



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA
Especialidad Mecánica

CONCEPCIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA EL ESTUDIO DE TEJIDOS BIOLÓGICOS

Autor: Marta Novella Medina

Director: Mme Laure Astruc

Madrid

Mayo 2018

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1°. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. NOVA NAVELO MEDINA

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: CONCEPCIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA EL ESTUDIO DE TEJIDOS BIOLÓGICOS, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2°. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor CEDE a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3°. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar "marcas de agua" o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4°. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5°. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por

infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

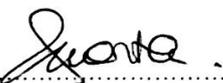
6°. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 31 de Mayo de 2018.

ACEPTA

Fdo. 

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título .

...CONCEPCIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA
EL ESTUDIO DE TEJIDOS BIOLÓGICOS.

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2017-2018 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.:

Fecha: 27/05/2018.

María Navas
Medina

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.:

Fecha: 28/05/2018

Laure Astruc



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA
Especialidad Mecánica

CONCEPCIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA EL ESTUDIO DE TEJIDOS BIOLÓGICOS

Autor: Marta Novella Medina

Director: Mme Laure Astruc

Madrid

Mayo 2018

CONCEPCIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA EL ESTUDIO DE TEJIDOS BIOLÓGICOS

Autor: Novella Medina, Marta

Directores: Astruc, Laure

Entidad Colaboradora: ICAI - Universidad Pontificia Comillas- Ecole Centrale de Lille

El objetivo de mi proyecto es la creación de un dispositivo que permita estudiar las deformaciones en los tejidos biológicos. El ser humano al respirar o al realizar movimientos con su cuerpo somete a una determinada presión a los tejidos que forman la piel. El estudio de las deformaciones a las que están sometidos este tipo de tejidos es muy interesante para el mundo de la medicina, ya que permite entender con mayor claridad el comportamiento de la piel.

Con el objetivo de poder estudiar estas deformaciones, se ha realizado un prototipo, que permite llevar a cabo este estudio a pequeña escala. El diseño de este dispositivo se ha realizado teniendo en cuenta las características de los tejidos biológicos, ya que son muy delicados.

El dispositivo está formado por diferentes piezas desmontables, acompañado por un sistema de iluminación que permite observar con perfecta claridad. En dicho prototipo se coloca una muestra de tejido biológico, que queda fija mediante un sistema de doble cierre. Para simular los movimientos que tienen lugar en el cuerpo humano, se debe conectar el dispositivo a un sistema que introduzca aire, permitiendo el inflado de la muestra de tejido.

Para la creación del prototipo se han diseñado todas las piezas en 3d, gracias a la aplicación Onshape. Posteriormente se imprimieron en 3D, en ABS un polímero muy resistente, idóneo para el prototipo.

CREATION OF A DEVICE THAT ALLOWS STUDYING SKIN'S DEFORMATIONS

Author: Novella Medina, Marta

Directors: Astruc, Laure

Collaborating Entity: ICAI - Universidad Pontificia Comillas- Ecole Centrale de Lille

The aim of this project is the creation of a device that enables us to study the deformations that take place in body tissues. The human body is constantly moving. During breathing or when we move any muscle our body tissues are submitted to pressure, which generates deformations. Studying these deformations turns to be really interesting for the world of medicine, as it offers doctors the possibility of understanding in deep detail skin's behaviour to changes.

The prototype that has been created allows us carrying out this kind of study in a small scale. This device has been designed taking into account the main characteristics of body tissues, which are extremely delicate.

The prototype is made by several detachable pieces, including an illumination system that enables us to observe with perfect clarity the deformations. The body tissue is placed in this device, and it is fixed to it thanks to a blocking system. In order to simulate the movements that take place in the human body, an air system must be connected to the device, introducing an air flow which inflates the body tissue.

This device has entirely been designed in 3D, thanks to the web application Onshape. Afterwards, all the pieces have been 3D printed. The material which has been used is ABS, a really resistant material whose characteristics are perfect for this project.

Índice

| | |
|--|----|
| Agradecimientos | 5 |
| Capítulo 1: Introducción | 6 |
| Capítulo 2: Contexto. Mundo de la biomecánica | 7 |
| 2.1 Estudio de las deformaciones | 7 |
| 2.2 Raíces del proyecto | 9 |
| Capítulo 3: Objetivos | 13 |
| Capítulo 4: Solución técnica | 17 |
| 4.1 Piezas del prototipo | 17 |
| 4.2 Sistema de inflado | 20 |
| 4.3 Sistema de iluminación | 21 |
| 4.4 Membrana de silicona | 22 |
| Capítulo 5: Materiales | 27 |
| Capítulo 6: Resultado final | 30 |
| 6.1 Primeros ensayos | 30 |
| 6.2 Resultados de los ensayos | 32 |
| 6.3 Observación de las deformaciones | 34 |
| Capítulo 7: Entorno del proyecto | 36 |
| 7.1 Medios utilizados | 36 |
| 7.2 Entorno de trabajo | 38 |
| Capítulo 8: Conclusión | 39 |
| Bibliografía | 40 |
| Anexo 1: Planos de las piezas | 41 |

Agradecimientos

A Monsieur Mathias Brieu, director del proyecto, por proponerme este proyecto y confiar en mi, dándome la posibilidad de trabajar de manera autónoma.

A Mademoiselle Laure Astruc, mi tutora, por ayudarme a lo largo de todo el proyecto , estando siempre disponible e invirtiendo su tiempo en guiarme y aconsejarme.

A Mademoiselle Delphine Cirette, por ayudarnos durante todo el proceso de diseño en CAD del proyecto, así como durante la fase de impresión.

A todos los especialistas en mecánica y biología del LML (Laboratorio de Mecánica de Lille), quienes han aportado su punto de vista y han ayudado a la creación de este proyecto.

Capítulo 1

Introducción

Los tejidos biológicos del cuerpo humano están sometidos a constantes deformaciones. Durante la respiración, la piel del pecho y del abdomen se deforman de manera continua durante la inhalación y la exhalación. Lo mismo ocurre en otras partes del cuerpo, donde la piel se ve sometida a continuos esfuerzos de deformación, especialmente en zonas de gran actividad muscular, como brazos y piernas. Además, los tejidos que componen los órganos también están en continuo movimiento durante la realización de las funciones vitales (digestión, bombeo de sangre...).

Dichas deformaciones son consideradas multiaxiales, ya que siguen tres ejes diferentes de deformación, lo que lo convierte en un estudio complejo. No podemos utilizar los métodos convencionales de ensayos de tracción, ya que reduciríamos el estudio a una sola dirección de deformación. El objetivo es asemejar la deformación lo máximo posible a lo que ocurre realmente en el cuerpo humano. Para realizar este estudio, se requiere la utilización de un sistema que simule la respiración humana, la contracción muscular o cualquier otro movimiento al que estén sometidos los tejidos biológicos.

El estudio del comportamiento de los tejidos biológicos cuando son sometidos a deformaciones se puede aplicar a diferentes campos de la medicina actual, desde la dermatología hasta al estudio del comportamiento de los tejidos de los órganos de todo el cuerpo. Conocer el comportamiento de los tejidos biológicos permitiría la prevención de daños de las paredes de ciertos órganos, el estudio de métodos para la regeneración de dichos tejidos, así como la búsqueda de nuevos tratamientos de rejuvenecimiento del rostro y del cuello.

La gran variedad de aplicaciones dentro de la medicina convierte este estudio en un reto emocionante, gracias a las diferentes utilidades que se le pueden dar dentro de la medicina actual.

Capítulo 2

Contexto: mundo de la biomecánica

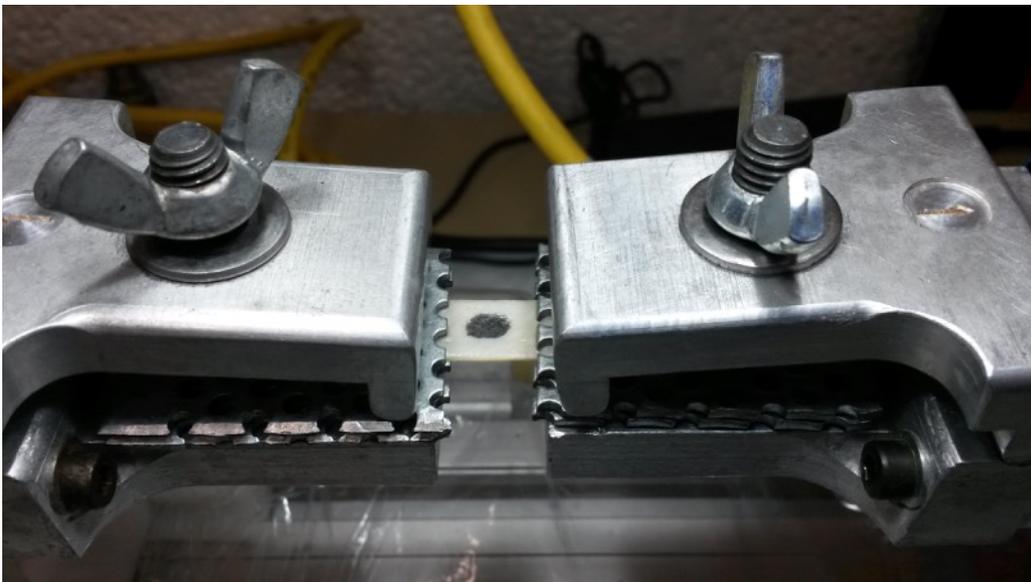
La biomecánica es una rama de la mecánica que estudia el comportamiento del cuerpo humano, sus movimientos y reacciones ante estímulos. A través de dicho estudio, gracias a la biomecánica, que esté estrechamente ligada además a la medicina, esta ciencia busca detectar problemas en el organismo y trata de dar una solución a cada uno de ellos .

La creciente aparición de nuevas tecnologías y el desarrollo continuo de nuevas técnicas médicas, convierte esta ciencia en un mundo de infinitas posibilidades de innovación, combinando diferentes artes de la ciencia: mecánica, medicina y biología.

2.1 Estudio de las deformaciones de tejidos

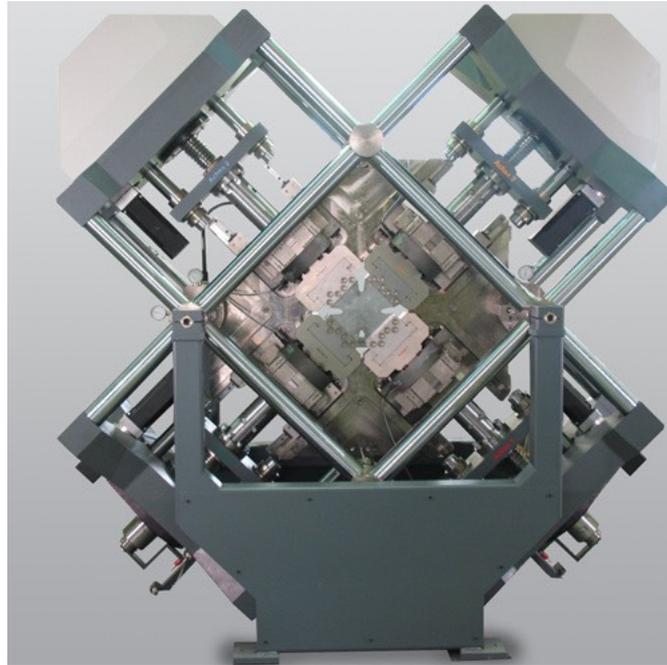
Para llevar a cabo un estudio de la deformación de un tejido cuando es sometido a una fuerza de presión, existen diferentes ensayos posibles.

En primer lugar, existe el **ensayo de tracción uniaxial** de un material, el cual consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo axial de tracción de manera creciente, hasta que se produce una rotura de la probeta. Se trata de un ensayo en el cual obtenemos información sobre la resistencia de un material a una fuerza.



ENSAYO DE TRACCIÓN UNIAxIAL

En segundo lugar, existe el **ensayo de tracción biaxial**. Gracias a este ensayo, podemos determinar las propiedades de deformación del material. La medición de la deformación se suele realizar de forma óptica, gracias a un sistema de cámaras.

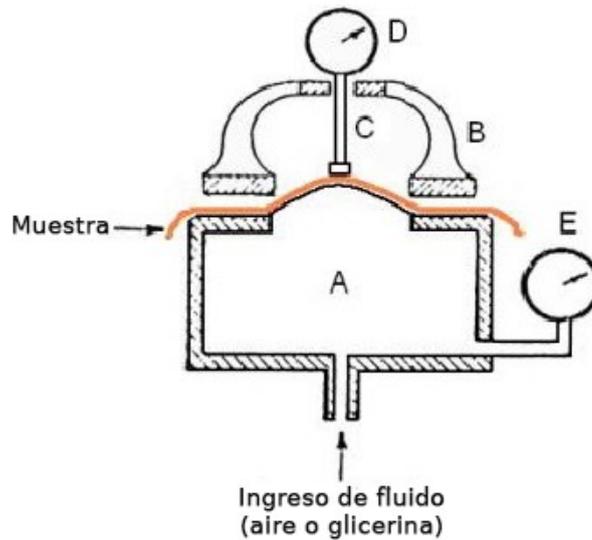


ENSAYO TRACCIÓN BIAxIAL

Fuente: <http://www.zwick.es/>

Más allá de los estudios de tracción convencionales, existe un método para el estudio de tejidos biológicos que se basa en las **matrices de Mueller**. Dicha metodología está basada en el análisis de las diferencias entre los elementos de las matrices de Mueller de dos muestras de tejidos biológicos diferentes. Una de las muestras pertenece al pecho de una mujer y la otra al tórax de un hombre. La información de cada muestra se consigue a través de un método óptico, obteniendo así datos suficientes para comparar las deformaciones que se llevan a cabo en esos dos tejidos biológicos.

Finalmente, un ensayo que es llevado a cabo en el estudio de los tejidos textiles, cuyas características se pueden asemejar a los tejidos biológicos, es el **ensayo de resistencia al estallido**. Denominamos resistencia al estallido a la fuerza que opone una probeta fija en un soporte circular a una carga de compresión que aumenta progresivamente de forma unilateral y uniforme, hasta estallar. La determinación de esta resistencia se realiza según la norma ISO 3303 método A, en tejidos recubiertos de plástico o goma, con una máquina de ensayos adecuada de fijación anular.



ENSAYO DE RESISTENCIA AL ESTALLIDO

Fuente: <http://www.tapiceriacarrasco.com/2015/09/pruebas-de-calidad-de-los-tejidos-ii.html>

2.2 Raíces del proyecto

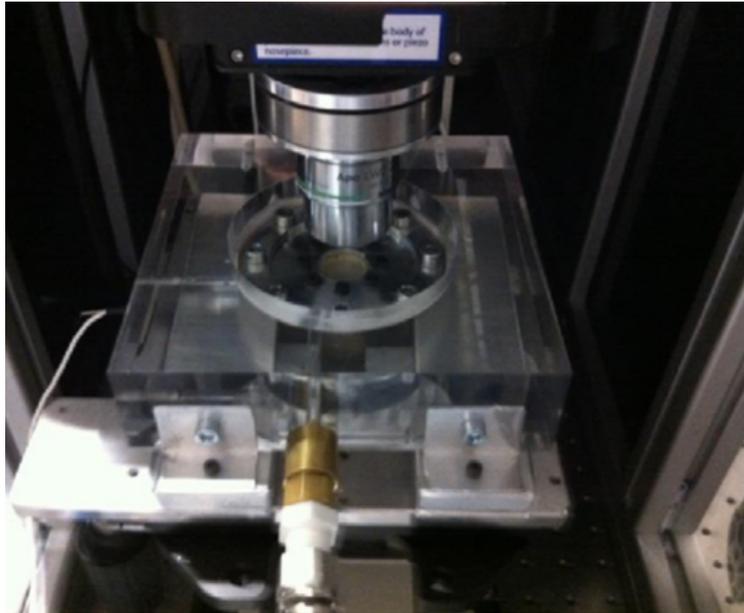
Este proyecto ha sido desarrollado en la Ecole Centrale de Lille, escuela de ingeniería francesa en la cual la idea de este proyecto nació tiempo atrás. Durante varios años se había perseguido la idea de crear un dispositivo a través del cual se pudiese estudiar.

Durante los últimos años, tanto profesores como estudiantes de doctorado realizaron estudios relacionados con esta temática.

Es por ello, que la idea principal de este proyecto está basada en dos proyectos ya existentes.

El primero de ellos es la tesis doctoral de Charles Jayyosi, que trata sobre la caracterización mecánica y microestructuras del comportamiento de ruptura de la cápsula Glisson para la predicción del riesgo de lesiones de los tejidos hepáticos humanos. Gracias a la lectura de ciertas partes de esta tesis, he podido adquirir diferentes conocimientos sobre las deformaciones de tejidos biológicos.

En el tercer capítulo de esta tesis (*“Ensayos de inflado de una muestra de hígado”*), se presenta el protocolo utilizado para inflar una muestra de tejido. Dicho procedimiento ha servido de inspiración para el desarrollo de la solución técnica de este proyecto.



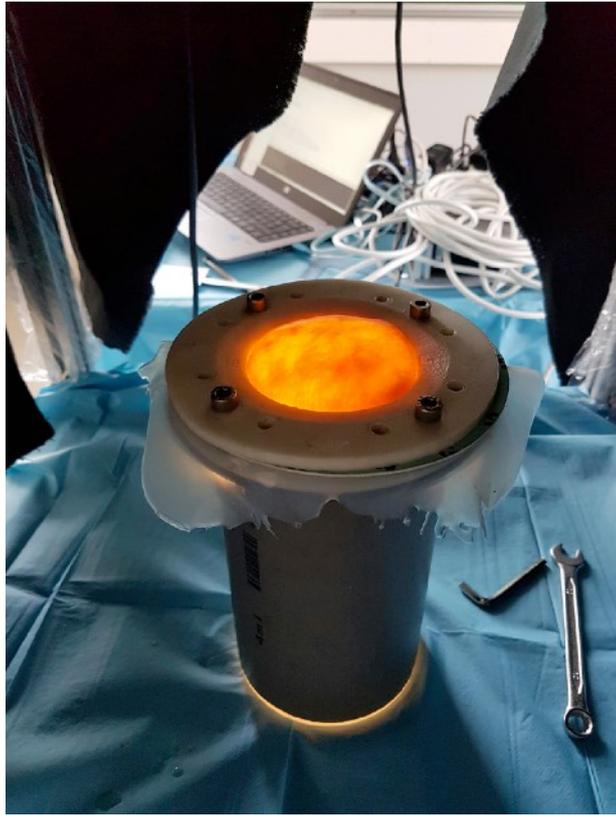
PROTOTIPO REALIZADO POR CHARLES JAYYOSI PARA EL ESTUDIO DE LAS DEFORMACIONES DEL HÍGADO

Fuente: "Characterizing liver capsule microstructure via in situ bulge test coupled with multiphoton imaging" C. Jayyosi, M. Coret, K.Brüyère-Garnier

En segundo lugar, también ha servido de inspiración para este proyecto el prototipo realizado por mi directora de proyecto, Mademoiselle Laure Astruc, doctorada del Ecole Centrale de Lille. Este proyecto también tenía como objetivo la creación de un dispositivo para el estudio de las deformaciones de los tejidos biológicos.

Para conseguir llevar a cabo este estudio, Mademoiselle Laure Astruc realizó un dispositivo formado por un cilindro hueco. Dicho cilindro, contaba con un sistema de aire en su interior, además de un sistema de iluminación. gracias al sistema de aire, consiguió simular el movimiento de la respiración humana, inflando desde el interior del cilindro un tejido biológico colocado sobre el cilindro. Dicho tejido, quedaba fijo al cilindro gracias a un sistema de cerrado formado por una tapa con una ranura circular en el centro, además de un sistema de tornillos.

Este proyecto, a pesar de haber llegado a funcionar, contaba con diversos errores. El error principal fue que el sistema de cerrado dañaba las muestras de tejido, rasgándolas y provocando fugas de aire. Al existir fugas de aire, el sistema de inflado no funcionaba adecuadamente, por lo que no nos se podía llevar a cabo un estudio de las deformaciones del tejido.



PROTOTIPO REALIZADO POR MADEMOISELLE LAURE ASTRUC

Capítulo 3

Objetivos del proyecto

El objetivo principal de este proyecto es la creación de un dispositivo a través del cual seamos capaces de observar, para así estudiar, la deformación de un tejido biológico, que es muy compleja.

El tejido humano, al producirse movimientos como la respiración o la contracción/ relajación muscular, es sometido a una deformación que sigue tres ejes, por lo que es complejo llevar a cabo un estudio de esta deformación.

Dicho dispositivo debe cumplir los siguientes requisitos:

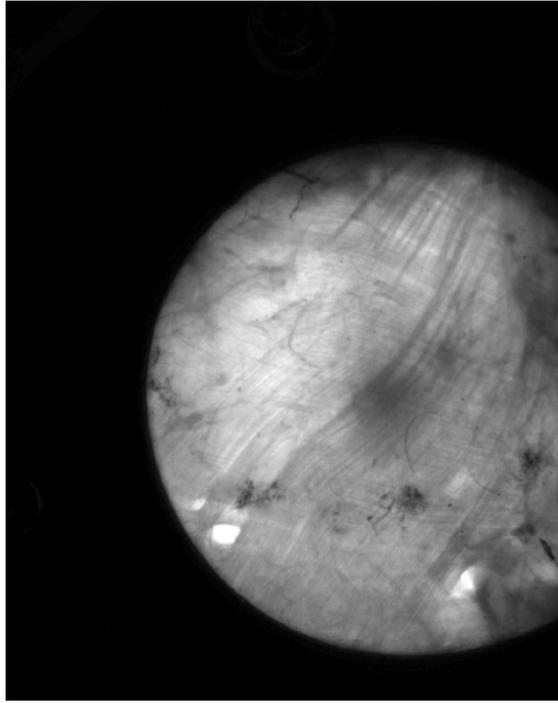
- Su tamaño debe estar adaptado al tamaño de las probetas. Los tejidos biológicos, al ser difíciles de conseguir, suelen ser de pequeño tamaño. Por ello, el tamaño del dispositivo debe ser acorde a la talla de dichas probetas. Estas muestras de tejidos biológicos suelen presentarse en forma de cuadrados de siete centímetros de alto y de ancho.
- El dispositivo debe permitir la perfecta fijación de la probeta para su estudio. Para poder definir bien el comportamiento de un tejido al deformarse debido al inflado, dicho tejido debe estar bien fijo a una plataforma, ya que el movimiento de dicho tejido por cualquier otra razón que no sea el inflado, afectaría a los datos obtenidos en el experimento.
- La probeta no debe ser dañada al fijarla en el prototipo. Una muestra de tejido biológica no solo, es costosa y difícil de conseguir, si no también muy frágil. Si no tenemos precaución al manipularla, se producirán deformaciones en dicha muestra, convirtiéndola en una muestra inservible para el experimento.
- El dispositivo debe contener un sistema que permita simular la respiración humana, la contracción muscular o cualquier otro movimiento que afecte a los tejidos biológicos.
- El dispositivo debe permitir la perfecta observación del movimiento de la probeta al activar el sistema de deformación. De este modo, se podrá implantar un sistema de observación y medición de resistencia.
- Los materiales que compongan el prototipo deben ser de fácil obtención, ya que para asegurar un perfecto funcionamiento, deberemos realizar por lo menos un “prototipo test”. Además debe ser un material apto para la impresión 3D, ya que el prototipo será diseñado en CAD. Además deberemos introducir medidas de saneamiento del prototipo, ya que al trabajar con tejidos biológicos, ciertas partes del prototipo no podrán ser reutilizadas.

- El prototipo debe permitir el inflado de la muestra de tejido biológico, teniendo en cuenta que dichos tejidos no son completamente lisos. Los tejidos biológicos cuentan con pequeñas irregularidades debido al desplazamiento de las fibras de la piel. No se trata de agujeros en el tejido, si no pequeños desplazamientos de las fibras que hilan este tejido.



En la imagen superior podemos observar una muestra de tejido biológico. En el medio de dicha muestra se encuentran los pequeños desplazamientos de fibras. Estos pequeños poros dejan pasar el aire, por lo que es necesario insertar en el prototipo una membrana debajo del tejido que permita aislarla.

Al introducir una membrana bajo este tejido, podremos instaurar el sistema de aire en el prototipo, asegurándonos de que no habrán fugas de aire, permitiendo un buen estudio de las deformaciones de la piel.



En esta imagen podemos observar mas de cerca los desplazamientos de las fibras que componen el tejido biológico. Esta imagen es una ampliación de la imagen superior, donde se aprecia como las fibras que componen el tejido biológico se han desplazado, creando pequeños agujeros en la superficie.

Capítulo 4

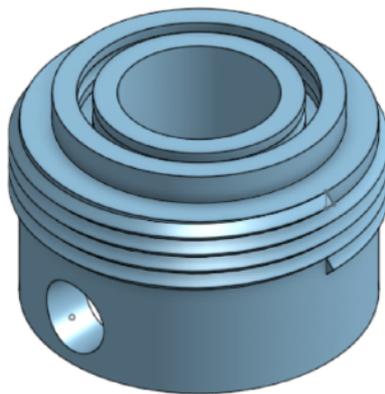
Solución técnica

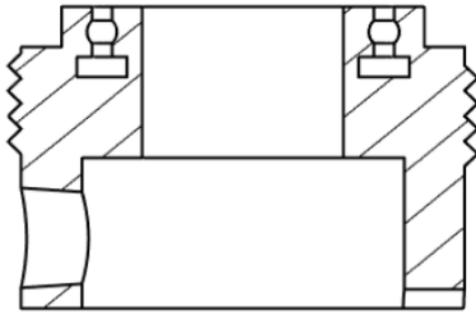
4.1 Piezas del prototipo

El objetivo principal que se persigue en este proyecto es la creación de un dispositivo que permita el estudio de la deformación de los tejidos biológicos cuando se inflan. La solución técnica que se ha realizado para alcanzar este objetivo consiste en una plataforma en la cual fijamos la muestra de piel para su estudio. Dicho dispositivo está conectado con un sistema de aire que simula el movimiento de inflado al que están sometidos los tejidos biológicos, por ejemplo durante la respiración humana.

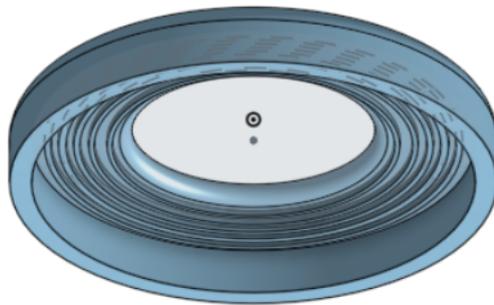
El dispositivo está formado por cuatro piezas diferentes, además de un sistema de iluminación y un sistema de aire en su interior. Las diferentes piezas son las siguientes:

- **Cilindro principal.** El cilindro principal es la pieza central del dispositivo. Se trata de un cilindro hueco con el cual el resto de piezas conectan. En su interior se localiza el sistema de iluminación, que consiste en un fino hilo de LEDs, con un cable que sale al exterior gracias a una pequeña abertura lateral en el cilindro. A este cilindro también está conectada el sistema de aire, gracias a la abertura lateral circular. Sobre la parte superior de la pieza se encuentra situada una membrana de silicona, que es la superficie de contacto entre el tejido biológico y el cilindro principal.

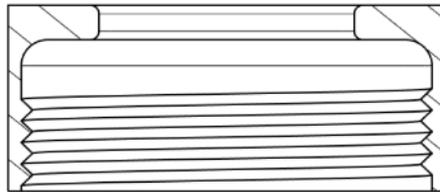
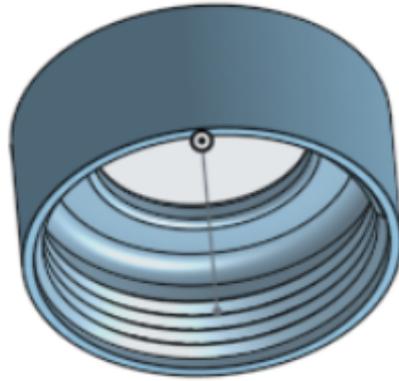




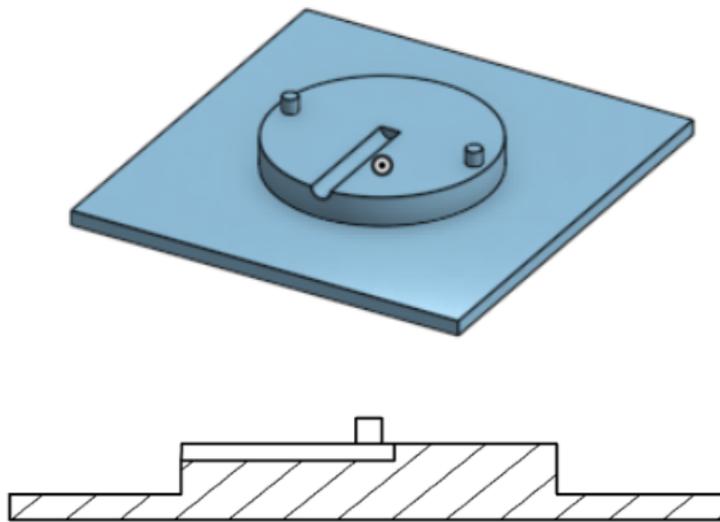
- **Sistema de cierre superior.** Debido a la fragilidad de las muestras de tejido biológicos ha sido necesaria la realización de un sistema de cerrado que respete esta propiedad. Para ello se ha realizado un sistema de cierre formado por dos tapas. El propósito de estas dos tapas es fijar la muestra de tejido biológico, sin dañarlo.
- **Primera tapa superior.** Una primera tapa que entra en contacto directo con la muestra. Se trata de una pieza circular con una apertura circular en el centro, que permite observar el inflado del tejido biológico. Esta tapa encaja perfectamente con el cilindro principal y permite la fijación de la probeta.



- **Segunda tapa superior.** Sobre la primera tapa superior se coloca una segunda tapa, la cual cierra el prototipo mediante una rosca métrica. No se ha podido realizar un sistema de cierre formado por una única tapa, ya que al girar la tapa sobre el tejido biológico podríamos haberlo dañado.

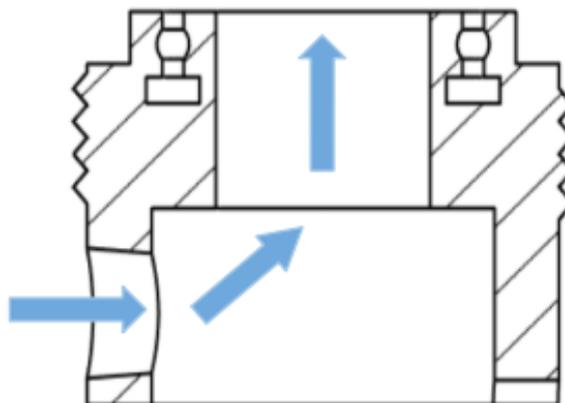


- **Sistema de cierre inferior.** Una vez introducido el sistema de aire en las paredes internas del cilindro principal, procedemos a cerrar la parte inferior del prototipo con la tapa inferior. Dicha pieza esta formada por una parte circular, que encaja con el cilindro principal, y por una superficie cuadrada. Esta superficie cuadrada que se encuentra en la parte inferior de la tapa y tiene como función el facilitar la fijación del prototipo. Durante la realización del experimento es necesario que el prototipo esté fijo a una superficie plana, es por ello que introducimos esta superficie extra, que facilita la realización del experimento.



4.2 Sistema de inflado

Esta parte del prototipo es esencial. Para poder simular el movimiento de la respiración humana o la contracción/relajación muscular es necesario la instalación de un sistema de inflado. Para poder introducirlo en el prototipo ha sido necesario realizar una abertura lateral en el prototipo, permitiendo la entrada de un tubo que introduzca el aire. Para la realización de los tests del prototipo se utilizó una jeringuilla como sistema de aire, pero una vez que el prototipo sea completamente funcional, se podrá instaurar un sistema de aire motorizado, con el que se pueda medir la presión entrante en el prototipo, para poder calcular más tarde la curva de deformación.



El sistema de aire presentado nace de la necesidad de implementar un sistema de inflado en el prototipo. Para dicho propósito, al inicio del proyecto, habían dos posibilidades: un sistema de aire o un sistema de agua.

- Sistema de agua. Un sistema que introdujese un flujo de agua en el prototipo suponía una buena posibilidad, ya que al inflar la membrana situada sobre el cilindro, que

está en contacto con el tejido biológico con agua, en el caso de que hubiesen fugas en dicha membrana o en el tejido biológico, lo sabríamos. Además, veríamos donde se produce la fuga con facilidad. Sin embargo, trabajar con agua en un prototipo que contiene un sistema de iluminación complicaría la realización del experimento. Usar un sistema de agua hubiese implicado la utilización de un sistema de iluminación impermeable.

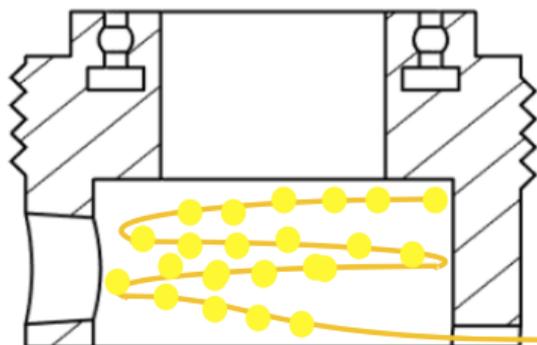
- Sistema de aire. La utilización de un sistema de aire resultaba mucho más sencillo, ya que no requiere el uso de un sistema de iluminación impermeable. En cambio, al usar un sistema de aire, resulta más complicado encontrar las fugas de aire en el prototipo.

4.3 Sistema de iluminación

Sistema de iluminación. Para poder observar correctamente desde el exterior la deformación del tejido biológico es necesario introducir un sistema de iluminación en el interior del cilindro principal. Para ello, un sistema de LEDs han sido instalados en el interior del prototipo. Se trata de una fina tira de LEDs cuyo cable de alimentación sale del cilindro mediante una ranura lateral que permite su salida.



EJEMPLO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED UTILIZADO EN EL PROYECTO



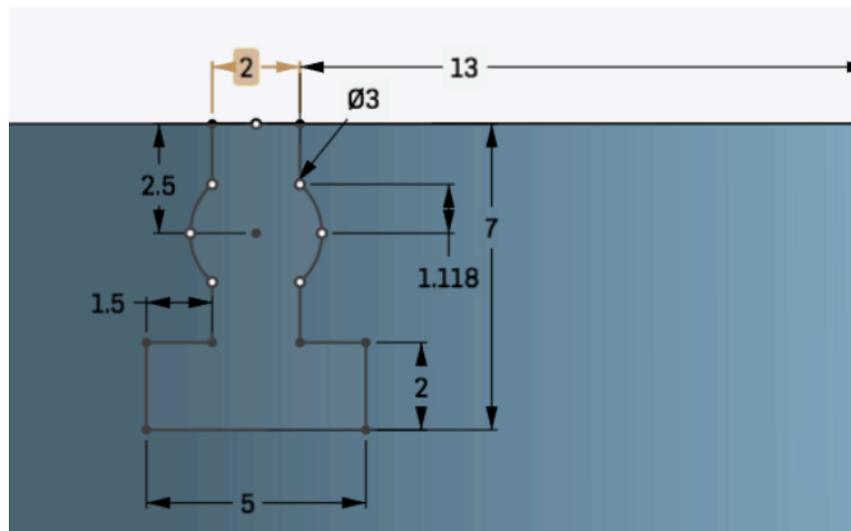
ESQUEMA QUE REPRESENTA EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN EN EL INTERIOR DEL PROTOTIPO

4.4 Membrana de silicona

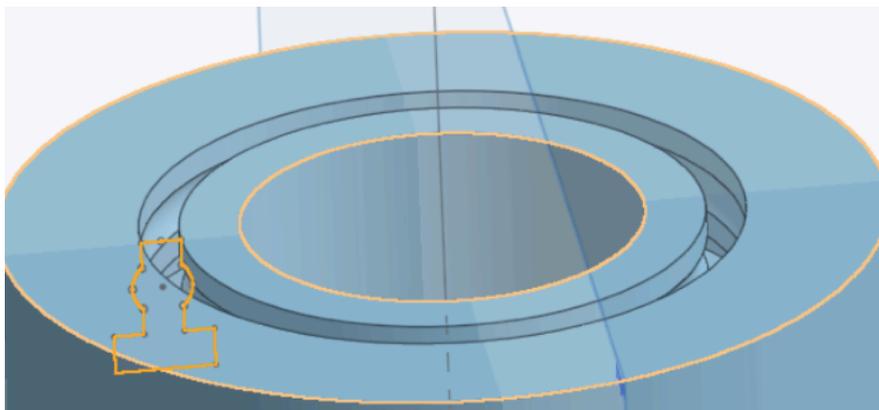
Las funciones principales de la membrana de silicona situada entre el cilindro principal y el tejido biológico son:

- Permitir el inflado de la muestra de tejido. Como se ha mencionado anteriormente, los tejidos biológicos cuentan con pequeños desplazamientos fibrilares que permitirían el paso del aire, ya que pequeños agujeros en el tejido. Esta membrana servirá de modo de transmisión del movimiento de inflado entre el cilindro y el tejido.
- Proteger la muestra de tejido biológico. Una incidencia directa de la corriente de aire al tejido podría suponer un impacto demasiado fuerte para el tejido, que podría romperse. La silicona ofrece una mayor resistencia a este impacto.

Para implantar esta membrana se llevó a cabo una serie de medidas en el prototipo. En primer lugar se implementó una ranura en la parte superior del cilindro principal, en la cual, se encuentra introducida la membrana. Esta ranura asegura la perfecta fijación de la membrana al prototipo.



GEOMETRÍA DE LA RANURA

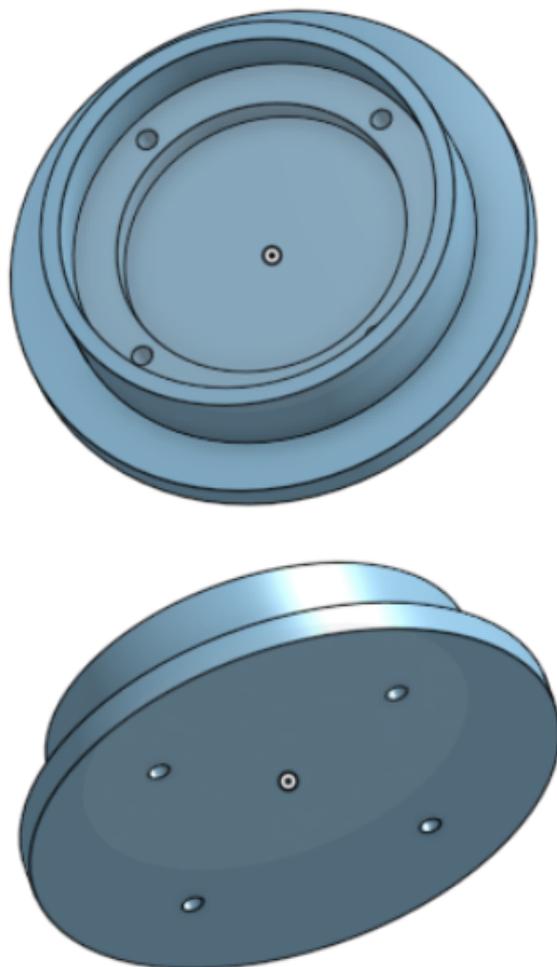


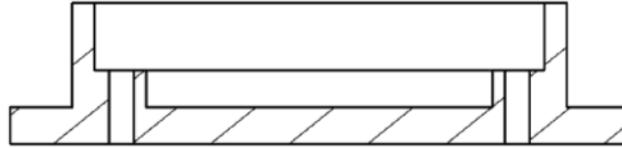
VISTA 3D DE LA RANURA

Como se puede apreciar en las imágenes superiores, la ranura cuenta con una geometría complicada. La ranura fue diseñada de esa forma específica para asegurar que una vez introducida la silicona en ella, quedara fija y la membrana no se separase del prototipo.

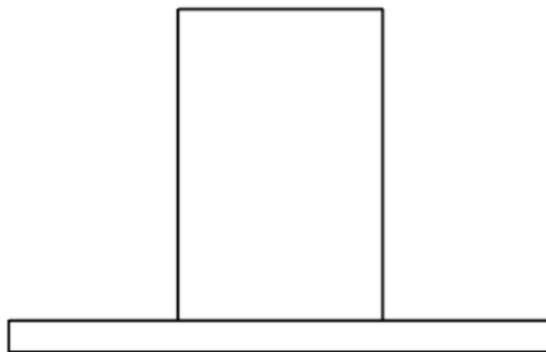
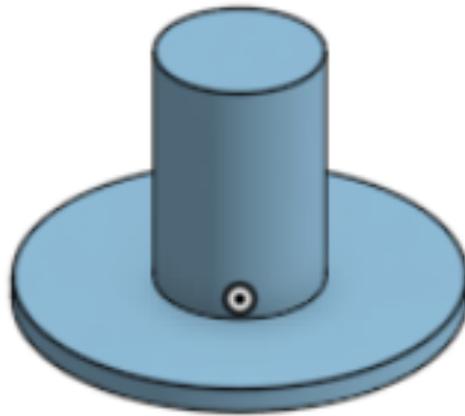
Además de crear una ranura en el cilindro principal, se han realizado dos moldes que permiten la creación de la membrana de silicona. Dichos moldes están diseñados para poder crear la membrana de silicona al unirlos con el cilindro principal.

- Molde superior. Se trata de una tapa circular que deja un espacio sobre el cilindro para que se forma la membrana de silicona. Además, cuenta con un espacio adicional en el cual se introduce un pequeño círculo de plexiglas (polimetilmetacrilato). El objetivo de esta pieza de pexiglfs es crear una superficie lo más lisa posible en la membrana. En el momento de solidificarse la silicona, al estar en contacto con la superficie de plástico, la superficie creada es lisa. Esto no ocurriría si estuviese directamente en contacto con el molde impreso en 3D, que tiene irregularidades en su superficie. Por otra parte, el molde cuenta con cuatro pequeños agujeros circulares. El objetivo de dichos agujeros es permitir la salida del exceso de silicona en el interior del molde.





- Molde inferior. El molde inferior se trata de un tapón colocado en la parte inferior del cilindro principal. El objetivo de esta pieza es evitar que la silicona caiga por el hueco interior del cilindro principal. Dicha pieza cuenta con una capa de barniz en la parte superior, ya que debemos asegurar que la superficie de la membrana sea lo más lisa posible, sin rugosidades.

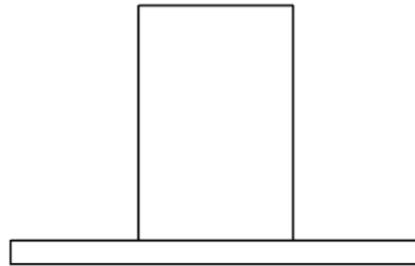


Creación de la membrana

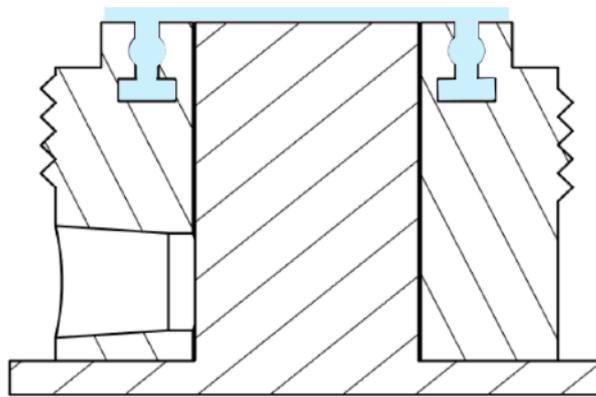
Para crear la membrana, se utilizó una silicona transparente comercial . Para darle la forma deseada, se realizó una mezcla bicomponente en estado líquido viscoso. Esta mezcla debe ser aplicada sobre el cilindro, con el molde inferior introducido en él. Tras habernos asegurado de que la silicona se había introducido en las ranuras del cilindro, pudimos colocar el molde superior, que permite dar forma a la membrana, además de dejar salir el exceso de silicona del interior. Tras colocar todos los moldes fue necesario esperar mínimo cuatro horas a que la mezcla se solidificase. Una vez solidificada,

podimos retirar los moldes, dejando la membrana fija con el cilindro gracias a su introducción en las ranuras.

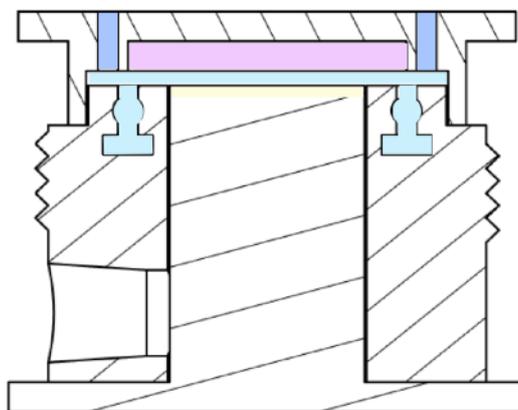
Las imágenes mostradas a continuación ilustran el proceso de creación de la membrana paso por paso.



MOLDE INFERIOR



MOLDE INFERIOR INTRODUCIDO EN EL CILINDRO. LA SILICONA ES APLICADA EN LA SUPERFICIE SUPERIOR DEL CILINDRO



UNA VEZ APLICADA LA SILICONA, COLOCAMOS EL MOLDE SUPERIOR

Capítulo 5

Materiales utilizados

Para la realización del prototipo se ha llevado una rigurosa elección de los materiales utilizados

ABS

Las distintas piezas que forman el dispositivo, así como los moldes, han sido impresos en 3D. Las impresoras 3D a las que se han tenido acceso para dicha impresión contaban con dos opciones de material para imprimir: ABS y PLA.

Para realizar una buena elección se hizo un balance de las ventajas e inconvenientes del uso de ambos materiales.

- **ABS:** el acrilonitrilo butadieno estireno, llamado también ABS se trata de un termoplástico proveniente del petróleo. Se trata de un material que destaca por su dureza y resistencia a grandes impactos. Este material está compuesto por tres grandes componentes: acrilonitrilo, que le aporta rigidez, butadieno, que le aporta resistencia a impacto y estireno, que le aporta dureza. Este termoplástico se puede mecanizar, lijar, y pulir. Esta última característica lo convirtió en una opción de material interesante, ya que la impresión 3D puede resultar poco precisa y es necesario poder lijar rugosidades que pudiesen aparecer en las superficies. Por último, una de las propiedades que convirtieron el ABS en nuestra elección final, es que funde con la acetona. al imprimir piezas en ABS podríamos unir las entre ellas usando simplemente acetona, un proceso que resulta fácil y muy práctico.
- **PLA:** el políácido láctico, también conocido como PLA, es un material creado a partir de recursos renovables. Se trata de un material biodegradable, que además no emite gases nocivos, por lo que es utilizado de manera habitual en el envasado de algunos productos de alimentación. Uno de sus grandes inconvenientes es su fragilidad, frente a la gran dureza del ABS. Esto se debe a su composición biodegradable, que hace que tenga una vida útil más corta. Por otra parte, el mecanizado, taladrado y pegado de este material es complicado, lo que nos empujó a elegir el ABS como material de impresión.

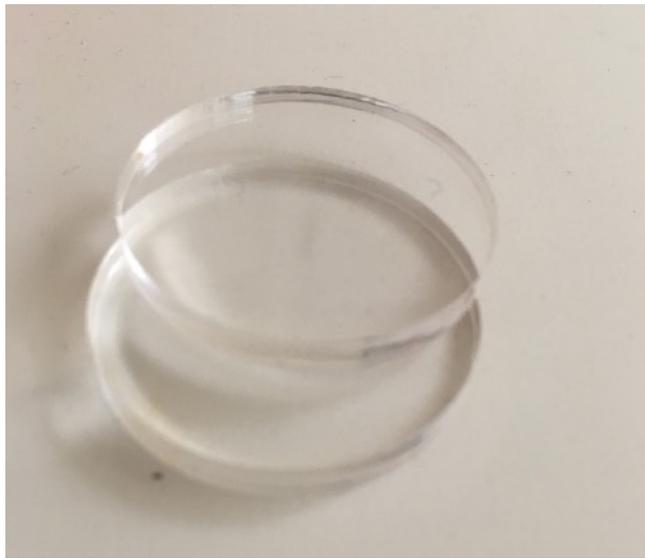
Silicona

La silicona es un polímero inorgánico con diferentes propiedades que lo convierten en el material óptimo para la membrana del prototipo. Es un material flexible, por lo que es perfecto para ser inflado; es incoloro, por lo que no afecta a la iluminación del tejido; y, por último, no se desgasta y puede adoptar diversas formas. Además, no es un material tóxico, tiene una baja reactividad química y posee resistencia al oxígeno.

La silicona es un producto utilizado en una gran variedad de actividades humanas, de ámbito doméstico, científico, automotriz o sanitario. Su baja reactividad permite el uso de este material en la industria médica. Hay más de 1000 productos médicos en los cuales la silicona es un componente, desde marcapasos hasta válvulas cardíacas. Este material, al estar en contacto con el tejido biológico, no lo deteriora ni modifica, lo que convierte a la silicona en el material perfecto para la membrana de este proyecto.

Plexiglas

El plexiglas , también conocido como polimetilmetacrilato se trata de un plástico, parecido al policarbonato (PC) o el poliestireno (PS). La diferencia entre el plexiglas y otros plásticos transparentes similares es su gran resistencia a la interperie, su gran transparencia y su resistencia al rayado. Esta resistencia al rallado es el motivo por el que ha sido utilizado en el proyecto. La pieza de plexiglas que utilizamos debe ser lo mas lisa posible ya que se encuentra en el molde para la silicona. Cuanto más recta sea esta superficie, más regular y lisa será la membrana de silicona. Además, se trata de un plástico que es fácil de mecanizar y moldear. Para obtener la forma deseada, se cortó una placa de plexiglas con una cortadora laser del Fablab del Ecole centrale de Lille.

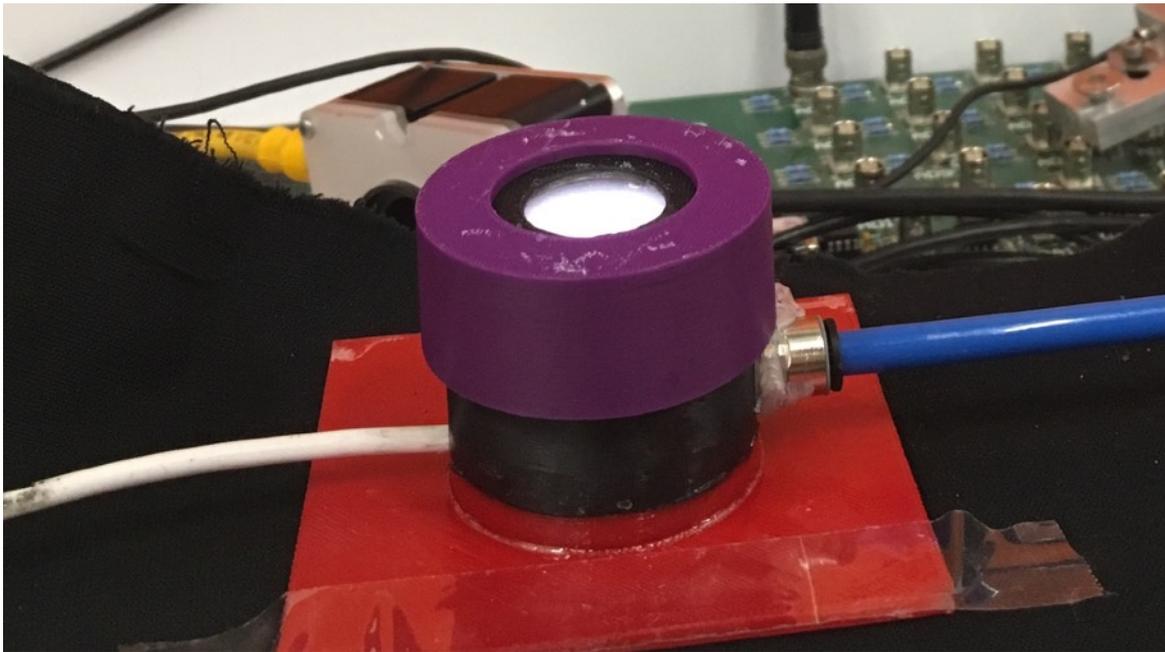


MUESTRA DE LAS PLACAS DE PLEXIGLAS UTILIZADAS

Capítulo 6

Resultado final

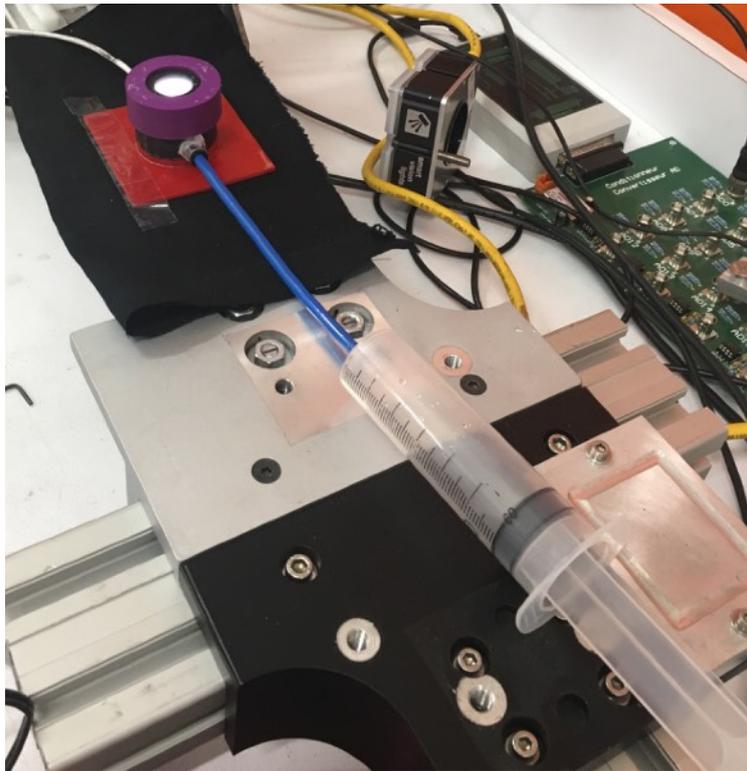
Una vez terminada la etapa de diseño del prototipo pudimos proceder a la construcción del mismo. Para ello se imprimieron todas las piezas, así como los moldes para la creación de la membrana de silicona. Tras haber impreso en 3D todas las piezas, se realizó la membrana de silicona. Finalmente, para unir todas las piezas del prototipo, se usó acetona, ya que el ABS se funde con este compuesto. Una vez unidas todas las piezas, se usó esmalte para sellar todas las ranuras, evitando así las fugas de aire durante la realización del experimento.



PROTOTIPO FINAL

6.1 Primeros ensayos

Tras unir todas las piezas y sellar el prototipo se procedió a la realización del primer ensayo. Para simular el sistema de aire, que se implantará posteriormente, se utilizó una jeringuilla, con la cual introdujimos un flujo de aire en el prototipo. Para asegurarnos de que las deformaciones se eran observables con este prototipo, situamos una cámara sobre el dispositivo, que grababa a tiempo real todos los movimientos del tejido biológico durante el inflado.



PROTOTIPO Y JERINGUILLA UTILIZADA COMO SISTEMA DE AIRE

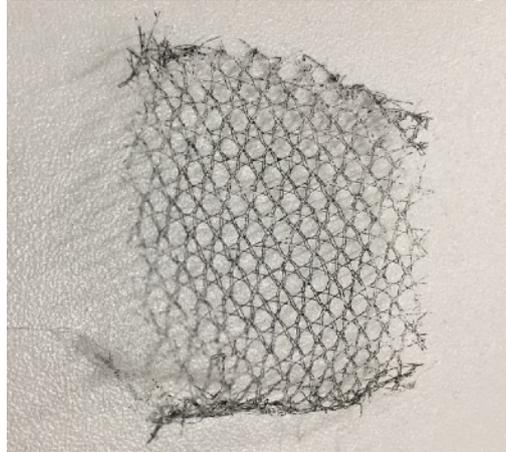


PROTOTIPO Y CÁMARA UTILIZADA PARA OBSERVAR LAS DEFORMACIONES

6.2 Resultados de los ensayos

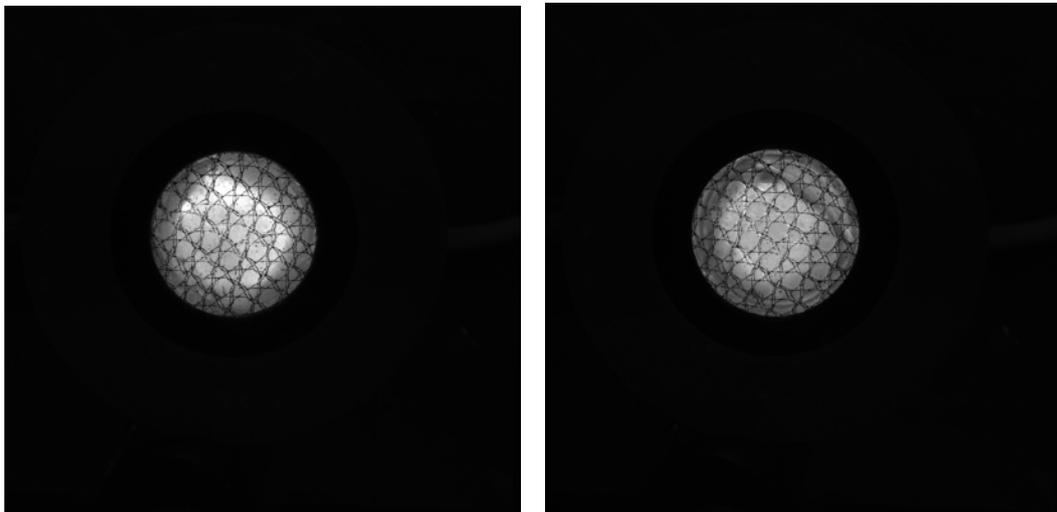
Para realizar el primer ensayo hicimos las pruebas con dos tejidos textiles. Uno de ellos se trataba de una malla con agujeros y el otro una muestra de silicona sobre la cual pusimos trazas de grafito encima.

Hay dos motivos por los que elegimos estos dos tejidos. En primer lugar, es necesario asegurar que el prototipo es capaz de inflar un tejido que presente agujeros en su superficie, ya que el tejido biológico con el que se realizará el experimento podría tener agujeros. Para verificar que se cumple esta propiedad se realizó un primer ensayo con una malla formada por fibras.



MALLA CON AGUJEROS UTILIZADA EN EL PRIMER ENSAYO

Al realizar este ensayo comprobamos que al inflar la membrana de silicona, la malla acompañaba el movimiento.



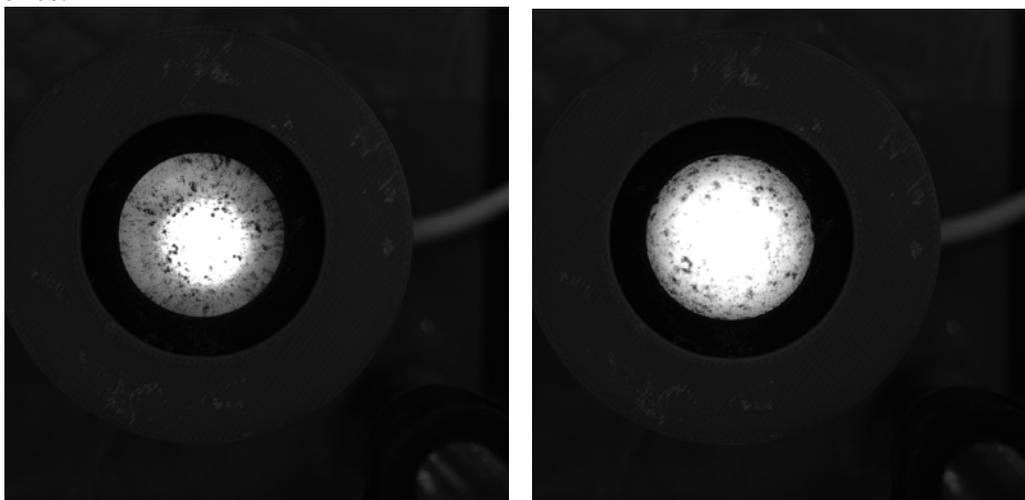
DOS IMÁGENES DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE EL PRIMER ENSAYO

Por otra parte, también es necesario comprobar que, al realizar el experimento, las deformaciones en el tejido son observables. Para ello se decidió realizar un segundo ensayo en el cual utilizamos una muestra de silicona sobre la cual se colocó pequeñas partículas de grafito



MUESTRA DE SILICONA UTILIZADA EN EL SEGUNDO ENSAYO

Al realizar el segundo ensayo, pudimos observar el desplazamiento de las partículas de grafito, lo que demuestra que cuando se hagan futuros ensayos con tejidos biológicos se podrán observar las deformaciones.



DOS IMÁGENES DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE EL SEGUNDO ENSAYO

6.3 Método de observación: futuro del proyecto

Tras haber conseguido realizar un prototipo que permite el inflado de tejidos biológicos, sin dañar las muestras de dichos tejidos, se procedió a la búsqueda de un sistema de observación. Este sistema de observación debe permitir estudiar las deformaciones que tienen lugar en el tejido. Por ello, es necesario utilizar un sistema que no solo obtenga imágenes en las que se aprecien las deformaciones, si no que también se puedan obtener datos que nos permitan hacer un estudio amplio de lo que ocurre en los tejidos.

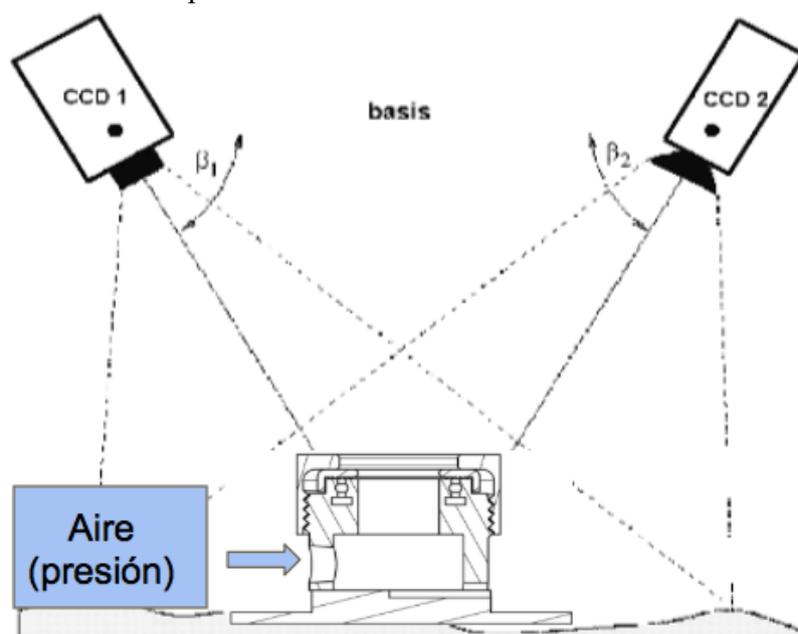
Correlación de imágenes numéricas

Una de las posibilidades que podrán utilizarse para este estudio son sistemas basados en la correlación de imágenes. La correlación de imágenes numéricas es un método óptico 2D o 3D que permite medir los desplazamientos que tienen lugar entre dos imágenes. Este método es empleado para determinar campos de deformación o para calcular los campos de desplazamiento de algunos procedimientos de identificación de propiedades de materiales.

La técnica consiste en la definición de la zona que va a ser observada, que en nuestro caso sería la parte superior del cilindro. Una cámara situada sobre la zona a observar, obtiene numerosas imágenes, durante el proceso de deformación. Dicha cámara está conectada a un ordenador, enviando todas las imágenes a un programa que las analiza (existe una gran variedad de programas para estos estudios). Este método puede ser utilizado para el estudio de deformaciones planas (2D) y para el estudio de deformaciones no planas (3D).

Se trata de un método cuya utilización cuenta con diferentes ventajas:

- Medida de deformaciones sin contacto, solo por vía óptica
- Permite observar zonas de gran tamaño (metros cuadrados), pero también de pequeño (milímetros cuadrados)
- Permite la medida de deformaciones en micrómetros
- Permite comparar resultados experimentales con resultados de simulación numérica



EJEMPLO DE LA IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA DE OBSERVACIÓN

Fuente: <http://www.dierk-raabe.com/digital-image-correlation-dic/>

Capítulo 7

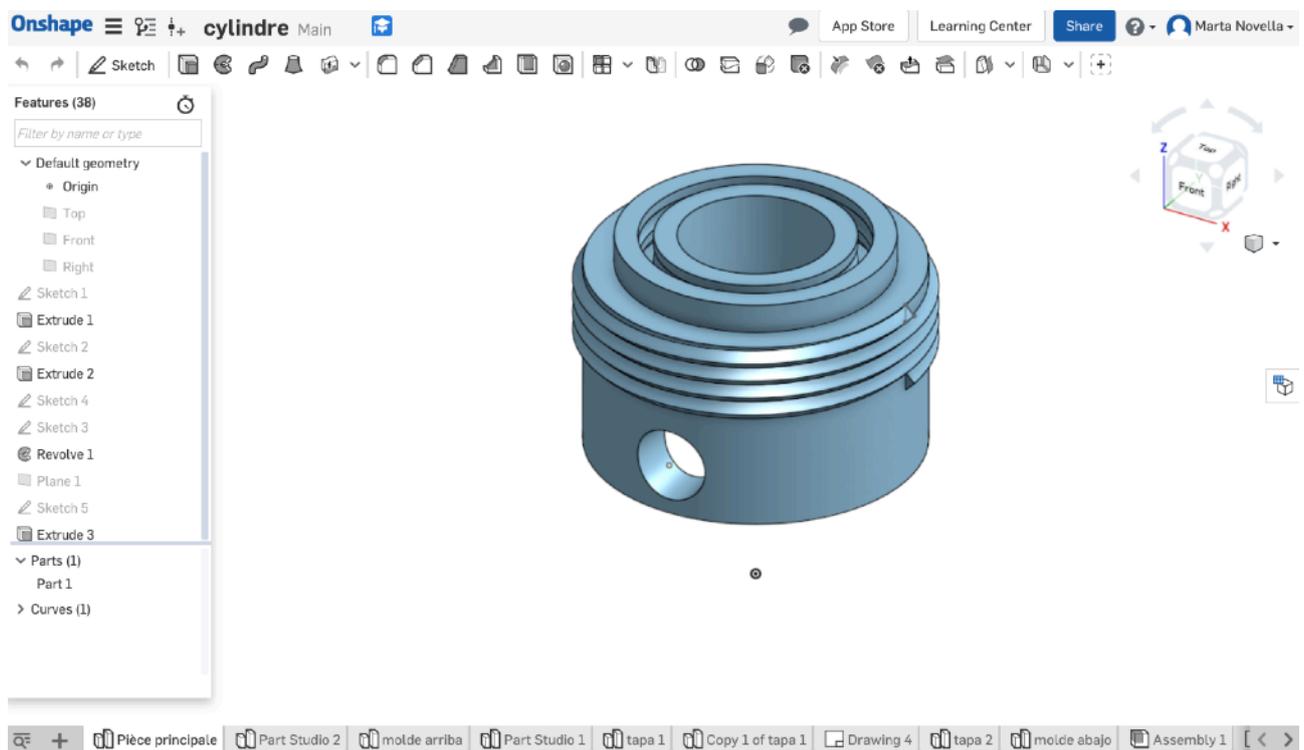
Entorno del proyecto

7.1 Medios utilizados

Diseño: Onshape

La herramienta utilizada para el diseño de todas las piezas del proyecto es Onshape. Se trata de un programa online de diseño de CAD. Cualquier persona tiene libre acceso a este programa y es completamente gratuito.

Onshape



Además de diseñar las piezas, el programa permite unir las entre ellas, por lo que nos aseguramos de que todas ellas encajan perfectamente.

Impresión 3D: Zortrax M200 Plus 3D



MODELO DE IMPRESORA ZORTRAX M200

Fuente: <https://zortrax.com>

Todas las piezas del proyecto han sido impresas en 3D con la impresora Zortrax M200 Plus 3D. La gran rapidez y eficiencia de este modelo de impresora ha permitido que se haya impreso varias veces el prototipo. En un primer lugar se imprimió el prototipo para asegurar que las piezas encajaban perfectamente y para detectar los errores que era necesario modificar. Más tarde se volvió a imprimir para realizar los primeros ensayos, en los cuales se detectaron fugas de aire y fueron cubiertas con silicona. Este modelo de impresora permite elegir la transparencia de la impresión, es decir, podemos definir la cantidad de ABS utilizado en cada impresión, modificando la densidad de la pieza. Gracias a esta función, pudimos imprimir los primeros dispositivos con una calidad menor, evitando malgastar ABS.

7.2 Entorno de trabajo

LML, Laboratorio de Mecánica de Lille

El LML (Laboratorio de Mecánica de Lille) es una agrupación de entidades destinada a la investigación formada por la entidad CNRS, la Universidad de Lille 1, el Ecole Centrale de Lille y el ENSAM. Este laboratorio reagrupa más de 200 personas. Se trata de un laboratorio pluridisciplinar centrado en el ámbito de la mecánica, la ingeniería civil y la mecánica de fluidos. La agrupación está formada por 5 unidades de tamaño considerable: dos de mecánica de fluidos, dos de mecánica de sólidos y uno de geomateriales. Al estar formado por distintas universidades cuenta con un amplio despliegue de centros de investigación.

El LML es una de las pocas unidades de investigación que reagrupa de manera equilibrada expertos en mecánica de sólidos y mecánica de fluidos, lo que convierte este laboratorio en el lugar perfecto para llevar a cabo un proyecto. La gran variedad de profesionales de distintas áreas que trabajan en estos laboratorios ofrece la posibilidad de obtener distintos puntos de vista, lo cual ha resultado ser muy interesante durante la realización del proyecto.



École Centrale de Lille

El Ecole Centrale de Lille es una universidad francesa que da mucha importancia a toda la actividad relacionada con el sector I+D+I. Todos los años, dan la oportunidad a un número determinado de alumnos de realizar proyectos específicos, con el apoyo de tutores y profesores. Este centro proporciona tanto los laboratorios como los materiales necesarios para cada proyecto. Es en esta universidad donde se ha llevado a cabo el proyecto, la ayuda de Mademoiselle Laure Astruc, estudiante de doctorado de la universidad y Monsieur Mathias Brieu, especialista en ingeniería biomecánica e investigador de la universidad.



Capítulo 8

Conclusión

La realización de este proyecto ha sido una experiencia muy enriquecedora. Durante el transcurso de este proyecto, he adquirido conocimientos tanto técnicos como de organización de proyectos.

Haber tenido la posibilidad de trabajar a diario con profesionales del mundo de la mecánica y de la biología ha sido una gran oportunidad para mí. No solo he adquirido nuevos conocimientos, si no que también he podido conocer de primera mano el trabajo que es llevado a cabo en los laboratorios de investigación. Ha sido una primera toma de contacto con el mundo del I+D+I, pudiendo dirigir un proyecto innovador e interesante contando con la gran ayuda de mis tutores, que han estado siempre a mi disposición.

Por otra parte, llevar a cabo un proyecto de forma autónoma me ha ayudado a desarrollar mis habilidades de organización, gestionando el tiempo destinado a cada tarea y decidiendo el transcurso del proyecto.

Desde un punto de vista técnico, he podido adquirir buenas habilidades en diseño de prototipos en 3D. Al haber utilizado la plataforma Onshape diariamente, he podido aumentar mis conocimientos en esta materia, así como adquirir cierta facilidad en la realización y modificación de piezas 3D.

En conclusión, la realización de este proyecto ha sido una experiencia muy positiva, ya que ha supuesto un continuo aprendizaje tanto de aspectos técnicos como generales. Haber realizado un proyecto de manera individual me ha permitido mejorar diferentes habilidades personales y profesionales, que son fundamentales tanto en el mundo académico como en el mundo profesional.

Bibliografía

ZWICK, sistemas de ensayos de materiales de Zwick “Estudio de tracción uniaxial y biaxial”
<http://www.zwick.es/>

ZORTRAX, “3D Printing solutions for Professionals” *<https://zortrax.com>*

TAPICERÍA CARRASCO, “Estudio de resistencia al estallido” *<http://www.tapiceriacarrasco.com/2015/09/pruebas-de-calidad-de-los-tejidos-ii.html>*

C. Jayyosi, M. Coret, K. Bruye`re-Garnier “Characterizing liver capsule microstructure via in situ bulge test coupled with multiphoton imaging “

C. Jayyosi, Tesis doctoral de la Universidad de Lyon “Caractérisation mécanique et microstructurale du comportement à rupture de la capsule de Glisson pour la prédiction du risque de lésions des tissus hépatiques humains ”

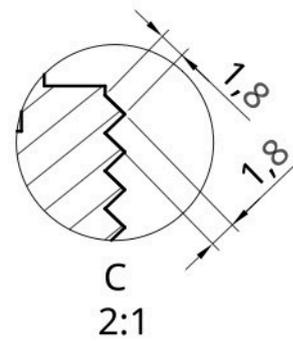
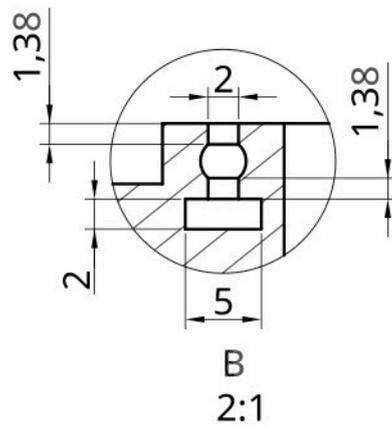
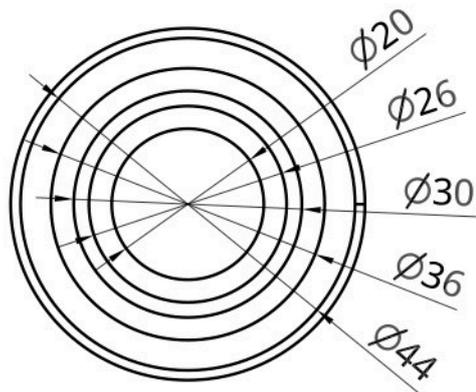
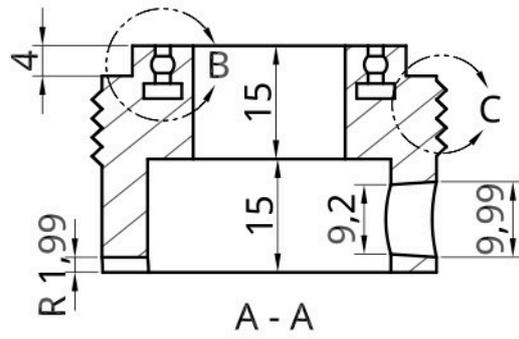
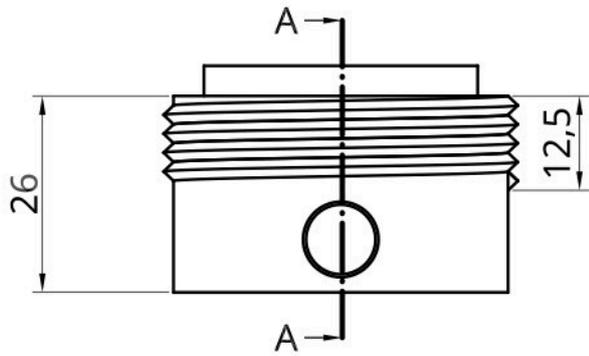
ECURED, tejidos biológicos *https://www.ecured.cu/Tejido_biológico*

Universidad de Barcelona, Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno (ABS) *<http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/acrilonitrilo-butadieno-estireno-abs>*

Anexo 1:

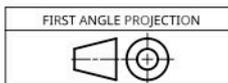
Planos del prototipo

En este anexo se encuentran todos los planos de las piezas realizadas para este proyecto.
Las medidas se expresan en milímetros.



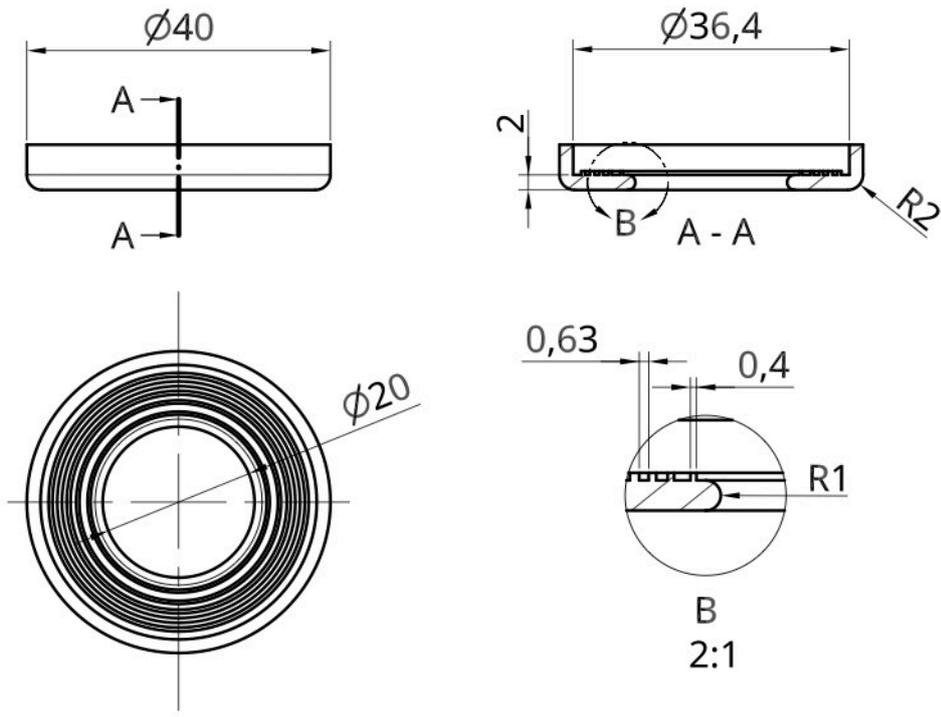
| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|----------|---------------|-----------|------------|
| DRAWN | Marta Novella | | 28-05-2018 |
| CHECKED | | | |
| APPROVED | | | |
| | | | |

| | | | |
|-------|---------|-----------------|--|
| TITLE | | PIEZA PRINCIPAL | |
| SIZE | DWG NO. | | |
| A4 | 1 | REV. - | |



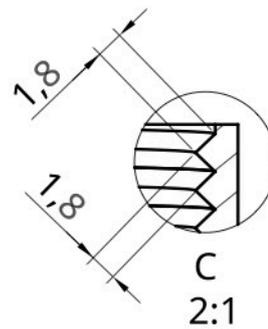
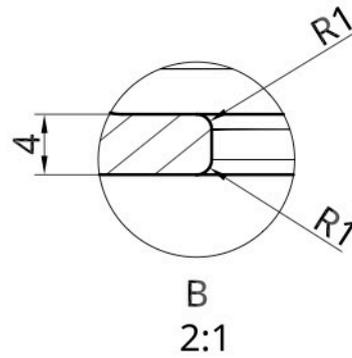
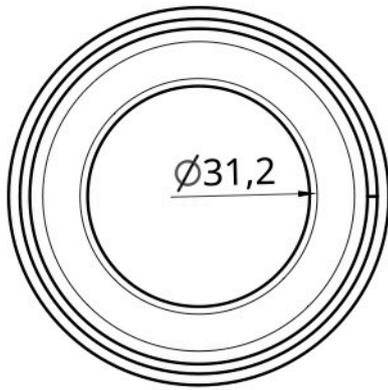
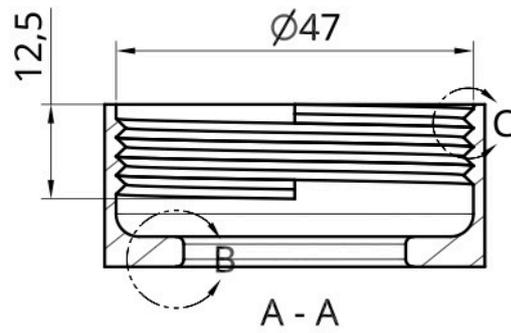
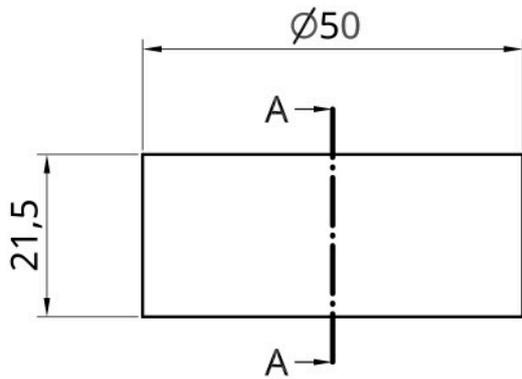
| | |
|----------|------------|
| MATERIAL | FINISH |
| ABS | 28-05-2018 |

| | | |
|-------|--------|--------|
| SCALE | WEIGHT | SHEET |
| 1:1 | | 1 of 1 |

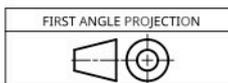


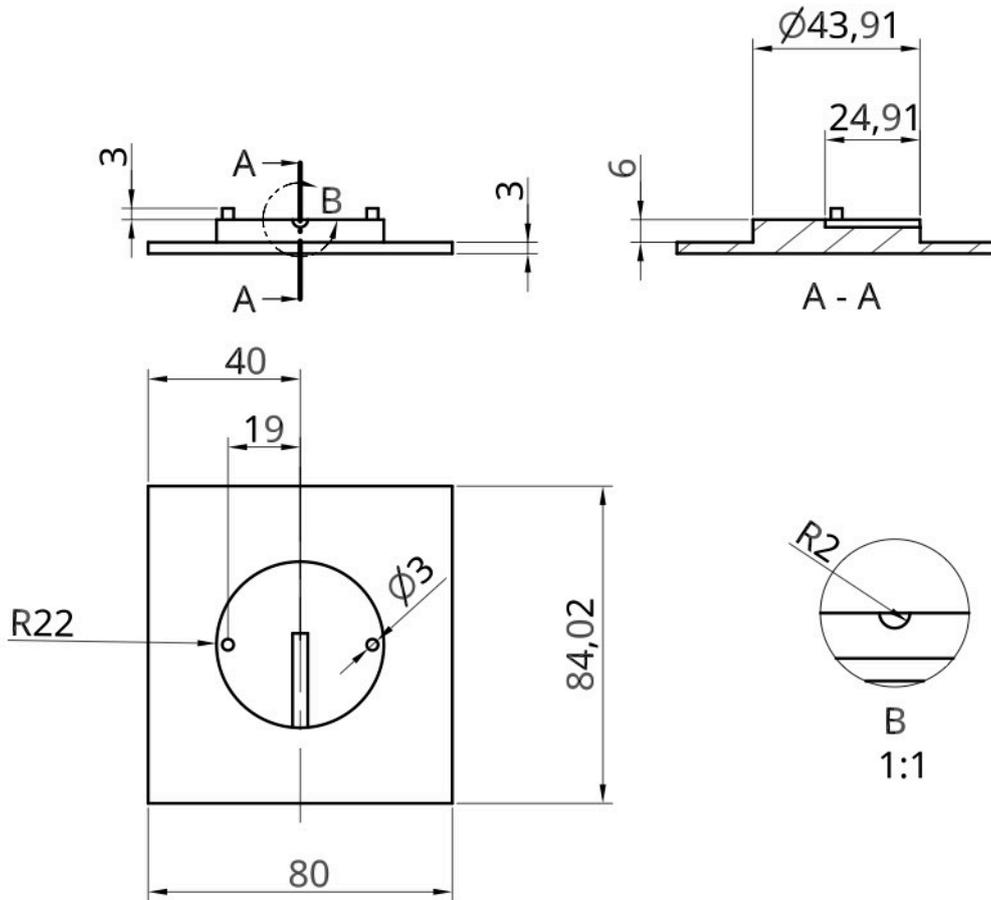
| | NAME | SIGNATURE | DATE | | |
|----------|---------------|-----------|------------|---------------------------------------|--|
| DRAWN | Marta Novella | | 28-05-2018 | TITLE PRIMERA TAPA SUPERIOR | |
| CHECKED | | | | | |
| APPROVED | | | | | |
| | | | | | |

| | | | | | |
|----------------------------|----------|------------|-------|---------|--------|
| FIRST ANGLE PROJECTION | MATERIAL | FINISH | SIZE | DWG NO. | REV. |
| | ABS | 28-05-2018 | A4 | 2 | - |
| | | | SCALE | WEIGHT | SHEET |
| | | | 1:1 | | 1 of 1 |

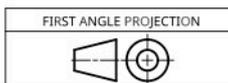


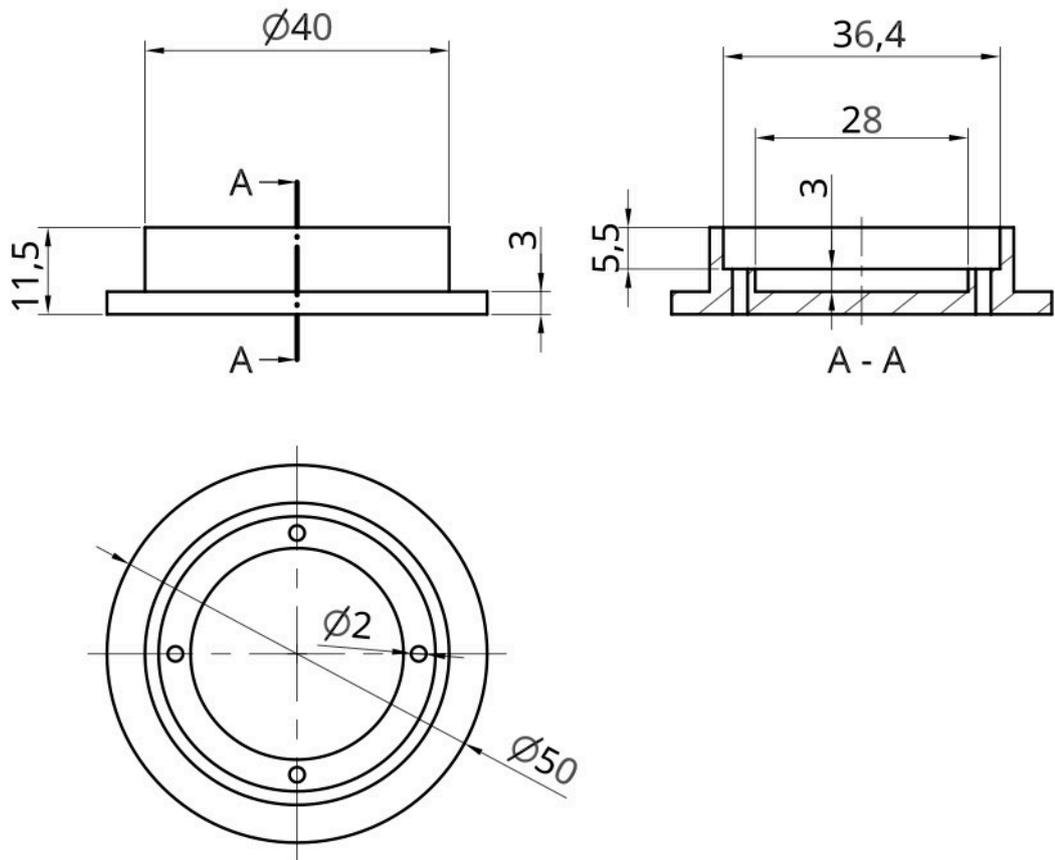
| | NAME | SIGNATURE | DATE | | | |
|----------|---------------|------------|------------|---------------------------------------|----------|---------------|
| DRAWN | Marta Novella | | 28-05-2018 | TITLE SEGUNDA TAPA SUPERIOR | | |
| CHECKED | | | | | | |
| APPROVED | | | | | | |
| | | | | | | |
| MATERIAL | | FINISH | | SIZE | DWG NO. | REV. |
| ABS | | 28-05-2018 | | A4 | 3 | - |
| | | | | SCALE | WEIGHT | SHEET |
| | | | | 1:1 | | 1 of 1 |





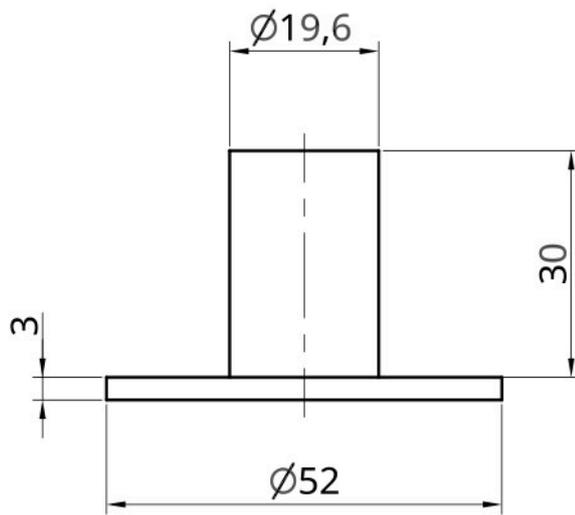
| | NAME | SIGNATURE | DATE | | | |
|----------|---------------|------------|------------|-------------------------------|---------|--------|
| DRAWN | Marta Novella | | 28-05-2018 | TITLE TAPA INFERIOR | | |
| CHECKED | | | | | | |
| APPROVED | | | | | | |
| | | | | | | |
| MATERIAL | | FINISH | | SIZE | DWG NO. | REV. |
| ABS | | 28-05-2018 | | A4 | 4 | - |
| | | | | SCALE | WEIGHT | SHEET |
| | | | | 1:2 | | 1 of 1 |





| | NAME | SIGNATURE | DATE | | |
|----------|---------------|-----------|------------|--------------------------------|--|
| DRAWN | Marta Novella | | 28-05-2018 | TITLE MOLDE SUPERIOR | |
| CHECKED | | | | | |
| APPROVED | | | | | |
| | | | | | |

| | | | | | |
|------------------------|----------|------------|-----------|---------|--------------|
| FIRST ANGLE PROJECTION | MATERIAL | FINISH | SIZE | DWG NO. | REV. |
| | ABS | 28-05-2018 | A4 | 5 | - |
| | | | SCALE 1:1 | WEIGHT | SHEET 1 of 1 |



| | NAME | SIGNATURE | DATE | | | |
|----------|---------------|------------|------------|--------------------------------|----------|--------|
| DRAWN | Marta Novella | | 28-05-2018 | TITLE MOLDE INFERIOR | | |
| CHECKED | | | | | | |
| APPROVED | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| MATERIAL | | FINISH | | SIZE | DWG NO. | REV. |
| ABS | | 28-05-2018 | | A4 | 6 | - |
| | | | | SCALE | WEIGHT | SHEET |
| | | | | 1:1 | | 1 of 1 |

