

## 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. Beatriz Quirarte Moreno

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra:

Desarrollo y elaboración de una prótesis low cost para países en vías de desarrollo o en conflicto

### 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:

- 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.
- 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.
- Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- 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:

- Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- 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:

- 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.
- Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- 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.

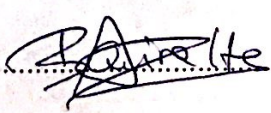
**6°. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.**

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 26 de Mayo de 2019

ACEPTA

Fdo. 

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

UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
'Desarrollo y elaboración de una prótesis low cost para países en vías de  
desarrollo y en conflicto'  
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2019/2020 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.: Beatriz Quiralte Moreno      Fecha: 26/ 05/ 2019

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

MANA  
SAENZ



NOELIA  
DÍEZ

Fdo.: (Nombre del Director) Fecha: 26. / 05. / 2019.



GRADO IEM EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

Especialidad Mecánica

# **Desarrollo y elaboración de una prótesis low-cost para países en desarrollo o en conflicto**

Autor: Beatriz Quiralte Moreno

Directores: María Ana Saenz Nuño

(Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Pontificia  
Comillas)

Noelia Díez Sánchez

(Servicio de readaptación profesional, Hospital FREMAP  
Majadahonda)

Madrid

Junio 2019





# DESARROLLO Y ELABORACIÓN DE UNA PRÓTESIS LOW-COST PARA PAÍSES EN DESARROLLO O EN CONFLICTO

Autor: Quiralte Moreno, Beatriz

Directores: Saenz Nuño, María Ana; Díez Sánchez, Noelia

Entidad Colaboradora: Hospital FREMAP de Majadahonda

## RESUMEN DEL PROYECTO

### Introducción

El objetivo principal del proyecto se fundamenta en el desarrollo de una prótesis de mano que sea accesible para personas que lo necesitan en países con escasa capacidad económica.

Por la encuesta mundial de la salud de 2004 se confirma que mientras que los países de bajos ingresos representan el 84 por ciento de la población mundial, ellos se llevan el 90 por ciento de la carga total de enfermedades.

A este tema es necesario sumarle la necesidad mundial de cuidar el medio ambiente, la lucha por la sostenibilidad y el reciclaje con el fin de que las próximas generaciones puedan seguir viviendo en nuestro planeta. En los países en vías de desarrollo sufren el impacto medioambiental de la obsolescencia programada de los países más avanzados, así como, la acumulación de sus propios residuos en montículos que pueden afectar a su salud.

Por lo que este proyecto busca sanar estos problemas proporcionando como extra una ayuda psicológica para las personas que día tras día sufren y conviven con los conflictos en sus países.

### Metodología

A partir del estudio de su situación y de los recursos que disponen se implementa una prótesis de mano, para ello se comenzó con la visión de realizar un escaneo de una mano real para que sirviera de guía, sin embargo, los pequeños movimientos humanos involuntarios hicieron imposible conseguir una imagen precisa.

Más tarde conociendo la existencia de hornos artesanales en esas zonas, se pensó en el reciclaje de plásticos y por lo tanto una ayuda sostenible.

Con el propósito de dar forma al plástico, se pensó en una primera posible solución, un molde de escayola, pero debido a que no es muy frecuente en zonas en conflicto o en vías de desarrollo se acabaría descartando.



*Molde de escayola*

La segunda posibilidad era la creación de un molde de arcilla, material que podría ser accesible en muchas de estas zonas pero que por la imposibilidad de probar el proceso en las mismas condiciones que estos países, no se puede asegurar la total eficacia de la prueba.



*Molde de arcilla*

Finalmente, mediante el reciclaje de plástico, específicamente tapones de botellas, cuya accesibilidad se pudo comprobar poniendo como ejemplo el campo de refugiados de Doro en Sudán del Sur, y el reciclaje de las latas de refresco, se consiguió un molde con propiedades mecánicas adecuadas para soportar la temperatura que necesita el plástico para adquirir un estado maleable.

Las latas de aluminio se recortaron en forma de lámina para moldearlas con unos alicates hasta conseguir la forma deseada. Así las latas se convierten en el molde que da forma a la prótesis.



*Plástico en el horno*

Se concluye con la comprobación de las propiedades mecánicas del Polietileno de alta



densidad (plástico utilizado) mediante diferentes pruebas como flexión o dureza, consiguiendo una prótesis mecánica con una línea futura de desarrollo, asegurando utilidad y cualidades adecuadas para hacer más fácil la vida de muchas personas.

## Resultados y conclusiones



*Prótesis de mano obtenida*

Las dimensiones finales de la mano son (datos en centímetros),

|             |             |
|-------------|-------------|
| Palma       | 6x5,2x1,3   |
| Dedo pulgar | 4,6x1,4x0,7 |
| Dedos       | 5,8x1,5x0,5 |

Obtenemos una prótesis mecánica con cualidades tales como una superficie lisa y agradable al tacto, con una resistencia a flexión  $\sigma_{\text{rot}} = 32,66 \text{ MPa}$  lo que permite a la prótesis soportar unos 20 kg antes de doblarse y 47 kg hasta la rotura. En caso de una posible flexión de la prótesis, el material podrá ser reutilizado para realizarla de nuevo. También como cualidad mecánica tiene una dureza  $HV = 3,52 \text{ Kp/mm}^2$ .

Así estaría lista para una línea futura en la que, mediante un proceso de unión junto con un procedimiento rústico, posiblemente del estilo de una polea, se podrá conseguir el movimiento de la prótesis al menos haciendo uso del efecto pinza. El efecto pinza consta del uso de tres de los dedos para coger cosas, adquiriendo por lo tanto una especial importancia el pulgar cuya función es esencial.



### *Efecto pinza*

Por lo que conseguimos un proceso low-cost en el que se reciclan botellas de plástico y latas haciendo uso de hornos artesanales, y debido a que lo realizarían ellos mismos, se ahorrarían el coste de ingeniería.

Lo que necesitarían exactamente sería:

- Tijeras
- Latas
- Tapones de botellas de plástico

Esto supone un presupuesto muy bajo y asequible.



### *Dimensión de mano*

Mejor Calidad de vida física y psicológica, garantizando a las futuras generaciones mejores condiciones vitales.

# DESIGN AND DEVELOPMENT OF LOW-COST PROSTHESIS

Autor: Quiralte Moreno, Beatriz

Directors: Saenz Nuño, María Ana; Díez Sánchez, Noelia

Collaborating Entities: Hospital FREMAP de Majadahonda

## SUMMARY

### Introduction

The main aim of this Project is the development of a hand prosthesis which is accessible for people needed in low income countries.

The global health research made in 2004 reported that while low income countries mean 84 percent of the worldwide population, they suffer the 90 percent of total disease load.

In addition, it is necessary to take care of the world which is facing a difficult environmental state. Fighting for sustainability and recycling should be the foundation to guarantee the living of future generations. Developing countries deal with the environmental impact produced by the programmed obsolescence from the most advanced places, as well as their own residues stack in humps which can negatively affect their health.

Due to all these reasons, the project search to heal these issues providing as an extra psychological aid for people who endure and face conflicts every day.

### Methodology

A hand prosthesis is implemented from the research about their situation and their resources. For this task, firstly a real hand was scanned in order to be a guide, however, little involuntary human movements made impossible to get a precise scan.

Later, as we know people in these areas own rustic ovens, plastics could be recycled and so it could be a sustainable aid.

With the purpose of shaping plastic, one possible solution could be a plaster mold, although, this material is not very common in the places that we are interested to support. So this was discarded.



*Plaster mold*

The second possibility was the manufacturing of a clay mold, this material could be accessible in loads of these zones, but because of the difficulty of trying the process in the same condition as developing countries, it could not provide the total efficacy of the try.



*Clay mold*

Finally, by means of plastic recycling, specifically bottle caps which are accessible for them as we could check it in the refugees' camp of Doro in South Sudan as an example, and by soda cans recycling; we acquired a mold with right mechanical properties to stand the temperatures needed in order to reach a malleable status of the plastic.

Aluminum cans are cut with a sheet shape and they are bend with pliers until we get the desired shape. So cans become in a mold which give a form to the prosthesis.



*Plastic in the oven*



As a conclusion, High density polyethylene (plastic used) mechanical properties are checked by different tests such as bending and hardness. We reached a mechanical hand prosthesis which can be developed in a future line to get movement and to make easier people's life.

## Results and Conclusions



*Hand prosthesis*

Hand final dimensions are (datum in centimeter),

|         |             |
|---------|-------------|
| Palm    | 6x5,2x1,3   |
| Thumb   | 4,6x1,4x0,7 |
| Fingers | 5,8x1,5x0,5 |

The mechanical prosthesis have some features such as an even and comfortable to touch surface, a bending resistance tension  $\sigma_{zrot} = 32,66$  MPa which allows prosthesis to support around 20 kg before bending and 47 kg until it breaks. If some of these things happen, the material can be reused to get another prosthesis. Moreover, It has a Vickers hardness of  $HV=3,52$  kp/mm<sup>2</sup>.

So a simple process is ready to obtain a prosthesis in a period of 7 hours with a future line. By, with a process of union and a rustic procedure, possibly similar to a tackle, the process movement could be reached. The main aim is the pliers' effect, the back effort is used to open and close the hand, focus on three finger with the special importance of the thumb.



*Pliers' effect exemple*

So all the low-cost material needed would be:

- Rustic oven
- Plastic caps of bottles
- Aluminum cans
- Scissors

Very low and affordable Budget with no industrial cost because they develop their own prosthesis.

Better lifestyle quality not only physical, but psychological, it guarantee better health condition for the future generations.



GRADO IEM EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

Especialidad Mecánica

# **Desarrollo y elaboración de una prótesis low-cost para países en desarrollo o en conflicto**

Autor: Beatriz Quiralte Moreno

Directores: María Ana Saenz Nuño

(Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Pontificia Comillas)

Noelia Díez Sánchez

(Servicio de readaptación profesional, Hospital FREMAP Majadahonda)

Madrid

Julio 2019



## Contenido

|                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| 1 PRESENTACION .....                                           | 1   |
| 1.1 Introducción .....                                         | 1   |
| 1.2 Motivación del proyecto .....                              | 2   |
| 1.3 Metodología del proyecto .....                             | 2   |
| 1.4 Objetivos .....                                            | 3   |
| 2 ESTADO DEL ARTE .....                                        | 4   |
| 2.1 Diversos países en conflicto y su historia .....           | 4   |
| 2.2 Recursos disponibles en países en vías de desarrollo ..... | 13  |
| 2.3 Prótesis en la actualidad .....                            | 14  |
| 2.4 Los Plásticos en la actualidad .....                       | 23  |
| 2.5 Fundición de plásticos .....                               | 26  |
| 2.6 Plásticos .....                                            | 27  |
| 2.7 Latas de aluminio .....                                    | 38  |
| 3 MEMORIA .....                                                | 39  |
| 3.1 Escaner en tres dimensiones .....                          | 39  |
| 3.2 Materiales de composición del molde .....                  | 45  |
| 3.2.1 Escayola .....                                           | 45  |
| 3.2.2 Arcilla .....                                            | 49  |
| 3.2.3 Reacciones .....                                         | 55  |
| 3.2.4 Reciclaje de latas .....                                 | 64  |
| 3.3 Pruebas mecánicas .....                                    | 74  |
| 3.3.1 Ensayo de tracción .....                                 | 81  |
| 3.3.2 Ensayo de Flexión .....                                  | 85  |
| 3.3.3 Ensayo de Dureza .....                                   | 103 |
| 3.3.4 Resultados .....                                         | 107 |
| 4 LINEAS FUTURAS .....                                         | 108 |
| 5 PRESUPUESTO .....                                            | 113 |
| 6 DIFUSIÓN DEL PROYECTO Y BUSQUEDA DE FINANCIÓN .....          | 120 |
| 7 CONCLUSIONES .....                                           | 120 |
| 8 AGRADECIMIENTOS .....                                        | 122 |
| 9 BIBLIOGRAFIA .....                                           | 122 |



## Figuras

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1:Clasificación por recursos .....                          | 1  |
| Figura 2:Cronograma .....                                          | 3  |
| Figura 3:Norteamérica.....                                         | 4  |
| Figura 4:Sudamérica .....                                          | 5  |
| Figura 5:África.....                                               | 6  |
| Figura 6:Europa.....                                               | 11 |
| Figura 7:Asia.....                                                 | 12 |
| Figura 8: Horno artesnaal en el Campo de Doro (Sudán del sur)..... | 14 |
| Figura 9: Reutilización de botellas en el Campo de Doro.....       | 14 |
| Figura 10: Desarrollo del pie .....                                | 15 |
| Figura 11:Ensamblaje del pie .....                                 | 15 |
| Figura 12: Recubrimiento del pie.....                              | 16 |
| Figura 13: Introducción del pie al horno .....                     | 16 |
| Figura 14: Pierna de polietileno .....                             | 16 |
| Figura 15: Pie de Jaipur finalizado.....                           | 17 |
| Figura 16: Prótesis balance .....                                  | 18 |
| Figura 17: Prótesis Dinámica.....                                  | 19 |
| Figura 18: Prótesis de impacto.....                                | 20 |
| Figura 19: Mano Biónica.....                                       | 20 |
| Figura 20: Michelangelo.....                                       | 21 |
| Figura 21: Axonhook.....                                           | 21 |
| Figura 22: mamyofacil .....                                        | 21 |
| Figura 23: Sistema protésico de mano .....                         | 22 |
| Figura 24: Prótesis electrónica.....                               | 22 |
| Figura 25: Estadísticas 1.....                                     | 24 |
| Figura 26: Estadísticas 2.....                                     | 26 |
| Figura 27: Punto de fusión del ftalato de polietileno .....        | 29 |
| Figura 28: HDPE.....                                               | 33 |
| Figura 29: Máquina dimensional FARO .....                          | 39 |
| Figura 30: Inicio Geomagic .....                                   | 39 |
| Figura 31: Coordinación de los ejes.....                           | 40 |
| Figura 32: Proceso de escaneo .....                                | 40 |
| Figura 33: Pieza escaneada.....                                    | 41 |
| Figura 34: Control de un escaneo adecuado .....                    | 41 |
| Figura 35: Eliminación de puntos .....                             | 42 |
| Figura 36: Sombreado de puntos .....                               | 42 |
| Figura 37: Visualización después del sombreado .....               | 43 |
| Figura 38: Barra de reducción de ruido.....                        | 43 |
| Figura 39: Reduciendo ruido .....                                  | 44 |
| Figura 40: Ampliación.....                                         | 44 |
| Figura 41: Recursos para realizar escayola .....                   | 45 |
| Figura 42: Escayola Beissier.....                                  | 46 |

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| Figura 43: Recipiente para realizar la mezcla.....             | 46 |
| Figura 44: Colocación de la mano en el proceso .....           | 47 |
| Figura 45: Prueba en la penultima cara .....                   | 47 |
| Figura 46: Resultado final de una parte del molde .....        | 48 |
| Figura 47: Segunda parte del molde.....                        | 48 |
| Figura 48: Pasta para moldear PLUS .....                       | 49 |
| Figura 49: Primera parte del molde para la mano izquierda..... | 50 |
| Figura 50: Molde agrietado .....                               | 50 |
| Figura 51: Cierre de la grieta .....                           | 51 |
| Figura 52: Primera parte con talco .....                       | 51 |
| Figura 53: Segunda parte agrietada.....                        | 51 |
| Figura 54: Arreglo de la segunda parte .....                   | 52 |
| Figura 55: Cazo con agua hirviendo .....                       | 52 |
| Figura 56: Pieza de pasta reaccionando al agua hirviendo ..... | 53 |
| Figura 57: Cartón con forma del recipiente.....                | 53 |
| Figura 58: Silueta de la mano en el cartón .....               | 54 |
| Figura 59: Silueta recortada.....                              | 54 |
| Figura 60: Segundo molde.....                                  | 55 |
| Figura 61: Horno de sobremesa .....                            | 56 |
| Figura 62: Recortando tapones .....                            | 56 |
| Figura 63: Temperatura del horno.....                          | 57 |
| Figura 64: Listo para fundir .....                             | 57 |
| Figura 65: Primera fase de la fundición del plástico.....      | 58 |
| Figura 66: Segunda fase de la fundición .....                  | 58 |
| Figura 67: Resultado después de la segunda fase .....          | 59 |
| Figura 68: Ultima fase de fundición.....                       | 59 |
| Figura 69: Plástico fundido.....                               | 60 |
| Figura 70: Molde de pasta pasado por el horno .....            | 60 |
| Figura 71: Molde con trozos de Plástico .....                  | 61 |
| Figura 72: Cara posterior de las pruebas realizadas .....      | 61 |
| Figura 73: Cara frontal de las pruebas realizadas .....        | 62 |
| Figura 74: Lateral moldeado.....                               | 62 |
| Figura 75: Frontal moldeado.....                               | 62 |
| Figura 76: Alicates y molde.....                               | 63 |
| Figura 77: Composición de la palma.....                        | 63 |
| Figura 78: Composición de los dedos .....                      | 63 |
| Figura 79: Probando la primera mano de plástico .....          | 64 |
| Figura 80: Masa después de la fundición .....                  | 64 |
| Figura 81: Cortando la lata .....                              | 65 |
| Figura 82: doblaje de la lata.....                             | 65 |
| Figura 83: Primer ejemplo de doblaje .....                     | 66 |
| Figura 84: Preparado para fundir .....                         | 66 |
| Figura 85: masa a fundir .....                                 | 67 |
| Figura 86: Reutilizando pruebas .....                          | 67 |
| Figura 87: Introduciendo en el horno .....                     | 68 |
| Figura 88: Pieza para presionar.....                           | 68 |
| Figura 89: Obtenido en el horneado .....                       | 69 |

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| Figura 90: Resultado palma presionada .....      | 69 |
| Figura 91: Papel prensado .....                  | 70 |
| Figura 92: Recortando papel prensado .....       | 70 |
| Figura 93: proceso del molde de los dedos.....   | 71 |
| Figura 94: Doblando pestañas.....                | 71 |
| Figura 95: Primer molde para dedos .....         | 71 |
| Figura 96: Proceso de dedos con pulgar.....      | 72 |
| Figura 97: Dedos de plástico .....               | 72 |
| Figura 98: Muestra de mano .....                 | 73 |
| Figura 99: Proceso de fundición .....            | 73 |
| Figura 100: Dedos para prueba de flexión.....    | 74 |
| Figura 101: Molde de probeta.....                | 74 |
| Figura 102: Tapa del molde de probeta 1 .....    | 75 |
| Figura 103: Tapa del molde de probeta 2.....     | 75 |
| Figura 104: Desmoldando .....                    | 76 |
| Figura 105: Molde de probeta mejorado .....      | 76 |
| Figura 106: Nueva tapa .....                     | 77 |
| Figura 107: Nueva tapa parte posterior .....     | 77 |
| Figura 108: Molde con tapas .....                | 78 |
| Figura 109: Primera capa.....                    | 78 |
| Figura 110: Probeta roja .....                   | 79 |
| Figura 111: Probeta 2 .....                      | 79 |
| Figura 112: Liberación de probeta .....          | 80 |
| Figura 113: Probeta roja y azul .....            | 80 |
| Figura 114: Tomando medidas .....                | 81 |
| Figura 115: Probeta roja medidas .....           | 81 |
| Figura 116: Máquina de ensayo .....              | 82 |
| Figura 117: Curva Tensión-deformación [26] ..... | 83 |
| Figura 118: Ensayo de tracción.....              | 83 |
| Figura 119: Ensayo de tracción.....              | 84 |
| Figura 120: Molde con trozos de tapones.....     | 85 |
| Figura 121: Probeta de flexión.....              | 85 |
| Figura 122: Probeta de flexión 2.0 .....         | 86 |
| Figura 123: Probeta de flexión 2.1 .....         | 86 |
| Figura 124: Escuadra de metal.....               | 87 |
| Figura 125: Primeras botellas con agua .....     | 87 |
| Figura 126: Rellenando la botella .....          | 88 |
| Figura 127: Botellas conseguidas .....           | 88 |
| Figura 128: Probeta 1 .....                      | 89 |
| Figura 129: Probeta para flexión.....            | 89 |
| Figura 130: Teoría del proceso de flexión.....   | 90 |
| Figura 131: Alzado de la probeta .....           | 90 |
| Figura 132: Probeta 1 en proceso rústico .....   | 91 |
| Figura 133: Probeta 1 perspectiva.....           | 91 |
| Figura 134: Probeta 1 con botellas .....         | 92 |
| Figura 135: Probeta 1 antes de rotura.....       | 92 |
| Figura 136: Probeta 1 durante la rotura.....     | 93 |

|                                                  |     |
|--------------------------------------------------|-----|
| Figura 137: Probeta 1 con rotura.....            | 93  |
| Figura 138: Probeta 2 .....                      | 94  |
| Figura 139: Probeta 2 para flexión.....          | 94  |
| Figura 140: Flexión 2 .....                      | 95  |
| Figura 141: Alzado 2.....                        | 95  |
| Figura 142: Soporte de la prueba de flexión..... | 96  |
| Figura 143: Probeta 2 con barra .....            | 96  |
| Figura 144: Probeta 2 perspectiva.....           | 97  |
| Figura 145: Probeta 2 con botellas .....         | 97  |
| Figura 146: Probeta 2 en proceso rústico .....   | 98  |
| Figura 147: Probeta 2 flexionada de perfil ..... | 98  |
| Figura 148: Probeta 2 flexionada .....           | 99  |
| Figura 149: Probeta 3 .....                      | 99  |
| Figura 150: Perspectiva probeta 3.....           | 100 |
| Figura 151: Teoría de flexión 3 .....            | 100 |
| Figura 152: Alzado prueba 3 .....                | 101 |
| Figura 153: Botellas .....                       | 102 |
| Figura 154: Probeta 3 limitada.....              | 102 |
| Figura 155: Probeta 3 con rotura.....            | 103 |
| Figura 156: Identador piramidal .....            | 103 |
| Figura 157: Identador piramidal .....            | 104 |
| Figura 158: midiendo dureza .....                | 105 |
| Figura 159: Proceso de indentación .....         | 105 |
| Figura 160: Proyector .....                      | 106 |
| Figura 161: Identificando .....                  | 106 |
| Figura 162: Visualización.....                   | 107 |
| Figura 163: Prótesis mecánica .....              | 108 |
| Figura 164: Prótesis Mecánica.....               | 109 |
| Figura 165: Pinza trípode .....                  | 109 |
| Figura 166: Falange 1 .....                      | 110 |
| Figura 167: Falange 2.....                       | 111 |
| Figura 168: Falange 3.....                       | 111 |
| Figura 169: Falange 4.....                       | 112 |
| Figura 170: Prótesis de mano.....                | 121 |

## Tablas

|                                                   |     |
|---------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1: Codigo Internacional SPI.....            | 28  |
| Tabla 2: Propiedades de PET.....                  | 30  |
| Tabla 3: Propiedades mecánicas Poliestireno ..... | 37  |
| Tabla 4: Medidas probeta .....                    | 82  |
| Tabla 5: Resultados .....                         | 107 |
| Tabla 6: Cantidad de material .....               | 113 |
| Tabla 7: Aparatos utilizados .....                | 114 |
| Tabla 8: Precio unitario del material .....       | 115 |
| Tabla 9: Precio de aparatos utilizados.....       | 116 |

|                                                |     |
|------------------------------------------------|-----|
| Tabla 10: Costes por hora.....                 | 116 |
| Tabla 11: Sumas parciales por presupuesto..... | 117 |
| Tabla 12: Precio por ingeniería.....           | 118 |
| Tabla 13: Presupuesto general .....            | 119 |

# 1 PRESENTACION

## 1.1 Introducción

La vida en los países del primer mundo es más fácil que en los países en vías de desarrollo, en parte, gracias a la tecnología empleada y su desarrollo que permite la ruptura de barreras y la fácil comunicación entre estos países, además, en el ámbito de la salud y la medicina aporta recuperaciones más rápidas y posibilita enfrentarse a una situación difícil de una manera más natural.



*Figura 1: Clasificación por recursos*

Sin embargo, por cuestiones económicas principalmente, y/o bélicas, esa tecnología no es capaz de crecer en los países en vías de desarrollo o en conflicto, lo que los va aislando del resto del mundo, y en el ámbito/campo de la salud las acciones se reducen a las más básicas.

Un ejemplo es la imposibilidad, para estos Países, de amortizar el coste de una prótesis de mano que puede rondar entre los 6000 \$ [1] y, si estudiamos una prótesis diseñada en 3D, los 3500 \$; o en el mejor de los casos alrededor de los 500 \$ [2]. Además, dependerían de los países del primer mundo para su obtención.

Este proyecto tiene como objetivo conseguir desarrollar una prótesis 'low cost' de mano a partir de los recursos accesibles en países en vía de desarrollo y en conflicto, arcilla del terreno, cenizas de madera, hornos rústicos, botellas de plástico....



## *1.2 Motivación del proyecto*

La asistencia de los países en conflicto es realmente necesaria, al igual que la limpieza del planeta. Con este proyecto es posible llegar a muchos puntos críticos del mundo y hacer la vida más fácil no solo de las personas sin manos, si no, también de las generaciones futuras. Los principales factores para la elección de este proyecto se basan en tres ideas y objetivos con fines humanitarios.

1. Conseguir una mayor independencia de estos países, aunque se podría barajar la idea de prótesis impresas en 3D esto requeriría un coste que no se pueden permitir además de tener que ser importado del exterior, entre otros problemas.
2. Ayuda psicológica para estas personas que se sienten impotentes en campos de refugiados, el tener una vía de escape y un fin les ayuda a evadirse de la situación en su entorno y les aporta un sentimiento de realización personal.
3. Reciclaje y sostenibilidad, la acumulación de residuos se hace vigente en los montículos formados por desechos que cada día incrementan en los campos de refugiados, este proyecto tiene la finalidad de desarrollar las prótesis a partir de las botellas de plástico que invaden estos terrenos ayudando a la limpieza del entorno.

## *1.3 Metodología del proyecto*

A continuación, se expone una descripción del desarrollo de la prótesis con las etapas en orden cronológico.

- Conceptualización del proyecto
- Búsqueda de datos
  - Investigación sobre los campos de refugiados
  - Investigación sobre las prótesis en la actualidad
  - Investigación sobre los plásticos y su reciclaje
  - Investigación sobre posibles soluciones en los países en vías de desarrollo
- Aprendizaje de uso del escáner FARO para una posible realización de maqueta de la mano en el laboratorio de Metrología.
- Utilización de escayola para realizar un molde para la mano.
- Utilización de Arcilla para realizar el molde para la mano, de manera que pueda ser obtenido por las propias personas de los países en vías de desarrollo, ya que, sería con recursos de su zona.
- Utilización de latas de refresco y tapones de botellas de plástico en un horno de sobremesa simulando la situación de los países en conflicto.
- Realización de probetas para desarrollar los ensayos de estudios de resistencia del material.
- Realización de ensayos para las propiedades mecánicas.
  - Realización del ensayo de tracción.
  - Realización del ensayo de flexión.
  - Realización del ensayo de dureza.

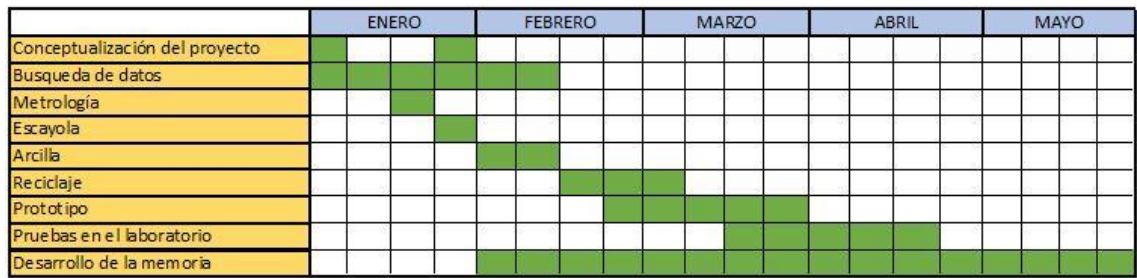


Figura 2: Cronograma

Dentro de Busqueda de datos se incluye :

- ✓ Investigación sobre los campos de refugiados
- ✓ Investigación sobre las prótesis en la actualidad
- ✓ Investigación sobre los plásticos y su reciclaje
- ✓ Investigación sobre posibles soluciones en los países en vías de desarrollo

## 1.4 Objetivos

El objetivo principal del proyecto es el desarrollo de una prótesis de mano low cost en países en conflicto o en vías de desarrollo. Para ello se divide el proyecto en una serie de objetivos:

- OBJETIVO 1 :  
Obtener un procedimiento de fabricación viable para el desarrollo de prótesis de mano mecánica accesible en los países en vías de desarrollo.
- OBJETIVO 2 :  
Caracterizar las prestaciones mecánicas de la prótesis con el material disponible.
- OBJETIVO 3 :  
Obtener un prototipo de prótesis mecánica de mano

## 2 ESTADO DEL ARTE

Para la realización del proyecto fue necesario desarrollar diferentes estudios que nos permiten conocer que países necesitan específicamente esta ayuda, los materiales y recursos disponibles y las características de estos.

### 2.1 Diversos países en conflicto y su historia

Se desarrolló una investigación sobre los países que han sufrido a lo largo de su historia hechos bélicos o perjudiciales que han marcado su estado en la actualidad. Estos estudios muestran el alto porcentaje de población mundial en situaciones adversas a los que se podría proporcionar ayuda con el proyecto. [11]

#### América



Figura 3:Norteamérica



Figura 4:Sudamérica

- Haití :

Tras la salida del expresidente debido a que el país estaba tomado por un grupo rebelde, fueron desplegadas consecutivamente una Fuerza Multinacional Provisional. Aunque se han registrado avances hacia una mayor estabilidad política, social y económica, todavía persisten varios problemas, como las acusaciones de violaciones de derechos humanos contra la misión de mantenimiento de la ONU, las altas tasas de delincuencia, el control que ejercen bandas armadas en determinadas áreas urbanas, las exigencias de grupos de antiguos militares para reinstaurar las Fuerzas Armadas o los altos niveles de corrupción, pobreza y exclusión social.

- Perú:

Permanecen Facciones remanentes de Sendero Luminoso (guerrilla que operó entre 1980 y 2000), supuestamente vinculadas al narcotráfico, y a las demandas de varias regiones y colectivos –mineros o campesinos productores de hoja de coca- que exigen mayor atención por parte del Estado.

- **Colombia:**

En la década de los años setenta aparecen varios movimientos que acaban negociando con el Gobierno, impulsando una nueva Constitución (1991) que establece los fundamentos de un Estado Social de Derecho. A finales de los años ochenta surgen varios grupos de autodefensa, paramilitares instigados por sectores de las Fuerzas Armadas, de empresarios y de políticos tradicionales. El informe de 2013 sobre la señaló que entre 1958 y 2012 murieron combatientes y civiles. En 2016 se

firmó el cese del fuego bilateral entre el estado y la FARC pero aún hay guerrilleros dispuestos a seguir luchando.

## África

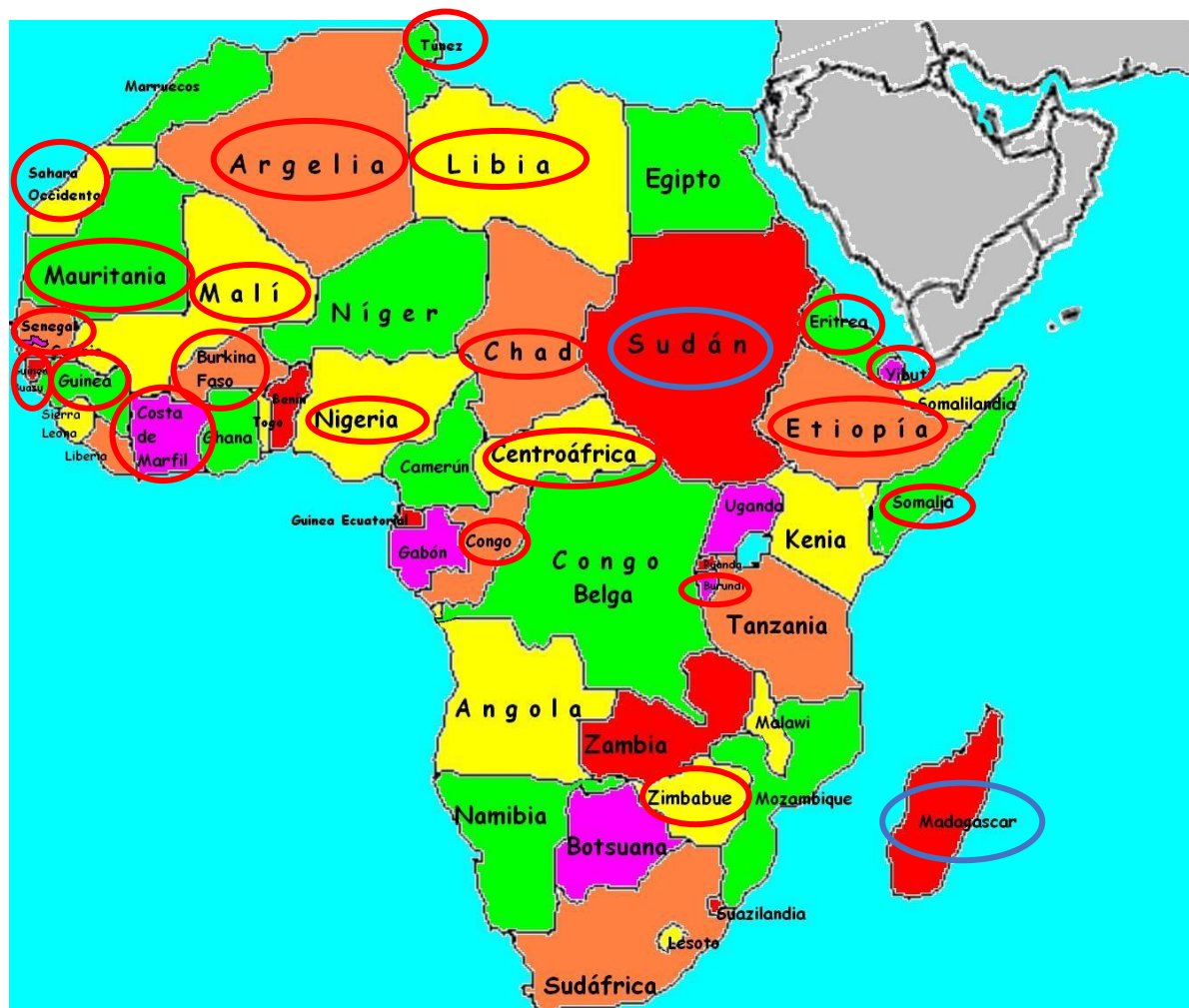


Figura 5: África

### - Túnez:

Desde su independencia en 1956, Túnez durante varias décadas se sentó en las bases del régimen autoritario. En diciembre de 2010 el estallido de una revuelta popular motivó la caída del Gobierno e inspiró movilizaciones contra gobiernos autoritarios de todo el mundo árabe. Desde entonces, Túnez se ha visto inmerso en un accidentado proceso de transición en el que se han hecho evidentes las tensiones entre los sectores seculares e islamistas del país.

- Sáhara Occidental:

Las raíces del conflicto se encuentran en el fin del dominio colonial español en el Sáhara Occidental a mediados de los setenta. En 2007, Marruecos presentó a la ONU un plan para la autonomía del Sáhara Occidental, pero el Frente POLISARIO reclama la celebración de un referéndum que incluya la opción de la independencia.

- Mauritania:

Los golpes de Estado han sido la forma habitual de alternancia de poder en el país desde su independencia en 1960. Tras un Gobierno de más de 20 años caracterizado por derivas autoritarias y represivas, sufren un par de golpes de estado en el año 2005 y 2008. Desde entonces, persisten las tensiones entre el oficialismo y la oposición. En los últimos años la situación en el país también ha estado marcada por las acciones del grupo de origen argelino AQMI en su territorio, y por las ofensivas del Gobierno contra esta organización en países vecinos.

- Senegal:

El enfrentamiento entre las Fuerzas Armadas y el MFDC tuvo su máxima expresión de violencia durante los años noventa, concluyendo en 2004 con la firma de los acuerdos de paz por su máximo líder. Desde entonces han proseguido los enfrentamientos de baja intensidad entre diferentes facciones que no reconocen el acuerdo alcanzado con el Gobierno y que luchan por aumentar su control sobre el territorio.

- Guinea-Bisau:

La historia de Guinea-Bissau desde su independencia de Portugal en 1974 incluye una sucesión de guerras civiles y golpes de Estado que han impedido al país alcanzar la estabilidad política además de abortar cualquier intento de funcionamiento democrático. La gran influencia de las Fuerzas Armadas sobre la realidad política del país y los enfrentamientos entre partidos que representan a diferentes grupos étnicos suponen un gran obstáculo para el logro de la paz.

- Guinea:

Tras un nuevo golpe de estado, en 2010 los comicios se vieron empañados por la violencia y por el auge de los sentimientos identitarios enfrentados entre las principales comunidades étnicas del país. La ausencia de una estrategia para la reconciliación nacional y los obstáculos a la reforma del sector de seguridad, con un Ejército omnipresente en la actividad política guineana, mantienen al país en una situación de inestabilidad.

- Costa de marfil:

La discriminación política, económica y social hacia los marfileños originarios del norte del país se encuentra en la base de la grave crisis iniciada en el país en los años ochenta. Con un primer conflicto en 2002 y la reactivación de la violencia armada en 2010 tras las elecciones presidenciales, la estabilidad en el país continúa en ciernes. La presencia de gran número de armas ligeras, la persistencia de la violencia en el oeste y la inestable frontera con Liberia, donde permanecen grupos de mercenarios, ponen en peligro una paz frágil.

- Burkina Faso:

Burkina Faso se ha enfrentado desde su independencia en 1960 a diversos golpes militares, generándose una grave crisis de desconfianza entre el Gobierno y sectores diversos.

- Republica del Congo:

El actual conflicto tiene sus orígenes en el golpe de Estado que se llevó a cabo en 1996, esto dio lugar a una serie de acontecimientos bélicos que se intentarían solucionar por unos acuerdos de paz. El incumplimiento de los acuerdos de paz de 2009 propició en 2012 la desertión de los militares del antiguo grupo armado CNDP integrados en el Ejército congolés, que organizaron una nueva rebelión, llamada M23, apoyada por Rwanda.

- Sudán:

Sudán del sur es un país de África situado en la zona oriental en el que la extensión del conflicto armado entre las Fuerzas Armadas Sudanesas (SAF) y el Ejército de Liberación del Pueblo de Sudan-Norte (SPLA-North) ha provocado grandes pérdidas humanas, una gran destrucción del territorio ha llevado consigo masivos desplazamientos de la población civil hacia Etiopía y hacia el Estado de UpperNile en Sudán del Sur.

- Eritrea:

El régimen de partido único que gobierna Eritrea desde 1993, liderado por una antigua insurgencia que contribuyó a la caída del régimen de Mengistu Haile Mariam en Etiopía en 1991, ha dirigido el país con un marcado autoritarismo y ha silenciado y reprimido a la oposición política. El Gobierno se enfrenta a una serie de movimientos opositores que reclaman avances en la democracia y la gobernabilidad del país, respeto por las minorías étnicas, un mayor grado de autogobierno.

- **Yibuti:**

Creado artificialmente por el colonialismo, en base a razones estratégicas, el nuevo Estado depende de su puerto como principal recurso a través del cual Etiopía canaliza gran parte de su comercio exterior. Su situación es también estratégica para el control del tráfico marítimo en el Mar Rojo y su proximidad a Somalia es un acicate para el establecimiento de misiones militares para controlar desde Djibouti las acciones de piratería en las aguas somalíes, así como para disponer de una presencia militar en el continente africano. En 1994 el núcleo mayoritario del FRUD alcanzó un acuerdo de paz, pero algunos sectores minoritarios de la coalición armada han permanecido activos desde entonces.

- **Etiopía:**

El régimen que gobierna Etiopía desde 1991 se enfrenta a una serie de movimientos opositores que reclaman avances en la democracia y la gobernabilidad del país, así como un mayor grado de autogobierno.

- **Zimbaue**

Tras sufrir una crisis en la que se registraron altos índices de violencia, los múltiples desacuerdos entre las formaciones políticas han frenado los avances en este terreno, mientras las demandas de la oposición para una reforma del sector de seguridad siguen desatendidas.

- **Madagascar**

Desde el fin del régimen comunista en los años noventa la isla ha vivido procesos de inestabilidad política intermitentes. Las dificultades para lograr un acuerdo de reparto del poder entre los principales líderes políticos han llevado a la parálisis institucional, produciéndose brotes de violencia esporádicos.

- **Argelia**

El conflicto armado ha enfrentado a las fuerzas de seguridad y a distintos grupos islamistas desde comienzos de los noventa, tras un ascenso del movimiento islamista en Argelia.

- **Mali**

La comunidad tuareg que puebla el norte de Malí vive en una situación de marginación y subdesarrollo que desde tiempos coloniales ha alimentado diversas revueltas y la organización de frentes armados contra el poder central.

- **Nigeria**

La secta islamista BokoHaram reclama el establecimiento de un Estado islámico en Nigeria y considera a las instituciones públicas nigerianas como corruptas y decadentes. Pese a la fuerte represión a la que han sido sometidos sus miembros, el



grupo armado continúa en activo y el alcance de sus ataques se ha ampliado, agravando la situación de inseguridad en el país con un elevado impacto en la población civil.

- **Chad**

La oposición compuesta por diversos grupos y militares desafectos al régimen se une al antagonismo entre tribus árabes y poblaciones negras en la zona fronteriza entre Sudán y Chad. La firma de un acuerdo entre ambos países en enero de 2010 desencadenó el paulatino retorno y desmovilización de los grupos armados chadianos, aunque todavía existen algunos focos de resistencia.

- **Burundi**

Tras la violencia etnopolítica vivida por el país tras su independencia, la evolución autoritaria del Gobierno tras las elecciones de 2010, tachadas de fraudulentas por la oposición, ha ensombrecido el proceso de reconciliación y provocado la movilización de la oposición política. Esta situación se ha visto agravada por los planes de reforma de la Constitución por parte del Gobierno.

**Países en peor situación**

- **Sudán del sur**

En 2011 Sudán del Sur declaró su independencia como colofón del proceso de paz iniciado con la firma del Acuerdo de Paz Global en 2005. Sin embargo, la creación del nuevo Estado no puso fin a las desavenencias por asuntos pendientes de resolución entre ambos Gobiernos. Entre los principales obstáculos para la estabilidad se encuentra la disputa por el enclave petrolero y la falta de acuerdo en torno a la explotación de los recursos petroleros.

- **Libia**

Tras la represión surgió un conflicto interno motivando una escalada de violencia que derivó en una guerra civil y en una intervención militar internacional. Después de la captura y ejecución de Gaddafi, en el país persisten elevados niveles de violencia derivados de múltiples factores.

- **República centroafricana**

La violencia y la inseguridad causada por los ataques del LRA contra la población civil, el secuestro de menores para engrosar sus filas y los enfrentamientos entre el grupo armado y las Fuerzas Armadas (junto a las milicias de autodefensa) han provocado la muerte de unas 200.000 personas y el desplazamiento forzado de alrededor de dos millones en el momento más álgido del conflicto. Entre 2006 y 2008 se celebró un proceso de paz, aunque. En noviembre de 2011 la UA autorizó la creación de una fuerza regional transfronteriza compuesta por contingentes militares de estos tres países que se desplegó en septiembre de 2012 y que cuenta con el apoyo logístico de EEUU.

- **Somalia**

El conflicto armado y la ausencia de autoridad central efectiva en el país tienen sus orígenes en 1988, cuando una coalición de grupos opositores se rebeló contra el poder dictatorial y tres años después consiguieron derrocarlo. Esta situación dio paso a la lucha dentro de esta coalición para ocupar el vacío de poder, que ha provocado la destrucción del país y la muerte de más de 300.000 personas. Los diversos procesos de paz para intentar instaurar una autoridad central han tropezado con numerosas dificultades.

Europa

*Figura 6: Europa*

- Ucraina

afrenta una crisis sociopolítica de gran envergadura y un conflicto armado en zonas del este del país y es escenario de la crisis más grave entre Occidente y Rusia desde la Guerra Fría. La guerra, que afecta a las provincias de Donetsk y Lugansk, ha tenido un grave impacto en la población civil, especialmente en términos de desplazamiento forzado. Las partes en conflicto participan en negociaciones, lideradas por el Grupo Trilateral de Contacto (OSCE, Rusia y Ucrania).

## Asia



Figura 7:Asia

### - Israel-Palestina

El conflicto entre Israel y los diferentes actores palestinos se reinicia en el año 2000 y no será hasta los acuerdos de Oslo que la autonomía de los territorios palestinos será formalmente reconocida, aunque su implementación se verá impedida por la ocupación militar y por el control del territorio impuesto por Israel.

### - Yemen

El conflicto interno entre dos zonas diferentes se ha cobrado miles de víctimas mortales y ha provocado también masivos desplazamientos forzados de población. Los diversos intentos por buscar una salida negociada a la crisis han fracasado y las treguas suscritas en los últimos años se han roto. En un contexto de evidente internacionalización, el conflicto ha ido adquiriendo tintes sectarios y una significativa dimensión regional.

- Irak

La invasión de Irak utilizando la supuesta presencia de armas de destrucción masiva como argumento y con la voluntad de derrocar al régimen de Saddam Hussein por su vinculación terrorista llevo a que se involucrarán: tropas internacionales, Fuerzas Armadas iraquíes, empresas de seguridad privadas, milicias, grupos insurgentes, y al-Qaeda, entre otros. el derrocamiento de Hussein provocó descontento entre numerosos sectores haciendo que dinámicas de violencia persistieron, con un elevado impacto en la población civil.

- Siria

En 2011, las revueltas en la región alentaron a la población siria a pedir cambios políticos y económicos. La brutal respuesta del Gobierno desencadenó una severa crisis en el país y desembocó en el inicio de un cruento conflicto armado con un alto impacto en la población civil.

- Afganistan

En septiembre, se llegó a un acuerdo para crear un Gobierno bicéfalo. En 2011 las tropas internacionales iniciaron su retirada, que se completó a finales de 2014. Un contingente de unos 9.800 soldados permanecerá hasta diciembre de 2017 para formar y entrenar a las fuerzas afganas (6.800 bajo la misión “ResoluteSupport”, mandato de la OTAN) y otra fuerza para llevar a cabo operaciones de contraterrorismo (3.000 soldados norteamericanos, misión “FreedomSentinel”).

La Encuesta Mundial de la Salud del 2004 define la medida en que la carga de la discapacidad recae de manera desproporcionada en los países de menores ingresos: La tasa de prevalencia de la discapacidad en la población adulta es de 18 por ciento comparada con sólo un 12 por ciento en los países de ingresos más altos.<sup>2</sup> Por lo tanto, mientras que los países de bajos ingresos representan el 84 por ciento de la población mundial, ellos se llevan el 90 por ciento de la carga total de enfermedades.[25]

## *2.2 Recursos disponibles en países en vías de desarrollo*

Si visualizamos las zonas en vías de desarrollo, las primeras imágenes que vendrán a nuestra mente será terrenos ricos en arcilla, arboles de los que se puede extraer madera y posiblemente poblados con residuos plásticos y latas.

Además, entorno a los posibles materiales, se puede confirmar la existencia de hornos artesanales por las fotos obtenidas del campo de Doro en Sudán del sur con el que colabora la universidad, proporciona un medio para conseguir una prótesis.

Un horno portátil que funciona con carbón vegetal funciona de tal manera que tres kilos dan para asar durante cuatro horas. Su composición le permite alcanzar 250 grados o más



*Figura 8: Horno artesanal en el Campo de Doro (Sudán del sur)*

Teniendo en cuenta la existencia de botellas de plástico que una vez utilizadas se convierten en residuos y ensucian las tierras, realizar la prótesis reciclando estos puede ser una gran solución tanto a nivel sostenible como a nivel de recurso y con el que resulta fácil trabajar.



*Figura 9: Reutilización de botellas en el Campo de Doro*

Un proceso de reciclado o fundición del plástico de forma casera se trata de manera que pone el hornillo hasta que adquiera una textura maleable y fundida.

## *2.3 Prótesis en la actualidad*

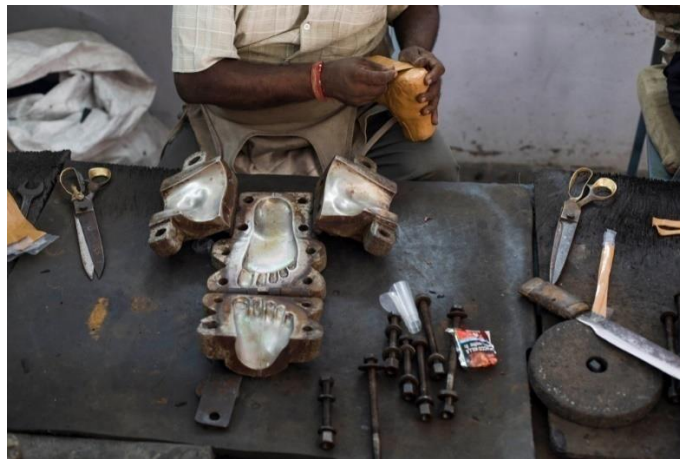
A lo largo de los años se han ido desarrollando diferentes técnicas cada vez más modernas y tecnológicas de prótesis ortopédicas tanto para pies, piernas, brazos, manos... Algunas de mayor coste y otras de menor, así se descubrieron diferentes métodos para conseguir soluciones a este problema sufrido por causas genéticas, accidentes...

## PROTESIS AL USO

En la India P. K. Sethi es el cirujano ortopédico inventor del Pie de Jaipur, prótesis de calidad cuyo precio es de 39 euros. Fue Sethi quién hace 50 años se vio involucrado en la búsqueda de una idea innovadora que pudiera cambiar la vida de los mutilados en la India, la ortopedia era muy poco valorada por los médicos por lo que tuvo que pedir ayuda a los artesanos, carpinteros o herreros.[4]

Tuvo que tener en cuenta el tipo de vida que llevaban allí, no podía ser una prótesis de 90 grados ya que no se amoldaba al tipo de vida de la India donde pasaban mucho tiempo de cuclillas, así que pensó en el caucho como material adecuado. Encontraron un proceso rápido y barato.

Aquí se observa un ejemplo de este desarrollo:



*Figura 10: Desarrollo del pie*

La pieza de caucho se ensambla a un trozo de madera que hace de talón y tobillo.



*Figura 11: Ensamblaje del pie*

El caucho es un material barato y abundante en la India.





*Figura 12: Recubrimiento del pie*

Se recubre con capas de goma.



*Figura 13: Introducción del pie al horno*

El molde se introduce en un horno a más de 200 grados.



*Figura 14: Pierna de polietileno*

Finalmente se introduce en una pierna de polietileno.



*Figura 15: Pie de Jaipur finalizado*

Este método pionero en su tiempo y entorno se puede comparar con las técnicas actuales más utilizadas en los países más evolucionados tecnológicamente. [5]

### PROTESIS COMERCIALES

El 25 y 26 de octubre de 2018 se organizó una feria ortoprotésica en Madrid con la presencia de distintos expositores que dieron a conocer lo último en calzado ortopédico, exoesqueletos y prótesis; entre muchos otros productos sanitarios.

Aquí se dejaron ver diferentes empresas enfocadas al sector protésico mostrando lo último en prótesis.

#### - **OSSUR:** [7]

Produce prótesis que presentan soluciones destinadas a diferentes tipos de población y proporciona respuestas eficaces.

Se enfoca en los diferentes tipos de impactos a los que puede estar sometido una prótesis de pie o pierna.

#### **Balance:**

Destinada al aumento de la capacidad de movimiento, así como a proporcionar mayor independencia al usuario.

Están especialmente destinadas a personas con necesidades especiales de la piel, así como diabetes, y por ello hace uso de un liner (cubierta protectora flexible y acolchada para evitar el rozamiento entre la prótesis y el muñon) que proteja la vulnerabilidad de la piel y un encaje cómodo con suspensión segura.





*Figura 16: Prótesis balance*

**Dinámicas:** Destinado para aquellas personas para mayor actividad cotidiana y se busca reducir el impacto de la amputación.

Para conseguir una suspensión eficaz, es necesario un buen liner y un encaje cómodo, proporcionando así una prótesis con movimiento fluido y natural.

Es importante que el módulo de pie tenga un gran retorno de energía.



Figura 17: Prótesis Dinámica

**Impacto:** Para aquellas personas en forma que quieren realizar esfuerzos físicos, son prótesis preparadas para soportar fuertes impactos.

Se necesitan encajes de buen ajuste y liner que proteja de las fuerzas de presión, al igual que la necesidad de un módulo de pie óptimo para las demandas rotacionales y la absorción de impactos de alto rendimiento.

Si se necesita prótesis de rodilla, esta debe permitir un movimiento dinámico y adaptable mediante un diseño lo suficientemente robusto para soportar fuerzas de alto impacto y mantener la estabilidad según sea necesario.



Figura 18: Prótesis de impacto

- **OTTOBOCK:** [8] Esta empresa lleva 90 años produciendo prótesis tanto para miembro superior, como para miembro inferior.

**Miembro superior:** Permite reemplazar las funciones básicas más importantes de apertura y cierre, y devuelve el aspecto anterior.

Disponen de una mano biónica que permite realizar las actividades básicas del día a día con 14 patrones de agarre y posiciones de mano.



Figura 19: Mano Biónica

Tiene como cualidades elementales el autoagarre, motores individuales para cada dedo, posiciones intercambiables de lugar, yema de los dedos blandos y dedos articulados.

También disponen de la mano Michelangelo. Tiene 7 formas de agarre diferente.



*Figura 20: Michelangelo*

El Axonhook destinado a trabajos manuales, dispone de un agarre seguro y preciso, es intercambiable por la mano Michelangelo.



*Figura 21: Axonhook*



*Figura 22: mamyofacil*

Se trata de una prótesis de brazo que reconoce las señales musculares permitiendo abrir y cerrar la mano.



*Figura 23: Sistema protésico de mano*

Las prótesis mioeléctricas reaccionan normalmente a las respectivas señales musculares del usuario. Las manos SensorHandSpeed y VariPlusSpeed disponen de hasta seis programas de control que permiten adaptar la prótesis de mano a las necesidades particulares del usuario, dependiendo de si el usuario puede controlar una o dos señales musculares. También se pueden ajustar la fuerza y la velocidad de agarre.

#### PROTESIS EN EL HOSPITAL FREMAP DE MAJADAHONDA



*Figura 24: Prótesis electrónica*

Pero además de las prótesis mecánicas, se encuentran aquellas con parte de la composición electrónica.

Estas prótesis combinadas constan de dos electrodos conectados al muñón amoldados por un antebrazo de plástico, y muy importante, algo que facilite la unión entre ambos.

Un electrodo estará en contacto con el nervio correspondiente al extensor del brazo y el otro con el flexor mandando señales a la prótesis que permita el movimiento de abrir y cerrar la mano. Inicialmente el paciente tendrá que acostumbrarse a la contracción realizada sin parte del brazo hasta que adquiera fluidez en el movimiento y uso de la prótesis. También es posible que alternando las contracciones se pueda conseguir el giro de la mano.

## *2.4 Los Plásticos en la actualidad*

La sociedad no es verdaderamente consciente del futuro que acecha al planeta, de cómo los objetos y materiales que se utilizan en el día a día dañan el entorno que nos sostiene y nos permite vivir y convivir.

Observando el tiempo de descomposición de los desechos humanos, los restos de comida se descomponen en 15 días, las bolsas de papel en un mes, un chicle en 5 años, una caja de leche en 30 años, pero ¿qué ocurre si nos centramos en los diferentes tipos de plástico? Un vaso de plástico tarda 50 años, las bolsas y botellas de plásticos tardan 1000 años...

El plástico nos invade. Se ha convertido en un verdadero problema para la salud y el medio ambiente. Se hace imprescindible que tanto empresas como consumidores se impliquen, pero ¿se está haciendo? OCU colabora en una encuesta dentro del marco del Proyecto de Investigación Europeo CIRC-PACK para saber hasta qué punto estamos preparados para un cambio de ciclo.

En Europa se generan **49 millones de toneladas de plástico al año**. Ante tal invasión y por razones de salud y medio ambiente, urge reducir su uso. Pero ¿se hace? ¿Se reduce en Europa el consumo de plástico y las empresas y/o fabricantes reflexionan sobre sus embalajes? [30]

Hemos querido saber cuáles son los hábitos y las percepciones que se tiene en Europa con los envases de plástico. Para ello colaboramos en la elaboración de una encuesta dentro del marco del **Proyecto de Investigación Europeo CIRC-PACK** financiado por la Comisión Europea. En él se han recogido las respuestas de los consumidores españoles y de otros ciudadanos europeos como belgas, italianos, portugueses, turcos y croatas.

La encuesta nos enseña:

- Los ciudadanos encuestados de todos los países del estudio consideran que **los plásticos domésticos son un problema al consumir muchos recursos naturales**. Y en verdad son una de las causas más importantes de contaminación en la actualidad.
- Sin embargo, **los aspectos ambientales no son el criterio principal**, según el resultado de la encuesta, por el que nos regimos en Europa cuando vamos a comprar productos cotidianos envasados como comida, detergentes o productos de

higiene. **Sigue primando la calidad y precio.** Podemos decir que aspectos ambientales como la reciclabilidad, la posible reutilización, la ausencia de sustancias contaminantes... influyen en la decisión de compra, pero solo moderadamente, excepto en Croacia y el distrito de Kartal en Turquía donde son mucho menos importantes.

- Muchos participantes se enfrentan a situaciones molestas cuando compran productos de uso cotidiano con envases de plástico como por ejemplo **el 30% de los entrevistados encuentra siempre o casi siempre embalaje en productos que no lo necesitan**; un 39% encuentra siempre o casi siempre productos con envases plásticos difíciles de comprimir y un 57% encuentra siempre o casi siempre envases plásticos que no permiten volver a usarse o rellenar.
- Ante la pregunta de si evitamos comprar o usar productos con envases de plástico, la mayoría sigue pensando que no siempre... solo de vez en cuando.

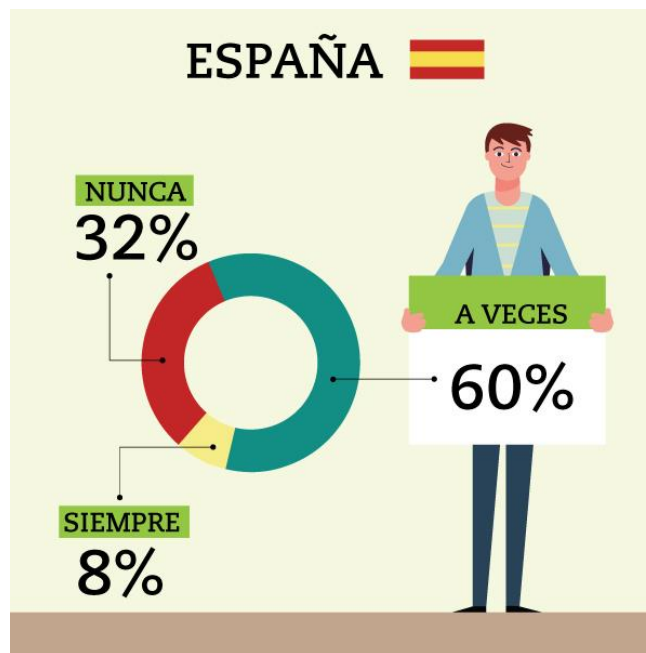


Figura 25: Estadísticas 1

#### Habitos de separación de residuos en casa

- Existe un **buen nivel de separación de residuos en los hogares** de los entrevistados de Bélgica, Italia, Portugal y España, incluyendo los plásticos, aunque encontramos diferencias entre países y tipo de residuos. En Croacia y, especialmente en Kartal (Turquía), donde los participantes se sienten peor informados, los residuos se segregan peor.
- **Los jóvenes son quienes se sienten peor informados sobre cómo separar o reciclar** (en qué contenedor, tratamiento que recibirán, tasas de reciclaje...). El nivel de estudios no parece influir en el nivel de información.
- Los motivos más frecuentes para no separar residuos domésticos o no hacerlo mejor son: **la falta de espacio** o la poca proximidad de algunos puntos de recogida. En



Croacia el 22% de los entrevistados no se sienten motivados al pensar que “la contribución individual apenas tiene importancia en el problema global”.

#### Uso de las bolsas de plástico

- Los encuestados europeos **prefieren llevarlas de casa y usar bolsas de tela o de plástico biodegradable** excepto en Kartal en donde prefieren usar las de plástico convencional.
- **La resistencia de las bolsas de plástico** es el aspecto más importante para los entrevistados, seguido por la facilidad de uso. Los croatas e italianos son los menos satisfechos con la calidad de las bolsas de plástico que ofrecen las tiendas. El tamaño y el precio quedan en un segundo nivel. Los croatas parecen ser más sensibles al precio que el resto de entrevistados.
- Normalmente dan una bolsa más resistente o reutilizable en las tiendas cuando se solicita, menos en Croacia donde un porcentaje significativo (35%) de los encuestados nos dice que la tienda no se las proporcionó, aunque la solicitaron.
- La mayoría de entrevistados en Portugal, España y Croacia están dispuestos a pagar un poco más por bolsas biodegradables en las tiendas donde compran productos cotidianos. En Bélgica y en Italia, tienen restricciones a las bolsas ligeras y no se hizo la pregunta.

#### Pensamiento sobre los nuevos materiales plásticos

- Como estos materiales tienen todavía escasa presencia en la calle es comprensible que la mayoría de los entrevistados no los consideren como primera opción de envase para productos de uso cotidiano. La excepción está en Italia donde sí que optan mayoritariamente por las alternativas biodegradables.
- Los consumidores prefieren comprar los **productos envasados en plástico biodegradable** antes que en plástico de fuente biológica o de material reciclado.
- El producto que tendría la mejor aceptación sobre los que trabaja el proyecto CIR-PACK es **el envase biodegradable para las cápsulas de café**, excepto en Croacia y Kartal donde este producto no es tan cotidiano en uso doméstico como en el resto.

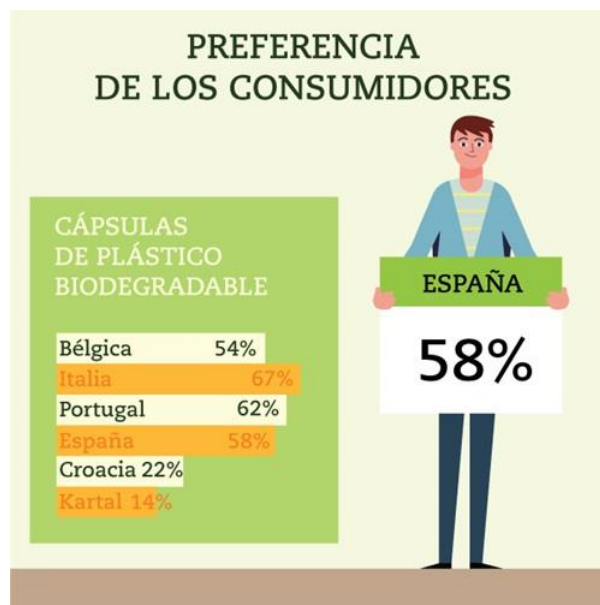


Figura 26: Estadísticas 2

- Los encuestados están dispuestos a **pagar un poco más por estos nuevos envases**, aunque también hay un porcentaje significativo de europeos que no está dispuesto a pagar nada más. El tanto por ciento que no está dispuesto a pagar algo más varía en función del país, más que entre productos.
- Separar envases de plástico biodegradable del resto de plásticos no se percibe como un problema añadido a la separación de residuos domésticos.
- La mayoría de los encuestados se considera **mal informado respecto a los nuevos materiales plásticos**. Facilitar información es clave para lograr la aceptación y lograr mejorar la sostenibilidad del uso de plásticos en nuestra vida cotidiana.

## 2.5 Fundición de plásticos

Primero se debe realizar una gestión de los residuos plásticos, para ello recolectamos botellas de plástico de amigos y familiares, así como, de cafeterías que nos prestaron su colaboración.

Antes, hubo que tener en cuenta que las botellas están compuestas por dos clases de plástico:

- Las tapas de la botella son de Polietileno de alta densidad
- El cuerpo de la botella es de ftalato de polietileno, recordamos que este tipo de plástico podía llegar a desprender vapores algo tóxicos y que el proceso de fundición es algo más complicado que el del PEAD.

Teniendo en cuenta esto, se separan los tapones y se acumulan hasta conseguir una cantidad aceptable de material, y podemos fundir el polietileno de alta densidad de tipo 2 al menos hasta llegar a un punto en el que sea moldeable.

Este proceso se lleva a cabo utilizando un recipiente de metal con papel de hornear y colocando el plástico cortado en trocitos.

- Primero se hornea a unos 180 grados durante 15 min

- Se debe repetir lo anterior 3 veces más.
- Finalmente se puede manejar con una paleta de madera.

A la hora de fundir el PET se puede utilizar de guía el mismo proceso que para el PEAD pero teniendo en cuenta que la temperatura para fundir este termoplástico es menor.

## 2.6 Plásticos

El plástico puede llegar a tardar cerca de 1000 años en desintegrarse, por eso para garantizar mayor sostenibilidad se elige este material reciclado para ser la base de la prótesis. Se puede hacer uso de las botellas de plástico que forman grandes montículos de residuos en algunos países, pero para eso primero es necesario conocer las propiedades principales.

Los Plásticos se pueden dividir según su estructura interna, así como su comportamiento [14]:

- Termoplástico:  
Estos plásticos se vuelven deformables por medio del calor pudiéndoles dar forma varias veces. Esto se debe a que las cadenas moleculares no están unidas entre sí y al calentarse se deslizan unas respecto a otras adquiriendo nuevas formas que se mantiene hasta su solidificación.
- Termoestable:  
Sufren una reacción de degradación o fraguado. Después de haber sufrido esta reacción no pueden volver a ser moldeados, se quedan con la forma adquirida.  
Esto se debe a que las cadenas se enlazan en diferentes puntos dando lugar a una especie de red, este proceso no permite que unas cadenas deslicen respecto a otras y paraliza su forma.
- Elastómeros:  
Se trata de polímeros compuestos por pocas cadenas moleculares que se encuentran en forma de ovillo. Tienen elasticidad y alargamiento.

Hay diferentes tipos de plásticos,

Los **6 tipos de plásticos más frecuentes** son los siguientes:

**PET:** Polietileno tereftalato

**riesgos:** Pueden desprender antimonio y ftalato

**PEAD:** Polietileno de alta densidad

**PEBD:** Polietileno de baja densidad

**riesgos:** Desprenden plomo y ftalatos, entre otros. También pueden emitir gases de productos químicos tóxicos.

**PVC:** Policloruro de vinilo

**PP:** Polipropileno

**PS:** Poliestireno

**riesgos:** Pueden desprender cancerígenos y alquilfenoles estrogénicos (bisfenol A)

Tabla 1: Código Internacional SPI

| Código                                                                              | Siglas             | Nombre                                                                     | Usos                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <b>PET</b>         | Tereftalato de Polietileno                                                 | Envases de bebidas gaseosas, jugos, jarabes, aceites comestibles, bandejas, artículos de farmacia y medicamentos.                                                                                |
|    | <b>PEAD (HDPE)</b> | Polietileno de alta densidad                                               | Envases de leche, detergentes, <i>Shampoo</i> , baldes, bolsas, tanques de agua y cajones para pescado.                                                                                          |
|    | <b>PVC</b>         | Cloruro de polivinilo.                                                     | Tuberías de agua, desagües, aceites, mangueras, cables, similcuero, usos médicos como catéteres y bolsas de sangre.                                                                              |
|    | <b>PEBD (LDPE)</b> | Polietileno de baja densidad                                               | Bolsas para residuos y usos agrícolas.                                                                                                                                                           |
|  | <b>PP</b>          | Polipropileno                                                              | Envases de alimentos, industria automotriz, artículos de bazar y menaje, bolsas de uso agrícola y cereales, tuberías de agua caliente, films para protección de alimentos y pañales desechables. |
|  | <b>PS</b>          | Poliestireno                                                               | Envases de alimentos congelados, aislante para heladeras, juguetes y rellenos.                                                                                                                   |
|  | <b>Otros</b>       | Resinas epoxídicas<br>Resinas fenólicas<br>Resinas amídicas<br>Poliuretano | Adhesivos e industria plástica. Industria de la madera y la carpintería. Elementos moldeados como enchufes, asas de recipientes, etc.<br>Espuma de colchones y rellenos de tapicería.            |

pero aquellos utilizados en los cuerpos de las botellas y confirmados por la página oficial de coca-cola son los PET (Tereftalato de Polietileno) cuyo riesgo es que desprenden gases de antimonio y ftalato.



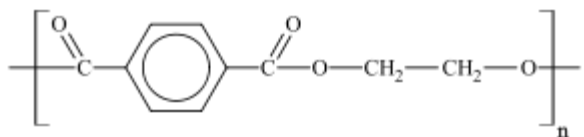
Figura 27: Punto de fusión del ftalato de polietileno

Polietileno Tereftalato, más conocido como PET, es un poliéster que forma parte de la familia de los plásticos termoformables (o termoplásticos) fácilmente moldeables cuando se le aplica el nivel de temperatura correspondiente. Por este motivo el PET puede adaptarse a cualquier forma y diseño, además de contar con un gran potencial de aplicaciones.

Actualmente es la principal materia prima para la producción de envases de agua mineral, bebidas carbónicas y aceites, el PET se está consolidando en innovadoras aplicaciones para el sector de la alimentación así como en productos de limpieza, cosméticos y farmacia.

El éxito que ha experimentado y sigue experimentado el PET se debe a sus excepcionales características y propiedades técnicas que lo han convertido en uno de los plásticos con mayor versatilidad del mercado.[15][16]

Tabla 2: Propiedades de PET

| <div style="text-align: center;"> <b>PET</b><br/>  </div> |                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Estructura química.                                                                                                                        |                             |
| Fórmula molecular                                                                                                                          | $(C_{10}H_8O_4)_n$          |
| Densidad amorfa                                                                                                                            | 1,370 g/cm <sup>3</sup>     |
| Densidad cristalina                                                                                                                        | 1,455 g/cm <sup>3</sup>     |
| Módulo de Young (E)                                                                                                                        | 2800–3100 MPa               |
| Presión( $\sigma_t$ )                                                                                                                      | 55–75 MPa                   |
| Límite elástico                                                                                                                            | 50–150%                     |
| Prueba de impacto                                                                                                                          | 3,6 kJ/m <sup>2</sup>       |
| Prueba de fractura y ruptura                                                                                                               | 14.89 Newton/m <sup>2</sup> |
| Temperatura de transición vitrea                                                                                                           | 75 °C                       |
| Punto de fusión                                                                                                                            | 260 °C                      |
| Vicat B                                                                                                                                    | 170 °C                      |
| Conductividad térmica                                                                                                                      | 0,24 W/(m·K)                |
| Coeficiente de dilatación lineal ( $\alpha$ )                                                                                              | $7 \times 10^{-5}/K$        |
| Calor específico (c)                                                                                                                       | 1,0 kJ/(kg·K)               |
| Absorción de agua (ASTM)                                                                                                                   | 0,16                        |
| Índice de refracción                                                                                                                       | 1,5750                      |
| Coste                                                                                                                                      | 0,5–1,25 €/kg               |

- Resistente al impacto
- Ligero
- Transparente
- Permeabilidad a los gases
- Efecto barrera

- Bajo consumo de energía en el proceso de transformado
- Reciclable

Los tapones de las botellas están compuestos por:

**Polietileno de alta densidad [17]**

Es aquel que vamos a utilizar para el desarrollo de nuestra prótesis.

Sus características principales son:

Densidad:

0.952 - 0.965 g/cm<sup>3</sup>

Cristalinidad:

70 - 80 %

Precio:

1.26 - 1.39 €/ kg

***Propiedades Mecánicas***

Módulo elástico:

1.07 - 1.09 GPa

Coeficiente de Poisson:

0.41 - 0.427

Resistencia mecánica a la compresión:

18.6 - 24.8 MPa

Resistencia mecánica a la flexión:

30.9 - 43.4 MPa

Resistencia mecánica a la tracción:

22.1 - 31 MPa

Tenacidad a fractura (K<sub>IC</sub>):

1.52 - 1.82 MPa·m<sup>1/2</sup>

Comportamiento a tracción:

| A la temperatura de | Alargamiento(%) |
|---------------------|-----------------|
| T <sub>amb</sub>    | 10-120%         |



Dureza:

| A la temperatura de | Vickers    |
|---------------------|------------|
| T <sub>amb</sub>    | 7.9-9.9 HV |

***Propiedades Eléctricas***

Resistividad específica:

| A la temperatura de | Resistividad específica |
|---------------------|-------------------------|
| T <sub>amb</sub>    | 1e13 - 1e17 ohm·m       |

Constante dieléctrica:

| A la temperatura de | Constante dieléctrica |
|---------------------|-----------------------|
| T <sub>amb</sub>    | 2.2 - 2.4             |

***Propiedades térmicas***

Temperatura de fusión:

130 - 137 °C

Coeficiente de dilatación térmica lineal:

| A la temperatura de | Coeficiente de expansión lineal |
|---------------------|---------------------------------|
| T <sub>amb</sub>    | 60e-6 - 110e-6 1/°C             |

Conductividad térmica:

| A la temperatura de | Conductividad térmica |
|---------------------|-----------------------|
| T <sub>amb</sub>    | 0.461 - 0.502 W/m·K   |

Capacidad calorífica específica:

| A la temperatura de | Capacidad calorífica específica |
|---------------------|---------------------------------|
| T <sub>amb</sub>    | 1.75e3 - 1.81e3 J/kg·K          |

***Propiedades ópticas***

Índice de refracción:

1.53 - 1.55

Observaciones:

Se trata de un material translúcido. Tiene menor transparencia que el LDPE.

***Propiedades Tecnológica***

Temperatura mínima de utilización:

(-82) - (-72) °C.

Temperatura máxima de utilización:

113 - 129 °C

Reciclabilidad:

Es un material reciclable

### ***Propiedades Químicas***

#### Resistencia a los ácidos:

Es muy resistente a ácidos débiles, pero menos resistente a ácidos fuertes.

#### Resistencia a los álcalis:

Tiene elevada resistencia tanto a álcalis fuertes como débiles.

#### Resistencia a los disolventes orgánicos:

Tiene una resistencia media a los disolventes orgánicos.

#### Absorción de agua:

Resistencia muy pobre frente la oxidación a 500°C.

#### Resistencia al ozono:

Es bastante resistente a la radiación ultravioleta.

#### Observaciones:

No se altera en presencia de agua dulce o salada. La absorción de agua y la permeabilidad al vapor de agua son muy bajas, pero en cambio la permeabilidad es grande respecto al N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>. Tiene una considerable sensibilidad a la tensofisuración, especialmente en presencia de tensioactivos, alcoholes, ácidos orgánicos, aceites de silicona, aceites esenciales y álcalis acuosos. Se trata de un material inflamable (norma UL94).

### ***Conformación***

#### Observaciones:

Los principales métodos de transformación en el HDPE son la extrusión-soplado (moldeado por soplado), inyección, sinterización rotacional y en lecho fluidizado.

### ***Reciclaje***

#### Observaciones:

El HDPE es un material reciclable.

IMÁGENES:



*Figura 28: HDPE*

## DESCRIPCIÓN:

Símbolo de reciclaje para el HDPE.

## ***Aplicaciones***

El HDPE tiene muchas aplicaciones en la industria actual. Más de la mitad de su uso es para la fabricación de recipientes, tapas y cierres; otro gran volumen se moldea para utensilios domésticos y juguetes; un uso también importante que tiene es para tuberías y conductos. Su uso para empaquetar se ha incrementado debido a su bajo costo, flexibilidad, durabilidad, su capacidad para resistir el proceso de esterilización, y resistencia a muchas sustancias químicas. Entre otros muchos productos en los que se utiliza el HDPE, podemos nombrar botes de aceite lubricante (automoción) y para disolventes orgánicos, mangos de cutter, depósitos de gasolina, botellas de leche, bolsas de plástico y juguetes. Para la fabricación de artículos huecos, como botellas, se usa un procedimiento parecido al de soplado del vidrio. Se usan también el moldeo por compresión y la conformación de láminas previamente formadas.

## Ventajas

Un sistema en polietileno ofrece una cantidad importante de ventajas sobre los sistemas convencionales:

- Pérdidas de carga por fricción mínimas
- No es atacada en ninguna forma por la corrosión
- Ausencia de sedimentos e incrustaciones en su interior
- Flexibilidad
- Elasticidad
- No mantiene deformaciones permanentes
- Peso reducido
- Longitudes mayores, lo cual reduce el número de uniones (menor costo) y reduce las posibilidades de fallas humanas en la instalación
- Fácil de transportar
- Larga vida útil
- Menor costo de adquisición e instalación
- Resistente a movimientos sísmicos
- Resistencia mecánica y ductilidad
- Resistente a bacterias y químicos
- El polietileno tiene también entre sus ventajas que es un producto reciclable, esto significa que puede ser utilizado por terceros para fabricar por ejemplo estibas plásticas, sillas ornamentales, macetas plásticas, etc.

## **Policloruro de vinilo**

Es una combinación química entre carbono, hidrógeno y cloro. Es un material termoplástico, es decir, que bajo la acción del calor se reblandece, y puede así moldearse fácilmente; al enfriarse recupera la consistencia inicial y conserva la nueva forma. El policloruro de vinilo o PVC (del inglés polyvinylchloride) es un polímero termoplástico.

Resistente y liviano: resistente a la abrasión, bajo peso, resistencia mecánica y al impacto. Elegido en la edificación y construcción.

Versatilidad: Puede transformarse en un material rígido o flexible, teniendo así gran variedad de aplicaciones.

Estabilidad: Se emplea extensivamente donde la higiene es una prioridad. Los catéteres y las bolsas para sangre y hemoderivados están fabricadas con PVC.

Longevidad: Es un material excepcionalmente resistente (pueden durar hasta más de sesenta años) Se comprueba en aplicaciones como tuberías para conducción de agua potable y sanitarios; marcos de puertas y ventanas en PVC.

Seguridad: Debido al cloro que forma parte del PVC, no se quema con facilidad ni arde por si solo y cesa de arder una vez que la fuente de calor se ha retirado. Se emplea para aislar y proteger cables eléctricos en el hogar, oficinas y en las industrias.

Reciclable: Facilita la reconversión del PVC.

Recuperación de energía: Tiene un alto valor energético. Cuando se recupera la energía en los sistemas modernos de combustión de residuos, donde las emisiones se controlan cuidadosamente, el PVC aporta energía y calor a la industria y a los hogares.

Buen uso de los recursos: Al fabricarse a partir de materias primas naturales: sal común y petróleo. La sal común es un recurso abundante y prácticamente inagotable. Es también un material liviano, de transporte fácil y barato.

Rentable: Bajo costo de instalación y prácticamente costo nulo de mantenimiento en su vida útil.

Aislante eléctrico: No conduce la electricidad, es un excelente material como aislante para cables. controlan cuidadosamente, el PVC aporta energía y calor a la industria y a los hogares.

Se presenta como un material blanco que comienza a reblandecer alrededor de los 80 °C y se descompone sobre 140 °C. Cabe mencionar que es un polímero por adición y además una resina que resulta de la polimerización del cloruro de vinilo o cloroetileno. Tiene una muy buena resistencia eléctrica y a la llama.

## **Polipropileno[19]**

### *Propiedades físicas*

- La densidad del polipropileno, esta comprendida entre 0.90 y 0.93 gr/cm<sup>3</sup>. Por ser tan baja permite la fabricación de productos ligeros.
- Es un material más rígido que la mayoría de los termoplásticos. Una carga de 25.5 kg/cm<sup>2</sup>, aplicada durante 24 horas no produce deformación apreciable a temperatura ambiente y resiste hasta los 70 grados C.
- Posee una gran capacidad de recuperación elástica.
- Tiene una excelente compatibilidad con el medio.

- Es un material fácil de reciclar
- Posee alta resistencia al impacto.

#### *Propiedades mecánicas*

- Puede utilizarse en calidad de material para elementos deslizantes no lubricados.
- Tiene buena resistencia superficial.
- Tiene buena resistencia química a la humedad y al calor sin deformarse.
- Tiene buena dureza superficial y estabilidad dimensional.

#### *Propiedades eléctricas*

- La resistencia transversal es superior a 10<sup>16</sup> Ω cm.
- Por presentar buena polaridad, su factor de pérdidas es bajo.
- Tiene muy buena rigidez dieléctrica.

#### *Propiedades químicas*

- Tiene naturaleza apolar, y por esto posee gran resistencia a agentes químicos.
- Presenta poca absorción de agua, por lo tanto no presenta mucha humedad.
- Tiene gran resistencia a soluciones de detergentes comerciales.
- El polipropileno como los polietilenos tiene una buena resistencia química pero una resistencia débil a los rayos UV (salvo estabilización o protección previa).
- Punto de Ebullición de 320 °F (160°C)
- Punto de Fusión (más de 160°C)

### **Poliestireno[19][20]**

El poliestireno es un plástico económico y resistente y probablemente sólo el polietileno sea más común en su vida diaria.

A escala industrial, el poliestireno se prepara calentando el etilbenceno en presencia de un catalizador para dar lugar al estireno. La polimerización del estireno requiere la presencia de una pequeña cantidad de un iniciador, entre los que se encuentran los peróxidos, que opera rompiéndose para generar un radical libre. Este se une a una molécula de monómero, formando así otro radical libre más grande, que a su vez se une a otra molécula de monómero y así sucesivamente. Este proceso en cadena finalizará por combinación de dos radicales, sean ambos radicales polímeros o bien radical polímero y otro radical del iniciador, o por abstracción de un átomo de hidrógeno de otra molécula.

## Propiedades mecánicas

Tabla 3: Propiedades mecánicas Poliestireno

| Propiedad                                          | PS cristal | PS antichoque | Comentarios                                                                                         |
|----------------------------------------------------|------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Módulo elástico en tracción (GPa)                  | 3,0 a 3,4  | 2,0 a 2,5     |                                                                                                     |
| Alargamiento de rotura en tracción (%)             | 1 a 4      | 20 a 65       | El PS cristal no es nada dúctil                                                                     |
| Carga de rotura en tracción (MPa)                  | 40 a 60    | 20 a 35       |                                                                                                     |
| Módulo de flexión (GPa)                            | 3,0 a 3,4  | 1,6 a 2,9     | El PS choque es mucho más flexible que el cristal y similar al ABS                                  |
| Resistencia al impacto Charpy (kJ/m <sup>2</sup> ) | 2          | 3 a 12        | El PS cristal es el menos resistente de todos los termoplásticos; el PS choque es intermedio        |
| Dureza Shore D                                     | 85 a 90    | 60 a 75       | El PS cristal es bastante duro, similar al policarbonato. El PS choque es similar al polipropileno. |

## Propiedades térmicas

El poliestireno "compacto" (sin inyección de gas en su interior) presenta la conductividad térmica más baja de todos los termoplásticos. Las espumas rígidas de poliestireno XPS presentan valores aún más bajos de conductividad, incluso menores de  $0,03 \text{ W K}^{-1} \text{ m}^{-1}$ , por lo que se suele utilizar como aislante térmico.

Sin embargo, tiene relativamente poca resistencia a la temperatura, ya que reblandece entre 85 y 105 °C (el valor exacto depende del contenido en aceite mineral). Cuando el poliestireno es calentado las cadenas son capaces de tomar numerosas conformaciones. Esta capacidad del sistema para deformarse con facilidad sobre su temperatura de transición vítrea permite que el poliestireno sea moldeado por calentamiento fácilmente.

## Propiedades ópticas

Mientras que el PS antichoque es completamente opaco y blanquecino debido al polibutadieno que incorpora, el PS cristal es transparente. Tiene un índice de refracción en torno a 1,57, similar al del policarbonato y el PVC.

Las mezclas de PS antichoque y PS cristal son más translúcidas pero también más frágiles cuanto más PS cristal contienen. Es posible encontrar un compromiso entre ambas

propiedades de forma que los objetos fabricados, por ejemplo vasos desechables, sean transparentes a la vez que aceptablemente resistentes.

#### *Propiedades eléctricas*

El poliestireno tiene muy baja conductividad eléctrica (típicamente de  $10^{-16} \text{ S m}^{-1}$ ), es decir, es un aislante. Por sus propiedades suele usarse en las instalaciones de alta frecuencia.

## 2.7 Latas de aluminio

Otros residuos encontrados en muchos campos de refugiados y zonas subdesarrolladas son latas de aluminio, con la finalidad de reutilizar y ayudar a la sostenibilidad podría ser un material con una amplia utilidad debido a sus siguientes características:

### [31] CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL ALUMINIO

- Es un metal ligero, cuya densidad es de  $2.700 \text{ kg/m}^3$  (2,7 veces la densidad del agua), un tercio de la del acero.
- Tiene un punto de fusión bajo:  $660^\circ\text{C}$  ( $933 \text{ K}$ ).
- El peso atómico del aluminio es de 26,9815 u.
- Es de color blanco brillante, con buenas propiedades ópticas y alto poder de reflexión de radiaciones luminosas y térmicas.
- Tiene una elevada conductividad eléctrica comprendida entre 34 y  $38 \text{ m}/(\Omega \text{ mm}^2)$  y una elevada conductividad térmica ( $80 \text{ a } 230 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ).
- Resistente a la corrosión, a los productos químicos, a la intemperie y al agua de mar, gracias a la capa de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  formada.
- Abundante en la naturaleza. Es el tercer elemento más común en la corteza terrestre, tras el oxígeno y el silicio.
- Su producción metalúrgica a partir de minerales es muy costosa y requiere gran cantidad de energía eléctrica.
- Material fácil y barato de reciclar.

### CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS.

- De fácil mecanizado debido a su baja dureza.
- Muy maleable, permite la producción de láminas muy delgadas.
- Bastante dúctil, permite la fabricación de cables eléctricos.
- Material blando (Escala de Mohs: 2-3). El duraluminio fue la primera aleación de aluminio endurecida que se conoció, lo que permitió su uso en aplicaciones estructurales.
- Para su uso como material estructural se necesita alearlo con otros metales para mejorar las propiedades mecánicas, así como aplicarle tratamientos térmicos.
- Permite la fabricación de piezas por fundición, forja y extrusión.
- Material soldable.
- Con  $\text{CO}_2$  absorbe el doble del impacto.

### 3 MEMORIA

#### 3.1 Escaner en tres dimensiones

La medición comienza en el laboratorio de metrología con el uso de una máquina dimensional, donde primero se procede al ensayo y uso del software Geomagicstudio. Aunque este programa sería demasiado caro y estaría fuera del alcance de los ciudadanos del Campo de Doro, es nuestro medio para hallar el proceso de fabricación.

Se inicia el ensayo escaneando un fémur como prueba.



Figura 29: Máquina dimensional FARO

Se abre Geomagic:

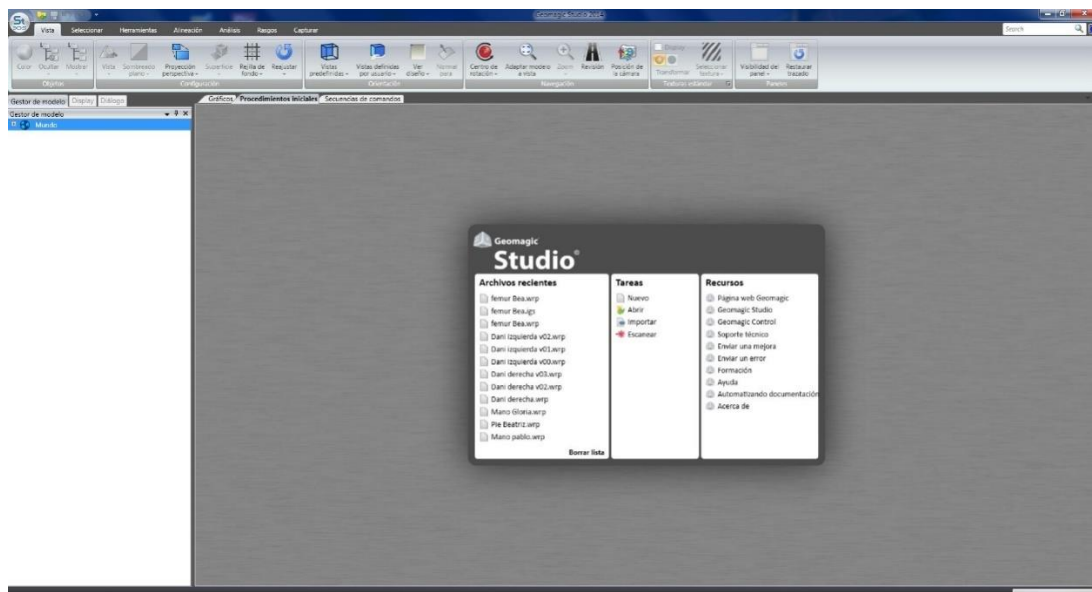


Figura 30: Inicio Geomagic



Una vez está en modo escanear, el brazo “FARO FUSIÓN” tiene que estar encendido.

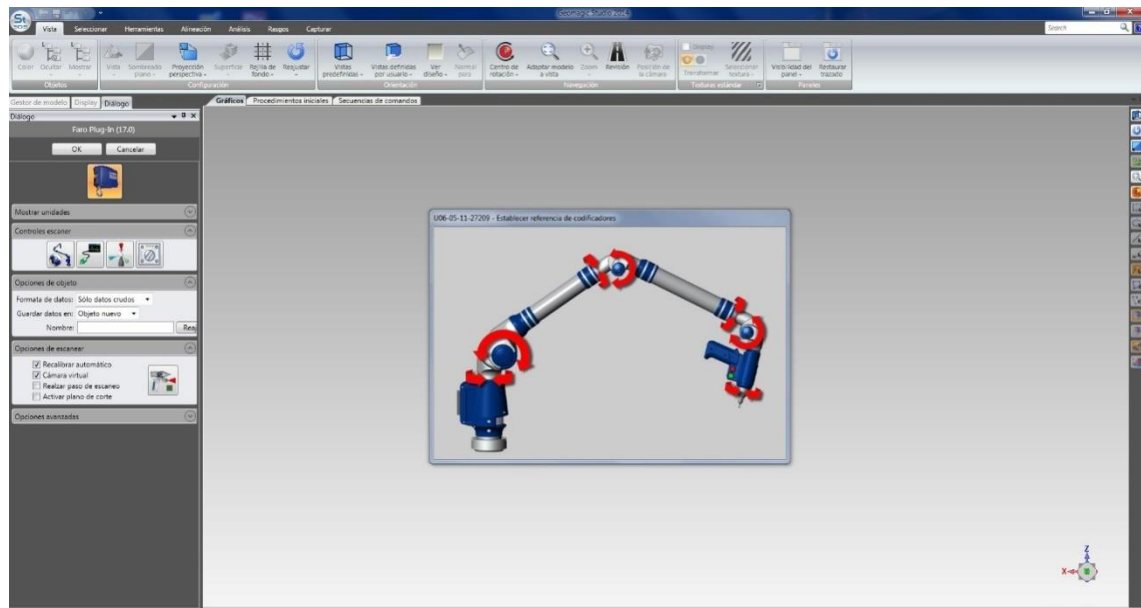


Figura 31: Coordinación de los ejes

Se establecen las referencias de codificadores y se coordinan los ejes doblando las articulaciones del brazo de la máquina y colocando con cuidado para que no haya peligro de luxaciones.

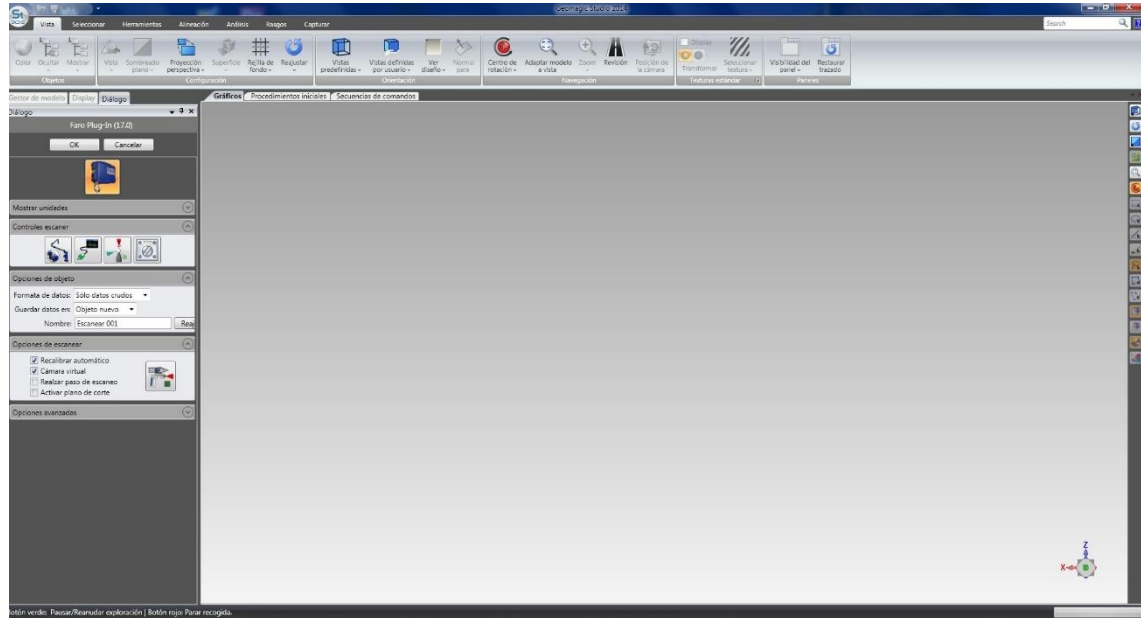


Figura 32: Proceso de escaneo

Ya se puede iniciar el escáner.

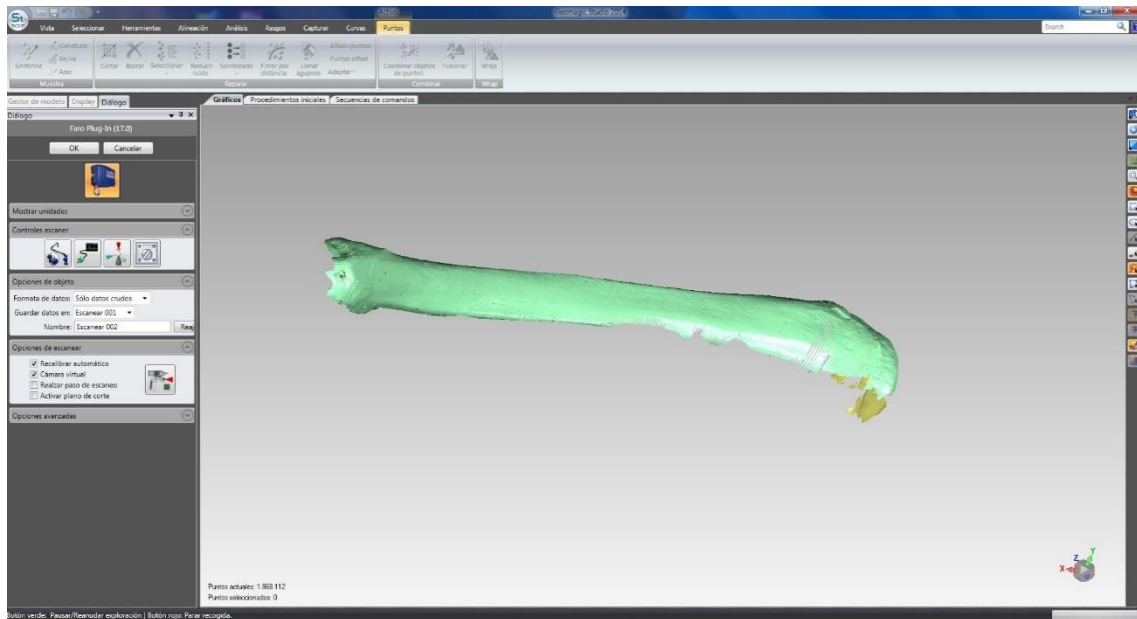


Figura 33: Pieza escaneada

Con la pistola laser y el botón verde pulsado, se escanea el fémur con cuidado obteniendo el mayor número de puntos para que la nube sea precisa e intentando que las dos luces verdes que nos indican una mejor calidad de escaneo estén encendidas.



Figura 34: Control de un escaneo adecuado

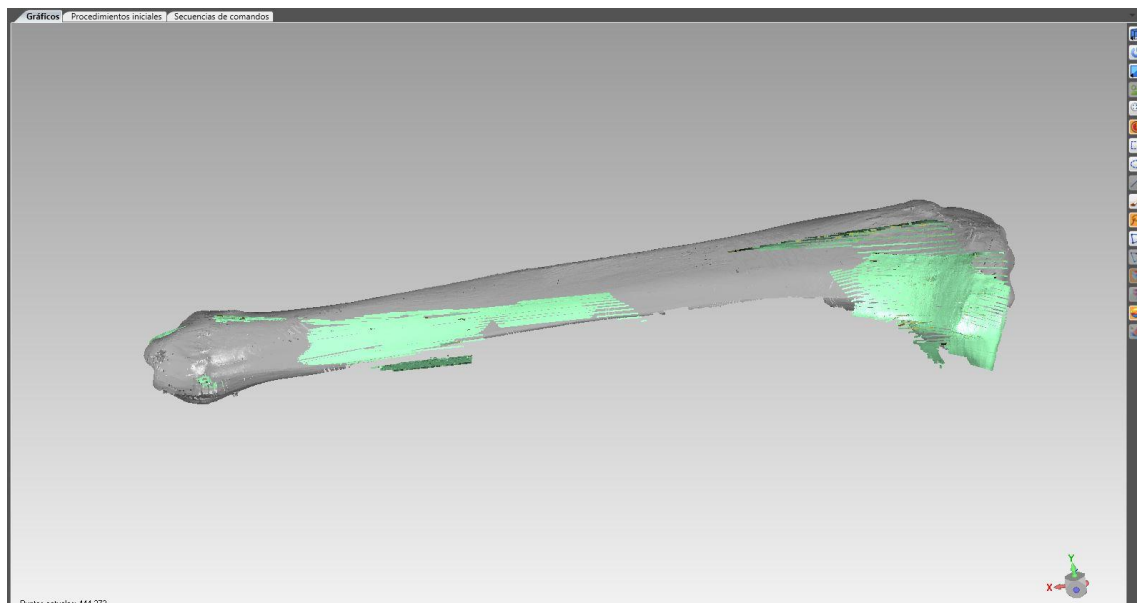


Figura 35: Eliminación de puntos

Se eliminan los puntos que no nos interesan con las opciones que nos ofrece el panel de la derecha y lo suprimimos.

### ➔ Herramienta selección

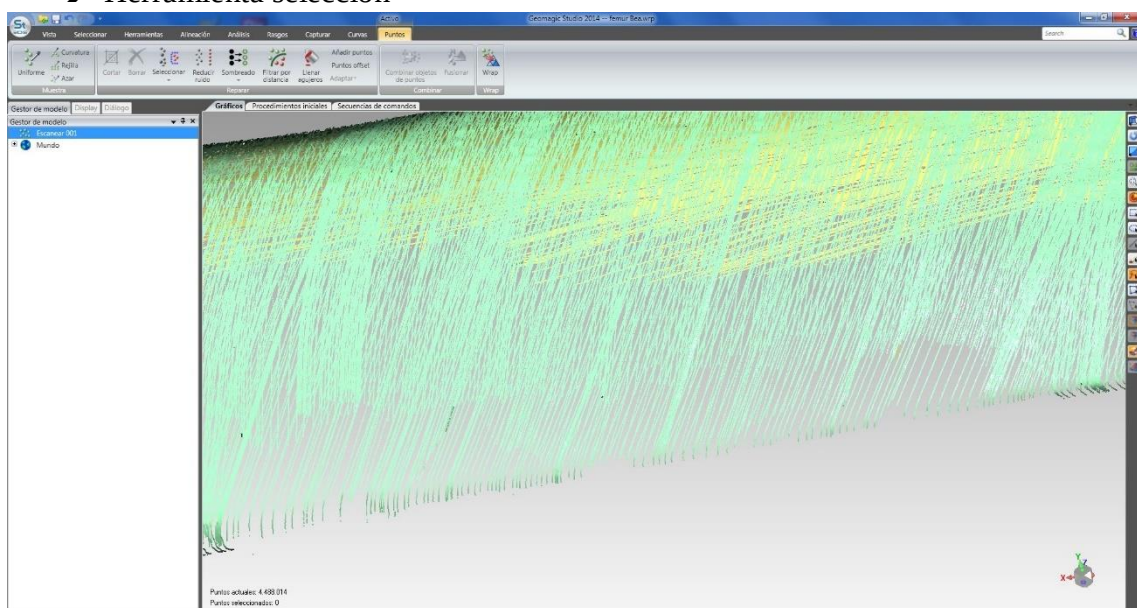


Figura 36: Sombreado de puntos

Para una mejor visualización se aplica el sombreado de puntos, esto une cada punto con una normal.

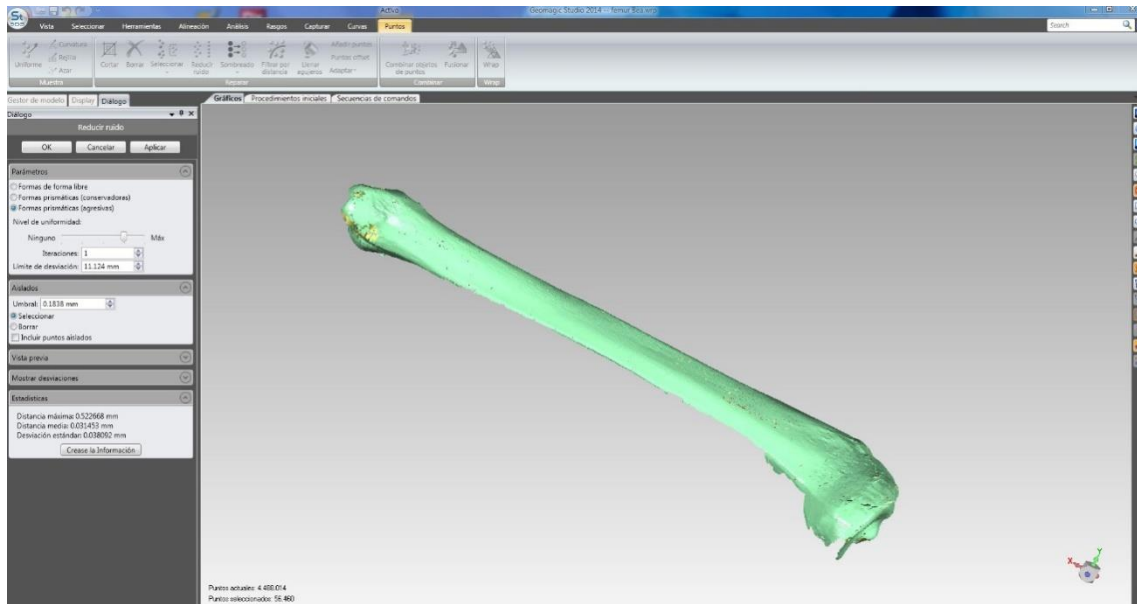


Figura 37: Visualización después del sombreado

Para procesar la nube de puntos obtenida, reduciremos el ruido y eliminaremos si se ha perdido algún punto.

### ➔ Reducir ruido

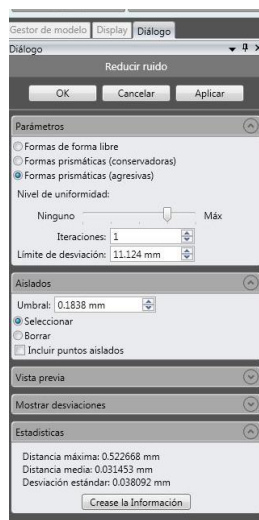


Figura 38: Barra de reducción de ruido

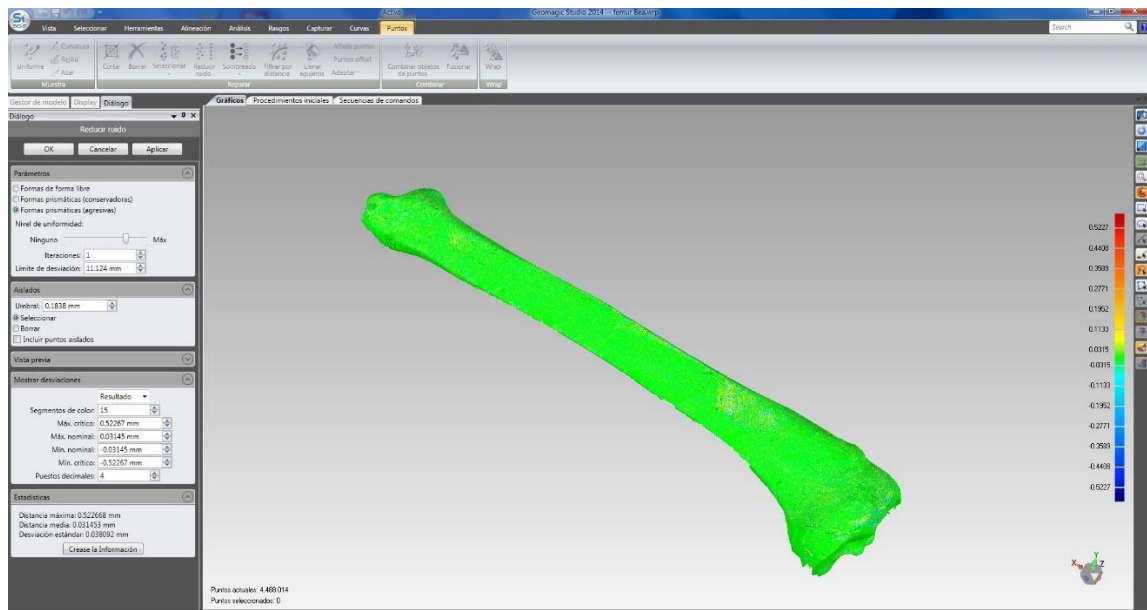


Figura 39: Reduciendo ruido

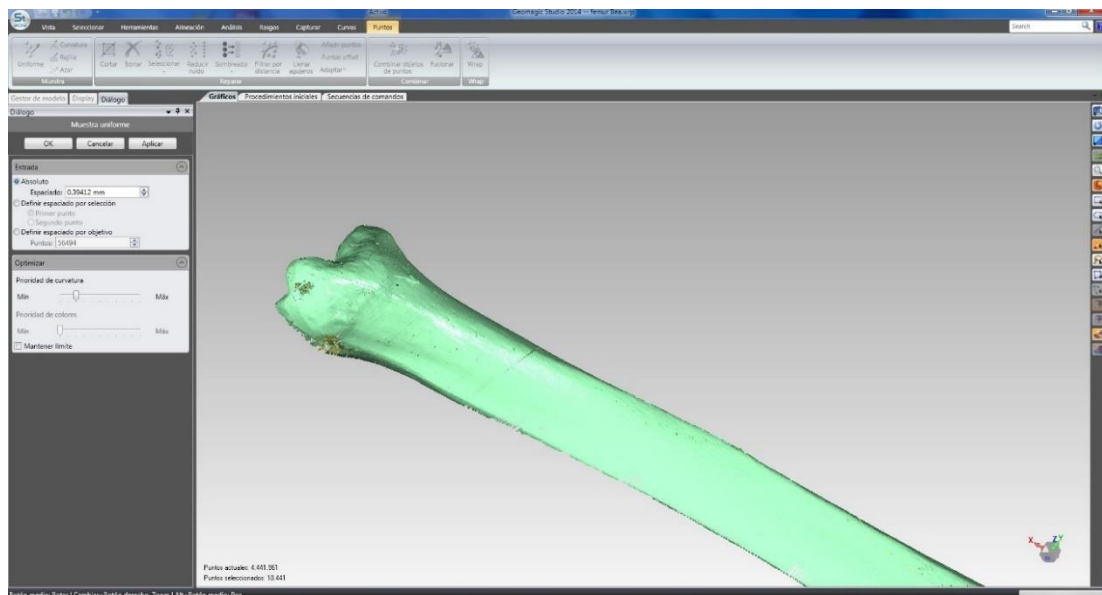


Figura 40: Ampliación

Para trabajar de manera más eficaz, se realiza el filtro de datos excesivos reduciendo el número de puntos.

Uniformidad permite eliminar ciertos puntos asentando una media del espacio de los puntos en la nube.

Tras la práctica, se intentó conseguir una matriz madre de una mano real escaneándola para luego obtenerlo en escayola, pero los pequeños movimientos que sufre la mano mientras se intenta mantener quieta no permitió escanear los puntos con precisión.

## *3.2 Materiales de composición del molde*

En este apartado se busca principalmente materiales cuyo proceso de utilización sea lo más parecido al cual se llevaría a cabo en los países requeridos.

### *3.2.1 Escayola*

Ahora tratando de imitar lo máximo posible un proceso de fabricación realizado en Sudán, de manera rústica se intenta llevar a cabo un molde en escayola y en arcilla.

Con el uso de dos tupperwares de plástico se procede a obtener el molde, la formación se ha conseguido a partir de vasos de plástico, un bol grande y una espátula.



*Figura 41: Recursos para realizar escayola*





*Figura 42: Escayola Beissier*



*Figura 43: Recipiente para realizar la mezcla*

Mediante la realización de capas de escayola en mezclas de 2 vasos de escayola por 1 de agua se tiene 10 minutos para realizar la mezcla y trabajar con ella antes de que comience la reacción química o fraguado y por lo tanto el proceso de secado. En cuatro tandas se rellena hasta arriba el tupperware de escayola hasta que rebose de manera que con una bandeja debajo se sitúe la mano y se retire la escayola sobrante quedando la superficie lo más lisa posible.

Este molde se realiza con la mano izquierda.

En una de las capas anteriores se posa la mano para comprobar la reacción de las zonas de alrededor de esta.



*Figura 44: Colocación de la mano en el proceso*

Se intenta hacer uso de la espátula obteniendo un primer ejemplo o resultado



*Figura 45: Prueba en la penultima cara*



Finalmente, al rebosar se obtiene un mejor resultado haciendo uso de una bandeja bajo nuestro recipiente.



*Figura 46: Resultado final de una parte del molde*

Obteniendo un molde rústico al menos de la palma de la mano se plantea un problema, el proceso llevado a cabo por una persona para conseguir la mano refleja tendrá la complicación de la rápida reacción química y por lo tanto la dificultad de ser moldeada.



*Figura 47: Segunda parte del molde*

### 3.2.2 Arcilla

Por las causas anteriormente justificadas la realización del reverso de la mano resultó imposible, habría que ejercer mucha presión en muy poco tiempo y no daría tiempo a ser moldeada.

Por ello se realizó una nueva prueba realizando un molde de arcilla, material que es más similar a las tierras arcillosas de Sudan del Sur y probablemente a la de diferentes países en vías de desarrollo o en conflicto.

Para ello se hace uso de pasta para moldear, un portatortillas y un vaso de agua para humedecer la arcilla y que sea más maleable.



*Figura 48: Pasta para moldear PLUS*

En esta ocasión con el uso de la palma de la mano derecha se da forma inicial al molde, se va moldeando la zona de la palma de manera que consiga una profundidad similar a la del reverso para de este modo tener el reflejo.



*Figura 49: Primera parte del molde para la mano izquierda*

En el proceso de secado, se produjeron ciertas grietas y se pudo arreglar debido a que no surgieron en zonas de mucha importancia.



*Figura 50: Molde agrietado*





*Figura 51: Cierre de la grieta*

Al realizar la otra parte del molde se realizó con menos profundidad y al secarse se produjeron importantes grietas que se intentaron solucionar.



*Figura 53: Segunda parte agrietada*



*Figura 52: Primera parte con talco*

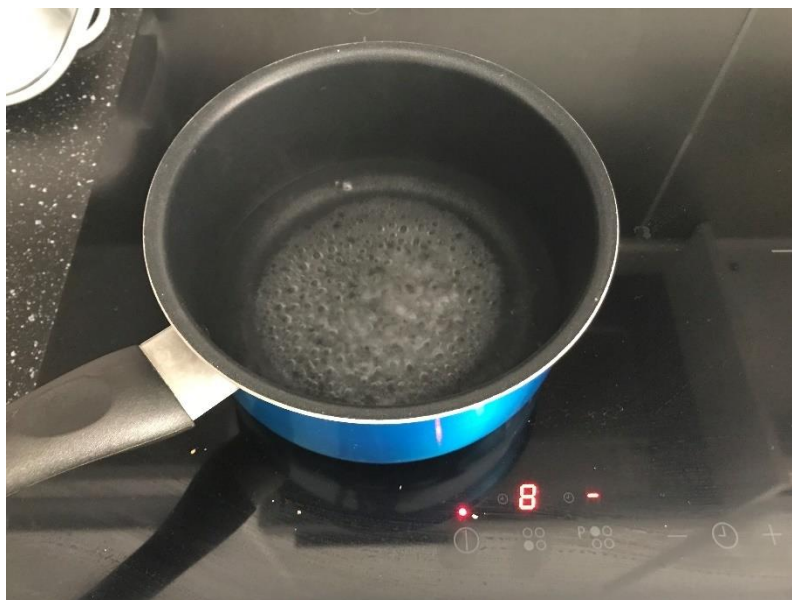
En las dos fotos anteriores, en la derecha se observa el molde 1 con talco para que no se pegue la pasta moldeable, ya que inicialmente la segunda parte del molde se intentó realizar colocando la mano sobre el molde 1 y añadiendo la pasta encima de la mano, como costaba ser moldeada se finalizó con un proceso similar al inicial.



*Figura 54: Arreglo de la segunda parte*

Los alrededores del hueco de la mano son poco uniformes lo que dificulta el acople de ambas partes del molde y nada asegura que una parte encaje con la otra, además se comprueba que al secarse tanto el hueco de la mano como el molde en sí encoge, así que se asignó como una primera prueba y se empezó de nuevo con nuevas ideas.

Pero antes de empezar, se probó como actúa la pasta moldeable seca frente al agua hirviendo para ver cómo puede reaccionar en el momento que se aplique el plástico fundido.



*Figura 55: Cazo con agua hirviendo*



*Figura 56: Pieza de pasta reaccionando al agua hirviendo*

En un pequeño vasito de pasta moldeable se depositó agua hirviendo y la conclusión es que la capa en contacto con el agua se reblandece levemente en un principio y al pasar 5 minutos un agujero surge en la base, si se tiene en cuenta que el molde es mucho más grueso y que al secar la forma de nuestra mano encoge, es posible que no tenga mucho problema.

## PRUEBA 2



*Figura 57: Cartón con forma del recipiente*

Para conseguir dejar los bordes lo más liso posible para después encajarlo, se recortó un cartón con la forma del recipiente y un pequeño recorte en una esquina para luego sacarlo con facilidad.





*Figura 58: Silueta de la mano en el cartón*

Se dibuja la mano, no hace falta que con excesiva precisión, si queda un poco más grande mejor, así se tiene en cuenta que luego va a encogerse y se recorta la zona central de la mano dejando la zona de la muñeca que sería una guía.



*Figura 59: Silueta recortada*

De nuevo con tres paquetes de pasta para moldear de 500 gramos se colocó en el recipiente y se le dio la forma más lisa posible con un poco de agua en las manos, y después en esta ocasión con un poco de polvos de talco en el cartón se introdujo encima y se colocó de manera que por el agujero con forma de mano se realizara la forma de la mano derecha a partir de la izquierda y dándole bastante profundidad para que sea el reverso.



*Figura 60: Segundo molde*

Para engancharlo con la parte 2 se añade dos palos de incienso cortados. Al igual que con la segunda parte del molde para que una vez seco se pueda retirar y queden los agujeros para ensamblarlo.

Una vez conseguido el molde de arcilla llegó el momento de las pruebas con el horno.

### *3.2.3 Reacciones*

Para realizar la prótesis se recicla tapones de plástico tipo 2 de Polietileno de alta densidad, que en este caso fueron aportación de familiares, amigos y la cafetería de la universidad. La finalidad es que los tapones de botellas lleguen a una temperatura a la cual el material sea maleable.

Se compró un horno de sobremesa para poder colocarlo en una zona ventilada por el posible desprendimiento de vapores y se hizo uso de una mascarilla con filtro.





*Figura 61: Horno de sobremesa*

Los tapones se deben introducir en el recipiente de aluminio para hacer cupcakes cortados en trozos más pequeños.



*Figura 62: Recortando tapones*

El proceso que se llevó a cabo en la primera prueba fue el siguiente:

- Primero se introdujo en el horno a 160 grados durante 15 min, observando algo de vapor en un inicio



*Figura 63: Temperatura del horno*



*Figura 64: Listo para fundir*

- Se intentó sacar el aire presionando con un palo de madera sobre el plástico hasta que quedase lo más comprimido posible, aún se observaba la forma de los tapones, así que habría que continuar hasta que se comprimiese con más facilidad.



*Figura 65: Primera fase de la fundición del plástico*

- Se introdujo de nuevo el polietileno de alta densidad en el horno a 180° durante 15 min.



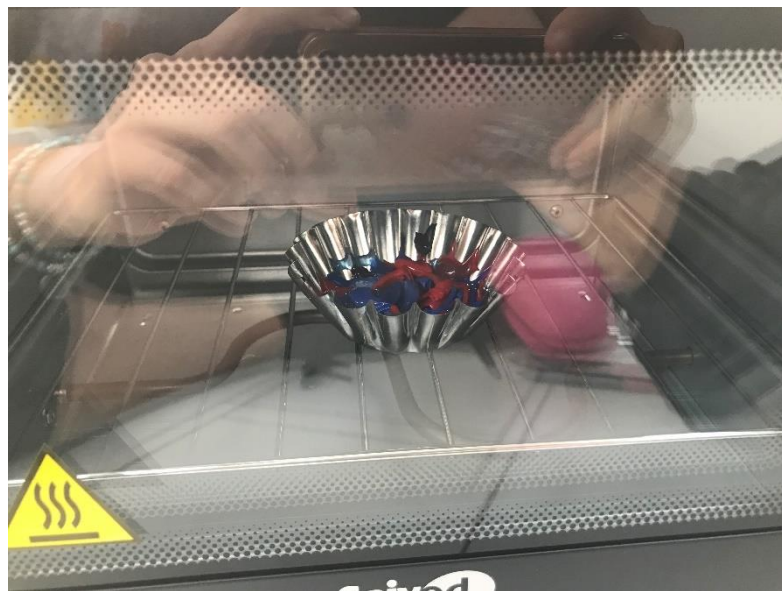
*Figura 66: Segunda fase de la fundición*



*Figura 67: Resultado después de la segunda fase*

Se presionó de nuevo observando que adquiere una textura más viscosa pero no lo suficiente como para adquirir la calidad adecuada.

- Para terminar, se introdujo a 180° durante 15 minutos más.



*Figura 68: Ultima fase de fundición*





*Figura 69: Plástico fundido*

Una vez obtenida esta primera prueba, se introdujo un molde similar al utilizado con anterioridad, pero hecho con la pasta de modelar.



*Figura 70: Molde de pasta pasado por el horno*

Pero después de 5 minutos en el horno a 180° comenzó a oscurecerse y aparecieron cada vez más grietas.



*Figura 71: Molde con trozos de Plástico*

Tras el intento de fundir el plástico durante 45 minutos a 180 grados el plástico además de endurecerse reaccionando químicamente diferente a la otra prueba, al intentar cambiar de recipiente se plastificó en el palo de madera debido al rapido enfriamiento.

Obteniendo los siguientes resultados:



*Figura 72: Cara posterior de las pruebas realizadas*



*Figura 73: Cara frontal de las pruebas realizadas*

El ejemplo de la derecha es la primera prueba mientras que el de la izquierda es la segunda. Comprobando con estas imágenes que la primera prueba obtuvo un mejor resultado de superficie en ambos lados.

## PRUEBA 2

Para obtener una prótesis por partes imitando de algún modo a los procesos que se han llevado a cabo con impresora 3D, se hizo uso de los moldes de cupcake y unos alicates, y se moldeó intentando que adquiriera una forma lo más rectangular posible.



*Figura 74: Lateral moldeado*



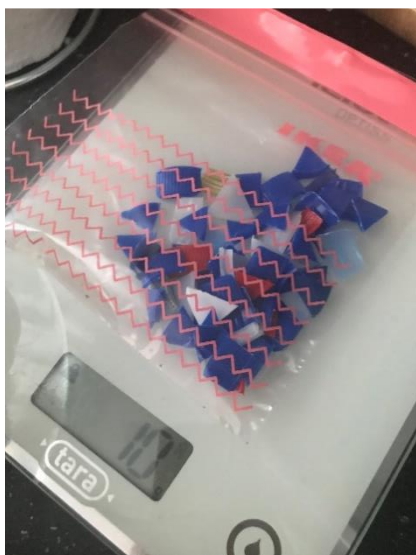
*Figura 75: Frontal moldeado*





*Figura 76: Alicates y molde*

Esta vez sería aquí donde se reciclen los tapones de plástico, que además se pesaron con un peso de cocina antes y después para comprobar las pérdidas de agua.



*Figura 78: Composición de los dedos*



*Figura 77: Composición de la palma*

Así hay 13 gramos para la palma y 10 para las falanges.

Se introdujo al horno dos moldes de cupcake moldeados de manera diferente, uno algo más ancho con el fin de que desempeñase el papel de la palma de la mano y otro más fino para obtener las falanges que constituiría los dedos.



*Figura 79: Probando la primera mano de plástico*

Una vez seguido el procedimiento habitual se obtiene un modelo de palma pero por la poca rigurosidad del molde no se consigue una forma precisa.

Con respecto a las falanges, recién salido del horno se intentó dividir con el uso de pequeñas laminas que formaban parte de la tapadera de una lata de atún, pero debido a la rápida solidificación no se pudo moldear correctamente las falanges.



*Figura 80: Masa después de la fundición*

Tras estos procesos se comprobó que en la palma de la mano se pierde un 1,53% de masa en agua.

### *3.2.4 Reciclaje de latas*

Debido a este resultado se busca otro modo low cost, en este caso el reciclaje de latas de refresco.



*Figura 81: Cortando la lata*

Con guantes, tijeras y alicates se cortan las bases de las latas y se corta el cilindro central obteniendo una lamina rectangular.



*Figura 82: doblaje de la lata*

En la cual se iran realizando dobleces hasta obtener una cajita en la que se podrá fundir los trozos de tapones de plástico que darán lugar a la palma de la mano.



*Figura 83: Primer ejemplo de doblaje*

Primero se hicieron unas primeras dobleces que no aseguraban una resistencia adecuada, en la que se cortó el rectángulo.



*Figura 84: Preparado para fundir*

Después de ver que el primer diseño no era lo suficientemente eficaz, se realizó este segundo sin realizar ningún tipo de corte para conseguir pestañas, directamente usando los alicates.





*Figura 85: masa a fundir*

Se pesaron los recortes de tapones de botella para conocer su masa antes de introducirlos al horno.



*Figura 86: Reutilizando pruebas*

En el primer diseño se introdujeron muestras de plástico que se habían realizado anteriormente para comprobar si era posible refundirlo y obtener un buen resultado de reciclaje al igual que se hizo con los trozos de tapones.



*Figura 87: Introduciendo en el horno*



*Figura 88: Pieza para presionar*

Para poder presionar el plástico y que salga el aire se recortó una pieza de cartón con las dimensiones algo más pequeñas que las del molde y se utilizó supergen para unirlo al soporte, un palillo asiático.



*Figura 89: Obtenido en el horneado*

Comprobamos que si se puede refundir, pero el supergen al calentarse se funde también de manera que el cartón se queda pegado al presionar el plástico, teniendo que esperar a que se seque para quitarlo con cuidado.



*Figura 90: Resultado palma presionada*



Así quedó al deshacerse del trozo de cartón, y luego se utilizó como una capa para obtener la palma de la mano con un grosor adecuado.



*Figura 91: Papel prensado*

Para arreglar el problema utilizamos un material algo más resistente y rígido que el cartón, con un marco de fotos y un cúter.

Se pasó el cúter reiterativamente en las zonas marcadas anteriormente con las medidas necesarias, algo más pequeño que el molde de la palma.



*Figura 92: Recortando papel prensado*

Al igual que dimos forma al molde de la palma de la mano, se hizo para los dedos.



*Figura 93: proceso del molde de los dedos*



*Figura 94: Doblando pestañas*



*Figura 95: Primer molde para dedos*

Así quedaron tres dedos un poco más anchos que los que se pretendían para realizar las pruebas mecánicas de flexión.

Nuestra finalidad en el siguiente paso sería realizar una serie de dedos algo más finos, conformada por tres dedos principales y uno más pequeño que tendría la función del pulgar.



*Figura 96: Proceso de dedos con pulgar*



*Figura 97: Dedos de plástico*

En esta ocasión no se comprime para que salga el aire ,consiguiendo un resultado efectivo, este cambio en el proceso es debido a que utilizando un material un poco más rígido no se soluciona el problema del supergen.

Cuando se seca el plástico se contrae, lo que permite mayor facilidad para retirar la pieza. Se nota especialmente con la palma de la mano debido a sus mayores dimensiones.

Con los dedos hubo más problemas debido a su esbeltez y los pequeños pliegues en los que se quedaron encajados algunos de ellos. Esto se solucionaría dejando las pestañas por la parte externa en lugar de la interna.



Figura 98: Muestra de mano

Se consiguió una mano con cuatro dedos, uno de ellos con función de pulgar. El pulgar es una pieza muy importante en este proceso, ya que en una línea futura será el que permita el efecto pinza para poder sujetar objetos o realizar ciertas tareas.

El proceso que es necesario realizar tanto para palma y dedos como para cada capa, con dos capas es suficiente, rellenando en cada caso el molde hasta su limite ya que al fundir pierde volumen por la pérdida de agua , es:

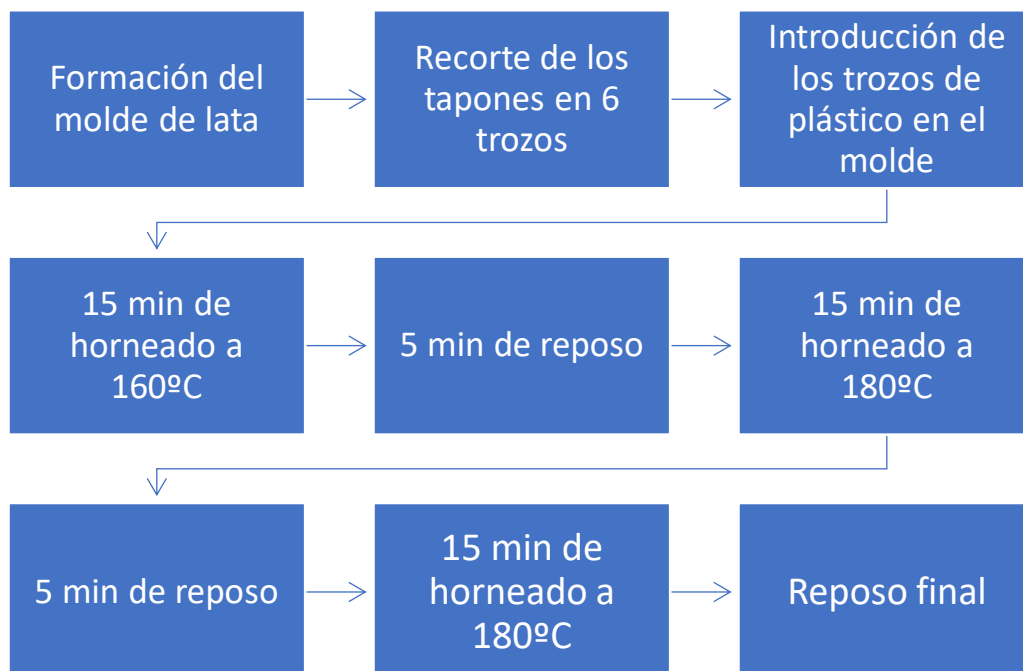


Figura 99: Proceso de fundición

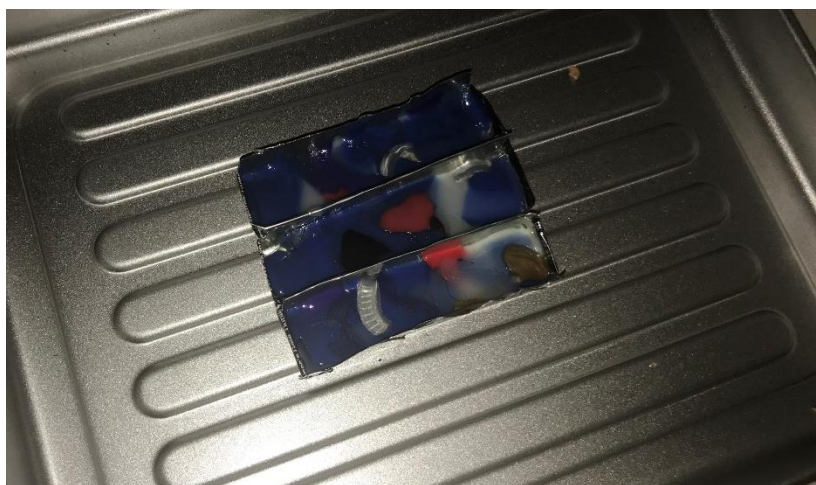


Para unir las capas, con introducir las dos capas en el molde y meterlo en el horno 15 min a 180°C es suficiente para la fusión.

### 3.3 Pruebas mecánicas

Con la colaboración del hospital Fremap de Majadahonda se realizaron diversas pruebas mecánicas.

Para las pruebas de flexión con el molde de tres dedos realizado anteriormente Figura 94, se consiguen finas probetas.



*Figura 100: Dedos para prueba de flexión*

En esta ocasión entre las 3 fases de 15 min no se sacó fuera del horno y al finalizar resultó complicado despegarlo del molde debido a que no tuvo esos instantes de enfriamiento de choque que hacían que se contrayese.

Para llevar a cabo las pruebas de tracción fue necesario probetas del material elegido (Polietileno de alta densidad) cuyas dimensiones debían ser entorno a 20 cm de largo, y 1x1 cm de base con forma prismática.

La obtención de estas probetas, al igual que la prótesis, se realizó a base de un molde realizado con una lata de refresco, en este caso se utilizaron latas de Coca-cola de Aluminio que suelen estar compuesta por un 50% de aluminio reciclado.



*Figura 101: Molde de probeta*

Recortando las tapas de la lata y cortando la superficie cilíndrica restante, queda una placa rectangular de largo 21 cm, lo que es perfecto ya que se necesitaba una probeta de longitud 20 cm.

Se dobló únicamente por los lados y luego se colocaron unas tapas.



*Figura 102: Tapa del molde de probeta 1*



*Figura 103: Tapa del molde de probeta 2*

El molde al calentarlo no solo sufrió una fuerte contracción cerrándose por la parte superior, si no que se quedó pegado al sufrir el mismo procedimiento de fundición que el de la figura 99.





*Figura 104: Desmoldando*

Hubó que despegarlo del molde, permitiendo así un solo uso, ante esto se volvió a realizar un nuevo molde con mejoras.



*Figura 105: Molde de probeta mejorado*

En este caso, las tapas se realizaron con pequeñas pestañas en la parte superior de manera que hubiese un mejor enganche entre ellas y la base, intentando de este modo evitar el cierre del molde por contracción.



*Figura 106: Nueva tapa*



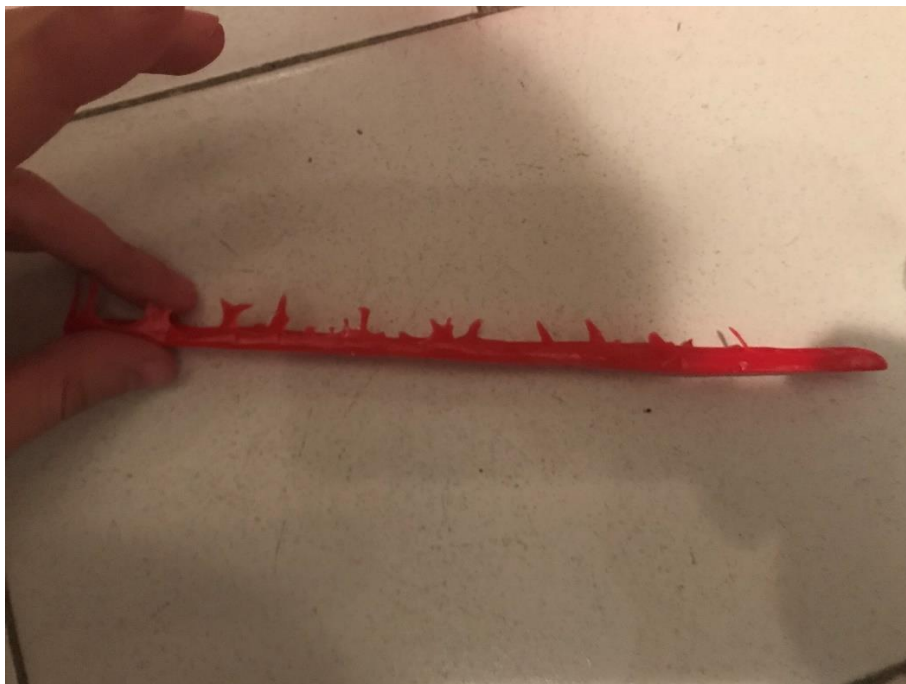
*Figura 107: Nueva tapa parte posterior*

Utilizando este nuevo molde mejorado, se introdujo en esta ocasión tapones rojos cortados de botellas de agua de la marca solares que proporcionó la cafetería de la universidad.

Se intentó que estuviese lo más lleno posible, hasta el limite, ya que al fundirse bajaría el nivel quedando así una primera capa.



*Figura 108: Molde con tapas*



*Figura 109: Primera capa*

A continuación, se fundió la segunda capa y superponiendo más tarde las dos juntas en el molde, se introdujeron al horno hasta su fusión.

Con algo más de 15 min a 180° sería suficiente.

En el enfriamiento se volvieron a encontrar dificultades, la parte superior del molde se iba cerrando, y aunque finalmente se abrió de nuevo con algo de ayuda, la probeta no llegó a quedar prismática y homogénea.



*Figura 110: Probeta roja*



*Figura 111: Probeta 2*

Este molde se reutilizó para hacer la segunda capa de la probeta azul que se empezó a hacer, y después se realizó la superposición, pero se volvió a cerrar el molde en el enfriamiento.

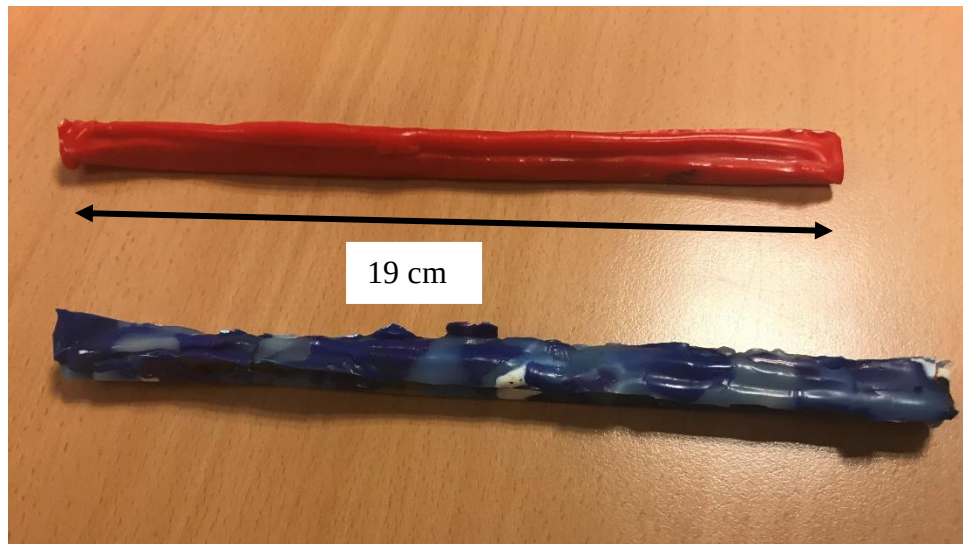
En esta ocasión se tuvo que romper el molde para liberar la probeta.





*Figura 112: Liberación de probeta*

Las dos primeras muestras de las probetas de plástico para realizar las pruebas de tracción.



*Figura 113: Probeta roja y azul*

### 3.3.1 Ensayo de tracción

En el hospital fremap de Majadahonda se intentó realizar el ensayo de tracción con la probeta compuesta por plástico rojo de 19 cm.



*Figura 114: Tomando medidas*



*Figura 115: Probeta roja medidas*



Usando un pie de rey, se realizan 10 medidas para el espesor y 10 medidas para el ancho obteniendo la siguiente tabla:

*Tabla 4: Medidas probeta*

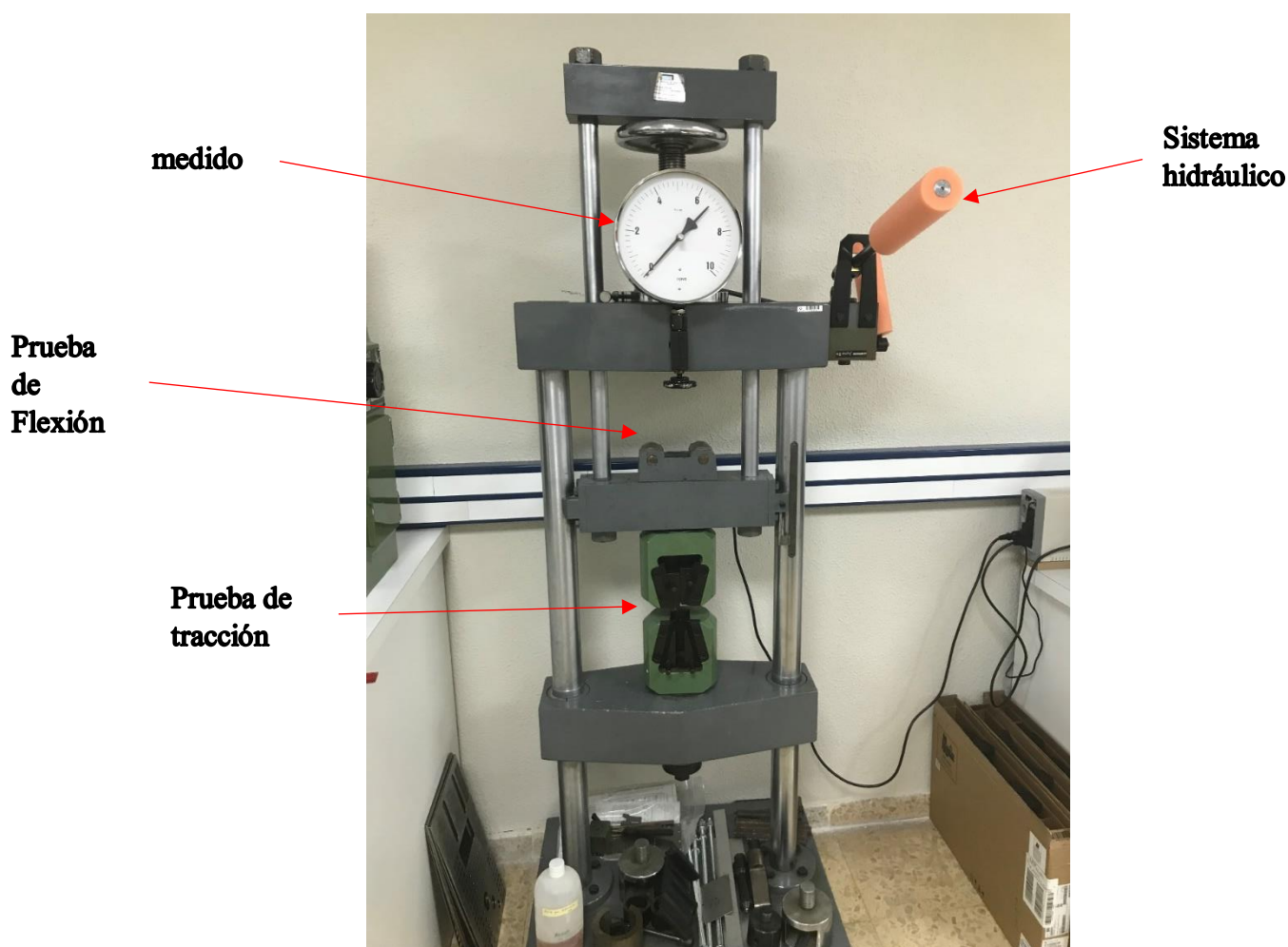
|              |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| Espesor (cm) | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,14 | 1,24 | 1,3  | 1,5  | 1,35 | 1,23  | 1,1  |
| Ancho (cm)   | 1,46 | 1,43 | 1,39 | 1,33 | 1,3  | 1,25 | 1,23 | 1,16 | 1,185 | 1,23 |

Así se realizó una media de ambas obteniendo :

Espesor= 1,126 cm Ancho=1,297 cm

Con la disponibilidad de una maquina de ensayo HOYTOM L.T.

Esta máquina permite ejecutar dos tipos de ensayo: tracción y flexión; para los cuales la fuerza que se ejerce sobre el material es de forma manual mediante un sistema hidraulico. En el medidor mide el límite de rotura en Toneladas.



*Figura 116: Máquina de ensayo*

Primero se hizo el ensayo con una probeta de acero, obteniendo cerca de 5 Toneladas.

Debido al funcionamiento de forma hidraulica permite ir diferenciando las variaciones poco a poco según se va ejerciendo la tracción, la curva de tensión-deformación, llega un momento en el que se mantiene algo constante las toneladas, justo en el momento que pasa la parte elástica, ya que deja de crecer de manera lineal.

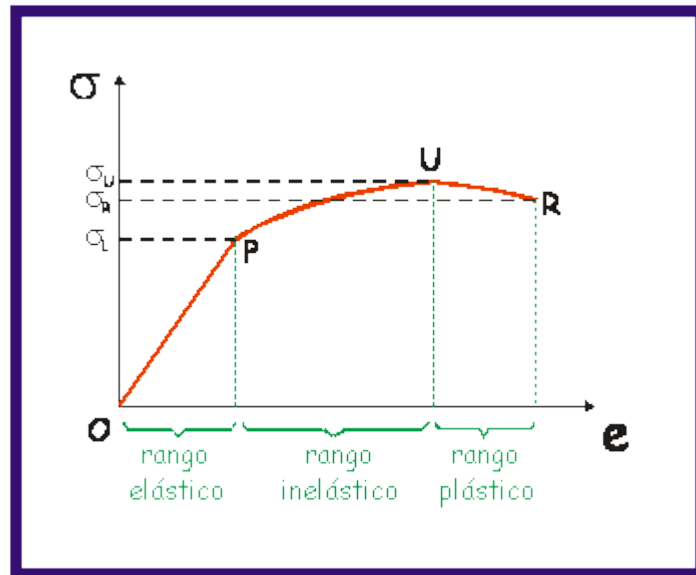


Figura 117: Curva Tensión-deformación [26]

Después se realizó con la probeta de plástico.



Figura 118: Ensayo de tracción

Sin embargo, al romper se apreció como la sección por donde se había producido la rotura no sufrió prácticamente deformación.

Esto se debe a que rompe poco después de superar la tensión del límite elástico, por lo que no le da tiempo a deformarse plásticamente.

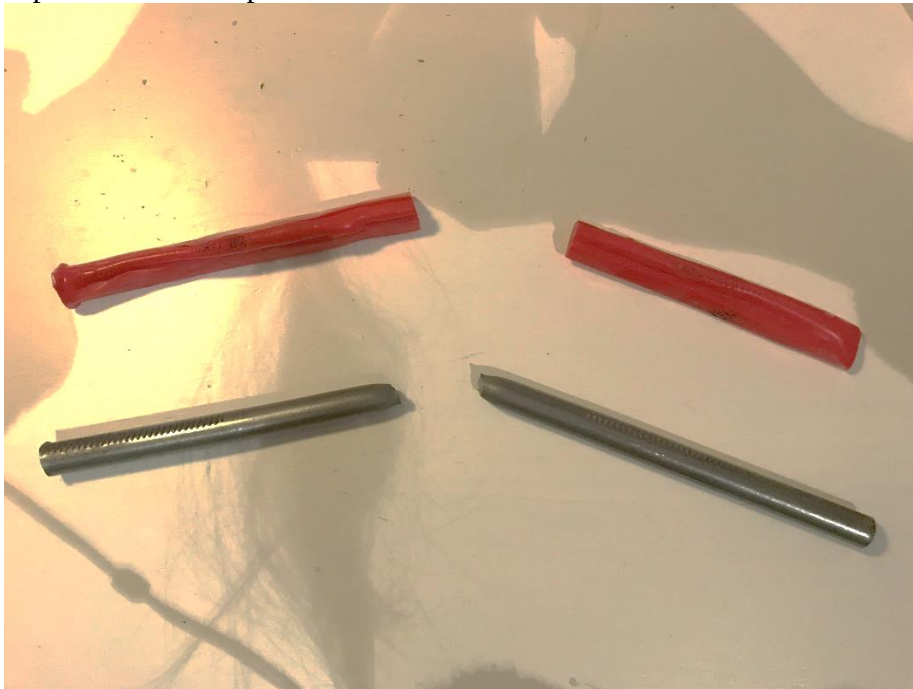


Figura 119: Ensayo de tracción

En la figura 118 se puede observar la diferencia de la deformación de la sección de rotura de las dos probetas, y como la de acero ha sufrido bastante deformación plástica comparada con el Polietileno.

Pero no se pudo conocer la tensión a la que se produjo la rotura en la de plástico, debido a que la máquina mide en toneladas (unidad muy alta para un plástico) y esto no permitía apreciar en la báscula ninguna variación.

$\sigma_{\text{rot}} = \sigma_{Z_{\text{max}}} = \text{tensión de rotura [MPa]}$

$\sigma = \text{tensión [MPa]}$

$A = \text{área [mm}^2\text{]}$

$M_{\text{fmax}} = M_z = \text{Momento de flexión máxima [Nm]}$

$F = \text{fuerza [N]}$

$I_{zz} = \text{momento de inercia [Kg/m}^4\text{]}$

$M_t = \text{masa total}$

Razón de que no se viese reflejado en la báscula:

Conociendo que la  $\sigma_{\text{rot}} = 22,1\text{-}31\text{MPa}$  en los plásticos Polietileno de alta densidad (Datos aportados en el estado del arte)

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad [1]$$

Teniendo en cuenta las medidas obtenidas de la probeta roja cuya sección es  $A = 146 \text{ mm}^2$

$$\text{Minima } 22,1\text{MPa} = \frac{F_1}{146\text{mm}^2} \quad F_1 = 3226,6 \text{ N} \quad 1\text{N} \rightarrow 0,329 \text{ T} \quad F_1 = 0,329 \text{ T}$$

$$\text{Maximo } 31\text{MPa} = \frac{F_2}{146\text{mm}^2} \quad F_2=4526 \text{ N} \quad 1\text{N} \rightarrow 0,329 \text{ T} \quad F_2= 0,417 \text{ T}$$

Por lo que una aproximación de las toneladas necesarias para la rotura seria  $F=0,329\text{-}0,417\text{T}$   
Demasiado pequeño para ser detectado por la báscula.

### 3.3.2 Ensayo de Flexión

Ya visto con anterioridad que la máquina de ensayo de flexión/tracción, utiliza unidades demasiado altas para este material. Se realizó este ensayo de forma rústica para aproximar la resistencia frente a esfuerzos de flexión.

Para ello, se utilizó en un inicio un molde de bizcocho de una longitud de base inferior de 12 cm teniendo en cuenta las medidas necesarias para la máquina.

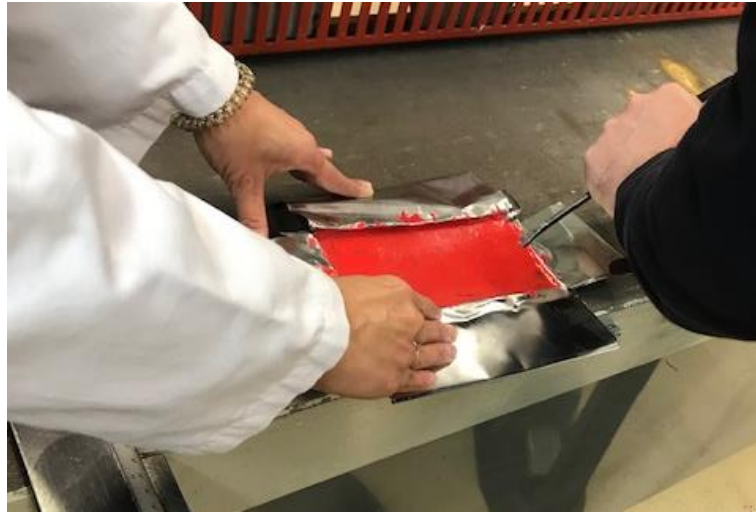


*Figura 120: Molde con trozos de tapones*



*Figura 121: Probeta de flexión*

En la figura 120 se ve como el material se ha contraído en el enfriamiento. Por eso se consiguió otro molde de 21 cm de longitud de la base. Debido a la mala calidad del metal, el material se quedó muy pegado y el metal se contrajo junto con el plástico. Para solucionarlo, se rompió el molde con una sierra y además se cortó la probeta en trozos más pequeños para que quedaran similares a la primera probeta realizada para flexión.



*Figura 122: Probeta de flexión 2.0*



*Figura 123: Probeta de flexión 2.1*

Se realizó este ensayo de manera rústica con dos escuadras de metal donde colocar la probeta y una bolsa colgada en la probeta y que se fue rellenando con botellas de medio litro con agua para ir ejerciendo fuerza.





*Figura 124: Escuadra de metal*

Primero se realizó una serie de cálculos previos para conocer con aproximación el número de botellas que se necesitaban:



*Figura 125: Primeras botellas con agua*





*Figura 126: Rellenando la botella*

Se rellenan de agua por la fácil conversión de unidades. La densidad, unidad que relaciona la masa con el volumen, en el caso del agua es de  $1\text{kg/L}$ . Esto significa que  $1\text{ L}$  de agua equivale a  $1\text{kg}$  facilitando la medición en proceso.



*Figura 127: Botellas conseguidas*

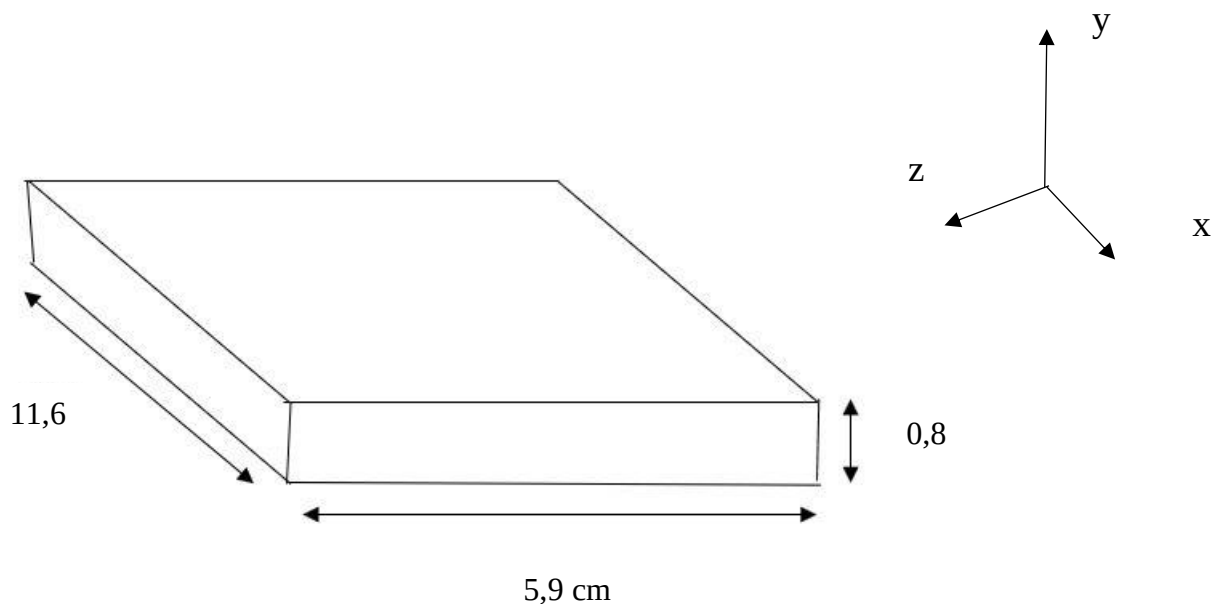
Después el agua fue utilizada para regar la zona de manera que no era desechada, si no, que se reutilizaba para otro fin.

### Probeta 1



*Figura 128: Probeta 1*

Sabiendo que pesa 50 gramos, superficie de  $164,88 \text{ cm}^2$  y volumen de  $54,75 \text{ cm}^3$ . Por lo tanto, una densidad de  $913,24 \text{ kg/m}^3$ .



*Figura 129: Probeta para flexión*

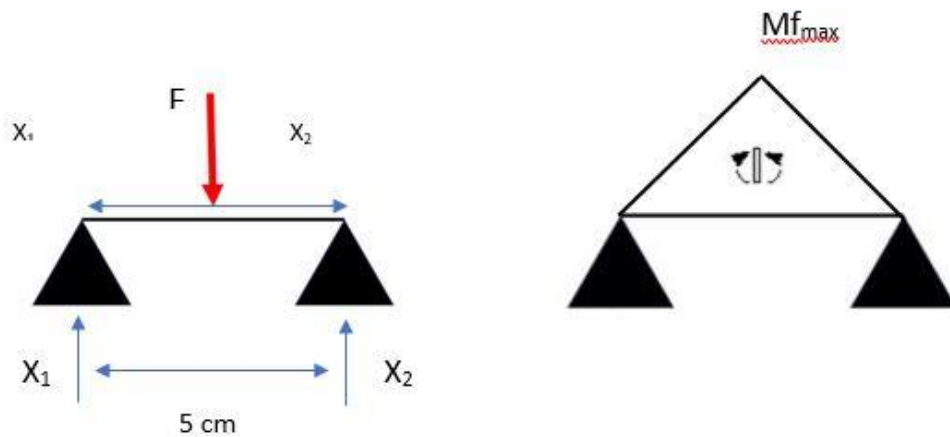


Figura 130: Teoría del proceso de flexión

Para flexión en Polietileno de alta densidad,  $\sigma_{rot} = 30,9-43,4\text{MPa}$

$$F = X_1 + X_2$$

[2]

$$\Sigma M_1 = 0 \quad -F \cdot 2,5 + X_2 \cdot 5 = 0$$

[3]

$$X_1 = X_2 = F/2$$

[4]

$$M_{f_{max}} = \frac{F}{2} \cdot 2,5 \cdot 10^{-2} = 0,0125 \cdot F$$

[5]

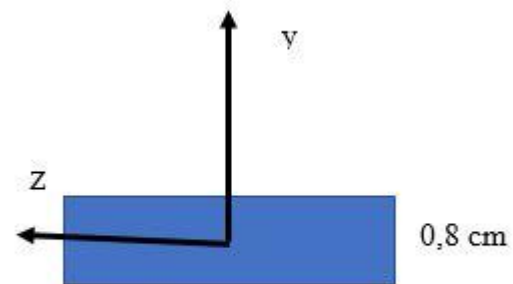


Figura 131: Alzado de la probeta

$$\sigma_{z_{max}} = \frac{M_z \cdot y}{I_{zz}} = \frac{0,0125 \cdot F \cdot 0,004}{\frac{1}{12} \cdot 5,9 \cdot 10^{-2} \cdot (0,8 \cdot 10^{-2})^3} = 19862,29 \cdot F$$

[6]

Igualamos la  $\sigma_{rot}$  del Polietileno de alta densidad a la expresión obtenida en [3] para obtener la máxima o mínima fuerza para que la rotura de flexión suceda.

A continuación, la referencia 1 y 2 serán de mínimo y máximo respectivamente.

$$30,9 \cdot 10^6 = 19862,29 \cdot F_1 \quad \rightarrow \quad F_1 = 1555,66 \text{ N}$$

$$43,4 \cdot 10^6 = 19862,29 \cdot F_2 \quad \rightarrow \quad F_2 = 2179,94 \text{ N}$$

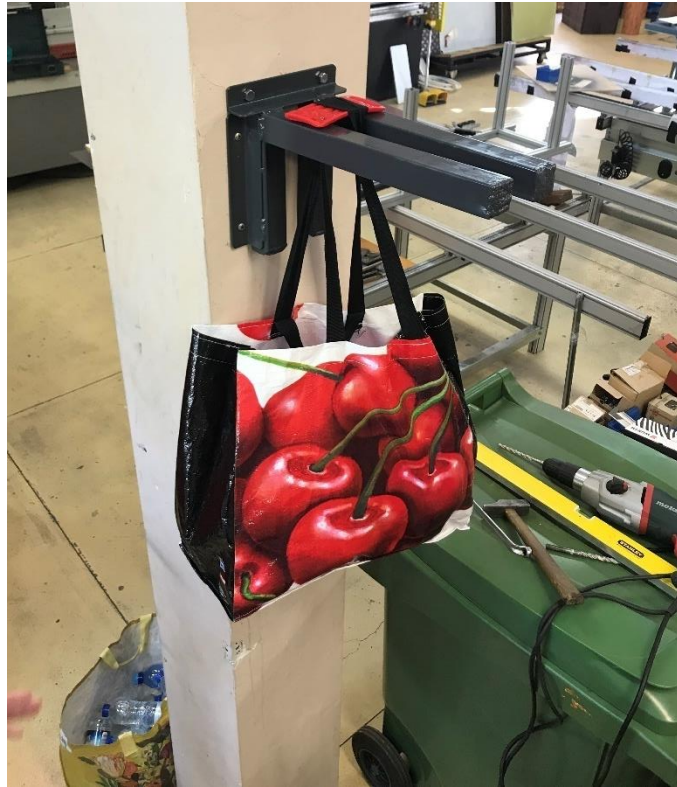
Sabiendo que  $F = m \cdot a$  y más concretamente en este caso  $F = m \cdot g$ , siendo  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$$M_1 = 158,58 \text{ Kg} \quad \text{y} \quad M_2 = 222,22 \text{ Kg}$$

Ya que cada botella es de 0,5 kg, necesitaríamos el doble de botellas para realizar el esfuerzo que necesitamos en el ensayo.

$$B_1 = 317,16 = 318 \text{ unidades}$$

$$B_2 = 444,44 = 445 \text{ unidades}$$



*Figura 132: Probeta 1 en proceso rústico*



*Figura 133: Probeta 1 perspectiva*





*Figura 134: Probeta 1 con botellas*

Al realizar el ensayo rústico, después de añadir 48 botellas, es decir 24 kg, no se observó ningún tipo de deformación, así que mientras se iba realizando una mejora en el proceso rústico mediante el diseño de una percha realizada con acero, se realizó el ensayo en la máquina de ensayos para acero.



*Figura 135: Probeta 1 antes de rotura*



*Figura 136: Probeta 1 durante la rotura*

Esta vez sí que se consiguió llegar a la rotura, pero la báscula no nos mostró ningún dato ya que su medida parte de 0 a 10 toneladas, y si no llega a romper cerca de 1 tonelada, no llega a mostrar los datos (maquina destinada más específicamente al acero).



*Figura 137: Probeta 1 con rotura*

Las probetas muestran una superficie brillante y agradable al tacto, textura perfecta para la finalidad a la que queremos destinar el material.

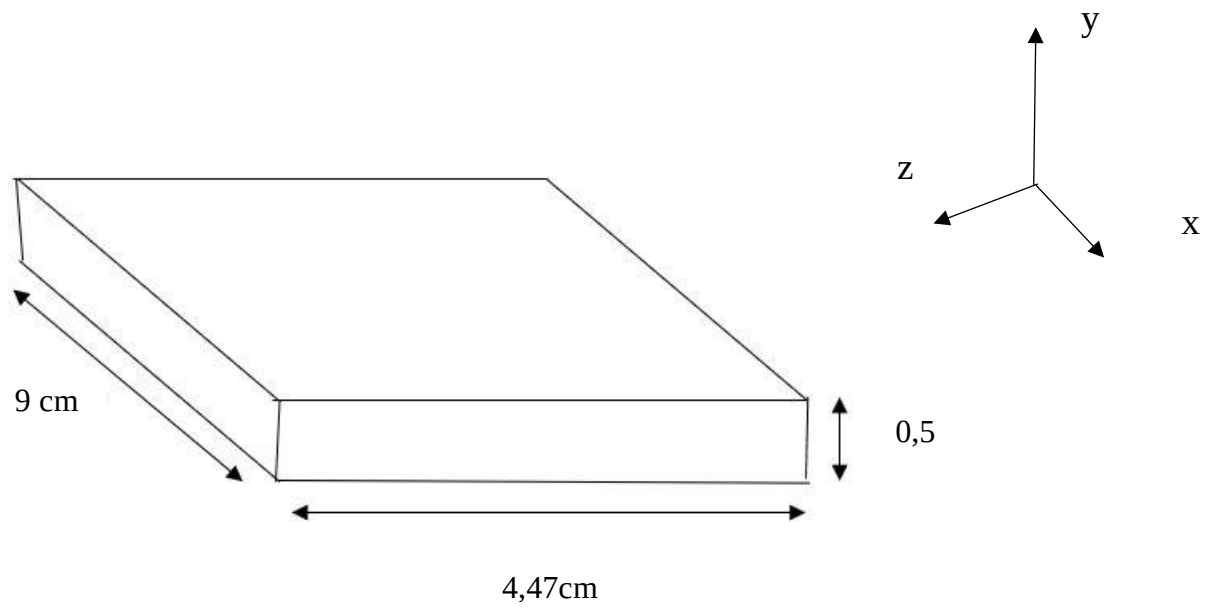


## Probeta 2



*Figura 138: Probeta 2*

Con un peso de 17 gramos, una superficie de  $93,93 \text{ cm}^2$  y un volumen de  $20,12 \text{ cm}^3$ .  
Obteniendo una densidad de  $844,9 \text{ Kg/m}^3$ .



*Figura 139: Probeta 2 para flexión*

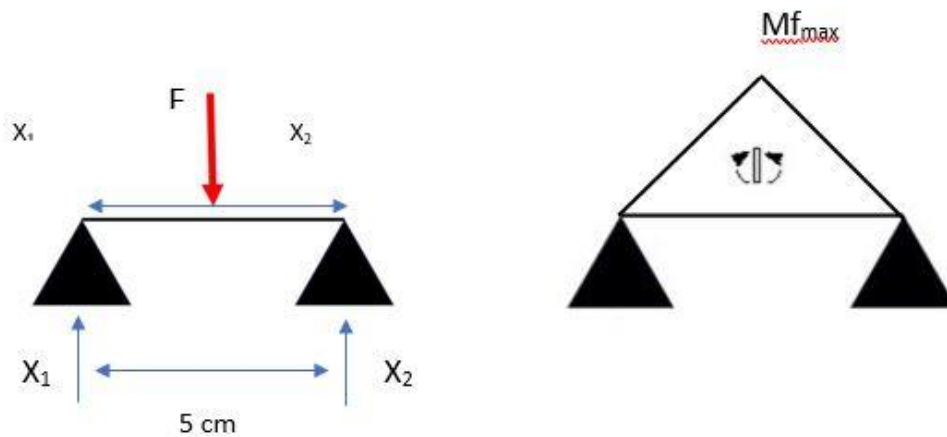


Figura 140: Flexión 2

Para flexión en Polietileno de alta densidad,  $\sigma_{rot} = 30,9-43,4\text{MPa}$

Volvimos a aplicar las 5 mismas últimas formulas ( [2],[3],[4],[5],[6])

$$F = x_1 + x_2$$

$$-F \cdot 2,5 + x_2 \cdot 5 = 0$$

$$x_1 = x_2 = F/2$$

$$M_{f_{max}} = \frac{F}{2} \cdot 2,5 \cdot 10^{-2} = 0,0125 \cdot F$$

$$\sigma_{z_{max}} = \frac{M_z \cdot y}{I_{zz}} = \frac{0,0125 \cdot F \cdot 0,0025}{\frac{1}{12} \cdot 4,47 \cdot 10^{-2} \cdot (0,5 \cdot 10^{-2})^3} = 67114,1 \cdot F$$

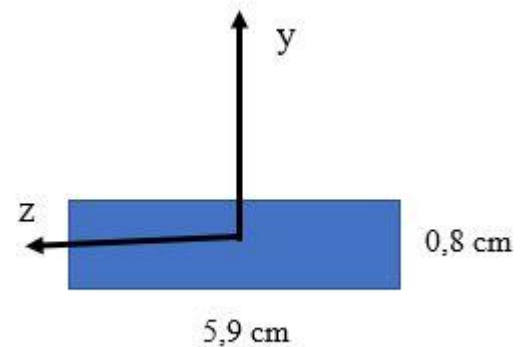


Figura 141: Alzado 2

$$\text{Mínimo } 30,9 \cdot 10^6 = 67114,1 \cdot F_1 \quad \rightarrow \quad F_1 = 460,4 \text{ N}$$

$$\text{Máximo } 43,4 \cdot 10^6 = 67114,1 \cdot F_2 \quad \rightarrow \quad F_2 = 645,17 \text{ N}$$

Sabiendo que  $F = m \cdot a$  y más concretamente en este caso  $F = m \cdot g$ , siendo  $g = 9,81 \text{m/s}^2$

$$M_1 = 46,93 \text{Kg} \quad \text{y} \quad M_2 = 65,77 \text{Kg}$$

Ya que cada botella es de 0,5 kg, necesitaríamos el doble de botellas para realizar el esfuerzo que necesitamos en el ensayo.

$$B_1 = 93,86 = 94 \text{ unidades}$$

$$B_2 = 131,54 = 132 \text{ unidades}$$

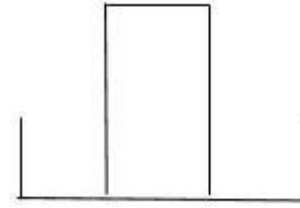
En esta ocasión, se realizó el ensayo rústico pero con un gancho que realizaron en el laboratorio de fabricación de Fremap.

Compuesto por acero con  $d = 10 \text{mm}$  y  $L = 1 \text{m}$  y sabiendo que la densidad es de  $\rho = 7850 \text{ Kg/m}^3$

$$M_{\text{barra}} = 7850 \cdot 1 \cdot \left( \frac{0,01^2 \cdot \pi}{4} \right)$$

[7]

$$M_{\text{barra}} = 0,61 \text{ Kg}$$

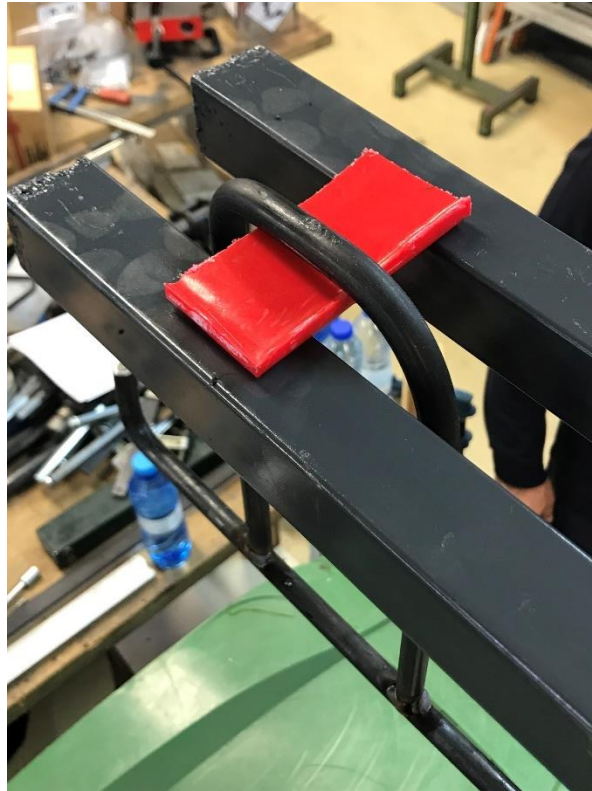


*Figura 142: Soporte de la prueba de flexión*



*Figura 143: Probeta 2 con barra*

En la flexión realizada con una bolsa en cada enganche, se colocaron 87 botellas más el peso de la barra que es 0,61 kg como hallamos con anterioridad, esto consiguió que se flexionase, pero no que llegase a la rotura ya que la probeta se resbaló antes de llegar al punto de rotura.



*Figura 144: Probeta 2 perspectiva*



*Figura 145: Probeta 2 con botellas*



*Figura 146: Probeta 2 en proceso rústico*



*Figura 147: Probeta 2 flexionada de perfil*





*Figura 148: Probeta 2 flexionada*

87 botellas -> 43,5 Kg      $Mt = 43,5 + 0,61 = 44,11 \text{ Kg}$

### Probeta 3



*Figura 149: Probeta 3*

Con un peso de 17 gramos, una superficie de  $88,8 \text{ cm}^2$  y un volumen de  $18,9 \text{ cm}^3$ .  
Siendo así su densidad de  $899,5 \text{ Kg/m}^3$ .



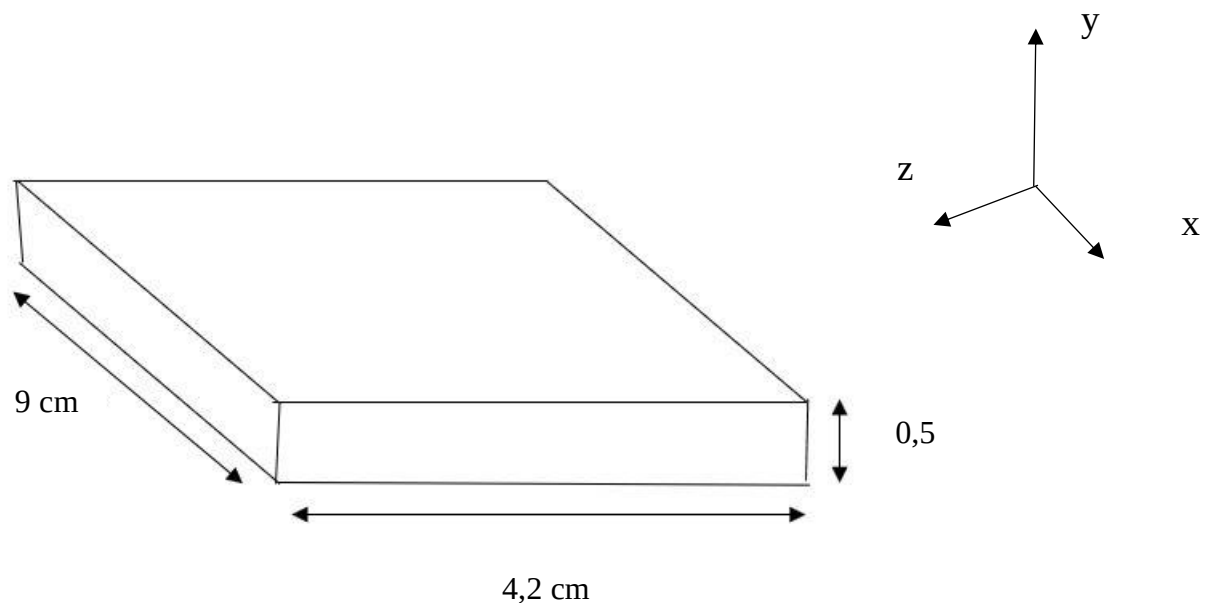


Figura 150: Perspectiva probeta 3

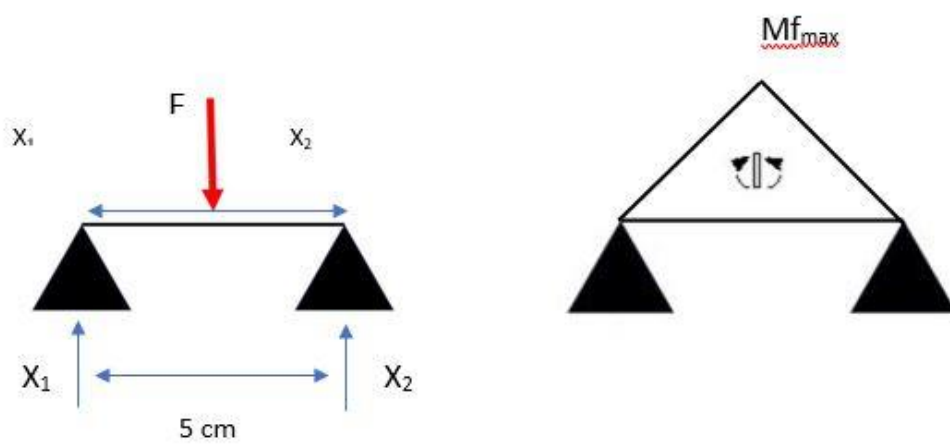


Figura 151: Teoría de flexión 3

Para flexión en Polietileno de alta densidad,  $\sigma_{\text{rot}} = 30,9\text{-}43,4\text{MPa}$

$$F = x_1 + x_2$$

$$M_{f_{\text{max}}} = \frac{F}{2} * 2,5 * 10^{-2} = 0,0125 * F$$

$$-F * 2,5 + x_2 * 5 = 0$$

$$x_1 = x_2 = F/2$$

$$\sigma_{z_{\text{max}}} = \frac{M_z * y}{I_{zz}} = \frac{0,0125 * F * 0,0025}{\frac{1}{12} * 4,2 * 10^{-2} * (0,5 * 10^{-2})^3} = 71428,6 * F$$

$$30,9 * 10^6 = 71428,6 * F_1 \quad \rightarrow \quad F_1 = 432,59 \text{ N}$$

$$43,4 * 10^6 = 71428,6 * F_2 \quad \rightarrow \quad F_2 = 606,19 \text{ N}$$

Sabiendo que  $F = m * a$  y más concretamente en este caso  $F = m * g$ , siendo  $g = 9,81 \text{m/s}^2$

$$M_1 = 44,1 \text{Kg} \quad \text{y} \quad M_2 = 61,79 \text{Kg}$$

Ya que cada botella es de 0,5 kg, necesitaríamos el doble de botellas para realizar el esfuerzo que necesitamos en el ensayo.

$$B_1 = 88,2 = 89 \text{ unidades}$$

$$B_2 = 123,58 = 124 \text{ unidades}$$

En esta ocasión colocamos la probeta limitada por los lados para que no se moviese y el enganche para colgar las bolsas.

Y a la hora de colocar el peso se colgaron dos bolsas con una bobina de acero para soldar de 15 kg cada una y 32 botellas repartidas.

En total serían 46,61 Kg sumándole la barra.

$$\sigma_{z_{\text{rot}}} = \frac{M_z * y}{I_{zz}} = \frac{0,0125 * (46,61 * 9,81) * 0,0025}{\frac{1}{12} * 4,2 * 10^{-2} * (0,5 * 10^{-2})^3} = 32,66 \text{ MPa}$$

[4]

Se encuentra dentro del intervalo preestablecido.

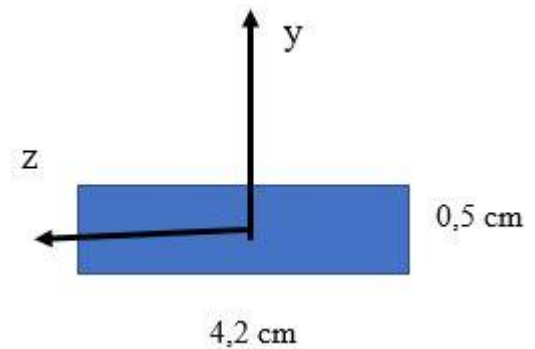


Figura 152: Alzado prueba 3



*Figura 153: Botellas*



*Figura 154: Probeta 3 limitada*



*Figura 155: Probeta 3 con rotura*

### *3.3.3 Ensayo de Dureza*

Con la maquina Centaur universal de dureza, se estudió la dureza Vickers.



*Figura 156: Identador piramidal*



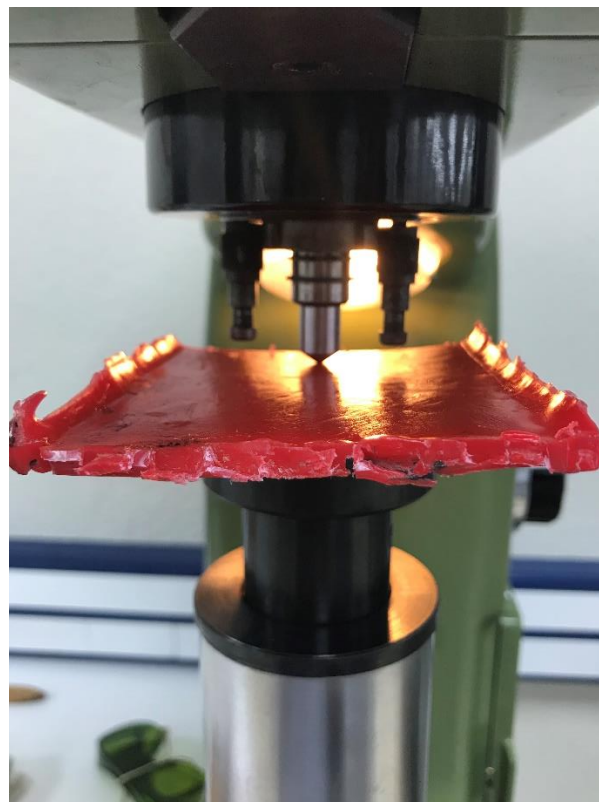
*Figura 157: Identador piramidal*

El proceso constó de aplicación de la fuerza de 10 Kp durante 15 segundos y después se mantuvo durante 30 segundos al tratarse de un plástico.





*Figura 158: midiendo dureza*



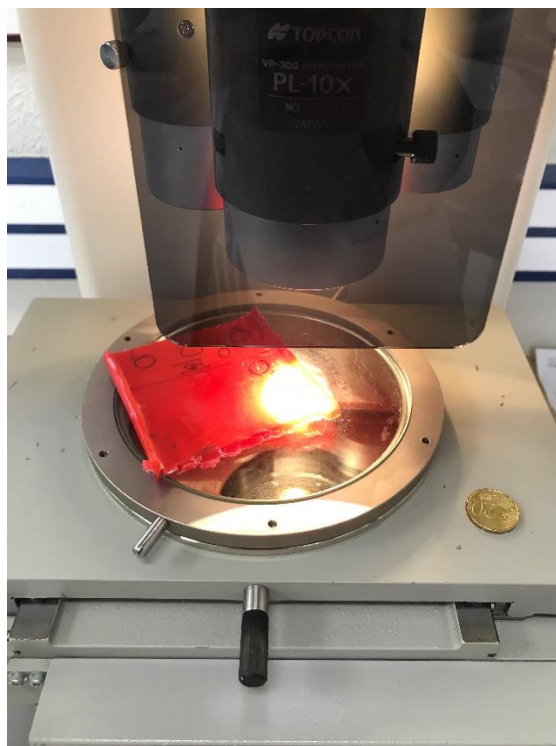
*Figura 159: Proceso de indentación*

Después para medir las dos diagonales de cada uno se utilizó el proyector topcon PL 10x





*Figura 160: Proyector*



*Figura 161: Identificando*

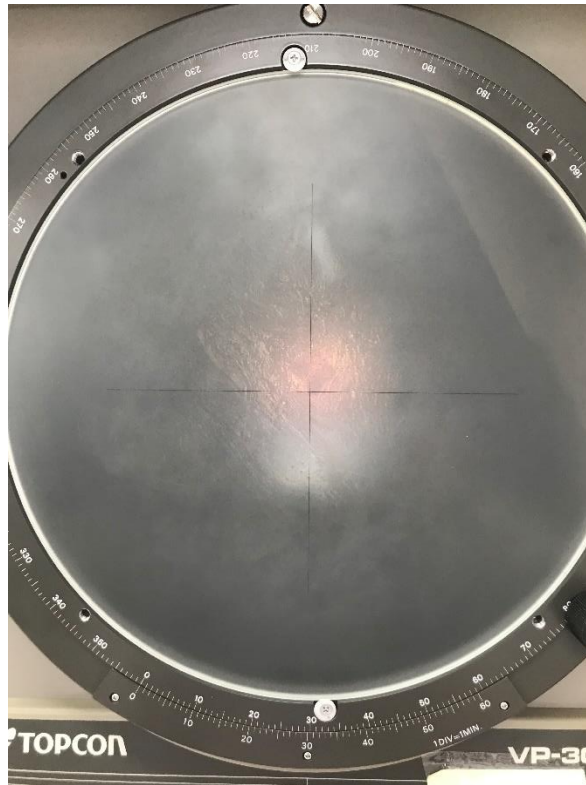


Figura 162: Visualización

Moviendo la probeta y con las manivelas en el eje x e y, se pudo medir los dos diámetros.

D = diámetro

1.  $D_1=2,04 \text{ mm}$   $D_2=2,38 \text{ mm}$
2.  $D_1=2,437 \text{ mm}$   $D_2=2,316 \text{ mm}$
3.  $D_1=2,094 \text{ mm}$   $D_2=2,5 \text{ mm}$

$$D = \frac{D_1 + D_2}{2} \quad [7]$$

1.  $D=2,21 \text{ mm}$
2.  $D=2,3765 \text{ mm}$
3.  $D=2,297 \text{ mm}$

La D media de las tres es  $D=2,2945 \text{ mm}$   
[27]

$$\text{Area} = \frac{D^2}{2 \cdot \sin(136)} = \frac{D^2}{1,854} \quad [8]$$

$$\text{HV} = \frac{1,854 \cdot F}{D^2} = \frac{1,854 \cdot 10}{2,2945^2} = 3,52 \text{ kp/mm}^2 \quad [9]$$

### 3.3.4 Resultados

Tabla 5: Resultados

|                       |                                |
|-----------------------|--------------------------------|
| Superficie            | Brillante y agradable al tacto |
| Resistencia de rotura | 32,66 MPa                      |
| Dureza de Vickers     | 3,52 kp/mm <sup>2</sup>        |

## 4 LINEAS FUTURAS

Este proceso se completaría con la amortiguación y unión de la mano al muñón, así como la unión de los dedos a la palma de la mano haciendo uso de un taladro para realizarlo y unirlos con clips.

A la hora de conseguir movimiento ya se comentó la posibilidad de realizar un proceso mecánico con un elemento similar a una polea que controle la apertura y el cierre de la prótesis, así el otro extremo de la polea se encontrará fijado a nuestra espalda cuyo esfuerzo permite el movimiento.

En el hospital Fremap de Majadahonda, antes de comenzar las pruebas mecánicas de tracción y flexión, tuvimos la oportunidad de ver y comprender el funcionamiento de prótesis de mano construidas únicamente de forma mecánica.



*Figura 163: Prótesis mecánica*



*Figura 164: Prótesis Mecánica*

Lo más importante y necesario en una prótesis es el efecto pinza, es lo que permite que la persona pueda coger y sujetar cosas, por eso se pudo observar que ejercía bastante presión. A la hora de controlar la apertura de la mano, se dispone de una rueda con efecto polea que se une con un muelle a la espalda del afectado. La espalda tiene mayor fuerza y con el movimiento de esta se consigue el cierre y la apertura de la mano.

Permiten al usuario sujetar y agarrar objetos, y ser activo. Su característica especial reside en que las manos pueden abrirse para reaccionar de forma similar a como lo hace una mano natural. Esto le brinda espontaneidad y la capacidad de usar su mano protésica de forma casi natural.

### PINZA TRIPODE

Puedes usar la pinza trípode para levantar, sujetar y manipular multitud de objetos cotidianos incluyendo llaves de coche, monedas, tapones o bolígrafos.



*Figura 165: Pinza trípode*

Este proceso podría llegar a trasladarse a una prótesis de pie, siempre teniendo en cuenta la amortiguación a la hora de andar que podría ser buena con el uso del caucho.

También la posibilidad de utilizar la cabeza de la botella como encaje para la mano en el muñón haciendo uso de un material que amortigüe la unión.

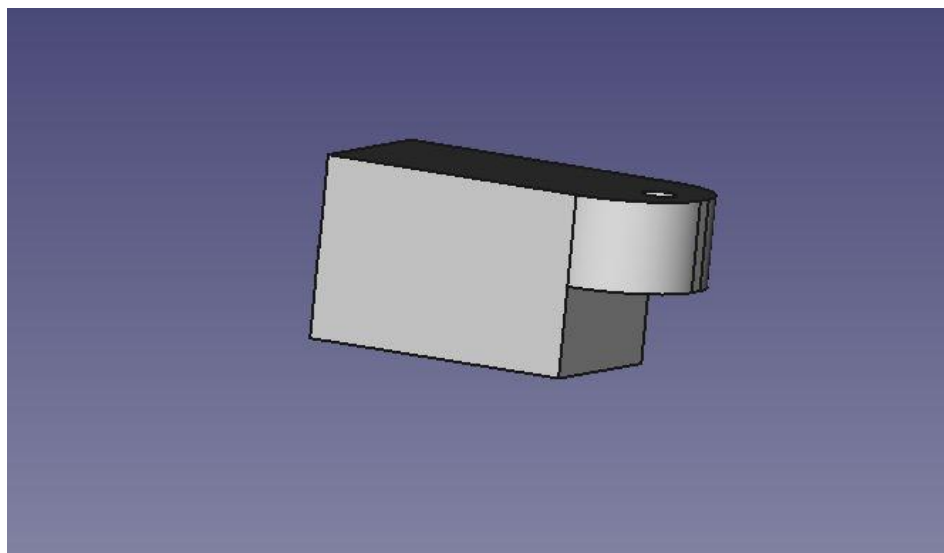
Y la posibilidad no solo de ensamblar una mano, sino una pala, un gancho... según la utilidad y la finalidad del momento.

La conclusión a la que se ha llegado en la memoria respecto al molde de arcilla, es que nuestra pasta de modelar que se seca al aire es incompatible con las altas temperaturas del horno y que el plástico debe calentarse directamente en el molde por lo que se podría intentar realizar con el uso de arcilla de cocción.

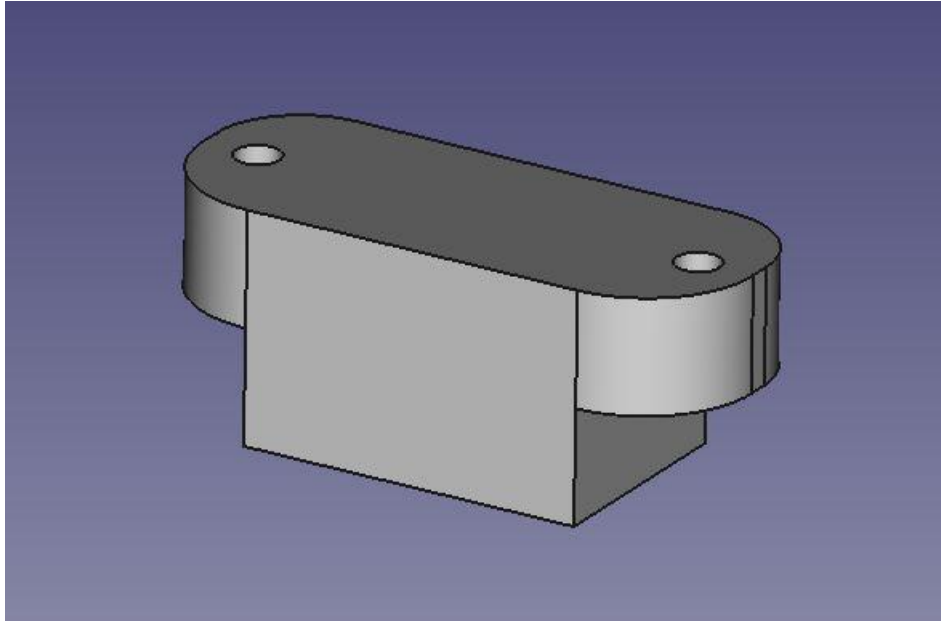
Un posible proceso futuro es la prótesis por partes y para ello haciendo uso del programa de diseño 3D freecad se maqueta un croquis de las falanges tanto intermedias como de los extremos en tres dimensiones.

Tenemos dos puntos de vista:

- El perfil del positivo del molde que se cincela.

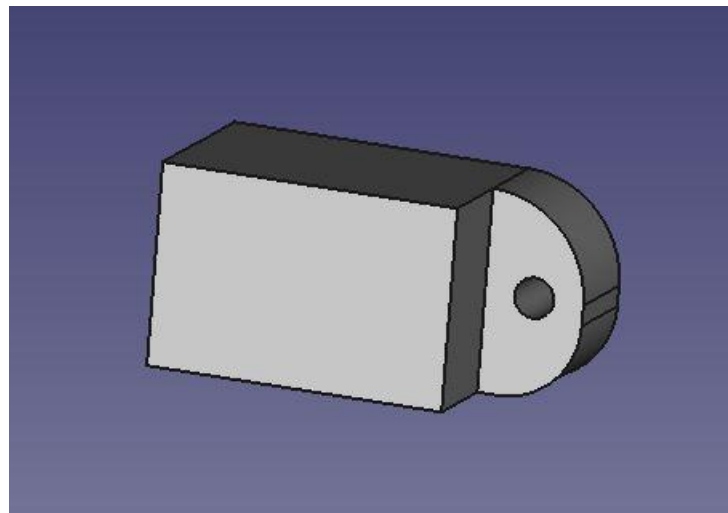


*Figura 166: Falange 1*



*Figura 167: Falange 2*

- El perfil de las falanges si estuvieran colocadas en la mano.



*Figura 168: Falange 3*



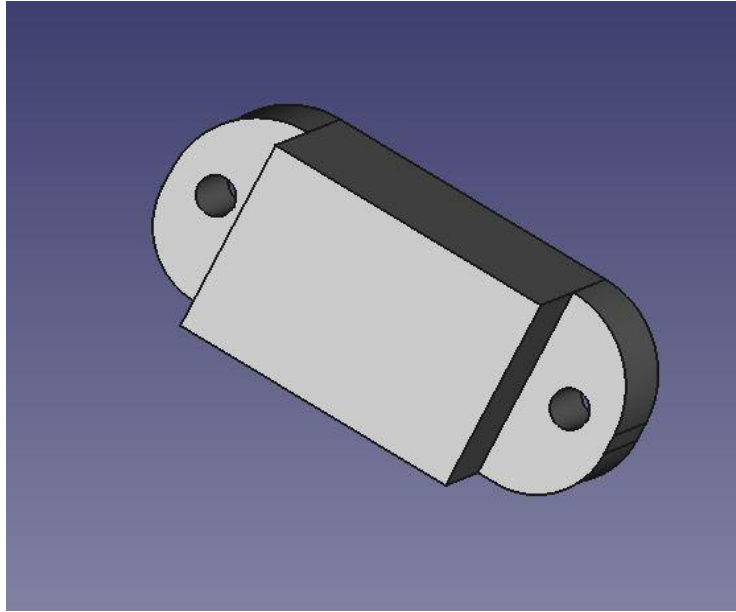


Figura 169: Falange 4

De manera que por medio de los agujeros podemos ensamblar unas piezas a otras.

- Teniendo en cuenta las pruebas realizadas, tenemos que ser conscientes de que los doblajes realizados en la lata deben quedar por fuera para que al fundir el plástico se quede completamente liso y no haya dificultades al sacarlo, especialmente en los dedos.

Lo conseguido con este proyecto se puede aplicar a la realización de otro tipo de materiales a partir del plástico encontrado, así se haría un uso sostenible de este.

Como la realización de juguetes, maquetas educativas o materiales necesarios en el día a día.

## 5 PRESUPUESTO

### Capítulo 1 MEDICIONES

**En este capítulo se enumeran los elementos del proyecto que suponen un coste económico.**

#### **MATERIAL**

*Tabla 6: Cantidad de material*

| <b><u>Elemento</u></b>                  | <b><u>unidades</u></b> |
|-----------------------------------------|------------------------|
| <b><u>Tupperware</u></b>                | <b><u>2</u></b>        |
| <b><u>Paquetes de escayola 1Kg</u></b>  | <b><u>5</u></b>        |
| <b><u>Vasos de plástico</u></b>         | <b><u>7</u></b>        |
| <b><u>Pasta para moldear 500 gr</u></b> | <b><u>12</u></b>       |
| <b><u>Complemento de cocina</u></b>     | <b><u>1</u></b>        |
| <b><u>Horno de sobremesa</u></b>        | <b><u>1</u></b>        |
| <b><u>Latas</u></b>                     | <b><u>6</u></b>        |
| <b><u>Molde de bizcocho</u></b>         | <b><u>1</u></b>        |
| <b><u>Molde de bizcocho 2</u></b>       | <b><u>1</u></b>        |

## INSTRUMENTACIÓN

Tabla 7: Aparatos utilizados

| <u>Aparato</u>                                      | <u>Horas de uso</u> |
|-----------------------------------------------------|---------------------|
| <u>Ordenador personal</u>                           | <u>480</u>          |
| <u>Durómetro universal “CENTAUR”<br/>modelo RB2</u> | <u>4</u>            |
| <u>Maquina de ensayo “HOYTOM Lt”</u>                | <u>2</u>            |
| <u>Horno de sobremesa</u>                           | <u>20</u>           |

La amortización de los equipos de durómetro y máquina de ensayo ya estarían amortizados al ser antiguos.

El ordenador personal teniendo en cuenta una media de uso de 4380 euros y teniendo en cuenta que el precio del ordenador era de 500 euros, se han amortizado 55 euros.

El horno se amortiza en el uso del plástico.

| <u>Tarea</u>                     | <u>Tiempo (horas)</u> |
|----------------------------------|-----------------------|
| <u>Búsqueda de bibliografía</u>  | <u>180</u>            |
| <u>Pruebas previas al diseño</u> | <u>20</u>             |
| <u>Ensayos</u>                   | <u>11</u>             |
| <u>Redacción documentación</u>   | <u>300</u>            |
| <u>Total</u>                     | <u>509</u>            |

## **Capítulo 2 PRECIOS UNITARIOS**

**En este capítulo se presentan los costes unitarios de cada elemento del proyecto.**

### **MATERIAL**

*Tabla 8: Precio unitario del material*

| <b><u>Elemento</u></b>              | <b><u>precio<br/>unitario<br/>(€)</u></b> |
|-------------------------------------|-------------------------------------------|
| <b><u>Tupperware</u></b>            | <b><u>1,95</u></b>                        |
| <b><u>Paquete escayola</u></b>      | <b><u>2,58</u></b>                        |
| <b><u>Vasos plastico</u></b>        | <b><u>0,3<sup>1</sup></u></b>             |
| <b><u>Pasta para moldear</u></b>    | <b><u>2,25</u></b>                        |
| <b><u>Complemento de cocina</u></b> | <b><u>3,16</u></b>                        |
| <b><u>Horno de sobremesa</u></b>    | <b><u>29</u></b>                          |
| <b><u>Latas</u></b>                 | <b><u>0,5<sup>1</sup></u></b>             |
| <b><u>Molde de bizcocho</u></b>     | <b><u>2,95</u></b>                        |
| <b><u>Molde de bizcocho 2</u></b>   | <b><u>1,97</u></b>                        |

---

<sup>1</sup> Precio medio ponderado de los componentes utilizados

---

## **INSTRUMENTACIÓN**

*Tabla 9: Precio de aparatos utilizados*

| <b><u>Aparato</u></b>                                      | <b><u>precio</u></b> |
|------------------------------------------------------------|----------------------|
| <b><u>Ordenador personal</u></b>                           | <b><u>500</u></b>    |
| <b><u>Durometro universal “CENTAUR”<br/>modelo RB2</u></b> | <b><u>200</u></b>    |
| <b><u>Maquina de ensayo “HOYTOM Lt”</u></b>                | <b><u>600</u></b>    |
| <b><u>Horno de sobremesa</u></b>                           | <b><u>29</u></b>     |

*Tabla 10: Costes por hora*

|                          | <b><u>Coste (€/hora)</u></b> |
|--------------------------|------------------------------|
| <b><u>Ingeniería</u></b> | <b><u>10</u></b>             |

### Capítulo 3 SUMAS PARCIALES

En este capítulo se calcula el coste de cada uno de los sub-apartados de coste definidos anteriormente.

*Tabla 11: Sumas parciales por presupuesto*

#### MATERIAL

| <u>Elemento</u>              | <u>precio unitario (€)</u> | <u>unidades</u> | <u>subtotal</u><br><u>(€)</u> |
|------------------------------|----------------------------|-----------------|-------------------------------|
| <u>Tupperware</u>            | <u>1,95</u>                | <u>2</u>        | <u>3,9</u>                    |
| <u>Paquete de escayola</u>   | <u>2,58</u>                | <u>5</u>        | <u>12,9</u>                   |
| <u>Vasos de plástico</u>     | <u>0,3</u>                 | <u>7</u>        | <u>2,10</u>                   |
| <u>Complemento de Cocina</u> | <u>3,16</u>                | <u>1</u>        | <u>3,16</u>                   |
| <u>Horno de sobremesa</u>    | <u>29</u>                  | <u>1</u>        | <u>29</u>                     |
| <u>Latas</u>                 | <u>0,5</u>                 | <u>6</u>        | <u>3</u>                      |
| <u>Molde de bizcocho</u>     | <u>5,95</u>                | <u>1</u>        | <u>5,95</u>                   |
| <u>Molde de bizcocho 2</u>   | <u>1,97</u>                | <u>1</u>        | <u>1,95</u>                   |

El IVA está incluido

Total

Material    61,96



Tabla 12: Precio por ingeniería

### INGENIERÍA

| <u>Tarea</u>                    | <u>Tiempo<br/>(horas)</u> | <u>Coste (€/hora)</u> | <u>Subtotal<br/>(€)</u> |
|---------------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|
| <u>Búsqueda de bibliografía</u> | <u>180</u>                | <u>10</u>             | <u>1800</u>             |
| <u>Pruebas más diseño</u>       | <u>20</u>                 | <u>10</u>             | <u>200</u>              |
| <u>Ensayos</u>                  | <u>11</u>                 | <u>10</u>             | <u>110</u>              |
| <u>Redacción documentación</u>  | <u>300</u>                | <u>10</u>             | <u>3000</u>             |

Total  
INGENIERÍA 5110

### DESPLAZAMIENTOS

| <u>Tarea</u>               | <u>distancia<br/>(km)</u> | <u>Coste (€/km)</u> | <u>Subtotal<br/>(€)</u> |
|----------------------------|---------------------------|---------------------|-------------------------|
| <u>Ida al hospital</u>     | <u>22,8*4 = 91,2</u>      | <u>0,1</u>          | <u>9,12</u>             |
| <u>Vuelta del hospital</u> | <u>17,3*4 = 69,2</u>      | <u>0,1</u>          | <u>6,92</u>             |

Total  
INGENIERÍA 16,04

## **Capítulo 4    PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL**

*Tabla 13: Presupuesto general*

| <b><u>PRESUPUESTO GENERAL DEL PROYECTO</u></b> |                            |
|------------------------------------------------|----------------------------|
| <b><u>ELEMENTO</u></b>                         | <b><u>Subtotal (€)</u></b> |
| <b><u>Material</u></b>                         | <b><u>61,96</u></b>        |
| <b><u>Instrumentación</u></b>                  | <b><u>29</u></b>           |
| <b><u>Ingeniería</u></b>                       | <b><u>5110</u></b>         |
| <b><u>Desplazamiento</u></b>                   | <b><u>16,04</u></b>        |
| <b><u>Total</u></b>                            | <b><u>5200,96</u></b>      |

Hay que tener en cuenta que al llevar el proyecto no tendremos ciertos datos que se han puesto en el presupuesto, ellos harán uso de hornos artesanales y reutilizarán latas de refresco y botellas de plástico.

Además los valores de ingeniería no se tendrán en cuenta al realizar ellos su propio proyecto con hornos artesanales, se produce un ahorro con respecto al horno de 29 euros y ellos solo necesitarían como material:

- Tijeras
- Latas
- Tapones de botellas de plástico

## *6 DIFUSIÓN DEL PROYECTO Y BUSQUEDA DE FINANCIÓN*

A la hora de extender el proyecto a entornos que encuentren necesidad en este proyecto, se enfoca en utilizar una comunicación dinámica y divulgar teniendo en cuenta que va dirigido a un público variado. La principal meta de este proyecto, es conseguir un bien común y humanitario, para ello cualquier oportunidad para transmitirlo debe ser aprovechada mediante una comunicación abierta a un público diverso.

Se ejecutó una investigación sobre diferentes ONGs y posibles usuarios finales con la finalidad de aportar y transmitir estos conocimientos a zonas desfavorecidas de diferentes culturas. A través de premios y conferencias que busquen un entorno sostenible, ayuda humanitaria y la innovación para una sociedad que pide ayuda.

A través de esta búsqueda, se encuentran diversos premios como los que favorece Mapfre a proyectos con un fuerte impacto social, así como muchos ofrecidos por universidades en diferentes comunidades autónomas de España. También se encuentran conferencias de fabricación como el MESIC con importancia para la propagación del proyecto.

## *7 CONCLUSIONES*

En este proyecto se ha conseguido realizar un estudio sobre las diferentes posibilidades para diseñar una prótesis de mano en países con recursos poco avanzados y fuera de las nuevas tecnologías que facilitan la vida actual en países en un auge económico. Se puede concluir en base a la investigación desarrollada, que mientras que la escayola como molde dificultaría el proceso debido a su reacción química, el desarrollo de un molde con arcilla podría llevarse a cabo, siempre y cuando, el plástico sea introducido en el molde directamente a la hora de introducirlo en el horno soportando así la arcilla las temperaturas sin producirse grietas.

En el caso de la investigación al no haberse podido realizar con arcilla de la zona, se hizo uso de pasta de moldear que no aguantó correctamente las pruebas ejecutadas. Así se llegó a la principal conclusión el reciclaje de latas de refresco dándoles un segundo uso, dándole forma y calentando en él el polietileno de alta densidad hasta llegar a un punto maleable.

El polietileno de alta densidad es el polímero más frecuente, y por lo tanto más fácil de encontrar, además posee propiedades como la resistencia térmica o química y la baja permeabilidad que le permiten tener una larga vida útil.

Después para el proceso de formación se empleó alrededor de 7 horas entre el desarrollo de moldes y el desarrollo de la fundición de las diferentes capas. Más tarde se realizaron ensayos que confirmaron la capacidad de soportar al menos unos 40 kg siempre teniendo en cuenta que comenzará a doblarse antes, entorno a los 20 Kg, lo que permitirá al menos el uso de soporte siempre evitando cargar con cierto peso.

Mirando las prótesis actuales en países desarrollados, se observa que hacen uso de materiales como el titanio, con una dureza vicker de 940 Mpa, y el aluminio con una dureza vicker 167 Mpa, en el caso del Polietileno de alta densidad tiene una dureza vicker de 34,5 Mpa.

Teniendo en cuenta la dureza del material y su resistencia, podría pensarse, ¿Por qué no se hace entonces uso de una impresora 3D? No se puede garantizar la disponibilidad de un ordenador en un país en conflicto, así como una impresora 3D, e importarlo le costaría un precio difícilmente asequible para su estado económico.

Esta es la mejor manera de asegurar una mejor calidad de vida para personas amputadas y para aquellas de futuras generaciones, ya que se consigue una mejor sostenibilidad debido a la disminución de residuos plásticos y por lo tanto, mejor estado de salud de la población.



*Figura 170: Prótesis de mano*

Las dimensiones finales de la mano serían,

Palma: 6x5,2x1,3 cm

Dedo pulgar: 4,6x1,4x0,7

Dedos: 5,8x1,5x0,5

Así, teniendo en cuenta los objetivos inicialmente remarcados:

- **OBJETIVO 1 :**  
Obtener un procedimiento de fabricación viable para el desarrollo de prótesis de mano mecánica accesible en los países en vías de desarrollo.

A partir de latas de refresco y botellas de plástico, y gracias a los recursos disponibles en países en vías de desarrollo o en conflicto como los hornos artesanales, se ha conseguido un procedimiento de fabricación viable.

- **OBJETIVO 2 :**  
Caracterizar las prestaciones mecánicas de la prótesis con el material disponible.

Tras realizar diversos ensayos mecánicos, como el ensayo de flexión y dureza Vicker, se ha conocido la resistencia que caracteriza al material utilizado para la prótesis ; Polietileno de alta densidad.

- OBJETIVO 3 :

Obtener un prototipo de prótesis mecánica de mano

En la última figura se observa el prototipo obtenido como primera base para un futuro desarrollo en el que se buscará la movilidad de la prótesis.

## 8 AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento de este proyecto va dirigido primero a mis directoras de proyecto María Ana Saenz Nuño y Noelia Diez Sánchez que me han aportado mucho para crecer tanto profesional como personalmente, también al Hospital FREMAP de Majadahonda y el servicio de readaptación profesional por su colaboración y aportación sobre información de prótesis reales. A nivel Académico agradezco a los profesores de la universidad que me han guiado durante estos años, así como al equipo del campus tecnológico y a nivel personal agradecer principalmente a mi madre que ha sido la que me ha permitido poder estudiar esta carrera a base de mucho esfuerzo, a mi hermano que me ha apoyado y animado a lo largo del recorrido y por último agradecer a mis compañeros y amigos con los que he compartido horas de comprender, estudiar y apoyarnos mutuamente en este laborioso camino.

## 9 BIBLIOGRAFIA

[1]<http://www.manosydedos.com/precios.html>

[2]<http://imprimalia3d.com/noticias/2017/08/24/009274/una-pr-tesis-3d-veitincinco-veces-m-s-barata>

[3][https://www.lasexta.com/noticias/ciencia-tecnologia/un-joven-madrileno-logra-hacer-protesis-de-bajo-coste-con-una-impresora-3d-y-cambia-la-vida-a-personas-con-miembros-amputados\\_201803305abe44370cf240aa712abac2.html](https://www.lasexta.com/noticias/ciencia-tecnologia/un-joven-madrileno-logra-hacer-protesis-de-bajo-coste-con-una-impresora-3d-y-cambia-la-vida-a-personas-con-miembros-amputados_201803305abe44370cf240aa712abac2.html)

[4]“El pie de Jaipur” libro de Javier Moro

[5][http://www.elmundo.es/album/cronica/2015/01/04/54a9266522601d393b8b4571\\_5.html](http://www.elmundo.es/album/cronica/2015/01/04/54a9266522601d393b8b4571_5.html)

[6]<https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/19354/48745>

[7]<https://assets.ossur.com/library/39030>

[8]<https://www.ottobock.es/>

[9]<http://unyq.com/>

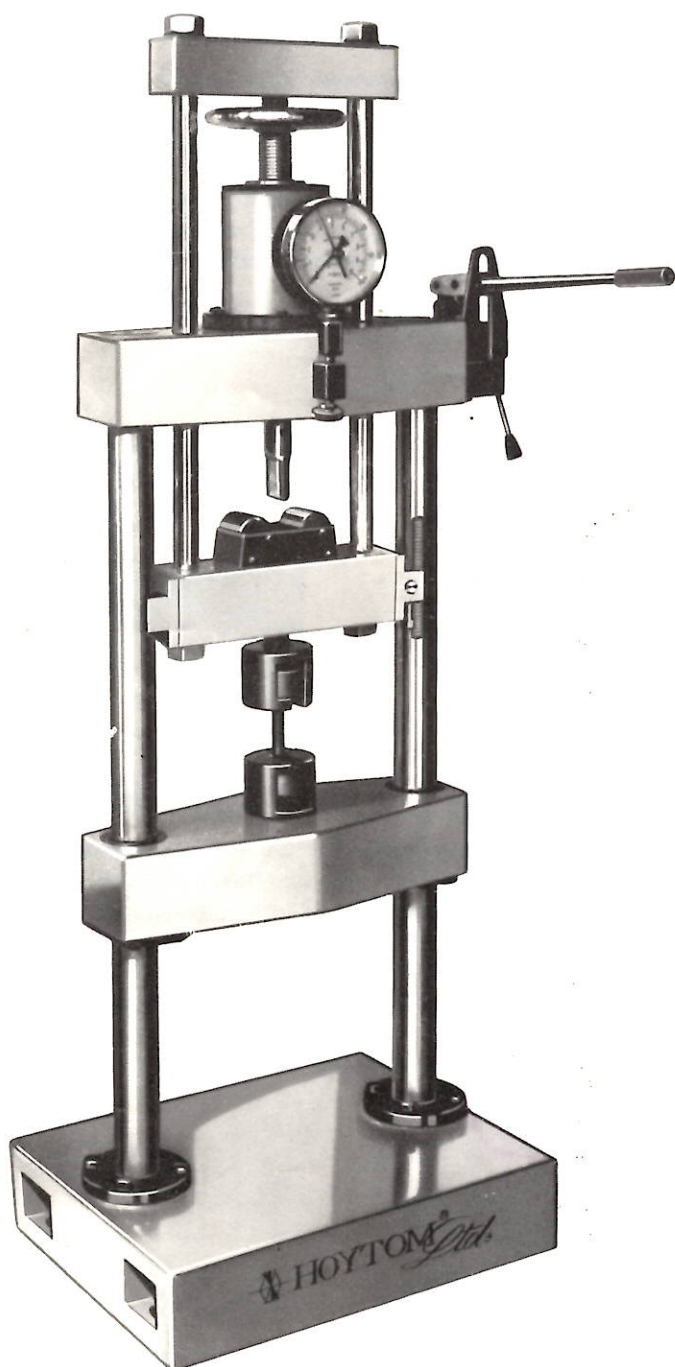
- [10]<http://www.europapress.es/internacional/noticia-15-principales-crisis-humanitarias-marcaran-2018-20180127090831.html>
- [11]<https://www.lavanguardia.com/internacional/20160504/401554280858/mapa-conflictos-mundo.html>
- [12]<http://www.manosunidas.org/proyecto/apoyo-psicosocial-refugiados-del-campo-doro>
- [13]<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/22585/TESIS%20FINALok.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [14]<http://aliso.pntic.mec.es/cm10029/PLASTICOS/Generalidades.html>
- [15][http://laseda.es/index2.php?lang=es&ID\\_cat=&PID\\_cat=&SID\\_cat=338&SSID\\_cat=343](http://laseda.es/index2.php?lang=es&ID_cat=&PID_cat=&SID_cat=338&SSID_cat=343)
- [16][https://es.wikipedia.org/wiki/Tereftalato\\_de\\_polietileno](https://es.wikipedia.org/wiki/Tereftalato_de_polietileno)
- [17]<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/polietileno-de-alta-densidad.html>
- [18][http://fido.palermo.edu/servicios\\_dyc/blog/docentes/trabajos/13222\\_42180.pdf](http://fido.palermo.edu/servicios_dyc/blog/docentes/trabajos/13222_42180.pdf)
- [19]<https://www.quiminet.com/articulos/propiedades-del-polipropileno-2671066.htm>
- [20]<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/poliestireno.html>
- [21]<https://es.wikipedia.org/wiki/Poliestireno>
- [22][http://www.madrid.org/cs/Satellite?c=FRAME\\_Contentido\\_FA&childpagename=PortalConsumidor%2FFrame\\_Contentido\\_FA%2FPTCS\\_contenidoGenerico&cid=1343066078766&p=1343064074534&pagename=PTCS\\_wrapper](http://www.madrid.org/cs/Satellite?c=FRAME_Contentido_FA&childpagename=PortalConsumidor%2FFrame_Contentido_FA%2FPTCS_contenidoGenerico&cid=1343066078766&p=1343064074534&pagename=PTCS_wrapper)
- [23]<https://www.youtube.com/watch?v=kG2Mzukq0VI>
- [24]<https://www.cocacolaespana.es/historias/envases-sostenibles>
- [25][https://opedge.com/Articles/ViewArticle/2015-06\\_02?spanish=True](https://opedge.com/Articles/ViewArticle/2015-06_02?spanish=True)
- [26] [http://fcm.ens.uabc.mx/~fisica/FISICA\\_II/APUNTES/CURVA.htm](http://fcm.ens.uabc.mx/~fisica/FISICA_II/APUNTES/CURVA.htm)
- [27] Mecánica de Materiales. F.P. Beer, E. R. Johnston, J.T. Dewolf y D. F. Mazurek. McGraw-Hill. Quinta Edición. 2010
- [28] William D. Callister, Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, 2º edición 2013. Limusa Wiley.
- [29] <https://www.ocu.org/consumo-familia/consumo-colaborativo/noticias/residuos-envases-de-plastico/section1>
- [30] [https://www.ocu.org/consumo-familia/consumo-colaborativo/noticias/residuos-envases-de-plastico?utm\\_source=facebook&utm\\_medium=fb-sponsored-post&utm\\_campaign=circ-park&fbclid=IwAR0SvpboWndAB7RAE3P6hKSaloIU4NU0qLtquRlmBN0HJetyTfYaI6cl1A#](https://www.ocu.org/consumo-familia/consumo-colaborativo/noticias/residuos-envases-de-plastico?utm_source=facebook&utm_medium=fb-sponsored-post&utm_campaign=circ-park&fbclid=IwAR0SvpboWndAB7RAE3P6hKSaloIU4NU0qLtquRlmBN0HJetyTfYaI6cl1A#)



[31] <http://materialesdeingenieriaindustrial.blogspot.com/2010/05/latas-de-aluminio.html>

## *10 ANEXOS*

**TRACCION · COMPRESION · FLEXION · ALARGAMIENTO · PLEGADO**  
**DUREZA BRINELL · CIZALLADURA**



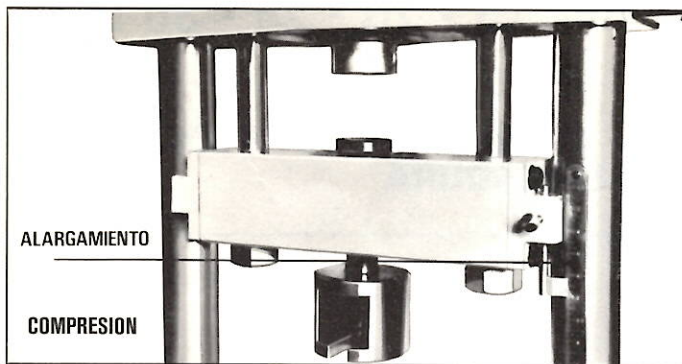
**CARACTERISTICAS**

|                                 |                 |
|---------------------------------|-----------------|
| Desplazamiento máximo . . . . . | 210 mm          |
| Altura de la máquina . . . . .  | 1.925 mm        |
| Base . . . . .                  | 570 mm x 710 mm |
| Peso aproximado . . . . .       | 400 kg.         |

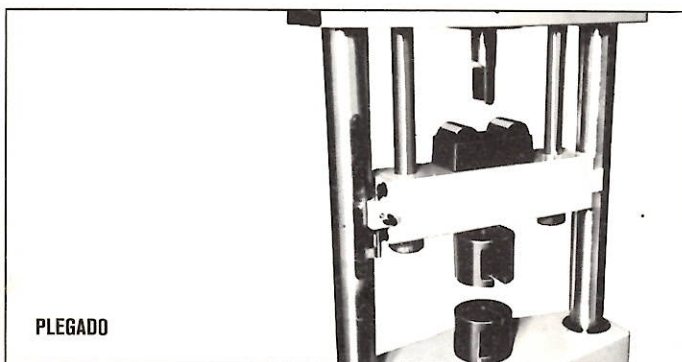


**EJECUCION MOTORIZADA**

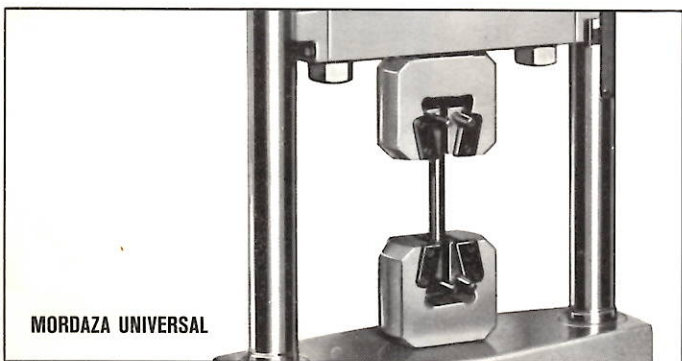
(sobre demanda)



Colocando el plato de 70 mm Ø y dentro del campo de separación se puede realizar ensayos de innumerables probetas.



Este tipo de ensayo se realiza colocando la cuchilla y apoyo adecuados que se sirven con la máquina.



Especial para determinado tipo de probetas, redondos, flejes, etc., (sobre demanda).



Se sitúa sobre las probetas los casquillos apropiados a su diámetro, alojándolos sobre las mordazas de la máquina, tensando las probetas mediante el volante. Cerrada la válvula de la bomba siguiendo el sentido de las agujas del reloj, se acciona la bomba en su curso completo. Al producirse la rotura de la probeta a ensayo su lectura viene dada por la aguja indicadora de máximo esfuerzo.

Esta máquina va provista de una regleta y nonio que permite lecturas de alargamiento.



\* Situado el porta-penetrador provisto de bola de 10 mm Ø, se aprisiona la pieza a ensayar mediante el volante. En este ensayo es imprescindible estar atentos a la aguja del manómetro para que la misma se mantenga en los 3.000 Kgs. durante un tiempo aproximado de 30". Se produce a la medición de la huella por medio de un microscopio y su lectura viene dada mediante las tablas de conversión que con cada máquina se envían.

*Dureza*

SE FABRICA BAJO ENCARGO CUALQUIER DISPOSITIVO DE AMARRE DE PROBETAS

#### ACCESORIOS NORMALES

- 1 Juego de mordazas para probetas con cabeza.
- 1 Juego de casquillos para el alojamiento de probetas.
- 1 Plato de 70 mm Ø.
- 1 Apoyo con distancias entre radios de 100 mm.
- 1 Cuchilla plegadora.
- 1 Porta-penetrador con bola de 10 mm Ø.
- 1 Tabla de conversión.

#### ACCESORIOS ESPECIALES

- Juego de MORDAZAS UNIVERSALES.
- Motor y equipo hidráulico automático.
- Reloj programador de cargas.
- Regulador de caudal.

**NOTA.**-Si algún ensayo que deseen realizar en su industria no abarca las exigencias de esta máquina, disponemos de una extensa gama de aparatos de metrología, capaces de resolver su problema.



DESCRIPCION del Durómetro Universal "CENTAUR" modelo RB2.

El cuerpo del Durómetro Universal "CENTAUR", mod. RB2, está formado por una pieza monobloque de fundición gris, que presenta al exterior única y exclusivamente aquellos mandos o mecanismos cuyo empleo constante es imprescindible para su manejo, dando así total protección en su interior al resto de sus delicados mecanismos.

Con el fin de que el operador se familiarice desde el principio con todos y cada uno de estos mecanismos y mandos exteriores, vamos a describirlos brevemente a continuación:

El mecanismo de elevación situado en la parte anterior de la máquina, está formado por el husillo de aproximación, el volante con cuatro manillas y un juego de cuatro yunques o mesitas portapiezas de distintas formas y dimensiones.

Su misión es la de servir de apoyo a las piezas que se han de ensayar y aproximarlas al mecanismo de penetración.

El mecanismo de penetración, montado sobre el mismo eje del mecanismo de elevación, y situado en la parte inferior del aparato. Su misión es la de recibir y transmitir la carga de ensayo a la pieza en examen.

El mecanismo de pre-bloqueaje, mecanismo este coaxial con el anterior y que solamente presenta al exterior el puente de apoyo, montado sobre dos columnitas situadas a ambos lados del eje portapenetrador. Su finalidad es la de bloquear a las piezas a comprobar sobre la mesita portapiezas, antes de que entren en contacto con el penetrador. Su empleo es imprescindible cuando se trate de comprobar piezas de cierto peso o formas complicadas.

Siempre que se trate de efectuar ensayos sobre piezas delicadas o de poco peso, el ensayo debe efectuarse sin el mecanismo de pre-bloqueaje, para lo cual es necesario desmontar el puente o pisador del mismo. Para desmontarlo, es suficiente aflojar suavemente los dos tornillos laterales al mismo, retirándolo hacia abajo. Si por la forma de las piezas a comprobar estorbasen las dos patillas o columnitas que le sirven de guía y apoyo, estas pueden desmontarse a rosca simplemente. Para cambiar los distintos penetradores sobre el vástago portapenetrador, es también necesario desmontar el puente del mecanismo de bloqueaje.

El mecanismo de medida se halla situado en el interior de la máquina. Sin embargo es visible desde el exterior el instrumento indicador de medida o reloj comparador, situado en la placa frontal. El piloto rojo de neon, situado en la misma placa frontal nos indica el final del ensayo u operación de carga.



El mecanismo de aplicación de cargas y retirada de las mismas se halla en el interior de la máquina. Presenta al exterior la manilla que acciona el mecanismo, y está situada en la parte superior del lateral derecho. Su posición normal de reposo, es decir cuando la máquina se halla "descargada" es la de hacia adelante. Para aplicar las cargas de ensayo, solamente es necesario accionarla suavemente hacia atrás.

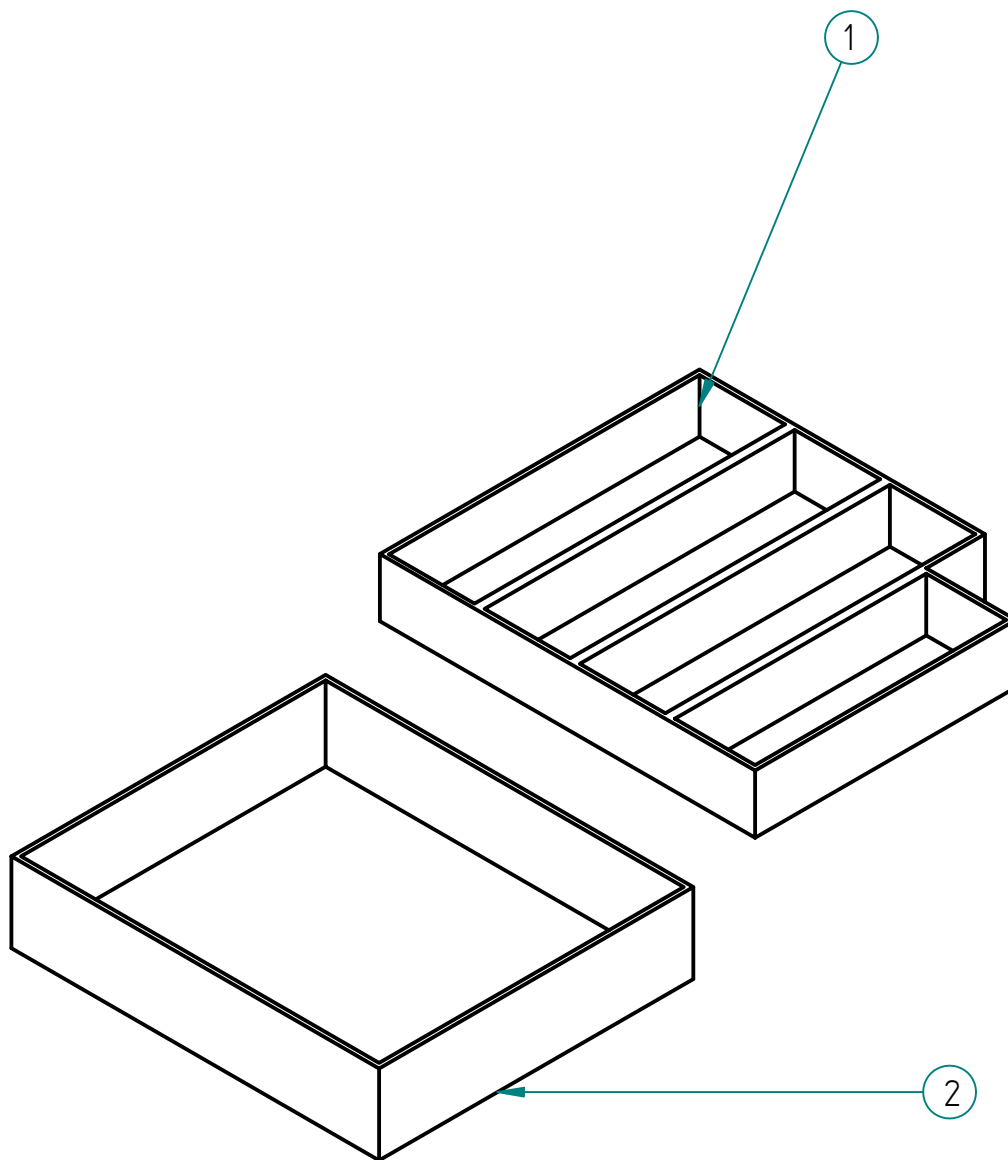
El mecanismo de regulación de la velocidad de penetración se halla también en el interior de la máquina. Este mecanismo funciona en perfecta conexión con el anterior y su misión es la de depositar suavemente las cargas de ensayo sobre la palanca de carga, regulando al mismo tiempo la velocidad de penetración y por tanto la duración del ensayo. La regulación oleo-hidráulica de este mecanismo se obtiene actuando sobre un botón de gran diámetro situado al exterior, en el lateral derecho de la máquina. Sin más que girarlo en uno u otro sentido, según indican las flechas se obtiene mayor o menor velocidad de penetración. La elección de la velocidad de penetración se hace en función de los materiales a ensayar y del procedimiento Rockwell o Brinell en que se opere. Como primera indicación, podemos señalar que el ensayo en Rockwell se debe totalizar entre 5 y 10 segundos aproximadamente y el ensayo Brinell en unos 30 segundos.

El mecanismo de carga se halla también en el interior de la máquina. Sin embargo, a través de la puerta situada en el lateral derecho, tenemos acceso al mecanismo selector de carga. La obtención de la carga deseada se efectúa sin más que introducir la horquilla metálica en la ranura correspondiente. Las distintas etapas de carga, se hallan situadas en el interior del cilindro y cada ranura lleva claramente indicada la carga de ensayo que con ella se obtiene. En el plano interior de la puerta lateral, se halla una placa con indicaciones sobre las distintas escalas de ensayo en Rockwell y Brinell recomendadas para cada pieza, en función de su material, calidad y dureza aproximada. Si se carece de experiencia sobre ensayos de dureza, la simple observación detenida de esta tabla da una idea clara de su modo de empleo, y es suficientemente orientativa.

Sobre la puerta de acceso al cilindro selector de cargas, se encuentra un panel de mandos. Ya hemos dicho anteriormente que el botón de gran diámetro es el mando exterior del mecanismo de regulación oleo-hidráulica de las velocidades de penetración. Los dos interruptores situados sobre el mismo panel, son para el dispositivo de iluminación y el piloto rojo. El piloto rojo recibe el impulso eléctrico a través de un micro-switch en conexión con el movimiento del mecanismo de aplicación de cargas.

La clavija para la conexión a la red eléctrica se halla situada en la parte posterior de la máquina.



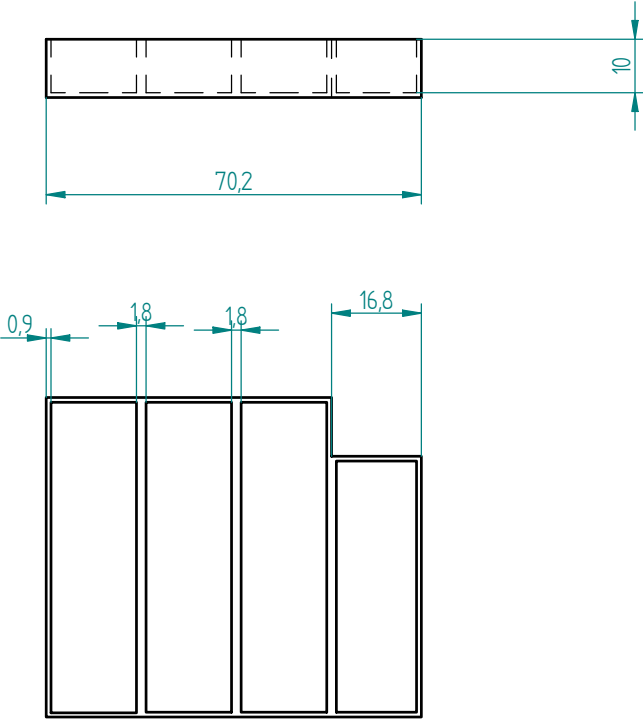
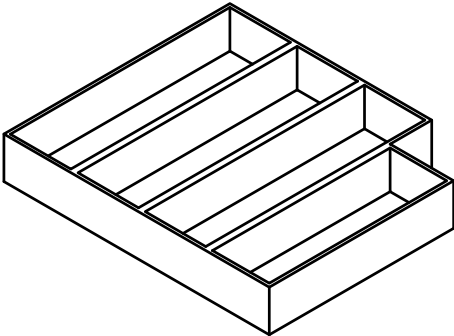


|   | Pieza       | Material |
|---|-------------|----------|
| 1 | molde dedos | Aluminio |
| 2 | molde palma | Aluminio |

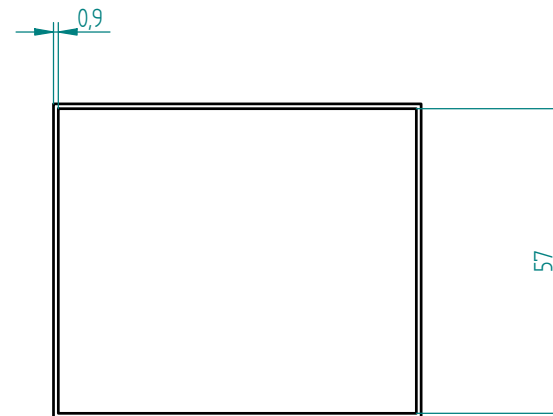
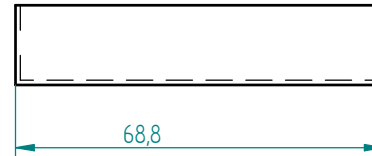
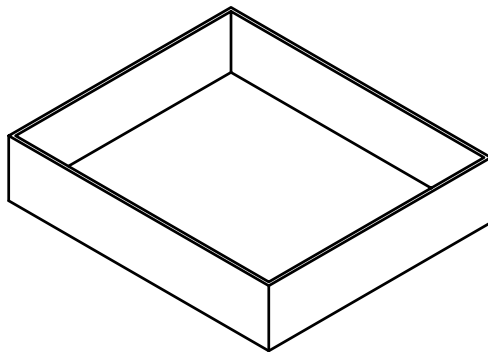
| Nombre                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Beatriz Quiralte Moreno                                                                                         |
| Codigo: 201302299                                                                                               |
| Alumna 4º Ingeniería Electromecánica                                                                            |
| Salvo indicación contraria<br>cotas en milímetros<br>ángulos en grados<br>tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$ |

| <b>Universidad Pontificia</b><br><b>Comillas</b> |                              |
|--------------------------------------------------|------------------------------|
| Título                                           | Prótesis de mano             |
| A4                                               | Plano<br>Molde del prototipo |
| Escala 1:1                                       | Proyecto fin de grado        |



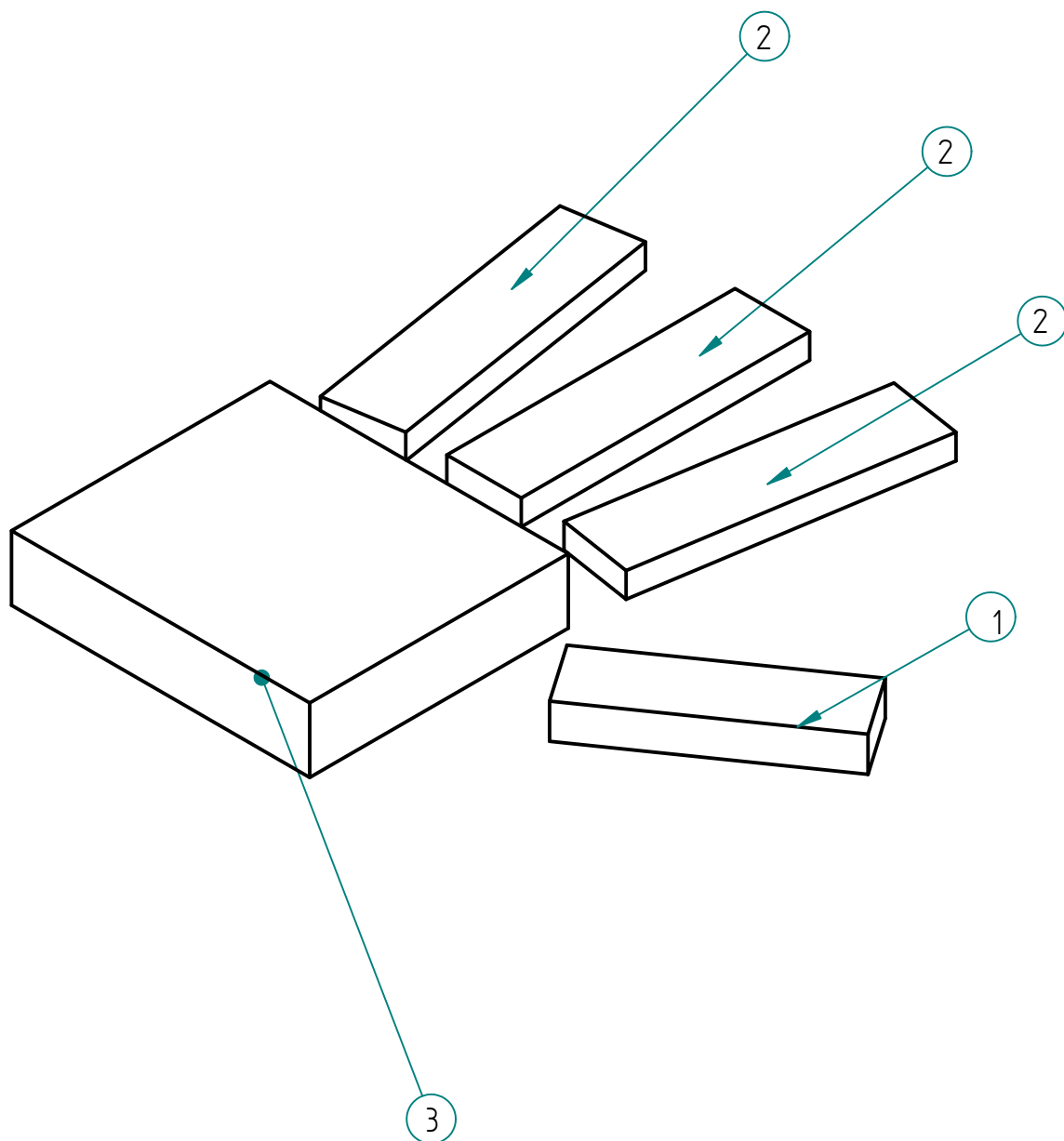


|                                                                                                  |          |                                    |                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------------|-------------------------|
| Nombre                                                                                           |          | Universidad Pontificia<br>Comillas |                         |
| Beatriz Quiralte Moreno                                                                          |          |                                    |                         |
| Codigo:                                                                                          | profaula | Título<br>Molde dedos de mano      |                         |
| Alumna 4º Ingeniería Electromecánica                                                             |          |                                    |                         |
| Salvo indicación contraria<br>cotas en milímetros<br>ángulos en grados<br>tolerancias ±0,5 y ±1º |          | A3                                 | Plano<br>1. Molde dedos |
|                                                                                                  |          | Escala 1:1                         |                         |



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

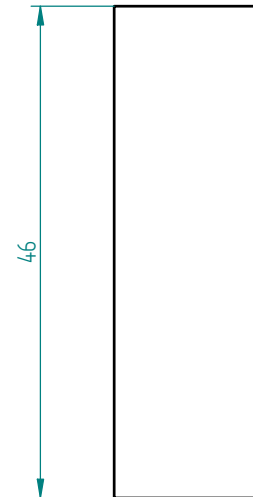
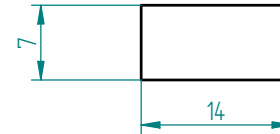
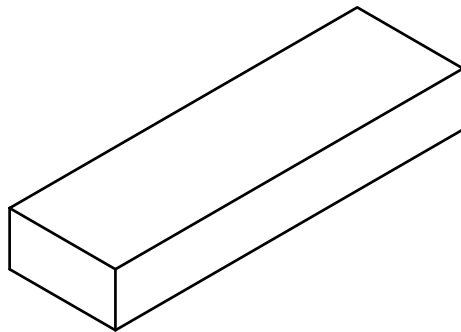
|                                                                                                  |           |                                    |                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------|------------------------|
| Nombre                                                                                           |           | Universidad Pontificia<br>Comillas |                        |
| Beatriz Quiralte Moreno                                                                          |           |                                    |                        |
| Codigo:                                                                                          | 201302299 | Título<br>Molde palma de mano      |                        |
| Alumna 4º Ingeniería Electromecánica                                                             |           |                                    |                        |
| Salvo indicación contraria<br>cotas en milímetros<br>ángulos en grados<br>tolerancias ±0,5 y ±1º |           | A3                                 | Plano<br>2. molde mano |
|                                                                                                  |           | Escala 1:1                         |                        |



|   | Pieza       | Material      |
|---|-------------|---------------|
| 1 | Dedo pulgar | Plástico HDPE |
| 2 | Dedo        | Plástico HDPE |
| 3 | Palma       | Plástico HDPE |

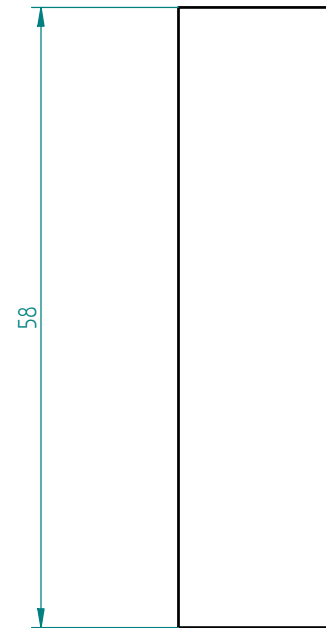
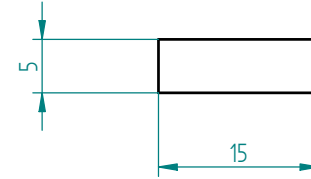
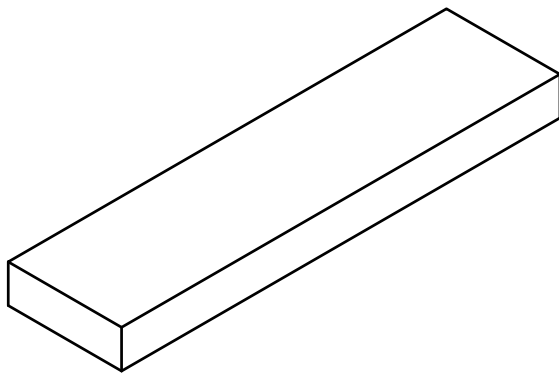
|                                                                                                  |           |                                    |                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------|-----------------------|
| Nombre                                                                                           |           | Universidad Pontificia<br>Comillas |                       |
| Beatriz Quiralte Moreno                                                                          |           |                                    |                       |
| Codigo:                                                                                          | 201302299 | Título<br>Prótesis de mano         |                       |
| Alumna 4º Ingeniería Electromecánica                                                             |           |                                    |                       |
| Salvo indicación contraria<br>cotas en milímetros<br>ángulos en grados<br>tolerancias ±0,5 y ±1° |           | A4                                 | Plano                 |
|                                                                                                  |           | Prototipo                          |                       |
|                                                                                                  |           | Escala 1:1                         | Proyecto fin de grado |

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



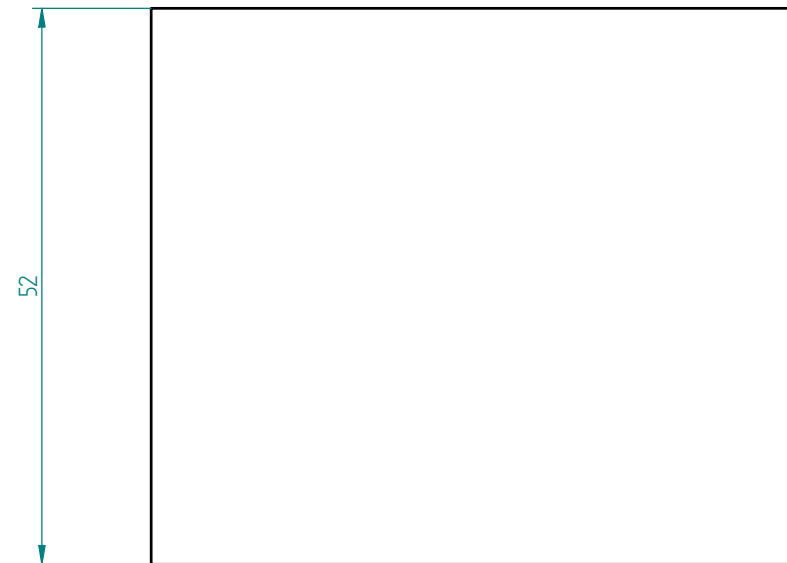
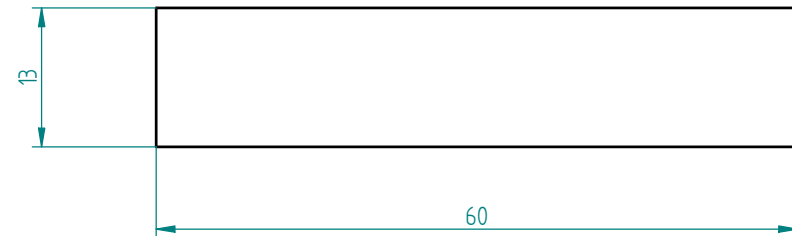
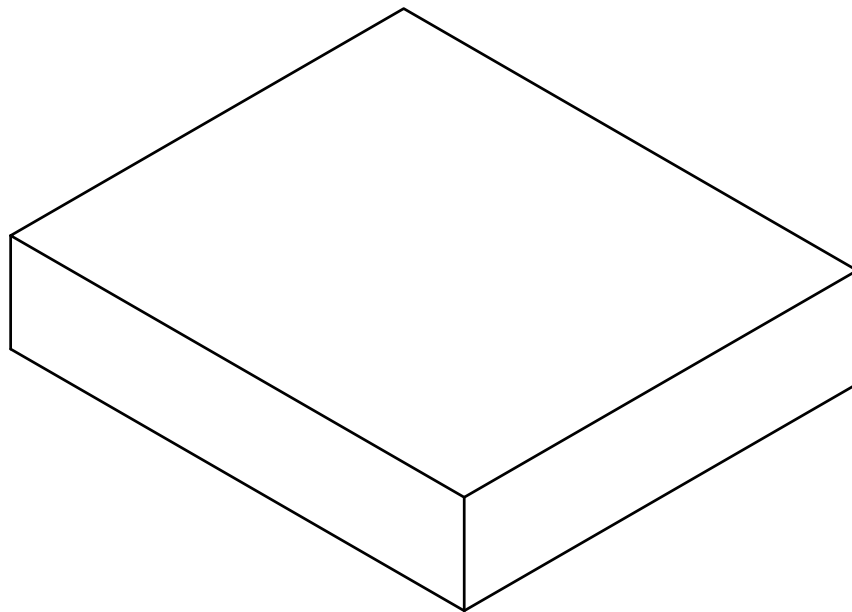
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

|                                                                                                  |           |                                    |                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Nombre                                                                                           |           | Universidad Pontificia<br>Comillas |                                   |
| Beatriz Quiralte Moreno                                                                          |           |                                    |                                   |
| Codigo:                                                                                          | 201302299 | Título<br>Prótesis de mano         |                                   |
| Alumna 4º Ingeniería Electromecánica                                                             |           |                                    |                                   |
| Salvo indicación contraria<br>cotas en milímetros<br>ángulos en grados<br>tolerancias ±0,5 y ±1º |           | A3                                 | Plano<br>1. Dedo pulgar prototipo |
|                                                                                                  |           | Escala 2:1                         | Proyecto fin de grado             |



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

|                                                                                                  |           |                                    |                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------|----------------------------|
| Nombre                                                                                           |           | Universidad Pontificia<br>Comillas |                            |
| Beatriz Quiralte Moreno                                                                          |           |                                    |                            |
| Código:                                                                                          | 201302299 | Título<br>Prótesis de mano         |                            |
| Alumna 4º Ingeniería Electromecánica                                                             |           |                                    |                            |
| Salvo indicación contraria<br>cotas en milímetros<br>ángulos en grados<br>tolerancias ±0,5 y ±1º |           | A3                                 | Plano<br>2. Dedo prototipo |
|                                                                                                  |           | Escala 2:1                         | Proyecto fin de grado      |



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

|                                                                                                  |           |                                    |                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------|-----------------------------|
| Nombre                                                                                           |           | Universidad Pontificia<br>Comillas |                             |
| Beatriz Quiralte Moreno                                                                          |           |                                    |                             |
| Código:                                                                                          | 201302299 | Título<br>Prótesis de mano         |                             |
| Alumna 4º Ingeniería Electromecánica                                                             |           |                                    |                             |
| Salvo indicación contraria<br>cotas en milímetros<br>ángulos en grados<br>tolerancias ±0,5 y ±1º |           | A3                                 | Plano<br>3. Palma prototipo |
|                                                                                                  |           | Escala 2:1                         | Proyecto fin de grado       |