



# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

## **COMPARATIVA DE UTILLAJE TRADICIONAL DE SOLDADURA RESPECTO AL UTILLAJE A MEDIDA POR FABRICACIÓN ADITIVA**

Autor: Jaime Ramos Tierno

Directores: Mariano Jiménez Calzado y David Fraiz Cosano

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
Comparativa de utillaje tradicional de soldadura respecto al utillaje a medida por  
fabricación aditiva

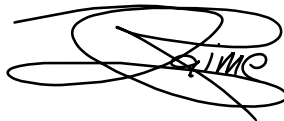
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2021/22 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.: Jaime Ramos Tierno

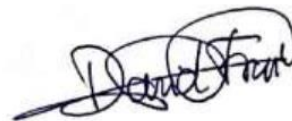
Fecha: 27 / 06 / 2022

Autorizada la entrega del proyecto

LOS DIRECTORES DEL PROYECTO



Fdo.: Mariano Jiménez Calzado



Fecha: 27 / 06 / 2022

Fdo.: David Fraiz Cosano

Fecha: 27 / 06 / 2022





# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

## COMPARATIVA DE UTILLAJE TRADICIONAL DE SOLDADURA RESPECTO AL UTILLAJE A MEDIDA POR FABRICACIÓN ADITIVA

Autor: Jaime Ramos Tierno

Directores: Mariano Jiménez Calzado y David Fraiz Cosano

Madrid

# COMPARATIVA DE UTILLAJE TRADICIONAL DE SOLDADURA RESPECTO A UTILLAJE A MEDIDA POR FABRICACIÓN ADITIVA

**Autor: Ramos Tierno, Jaime.**

Director: Jiménez Calzado, Mariano.

Entidad Colaboradora: ICAI– Universidad Pontificia Comillas

## RESUMEN DEL PROYECTO

En este TFG se pretende realizar una comparativa funcional y económica del utillaje para soldadura convencional en relación al utillaje a medida fabricación mediante impresión 3D. En concreto se trata de diseñar un útil para posicionar tubos y perfiles en posiciones especiales (en ángulo o en varios ejes) y comparar la precisión pieza soldada, costes 3D, facilidad de montaje para el operario, diseño del utillaje, etc...

**Palabras clave:** Soldadura, Utillaje, Fabricación Aditiva, Impresión 3D

### 1. Introducción

Desde que la fabricación aditiva vio la luz por primera vez en 1980, no ha hecho mas que ir invadiendo cada sector de nuestra vida, demostrando sus múltiples aplicaciones y versatilidad. Desde sectores científicos como el de la medicina, a ámbitos mas subjetivos como el arte, la fabricación aditiva a sabido buscarse un hueco en todos estos lugares.

Su rapidez a la hora de construir una pieza, a la vez que la libertad que otorgan los modernos softwares de diseño hace que este proceso de fabricación no pare de evolucionar y atraiga cada vez mas a las grandes empresas del sector de la fabricación. Otra de sus ventajas es la cantidad de materiales que es capaz de utilizar, usando materiales de nueva generación como la fibra de carbono o el nylon blanco. También es capaz de adaptarse a las exigencias del cliente, fomentando así la personalización del producto.

Todas estas ventajas son aplicables al sector de las soldaduras, y el objetivo de este trabajo es demostrar la viabilidad de la fabricación aditiva a este.

### 2. Definición del proyecto

El proyecto iniciará con la elección de un útil a fabricar, que tenga alguna utilidad en el mundo de la soldadura. Se hará un análisis de diferentes útiles a elegir y se cogerá el que mas destaque por su aplicación al sector de la soldadura.

Una vez elegido el útil se procederá a elegir sus parámetros de fabricación aditiva como, el material base a utilizar, la altura de capa, si llevara material de refuerzo, etc. Estos parámetros se elegirán de forma que se puedan mejorar el precio de la figura original sin perder las propiedades técnicas de este.

Después de tener el útil ya fabricado, se le someterá a una serie de ensayos para concluir si su utilización en el ámbito de trabajo de la soldadura es el adecuado. Se le

someterá a distintos procesos de soldadura, más y menos restrictivos, para tener una idea de para que procesos el útil es adecuado y para cuáles no.

### 3. Descripción de la herramienta

El útil seleccionado será una escuadra magnética, diseñado para soldar en esquina o en T con una fuerza magnética de 40 kg y un peso de 1.4 kg. Su precio en el mercado asciende a 73.03€ y permite soldar en ángulo de 90°.



*Figura 1 -Escuadra magnética de soldadura [24]*

### 4. Resultados

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, ya que, primero, se diseñó un útil de onyx sin material de refuerzo, añadiendo los imanes mediante insertos roscados. Dicho útil fue sometido a la soldadura mas restrictiva de las que se utilizaban con el útil original. A la hora de probarla sufrió grandes deformaciones debido a que el material que se utilizó fundía a temperaturas más bajas de las que se manejaban en el proceso. Por ello se decidió que sería mas adecuado añadir un refuerzo de fibra de carbono sobre la zona afectada.

La nueva pieza con refuerzo de fibra de carbono fue sometida a todos los procesos de soldadura de menos restrictivo a mas restrictivo, para ir comprobando a partir de qué punto la escuadra dejaría de tener utilidad en estos procesos. Para las soldaduras para las que se fabricó esta pieza, la escuadra fue capaz de aguantar todas las temperaturas sin sufrir deformaciones importantes, por lo que se concluyó que dicho útil sería adecuado para estos procesos.



*Figura 2 – Escuadra magnética fabricada*

## **5. Conclusiones**

Después de hacer el análisis de las distintas soldaduras aplicadas al útil, se puede afirmar que se ha obtenido una herramienta capaz de trabajar en situaciones extremas, con unas características técnicas mejoradas, consiguiendo así cumplir los objetivos desarrollados. Tanto el precio, como el tiempo de fabricación invertido, como sus propiedades físicas como tamaño o peso, también se han mejorado.

Para continuar con la aplicación de la fabricación aditiva en el ámbito de la soldadura, se plantean una serie de mejoras posibles para un futuro próximo:

- La utilización del diseño generativo para ahorrar material
- El uso de la simulación topológica para conocer las deformaciones de la pieza antes de su fabricación.
- La fabricación de útiles con materiales más modernos que aguanten mejor las condiciones de trabajo.

# COMPARISON OF TRADITIONAL WELDING TOOLING VERSUS CUSTOM TOOLING BY ADDITIVE MANUFACTURING

**Author: Ramos Tierno, Jaime.**

Supervisor: Jiménez Calzado, Mariano.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## ABSTRACT

In this TFG is intended to make a functional and economic comparison of conventional welding tooling in relation to custom tooling manufactured by 3D printing. Specifically, the aim is to design a tool for positioning pipes and profiles in special positions (at an angle or in several axes) and to compare the precision of the welded part, 3D costs, ease of assembly for the operator, tool design, etc...

**Keywords:** Welding, Tooling, Additive Manufacturing, 3D printing

## 1. Introduction

Since additive manufacturing first saw the light of day in 1980, it has done nothing but invade every sector of our lives, demonstrating its multiple applications and versatility. From scientific sectors such as medicine, to more subjective fields such as art, additive manufacturing has been able to find a place in all these places.

Its speed when building a part, as well as the freedom provided by modern design software, means that this manufacturing process is constantly evolving and attracting more and more large companies in the manufacturing sector. Another of its advantages is the amount of materials it is able to use, using new generation materials such as carbon fiber or white nylon. It is also capable of adapting to customer requirements, thus encouraging product customization.

All these advantages are applicable to the welding sector, and the aim of this work is to demonstrate the feasibility of additive manufacturing to it.

## 2. Project definition

The project will start with the choice of a tool to be manufactured, which has some utility in the world of welding. An analysis of different tools to be chosen will be made and the one that stands out for its application in the welding sector will be selected.

Once the tool is chosen, we will proceed to choose its additive manufacturing parameters such as the base material to be used, the layer height, if it will have reinforcement material, etc. These parameters will be chosen in such a way that the price of the original figure can be improved without losing its technical properties.

After having the tool already manufactured, it will be subjected to a series of tests to conclude if its use in the field of welding work is adequate. It will be subjected to different welding processes, more and less restrictive, to get an idea of which processes the tool is suitable for and which are not.



### 3. Tool description

The selected tool will be a magnetic square, designed for corner or T-shape welding with a magnetic force of 40 kg and a weight of 1.4 kg. Its market price is 73.03€ and it allows welding at 90° angle.



*Figure 3 – Magnetic welding square [24]*

### 4. Results

The results obtained were satisfactory, since first, an onyx tool was designed without reinforcement material, adding the magnets by means of threaded inserts. This tool was subjected to the most restrictive welding of those used with the original tool. When tested, it suffered large deformations due to the fact that the material used melted at lower temperatures than those used in the process. It was therefore decided that it would be more appropriate to add a carbon fiber reinforcement over the affected area.

The new part with carbon fiber reinforcement was subjected to all the welding processes from less restrictive to more restrictive, to check at what point the bracket would no longer be useful in these processes. For the welds for which this part was manufactured, the bracket was able to withstand all temperatures without suffering significant deformation, so it was concluded that this tool would be suitable for these processes.



*Figure 4 – Manufactured magnetic square*

## **5. Conclusions**

After analyzing the different welds applied to the tool, it can be affirmed that we have obtained a tool capable of working in extreme situations, with improved technical characteristics, thus achieving the objectives developed. Both the price and the manufacturing time invested, as well as its physical properties such as size and weight, have also been improved.

To continue with the application of additive manufacturing in the field of welding, a series of possible improvements are proposed for the near future:

- The use of generative design to save material.
- The use of topological simulation to know the deformations of the part before fabrication.
- The manufacture of tools with more modern materials that better withstand working conditions.

## *Índice de la memoria*

<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>6</b>
1.1 Motivación del proyecto.....	8
<b>Capítulo 2. Descripción de las Tecnologías.....</b>	<b>10</b>
<b>Capítulo 3. Estado de la Cuestión .....</b>	<b>11</b>
3.1 Historia de la fabricación aditiva.....	11
3.2 Fases de la fabricación aditiva.....	13
3.3 Materiales a utilizar .....	14
3.3.1 Nylon .....	14
3.3.2 Onyx.....	16
3.3.3 Fibra de vidrio.....	18
3.3.4 Fibra de carbono.....	19
3.4 Impresora a utilizar.....	22
3.5 Tipos de soldaduras .....	24
3.5.1 Soldadura SMAW .....	25
3.5.2 Soldadura TIG.....	29
3.5.3 Soldadura MIG/MAG .....	32
3.5.4 Soldadura por láser.....	35
3.6 Tecnologías de impresión 3d.....	36
3.6.1 FDM ( <i>fused deposition material</i> ) .....	36
3.6.2 SLS ( <i>selective laser sinteting</i> ).....	37
3.6.3 SLA ( <i>selective laser sinteting</i> ) .....	39
3.7 Ventajas de la fabricación aditiva.....	40
3.8 Utillajes .....	44
<b>Capítulo 4. Definición del Trabajo .....</b>	<b>45</b>
4.1 elección del útil a desarrollar.....	45
4.1.1 Piher sargento de fundición f-50.....	45
4.1.2 Abrazaderas en C con almohadillas giratorias.....	46
4.1.3 Abrazaderas de ángulo recto de 90 grados.....	47
4.1.4 Escuadra magnética de soldadura .....	48

4.2	Objetivos .....	49
4.3	Metodología.....	50
<b>Capítulo 5. Sistema/Modelo Desarrollado.....</b>		<b>52</b>
5.1	Medida de la pieza original .....	52
5.2	Diseño.....	54
5.3	Imanes .....	55
5.4	Insertos roscados .....	56
5.5	Rediseño de la pieza .....	58
5.6	Parámetros de impresión .....	59
5.6.1	Altura de capa .....	60
5.6.2	Orientación de la pieza .....	61
5.6.3	Número de capas en paredes, suelo y techo.....	61
5.6.4	Densidad de relleno y patrones de relleno.....	62
5.7	Impresión y montaje de la pieza .....	67
5.8	Ensayo térmico.....	71
5.9	Rediseño de la pieza 2.....	75
5.9.1	Material de refuerzo.....	75
5.9.2	Parámetros de impresión .....	76
5.9.3	Impresión y montaje .....	79
5.10	Ensayos térmicos 2.....	81
5.10.1	Soldadura por láser.....	81
5.10.2	Soldadura por electrodo revestido.....	85
5.10.3	Soldadura MIG.....	89
<b>Capítulo 6. Análisis de Resultados.....</b>		<b>92</b>
<b>Capítulo 7. Conclusiones y Trabajos Futuros.....</b>		<b>96</b>
7.1	Objetivos cumplidos.....	97
7.2	Líneas de trabajo futuro.....	98
<b>Capítulo 8. Bibliografía.....</b>		<b>100</b>
<b>ANEXO I: EQUIPO UTILIZADO .....</b>		<b>106</b>

## *Índice de figuras*

Ilustración 1: Impresora Mark two .....	24
Ilustración 2: Proceso de soldadura SMAW [26] .....	26
Ilustración 3: Proceso de soldadura TIG [45] .....	30
Ilustración 4: Proceso de soldadura MIG/MAG [43] .....	32
Ilustración 5: Proceso de soldadura por láser [38] .....	36
Ilustración 6: Tecnología de impresión 3D FDM [44] .....	37
Ilustración 7: Tecnología de impresión 3D SLS [44] .....	38
Ilustración 8: Tecnología de impresión 3D SLA .....	39
Ilustración 9: Piher sargento de fundición F-50 .....	46
Ilustración 10: Abrazaderas en C con almohadillas giratorias [20] .....	47
Ilustración 11: Abrazaderas de ángulo recto de 90 grados [22] .....	48
Ilustración 12: Escuadra magnética de soldadura .....	49
Ilustración 13: Planificación general del TFG .....	51
Ilustración 14: Croquis de la escuadra magnética (Planta) .....	53
Ilustración 15: Croquis de la escuadra magnética (Alzado) .....	54
Ilustración 16: Escuadra magnética en Solid Edge .....	54
Ilustración 17: Escuadra magnética en el software Eiger.io .....	55
Ilustración 18: Imanes magnetpro [46] .....	56
Ilustración 19: Insertos roscados ruthex [29] .....	58
Ilustración 20: Escuadra magnética en el software Eiger.io 2 .....	59
Ilustración 21: Distintos tipos de altura de capa [32] .....	60
Ilustración 22: Distintos tipos de densidad de relleno [33] .....	62
Ilustración 23: Tipos de relleno para impresiones 3D estándar [33] .....	64
Ilustración 24: Tipos de relleno para impresiones 3D funcionales [33] .....	65
Ilustración 25: Tipos de relleno para impresiones 3D funcionales 2 [33] .....	65
Ilustración 26: Tipos de relleno para impresiones 3D flexibles [33] .....	66
Ilustración 27: Tipos de relleno para impresiones 3D flexibles [33] .....	67
Ilustración 28: Proceso de fabricación de la escuadra magnética. ....	68

---

Ilustración 29: Herramientas para la limpieza y post-procesado de la pieza.....	69
Ilustración 30: Escuadra magnética una vez terminado el proceso de fabricación .....	69
Ilustración 31: Escuadra magnética con imanes montados .....	71
Ilustración 32: Ensayo térmico de un proceso de soldadura MIG.....	73
Ilustración 33: Escuadra magnética tras el proceso de soldadura MIG.....	74
Ilustración 34: Lateral de la escuadra magnética tras el proceso de soldadura MIG .....	75
Ilustración 35: Vista interna de la escuadra magnética en el software Eiger.io .....	77
Ilustración 36: Nueva orientación de la escuadra magnética en el software Eiger.io .....	78
Ilustración 37: Proceso de fabricación de la escuadra magnética con fibra de carbono .....	79
Ilustración 38: Escuadra magnética con fibra de carbono con imanes montados. ....	81
Ilustración 39: Piezas utilizadas para el proceso de soldadura.....	82
Ilustración 40: Montaje para la soldadura por laser .....	83
Ilustración 41: Ensayo térmico de un proceso de soldadura por láser.....	84
Ilustración 42: Electrodo de rutilo utilizado .....	85
Ilustración 43: Ensayo térmico de un proceso de soldadura por electrodo revestido.....	86
Ilustración 44: Resultado de la soldadura por electrodo revestido.....	87
Ilustración 45: Escuadra magnética después del proceso de soldadura por electrodo revestido .....	88
Ilustración 46: Escuadra magnética después del proceso de soldadura por electrodo revestido 2 .....	88
Ilustración 47: Montaje para la soldadura MIG .....	89
Ilustración 48: Ensayo térmico de un proceso de soldadura MIG.....	90
Ilustración 49: Resultado de la soldadura MIG .....	91
Ilustración 50: Cámara térmica FLIR T460 .....	107
Ilustración 51: Calibre digital Estándar Gage [28].....	108

## *Índice de tablas*

Tabla 1: Propiedades mecánicas-térmicas del Nylon [8] .....	15
Tabla 2: Propiedades mecánicas-termicas del Onyx [7] .....	18
Tabla 3: Propiedades mecánicas-térmicas de la fibra de vidrio [9].....	19
Tabla 4: Propiedades mecánicas-térmicas de la fibra de carbono [6] .....	22
Tabla 5: Comparativa entre CC y CA [43].....	27
Tabla 6: Comparativa de costes económicos y tiempo de fabricación.....	94
Tabla 7: Análisis de temperaturas y deformaciones durante los ensayos de soldadura .....	95

## Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

La Fabricación Aditiva, comúnmente conocida como Additive Manufacturing (AM) es una forma de fabricación que consiste en la manipulación de material, formando con este, capa por capa a escala micrométrica, una geometría diseñada previamente en un programa informático.

Las técnicas de fabricación aditiva destacan por el ahorro que supone en residuos de material y energía, debido a que el material es utilizado únicamente para la creación de la pieza, al contrario de otras técnicas, como la de arranque de material, cuya viruta que se desprende no tiene ninguna utilidad.

La industria actual también agradece el hecho de que se pueda consolidar un conjunto en una sola pieza, mientras que por otros métodos más tradicionales habría que crear cada pieza por separado, para posteriormente ensamblarlas, aumentando así tanto el inventario como el tiempo invertido.

La multitud de sectores en los que la fabricación aditiva puede tomar partido van desde el sector médico con la bioimpresión; hasta el sector de los transportes con la optimización topológica; pasando por el sector arquitectónico y las ya conocidas casas impresas en 3D en menos de 24 horas. Pero resulta especialmente novedoso, dentro del sector industrial, la utilización de esta técnica de fabricación en el ámbito de las soldaduras, un apartado de las tecnologías de fabricación y producción tan comúnmente utilizado que requiere de mejoras continuas.

El utillaje, el otro principal tema sobre el que gira este TFG, se define como “el conjunto de herramientas y utensilios varios que apoyan una o varias actividades dentro de cualquier tipo de acción en la empresa.” [49]

Una vez definidos, los utillajes se pueden clasificar en 2 categorías, dependiendo de su:



## **Productividad**

- Utillaje estándar: herramientas con mucha flexibilidad, pero bajo volumen de producción
- Utillaje dedicado: su fabricación se realiza para completar una determinada operación dentro del proceso productivo, por ello tiene un alto volumen de producción.
- Utillaje flexible: es una mezcla de los dos anteriores, ya que cuentan con la flexibilidad del utillaje estándar y además son genéricas, por lo que se logra mayor productividad en el proceso.

## **Perspectiva Contable**

- Renovación rápida: es el utillaje con una vida útil corta.
- Renovación lenta: es el utillaje con una vida útil mucho más duradera.

Los utillajes de soldadura son los útiles empleados en los procesos de soldadura que deben cumplir unos requisitos técnicos muy complejos. En específico este trabajo se centrará en el utillaje de sujeción. Su principal problema es que su geometría es cambiante para distintos procesos de soldadura, lo que acentúa la necesidad de buscar útiles que se adapten y sujeten las partes a soldar en diferentes posiciones.

La fabricación aditiva nos permite trabajar con gran cantidad de materiales, desde el más común que serían los compuestos plásticos hasta otros más nuevos como los aceros aluminios o titanios. Gracias a esta amplia gama de materiales con los que se puede trabajar, además de su capacidad de conseguir geometrías con alto grado de complejidad, se pueden lograr configuraciones de utillajes para soldadura que por otros métodos no se podría.

Se dice que una soldadura más compleja requiere de un utillaje más complejo, y dicho utillaje, requerirá a su vez de una fabricación más compleja. Pero estos utillajes, modelados con impresión 3D conseguirán soldaduras más precisas y de mejor calidad.

También, con el objetivo de darle mas exclusividad al utillaje fabricado por fabricación aditiva, se pretende darle protagonismo también al diseño generativo y la optimización topológica. El diseño generativo es un proceso de exploración de diseño iterativo, el cual usa un software manejado a través de una IA (inteligencia artificial) para plantear distintas soluciones de diseño delimitadas por un conglomerado de soluciones. Mientras que por los diseños tradicionales, donde se parte de los conocimientos del ingeniero para construir el modelo, el diseño generativo parte de unos requisitos para el diseño y la IA crea el modelo.

Con el objetivo de realizar una comparativa funcional y económica del utillaje para soldadura convencional con relación al utillaje a medida fabricación mediante impresión 3D, se tratará de diseñar un útil para posicionar tubos y perfiles en posiciones especiales y comparar sus características.

## ***1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO***

La principal motivación para realizar este trabajo centrado en la especialidad de mecánica es el gran atractivo que representa la técnica de fabricación aditiva. Al ser una tecnología relativamente nueva y que está empezando a desarrollarse con más intensidad estos últimos años, nos está dejando entrever, su aun infinito potencial. También destaca el factor de que es una tecnología aplicable en multitud de sectores, pudiendo llegar incluso al uso doméstico.

Debido a la juventud de la fabricación aditiva, es una técnica que se puede modelar desde un inicio para ser integrada en al Industria 4.0 ya que la sostenibilidad es también otro foco principal en el sector industrial. Si solo no fijáramos en el desarrollo sostenible, la fabricación aditiva sería una de las principales técnicas utilizadas hoy en día, ya que no

desperdicia materia y trabaja sobre demanda eliminando inventario y transporte innecesario, entre otras ventajas

Además, toca otro tema importante en la industria, que es el del ámbito de la soldadura, donde se busca mejorar el utillaje utilizado en este proceso, tanto en temas de diseño como temas de precio. Según las estadísticas, el 73% de los problemas que se daban entre las fases de preproducción y producción era causados por problemas relacionados con los accesorios (Zhang, Yang y Li).

## Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

**ABS:** acrilonitrilo butadieno estireno es un material plástico que destaca por su resistencia al impacto.

**Mpa:** megapascuales, es  $10^6$  pascuales, la unidad de presión utilizada en el sistema internacional. Es la presión que ejerce 1 newton de fuerza sobre 1 metro cuadrado de superficie.

**Efecto warping:** es un efecto que ocurre cuando en las impresiones 3D la pieza se enfría de forma uniforme, y la capa inferior se deforma.

**Higroscópico:** se dice de un material que es capaz de absorber a humedad del ambiente cercano.

**Tungsteno:** también conocido como wolframio, es un elemento químico con número atómico 74. Se utiliza en los electros revestidos en los procesos de soldadura SMAW

**Neodimio:** es un elemento químico con el número atómico 60. Es el material del que están compuestos los imanes utilizados en el útil fabricado.

## **Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN**

### **3.1 HISTORIA DE LA FABRICACIÓN ADITIVA**

No se puede hablar de la fabricación aditiva sin conocer un poco de su corta historia. La fabricación aditiva vio la luz por primera vez fue en 1980, cuando el Dr. Hideo Kodama, del instituto municipal de investigación industrial de Nagoya, describió un proceso de rápida creación de prototipado de fotopolímeros. El proceso consistía en un recipiente de material de fotopolímero, expuesto a luz ultravioleta, para poder solidificar una pieza. Desgraciadamente, debido a que no consiguió los fondos suficientes no pudo terminar de desarrollarla, aunque si sentó las primeras capas de la historia de a fabricación aditiva.

En 1986 se creó el primer aparato de Estereolitografía, por Chuck Hull, fundador de 3D Systems Corporation, empresa que lanzo el primer sistema de impresión 3D comercial, el SLA-1. Esta técnica de impresión 3D utiliza un método de impresión capa por capa, un proceso que utiliza láseres para unir selectivamente cadenas moleculares para formar polímeros.

Durante 1987 se empezó a desarrollar otra tecnología, la cual no vería su comercialización hasta casi 20 años después. Estamos hablando de la tecnología SLS, desarrollada por Carl Deckard de la Universidad de Texas, la cual utilizaba u laser para convertir polvo suelto en un sólido.

Para 1989 ya había aparecido la tecnología más utilizada a nivel mundial hoy en día, la fabricación por modelado de deposición fundida, también conocida como FDM, que consiste en fundir un polímero en forma de polímero y depositarlo en una base, creando el objeto capa a capa. La idea surgió del matrimonio Crump, cuando el marido, S. Scott Crump trato de construir una rana de juguete para su hija utilizando una pistola de pegamento caliente llena de una mezcla de polietileno y cera de vela. Como realizarlo manualmente llevaba mucho tiempo y esfuerzo, imagino una manera de automatizar el

proceso. Esta idea le llevo a ser cofundador de Stratasys, que a día de hoy es una de las empresas de la fabricación de máquinas 3D más exitosas del mundo.

En 1999, se dio el primer uso de estas tecnologías en el sector de la medicina, cuando el Instituto de Medicina Forestal Wake realizo un trasplante de vejiga urinaria. El proceso seguido para realizar la proeza empezó por la realización de una tomografía computarizada de la vejiga del paciente y utilizando la información se imprimió una estructura de andamio biodegradable. Para el material de impresión se tomó una muestra del tejido de la vejiga del paciente y se cultivaron las células para tener suficiente cantidad para colocar sobre el andamio antes de comenzar el trasplante.

Durante el 2005, la ya mencionada empresa Stratasys abrió RedEye, el primer buro que ofrecía servicios de impresión 3D industrial en Estados Unidos, cuyos pedidos eran realizados por las empresas a través de una plataforma web. A día de hoy, esta sección de Stratasys ha tenido tanto éxito que cuenta con una red global de 16 países y más de 300 impresoras 3D industriales conectadas entre sí, lo que les lleva a ofrecer un servicio con gran calidad, poco espacio de tiempo y sin que sus clientes tengan que realizar una inversión inicial.

En el 2009, al expirar la patente clave de la tecnología FDM, la impresión 3D empezó a darse a conocer más y más. Makerbot, fue una empresa que se lanzó ese mismo año y baso su éxito en su venta de kits para fabricar tu propia impresora. También creó la plataforma para enviar y descargar archivos 3D, Thingiverse, que rápidamente acumulo usuarios y se convirtió en la comunidad de impresión 3D en línea más grande del planeta.

Desde el 2012 la industria de la fabricación aditiva ha aumentado exponencialmente cada año. Las marcas siguen creando nuevas soluciones que posibilitan fabricar piezas no solo en plásticos si no también en metales, resinas y materiales orgánicos. Los mayores avances que se han realizado en los últimos tiempos giran en torno a la reducción del tiempo que conlleva la creación de la pieza, y su acceso a toda clase de sectores, como el de la tecnología. Pero una cosa es segura, la impresión 3D ha llegado para quedarse y modificar la cadena de valor y como fabricamos día a día. [17]

## 3.2 FASES DE LA FABRICACIÓN ADITIVA

Cada vez que se quiera utilizar la fabricación aditiva, se debe seguir una metodología clara y concisa que consta de 9 pasos:

- **Creación del modelo 3D:** el proceso comienza con la creación de un modelo CAD (diseño asistido por ordenador), que emplea programas informáticos para crear modificar y analizar representaciones tridimensionales de objetos físicos.
- **Formato STL:** una vez creado el diseño, se convertirá a formato STL que como hemos comentado antes, es la representación triangulada del modelo CAD en 3D.
- **Definir proceso de construcción:** para ello, primero habrá que definir la orientación de la pieza y determinar si son necesarias estructuras de apoyo. A continuación, se detalla la secuencia de fabricación, que se realiza con un software específico dependiendo de la impresora y la tecnología. Seguidamente, deberá prepararse la plataforma de fabricación para agrupar las piezas que se fabricaran a la vez, denominado nesting. A la vez que esto, se prepararán las probetas testigo que se fabricarán al mismo tiempo que las piezas para validar el resultado de la fabricación, una vez ejecutado.
- **Preparación de la materia prima:** tras recibir el material y comprobar los certificados acreditativos de las características clave se cargará la materia prima en la impresora.
- **Preparación de la impresora 3D:** algo indispensable en este paso es la limpieza de residuos de fabricaciones anteriores. Para cada tecnología se utilizarán diferentes procesos de preparación calibración y configuración de la impresora.
- **Ejecución de la fabricación:** en esta fase la máquina ejecuta los comandos para construir la pieza definida en fases anteriores, capa a capa. Habrá que supervisar los parámetros, el registro de datos de control y sensorización. Los pasos de esta fase estarán definidos por la tecnología que se use.
- **Inspección, verificación y ensayos:** en esta etapa, lo más importante es la verificación dimensional, realizada manualmente o con escáneres 3D más

sofisticados. Es esencial ya que verifica dimensiones críticas, tolerancias y geometrías. Otro paso dentro de esta fase es la validación del seguimiento de parámetros de proceso de la etapa anterior.

- **Post-procesado:** esta fase cambia dependiendo de la tecnología, pero casi siempre incluye la limpieza de la pieza y algún tratamiento para mejorar la superficie.
- **Inspección de la pieza terminada:** dicha inspección puede ser dimensional, de acabado superficial o a través de ensayos no destructivos. [15]

### **3.3 MATERIALES A UTILIZAR**

Debido a que se trabajará con la impresora 3D Mark Two de MarkForged los materiales que se podrán utilizar se restringirán a el Nylon y el Onyx pudiendo ser reforzada con fibra de vidrio o fibra de carbono.

#### **3.3.1 NYLON**

Es un polímero proveniente de las poliamidas y no se encuentra en la naturaleza, por lo que debemos fabricarlo nosotros. Es un polímero semicristalino que destaca por sus propiedades mecánicas, buena resistencia al desgaste y alta tenacidad. Para fabricarse tiene que calentarse a temperaturas cercanas a su punto de fusión durante varios días para evitar que se produzcan fisuras en su fase de mecanizado debido a sus tensiones internas.

El nylon más conocido es el Nylon 6 que se caracteriza por tener una fuerte capacidad de amortiguación mecánica, buena resistencia a la fatiga y al desgaste. Además, tiene grandes propiedades de deslizamiento y se utiliza para funciones que requieran alta tenacidad, rigidez y buena abrasión. Esta última propiedad es especialmente importante, ya que en útil que se fabrique deberá aguantar altas temperaturas.

En específico, el GF30-PA6 destaca sobre el Nylon 6 normal ya que incorpora fibra de vidrio, de la que se hablará más tarde, lo que facilita la unión entre capas y reduciendo el efecto warping. Su módulo de tensión es capaz de alcanzar los 7400 Mpa, uno de los más altos, siendo incluso 2.5 veces más resistentes que otros materiales comunes en el sector,




como el ABS. Su temperatura de trabajo va desde los -20°C hasta los 120°C por lo que es perfecto para utilizar en diversos ambientes. A pesar de ello su temperatura de reblandecimiento no suele pasar de los 124°C por lo que no podría soportar algunas de las temperaturas empleadas en las soldaduras. [8]

El precio de nylon en forma de bobina de filamento ronda desde los 32€ hasta los 133€. El nylon especificado en el párrafo anterior tiene un coste de 75.95€ por una bobina de 500 gramos de material.

**MATERIAL DATASHEET**

## Composites



Composite Base	Test (ASTM)	Onyx	Onyx FR	Onyx ESD	Nylon
Tensile Modulus (GPa)	D638	2.4	3.0	4.2	1.7
Tensile Stress at Yield (MPa)	D638	40	41	52	51
Tensile Stress at Break (MPa)	D638	37	40	50	36
Tensile Strain at Break (%)	D638	25	18	25	150
Flexural Strength (MPa)	D790 <sup>1</sup>	71	71	83	50
Flexural Modulus (GPa)	D790 <sup>1</sup>	3.0	3.6	3.7	1.4
Heat Deflection Temp (°C)	D648 B	145	145	138	41
Flame Resistance	UL94	—	V-0 <sup>2</sup>	—	—
Izod Impact - notched (J/m)	D256-10 A	330	—	44	110
Surface Resistance (Ω)	ANSI/ESD STM11.11 <sup>3</sup>	—	—	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>7</sup>	—
Density (g/cm <sup>3</sup> )	—	1.2	1.2	1.2	1.1

Markforged parts are primarily composed of Composite Base materials. Users may reinforce parts with one type of Continuous Fiber.

Dimensions and construction of test specimens:

- Tensile: ASTM D638 type IV beams
- Flexural: 3-pt. Bending, 4.5 in (L) x 0.4 in (W) x 0.12 in (H)
- Heat-deflection temperature at 0.45 MPa, 66 psi (ASTM D648-07 Method B)

1. Measured by a method similar to ASTM D790. Composite Base -only parts do not break before end of flexural test.

2. Onyx FR is UL 94 V-0 Blue Card certified down to a thickness of 3mm.

3. Surface resistance measured on multiple part surfaces using recommended print settings by an accredited third party test facility. See Onyx ESD technical data sheet for more details.

Continuous Fiber	Test (ASTM)	Carbon	Carbon FR	Kevlar®	Fiberglass	HSHT FG
Tensile Strength (MPa)	D3039	800	760	610	590	600
Tensile Modulus (GPa)	D3039	60	57	27	21	21
Tensile Strain at Break (%)	D3039	1.5	1.6	2.7	3.8	3.9
Flexural Strength (MPa)	D790 <sup>1</sup>	540	540	240	200	420
Flexural Modulus (GPa)	D790 <sup>1</sup>	51	50	26	22	21
Flexural Strain at Break (%)	D790 <sup>1</sup>	1.2	1.6	2.1	1.1	2.2
Compressive Strength (MPa)	D6641	420	300	130	180	216
Compressive Modulus (MPa)	D6641	62	59	25	24	21
Compressive Strain at Break (%)	D6641	0.7	0.5	1.5	—	0.8
Heat Deflection Temp (°C)	D648 B	105	105	105	105	150
Izod Impact - notched (J/m)	D256-10 A	960	810	2000	2600	3100
Density (g/cm <sup>3</sup> )	—	1.2	1.2	1.2	1.5	1.5

*Tabla 1: Propiedades mecánicas-térmicas del Nylon [8]*

### **3.3.2 ONYX**

El onyx es un material compuesto que contienen nylon relleno de microfibras de carbono que produce piezas precisas con un acabado casi impecable. Pocos materiales tienen la versatilidad de Onyx; ofrece alta resistencia, dureza y resistencia química cuando se imprime solo, y puede reforzarse con fibras continuas para obtener piezas resistentes al aluminio. En la actualidad, hay más de un millón de piezas de Onyx en el campo transformando la fabricación.

El nombre Onyx proviene de un mineral con el mismo nombre. El mineral Onyx es conocido por su acabado superficial, su resistencia y su dureza. Aunque el filamento de ónix no contiene nada del mineral, su nombre refleja las propiedades que hacen que el mineral sea tan valioso.

El Onyx es aproximadamente dos veces más fuerte que el ABS debido al refuerzo de microcarbono. Debido a que Onyx contiene nylon, la dureza y la resistencia al desgaste también son comparables, y el material tiene una temperatura de deflexión térmica de 145°C. Puede utilizarse con fibras de alta resistencia: fibra de carbono, Kevlar o fibra de vidrio para reforzar aún más sus piezas. Con el Onyx y las fibras compuestas, la resistencia de sus piezas impresas en 3D puede alcanzar niveles asombrosos, lo cual es impresionante. [11]

Aparte de las propiedades del material enumeradas, otra cosa interesante del Onyx es su estabilidad dimensional lo que significa que sus piezas serán más precisas con respecto a su modelo CAD. Esto significa que se minimiza el alabeo, los salientes más grandes y los bordes más afilados. El refuerzo de microcarbono cambia el comportamiento del material una vez que sale del extrusor y se enfría: hay menos deformación térmica y una disipación de calor más rápida dentro del material, por lo que las piezas se deforman menos en la placa de impresión y pueden tolerar ángulos de voladizo más pronunciados. Como resultado, la pieza sale de la impresora tal y como se ha querido diseñar. [7]

Con la estabilidad dimensional y el impecable acabado de la superficie, rara vez necesitará postprocesar las piezas. A diferencia de otras piezas impresas en 3D, el Onyx no necesita tinte para ocultar los paneles internos, ni baños químicos o lijado para eliminar las crestas impresas en 3D, ni masillas o materiales de relleno para rellenar los huecos por deformación. El Onyx está listo para funcionar, directamente desde la cama de impresión. Por último, el Onyx es capaz de soportar temperaturas de hasta 145°C mientras sigue siendo completamente funcional, por lo que presentará problemas a la hora de someterse a procesos de soldadura. [42]

MATERIAL DATASHEET



## Composites

Composite Base	Test (ASTM)	Onyx	Onyx FR	Onyx ESD	Nylon	
Tensile Modulus (GPa)	D638	2.4	3.0	4.2	1.7	Markforged parts are primarily composed of Composite Base materials. Users may reinforce parts with one type of Continuous Fiber.
Tensile Stress at Yield (MPa)	D638	40	41	52	51	
Tensile Stress at Break (MPa)	D638	37	40	50	36	Dimensions and construction of test specimens: • Tensile: ASTM D638 type IV beams • Flexural: 3-pt. Bending, 4.5 in (L) x 0.4 in (W) x 0.12 in (H) • Heat-deflection temperature at 0.45 MPa, 66 psi (ASTM D648-07 Method B)
Tensile Strain at Break (%)	D638	25	18	25	150	
Flexural Strength (MPa)	D790 <sup>1</sup>	71	71	83	50	1. Measured by a method similar to ASTM D790. Composite Base -only parts do not break before end of flexural test.
Flexural Modulus (GPa)	D790 <sup>1</sup>	3.0	3.6	3.7	1.4	
Heat Deflection Temp (°C)	D648 B	145	145	138	41	2. Onyx FR is UL 94 V-0 Blue Card certified down to a thickness of 3mm.
Flame Resistance	UL94	—	V-0 <sup>2</sup>	—	—	
Izod Impact - notched (J/m)	D256-10 A	330	—	44	110	3. Surface resistance measured on multiple part surfaces using recommended print settings by an accredited third party test facility. See Onyx ESD technical data sheet for more details.
Surface Resistance (Ω)	ANSI/ESD STM11.11 <sup>3</sup>	—	—	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>7</sup>	—	
Density (g/cm <sup>3</sup> )	—	1.2	1.2	1.2	1.1	

Continuous Fiber	Test (ASTM)	Carbon	Carbon FR	Kevlar®	Fiberglass	HSHT FG
Tensile Strength (MPa)	D3039	800	760	610	590	600
Tensile Modulus (GPa)	D3039	60	57	27	21	21
Tensile Strain at Break (%)	D3039	1.5	1.6	2.7	3.8	3.9
Flexural Strength (MPa)	D790 <sup>1</sup>	540	540	240	200	420
Flexural Modulus (GPa)	D790 <sup>1</sup>	51	50	26	22	21
Flexural Strain at Break (%)	D790 <sup>1</sup>	1.2	1.6	2.1	1.1	2.2
Compressive Strength (MPa)	D6641	420	300	130	180	216
Compressive Modulus (MPa)	D6641	62	59	25	24	21
Compressive Strain at Break (%)	D6641	0.7	0.5	1.5	—	0.8
Heat Deflection Temp (°C)	D648 B	105	105	105	105	150
Izod Impact - notched (J/m)	D256-10 A	960	810	2000	2600	3100
Density (g/cm <sup>3</sup> )	—	1.2	1.2	1.2	1.5	1.5

*Tabla 2: Propiedades mecánicas-térmicas del Onyx [7]*

### **3.3.3 FIBRA DE VIDRIO**

La fibra de vidrio es una forma de plástico reforzado con fibra donde la fibra de vidrio es el plástico reforzado. Esta es la razón por la que la fibra de vidrio también se conoce como plástico reforzado con fibra de vidrio o plástico reforzado con fibra de vidrio. La fibra de vidrio suele estar aplanada en forma de lámina, dispuesta al azar o tejida en forma de tela. Según el uso de la fibra de vidrio, las fibras de vidrio pueden estar hechas de diferentes tipos de vidrio.

La fibra de vidrio es ligera, fuerte y menos frágil. Lo mejor de la fibra de vidrio es su capacidad para moldearse en diversas formas complejas. Esto explica en gran medida por qué la fibra de vidrio se utiliza ampliamente en bañeras, barcos, aviones, techos y otras aplicaciones.

Probablemente su característica más relevante sea su resistencia al calor extremo. Es capaz de disipar el calor radiante con buena eficacia y resiste temperaturas de hasta 1648°C durante poco más de un minuto. Algunas de sus otras características son la resistencia a la erosión química y del medio ambiente, haciéndolo inmune a la mayoría de los ácidos; también, debido a su bajo peso permite que sea fácil de instalar y trasladar, haciendo que el peso que soportan las estructuras de apoyo sea menor. Además, el hecho de que haya una gran variedad de filamentos, tipos de fibra, tamaños y demás, lo hacen muy versátil y puede ser utilizada en multitud de aplicaciones industriales. [13]

Sobre las ventajas de este material, hay que decir que están muy ligadas a las características descritas el párrafo anterior. Ahorra energía al mantener los espacios climatizados durante más tiempo, ahorrando así costes de calefacción y aire acondicionado. Es elástico, disipante y absorbente, además de poseer una buena absorción acústica. Al ser hidrorrepelente, por lo que, al entrar en contacto con el agua, no es afectado

y no sufrirá fugas en las cañerías ni condensación. Por último, su funcionamiento es sencillo ya que no provoca irritación ni contaminación al medio ambiente y es de fácil instalación. [9]

MATERIAL DATASHEET

# Composites



Composite Base	Test (ASTM)	Onyx	Onyx FR	Onyx ESD	Nylon
Tensile Modulus (GPa)	D638	2.4	3.0	4.2	1.7
Tensile Stress at Yield (MPa)	D638	40	41	52	51
Tensile Stress at Break (MPa)	D638	37	40	50	36
Tensile Strain at Break (%)	D638	25	18	25	150
Flexural Strength (MPa)	D790 <sup>1</sup>	71	71	83	50
Flexural Modulus (GPa)	D790 <sup>1</sup>	3.0	3.6	3.7	1.4
Heat Deflection Temp (°C)	D648 B	145	145	138	41
Flame Resistance	UL94	—	V-0 <sup>2</sup>	—	—
Izod Impact - notched (J/m)	D256-10 A	330	—	44	110
Surface Resistance (Ω)	ANSI/ESD STM11.11 <sup>3</sup>	—	—	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>7</sup>	—
Density (g/cm <sup>3</sup> )	—	1.2	1.2	1.2	1.1

Markforged parts are primarily composed of Composite Base materials. Users may reinforce parts with one type of Continuous Fiber.

Dimensions and construction of test specimens:

- Tensile: ASTM D638 type IV beams
- Flexural: 3-pt. Bending, 4.5 in (L) x 0.4 in (W) x 0.12 in (H)
- Heat-deflection temperature at 0.45 MPa, 66 psi (ASTM D648-07 Method B)

1. Measured by a method similar to ASTM D790. Composite Base - only parts do not break before end of flexural test.

2. Onyx FR is UL 94 V-0 Blue Card certified down to a thickness of 3mm.

3. Surface resistance measured on multiple part surfaces using recommended print settings by an accredited third party test facility. See Onyx ESD technical data sheet for more details.

Continuous Fiber	Test (ASTM)	Carbon	Carbon FR	Kevlar®	Fiberglass	HSHT FG
Tensile Strength (MPa)	D3039	800	760	610	590	600
Tensile Modulus (GPa)	D3039	60	57	27	21	21
Tensile Strain at Break (%)	D3039	1.5	1.6	2.7	3.8	3.9
Flexural Strength (MPa)	D790 <sup>1</sup>	540	540	240	200	420
Flexural Modulus (GPa)	D790 <sup>1</sup>	51	50	26	22	21
Flexural Strain at Break (%)	D790 <sup>1</sup>	1.2	1.6	2.1	1.1	2.2
Compressive Strength (MPa)	D6641	420	300	130	180	216
Compressive Modulus (MPa)	D6641	62	59	25	24	21
Compressive Strain at Break (%)	D6641	0.7	0.5	1.5	—	0.8
Heat Deflection Temp (°C)	D648 B	105	105	105	105	150
Izod Impact - notched (J/m)	D256-10 A	960	810	2000	2600	3100
Density (g/cm <sup>3</sup> )	—	1.2	1.2	1.2	1.5	1.5

Tabla 3: Propiedades mecánicas-térmicas de la fibra de vidrio [9]

### 3.3.4 FIBRA DE CARBONO

Probablemente este sea el material más conocido de todos los nombrados. La fibra de carbono se compone de átomos de carbono unidos entre sí para formar largas cadenas.

Estas fibras son extremadamente rígidas, fuertes y ligeras, y se utilizan en muchos procesos para crear excelentes materiales de construcción. Las propiedades de una pieza de fibra de carbono son similares a las del acero y el peso es similar al del plástico. Esto hace que tanto la relación resistencia/peso (así como la relación rigidez/peso) de una pieza de fibra de carbono es mucho mayor que la del acero o el plástico.

Las fibras de carbono son fibras de unos 5-10 micrómetros de diámetro y compuestas en su mayoría por átomos de carbono. Las fibras de carbono tienen varias ventajas que incluyen alta rigidez, alta resistencia a la tracción, bajo peso, alta resistencia química, tolerancia a altas temperaturas y baja expansión térmica. Estas propiedades han hecho que la fibra de carbono sea muy popular en la industria aeroespacial, la ingeniería civil, el ejército y los deportes de motor, junto con otros deportes de competición. Sin embargo, son relativamente caros en comparación con fibras similares, como fibras de vidrio o fibras plásticas.

La fibra de carbono se puede clasificar según su resistencia o según su temperatura, que como ya se ha dicho es una propiedad esencial en este proyecto.

#### Según su resistencia

- Ultra-alto módulo (UHM): módulo mayor que 450 Gpa.
- Alto módulo (HM): módulo entre 350 y 450 Gpa.
- Intermedio módulo (IM): módulo entre 200 y 300 Gpa.
- Bajo módulo y alta resistencia a la tracción (HT): módulo menor que 100 Gpa y resistencia la tracción mayor de 3 Gpa.
- Super alta resistencia (SHT): resistencia a la tracción mayor que 4.5 Gpa.

#### Según la temperatura de tratamiento térmico final

- Tratamiento de alta temperatura (HTT): la temperatura se haya por encima de los 2000°C y se suele asociar con la fibra de alto módulo.
- Tratamiento de temperatura intermedia (IHT): la temperatura se haya por encima de los 1500°C y se suele asociar con la fibra de alta resistencia.

- Tratamiento de baja temperatura: las temperaturas del tratamiento térmico final no pasan de los 1000°C y son asociados a las fibras de bajo modulo y baja resistencia.

Siguiendo con las propiedades térmicas, el punto de fusión de la fibra de carbono se encuentra en los 3657°C y su conductividad térmica es de 100 W/(m\*K) haciéndolo el más adecuado de entre todos los materiales que vamos a usar, si priorizáramos la resistencia térmica del útil. [40]

Sobre el precio hay que destacar que en si el carbono puro es un material común en la Tierra, y su precio orbita en torno a los 20 / 23 € por kilo, el hecho de que la fibra de carbono aumente su precio hasta los 100 € por kilo se debe a la mano de obra que convierte el carbono en la fibra de carbono. [18]



MATERIAL DATASHEET

## Composites



Composite Base	Test (ASTM)	Onyx	Onyx FR	Onyx ESD	Nylon
Tensile Modulus (GPa)	D638	2.4	3.0	4.2	1.7
Tensile Stress at Yield (MPa)	D638	40	41	52	51
Tensile Stress at Break (MPa)	D638	37	40	50	36
Tensile Strain at Break (%)	D638	25	18	25	150
Flexural Strength (MPa)	D790 <sup>1</sup>	71	71	83	50
Flexural Modulus (GPa)	D790 <sup>1</sup>	3.0	3.6	3.7	1.4
Heat Deflection Temp (°C)	D648 B	145	145	138	41
Flame Resistance	UL94	—	V-0 <sup>2</sup>	—	—
Izod Impact - notched (J/m)	D256-10 A	330	—	44	110
Surface Resistance (Ω)	ANSI/ESD STM11.11 <sup>3</sup>	—	—	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>7</sup>	—
Density (g/cm <sup>3</sup> )	—	1.2	1.2	1.2	1.1

Markforged parts are primarily composed of Composite Base materials. Users may reinforce parts with one type of Continuous Fiber.

Dimensions and construction of test specimens:

- Tensile: ASTM D638 type IV beams
- Flexural: 3-pt. Bending, 4.5 in (L) x 0.4 in (W) x 0.12 in (H)
- Heat-deflection temperature at 0.45 MPa, 66 psi (ASTM D648-07 Method B)

1. Measured by a method similar to ASTM D790. Composite Base -only parts do not break before end of flexural test.

2. Onyx FR is UL 94 V-0 Blue Card certified down to a thickness of 3mm.

3. Surface resistance measured on multiple part surfaces using recommended print settings by an accredited third party test facility. See Onyx ESD technical data sheet for more details.

Continuous Fiber	Test (ASTM)	Carbon	Carbon FR	Kevlar®	Fiberglass	HSHT FG
Tensile Strength (MPa)	D3039	800	760	610	590	600
Tensile Modulus (GPa)	D3039	60	57	27	21	21
Tensile Strain at Break (%)	D3039	1.5	1.6	2.7	3.8	3.9
Flexural Strength (MPa)	D790 <sup>1</sup>	540	540	240	200	420
Flexural Modulus (GPa)	D790 <sup>1</sup>	51	50	26	22	21
Flexural Strain at Break (%)	D790 <sup>1</sup>	1.2	1.6	2.1	1.1	2.2
Compressive Strength (MPa)	D6641	420	300	130	180	216
Compressive Modulus (MPa)	D6641	62	59	25	24	21
Compressive Strain at Break (%)	D6641	0.7	0.5	1.5	—	0.8
Heat Deflection Temp (°C)	D648 B	105	105	105	105	150
Izod Impact - notched (J/m)	D256-10 A	960	810	2000	2600	3100
Density (g/cm <sup>3</sup> )	—	1.2	1.2	1.2	1.5	1.5

Tabla 4: Propiedades mecánicas-térmicas de la fibra de carbono [6]

### 3.4 IMPRESORA A UTILIZAR

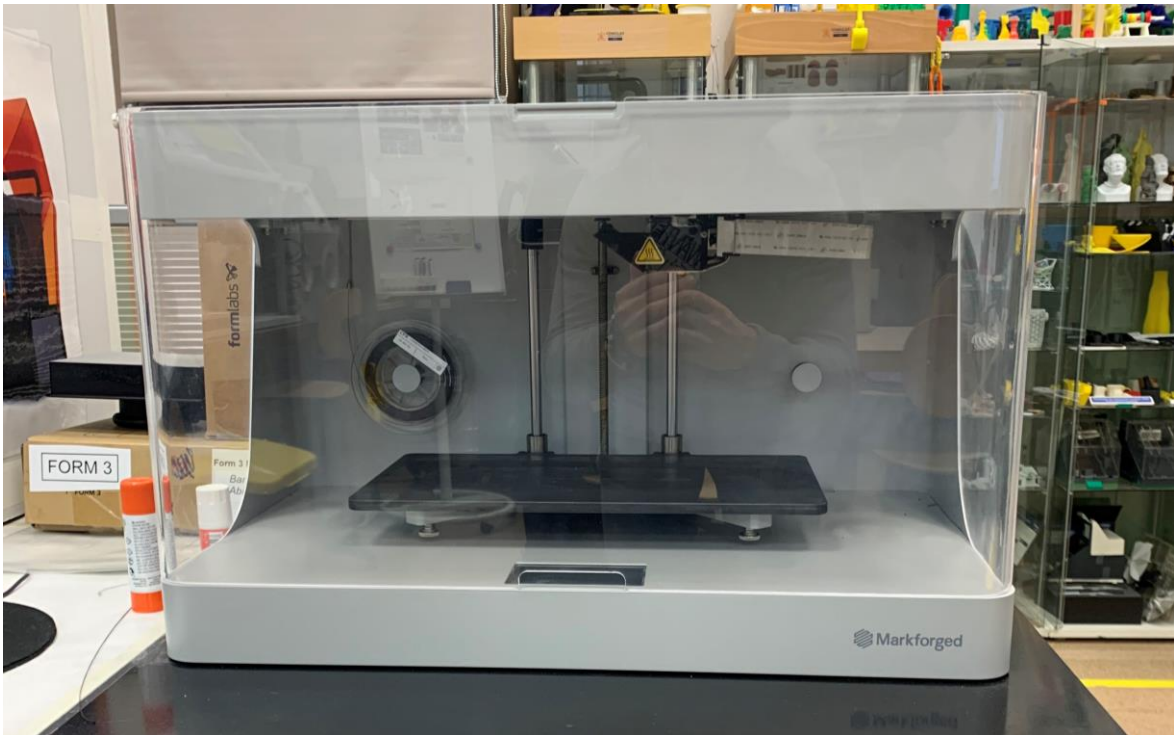
La impresora con la que se va a trabajar será el modelo Mark two, una impresora utiliza procesos de fabricación con filamento fundido, o como se conoce mejor la FDM, y fabricación con filamento continuo. Es capaz de construir piezas de 320x132x154 mm por lo que podría suponer un problema al limitar la fabricación de las piezas del utillaje. Pero su tamaño total es de 584x330x355 mm lo que la hace adecuada para uso doméstico. El lecho de impresión es de acoplamiento cinemático, plano, con una precisión de 160 µm. Los materiales y las fibras disponibles son las nombradas en el apartado anterior, logrando



una resistencia a la tracción de 800 MPa, 25.7 veces la resistencia del ABS y un módulo d elasticidad e 60 GPa, 26.9 veces mayor que el del ABS. Sobre las propiedades de las piezas que fabrica se puede destacar que la altura de capa es de 100  $\mu\text{m}$  de manera predeterminada, pero puede ser aumentada hasta 200  $\mu\text{m}$ , y que posee la función de relleno de celdas cerradas, con varias geometrías disponibles. Además, el software incluido es el Eiger Cloud, aunque se pueden solicitar otras opciones por un coste adicional. [49]

Sobre el software, Eiger Cloud, se dice que los componentes a realizar pueden ser rápidamente optimizados con los ajustes correctos y las orientaciones de fibra para diseñar óptimamente su componente para su aplicación. Puede cargar fácilmente componentes creados a través del programa CAD como archivo STL a través del navegador en el software Eiger basado en la nube. Allí se puede cargar y gestionar los archivos. Además, una vez subidos se puede optimizar el componente para su aplicación con solo unos clics del ratón, ya sea ampliando el grosor de las paredes, escalarlo, ajustar la densidad de relleno etc. En el siguiente paso, se inserta la fibra en el componente, se puede seleccionar libremente en qué capas se debe insertar la fibra. Se puede ajustar la cantidad de fibra para adaptarla a la aplicación correcta. [19]

El proceso de impresión puede ser pausado para incrustar componentes en la impresión. Por ejemplo, tuercas, tornillos e imanes en su componente. Cuando se imprime con los soportes activados, la estructura de soporte se genera automáticamente. Cuando se imprimen piezas con un ángulo superior a 45 grados, se requieren soportes.



*Ilustración 1: Impresora Mark two*

### **3.5 TIPOS DE SOLDADURAS**

La soldadura surge como una solución al problema de unir de forma solida 2 piezas metálicas, que hasta la fecha solo se podía lograr mediante la soldadura de fragua, donde los herreros unían metales calentándolos y utilizando martillos. Para ello se incrementa la temperatura de las superficies que se quieren unir, que se colocan en contacto, recibiendo un aporte de material igual o semejante de las piezas a unir, o bien sin aportación de material.

Este proceso empezó a tomar forma cuando en 1801 Sir Humphry Davy descubrió la posibilidad de conducir electricidad entre 2 electrodos. En 1805 N. Bernardos, patentó el primer equipo de soldadura al determinar que era posible la generación de un arco metálico entre electrodos (un cátodo compuesto de carbón y un ánodo de metal) para unir partes metálicas. Mas tarde, se patento el electrodo revestido, que empezó a utilizarse a nivel

industrial sobre el 1912, y en la década de 1930 las operaciones con el proceso SMAW hizo llegar la soldadura a las áreas de infraestructura pesada.

Según la AWS (American Welding Society) existen más de 50 tipos de soldaduras distintas, que se clasifican en soldaduras por fusión y soldaduras de estado sólido. En este proyecto se hablará sobre las soldaduras SMAW, TIG, MIG/MAG y soldadura por láser; ya que son las que se quieren poder utilizar con el útil que se diseñe.

### **3.5.1 SOLDADURA SMAW**

La soldadura SMAW es un acrónimo de shielded metal arc welding, que en español se llamaría soldadura de electrodo revestido. Es uno de los tipos de soldadura más antiguos que existe, a la vez que uno de los más sencillas y utilizados hoy en día.

Este es el primer método utilizado con el que se obtuvo excelentes resultados tanto en el ámbito técnico como en el ámbito económico, ya que fue el precursor de otros procesos de fabricación superiores. La soldadura SMAW solo ha sido superada por aplicaciones modernas, que siguen usando de base el proceso de la soldadura con electrodo revestido. Debido a que puede alcanzar temperaturas de hasta 3400°C, y puede fundir el área a soldar, se clasifica en el grupo de soldadura por fusión. [26]

### 3.5.1.1 Proceso

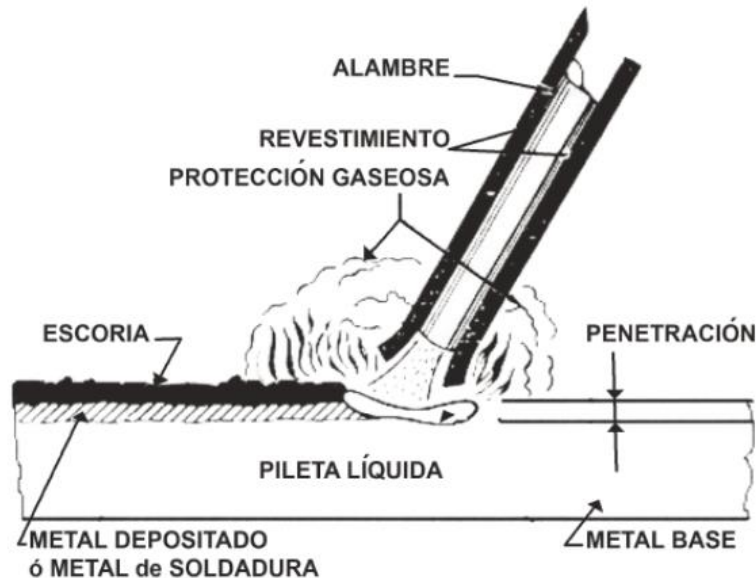


Ilustración 2: Proceso de soldadura SMAW [26]

Se trata de uso de un electrodo con alguna clase de recubrimiento determinado, según sus propiedades específicas, dicho recubrimiento puede estar hecho por inmersión, por espiral o por presión. A través de este circulará una corriente eléctrica la cual puede ser alterna, continua con polaridad directa o continua con polaridad inversa, cuyas diferentes características se mostrarán en una tabla a continuación. Se constituye un cortocircuito entre el material a soldar (material base) y el electrodo, el arco eléctrico que se crea puede llegar hasta los 5500°C consiguiéndose que el núcleo del electrodo se deposite sobre el material base; la intensidad, la tensión y las otras condiciones eléctricas dependerán del diámetro del electrodo y la naturaleza y espesor del revestimiento. Paralelamente, mediante la combustión del recubrimiento permite proteger la atmósfera del proceso. Dicha protección es determinante para evitar la penetración de contaminantes y humedad. Además, facilita el encendido del arco, mejora las propiedades mecánicas y permite el poder soldar en el techo y en posiciones verticales. También como se observa en la imagen

al principio de este apartado, el proceso produce una escoria que marca el cordón creado por la soldadura. [43]

Características	Corriente continua (CC)	Corriente alterna (CA)
Pérdida de tensión en cables	Grande	Pequeña
Electrodos	Todos	Solo con revestimiento que reestablezcan el arco
Encendido del arco	Fácil	Difícil
Mantenimiento del arco	Fácil	Difícil
Efecto de sople	Muy sensible, sobretodo cerca de los extremos	Raramente
Salpicaduras	Pocas	Frecuentes, debidas a la pulsación
Posiciones de soldeo	Todas	Todas
Soldadura de hojas metálicas	Preferible a CA	Difícil
Soldaduras de secciones gruesas	Bajo rendimiento	Preferible a CC

*Tabla 5: Comparativa entre CC y CA [43]*

### **3.5.1.2 Tipos de electrodo**

El tipo de electrodo se elegirá dependiendo de que función vayan a tener las piezas a soldar, su composición química o las características mecánicas que exijan a la soldadura.

- *Electrodo ácido*: revestimiento compuesto de sílice, ferromanganeso y óxido de hierro y manganeso. Sus características principales son su grueso espesor, alta velocidad de fusión, excelente penetración y buenas características mecánicas, aunque funden con mucha escoria, la cual es altamente porosa. Funcionan con corriente alterna o continua y son convenientes para soldar en vertical.
- *Electrodo básico*: sus características más destacables son su baja penetración, buenas características mecánicas, alta resiliencia y resistencia a las fisuras por frío o calor. Se puede soldar con corriente alterna y continua. La escoria que presenta

es es muy densa y el cordón es convexo. Pueden soldar en cualquier posición, pero destaca su aplicación en soldaduras de grandes espesores o construcciones rígidas. El único inconveniente que presenta es que es un material higroscópico, lo que le hace absorber la humedad fácilmente.

- *Electrodo celulósico*: recibe su nombre debido a que gran parte de las sustancias que lo componen son orgánicas combustibles, siendo más de una cuarta parte solamente celulosa. Presenta una alta penetración, fusión rápida y características mecánicas buenas. El cordón que dejan es rugoso con ondulaciones, y es capaz de soldar en todas las posiciones tanto en corriente alterna como en continua.
- *Electrodo oxidante*: se llama así debido a su alta concentración de óxido de hierro. Pueden utilizarse, si su recubrimiento es grueso, para posiciones horizontales con cualquier corriente, y si el recubrimiento es delgado se utilizan para soldaduras de poca responsabilidad. Pero tiene las desventajas de que normalmente son muy gruesos, tienen baja penetración, y el material aportado tiene características mecánicas muy mejorables.
- *Electrodo de rutilo medio*: el 50% del peso del revestimiento es de rutilo o de óxido de titanio o derivados, y puede que hasta el 15%. Es el más adecuado para soldar en vertical y en el techo, y la escoria que deja es densa y viscosa.
- *Electrodo de ácido de rutilo*: debido a su acidez la escoria que produce es muy similar a la de los electrodos ácidos, solo que más fluida. Se diferencian de los electrodos ácidos en que el porcentaje de óxido de titanio es mayor que el porcentaje de óxido de hierro o de manganeso. [43]

### **3.5.1.3 Ventajas e inconvenientes**

#### Ventajas

- ✓ El equipo requerido es portátil de bajo costo y no demasiado elaborado
- ✓ Es capaz de trabajar con multitud de metales, en variedad de posiciones y con diversos electrodos

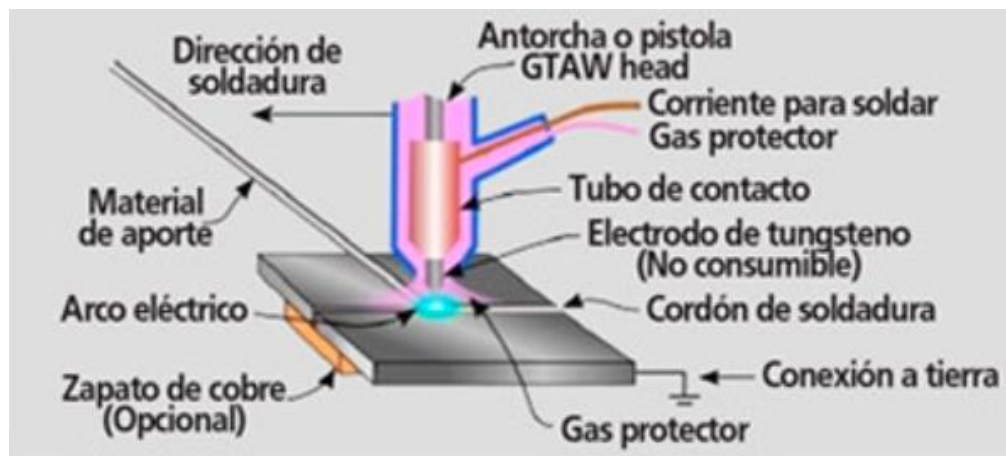
- ✓ La tasa de deposición del material es relativamente alta
- ✓ Es adecuada para aplicar en piezas que deben aguantar condiciones meteorológicas.

#### Inconvenientes

- ✗ Debido a que el electrodo tiene una longitud limitada, el proceso ha de ser discontinuo para poder sustituirlo.
- ✗ Al ser una soldadura manual, se requieren soldadores con mucha habilidad, que necesitarán haber pasado unos exámenes para realizar una soldadura concreta en una posición concreta.
- ✗ En ocasiones las soldaduras contienen inclusiones de escoria.
- ✗ Esta soldadura produce humo que dificulta la visibilidad del operario [43]

### **3.5.2 SOLDADURA TIG**

Esta soldadura obtiene su nombre de la traducción al español de soldadura con arco de tungsteno y gas inerte. Es una soldadura por fusión que pertenece al grupo que trabaja con electrodos no consumibles, que suministra el material de aportación mediante un alambre separado, haciendo que los electrodos resistan a la fusión. Como su nombre indica el electrodo que utiliza es de tungsteno y gracias al gas inerte se genera una atmosfera de protección alrededor de la soldadura. Una característica destacable de esta es que puede o no utilizar material de aportación a través de una varilla que se funde al entrar en contacto con el arco. Ofrece mayor calidad que la anterior soldadura, pero su proceso es más lento y costoso.



*Ilustración 3: Proceso de soldadura TIG [45]*

### 3.5.2.1 Proceso

Como se ha explicado antes, este tipo de soldadura utiliza un gas inerte que puede ser helio, argón o una mezcla de ambos. Por motivos económicos, el argón suele ser el preferido de la industria; además, por ser más pesado que el helio ofrece una mejor protección. También, como crea una atmósfera más clara permite mejor control del arco y el baño de soldadura, y la tensión del arco es más baja.

Sobre los electrodos, como su propio nombre indica, serán de tungsteno o una aleación de este. Debido a que no pierde dureza a altas temperaturas (su punto de fusión es de 3400°C y su punto de evaporación es de 5900°C) casi no se consumen.

El material de aportación solo será necesario en caso de que se vaya a soldar espesores medianos y gruesos, y ha de ser del mismo compuesto que el metal base. Además, la regla general indica que las varillas del material de aportación deben tener un diámetro cercano al espesor de la placa a soldar.

Para explicar de forma simple el funcionamiento de este proceso, el electrodo de tungsteno se mantiene sujeto a una torcha por la que se transmite la corriente eléctrica y se inyecta el gas. El proceso funciona con una corriente continua o alterna y puede estar refrigerado y como se ha explicado antes el material de aportación en caso de ser necesario se agrega directamente al baño de soldadura. [43]



### **3.5.2.2 Ventajas e inconvenientes**

#### Ventajas

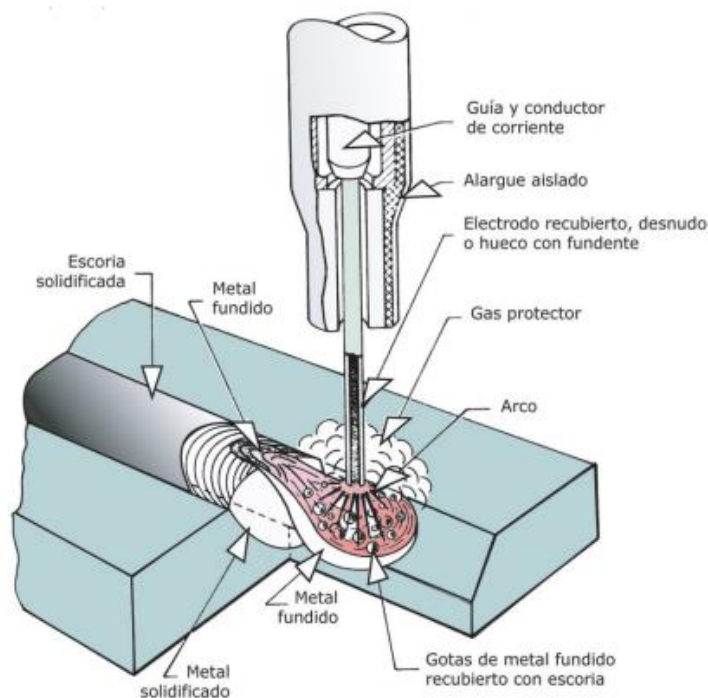
- ✓ Permite la obtención de cordones más dúctiles, resistentes y menos sensibles ante la corrosión, ya que el gas inerte actúa como barrera entre el oxígeno de la atmósfera y la zona que está siendo soldada, impidiendo el contacto entre ellos y protegiendo esta última.
- ✓ Gracias a la escasez de humos se consiguen unas soldaduras más limpias y uniformes, ya que, al ser los humos transparentes, el soldador tiene mejor visibilidad de cómo está soldando, obteniendo un cordón con un mejor acabado superficial.
- ✓ Alrededor del cordón de soldadura la deformación es menor que por otros procesos.
- ✓ Ausencia de chispas y salpicaduras debido a que el material de aporte no circula por el arco.
- ✓ Consigue soldaduras de buena calidad en todas las posiciones
- ✓ Se puede automatizar, controlando el sistema mecánicamente.
- ✓ Muy utilizado en soldaduras de responsabilidad.
- ✓ Alta calidad y precisión
- ✓ Adecuado para soldaduras de complicado acceso.
- ✓ Generación de humo baja
- ✓ No produce escoria
- ✓ Necesita limpieza posterior en pocos casos, ya que el acabado de la soldadura es óptimo, claro y brillante, reduciendo así los costes de fabricación.
- ✓ Buena versatilidad, ya que suelda casi todos los metales, incluso los metales disímiles.

#### Inconvenientes

- ✗ Ocupa un soldador especializado.
- ✗ No es rentable para soldaduras con un espesor mayor a 10 mm de espesor.

- ✘ Necesidad de flujo continuo de gas, lo que incluye las instalaciones de tuberías y bombona, por lo que los costes suben.
- ✘ Si el electrodo toca la zona del baño continuo se pueden dar inclusiones de tungsteno en la zona de baño fundido.
- ✘ El material de aporte se debe depositar a una velocidad reducida y esto hace el proceso más lento.
- ✘ La protección gaseosa puede ser eliminada mediante corrientes de aire superiores a 8 km/h. [43]

### 3.5.3 SOLDADURA MIG/MAG



*Ilustración 4: Proceso de soldadura MIG/MAG [43]*

Este tipo de soldadura incluye un arco de electrodo fusible y protección gaseosa. La protección gaseosa envuelve el baño de fusión con un gas inerte, al igual que en la soldadura TIG. El arco se forma entre el extremo del electrodo consumible, que es aportado continuamente, y el metal base. Además, este proceso es fácilmente

automatizable, total o parcialmente (donde hay que mantener la pistola y desplazarla manualmente).

La soldadura MIG/MAG trabaja con corriente continua de polaridad directa (CC +) e inversa (CC -) y corriente alterna (AC).

- **CC +** es la más común debido a la obtención de buenos resultados por la concentración de calor en el baño de fusión (penetración reducida y cordón ancho). El transporte del metal de aportación es excelente y ejerce sobre sí mismo una acción de limpieza.
- **CC -** poco utilizada ya que presenta poca penetración y su cordón es muy ancho. El metal de aportación se adhiere en forma de gotas grandes y no tiene la limpieza del anterior.
- **AC** no se utiliza, ya que su arco se hace inestable y se extingue por la gran diferencia que se presenta en cada semiciclo.

### ***3.5.3.1 Gas de protección***

- *Argón con CO<sub>2</sub>*: Adecuado para soldaduras con buen aspecto superficial. La concentración de argón y CO<sub>2</sub> difiere de un fabricante a otro, pero como el CO<sub>2</sub> es más barato, su concentración es mayor. Puede soldar con aceros poco aleados, aceros inoxidables y aceros al carbono.
- *Argón con O<sub>2</sub>*: Útil para mejorar la forma de la penetración y el contorno del cordón. Sirve para mejorar la apariencia de la junta y disminuye la tendencia a producir mordeduras. En este caso el O<sub>2</sub> no debe superar el 5% porque puede ocasionar porosidades indeseadas en la soldadura. Es capaz de soldar con aceros al carbono y aceros inoxidables.
- *Argón con helio y CO<sub>2</sub>*: se utiliza para soldar tuberías de acero inoxidable por que se obtienen soldaduras e buen aspecto y pequeño espesor.

### ***3.5.3.2 Material de aportación***

El hilo electrodo que se usa como material de aportación tiene una composición similar a la del material base. Se utiliza una simbología muy concreta para designar e identificar el electrodo.

## **E-60S-1**

- **E:** hace referencia a un electrodo.
- **60:** estas cifras hacen referencia a la resistencia a la tracción del metal de aportación, en miles de libras por pulgada cuadrada.
- **S:** identifica a un hilo macizo.
- **1:** esta cifra puede ir acompañando de letras e identifica a la composición química del hilo.

A diferencia de la soldadura anterior, que se aportaba con una varilla, este material de aportación se suministra con una bobina. Los diámetros de esta bobina suelen rondar entre los 0.6 y los 3.25 mm. Los más pequeños suelen usarse para soldar espesores finos.

### ***3.5.3.3 Ventajas e inconvenientes***

#### Ventajas

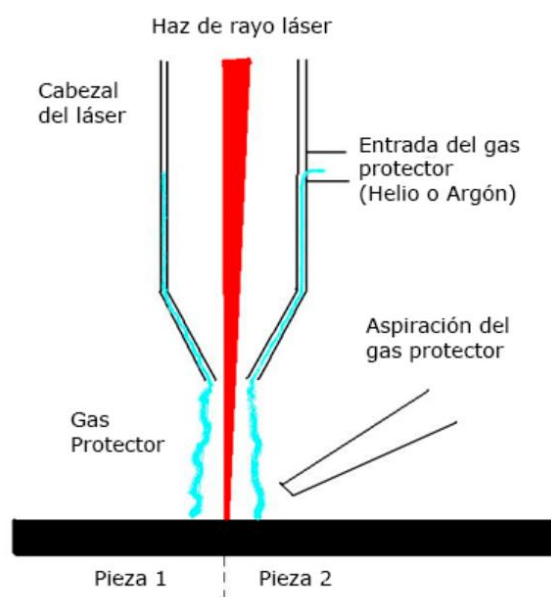
- ✓ Superficie soldada limpia y sin escoria.
- ✓ Mayor facilidad para soldar espesores delgados.
- ✓ Se puede soldar en cualquier posición ya que el arco es visible.
- ✓ La soldadura MIG es la que mantiene más concentrado el material de aportación a través del arco.
- ✓ Poca distorsión en el material debido a la alta velocidad del material de aportación, pudiendo llegar a las 100 pulgadas/minuto.
- ✓ Alta densidad de corriente en comparación con otros métodos.
- ✓ La soldadura MIG consigue mayor penetración que otros métodos.

- ✓ En cuanto a las soldaduras en V, se requiere menos material de aportación para llenar el chaflán al igual que hay menos calentamiento, debido a que el chaflán necesario es mucho menor.
- ✓ Se puede soldar grandes extensiones sin interrupción.
- ✓ El electrodo tiene una eficiencia del 98%.
- ✓ Es un método que cumple con las medidas de protección del medio ambiente.

### Inconvenientes

- ✗ El costo del equipo es elevado.
- ✗ Dificultad para trabajar al aire libre debido a que el gas es sensible a vientos y corrientes de aire.
- ✗ Se enfría más rápido que otros métodos.
- ✗ Uso limitado en lugares con difícil acceso.
- ✗ Se requiere un operador más cualificado que para la soldadura SMAW.
- ✗ La porosidad y fusión incompleta son sus discontinuidades principales. [43]

### 3.5.4 SOLDADURA POR LÁSER



*Ilustración 5: Proceso de soldadura por láser [38]*

Este tipo de soldadura funde y recristaliza la superficie del material a soldar a través de un haz láser. Al ser una tecnología muy nueva cuenta con distintas configuraciones que se adaptan a cada trabajo con diversas posibilidades para unir diferentes tipos de metales. Esta soldadura también ofrece la posibilidad de soldar con o sin material de aporte. Dicho material se proporciona de forma automática con una bobina de hilo.

### **3.5.4.1 Ventajas**

- ✓ Capaz desoldar espesores de hasta 5 mm, mientras que otras como la TIG llegan hasta los 1.5 mm.
- ✓ Mucho más rápida.
- ✓ La deformación que crea es mínima.
- ✓ El soldador no requiere de mucha experiencia para manejar el equipo.
- ✓ Apenas genera humos.
- ✓ Capaz de trabajar con costuras pequeñas y detalladas.
- ✓ No requiere del uso de consumibles.
- ✓ No es necesario pulir más tarde.
- ✓ La aplicación de calor es mucho más precisa y se restringe a la zona a soldar.

Se hará uso de esta tecnología, ya que al querer crear un útil con un material que puede que no aguante las temperaturas con otras soldaduras, también se quiere comprobar si este útil tuviera validez con esta soldadura que tiene su fuente de calor mucho más concentrado.

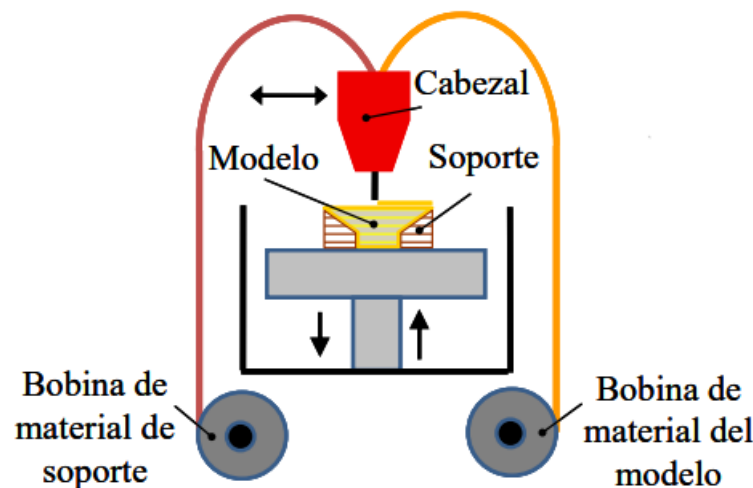
[37]

## **3.6 TECNOLOGÍAS DE IMPRESIÓN 3D**

### **3.6.1 FDM (FUSED DEPOSITION MATERIAL)**

En español es conocida como FFF (fabricación por filamentos fundidos), es la principal tecnología de la industria de la fabricación aditiva. Consta de 3 elementos base: la placa de impresión sobre la que se va a imprimir la pieza, una bobina de filamento que se utiliza

como material de fabricación, y una cabeza de extrusión llamado extrusor. El proceso consiste en que el extrusor succiona y funde a 200°C el filamento, y depositar el material de forma precisa capa a capa sobre la laca de impresión. Los materiales más usados en esta tecnología son el PLA (ácido poliacético) y el ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno) de los que se hablarán más adelante. Su éxito en la industria se debe a que los costes iniciales y de materiales son muy reducidos a comparación de otras tecnologías, además que su uso es más sencillo y tiene una amplia variedad de materiales con los que trabajar. [52]

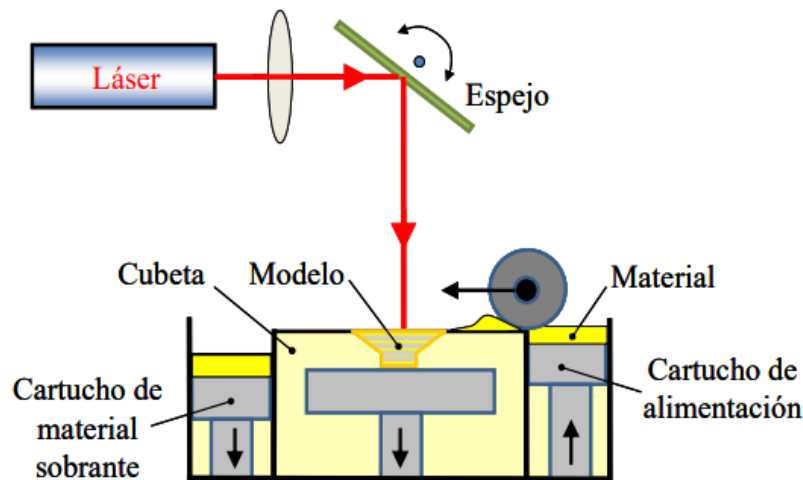


*Ilustración 6: Tecnología de impresión 3D FDM [44]*

### **3.6.2 SLS (SELECTIVE LASER SINTETING)**

Esta tecnología permite imprimir objetos sin tener que pasar por una etapa de ensamble, o tener que hacer uso de aglutinantes intermediarios. Una vez desarrollado el modelo en CAD, éste será enviado en formato numérico a la impresora. Después se calienta, a una temperatura por debajo del punto de fusión del material de aportación, la placa de construcción y el depósito de polvo, y seguido, se aplica la primera capa de polvo en la placa de impresión. Un láser de CO<sub>2</sub> se encarga de escanear la siguiente capa y sintetiza selectivamente las partículas del material en polvo. Se escanea toda la sección transversal del objeto, por lo que se ira construyendo de forma sólida. Una vez la capa este completada

la plataforma sobre la que se encuentra la placa de impresión se desplazará hacia abajo y se vuelve a recubrir toda la superficie de material. Se repite esto hasta que se completa la pieza. Por último, habrá que esperar a que se enfríe el contenedor de polvo para dar paso a la limpieza y el postprocesamiento de la pieza, ya que se encuentra encapsulada en el polvo. Este parte puede llegar a durar hasta 12 horas. En esta clase de tecnología los materiales utilizados suelen ser los polímeros plásticos como la poliamida (PA 12), también llamado Nylon 12. También se puede utilizar con materiales como fibra de carbono, aluminio o vidrio, lo que mejora el comportamiento mecánico de las piezas. El uso de esta tecnología suele ser el desarrollo de prototipos, pero según va desarrollándose la tecnología, consiguiéndose trabajar con materiales más resistentes, se puede entrever el uso de SLS para el desarrollo de piezas finales. [52]



*Ilustración 7: Tecnología de impresión 3D SLS [44]*



### 3.6.3 SLA (SELECTIVE LASER SINTERING)

Esta técnica, también llamada estereolitografía utiliza resina fotopolimerizables como material de procesado. El proceso comienza introduciendo la bandeja de fabricación en una cuba llena de resina hasta que esté completamente sumergida, seguidamente, se utiliza un laser que es guiado por espejos galvanométricos que se mueven y enfocan el láser gracias a unos encoders de posicionamiento a los que están conectados; el láser va polimerizando capa a capa mientras la bandeja se va desplazando hacia abajo.

Las ventajas que aporta esta tecnología es a necesidad de incluir ficheros y acabado de piezas de alta precisión. También tiene la característica de que prácticamente no se desperdicia material, debido al gran aprovechamiento que esta tecnología hace de este. Y a su vez su relativa velocidad de fabricación lo hace uno de los procesos más rápidos de la fabricación aditiva. [53]

Utilizar este proceso también lleva el inconveniente de utilizar ficheros de soporte, que deberán ser eliminados tras su fabricación, lo que conlleva un postprocesado y curado, y además, solo es capaz de fabricar en un tipo de material a la vez. [52]

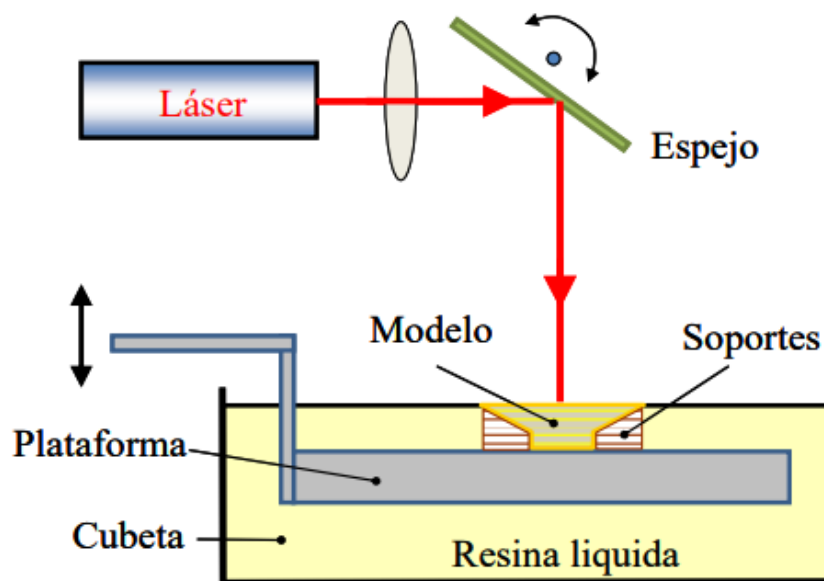


Ilustración 8: Tecnología de impresión 3D SLA

### **3.7 VENTAJAS DE LA FABRICACIÓN ADITIVA**

#### **a) Acelerar el tiempo de llegada al mercado**

Todas las empresas se enfrentan al reto de acelerar la introducción de nuevos productos (NPI), ser los primeros en el mercado y responder rápidamente a las necesidades de personalización y adaptación. Dado que la fabricación aditiva no requiere engorrosas herramientas ni revisiones de moldes, se eliminan el tiempo y los costes asociados al cambio de producción.

Una ventaja significativa de la aceleración del tiempo de comercialización mediante la impresión 3D es la reducción de los costes de creación de prototipos. Cuando un diseñador crea un prototipo, puede imprimir fácilmente el producto, probarlo, registrar los defectos y hacer cambios en el ordenador, de modo que el producto nuevo y mejorado está listo al día siguiente, mientras que la producción de un prototipo funcional con un método de fabricación tradicional puede llevar semanas o meses debido a los pasos y máquinas adicionales necesarios.

Si se realiza una demostración física de un nuevo producto con impresión 3D, los clientes e inversores no tendrán que imaginarse el aspecto y las capacidades de un producto con el riesgo de malentendidos o falsas esperanzas.

En general, la aceleración del tiempo de comercialización con la impresión 3D ayuda a la velocidad de introducción de nuevos productos, mejora la satisfacción del cliente y fomenta nuevos procesos de fabricación y de la cadena de suministro, como la fabricación distribuida.

#### **b) Reducción de los costes de almacenamiento e inventario con la fabricación distribuida**

Con la fabricación distribuida, las empresas pueden diseñar en un lugar y fabricar en otro más cercano al cliente, eliminando la necesidad de almacenamiento y reduciendo los costes de inventario. Cuando se combina con la impresión 3D, la fabricación distribuida puede ayudar a sustituir un modelo a menudo ineficiente de "fabricación contra stock" por otro de "fabricación contra pedido".

Se ha visto cómo la fabricación distribuida se ha convertido en un método esencial para las empresas, especialmente durante la pandemia. Los fabricantes de dispositivos médicos y sanitarios tuvieron que reducir su dependencia de las cadenas de suministro globales y de los costes logísticos y recurrir a la fabricación distribuida para producir productos escasos, como ventiladores, mascarillas y otros equipos de protección individual (EPI). Varias grandes empresas de fabricación aditiva citaron la velocidad de producción y la fabricación distribuida como factores clave en la lucha contra el COVID-19.

Cuando la fabricación aditiva se aplique adecuadamente, el potencial de avance de las estructuras de suministro de la fabricación no hará más que mejorar. La impresión 3D combinada con la fabricación distribuida puede ayudar a las industrias a crear una cadena de suministro más eficiente, sostenible y transparente.

### **c) Disponibilidad de tiempo para la flexibilidad del diseño con una cadena de suministro**

La tecnología de fabricación aditiva permite a los fabricantes de equipos originales producir menos componentes dentro de un mismo producto, lo que reduce considerablemente el inventario. La impresión 3D permite fabricar productos sin herramientas y consolidar los conjuntos en piezas únicas. Es una gran ventaja que la fabricación aditiva tiene sobre los procesos tradicionales.

El sencillo proceso de enviar un archivo de diseño asistido por ordenador (CAD) a un ordenador e imprimir el archivo significa que en el tiempo que se tarda en hacer una iteración con la fabricación tradicional, se pueden completar casi 20 iteraciones con la impresión 3D, mejorando el tiempo de comercialización.

El hecho de que la impresión 3D pueda reducir un componente de 60 piezas individuales a sólo cinco tiene un enorme efecto de filtración en toda la cadena de suministro.

#### **d) Fomento de la innovación con más libertad de diseño**

Para aprovechar realmente las ventajas de la fabricación aditiva como herramienta, hay que aprovechar la libertad de diseño. El diseño para la fabricación aditiva es único en sus métodos en comparación con el diseño a través de la fabricación tradicional. Por ejemplo, la impresión 3D permite a los fabricantes de equipos originales diseñar variaciones geométricas complejas en tres dimensiones, lo que es imposible de hacer mediante los procesos de fabricación tradicionales.

La capacidad de diseñar cualquier estructura con la impresión 3D da a los diseñadores la libertad de pensar en la pieza que quieren fabricar en relación con el producto completo. Esto les permite ver si hay formas nuevas y diferentes de combinar eficazmente varias piezas en una sola sin coste alguno, sin herramientas adicionales, sin tener que volver a fabricar o sin tiempo de fabricación.

#### **e) Mejora la experiencia del cliente con la personalización masiva**

Los consumidores quieren productos personalizados para ellos y no quieren esperar mucho para conseguirlos. Internet, combinado con la capacidad de fabricación aditiva, está cambiando la forma en que las empresas fabrican productos para el consumidor. Para algunas empresas, los consumidores pueden entrar en su sitio web, en varios sectores, y diseñar un producto a medida con los colores y materiales exactos que desean y recibir el producto en una semana. Los productos hechos a medida minimizan los costes de almacenamiento, envío y eliminación de los productos al final de su vida útil. La personalización en masa es una tendencia importante; también es una ventaja considerable de la impresión 3D que beneficia a la empresa y al consumidor.

La fabricación aditiva abre nuevas posibilidades de personalización porque no requiere costosos cambios de herramientas en función de las preferencias de los consumidores. Varias industrias ya han implementado la impresión 3D para la personalización masiva.

Un reto importante para la personalización en masa con la impresión 3D es la producción en masa de productos personalizados a gran escala. Las mejoras en la velocidad de impresión podrían ser una solución importante a este problema.

A pesar de este reto, la tecnología de fabricación aditiva sigue siendo un gran impulsor de la personalización masiva; es rentable y permite a las empresas dar a sus clientes más voz sobre el aspecto y el funcionamiento de un producto.

En esta era de la personalización y la adaptación, la capacidad de entregar rápidamente una producción de bajo volumen de forma rentable se ha convertido en un requisito empresarial.

**f) Satisface las demandas de producción de bajo y medio volumen**

Algunas empresas se ven limitadas por los costes y la logística de fabricación y entrega de lotes de producción de bajo y medio volumen; la impresión 3D puede solucionar esta situación.

Con las ventajas combinadas de un tiempo de comercialización más rápido, diseños y materiales innovadores, fabricación y producción distribuidas, y producción bajo demanda y en el lugar, las empresas pueden satisfacer la demanda de los clientes de lotes de producción de bajo y medio volumen.

Si considera que la fabricación aditiva es un ajuste apropiado para su negocio, tendrá que sopesar las opciones de ejecutar la impresión 3D internamente o a través de un socio.

Aproximadamente tres de cada 10 empresarios predicen que sus empresas utilizarán una combinación equilibrada de fabricación interna y subcontratación. [14]

### **3.8 UTILLAJES**

Los utillajes son todas las herramientas y utensilios que permiten al trabajador realizar una determinada tarea en el proceso productivo. Se diferencia de la maquinaria en que se fabrica con el objetivo de que haga una operación en concreto, mientras que la maquinaria acostumbra a tener más de uno. También los utillajes son utilizados manualmente, mientras que casi todas las maquinarias están automatizadas.

El utillaje en si, presenta una ventaja considerable en el proceso de producción ya que se abaratan costes, se reduce el tiempo de fabricación los procesos ganan intercambiabilidad y uniformidad y el producto final consigue una mayor precisión.

Los principales requisitos a cumplir del utillaje de soldadura han de ser:

- Buena precisión de localización: su función más importante es establecer y mantener la posición adecuada de las partes a soldar a lo largo del ciclo de soldadura, y debe producir partes repetidamente con poca o nula distorsión en su ciclo de vida.
- Fácil de operar: todas las áreas a soldar deben de ser fácilmente accesibles, y el control de temperatura en el área debe ser mantenido. Deben de realizarse todas las operaciones posibles antes de mover la pieza en la herramienta.
- Fácil de reconfigurar: solo han de sujetarse rígidamente las dimensiones esenciales. Siempre que sea posible las soldaduras se deben realizar en un plano y en horizontal. Se tiene que ajustar como se necesite y requiriendo poco tiempo para ello

Los utillajes de soldadura presentan como principal problema, su constante necesidad de cambiar de geometría requiriendo de útiles que se puedan adaptar y sujeten la pieza durante el proceso, pero mecanizar dichos útiles eleva tanto los costes como el tiempo de espera. [16]

## Capítulo 4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

### 4.1 ELECCIÓN DEL ÚTIL A DESARROLLAR

El primer paso a seguir en este proyecto es elegir el útil que se desarrollará. A la hora de elegir, se debe seleccionar primeramente si el útil será una creación propia desde cero, o se basará en uno ya fabricado. Debido a la facilidad de mejorar una ya fabricado, frente a uno partiendo de la nada, se decidió elegir el primero, ya que para fabricar el segundo se necesitan conocimientos mucho más avanzados tanto para el manejo de diseño 3D como para cumplir con todas las propiedades adecuadas de un útil para soldadura.

#### 4.1.1 PIHER SARGENTO DE FUNDICIÓN F-50

Los sargentos se utilizan para sujetar una pieza a una mesa de trabajo o para mantener juntas dos piezas durante una operación de soldadura, secado, perforación o corte. Las características para clasificarlos son por su abertura (capacidad de sujeción, que va desde uno centímetros hasta varios metros), por su profundidad (como de largos son sus salientes, que puede llegar a 20 cm) y por su capacidad de sujeción (de hasta 1200 kg).

Además, este sargento efectúa la sujeción por roscado, ya que utiliza un tornillo para ello, de ahí que este útil sea conocido como sargento de tornillo de apriete. Este es el tipo de sargento más utilizado, constituyendo el 40% de los sargentos que existen. El roscado que utiliza es resistente tanto a las salpicaduras de soldadura, como a la suciedad o a los golpes. La barra perpendicular al eje del tornillo permite elevados pares de apriete. [50software]

Sus inconvenientes son: su precio, ya que, al estar normalizado, no es muy alto, lo que lo convierte en un útil difícil de abaratar con la fabricación aditiva; y el hecho de que al tener una superficie tan pequeña donde ejercer la fuerza, podría dejar marcas en las piezas a soldar, y es necesario protegerlas. Además, estos útiles suelen usarse en pares para equilibrar las fuerzas de apriete y restringir por completo su movimiento.



*Ilustración 9: Piher sargento de fundición F-50*

#### **4.1.2 ABRAZADERAS EN C CON ALMOHADILLAS GIRATORIAS**

Las pinzas a presión, subgrupo al que pertenecen las abrazaderas, son un tipo de alicate con el que se sujetan piezas para que se mantengan firmes y fijas durante el trabajo. Además suelen tener un tornillo en el extremo para adaptar la distancia entre sus mordazas para poder utilizarse con objetos de diferentes tamaños.

Este tipo de útil utiliza un mecanismo de resorte y palancas, que funcionan de la forma que una vez cerradas las mordazas se fijan de tal forma inamovible, para así dejar al operador total libertad de ambas manos.



Estas abrazaderas son de acero de aleación de cromo vanadio. También consta de un disparador que libera el apriete de forma rápida, y almohadillas giratorias en las puntas de las abrazaderas, para poder trabajar no solo con superficies planas, e incluso ángulos impares. Otra de sus ventajas gracias a su material de construcción es su capacidad de aguantar acero mientras se suelda, ya que aguanta grandes temperaturas. [20]

Su inconveniente radica en que el sistema de ajuste, apriete y liberación que constituye no se podría realizar en fabricación aditiva, sino mas bien las piezas de las mordazas, por lo que la elección de este útil no convence del todo.



*Ilustración 10: Abrazaderas en C con almohadillas giratorias [20]*

#### **4.1.3 ABRAZADERAS DE ÁNGULO RECTO DE 90 GRADOS**

Fabricado por fundición a presión con una aleación de aluminio de primera calidad, este útil es fuerte y a la vez ligero, pesando solo 920 g, es perfecto para enmarcar, taladrar, clavar o soldar. Consta con un mango de goma antideslizante, y una mandíbula giratoria ajustable que permite unir en un ángulo de 90 grados piezas de diferentes grosores. La mordaza giratoria está diseñada de forma que hace más fácil su sujeción, y sus orificios,

más largos que anchos hace que se pueda anclar incluso a la mesa de trabajo. Además, para garantizar una mayor vida útil del tornillo que utiliza el usillo, está fabricado en acero al carbono, con un tratamiento térmico. [22]

El inconveniente que se le ve a este útil es que recientemente ya se realizó un trabajo de fin de grado con un tema bastante similar a este, que desarrolla este útil en fabricación aditiva.



*Ilustración 11: Abrazaderas de ángulo recto de 90 grados [22]*

#### **4.1.4 ESCUADRA MAGNÉTICA DE SOLDADURA**

Esta pieza se fabrica por fundición y una posterior soldadura de sus partes. Es muy útil para sujetar piezas metálicas a soldar, pudiendo soldar piezas en 30°, 40° 60° y 90°, aunque este proyecto se centrará en soldaduras de 90°. Su función se describe como para un posicionamiento fácil, y la inmovilización de las piezas, no necesita mantenimiento y aguanta una temperatura máxima de 80°C. Posee unos potentes imanes capaces de ejercer una fuerza magnética de hasta 40 kg. Las ventajas que ofrece este utillaje son, que su uso

es muy intuitivo, se adapta fácilmente, tiene una resistencia y utilidad elevada y proporciona una fuerza de agarre muy grande. [23]

Debido a su geometría sencilla, su novedad de utilización de imanes y su fácil capacidad de mejorarla con el diseño generativo o la optimización topológica se ha decidido trabajar con esta pieza.



*Ilustración 12: Escuadra magnética de soldadura*

## **4.2 OBJETIVOS**

Los objetivos principales del trabajo son los listados a continuación:

- Conseguir amplia variedad de conocimientos sobre la fabricación aditiva, y su implementación en el sector industrial.

- Lograr conseguir un utillaje para soldadura por medio de la fabricación aditiva que supere o mejore las características de utillajes previos fabricados por otros métodos
- Aprender a manejar con destreza las tecnologías utilizadas en el proceso, ya sean las distintas máquinas de impresión 3D o los diferentes softwares de diseño asistido por ordenador o CAD.
- Determinar fallo o defectos que pueda ocasionar los utillajes fabricados por fabricación aditiva.

### **4.3 METODOLOGÍA**

Este trabajo de investigación se centra en el diseño y desarrollo de una solución a un problema como el de fabricar un utillaje para soldadura que cumpla con los requisitos de la industria actual, igualando o mejorando las cualidades obtenidas por otros métodos de fabricación. Es por ello que se necesitan de distintas fases para su desarrollo correcto, las cuales se presentan a continuación.

- I. **Documentación:** reunir suficiente información y conocimiento para redactar el estado del arte y la introducción.
- II. **Selección del utillaje a modelar:** estudio de los diferentes tipos de utillajes, eligiendo el que más se adapte al tipo y posición de la soldadura elegida, al igual que los materiales.
- III. **Modelaje, fabricación y utillaje del utillaje seleccionado:** una vez elegido el utillaje, se dispondrá a su modelaje, y fabricación en las impresoras de la universidad.
- IV. **Análisis y comparativa de características del utillaje:** cuando se tenga la pieza ya terminada, se procederá a comprobar su uso a través de ensayos controlados.
- V. **Conclusión del proyecto basándose en los resultados obtenidos:** finalmente se concluirá si el utillaje diseñado es lo suficientemente rentable para su implantación en el sector.

Tareas a realizar	Enero			Febrero				Marzo					Abril				Mayo			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Introducción y estado del arte	■	■	■	■																
Propuesta de utillaje					■	■														
Desarrollo							■	■	■	■	■									
Implantación y ensayos												■	■	■						
Resultados															■	■				
Conclusiones																	■	■	■	

*Ilustración 13: Planificación general del TFG*

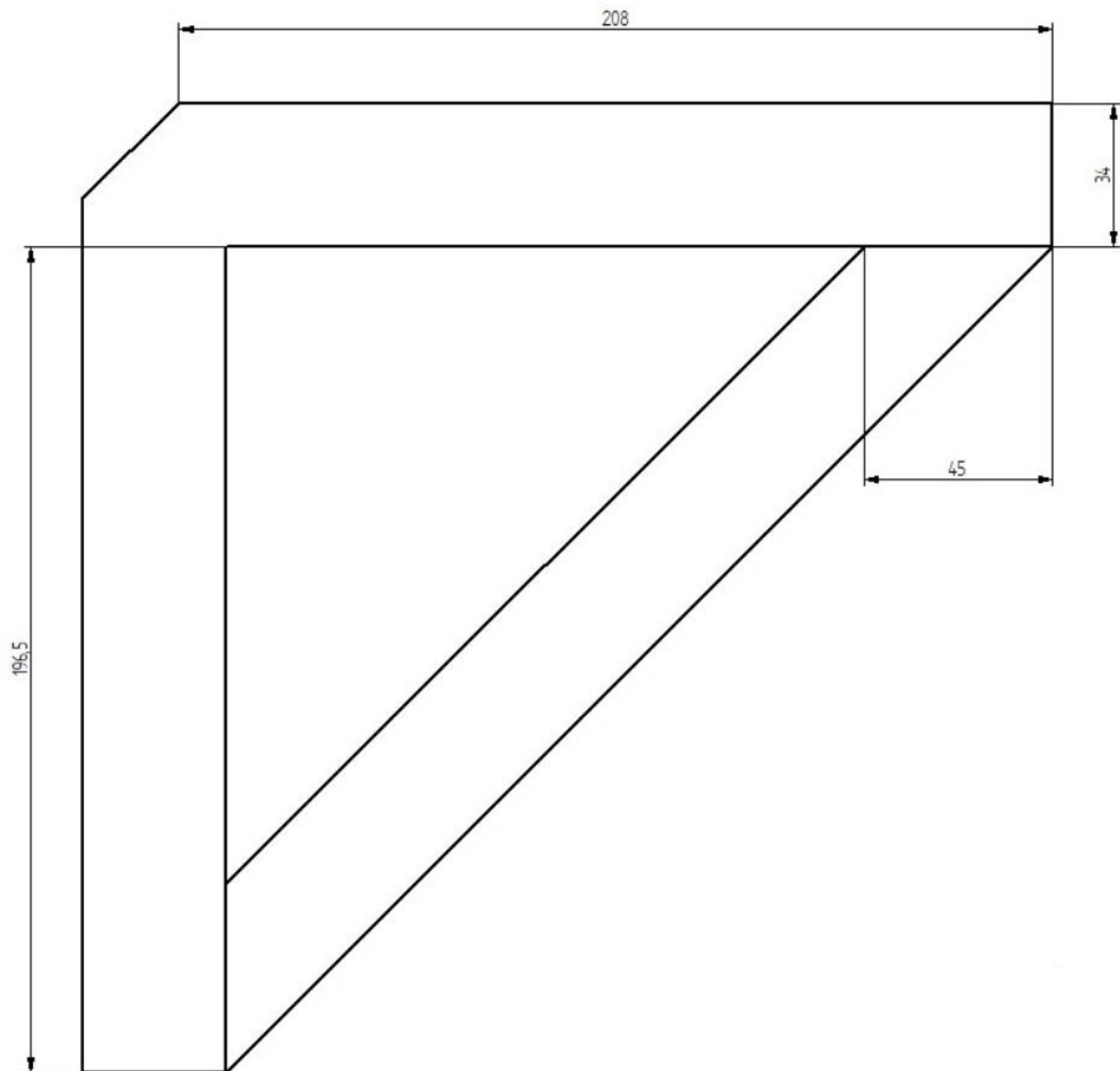
## **Capítulo 5. SISTEMA/MODELO DESARROLLADO**

En este capítulo se va a seguir paso a paso todo el proceso hasta que se obtenga la pieza final. Incluirá el diseño de la pieza, su fabricación y sus ensayos de resistencia.

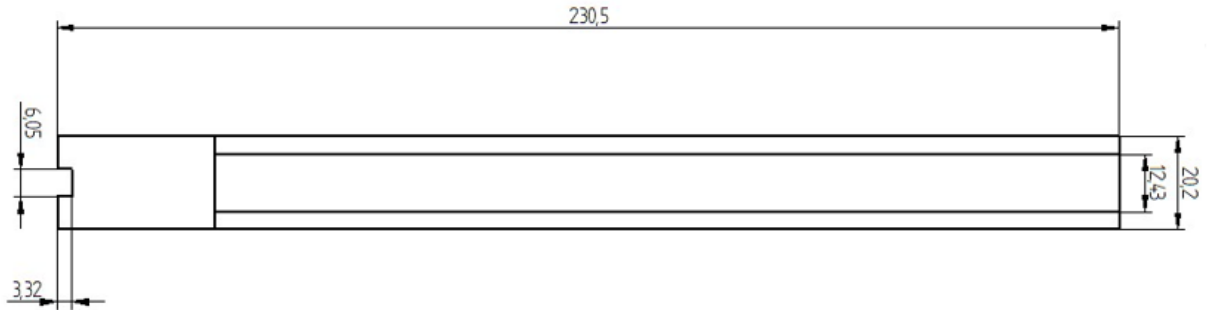
### ***5.1 MEDIDA DE LA PIEZA ORIGINAL***

El primer paso que se hizo fue tomar las medidas de la escuadra magnética para conocer en que dimensiones se está trabajando, y se realizó un croquis para tenerlo a mano. Para tomar las medidas se utilizó un pie de rey digital con una incertidumbre de 0.01 mm del que se habla más a fondo en el Anexo 1.

Algunas medidas no se pudieron tomar de manera exacta, ya que, al estar soldada la escuadra, el cordón de soldadura que quedaba impedía que el pie de rey se ajustara de forma correcta. También se omitieron los agujeros pasantes que presentaba la escuadra original ya que su utilidad era meramente para la sujeción de esta en un soporte de pared. El croquis se realizó por medio de una aplicación de dibujo digital y quedó tal que así.



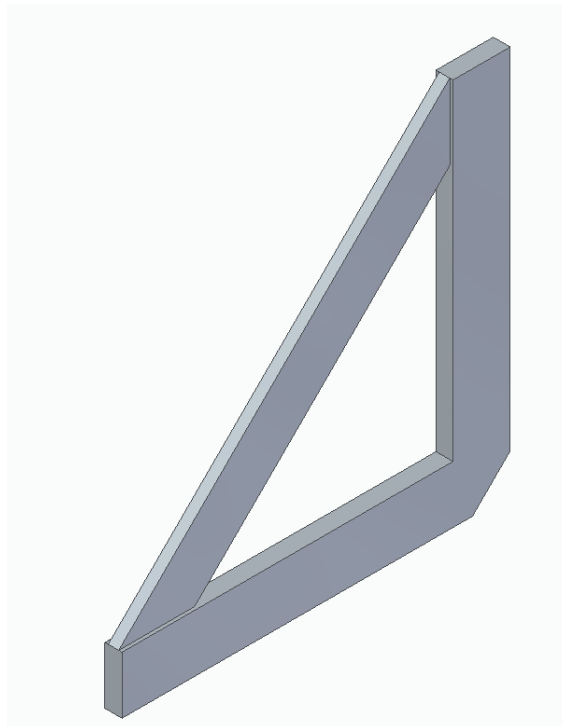
*Ilustración 14: Croquis de la escuadra magnética (Planta)*



*Ilustración 15: Croquis de la escuadra magnética (Alzado)*

## 5.2 DISEÑO

Una vez hecho el diseño se extrudió en solid Edge y quedo tal que así

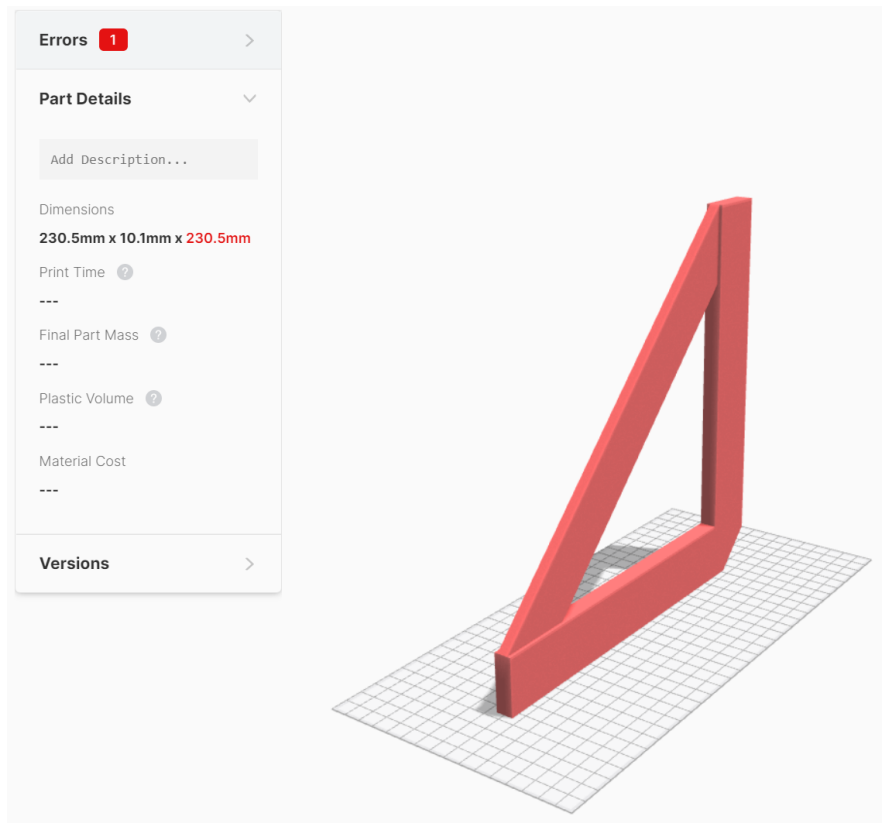


*Ilustración 16: Escuadra magnética en Solid Edge*



Se convirtió a un archivo STL para que la impresora pudiera leerlo, y se subió a la plataforma digital Eiger Cloud para que el sistema pudiera analizarla.

En Eiger Cloud se observó que la pieza sobrepasaba los límites de la cama de impresión, y será necesario un reajuste o rediseño de la pieza.



*Ilustración 17: Escuadra magnética en el software Eiger.io*

### **5.3 IMANES**

Debido a que la escuadra original estaba construida con un material imantable, no presentaba ningún problema el pegar la lámina del imán a la pieza, ya que las fuerzas magnéticas hacían su trabajo. Pero en el caso de la pieza realizada por fabricación aditiva,

al no contar con materiales magnéticos tendremos que idear alguna solución para conseguir que la escuadra realice la misma función que su original.

Para ello se consiguieron unos imanes de la marca magnetpro, con un tamaño de 60 x 13.5 x 5 mm que son capaces de ejercer una fuerza de 30 kg. Dichos imanes constan de 3 piezas: una cápsula de metal A3 que se usa como base o recipiente donde apoyar el metal, un fuerte imán de neodimio, que consta con 3 capas de protección Níquel-Cobre-Níquel, y 2 tornillos de rosca M3 de 16 mm de hierro 304. Tanto el imán como la placa base cuentan con agujeros pasantes para los tornillos. [46]



*Ilustración 18: Imanes magnetpro [46]*

#### **5.4 INSERTOS ROSCADOS**

Debido a que los imanes mencionados deberán ir unidos a la pieza mediante unos tornillos, surge el problema de no poder realizar el agujero roscado mediante impresión 3D, ya que,

al ser una geometría tan pequeña, el material no será suficiente para aguantar la fuerza que haga el tornillo pudiendo llegar a desprenderse este.

Como solución a este problema se utilizarán unos insertos roscados, que consiste en un cilindro hueco, cuya superficie exterior contiene un moleteado para agarrarse al agujero que se haya creado previamente, y cuya cara interior contiene un agujero roscado para la introducción del tornillo. De esta forma los insertos roscados permiten crear robustas tuercas que añaden precisión y resistencia al desgaste en piezas fabricadas con plástico u otros materiales con una resistencia al cizallamiento baja.

Existen distintos tipos de insertos roscados para la fabricación aditiva, como los insertos roscados por expansión de plásticos o la tuerca en una muesca impresa a medida en 3D; aunque nosotros utilizaremos los insertos termofijados para plásticos. Estos insertos están diseñados para su aplicación en materiales termoplásticos. Son ideales para la tecnología FDM, mientras que por otros métodos como la SLA sería imposible, ya que la resina fotopolimerizable no se derrite cuando se calienta.

Su forma de utilización consiste en crear un agujero en la pieza con un diámetro ligeramente inferior al diámetro externo del inserto roscado. Una vez hecho esto se utilizará un soldador con punta de instalación para introducirla por dentro del inserto, que a su vez se colocará encima del agujero de la pieza. El inserto se calentará, y este ablandará el material de la pieza permitiendo que este se vaya introduciendo en la pieza. Una vez introducido del todo, y al retirar el soldador de punta el material y el inserto se enfriarán y quedarán ajustados fijamente.

El inserto elegido tiene unas medidas de 5.7 mm de profundidad y una rosca M3. Su diámetro exterior es de 4.6 mm, pero en su descripción se nos facilita que el agujero a crear deberá tener 4 mm de diámetro. El moleteado de estas tuercas tiene un diseño geométrico con espirales en direcciones opuestas, otorgando al inserto un agarre mas potente. El material con el que están fabricados es latón de alta calidad que ofrece una resistencia a la corrosión y conductividad térmica óptimas. [29]



*Ilustración 19: Insertos roscados ruthex [29]*

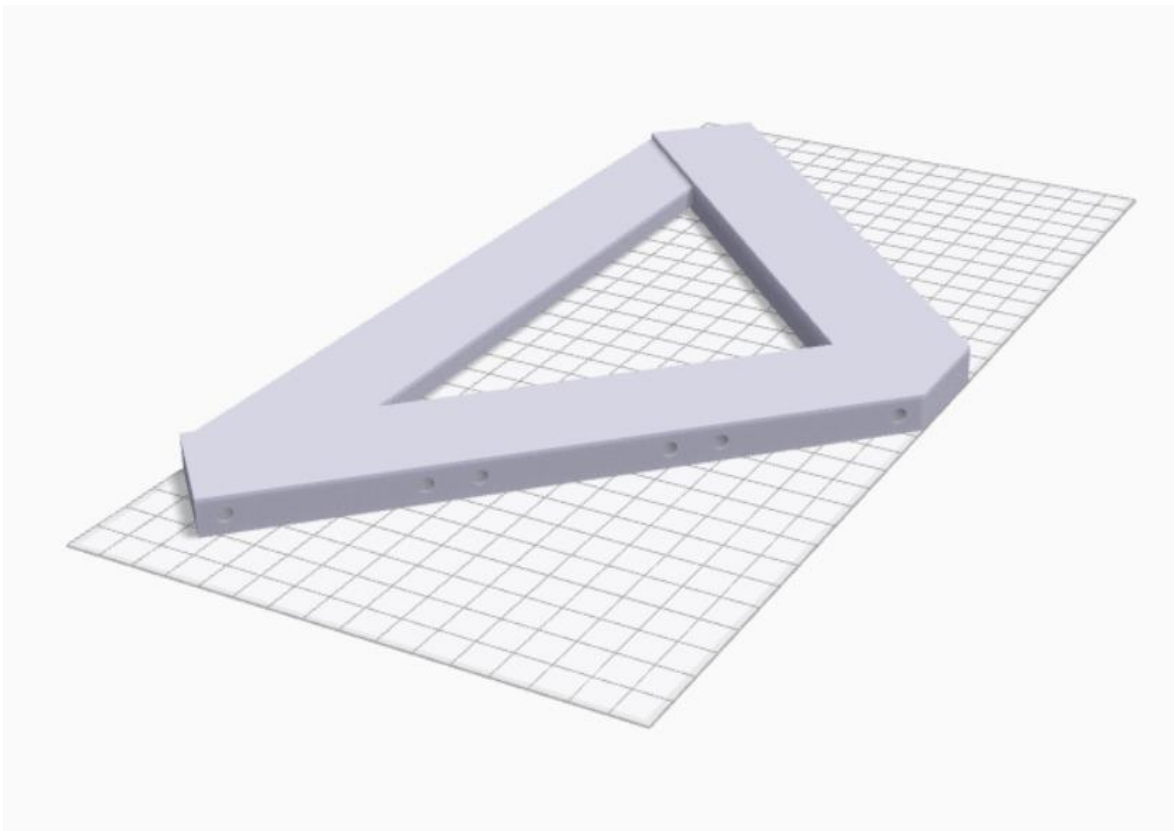
## **5.5 REDISEÑO DE LA PIEZA**

La pieza se rediseñó haciendo un ajuste de escala a la vez que se orientó con otra cara diferente a la que pusimos previamente, no solo con el fin de que la pieza cupiera en la bandeja de impresión, sino también para que la base tuviera la mayor superficie posible apoyada en la bandeja. Esto se hace con el fin de que el interior de la pieza pueda ser diseñado con unos patrones de relleno los cuales no serían posibles con una orientación diferente. También, con motivo de los posteriores análisis por elementos finitos, de esta forma las fibras podrán ser colocadas en distintas orientaciones, mientras que, con la orientación anterior, solo sería posible colocarlas en forma horizontal.

El reajuste se hizo sabiendo que la máxima escala que admitiría el software Eiger sería de 320x132x154. Por ello, y sabiendo que nuestra pieza tiene una geometría casi igual a un triángulo rectángulo se decidió que las dimensiones que se ajustarían mejor para permitir la

máxima escala serían el lado correspondiente a la hipotenusa del triángulo (ya que es el lado más largo) como el largo de la pieza y la distancia de la bisectriz del ángulo recto hasta su lado contrario. De esta forma la escala queda como 1:1.091, reduciendo así el tamaño, peso, tiempo de impresión y precio.

Sobre el material base, se elegirá el Onyx sobre el nylon, ya que el primero es más barato a la vez que tiene una temperatura de trabajo más alta que el segundo. No se añadirá fibra de refuerzo en primera instancia para comprobar si no sería necesario añadirla.



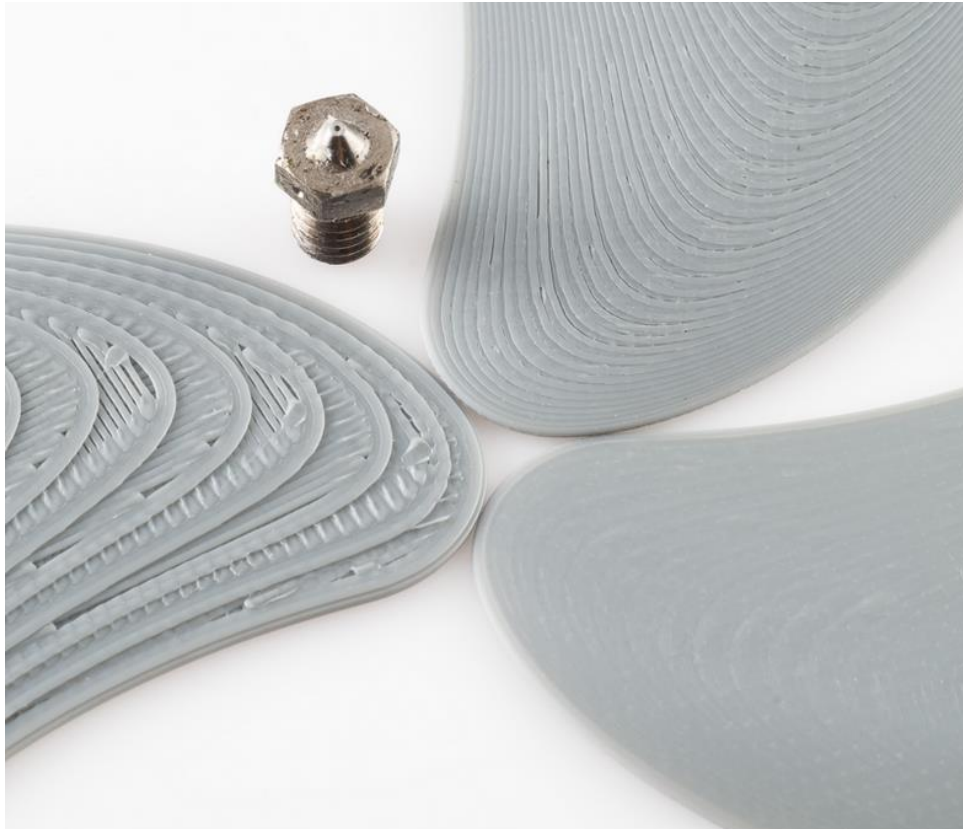
*Ilustración 20: Escuadra magnética en el software Eiger.io 2*

## **5.6 PARÁMETROS DE IMPRESIÓN**

A la hora de imprimir la pieza una vez diseñada, el software te pedirá una serie de parámetros a diseñar que modificaran el tiempo, peso, volumen y coste de la pieza. Estos

parámetros también modificarán su acabado final y características técnicas como los esfuerzos máximos admisibles. Los parámetros a elegir son.

### 5.6.1 ALTURA DE CAPA



*Ilustración 21: Distintos tipos de altura de capa [32]*

Como se ha explicado anteriormente la fabricación aditiva consiste en ir depositando material capa a capa, y esas capas necesitan ser definidas con una altura de capa determinada, que mejorara su definición y resolución. La resolución influye en el tiempo de impresión, que aumenta cuando se aumenta la resolución. Esto a su vez, también repercute en el coste final. Las resoluciones que existen son:

- 0.05mm para objetos muy pequeños
- 0.1mm para alta resolución sugerida para la mayoría de proyectos
- 0.2mm para resolución de uso general



- 0.3mm para resolución baja para proyectos económicos y resistentes
- 0.4 - 0.6mm para proyectos muy grandes [32]

Se empezará usando una **altura de capa de 0.2**, ya que es el máximo permitido por la impresora ya que al ser un útil de soldadura que utiliza imanes como método de sujeción se priorizará más el tiempo de impresión sobre la resolución de la pieza.

### **5.6.2 ORIENTACIÓN DE LA PIEZA**

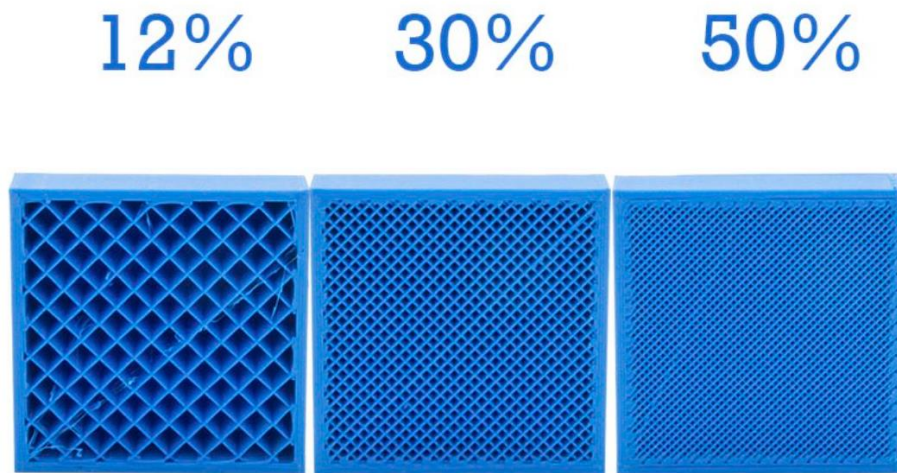
La orientación de la pieza ya se comentó en puntos anteriores será apoyando la máxima superficie sobre la cama de impresión, ya que de esta forma se permite el mayor tamaño posible de la pieza. Además de esta forma también se ahorrará material, ya que no serán necesarios tantos apoyos como supondrían otras orientaciones. Otra ventaja técnica que ofrece esta orientación es que, debido a que las piezas se imprimen capa a capa, las fibras estarán dispuestas para aguantar los esfuerzos de la mejor forma posible, ya que de cualquier otra forma las capas tendrán tan poca superficie en algunas zonas que harán que sus características mecánicas sean peores a las conseguidas.

### **5.6.3 NÚMERO DE CAPAS EN PAREDES, SUELO Y TECHO**

Como ya se explicó, las piezas fabricadas con FA son construidos con un numero de capas en el exterior, y un relleno en el interior que tendrá un determinado patrón. El software Eiger.io nos deja diferenciar entre el numero de capas que se pueden colocar en las paredes, y en el suelo y techo. Además el propio software te recomienda un numero de capas dependiendo de la pieza que estes construyendo. En este caso recomienda 4 capas para el suelo y el techo y 2 para las paredes, pero debido a que el software no sabe donde aguantará los esfuerzos mecánicos y térmicos, no se consideró que esto fuera la configuración mas adecuada, así que para el **techo y las paredes** se dispuso de **3 capas** ya que no serán las caras donde mas riesgo se tome, y así se consigue un ahorro al recortar una capa. En el caso de las **paredes** se dispuso de **4 capas** ya que son las que recibirán la

carga térmica en primera estancia, por lo que se considera las zonas mas criticas como se comprobará al realizar los ensayos.

#### 5.6.4 DENSIDAD DE RELLENO Y PATRONES DE RELLENO



*Ilustración 22: Distintos tipos de densidad de relleno [33]*

La densidad de relleno, también llamado cura o infill, hace referencia al porcentaje de pieza que estará llena de material dentro de las capas exteriores, siendo 0% cuando la pieza es hueca, y 100% cuando la pieza es completamente compacta. Esto afecta a la producción aumentando o disminuyendo el material utilizado, los costes y el peso de la pieza final; y desde el punto de vista de la impresión, aumentará o disminuirá el tiempo de impresión.

Dependiendo del uso que se le vaya a dar al objeto 3D tendrá una densidad específica:

##### **Densidad de relleno para modelos y figuras (0-15%)**

Se utiliza en modelos de impresión 3D que no requieren mucha resistencia ya sea aguantar un peso o someterse a esfuerzos mecánicos. Las matrices de relleno que se usan con esta densidad son en líneas o zigzag, debido a su rapidez al imprimir. Ambos patrones van

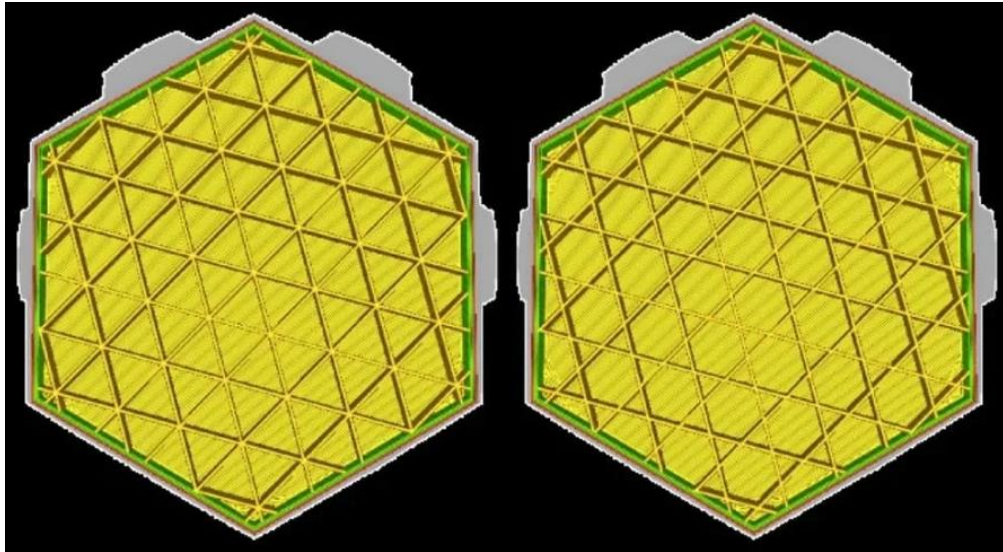


creando una rejilla en 2D imprimiendo solamente un eje por capa. La única diferencia que existe entre estos 2 patrones es que, mientras que por líneas genera varias líneas por capa, el zigzag genera una línea constante. [33]

### **Densidad de relleno para impresión 3D estándar (15-50%)**

Se utiliza para piezas que se van a ver sometidas a tensiones bajas. Esto conlleva que se usen unos patrones de relleno con una resistencia superior. Los más habituales son los de rejilla, triángulos y trihexágonos.

- **Rejillas:** muy parecido a los patrones ya mencionados. La única ventaja que muestra frente a los siguientes es que aumenta la velocidad de impresión, ya que es menos complejo.
- **Triángulos:** consiste en una malla 2D compuesta por triángulos. Muestra una particular ventaja que aumenta su resistencia a fuerzas aplicadas perpendicularmente a la cara del objeto. También es aplicable con modelos finos y rectangulares, para de esta forma aumentar las conexiones entre paredes.
- **Trihexágonos:** es el más complejo de los 3, ya que mezcla triángulos con hexágonos en el mismo patrón. Así se crea una relación de resistencia y uso de material bastante buena. La combinación de la geometría triangular con la hexagonal hace que las líneas de esta última sean más cortas para unir cada lado, así se reduce la probabilidad de que pieza se curve por una refrigeración inadecuada de la impresión. [34]

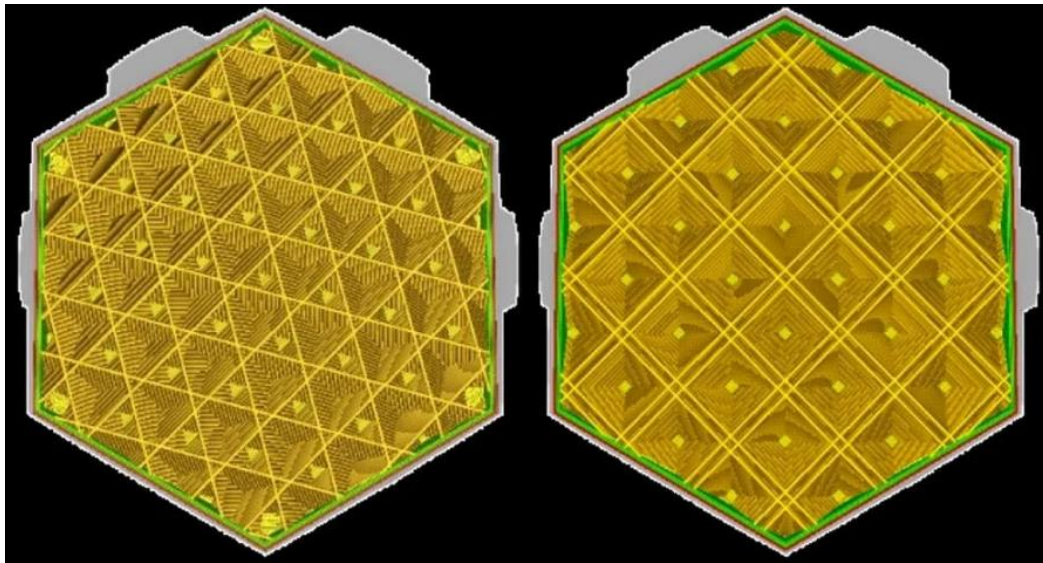


*Ilustración 23: Tipos de relleno para impresiones 3D estándar [33]*

### **Densidad de relleno para impresiones 3D funcionales (>50%)**

Las piezas con esta clase de relleno son aquellas que requieren alta resistencia en varias direcciones. Para ello se utilizan patrones de relleno como cúbico, subdivisión cubica, y giroide.

- **Cúbico:** utiliza una matriz compuesta de cubos inclinados y apilados.
- **Subdivisión cúbica:** una variación del patrón anterior que requiere de menos material.
- **Octeto:** muy parecido al cubico, solo que, en vez de cubos, apila formas piramidales.
- **Giroide:** es un patrón 3D que asemeja a la forma de las olas. Su principal ventaja es que es igual de resistente en todas las direcciones.



*Ilustración 24: Tipos de relleno para impresiones 3D funcionales [33]*

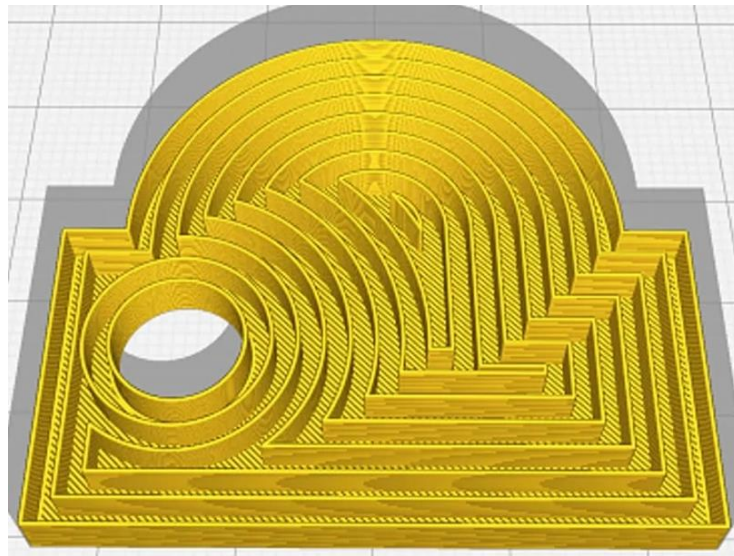


*Ilustración 25: Tipos de relleno para impresiones 3D funcionales 2 [33]*

**Densidad de relleno para impresiones 3D flexibles (0-100%)**

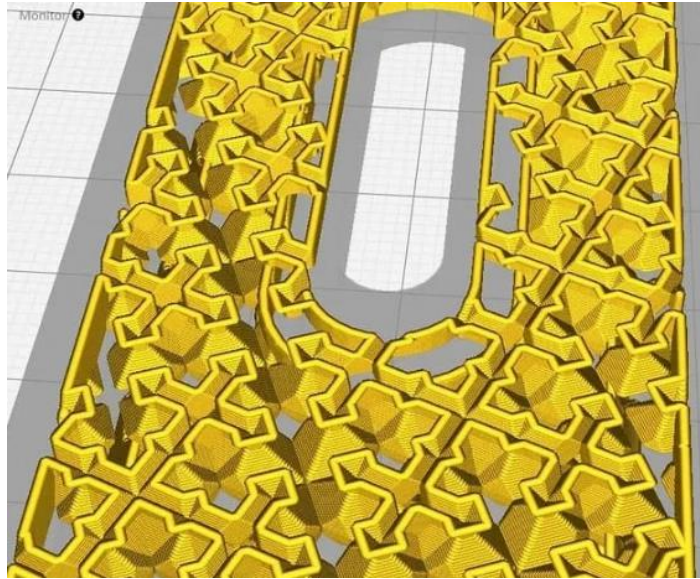
Se usa con piezas que utilizan filamentos flexibles como el PLA, para que una vez depositado en la pieza no pierda sus propiedades de flexión. Los patrones adecuados para estas piezas son el concéntrico, en cruz y cruz 3D.

- **Concéntrico:** Este patrón forma olas en el interior de la pieza, para crear una similitud entre este y las paredes exteriores. Una vez terminado queda una forma similar a cuando se tira una pieza al agua.
- **Cruz:** genera rejillas en 2D a partir de cruces originales, y de esta forma se generan unos huecos entre dichas cruces que permite torcer y doblar el objeto.
- **Cruz 3D:** similar a al patrón anterior, pero según van aumentando las capas, las cruces disminuyen su tamaño, formando unas pirámides con forma de cruz, quedando una pieza mucho más rígida.



*Ilustración 26: Tipos de relleno para impresiones 3D flexibles [33]*



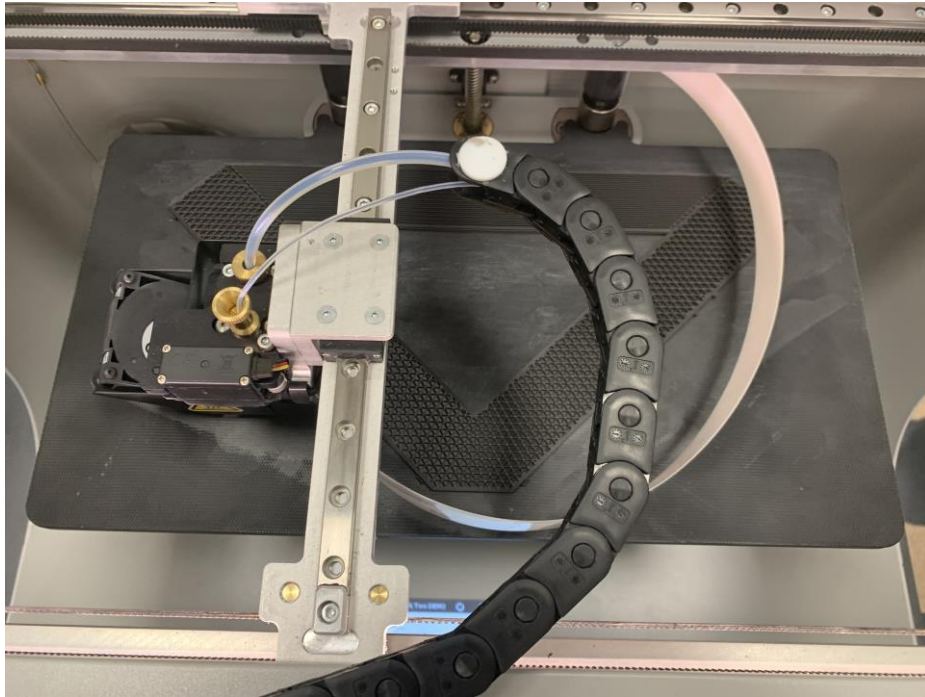


*Ilustración 27: Tipos de relleno para impresiones 3D flexibles [33]*

El software Eiger.Io permite imprimir utilizando los patrones triangular, hexagonal, rectangular, giroidal y sólido. Este último consistiría en darle un relleno del 100% y por eso no se ha descrito de el en los patrones anteriores. Para la primera impresión, se utilizará un **relleno del 40%** y el **patrón triangular** debido a su particular ventaja de aguantar esfuerzos perpendicularmente a su cara.

## **5.7 IMPRESIÓN Y MONTAJE DE LA PIEZA.**

Con los parámetros concretados en los apartados anteriores el resultado fue una pieza de Onyx sin fibras de refuerzo de 286.4mmx151.3mmx10.1mm que tardó en imprimirse 8 horas y 23 minutos con una masa de 113,26 g, volumen de 101.62 cm<sup>3</sup> y con un costo de 24.14 \$.



*Ilustración 28: Proceso de fabricación de la escuadra magnética.*

Una vez impresa la pieza se tuvo que realizar el post-procesado, que consistió en retirar los refuerzos que el software le dio a la pieza de forma automática, para que esta no se cayera mientras se construía. Estos refuerzos se encontraban en la hipotenusa de la escuadra, ya que al ser de un grosor menor al de los otros lados no estaba apoyada en la cama de impresión; y en los agujeros para los insertos roscados, ya que al tener la mitad de la pieza encima de estos agujeros, se podría haber desplomado el material antes de que se solidificara. Para retirar estos refuerzos se hizo uso de un set de post procesado multicraft de la marca Swiss Tools, que contiene punzones con puntas de acabado en V, recta, forma de L y doble doblado; además de unas pinzas.



*Ilustración 29: Herramientas para la limpieza y post-procesado de la pieza*



*Ilustración 30: Escudra magnética una vez terminado el proceso de fabricación*

A continuación, se realiza el montaje de los insertos roscados, para ello se utilizará una pistola térmica con el cabezal adecuado para la colocación de estos insertos. Esta pistola térmica funciona ejerciendo presión sobre el inserto roscado, una vez colocado sobre el agujero. Cuando el cabezal siente la presión que se le ejerce, este deja paso a una corriente eléctrica que calienta el inserto roscado y la zona de contacto con la pieza, de forma que se ablanda y permite la entrada de este. La temperatura que se le dio a la pistola fue de 150°C, superior a la temperatura de ablandamiento del Onyx.

Una vez colocados los 12 insertos (6 por cada cara) se procede al montaje de los imanes. Cada cara de los catetos de la escuadra permite la colocación de 3 imanes de los seleccionados. Pero debido a las tolerancias dimensionales, se tuvo que lijar un imán por cada cara, para reducir su longitud y facilitar su colocación.





*Ilustración 31: Escuadra magnética con imanes montados*

## **5.8 ENSAYO TÉRMICO**

Para conocer la utilidad real de este útil de sujeción para soldadura, se le realizó unos ensayos realizando varios cordones de soldadura MIG, el caso más extremo de las soldaduras a utilizar, para observar que clase de deformación sufrirá la pieza. Se utilizaron 2 piezas de acero de 4 mm de grosor, y unas dimensiones de 150 mm x 40 mm. Se le aplicó dos procesos diferentes, el proceso pulsado y el proceso normal. El proceso pulsado tiene la característica de someter a la pieza a una mayor temperatura, con una mayor corriente, unos 120 A, ya que se utiliza para grandes espesores a soldar; mientras que para el proceso normal se utilizara un amperaje inferior a los 100 A. Se decidió utilizar la

soldadura MIG en primera instancia, a pesar de ser la mas potente y por tanto la que más problemas podría presentar, para justiciar rápidamente si sería necesario añadir fibras de refuerzo.

Como se comentó en su momento, el software de diseño 3D tiene unas funciones para el diseño topológico y la simulación de la pieza. El problema es que los ensayos térmicos son menos elaborados y tienen menos rango de maniobra que los ensayos mecánicos, por lo que se concluyó que era más sencillo utilizar otra herramienta como es la cámara térmica.

Además, se utilizó esta cámara térmica para tener más exactitud del alcance de la zona afectada, para así tener una imagen mas clara de a que se enfrenta la pieza. La cámara térmica es de la marca FLIR, modelo T460, y es capaz de medir temperaturas de entre  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $1500^{\circ}\text{C}$  en 3 rangos con una precisión de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  o  $\pm 1\%$  de la lectura de un rango limitado de temperaturas. Se habla mas detenidamente de ella en el Anexo 1.

Para el ensayo se utilizó 2 placas de acero de 150 x 40 x 4 mm y el equipo de soldadura MIG utilizó corriente alterna con polaridad inversa, y un amperaje de 140 A.

Una vez realizado múltiples cordones se pudo notar que la zona mas afectada es la mas cercana a el punto donde se realiza la soldadura. Los primeros cordones que se realizaron no genero ningún efecto aparente en la pieza, pero después de realizar más cordones de soldadura, utilizando el proceso pulsado, la zona se calentó y empezó a ablandarse, quedando como resultado lo que se muestra en la imagen. Teniendo en cuenta que, en el sector de la soldadura, el tiempo es un parámetro diferencial, no es admisible un útil que solo pueda aguantar un par de piezas a soldar y luego tenga que reposar hasta que su temperatura descienda de nuevo. Por lo que se necesitará un reajuste o rediseño de la pieza para aguantar esta carga térmica.



*Ilustración 32: Ensayo térmico de un proceso de soldadura MIG*

La imagen muestra una superposición de una foto térmica sobre una foto digital, y se puede apreciar que la temperatura de las piezas a soldar es parecida a la de la parte más cercana de la escuadra, ya que el rango de temperaturas era de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $150^{\circ}\text{C}$ . Se puede asegurar que las zonas más calientes superaban los  $150^{\circ}\text{C}$  aunque no quedará registrado por el rango elegido.



*Ilustración 33: Escudra magnética tras el proceso de soldadura MIG*

Cómo condición extrema durante el ensayo también se tiró un cordón de soldadura por el lateral de la pieza, fuera de su zona de trabajo, para ver cómo se comportaba la escudra a unan distancia mas cercana, y el resultado fue el que se muestra en la imagen a continuación, además el imán más cercano a dicho cordón se vio sometido a tanta temperatura que su campo magnético se vio reducido y por tanto su fuerza magnética. Este fenómeno se da debido a la estructura atómica del imán, ya que la reducción del campo magnético ocurre gracias a que las partículas dentro del imán se mueven a mayor velocidad con movimientos más esporádicos a medida que aumenta su temperatura. [36]





*Ilustración 34: Lateral de la escuadra magnética tras el proceso de soldadura MIG*

## **5.9 REDISEÑO DE LA PIEZA 2**

Para el segundo rediseño del útil, la opción mas adecuada, a la vez que la mas simple sería añadir material de refuerzo a la zona que se verá mas afectada por la fuente de calor del equipo de soldadura.

### **5.9.1 MATERIAL DE REFUERZO**

El material de refuerzo elegido será la fibra de carbono, cuyo punto de fusión llega a los 3657°C superando las temperaturas registradas en los ensayos anteriores. Se ha decidido elegir esta en vez de la fibra de vidrio, ya que esta última no tiene punto de fusión como

tal, pero a los 2000°C empieza a degradarse habiendo excedido su temperatura de ablandamiento previamente. Esto obviamente elevará el precio de la pieza, ya que los materiales de refuerzo son mas caros que los materiales base, siendo el de la fibra de carbono unos 22 €.

Para elegir la cantidad de fibra de carbono que vamos a utilizar se midió en la escuadra la profundidad de la parte afectada, desde la cara más cercana a la zona donde se realizan las soldaduras. Se midieron unos 5 mm, que será la parte de la pieza en donde se sustituirá el onyx por fibra de carbono. Para ello tendremos que modificar los parámetros de impresión con el fin de que se adecue lo mas posible al resultado que se quiere obtener.

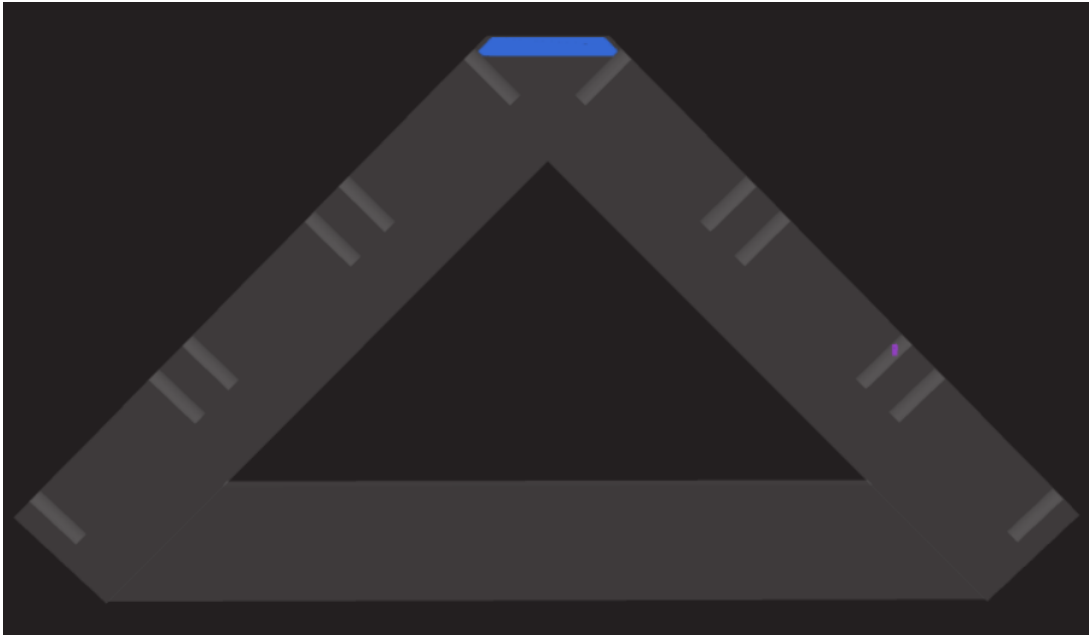
## **5.9.2 PARÁMETROS DE IMPRESIÓN**

En este apartado no se explicarán tan a fondo los parámetros de impresión, ya que se hizo previamente, en los parámetros del modelo anterior. Los parámetros elegidos para el nuevo útil son:

### **Altura de capa y colocación de la fibra de refuerzo**

La altura de capa en esta nueva pieza será de 0.125 mm. El cambio respecto al anterior modelo, se debe a la adición de la fibra de carbono como refuerzo, que solo permite añadir capas de 0.125 mm y puesto a que dicha fibra de carbono se ubica en su mayor parte, en el techo de la pieza, obliga a que todas las capas exteriores sean así de gruesas.

Esta restricción de altura de capa obliga a que tengamos que elegir las 40 capas superiores de la pieza como la zona en la que se aplicará el material de refuerzo. Ya que  $0.125 \text{ mm} \times 40 \text{ capas} = 5 \text{ mm}$ .



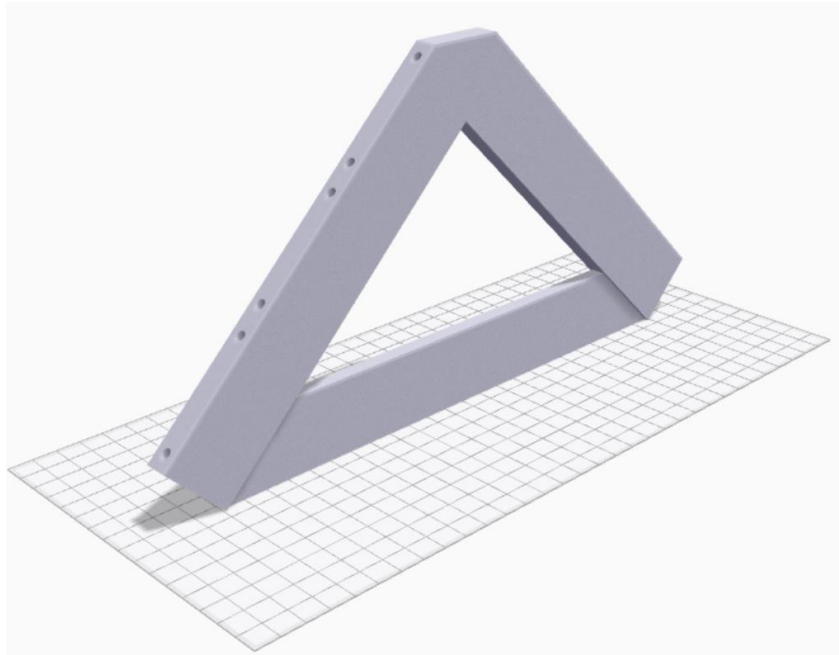
*Ilustración 35: Vista interna de la escuadra magnética en el software Eiger.io*

En esta imagen se muestra el interior de la pieza, siendo la zona azul la zona donde se coloca la fibra de refuerzo, y la zona morada la zona de soporte, colocándose esta únicamente en uno de los agujeros para los insertos roscados. La fibra de refuerzo fue elegida por el usuario, mientras que la fibra de soporte fue elegida por el software, ya que la considero necesaria.

El hecho de que la altura de capa sea de 0.125, al igual que la adición de fibra de refuerzo, encarece un poco la pieza, pero le da un mejor acabado y mejores propiedades térmicas y mecánicas.

### **Orientación de la pieza**

La orientación de la pieza también cambiara con respecto al modelo anterior, y esta vez también se debe a la adición de la fibra de carbono. Debido a que la zona donde se quiere colocar la fibra de refuerzo es la intersección entre los catetos de la escuadra y que la forma que tiene la impresora de extrudir las capas es en el plano horizontal, lleva a la decisión de colocar la pieza de la siguiente forma.



*Ilustración 36: Nueva orientación de la escuadra magnética en el software Eiger.io*

Al ser una pieza tan grande, apoyada en una superficie tan pequeña, se consideraba conveniente añadir material de apoyo, pero las simulaciones del software no daban ningún indicio de que fuera necesario, así que se decidió prescindir de ello.

Durante la extrusión de la pieza se apreció en las últimas capas que la pieza se balanceaba un poco debido al movimiento de la boquilla de extrusión, pero esto no perjudicó de forma alguna a la pieza, ya que no se apreció ninguna diferencia entre estas capas y el resto de la pieza.

### **Numero de capas en pared suelo y techo**

Las capas elegidas para las paredes, el suelo y el techo son 3 en todas sus caras, a pesar de que el software recomendaba 4 capas para el suelo y techo, y 2 para las paredes. Se ha tomado un valor intermedio, ya que el modelo anterior se eligió 4 para las paredes, debido a que una de ellas era lo que con la nueva orientación es el techo, que es la parte más sensible; y 3 para el suelo y techo, y no se notó ninguna clase de problema. De esta forma se reduce el tiempo de impresión y se abarata el coste de la pieza.

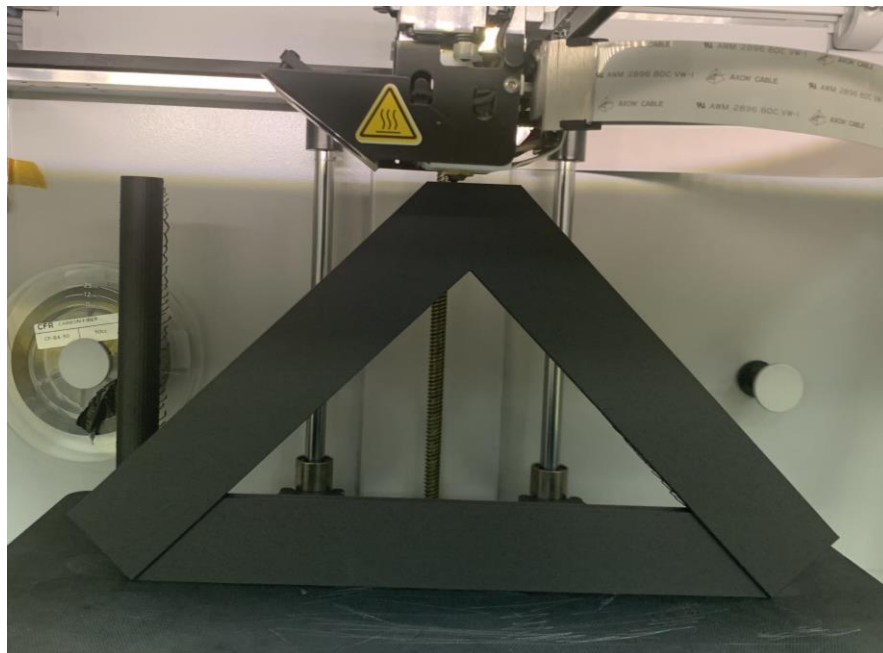


### **Densidad y patrón de relleno**

Para la densidad de relleno se decidió reducir del 40% al 35% ya que se apreció con los ensayos anteriores, que el relleno no influía tanto en el buen funcionamiento de la pieza. Lo que nos recomendaba el software era un 37% de relleno, así que el relleno elegido no está muy alejado del recomendado. Para el patrón del relleno se seguirá usando el triangular, ya que es el que mejor funciona.

### **5.9.3 IMPRESIÓN Y MONTAJE**

Con los parámetros concretados en los apartados anteriores el resultado fue una pieza de Onyx con fibras de carbono como refuerzo de 286.4mm x 10.1mm x 151.3mm que tardó en imprimirse 23 horas y 30 minutos con una masa de 123.1 g, volumen de 130.64 cm<sup>3</sup>, con un costo de 33.69 \$.

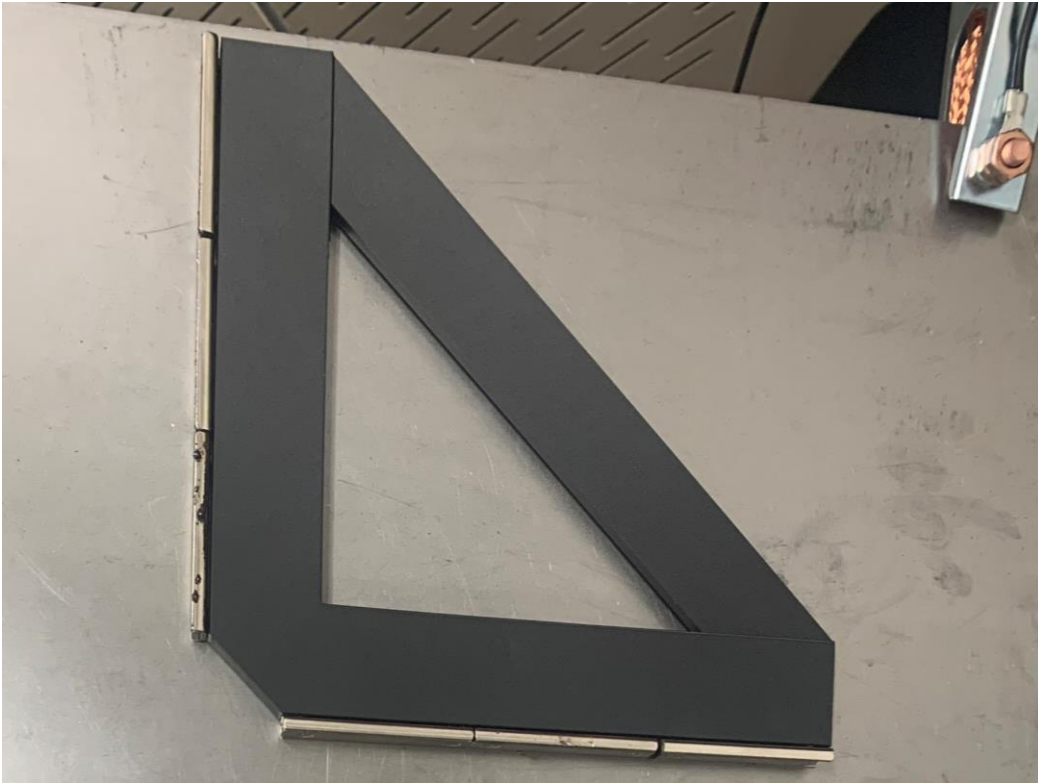


*Ilustración 37: Proceso de fabricación de la escuadra magnética con fibra de carbono*

Como se puede ver, el cambio de parámetros ha cambiado casi por completo la pieza final, ya que, debido a la nueva orientación y la fibra de refuerzo, el tiempo de impresión casi se ha triplicado, debido a que ahora hay muchas más capas y entre capa y capa el extrusor debía purgar material. La masa también ha aumentado debido a esta razón, ya que, aunque sus medidas sean las mismas ahora una parte de la pieza es de fibra de carbono, misma situación que se repite con el volumen. Y tanto el uso de fibra de carbono, como la orientación elegida llevan a incrementar el precio de la pieza a pesar de haber reducido otros parámetros como el relleno o el número de capas.

Gracias a que el software no requirió que se añadiera material de soporte, el post-procesado no será necesario como en la pieza anterior, y estará lista para su montaje nada más salir de la impresora.

Se seguirá el mismo proceso que en el útil anterior, colocando los insertos roscados con la pistola térmica. Aquí se tuvo especial cuidado, ya que no se sabía si los agujeros más cercanos a la zona con fibra de carbono se verían afectados por esta, impidiendo la entrada de los insertos en dichos agujeros, pero no se tuvo ninguna constancia de que se vieran afectados, y fueron montados con normalidad. Luego se colocaron los imanes con sus tornillos para completar el montaje de la pieza.



*Ilustración 38: Escuadra magnética con fibra de carbono con imanes montados.*

## **5.10 ENSAYOS TÉRMICOS 2**

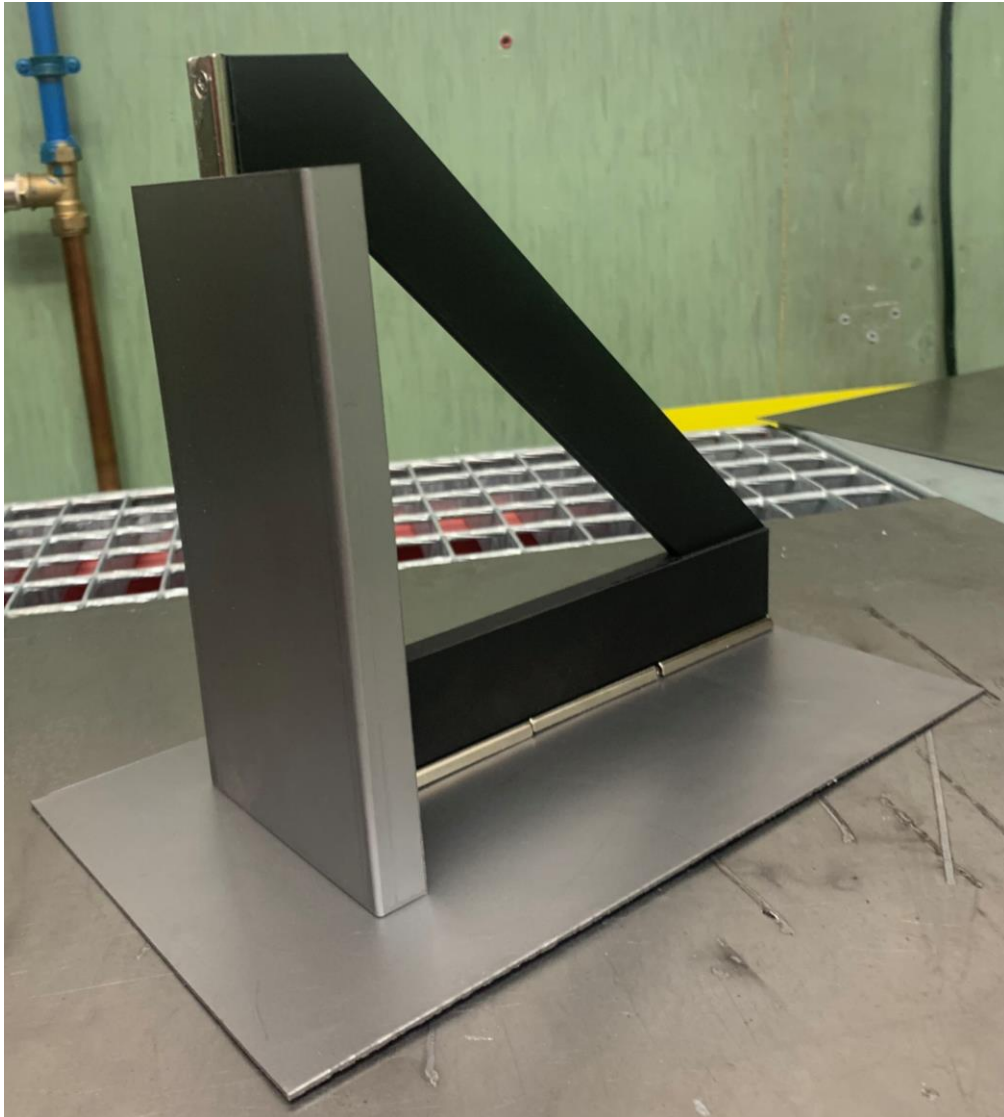
Con la nueva pieza ya montada se procederá a probar su resistencia al calor durante diferentes procesos de soldadura. Se ira probando de menos restrictivo a mas restrictivo para conocer su utilidad desde soldaduras con fuentes de calor mas controladas como la soldadura por láser, hasta aquellas cuya temperatura de trabajo es mayor como la soldadura MIG, utilizando como soldadura intermedia la de electrodo revestido.

### **5.10.1 SOLDADURA POR LÁSER**

Para este proceso utilizaremos 2 placas de acero de 2 mm con unas dimensiones de 180 mm x 100 mm; y 170 mm x 280 mm, para procurar la totalidad de la fuerza magnética de todos los imanes. Su montaje quedara de forma que se pueda realizar una soldadura en T como en la imagen que se muestra abajo.

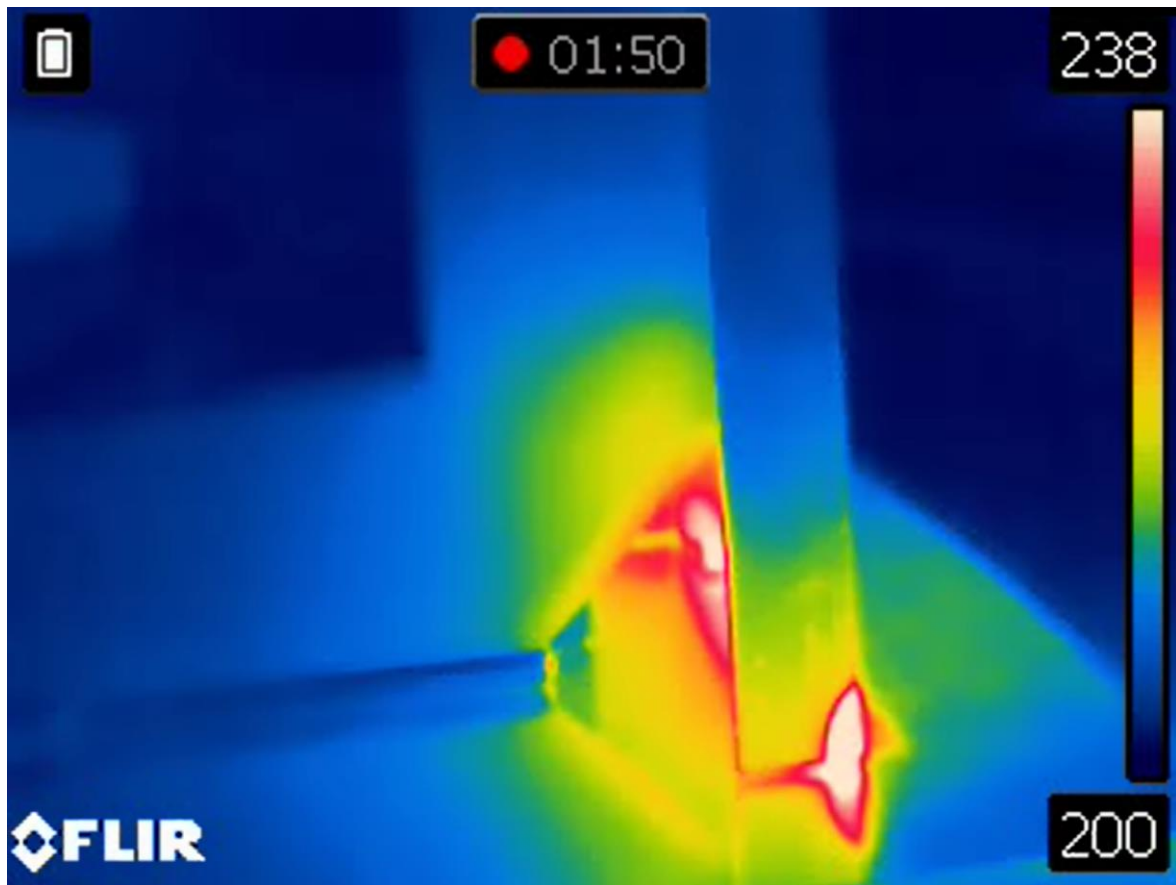


*Ilustración 39: Piezas utilizadas para el proceso de soldadura*



*Ilustración 40: Montaje para la soldadura por laser*

Una vez montado se colocó en la mesa de soldadura, se realizaron 3 puntos en los extremos y en la mitad de la unión de la pieza y se tiró un cordón de soldadura a muy baja velocidad, a pesar de que no era necesario ya que este proceso es muy rápido de por sí. Esto se hizo para someter al útil a unas condiciones más extremas para comprobar si en dicho caso también aguantaría la temperatura. Se hizo uso de la cámara térmica para medir otra vez la temperatura más alta que registre el útil.



*Ilustración 41: Ensayo térmico de un proceso de soldadura por láser*

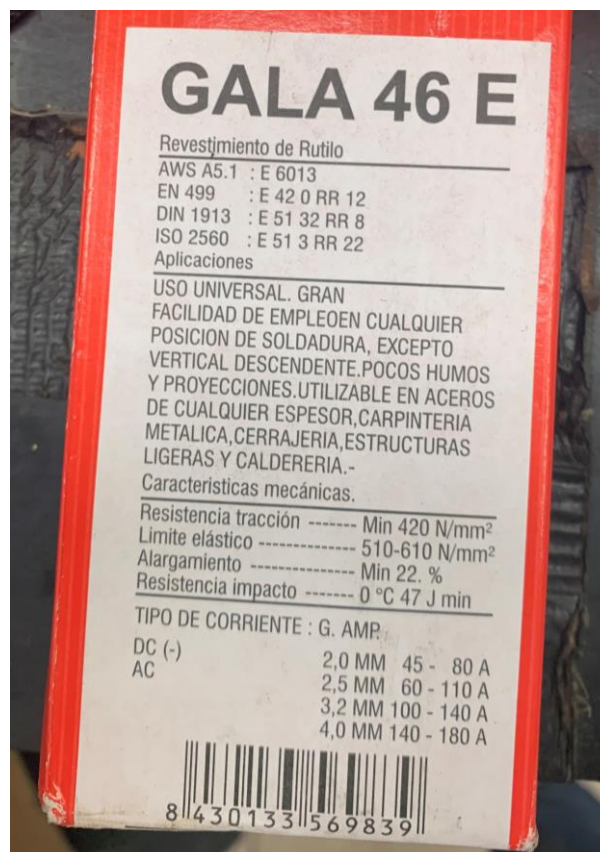
La cámara térmica registró una temperatura máxima de 533°C durante el proceso de soldadura. Una vez terminado dicho proceso se apreció que la parte más caliente de la escuadra debía estar a unos 217°C. Las temperaturas entre el útil y la pieza soldada eran mínima ya que el rango iba de 200°C y 238°C.

No se apreció ninguna diferencia o deformación en la escuadra magnética. Por lo que su uso para la soldadura láser sería admisible, confirmándose que el hecho de que la fuente de calor esté mas concentrada en un punto es beneficioso para la aplicación de la fabricación aditiva en el sector de la soldadura.



### 5.10.2 SOLDADURA POR ELECTRODO REVESTIDO

Para el proceso de soldadura por electrodo revestido se utilizó unas piezas de acero de dimensiones similares a las usadas en la soldadura por láser, pero con un grosor de 3 mm. También se usó un electrodo con revestimiento de rútilo. Como se especifica en la etiqueta de la caja de estos electrodos, se utilizó una corriente alterna alrededor de los 100 A, ya que como se explicó en los apartados de tipos de soldadura, son los adecuados para soldaduras que necesitan gran penetración, a la vez que un cordón ancho.



*Ilustración 42: Electrodo de rutilo utilizado*

En este caso la soldadura también será en T, y una vez acopladas las piezas a soldar a los imanes, se procedió a realizar un cordón por la cara externa de la intersección de las piezas. El proceso se documentó con la cámara térmica de nuevo.



*Ilustración 43: Ensayo térmico de un proceso de soldadura por electrodo revestido*

Durante el proceso de soldadura se llegaron a alcanzar temperaturas de 870°C en la pieza a soldar. Una vez terminado el proceso, la temperatura registrada en el útil era muy inferior a la registrada en la pieza soldada, la primera tenía una temperatura un poco por encima de los 200°C que era la temperatura mínima que podía registrarse en ese rango, la segunda por otro lado llegaba a los 500°C, aunque se iba reduciendo rápidamente. El rango de temperaturas elegida en este proceso fue de 200°C a 1500°C, por lo que se intuye que las zonas registradas como 200°C debieron ser inferiores a esta temperatura.

Se comprobó que la soldadura realizada fue correctamente aplicada, probando que las piezas estuvieran robustamente unidas.





*Ilustración 44: Resultado de la soldadura por electrodo revestido*

Después de comprobar la pieza se comprobó las posibles deformaciones que pudo haber sufrido la escuadra, y notamos unas ligeras quemaduras en la pieza, aunque son tan pequeñas que la pieza no sufrió ningún cambio que afectara a su utilidad, ya que para el siguiente proceso de soldadura que se realizó, la soldadura MIG, no se apreció ningún cambio en su comportamiento.



*Ilustración 45: Escuadra magnética después del proceso de soldadura por electrodo revestido*



*Ilustración 46: Escuadra magnética después del proceso de soldadura por electrodo revestido 2*

### 5.10.3 SOLDADURA MIG

Para este proceso de soldadura se reutilizo una de las planchas usadas en el proceso anterior y otra plancha de acero nueva de la misma dimensión, contando con un grosor de 3 mm. La unión otra vez fue en forma de T.

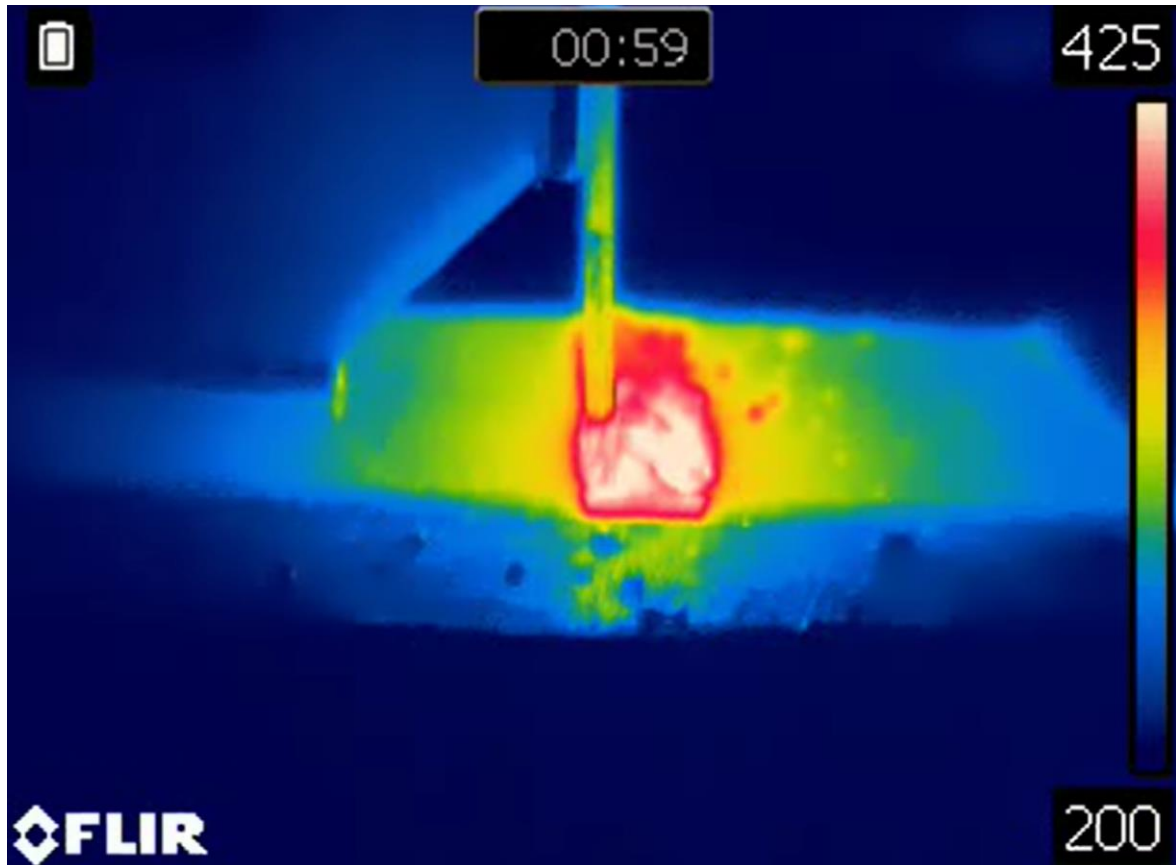


*Ilustración 47: Montaje para la soldadura MIG*

El cordón realizado se hizo con el proceso normal en vez del pulsado, para conocer el aguante del material en unas condiciones normales. La corriente aplicada fue de 80 A, la



adecuada para un proceso de soldadura con piezas de ese grosor. El proceso se documentó con la cámara térmica.



*Ilustración 48: Ensayo térmico de un proceso de soldadura MIG*

Durante el proceso, la máxima temperatura alcanzada era de 687°C en la pieza a soldar. Una vez terminado el proceso, la temperatura empezó a bajar rápidamente, pero se llegó a detectar una temperatura en el útil de 250°C, la temperatura más alta registrada en el útil hasta el momento.

Como se muestra en la imagen a continuación, la soldadura fue realizada correctamente y se comprobó que la unión era correcta.

Por otro lado, la escuadra no sufrió ninguna clase de deformación, y la temperatura de los imanes no llegó a tal de que la parte de la escuadra fabricada con onyx se viera afectada.



*Ilustración 49: Resultado de la soldadura MIG*

## **Capítulo 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Los resultados obtenidos durante los ensayos fueron adecuados y se podría considerar que la aplicación de la fabricación aditiva a los procesos de soldadura fue un éxito.

Para empezar, con el primer útil realizado se utilizó onyx sobre nylon ya que es mas barato y tiene una temperatura de trabajo mayor. Con esto, se mejoraron casi todas las características técnicas de la escuadra original. Ya que tanto su peso, como su tamaño o el tiempo necesario para fabricarlos, fue reducido notablemente, teniendo casi la misma fuerza magnética que el útil original. Además, el precio de la pieza fue de 24.14\$, que en euros serian 22.87€. A esto habría que añadirle el precio de los imanes y los insertos roscados, que elevarían la pieza a 37.57€ contra los 73.03€ de la escuadra magnética original.

Sobre los ensayos térmicos de esta pieza se confirmó lo que ya se creía evidente, que el material del que estaba hecho la primera pieza no pasaría las pruebas de soldadura. Se realizó el proceso más restrictivo de los seleccionados para este útil, el de la soldadura MIG, con ese objetivo. Ciertamente se podría haber empezado por el proceso menos restrictivo, para comprobar si con estos, la pieza habría aguantado las condiciones de la soldadura, pero el objetivo de este útil era comprobar su utilidad en los diferentes procesos de soldadura.

Una vez demostrado la necesidad de añadir fibras de refuerzo, se decidió que estas fueran de fibra de carbono ya que tienen una temperatura de fusión mucho mayor que la fibra de vidrio, y esta última empieza a degradarse una vez excedido su temperatura de ablandamiento previamente. De esta forma el precio de la pieza se incrementará, ya que los materiales de refuerzo son más caros que los materiales base. Además, para una correcta aplicación del material de refuerzo en la zona seleccionada para dicha aplicación, se cambió la orientación de la pieza, incrementando así el tiempo de fabricación de la pieza, a la vez que el precio, ya que con la nueva orientación el número de capas se incrementó

mucho, y entre capa y capa era necesario purgar el material de refuerzo. Una vez realizado todos los cambios se obtuvo una pieza de 33.63\$, que en euros serían 31.87€. A esto habría que añadirle el precio de los imanes y los insertos roscados, que elevarían la pieza a 46.57€ contra los 73.03€ de la escuadra magnética original y los 37.57€ de la pieza sin material de refuerzo.

Sobre los ensayos térmicos realizados a esta pieza, decidió realizarse de menos restrictivo a más restrictivo, para si fuera necesario, saber a partir de que proceso, el útil ya no es viable. Se empezó con la soldadura por láser, cuya fuente de calor más controlada, ayudaba a que la temperatura en el útil no se elevara tanto. Durante este proceso se detectó una temperatura máxima de 533°C en la pieza soldada, aunque en el útil fue de 217°C. La pieza no tuvo deformaciones de ninguna clase y se comprobó la utilidad de la escuadra magnética por fabricación aditiva para esta clase de proceso.

Se continuó con la aplicación de la soldadura por electrodo revestido, con un electrodo de rutilo. Durante el proceso, la temperatura máxima registrada en la pieza soldada fue de 870°C, pero en el útil se observaron temperaturas muy inferiores, ya que, con la escala de colores utilizada, apuntaba a que la zona más afectada de la escuadra se encontraba a una temperatura entre los 200°C y los 250°C. Una vez terminado el proceso se apreciaron unas pequeñas deformaciones en la cara más cercana a la zona de trabajo, aunque no se les dio mucha importancia, ya que su tamaño era mínimo, y al realizar soldaduras posteriores no se apreció ninguna diferencia en la zona afectada.

Por último, se volvió a utilizar la soldadura MIG, aquella que dañó la pieza sin refuerzo de fibra de carbono. Se realizó un proceso de soldadura normal, en vez de pulsado, ya que el grosor de las piezas a unir no ameritaba el uso de este. Durante el proceso, la pieza soldada llegó hasta los 687°C, pero la escuadra registro temperaturas alrededor de los 250°C. Cuando el proceso finalizó, no se registraron deformaciones de ninguna clase, y las marcas que aparecieron durante la soldadura por electrodo revestido, no se vieron afectadas, ni sufrieron ninguna modificación.

Una vez realizados los 3 procesos de soldadura, se comprobó que el útil no sufrió ninguna clase de deformación. Los imanes, tampoco se vieron afectados por el calor y su fuerza magnética siguió siendo la misma. Con todos estos resultados, se podría confirmar la aplicación de la fabricación aditiva a los procesos de soldadura, abriendo camino a un mundo de posibilidades nuevas.

A continuación, se adjunta una tabla de los costes de las piezas y de los ensayos realizados

	Coste de la pieza impresa	Coste de los imanes	Coste de los insertos roscados	Coste total del útil	Tiempo de fabricación
<b>Escuadra magnética original</b>				73.03€	
<b>Escuadra magnética de onyx</b>	22.87€	13.50€	1.20€	37.57€	8 horas y 23 minutos
<b>Escuadra magnética de onyx con fibra de carbono</b>	31.87€	13.50€	1.20€	46.57€	23 horas y 30 minutos

Tabla 6: Comparativa de costes económicos y tiempo de fabricación

	Máxima T° en la pieza soldada	Máxima T° en el útil	Deformación del útil
<b>Soldadura MIG con escuadra magnética de onyx</b>	>150°C	>150°C	SI
<b>Soldadura láser con escuadra magnética de onyx con fibra de carbono</b>	533°C	217°C	NO
<b>Soldadura por electrodo revestido con escuadra magnética de onyx con fibra de carbono</b>	870°C	205°C	NO
<b>Soldadura MIG con escuadra magnética de onyx con fibra de carbono</b>	687°C	250°C	NO



*Tabla 7: Análisis de temperaturas y deformaciones durante los ensayos de soldadura*

## Capítulo 7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Este proyecto tenía como objetivo principal lograr un utillaje para soldadura por medio de la fabricación aditiva que supere o mejore las características de utillajes previos fabricados por otros métodos. Además, se pretendía determinar fallos o defectos que pueda ocasionar los utillajes fabricados por fabricación aditiva aplicados al mundo de la soldadura.

Para conseguir el útil deseado que cumpla con los objetivos descritos, se desarrolló una escuadra magnética partiendo de un útil ya existente y se le aplicó la tecnología de impresión 3D. El resultado fue un útil fabricado con onyx y refuerzo de fibra de carbono con unos imanes, unidos a la pieza fabricada por fabricación aditiva, mediante unos insertos roscados.

La fabricación aditiva es un método de producción muy joven que aun se esta desarrollando, pero aun así ya presenta numerosas ventajas frente a otros procesos. Los más destacables actualmente serían:

- La bajada continua de los costes de entrada, lo que pone a esta tecnología, cada vez más al alcance de todas las empresas.
- El ahorro de energía y residuos de material, desperdiciando así el mínimo material aportándolo solo donde sea necesario ahorrando así energía utilizada en el proceso.
- El uso de inventarios virtuales, guardando los prototipos en la nube durante el ciclo de vida del producto, ahorrando así en espacio.
- La evolución de los materiales utilizados en la impresión 3D, que ayuda a mejorar la fiabilidad de las piezas, descubriendo cada año nuevos polímeros.
- La fabricación de un conjunto en un solo paso, lo que te permite ahorrar tiempo y dinero ya que puedes imprimir un conjunto de piezas, como una sola ya ensamblada.

- El uso de la inteligencia artificial para mejorar los diseños, ya que con los nuevos softwares, puedes aplicarle restricciones a una pieza, para que este te devuelva dicha pieza mejorada.
- La capacidad de crear diseños nunca visto por otro tipo de métodos. De esta forma se pueden conseguir geometrías imposibles de obtener con otros procesos de fabricación, con entramados fuertes y ligeros.

## **7.1 OBJETIVOS CUMPLIDOS**

Sobre los objetivos planteados al inicio del proyecto, se puede decir que se han cumplido:

- Conseguir una amplia variedad de conocimientos sobre la fabricación aditiva, y su implementación en el sector industrial. Esto se ha cumplido ya que hemos analizado las diferentes tecnologías que utiliza este metodo, como la SLA o la FDM que hemos utilizado. También se ha hecho un análisis de los materiales que la impresora seleccionada podía utilizar. Se ha estudiado también los orígenes de la fabricación aditiva, y sus ventajas a la vez que sus posibles mejoras a futuro.
- Lograr conseguir un utillaje para soldadura por medio de la fabricación aditiva que supere o mejore las características de utillajes previos fabricados por otros métodos. Quizás este sería el objetivo principal, y se ha logrado ya que se ha obtenido un útil que ha mejorado tanto el peso, como tamaño, reduciendo su coste y tiempo de fabricación, sin perder ninguna funcionalidad original.
- Aprender a manejar con destreza las tecnologías utilizadas en el proceso, ya sean las distintas máquinas de impresión 3D o los diferentes softwares de diseño asistido por ordenador o CAD. Este objetivo fue cubierto con el aprendizaje del manejo de el Solid Edge, el software de impresión Eiger.io y la impresora utilizada Mark two.
- Determinar fallos o defectos que pueda ocasionar los utillajes fabricados por fabricación aditiva. Mediante los diferentes ensayos térmicos de soldadura aplicados al útil, y usando la cámara térmica, se fue capaz de localizar las zonas

más vulnerables al calor de la pieza para aplicarle un refuerzo de fibra de carbono a dicha zona.

## **7.2 LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO**

Como ya se ha mencionado a lo largo del trabajo, la impresión 3D tiene un margen de mejora que aun no conoce limite, y aplicado al útil desarrollado en el proyecto, se podría conseguir un rediseño que mejorara todavía más sus características técnicas.

En primer lugar, hablando del diseño generativo, se podría aplicar a la escuadra magnética fabricada, ya que este se vale de una inteligencia artificial que realiza una serie de iteraciones, en base a unas restricciones dadas por el fabricante, para generar un diseño, que reduce el uso de componentes y su peso a la vez que soluciona el problema complejo que el fabricante le ha dado. Con un estudio mas a fondo de esta tecnología, su aplicación a este trabajo seria beneficiosa para el sector, y no requeriría de mucho esfuerzo. [47]

Otro posible nicho de mejora seria la optimización topológica, una tecnología similar al diseño generativo, donde se plantea un problema donde los datos son las cargas aplicadas a la geometría de una pieza, y el resultado es el rediseño de esta. Originalmente, se centraba en la aplicación de cargas mecánicas, pero con la evolución de la tecnología ya se le pueden aplicar cargas térmicas, muy útil en el diseño de la pieza desarrollada en el trabajo. De esta forma se reducen las iteraciones y disminuye los tiempos de fabricación y diseño.

Pero a pesar de que la fabricación aditiva presenta un sinfín de oportunidades para el ámbito de la soldadura, hay que tener en cuenta ciertos aspectos para que su implementación sea exitosa:

- El cambio de paradigma es un desafío importante por vencer, ya que este reto no consta solo de almacenar conocimiento y disponer de los equipos necesarios, se debe aplicar un cambio conceptual que permita cambiar las formas de ver los proyectos, pasando de los métodos de fabricación conceptuales, a esta nueva era de la fabricación.

- Otro aspecto para su implementación sería tratar de que la curva de aprendizaje evolucionara mas rápidamente. Esto sería posible probando nuevas posibilidades y mediante la formacion. Para ello existen las instituciones, centros formativos e incluso empresas que acelerarían este proceso de inmersión
- La última recomendación a hacer para el correcto desarrollo de la fabricación aditiva seria la fijación de objetivos intermedios, a corto plazo, aparte de el objetivo final que puede tardar años en alcanzarse. Esto se hace con el objetivo de motivar a la continuación de este camino mediante victorias de menor tamaño que el objetivo final. Este trabajo es un buen ejemplo de esto, ya que aunque aun queda mucho trabajo por recorrer, se han logrado los objetivos establecidos en el proyecto. [48]

## Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Hällgren, S., Pejryd, L., & Ekengren, J. (2016). (Re)Design for Additive Manufacturing. ScienceDirect. Recuperado 2 de febrero de 2022, de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2212827116303900?token=E577FD164608EAFB221A3352ABE22021DE365369A5C1C3A90BF58F7E6208DB9620479ED57B4C03FC82C933497B866442&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220622091849>
- [2] Saliba, S., Kirkman-Brown, J.C. & Thomas-Seale, L.E.J. Temporal design for additive manufacturing. Int J Adv Manuf Technol 106, 3849–3857 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04835-3>Loeffler, B. “Cloud Computing: What is Infrastructure as a Service”, Microsoft Technet Magazine, October 211. <https://technet.microsoft.com/en-us/magazine/hh509051.aspx>
- [3] Valdés, D. (2019). Caracterización de la resistencia a agentes químicos abrasivos de probetas de material composite TPE y TPU producidas mediante fabricación aditiva. (TFG). Universidad Pontificia de Comillas. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/31985>
- [4] Conde, M. (2020, julio). *Diseño y fabricación de utillaje de sujeción mecánica mediante tecnologías de fabricación aditiva (Rapid Tooling)*. (TFG). Universidad Pontificia de Comillas. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/41268>
- [5] Conde, M. (2020, julio). *Diseño y fabricación de utillaje de sujeción mecánica mediante tecnologías de fabricación aditiva (Rapid Tooling)*. (TFG). Universidad Pontificia de Comillas. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/41268>
- [6] *Fibra continua de carbono: un material de impresión 3D ultrarresistente*. (s. f.). Markforged. <https://markforged.com/es/materials/continuous-fibers/continuous-carbon-fiber>
- [7] *Onyx: impresión digital en materiales compuestos*. (s. f.). Markforged. <https://markforged.com/es/materials/plastics/onyx>
- [8] *Material termoplástico de impresión 3D: nylon blanco*. (s. f.). Markforged. <https://markforged.com/es/materials/plastics/nylon>
- [9] *Fibra de vidrio: un material de impresión 3D para aplicaciones industriales*. (s. f.). Markforged. <https://markforged.com/es/materials/continuous-fibers/fiberglass>

- [10] *Impresión 3D*. (2019, 29 octubre). Ciudadtel - Impresión 3D en Córdoba.  
<https://ciudatel.es/impresion-3d/?v=57f5037281be>
- [11] Tr3sDland. (2016, 23 junio). *Onyx, el nuevo y resistente material de Markforged*.  
<https://www.tr3sdland.com/2016/06/onyx-el-nuevo-y-resistente-material-de-markforged/>
- [12] *XSTRAND GF30-PA6 / Filament2Print*. (s. f.). Filament2Print.  
<https://filament2print.com/es/avanzados/897-xstrand-gf30-pa6.html>
- [13] Grupo Diansa. (2019, 20 marzo). *La fibra de vidrio: características y formas de uso*. Blog Aislamientos Diansa. <http://diansa.com/blog/2019/03/20/fibra-de-vidrio/>
- [14] Asidek. (2021, 16 septiembre). *Explora 8 ventajas de la fabricación aditiva*.  
<https://www.asidek.es/8-ventajas-de-la-fabricacion-aditiva/>
- [15] Addvance. (2022, 22 marzo). *El proceso completo de la fabricación aditiva (Parte 2)*. Addvance3D. <https://addvance3d.com/el-proceso-completo-de-la-fabricacion-aditiva-2/>
- [16] Software DELSOL. (2021, 15 junio). *Utillaje ¿Qué es?, ¿Qué tipos existen?*  
<https://www.sdelisol.com/glosario/utillaje/>
- [17] TRIDI. (2021, 26 mayo). *Historia de la Impresión 3D*.  
<https://www.tridimx.com/blog/historia-de-la-impresion-3d/>
- [18] *¿Cuanto vale 1 kilo de fibra de carbono para fabricar una Mountain Bike?* (2020, 4 diciembre). [Foro]. [ruedasgordas.es. https://www.ruedasgordas.es/blog/view/cuanto-vale-1-kilo-de-fibra-de-carbono-para-fabricar-una-mountain-bike](https://www.ruedasgordas.es/blog/view/cuanto-vale-1-kilo-de-fibra-de-carbono-para-fabricar-una-mountain-bike)
- [19] *The EIGER Software*. (2020, 22 junio). Mark3D UK - Markforged Partner for 3D Printers in the UK. <https://www.mark3d.com/en/eiger-software/>
- [20] *NUZAMAS - Juego de 2 abrazaderas en C de 275 mm con almohadillas giratorias de acero con abrazadera de 275 mm*. (s. f.). Amazon. [https://www.amazon.es/giratorio-almohadillas-abrazadera-herramientas-soldadura/dp/B078KJM34D/?encoding=UTF8&pd\\_rd\\_w=H8oYE&pf\\_rd\\_p=b5af31b8-3ec2-46d4-9540-83d8c10c38da&pf\\_rd\\_r=5VH3V802Y19VFT5KARBY&pd\\_rd\\_r=2871ca11-f308-4da2-a627-52efbc09028f&pd\\_rd\\_wg=7SOon&ref=pd\\_gw\\_ci\\_mcx\\_mr\\_hp\\_atf\\_m](https://www.amazon.es/giratorio-almohadillas-abrazadera-herramientas-soldadura/dp/B078KJM34D/?encoding=UTF8&pd_rd_w=H8oYE&pf_rd_p=b5af31b8-3ec2-46d4-9540-83d8c10c38da&pf_rd_r=5VH3V802Y19VFT5KARBY&pd_rd_r=2871ca11-f308-4da2-a627-52efbc09028f&pd_rd_wg=7SOon&ref=pd_gw_ci_mcx_mr_hp_atf_m)
- [21] Herramientas Manuales. (2014, 28 diciembre). *¿Qué son las Pinzas de Presión?* De Máquinas y Herramientas. <https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-manuales/pinzas-de-presion>



- [22] Abrazadera de Ángulo Recto de 90 Grados, Clip de Esquina de Solo Mango con Mandíbula Giratoria Ajustable, Poweka Escuadras de Carpintería para Madera (2 Juegos). (s. f.). Amazon.  
[https://www.amazon.es/dp/B0822HJBMX/ref=sspa\\_dk\\_detail\\_0%3Fpsc=1&pd\\_rd\\_i=B0822HJBMX&pd\\_rd\\_w=dJWPD&pf\\_rd\\_p=444f018a-62d7-48b2-a88a-cea784dc658f&pd\\_rd\\_wg=SFn9Y&pf\\_rd\\_r=W14JC111XZDBAHF3D2TP&pd\\_rd\\_r=e706f40b-5120-48df-9e38-ab1d5cc5c7b7&s=kitchen](https://www.amazon.es/dp/B0822HJBMX/ref=sspa_dk_detail_0%3Fpsc=1&pd_rd_i=B0822HJBMX&pd_rd_w=dJWPD&pf_rd_p=444f018a-62d7-48b2-a88a-cea784dc658f&pd_rd_wg=SFn9Y&pf_rd_r=W14JC111XZDBAHF3D2TP&pd_rd_r=e706f40b-5120-48df-9e38-ab1d5cc5c7b7&s=kitchen)
- [23] *Escuadras magnéticas para soldar - Escuadras imantadas*. (s. f.). Imagnetshop.  
[https://imagnetshop.com/es/accesorios-magneticos/escuadras-magneticas/?\\_adin=02021864894?\\_adin=02021864894](https://imagnetshop.com/es/accesorios-magneticos/escuadras-magneticas/?_adin=02021864894?_adin=02021864894)
- [24] *Escuadra magnética de soldadura, fuerza adhesiva 40kg - 200kg*. (s. f.). Magnosphere.  
<https://www.magnosphere.es/escuadra-magnae-tica-de-soldadura-fuerza-adhesiva-40kg-200kg/a-1351>
- [25] OfficeTree Cinta Magnetica Adhesiva 3 m - Tira de Iman para la imantación Fija de Carteles, Fotos, Papeles - Adherencia Extra Fuerte sobre Pizarra Blanca, Pizarra Magnética - Negro. (s. f.). Amazon. [https://www.amazon.es/OfficeTree-Cinta-m%C3%A1gn%C3%A9tica-autoadhesiva-imantaci%C3%B3n/dp/B078Y6T5SK/ref=sr\\_1\\_20?keywords=lamina%2Bmagnetica&qid=1646741962&sr=8-20&th=1](https://www.amazon.es/OfficeTree-Cinta-m%C3%A1gn%C3%A9tica-autoadhesiva-imantaci%C3%B3n/dp/B078Y6T5SK/ref=sr_1_20?keywords=lamina%2Bmagnetica&qid=1646741962&sr=8-20&th=1)
- [26] Rodríguez, M. (s. f.). *Proceso de Soldadura - SMAW*. Centro de Conocimiento ESAB.  
<https://www.esab.com.ar/ar/sp/education/blog/proceso-soldadura-smaw.cfm>
- [27] Pajuelo, J. E. (2009, noviembre). *Evaluación de los procesos de soldadura TIG con y sin material de aporte en planchas de acero estructural* (Tesis). Pontificia Universidad Católica de Perú. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/579>
- [28] Standard Gage 00534020 Digital Caliper, Stainless Steel, Battery Powered, Inch/Metric, 0–6" Range, +/-0.001" Accuracy, 0.0005" Resolution, Meets DIN 862 Specifications. (s. f.). Amazon. <https://www.amazon.com.mx/Standard-Gage-00534020-Resolution-Specifications/dp/B005002TS6>
- [29] Ruthex Inserto roscado 1/4" - 20 casquillos roscados de latón RX-1/4"-20x12,7 – tuerca de inserción para piezas plásticas – tuerca moleteada para embutir en piezas de impresora 3D por calor. (s. f.). Amazon. <https://www.amazon.es/RX-M5x9-5-roscados-pl%C3%A1stico-ultrasonido->

- [impresora/dp/B08BCRZZS3/ref=asc\\_df\\_B07YSVXWS8/?tag=&linkCode=df0&hvadid=420387563749&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=17017303760256453371&hvpone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmld=&hvlocint=&hvlocphy=9061032&hvtargid=pla-829518620375&ref=&adgrpid=99023813511&th=1](https://www.comillas.edu/impresora/dp/B08BCRZZS3/ref=asc_df_B07YSVXWS8/?tag=&linkCode=df0&hvadid=420387563749&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=17017303760256453371&hvpone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmld=&hvlocint=&hvlocphy=9061032&hvtargid=pla-829518620375&ref=&adgrpid=99023813511&th=1)
- [30] *Impresión 3D de roscas e insertos roscados para plásticos.* (s. f.). Formlabs.  
<https://formlabs.com/es/blog/anadir-roscas-tornillo-piezas-impresas-3d/>
- [31] *Insertos roscados.* (s. f.). Bossard. <https://www.bossard.com/mx-es/productos/marcas/insertos-roscados/#:~:text=Los%20insertos%20roscados%20crean%20roscas,una%20baja%20resistencia%20al%20cizallamiento.>
- [32] *Altura de Capas y Resolución en la Impresión 3D.* (s. f.). 3DWorks.  
<https://www.3dworks.cl/post/altura-de-capas>
- [33] *La importancia del tipo de relleno en impresión 3D.* (2019, 4 noviembre). Filament2Print.  
[https://filament2print.com/es/blog/71\\_importancia-relleno-impresion-3d.html](https://filament2print.com/es/blog/71_importancia-relleno-impresion-3d.html)
- [34] Goldschmidt, B. (2022, 28 febrero). *Infill en Cura: los mejores patrones de relleno.* All3DP. <https://all3dp.com/es/2/infill-cura-relleno-impresion-3d/>
- [35] Tejada, S. (2021, 7 abril). *El mejor patrón de relleno en Cura (para tus necesidades).* Krear 3D. <https://tiendakrear3d.com/consejos/el-mejor-patron-de-relleno-en-cura-para-tus-necesidades/>
- [36] *¿Cómo afecta el calor a los imanes?* (2021, 26 agosto). Imamagnets.  
<https://imamagnets.com/blog/como-afecta-el-calor-a-los-imanes/>
- [37] *Soldadura Láser | Laser Comercial.* (s. f.). Laser Comercial.  
<https://lasercomercial.com/soldadura-laser/>
- [38] *Gráfico soldadura laser.* (2018, 27 julio). LASERTEK. <https://lasertek.es/soldadura-laser-apuesta-de-lasertek/grafico-soldadura-laser/>
- [39] *Técnicas y tipos de soldadura por láser.* (2020, 4 diciembre). Laser Comercial.  
<https://lasercomercial.com/2020/12/04/tecnicas-y-tipos-de-soldadura-por-laser/>
- [40] Connor, N. (2021, 22 julio). *Fibra de Carbono | Densidad, resistencia, punto de fusión.* Material Properties. <https://material-properties.org/es/fibra-de-carbono-densidad-resistencia-punto-de-fusion/>
- [41] *Fibra de vidrio.* (2011, 6 diciembre). Tecnología de los Plásticos.  
<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/fibra-de->

- [vidrio.html#:~:text=No%20tiene%20verdadero%20punto%20de,de%20formar%20una%20estructura%20ordenada.](#)
- [42] Regidor, A. (2016, 4 julio). *Onyx, el filamento de nylon y carbono que resiste 145°*. impresion3daily.es. <https://www.impresion3daily.es/onyx-el-filamento-de-nylon-y-carbono-que-resiste-145o/>
- [43] Jiménez, M. (2021). *Conformado por soldadura* [Diapositivas]. Moodle Comillas. <https://sifo.comillas.edu/login/index.php?id=2239027&redirect=1>
- [44] Jiménez, M. (2021). *Procesos de conformación avanzados: Fabricación aditiva (Impresión 3D)* [Diapositivas]. Moodle Comillas. <https://sifo.comillas.edu/login/index.php?id=2332493&redirect=1>
- [45] *TIPOS DE SOLDADURA (TIG, MIG/MAG, POR PUNTOS)*. (s. f.). ILMO. <https://ilmo.es/tipos-de-soldadura/>
- [46] Magnetpro 8 piezas imanes rectangulares 30 kg de fuerza 60 x 13.5 x 5 mm con agujero avellanado, imanes de neodimio domésticos e industriales con tornillos de fijación. (s. f.). Amazon. [https://www.amazon.es/dp/B07LF6XYXW/ref=redir\\_mobile\\_desktop?encoding=UTF8&adId=20040441118105&id=2155189047589600&pd\\_rd\\_plhdr=t&psc=1&qualifier=1646744557&ref=syn\\_sd\\_onsite\\_mobileweb\\_167&spPI=1&widget=sd\\_onsite\\_mobileweb](https://www.amazon.es/dp/B07LF6XYXW/ref=redir_mobile_desktop?encoding=UTF8&adId=20040441118105&id=2155189047589600&pd_rd_plhdr=t&psc=1&qualifier=1646744557&ref=syn_sd_onsite_mobileweb_167&spPI=1&widget=sd_onsite_mobileweb)
- [47] *Introducción al diseño generativo*. (s. f.). Formlabs. <https://formlabs.com/es/blog/dise-no-generativo/>
- [48] Fabrikazioaren zentro aurretatua. (s. f.). *Fabricación Aditiva Oportunidades y claves para su incorporación en la empresa*. Red Gipuzkoa 4.0 de Fabricación Avanzada. <https://www.gipuzkoa.eus/documents/20933/1883176/DFG-Industria4-0-Caso-Fabricacion-Aditiva-IMH-Esp.pdf>
- [49] *Impresora 3D de materiales compuestos de fibra de carbono: Mark Two de*. (2022, 24 mayo). Markforged. [https://markforged.com/es/3d-printers/mark-two?utm\\_source=gads&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=16733261182&utm\\_content=138056004707&utm\\_term=marktwo&gclid=CjwKCAjwquWVBhBrEiwAt1KmwI7N1Z3tEf8-LWQDqq7KOlqSYelIRreGZT9zj4M69XA\\_Mmf1afW-mxoCnMkQAvD\\_BwE](https://markforged.com/es/3d-printers/mark-two?utm_source=gads&utm_medium=cpc&utm_campaign=16733261182&utm_content=138056004707&utm_term=marktwo&gclid=CjwKCAjwquWVBhBrEiwAt1KmwI7N1Z3tEf8-LWQDqq7KOlqSYelIRreGZT9zj4M69XA_Mmf1afW-mxoCnMkQAvD_BwE)
- [50] *Piher Sargento de fundición F-50 (Apertura máxima: 120 mm)*. (s. f.). BAUHAUS. <https://www.bauhaus.es/pinzas-y-sargentos/piher-sargento-de-fundicion-f-50/p/26183262>

- [51] *Cámara Termográfica Flir T460*. (2016, 16 agosto). Lubretech.  
<http://xiroca.com/producto/camara-termografica-flir-t460>
- [52] *Comparación de tecnologías de impresión 3D: FDM, SLA o SLS*. (s. f.). Formlabs.  
<https://formlabs.com/es/blog/fdm-sla-sls-como-elegir-tecnologia-impresion-3d-adeuada/>
- [53] *Impresión SLA, ¿cómo funciona y qué ventajas obtenemos?* (2021, 30 julio). Abax Innovation Technologies. <https://abax3dtech.com/2021/02/24/impresion-por-sla-como-funciona-y-que-ventajas-obtenemos/>

## **ANEXO I: EQUIPO UTILIZADO**

### **Cámara térmica FLIR T460**

La cámara térmica FLIR T460 es una cámara con una resolución de 320x240 píxeles, dando unos 76800 píxeles, capaz de realzar la imagen térmica con una sensibilidad térmica  $<0.03^{\circ}\text{C}$ . Su campo de visión es de  $25^{\circ} \times 19^{\circ}$  y su distancia focal mínima es 0.4 m. La frecuencia de la imagen es de 60 Hz y su zoom digital puede aumentar la imagen entre 2x y 8x veces. El enfoque que posee la cámara puede ser continuo, automático durante el disparo o manual. Esta cámara puede funcionar como cámara de imagen visual, cámara de imagen térmica o una mezcla de ambas donde la imagen visual esta superpuesta sobre la imagen térmica. Los rangos de temperatura medibles son de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $150^{\circ}\text{C}$  de  $150^{\circ}$  a  $300^{\circ}\text{C}$  y de  $200^{\circ}\text{C}$  a  $1500^{\circ}\text{C}$ . La batería de la cámara dura aproximadamente 4 horas y su peso es de 0.88 Kg.

Las imágenes tomadas con la cámara son archivos JPEG estándar que se almacenan en una tarjeta SD de memoria. Las secuencias de imágenes van desde los 15 segundos a las 24 horas. Por otro lado, los videos van se almacenan en un formato CSQ en la tarjeta SD. La cámara cuenta con un puntero láser para localizar el punto a enfocar y una linterna para cuando haya ausencia de luz. Las imágenes utilizan tecnologías como la Multi Spectral Dynamic Imaging (MSX) con la que se obtienen imágenes con muchos mas detalles, o la tecnología UltraMax, que gracias a la fusión de 16 imágenes, obtenemos imágenes de muy alta resolución, omitiendo así el ruido, dejando unas imágenes radiométricas mucho mas nítida, para poder medir objetos de menor tamaño. [51]

Todo esto hace que esta cámara sea adecuada para este trabajo ya que con su intuitiva interficie y ergonomía hace que su manejo no sea extremadamente complicado.



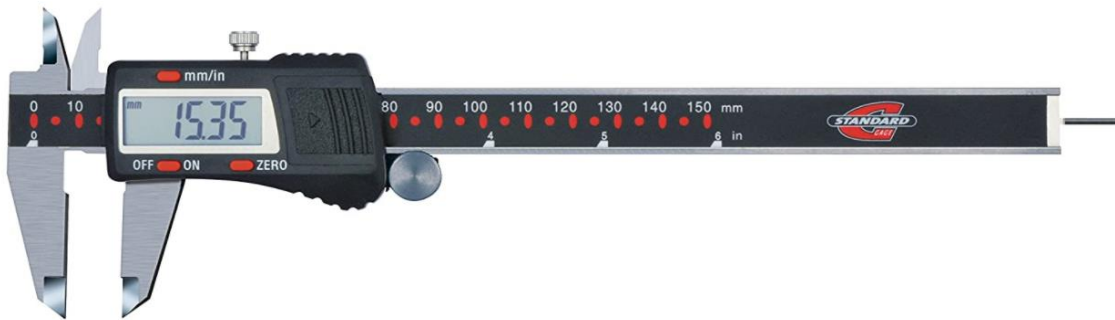
*Ilustración 50: Cámara térmica FLIR T460*

### **Calibre digital**

El calibre utilizado, es un pie de rey de la marca Estándar Gage, de acero inoxidable que funciona con una batería. El rango que es capaz de medir va hasta los 15 cm, con una precisión al medir de  $\pm 0.001''$ . Esto hace que tenga una precisión y resolución de 0.02 mm a 0.01 mm.

La barra de acero inoxidable cuenta con un deslizamiento que aumenta la resistencia a la corrosión y ayuda a prolongar la vida útil de la herramienta. También cuenta con un rodillo para ajustar las medidas más pequeñas.

Con este aparato se pueden tomar medidas de longitudes de una pieza, profundidades de agujeros, y diámetros internos y externos de cilindros agujeros. [28]



*Ilustración 51: Calibre digital Estándar Gage [28]*