Ferrer. (12 de 4 de 2012). Obtenido de <http://scielo.isciii.es/pdf/albacete/v5n2/especial2.pdf>
- curiosoando.com. (19 de Junio de 2018). *¿Qué son las resinas epoxi?* Obtenido de <https://curiosoando.com/que-son-las-resinas-epoxi>
- D, P. (27 de 01 de 2016). *Precio D*. Obtenido de <http://preciod.com/mx/dennis-brown-ferula-soporte-ortopedico-aluminio-ajustable-bRMFH.html>
- Elsevier. (2017). <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166361517300581>.
- Elsevier. (2019). *Machine learning and structural characteristics for reverse engineering*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167926019303049>.
- Esqui.com. (s.f.). *Esqui.com*. Obtenido de https://www.esqui.com/es_ES/blog-esqui/132/como-elegir-las-botas-de-esqui
- Hospitalareas, L. S. (s.f.). *Aparato de Pherter*. Obtenido de <http://www.catalogodelasalud.com/ficha-producto/Aparato-de-Phertes+108839>
- Mariano. (18 de Noviembre de 2011). *Tecnología de los plásticos*. Obtenido de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/11/fibra-de-carbono.html>
- Mecasinc. (s.f.). *Mecasinc*. Obtenido de <https://www.mecanizadossinc.com/corte-chorro-de-agua-mecanizar/>
- Morrás, A. (2016). *Ciencia de materiales*.
- Mueller. (s.f.). *Mueller*. Obtenido de https://nanopdf.com/download/ortesis-largas_pdf
- Muruzábal, F. (2012). *Reduca*. Obtenido de <http://revistareduca.es/index.php/reduca-enfermeria/article/view/956>
- Nanopdf. (2017). *Nanopdf*. Obtenido de https://nanopdf.com/download/ortesis-largas_pdf
- okdiario. (s.f.). Que es una resina epoxi. <https://okdiario.com/curiosidades/que-resina-epoxi-4344935>.
- Orliman. (s.f.). Obtenido de <https://www.orliman.com/producto/ortesis-estabilizadora-de-cadera-con-abduccion/>
- Órtesis miembros inferiores*. (s.f.). Obtenido de <http://files.sld.cu/arteydiscapacidad/files/2012/10/ortesis-de-miembros-inferiores.pdf>
- Ortopedia Mostkoff*. (2019). Obtenido de <https://www.ortopediamostkoff.com.mx/producto/ortesis-miembros-inferiores/aparato-tachdjian/>
- Ortopedia41*. (2018). Obtenido de <https://www.ortopedia41.com/rodillera-hyperex-para-genu-recurvatum/>
- P. Kotlík, P. J. (19 de 07 de 2013). *The application of epoxy resins for the consolidation of porous stone*. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1179/sic.1983.28.2.75>
- Portal, 3. C. (s.f.). Obtenido de <http://www.3dcadportal.com/nx.html>
- Press, I. (11 de 07 de 2018). Obtenido de <https://www.iberianpress.es/noticia/que-es-la-ingenieria-inversa/21775>

- Ramos, A. (29 de 08 de 2010). *efisioterapia*. Obtenido de efisioterapia:
<https://www.efisioterapia.net/articulos/actualizacion-la-distrofia-simpatico-refleja-o-sindrome-doloroso-regional-complejo-tipo-i>
- Scielo. (08 de 09 de 2019). Obtenido de http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132010000100013&script=sci_arttext&tlng=pt
- Solidbi. (2019). Obtenido de <https://solid-bi.es/solidworks/>
- Stroke, N. I. (12 de 2017). *Síndrome de dolor regional complejo*. Obtenido de https://espanol.ninds.nih.gov/trastornos/sindrome_de_dolor_regional_complejo.htm
- Tecnoloblog. (s.f.). *Tecnoloblog*. Obtenido de <https://www.tecnoloblog.com/corte-por-chorro-de-agua/>
- Tridicity. (s.f.). Obtenido de <https://www.tridicity.com.mx/collections/escaners-3d/products/escaner-3d-artec-3d-eva>
- Wikipedia. (06 de 01 de 2020). *Resina Epoxi*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Resina_epoxi

9.ANEXOS

PLANOS

