



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

**ICAI**

**GRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TRABAJO DE FIN DE GRADO**  
**COMPARATIVA DE SISTEMAS DE UNION DE**  
**PIEZAS IMPRESAS EN 3D**

**Autor: Carlos Benito Calviño**

**Director: Jon Fernández Carrera**

**Madrid**

**Julio de 2021**

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
“Comparativa de sistemas de unión de piezas impresas en 3D”  
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2020/21 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.

*Carlos*

Fdo.: Carlos Benito Calviño

Fecha: 30/06/2021

Autorizada la entrega del proyecto  
EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Jon Fernández Carrera

Fecha: 30/06/2021

# COMPARATIVA DE SISTEMAS DE UNIÓN DE PIEZAS IMPRESAS EN 3D

Autor: Benito Calviño, Carlos

Director: Fernández Carrara, Jon

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## RESUMEN DEL PROYECTO

Diseño (modelado 3D) de un sistema de unión basado en el ajuste de varios elementos que permitan la retención, fijación de componentes sometidos a esfuerzos de tracción, compresión, torsión y flexión. A partir de esta propuesta, se trata realizar una comparativa con otros sistemas de fijación tradicionales, basados en la utilización de los adhesivos, la soldadura y la fijación mecánica.

**Palabras clave:** Fabricación aditiva, uniones, impresión 3D

### 1. Introducción

Este trabajo consta de dos distintas partes: un estudio del arte de la fabricación aditiva y un posterior trabajo practico en el que se comentan los resultados obtenidos en los distintos ensayos.

Primero se comentado brevemente la historia de la FA y sus principales características y limitaciones. A continuación, se presentan las distintas tecnologías de impresión existen y los materiales que se usan comúnmente.

Después se presentan los distintos ensayos realizados sobre las uniones, tanto en el laboratorio como por elementos finitos con ANSYS.

### 2. Estado del arte

En esta sección se introduce la fabricación aditiva y sus primeros comienzos en la industria de fabricación. También se analizan sus características y se estudian las limitaciones que presenta respecto a otras técnicas de fabricación.

Mas tarde se exponen las distintas tecnologías que existen hoy en día y como trabaja cada una de ellas. A parte también se analizan y comparan los distintos materiales que se usan y sus propiedades mecánicas.

También se ha estudiado las distintas uniones que se aplican actualmente en la FA, para más tarde seleccionar las que se van a diseñar y ensayar.

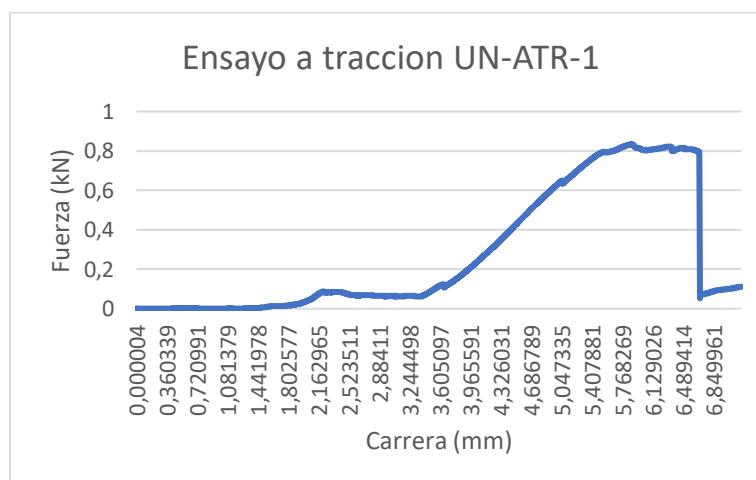
### 3. Metodología

Para la realización de este trabajo se ha utilizado una metodología de trabajo conocida como *Agile*, que permite trabajar de una manera constante y efectiva. Se decidió realizar el diseño de dos uniones atornilladas y una adhesiva y otra soldada.

El diseño de dichos prototipos de llevo a cabo con la aplicación SolidEdge, que es un software CAD. Para la fabricación de los prototipos de uso una impresora de tecnología FDM llamada Dimension que usa el material ABS.

### 4. Resultados

Para cada unión se ha realizado un ensayo a tracción en el laboratorio de ICAI y otro ensayo de elementos finitos con ANSYS. Los resultados obtenidos en el laboratorio vienen recogidos en un grafica de la carrera en función de la fuerza. Y una tabla en la que se recogen los datos más importantes del ensayo. A continuación, se muestra un ejemplo de estas gráficas y tablas.



<b>Campo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Modo de ensayo	Tracción	
Modo de control	Carrera	
Velocidad	3	mm/min
Célula	20	kN
Límite elástico al (Tracción)	0.2	%
Módulo de elasticidad (E)	520.214	MPa
Resistencia tracción (Rm)	0.9261	MPa

Los resultados obtenidos en el ensayo de elementos finitos vienen recogidos mediante la deformación y la tensión elástica equivalente según el criterio de Von Mises de cada probeta.

## **5. Conclusiones**

Una de las uniones atornilladas es la que más fuerza ha conseguido aguantar en ambos ensayos, debido a que la adhesiva y soldada requieren una práctica técnica previa de la que no se requería.

También se ha concluido que se debería imprimir los prototipos en solido relleno para maximizar las propiedades del ensayo a tracción. Además de esta manera se podría realizar la soldadura sin que se fundiese el prototipo con la fuente de calor.

# COMPARISON OF 3D PRINTED PARTS JOINT SYSTEMS

Author: Benito Calviño, Carlos

Director: Fernández Carrara, Jon

Collaborating Entity: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

## PROJECT SUMMARY

Design (3D modeling) of a joint system based on the adjustment of several elements that allows the retention and fixation of components subjected to tensile, compression, torsion and bending forces. Based on this proposal, it is a question of making a comparison with other traditional fixing systems, based on the use of adhesives, welding and mechanical fixing.

**Keywords:** Additive Manufacturing, Joints, 3D Printing

### 1. Introduction

This work consists of two different parts: a study of the art of additive manufacturing and a subsequent practical work in which the results obtained in the different tests are discussed.

First, the history of AF and its main characteristics and limitations were briefly commented. Below are the various printing technologies out there and the materials that are commonly used.

Then the different tests carried out on the joints are presented, both in the laboratory and by finite elements with ANSYS.

### 2. State of the Art

This section introduces additive manufacturing and its early beginnings in the manufacturing industry. Its characteristics are also analyzed and the limitations it presents with respect to other manufacturing techniques are studied.

Later the different technologies that exist today and how each of them works are exposed. In addition, the different materials used, and their mechanical properties are also analyzed and compared.

The different joints that are currently applied in FA have also been studied, to later select the ones to be designed and tested.

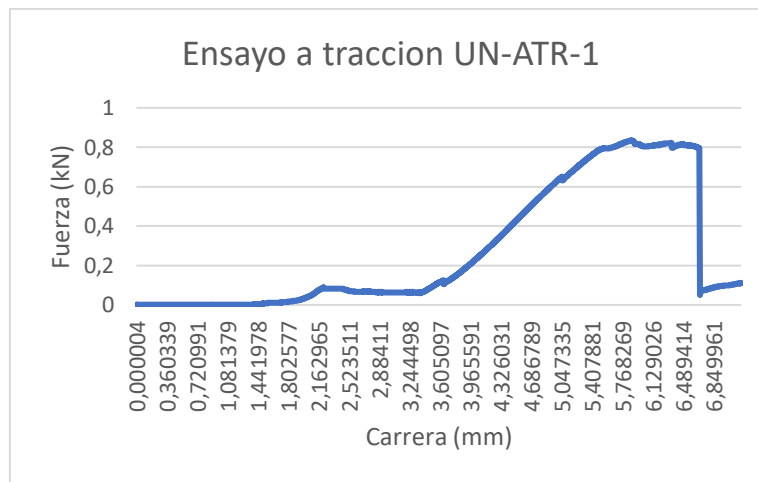
### 3. Methodology

Throughout this work, a work methodology known as *Agile* has been used, which allows working in a constant and effective way. It was decided to design two bolted joints and one adhesive and one welded.

The design of these prototypes was carried out with the SolidEdge application, which is CAD software. To manufacture the prototypes, I use an FDM technology printer called Dimension that uses ABS material.

#### 4. Results

For each joint, a tensile test was carried out in the ICAI laboratory and another finite element test with ANSYS. The results obtained in the laboratory are collected in a graph of the force as a function of force. And a table in which the most important data of the trial are collected. An example of these graphs and tables is shown below.



Campo	Valor	Unidad
Modo de ensayo	Tracción	
Modo de control	Carrera	
Velocidad	3	mm/min
Célula	20	kN
Límite elástico al (Tracción)	0.2	%
Módulo de elasticidad (E)	520.214	MPa
Resistencia tracción (Rm)	0.9261	MPa

The results obtained in the finite element test are collected by means of the deformation and the equivalent elastic stress according to the Von Mises criterion of each specimen.

## **5. Conclusions**

One of the bolted joints is the one that has been able to hold the most in both tests, because the adhesive and welding require a prior technical practice that was not required.

It has also been concluded that the prototypes should be printed in solid fill to maximize the properties of the tensile test. In addition, in this way the welding could be carried out without the prototype melting with the heat source.



## **Agradecimientos**

Me gustaría agradecer a las siguientes personas su colaboración y aportación al desarrollo de este trabajo:

- Al director de este trabajo, Jon Fernández Carrera, por su excelente entrega hacia dicho trabajo. Y por su constancia, gracias a la cual se ha podido realizar a tiempo.
- Al director del laboratorio de FA de ICAI, Mariano Jiménez Calzado, por su ayuda con la impresión de los prototipos.
- A Eva Paz, por cedernos la maquinaria de los ensayos a tracción y ayuda con su manejo.

A mis compañeros de similar TFG, Iñaki Pérez Rasilla Martino y a Joaquín Rodríguez Fuerte, por su apoyo y ayuda con la realización de este trabajo.

# Índice de la memoria

<b>Capítulo 1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivación del proyecto.....	2
<b>Capítulo 2. Descripción de las Tecnologías.....</b>	<b>3</b>
2.1 Tecnologías empleadas en la FA.....	9
2.2 Tipos de materiales .....	14
<b>Capítulo 3. Estado de la Cuestión.....</b>	<b>16</b>
<b>Capítulo 4. Definición del Trabajo.....</b>	<b>25</b>
4.1 Justificación.....	25
4.2 Objetivos.....	25
4.3 Alineación con los objetivos del desarrollo sostenible.....	26
4.4 Metodología.....	26
<b>Capítulo 5. Desarrollo del Trabajo .....</b>	<b>34</b>
5.1 Unión atornillada.....	34
5.1.1 UN-ATR-1.....	35
5.1.2 UN-ATR-2.....	36
5.2 Unión adhesiva (UN-ADH-1).....	37
5.3 Unión soldada (UN-SLD-1) .....	39
<b>Capítulo 6. Análisis de los Resultados .....</b>	<b>42</b>
5.1 UN-ATR-1.....	42
5.2 UN-ATR-2.....	46
5.3 UN-ADH-1 .....	49
5.4 UN-SLD-1 .....	52
<b>Capítulo 7. Conclusiones y Trabajos Futuros .....</b>	<b>54</b>
<b>Capítulo 8. Bibliografía .....</b>	<b>56</b>

***ANEXO I: Flujograma de la metodología de trabajo***

***ANEXO II: Propiedades del ABS P400***

***ANEXO III: Planos de la UN-ATR-1***

***ANEXO IV: Planos de la UN-ATR-2***

***ANEXO V: Planos de la UN-ADH-1***

***ANEXO VI: Planos de la UN-SLD-1***

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Ejemplo de una esfera en formato STL.....	3
Ilustración 2: Esfera impresa en 3D con distintos espesores de capa.....	4
Ilustración 3: Proceso de fabricación de una taza de café mediante FA.....	4
Ilustración 4: Prototipo de la impresora SLA-1 de 3D Systems3D.....	5
Ilustración 5: BigRep PRO de BigRep.....	6
Ilustración 6: Impresora 3D MakerBot: Replicator.....	7
Ilustración 7: Piezas fabricadas mediante BJ.....	9
Ilustración 8: Técnica de DEP.....	10
Ilustración 9: Impresión mediante extrusión de material.....	10
Ilustración 10: Técnica de inyección de material.....	11
Ilustración 11: Técnica de SLM.....	11
Ilustración 12: Pieza realizada en impresora 3d de laminación de hojas.....	12
Ilustración 13: Unión apernada.....	16
Ilustración 14: Unión de dos elementos mediante un amarre.....	17
Ilustración 15: Tornillo de cabeza redonda.....	18
Ilustración 16: Unión clavada.....	18
Ilustración 17: Unión encolada.....	19
Ilustración 18: Soldadura con material de aporte.....	20
Ilustración 19: Ejemplo de remaches.....	20
Ilustración 20: Ejemplo del uso de una chaveta.....	21
Ilustración 21: Pasador de aletas.....	21
Ilustración 22: Ejemplos de uniones japonesas.....	24
Ilustración 23: Hoja de ruta de este trabajo.....	27
Ilustración 24: Subtareas de la tarea de “Diseño de los prototipos”.....	27
Ilustración 25: Tablero de un sprint en Jira.....	28
Ilustración 26: Mapa conceptual del proceso de fabricación y diseño de un producto.....	28
Ilustración 27: Material y tiempo de una bandeja impresa.....	30
Ilustración 28: Dimension SST 768.....	31
Ilustración 29: Máquina de ensayos universal Ibertest LEI0001.....	32

Ilustración 30: UN-ATR-1-000 y UN-ATR-1-001 separadas .....	35
Ilustración 31: UN-ATR-1-000 y UN-ATR-1-001 unidas.....	35
Ilustración 32: UN-ATR-2-000 y UN-ATR-2-001 separadas .....	36
Ilustración 33: UN-ATR-1-000 y UN-ATR-1-001 unidas.....	36
Ilustración 34: Características técnicas de TotalTech .....	37
Ilustración 35: Pieza UN-ADH-1-000 con el adhesivo repartido sobre las 5 caras .....	38
Ilustración 36: UN-ADH-1-000 y UN-ADH-1-001 .....	38
Ilustración 37: UN-ADH-1-100 .....	38
Ilustración 38: UN-SLD-1 .....	39
Ilustración 39: Boquilla para soldadura rápida .....	40
Ilustración 40: Probeta sobre la que se intentó soldar.....	41
Ilustración 41: Probeta sobre la que se intentó soldar.....	41
Ilustración 42: Ensayo a tracción de la UN-ATR-1 .....	42
Ilustración 43: Deformación de la UN-ATR-1 en ANSYS .....	44
Ilustración 44: Tensión elástica equivalente de la UN-ATR-1 en ANSYS.....	44
Ilustración 45: Probetas UN-ATR-1 rotas tras el ensayo.....	45
Ilustración 46: Probetas UN-ATR-1 rotas tras el ensayo.....	45
Ilustración 47: Ensayo a tracción de la UN-ATR-2 .....	46
Ilustración 48: Deformación de la UN-ATR-2 en ANSYS .....	47
Ilustración 49: Tensión elástica equivalente de la UN-ATR-2 en ANSYS.....	48
Ilustración 50: Probetas UN-ATR-2 rotas tras el ensayo.....	48
Ilustración 51: Probetas UN-ATR-2 rotas tras el ensayo.....	49
Ilustración 52: Ensayo a tracción de la UN-ADH-1 .....	49
Ilustración 53: Deformación de la UN-ADH-1 en ANSYS.....	51
Ilustración 54: Tensión elástica equivalente de la UN-ADH-1 en ANSYS.....	51
Ilustración 55: Probetas UN-ADH-1 rotas tras el ensayo.....	52
Ilustración 56: Deformación de la UN-SLD-1 en ANSYS.....	53
Ilustración 57: Tensión elástica equivalente de la UN-SLD-1 en ANSYS .....	53

## Índice de tablas

Tabla 1: Tipos de tecnologías de la FA y los materiales que usan.....	13
Tabla 2: Aplicaciones y propiedades de los materiales más usados en FA.....	15
Tabla 3: Clasificación de uniones según sus características.....	22
Tabla 4: Coste de una bandeja impresa con distintas piezas.....	30
Tabla 5: Características tornillo M8X60 y de la tuerca .....	34
Tabla 6: Datos del ensayo a tracción de la UN-ATR-1.....	43
Tabla 7: Datos del ensayo a tracción de la UN-ATR-2.....	47
Tabla 8: Datos del ensayo a tracción de la UN-ADH-1.....	50

# 1. INTRODUCCIÓN

Hace unos 40 años, aparecieron los primeros sistemas de fabricación aditiva (FA) y durante los últimos años ha adquirido gran importancia. Hasta un punto en el que se considera igual de válido que los métodos convencionales de fabricación. En un principio, la función principal de la FA consistía en la creación de prototipos. Actualmente, ha pasado a ser un proceso que puede construir piezas terminadas gracias a su facilidad de fabricación y el buen acabado superficial que se llega a conseguir [Oriozabala, 2016].

Estas tecnologías pueden formar directamente piezas complejas en 3D con precisión. Además, gracias a sus características: Acorta el proceso de manufactura, ya que no depende de maquinaria de producción pesada y no requiere ningún tipo de moldes (como en la fabricación sustractiva). Reduce los costes, debido a que no desecha material y todos los productos se crean de una pieza, e incrementar su competitividad [Guía Diseño FA, 2019].

La FA abarca un amplio abanico de áreas entre las cuales se encuentran la medicina, la industria automovilística, la arquitectura y la educación [Oriozabala, 2016].

Pese a tener muchas ventajas, como hemos mencionado previamente, la mayor limitación que afronta es la dimensión de las piezas que puede imprimir. Esto se debe a que para poder fabricar piezas grandes necesitaríamos una maquinaria de la cual aún no se dispone.

En este trabajo queremos dar solución a este problema, descomponiendo las piezas grandes en componentes más pequeños para después ensamblarlos con diferentes tipos de uniones.

## 1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYETO

La motivación de este proyecto nace de la necesidad de catalogar todos los tipos de unión disponibles para tener un mayor rango de soluciones disponibles en cuanto a diseño y fabricación y que, por tanto, la FA resulte más interesante como tecnología de uso habitual en la industria.

Actualmente, dentro de los distintos tipos de fabricación en el área industrial, la fabricación aditiva tiene una gran relevancia, pero el mayor inconveniente que tiene que afrontar es la dimensión de las piezas que puede imprimir. Esto es debido a que para piezas grandes necesitaríamos una maquinaria de la cual aún no se dispone.

A raíz de este problema es de donde nace este trabajo, en el que vamos a intentar plasmar en la fabricación aditiva, las uniones que se usan en otro tipo de fabricación. Aparte de querer llevar a cabo un gran proyecto en el cual consiga desarrollar uniones que se puedan usar en la industria, me motiva la idea de mejorar mis habilidades con el uso de SolidEdge y poder aplicar en problemas reales los conocimientos que he ido adquiriendo a lo largo de mis años de carrera.



# 1. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

La fabricación aditiva es el termino usado para los procesos de fabricación de piezas a partir de un diseño CAD. Es el termino formal para la que antes se llamaba prototipado rápido, y a lo que hoy en día llamamos impresión 3D [Wong, 2012]. Estas tecnologías en un inicio, gracias a su rápida fabricación, fueron diseñadas para la producción de prototipos o de modelos base. De esta manera se podía conseguir una representación del producto antes del lanzamiento y realizar distintos ensayos sobre él. Así se podía modificar a tiempo dependiendo de las conclusiones que se obtuviesen. Pero con el paso de los años han mejorado tanto estas tecnologías que hoy en día incluso se consigue fabricar piezas finales y no solo un modelo base [Gibson, 2010].

Los diseños CAD se convierten en un documento estereolitografico (STL) en el que se aproximan por triángulos y se dividen en capas que contienen toda la información necesaria para ser impresos (material, color, acabado superficial y orientación de la pieza) [Wong, 2012]. Como se puede observar en la ilustración 1, dependiendo de la desviación superficial, el tamaño del triángulo será mayor y con ello más semejante será a la pieza original. También influye el tamaño de cada capa, a menor tamaño de capa mayor precisión y acabado de superficie se obtendrá, tal y como se muestra en la ilustración.

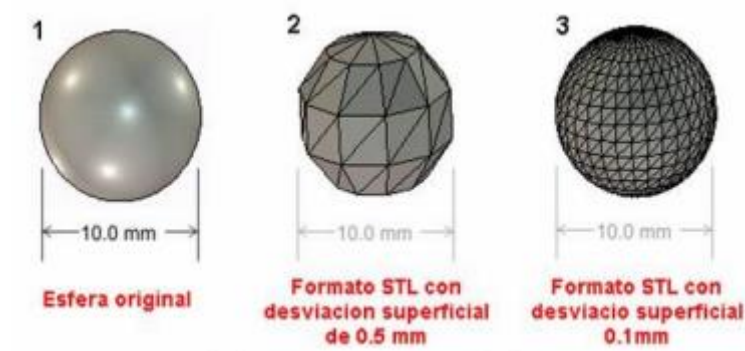
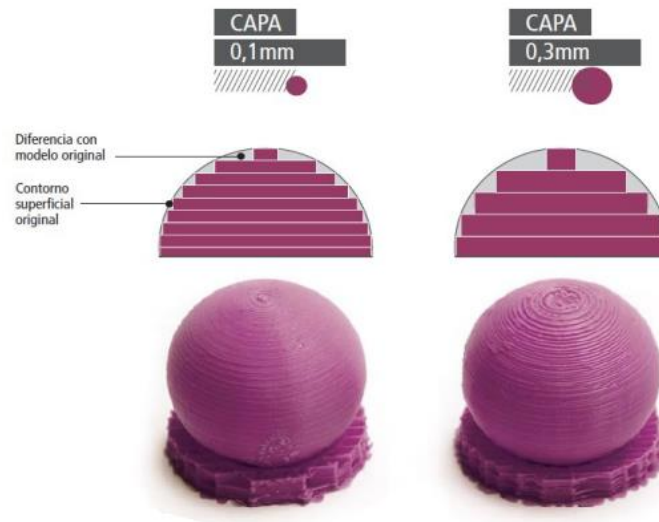
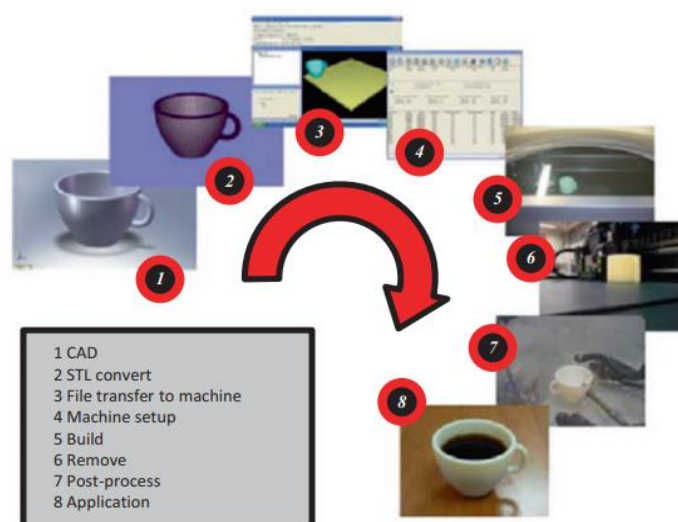


Ilustración 1: Ejemplo de una esfera en formato STL [Transparencias ICAI]



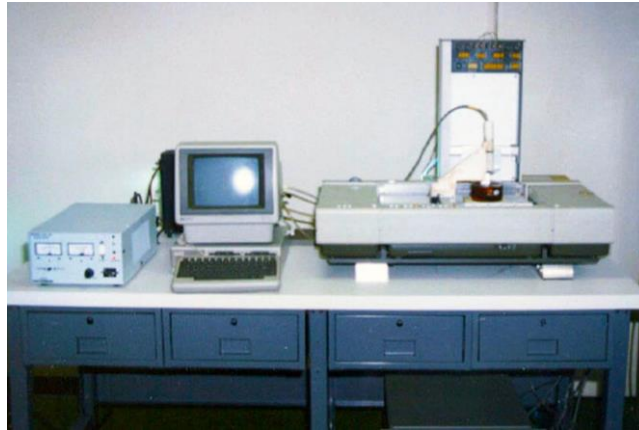
*Ilustración 2: Esfera impresa en 3D con distintos espesores de capa [Transparencias ICAI]*

Después de la conversión en formato STL, la pieza esta lista para ser enviada la impresora 3D para su fabricación. Mas tarde solo se requerirá la eliminación del material adicional que se ha usado para su impresión y los tratamientos post-procesado en caso de que el diseño requiera unas tolerancias superficiales específicas. Todo su proceso desde el diseño hasta su aplicación esta resumida en la ilustración 3 a modo de flujograma.



*Ilustración 3: Proceso de fabricación de una taza de café mediante FA [Wong, 2012]*

A principios de los años 80 se empezaron a estudiar maneras de fabricación aditiva, con el paso de los años esta técnica ha ido mejorando, hasta llegar a ser uno de los principales procesos de fabricación [Jiménez, 2019]. La primera impresora 3D, que se puede observar en la ilustración 4, fue creada por Charles W. Hull en 1983 que funcionaba por el mecanismo de estereolitografía [Hipertextual, 2019].



*Ilustración 4: Prototipo de la impresora SLA-1 de 3D Systems [Hipertextual, 2019]*

Como menciona Huang en su artículo [Huang, 2013], la fabricación aditiva despunta en el ámbito social gracias a:

- Permite la personalización para cada persona de productos sanitarios que puedan mejorar su salud o incluso salvarles la vida.
- Contribuye muy positivamente con el medioambiente ya que no produce apenas desechos (los cuales se pueden reutilizar en muchos casos) y no requiere de tanto transporte o embalaje como otros tipos de fabricación.
- Reducción de la cadena de producción y posibilidad de fabricación bajo demanda.

También resulta ser ventajosa en casos de series cortas o medias ya que como no es necesario diseñar ni moldes ni utillajes se disminuye el tiempo y esfuerzo de la fabricación. También como no requiere una planificación previa, una vez la pieza este diseñada se fabrica inmediatamente [Atzeni, 2012].

Otra de las ventajas que ofrece la fabricación aditiva es la libertad a la hora de diseñar, ya que se pueden conseguir casi todo tipo de geometrías complejas, con diferentes

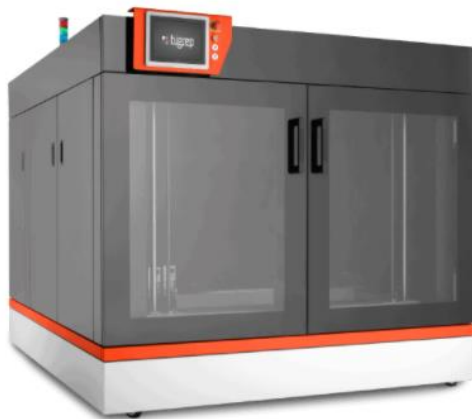
materiales, superficies y funcionalidad. Permite optimizar el diseño a la vez que se consiguen productos con un mayor encanto y más individuales y ligeros. También los ingenieros tienen una mayor libertad a la hora de diseñar, todo lo contrario que con los métodos de fabricación tradicionales que se ven más limitados [Gibson, 2021].

[Conner, 2014] establece en su artículo 3 claves que establecen si un producto es conveniente para la fabricación aditiva: la personalización, la complejidad y el volumen de producción. Los idóneos para la fabricación aditiva son los que no requieren apenas volumen de fabricación, pero sí una alta personalización.

Las limitaciones que tiene la fabricación aditiva son [Oriozabala, 2016]:

- Elevado coste para series de gran tamaño en comparación con otros procesos.
- Hay pocos acabados superficiales y materiales de colores.
- La precisión no es muy elevada por lo que las tolerancias no podrán ser muy bajas.
- Las propiedades térmicas y mecánicas de los materiales que se usan son muy limitadas.
- No se pueden fabricar piezas de un gran tamaño ya que no existe la maquinaria necesaria.

Con el paso de los años y las mejoras tecnológicas se ha conseguido un aumento en las dimensiones de las piezas, también como una mejora en la textura y las tolerancias que se llegan a conseguir [Oriozabala, 2016]. Por el momento, la impresora comercial con mayor capacidad de volumen de impresión es la BigRep Pro, que se muestra en la ilustración 6. Con un volumen máximo de 1m<sup>3</sup> [BigRep, 2021].



*Ilustración 5: BigRep PRO de BigRep [BigRep, 2021]*

Gracias a sus ventajas sobre las maneras tradicionales de fabricación, ha llamado la atención tanto que hace unos años la consideraban la tercera revolución industrial [Huang, 2013]. Schwab en su artículo menciona que la impresión 3D pertenece a la cuarta revolución industrial [Schwab, 2020]

Actualmente es una técnica usada habitualmente en muchos sectores, desde la medicina y la industria hasta el ocio [Aemac, 2021]. Y se dispone de impresoras que funcionan con distintas tecnologías, como la MakerBot: Replicator, que funciona con FDM. Como se puede observar en la ilustración 5, es muy distinta a las de hace 40 años.



*Ilustración 6: Impresora 3D MakerBot: Replicator [MakerBot, 2021]*

Hoy en día existe a nivel global, un desarrollo económico en el que las grandes multinacionales que controlan sectores de producción concretos se encuentran en ubicaciones determinadas donde el coste de producción puede ser menor. Además, el consumidor actual busca diferenciarse del resto de la sociedad, y cada vez es más exigente y busca productos muy individualizados [Orozabala, 2016].

Esta es la oportunidad perfecta para la fabricación aditiva ya que puede deslocalizar los puntos geográficos de producción y traerlos de vuelta al primer mundo, donde el coste sería el mismo. Todo gracias a que permite esta personalización que hoy en día los clientes buscan.

Algunos ejemplos de su uso en la actualidad son [Orioabala, 2016]:

- Ingeniería aeroespacial: La NASA ha estado haciendo pruebas de fabricación aditiva en la estación espacial internacional. Como posibilidad para futuros viajes a Marte y poder fabricar piezas en situaciones con microgravedad. Incluso la NASA ha llegado a fabricar piezas de motores a reacción que aguantan 3.300°C usando fabricación aditiva [Manfredi, 2014].
- Automovilismo: algunas empresas como Rolls-Royce y Bentley usan algunas piezas fabricadas mediante impresión 3D debida a su bajo coste económico [Stahl, 2013]. Y Renault Formula 1 usa cada temporada unas 900 piezas que ha sido elaboradas con FA.
- Medicina: hoy en día se usa la impresión 3D para crear ortodoncia personalizadas y prótesis con integración ósea superiores a las convencionales [Gibson, 2010].

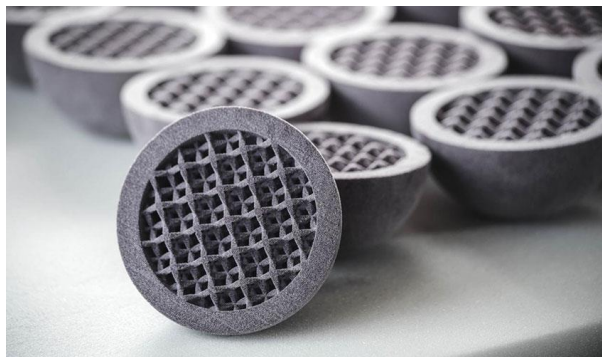
En las áreas en las que está destacando son aquellas que requieren productos con geometría compleja, un alto valor añadido y muy personalizados [Orioabala, 2016].

## 2.1. TECNOLOGIAS EMPLEADAS EN LA FA

A pesar de que la fabricación aditiva tiene unas características, así como unas ventajas e inconvenientes comunes, existe una amplia variedad de tecnologías dentro de la FA.

Los distintos tipos de técnicas empleadas en la FA según la norma ISO/ASTM 52900-1025 son [Velasquez, 2019]:

- **Inyección de aglutinante (Binder Jetting):** Técnica mediante la cual se pone un producto líquido de adherencia sobre una capa del material en forma de polvo (plástico o resinas). De esta manera cada capa se va quedando pegada, hasta que la pieza esté terminada. Las características del área del aglutinante y del material en polvo son vitales para que la fabricación de la pieza tenga éxito [Godoi, 2019]. Las propiedades del aglutinante como la viscosidad, la tensión superficial y densidad de tinte deben ser las específicas para no taponar la boquilla de la impresora. Se consigue una calidad superficial buena, un ejemplo de ello se puede ver en la ilustración 7.



*Ilustración 7: Piezas fabricadas mediante BJ [Velasquez, 2019]*

- **Deposición de energía directa (Direct energy deposition):** Técnica mediante la cual se fusiona el material, derritiéndolo con una fuente de energía térmica, mientras se deposita para formar una pieza (arco de plasma, rayo de electrones o láser). Es una técnica que se usa comúnmente para imprimir piezas grandes y que no tengan unas tolerancias muy finas. Es muy popular por la rapidez de la deposición del material y por su capacidad para reparar piezas ya fabricadas

[Kramer, 2019]. En la ilustración 8 observamos como mediante el laser se funde el material y se deposita donde se requiere.



*Ilustración 8: Técnica de DEP [Kramer, 2019]*

- **Modelado por deposición fundida (FDM):** Técnica mediante la cual se deposita a través de una boquilla el material fundido en sitios específicos para construir un volumen. Es la más común dentro de las impresoras 3D gracias a que se ha adoptado este uso en las impresoras de escritorio. Para su funcionamiento se requiere: tres ejes en los que se pueda mover, un material que fluya por la boquilla y el control del flujo del material [Özel, 2017]. En la ilustración 9 se puede observar una impresora 3D que usa esta tecnología. En este caso la boquilla va depositando en material de color verde para fabricar la pieza.



*Ilustración 9: Impresión mediante extrusión de material [Özel, 2017]*



- **Inyección de material (Material jetting):** Técnica mediante la cual se va inyectando el material por medio de gotas y se coloca selectivamente (fotopolímeros y cera). Se usan cabezales de inyección de tinta para depositar las gotas sobre el área. Y las sustancias que se usan como materiales de inyección suelen ser fotopolímeros o materiales parecidos a la cera. La ilustración 10 representa el proceso del material desde la cámara hasta que se deposita en la pieza.

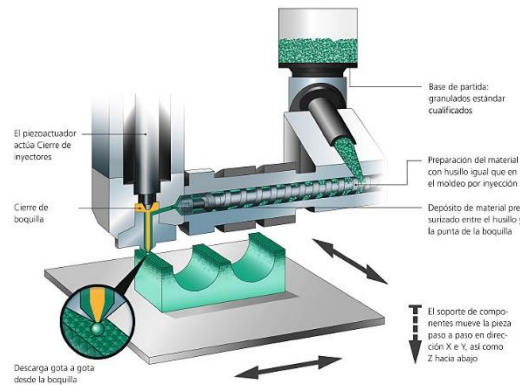


Ilustración 10: Técnica de inyección de material [Velasquez, 2019]

- **Fusión por lecho de polvo (Powder bed fusión):** Técnica mediante la cual se fusiona el área de una cama de polvo con una energía termal. Las características de las piezas producidas mediante esta técnica dependerán de las propiedades del lecho de polvo y de la estrategia del proceso. Existen actualmente dos tipos de fusión del lecho: por láser (SLM) o por haz de electrones (SEBM). El lecho de polvo puede presentar distinto tamaño de polvo, densidad y tamaño de partículas [Srivatsan, 2016]. Estas impresoras tienen un tanque principal donde se guarda el polvo que va a ser depositado en cada capa. Cada capa que el láser funda va a ir siendo apilada, tal y como se puede ver en la ilustración 11.

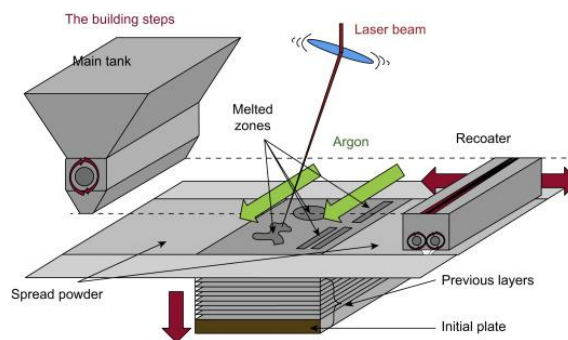
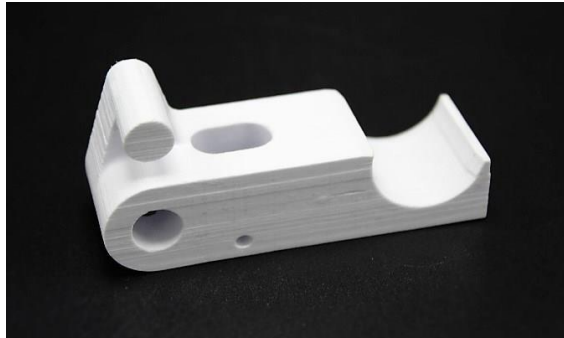


Ilustración 11: Técnica de SLM [Srivatsan, 2016]

- **Laminación de hojas (Sheet lamination):** Técnica mediante la cual se van pegando finas láminas de material para fabricar un volumen. Las capas revestidas de un adhesivo o plástico se van apilando sucesivamente, para después más tarde dar forma con una cortador laser [Wijik, 2015]. En la ilustración 12 se puede observar un pieza fabricada por este metodo. En ella se pueden distinguir las distintas lineas de cada lámina.



*Ilustración 12: Pieza realizada en impresora 3d de laminación de hojas [Velasquez, 2019]*

A continuación, se muestra una tabla extraída de [Wikipedia, 2021] que muestra los distintos materiales que se usan para cada técnica de fabricación aditiva:

<b>Tecnologías</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Materiales</b>
Extrusión	Modelado por deposición fundida (FDM)	Termoplásticos (PLA, ABS, HDPE, TPU)
Hilado	Fabricación por haz de electrones (EBF)	Casi cualquier aleación
Granulado	Sinterizado directo de metal por láser (DMLS)	Casi cualquier aleación
	Fusión por haz de electrones (EBM)	Aleaciones de titanio
	Sinterizado selectivo por calor (SHS)	Polvo termoplástico
	Sinterizado selectivo por láser (SLS)	Termoplásticos, polvos metálicos, polvos cerámicos
	Proyección aglutinante (DSPC)	Yeso
Laminado	Laminado de capas (LOM)	Papel, papel de aluminio, capa de plástico
Fotoquímicos	Estereolitografía (SLA)	Fotopolímero
	Fotopolimerización por luz ultravioleta (SGC)	Fotopolímero

*Tabla 1: Tipos de tecnologías de la FA y los materiales que usan*

## 2.2. TIPOS DE MATERIALES

Sobre los materiales anteriormente mencionados, se ha visto la necesidad de comentarlos en mayor detalle para comprender mejor su impacto. A continuación, se profundizará un poco sobre cada uno y se especificaran algunas de sus características [Wikipedia, 2021]:

- **Ácido poliláctico (PLA):** es un plástico que se obtiene de productos vegetales (tales como la yuca o el maíz). Está compuesto por moléculas parecidas a las del ácido láctico, y con características similares a las del PET (tereftalato de polietileno). A temperaturas alrededor de los 60°C es biodegradable, y también se puede degradar en una mezcla de óxido de carbono con agua.
- **Laywoo-d3:** es un material (en forma de hilo) usado comúnmente en la impresión 3D para simular una textura y un acabado parecido al de la madera. Esto compuesto por fibras de madera (un 40% aproximadamente) y un polímero como el PLA, que se utiliza de unión [Filament2Print, 2021].
- **Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS):** es un termoplástico amorfo usado comúnmente sectores industriales y domésticos. Tiene una alta resistencia a los impactos por lo que se utiliza mucho en el automovilismo.
- **Poliestireno de alto impacto (HIPS):** es una clase de poliestireno, a la que se le añade polibutadieno para tener una mayor resistencia a los golpes. Ya que el poliestireno por si solo a temperatura ambiente es muy frágil.
- **Tereftalato de polietileno (PET):** es un polímero termoplástico lineal, con un alto grado de cristalinidad. Pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres.
- **Elastómero termoplástico (TPE),** siendo el más habitual el **poliuretano termoplástico (TPU):** son una mezcla de polímeros (comúnmente usados un caucho con un plástico) que juntos resultan en un material con propiedades elásticas.
- **Nylon:** es un plástico sintético que se incluye dentro del grupo de las poliamidas sintéticas. Es un material elástico y resistente, el cual se suele moldear para crear diversos utensilios tales como los peines.

- **Metal amorfo (BGM):** es un material metálico no cristalino. La solidificación de este material desde el estado líquido ocurre de forma muy rápida y da lugar a los llamados “vidrios metálicos”.

A continuación, se muestra una tabla con algunos de los materiales que previamente hemos mencionado con sus propiedades y aplicaciones [León, 2019]:

Material	Propiedades	Aplicaciones/Industria
PLA	Buena resistencia a la tracción y calidad de la superficie.	Ideal para modelos y prototipos que requieren detalles estéticos y ser respetuosos con el medio ambiente tanto para el hogar como para la oficina.
ABS	Resistente y fuerte.	Automoción, aeroespacial, dispositivos médicos.
TPU	Excelente resistencia al desgarro) y resistencia fuerza y dureza.	Flexibilidad excepcional (es decir y al desgaste, alto impacto, alargamiento a la rotura a la corrosión para muchos productos químicos y aceites industriales comunes. Material altamente versátil con propiedades de caucho y plástico para una variedad de aplicaciones industriales.

*Tabla 2: Aplicaciones y propiedades de los materiales más usados en FA*

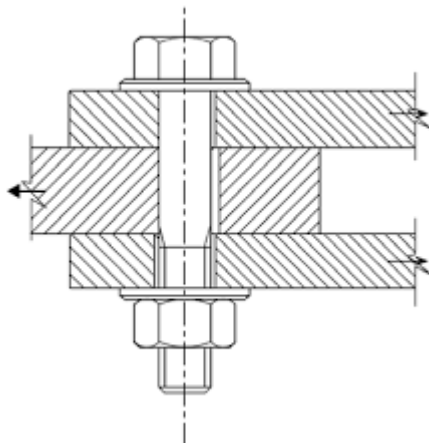
### 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Debido a la limitación que presenta la fabricación aditiva respecto al tamaño de las piezas que se pueden imprimir, el uso de uniones para fabricar conjuntos de piezas con un volumen final mayor puede ser una posible solución.

Debido a esta necesidad de emplear uniones en la fabricación aditiva, primero se va a estudiar las diferentes uniones que existen en la actualidad, para posteriormente analizar cuáles de ellas pueden aplicarse a la FA.

A continuación, se muestran los métodos de uniones usados en la industria:

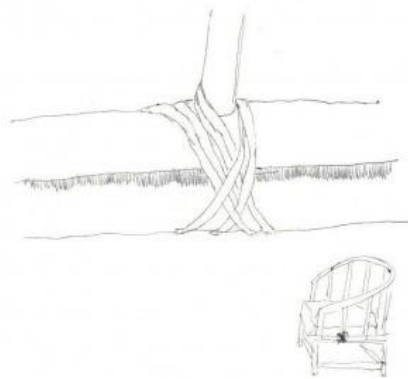
- **Unión apernada:** Este tipo de unión consiste en el uso de una tuerca y un perno para juntar dos piezas y no permitir su movimiento. En algunas ocasiones se añaden una arandela entre la pieza y la tuerca y entre la pieza y la cabeza del perno, tal y como se ve en la ilustración 13. Estas se usan para evitar el deslizamiento y que se desatornille. Es muy eficaz en uniones con madera [Casiopea, 2012].



*Ilustración 13: Unión apernada [Casiopea, 2012]*

- **Unión amarrada:** Esta unión consiste en una atadura entre dos elementos. Se puede usar tanto con cuerdas como con cadenas. Es muy similar a lo que hoy en día conocemos como nudo, pero difieren en algunos aspectos. Los nudos se usan para unir dos cabos o atarlo a algún elemento, en cambio, un amarre une dos elementos.

Principalmente se usan en la navegación, donde reciben el nombre de cabos de amarre. En la actualidad se usan materiales de fibras sintéticas como el nylon y el poliéster [Casiopea, 2012]. En la ilustración 14 se puede ver como se ha usado una unión amarrada en el respaldo de una silla.

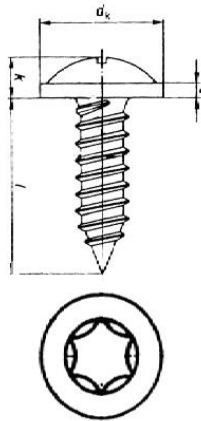


*Ilustración 14: Unión de dos elementos mediante un amarre [Casiopea, 2012]*

- **Unión atornillada:** El tornillo es una herramienta de sujeción que se usa mayoritariamente para contrarrestar las fuerzas en el eje del vástago. Ya que es donde su rendimiento es mayor, mejor que el de los clavos. Este mecanismo se suele usar en situaciones que requieran una solución simple y rápida, como la fijación de revestimientos o placas estructurales [Casiopea, 2012].

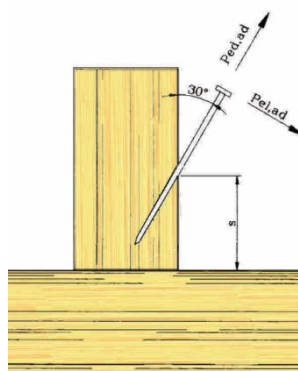
Los pernos se caracterizan por su diámetro nominal y su longitud (que no incluye la cabeza, excepto en los de cabeza plana) [Luna, 2009]. Existen diferentes tipos de tornillo con cabezas redondas (Ilustración 15), hexagonales e incluso cuadradas.

La principal diferencia entre esta unión y la apernada es en las situaciones en las que se usa. Los apernadas se suelen usar para unir dos piezas de un espesor medio en las que se ha realizado un agujero previamente y los tornillos se usan en piezas de mayor espesor.



*Ilustración 15: Tornillo de cabeza redonda [Casiopea, 2012]*

- **Union clavada:** Técnica de unión muy similar a la atornillada, la cual se hace uso de clavos en vez de tornillos. Unas herramientas de fijación que permiten la transmisión de un esfuerzo de una pieza a otra en una estructura. Debido a su sencilla aplicación, se extendieron por todo el mundo y se han convertido en elementos útiles y económicos. Como consecuencia de su pequeña sección transversal, en uniones de madera, es común que resquebraje en su punto de aplicación. Por lo que es recomendable usar más de un clavo en una unión [Casiopea, 2012]. En la ilustración 16 se puede ver el uso de un clavo a la hora de unir dos bloques de madera.



*Ilustración 16: Unión clavada [Casiopea, 2012]*



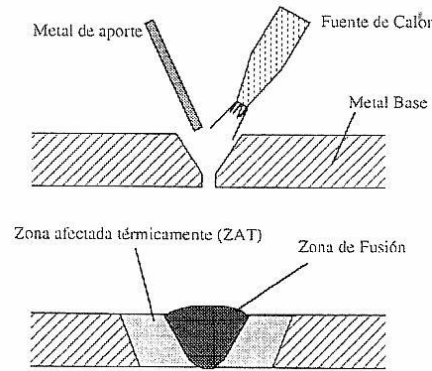
- **Unión encolada/adhesiva:** Técnica de unión que usa algún tipo de cola o adhesivo (como la resina epoxi o el fenol-formaldehído). Se suele usar esta técnica tanto para juntar dos piezas distintas como para reparar algún defecto en un elemento de madera. En la ilustración 17 se puede observar una unión encolada de dos piezas de madera con la ayuda de pasadores.

Para este tipo de uniones, existen ciertos parámetros los cuales se deben tener en cuenta. Estos son la temperatura y la humedad de la madera y el tiempo, la presión y la precisión del adhesivo [Casiopea, 2012]. Es una técnica muy sencilla y cómoda de usar, pero tiene la desventaja de que no avisa cuando va a fallar [CSCAE-AITIM, 2015].



*Ilustración 17: Unión encolada [Casiopea, 2012]*

- **Unión soldada:** Técnica que consigue la unión de dos piezas principalmente metálicas, pero también pueden ser de algún plástico. Con el aporte de calor se consigue fundir las piezas o bien el material de aporte que suele tener igual o similar composición (Ilustración 18). De esta manera se consigue que la unión quede rígida. Dentro de los muchos sistemas de soldadura que existen (cerca de cuarenta), el más importante es el de soldadura por fusión. Y los dos tipos más comunes son: soldadura autógena y la soldadura por arco eléctrico [Luna, 2009].



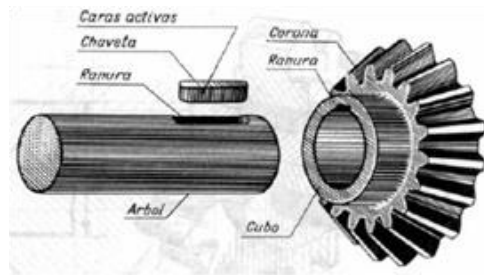
*Ilustración 18: Soldadura con material de aporte [Luna,2020]*

- **Unión remachada:** Mecanismo mediante el cual se hace uso de remaches para unir dos o más piezas. Los remaches son vástagos con un diámetro, que tienen una cabeza esférica y se insertan en los agujeros de las dos placas a unir. Una vez insertados se les estampa otra cabeza en el otro extremo y se calientan al rojo viva, para que más tarde cuando se enfríe comprima las dos chapas [Luna, 2009]. Se pueden usar en casos que las dos piezas sean de distinto material. Su importancia dentro del montaje es debida gracias a sus precios reducidos y que es automatizable [Casiopea, 2012]. Un ejemplo de este tipo de uniones se contempla en la ilustración 19.



*Ilustración 19: Ejemplo de remaches [Casiopea, 2012]*

- **Union nachavetada:** Técnica que hace uso de chavetas, unos elementos que permiten uniones soltables, en piezas que están sometidas a un desplazamiento rotativo para una arrastre a la otra [Luna, 2009]. Se suelen usar en engranajes para que queden unidos al eje, como se ve en la ilustración 20.



*Ilustración 20: Ejemplo del uso de una claveta [Luna, 2009]*

- **Union con pasadores:** Las ventajas de su uso son que se garantiza el giro simultaneo de las piezas y la estabilidad de la unión incluso con cargas grandes. Aunque es muy frágil a cambios frecuentes por el choque Los pasadores son unos elementos que consiguen una unión soltable entre dos piezas. Para que una pieza pueda arrastrar a la otra [Luna, 2009]. Un tipo de pasador muy común por su geometria són los pasadores de aleta (Ilustración 21).



*Ilustración 21: Pasador de aletas [Luna, 2009]*

A continuación, se muestra una tabla de los diferentes tipos de uniones rígidas dependiendo si son fijas o desmontables extraída de [Luna, 2009]:

Uniones rígidas	Fijas	Fijas (remaches y roblones)
		Soldadas
		Clavada
		Encolada
	Desmontables	Atornillada / Apernada
		Nacha vetadas (chavetas y lengüetas)
		Pasadores
		Amarrada

*Tabla 3: Clasificación de uniones según sus características*

Una vez visto los distintos tipos de uniones que se usan actualmente en la industria, tenemos que estudiar cuales de ellos se usan en la fabricación aditiva para más tarde decidir cuáles de ellas queremos ensayar y analizar en este trabajo.

Existen principalmente dos tipos de uniones en la FA: las uniones fijas (basadas en cierres o enclavamientos) que no permiten ningún tipo de desplazamiento y las móviles (basadas en articulaciones esféricas o de bisagra) que permiten la rotación o giro [Oh, 2018].

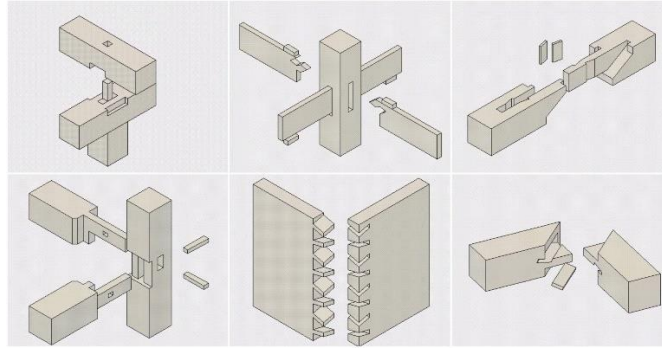
Las uniones fijas que se usan más habitualmente en la FA son:

- **Adhesivas:** Algunos estudios como el de [Hildebrand, 2013] mencionan que es un tipo de unión muy cómoda de usar ya que no requiere ninguna característica especial de conexión. Aunque una condición recomendable es usar el adhesivo en áreas suficientemente grandes para asegurar la solidez de la conexión [Chen, 2015]. Otra característica positiva que presenta este tipo de uniones es la compatibilidad con otras uniones como los snap-fits o los tornillos [Medellin, 2006].
- **Mecánicas:** Tipo de uniones que usan la geometría de las piezas para unir las entre sí. Su función principal es la de transmitir la carga de una pieza a su adjunta [Blake, 1985]. Dentro de este tipo de uniones encontramos otras como son las uniones japonesas, los snap-fits o las uniones apernadas.

Los snap-fits son una técnica de unión mecánica cuyas partes acopladas ejercen una acción de leva, flexionándose hasta que una parte se desliza más allá de un labio elevado en la otra parte, evitando su separación [Torosian, 2015]. Los machos de este tipo de uniones son generados con patrones específicos como cilindros, esferas o prismas [Luo, 2012][Medellin, 2006].

Las uniones aprendas como se ha comentado antes, son aquellas que hacen uso de un tornillo y una tuerca. Algunos artículos como el de [Ameta, 2015], señalan que el problema de las uniones apernadas en termoplásticos es el grado de tolerancia dimensional que se puede obtener.

Las uniones japonesas son un tipo de unión que usa un tipo de geometría específica para unir distintas piezas entre sí. Como se puede observar en la ilustración 22 este tipo de uniones no requiere de elementos externos como clavos o tornillos.



*Ilustración 22: Ejemplos de uniones japonesas [Torosian, 2015]*

- **Soldadas:** Hoy en día somos capaces de soldar piezas sean de metal o de algún termoplástico. Por lo que todas las piezas que sean fabricadas con FA van a poder ser soldadas. Según el artículo de [Yousefpour, 2004], el uso de la soldadura en termoplásticos puede eliminar los problemas que otras uniones tradicionales conllevan. Ya que es más económico menos laborioso.

Según un estudio del grupo de Defensa y Espacio de la compañía Boeing se obtenían unos ahorros mayores al 61% usando soldadura en vez de unión apertada [Hoggatt, 1996].

## **4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO**

### **4.1. JUSTIFICACIÓN**

Tras el estudio sobre el estado del arte realizado, se ha llegado a la conclusión de que una de las grandes limitaciones que tiene el uso de la FA, es el tamaño de las piezas que se pueden imprimir. Como comenta Orizabala, entre otras limitaciones, el tamaño de las piezas es el que más destaca. Con el paso del tiempo, el tamaño de las piezas ha aumentado. Y hoy en día, gracias a las nuevas tecnologías, es posible imprimir piezas de un tamaño considerable. Sin embargo, para sectores de la industria como el automovilístico o el naval donde hay piezas de un gran tamaño, como el chasis, no sería lo suficientemente grande.

A raíz de otros estudios previamente realizados, hemos podido observar que las uniones de piezas fabricadas mediante impresión 3D son posibles y pueden suponer un gran avance en el ámbito de la fabricación aditiva.

Por ello se ha decidido realizar este trabajo, en el que se va a ensayar a tracción distintas uniones apernadas, soldadas y adhesivas.

### **4.2. OBJETIVOS**

En este proyecto se quiere aplicar los diferentes tipos de uniones comunes en el mundo de la industria y fabricadas con metodologías habituales, a piezas que se lleven a cabo mediante fabricación aditiva (FA). Todo esto para conseguir la fabricación de piezas grandes mediante FA, separándolas en piezas más pequeñas para más tarde ensamblarlas.

El objetivo principal es catalogar diferentes tipos de uniones disponibles y caracterizarlos mecánicamente para obtener conclusiones de cuál resulta más interesante en cuanto a resistencias a esfuerzos y costes.

Se presentarán posibles aplicaciones para cada una de ellas, y en qué condiciones de material y maquinaria trabajan mejor.

### 4.3. ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DEL DESARROLLO

#### SOSTENIBLE (ODS)

El consumo y la producción sostenibles tienen como finalidad una mejor y mayor producción, pero con menos material. También tratan de desligar el desarrollo económico e industrial de la contaminación y degeneración del medioambiente. Promueven estilos de vida sostenibles en los que no se derrochen materias primas y se busque la eficiencia de todos los recursos de los que disponemos. En concreto se están tratando los objetivos de desarrollo 9 (Industria, innovación e infraestructura) y 12 (Producción y consumo responsable) de la UNESO [Moran, 2021].

Con la realización de este proyecto se está contribuyendo al desarrollo e innovación de mejoras en el sector industrial, y concretamente en la fabricación aditiva que se trata de uno de los tipos de fabricación más sostenible. Debido a que no se desecha a penas material (conseguimos las mismas piezas con menos material) y se usa un tipo de material (termoplásticos en la mayoría de los casos) que son totalmente reutilizables.

#### 4.4. METODOLOGIA

Para la realización de este trabajo se ha usado un método llamado Agile, a través de la plataforma online Jira de la empresa Atlassian. Es un método comúnmente usado en el desarrollo de software ligero, cuyo objetivo es ser más eficaz que los métodos de desarrollo tradicional. Consiste en la división de todo el trabajo en pequeñas partes, que se tienen que ir realizando en periodos de tiempo cortos llamados "*sprints*". Esta metodología busca a la vez disponer de un mínimo producto viable (MVP) que satisface todos los requerimientos, el cual se va modificando y perfeccionando en cada *sprint* [Mathis, 2018].

Jira es una plataforma diseñada para la gestión de proyectos que permite hacer uso de muchas herramientas que ayudan con la planificación de las distintas tareas y *sprints*. En la ilustración 23 se contempla la hoja de ruta de este trabajo, en ella se ha estimado los plazos en lo que se van a realizar las distintas tareas. Dentro de cada tarea, se han creado distintas subtareas que formaran el *backlog*, tal y como se ve en la ilustración 24.



El backlog es el conjunto de todas las tareas pendientes que se tienen que realizar para dar por finalizado el trabajo [Tamarit, 2019].

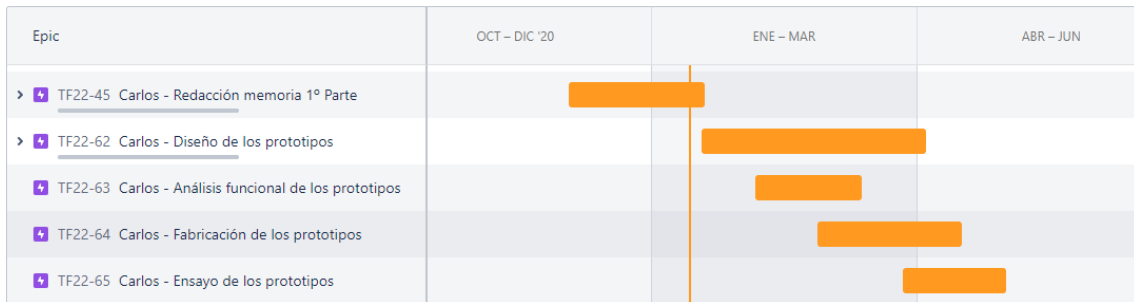


Ilustración 23: Hoja de ruta de este trabajo [Recorte de pantalla]

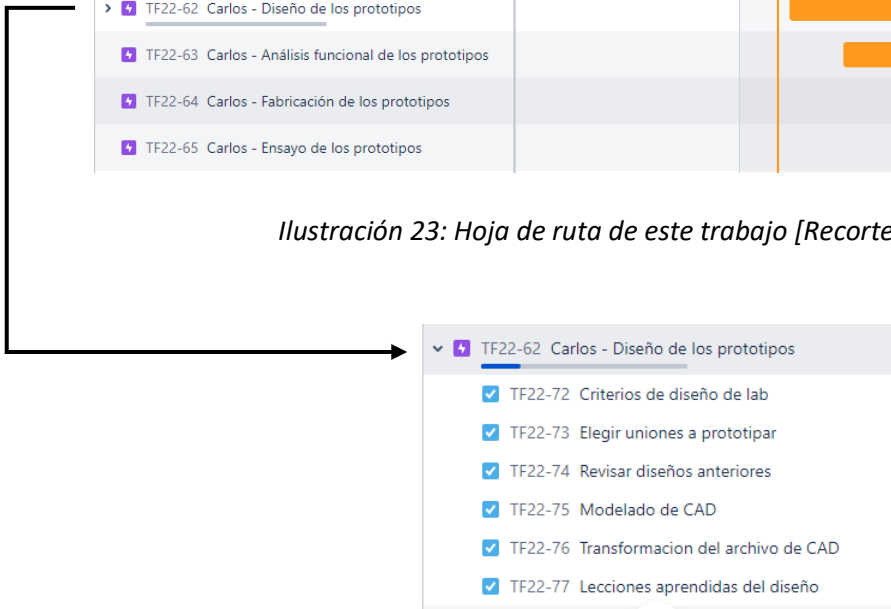


Ilustración 24: Subtareas de la tarea de "Diseño de los prototipos" [Recorte de pantalla]

Para la realización de este trabajo, se han ido realizando *sprints* de dos semanas, en lo que se delimitaban unos hitos a realizar en ese periodo de tiempo. Se realizaban reuniones al final de cada *sprint* para comenzar el siguiente. En ellas se valoraba el trabajo realizado en ese tiempo y daba la posibilidad de ir aumentando o disminuyendo la cantidad de tareas.

Jira dispone de otra herramienta, que permite hacer un tablero Kanban para los hitos de cada *sprint*. Esto ayuda a visualizar el estado de cada tarea y poder saber cuáles se han hecho, cuáles se están realizando y cuáles están pendientes. También permite de esta manera visualizar y mapear el flujo de trabajo [Kanbanize, 2021]. En la ilustración 25 se observa un ejemplo de este tablero Kanban.

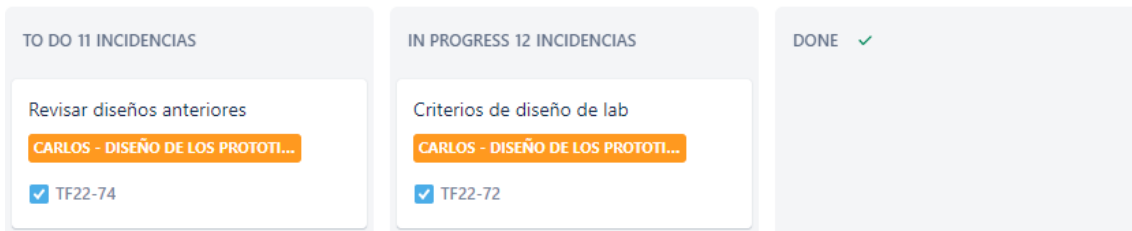


Ilustración 25: Tablero de un sprint en Jira [Recorte de pantalla]

A la hora de planificar la metodología de diseño que se va a seguir, se ha decidido basarse en los procesos de diseño de la industria de hoy en día. Estos procesos están recogidos en el mapa conceptual de la ilustración 26.

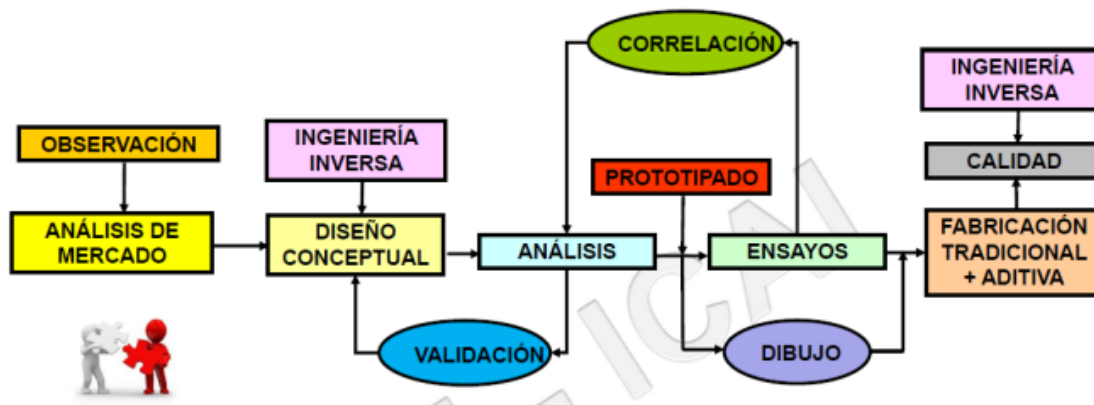


Ilustración 26: Mapa conceptual del proceso de fabricación y diseño de un producto [Transparencias FA ICAI]

El proceso que se va a seguir queda recogido en el anexo II, es un flujograma que consta de 3 partes principales: el diseño, la fabricación y el montaje de todas las piezas.

Primero se ha llevado a cabo un estudio exhaustivo de los distintos tipos de uniones que existen, como son la soldadura, el uso de tornillo, perno, algún tipo de adhesivo e incluso diferentes tipos de uniones que se usan en la carpintería. Aparte también se ha buscado información sobre los diferentes tipos de impresión 3D que existen y cuales son más comunes en el área de fabricación industrial, que es en el ámbito en el que sería deseable que en un futuro se llevasen a cabo algunas de las uniones que realizamos a lo largo de este trabajo.

Igual que en el ámbito de la realización de planos y prototipos en 3D seguimos distintos tipos de normas y reglas normalizadas (como la UNE o la ISO), paralelamente en el

ámbito de la fabricación aditiva han ido surgiendo en los últimos años distintas normas que se tienen que seguir (como la ISO- ASTM).

Posteriormente se comenzará con el diseño de piezas y conjuntos. Primero se hará un diseño conceptual en el que se realizará un boceto de las piezas de las que constará cada conjunto (cada conjunto es una unión). Y a continuación, en un programa CAD (se utilizará Solid Edge), se diseñarán todas las piezas. Una vez todas las piezas sean verificadas por fabricación, se dispondrá a realizar el conjunto de las piezas, que será enviado cuando este verificado a la cola de producción del laboratorio.

Por lo tanto, el entregable que se envía de diseño a fabricación consiste de el modelo 3D, los planos 2D de las piezas y el conjunto (con su respectiva lista de partes) y el fichero STL.

Las distintas fases por las que pasa el diseño de la pieza (y el conjunto) son:

- S0(C): Pieza (conjunto) inicial. El modelo 3D se está modificando.
- S0(C)R: Modelo 3D congelado mientras se verifica por parte de fabricación
- S1(C): Modelo 3D verificado. Planos 2D y lista de partes modificándose.
- SR(C): Entregable completo bajo revisión por parte de fabricación y de montaje.
- SC(C): Entregable completo validado.

Todas las piezas serán fabricadas mediante FDM con la impresora Dimension SST 768 (Ilustración 28). Esta impresora usa el programa CURA de la compañía Ultimaker, que convierte los ficheros STL en un código que la impresora es capaz de leer.

Una vez las piezas están preparadas para ser impresas, son enviadas al laboratorio, donde los ficheros CAD serán convertidos en STL, para enviarlos a la cola de impresión. Al mismo tiempo, tanto fabricación (personal del laboratorio) como diseño (personal que realiza los diseños), analizarán el tiempo, material y coste que supondrá la producción de esas piezas. El análisis de costes se realizará con un Excel del que dispone el personal del laboratorio de FA. En las ilustraciones 27 se observa la cantidad de material y tiempo que se ha empleado en imprimir una bandeja con distintas piezas de ensayo para este trabajo. Se trata de un recorte de pantalla del programa de la Dimension. En la tabla 4 se observa el cálculo de costes de la bandeja previamente

mencionada. En esta tabla el precio del personal técnico se ha eliminado ya que se ha llevado a cabo por el autor de este trabajo.

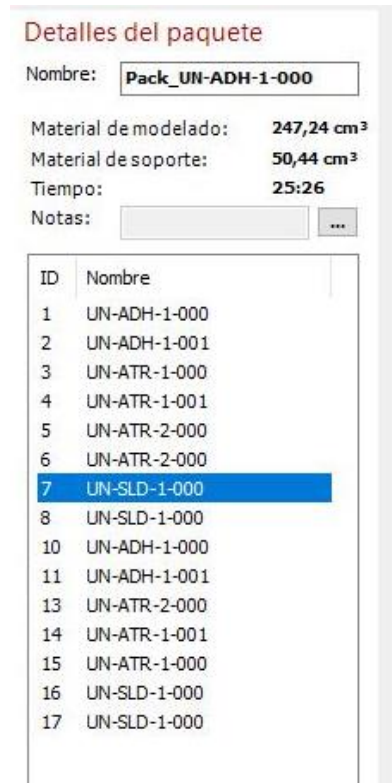


Ilustración 27: Material y tiempo de una bandeja impresa

PIEZA TFG CARLOS - Orientación HORIZONTAL		
CONCEPTOS PRESUPUESTADOS	Opción Solido	Costes parciales
Material modelo (cc)	247,00	56,81 €/ud
Soporte modelo (cc)	50,00	11,50 €/ud
Tiempo modelo (h)	25,50	113,95 €/ud
Piezas por bandeja (ud)	1,00	4,17 €/ud
Tiempo técnico-analista (h)	0,00	0,00 €
Cantidad de piezas	1,00	
<b>Coste unitario (€) en ICAI + IVA</b>	<b>186,43 €/Ud</b>	
<b>Coste total (€) en ICAI + IVA</b>	<b>186,43 €</b>	

Tabla 4: Coste de una bandeja impresa con distintas piezas

Una vez las piezas están impresas, recibirán el tratamiento post-procesado, en el que quedarán listas para ser ensambladas y ensayadas. Debido a las limitaciones del laboratorio, todas las piezas serán fabricadas mediante FDM con la impresora

Dimension SST 768 (Ilustración 28). Esta impresora usa el programa CURA de la compañía Ultimaker, que convierte los ficheros STL en un código que la impresora es capaz de leer.

Las piezas de ensayo para este trabajo serán de ABS que es el material que usa esta impresora, cuyas propiedades mecánicas y térmicas aparecen en una tabla proporcionada por Stratasys en el anexo II. Serán ensayadas únicamente a tracción ya que nos va a permitir extraer buenas conclusiones sobre cómo trabajan estas uniones y si son aptas para usarla en piezas de la industria.



*Ilustración 28: Dimension SST 768 [Manual Dimension, 2021]*

Para hacer uso de las herramientas de ensayo a tracción, previamente se ha acudido a un seminario que se nos ha facilitado. En dicho seminario se ha enseñado el correcto uso de la máquina de ensayos universal Ibertest LEI0001 (Ilustración 29) y de la colocación adecuada de las distintas mordazas de las que se disponen.

Dicha máquina permite ajusta la carga del ensayo a distintas fuerzas, para los ensayos de este trabajo se usó la carga de 20 kN. De esta manera se asegura que la fuerza del ensayo no será mayor. Y la velocidad a la que se realizó en ensayo fue de 3mm/min.

Para la realización de este trabajo se ha hecho uso de dicha máquina de ensayos, la cual se puede observar en la ilustración 29. Y de unas mordazas que tienen una distancia de 32mm entre caras y usa un pasador de 8mm de diámetro. Por esta razón se ha decidido hacer todas las probetas del mismo tamaño, 30mm de ancho y alto y 100mm de largo. Con unos agujeros de 10mm a cada lado para que los pasadores entren con juego en la pieza.

Una vez las piezas hayan sido ensambladas y ensayadas se realizará un análisis de costes y de comparativa con el ensayo de elemento finitos que se realizó previamente en ANSYS, un programa CAE. Debido a que ninguno de los que realizamos el trabajo sobre ensayos de probetas con FA no habíamos tenido previamente ninguna formación en ANSYS, se nos brindó la oportunidad de acudir a un cursillo de 20 horas de dicho programa.

En el que aprendimos las distintas características y funciones de las que dispone y ejemplos parecidos a las uniones que íbamos a tener que ensayar más tarde por nuestra cuenta.



*Ilustración 29: Máquina de ensayos universal Ibertest LEI0001 [Ibertest, 2021]*

**Cronograma:**

- Septiembre: Anexo A
- Octubre y principios de Noviembre: Anexo B
- Noviembre y Diciembre: Búsqueda de información y comienzo de la redacción de la memoria del trabajo.
- Enero y Febrero: Comienzo de fabricación de probetas y ensayo de dichas.
- Marzo: Optimización de los resultados
- Abril: Finalizar la redacción de la memoria.

En la ilustración 23 queda recogido el cronograma en forma esquematizada.

## 5. DESARROLLO DEL TRABAJO

Previamente se ha comentado las diferentes etapas por las que va a pasar cada probeta de ensayo, y también los diferentes ensayos que se van a realizar sobre ellas.

A continuación, se dispondrá a realizar una breve descripción de las 4 probetas que se han fabricado para el análisis de esta tesis. Dentro de las cuatro probetas, existen 2 atornilladas y una adhesiva y otra soldada. Para su denominación se ha usado un acrónimo para cada tipo de unión (ATR = Atornillada, ADH = Adhesiva, SLD = Soldada), y dentro de cada unión se distingue dos tipos de denominación. Si al final del nombre tiene un 000 o 001, significa que es el nombre de una pieza que forma el conjunto; por el contrario, si al final tiene un 100, significa que es el nombre del conjunto de la probeta.

### 5.1. UNIONES ATORNILLADAS (UN-ATR)

Se van a realizar dos tipos de unión atornillada, debido a que es un tipo de unión muy fácil de ensamblar. Los tornillos y tuercas usados para ensamblar dichas uniones son de la marca RS Components con un código de referencias 190-333 y 189-608 respectivamente. En la tabla que se muestra a continuación aparecen las características principales de ambos elementos:

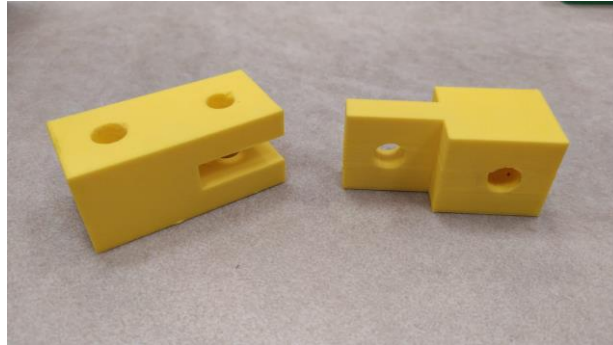
Tipo de tornillo	Hexagonal	Tipo de rosca	Completa
Acabado	Plano	Acabado	Liso
Material	Acero inoxidable 316 (A4)	Material	Acero inoxidable 316 (A4)
Longitud	60mm	Espesor	6,44 a 6,8mm
Rosca	M8	Rosca	M8
Altura cabeza	5,3mm	Paso	1,25mm
Ancho en las esquinas	14,38 mm	Ancho en las esquinas	14,38 mm
Ancho entre caras	13 mm	Ancho entre caras	12,73 a 13 mm

*Tabla 5: Características tornillo M8X60 y de la tuerca M8 [RS Components]*



### 5.1.1 UN-ATR-1

Esta probeta está compuesta de 2 piezas (la UN-ATR-1-000 y la UN-ATR-1-001) y por un tornillo y una tuerca de métrica 8. En la ilustración 30 se observa las dos piezas separadas impresas en 3D y en la 31 se puede ver el conjunto una vez ya ensamblado con el tornillo y la tuerca. Tiene unas dimensiones de 30x30x100mm, como se ha mencionado anteriormente.



*Ilustración 30: UN-ATR-1-000 y UN-ATR-1-001 separadas*



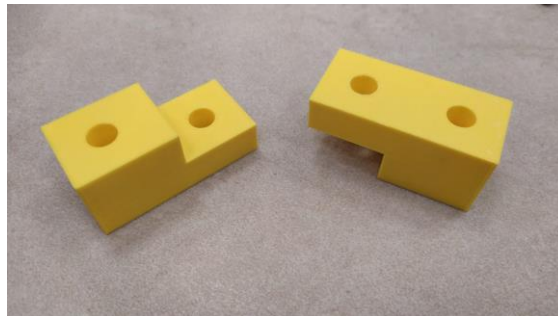
*Ilustración 31: UN-ATR-1-000 y UN-ATR-1-001 unidas*

En el anexo III se encuentran los planos de ambas piezas y del conjunto con su correspondiente lista de materiales. Para su ensamblaje se ha hecho uso de un par llaves para tornillos del tamaño correspondiente a los nuestros. Una vez ambas piezas estuviesen en su posición correcta se insertó el tornillo y se enroscó la tuerca con dichas llaves.

### 5.1.2. UN-ATR-2

Esta probeta está compuesta de 2 piezas iguales (la UN-ATR-2-000) y por un tornillo y una tuerca de métrica 8. En la ilustración 32 se observa las dos piezas separadas impresas en 3D y en la 33 se puede ver el conjunto una vez ya ensamblado con el tornillo y la tuerca.

Como se puede observar en las siguientes imágenes, esta unión es muy similar a la previa, la UN-ATR-1. La única característica resaltante sería que esta no consiste en un machi-hembrado y son dos piezas iguales solapadas. Dicha diferencia se hizo con el propósito de analizar las diferencias entre ambas, aparte de con las no-atornilladas.



*Ilustración 32: UN-ATR-2-000 y UN-ATR-2-001 separadas*



*Ilustración: 33 UN-ATR-1-000 y UN-ATR-1-001 unidas*

En el anexo IV se encuentran los planos de la pieza y del conjunto con su correspondiente lista de materiales. El ensamblaje de esta unión fue idéntico al del anterior.

## 5.2. UNIÓN ADHESIVA (UN-ADH-1)

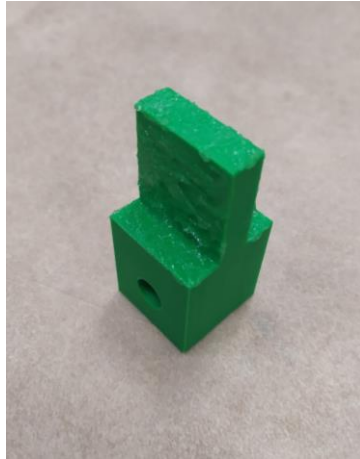
En este trabajo se va a realizar una única unión adhesiva que es muy similar a la UN-ATR-1, excepto por algunas características específicas para la aplicación del adhesivo. Para esta unión se ha usado el adhesivo sellador Total Tech de la marca Ceys, debido a que funciona perfectamente con ABS [MundoCeys, 2021]. En la ilustración 34 se puede observar las características técnicas de dicho adhesivo

<b>Colores</b>	Blanco / Gris / Marrón / Negro / Terracota / Beige / Azul
<b>Descuelgue (viscosímetro Daniels)</b>	0 mm – tixotrópico
<b>Residuo Seco</b>	> 95%
<b>Densidad</b>	1,44 – 1,48 kg/l
<b>Formación de piel (en extensión de 2 mm, 23°C, 50 % HR)</b>	7 min
<b>Tiempo de secado</b>	1 h
<b>Profundidad de curado</b>	3 mm (24 h); > 5 mm (7 d)
<b>Tservicio</b>	-40°C – +90°C
<b>Aplicación</b>	+5°C – +35°C
<b>Dureza Shore A (DIN 53505)</b>	45 - 50
<b>Elongación Rotura (DIN 53504)</b>	> 370%
<b>Resistencia a la tracción</b>	300Kg/10cm <sup>2</sup> [3,0 MPa] >15000 cP (0,1 s <sup>-1</sup> )
<b>Viscosidad</b>	400–800 cP (5 s <sup>-1</sup> ) 100–450 cP (10 s <sup>-1</sup> )

*Ilustración 34: Características técnicas de TotalTech [MundoCeys,2021]*

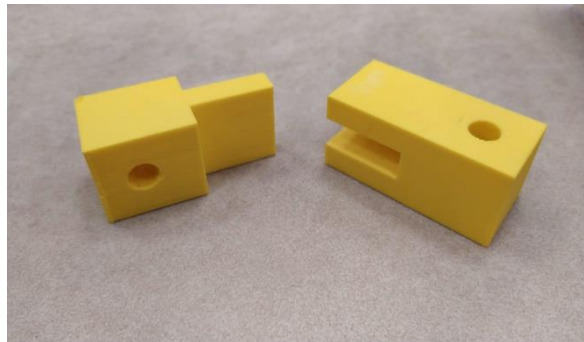
Para su ensamblaje se han llevado a cabo distintos procesos:

1. Limpieza de la superficie con etanol: este tratamiento elimina la suciedad de la superficie para que el adhesivo se pueda aplicar correctamente.
2. Disposición y reparto uniforme del adhesivo a lo largo de las cinco caras tal y como se puede observar en la ilustración 35.
3. Colocación de ambas piezas en la posición correcta para que el conjunto quede alineado
4. Limpieza del adhesivo sobrante
5. Reposo durante 24 horas que es el tiempo de curación

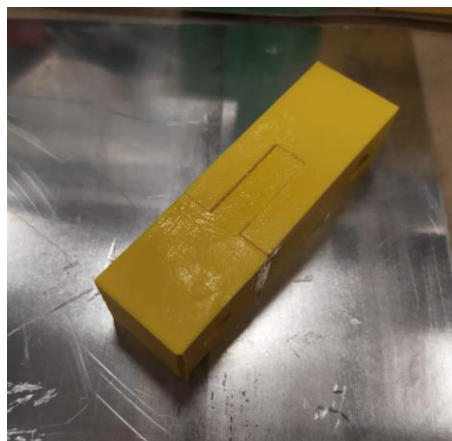


*Ilustración 35: Pieza UN-ADH-1-000 con el adhesivo repartido sobre las 5 caras*

Esta probeta está compuesta de 2 piezas (la UN-ADH-1-000 y la UN-ADH-1-001) y la cantidad requerida de adhesivo. En la ilustración 36 se observa las dos piezas separadas impresas en 3D y en la 37 se puede ver el conjunto una vez ya ensamblado.



*Ilustración 36: UN-ADH-1-000 y UN-ADH-1-001*

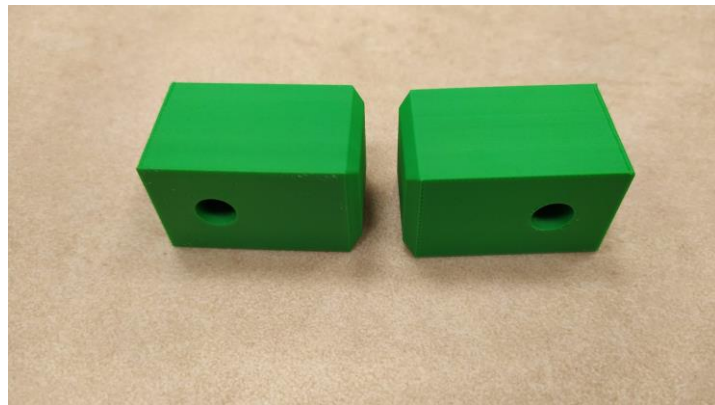


*Ilustración 37: UN-ADH-1-100*

En el anexo V se encuentran los planos de la pieza y del conjunto con su correspondiente lista de materiales. En dichos planos se puede observar cómo se ha dejado un espacio de 0,25mm por cada lado para la capa del adhesivo.

### 5.3. UNIÓN SOLDADA (UN-SLD-1)

En este trabajo se va a realizar una única unión soldada, la cual consiste en dos piezas idénticas las cuales se muestran en la ilustración 38. En el anexo VI se encuentran los planos de la pieza y del conjunto con su correspondiente lista de materiales.



*Ilustración 38: UN-SLD-1*

Tal y como se puede observar en la imagen y en los planos, se han preparado los bordes para la soldadura en ambas piezas. Para ello se han hecho unos chaflanes de 3mm de profundidad.

Para llevar a cabo la soldadura se hizo uso de la pistola de calor HOT-JET S de la empresa Leister. Dicha pistola consta de dos reguladores que permiten ajustar la temperatura y el flujo de aire. Y se usará la boquilla para soldadura rápida que aparece en la ilustración 39. Se decidió usar esta boquilla debido a que tiene un pequeño canal por el que se introduce el filamento de ABS para que se reblandezca y se pueda depositar sobre la pieza. Aparte el material de aporte para la soldadura es ABS. El mismo que el de las piezas, cuya temperatura de fusión son 200°C [Contreras, 2019].



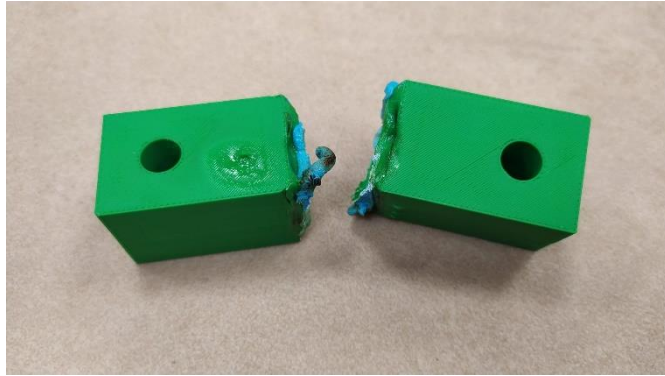
*Ilustración 39: Boquilla para soldadura rápida*

Primero se fue aumentando la temperatura progresivamente con el regulador, mientras se iba midiendo con un termómetro de infrarrojos a la salida de la boquilla de la marca Fluke. Cuando se llegó a una temperatura un poco mayor a la de fusión para asegurarse de que el material de aporte se fundiese sin problema, se detuvo el regulador en esa posición. En todo momento se mantuvo el flujo de aire a la mitad de potencia con el regulador

A continuación, se introdujo el filamento por el canal de la boquilla y se esperó unos segundos hasta que se reblandeciese. Posteriormente, se acercó la boquilla a la unión para depositar cuidadosamente el filamento en la entalla que forman la unión de ambas piezas. Cabe mencionar que previamente se habían unido ambas probetas en su posición correcta con una mordaza.

Durante el proceso de soldadura se topó con un problema que dificultó la realización de esta unión. Y es que como todas las probetas se imprimieron con semi-relleno, y no sólidas, cuando se acercaba la boquilla a las caras de la pieza, estas se hundían. Debido a que el poco relleno de dentro se fundía en el tiempo que se depositaba el filamento. Más tarde cuando se intentó resolver dicho problema imprimiendo las mismas probetas sólidas, la impresora de la que se disponía empezó a fallar y no se pudieron imprimir más probetas. Por lo que se decidió únicamente analizar esta unión mediante elementos finitas.

En las ilustraciones 40 y 41 se puede observar como se hundían las caras como se ha mencionado previamente. Esto imposibilita depositar el cordón y que ambos materiales se unan correctamente.



*Ilustración 40: Probeta sobre la que se intentó soldar*



*Ilustración 41: Probeta sobre la que se intentó soldar*

## 6. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Una vez todas las piezas estaban ensambladas, se llevaron al laboratorio para poder ensayarlas con la Ibertest. Paralelamente, se realizaron los ensayos de elementos finitos por ANSYS. En los que se sometieron las cuatro uniones a una fuerza de 1000 N.

A continuación, se analizarán y estudiarán los resultados obtenidos con ambos métodos y se compararán para ver si los resultados son similares.

### 6.1. UN-ATR-1

Previamente se ensamblaron cuatro prototipos de esta unión, para poder estudiar más de un caso y analizar los tipos de fractura de las probetas. De esta manera los resultados serán más precisos y distarán menos de la realidad.

Para analizar los resultados se ha extraído una gráfica de los datos de cada ensayo en el que su muestra en el eje X el alargamiento de la probeta (en mm) y en el eje Y la carga aplicada por la maquina (en kN). En la ilustración 42 se muestra dicha grafica de la media de los cuatro ensayos.

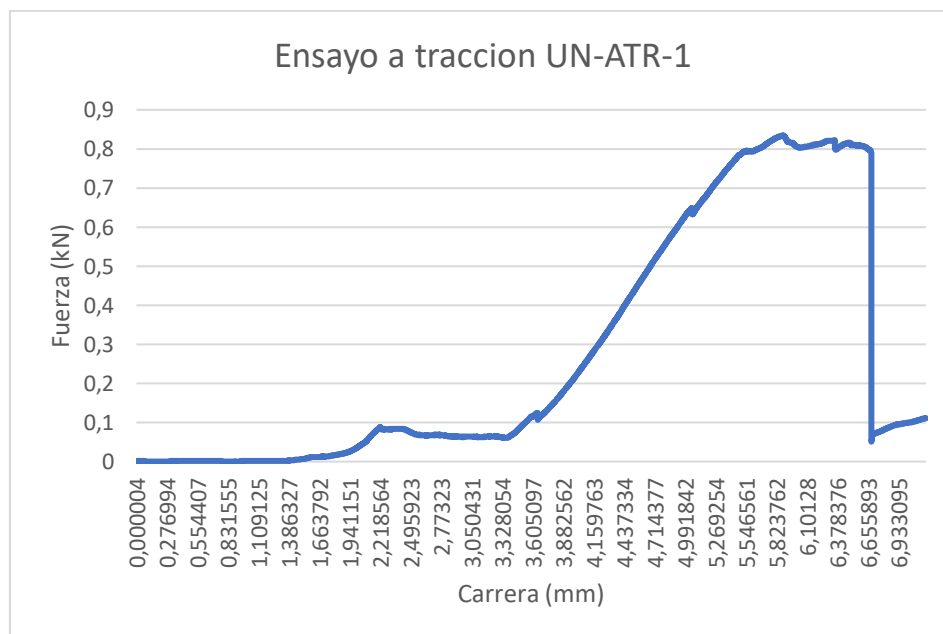


Ilustración 42: Ensayo a tracción de la UN-ATR-1



Tal y como se puede observar en dicha grafica las probetas han aguantado una carga media máxima de casi 850 N. Después de llegar a esta carga las probetas se deforman plásticamente hasta que rompen, que concuerda con la caída de la función.

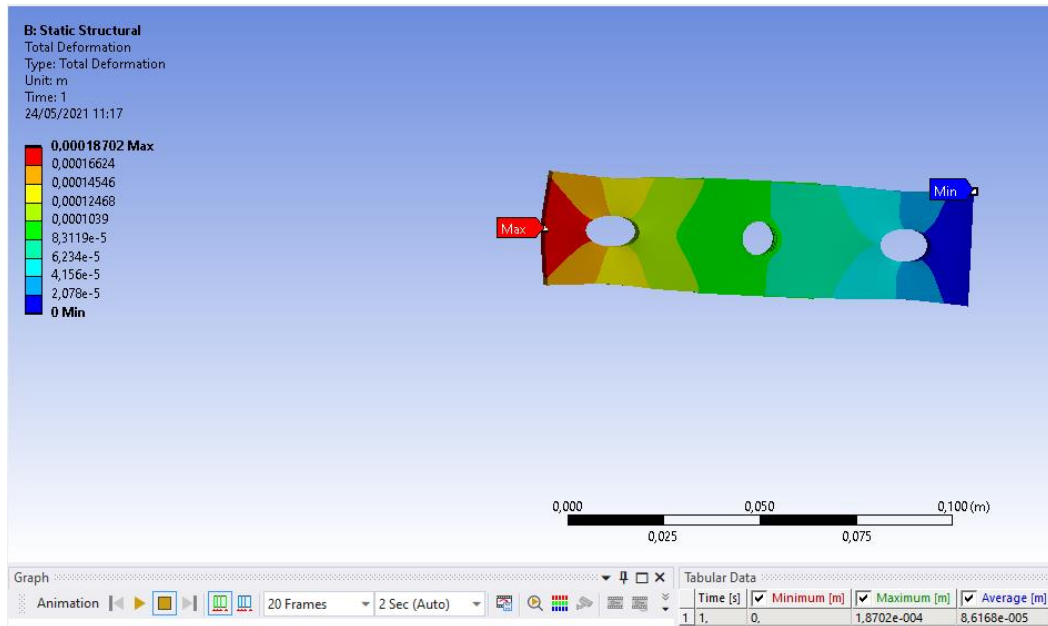
Aparte, el programa con el que funciona la maquina extrae datos relevantes para el estudio de tracción, como la resistencia máxima o el módulo de elasticidad. En la tabla 6 se puede observar los datos del ensayo.

<b>Campo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Modo de ensayo	Tracción	
Modo de control	Carrera	
Velocidad	3	mm/min
Célula	20	kN
Límite elástico al (Tracción)	0.2	%
Módulo de elasticidad (E)	520.214	MPa
Resistencia tracción (Rm)	0.9261	MPa

*Tabla 6: Datos del ensayo a tracción de la UN-ATR-1*

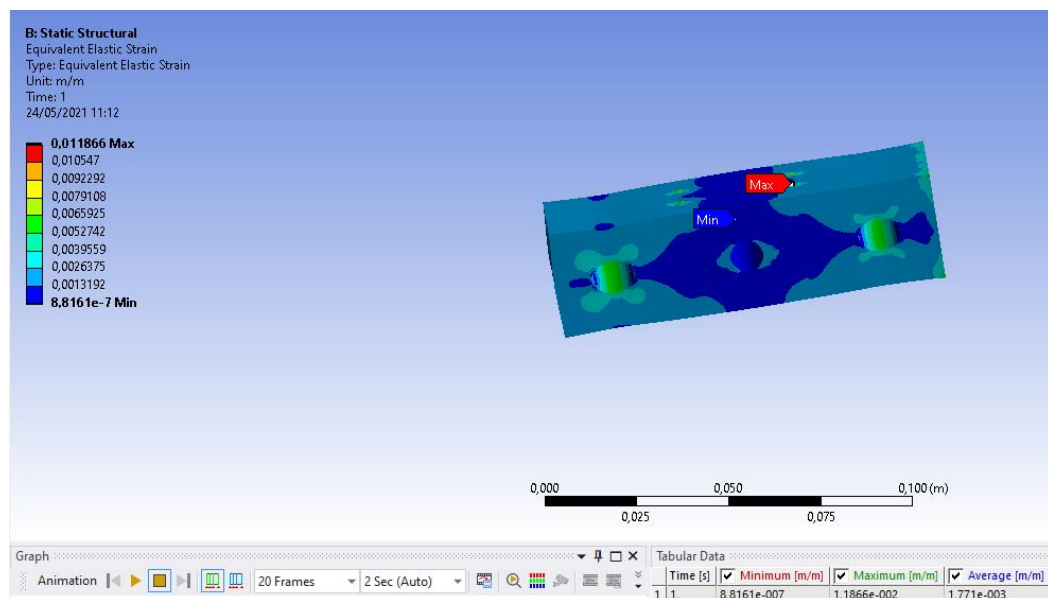
Para poder comparar los datos obtenidos se va a usar el modulo de elasticidad del ABS que se encuentra en el Anexo II (1627 MPa) y la resistencia máxima tracción que es de 43 MPa [Wikipedia, 2020]. Como se puede ver los valores obtenidos los ensayos son mucho menores, esto se debe a distintas razones: las probetas han sido impresas con semi-relleno, al contrario que los datos que son para ABS relleno; y nuestras probetas se tratan de un prototipo de unión por lo que aguantará menos que una pieza solida impresa toda en 3D. Además, la disposición de las fibras cuando se imprime con semi-relleno no es longitudinal, por lo que no se maximizan las propiedades para el ensayo a tracción.

A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos con el análisis de elementos finitos con ANSYS. Se ha decidido mostrar la deformación de la pieza (Ilustración 43) y la tensión elástica equivalente (con la fórmula de VonMises) (Ilustración 44) en una escala de colores cuyos valores equivalentes se encuentran detallados en la leyenda.



*Ilustración 43: Deformación de la UN-ATR-1 en ANSYS*

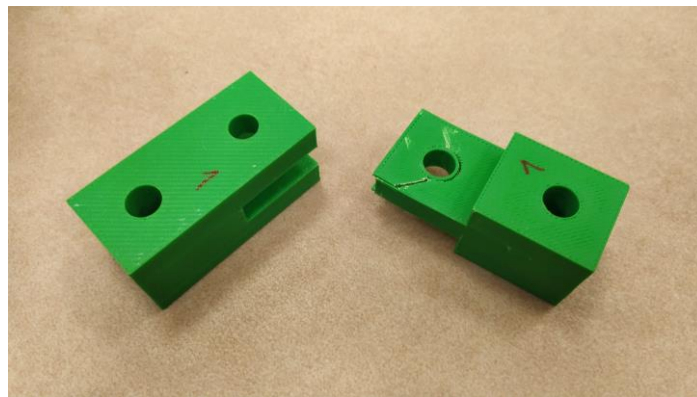
En la ilustración 43 se puede observar cómo se ha deformado la unión en el ensayo de elementos finitos cuando la sometemos a una fuerza de 1000 N. Aunque la fuerza sea mayor que la que han llegado a aguantar las probetas, la deformación es mucho menor que la obtenida en la práctica debido a que se usaron las propiedades del ABS del Anexo II. Por lo que con esta simulación se estaría imitando una probeta rígida rellena, no como las que se han usado en la práctica.



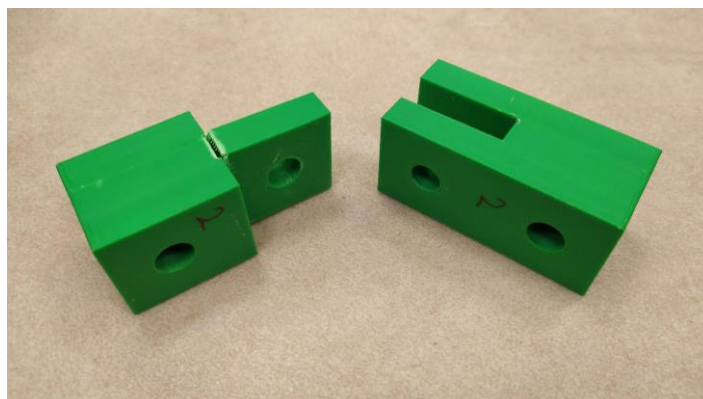
*Ilustración 44: Tensión elástica equivalente de la UN-ATR-1 en ANSYS*

Tal y como se puede observar en la imagen anterior, las tensiones más grandes se encuentran los agujeros donde van los pasadores y el tornillo. Esto concuerda con los resultados que hemos obtenido en los ensayos, ya que las probetas han roto por el agujero para el tornillo de la pieza macho. En la ilustración 45 se muestra un ejemplo de una probeta que ha roto por dicho agujero. En dicha ilustración se puede ver cómo ha roto según la disposición de las fibras, a 45°.

Cabe destacar también que la tensión máxima se encuentra en el base de contacto de la pieza macho. Esto se debe a que esta pieza tiene el menor espesor y por lo que aguanta menos cargas que la pieza hembra que cuenta con un mayor espesor. En la ilustración 46 se puede observar otra probeta que ha roto por esta base.



*Ilustración 45: Probetas UN-ATR-1 rotas tras el ensayo*



*Ilustración 46: Probetas UN-ATR-1 rotas tras el ensayo*

## 6.2. UN-ATR-2

Previamente se ensamblaron cuatro prototipos de esta unión, para poder estudiar más de un caso y analizar los tipos de fractura de las probetas. De esta manera los resultados serán más precisos y distarán menos de la realidad.

Para analizar los resultados se ha extraído una gráfica de los datos de cada ensayo en el que su muestra en el eje X el alargamiento de la probeta (en mm) y en el eje Y la carga aplicada por la maquina (en kN). En la ilustración 47 se muestra dicha grafica de la media de los cuatro ensayos.

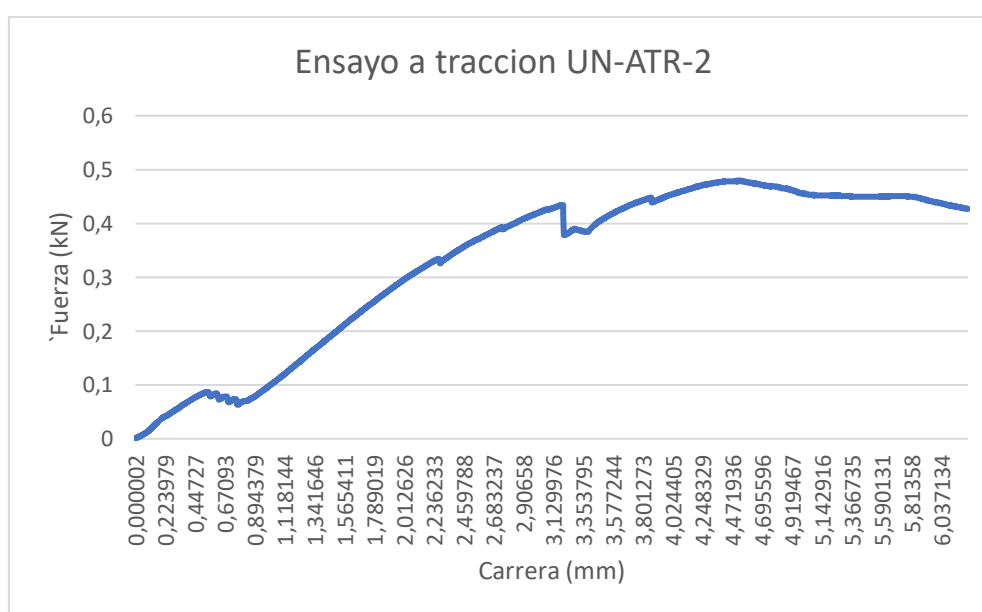


Ilustración 47: Ensayo a tracción de la UN-ATR-2

En esta grafica se puede observar cómo se trata de una rotura más elástica, debido a que aguanta una fuerza menor, pero con una elongación mayor. Por esta razón la pendiente de la curva es menos inclinada. La fuerza media máxima que han soportado las uniones es de casi 500 N, un valor menor que al obtenido en la anterior unión.

Aparte, el programa con el que funciona la maquina extrae datos relevantes para el estudio de tracción, como la resistencia máxima o el módulo de elasticidad. En la tabla 7 se puede observar los datos del ensayo.

Campo	Valor	Unidad
Modo de ensayo	Tracción	
Modo de control	Carrera	
Velocidad	3	mm/min
Célula	20	kN
Límite elástico al (Tracción)	0.2	%
Módulo de elasticidad (E)	254.665	MPa
Resistencia tracción (Rm)	0.5326	MPa

Tabla 7: Datos del ensayo a tracción de la UN-ATR-2

Esta unión, tal y como se puede contemplar en la anterior tabla, tiene un módulo de elasticidad y una resistencia a tracción menor que la otra unión atornillada. Esto se puede deber a que como son dos piezas simétricas, el tornillo crea un par flector que rompa con mayor facilidad el material. Ya que todas las piezas han sido impresas para ser ensayadas a tracción, por lo que su resistencia en los otros dos ejes es menor.

A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos con el análisis de elementos finitos con ANSYS. Se ha decidido mostrar la deformación de la pieza (Ilustración 48) y la tensión elástica equivalente (con la fórmula de VonMises) (Ilustración 49) en una escala de colores cuyos valores equivalentes se encuentran detallados en la leyenda.

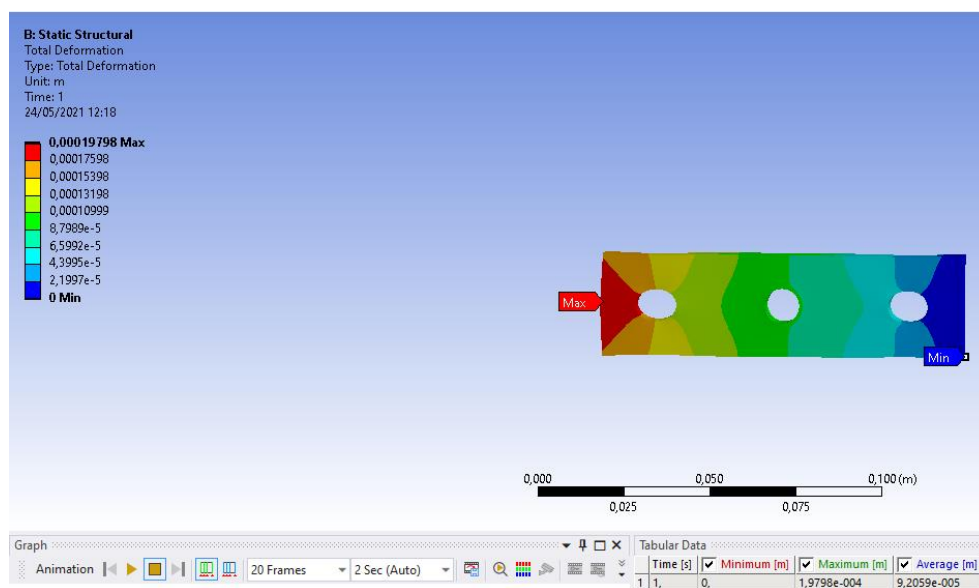
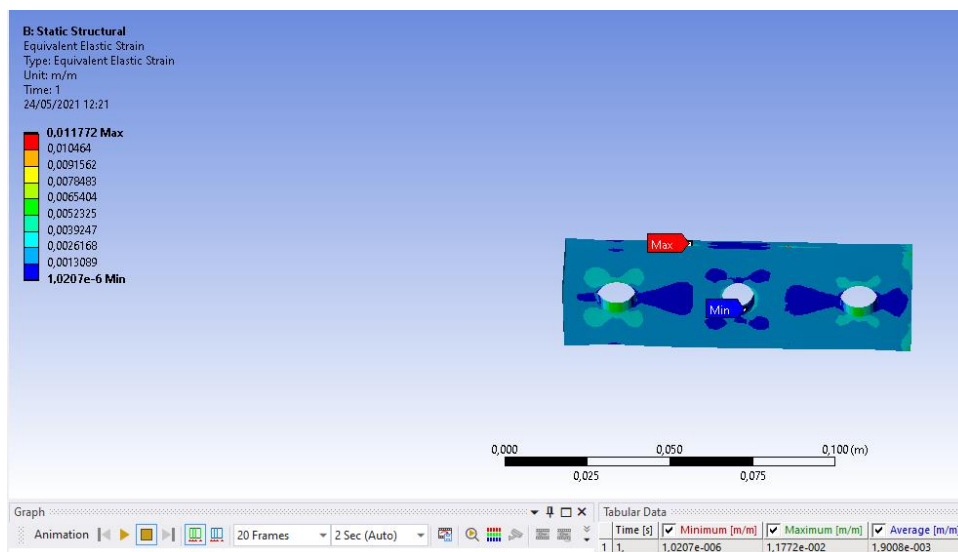


Ilustración 48: Deformación de la UN-ATR-2 en ANSYS

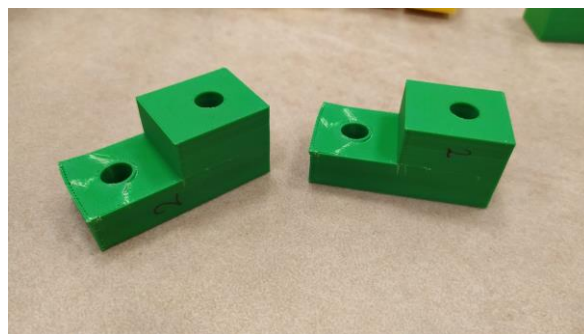
En la ilustración 48 se puede observar cómo se ha deformado la unión en el ensayo de elementos finitos cuando la sometemos a una fuerza de 1000 N. Aunque la fuerza sea mayor que la que han llegado a aguantar las probetas, la deformación es mucho menor que la obtenida en la práctica debido a que se usaron las propiedades del ABS del Anexo II.

Aparte, cabe destacar que en la simulación de esta unión la deformación máxima obtenida es mayor que la anterior. Lo mismo que se ha obtenido en la realidad.



*Ilustración 49: Tensión elástica equivalente de la UN-ATR-2 en ANSYS*

Igual que en la unión anterior, en la ilustración 49 se puede observar como las mayores tensiones se encuentran en los tres agujeros. Y la tensión máxima se encuentra en la base de contacto de las piezas, por el mismo sitio que han roto nuestras probetas. Esto se puede examinar en las ilustraciones 50 y 51, donde se ve claramente que las probetas rompen cerca del agujero del tornillo y en el plano de contacto de ambas piezas.



*Ilustración 50: Probetas UN-ATR-2 rotas tras el ensayo*

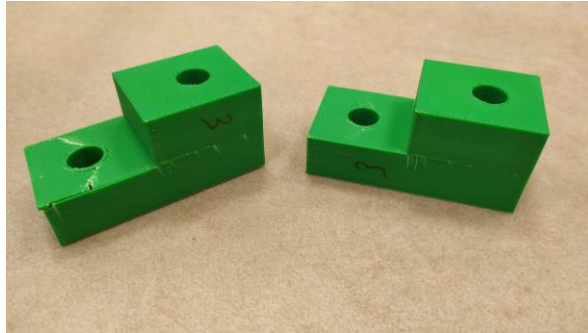


Ilustración 51: Probetas UN-ATR-2 rotas tras el ensayo

### 6.3. UN-ADH-1

Previamente se ensamblaron cinco prototipos de esta unión, para poder estudiar más de un caso y analizar los tipos de fractura de las probetas. De esta manera los resultados serán más precisos y distarán menos de la realidad.

Para analizar los resultados se ha extraído una gráfica de los datos de cada ensayo en el que su muestra en el eje X el alargamiento de la probeta (en mm) y en el eje Y la carga aplicada por la maquina (en kN). En la ilustración 52 se muestra dicha grafica de la media de los cuatro ensayos.

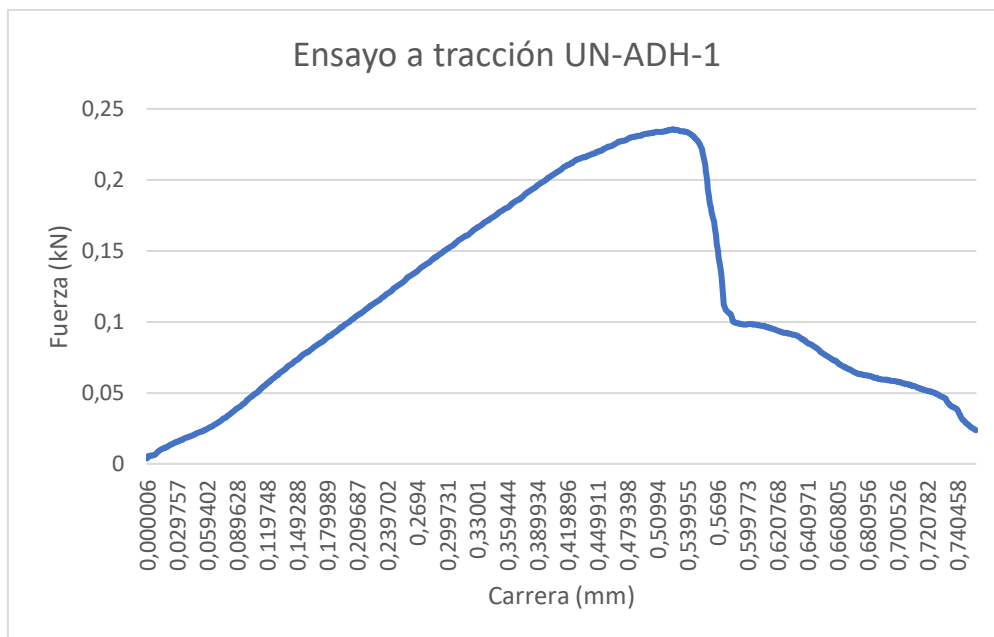


Ilustración 52: Ensayo a tracción de la UN-ADH-1

En la gráfica de la ilustración 52 se puede contemplar como la unión adhesiva tiene mucha menos elongación que las dos uniones atornilladas. Esto se debe a que la rotura de la probeta viene dada por el adhesivo y no por la propia pieza de ABS. Esto no sucedía en las uniones atornilladas debido a que el tornillo es de acero inoxidable que tiene mayor resistencia a tracción que el ABS. En cambio, la resistencia del adhesivo usado es de 3 MPa, menor a la del ABS, razón por la que falla antes el adhesivo.

Aparte, el programa con el que funciona la máquina extrae datos relevantes para el estudio de tracción, como la resistencia máxima o el módulo de elasticidad. En la tabla 8 se puede observar los datos del ensayo.

<b>Campo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Modo de ensayo	Tracción	
Modo de control	Carrera	
Velocidad	3	mm/min
Célula	20	kN
Límite elástico al (Tracción)	0.2	%
Módulo de elasticidad (E)	435.833	MPa
Resistencia tracción (Rm)	0.2615	MPa

*Tabla 8:* Datos del ensayo a tracción de la UN-ADH-1

La resistencia a tracción media de los ensayos es de 0,2615 MPa, menor a la del ABS y a la del adhesivo. Esto se debe a que la probeta no está completamente rellena y a que a la superficie impresa en 3D que no tiene un acabado superficial muy bueno. Por lo que el adhesivo no queda bien adherido a la superficie.

A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos con el análisis de elementos finitos con ANSYS. Se ha decidido mostrar la deformación de la pieza (Ilustración 53) y la tensión elástica equivalente (con la fórmula de VonMises) (Ilustración 54) en una escala de colores cuyos valores equivalentes se encuentran detallados en la leyenda.



Para realizar la simulación de dicha unión, debido a la dificultad de la aplicación de una capa de adhesivo en ANSYS, se han fijado las 5 caras donde se ha repartido el pegamento. Por lo que los resultados obtenidos distan de lo obtenido en la realidad ya que no se tiene en cuenta el adhesivo aplicado.

En la ilustración 53 se puede observar cómo se ha deformado la unión en el ensayo de elementos finitos cuando la sometemos a una fuerza de 1000 N. Aunque la fuerza sea mayor que la que han llegado a aguantar las probetas, la deformación es mucho menor que la obtenida en la práctica debido a que se usaron las propiedades del ABS del Anexo II.

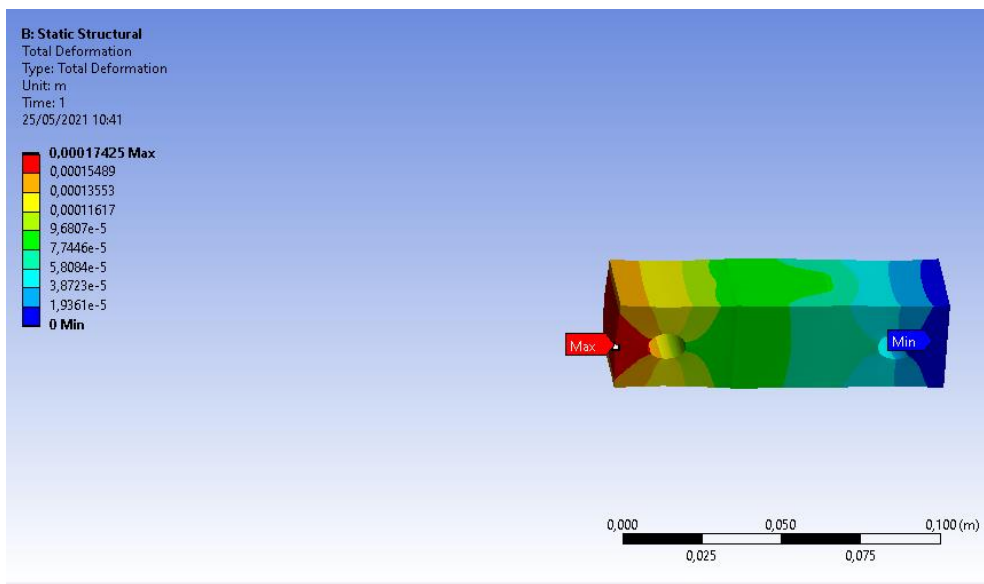


Ilustración 53: Deformación de la UN-ADH-1 en ANSYS

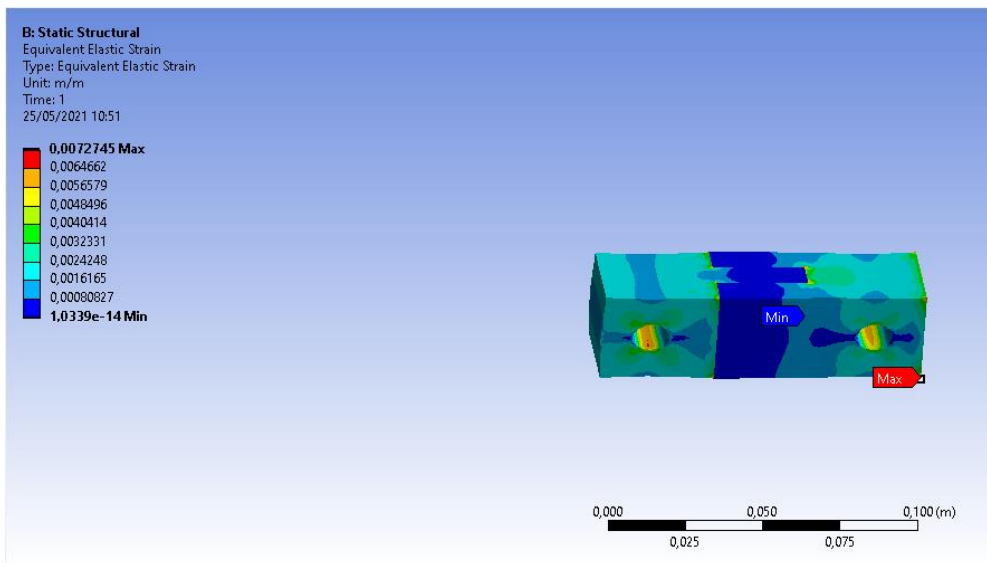


Ilustración 54: Tensión elástica equivalente de la UN-ADH-1 en ANSYS

Tal y como se puede contemplar en la ilustración 54, las tensiones más grandes se encuentran en los agujeros y en las bases de contacto de ambas piezas. Estos datos no se pueden contrastar con lo obtenido en los ensayos prácticos debido a que en estos las piezas de ABS no han sufrido ninguna rotura. En la ilustración 55 se puede observar cómo se han separado las piezas sin que estas se fracturen.



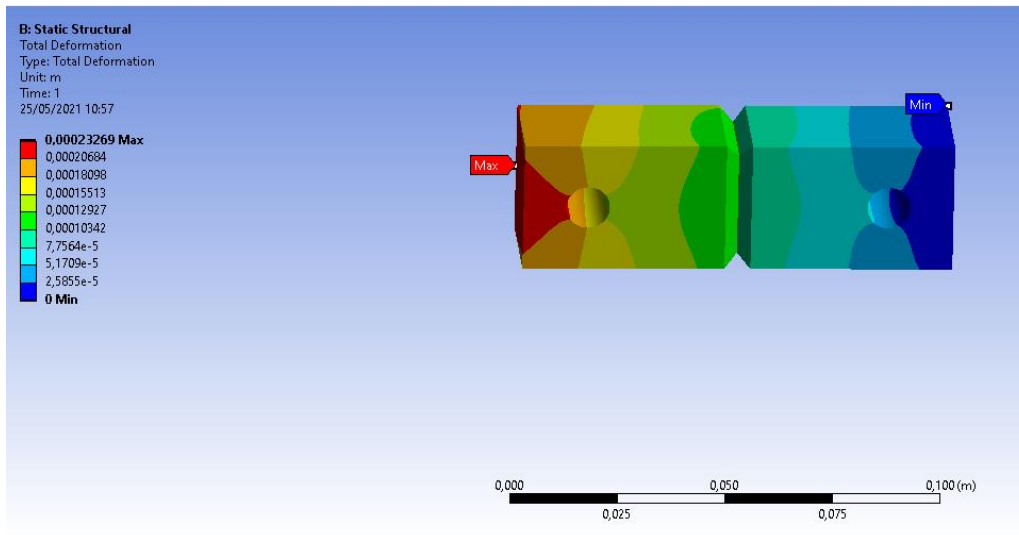
*Ilustración 55: Probetas UN-ADH-1 rotas tras el ensayo*

#### **6.4. UN-SLD-1**

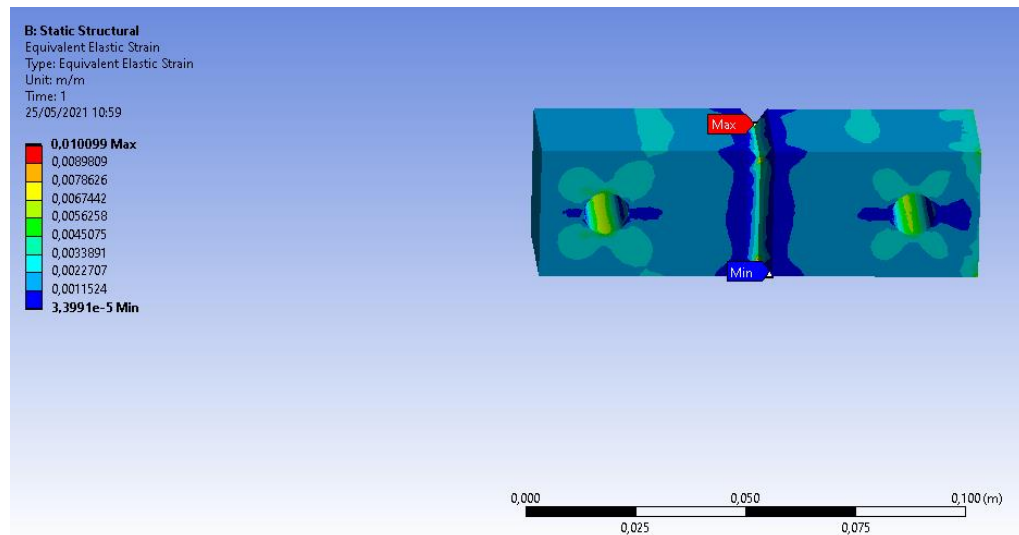
Previamente se imprimieron cinco pares de probetas de esta unión, para poder estudiar más de un caso y analizar los tipos de fractura de las probetas. De esta manera los resultados serán más precisos y distarán menos de la realidad. Mas tarde, cuando se fueron a ensamblar, surgió un problema debido al poco relleno que contenían dichas piezas. Por lo que no se pudo realizar el ensayo a tracción y únicamente se analizara esta unión mediante elementos finitos.

A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos con el análisis en ANSYS. Se ha decidido mostrar la deformación de la pieza (Ilustración 56) y la tensión elástica equivalente (con la fórmula de VonMises) (Ilustración 57) en una escala de colores cuyos valores equivalentes se encuentran detallados en la leyenda.

En la ilustración 56 se puede observar cómo se ha deformado la unión en el ensayo de elementos finitos cuando la sometemos a una fuerza de 1000 N. La deformación máxima obtenida ha sido la mayor de las cuatro uniones, por lo que se puede concluir que si la soldadura no estuviese bien realizada podría ser la unión que menos aguante. Pero como no se puede contrastar con el ensayo práctico, no se puede validar dicha hipótesis.



*Ilustración 56: Deformación de la UN-SLD-1 en ANSYS*



*Ilustración 57: Tensión elástica equivalente de la UN-SLD-1 en ANSYS*

Tal y como se puede contemplar en la ilustración 59, las tensiones máximas se encuentran en los agujeros y en la entalla para la soldadura. Con esta información se puede suponer que la rotura de esta probeta se debería a la separación del material de aporte de las piezas ya que es el punto donde hay la máxima tensión elástica.

## 7. CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

Tras la realización de este trabajo, se han podido extraer distintas conclusiones las cuales se enumerarán a continuación:

- La dificultad para realizar la unión soldada es mayor que la adhesiva y más aún que la atornillada. Debido a que para ello se requiere de previa formación y práctica.
- La unión adhesiva también requiere unos mínimos conocimientos, ya que si se quiere una buena unión se necesitará hacer un pretratamiento a la pieza.
- Los mejores resultados se han obtenido con la UN-ATR-1, debido a la UN-ATR-2, como consiste en dos piezas simétricas se produce una flexión en la zona del tornillo por lo que no se maximizan las propiedades del ensayo a tracción. La UN-ATR-1 por el contrario no permite esta flexión debido a su diseño, de tal manera que mejora su fuerza a tracción.
- Con la unión adhesiva, por el contrario, no se han obtenido unos resultados tan buenos. Por lo que en futuros trabajos se podría ensayar la misma unión u otra, pero realizando otros pretratamientos sobre las piezas, para mejorar su adherencia.
- Las simulaciones realizadas con ANSYS de la unión soldada y la unión adhesiva no son tan representativas de la realidad debido a la dificultad técnica de realizar un buen modelo para su ensayo por elementos finitos. Con un mayor conocimiento y experiencia se podrían simular dichas uniones perfectamente ya que ANSYS dispone de las herramientas suficientes.
- En las dos uniones atornilladas, las piezas sufren una mayor tensión cerca del agujero donde se coloca el tornillo. Por lo que tienden a romper por esa zona.
- Los costes de la impresión de las piezas más los del material no son muy caros en comparación a otros métodos de fabricación que emplean acero y maquinaria más costosa. Pero hay que tener en cuenta que las características que ofrece no son la misma que si la pieza fuese de acero u otro material más resistente.
- Dentro de los distintos ABS que existen, el que requiere la impresora que se ha usado es más caro respecto a otros más normales.

Para trabajos futuros se podría ensayar las mismas uniones, pero rellenas por dentro, de manera que su resistencia a tracción aumentase. Así también se podría probar a realizar la unión soldada sin que la pieza se ablandase y se deformara.

A la vista de los positivos resultados de las uniones atornilladas, se podría también a diseñar otras uniones con distinta geometría para ver si se pudiese lograr mejores resultados.

## 8. BIBLIOGRAFIA

Tamarit, R.G., 2019. ¿Qué es el Backlog? Muy Agile. URL <https://muyagile.com/que-es-el-backlog/> (accessed 5.27.21)

¿Qué es un tablero Kanban? | Kanbanize [WWW Document], n.d. . Kanban Software for Agile Project Management. URL <https://kanbanize.com/es/recursos-de-kanban/primeros-pasos/que-es-tablero-kanban> (accessed 5.26.21)

Wijk, A., van Wijk, I., 2015. 3D printing with biomaterials: Towards a sustainable and circular economy. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-486-2-i>

Wong, K.V., Hernandez, A., 2012. A Review of Additive Manufacturing. ISRN Mechanical Engineering 2012, 1–10. <https://doi.org/10.5402/2012/208760>

Huang, S.H., Liu, P., Mokasdar, A., Hou, L., 2013. Additive manufacturing and its societal impact: a literature review. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 67, 1191–1203. <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4558-5>

Manfredi, D., Calignano, F., Krishnan, M., Canali, R., Paola, E., Biamino, S., Ugues, D., Pavese, M., Fino, P., 2014. Additive Manufacturing of Al Alloys and Aluminium Matrix Composites (AMCs), in: Monteiro, W.A. (Ed.), Light Metal Alloys Applications. InTech. <https://doi.org/10.5772/58534>

Jiménez, M., Romero, L., Domínguez, I.A., Espinosa, M. del M., Domínguez, M., 2019. Additive Manufacturing Technologies: An Overview about 3D Printing Methods and Future Prospects. Complexity 2019, 9656938. <https://doi.org/10.1155/2019/9656938>

Gibson, I., Rosen, D.W., Stucker, B., 2010. Additive manufacturing technologies: rapid prototyping to direct digital manufacturing. Springer, London ; New York.

Gibson, I., Rosen, D.W., Stucker, B., Khorasani, M., 2021. Additive manufacturing technologies.

Srivatsan, T.S., Sudarshan, T.S. (Eds.), 2016. Additive manufacturing: innovations, advances, and applications. CRC Press/Taylor & Francis Group, Boca Raton.

Mathis, B., 2018. Agile Project Management para Principiantes: Dominar los Conocimientos Básicos con Scrum. Babelcube Inc.

Medellín, H., Lim, T., Corney, J., Ritchie, J.M., Davies, J.B.C., 2006. Automatic Subdivision and Refinement of Large Components for Rapid Prototyping Production. *Journal of Computing and Information Science in Engineering* 7, 249–258. <https://doi.org/10.1115/1.2753162>

BigRep PRO: Impresora industrial 3D de gran escala para uso profesional, n.d. URL <https://bigrep.com/es/bigrep-pro/> (accessed 5.24.21).

Özel, T., Bártolo, P., Ceretti, E., Ciurana Gay, J.D., Rodriguez, C.A., Silva, J.V.L. da (Eds.), 2017. Biomedical devices: design, prototyping, and manufacturing. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.

Luo, L., Baran, I., Rusinkiewicz, S., Matusik, W., 2012. Chopper: Partitioning models into 3D-printable parts. *ACM Transactions on Graphics (TOG)* 31, 1–9.

Chen, X., Zhang, H., Lin, J., Hu, R., Lu, L., Huang, Q.-X., Benes, B., Cohen-Or, D., Chen, B., 2015. Dapper: decompose-and-pack for 3D printing. *ACM Trans. Graph.* 34, 213–1.

Morán, M., n.d. Consumo y producción sostenibles. Desarrollo Sostenible. URL <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/> (accessed 1.30.21).

Stahl, D.H., n.d. Darmstadt, 5 December 2013. *Additive Manufacturing* 21.

Blake, A., 1985. Design of mechanical joints. CRC press.

Atzeni, E., Salmi, A., 2012. Economics of additive manufacturing for end-usable metal parts. *Int J Adv Manuf Technol* 62, 1147–1155. <https://doi.org/10.1007/s00170-011-3878-1>

El nacimiento de la impresora 3D moderna [WWW Document], 2019. . Hipertextual. URL <https://hipertextual.com/2019/04/primera-impresora-3d> (accessed 5.24.21).

Torossian, K., Bourell, D., 2015. Experimental study of snap-fits using additive manufacturing. Presented at the 26th Annual International Solid Freeform Fabrication (SFF) Symposium, Austin, TX, pp. 1794–1803.

Godoi, F.C., Bhandari, B.R., Prakash, S., Zhang, M. (Eds.), 2019. Fundamentals of 3D food printing and applications. Academic Press an imprint of Elsevier, London San Diego Cambridge, MA, Oxford.

Yousefpour, A., Hojjati, M., Immarigeon, J.-P., 2004. Fusion Bonding/Welding of Thermoplastic Composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials* 17, 303–341. <https://doi.org/10.1177/0892705704045187>

Impresión 3D, 2021. . Wikipedia, la enciclopedia libre.

León, M., Marcos-Fernández, Á., 2019. Impresión 3D con materiales elástoméricos 118, 11.

Informe Tipos de Uniones - Casiopea [WWW Document], n.d. URL [https://wiki.ead.pucv.cl/Informe\\_Tipos\\_de\\_Uniones](https://wiki.ead.pucv.cl/Informe_Tipos_de_Uniones) (accessed 1.31.21).

Ameta, G., Lipman, R., Moylan, S., Witherell, P., 2015. Investigating the Role of Geometric Dimensioning and Tolerancing in Additive Manufacturing. *Journal of Mechanical Design* 137, 111401. <https://doi.org/10.1115/1.4031296>

Schwab, K., 2020. La Cuarta Revolución Industrial. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.4299164>

LayWoo-D3 | Filament2Print [WWW Document], n.d. URL [https://filament2print.com/es/madera-ceramico/590-laywoo-d3.html#/217-diametro-175\\_mm/253-formato-rollo\\_250\\_g](https://filament2print.com/es/madera-ceramico/590-laywoo-d3.html#/217-diametro-175_mm/253-formato-rollo_250_g) (accessed 1.31.21).

Conner, B.P., Manogharan, G.P., Martof, A.N., Rodomsky, L.M., Rodomsky, C.M., Jordan, D.C., Limperos, J.W., 2014. Making sense of 3-D printing: Creating a map of additive manufacturing products and services. *Additive Manufacturing* 1–4, 64–76. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2014.08.005>

Kramer, S., Jordan, J.L., Jin, H., Carroll, J., Beese, A.M. (Eds.), 2019. Mechanics of Additive and Advanced Manufacturing, Volume 8: Proceedings of the 2018 Annual Conference on Experimental and Applied Mechanics, Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series. Springer International Publishing, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-95083-9>



Oriozabala Brit, J.A., Espinosa Escudero, M.D.M., Dominguez Somonte, M., 2016. OPORTUNIDADES DE LA FABRICACIÓN ADITIVA PARA OPTIMIZAR EL DISEÑO DE PRODUCTOS. DYNAlI 91, 263–271. <https://doi.org/10.6036/7661>

Hildebrand, K., Bickel, B., Alexa, M., 2013. Orthogonal slicing for additive manufacturing. Computers & Graphics 37, 669–675. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2013.05.011>

Oh, Y., Zhou, C., Behdad, S., 2018. Part decomposition and assembly based (Re) design for additive manufacturing: A review. Additive Manufacturing 22, 230–242. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.04.018>

Velasquez, J., Universidad, C., Palma, R., 2019. Procesos de Manufactura con tecnología 3D.

Hoggatt, J.T., Society for the Advancement of Material and Process Engineering (Eds.), 1996. Technology transfer in a global community, International SAMPE Technical Conference. Presented at the International SAMPE Technical Conference, Society for the Advancement of Material and Process Engineering, Covina, Calif.

Luna, V.C., n.d. UNIONES, RIGIDAS, FIJAS, FIJAS. 13.

Vista de Vol. 5 Núm. 1 (2021) [WWW Document], n.d. URL <https://revista.aemac.org/materiales-compuestos/issue/view/15/Materiales%20Compuestos%20Vol05%20-%20Num01> (accessed 1.31.21).

Uniones Encoladas – Adhesivos Estructurales (2015) URL [https://www.cscae.com/area\\_tecnica/aitim/enlaces/documentos/Produc\\_estruct/Uniones%20encoladas\\_Adhesivos%20estructurales\\_15.06.2015.pdf](https://www.cscae.com/area_tecnica/aitim/enlaces/documentos/Produc_estruct/Uniones%20encoladas_Adhesivos%20estructurales_15.06.2015.pdf)

RS Components | Industrial, electronic products & solutions [WWW Document], n.d. URL <https://uk.rs-online.com/web/> (accessed 6.1.21).

Contreras Howard, L., 2019. El filamento de ABS en la impresión 3D - 3Dnatives [WWW Document]. URL <https://www.3dnatives.com/es/filamento-de-abs-impresion-3d-06062019/> (accessed 6.3.21).

MundoCeys, 2021 n.d. TOTAL TECH COLORES [WWW Document]. URL <https://www.mundoceys.com/producto/80/total-tech-colores> (accessed 6.4.21).

Guia Diseño FA, 2019. [WWW Document]. Samtsudoe.com. URL <https://www.samtsudoe.com/wp-content/uploads/2019/08/Gu%C3%ADa-dise%C3%B1o.pdf> (accessed 6. 5. 21).

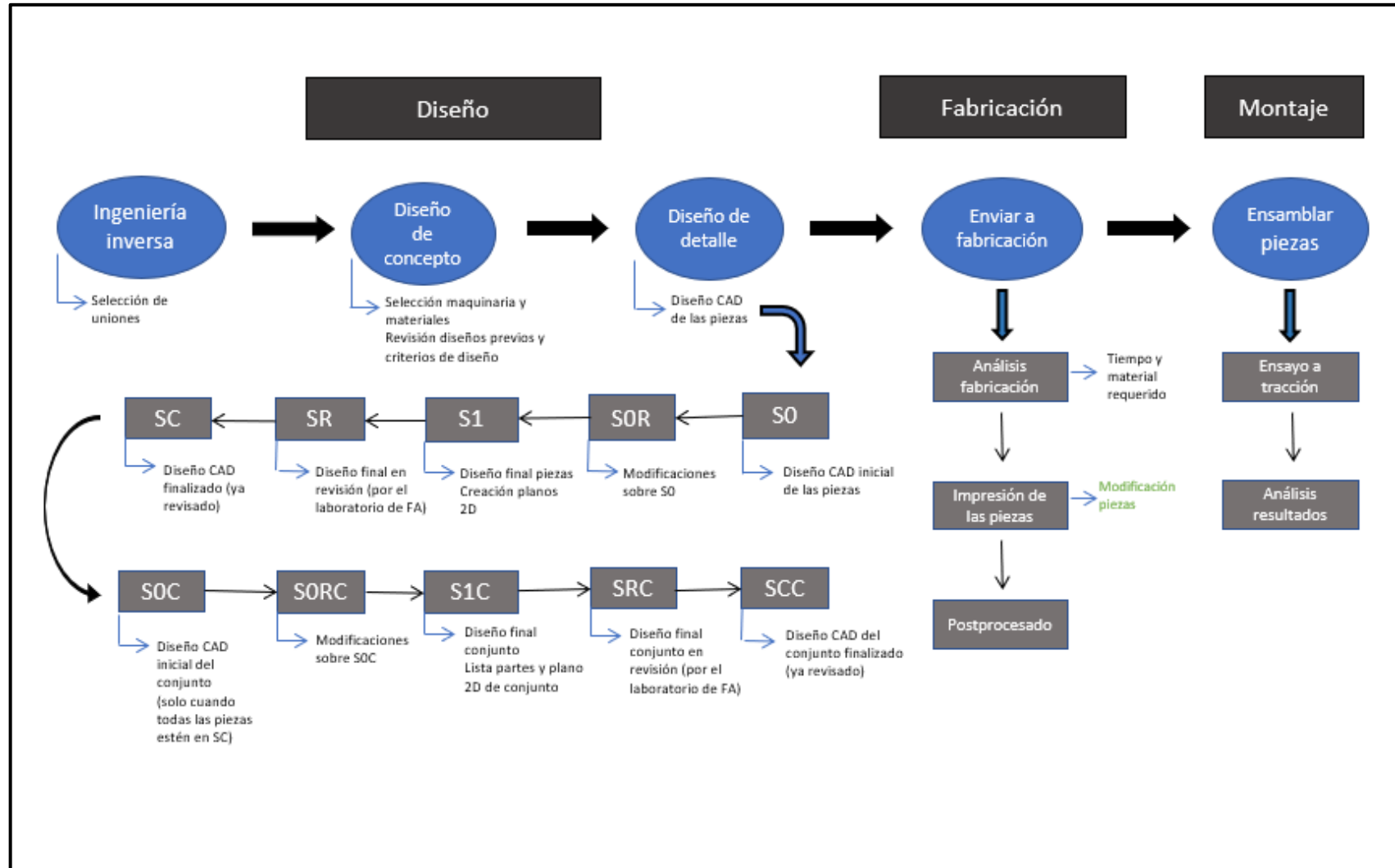
Acrylonitrilo butadieno estireno, 2020. Wikipedia, la enciclopedia libre.

Replicator+ Desktop 3D Printer | MakerBot [WWW Document], n.d. URL <https://www.makerbot.com/es/3d-printers/replicator/> (accessed 7.6.21).

Manual Dimension BST 768 (68 páginas) [WWW Document], n.d. URL <https://www.manualpdf.es/dimension/bst-768/manual> (accessed 7.6.21).

Ibertest, n.d. Máquinas de ensayo y soluciones a medida para ensayo de materiales [WWW Document]. <https://www.ibertest.es/>. URL <https://www.ibertest.es/> (accessed 7.6.21).

ANEXO I: Flujograma de la metodología de trabajo



## ANEXO II: Propiedades del ABS P400



# ABS-P400

PRODUCTION-GRADE THERMOPLASTIC  
FOR DIMENSION 3D PRINTERS

A true industrial thermoplastic, ABS is widely used throughout industry. When combined with Dimension 3D printers it becomes the ideal solution to printing 3D models in an office environment.

MECHANICAL PROPERTIES <sup>1</sup>	TEST METHOD	ENGLISH	METRIC
Tensile Strength (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	3,200 psi	22 MPa
Tensile Modulus (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	298,000 psi	1,837 MPa
Tensile Elongation (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	6%	6%
Flexural Delamination	ASTM D790	2,000 psi	14 MPa
Flexural Strength (Method 1, 0.05"/min)	ASTM D790	6,000 psi	41 MPa
Flexural Modulus (Method 1, 0.05"/min)	ASTM D790	298,000 psi	1,834 MPa
IZOD Impact, notched (Method A, 23°C)	ASTM D256	2.0 ft-lb/in	106 J/m

THERMAL PROPERTIES <sup>2</sup>	TEST METHOD	ENGLISH	METRIC
Heat Deflection (HDT) @ 66 psi	ASTM D648	166°F	60°C
Heat Deflection (HDT) @ 264 psi	ASTM D648	166°F	76°C
Glass Transition Temperature (Tg)	DMA (SEYS)	218°F	104°C
Melt Point	-----	Not Applicable <sup>3</sup>	Not Applicable <sup>3</sup>
Coefficient of Thermal Expansion	ASTM E831	6.60 E-05 in/in/°F	-----

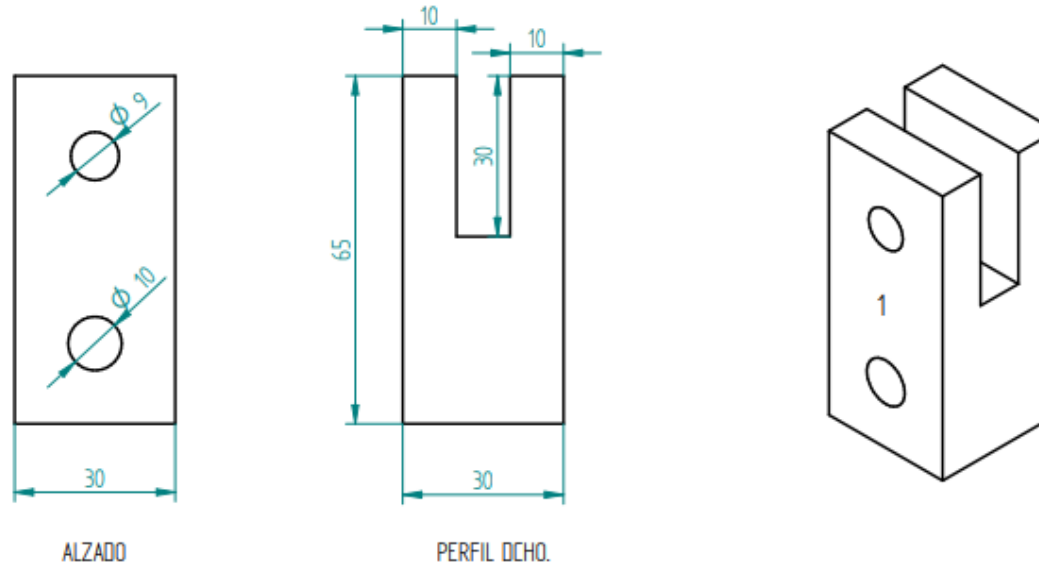
OTHER <sup>4</sup>	TEST METHOD	VALUE
Specific Gravity	ASTM D792	1.04
Vertical Burn	UL94	HB
Dielectric Strength	IEC 60112	30.0 kV/mm
UL File Number	-----	ES13258

STRATASYS.COM

**stratasys**

THE 3D PRINTING SOLUTIONS COMPANY

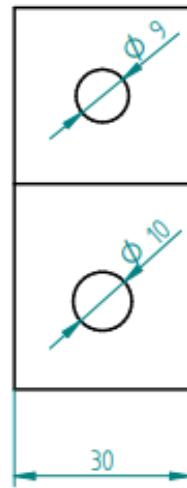
### ANEXO III: Planos de la UN-ATR-1



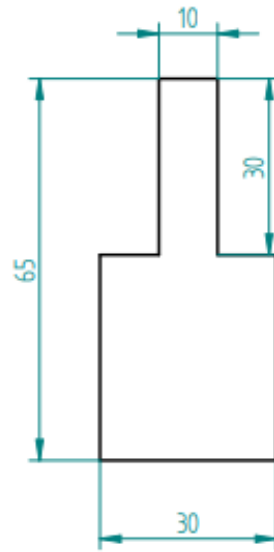
Notas:  
 Imprimir con cara 1 como base  
 Postprocesado según normativa laboratorio de FA de ICAI

	Nombre	Fecha	<b>Solid Edge</b> Siemens PLM
Dibujado	Carlos Benito Calvino	04/04/2021	
Comprobado			UN-ATR-1-000
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Tolerancia general: ISO 2768 mK			A4
			UN-ATR-1-000.dft
			Escala 1:1

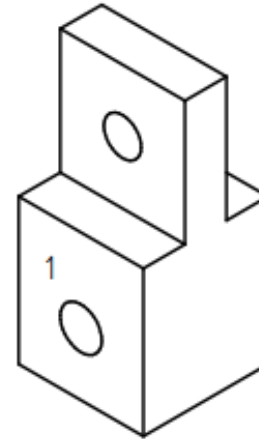
SOLID EDGE ACADEMIC COPY



ALZADO



PERFIL DCHO.



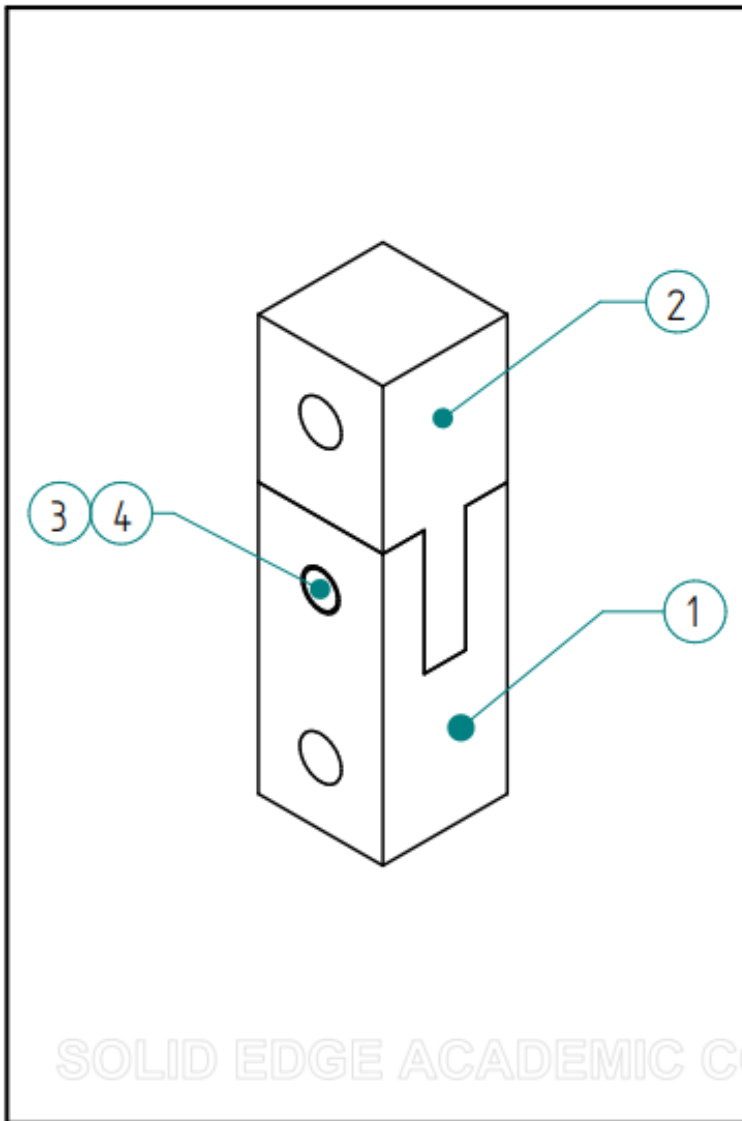
Notas:

Imprimir con cara 1 como base

Postprocesado según normativa laboratorio de FA de ICAI

	Nombre	Fecha	<b>Solid Edge</b> Siemens PLM	
Dibujado	Eartos Benito Calvino	04/04/2021	UN-ATR-1-001	
Comprobada				
Aprobado 1				
Aprobado 2				
Tolerancia general: ISO 2768 m,K			A4	
			UN-ATR-1-001.dft	
			Escala 1:1	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

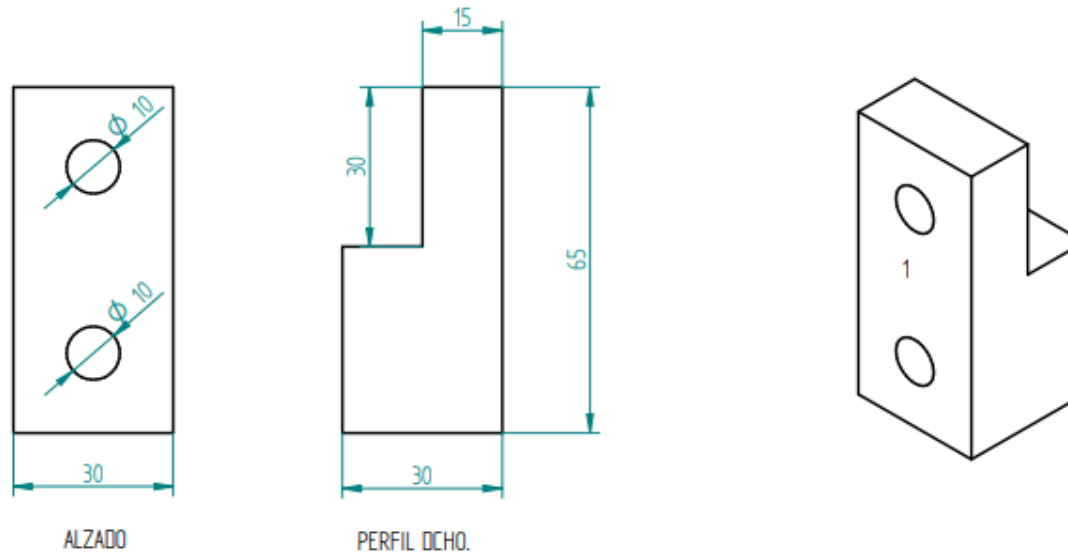


4	1	Tuerca M8	DIN 934	A4 (316)
3	1	Tornillo M8x60	DIN 933	A4 (316)
2	1	UN-ATR-1-001	-	ABS
1	1	UN-ATR-1-000	-	ABS
Marca	Cantidad	Denominación	Norma	Material
<b>Material:</b>	<b>LISTA DE MATERIALES</b>		<b>Fecha:</b> 07/11/18	
-			<b>Dibujado:</b> Carlos Benito Calviño	
<b>Escala:</b>	<b>UN-ATR-1</b>		<b>Plano N°:</b> UN-ATR-1	
1:1				

Montaje del tornillo según normativa del laboratorio de ICAI

	Nombre	Fecha	<b>Solid Edge</b>	
Dibujado	Carlos Benito Calviño	04/04/2021	Siemens PLM	
Comprobado			UN-ATR-1-100	
Aprobado 1				
Aprobado 2				
Tolerancia general: ISO 2768 m,K			A4	
			UN-ATR-1-100.dft	
			Escala 1:1	

## ANEXO IV: Planos de la UN-ATR-2



Notas:

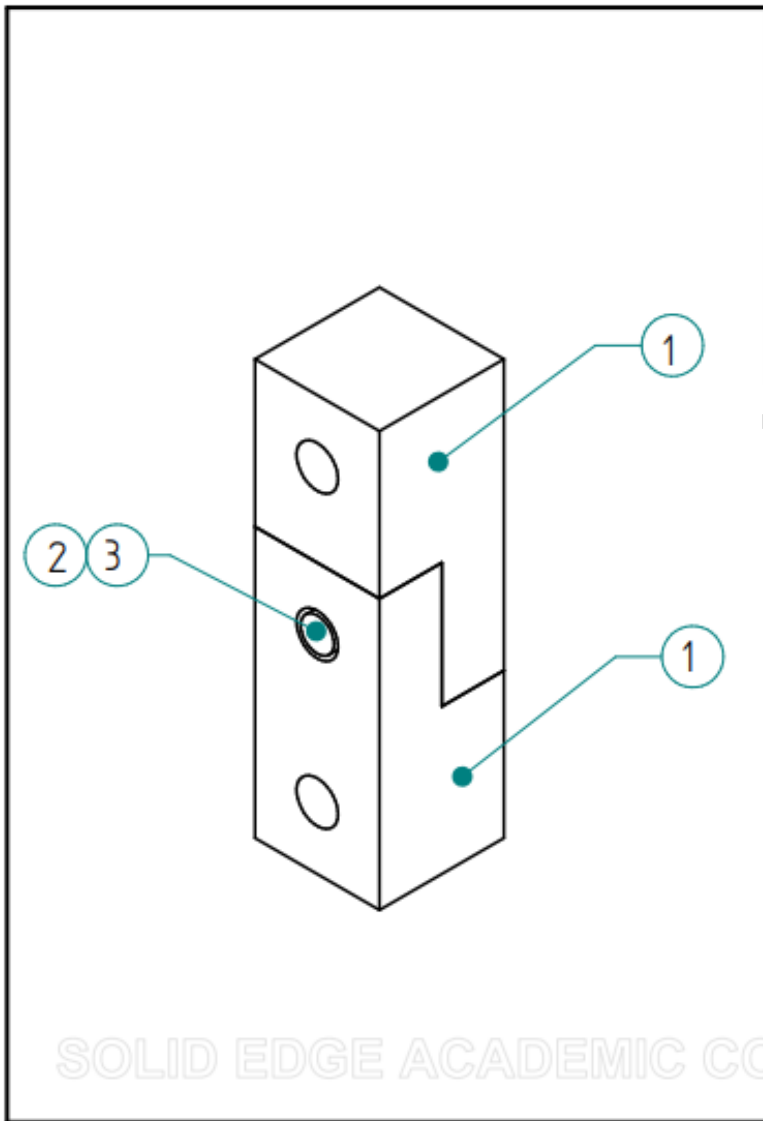
Imprimir con cara 1 como base

Postprocesado según normativa laboratorio de FA de ICAI

	Nombre	Fecha	<b>Solid Edge</b> Siemens PLM	
Dibujado	Carlos Benito Calvito	04/04/2021	UN-ATR-2-000	
Comprobado				
Aprobado 1				
Aprobado 2				
Tolerancia general: ISO 2768 mK			A4	
			UN-ATR-2-000.dft	
			Escala 1:1	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY





3	1	Tuerca M8	DIN 934	A4 (316)
2	1	Tornillo M8x60	DIN 933	A4 (316)
1	2	UN-ATR-2-000	-	ABS
Marca	Cantidad	Denominación	Norma	Material
<b>Material:</b>		<b>LISTA DE MATERIALES</b>		Fecha: 07/11/18
-				Dibujado: Carlos Benito Calviño
<b>Escala:</b>		<b>UN-ATR-2</b>		Plano N°: UN-ATR-2-100
1:1				

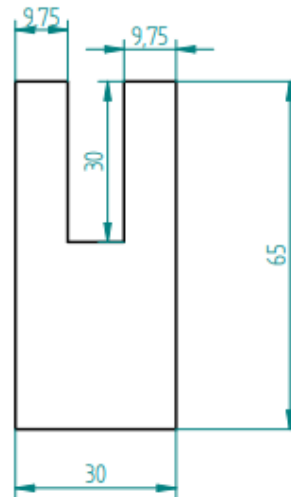
Montaje del tornillo según normativa del laboratorio de ICAI

	Nombre	Fecha	<b>Solid Edge</b> Siemens PLM	
Dibujado	Carlos Benito Calviño	04/04/2021		
Comprobado			UN-ATR-2-100	
Aprobado 1				
Aprobado 2				
Tolerancia general: ISO 2768 m,K			A4	
			UN-ATR-2-100.dft	
			Escala 1:1	

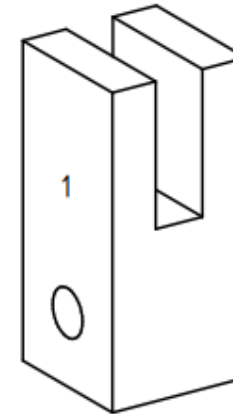
## ANEXO V: Planos de la UN-ADH-1



ALZADO



PERFIL DCHO.



Notas:

Imprimir con cara 1 como base

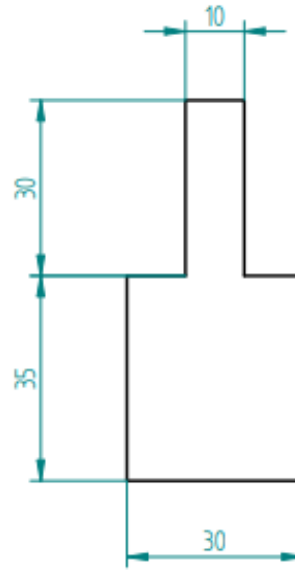
Postprocesado según normativa laboratorio de FA de ICAI

	Nombre	Fecha	<b>Solid Edge</b> Siemens PLM	
Dibujado	Carlos Benito Calvito	04/04/2021		
Comprobado				
Aprobado 1				
Aprobado 2				
Tolerancia general: ISO 2768 mK			A4	
			UN-ADH-1-000.dft	
			Escala 1:1	

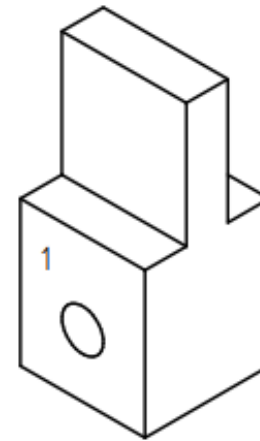
SOLID EDGE ACADEMIC COPY



ALZADO



PERFIL DCHO.



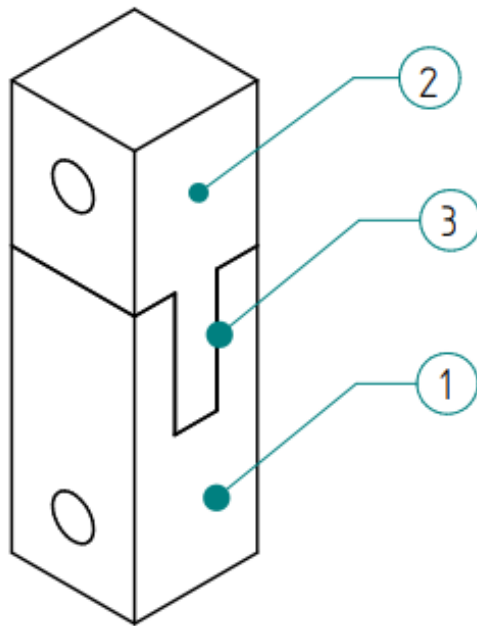
Notas:

Imprimir con cara 1 como base

Postprocesado según normativa laboratorio de FA de ICAI

	Nombre	Fecha	<b>Solid Edge</b>	
Dibujado	Carlos Belito Calvino	04/04/2021	<b>Siemens PLM</b>	
Comprobado			UN-ADH-1-001	
Aprobado 1				
Aprobado 2				
Tolerancia general: ISO 2768 mK			A4	
			UN-ADH-1-001.dft	
			Escala 1:1	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



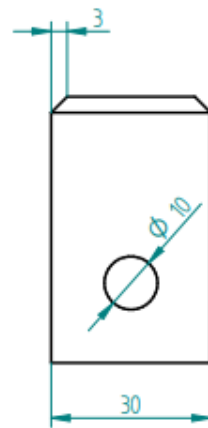
3	AR	Adhesivo epoxy	-	Epoxy
2	1	UN-ADH-1-001	-	ABS
1	1	UN-ADH-1-000	-	ABS
Marca	Cantidad	Denominación	Norma	Material
<b>Material:</b>		<b>LISTA DE MATERIALES</b>		<b>Fecha:</b> 07/11/18
-				Dibujado: Carlos Benito Calviño
<b>Escala:</b>		<b>UN-ADH-1</b>		<b>Plano N°:</b> UN-ADH-1-100
1:1				

Aplicación del adhesivo según normativa del laboratorio de ICAI

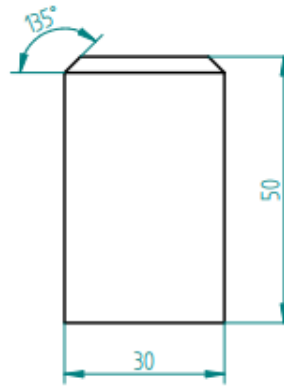
	Nombre	Fecha	<b>Solid Edge</b>	
Dibujado	Carlos Benito Calviño	04/04/2021	Siemens PLM	
Comprobado				
Aprobado 1				
Aprobado 2			UN-ADH-1-100	
Tolerancia general: ISO 2768 mK			A4	
			UN-ADH-1-100.dft	
			Escala 1:1	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

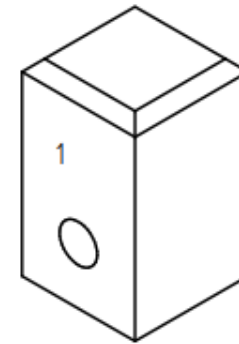
## ANEXO VI: Planos de la UN-SLD-1



ALZADO



PERFIL DCHO.



**Notas:**

Imprimir con cara 1 como base

Postprocesado según normativa Laboratorio de FA de ICAI

	Nombre	Fecha	<b>Solid Edge</b> Siemens PLM
Dibujado	Carlos Benito Calvite	04/04/2021	
Comprobado			UN-SLD-1-000
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Tolerancia general: ISO 2768 mK			A4
			UN-SLD-1-000.dft
			Escala 1:1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

2	AR	Material de aporte	-	ABS
1	1	UN-ATR-1-000	-	ABS
Marca	Cantidad	Denominación	Norma	Material
Material:		<b>LISTA DE MATERIALES</b>		Fecha: 07/11/18
-				Dibujado: Carlos Benito Calviño
Escala:		<b>UN-SLD-1</b>		Plano N°: UN-SLD-1
1:1				

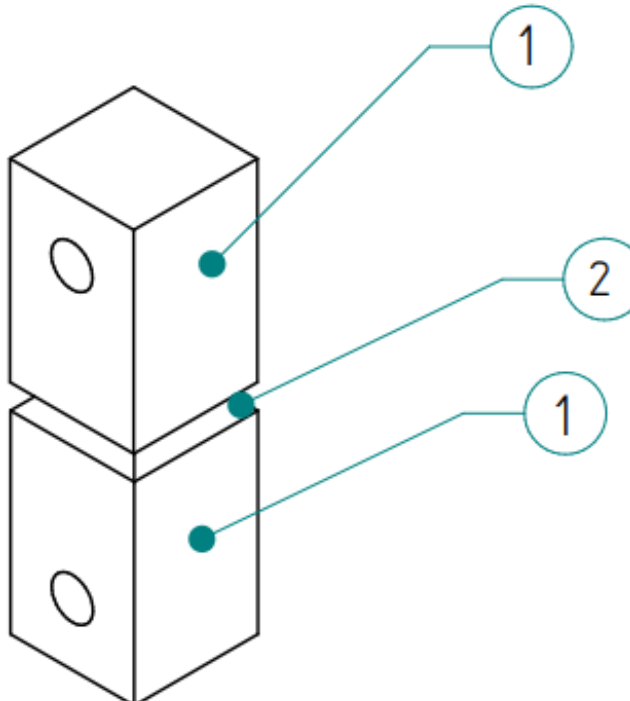
  

Proceso de soldadura según normativa del laboratorio de ICAI

	Nombre	Fecha	<b>Solid Edge</b> Siemens PLM	
Dibujado	Carlos Benito Calviño	04/04/2021		
Comprobado			UN-SLD-1-000	
Aprobado 1				
Aprobado 2				
Tolerancia general: ISO 2768 m,K			A4	
			UN-SLD-1-100.dft	
			Escala 1:1	



SOLID EDGE ACADEMIC COPY