



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN SISTEMA PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES A CORTADURA DE MATERIALES POLIMÉRICOS Y COMPUESTOS

Autor: Elena Bengoa Rico

Director: Juan Carlos del Real Romero

Co-Director: Eva Paz Jiménez

Madrid

Julio de 2023

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
**Diseño y fabricación de un sistema para determinar las propiedades a cortadura de
materiales poliméricos y compuestos**

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2022/23 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.: Elena Bengoa Rico

Fecha: 17/ 07/ 2023

Autorizada la entrega del proyecto

DIRECTORES DEL PROYECTO



Fdo.: Juan Carlos del Real Romero

Fecha: 17/ 07/ 2023



Fdo.: Eva Paz Jiménez

Fecha: 17/ 07/ 2023



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN SISTEMA PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES A CORTADURA DE MATERIALES POLIMÉRICOS Y COMPUESTOS

Autor: Elena Bengoa Rico

Director: Juan Carlos del Real Romero

Co-Director: Eva Paz Jiménez

Madrid

Julio de 2023

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento a mis directores Dr. Juan Carlos del Real Romero y Dra. Eva Paz Jiménez por darme la oportunidad de realizar este trabajo y especialmente a los profesores Dr. Xavier Soldani y Dr. Mariano Jiménez Calzado por sus consejos y ayuda en el laboratorio. Su dedicación y conocimientos han sido fundamentales para el éxito de este proyecto.

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN SISTEMA PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES A CORTADURA DE MATERIALES POLIMÉRICOS Y COMPUESTOS

Autor: Bengoa Rico, Elena

Director: Real Romero, Juan Carlos del; Paz Jiménez, Eva

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

El objetivo principal de este proyecto es el diseño y fabricación de utillajes para ensayos de cortadura, específicamente Iosipescu y Arcan. Estos dos ensayos se emplean en la caracterización de materiales compuestos y poliméricos en cuanto a su resistencia a la cortadura, según normas ASTM (D5379 / D5379 M - 98 y D7078 / D7078 M - 05 respectivamente). Para alcanzar este objetivo se utilizan técnicas de fabricación aditiva, como FDM, y se emplea el software Solid Edge para el diseño en 3D y planos. Los diseños se optimizan para reducir costos y peso sin perder resistencia. Se fabricarán prototipos para comprobar el montaje, con el objetivo final de fabricar los utillajes definitivos mediante fabricación aditiva reforzada por fibra de carbono.

Palabras clave: ensayos mecánicos, cortadura, Iosipescu, Arcan, FDM, materiales compuestos y poliméricos

1. Introducción

Los materiales compuestos tienen aplicaciones fundamentales en campos como la construcción, la fabricación mecánica y la medicina. Todo material compuesto está formado por un agente de refuerzo y por una fase matriz. El primero determinará mediante su geometría las propiedades mecánicas del material compuesto, mientras que la segunda, es de carácter continuo y es la encargada de transmitir los esfuerzos al agente refuerzo, además de protegerlo y cohesionarlo (COMPOSITECH, 2021). Para comprender su funcionamiento y mejorarlos, es crucial conocer sus propiedades.

Los ensayos de materiales desempeñan un papel esencial al evaluar estas propiedades, que abarcan desde aspectos mecánicos hasta térmicos, químicos y eléctricos. La selección del ensayo adecuado depende del tipo de material y de la propiedad que se desea medir.

Los ensayos mecánicos son utilizados para evaluar las propiedades mecánicas de los materiales. Se realizan diferentes ensayos dependiendo de las propiedades a analizar y del material en cuestión. Estos ensayos pueden clasificarse como destructivos o no destructivos. También pueden ser estáticos o dinámicos, siendo los primeros de carga aplicada de manera lenta y los segundos de carga impactante.

A continuación, se describen algunos de los ensayos más comunes (Zwick/Roell):

- **Ensayo de tracción:** Ensayo estático que mide la resistencia y deformación del material hasta su rotura. Se utiliza para determinar el límite elástico, la resistencia a la tracción y el alargamiento a rotura, entre otros. Se aplica una fuerza axial a una probeta hasta que se rompa, a bajas velocidades. Es uno de los ensayos más frecuentes.

- **Ensayo de compresión:** Ensayo estático para medir la resistencia del material a la compresión y su deformación hasta la rotura. Se utiliza para evaluar la seguridad, durabilidad e integridad de materiales y componentes, sometiéndolos a una carga de presión creciente.
- **Ensayo de flexión:** Ensayo estático para medir la resistencia del material a la flexión y la deformación producida en el proceso. Se realiza especialmente en materiales frágiles y permite obtener el límite elástico, la resistencia a la flexión y la deformación en flexión, entre otros.
- **Ensayo de torsión:** Ensayo estático para evaluar la resistencia del material a la torsión y la deformación resultante. Permite determinar propiedades como la rigidez torsional, la ductilidad y la resistencia al torque.
- **Ensayo de dureza:** Ensayo estático que mide la resistencia del material a la deformación permanente. Puede determinarse mediante la fuerza aplicada y la geometría de la huella, la longitud característica de la huella o mediante otra respuesta del material.
- **Ensayo de fatiga:** Ensayo para medir la resistencia del material a cargas cíclicas repetitivas. Por lo general, la falla ocurre por debajo de los límites de resistencia estática y se utiliza tanto para determinar características del material como para analizar su vida útil.
- **Ensayo de impacto:** Ensayo dinámico que evalúa la capacidad del material para resistir cargas de impacto y la energía requerida para romperlo. La resistencia del material varía con la temperatura, por lo que se realizan ensayos de impacto en diferentes rangos de temperatura.
- **Ensayo de cortadura:** Ensayo estático que mide la resistencia de un material a cargas de corte. Consiste en aplicar una fuerza cortante en la sección transversal de la muestra y permite obtener propiedades como la resistencia al corte, el esfuerzo cortante máximo y la deformación en corte, entre otras.

Dentro de este último tipo se encuentran los ensayos de Arcan y de Iosipescu que se van a analizar en este proyecto, que sirven para caracterizar materiales poliméricos y compuestos a cortadura. Los dispositivos existentes actualmente para realizar estos ensayos están fabricados de acero, y al tener geometrías complejas, resultan costosos debido al mecanizado necesario. En este trabajo se pretenden fabricar estos utillajes mediante fabricación aditiva de tal manera que se pueda encontrar una solución más económica que la disponible en el mercado.

2. Definición del Proyecto

En este proyecto se van a diseñar y fabricar los utillajes para los ensayos de cortadura de Arcan y Iosipescu, que siguen las normas ASTM. El objetivo final será fabricar los utillajes mediante fabricación aditiva con un material termoplástico reforzado por fibra de carbono. Para ello, primero se fabricarán prototipos para comprobar el diseño y montaje.

El ensayo de Arcan según norma ASTM D 7078 / D 7078 M – 05 (ASTM, 2005) sirve para determinar las propiedades a cortadura de materiales compuestos reforzados con fibras.

Se diseña un utillaje para poder realizarlo por fabricación aditiva con la tecnología FDM utilizando como referencia el utillaje mostrado en la Ilustración I.



Ilustración I. Referencia de diseño para utillaje para ensayo de Arcan (Universal Grip Co.)

El ensayo de Iosipescu según norma ASTM D 5379 / D 5379 M – 98 (ASTM, 1999) se utiliza también para determinar las propiedades a cortadura de materiales compuestos reforzados con fibras. Para realizar el diseño se han tomado como referencia los utillajes de los fabricantes Shimadzu (Ilustración II) y Universal Grip Co. mostrado en la Ilustración III.

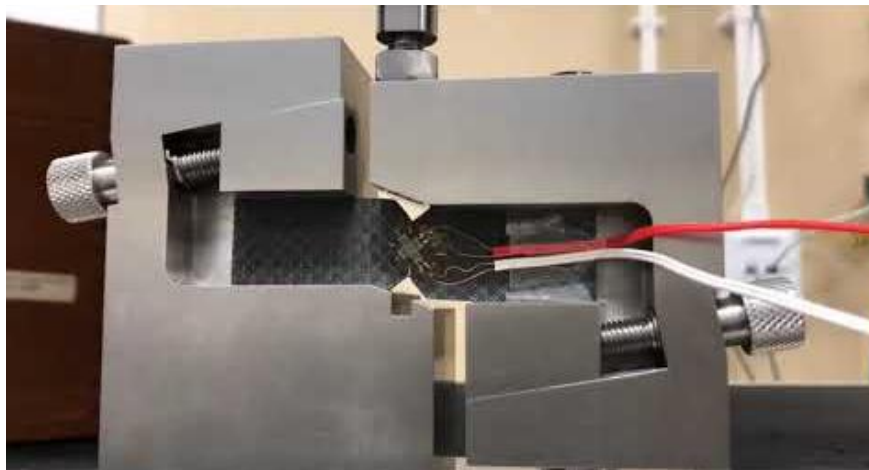


Ilustración II. Referencia de diseño para utillaje para ensayo de Iosipescu (SHIMADZU)



Ilustración III. Referencia de diseño para utillaje para ensayo de Iosipescu (Universal Grip Co.)

Los dispositivos actualmente disponibles en el mercado están fabricados principalmente con acero, el cual es considerablemente más pesado que cualquier material reforzado con fibra de carbono utilizado en la impresión 3D. Además del peso, es importante considerar que la fabricación aditiva ofrece ventajas en términos de facilidad de fabricación, ya que en muchos casos no es necesario recurrir a procesos de mecanizado, al contrario que con los utillajes metálicos mencionados anteriormente. Esto permite la creación de piezas con geometrías más complejas sin la necesidad de utilizar moldes o métodos de fabricación específicos como los requeridos por el acero.

Además, es importante tener en cuenta que el precio de la fabricación aditiva suele ser inferior al de los procesos de mecanizado, lo cual es otro factor relevante a considerar al tomar decisiones sobre la técnica de fabricación a utilizar en este proyecto.

3. Descripción de los sistemas

El utillaje de Arcan (véase Ilustración I) es un útil simétrico. Cada una de las mitades consta de un cuerpo, las mordazas para el amarre de la probeta y tornillos para guiar y ajustar las mordazas.

Dentro del cuerpo se encuentran los agujeros para acoplar el equipo a la máquina de ensayos que se vaya a usar. Se ajustarán las medidas del utillaje a las necesarias para la adaptación a la máquina de ensayos disponible en el laboratorio y así aprovechar las mordazas para el acoplamiento a la máquina de ensayos disponibles en el laboratorio y no tener que adquirir piezas adicionales.

Tanto el cuerpo como las mordazas del utillaje serán fabricadas por fabricación aditiva mediante FDM. Para realizar el diseño de este utillaje se ha usado la versión de estudiantes del software Solid Edge 2022 de la empresa Siemens, partiendo de las dimensiones indicadas en los diseños del fabricante. Se han ido introduciendo diferentes modificaciones para cubrir las necesidades detectadas en el proceso de diseño hasta llegar al modelo final mostrado en la Ilustración IV.

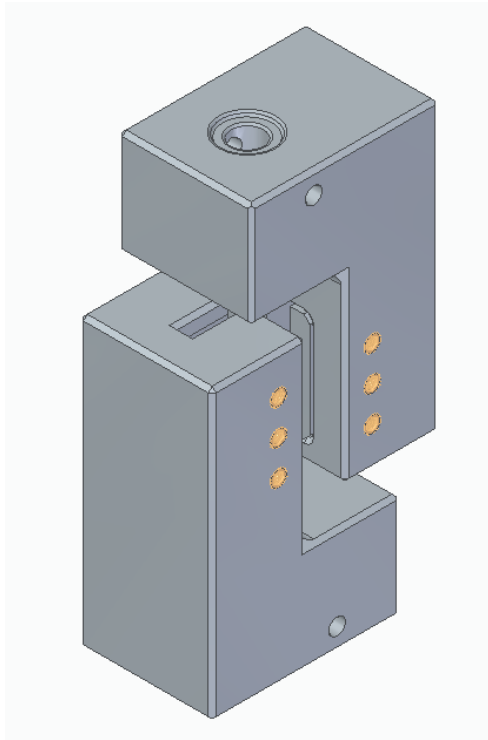


Ilustración IV. Diseño final utillaje para ensayo de Arcan

El utillaje para el ensayo de Iosipescu (véase Ilustración III) es más complejo que el analizado anteriormente. El cuerpo izquierdo es el cuerpo base, que se montará a la máquina de ensayos y permanecerá fijo. El cuerpo derecho es un cuerpo móvil, que irá montado sobre una o dos guías para asegurar la trayectoria del ensayo.

El punzón es lo que empujará el cuerpo móvil para romper la probeta, y estará también unido a la máquina de ensayos. Por último tenemos las mordazas, que facilitarán la sujeción de la muestra a ensayar, y un posicionador para centrar la probeta.

El diseño que se realiza para esta pieza es un diseño adaptado a la fabricación aditiva, por lo que se podrá reducir el número de piezas a fabricar, eliminando así uniones de piezas y fabricándolas de manera conjunta. Se ha llevado a cabo utilizando la versión para estudiantes del software Solid Edge 2022 de Siemens. Durante el proceso de diseño, se han implementado diversas modificaciones partiendo de las dimensiones indicadas en el diseño del fabricante con el objetivo de cumplir con las necesidades identificadas. El diseño final se muestra en la Ilustración V.

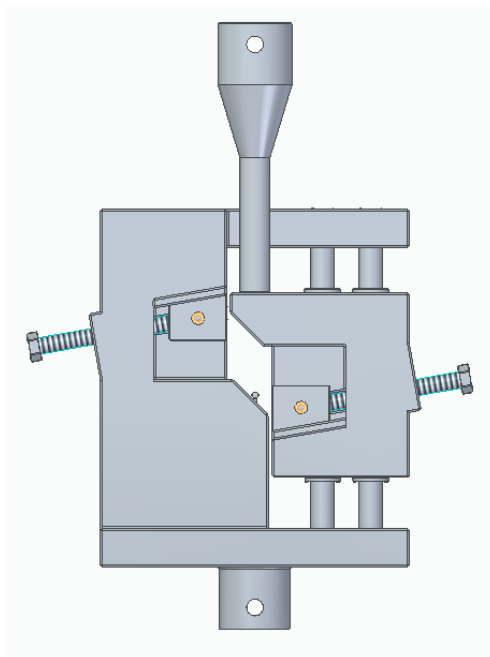


Ilustración V. Diseño final utillaje para ensayo de Iosipescu

Para llevar a cabo la fabricación de estos diseños, se va a utilizar fabricación aditiva, que es un proceso de fabricación utilizado para crear un objeto físico mediante la superposición de capas de material a partir de un modelo digital. Se pueden emplear distintos materiales como plástico, metal, o yeso; en función de las propiedades que necesite la pieza que se va a fabricar (AUTODESK, s.f.).

La tecnología que se va a emplear va a ser FDM, que viene del inglés “*Fused Deposition Modeling*”, o, lo que es lo mismo, “Modelado por Deposición Fundida”. Es un proceso de fabricación usado en impresión 3D, que tiene como objetivo principal fabricar prototipos en series cortas, además de tener bajo coste. El proceso consiste en calentar un filamento de materia, generalmente ABS o PLA, y, cuando derrite, es extruida en una plataforma. Se aplican capas progresivamente en la plataforma, que va descendiendo hasta terminar la impresión (FABLAB esan, 2017).

Esta tecnología también es utilizada para fabricar con materiales compuestos que tienen como matriz un termoplástico y como agente de refuerzo fibras de carbono, fibras de vidrio o Kevlar. Estos refuerzos no se suelen usar por separado debido a que son delgados, frágiles y fáciles de romper si se doblan. La fibra de carbono tiene una de las relaciones resistencia-peso más altas en comparación con el resto de los materiales, por lo que es muy utilizada para crear piezas ligeras y fuertes (Markforged, s.f.).

4. Resultados

En cuanto al prototipo del utillaje para el ensayo de Arcan, se ha verificado su montaje en la máquina y se ha confirmado que se ajusta adecuadamente, lo que lo valida como prototipo.

Solo se ha realizado una modificación, que implica cambiar la posición de los agujeros destinados a los pines de las mordazas que sujetan el utillaje a la máquina de ensayos. Esta modificación no afecta la realización del ensayo, pero permite una mayor comodidad al

montar la probeta y llevar a cabo el ensayo al girar el utillaje 90°, lo que permite una visualización frontal completa de todo el montaje. Se observa el prototipo montado en la máquina en la Ilustración VI.



Ilustración VI. Montaje en máquina de ensayos del utillaje para ensayo de Arcan

Los ajustes más relevantes para la fabricación del prototipo han sido los siguientes:

Tabla I. Ajustes finales para prototipo para ensayo de Arcan

Medida real	Ajuste necesario	Descripción
Ø15,8	Ø 16,4	Agujero para el adaptador de la máquina de ensayos. Se ha dejado holgura suficiente para que haya juego.
Ø 26	Ø 27	Agujero para adaptador de la máquina de ensayos. Se ha hecho un agujero adicional para facilitar el acople del utillaje a la máquina que permita más juego
Ø 8	Ø 8,7	Agujero para pasador del adaptador de la máquina de ensayos. Se ha dimensionado para que haya juego.
Ø 8	Ø 8,2	Agujero para inserto roscado M6. Se ha diseñado con apriete para poder insertarlo después térmicamente.

En cuanto al utillaje para el ensayo de Iosipescu, una vez realizado el montaje, se ha comprobado que el útil queda alineado y el montaje en la máquina de ensayos es correcto, como se puede observar en la Ilustración VII.



Ilustración VII. Montaje en máquina de ensayos del utillaje para ensayo de Iosipescu

Todos los ajustes de agujeros seleccionados quedan recogidos en la Tabla II.

Tabla II. Ajustes finales para prototipo para ensayo de Iosipescu

Medida real	Ajuste necesario	Descripción
Ø15,8	Ø 16,4	Agujero para el adaptador de la máquina de ensayos. Se ha dejado holgura suficiente para que haya juego.
Ø 26	Ø 27	Agujero para adaptador de la máquina de ensayos. Se ha hecho un agujero adicional para facilitar el acople del utillaje a la máquina que permita más juego
Ø 8	Ø 8,7	Agujero para pasador del adaptador de la máquina de ensayos. Se ha dimensionado para que haya juego.
Ø 5,6	Ø 5,8	Agujeros para inserto roscado M4/M4S. Se ha diseñado con apriete para poder insertarlo después térmicamente.
Ø 9,6	Ø 9,7	Agujeros para inserto roscado M8. Se ha diseñado con apriete para poder insertarlo después térmicamente.
Ø 12	Ø 12,2	Agujeros para guías. Se ha diseñado con ajuste de deslizamiento para poder introducir la guía en el montaje.

Para la comprobación de estos ajustes a la hora de imprimir los utillajes definitivos, será necesaria la impresión de una pieza patrón con agujeros para confirmar las desviaciones entre los valores teórico y el real de los diámetros. La pieza se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

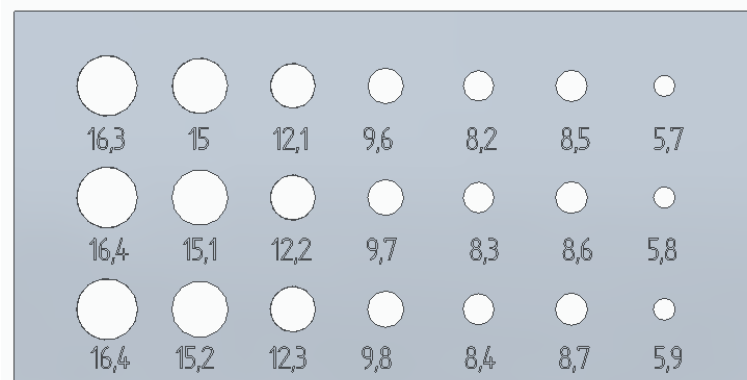


Ilustración VIII. Pieza patrón para verificación de dimensiones de los agujeros

5. Conclusiones

En primer lugar, se ha podido observar la importancia de conocer las tecnologías que se van a emplear para la fabricación de un sistema. En este caso, ha sido fundamental hacer un

estudio previo de los criterios de impresión 3D para la tecnología FDM. De no haber considerado esto previamente al iniciar la impresión de los prototipos, se habría desperdiciado una gran cantidad de material y tiempo.

También se ha verificado que el diseño para impresión en 3D permite crear geometrías mucho más complejas de forma mucho más sencilla y con menor coste que con otros procesos de fabricación tradicionales como el mecanizado. Permite también simplificar geometrías debido a lo mencionado anteriormente, por lo que trabajar con estas tecnologías puede reducir costes considerablemente.

Se ha comprobado la importancia de hacer un prototipo, ya que permite hacer una serie de comprobaciones previas a la fabricación del utillaje que se tiene como objetivo final. De esta forma, se puede comprobar el diseño, lo cual permite ver si es funcional, y al mismo tiempo, se reducen los riesgos y costes, ya que el material utilizado para la realización del prototipo es generalmente más económico que el del sistema final.

Por último, se quiere resaltar la importancia del estudio de nuevos materiales como son los poliméricos y compuestos, que son los que se ensayan con los utillajes diseñados en este trabajo, ya que ofrecen muchas ventajas respecto a los materiales tradicionales, como por ejemplo la relación resistencia-peso.

6. Referencias

ASTM. (1999). Norma ASTM D 5379 / D 5379 M - 98, Standard Test Method for Shear Properties of Composite Materials by V-Notched Beam Method.

ASTM. (2005). Norma ASTM D 7078 / D 7078 M - 05, Standard Test Method for Shear Properties of Composite Materials by V-Notched rail Shear Method.

AUTODESK. (s.f.). *Fabricación aditiva*. Recuperado el 6 de julio de 2023, de <https://www.autodesk.es/solutions/additive-manufacturing>

COMPOSITECH. (diciembre de 2021). *COMPOSITECH, Historia y evolución de los materiales compuestos*. Recuperado el 29 de enero de 2023, de <https://iberiacompositech.com/historia-y-evoluci%C3%B3n-de-los-materiales->

FABLAB esan. (2017). *FABLAB esan*. Recuperado el 22 de junio de 2023, de <https://fablab.esan.edu.pe/blog/que-es-la-tecnologia-fdm#:~:text=La%20tecnolog%C3%ADa%20FDM%2C%20tambi%C3%A9n%20conocida,y%20producci%C3%B3n%20a%20peque%C3%B1a%20escala.>

Markforged. (s.f.). *3D Printing Carbon Fiber and Other Composites*. Recuperado el 14 de julio de 2023, de <https://markforged.com/es/resources/learn/design-for-additive-manufacturing-plastics-composites/understanding-3d-printing-strength/3d-printing-carbon-fiber-and-other-composites>

SHIMADZU. (s.f.). *SHIMADZU*. Recuperado el 29 de junio de 2023, de ASTM D5379 - Shear Properties of Composite Materials by the V-Notched Beam Method:

<https://www.ssi.shimadzu.com/industries/automotive-materials-testing/composites/astm-d5379/index.html>

Universal Grip Co. (s.f.). *The Universal Grip Company*. Recuperado el 29 de enero de 2023, de <https://www.universalgripco.com/astm-d5379>

Universal Grip Co. (s.f.). *The Universal Grip Company*. Recuperado el 29 de enero de 2023, de <https://www.universalgripco.com/astm-d7078>

Zwick/Roell. (s.f.). *Zwick/Roell*. Recuperado el 21 de junio de 2023, de <https://www.zwickroell.com/es/sectores/ensayo-de-materiales/>

DESIGN AND MANUFACTURE OF A SYSTEM TO DETERMINE THE SHEAR PROPERTIES OF POLYMERIC AND COMPOSITE MATERIALS

Author: Bengoa Rico, Elena

Supervisors: Real Romero, Juan Carlos del; Paz Jiménez, Eva

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

PROJECT SUMMARY

The main objective of this project is the design and fabrication of fixtures for Arcan and Iosipescu shear tests. These two tests are used for the characterization of fiber-reinforced composite and polymer materials in terms of their shear strength, following ASTM standards (D5379 / D5379 M - 98 and D7078 / D7078 M - 05, respectively). Additive manufacturing techniques, such as FDM, are utilized to achieve this objective, and the Solid Edge 2022 software from Siemens is employed for 3D design and drafting. The designs are optimized to reduce costs and weight without compromising strength. Prototypes will be fabricated to verify assembly, with the final goal of producing final fixtures using carbon fiber-reinforced additive manufacturing.

Keywords: mechanical testing, shear, Iosipescu, Arcan, FDM, composite and polymer materials.

Introduction

Composite materials have fundamental applications in various fields such as construction, manufacturing, and medicine. A composite material consists of a reinforcing agent and a matrix phase. The reinforcing agent, through its geometry, determines the mechanical properties of the composite material, while the matrix phase provides continuous support, transmitting stresses to the reinforcing agent and ensuring cohesion and protection (COMPOSITECH, 2021). Understanding and improving these materials requires knowledge of their properties.

Material testing plays a crucial role in evaluating these properties, including mechanical, thermal, chemical, and electrical aspects. The selection of the appropriate test depends on the type of material and the specific property to be measured.

Mechanical tests are used to evaluate the mechanical properties of materials. Different tests are conducted based on the properties to be analyzed and the material under consideration. These tests can be classified as either destructive or non-destructive and as static or dynamic, with the former involving the slow application of load and the latter involving impact loading.

Below are descriptions of some of the most common tests (Zwick/Roell):

- **Tensile Test:** A static test that measures the resistance and deformation of a material until it breaks. It is used to determine the elastic limit, tensile strength, and elongation at break,

among other properties. An axial force is applied to a specimen until it ruptures, at low speeds. This test is one of the most frequently conducted.

- **Compression Test:** A static test that measures the resistance of a material to compression and its deformation until failure. It is used to evaluate the safety, durability, and integrity of materials and components, subjecting them to increasing pressure loads.
- **Flexural Test:** A static test that measures the resistance of a material to bending and the resulting deformation. It is particularly performed on brittle materials and provides information on the elastic limit, flexural strength, and flexural deformation, among other properties.
- **Torsion Test:** A static test used to assess the resistance of a material to torsion and the resulting deformation. It determines properties such as torsional rigidity, ductility, and torque resistance.
- **Hardness Test:** A static test that measures the resistance of a material to permanent deformation. It can be determined by applying a known force and measuring the resulting indentation size, or through other material responses.
- **Fatigue Test:** A test that measures the resistance of a material to repetitive cyclic loading. Typically, failure occurs below the static strength limits, and this test is used to determine material characteristics and analyze its fatigue life.
- **Impact Test:** A dynamic test that evaluates a material's ability to withstand impact loads and the energy required to break it. The material's strength varies with temperature, so impact tests are conducted at different temperature ranges.
- **Shear Test:** A static test that measures a material's resistance to shear loads. It involves applying a shearing force to the cross-sectional area of the specimen and allows the determination of properties such as shear strength, maximum shear stress, and shear deformation, among others. The Arcan and Iosipescu tests, which are to be analyzed in this project, fall under this category and are used to characterize polymer and composite materials under shear. Existing devices for conducting these tests are made of steel, which, due to their complex geometries, result in high machining costs. This project aims to fabricate these fixtures using additive manufacturing techniques to provide a more cost-effective solution than what is currently available in the market.

Project Definition

This project involves the design and fabrication of fixtures for the Arcan and Iosipescu shear tests following ASTM standards. The aim is to manufacture the fixtures using additive manufacturing with a thermoplastic material reinforced with carbon fiber. Prototypes will be initially fabricated to verify the design and assembly.

The Arcan test, according to ASTM standard D 7078 / D 7078 M – 05 (ASTM, 2005), serves to determine the shear properties of fiber-reinforced composite materials.

A fixture design for the Arcan test will be developed using FDM additive manufacturing technology, taking reference from the fixture shown in Illustration I.



Illustration I. Design reference for Arcan testing fixture (Universal Grip Co.)

The Iosipescu test according to ASTM standard D 5379 / D 5379 M - 98 (ASTM, 1999) is also used to determine the properties in shear of fiber-reinforced composite materials. The design has been based on the fixtures from manufacturers Shimadzu (Illustration II) and Universal Grip Co. shown in Illustration III.

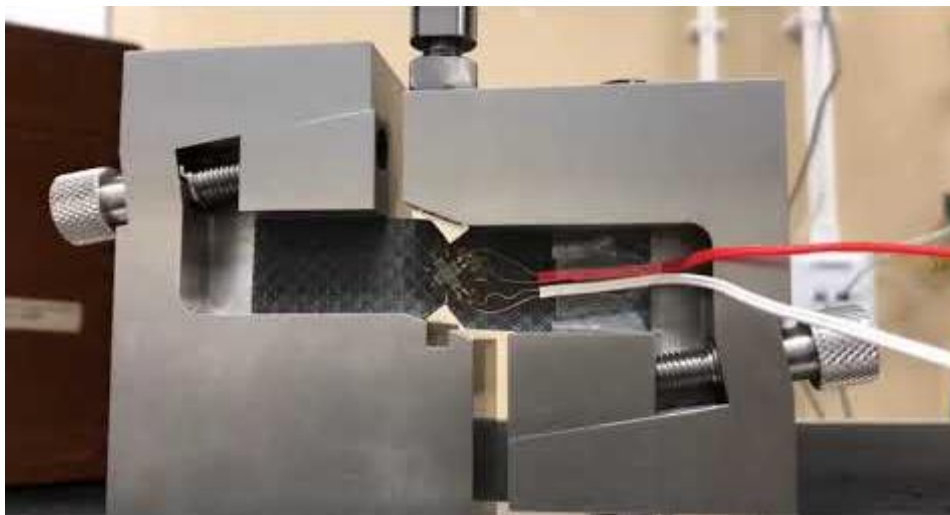


Illustration II. Design reference for Iosipescu testing fixture (SHIMADZU)



Illustration III. Design reference for Iosipescu testing fixture (Universal Grip Co.)

The devices currently available in the market are mainly made of steel, which is considerably heavier than any carbon fiber-reinforced material used in 3D printing. In addition to weight, it is important to consider that additive manufacturing offers advantages in terms of ease of fabrication, as in many cases, machining processes are not required, unlike with the mentioned metal fixtures. This allows for the creation of parts with more complex geometries without the need for molds or specific manufacturing methods as required by steel.

Furthermore, it is important to consider that the cost of additive manufacturing is usually lower than that of machining processes, which is another relevant factor to consider when making decisions regarding the manufacturing technique to be used in this project.

Description of the systems

The Arcan fixture (see Illustration 1) is a symmetrical tool. Each half consists of a body, clamps for securing the specimen, and screws for guiding and adjusting the clamps.

Inside the body, there are holes for attaching the equipment to the testing machine to be used. The dimensions of the fixture will be adjusted to fit the requirements for adapting to the testing machine available in the laboratory, thus utilizing the clamps for coupling to the testing machine without the need to acquire additional parts.

Both the body and clamps of the fixture will be manufactured through additive manufacturing using FDM. The design of this fixture has been carried out using the student version of Siemens' Solid Edge 2022 software, based on the dimensions indicated in the manufacturer's designs. Various modifications have been made to meet the identified needs during the design process, resulting in the final model shown in Illustration IV.

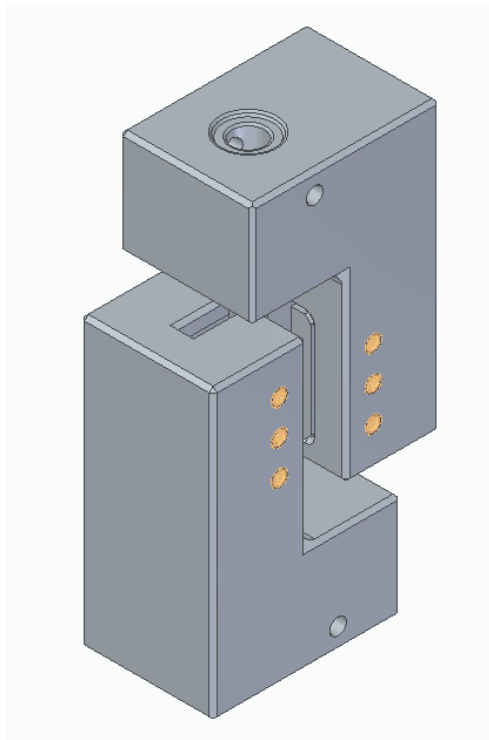


Illustration IV. Final design of Arcan testing fixture

The fixture for the Iosipescu test (see Illustration 3) is more complex than the one previously discussed. The left body is the base body, which will be mounted to the testing machine and remain fixed. The right body is a movable body, which will be mounted on one or two guides to ensure the trajectory of the test.

The punch is what will push the movable body to break the specimen and will also be connected to the testing machine. Lastly, we have the clamps, which will facilitate the gripping of the test sample, and a positioner to center the specimen.

The design for this piece is tailored for additive manufacturing, allowing for a reduction in the number of parts to be manufactured by eliminating separate piece connections and fabricating them together. The design process has been carried out using the student version of Siemens' Solid Edge 2022 software. Throughout the design process, various modifications have been implemented based on the dimensions indicated in the manufacturer's design to meet the identified needs. The final design is shown in Illustration V.

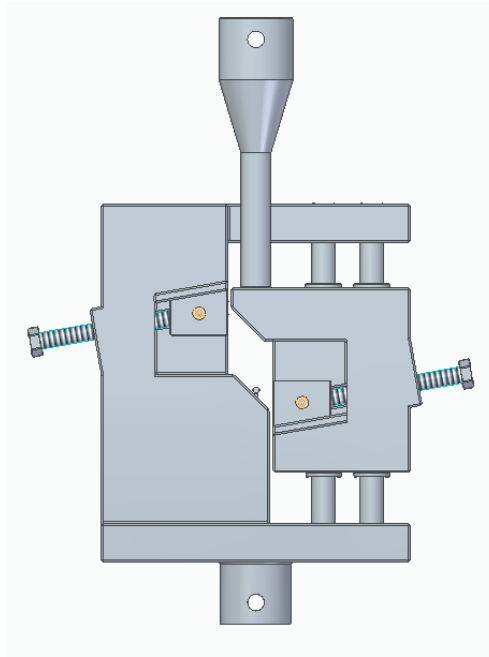


Illustration V. Final design of Iosipescu testing fixture

To carry out the manufacturing of these designs, additive manufacturing will be used, which is a manufacturing process used to create a physical object by layering material based on a digital model. Various materials can be used, such as plastic, metal, or plaster, depending on the properties required for the piece being manufactured (AUTODESK, n.d.).

The technology to be employed will be FDM, which stands for "Fused Deposition Modeling." It is a 3D printing process primarily used for producing prototypes in short series, as well as being cost-effective. The process involves heating a filament of material, typically ABS or PLA, and when it melts, it is extruded onto a platform. Layers are progressively applied to the platform, which descends until the printing is complete (FABLAB esan, 2017).

This technology is also used for fabricating composite materials with a thermoplastic matrix and reinforcing agents such as carbon fibers, glass fibers, or Kevlar. These reinforcements are typically not used individually due to their thin, fragile nature and susceptibility to breakage when bent. Carbon fiber has one of the highest strength-to-weight ratios compared to other materials, making it widely used for creating lightweight and strong parts (Markforged, n.d.).

Results

Regarding the prototype of the fixture for the Arcan test, its assembly on the machine has been verified and confirmed to fit properly, validating it as a prototype. Only one modification has been made, which involves changing the position of the holes for the pins of the clamps that secure the fixture to the testing machine. This modification does not affect the execution of the test but allows for greater convenience in mounting the specimen and conducting the test by rotating the fixture 90 degrees, enabling a complete frontal view of the entire assembly. The prototype mounted on the machine can be seen in Illustration VI.



Illustration VI. Assembly on testing machine of Arcan testing fixture

The most relevant adjustments for the prototype manufacturing are as follows:

Table I. Final adjustments for the Arcan test fixture prototype

Real measurement	Required adjustment	Description
Ø15,8	Ø 16,4	Hole for the testing machine adapter. Sufficient clearance has been provided
Ø 26	Ø 27	Hole for the testing machine adapter. An additional hole has been made to facilitate the fixture's attachment to the machine.
Ø 8	Ø 8,7	Hole for the pin of the testing machine adapter.
Ø 8	Ø 8,2	Hole for M6 threaded insert. Designed with a tight fit for later thermal insertion.

Regarding the Iosipescu testing fixture, after the assembly was completed, it was verified that the fixture is properly aligned and the setup on the testing machine is correct, as shown in Illustration VII.



Illustration VII. Assembly on testing machine of Iosipescu testing fixture

All the selected hole adjustments are recorded in Table II:

Table II. Final adjustments for the Iosipescu test fixture prototype

Real measurement	Required adjustment	Description
Ø15,8	Ø 16,4	Hole for the testing machine adapter. Sufficient clearance has been provided.
Ø 26	Ø 27	Hole for the testing machine adapter. An additional hole has been made to facilitate the attachment of the fixture to the machine.
Ø 8	Ø 8,7	Hole for the testing machine pin.
Ø 5,6	Ø 5,8	Holes for M4/M4S threaded inserts. Designed with a tight fit for subsequent thermal insertion.
Ø 9,6	Ø 9,7	Holes for M8 threaded inserts. Designed with a tight fit for subsequent thermal insertion.
Ø 12	Ø 12,2	Holes for guides. Designed with a sliding fit to accommodate the insertion of the guide into the assembly.

To verify these adjustments when printing the final fixtures, it will be necessary to print a reference piece with holes to confirm the deviations between the theoretical and actual diameters. The reference piece can be seen in Illustration VIII.

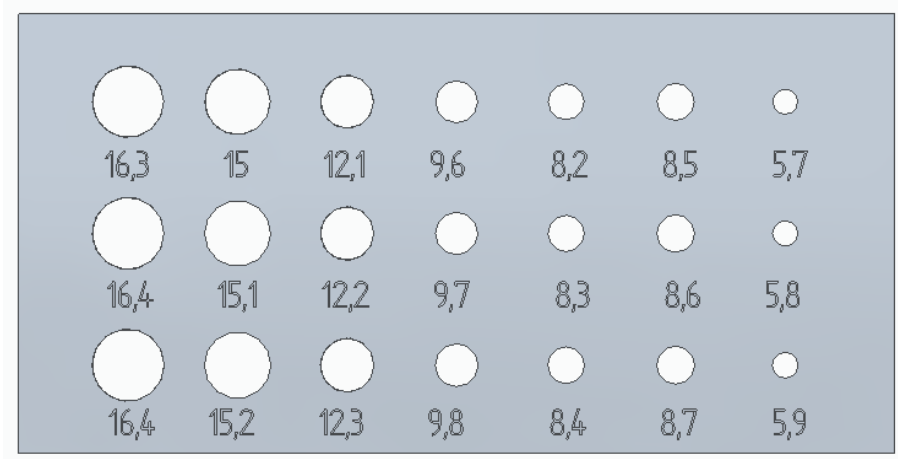


Illustration VIII. Dimension verification hole pattern piece

Conclusions

Firstly, it has been observed the importance of understanding the technologies used for manufacturing a system. In this case, it was crucial to conduct a preliminary study on the criteria of 3D printing for the FDM technology. Failure to consider this beforehand would have resulted in a significant waste of material and time.

It has also been verified that 3D printing design allows for the creation of much more complex geometries in a simpler and more cost-effective manner than other traditional manufacturing processes such as machining. It also enables the simplification of geometries due to the aforementioned reasons, which can significantly reduce costs.

The importance of prototyping has been confirmed as it allows for preliminary checks before manufacturing the final intended fixture. This way, the design can be tested for functionality while reducing risks and costs, as the material used for the prototype is generally more affordable than that of the final system.

Lastly, the significance of studying new materials such as polymers and composites should be highlighted, as these are the ones tested with the fixtures designed in this work. They offer many advantages over traditional materials, such as the strength-to-weight ratio.

References

- ASTM. (1999). ASTM D 5379 / D 5379 M - 98, Standard Test Method for Shear Properties of Composite Materials by V-Notched Beam Method.
- ASTM. (2005). ASTM D 7078 / D 7078 M - 05, Standard Test Method for Shear Properties of Composite Materials by V-Notched Rail Shear Method.
- AUTODESK. (n.d.). Additive Manufacturing. Retrieved July 6, 2023, from <https://www.autodesk.com/solutions/additive-manufacturing>
- COMPOSITECH. (December 2021). COMPOSITECH, *Historia y evolución de los materiales compuestos*. Retrieved January 29, 2023, from <https://iberiacompositech.com/historia-y-evoluci%C3%B3n-de-los-materiales->
- FABLAB esan. (2017). FABLAB esan. Retrieved June 22, 2023, from <https://fablab.esan.edu.pe/blog/que-es-la-tecnologia-fdm#:~:text=La%20tecnolog%C3%ADa%20FDM%2C%20tambi%C3%A9n%20conocida,y%20producci%C3%B3n%20a%20peque%C3%B1a%20escala.>
- Markforged. (n.d.). 3D Printing Carbon Fiber and Other Composites. Retrieved July 14, 2023, from <https://markforged.com/es/resources/learn/design-for-additive-manufacturing-plastics-composites/understanding-3d-printing-strength/3d-printing-carbon-fiber-and-other-composites>
- SHIMADZU. (n.d.). SHIMADZU. Retrieved June 29, 2023, from ASTM D5379 - Shear Properties of Composite Materials by the V-Notched Beam Method: <https://www.ssi.shimadzu.com/industries/automotive-materials-testing/composites/astm-d5379/index.html>
- Universal Grip Co. (n.d.). The Universal Grip Company. Retrieved January 29, 2023, from <https://www.universalgripco.com/astm-d5379>
- Universal Grip Co. (n.d.). The Universal Grip Company. Retrieved January 29, 2023, from <https://www.universalgripco.com/astm-d7078>
- Zwick/Roell. (n.d.). Zwick/Roell. Retrieved June 21, 2023, from <https://www.zwickroell.com/es/sectores/ensayo-de-materiales/>

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	7
1.1 Motivación	8
Capítulo 2. Estado de la Cuestión	9
2.1 Descripción de las Tecnologías	12
2.1.1 Normas	12
2.1.2 Fabricación aditiva	23
2.1.3 Criterios de Diseño para FDM	27
Capítulo 3. Definición del Trabajo	31
3.1 Justificación	31
3.2 Objetivos	32
3.3 Metodología	33
3.4 Planificación	34
Capítulo 4. Sistema/Modelo Desarrollado	35
4.1 Ensayo de Arcan	35
4.1.1 Análisis del Sistema	36
4.1.2 Diseño	37
4.1.3 Prototipo final	48
4.2 Ensayo de Iosipescu	50
4.2.1 Análisis del sistema	51
4.2.2 Diseño	52
4.2.3 Prototipo final	56
Capítulo 5. Análisis de Resultados	64
Capítulo 6. Conclusiones y Trabajos Futuros	69
Capítulo 7. Bibliografía	71
ANEXO I: PLANOS	74
ANEXO II: PRESUPUESTO	97

ANEXO III: ODS	106
-----------------------------	------------

Índice de figuras

Figura 1. Utillaje para ensayo de Iosipescu (Universal Grip Co.).....	11
Figura 2. Utillaje para ensayo de Arcan (Universal Grip Co.).....	12
Figura 3. Esquema de la probeta con entalla en forma de v para ensayo según ASTM D 5379 / D 5379M – 98 (ASTM, 1999).....	13
Figura 4. Utillaje para ensayo según ASTM D 5379 / D 5379M – 98 (ASTM, 1999).....	14
Figura 5. Posicionamiento de las galgas extensométricas (ASTM, 1999).....	14
Figura 6. Diagramas ideales de fuerza, cortadura y momento flector (ASTM, 1999).....	15
Figura 7. Determinación del módulo de elasticidad a cortadura y el límite de tensión elástico (ASTM, 1999).....	19
Figura 8. Esquema de la probeta con entalla en forma de v para ensayo según ASTM D 7078 / D 7078M – 05 (ASTM, 2005).....	20
Figura 9. Utillaje para ensayo según ASTM D 7078 / D 7078M – 05 (ASTM, 2005).....	21
Figura 10. Referencia de diseño para utillaje para ensayo de Arcan (Universal Grip Co.)	35
Figura 11. Esquema de referencia para utillaje para ensayo de Arcan (Universal Grip Co.).....	36
Figura 12. Primer diseño del utillaje para ensayo de Arcan.....	38
Figura 13. Filetes insertos Helicoil (BÖLLHOFF).....	39
Figura 14. Insertos roscados Ruthex M6 (Ruthex).....	40
Figura 15. Modelo pieza 1 para prueba de ajustes FDM.....	41
Figura 16. Pieza 1 para prueba de ajustes FDM.....	41
Figura 17. Prueba de inserto roscado M6.....	42
Figura 18. Herramienta de acabado para impresiones en 3D.....	42
Figura 19. Modelo pieza 2 para prueba de ajustes FDM.....	43
Figura 20. Comprobación ajuste pasador en pieza 2.....	44
Figura 21. Comprobación ajuste mordaza de acoplamiento a la máquina de ensayos en pieza 2.....	44

Figura 22. Primer prototipo del utillaje para ensayo de Arcan.....	45
Figura 23. Primer prototipo utillaje para ensayo de Arcan.....	46
Figura 24. Primer prototipo utillaje para ensayo de Arcan.....	46
Figura 25. Prototipo 2 del utillaje para el ensayo de Arcan	47
Figura 26. Prototipo 2 utillaje para ensayo de Arcan con mordazas	48
Figura 27. Tornillo M6 x30 cabeza allen empleado para el utillaje para ensayo de Arcan	49
Figura 28. Prototipo final del utillaje para ensayo de Arcan	49
Figura 29. Referencia de diseño para utillaje de ensayo de Iosipescu (SHIMADZU).....	50
Figura 30. Referencia de diseño para utillaje de ensayo de Iosipescu (Universal Grip Co.)	50
Figura 31. Esquema de referencia para utillaje para ensayo de Iosipescu (Universal Grip Co.)	51
Figura 32. Primer diseño del utillaje para ensayo de Iosipescu.....	52
Figura 33. Segundo diseño del utillaje para ensayo de Iosipescu	54
Figura 34. Mordaza de utillaje para ensayo de Iosipescu.....	55
Figura 35. Utillaje para ensayo de Iosipescu con guías y topes para mordaza.....	55
Figura 36. Insertos roscados Ruthex M4 (Ruthex).....	56
Figura 37. Insertos roscados Ruthex M4S (Ruthex)	56
Figura 38. Insertos roscados Ruthex M8 (Ruthex).....	57
Figura 39. Guías para utillaje para ensayo de Iosipescu.....	57
Figura 40. Herramientas de ranurado y cilindrado exterior utilizadas para la fabricación de casquillos	58
Figura 41. Operación de taladrado en torno para los casquillos.....	58
Figura 42. Casquillos fabricados en torno para utillaje para ensayo de Iosipescu	59
Figura 43. Tornillo M8 para mordazas	60
Figura 44. Cuerpo izquierdo del prototipo del utillaje para ensayo de Iosipescu	60
Figura 45. Cuerpo derecho del prototipo del utillaje para ensayo de Iosipescu.....	61
Figura 46. Prototipo del punzón para el utillaje para ensayo de Iosipescu	61
Figura 47. Prototipo de mordazas para utillaje para ensayo de Iosipescu	62
Figura 48. Prototipo para centrado de la probeta para utillaje para ensayo de Iosipescu....	62

Figura 49. Prototipo final del utillaje para ensayo de Iosipescu.....	63
Figura 50. Montaje en máquina de ensayos del utillaje para ensayo de Arcan.....	64
Figura 51. Montaje en máquina de ensayos del utillaje para ensayo de Iosipescu.....	66

Índice de tablas

Tabla 1. Dimensiones nominales de la probeta para ASTM D 5379 / D 5379M – 98 (ASTM, 1999).....	13
Tabla 2. Dimensiones nominales de la probeta para ASTM D 7078 / D 7078M – 05 (ASTM, 2005).....	20
Tabla 3. Ajustes finales para prototipo Arcan	65
Tabla 4. Ajustes finales para prototipo de Iosipescu	68
Tabla 5. Desglose presupuesto prototipo Arcan, fabricación FDM en PLA.....	98
Tabla 6. Desglose de materiales para el presupuesto de Arcan.....	99
Tabla 7. Desglose estimación presupuesto utillaje Arcan, fabricación FDM con fibra de carbono	100
Tabla 8. Desglose de materiales para el presupuesto del utillaje Arcan.....	101
Tabla 9. Desglose presupuesto prototipo Iosipescu, fabricación FDM en PLA.....	102
Tabla 10. Desglose de materiales para el presupuesto de Iosipescu	103
Tabla 11. Desglose estimación presupuesto utillaje Iosipescu, fabricación FDM con fibra de carbono	104
Tabla 12. Desglose de materiales para el presupuesto de Iosipescu	105

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

El ensayo de Iosipescu es un método que sirve para determinar el módulo de cizalla y la resistencia interfacial al cizallamiento en materiales en el ámbito de la ingeniería, presentado por N. Iosipescu en 1967. Inicialmente se usaba para la caracterización de metales, pero, acabó enfocándose en el estudio de los materiales compuestos. Aunque este método no fue utilizado para ningún proyecto destacable hasta aproximadamente 1980, se comparó con otros ensayos coetáneos como el ensayo asimétrico a flexión en cuatro puntos, y finalmente se consideró una buena opción para estudiar la cizalladura en materiales compuestos.

Fue en 1993 cuando la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM) reconoció este ensayo como protocolo estándar ASTM D 5379 / D 5379M - 98, aunque sigue siendo un método menos conocido y utilizado que otros (Stojcevski, Hilditch, & Henderson, 2018).

Por otro lado, está el ensayo de Arcan, usado para la caracterización de materiales en cortadura o combinaciones de tracción y cortadura. Es un ensayo reconocido como protocolo estándar por la ASTM con la norma ASTM D 7078 y es usado para el estudio de materiales compuestos (Greer, Galyon Dorman, & Hammond, 2011).

Los materiales compuestos que se ensayan con estos métodos son materiales que están formados por la unión de uno o más materiales, combinándolos para obtener las propiedades mecánicas más adecuadas en función de su uso. Todo material compuesto está formado por un agente de refuerzo y por una fase matriz. El primero determinará fundamentalmente mediante su geometría las propiedades mecánicas del material compuesto, mientras que la segunda, es de carácter continuo y es la encargada de transmitir los esfuerzos al agente refuerzo, además de protegerlo y cohesionarlo (COMPOSITECH, 2021). En este proyecto nos centraremos sobre todo en los ensayos y caracterización de materiales compuestos de matriz polimérica.

1.1 MOTIVACIÓN

Los materiales compuestos son muy usados en industrias como la naval o la aeroespacial, debido a que la gran mayoría son materiales de baja densidad y resistencia alta. Son materiales que no rompen fácilmente, pero también son relativamente nuevos y por eso es muy importante ensayarlos para conocer bien su comportamiento, sobre todo internamente, y así evitar posibles accidentes.

Además, el desarrollo de nuevos materiales es fundamental para dar respuesta a problemas medioambientales que ocasionan algunos de los materiales utilizados en la actualidad, y por ello, este tipo de materiales tienen que ser debidamente estudiados y caracterizados. Todavía queda un largo camino que recorrer en la investigación de los materiales compuestos.

En este proyecto se realizará el diseño y fabricación de utillajes para los ensayos de Arcan y Iosipescu, que sirven para caracterizar este tipo de materiales. Normalmente los dispositivos existentes están fabricados de acero, y al tener geometrías complejas, resultan costosos debido al mecanizado necesario. En este trabajo se pretende fabricar estos utillajes mediante fabricación aditiva de tal manera que se pueda encontrar una solución más económica que la disponible en el mercado. Para alcanzar este objetivo, se diseñarán y fabricarán unos prototipos mediante Fused Deposition Modeling (FDM) con el fin de verificar su correcto diseño y funcionalidad. Una vez comprobado esto, se realizaría una segunda etapa fabricando dichos utillajes empleando materiales termoplásticos reforzados con fibra de carbono para dotar a los útiles de la resistencia adecuada para la realización de los ensayos definidos.

Capítulo 2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Los materiales compuestos son fundamentales en diversas aplicaciones, como la construcción, la fabricación mecánica y la medicina. Para comprender su funcionamiento y poder mejorarlos, y satisfacer las necesidades específicas para cada aplicación garantizando calidad y seguridad, es necesario conocer sus propiedades.

Los ensayos de materiales desempeñan un papel crucial al evaluar estas propiedades y su rendimiento. Existen muchos tipos de ensayos en función de las propiedades a determinar, desde propiedades mecánicas, térmicas, químicas, hasta propiedades eléctricas entre otras. La elección del ensayo adecuado dependerá del tipo de material a examinar y de la propiedad que se desee determinar. En esta introducción se explorarán los diferentes tipos de ensayo, centrándose en los ensayos mecánicos y su relevancia para la investigación e industria.

Los ensayos térmicos permiten determinar propiedades como la conductividad térmica o la capacidad calorífica del material. Los ensayos químicos, por su parte, nos permiten determinar la resistencia a la corrosión, la solubilidad o la acidez, por ejemplo. Así mismo, los ensayos eléctricos nos permiten obtener propiedades como la conductividad, la resistividad o la capacitancia.

Por otra parte, están los ensayos mecánicos, que se utilizan para medir las propiedades mecánicas de los materiales. Se realizarán diferentes ensayos en función de las propiedades a analizar y del material ensayado. Dentro de los ensayos mecánicos se pueden distinguir entre ensayos no destructivos y ensayos destructivos, que se diferencian en si la muestra ensayada es destruida o no en el proceso. También se pueden clasificar en base a si son estáticos o dinámicos. En los primeros, la carga es aplicada lentamente, mientras que en los segundos, la carga es aplicada en forma de impacto.

A continuación, se describen algunos de los ensayos más comunes:

1. Ensayo de tracción: Ensayo estático en el que se mide la resistencia del material y la deformación hasta su rotura. Se utiliza para determinar el límite elástico, la resistencia a la tracción y el alargamiento a rotura, entre otros. Consiste en aplicar un esfuerzo axial a una probeta hasta que rompa, a bajas velocidades. Son los ensayos más habituales.
2. Ensayo de compresión: Ensayo estático que mide la resistencia del material a compresión y la deformación hasta su rotura. Evalúan la seguridad, durabilidad e integridad de materiales y componentes, sometidos a una carga de presión en aumento constante.
3. Ensayo de flexión: Ensayo estático en el que se mide la resistencia del material a flexión y la deformación producida en el proceso. Es común realizarlo para materiales frágiles y se puede obtener el límite elástico, la resistencia a la flexión o la deformación a flexión entre otros.
4. Ensayo de torsión: Ensayo estático que mide la resistencia del material a la torsión y a la deformación producida en el proceso. Sirve para determinar propiedades como la rigidez torsional, la ductilidad o la resistencia al par.
5. Ensayo de dureza: Ensayo estático que mide la resistencia del material a la deformación permanente. Se puede determinar de varias formas, ya sea a partir de la fuerza aplicada y la geometría de la huella, únicamente por la longitud característica de la huella, o a través de otra respuesta del material.
6. Ensayo de fatiga: Ensayo en el que se mide la resistencia del material a la repetición de cargas cíclicas. Generalmente el fallo del material se produce por debajo de los límites de resistencia estática, y se emplean tanto para determinar valores característicos del material como para analizar la vida útil de los mismos.
7. Ensayo de impacto: Ensayo dinámico que mide la capacidad del material para resistir cargas de choque y energía necesaria para romper el material. La resistencia de los materiales varía en función de la temperatura, por lo que se hacen ensayos de impacto para todo rango de temperaturas.
8. Ensayo de cortadura: Ensayo estático en el que se mide la resistencia de un material a cargas de corte. Para ello, se aplica una fuerza cortante en la sección transversal de

la muestra a ensayar, y permite obtener propiedades como la resistencia al corte, el esfuerzo cortante máximo, o la deformación en corte, entre otras (Zwick/Roell).

Dentro de este último tipo se encuentran los ensayos de Arcan y Iosipescu que se van a analizar en este proyecto, que sirven para caracterizar materiales poliméricos y compuestos a cortadura.

Los útiles empleados tanto en los ensayos de Iosipescu como en Arcan son herramientas que nos permiten realizar dichos ensayos de forma correcta y siguiendo cada uno su respectiva norma. La mayoría de estos útiles están fabricados de acero como los que se pueden ver en la Figura 1, correspondiente al ensayo de Iosipescu y Arcan en la Figura 2. Para una mejor caracterización de los materiales ensayados, se usan equipos de adquisición de datos de extensometría. En este proyecto se diseñarán y fabricarán útiles mediante fabricación aditiva para que cumplan la misma función de los ya existentes.



Figura 1. Utillaje para ensayo de Iosipescu (Universal Grip Co.)



Figura 2. Utillaje para ensayo de Arcan (Universal Grip Co.)

2.1 DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

Para la realización de este proyecto, es fundamental conocer tanto las normas de los ensayos que se van a realizar, como la tecnología de fabricación aditiva que se empleará para la fabricación de los útiles.

2.1.1 NORMAS

A continuación, se explicarán las normas que deben seguir los ensayos de Iosipescu y Arcan.

2.1.1.1 ASTM D 5379 / D 5379 M – 98. (Standard Test Method for Shear Properties of Composite Materials by V-Notched Beam Method)

Como se ha mencionado anteriormente, el ensayo de Iosipescu sigue la norma ASTM D 5379 / D 5379M – 98 (ASTM, 1999). Según esta norma, la forma de la probeta y sus dimensiones quedan determinadas como se puede observar en la Figura 3, y en la Tabla 1.

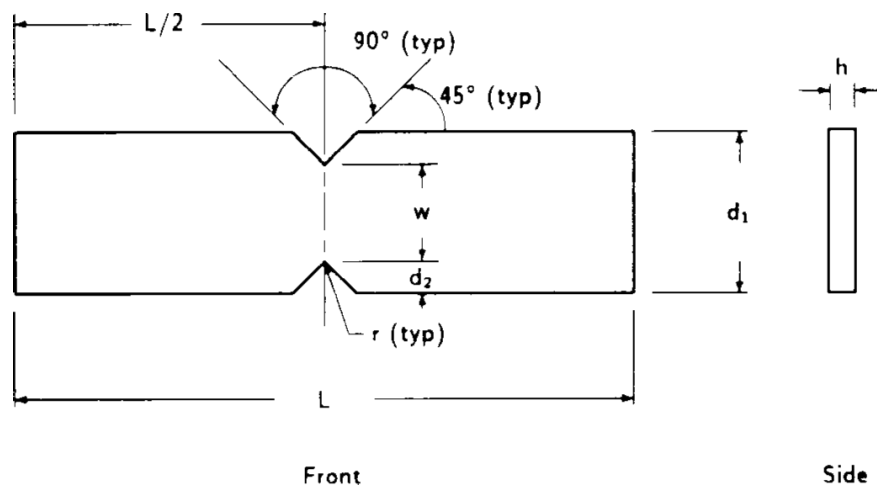


Figura 3. Esquema de la probeta con entalla en forma de v para ensayo según ASTM D 5379 / D 5379M – 98 (ASTM, 1999)

Tabla 1. Dimensiones nominales de la probeta para ensayo según ASTM D 5379 / D 5379M – 98 (ASTM, 1999)

Parámetro	Dimensión nominal (mm)
d_1	20,0
d_2	4,0
h	Según se requiera
L	76,0
r	1,3
w	12,0

La probeta se coloca en el utillaje con la entalla v centrada en la línea de acción como se muestra en la Figura 4. Las dos mitades del útil se comprimen mediante una máquina de ensayos donde se va registrando la carga. Se colocan dos galgas extensométricas orientadas a $\pm 45^\circ$ con respecto al eje de carga en el centro de la probeta para medir los desplazamientos y obtener el comportamiento a cortadura del material, como se observa en la Figura 5.

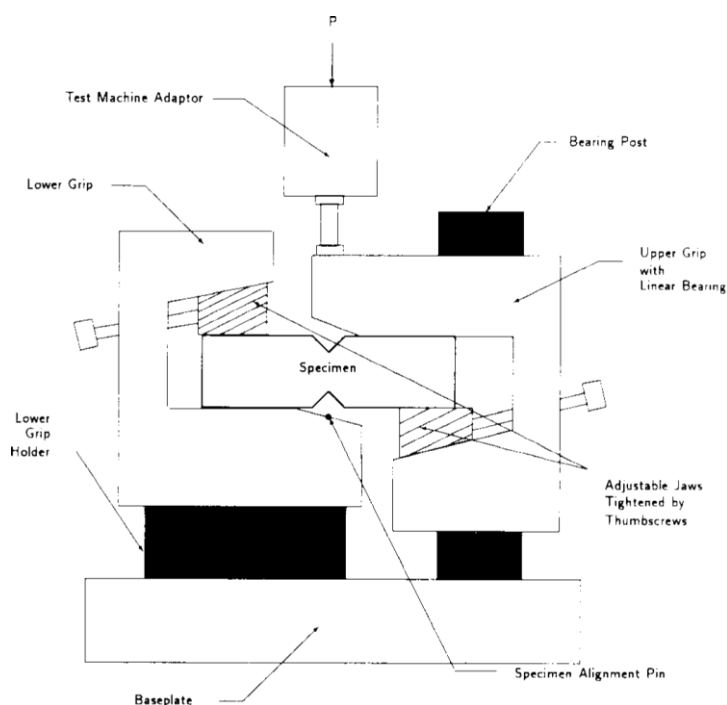


Figura 4. Utillaje para ensayo según ASTM D 5379 / D 5379M – 98 (ASTM, 1999)

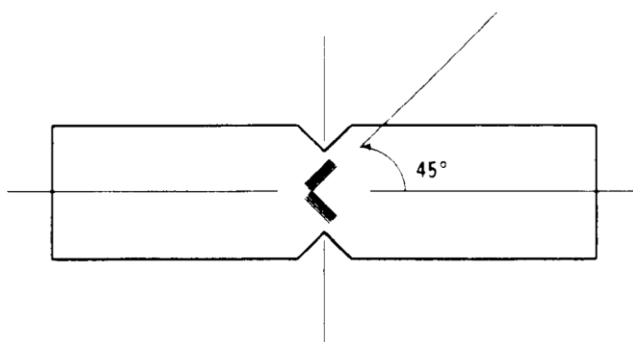


Figura 5. Posicionamiento de las galgas extensométricas (ASTM, 1999)

Los esfuerzos que soporta la carga se pueden suponer idealmente asimétricos como se muestra en la Figura 6. La entalla de la probeta es lo que hace que la distribución sea más uniforme, aunque la uniformidad del ensayo será también función de la ortotropía del material.

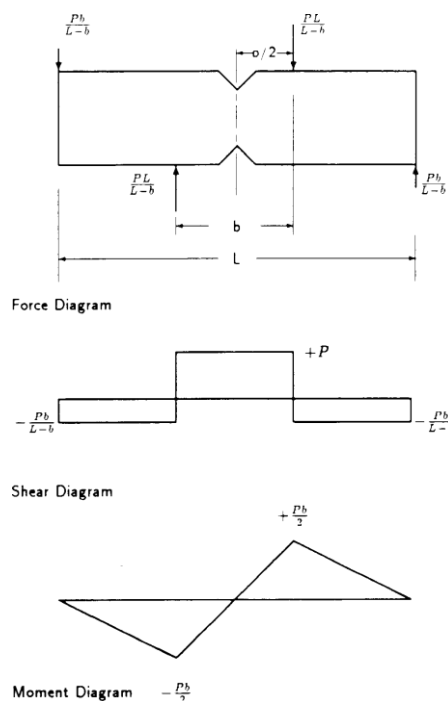


Figura 6. Diagramas ideales de fuerza, cortadura y momento flector (ASTM, 1999)

Este ensayo se realiza para investigar materiales compuestos y así poder caracterizarlos y poder desarrollar materiales más seguros y de mejor calidad. Para ello, el ensayo se puede realizar en diferentes planos de corte, por lo que se podrá orientar la probeta en función del uso que se le quiera dar al material ensayado.

Puede haber varios inconvenientes que hagan que el ensayo no salga bien, como pueden ser: la preparación del material a ensayar, el grosor y/o las dimensiones de la muestra, o la excentricidad de la carga.

Antes de realizar el ensayo, se debe especificar qué propiedades se van a analizar y cuáles son las condiciones de acondicionamiento ambiental. También se debe verificar que la geometría de la probeta cumple las tolerancias requeridas. Se deben montar las galgas extensométricas, y ajustar la velocidad para lograr una deformación lo más constante posible, de forma que se produzca la falla en un rango de 1 a 10 minutos.

Para realizar el ensayo se realizan los siguientes pasos:

1. Alinear las mordazas.
2. Fijar la mordaza inferior.
3. Colocar el útil en la máquina de ensayos.
4. Aflojar las mordazas de cada agarre.
5. Colocar la probeta a ensayar.
6. Conectar las galgas extensométricas previamente puestas en la probeta a un equipo de extensometría para poder medir las deformaciones.
7. Verificar la calibración de la celda de carga y ponerla a 0.
8. Asegurarse de que la probeta esté centrada, empujarla hasta que esté en el centro, y ajustar los cables de las galgas.
9. Apretar primero el lado izquierdo, pero no demasiado, porque un apriete excesivo puede llevar a un ensayo erróneo.
10. Comprobar que la carga sigue marcando 0.
11. Apretar la otra mordaza.

Se comprobará, una vez apretadas las mordazas, la posición de la probeta, y cuando se asegure un correcto posicionamiento, se aplicará la carga a la velocidad especificada hasta que la probeta rompa, y se registrarán los datos de la carga en función de la deformación. Si la probeta no rompe antes del 5% de deformación, los datos se truncarán a ese valor.

Para la obtención de parámetros, se utilizarán los datos obtenidos en el ensayo, tanto los de tensión-deformación, como los de deformación obtenidos con las galgas extensométricas.

Para obtener la tensión de rotura, se utilizará la Ecuación 1, y si se necesita determinar el esfuerzo cortante en cada punto, se utilizará la Ecuación 2.

$$F_u = \frac{P_u}{A}$$

Ecuación 1

$$\tau_i = \frac{P_i}{A}$$

Ecuación 2

Donde:

F_u = Tensión de rotura [MPa];

P_u = La menor entre la carga de rotura o la del 5% en deformación [N];

τ_i = Tensión en el punto i [MPa];

P_i = Carga en el punto i [N];

A = Área de la sección transversal [mm²].

Para calcular la deformación a cortadura de rotura, se utilizarán los datos obtenidos con las galgas colocadas a $\pm 45^\circ$. Se utilizará la Ecuación 3 para calcular la deformación en un punto cualquiera i, y la Ecuación 4 para calcular la deformación de rotura.

$$\gamma_i = |\epsilon_{+45}| + |\epsilon_{-45}|$$

Ecuación 3

$$\gamma^a = \min \left\{ \begin{array}{l} 5\% \\ \gamma_{rotura} \end{array} \right.$$

Ecuación 4

Donde:

γ_i = deformación a cortadura en un punto i de los datos obtenidos [$\mu\epsilon$];

ϵ_{+45} = deformación normal a 45° en un punto i de los datos obtenidos [$\mu\epsilon$];

ϵ_{-45} = deformación normal a -45° en un punto i de los datos obtenidos [$\mu\epsilon$];

γ^a = deformación a cortadura de rotura [$\mu\epsilon$].

Para obtener el módulo de elasticidad a cortadura, se utilizará la Ecuación 5. El rango de deformaciones donde está recomendado aplicar esta ecuación es entre $4000 \pm 200 \mu\epsilon$ y $1500-2500 \mu\epsilon$. En la Figura 7 se puede observar la representación del módulo de elasticidad a cortadura y el límite de tensión elástico al 0,2% de deformación.

$$G^{chord} = \Delta\tau / \Delta\gamma$$

Ecuación 5

Donde:

G^{chord} = Módulo de elasticidad a cortadura [GPa];

$\Delta\tau$ = Variación de tensión entre dos puntos;

$\Delta\gamma$ = Variación de deformación entre dos puntos;

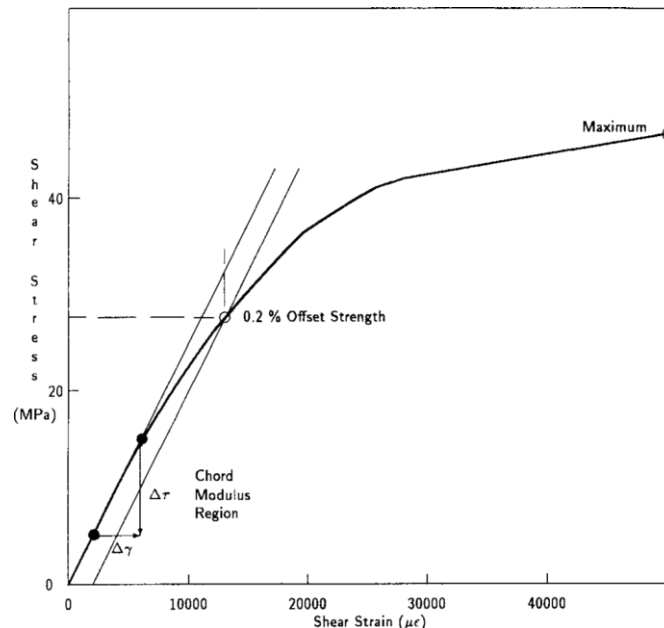


Figura 7. Determinación del módulo de elasticidad a cortadura y el límite de tensión elástico (ASTM, 1999)

Cuando se realice el ensayo varias veces, será recomendable hacer la media, desviación estándar y coeficiente de variación para comprobar si los ensayos son válidos.

Por último, al realizar el informe del ensayo, se incluirá a parte de los datos que se hayan especificado anteriormente, el nombre del operario, la fecha y lugar de realización, y si ha habido alguna anomalía a la hora de realizar la prueba, junto con las especificaciones técnicas de los equipos involucrados.

2.1.1.2 ASTM D 7078 / D 7078 M – 05. (Standard Test Method for Shear Properties of Composite Materials by V-Notched Rail Shear Method)

El ensayo de Arcan sigue la norma ASTM D 7078 / D 7078 M – 05 (ASTM, 2005). Este método sirve para determinar las propiedades a cortadura de materiales compuestos reforzados con fibras de alto módulo. La forma y dimensiones de la probeta a ensayar de acuerdo con la norma se pueden ver en la Figura 8 y en la Tabla 2.

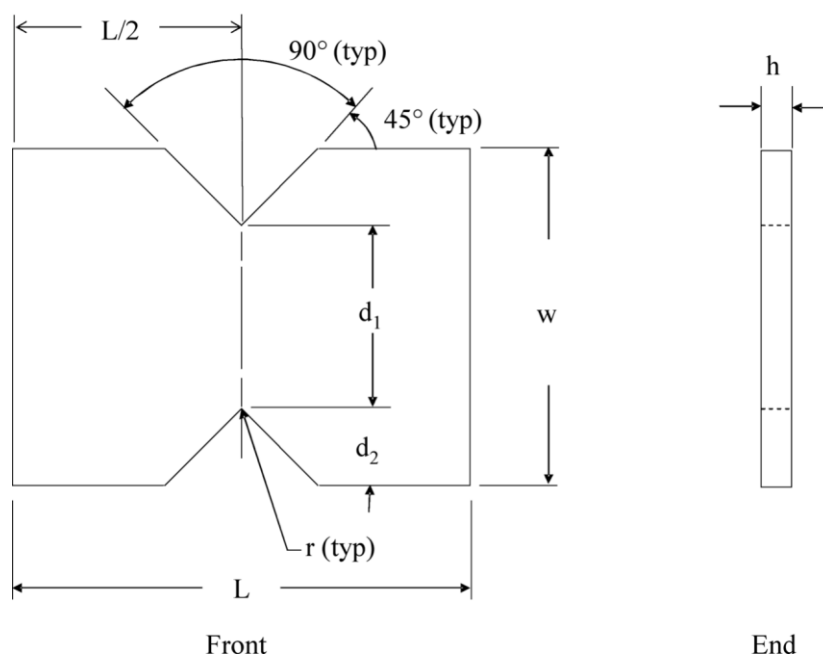


Figura 8. Esquema de la probeta con entalla en forma de v para ensayo según ASTM D 7078 / D 7078M – 05 (ASTM, 2005)

Tabla 2. Dimensiones nominales de la probeta para ASTM D 7078 / D 7078M – 05 (ASTM, 2005)

Parámetro	Dimensión nominal (mm)
d_1	31,0
d_2	12,7
h	Según se requiera
L	76,0
r	1,3
w	56,0

La probeta con la entalla en v se colocará en el utillaje tal y como se muestra en la Figura 9, entre las dos mitades del útil, que irán unidas a la máquina de ensayos. Cuando se aplique la carga, las dos mitades del útil producirán esfuerzos cortantes en la probeta hasta que ésta rompa. Al igual que en el anterior método, también se colocan dos galgas extensométricas orientadas a $\pm 45^\circ$ con respecto al eje de carga en el centro de la probeta para medir los desplazamientos y obtener el comportamiento a cortadura del material.

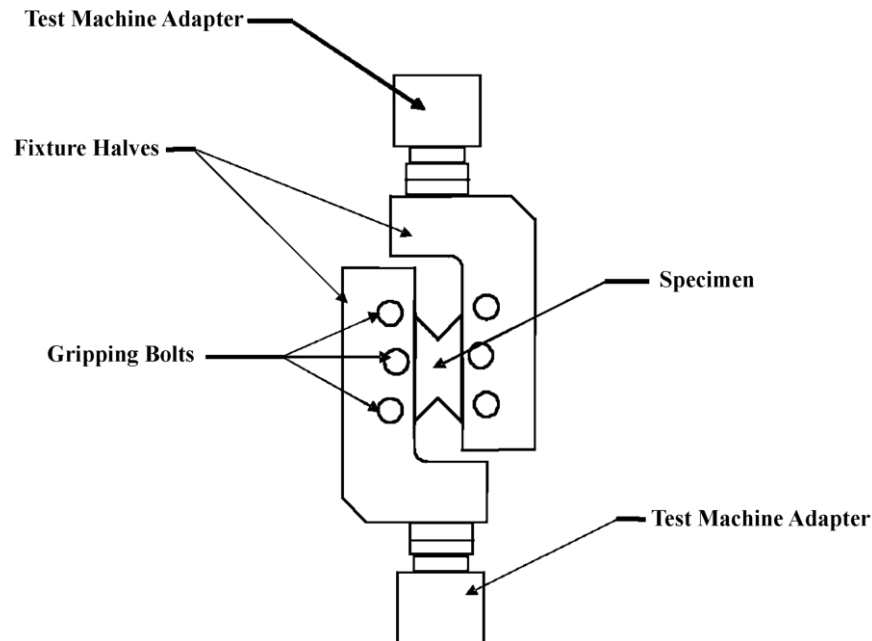


Figura 9. Utillaje para ensayo según ASTM D 7078 / D 7078M – 05 (ASTM, 2005)

Puede haber varios inconvenientes que hagan que el ensayo falle, como pueden ser: mala preparación del material a ensayar, variación en el grosor y/o las dimensiones de la probeta, o la excentricidad de la carga.

Antes de realizar el ensayo, se debe especificar qué propiedades se van a analizar y cuáles son las condiciones de acondicionamiento ambiental. También se debe verificar que la geometría de la probeta cumple las tolerancias requeridas. Se deben montar las galgas extensométricas, y ajustar la velocidad para lograr una deformación lo más constante posible, de forma que se produzca la falla en un rango de 1 a 10 minutos.

Para realizar el ensayo, se deben seguir varios pasos secuenciales:

1. Conectar las galgas extensométricas previamente colocadas en la probeta a un equipo de extensometría. Esto permitirá medir con precisión las deformaciones durante el ensayo.

2. Verificar la calibración de la celda de carga y ajustarla a cero para obtener mediciones exactas.
3. Aflojar los tornillos fijadores y colocar la probeta. Se colocará primero en una de las mitades, y después de asegurar que la probeta está centrada, se ajustarán los tornillos.
4. Ajustar los cables de las galgas para asegurar una correcta medición de las deformaciones.
5. Una vez a colocada la primera mitad y las galgas, comprobar que la carga indicada en el equipo de ensayo sea cero antes de continuar.
6. Ajustar la otra mitad y se apretar los tornillos, primero a la mitad del par máximo, y después hasta el par requerido, es decir, aproximadamente de 55 Nm.

Con todo listo, se aplica la carga especificada en el ensayo a la velocidad indicada hasta que la probeta se rompa. Durante todo el proceso, se deben registrar cuidadosamente los datos de carga en función de la deformación.

En caso de que la probeta no se rompa antes de alcanzar el 5% de deformación, se deben truncar los datos registrados a ese valor. Esto garantiza que se mantenga la consistencia en los resultados obtenidos. Siguiendo estos pasos de manera rigurosa, se podrá realizar el ensayo de manera precisa y obtener datos confiables sobre las propiedades de corte del material ensayado.

Para realizar los cálculos de las magnitudes necesarias, se utilizarán las ecuaciones de la norma anterior, ya que los datos obtenidos son del mismo tipo. Por lo tanto, para calcular la deformación a cortadura de rotura, se utilizarán los datos obtenidos con las galgas colocadas a $\pm 45^\circ$. Se utilizará la Ecuación 3 para calcular la deformación en un punto cualquiera i , y la Ecuación 4 para calcular la deformación de rotura.

Para obtener el módulo de elasticidad a cortadura, se utilizará la Ecuación 5. El rango de deformaciones donde está recomendado aplicar esta ecuación es entre $4000 \pm 200 \mu\epsilon$ y $1500-2500 \mu\epsilon$. En la Figura 7 se puede observar la representación del módulo de elasticidad a cortadura y el límite de tensión elástico al 0,2% de deformación.

Cuando se realice el ensayo en múltiples ocasiones, se recomienda calcular la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación para evaluar la validez de los ensayos. Estos cálculos permiten obtener una medida de la consistencia y la precisión de los resultados obtenidos, identificando cualquier variabilidad significativa entre las pruebas realizadas.

Al redactar el informe del ensayo, además de incluir los datos previamente mencionados, es importante agregar información adicional. Esto incluye el nombre del operario que realizó el ensayo, así como la fecha y el lugar en que se llevó a cabo. También es fundamental mencionar cualquier anomalía o incidencia que haya ocurrido durante la prueba, destacando cualquier factor que pueda haber afectado los resultados o la integridad de la muestra.

Por último, el informe debe contener las especificaciones técnicas de los equipos utilizados en el ensayo, asegurándose de proporcionar detalles precisos sobre los instrumentos de medición, las cargas aplicadas y cualquier otra configuración relevante. Esta información adicional contribuye a la transparencia y la comprensión completa del ensayo, facilitando su reproducción y análisis posterior.

2.1.2 FABRICACIÓN ADITIVA

La primera tecnología de fabricación aditiva fue inventada por el ingeniero norteamericano Charles Hull en 1984 y fue patentada en 1986. Para mucha gente la fabricación aditiva es algo muy moderno, porque se dio a conocer cuando salió al mercado en 2012 la impresora MarkerBot Replicator 2, por el precio de 2.199 dólares (fabricaciónaditiva.online). Está considerada una de las bases de la cuarta revolución industrial o Industria 4.0.

La fabricación aditiva es un proceso de fabricación utilizado para crear un objeto físico mediante la superposición de capas de material a partir de un modelo digital. Mientras que en la fabricación sustractiva, como cualquier proceso de mecanizado, las piezas se obtienen retirando material de un bloque, en este tipo de fabricación, el resultado final se obtiene por superposición de material. Se pueden emplear distintos materiales como plástico, metal, o yeso; en función de las propiedades que necesite la pieza que se va a fabricar (AUTODESK).

La impresión 3D es una técnica de fabricación aditiva, y al ser la más usada con gran diferencia respecto al resto y también la más popular, se usan generalmente como sinónimos. Esta técnica cuenta con diferentes tecnologías, que se pueden clasificar en función del material a emplear.

Para la fabricación aditiva en plástico, las tecnologías más conocidas son las siguientes:

- Modelado por deposición fundida (FDM): Emplea un cabezal de extrusión para depositar filamentos de material fundido capa por capa. Es ampliamente utilizada.
- Sinterizado por estereolitografía (SLA): Se utiliza un láser ultravioleta que permite solidificar resinas líquidas capa por capa. Se utiliza para piezas que requieren gran detalle.
- Sinterización selectiva por láser (SLS): Utiliza un láser para fusionar partículas de polvo y crear capas sucesivas.

La tecnología a utilizar se decidirá principalmente en función de las propiedades requeridas, de la complejidad de la geometría y de la precisión necesaria para la fabricación de la pieza, ya que todas tienen sus ventajas y sus limitaciones.

Para la fabricación aditiva con metales, algunas de las tecnologías más comunes son:

- Binder Jetting: Se rocía un aglutinante en polvo metálico para la unión de partículas capa por capa. Se utiliza para piezas complejas de alta precisión.
- Fusión selectiva con láser (SML): Un láser de alta potencia es utilizado para fundir y fusionar polvo metálico capa por capa. Se puede utilizar para materiales como acero inoxidable o titanio, y es recomendada para piezas complejas y de alta precisión.
- Fusión por haz de electrones (EBM): Se utiliza un haz de electrones que funde y solidifica polvo metálico capa por capa, para crear piezas complejas y de alta calidad.

Como en las tecnologías empleadas para plásticos, cada una tiene sus ventajas y limitaciones, por lo que serán las propiedades mecánicas de la pieza junto con la geometría y otros parámetros relevantes los que determinen cual será la mejor tecnología para cada caso.

Actualmente la fabricación aditiva es una herramienta muy empleada para la producción en sectores como el aeronáutico, que fue uno de los primeros en incorporarla, ya que una de sus mayores ventajas es la reducción de peso en sus componentes.

También es empleada en medicina, ya que al no tener tantas limitaciones en la geometría, facilita el diseño y fabricación de prótesis o modelos dentales que con procesos de fabricación convencionales no se podían lograr.

Su aplicación también se extiende en el sector automotriz, debido a los cambios en la demanda y en el sector, con esta tecnología se pueden fabricar los componentes necesarios de una forma más rápida, y sirve también para realizar prototipos de muchos componentes de este campo.

Las principales ventajas de la fabricación aditiva son:

- **Sostenibilidad:** No se crean apenas desperdicios, por lo que se reducen tanto gastos energéticos como el uso de exceso de material.
- **Integración de IoT:** Hace que exista un tramo continuo entre máquinas y humanos haciendo que la empresa migre a la digitalización.
- **Eficiencia:** Con este tipo de fabricación se optimiza el tiempo de producción, por lo que se trabajará de forma más ágil y permitirá ahorrar en los costes por pieza.
- **Reducción de costes:** La capacidad de producir piezas de forma digital ayuda a reducir stock. También facilita la producción local, ya que los gastos de proveedores externos y transporte son minimizados.
- **Mejoras en el diseño:** Permite crear cualquier forma geométrica y también diseñar piezas más eficientes, lo cual generalmente nos permite crear piezas más ligeras y reducir los costes (Ramírez, 2023).

A continuación se profundiza en la tecnología FDM, que será la utilizada en este proyecto.

2.1.2.1 Tecnología FDM

La tecnología FDM es una tecnología de fabricación aditiva, que viene del inglés “*Fused Deposition Modeling*”, o, lo que es lo mismo, “Modelado por Deposición Fundida”. Es un proceso de fabricación usado en impresión 3D, que tiene como objetivo fabricar prototipos en series cortas, además de tener bajo coste. Como todas las tecnologías de fabricación aditiva, tiene como objetivo principal crear a partir de un modelo digital, un objeto tridimensional. Para la creación de los modelos digitales, se puede usar cualquier programa de CAD, ya que todos dan la opción de exportar a formato. STL. Para este proyecto se ha utilizado Solid Edge.

El proceso consiste en calentar un filamento de materia, generalmente ABS o PLA, y, cuando derrite, es extruida en una plataforma. Se aplican capas progresivamente en la plataforma, que va descendiendo hasta terminar la impresión (FABLAB esan, 2017).

Esta tecnología también es utilizada para fabricar con materiales compuestos, ya que aunque los materiales termoplásticos pueden cambiar de estado sin alterar sus propiedades químicas y fundirse fácilmente, no aportan la resistencia ni la rigidez necesarias para muchas aplicaciones.

Los materiales compuestos utilizados en la fabricación 3D tienen como matriz un termoplástico y como agente de refuerzo fibras de carbono, fibras de vidrio o Kevlar. Estos refuerzos no se suelen usar por separado debido a que son delgados, frágiles y fáciles de romper si se doblan. La fibra de carbono tiene una de las relaciones resistencia-peso más altas en comparación con el resto de los materiales, por lo que es muy utilizada para crear piezas ligeras y fuertes.

Para la tecnología FDM se pueden utilizar fibras de carbono cortas, de longitud inferior a un milímetro y mezclarlas con termoplásticos tradicionales. Las fibras se utilizan como relleno

de los materiales termoplásticos utilizados, se mezclan antes de extruirlo en la impresión. Las fibras absorben parte de las tensiones de la pieza fabricada, mejorando las propiedades del material de menor calidad. En el caso de la fibra de carbono, también mejora la estabilidad térmica de la pieza y la rigidez. Las propiedades de la pieza fabricada variarán en función de la cantidad y de la longitud de los segmentos de fibra de carbono añadidas al plástico.

Si se utiliza fibra de carbono continua, se requiere un método de impresión diferente denominado Fabricación Continua de Fibra (CFF), que consiste en recubrir hebras continuas de fibra con un agente de curado y depositarlas en una matriz termoplástica extruida a través de una boquilla de impresión secundaria.

Tanto si se agrega fibra de una forma o de otra, la resistencia de la pieza mejorará, pero en general, una impresión 3D de fibra de carbono será más resistente que una de fibras cortadas, ya que la continuidad distribuye cualquier carga aplicada (Markforged).

Para hacer un diseño que proporcione buenos resultados con esta tecnología, se deben seguir unos criterios de diseño.

2.1.3 CRITERIOS DE DISEÑO PARA FDM

Para realizar un diseño que funcione en esta tecnología, es recomendable seguir las pautas mostradas a continuación.

2.1.3.1 Tamaño de la pieza

En cuanto a las dimensiones de la pieza, la más grande dependerá del tamaño de la impresora, mientras que para piezas pequeñas, se recomienda hacer piezas con tamaño mayor a 20 x 20 x 20 milímetros, ya que piezas de menor tamaño pueden ser difíciles de imprimir con tecnología FDM. Además, estas piezas deben tener una geometría sencilla para que su impresión sea posible.

Cuanto más se aumente la escala de la pieza, más aumentará el volumen (va con el cubo de la distancia), por lo que para imprimir piezas a un coste razonable, se pueden optimizar algunos parámetros, o se pueden reducir las dimensiones. Por ejemplo, la reducción de un 80% en dimensiones dará aproximadamente la mitad de volumen de la pieza original.

2.1.3.2 Tolerancias

La tolerancia inferior será $\pm 0,5\%$, con un límite inferior de $\pm 0,5\text{mm}$ debido a las vibraciones que pueda tener la máquina. Habrá más precisión en el plano XY (plano de la plataforma donde se extruye) que cuando estemos extruyendo en el eje Z, debido a la superposición de capas.

En cotas grandes, las tolerancias dimensionales están condicionadas por la contracción del material, mientras que las tolerancias dimensionales de cotas más pequeñas están afectadas por las vibraciones de la máquina y el control de flujo del material.

2.1.3.3 Paredes

Se recomienda un espesor mínimo de pared de 0,8mm, y diseñar piezas con gran cantidad de paredes finas afectará a la impresión de la pieza, por ello, la recomendación es que las paredes sean de 2,4mm o de espesores mayores.

Añadir redondeos o chaflanes en las bases de los muros ayudará a reducir la concentración de esfuerzos y hará la pieza más resistente. Para muros muy grandes, se necesitan refuerzos como costillas o nervios para que no se deformen cuando el material enfríe.

2.1.3.4 Agujeros, pines y secciones pequeñas

El diámetro mínimo de los agujeros debe ser al menos 2mm, y la parte interior generalmente resulta ser menor que la diseñada, por lo que en agujeros de hasta 10mm es recomendable añadir 0,4mm al diámetro del agujero. En algunos casos puede ser necesario repasar con una broca o escariador.

Para pines cortos, el diámetro mínimo será de 4mm. Serán más susceptibles de romperse si se alargan o se hacen más estrechos, por lo que no es recomendable diseñar por debajo de estas dimensiones.

2.1.3.5 Detalles grabados y en relieve

El ancho mínimo de los relieves deberá ser de 1,2 mm, y el alto de 0,4mm. Las dimensiones mínimas de los grabados serán las mismas, siendo el ancho 1,2mm y la profundidad 0,4mm. Siempre que sea posible, será recomendado grabar textos, logos o detalles en vez de ponerlos en relieve para obtener un mejor resultado.

2.1.3.6 Voladizos y puentes

Los voladizos que tengan una inclinación menor a 45° requieren material de soporte, por lo cual se evitará en lo posible el diseño con inclinaciones menores a dicho valor, ya que el material del soporte empeorará el acabado superficial de las superficies soportadas.

Si los puentes tienen una longitud de entre 10 y 20mm, no necesitarán material de soporte, mientras que los más largos sí.

En cuanto a las superficies planas en voladizo, se consideran puentes largos, por lo que necesitarán material de soporte. Se evitará en lo posible, ya que el acabado será peor que el del resto de la pieza.

2.1.3.7 Orientación y acabado

Como se ha comentado anteriormente, hay algunas situaciones que requieren material de soporte, y esto hace que la pieza fabricada tenga peor acabado en las zonas donde se requiera dicho material. Por ello, es fundamental pensar la orientación de la pieza, ya que puede afectar a las tolerancias dimensionales y al acabado de la pieza.

El plano inferior sobre el que se imprime la pieza tendrá buen acabado superficial, mientras que las zonas que requieran material de soporte tendrán mal acabado. En ocasiones puede ser conveniente dividir la pieza en varias partes para poder imprimirla correctamente.

La pieza resistirá cargas mayores en el plano XY, al que se llama plano de las capas, por lo que, siempre que sea posible, se diseñarán las piezas para que los esfuerzos aplicados en ellas coincidan con la dirección de las capas, y minimizando las cargas aplicadas en la dirección del eje Z, plano perpendicular al plano de las capas (Bitfab).

Capítulo 3. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

3.1 JUSTIFICACIÓN

En el campo de la ingeniería, los ensayos de materiales desempeñan un papel fundamental para evaluar las propiedades y el comportamiento de los materiales. Para caracterizar materiales compuestos se usan comúnmente ensayos de tracción, flexión, compresión, impacto y cortadura. Se expondrán a continuación las ventajas que aporta hacer un ensayo de cortadura frente al resto de ensayos:

- Evaluar específicamente la resistencia de cortadura: ensayando materiales de esta manera podremos analizar el comportamiento frente a cargas de corte y su respuesta, mientras que otros ensayos mecánicos se centran más en la deformación lineal que puede sufrir el material.
- Evaluación de adhesión y uniones: este tipo de ensayos es frecuentemente utilizado para la evaluación de la calidad de las interfaces adhesivas y la efectividad de los métodos utilizados. Obtener una información precisa sobre uniones es crucial para industria como la aeroespacial o la automotriz.
- Independencia del tamaño y la geometría de la muestra: en otros ensayos como el ensayo de tracción, la geometría y el tamaño de la muestra puede afectar, mientras que la sensibilidad de esos factores en este tipo de ensayos será menor, por lo que se podrán conseguir resultados más confiables.

Teniendo en cuenta estos factores, se ha considerado que para la evaluación de materiales compuestos los ensayos de cortadura son adecuados para su caracterización.

En este proyecto se pretende optimizar la fabricación de los utillajes para realizar los ensayos propuestos, y para ello se utilizará otro material diferente al usado actualmente para la fabricación de los equipos, por los motivos expuestos a continuación:

1. Los útiles presentes en el mercado están fabricados de acero, que es mucho más pesado que cualquier material de impresión 3D reforzado con fibra de carbono.
2. Además del peso, hay que tener en cuenta que la fabricación aditiva facilita la fabricación porque en la mayoría de los casos no es necesario mecanizar, y permite obtener piezas de geometría de mayor complejidad sin necesidad de usar moldes o procesos de fabricación específicos como los que puede requerir el acero.
3. Adicionalmente, hay que tener en cuenta que el precio de fabricación aditiva es generalmente inferior a cualquier proceso de mecanizado, por lo que es otro factor a tener en cuenta a la hora de tomar la decisión de la técnica de fabricación utilizada para este proyecto.

3.2 OBJETIVOS

El objetivo principal del presente proyecto es diseñar dos sistemas para realizar ensayos de cortadura, uno de ellos para realizar el ensayo de Iosipescu y el otro para el ensayo de Arcan, así caracterizar materiales compuesto.

Los utillajes serán fabricados por fabricación aditiva, por lo que para la consecución de los objetivos se debe analizar en detalle la técnica con la que se fabricarán después los útiles, ya que los diseños deben ser adecuados para dicha técnica, siempre cumpliendo las normas marcadas por la ASTM para cada ensayo.

Se pretenden fabricar prototipos de cada uno de los sistemas utilizando la tecnología FDM en PLA para poder comprobar el diseño realizado y el montaje en la máquina de ensayos para posteriormente fabricarlos en FDM con material termoplástico reforzado con fibras de carbono para así obtener la resistencia necesaria para realizar los ensayos.

Una vez diseñados y fabricados y validados estos sistemas de ensayo, se pretenden usar para futuras investigaciones y fines docentes.

3.3 METODOLOGÍA

1. **Búsqueda de información:** La búsqueda de información es el primer paso que se debe dar a la hora de comenzar un proyecto. Se ha analizado la situación actual de los ensayos que se realizarán en este trabajo y se ha profundizado en el estudio de las propiedades de los útiles para dichos ensayos que varios fabricantes ofrecen actualmente. Esta información será de especial utilidad a la hora de definir los diseños de los sistemas a utilizar para los ensayos de cortadura propuestos.
2. **Normativa a seguir:** Los ensayos a realizar en este proyecto tienen como objetivo determinar las propiedades a cortadura de materiales compuestos y poliméricos. Para ello, los ensayos se deberán realizar acorde a la normativa establecida por la ASTM. Para el ensayo de Iosipescu seguiremos la norma ASTM D5379-93, y para el de Arcan la norma ASTM D7078. El diseño y la producción de los útiles debe garantizar el cumplimiento de las normativas expuestas.
3. **Estudio de los ensayos:** Una vez analizada la información y la normativa a seguir, se ha realizado un estudio de los ensayos de Iosipescu y Arcan. Se determinarán los materiales de las probetas a ensayar y las dimensiones que los útiles deben tener para que los ensayos sean válidos.
4. **Diseño de los equipos:** Cuando se haya estudiado en profundidad las necesidades que deben cumplir los útiles para cada ensayo, se procederá con el diseño de los mismos. Para ello, se utilizará la versión de estudiantes del software Solid Edge 2022.
5. **Fabricación de los útiles:** Se fabricarán los prototipos de los útiles diseñados previamente mediante fabricación aditiva, con tecnología FDM, concretamente con PLA. La impresora que se utilizará será la DT 600, ya que nos permitirá imprimir la mayoría de las piezas necesarias en una única impresión, debido a su tamaño.
6. **Validación del montaje:** Se comprobará que el diseño propuesto es adecuado para el montaje de los utillajes en la máquina de ensayos y que funciona correctamente.

3.4 PLANIFICACIÓN

A continuación, se presenta la planificación que se ha seguido para el desarrollo de este proyecto:

	SEMANA																									
	ENE RO		FEBRERO				MARZO				ABRIL					MAYO					JUNIO					JUL IO
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Búsqueda de información																										
Normativa a seguir																										
Estudio de los ensayos																										
Diseño de los equipos																										
Revisión de los diseños																										
Fabricación de los prototipos de los útiles																										
Validación del montaje de los utillajes																										
Redacción memoria																										

Capítulo 4. SISTEMA/MODELO DESARROLLADO

En el presente proyecto, se propondrá un diseño para los utillajes necesarios para la realización del ensayo de Arcan y de Iosipescu.

Posteriormente, se fabricarán prototipos para comprobar la viabilidad de los diseños en cuanto a montaje y funcionalidad. Ambos ensayos se analizarán por separado en los siguientes apartados.

4.1 ENSAYO DE ARCAN

Para el diseño del utillaje que se utilizará para el ensayo de Arcan, que sigue la norma ASTM D 7078 / D 7078 M – 05, se ha tomado como referencia el utillaje del fabricante Universal Grip Co. mostrado en la Figura 10.

Cada una de las mitades del cuerpo tiene un peso de 4 kg, y todo el utillaje está fabricado de acero y su resistencia a la tracción es de 50 kN.



Figura 10. Referencia de diseño para utillaje para ensayo de Arcan (Universal Grip Co.)

El esquema proporcionado por el fabricante a partir del que se ha empezado a diseñar el prototipo que se fabricará se muestra en la siguiente figura.

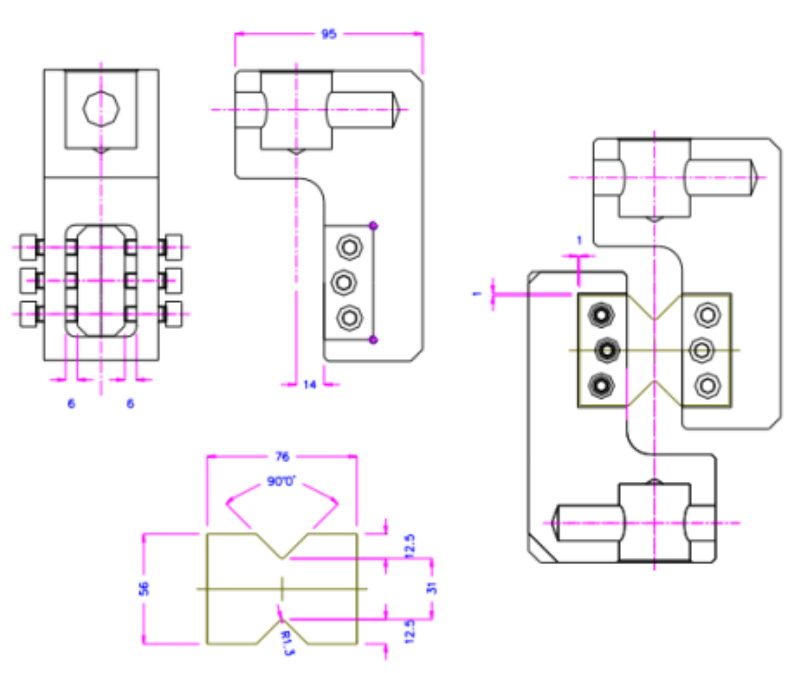


Figura 11. Esquema de referencia para utillaje para ensayo de Arcan (Universal Grip Co.)

A partir de la imagen y esquema de referencia, se procede al análisis del sistema para realizar el diseño.

4.1.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA

El utillaje que se aprecia en la Figura 10, se puede ver que se trata de un útil simétrico. Cada una de las mitades consta de un cuerpo, las mordazas para el amarre de la probeta y tornillos para guiar y ajustar la mordaza.

Dentro del cuerpo se encuentran los agujeros para poder acoplar el equipo a la máquina de ensayos que se vaya a usar. Se revisarán las medidas proporcionadas en el esquema de la

Figura 11 para ajustarlas a las medidas necesarias para la adaptación a la máquina de ensayos disponible en el laboratorio, y a las mordazas para la máquina de ensayos disponibles en el laboratorio para aprovechar el equipamiento disponible y no tener que adquirir piezas adicionales.

Tanto el cuerpo como las mordazas serán fabricadas por fabricación aditiva, por lo que se diseñarán con Solid Edge, y los tornillos serán elementos normalizados.

4.1.2 DISEÑO

Para realizar el diseño de este utillaje se ha usado la versión de estudiantes del software Solid Edge 2022 de la empresa Siemens, partiendo de las dimensiones indicadas en los diseños del fabricante. Se han ido introduciendo diferentes modificaciones para cubrir las necesidades detectadas en el proceso de diseño.

En esta sección se muestra detalladamente los distintos cambios y mejoras que se han realizado hasta llegar al modelo final.

4.1.2.1 Primer diseño: modelado inicial del útil

El primer diseño que se realizó fue marcando las medidas exactas necesarias para la fabricación del utillaje, sin tener en cuenta la variación en medidas como los diámetros que podría haber debido a la técnica empleada para la fabricación por FDM, únicamente las medidas requeridas por las mordazas de la máquina de ensayos del laboratorio para tener una idea general del tamaño final del utillaje tras haberlo modificado.

Los planos con las medidas de las mordazas para el acoplamiento a la máquina de ensayos disponibles en el laboratorio se encuentran en el ANEXO I: PLANOS.

En cuanto a los agujeros para los tornillos, se diseñaron con un diámetro para posteriormente roscarlo por mecanizado, a pesar de no ser la técnica que se iba a utilizar, para tornillos de métrica M6.

Las mordazas fueron también diseñadas sin tener en cuenta la holgura necesaria que se debería tener debido a las tolerancias que ofrece la impresión 3D.

En la Figura 12 se puede ver el conjunto de mordazas y cuerpo del primer diseño realizado

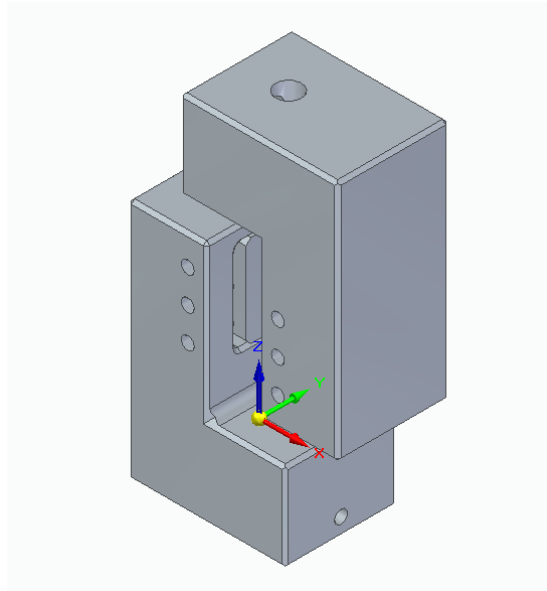


Figura 12. Primer diseño del utillaje para ensayo de Arcan

4.1.2.2 Segundo diseño: diseño de los insertos roscados

En el segundo diseño realizado, la única modificación introducida fue la adaptación de los agujeros que debían ir roscados. Se adaptó el diseño para usar insertos roscados Helicoil, pero se descartó esa opción debido a que este tipo de insertos están pensado para materiales metálicos en vez de para materiales plásticos, por lo que no se llegó a utilizar.



Figura 13. Filetes insertos Helicoil (BÖLLHOFF)

4.1.2.3 Tercer diseño: elección de los insertos roscados

En el tercer diseño, se modificaron nuevamente los agujeros para los tornillos, esta vez para utilizar insertos roscados del fabricante Ruthex, ya que son insertos roscados utilizados para ensamblaje, pensados para materiales compuestos y plásticos, con un diseño único que permite adherencia y sujeción firme al material base donde se van a introducir.

Su geometría está compuesta por una rosca externa que se inserta en el material y una rosca interna que permite conectar la pieza en la que se ha colocado el inserto con otro elemento roscado.

Se decidió utilizar una métrica M6 para los tornillos de las mordazas, por lo que los insertos a utilizar serán finalmente los mostrados en la Figura 14. Para ello, en el tercer diseño, inicialmente, se modificaron los diámetros de los agujeros a los indicados por el fabricante.



Figura 14. Insertos roscados Ruthex M6 (Ruthex)

Las tolerancias dimensionales de impresión con la tecnología FDM están generalmente entre $\pm 0,2$ mm y $\pm 0,5$ mm, pero estas tolerancias pueden variar en función de la orientación de la pieza, de las contracciones o deformaciones que pueda sufrir el material que conformará la pieza en el proceso de fabricación, o de la impresora utilizada.

Por estos motivos, antes de realizar una primera impresión, para asegurar las dimensiones de las medidas que debían tener los diámetros en el diseño para que tanto mordazas como insertos pudieran ser montados correctamente, se realizó una placa con agujeros para comprobar los ajustes que la impresora DT600 podía proporcionar. A continuación, se muestra en la Figura 15 el modelo de la primera pieza que se realizó para la comprobación de dichos ajustes y en la Figura 16 se puede observar la pieza ya impresa con tecnología FDM, fabricada con PLA.

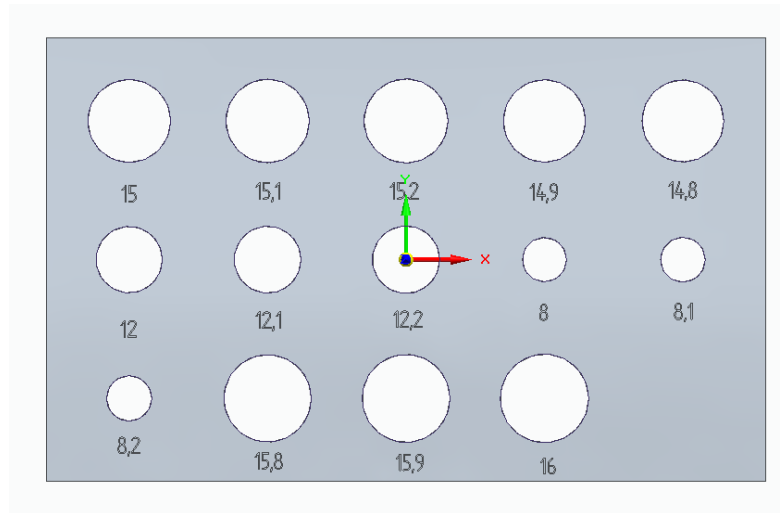


Figura 15. Modelo pieza 1 para prueba de ajustes FDM

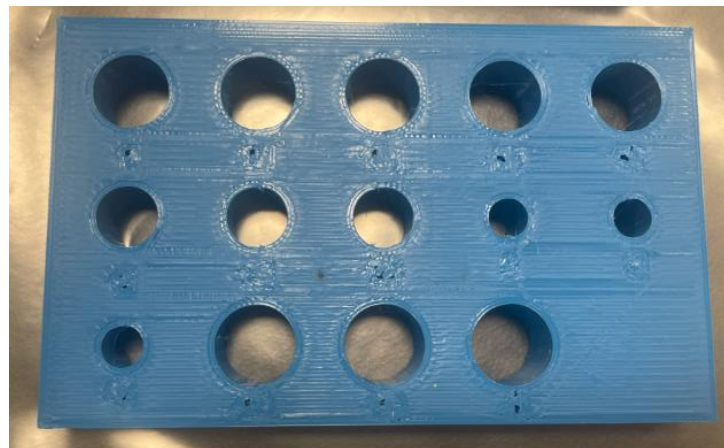


Figura 16. Pieza 1 para prueba de ajustes FDM

Esta pieza también se utilizó conjuntamente para comprobar los diámetros del otro utillaje diseñado en este proyecto, por lo que hay diámetros que para las pruebas en este utillaje no serán necesarios.

Para los insertos roscados, el fabricante ruthex recomienda hacer un agujero previo de diámetro de 8 mm para poder un inserto M6, pero se comprobó que para un buen montaje de los insertos con las tolerancias proporcionadas por la tecnología usada, se necesitaría un diámetro de 8,2 mm para que el inserto roscado pudiera ser montado.



Figura 17. Prueba de inserto roscado M6

Para ensamblar el inserto roscado, se hizo uno de una herramienta de acabado para impresiones 3D como la que se ve en la Figura 18, que se calienta hasta 260 °C, y con ayuda de una punta cilíndrica caliente el inserto y el material base para que se introduzca fácilmente.



Figura 18. Herramienta de acabado para impresiones en 3D

Antes de montar el inserto roscado, se comprobó que el pasador de diámetro 8 mm que asegura la unión de la mordaza de la máquina de ensayos al utillaje no entraba en ninguno de los diámetros propuestos aquí, al igual que la mordaza de diámetro 15,8 mm.

Debido a que ninguna de esas dos partes entraba en ninguno de los ajustes de prueba, se realizó una segunda pieza para comprobar los ajustes antes de imprimir un primer prototipo.

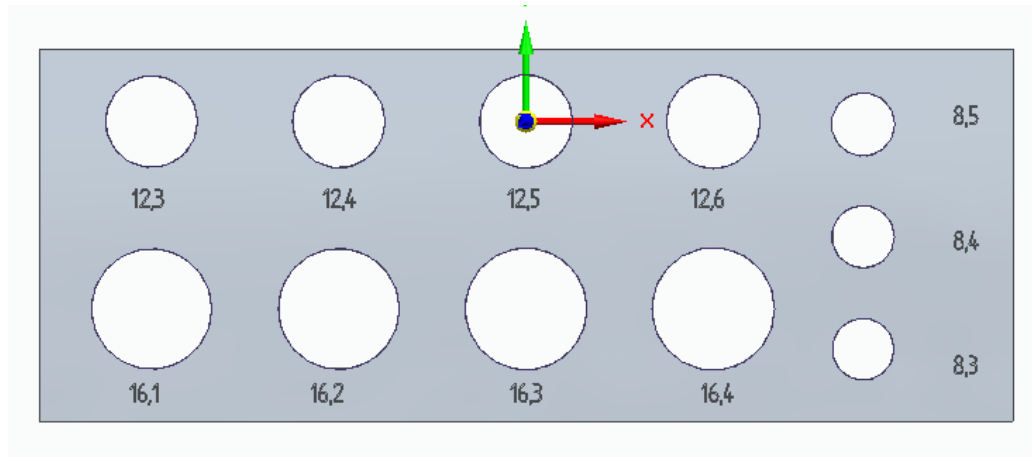


Figura 19. Modelo pieza 2 para prueba de ajustes FDM

En esta pieza, se comprobó que el pasador de 8 mm entraba en el agujero diseñado con diámetro 8,3 mm como se ve en la Figura 20, pero debido a que a la hora de imprimir el agujero no iba a estar impreso en el plano XY, sino en la dirección Z, se decidió añadir 4 décimas de milímetro debido a que las tolerancias de impresión en ese eje son peores por la técnica empleada.

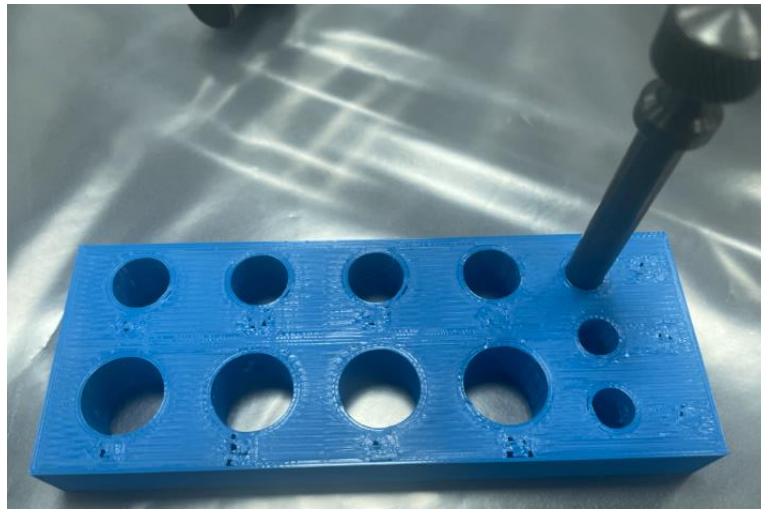


Figura 20. Comprobación ajuste pasador en pieza 2

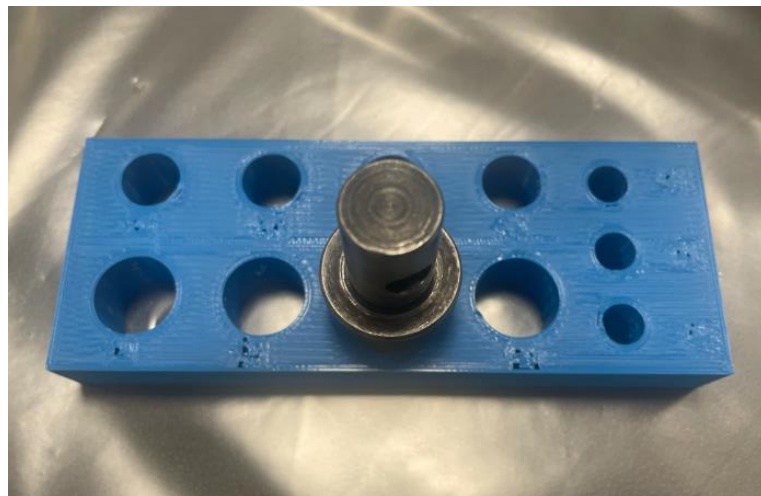


Figura 21. Comprobación ajuste mordaza de acoplamiento a la máquina de ensayos en pieza 2

Para el ajuste de la mordaza, se optó por dejar un poco más de juego, lo cual requería un diseño de 16,3 mm de diámetro, pero como también se iba a imprimir en la dirección del eje Z, se optó también por añadir una décima de milímetro más.

Una vez hechas las modificaciones de todos los agujeros, se imprimió un primer prototipo únicamente de una mitad del cuerpo del utillaje.

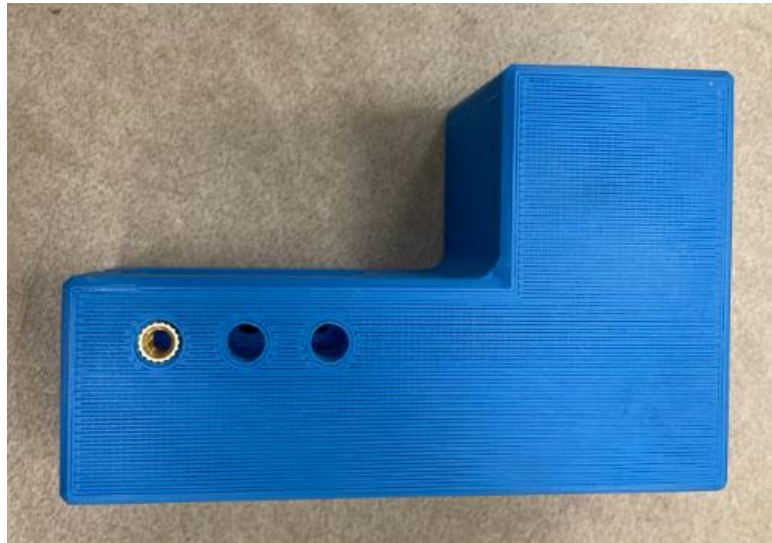


Figura 22. Primer prototipo del utillaje para ensayo de Arcan

En este primer prototipo mostrado en la Figura 22 se puede observar que los insertos roscados se pueden montar.

Sin embargo, el ajuste del agujero que se ve en la Figura 23 para la mordaza de acoplamiento a la máquina de ensayos no fue correcto. Aunque la mordaza sí que entraba y el pasador también, no se pudo realizar el montaje correctamente debido a que el agujero que tenía la mordaza para el pasador y el agujero de la pieza impresa para el pasador no coincidían a la hora de ensamblarlo.



Figura 23. Primer prototipo utillaje para ensayo de Arcan

En la Figura 24 se puede apreciar otra vista del prototipo, donde se observa la caja donde irán alojadas las mordazas del utillaje para sujetar la probeta.



Figura 24. Primer prototipo utillaje para ensayo de Arcan

4.1.2.4 Cuarto diseño: modificaciones de los ajustes de los agujeros

En este diseño, se hicieron correcciones en los agujeros de unión del utillaje con la mordaza de la máquina. Se dejó más holgura, bajando la profundidad del agujero de la mordaza 1 mm, y también dejando hueco para que la parte más ancha de la mordaza de acoplamiento a la máquina de ensayos pueda introducirse ligeramente, como puede apreciarse en la Figura 25.



Figura 25. Prototipo 2 del utillaje para el ensayo de Arcan

Con estos ajustes, se comprobó el montaje con la máquina de ensayos y fue correcto. También se imprimieron las mordazas, que fueron modificadas respecto a sus diseños anteriores para dejar un poco de holgura y que entrasen con un poco de juego en la caja.



Figura 26. Prototipo 2 utillaje para ensayo de Arcan con mordazas

4.1.3 PROTOTIPO FINAL

Una vez comprobadas todas las medidas y ajustes, se ofrece una explicación detallada de las decisiones tomadas para la fabricación del prototipo final:

- **Cuerpo**

La única modificación que se realiza respecto al diseño anterior es el agujero del pasador. En el anterior diseño el agujero no es pasante, pero se decide finalmente hacerlo pasante por dos motivos: facilitar la limpieza de la pieza y ahorro de material. No se modifica nada más respecto al diseño anterior.

- **Insertos roscados y tornillos:**

La densidad de impresión ha sido 20%, para garantizar estabilidad y no tener problemas a la hora del montaje. Se han utilizado un total de 12 insertos roscados M6 (véase Figura 14), y 12 tornillos M6 x 30 de cabeza allen.



Figura 27. Tornillo M6 x30 cabeza allen empleado para el utillaje para ensayo de Arcan

Finalmente, se puede ver en la Figura 28 el prototipo del utillaje para este ensayo terminado.



Figura 28. Prototipo final del utillaje para ensayo de Arcan

4.2 ENSAYO DE IOSIPESCU

El ensayo de Iosipescu sigue la norma ASTM D 5379 / D 5379 M – 98, y para realizar el diseño se han tomado como referencia los utillajes de los fabricantes Shimadzu (Figura 29) y Universal Grip Co. Mostrado en la Figura 30

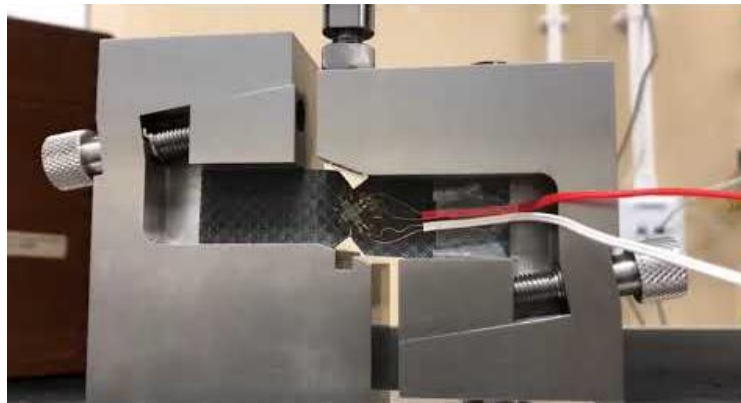


Figura 29. Referencia de diseño para utillaje de ensayo de Iosipescu (SHIMADZU)



Figura 30. Referencia de diseño para utillaje de ensayo de Iosipescu (Universal Grip Co.)

Está fabricado de acero y su resistencia a la tracción es de 50 kN. Se pueden ver los esquemas que se han utilizado como referencia en la Figura 31.

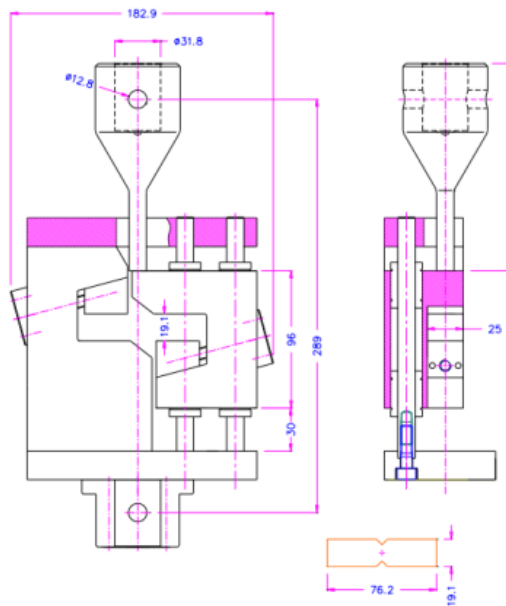


Figura 31. Esquema de referencia para utillaje para ensayo de Iosipescu (Universal Grip Co.)

4.2.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA

El utillaje para el ensayo de Iosipescu es más complejo que el analizado en el apartado anterior. El cuerpo izquierdo es el cuerpo base, que se montará a la máquina de ensayos. El cuerpo derecho es un cuerpo móvil, que irá montado sobre una o dos guías para asegurar la trayectoria del ensayo.

El punzón es lo que empujará el cuerpo móvil para romper la probeta, y estará también unido a la máquina de ensayos. Por último tenemos las mordazas, que facilitarán la sujeción de la muestra a ensayar, y un posicionador para centrar la probeta.

El diseño que se realiza para esta pieza es un diseño adaptado a la fabricación aditiva, por lo que se podrá reducir el número de piezas a fabricar, eliminando así uniones de piezas como

la de la base al cuerpo izquierdo, ya que se podrán fabricar de manera conjunta en una misma pieza.

4.2.2 DISEÑO

Para realizar el diseño de este utillaje se ha usado la versión de estudiantes del software Solid Edge 2022 de la empresa Siemens, partiendo de las dimensiones indicadas en los diseños del fabricante. A lo largo del proceso de diseño, se han realizado diversas modificaciones al con el fin de satisfacer las necesidades identificadas.

En esta sección, se presentan de manera detallada los diferentes cambios y mejoras que se han llevado a cabo hasta llegar al modelo final.

4.2.2.1 Primer diseño: modelado inicial del útil

En el primer diseño, el objetivo principal fue simplificar al máximo el diseño del esquema mostrado en la Figura 31, por lo que se propuso el mostrado a continuación.

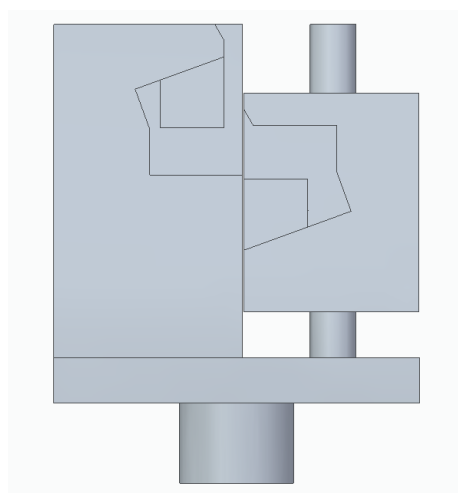


Figura 32. Primer diseño del utillaje para ensayo de Iosipescu

Se optó por diseñarlo únicamente con una guía, para simplificar el diseño, tomando como referencia principalmente la imagen de la Figura 29.

Se consideró que con este diseño, el cuerpo derecho podría girar libremente, lo cual haría que el ensayo se viese afectado, por lo que se descartó esta opción. El resto de las medidas eran provisionales, en base al esquema de la Figura 31, para respetar así las dimensiones de la probeta.

4.2.2.2 Segundo diseño: diseño de las guías

Para el segundo diseño, se incorporó una segunda guía, limitando así el giro del cuerpo derecho. También se diseñó el punzón, adaptando las medidas a las mordazas para adaptar el utillaje a la máquina de ensayos. Se decidió que con las medidas de los cuerpos izquierdo y derecho, el ancho del punzón debía ser demasiado estrecho, por lo que se consideró necesario cambiarlo.

Se incluyeron unos agujeros para meter prisioneros en la parte posterior del utillaje para sujetar las guías, ya que el montaje requería algo de juego en los agujeros de la parte superior. En este diseño también se incorporó la guía para la probeta, pero la sujeción de las mordazas todavía no estaba determinada.

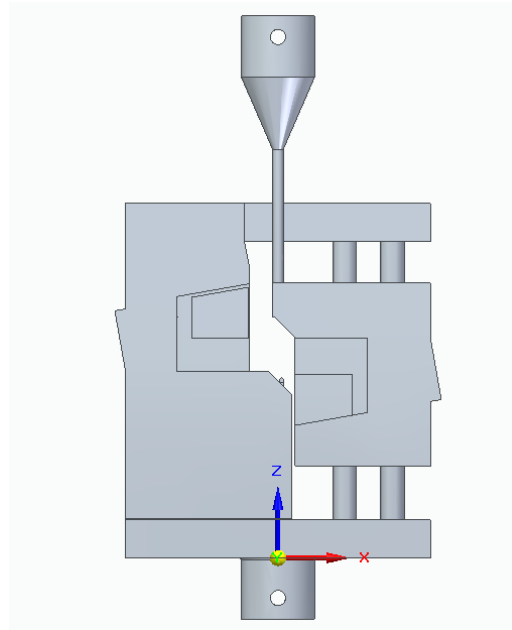


Figura 33. Segundo diseño del utillaje para ensayo de Iosipescu

4.2.2.3 Tercer diseño: diseño de los insertos roscados

En este diseño, se corrige la dimensión del punzón, y se considera poner insertos Helicoil, como en el otro utillaje, que en próximo diseño se cambiará a insertos roscados Ruthex, por ser más compatibles con el material con el que se va a fabricar la pieza.

También se decide poner insertos roscados en los salientes de los cuerpos derecho e izquierdo y dejar las mordazas sin roscar. Se fabricará un tornillo que tenga parte roscada, que roscará en los cuerpos, y parte no roscada que se introducirá en las mordazas. El tornillo se sujetará en las mordazas con un prisionero para impedir el deslizamiento axial del tornillo pero de forma que permita el giro.

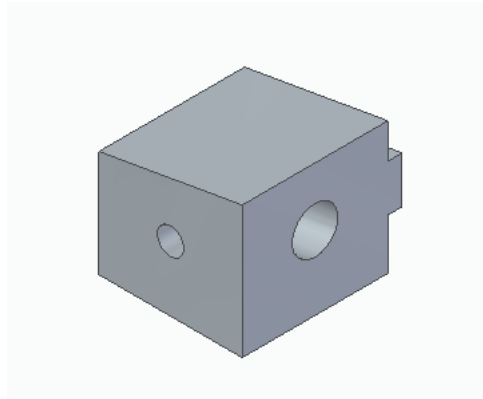


Figura 34. Mordaza de utillaje para ensayo de Iosipescu

También se hacen unas guías para la mordaza y unos topes para mantener la mordaza guiada y asegurar su recorrido.

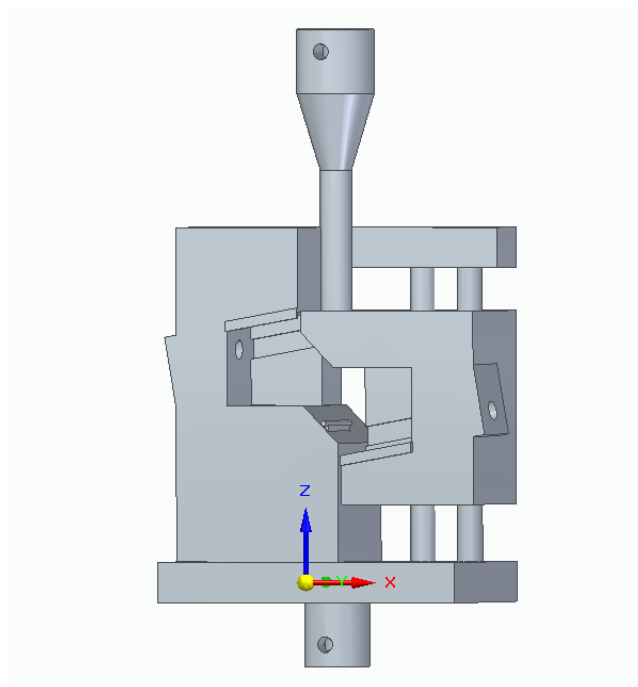


Figura 35. Utillaje para ensayo de Iosipescu con guías y topes para mordaza

4.2.3 PROTOTIPO FINAL

Para el diseño final, se hicieron pruebas de ajustes con las piezas fabricadas para comprobar las dimensiones (véanse Figura 15 y Figura 19 del apartado 5.1.2.3.), y se cambiaron las medidas de los agujeros en función de los ajustes necesarios. A continuación, se muestran detalladamente los cambios realizados para cada parte del utillaje:

- **Insertos roscados:**

Para las mordazas, se ha decidido utilizar insertos roscados ruthex M4, y para los tornillos que sujetan las guías se ha decidido utilizar insertos ruthex M4S, que son más cortos que los mencionados anteriormente. El ajuste que se ha realizado para estos insertos ha sido de 5,8 mm de diámetro frente a los 5,6 mm que recomienda el fabricante, debido a las tolerancias de la impresora utilizada.



Figura 36. Insertos roscados Ruthex M4 (Ruthex)



Figura 37. Insertos roscados Ruthex M4S (Ruthex)

Para los casquillos se eligió una barra de latón de diámetro 18 mm, y fue mecanizada en torno. Para ello se usaron las herramientas de cilindrado exterior y ranurado disponibles en el laboratorio.

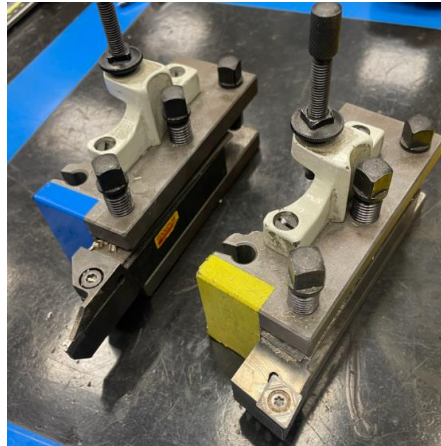


Figura 40. Herramientas de ranurado y cilindrado exterior utilizadas para la fabricación de casquillos

También fue necesario el uso de una broca de 12 mm para hacer los agujeros interiores de los casquillos mediante taladrado.



Figura 41. Operación de taladrado en torno para los casquillos

Todo el proceso fue realizado en una misma fase. La secuencia para la fabricación fue la siguiente:

1. Refrentado a limpiar con la herramienta de cilindrado
2. Taladrado con una broca de diámetro 6 mm
3. Taladrado con otra broca de diámetro 12 mm
4. Cilindrado exterior desbaste
5. Cilindrado exterior acabado con la herramienta de cilindrado
6. Tronzado.

Fue necesario después quitarles la rebaba para evitar cortes a la hora del montaje y avellanar los agujeros.



Figura 42. Casquillos fabricados en torno para utillaje para ensayo de Iosipescu

- **Tornillos para el accionamiento de las mordazas:**

Los tornillos para las mordazas también han sido mecanizados en el laboratorio. Se han hecho a partir de una barra roscada M8. La secuencia de fabricación ha sido la siguiente:

1. Cortar barra roscada de longitud 100 mm
2. Rebajar a diámetro 5,5 mm una longitud de 25 mm uno de los extremos
3. Colocar una tuerca en el extremo roscado y soldar por puntos.

4. Hacer la ranura para el alojamiento del tornillo prisionero en el diámetro de 5,5 mm.



Figura 43. Tornillo M8 para mordazas

El resto de las piezas se han fabricado con la impresora DT 600 disponible en el laboratorio, también con PLA como el sistema explicado anteriormente. Se han necesitado un total de 6 piezas fabricadas, que son las siguientes:

- **Cuerpo principal:**



Figura 44. Cuerpo izquierdo del prototipo del utillaje para ensayo de Iosipescu

El cuerpo mostrado en la Figura 44 es el cuerpo principal del utillaje, que permitirá la unión del sistema a la máquina de ensayos mediante el adaptador. Las medidas se han comprobado para que el montaje sea posible.

- **Cuerpo móvil:**



Figura 45. Cuerpo derecho del prototipo del utillaje para ensayo de Iosipescu

La pieza que se ve en la Figura 45 es el cuerpo derecho, la otra parte principal del utillaje, donde se colocará la probeta a ensayar. Este cuerpo es el que irá guiado con las guías y casquillos que se han fabricado.

- **Punzón:**



Figura 46. Prototipo del punzón para el utillaje para ensayo de Iosipescu

En la Figura 46 se puede ver el punzón que va montado sobre la máquina, que será la pieza que empujará al cuerpo derecho para realizar el ensayo.

- **Mordazas:**

La Figura 47 muestra el prototipo de las mordazas que irán alojadas tanto en el cuerpo izquierdo como en el derecho, con sus correspondientes agujeros para el tornillo que unirá los cuerpos con las mordazas y para el inserto roscado que será necesario incluir para roscar el prisionero

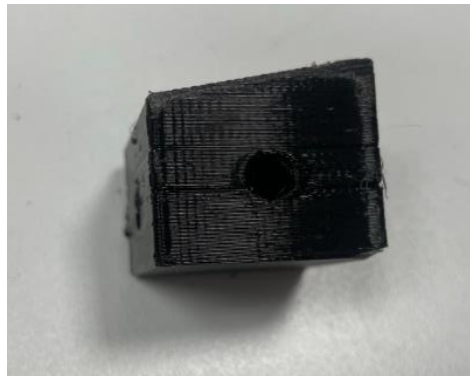


Figura 47. Prototipo de mordazas para utillaje para ensayo de Iosipescu

- **Centrador de probeta:**

Por último, en la Figura 48 se puede observar la pieza que ayudará a centrar la probeta a la hora de colocarla para realizar el ensayo.



Figura 48. Prototipo para centrado de la probeta para utillaje para ensayo de Iosipescu

Una vez montado el conjunto, el resultado final se muestra en la Figura 49.

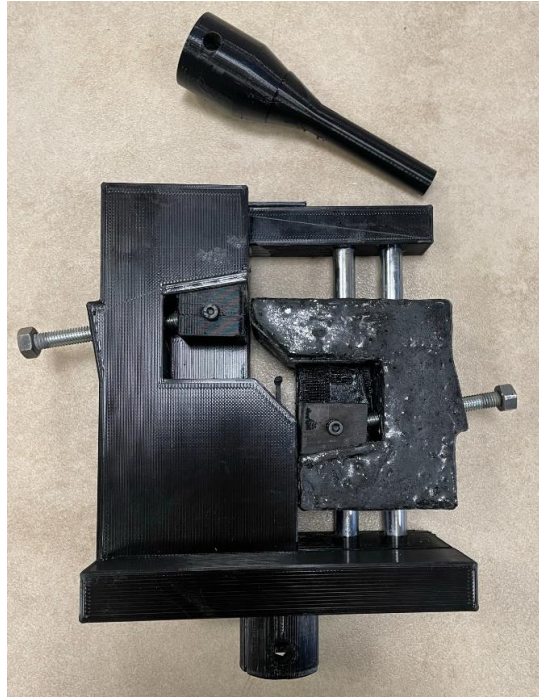


Figura 49. Prototipo final del utillaje para ensayo de Iosipescu

Capítulo 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se analizarán los resultados obtenidos en base a los prototipos fabricados.

Por un lado, tenemos el prototipo del utillaje necesario para el ensayo de Arcan. Se ha comprobado el montaje en la máquina, y se ha verificado que se adapta bien y el útil queda alineado, por lo que el prototipo se considera válido.

Se realiza una única modificación que consiste cambiar la posición de los agujeros donde van los pines para las mordazas que adaptan el útil a la máquina de ensayos, ya que aunque no afecta a la realización del ensayo, resulta más cómodo el montaje de la probeta y la realización del ensayo con el útil girado 90°, permitiendo ver todo el montaje de manera frontal. Estos cambios serán plasmados en los planos finales que se encuentran en el ANEXO I: PLANOS.



Figura 50. Montaje en máquina de ensayos del utillaje para ensayo de Arcan

Se quiere resaltar la importancia que ha tenido en el proceso la comprobación de los ajustes de los agujeros de la impresora utilizada, ya que es un proceso que será necesario repetir cuando estos útiles sean fabricados con el material finalmente escogido. Se adjuntará también en el ANEXO I: PLANOS una pieza patrón que sirva como comprobación de los ajustes que se necesitan comprobar. Se recuerdan en la siguiente tabla los ajustes que han sido más relevantes para este sistema.

Tabla 3. Ajustes finales para prototipo para ensayo de Arcan

Medida real	Ajuste necesario	Descripción
Ø15,8	Ø 16,4	Agujero para el adaptador de la máquina de ensayos. Se ha dejado holgura suficiente para que haya juego.
Ø 26	Ø 27	Agujero para adaptador de la máquina de ensayos. Se ha hecho un agujero adicional para facilitar el acople del utillaje a la máquina que permita más juego
Ø 8	Ø 8,7	Agujero para pasador del adaptador de la máquina de ensayos. Se ha dimensionado para que haya juego.
Ø 8	Ø 8,2	Agujero para inserto roscado M6. Se ha diseñado con apriete para poder insertarlo después térmicamente.

En cuanto al utillaje para el ensayo de Iosipescu, una vez realizado el montaje, se ha comprobado que el útil queda alineado y el montaje en la máquina de ensayos es correcto, como se puede observar en la Figura 51.



Figura 51. Montaje en máquina de ensayos del utillaje para ensayo de Iosipescu

Tabla 4. Estos ajustes tendrán que ser comprobados nuevamente cuando se fabrique el utillaje final, para lo que se incluirá una pieza patrón en el ANEXO I: PLANOS con la que se podrán comprobar estos ajustes, como se ha mencionado para el otro utillaje.

Tabla 4. Ajustes finales prototipo para ensayo de Iosipescu

Medida real	Ajuste necesario	Descripción
Ø15,8	Ø 16,4	Agujero para el adaptador de la máquina de ensayos. Se ha dejado holgura suficiente para que haya juego.
Ø 26	Ø 27	Agujero para adaptador de la máquina de ensayos. Se ha hecho un agujero adicional para facilitar el acople del utillaje a la máquina que permita más juego
Ø 8	Ø 8,7	Agujero para pasador del adaptador de la máquina de ensayos. Se ha dimensionado para que haya juego.
Ø 5,6	Ø 5,8	Agujeros para inserto roscado M4/M4S. Se ha diseñado con apriete para poder insertarlo después térmicamente.
Ø 9,6	Ø 9,7	Agujeros para inserto roscado M8. Se ha diseñado con apriete para poder insertarlo después térmicamente.
Ø 12	Ø 12,2	Agujeros para guías. Se ha diseñado con ajuste de deslizamiento para poder introducir la guía en el montaje.

Capítulo 6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Tras la realización de este proyecto, las conclusiones obtenidas son las siguientes:

- En primer lugar, se ha podido observar la importancia de conocer las tecnologías que se van a emplear para la fabricación de un sistema. Ha sido fundamental hacer un estudio previo de los criterios de impresión 3D para la tecnología FDM. Esto ha evitado malgastar mucho material y tiempo de fabricación.
- También se ha comprobado que el diseño para impresión en 3D permite crear geometrías mucho más complejas de forma mucho más sencilla y con menor coste que con otros procesos de fabricación como el mecanizado. Permite también simplificar geometrías debido a lo mencionado anteriormente, por lo que trabajar con estas tecnologías puede reducir costes considerablemente.
- Se ha comprobado la importancia de hacer un prototipo, ya que permite hacer una serie de comprobaciones previas a la fabricación del utillaje que se tiene como objetivo final. De esta forma, se puede comprobar el diseño, lo cual nos permite ver si es funcional, y al mismo tiempo, se reducen los riesgos y costes, ya que el material utilizado para la realización del prototipo es generalmente más económico que el del sistema final
- Y por último, resaltar la importancia del estudio de nuevos materiales como son los poliméricos y compuestos, que son los que se ensayan con los utillajes diseñados en este trabajo, ya que ofrecen muchas ventajas respecto a los materiales tradicionales, como por ejemplo la relación resistencia-peso.

Los trabajos futuros a realizar son los siguientes:

- Previo a la fabricación final del utillaje se fabricarán las piezas patrón para los ajustes de todos los agujeros que se han comprobado en los prototipos de ambos equipos de ensayo, para compensar las desviaciones dimensionales, que pueden variar en función de la tecnología y materiales empleados.
- Una vez hecha la comprobación, se fabricarán los utillajes con tecnología FDM utilizando PLA como material base reforzado con fibra de carbono. Se pretende utilizar la impresora 3D Markforged X7, puesto que permite la impresión en 3D con materiales compuestos.
- Una vez fabricados los utillajes con esta tecnología, se validarán tanto los montajes de los utillajes y adaptación a la máquina de ensayos como su funcionalidad durante los ensayos, haciendo uso de equipos de extensometría para comprobar si el funcionamiento es correcto y por lo tanto, los ensayos válidos.

Capítulo 7. BIBLIOGRAFÍA

ASTM. (1999). Norma ASTM D 5379 / D 5379 M - 98, Standard Test Method for Shear Properties of Composite Materials by V-Notched Beam Method.

ASTM. (2005). Norma ASTM D 7078 / D 7078 M - 05, Standard Test Method for Shear Properties of Composite Materials by V-Notched rail Shear Method.

AUTODESK. (s.f.). *Fabricación aditiva*. Recuperado el 6 de julio de 2023, de <https://www.autodesk.es/solutions/additive-manufacturing>

Bitfab. (s.f.). Diseño para impresión 3D. *Guía rápida de Bitfab de diseño para impresión 3D*.

BÖLLHOFF. (s.f.). *HELICOIL*. Recuperado el 6 de julio de 2023, de <https://www.boellhoff.com/es-es/elementos-de-fijacion/sistemas-de-fijacion/filetes-insertos-helicoil.php>

COMPOSITECH. (diciembre de 2021). *COMPOSITECH, Historia y evolución de los materiales compuestos*. Recuperado el 29 de enero de 2023, de <https://iberiacompositech.com/historia-y-evoluci%C3%B3n-de-los-materiales->

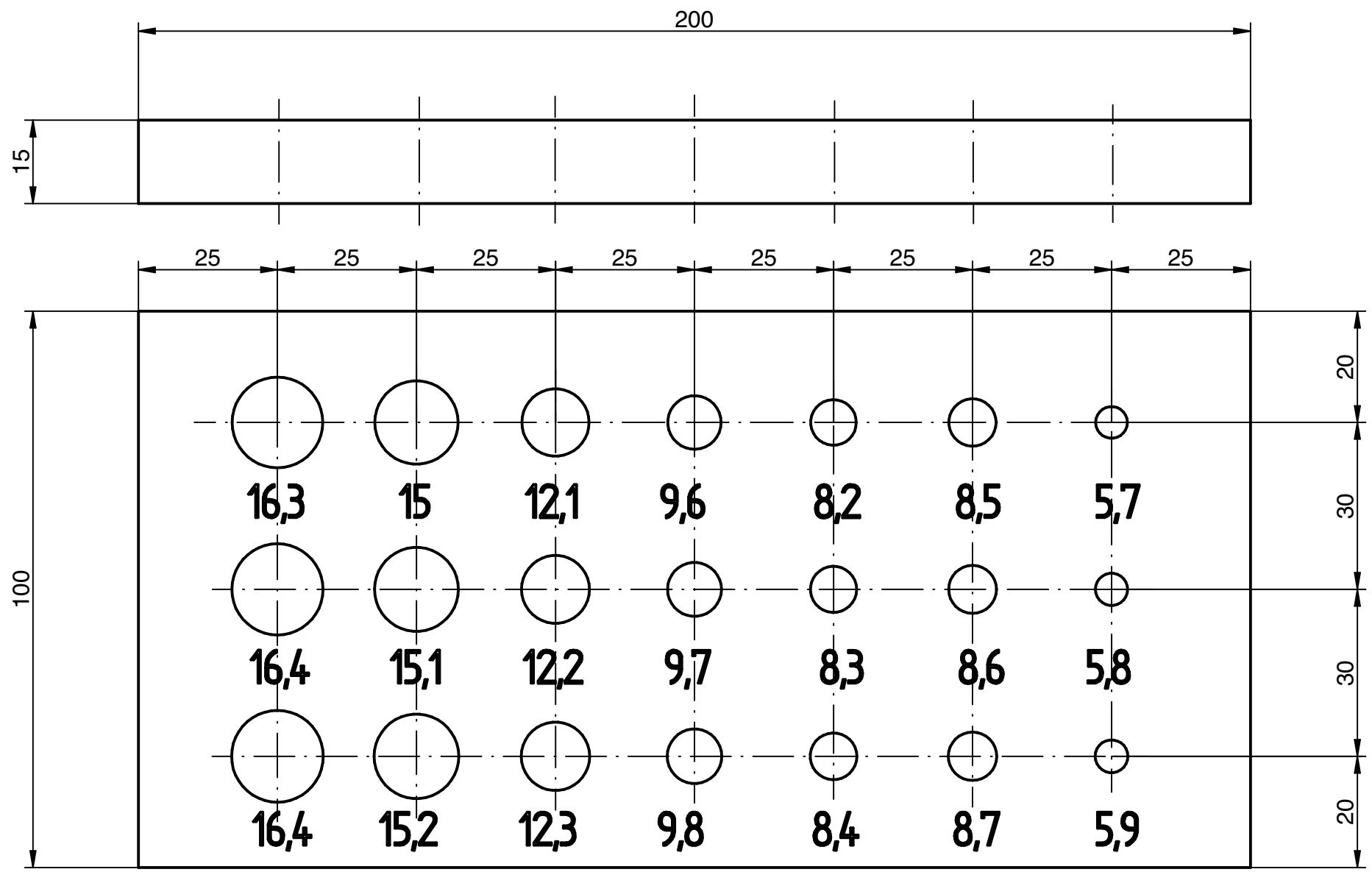
FABLAB esan. (2017). *FABLAB esan*. Recuperado el 22 de junio de 2023, de <https://fablab.esan.edu.pe/blog/que-es-la-tecnologia-fdm#:~:text=La%20tecnolog%C3%ADa%20FDM%2C%20tambi%C3%A9n%20conocida,y%20producci%C3%B3n%20a%20peque%C3%B1a%20escala.>

fabricaciónaditiva.online. (s.f.). *Fabricación Afitiva*. Recuperado el 15 de julio de 2023, de <http://www.fabricacionaditiva.online/5.htm>

- Greer, J., Galyon Dorman, S., & Hammond, M. (2011). Some comments on the Arcan mixed-mode (I/II) teste specimen, *Engineering Fracture Mechanics*. 78, 2088-2094. doi:<https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2011.03.017>
- Markforged. (s.f.). *3D Printing Carbon Fiber and Other Composites*. Recuperado el 14 de julio de 2023, de <https://markforged.com/es/resources/learn/design-for-additive-manufacturing-plastics-composites/understanding-3d-printing-strength/3d-printing-carbon-fiber-and-other-composites>
- Ramírez, L. (6 de marzo de 2023). *IEBS. Fabricación aditiva, un sector en Crecimiento*. Recuperado el 6 de julio de 2023, de [https://www.iebschool.com/blog/fabricacion-aditiva-que-es-aplicaciones-tecnologia/#:~:text=la%20Industria%204.0-,%20BFQu%C3%A9%20es%20la%20fabricaci%C3%B3n%20aditiva%3F,pl%C3%A1stico%20metal%20yeso\)](https://www.iebschool.com/blog/fabricacion-aditiva-que-es-aplicaciones-tecnologia/#:~:text=la%20Industria%204.0-,%20BFQu%C3%A9%20es%20la%20fabricaci%C3%B3n%20aditiva%3F,pl%C3%A1stico%20metal%20yeso)).
- Ruthex. (s.f.). *Ruthex*. Recuperado el 29 de junio de 2023, de <https://www.ruthex.de/>
- SHIMADZU. (s.f.). *SHIMADZU*. Recuperado el 29 de junio de 2023, de ASTM D5379 - Shear Propoerties of Composite Materials by the V-Notched Beam Method: <https://www.ssi.shimadzu.com/industries/automotive-materials-testing/composites/astm-d5379/index.html>
- Stojcevski, F., Hilditch, T., & Henderson, L. C. (2018). A modern account of Iosipescu testing, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 107, 545-554. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2018.02.011>
- Universal Grip Co. (s.f.). *The Universal Grip Company*. Recuperado el 29 de enero de 2023, de <https://www.universalgripco.com/astm-d5379>
- Universal Grip Co. (s.f.). *The Universal Grip Company*. Recuperado el 29 de enero de 2023, de <https://www.universalgripco.com/astm-d7078>

Zwick/Roell. (s.f.). *Zwick/Roell*. Recuperado el 21 de junio de 2023, de <https://www.zwickroell.com/es/sectores/ensayo-de-materiales/>

ANEXO I: PLANOS



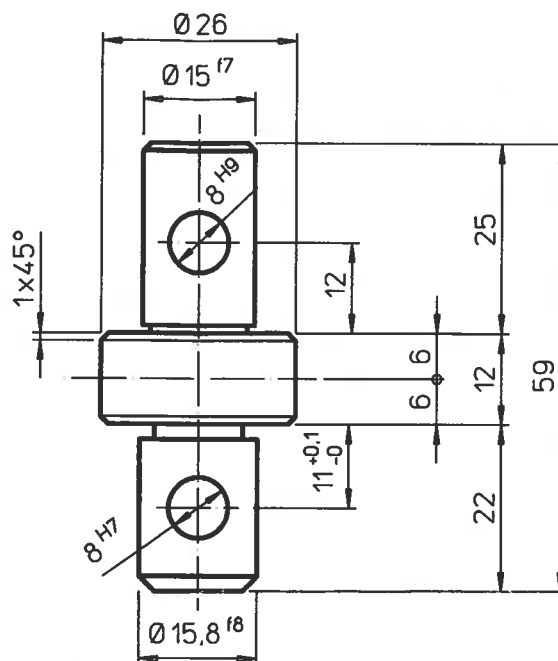
Placa para verificación de los diámetros obtenidos por fabricación aditiva FDM

Diámetros indicados debajo de los agujeros

Tamaño de grabado los números: 6 mm

Profundidad de grabado: 4 mm

MATERIAL	PLA	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO
TOLERANCIA	-	A3		
NOMBRE			FECHA	COMPROBACIÓN AJUSTES
DIBUJADO	EBR		14/07/23	
COMPROBADO			14/07/23	
ESCALA:	FIRMA			CÓDIGO
1:1				 COMILLAS UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICA I 00



OT-98-225

Para mordazas: T9-26 N
 y T9-38

Nota:

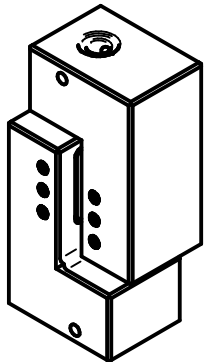
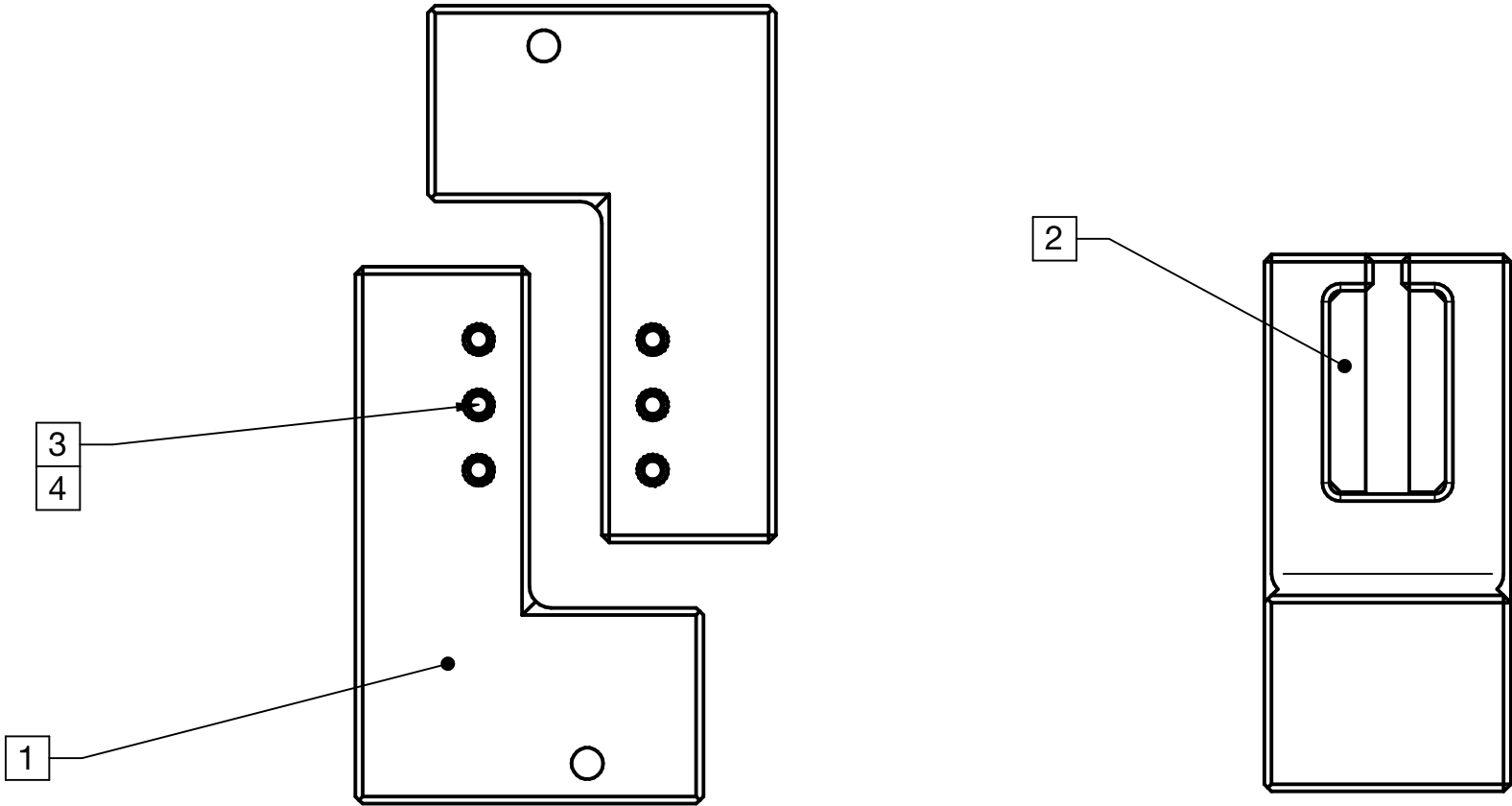
Esta pieza también
 se fabrica con
 los peradores Ø8 mm
 a 90°

CANTIDAD: 2 Piezas x 2
 MATERIAL: Acero F-114
 TERMINAC: Pavanado
 Pieza: N° 23

N.º PIEZAS	DENOMINACION	POSICION	MATERIAL	OBSERVACIONES
ibertest S.A.E. IBERTEST C/ Ramón y Cajal, 35 y 37 Poligono Industrial GITESA DAGANZO DE ARRIBA 28814 Madrid - ESPAÑA Tfno. 34/1/884 54 30/53 85 Fax. 34/1/884 50 02 Telediagnosis. 34/1/884 12 69 E-Mail. ibertest@mail.ddnet.es		MAQUINA ELECTROMECHANICA MODELO ELIB-20-W		
Sustituye a:		Fecha	Firma	ADAPTADOR CELULA 1kN. CON CABEZAL TG-26
Sustituido por:		Dibujado	03-97 J. ARMENTA	
		Proyect.	J. ARMENTA	
		Revisado	MIGLESIAS	
		ESCALA: 1/1	Plano nº: 525.001-23	

CONJUNTO 01: UTILLAJE ARCAN

1	2	3	4	5	6	7	8	
A								A
B								B
C								C
D								D
E								E
F								F

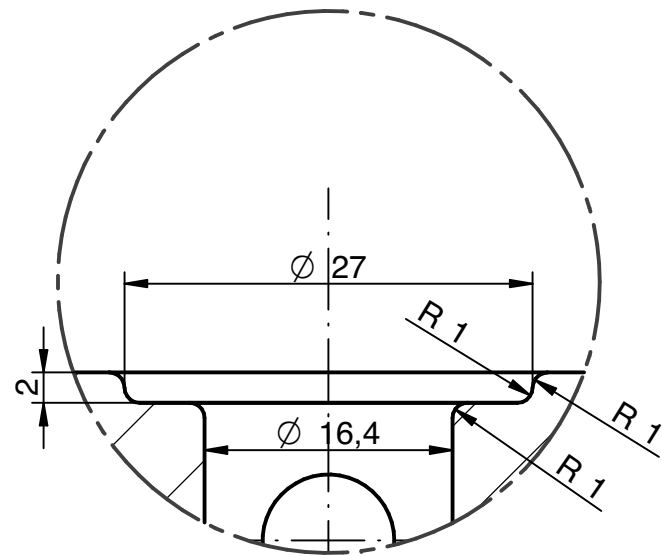


MATERIAL	-	FORMATO	A3	TÍTULO SUPLEMENTARIO
TOLERANCIA	-			
NOMBRE			FECHA	TÍTULO
DIBUJADO	EBR		3/07/23	
COMPROBADO			3/07/23	
ESCALA:	FIRMA			CÓDIGO
1:2				01

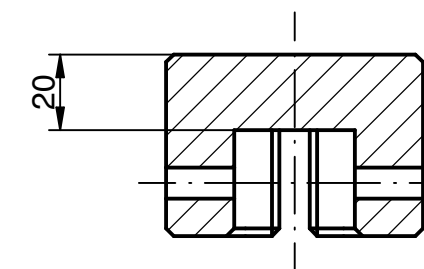
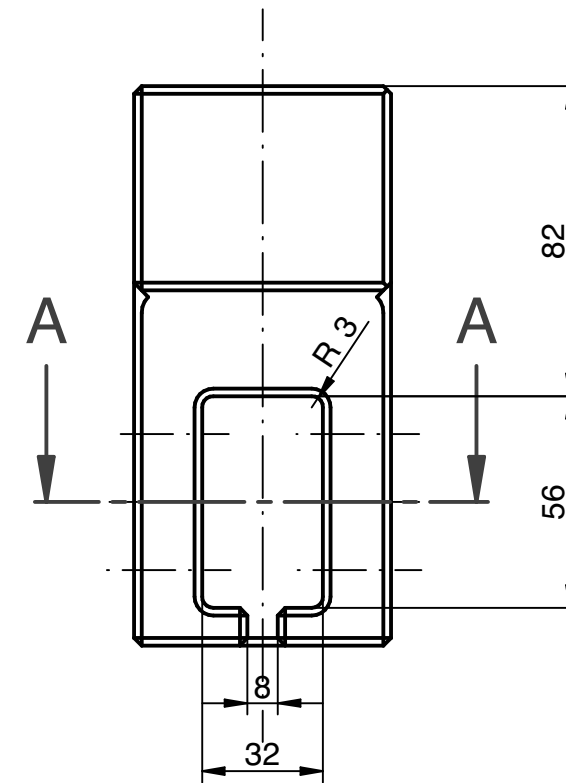
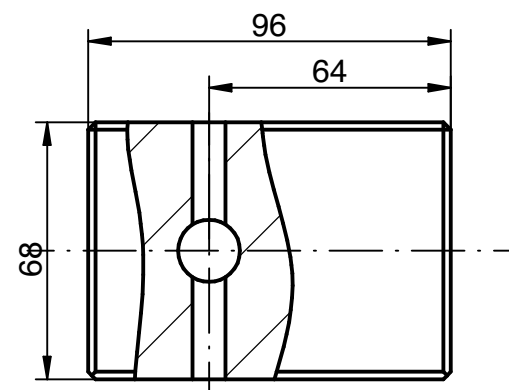
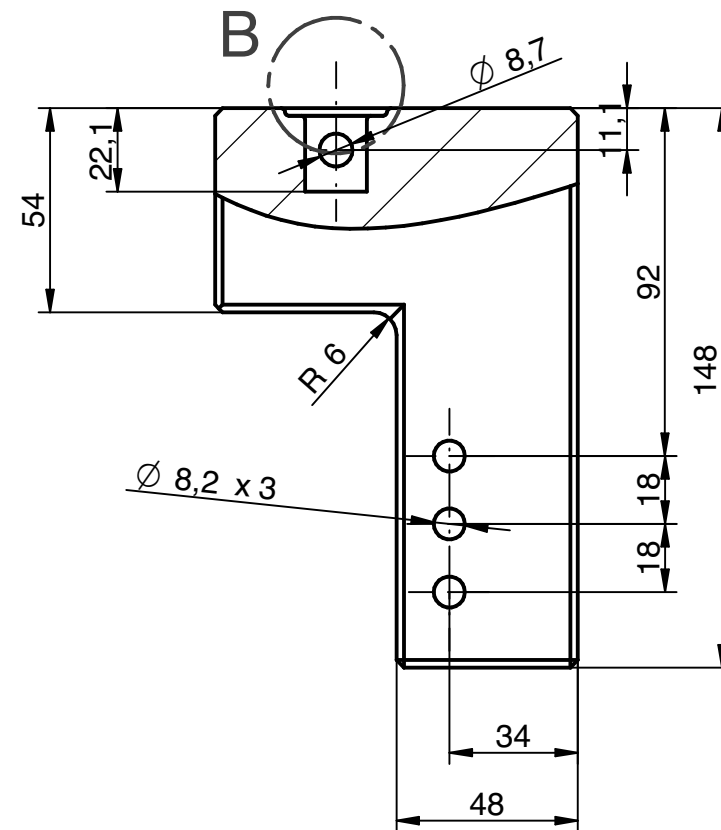


SOLID EDGE ACADEMIC COPY

[illegible]



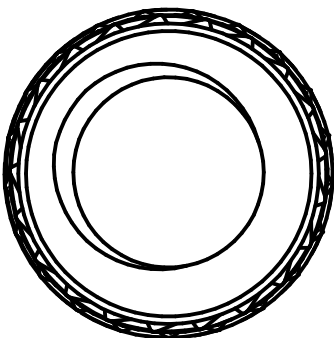
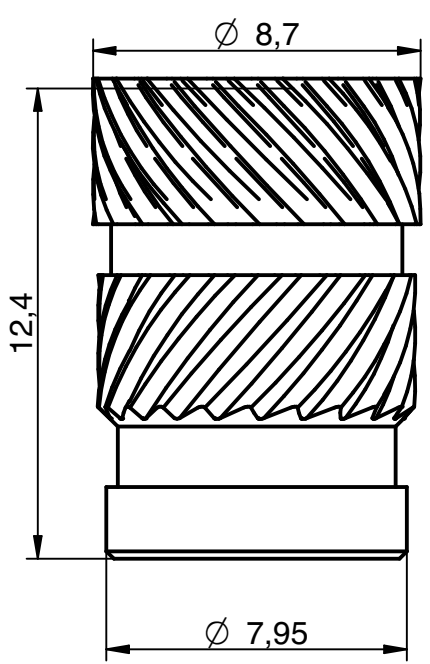
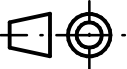
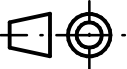
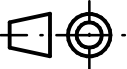
DETALLE B



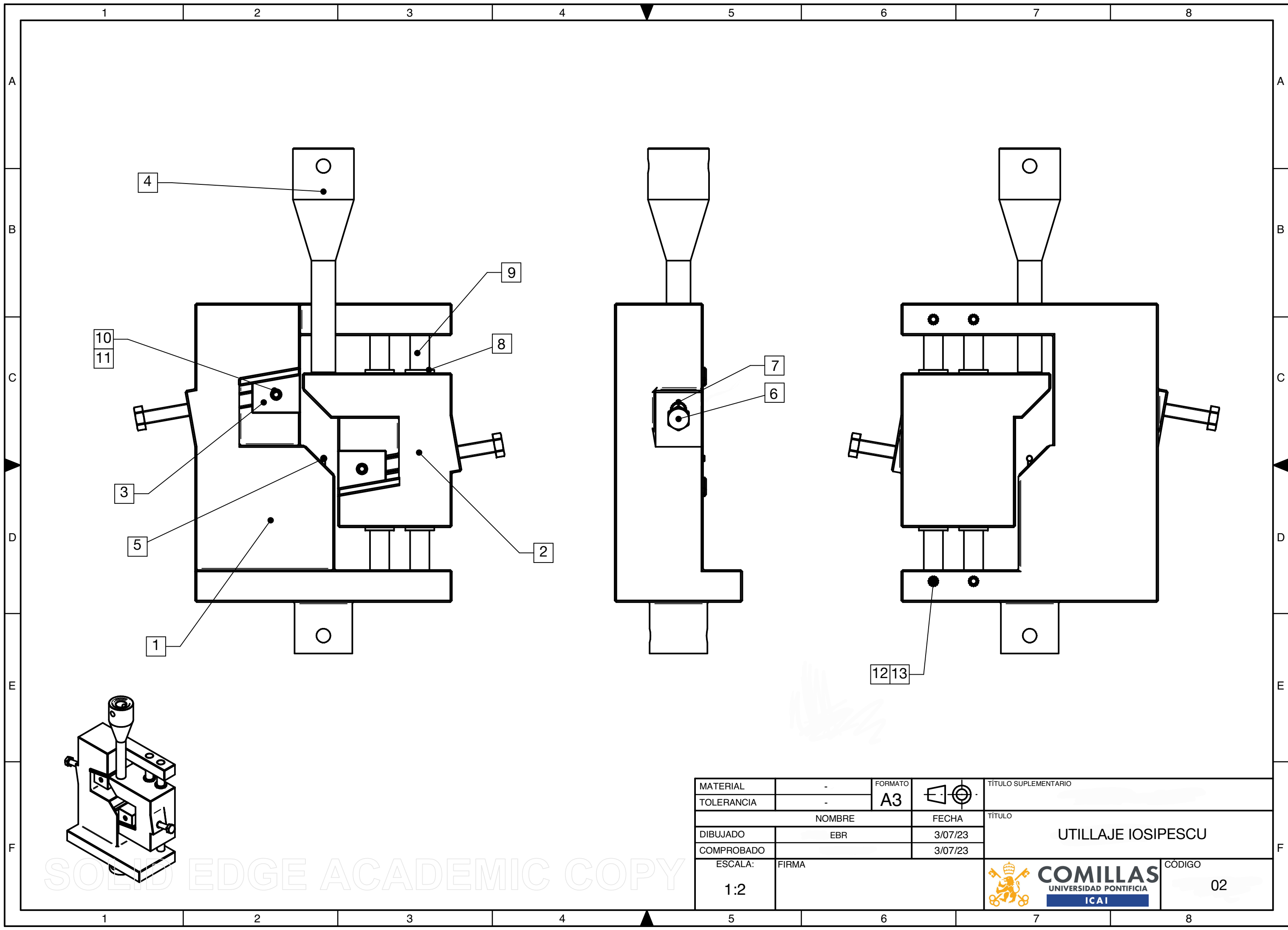
SECCIÓN A-A

Chafilanes no acotados 2 x 45°
Radios no acotados R 1
Tolerancias fabricación no indicadas
Proceso de fabricación aditiva FDM

MATERIAL	PLA	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO
TOLERANCIA	-	A3		
NOMBRE			FECHA	TÍTULO
DIBUJADO	EBR		25/06/23	CUERPO
COMPROBADO			25/06/23	
ESCALA:	FIRMA			CÓDIGO
1:2				01.01

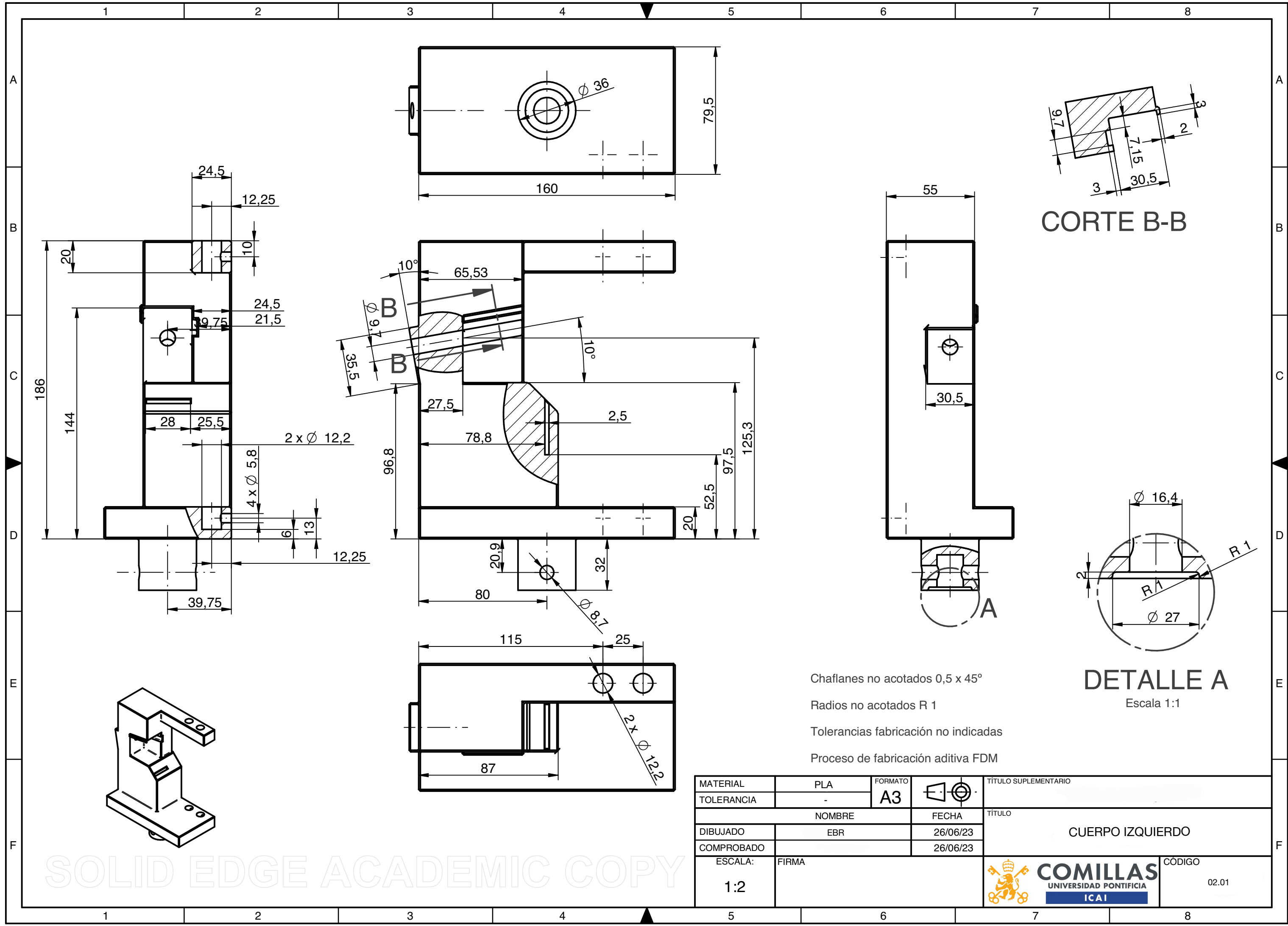
	1	2	3	4																																			
A																																							
B																																							
C																																							
D																																							
E																																							
F	RX-M6x12,7 <table border="1"><tr><td>MATERIAL</td><td>-</td><td>FORMATO</td><td></td><td>TÍTULO SUPLEMENTARIO</td></tr><tr><td>TOLERANCIA</td><td>-</td><td>A4</td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="2">NOMBRE</td><td>FECHA</td><td colspan="2">TÍTULO</td></tr><tr><td>DIBUJADO</td><td>EBR</td><td>26/06/23</td><td colspan="2">INSERTO ROSCADO RUTHEX M6</td></tr><tr><td>COMPROBADO</td><td></td><td>26/06/23</td><td colspan="2"></td></tr><tr><td>ESCALA:</td><td>FIRMA</td><td colspan="2">COMILLAS UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICAI</td><td>CÓDIGO</td></tr><tr><td>5:1</td><td></td><td colspan="2"></td><td>01.03</td></tr></table>				MATERIAL	-	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO	TOLERANCIA	-	A4			NOMBRE		FECHA	TÍTULO		DIBUJADO	EBR	26/06/23	INSERTO ROSCADO RUTHEX M6		COMPROBADO		26/06/23			ESCALA:	FIRMA	 COMILLAS UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICAI		CÓDIGO	5:1				01.03
MATERIAL	-	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO																																			
TOLERANCIA	-	A4																																					
NOMBRE		FECHA	TÍTULO																																				
DIBUJADO	EBR	26/06/23	INSERTO ROSCADO RUTHEX M6																																				
COMPROBADO		26/06/23																																					
ESCALA:	FIRMA	 COMILLAS UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICAI		CÓDIGO																																			
5:1				01.03																																			
	1	2	3	4																																			

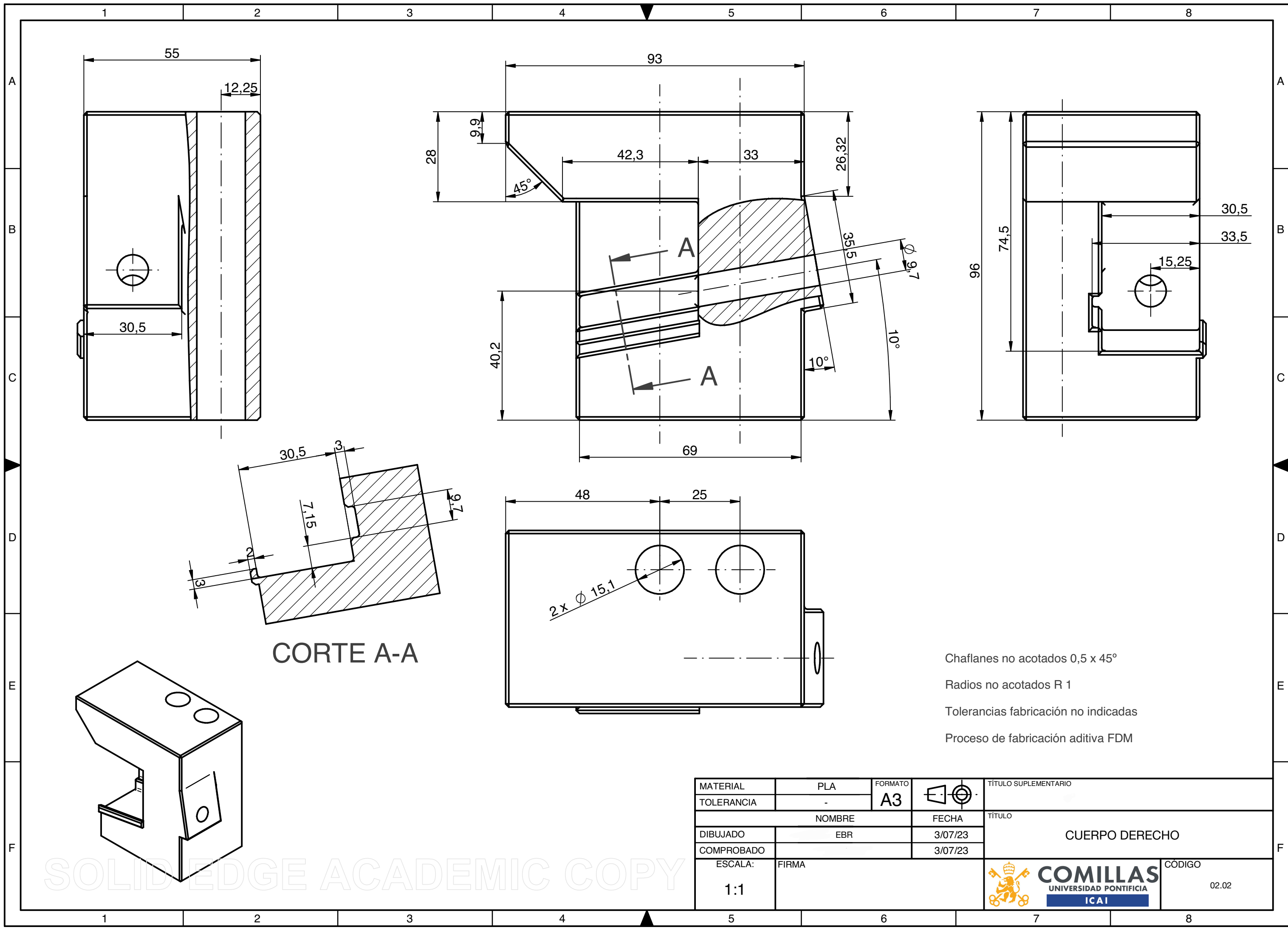
CONJUNTO 02: UTILLAJE IOSIPESCU



MATERIAL	-	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO
TOLERANCIA	-	A3		
NOMBRE			FECHA	TÍTULO UTILLAJE IOSIPESCU
DIBUJADO	EBR		3/07/23	
COMPROBADO			3/07/23	
ESCALA:	FIRMA			 COMILLAS UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICA I
1:2				CÓDIGO 02

13	4	INSERTO ROSCADO RUTHEX M4S	-	-
12	4	TORNILLO PRISIONERO M4 x 12	DIN 916	-
11	2	INSERTO ROSCADO RUTHEX M4	-	-
10	2	TORNILLO PRISIONERO M4 x 10	DIN 916	-
9	2	GUÍA	-	ACERO INOX.
8	4	CASQUILLO GUÍA CON VALONA	DIN 1850 Parte 3	BRONCE SINTERIZADO
7	2	INSERTO ROSCADO RUTHEX M8	-	-
6	2	TORNILLO ACCIONAMIENTO MORDAZA	-	8.8
5	1	CENTRAR PROBETA	-	PLA
4	1	PUNZÓN	-	PLA
3	2	MORDAZA	-	PLA
2	1	CUERPO DERECHO	-	PLA
1	1	CUERPO IZQUIERDO	-	PLA
Marca	Cantidad	Denominación	Norma	Material
Material:		LISTA DE MATERIALES	Fecha: 03/07/2023	
-			Dibujado: EBR	
Escala:		UTILLAJE IOSIPESCU	Plano N°: 02	
-			Proceso N°: 02	
ETSI (ICAI)				

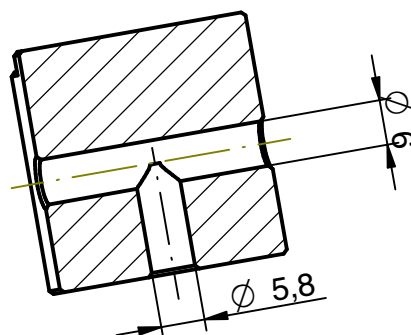
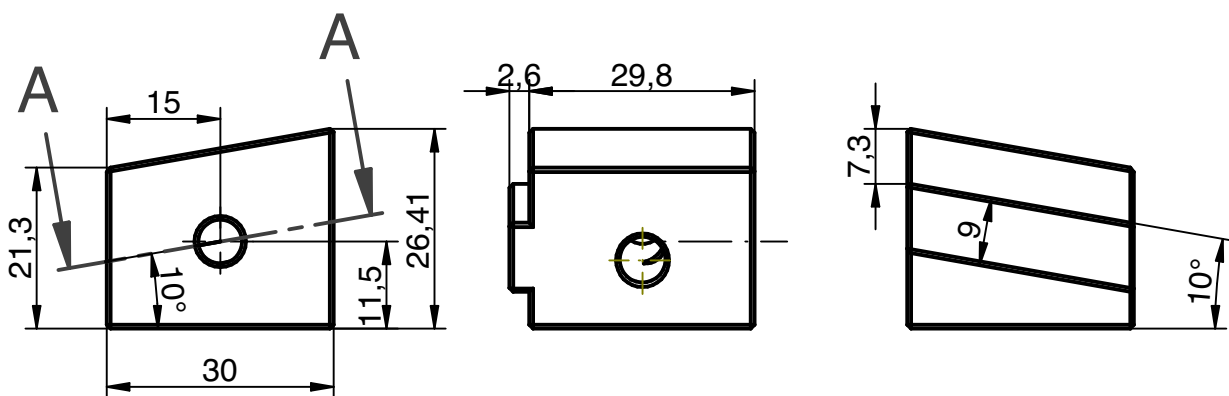




CORTE A-A

Chaflanes no acotados 0,5 x 45°
Radios no acotados R 1
Tolerancias fabricación no indicadas
Proceso de fabricación aditiva FDM

MATERIAL	PLA	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO		
TOLERANCIA	-	A3				
NOMBRE			FECHA	CUERPO DERECHO		
DIBUJADO	EBR		3/07/23			
COMPROBADO			3/07/23			
ESCALA:	FIRMA				CÓDIGO	
1:1					02.02	

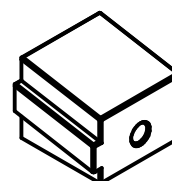


CORTE A-A

Chaflandes no acotados 0,5 x 45°

Tolerancias fabricación no indicadas

Proceso de fabricación aditiva FDM

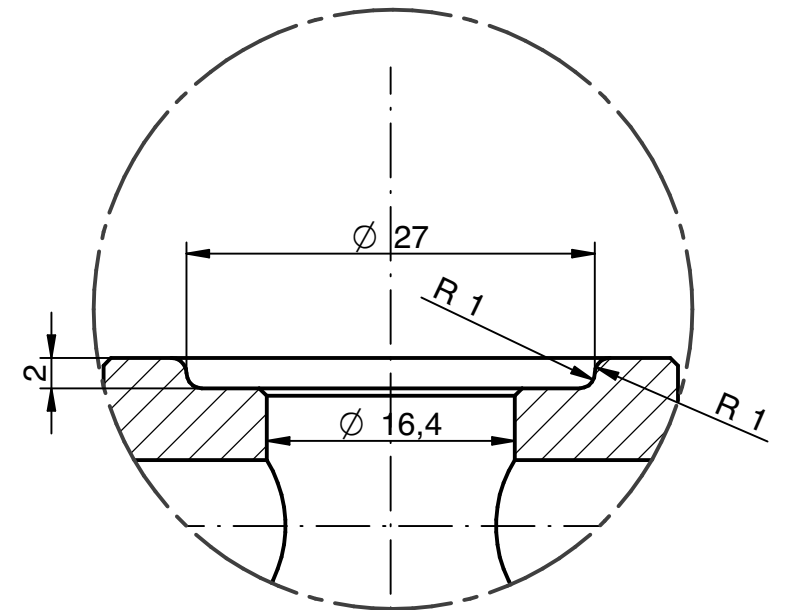
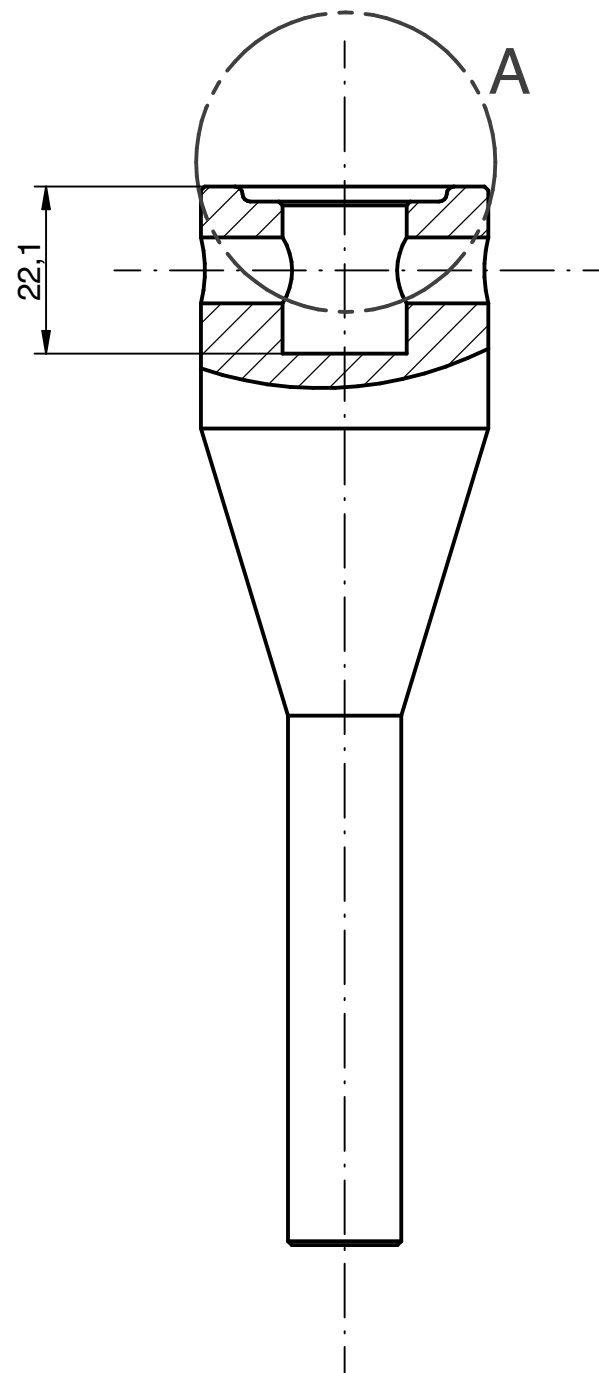
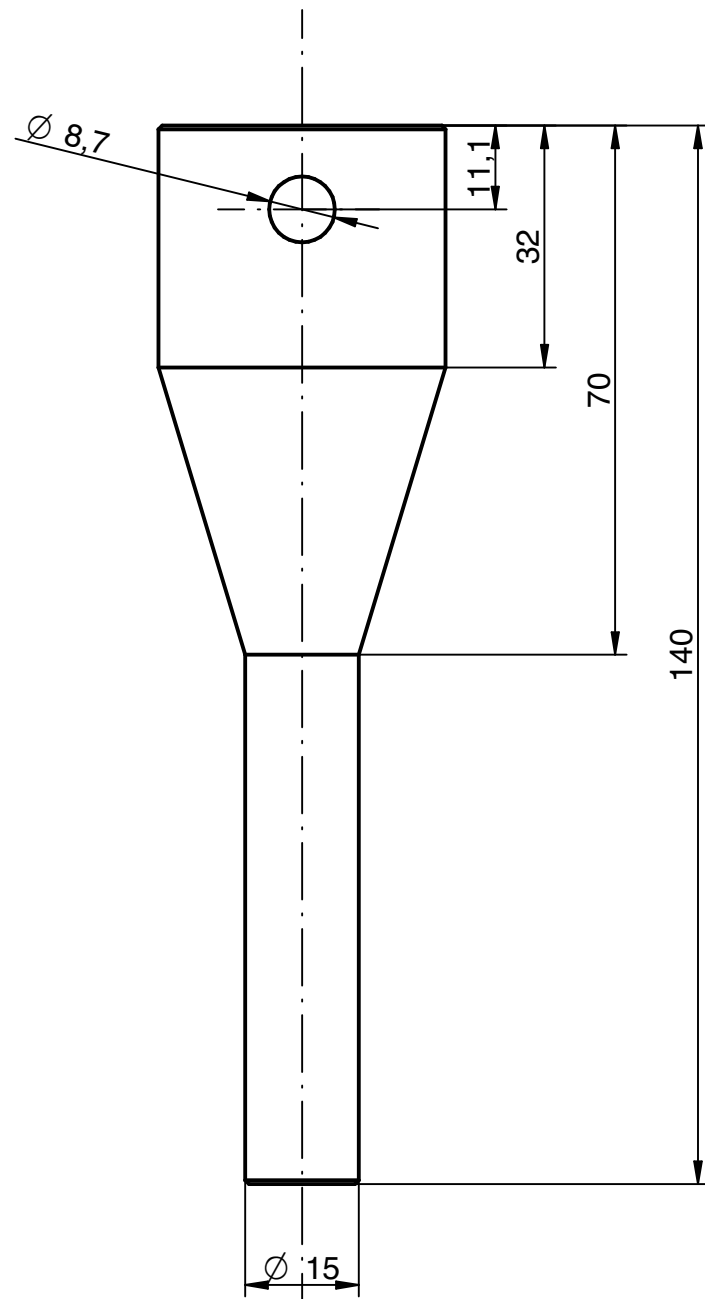


MATERIAL	PLA	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO
TOLERANCIA	-	A4		
NOMBRE		FECHA		TÍTULO
DIBUJADO	EBR	3/07/23		MORDAZA
COMPROBADO		3/07/23		
ESCALA:	FIRMA			CÓDIGO
1:1				02.03

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

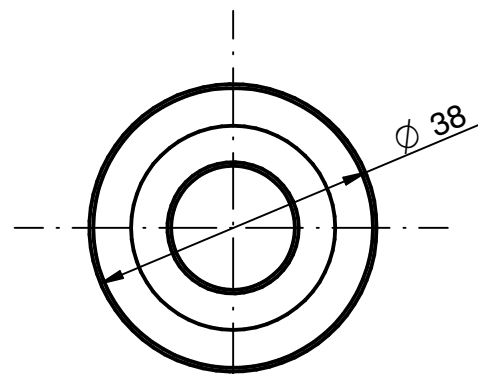
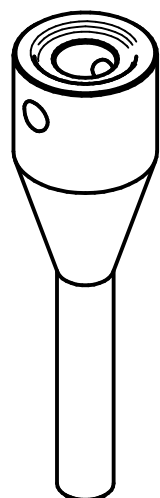


COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA
ICAI



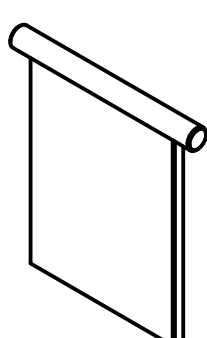
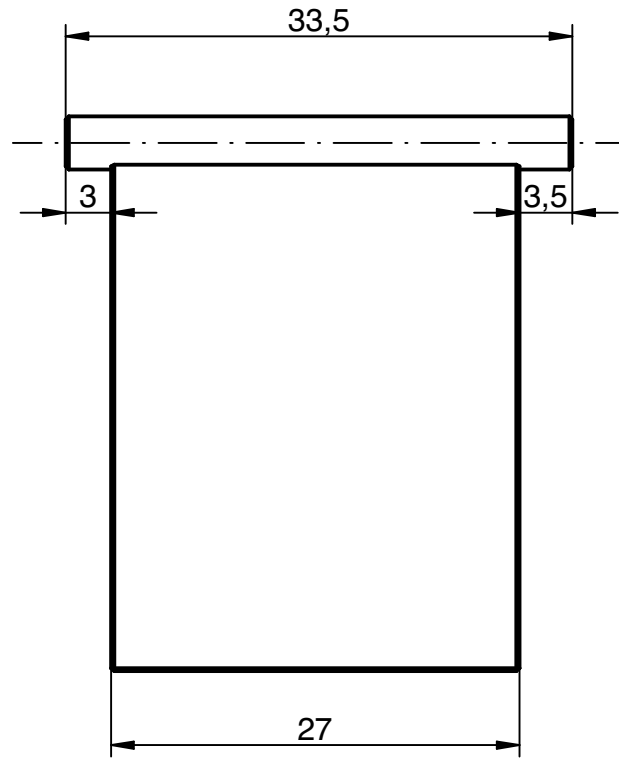
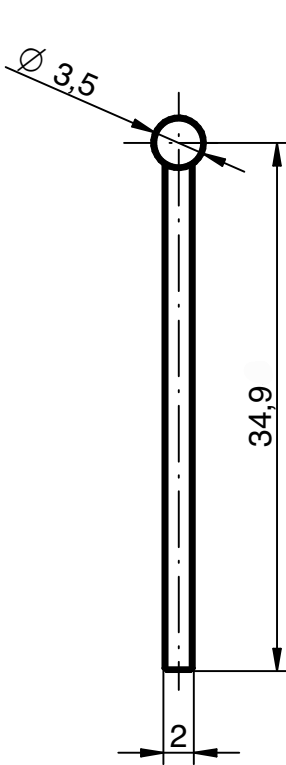
DETALLE A
Escala 2:1

Chañanes no acotados 0,5 x 45°
Radios no acotados R 1
Tolerancias fabricación no indicadas
Proceso de fabricación aditiva FDM



MATERIAL	PLA	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO
TOLERANCIA	-	A3		
NOMBRE			FECHA	PUNZÓN
DIBUJADO	EBR		3/07/23	
COMPROBADO			3/07/23	
ESCALA:		FIRMA		CÓDIGO
1:1				02.04
				 COMILLAS UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICAI

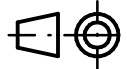
1	2	3	4	
A				A
B				B
C				C
D				D
E				E
F				F



Chaflanes no acotados 0,2 x 45°

Tolerancias fabricación no indicadas

Proceso de fabricación aditiva FDM

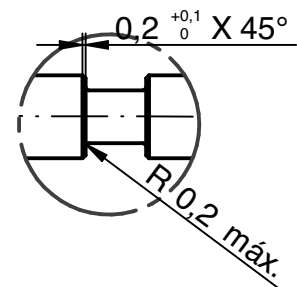
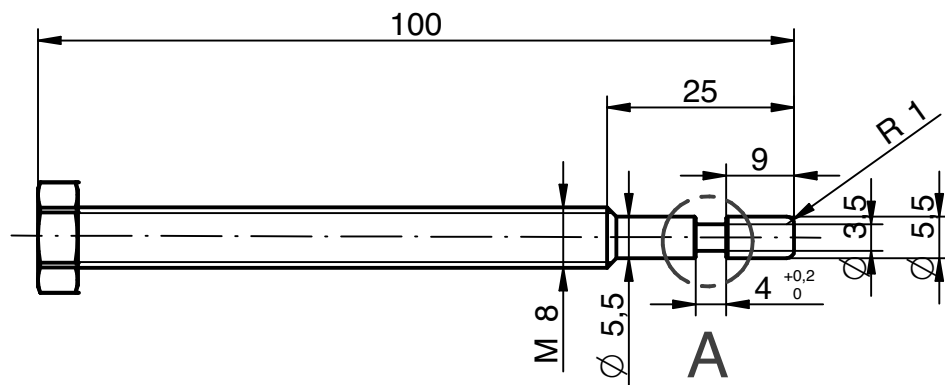
MATERIAL	PLA	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO
TOLERANCIA	-	A4		
NOMBRE		FECHA	TÍTULO	
DIBUJADO	EBR	3/07/23	CENTRAR PROBETA	
COMPROBADO		3/07/23		
ESCALA:	FIRMA			CÓDIGO
2:1				02.05

1

2

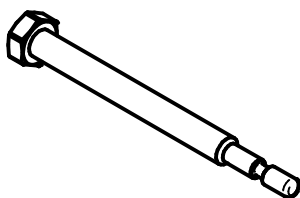
3

4



DETALLE A

Escala 2:1



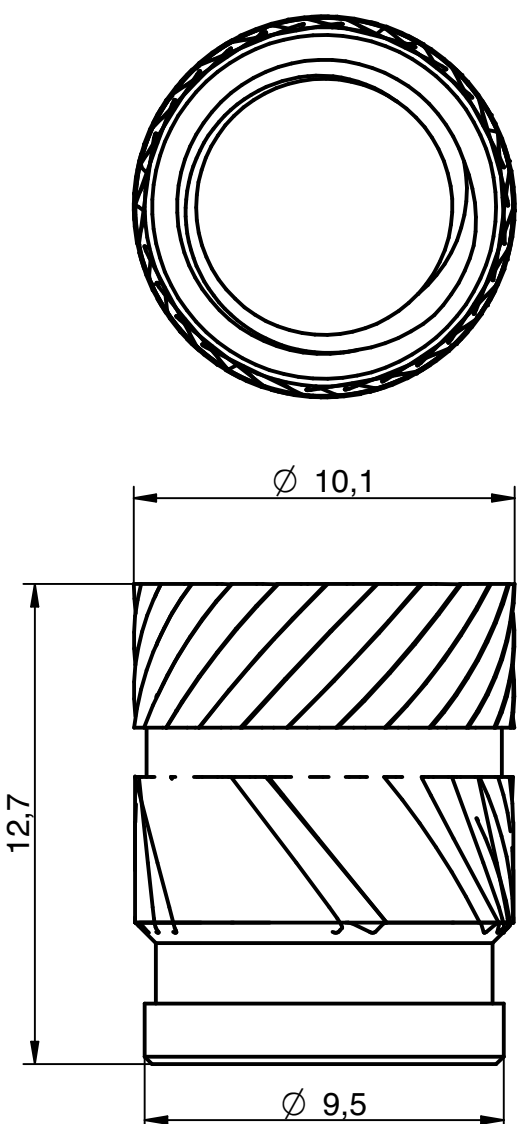
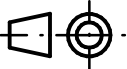
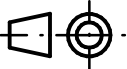
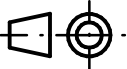
Tolerancia diámetros - 0,2

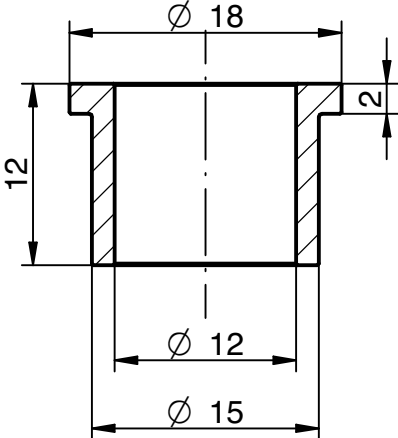
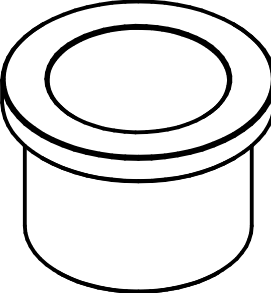
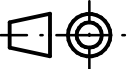
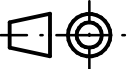
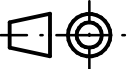
Tornillo cabeza hexagonal M8 x 100 DIN 933 8.8

MATERIAL	8.8	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO
TOLERANCIA	-	A4		
NOMBRE		FECHA		TÍTULO
DIBUJADO	EBR	3/07/23		TORNILLO ACCIONAMIENTO MORDAZA
COMPROBADO		3/07/23		
ESCALA:	FIRMA			CÓDIGO
1:1				02.06



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA
ICAI

	1	2	3	4																																			
A																																							
B																																							
C																																							
D																																							
E	RX-M8x12,7																																						
F	<table border="1"><tr><td>MATERIAL</td><td>-</td><td>FORMATO</td><td></td><td>TÍTULO SUPLEMENTARIO</td></tr><tr><td>TOLERANCIA</td><td>-</td><td>A4</td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="2">NOMBRE</td><td>FECHA</td><td colspan="2">TÍTULO</td></tr><tr><td>DIBUJADO</td><td>EBR</td><td>26/06/23</td><td colspan="2">INSERTO ROSCADO M8</td></tr><tr><td>COMPROBADO</td><td></td><td>26/06/23</td><td colspan="2"></td></tr><tr><td>ESCALA:</td><td>FIRMA</td><td colspan="2">COMILLAS UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICAI</td><td>CÓDIGO</td></tr><tr><td>5:1</td><td></td><td colspan="2"></td><td>02.07</td></tr></table>				MATERIAL	-	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO	TOLERANCIA	-	A4			NOMBRE		FECHA	TÍTULO		DIBUJADO	EBR	26/06/23	INSERTO ROSCADO M8		COMPROBADO		26/06/23			ESCALA:	FIRMA	 COMILLAS UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICAI		CÓDIGO	5:1				02.07
MATERIAL	-	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO																																			
TOLERANCIA	-	A4																																					
NOMBRE		FECHA	TÍTULO																																				
DIBUJADO	EBR	26/06/23	INSERTO ROSCADO M8																																				
COMPROBADO		26/06/23																																					
ESCALA:	FIRMA	 COMILLAS UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICAI		CÓDIGO																																			
5:1				02.07																																			
	1	2	3	4																																			

	1	2	3	4																																
A																																				
B																																				
C																																				
D																																				
E		IBINSA Sinter-Oil Ra max: 0,8 Tolerancia eje f7 Tolerancia alojamiento H7																																		
F	<table border="1"><tr><td>MATERIAL</td><td>-</td><td>FORMATO</td><td rowspan="2"></td><td>TÍTULO SUPLEMENTARIO</td></tr><tr><td>TOLERANCIA</td><td>-</td><td>A4</td><td></td></tr><tr><td colspan="2">NOMBRE</td><td>FECHA</td><td colspan="2">TÍTULO</td></tr><tr><td>DIBUJADO</td><td>EBR</td><td>13/07/23</td><td colspan="2" rowspan="2">CASQUILLO GUÍA CON VALONA</td></tr><tr><td>COMPROBADO</td><td></td><td>13/07/23</td></tr><tr><td>ESCALA:</td><td>FIRMA</td><td colspan="2"></td><td>CÓDIGO</td></tr><tr><td colspan="2">2:1</td><td colspan="2">COMILLAS UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICAI</td><td>02.08</td></tr></table>	MATERIAL	-	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO	TOLERANCIA	-	A4		NOMBRE		FECHA	TÍTULO		DIBUJADO	EBR	13/07/23	CASQUILLO GUÍA CON VALONA		COMPROBADO		13/07/23	ESCALA:	FIRMA			CÓDIGO	2:1		COMILLAS UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICAI		02.08			
MATERIAL	-	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO																																
TOLERANCIA	-	A4																																		
NOMBRE		FECHA	TÍTULO																																	
DIBUJADO	EBR	13/07/23	CASQUILLO GUÍA CON VALONA																																	
COMPROBADO		13/07/23																																		
ESCALA:	FIRMA			CÓDIGO																																
2:1		COMILLAS UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICAI		02.08																																
	1	2	3	4																																

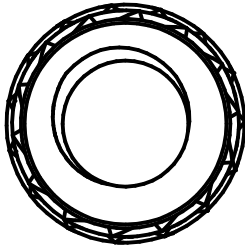
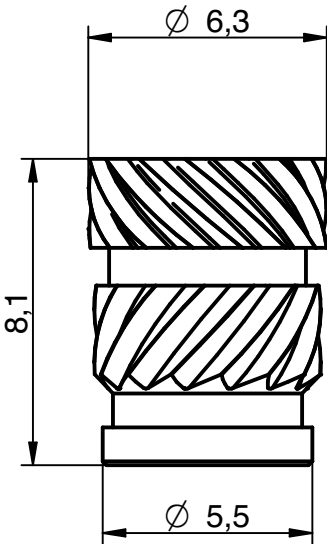
	1	2	3	4	
A					A
B					B
C					C
D					D
E					E
F					F

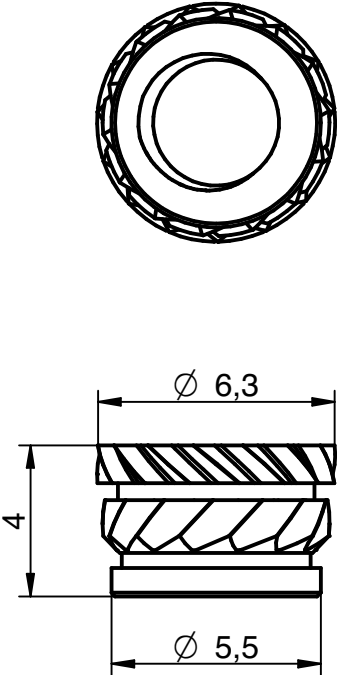
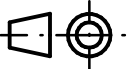
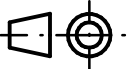
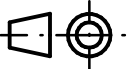
Technical drawing of a vertical rod. The main drawing shows a rod with a diameter of 12mm and a length of 180mm. The bottom edge is chamfered with a 2 x 0.5 x 70 degree angle. A small detail view of the rod is shown to the left.

Tolerancia del diámetro: f7
Rugosidad: Ra máx. 0,2 m
Espesor del cromo: 15my min.

MATERIAL	Acero cromado	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO
TOLERANCIA	-	A4		
NOMBRE		FECHA	TÍTULO	
DIBUJADO	EBR	3/07/23	GUÍA	
COMPROBADO		3/07/23		
ESCALA:	FIRMA			CÓDIGO
1:2		COMILLAS UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICAI		02.09

1 2 3 4

	1	2	3	4																													
A																																	
B																																	
C																																	
D																																	
E	RX-M4-8,1																																
F	<table border="1"> <tr> <td>MATERIAL</td> <td>-</td> <td>FORMATO</td> <td rowspan="2">  </td> <td>TÍTULO SUPLEMENTARIO</td> </tr> <tr> <td>TOLERANCIA</td> <td>-</td> <td>A4</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">NOMBRE</td> <td>FECHA</td> <td colspan="2" rowspan="3"> TÍTULO INSERTO ROSCADO M4 </td> </tr> <tr> <td>DIBUJADO</td> <td>EBR</td> <td>26/06/23</td> </tr> <tr> <td>COMPROBADO</td> <td></td> <td>26/06/23</td> </tr> <tr> <td>ESCALA:</td> <td colspan="2">FIRMA</td> <td rowspan="2">  COMILLAS UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICA I </td> <td>CÓDIGO</td> </tr> <tr> <td>5:1</td> <td colspan="2"></td> <td>02.11</td> </tr> </table>				MATERIAL	-	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO	TOLERANCIA	-	A4		NOMBRE		FECHA	TÍTULO INSERTO ROSCADO M4		DIBUJADO	EBR	26/06/23	COMPROBADO		26/06/23	ESCALA:	FIRMA		 COMILLAS UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICA I	CÓDIGO	5:1			02.11
MATERIAL	-	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO																													
TOLERANCIA	-	A4																															
NOMBRE		FECHA	TÍTULO INSERTO ROSCADO M4																														
DIBUJADO	EBR	26/06/23																															
COMPROBADO		26/06/23																															
ESCALA:	FIRMA		 COMILLAS UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICA I	CÓDIGO																													
5:1				02.11																													
	1	2	3	4																													

	1	2	3	4																									
A																													
B																													
C																													
D																													
E	RX-M4Sx4,0																												
F	<table border="1"> <tr> <td>MATERIAL</td> <td>-</td> <td>FORMATO</td> <td rowspan="2">  </td> <td>TÍTULO SUPLEMENTARIO</td> </tr> <tr> <td>TOLERANCIA</td> <td>-</td> <td>A4</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">NOMBRE</td> <td>FECHA</td> <td colspan="2" rowspan="3"> TÍTULO INSERTO ROSCADO M4S </td> </tr> <tr> <td>DIBUJADO</td> <td>EBR</td> <td>3/07/23</td> </tr> <tr> <td>COMPROBADO</td> <td></td> <td>3/07/23</td> </tr> <tr> <td>ESCALA:</td> <td>FIRMA</td> <td colspan="2">  COMILLAS UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICAI </td> <td> CÓDIGO 02.13 </td> </tr> </table>				MATERIAL	-	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO	TOLERANCIA	-	A4		NOMBRE		FECHA	TÍTULO INSERTO ROSCADO M4S		DIBUJADO	EBR	3/07/23	COMPROBADO		3/07/23	ESCALA:	FIRMA	 COMILLAS UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICAI		CÓDIGO 02.13
MATERIAL	-	FORMATO		TÍTULO SUPLEMENTARIO																									
TOLERANCIA	-	A4																											
NOMBRE		FECHA	TÍTULO INSERTO ROSCADO M4S																										
DIBUJADO	EBR	3/07/23																											
COMPROBADO		3/07/23																											
ESCALA:	FIRMA	 COMILLAS UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICAI		CÓDIGO 02.13																									
	1	2	3	4																									

ANEXO II: PRESUPUESTO

Una vez diseñados los equipos, se ha realizado el presupuesto de los prototipos y se estimará el presupuesto de ambos utillajes.

1. Utillaje para ensayo de Arcan

PRESUPUESTO DEL PROTOTIPO

Para fabricar el prototipo se ha utilizado la impresora DT-600+. El precio de la impresora es aproximadamente de 50.000€ + IVA.

- La cantidad de material utilizado (PLA) ha sido 587 gramos, y las horas de impresión totales para las piezas de este utillaje han sido 17 h y 40 minutos.
- Las horas empleadas de técnico-analista se deben a la limpieza que hay que realizar del utillaje y al montaje necesario.

En la siguiente tabla se puede ver el desglose del presupuesto realizado para la fabricación de las piezas en FDM.

Tabla 5. Desglose presupuesto prototipo para ensayo de Arcan, fabricación FDM en PLA

ANALISIS DE COSTES PARA PROTOTIPADO DE PIEZAS EN IMPRESORA 3D -FDM	
DATOS AMORTIZACIÓN MÁQUINA	
Precio máquina (€)	50.000
Coste mantenimiento anual (€)	2.500
Años de amortización	4
Amortización (h/año) - 223 días-año / 12 horas-día	2000
Precio Hora máquina-amortización (€/h)	7,19
Precio Hora venta-público (€/h)	7,69
DATOS COSTE MATERIAL	
Coste material modelo: (€/kg)	23,00
Coste material soporte: (€/kg)	23,00
DATOS COSTE TÉCNICO ANALISTA	
Coste técnico analista del modelo - inc. desmoldeo (€/h)	30

PROTOTIPO PARA ENSAYO DE ARCAN		
CONCEPTOS PRESUPUESTADOS	Opción Solido	Costes parciales
Material modelo (g)	500,00	13,50 €/ud
Soporte modelo (g)	0,00	0,00 €/ud
Tiempo modelo (h)	17,70	159,97 €/ud
Tiempo técnico-analista (h)	2,00	90,00 €
Cantidad de piezas	1,00	
Coste unitario (€) en ICAI + IVA	207,62 €/Ud	
Coste total (€) en ICAI + IVA	207,62 €	

El coste de las piezas fabricadas por impresión 3D del prototipo es de **207,62€ + IVA**.

Tabla 6. Desglose de materiales para el presupuesto del prototipo para ensayo de Arcan

Materiales	Precio (€) + IVA / Ud	Cantidad (Ud)	Precio total (€)
Piezas impresión 3D + mano de obra	-	6	207,62
Insertos roscados M6	0,32	12	3,84
Tornillo cabeza allen M6 x 30	0,28	12	3,36

Por lo tanto, el precio del prototipo para el ensayo de Arcan es de **214,82 € + IVA**.

ESTIMACIÓN DEL PRESUPUESTO DEL UTILLAJE DEFINITIVO PARA ENSAYO DE ARCAN

Para la estimación del presupuesto del utillaje definitivo, se va a utilizar la impresora 3D Markforged X7, que tiene un coste de aproximadamente 70.000€ + IVA.

- Se planteará la hipótesis de que tanto el peso como las horas de impresión del prototipo serán iguales que las necesitadas para el modelo final, es decir 500 gramos, y las horas de impresión también (17 h 40 min.).
- El material utilizado para el modelo será el mismo que el utilizado para el soporte y estará compuesto en partes iguales por el material base y por el material de refuerzo o material compuesto, en este caso, fibra de carbono.
- El precio de la hora del técnico-analista será un poco más elevado, ya que será necesario un mejor acabado y limpieza de las piezas para asegurar un correcto funcionamiento y montaje del útil.

En la siguiente tabla se puede observar el desglose del presupuesto de fabricación aditiva más detallado.

Tabla 7. Desglose estimación presupuesto utillaje para ensayo de Arcan, fabricación FDM con fibra de carbono



ANÁLISIS DE COSTES PARA PIEZAS EN IMPRESORA 3D -FDM	
DATOS AMORTIZACIÓN MÁQUINA	
Precio máquina (€)	70.000
Coste mantenimiento anual (€)	3.500
Años de amortización	4
Amortización (h/año) - 223 días-año / 12 horas-día	2000
Precio Hora máquina-amortización (€/h)	10,06
Precio Hora venta-público (€/h)	10,77
DATOS COSTE MATERIAL	
Coste material modelo: (€/kg)	1693,13
Coste material soporte: (€/kg)	266,25
DATOS COSTE TÉCNICO ANALISTA	
Coste técnico analista del modelo - inc. desmoldeo (€/h)	35

UTILLAJE PARA ENSAYO DE ARCAN		
CONCEPTOS PRESUPUESTADOS	Opción Solido	Costes parciales
Material modelo (g)	500,00	846,56 €/ud
Soporte modelo (g)	0,00	0,00 €/ud
Tiempo modelo (h)	17,70	190,57 €/ud
Tiempo técnico-analista (h)	2,00	70,00 €
Cantidad de piezas	1,00	
Coste unitario (€) en ICAI + IVA	1107,14 €/Ud	
Coste total (€) en ICAI + IVA	1107,14 €	

El coste de las piezas fabricadas por impresión 3D del utillaje es de **1107,14€ + IVA**.

Tabla 8. Desglose de materiales para el presupuesto del utillaje para ensayo de Arcan

Materiales	Precio / Ud	Cantidad (Ud)	Precio total (€)
Piezas impresión 3D + mano de obra	-	6	1107,14
Insertos roscados M6	0,32	12	3,84
Tornillo cabeza allen M6 x 30	0,28	12	3,36

Sumando todos los materiales necesarios para el utillaje, se concluye que el precio estimado del utillaje para el ensayo de Arcan será **1.114,30 € + IVA**.

2. Utillaje para ensayo de Iosipescu

PRESUPUESTO DEL PROTOTIPO

Para fabricar el prototipo se ha utilizado la impresora DT-600+, como en el caso anterior. El precio de la impresora es aproximadamente de 50.000€ + IVA.

- La cantidad de material utilizado (PLA) ha sido 587 gramos, y las horas de impresión totales para las piezas de ambos utillajes han sido 17 h y 40 minutos.
- Las horas empleadas de técnico-analista se deben a la limpieza que hay que realizar del utillaje y al montaje necesario. Se añaden dos horas respecto al utillaje anterior por ser más compleja su geometría y montaje y por los mecanizados realizados de guías, casquillos y tornillos para el accionamiento de las mordazas.

En la siguiente tabla se puede ver el desglose del presupuesto realizado para la fabricación de las piezas en FDM.

Tabla 9. Desglose presupuesto prototipo para ensayo de Iosipescu, fabricación FDM en PLA

ANÁLISIS DE COSTES PARA PROTOTIPADO DE PIEZAS EN IMPRESORA 3D -FDM	
DATOS AMORTIZACIÓN MÁQUINA	
Precio máquina (€)	50.000
Coste mantenimiento anual (€)	2.500
Años de amortización	4
Amortización (h/año) - 223 días-año / 12 horas-día	2000
Precio Hora máquina-amortización (€/h)	7,19
Precio Hora venta-público (€/h)	7,69
DATOS COSTE MATERIAL	
Coste material modelo: (€/kg)	23,00
Coste material soporte: (€/kg)	23,00
DATOS COSTE TÉCNICO ANALISTA	
Coste técnico analista del modelo - inc. desmoldeo (€/h)	30

PROTOTIPO IOSIPESCU		
CONCEPTOS PRESUPUESTADOS	Opción Solido	Costes parciales
Material modelo (g)	587,00	13,50 €/ud
Soporte modelo (g)	0,00	0,00 €/ud
Tiempo modelo (h)	20,80	159,97 €/ud
Tiempo técnico-analista (h)	4,00	120,00 €
Cantidad de piezas	1,00	
Coste unitario (€) en ICAI + IVA	293,47 €/Ud	
Coste total (€) en ICAI + IVA	293,47 €	

El coste de las piezas fabricadas por impresión 3D del prototipo es de **293,47€ + IVA**.

Tabla 10. Desglose de materiales para el presupuesto del prototipo para ensayo de Iosipescu

Materiales	Precio (€) / ud	Cantidad (ud)	Precio total (€)
Piezas impresión 3D + mano de obra	-	6	293,47
Insertos roscados M8	0,32	2	0,64
Insertos roscados M4	0,32	2	0,64
Insertos roscados M4S	0,28	4	1,12
Tornillo prisionero M4 x 10	0,40	2	0,8
Tronillo prisionero M4 x 6	0,36	4	1,44

Analizando la Tabla 10, concluimos que el precio final del prototipo es de **298,11 € + IVA**.

ESTIMACIÓN DEL PRESUPUESTO DEL UTILLAJE DEFINITIVO PARA ENSAYO DE IOSIPESCU

Para la estimación del presupuesto del utillaje, se va a utilizar la impresora 3D Markforged X7, que tiene un coste de aproximadamente 70.000€ + IVA.

- Se planteará la hipótesis de que tanto el peso como las horas de impresión del prototipo serán iguales que las necesitadas para el modelo final, es decir 587 gramos, y las horas de impresión también (20 h 50 min.).
- El material utilizado para el modelo será el mismo que el utilizado para el soporte y estará compuesto en partes iguales por el material base, (polímero termoplástico) y por el material de refuerzo o material compuesto, en este caso, fibra de carbono.
- El precio de la hora del técnico-analista será un poco más elevado, ya que será necesario un mejor acabado y limpieza de las piezas para asegurar un correcto funcionamiento y montaje del útil.

En la siguiente tabla se puede observar el desglose del presupuesto de fabricación aditiva más detallado.

Tabla 11. Desglose estimación presupuesto utillaje para ensayo de Iosipescu, fabricación FDM con fibra de carbono



ANÁLISIS DE COSTES PARA PIEZAS EN IMPRESORA 3D -FDM		
DATOS AMORTIZACIÓN MÁQUINA		
Precio máquina (€)		70.000
Coste mantenimiento anual (€)		3.500
Años de amortización		4
Amortización (h/año) - 223 días-año / 12 horas-día		2000
Precio Hora máquina-amortización (€/h)		10,06
Precio Hora venta-público (€/h)		10,77
DATOS COSTE MATERIAL		
Coste material modelo: (€/kg)		1693,13
Coste material soporte: (€/kg)		266,25
DATOS COSTE TÉCNICO ANALISTA		
Coste técnico analista del modelo - inc. desmoldeo (€/h)		35

UTILLAJE IOSIPESCU		
CONCEPTOS PRESUPUESTADOS	Opción Solido	Costes parciales
Material modelo (g)	587,00	993,86 €/ud
Soporte modelo (g)	0,00	0,00 €/ud
Tiempo modelo (h)	20,80	223,95 €/ud
Tiempo técnico-analista (h)	3,50	122,50 €
Cantidad de piezas	1,00	
Coste unitario (€) en ICAI + IVA	1340,32 €/Ud	
Coste total (€) en ICAI + IVA	1340,32 €	

El coste de las piezas fabricadas por impresión 3D del utillaje es de **1340,32€ + IVA**.

A este precio se le debe añadir el precio de los casquillos, las guías y los tornillos que se necesitan para el montaje. Dentro del tiempo del técnico-analista está el mecanizado de los tornillos de accionamiento de las mordazas, pero para el modelo final se obtendrán las guías y los casquillos normalizados:

Tabla 12. Desglose de materiales para el presupuesto del utillaje para ensayo de Iosipescu

Materiales	Precio / ud	Cantidad (ud)	Precio total (€)
Piezas impresión 3D + mano de obra	-	6	1340,32
Insertos roscados M8	0,32	2	0,64
Insertos roscados M4	0,32	2	0,64
Insertos roscados M4S	0,28	4	1,12
Tornillo prisionero M4 x 10	0,40	2	0,8
Tronillo prisionero M4 x 6	0,36	4	1,44
Guías acero cromado	4,92	2	9,84
Casquillos	0,51	4	2,56

Sumando todos los materiales necesarios para el utillaje, se concluye que el precio estimado del utillaje Iosipescu será **1.357,36 € + IVA**.

ANEXO III: ODS

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible o ODS son las metas que la ONU ha propuesto con intención de mejorar la sociedad, tratando de eliminar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos, entre otros. Se considera este proyecto relacionado con los siguientes objetivos:

- **Objetivo 9: Industria, innovación e infraestructura.** Este objetivo se preocupa por una industrialización inclusiva y sostenible. La investigación en materiales compuestos permitirá facilitar este crecimiento, y mediante este proyecto busca ayudar a dicha investigación.
- **Objetivo 11: Acción por el clima.** Con este objetivo se pretende adoptar medidas para combatir el cambio climático y sus efectos. La industria juega un papel muy importante en este objetivo, por eso es importante invertir en investigación de nuevos materiales que no sean tan dañinos para nuestro ecosistema como podrían ser los materiales compuestos.
- **Objetivo 12: Producción y consumo responsables.** Este objetivo tiene como propósito garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. Dentro de los materiales compuestos, existen muchos de ellos que son reciclables, por lo que la innovación en este tipo de materiales podría suponer una producción y consumo más consciente del medioambiente.