

ESEIAAT

Trabajo Final de Grado



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

**Proyecto de diseño de prácticas
de laboratorio de las asignaturas
de Resistencia de Materiales
mediante piezas modeladas en
impresión 3D**

Autor: Mario Pinto Rodríguez

Directora: Montserrat Sánchez Romero

Codirector: Rafael Weyler Pérez

22/06/2021

RESUMEN

La impresión 3D es un proceso productivo que con el paso de los años poco a poco va adquiriendo más importancia en muchos sectores. Este es una tecnología que cada vez más empresas están utilizando sobre todo para la creación de prototipos y plasmar ideas en 3D, ya que, es un proceso rápido y económico. Permite crear objetos con geometrías complejas de una manera verdaderamente eficiente.

Debido a que se considera un proceso que forma parte de la industria 4.0 es importante que los estudiantes tengan una base sólida de cara a un posible futuro laboral en el cual este implementada esta tecnología. Ya que, en muchos sectores los procesos de producción actuales serán substituidos por diferentes metodologías de fabricación aditiva. Por lo que es conveniente estar informado de cómo funciona y en qué consiste este proceso productivo.

Este proyecto, consiste inicialmente realizar una búsqueda exhaustiva sobre la impresión 3D con el fin de adquirir todos los conocimientos necesarios para poder realizar una práctica de laboratorio para la asignatura de resistencia de materiales y teoría de estructuras. Con esta práctica se busca enseñar al alumnado este tipo de proceso productivo que está actualmente en auge y que puedan ellos mismos realizar todo el proceso desde el diseño de piezas modeladas en 3D, hasta el propio ensayo de estas.

Todo esto con la intención de que los alumnos puedan adquirir ciertos conocimientos básicos sobre este proceso y también puedan realizar una práctica diferente al estándar actual. Ya que, ellos mismos diseñarán las piezas que desean estudiar.

ABSTRACT

3D printing is a production process which, over the years, is becoming a very important procedure in many sectors. This technology is on the rise as companies are using it to build prototypes and express new ideas in a 3D manner, since it is a fast and economic process. Additionally, it allows the creation of geometrically complex objects in an efficient way.

Because it is considered a process that is part of Industry 4.0, it is important that students have a solid base for a possible future job in which this technology is implemented. Since, in many sectors the current production processes will be replaced by different additive manufacturing methodologies. So, it is wise to be informed of how it works and what is this production process consists.

This project will initially consist in doing an exhaustive research about 3D printing in order to acquire the necessary knowledge for the development of a new laboratory practice for the “Resistencia de materiales y teoría de estructuras” course. The purpose of the mentioned practice is to teach students about this type of production process; from the 3D model design stage until the testing phase, so they can do it themselves.

The main goal of this project is to provide students with the basic knowledge and give them the opportunity to perform a state-of-the-art practice, in which themselves will design the pieces that they want to study.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	8
1.1. OBJETIVO	8
1.2. ALCANCE	8
1.3. JUSTIFICACIÓN	8
1.4. INTERES PERSONAL	9
1.5. REQUISITOS	9
2. ESTADO DEL ARTE	10
2.1. LA IMPRESIÓN 3D	10
2.1.1. HISTORIA	11
2.2. PROCESOS DE IMPRESIÓN	13
2.2.1. ESTEREOLITOGRAFÍA (SLA)	13
2.2.2. SINTERIZACIÓN SELECTIVA POR LÁSER (SLS)	14
2.2.3. MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA (FMD)	15
2.3. MATERIALES	17
2.3.1. MATERIALES TERMOPLÁSTICOS	17
2.3.2. POLVOS	19
2.3.3. RESINAS	20
2.3.4. METALES	21
2.3.5. GRAFITO	22
2.3.6. NITINOL	23
2.3.7. PAPEL	23
2.4. SOFTWARE	24
2.4.1. SOFTWARE DE MODELADO SÓLIDO	24
2.4.2. SOFTWARE DE MODELADO DE SUPERFICIES	25
2.4.3. SOFTWARE DE MODELADO ORGÁNICO	26
2.4.4. SOFTWARE DE SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN	26
2.4.5. SOFTWARE DE LAMINADO	27
2.5. CAMPOS DE USO DE LA IMPRESIÓN 3D	29
2.5.1. SECTOR AEROESPACIAL	29
2.5.2. SECTOR AUTOMOTRIZ	30
2.5.3. SECTOR MÉDICO	30
2.5.4. SECTOR DEL ARTE Y EL DISEÑO	32
2.5.5. SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN	32

2.6. EL MAÑANA DE LA IMPRESIÓN 3D	33
3. VARIABLES DE IMPRESIÓN	34
3.1. PATRÓN DE RELLENO	34
3.2. ALTURA DE CAPA	35
3.3. DENSIDAD DE RELLENO	36
3.4. FORMA DE LA PROBETA	37
3.5. TAMAÑO DE LA PROBETA.....	37
4. ENSAYOS A ESCOGER	38
4.1. ENSAYOS DESTRUCTIVOS.....	38
4.1.1. ENSAYO A TRACCIÓN	38
4.1.2. ENSAYO A COMPRESIÓN	38
4.1.3. ENSAYO A FLEXIÓN	39
4.1.4. ENSAYO A TORSIÓN	39
4.2. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	40
4.2.1. ENSAYO A TRAVÉS DE ELEMENTOS FINITOS	40
4.2.2. ENSAYO DE DEFORMACIÓN POR EXTENSOMETRÍA ELÉCTRICA.....	41
5. METODOLOGÍA DE LA PRÁCTICA	42
5.1. PROCESO A SEGUIR	42
5.2. SELECCIÓN DE VARIABLES.....	43
6. GUION DE LA PRÁCTICA	46
7. INFORME DE LA PRÁCTICA.....	56
8. PRUEBA PILOTO	63
8.1. VARIABLE SELECCIONADA	63
8.2. ENSAYO SELECCIONADO.....	66
8.3. IMPRESIÓN DE LA PROBETAS	66
8.3.1. IMPRESORA 3D	66
8.3.2. PROBETAS	67
8.4. REALIZACIÓN DEL ENSAYO	71
8.5. RESULTADOS OBTENIDOS	74
8.6. CONCLUSIONES DE LA PRUEBA.....	75
9. CONCLUSIONES DEL PROYECTO	76
10. LÍNEAS FUTURAS	77
11. BIBLIOGRAFIA.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplo de impresora 3D imprimiendo un diseño.....	10
Figura 2. Proceso de estereolitografía.....	11
Figura 3. Primer avión no tripulado fabricado con una impresora 3D.....	12
Figura 4. Implante de mandíbula para un niño en China.....	12
Figura 5. Proceso SLA base líquida.....	14
Figura 6. Proceso SLS base en polvo.....	15
Figura 7. Proceso FMD base sólida.....	16
Figura 8. Ejemplo de filamentos y figuras impresas.....	19
Figura 9. Pieza impresa con polvo.....	20
Figura 10. Piezas impresas con resinas.....	21
Figura 11. Piezas impresas con metales.....	21
Figura 12. Pieza impresa con grafeno.....	22
Figura 13. Pieza impresa con nitinol.....	23
Figura 14. Piezas impresas con papel.....	23
Figura 15. Diseño paramétrico.....	24
Figura 16. Diseño generativo.....	25
Figura 17. Software de modelado de superficies.....	25
Figura 18. Personaje diseñado con Mudbox.....	26
Figura 19. Software de simulación.....	26
Figura 20. Software de laminado.....	27
Figura 21. Software Cura.....	28
Figura 22. Software Slic3r.....	28
Figura 23. Impresora 3D en órbita.....	29
Figura 24. Prototipo de motor realizado con impresión aditiva.....	30
Figura 25. Oreja realizada con bioimpresión.....	31
Figura 26. Prótesis de titanio fabricada con una impresora 3D.....	31
Figura 27. Prenda de ropa imprimida en 3D.....	32
Figura 28. Casa impresa con hormigón.....	32

Figura 29. Patrones de relleno en orden de la lista anterior, de izquierda a derecha.....	35
Figura 30. Altura de capa.....	36
Figura 31. Densidad de relleno.....	36
Figura 32. Ejemplo de probetas metálicas.....	37
Figura 33. Ensayo de tracción.....	38
Figura 34. Ensayo de compresión.....	39
Figura 35. Ensayo de flexión.....	39
Figura 36. Ensayo de torsión.....	40
Figura 37. Ensayo a través de elementos finitos.....	40
Figura 38. Ensayo de deformación por extensometría eléctrica.....	41
Figura 39. Código de ejemplo.....	45
Figura 40. Código de la probeta nº1.....	63
Figura 41. Código de la probeta nº2.....	64
Figura 42. Código de la probeta nº3.....	65
Figura 43. Impresora Ender 3 embalada.....	66
Figura 44. Impresora Ender 3 montada.....	66
Figura 45. Dimensiones probeta nº1 y nº2.....	67
Figura 46. Dimensiones probeta nº3.....	67
Figura 47. Configuración de impresión probeta nº1.....	68
Figura 48. Probeta nº1 impresa.....	68
Figura 49. Configuración de impresión probeta nº2.....	69
Figura 50. Probeta nº2 impresa.....	69
Figura 51. Configuración de impresión probeta nº3.....	70
Figura 52. Probeta nº3 impresa.....	70
Figura 53. Probeta nº1 diseñada en 3D.....	71
Figura 54. Probeta nº2 diseñada en 3D.....	71
Figura 55. Probeta nº3 diseñada en 3D.....	72
Figura 56. Propiedades del PLA.....	72
Figura 57. Ensayo probeta nº1 y nº2.....	73

Figura 58. Ensayo probeta nº3.....73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de ventajas que ofrece la impresión 3D.....11

Tabla 2. Comparativa entre los tres procesos descritos anteriormente.....16

Tabla 3. Comparativa entre los tres filamentos descritos anteriormente.....18

Tabla 4. Diferentes opciones de patrón de relleno a escoger.....43

Tabla 5. Diferentes opciones altura de capa a escoger.....44

Tabla 6. Diferentes opciones de densidad de relleno a escoger.....44

Tabla 7. Diferentes opciones de forma de probeta a escoger.....44

Tabla 8. Diferentes opciones de tamaño de probeta a escoger.....44

Tabla 9. Diferentes opciones de ensayo a escoger.....45

Tabla 10. Tabla de selección de variables.....45

Tabla 11. Tabla de selección para la probeta nº1.....63

Tabla 12. Tabla de selección para la probeta nº2.....64

Tabla 13. Tabla de selección para la probeta nº3.....65

Tabla 14. Resultados probeta nº1 y nº2.....74

Tabla 15. Resultados probeta nº1 y nº2.....74

1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVO

El objetivo principal de este trabajo de final de grado consiste en realizar una práctica de laboratorio, con la intención de implementar la impresión 3D. Diseñando y modelando unas piezas que serán imprimidas en 3D y posteriormente sometidas a un ensayo a escoger.

La práctica estará diseñada para el laboratorio de resistencia de materiales y teoría de estructuras, debido a que este proyecto está ligado a esa asignatura.

Se creará un guion de práctica para los alumnos, el cual les facilitará unos ciertos pasos a seguir. Será una ayuda para seguir todo el proceso a realizar desde el diseño de las piezas que estudiarán, el ensayo que le realizarán a dichas piezas y finalmente sacar conclusiones de los resultados obtenidos.

Otro objetivo que se busca realizando una práctica de laboratorio es que el alumnado con las herramientas necesarias para llevar a cabo esta práctica de impresión 3D, escoja el camino a seguir. Dándole la capacidad de decidir dentro de unos parámetros básicos, que práctica realizará.

Por eso, con este guion se busca que los estudiantes tengan cierta libertad de elección, tanto en el diseño de las piezas como en la elección del ensayo a practicar. Esto se realiza para que los alumnos vayan tomando decisiones y obteniendo el resultado de esas decisiones, de manera que puedan obtener una retroalimentación de estas decisiones que ellos han tomado previamente.

1.2. ALCANCE

El alcance de este proyecto abarca los siguientes puntos: la recopilación de información sobre el proceso de la impresión 3D, el diseño de una práctica de laboratorio con margen de decisión para los estudiantes con el fin de implementar esta tecnología, el diseño y ensayo de unas piezas para realizar una prueba piloto de muestra que también puede servir de ayuda a los alumnos a la hora de realizar su práctica.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Las prácticas de laboratorio tienen una función principal que consiste en que el alumnado aplique de una forma práctica los conocimientos adquiridos en las clases de teoría, con el fin de consolidar estos conocimientos. Hay diferentes maneras de realizar una práctica, puede ser una práctica la cual realice el estudiante o una práctica la cual realice el profesor y el alumno solo observe el procedimiento y los resultados.

También hay diferentes maneras de cualificar la realización de estas prácticas. Puede ser simplemente valorando el desempeño, la actitud y el interés mostrado por el alumno durante su realización. Puede ser con la entrega de un informe posterior a la realización

de la pràctica. O també se puede realizar un examen final donde se evalúa los conocimientos adquiridos durante la pràctica.

En este proyecto, se busca que el alumno realice en cierta manera su propia pràctica. El alumno diseña con unas pautas a seguir su propia probeta de estudio. Este es uno de los aspectos principales por lo que se implementa la impresión 3D, ya que, permite mucha libertad de diseño y mucha rapidez de fabricación de la probeta.

Una vez obtenida la o las probetas a ensayar, el estudiante deberá analizar estructuralmente su diseño a través de un ensayo. Este puede ser un ensayo de tracción, compresión, flexión, torsión, extensiométrica. La elección de esto último dependerá de la disposición que tenga el laboratorio de resistencia de materiales y teoría de estructuras.

Se aplica la impresión 3D en la pràctica, aparte de por sus ventajas a la hora de diseñar y fabricar las probetas, también para que los estudiantes tengan la oportunidad de adquirir conocimientos sobre esta tecnología. Este aspecto es importante debido a que este proceso de fabricación no está implementado a nivel académico.

1.4. INTERES PERSONAL

El principal motivo de selección de este proyecto es el interés por adquirir conocimientos y experiencias sobre este tipo de proceso productivo, la impresión 3D.

Actualmente se implementa dentro de muchos sectores, pero todavía no tiene la gran importancia que adquirirá en un futuro. La impresión 3D con los años ira adquiriendo cada vez más relevancia, por lo que es interesante ir informándose y tener ciertos conocimientos del tema.

Debido a la importancia que adquirirá en un futuro vi conveniente y de gran interés realizar este trabajo. Me permitirá obtener una base sólida de conocimientos respecto a este tema.

1.5. REQUISITOS

- Disponer del software necesario para realizar el modelado 3D y posteriormente la impresión.
- Tener ciertos conocimientos previos sobre estos softwares.
- Máquinas necesarias para realizar los ensayos sobre las piezas impresas.
- Impresora 3D

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. LA IMPRESIÓN 3D

La impresión 3D o fabricación por adición, es un proceso con el cual es posible crear un objeto físico. Este proceso consiste en la utilización de un material que la impresora va depositando por capas siguiendo un diseño digital. (Autodesk Inc., 2020)

Antes de empezar la impresión, el software utilizado divide el diseño digital en capas tan finas como el material utilizado lo permite. La impresora va desplazándose de manera que va depositando material siguiendo las coordenadas marcadas por el diseño realizado, hasta completar el objeto deseado de abajo a arriba. (Roberto, 2021)

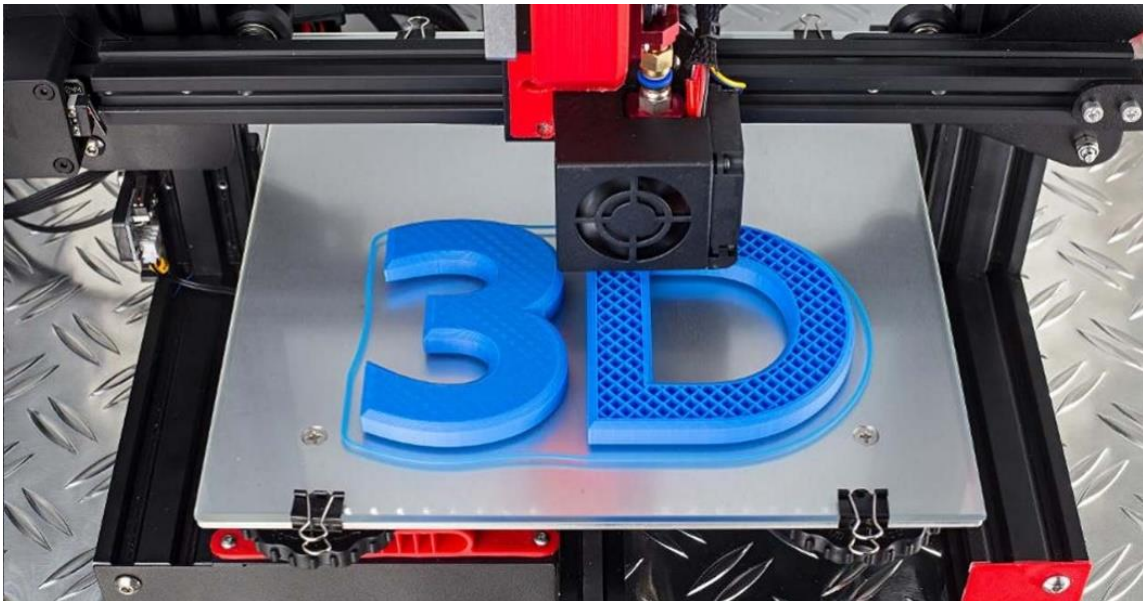


Figura 1. Ejemplo de impresora 3D imprimiendo un diseño.

Principalmente se utiliza la impresión 3D para dos propósitos principales:

- Una solución para crear prototipos que ayuden a acelerar el desarrollo de productos.
- Un proceso de fabricación para producciones bajas y para piezas personalizadas.

Beneficios a destacar que ofrece la impresión 3D:

IMPRESIÓN 3D	
PARA PROTOTIPOS	PARA PODRUCIÓN
Realización de diseños rápidos	Menos restricciones de diseño
Prototipos funcionales y de un bajo coste	Producción según demanda
Gran amplitud de soluciones	Personalización de las piezas
Diseños eficientes	Permite la fabricación distribuida

Tabla 1. Tabla de ventajas que ofrece la impresión 3D

2.1.1. HISTORIA

La impresión 3D puede parecer un método muy actual, pero es un proceso de fabricación que lleva en desarrollo des de 1976. Año en el que se desarrollaron los primeros equipos y materiales de construcción para la fabricación aditiva. (Roberto, 2021)

En 1984, aparecieron los primeros proyectos ya patentados sobre los procesos de estereolitografía. Este proceso consiste en ir añadiendo capas de una resina líquida sensible a la luz ultravioleta, un rayo láser de luz ultravioleta escanea la superficie de la resina de manera que la va endureciendo de forma selectiva. También apareció el formato de archivo STL, que es uno de los formatos más aceptado actualmente por las impresoras 3D. (Roberto, 2021)

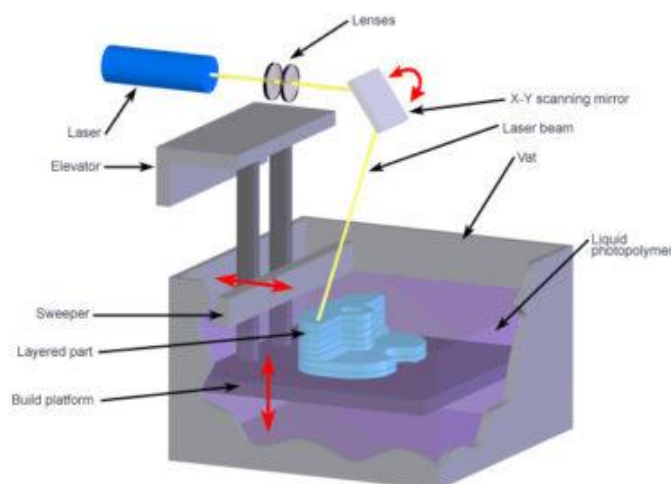


Figura 2. Proceso de estereolitografía.

En 1992, se desarrolló la primera máquina capaz de hacer impresiones 3D de tipo SLA (estereolitográfico). La primera impresora capaz de ir solidificando un fotopolímero, capa a capa, para crear un objeto en tres dimensiones. (Roberto, 2021)

En 1999, el instituto Wake Forest consiguió el primer órgano criado en laboratorio a través de un proyecto que consistía en imprimir órganos y tejidos con tecnología aditiva. (Roberto, 2021)

En 2006, apareció la primera impresora tipo SLS. Una impresora que utiliza un láser para fundir materiales durante el proceso, esto fue un gran avance, ya que, fue el inicio de la fabricación de piezas para la industria. (Roberto, 2021)

En 2011, se diseñó un avión no tripulado impreso con tecnología aditiva en tan solo una semana. También se pudo ver el primer coche con toda su carrocería fabricada por impresoras 3D. (Roberto, 2021)



Figura 3. Primer avión no tripulado fabricado con una impresora 3D.

Actualmente, se puede realizar hasta implantes dentales y prótesis de huesos gracias a este proceso.



Figura 4. Implante de mandíbula para un niño en China.

2.2. PROCESOS DE IMPRESIÓN

La impresión 3D permite crear objetos gracias a la aplicación de material en forma de capas. Hay diferentes tipologías de impresoras por lo que hay diferentes maneras o procesos de fabricación. Principalmente se diferencian por el estado del material que utilizan, pueden ser con base líquida, base en polvo o base sólida.

En este apartado se presentarán de cada uno de estos tipos el proceso más utilizado actualmente.

- Base líquida: SLA
- Base en polvo: SLS
- Base sólida: FMD

2.2.1. ESTEREOLITOGRAFÍA (SLA)

Este proceso se caracteriza por usar la fotopolimerización. La polimerización consiste en utilizar resinas en estado líquido que se solidifican cuando son expuestas a la luz ultravioleta. (Susana, 2017)

Este tipo de impresora funciona de la siguiente manera: primeramente, se sumerge la plataforma donde se ira creando el objeto en la cubeta de la impresora, que está llena de resina. Una vez la plataforma esta sumergida una distancia igual al grosor de la primera capa, un rayo láser controlado la solidifica. Una vez se ha realizado la primera capa, la plataforma se sumerge un poco más para realizar la siguiente capa. Este proceso se realiza tantas veces como capas este dividido el objeto que se desea imprimir. (*3D Newworld.*, 2018)

Esta tecnología necesita utilizar material de soporte para formas muy complejas. Este material de soporte permite aguantar partes del objeto que quedan en forma de voladizo. Estos soportes son retirados y se recomienda lijar las marcas que dejan para mejorar su acabado. ("Guide to Stereolithography (SLA) 3D Printing", 2021)

También requiere un posprocesado que consiste en un lavado en alcohol isopropílico para eliminar a resina excedente que haya podido quedar en la superficie. Algunos materiales necesitan un poscurado que les permite alcanzar su máximo grado de resistencia y estabilidad. ("Guide to Stereolithography (SLA) 3D Printing", 2021)

La estereolitografía es uno de los procesos más precisos y con un gran acabado superficial. Sin embargo, es un proceso lento y que necesita de un postproceso. ("Guide to Stereolithography (SLA) 3D Printing", 2021)

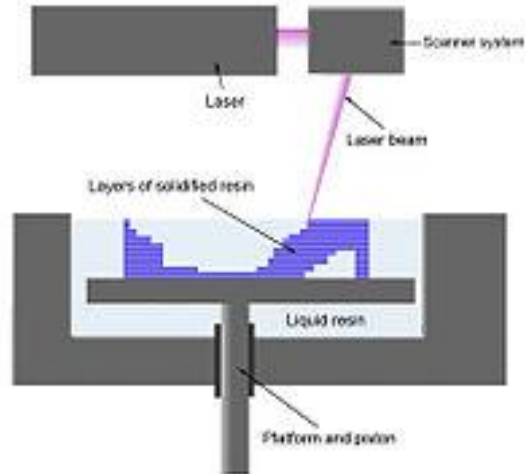


Figura 5. Proceso SLA base líquida

2.2.2. SINTERIZACIÓN SELECTIVA POR LÁSER (SLS)

Este proceso se caracteriza por, como su nombre indica, una sinterización selectiva por láser del material en polvo. La sinterización es un tratamiento térmico que consiste en compactar el polvo aplicando temperaturas por debajo de la temperatura de fusión del material con el que se está trabajando. (“Sinterización”, 2020)

Este tipo de impresora funciona de la siguiente manera: se aplica una capa de material en polvo sobre la plataforma donde se construirá el objeto. A continuación, el láser sinteriza la primera capa compactándola, seguidamente la plataforma baja una distancia igual a la siguiente capa y se aplica nuevamente una capa de polvo uniforme para sinterizar la parte deseada. Este proceso se repite hasta obtener el objeto en 3D. Con la pieza terminada, se retira del polvo no sinterizado para volver a utilizarlo en otras impresiones. (Lucía, 2019)

Esta tecnología no necesita material de soporte, ya que, esta función la realiza el material en polvo que no es compactado por el láser. Una vez la impresión ha finalizado debe dejar enfriarse para conseguir unas propiedades mecánicas buenas y evitar que se deforme la pieza. (“Guía de impresión 3D por sinterizado selectivo por láser (SLS)”, 2021)

Después del enfriamiento se debe retirar el polvo en exceso que queda sobre la superficie del objeto. (“Guía de impresión 3D por sinterizado selectivo por láser (SLS)”, 2021)

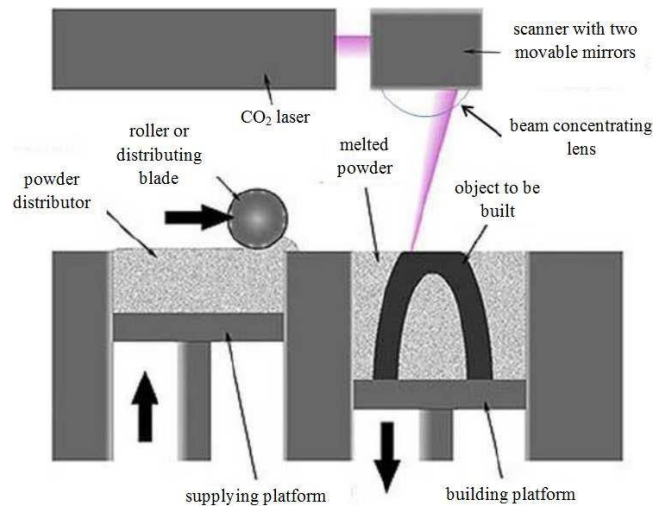


Figura 6. Proceso SLS base en polvo

2.2.3. MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA (FMD)

Este proceso consiste en ir depositando el material a través de un extrusor de manera que se vaya formando el objeto capa a capa. Estas impresoras tienen un sistema sencillo de funcionamiento. (Susana, 2017)

Su funcionamiento es el siguiente: el material en este caso un filamento fundido se va depositando capa por capa a través de un extrusor sobre una plataforma hasta conseguir el modelo en 3D diseñado. (Susana, 2017)

La impresión comienza cuando la impresora alcanza una temperatura aproximadamente de unos 200°, una temperatura que permite fundir el material utilizado. El material fundido se va extruyendo a través de extrusor de la impresora, y se va depositando sobre la plataforma hasta imprimir la totalidad de la pieza. (Susana, 2017)

No es estrictamente necesario, pero se puede utilizar material de soporte para conseguir piezas más complejas. (Susana, 2017)

El acabado final de estas piezas dependerá del tamaño de boquilla del extrusor, la altura de capa que se utilice y la precisión de los movimientos. Actualmente es una de las tecnologías más utilizada por los usuarios a nivel personal, ya sea como pasatiempo o producción a baja escala. Es una tecnología fácil de utilizar a comparación de los otros procesos. (Lucía, 2017)

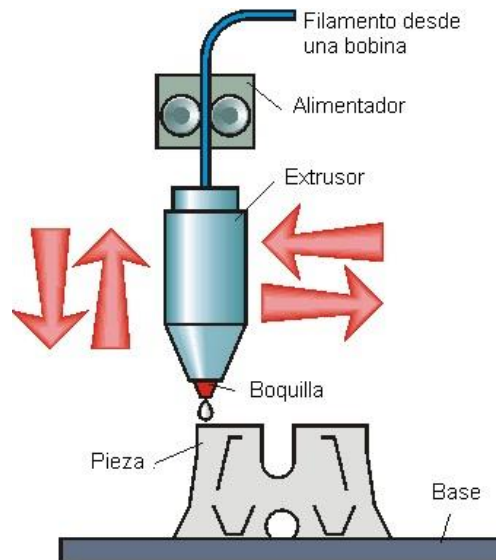


Figura 7. Proceso FDM base sólida

	SLA	SLS	FDM
Calidad	Alta	Alta	Baja/Media
Grosor de capa	0,015 a 0,05 mm	0,01 a 0,05 mm	0,125 a 0,5 mm
Grosor de pared	5mm	0,8mm	1mm
Acabado superficial	Buen acabado, suave	Buen acabado, ligeramente rugosos	Acabado regular, bastante rugosidad superficial
Material de soporte	Necesario	No necesario	Opcional, recomendado
Postproceso	Pintura	Pulir ligeramente, pintura	Se puede quitar la rugosidad del acabado con vapor de acetona, pintura, pulido
Precio	La impresora tiene un precio medio. El material tiene un precio elevado.	La impresora tiene un precio elevado. Los materiales un precio muy bajo.	La impresora tiene un precio bajo. Los materiales tienen un precio bajo.

Tabla 2. Comparativa entre los tres procesos descritos anteriormente.

2.3. MATERIALES

El material seleccionado para la impresión 3D depende de la función que realiza el objeto que se desea fabricar. Hoy en día hay un gran abanico de posibilidades desde los más comunes como filamentos termoplásticos hasta incluso impresoras que trabajan con diferentes tipos de metales. (“¿Qué material utilizan las impresoras 3d?”,2019)

2.3.1. MATERIALES TERMOPLÁSTICOS

Este tipo de material durante el proceso de impresión sale fundido y se va endureciendo a medida que va disminuyendo su temperatura. Dentro de este tipo de materiales se puede destacar los más comunes: (“¿Qué material utilizan las impresoras 3d?”,2019)

2.3.1.1. FILAMENTO PLA

- Es un termoplástico biodegradable que proviene de la maicena, la caña de azúcar, las raíces de tapioca o incluso de la fécula de patata.
- Este material se suele usar para suturas médicas e implantes quirúrgicos, debido a que es capaz de degradarse en ácido láctico no perjudicial para el cuerpo humano. También se utiliza para embalajes de alimentos, bolsas, vajillas desechables, productos de higiene y pañales.
- Se puede extruir a temperaturas entre 50-60°C, normalmente entre 160-220°C.
- Se puede lijar y se puede pintar con pintura acrílica, pero no es fácil el encolado.
- Tiene una baja toxicidad y un gran respeto al medio ambiente.

2.3.1.2. FILAMENTO ABS

- Actualmente se utiliza para la fabricación de tubos, componentes de automoción, ensamblajes electrónicos, cascos protectores, electrodomésticos, instrumentos de música, estuches protectores y juguetes.
- Es un material muy duradero y fuerte, ligeramente flexible y resistente al calor.
- Se debe trabajar a una temperatura de entre 210-250°C.
- Este plástico es el más barato de los filamentos más comunes para la impresión 3D.
- Se puede lijar y se puede pintar con pintura acrílica, a diferencia del PLA este si puede ser pegado con cola.
- Es un plástico no biodegradable a base de petróleo, pero puede reciclarse.
- Puede crear vapores capaces de irritar a personas muy sensibles.
- Con la exposición prolongada a la luz solar este puede deteriorarse.

2.3.1.3. FILAMENTO PETG

- El PETG, es politereftalato de etileno el plástico más utilizado a nivel mundial. Se utiliza para fabricar botellas de agua, incluso fibras de ropa.
- Puede combinarse con fibra de vidrio para crear diferentes resinas.
- Este material da un acabado de aspecto claro, menos quebradizo y más fácil de usar.
- Al ser un material brillante suele rayarse, pero tiene un alto nivel de durabilidad.
- Este material ofrece el mismo nivel de funcionalidad que el ABS con el mismo nivel de fiabilidad que el PLA, por eso es el más usado.

	PLA	ABS	PET/PETG
T° de fusión	160 - 220°C	210 – 250°C	230 – 250°
Calidad final	Muy alta	Media	Alta
Resistencia térmica	Muy baja 30°C	Muy alta < 100°C	Alta 80°C
Resistencia al impacto	Muy baja	Muy alta	Media
Adhesión entre capas		Media	Baja
			Alta

Tabla 3. Comparativa entre los tres filamentos descritos anteriormente.

2.3.1.4. FILAMENTO TPU

- Este tipo de filamento es caucho imprimible, que permite crear diseños elásticos muy complejos.
- Se utiliza en muchas industrias para fabricar ruedas giratorias, herramientas eléctricas, correas de transmisión, balsas inflables.
- Al ser un material flexible puede golpearse mil veces y no romperse.

2.3.1.5. FILAMENTO NYLON

- Es un material flexible, con un color blanco.
- Se recomienda hacer una impresión a temperaturas entre 235° y 260°.
- Este material es propenso a absorber humedad del ambiente por lo que se recomienda guardar en un lugar seco.
- Se le puede dar color con tintes utilizados para la ropa.

2.3.1.4. FILAMENTO HIPS

- Es un material barato con excelentes resistencias la impacto y maquinabilidad, fácil de pintar y pegar.
- Se considera material de soporte, ya que, se utiliza como estructuras de soporte para poder imprimir objetos de otros materiales. Es fácilmente disuelto.
- Una vez impreso el objeto deseado se debe dejar enfriar correctamente porque es propenso a deformarse.

2.3.1.4. FILAMENTO PVA

- La principal característica de este material es que es un plástico soluble en agua.
- También se utiliza como material de soporte para objetos que tiene problemas de voladizo.

2.3.1.4. POLICARBONATO (PC)

- Solo se puede utilizar en impresoras que trabajen con altas temperaturas
- Se utiliza para bandejas de moldeo.



Figura 8. Ejemplo de filamentos y figuras impresas.

2.3.2. POLVOS

Las impresoras más modernas actualmente trabajan con materiales en polvo. El polvo depositado en el interior de la impresora se calienta y se va depositando en capas hasta obtener el objeto deseado. (“¿Qué material utilizan las impresoras 3d?”, 2019)

2.3.2.1. POLIAMIDA (NYLON)

- Gran resistencia y flexibilidad, con una calidad de acabado muy alta.
- Se utiliza para el ensamblaje de piezas y el enclavamiento.

2.3.2.2. ALÚMINA

- Se compone de poliamida y aluminio gris, tiene un aspecto granulado y arenoso.
- Se utiliza para modelos y prototipos industriales.



Figura 9. Pieza impresa con polvo.

2.3.3. RESINAS

Es uno de los materiales menos utilizados, ya que, ofrece una flexibilidad y resistencia limitada. Las resinas obtienen su estado final con la luz ultravioleta. (“¿Qué material utilizan las impresoras 3d?”,2019)

2.3.3.1. RESINAS DE ALTO NIVEL DE DETALLE

- Se utiliza para modelos pequeños con una gran cantidad de detalles.

2.3.3.2. RESINA PINTABLE

- Destacan por su atractivo estético. Modelos con gran detalle hechos para pintar.

2.3.3.3. RESINA TRANSPARENTE

- Este tipo de resina es la más fuerte. Modelos suaves al tacto y aspecto transparente.



Figura 10. Piezas impresas con resinas.

2.3.4. METALES

Los metales son el segundo material más utilizado. El proceso para procesar el metal se llama sinterizado láser de metal directo o DMLS. Permite producir a velocidades y volúmenes que son imposibles con los equipos de ensamblaje actuales. Se utiliza con gran importancia en la industria aeroespacial. (“¿Qué material utilizan las impresoras 3d?”,2019)

El metal se utiliza en forma de polvo. El polvo metálico se cuece para evitar la fundición y hace uso directo del polvo. Para el acabado superficial deseado la pieza puede ser electro-pulida. (“¿Qué material utilizan las impresoras 3d?”,2019)

Fabricar piezas por impresión 3D permite reducir el número de piezas en el producto final. Un ejemplo, podría ser la impresión de un inyector de cohete, la impresora lo puede obtener solo imprimiendo 2 piezas, mientras que de la manera convencional son más de 100 piezas individuales. (“¿Qué material utilizan las impresoras 3d?”,2019)

2.3.4.1. ACERO INOXIDABLE

- Imprimir utensilios de cocina y otros que puedan entrar en contacto con el agua.

2.3.4.2. BRONCE

- Para hacer jarrones y otros accesorios.

2.3.4.3. ORO

- Para hacer anillos, pendientes, pulseras y collares estampados.

2.3.4.4. NÍQUEL

- Para hacer monedas.

2.3.4.5. ALUMINIO

- Para hacer objetos metálicos delgados.

2.3.4.6. TITANIO

- Para hacer accesorios fuertes y sólidos.

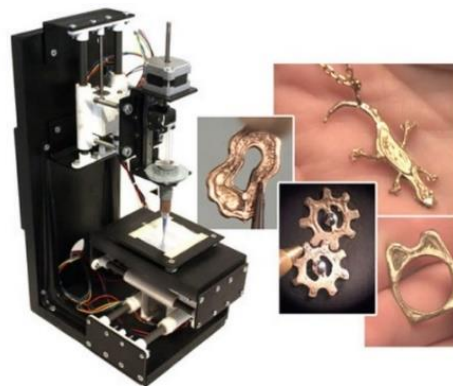


Figura 11. Piezas impresas con metales.

2.3.5. GRAFITO

El grafeno tiene una buena resistencia y conductividad. Se utiliza para piezas flexibles. Es ligero pero resistente. (“¿Qué material utilizan las impresoras 3d?”,2019)

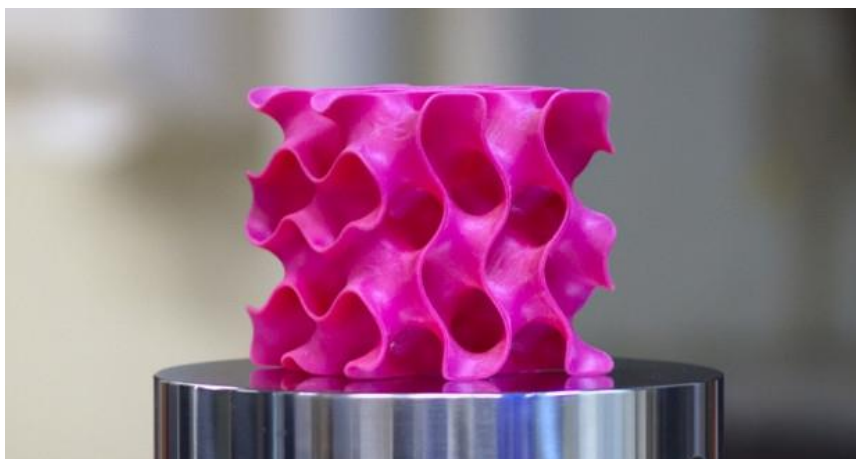


Figura 12. Pieza impresa con grafeno.

2.3.6. NITINOL

Es el material más común para implantes médicos, ya que, tiene una super elasticidad. Está formado por níquel y titanio. (“¿Qué material utilizan las impresoras 3d?”,2019)



Figura 13. Pieza impresa con nitinol.

2.3.7. PAPEL

Los diseños se pueden imprimir en papel para obtener prototipos con una percepción más realista que una ilustración en 2D. (“¿Qué material utilizan las impresoras 3d?”,2019)



Figura 14. Piezas impresas con papel.

2.4. SOFTWARE

Para poder realizar un objeto con una impresora 3D lo primero que se necesita es un diseño digital en 3D. Para realizar este diseño hoy en día hay muchos softwares con los que puedes realizar este trabajo sin ningún problema. (“LOS SOFTWARES DE IMPRESIÓN 3D”, 2021)

Se utiliza software CAD, “*Computer Aided Desing*” o Diseño Asistido por Ordenador, estos softwares son una herramienta que gracias al uso de un ordenador permite crear, modificar, analizar y mejorar todo tipo de plano o modelo en 2D y 3D. Para poder usar el proceso de impresión 3D como la palabra indica se utiliza un programa que te permita trabajar con modelos 3D.

Para diseñar una pieza en 3D hay diferentes opciones de trabajo, dependiendo de cuál sea el objetivo: modelado de sólidos, modelado de superficie o modelado orgánico.

2.4.1. SOFTWARE DE MODELADO SÓLIDO

El modelado sólido consiste en definir un modelo 3D con parámetros, los cuales pueden ser modificados en cualquier momento.

Se puede crear el modelo a partir de un diseño paramétrico o un diseño generativo.

Un diseño paramétrico consiste básicamente en generar un dibujo 2D cerrado y agregarle el volumen deseado para crear el modelo en 3D. (“LOS SOFTWARES DE IMPRESIÓN 3D”, 2021)

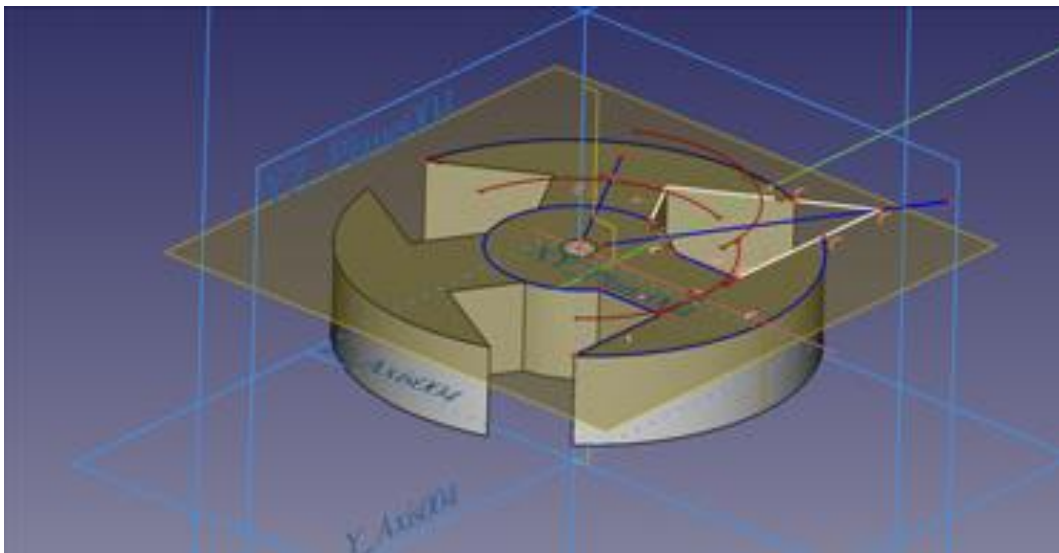


Figura 15. Diseño paramétrico.

Un diseño generativo consiste en definir objetivos y restricciones dentro del diseño y analizar cada parámetro introducido. El programa compara todos los posibles diseños y genera posibles soluciones. (“LOS SOFTWARES DE IMPRESIÓN 3D”, 2021)

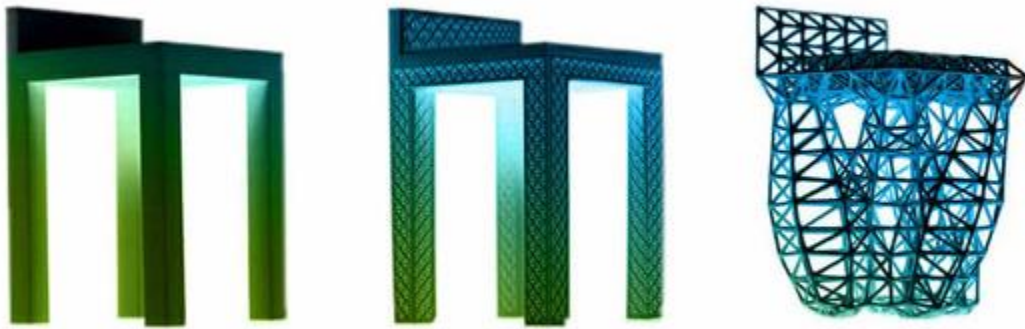


Figura 16. Diseño generativo.

2.4.2. SOFTWARE DE MODELADO DE SUPERFICIES

El modelado de superficies es utilizado cuando el usuario busca una mejor estética de su objeto. Como indica el nombre de estos programas, son los responsables de determinar las características de las superficies del modelo. (“LOS SOFTWARES DE IMPRESIÓN 3D”, 2021)

Se utilizan sobre todo en sectores artísticos como la composición y la animación 3D.

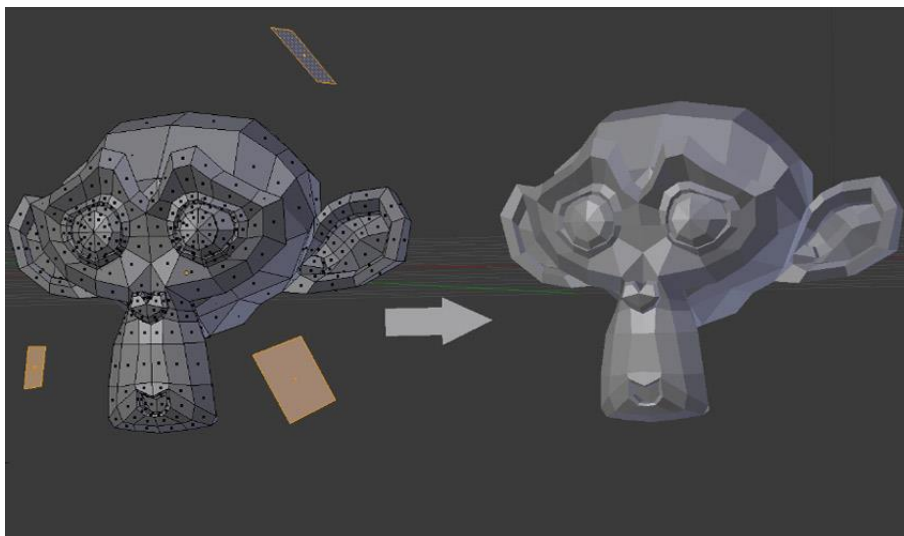


Figura 17. Software de modelado de superficies.

2.4.3. SOFTWARE DE MODELADO ORGÁNICO

Son softwares que permiten diseñar superficies con detalles muy complejos, suelen ser usados para crear personajes o esculturas. Son programas muy utilizados en la industria cinematográfica. (“LOS SOFTWARES DE IMPRESIÓN 3D”, 2021)



Figura 18. Personaje diseñado con Mudbox.

2.4.4. SOFTWARE DE SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN

El siguiente paso, una vez está el modelo 3D diseñado, es asegurarse de que el diseño creado puede ser impreso. Para ello se utilizan software que simulan la impresión y la optimizan.

Este tipo de programas permiten hacer una distribución óptima del material. Eliminan material de partes donde no es necesario para trabajo que realiza el objeto, con la intención de obtener esta pieza lo más ligera posible siempre y cuando siga cumpliendo el funcionamiento deseado.

Son capaces de detectar problemas de impresión en cuestión de minutos, como zonas de deformación o zonas donde necesite soportes impresos.

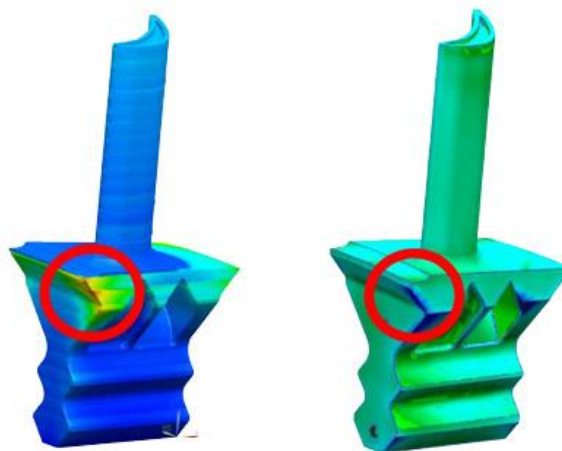


Figura 19. Software de simulación.

2.4.5. SOFTWARE DE LAMINADO

Cuando ya está simulado y optimizado el diseño 3D lo siguiente es utilizar un software de laminado. Estos programas son los responsables de cortar el modelo en capas delgadas que la impresora 3D ira imprimiendo una a una, de abajo a arriba. (“LOS SOFTWARES DE IMPRESIÓN 3D”, 2021)

Se encargan de enviar todas las instrucciones de impresión a la impresora, de manera que se define la resolución, la velocidad de impresión y la altura de capa. (“LOS SOFTWARES DE IMPRESIÓN 3D”, 2021)

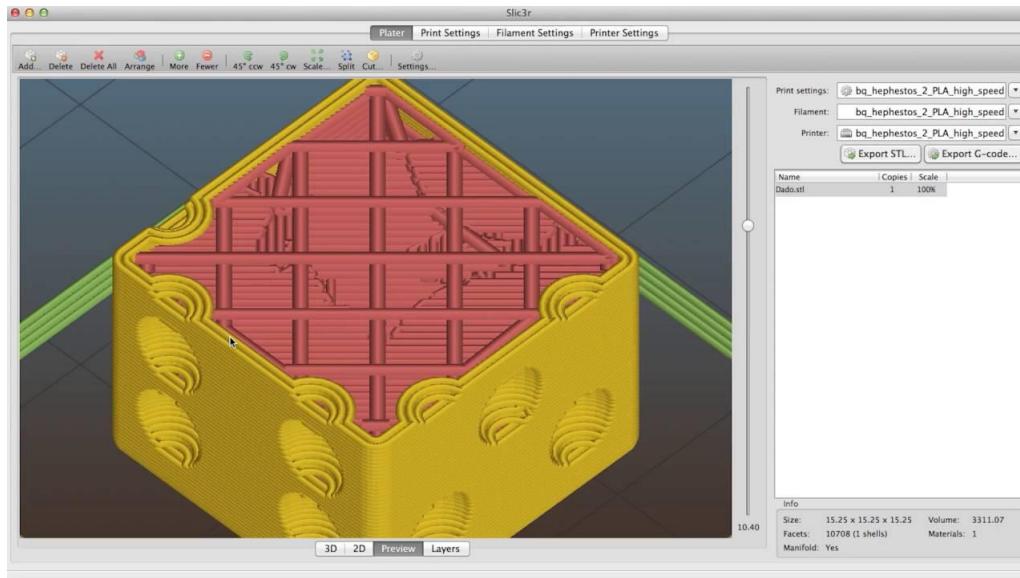


Figura 20. Software de laminado.

De este tipo de software a nivel usuario se pueden destacar dos programas muy utilizados por muchos usuarios debido a su bajo nivel de complejidad y su código abierto lo que los permite trabajar con muchos modelos de impresoras 3D. Estos dos softwares son “Cura” y “Slic3r”.

○ CURA

Este software es muy fácil de usar. Dispone de la opción de elegir configuraciones predeterminadas usando su modo básico. O, usando su modo experto se puede realizar la configuración que se elija determinando cada uno de los valores de las variables.

○ SLIC3R

Este software permite añadir configuraciones avanzadas que no ofrecen otros, ya que, te permite variar el patrón de relleno entre capas. Esto te permite añadir material en zonas que se necesita mayor resistencia y eliminar material en zonas que no es necesario tanto relleno.

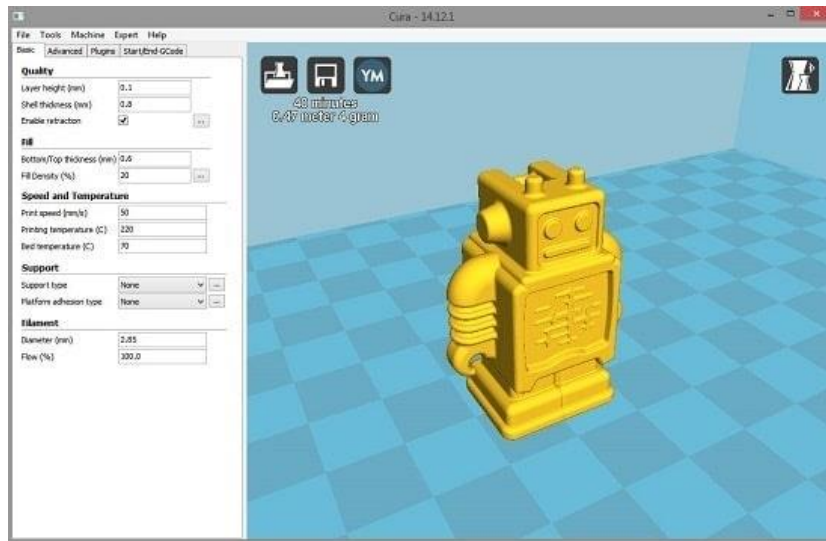


Figura 21. Software Cura.

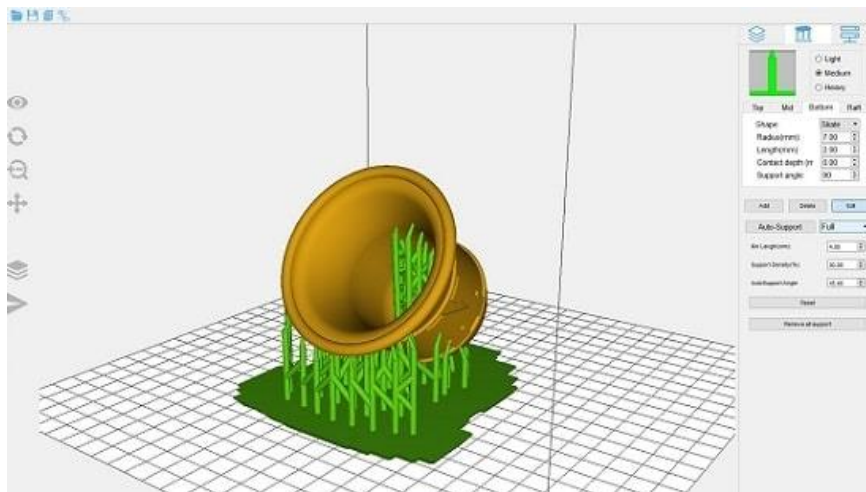


Figura 22. Software Slic3r.

2.5. CAMPOS DE USO DE LA IMPRESIÓN 3D

La impresión 3D apareció como un tipo de tecnología que permitía crear prototipos y plasmar ideas en 3D de una manera muy rápida. Pero con el paso del tiempo se han ido descubriendo los beneficios que puede aportar la fabricación aditiva a diferentes sectores.

Gracias a la impresión 3D se pueden crear de una forma eficiente objetos o piezas originales y con geometrías verdaderamente complejas. Por este aspecto es por lo que se aplica en un gran número de sectores.

2.5.1. SECTOR AEROESPACIAL

La impresión aditiva, en este sector, destaca por la capacidad de fabricar piezas de alto rendimiento, con una alta relación entre la resistencia y su peso. Otro aspecto por el cual se aplica esta fabricación es la posibilidad de unificar múltiples componentes en una sola pieza.

En el sector espacial se tienen en consideración este tipo de proceso, ya que, se pueden crear todo tipo de piezas de repuesto en un periodo de tiempo muy corto. Por lo que, en vez de fabricar estos recambios en la Tierra se pretende enviar una impresora 3D con el material necesario para fabricar cualquier pieza necesaria una vez en órbita.



Figura 23. Impresora 3D en órbita.

2.5.2. SECTOR AUTOMOTRIZ

En esta industria, de la manera tradicional, prototipar una pieza puede ser un proceso muy costoso, ya que, en mucho de los casos se deben realizar moldes de un alto valor. Aquí, es donde aparece la impresión 3D en este sector, permite realizar todo tipo de prototipos e iteraciones de este mismo por un precio mucho menor que si se utiliza el método tradicional.

La fabricación aditiva es más flexible y rentable para crear prototipos, permite hacer modificaciones en los modelos e imprimir el nuevo diseño de una manera rápida y económica. ("FABRICACIÓN ADITIVA: APLICACIONES 3D POR SECTOR",2021)

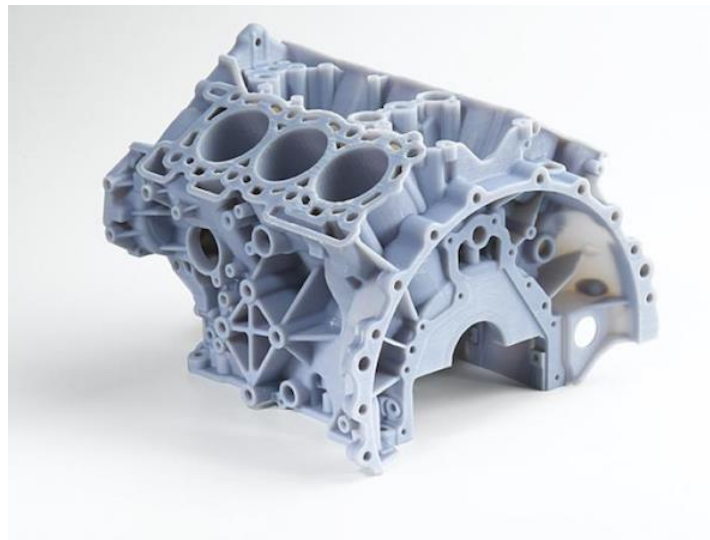


Figura 24. Prototipo de motor realizado con impresión aditiva.

2.5.3. SECTOR MÉDICO

Dentro de este sector hay que destacar dos utilidades muy importantes, una es la bioimpresión y otra es la impresión de prótesis 3D.

La bioimpresión todavía está en desarrollo, sin embargo, ya hay impresoras capaces de realizar este tipo de impresión. La bioimpresión consiste igual que la impresión 3D en crear un objeto capa a capa, pero esta primera utiliza células humanas a modo de tinta. Esto permite formar tejidos y órganos tridimensionales. ("FABRICACIÓN ADITIVA: APLICACIONES 3D POR SECTOR",2021)



Figura 25. Oreja realizada con bioimpresión.

Por otro lado, en este sector se utiliza la impresión 3D para crear prótesis médicas. El gran nivel de personalización que permite este proceso hace que se puedan crear todo tipo de prótesis con detalles y formas muy complejas adaptándolas a cada usuario personalmente. También se ha conseguido imprimir órganos de pacientes haciendo un escaneo del cuerpo. (“FABRICACIÓN ADITIVA: APLICACIONES 3D POR SECTOR”,2021)



Figura 26. Prótesis de titanio fabricada con una impresora 3D.

2.5.4. SECTOR DEL ARTE Y EL DISEÑO

En este sector se utiliza la impresión 3D debido a su gran abanico de oportunidades que puede aportar si tienes una mente original y creativa, ya que, puedes dar rienda suelta a tu imaginación prácticamente sin límites. Lo que permite a artistas diseñar y crear desde prendas de ropa, esculturas, joyas y todo tipo de obra de artes que se les pueda pasar por la cabeza. (“FABRICACIÓN ADITIVA: APLICACIONES 3D POR SECTOR”,2021)



Figura 27. Prenda de ropa imprimida en 3D.

2.5.5. SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

En este sector de la construcción muchos arquitectos han decidido utilizar este proceso de fabricación para poder realizar modelos a escala de construcciones con un gran detalle y precisión. (“FABRICACIÓN ADITIVA: APLICACIONES 3D POR SECTOR”,2021)

En 2017, se construyó la primera casa impresa en 3D en tan solo 24h. Esto fue gracias a un gran brazo extensible capaz de extruir hormigón. (“FABRICACIÓN ADITIVA: APLICACIONES 3D POR SECTOR”,2021)



Figura 28. Casa impresa con hormigón.

2.6. EL MAÑANA DE LA IMPRESIÓN 3D

Partiendo del punto que actualmente es una nueva tecnología que permite personalizar y producir objetos de una manera sencilla, se considera que la impresión 3D será la nueva revolución industrial. Todo esto es debido a su constante evolución y expansión como porfa de innovación presente en cada vez más sectores.

Con el paso del tiempo el proceso actual será cada vez más eficiente y económico hasta llegar al punto de que con un simple ordenador y una impresora 3D podrás crear todo lo que puedas llegar a imaginar. Ya que, es una tecnología que transforma un modelo digital directamente en un modelo físico. Quién sabe si en un futuro se pueda llegar a imprimir un edificio o incluso alimentos.

3. VARIABLES DE IMPRESIÓN

Los alumnos diseñarán las probetas que posteriormente se ensayarán, para ello tomarán diferentes elecciones para obtener el diseño final deseado. Este proceso de diseño será la primera parte de la práctica.

3.1. PATRÓN DE RELLENO

Este aspecto es uno de los más importantes cuando se quiere diseñar el objeto, ya que, esta variable determinara muchas de las propiedades del modelo.

Según el patrón de relleno escogido se obtiene una pieza más o menos sólida, por lo que determina si el objeto es un objeto resistente mecánicamente o si de lo contrario tiene una resistencia baja.

Otro aspecto clave de esta variable es que, desde el punto de vista productivo, dependiendo el patrón seleccionado la pieza necesita una cantidad de material diferente, tiene un coste menor o mayor y su peso final también cambia. Destacando también que el patrón puede determinar lo rápido que se realiza la impresión dependiendo de lo complejo que sea el patrón seleccionado.

Para realizar impresiones cotidianas se utilizan patrones de relleno 2D fuertes. Para modelos rápidos, pero poco resistentes se utilizan rellenos rápidos en 2D.

Hay dos tipos de rellenos en 3D, los normales que se utilizan para que los objetos sean igual de resistentes en todas las direcciones. Y, los rellenos concéntricos en 3d que se utilizan para materiales flexibles.

Hay infinidad de patrones posibles a la hora de realizar un objeto, normalmente la cantidad de patrones disponibles para utilizar viene determinada por el software utilizado para la configuración de la impresión un ejemplo de patrones puede ser el siguiente:

- **Rejilla:** relleno 2D fuerte
- **Líneas:** relleno 2D rápido
- **Triángulos:** relleno 2D fuerte
- **Tri-hexágono:** relleno 2D fuerte
- **Cúbico:** relleno 3D fuerte
- **Cúbico (subdivisión):** relleno 3D fuerte (ahorra material respecto con el Cúbico)
- **Octeto:** relleno 3D fuerte
- **Cuarto cúbico:** relleno 3D fuerte
- **Concéntrico:** relleno 3D flexible

- **Zig-zag:** un relleno en forma de cuadrícula imprimida con una dirección diagonal.
- **Cruz:** relleno 3D flexible
- **Cross 3D:** relleno 3D flexible
- **Relleno Gyroid:** mayor fuerza para un peso bajo.

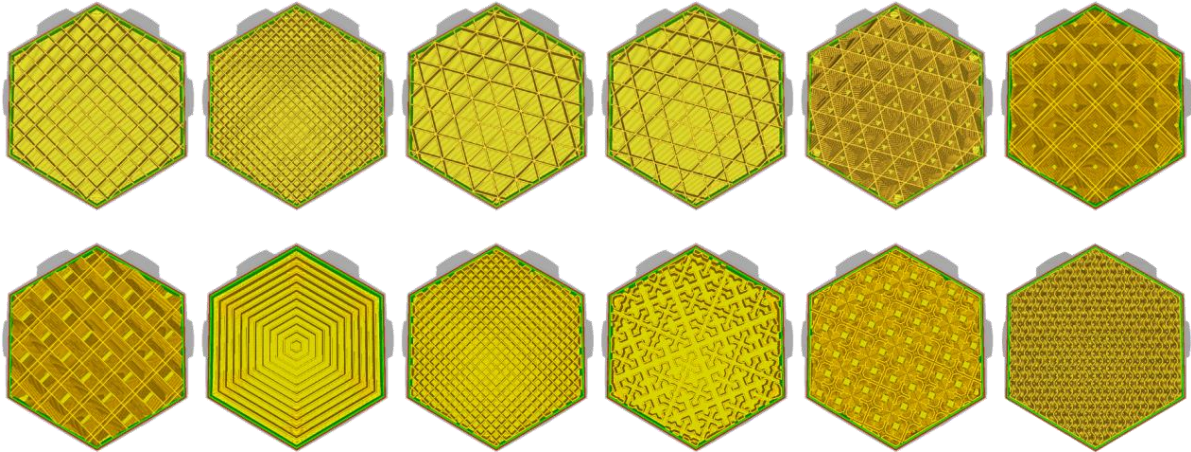


Figura 29. Patrones de relleno en orden de la lista anterior, de izquierda a derecha.

3.2. ALTURA DE CAPA

Las impresoras 3D, como ya se ha comentado en más de una ocasión, imprimen los objetos capa a capa las cuales suelen tener un espesor inferior a 1mm.

La altura de la capa es lo que determina la resolución o definición del objeto final. Cuanto menor es el espesor de relleno más uniformadas se aprecian las capas por lo que se obtiene mejor acabado visual.

La altura de capa influye en el tiempo de impresión, cuanto menor altura se escoja mayor tiempo tardara en imprimirse la pieza. El aumento de tiempo hace que el coste aumente considerablemente. Los espesores que puede ofrecer una impresora FDM son los siguientes:

- 0.05mm (objetos muy pequeños)
- 0.1mm (alta calidad, espesor utilizado para la mayoría de proyectos)
- 0.2mm (calidad de uso general)
- 0.3mm (calidad baja para proyectos económicos y resistentes)
- 0.4mm (proyectos muy grandes)
- 0.5mm (proyectos muy grandes)

- 0.6mm (proyectos muy grandes)

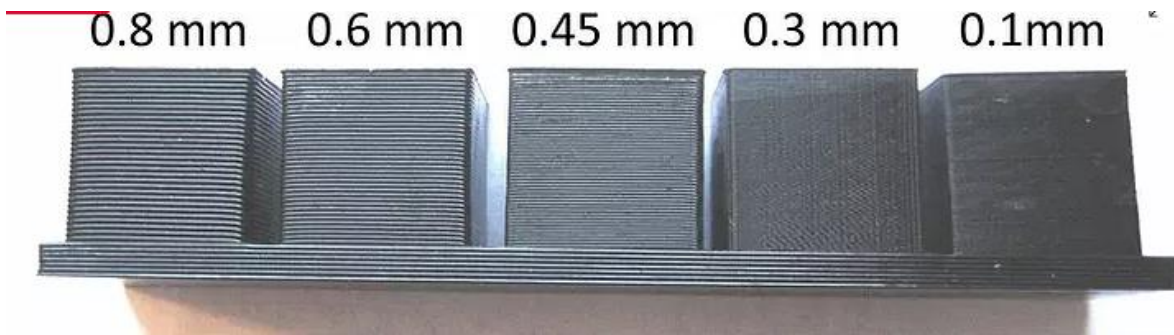


Figura 30. Altura de capa

3.3. DENSIDAD DE RELLENO

La densidad de relleno es el porcentaje interior de material que se le aplica a la pieza. Se entiende que el porcentaje es 0 cuando la pieza está hueca y se entiende que el porcentaje es 100 cuando la pieza es completamente sólida.

Según el porcentaje de densidad deseado se puede hacer variar las propiedades del objeto, su peso y su coste de producción.

Por norma, se suele aplicar una densidad variable. Esto permite aplicar más material en las zonas deseadas y menos donde no sea tan necesario de manera que se obtiene una pieza más resistente en los puntos críticos y más ligera en los puntos que no es tan necesaria la aplicación de materia l en exceso.

Las densidades de relleno más comunes y utilizadas están entre 20% y 25%, ofreciendo una buena durabilidad y un consumo correcto de material. En caso de que la estructura y resistencia del objeto imprimido no sea lo primordial, pero si lo sea el coste, se puede utilizar entre un 10% y un 15% de densidad. Por último, si la estructura del objeto es un punto muy importante el rango más utilizado suele ser entre 30% y 50%. Estos son porcentajes orientativos, cada usuario puede aplicar el porcentaje de densidad que desee.

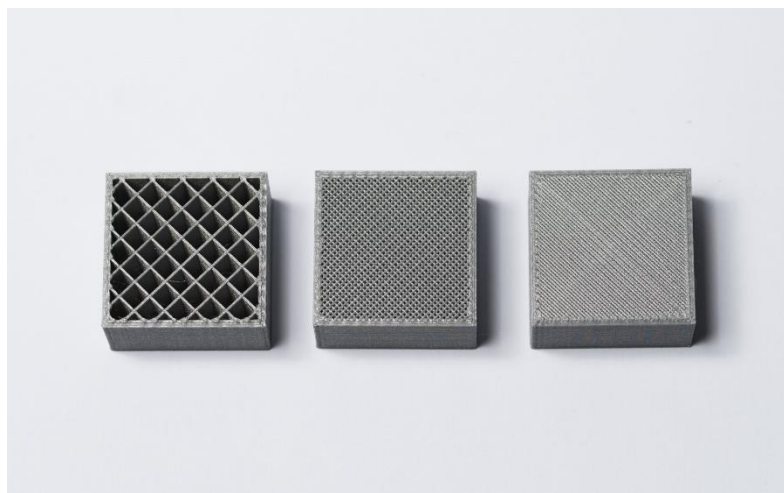


Figura 31. Densidad de relleno.

3.4. FORMA DE LA PROBETA

La forma de la probeta viene determinada por dos puntos principales. El primero se puede considerar que es el propio criterio del alumno el cual tiene cierta libertad para darle forma a su probeta. Y, el segundo punto viene delimitado un poco por el tipo de ensayo que se quiere realizar. Debido a que según el ensayo se precisa que la probeta tenga una forma determinada como, por ejemplo: para los ensayos de compresión o torsión se suelen utilizar probetas con una forma cilíndrica, en cambio, para ensayos de flexión o tracción se suelen utilizar probetas con una sección rectangular.

Estas formas son recomendadas por el tipo de ensayo que se quiere realizar, pero no obligatorias para esta práctica.

Por norma general las probetas se pueden observar dos partes principales, los extremos que son de mayor tamaño, es la zona por donde va sujeta a la máquina, la parte central que suele ser más débil para imponer la zona de ensayo.



Figura 32. Ejemplo de probetas metálicas.

3.5. TAMAÑO DE LA PROBETA

El tamaño, como en el apartado anterior, viene determinado por el criterio del alumno y también en este caso influye las dimensiones de la impresora. No se puede imprimir un objeto de unas dimensiones superiores a las limitadas por la impresora utilizada.

4. ENSAYOS A ESCOGER

4.1. ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Los ensayos destructivos son un tipo de experimento con el fin de obtener información sobre las propiedades mecánicas del material que se desea estudiar. (“ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y CUÁNDO APLICARLOS”,2020)

Este tipo de ensayo una vez realizados modifican las propiedades, la estructura o la geometría de las probetas ensayadas. Generan deformaciones o roturas que hacen que la probeta no pueda volver a utilizarse. (“ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y CUÁNDO APLICARLOS”,2020)

4.1.1. ENSAYO A TRACCIÓN

En este ensayo se le aplica a la probeta una fuerza de tracción, esto significa que se le aplica una o varias fuerzas que su función será la de estirar el material. Se va aplicando una fuerza que va aumentando hasta llegar a romper la probeta.

Este es un tipo de ensayo muy frecuente debido a lo simple que es y el bajo coste que tiene.

Con los datos obtenidos se puede generar un diagrama de tracción del material estudiado, viendo como resultados datos importantes como el módulo de Young (E), el límite elástico (σ_e) y el punto de Rotura.

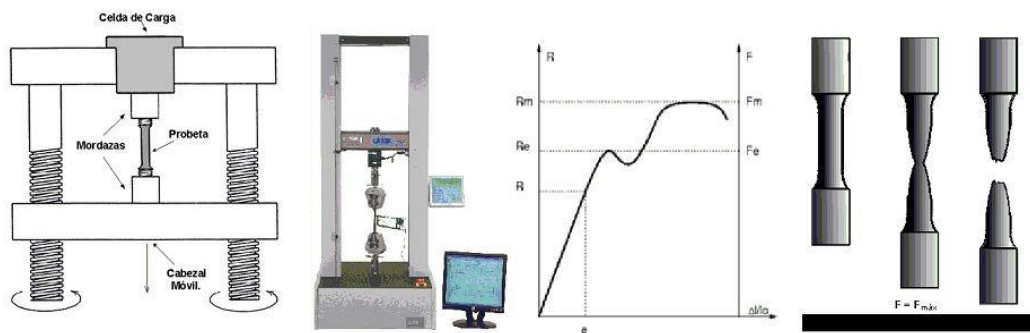


Figura 33. Ensayo de tracción

4.1.2. ENSAYO A COMPRESIÓN

Este ensayo se utiliza para determinar las propiedades de un material cuando se le aplica una o varias fuerzas axiales de forma negativa. Esto se consigue comprimiendo la probeta.

Es el ensayo apuesto al ensayo de tracción.



Figura 34. Ensayo de compresión

4.1.3. ENSAYO A FLEXIÓN

Este ensayo se obtiene la resistencia a flexión del material estudiado. Se utiliza este tipo de ensayo cuando el material que se quiere ensayar es dúctil. La flexión consiste en una deformación estructural que aparece en una dirección perpendicular al eje longitudinal.

Se sitúa la probeta sobre unos puntos de apoyo y posteriormente se le aplica una fuerza perpendicular.

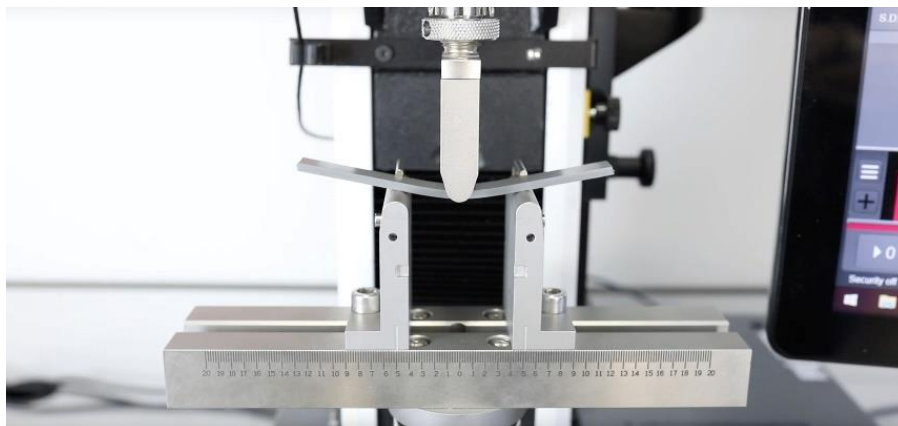


Figura 35. Ensayo de flexión

4.1.4. ENSAYO A TORSIÓN

El ensayo de torsión consiste en aplicar un momento torsor al material que se desea ensayar con el fin de obtener el ángulo de torsión en el extremo de la pieza. Esto permite ver el comportamiento de los distintos materiales sobre cargas de rotación.

La probeta a ensayar se coloca entre dos mordazas, las cuales una se mantiene fija y la otra rota.



Figura 36. Ensayo de torsión.

4.2. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Los ensayos no destructivos son un tipo de experimento con el fin de obtener información sobre las propiedades mecánicas, físicas o químicas del material que se desea estudiar. (“Ensayo no destructivo”,2020)

Este tipo de ensayo una vez realizados no modifican las propiedades, la estructura o la geometría de las probetas ensayadas. Generan daños imperceptibles o nulos sobre el material. (“Ensayo no destructivo”,2020)

4.2.1. ENSAYO A TRAVÉS DE ELEMENTOS FINITOS

Este ensayo consiste en realizar una aproximación con el método de elementos finitos utilizando software especializado. Este software te permite simular la situación en la cual se encontrará la pieza que se quiere estudiar, aplicando las fuerzas a las que estará sometida y configurando el entorno. Obteniendo como resultado la deformación, las tensiones, el factor de seguridad, etc.

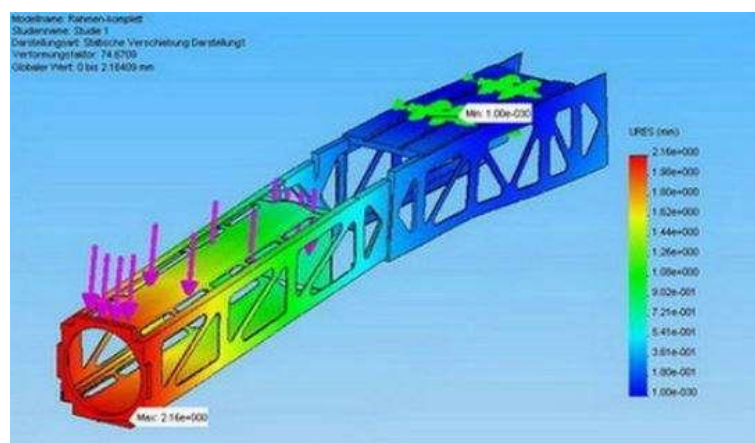


Figura 37. Ensayo a través de elementos finitos.

4.2.2. ENSAYO DE DEFORMACIÓN POR EXTENSOMETRÍA ELÉCTRICA

Este ensayo consiste en la medición de esfuerzos y deformaciones en base a los cambios de resistencia eléctrica que sufre el material cuando es sometido a una tensión.

Para este tipo de ensayo se utilizan unos extensómetros llamados galgas extensiométricas, estas galgas se colocan sobre la superficie de la pieza que se quiere estudiar y son las responsables de obtener la información sobre el estado tensional a partir de los desplazamientos sufridos.

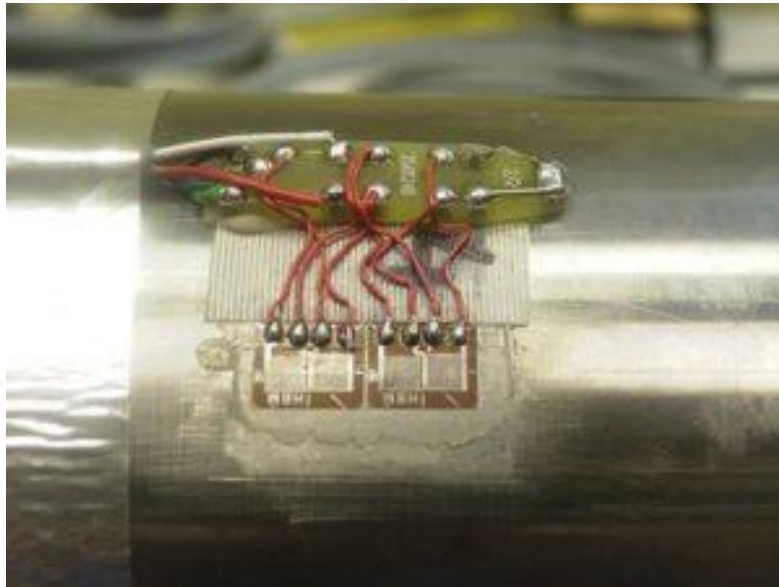


Figura 38. Ensayo de deformación por extensometría eléctrica

5. METODOLOGÍA DE LA PRÁCTICA

A continuación, en este apartado se explica la estructura del guion de prácticas que sirve al alumno de guía para poder realizar la práctica con éxito.

Con intención que los estudiantes tengan libertad de elección dentro de la práctica se pide que por grupos diseñen un total de tres probetas a ensayar.

Dos de estas deben tener una variable de estudio, que consisten en seleccionar que tipo de variable se quiere estudiar y el resto de variables deben ser iguales en ambas. Una vez ensayadas las dos probetas se comparan resultados para obtener unas conclusiones finales. Y, la tercera probeta para fomentar todavía más la libertad de experimentación, la pueden realizar completamente diferente a las anterior. Para esta última probeta se debe hacer una pequeña predicción de los acontecimientos donde los alumnos tienen que realizar hipótesis sobre qué sucederá antes de ensayar la probeta y contrastar estas hipótesis con los resultados obtenidos.

5.1. PROCESO A SEGUIR

El proceso a seguir para la realización de esta práctica consiste en los siguientes pasos:

1. Inicialmente en clase de teoría de debe hacer una pequeña explicación de en qué consiste la impresión 3D para que los estudiantes tengan unos conocimientos básicos sobre la práctica.

2. Una vez se ha dado esta breve explicación sobre la impresión 3D, se debe hacer la explicación de la práctica y cuál es su objetivo. En este punto es conveniente aclarar que toda la información necesaria sobre la impresión 3D la pueden buscar dentro del guion de la práctica, pero que cualquier duda sobre los posibles ensayos a realizar deben consultarlos en anteriores guiones de prácticas o en los documentos de teoría facilitados.

3. Junto con la explicación previa a la práctica se informa que una semana antes a la realización de la práctica deben enviar los archivos en formato “STL” junto a los parámetros de cada variable seleccionados para cada una de las probetas. En este punto es conveniente que el profesorado facilite cierta información a través de atenea como puede ser un plano de una probeta normalizada por si los alumnos quieren realizar un ensayo normalizado. También es buena opción, ya que, por tema de tiempo no se puede dar importancia al software de laminado se faciliten algunos vídeos obtenidos de internet por si algún alumno está interesado en ver el funcionamiento de estos programas.

Para poder indicar el valor seleccionado de cada una de las variables se dispone de unas tablas donde cada variable y cada opción de esta variable tiene un número asignado de modo que al seleccionar todas las características se obtiene un número final de diseño de probeta.

4. El siguiente paso ya es la realización de la práctica, donde se facilita las probetas diseñadas a cada grupo indicando que probeta es cada uno de los archivos enviados. Siguiendo el guion y las observaciones del tutor a cargo, cada grupo realiza su práctica para obtener una serie de resultados que posteriormente deben analizar y sacar unas conclusiones.

5. Por grupos, se pide un informe sobre la práctica donde deben adjuntar imágenes o los planos de cada una de las probetas con los parámetros impuestos y en el caso de las dos probetas que solo varia un parámetro, observando los resultados, sacar unas conclusiones. Y, en caso de la probeta individual comparando las hipótesis previas y los resultados sacar otras conclusiones.

5.2. SELECCIÓN DE VARIABLES

En este apartado se puede ver el sistema de selección de las variables. Se selecciona el patrón de relleno, el espesor de relleno, la densidad de relleno, la forma y el tamaño de la probeta.

Patrón de relleno: consiste en determinar la forma que sigue la estructura interior de nuestra pieza. Para este apartado se puede escoger entre un total de 8 patrones de relleno, sin embargo, se dispone de más patrones de relleno, pero muy similares a alguna de las opciones dadas.


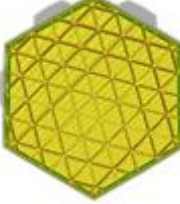
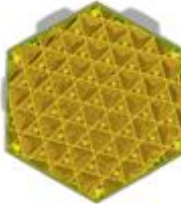
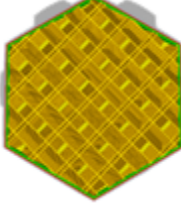

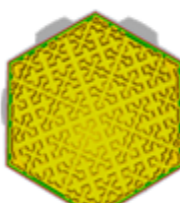
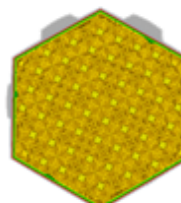
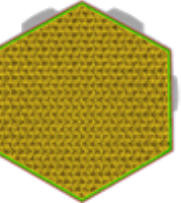
1 - Rejilla	2 - Triángulos	3 - Cúbico	4 - Cuarto cúbico
			
5 - Concéntrico	6 - Cruz	7 - Cross 3D	8 - Gyroid
			

Tabla 4. Diferentes opciones de patrón de relleno a escoger.

Altura de capa: consiste en determinar la altura que tiene cada una de las capas que forman la pieza. Para este apartado se puede escoger entre un total de 5 espesores diferentes.






1 - 0.1mm	2 - 0.3mm	3 - 0.45mm	4 - 0.6mm	5 - 0.8mm
				

Tabla 5. Diferentes opciones altura de capa a escoger.

Densidad de relleno: consiste en determinar la cantidad de material que tiene la estructura interior de la pieza. Para este apartado se puede escoger entre un total de 6 espesores diferentes.







1 - 10%	2 - 20%	3 - 40%	4 - 60%	5 - 80%	6 - 100%
					

Tabla 6. Diferentes opciones de densidad de relleno a escoger.

Forma de la probeta: consiste en determinar la forma de la sección de la pieza. Para este apartado se puede escoger entre un total de 2 secciones diferentes ya que son las más óptimas para realizar los ensayos sin problemas de sujeción.

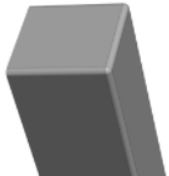

1 - Sección rectangular	2 - Sección circular
	

Tabla 7. Diferentes opciones de forma de probeta a escoger.

Tamaño de la probeta: consiste en determinar la longitud de la pieza. Para este apartado se puede escoger entre un total de 4 longitudes diferentes.

1 - 50mm	2 - 100mm	3 - 150mm	4 - 200mm
----------	-----------	-----------	-----------

Tabla 8. Diferentes opciones de tamaño de probeta a escoger.

Ensayo de la probeta: consiste en determinar que ensayo se le realiza a la probeta diseñada. Para este apartado se puede escoger entre un total de 6 ensayos diferentes.

1 Tracción	2 Compresión	3 Flexión	4 Torsión	5 Elementos finitos	6 Extensometría
-----------------------------	-------------------------------	----------------------------	----------------------------	--------------------------------------	----------------------------------

Tabla 9. Diferentes opciones de ensayo a escoger.

Anteriormente, se han podido observar las tablas que aparecen en el guion de la práctica con el fin de que el estudiante pueda identificar con claridad que número corresponde a cada opción y así poder seleccionar los valores en una tabla conjunta.

En esta tabla conjunta se debe marcar que número se quiere aplicar de cada una de las variables a la probeta a diseñar. Una vez, seleccionado se forma un código el cual tiene como utilidad poder realizar una base de datos con cada una de las probetas y los resultados obtenidos para que en un futuro se pueda consultar resultados de años anteriores.

Aquí se puede ver un ejemplo de selección:

Patrón	1	2	3	4	5	6	7	8
Altura de capa	1	2	3	4	5			
Densidad	1	2	3	4	5	6		
Forma	1	2						
Tamaño	1	2	3	4				
Ensayo	1	2	3	4	5	6		

Tabla 10. Tabla de selección de variables.

Realizando esta selección obtenemos el siguiente código:

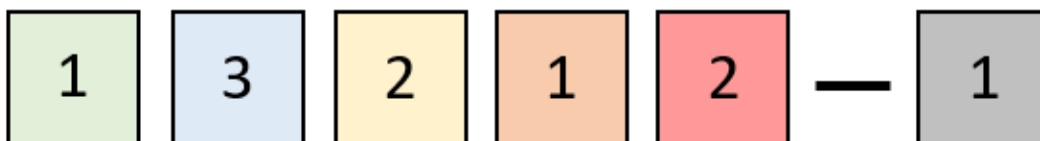


Figura 39. Código de ejemplo.

Con este código podremos buscar dentro del documento general de resultados todos los resultados que se han obtenido con esta misma configuración de probeta y ensayo. Se ordenan principalmente por el ensayo realizado teniendo así 6 grandes grupos y dentro de estos todas las posibles configuraciones de probetas y los resultados obtenidos.

6. GUION DE LA PRÁCTICA

PRÁCTICA DE IMPRESIÓN 3D

- Introducción de la impresión 3D
- Modelado de tres probetas
- Ensayo de las tres probetas
imprimidas

Dept. Resistencia de Materiales
UPC – ESEIAAT

Grupo	Nombre y apellidos	Fecha de realización

I. Objetivo de la práctica

La impresión 3D o fabricación por adición, es un proceso con el cual es posible crear un objeto físico a partir de un modelo en 3D.

El objetivo de esta práctica es realizar el diseño e impresión de tres probetas las cuales posteriormente serán ensayadas. Con el fin de que experimentéis con libertad y observéis como puede afectar al diseño las diferentes variables.

II. Fundamentos teóricos.

II.1. Procesos de impresión

Estereolitografía (SLA)

Este proceso se considera el origen de la impresión 3D. Consiste en crear modelos 3D a partir de resinas líquidas que se solidifican con los rayos ultravioletas siguiendo el principio de fotopolimerización.

Este tipo de impresora funciona de la siguiente manera: primeramente, se sumerge la plataforma donde se ira creando el objeto en la cubeta de la impresora, que está llena de resina. Una vez la plataforma esta sumergida una distancia igual al grosor de la primera capa, un rayo láser controlado la solidifica. Una vez se ha realizado la primera capa, la plataforma se sumerge un poco más para realizar la siguiente capa. Este proceso se realiza tantas veces como capas este dividido el objeto que se desea imprimir.

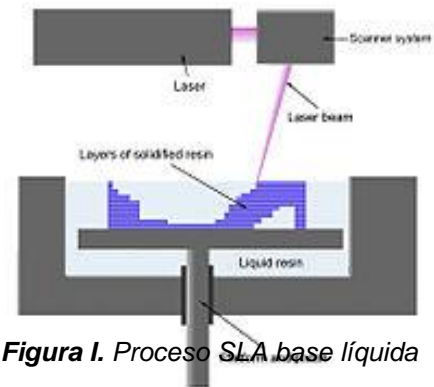


Figura I. Proceso SLA base líquida

Sinterización selectiva por láser (SLS)

Este proceso se caracteriza por, como su nombre indica, una sinterización selectiva por láser del material en polvo. La sinterización es un tratamiento térmico que consiste en compactar el polvo aplicando temperaturas por debajo de la temperatura de fusión del material con el que se está trabajando.

Este tipo de impresora funciona de la siguiente manera: se aplica una capa de material en polvo sobre la plataforma donde se construirá el objeto. A continuación, el láser sinteriza la primera capa compactándola, seguidamente la plataforma baja una distancia igual a la siguiente capa y se aplica nuevamente una capa de polvo uniforme para sinterizar la parte deseada. Este proceso se repite hasta obtener el objeto en 3D.

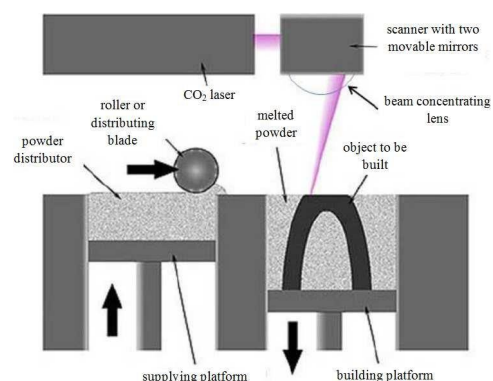


Figura II. Proceso SLS base en polvo

Con la pieza terminada, se retira del polvo no sinterizado para volver a utilizarlo en otras impresiones.

Modelado por deposición fundida (FMD)

Este proceso consiste en ir depositando el material a través de un extrusor de manera que se vaya formando el objeto capa a capa. Estas impresoras tienen un sistema sencillo de funcionamiento.

Su funcionamiento es el siguiente: el material en este caso un filamento fundido se va depositando capa por capa a través de un extrusor sobre una plataforma hasta conseguir el modelo en 3D diseñado. La impresión comienza cuando la impresora alcanza una temperatura aproximadamente de unos 200°, una temperatura que permite fundir el material utilizado. El material fundido se va extruyendo a través de extrusor de la impresora, y se va depositando sobre la plataforma hasta imprimir la totalidad de la pieza.

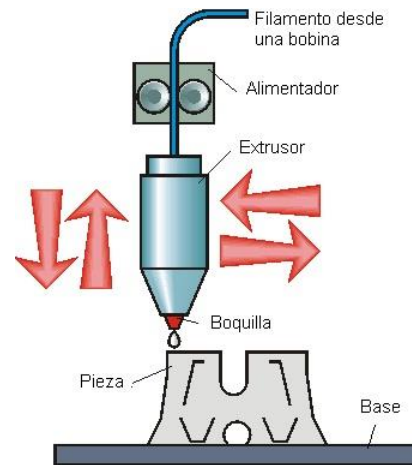


Figura III. Proceso FMD base sólida

II.II. Variables de impresión

Para realizar una impresión 3D se debe especificar una serie de parámetros que caracterizarán la pieza imprimida. Hay parámetro que viene determinados según el material utilizado, como puede ser la temperatura de trabajo o la velocidad recomendada de impresión. O, los parámetros que determinarán las propiedades mecánicas y el acabado final del objeto.

En esta práctica nos centraremos en estos últimos parámetros, variables que darán ciertas propiedades a nuestras probetas.

Patrón de relleno

Este aspecto es uno de los más importante cuando se quiere diseñar el objeto, ya que, esta variable determinara muchas de las propiedades del modelo.

Según el patrón de relleno escogido se obtendrá una pieza más o menos sólida, por lo que determinara si el objeto es un objeto resistente mecánicamente o si de lo contrario tiene una resistencia baja.

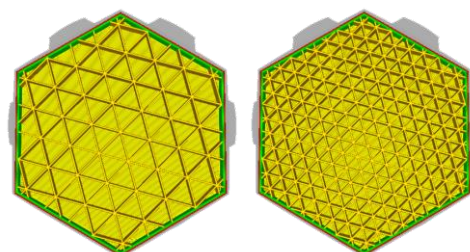


Figura IV. Ejemplo de patrones de relleno

Otro aspecto clave de esta variable es que, desde el punto de vista productivo, dependiendo el patrón seleccionado la pieza necesitara una cantidad de material

diferente, tendrá un coste menor o mayor y su peso final también cambiara. Destacando también que el patrón puede determinar lo rápido que se realiza la impresión dependiendo de lo complejo que sea el patrón seleccionado.

Altura de capa

Las impresoras 3D, como ya se ha comentado en más de una ocasión, imprimen los objetos capa a capa las cuales suelen tener una altura inferior a 1mm. La altura de la capa es lo que determina la resolución o definición del objeto final. Cuanto menor es la altura de capa más unificadas se aprecian las capas por lo que se obtiene mejor acabado visual.



Figura V. Ejemplos de alturas de capa

La altura escogida influye en el tiempo de impresión, cuanto menor altura se escoja mayor tiempo tardara en imprimirse la pieza. El aumento de tiempo hace que el coste aumente considerablemente.

Densidad de relleno

La densidad de relleno el porcentaje interior de material que se le aplica a la pieza. Se entiende que el porcentaje es 0 cuando la pieza esta hueca y se entiende que el porcentaje es 100 cuando la pieza es completamente sólida.

Según el porcentaje de densidad deseado se puede hacer variar las propiedades del objeto, su peso y su coste de producción.

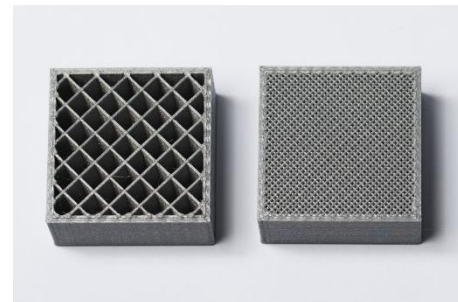


Figura VI. Ejemplos de densidades de relleno

Por norma, se suele aplicar una densidad variable. Esto permite aplicar más material en las zonas deseadas y menos donde no sea tan necesario de manera que se obtiene una pieza más resistente en los puntos críticos y más ligera en los puntos que no es tan necesaria la aplicación de materia l en exceso.

Forma de la probeta

En este aspecto la impresión 3D es uno de los pocos procesos productivos que tiene un nivel tan elevado de libertad a la hora de realizar todo tipo de formas. Sin embargo, en esta práctica limitaremos la forma basándonos en una probeta de estudio con el fin de poder realizar probetas con formas posibles de ensayar.

Tamaño de la probeta

El tamaño de la probeta vendrá limitado por el volumen máximo que permita la impresora 3D.

II.III. Variables de ensayos

Las probetas diseñadas se estudiarán mediante el ensayo seleccionado. Podrán ser ensayo destructivos o no destructivos. En este apartado se nombrarán brevemente que tipo de ensayo se puede escoger, ya que, serán ensayos ya vistos y utilizados en anteriores prácticas.

Únicamente se nombrará el ensayo y se hará una descripción de en qué consiste. En caso de necesitar información más explícita del ensayo seleccionada siempre se podrán consultar guiones de prácticas anteriores.

Ensayo a tracción

En este ensayo se le aplica a la probeta una fuerza de tracción, esto significa que se le aplica una o varias fuerzas que su función será la de estirar el material. Se va aplicando una fuerza que va aumentando hasta llegar a romper la probeta.

Ensayo a compresión

Este ensayo se utiliza para determinar las propiedades de un material cuando se le aplica una o varias fuerzas axiales de forma negativa. Esto se consigue comprimiendo la probeta.

Ensayo a flexión

Este ensayo se obtiene la resistencia a flexión del material estudiado. Se utiliza este tipo de ensayo cuando el material que se quiere ensayar es dúctil. La flexión consiste en una deformación estructural que aparece en una dirección perpendicular al eje longitudinal.

Ensayo a torsión

El ensayo de torsión consiste en aplicar un momento torsor al material que se desea ensayar con el fin de obtener el ángulo de torsión en el extremo de la pieza. Esto permite ver el comportamiento de los distintos materiales sobre cargas de rotación.

Ensayo a través de elementos finitos

Este ensayo consiste en realizar una aproximación con el método de elementos finitos utilizando software especializado. Este software te permite simular la situación en la cual se encontrará la pieza que se quiere estudiar.

Ensayo de deformación por extensometría eléctrica

Este ensayo consiste en la medición de esfuerzos y deformaciones en base a los cambios de resistencia eléctrica que sufre el material cuando es sometido a una tensión.

III. Trabajo previo

Para poder realizar la práctica se deben diseñar un total de 3 probetas. Dos de ellas tienen los mismos valores de variables únicamente modificando uno de ellos y la tercera debe ser completamente independiente a las anteriores. Los archivos deben tener el siguiente nombre: “ProbetaX_GrupoY” entendiéndose las X como el número de la probeta 1, 2 o 3 y la Y como el número de grupo al que pertenece ese diseño.

III.I. Diseño de las probetas en 3D

Los archivos 3D deben colgarse en atenea una semana antes de la realización de la práctica. Estos archivos pueden ser modelados con el software de diseño 3D que se desee, pero es indispensable que se envíen en formato “STL”. A continuación, hay un link que explica como guardar vuestros archivos en este formato:

https://www.youtube.com/watch?v=mE0TF6ECkEs&ab_channel=Mlab47Rob%C3%B3ticaMlab47Rob%C3%B3tica

III.II. Selección de las variables de las probetas

Juntamente con estos archivos se debe enviar la selección de variables de impresión escogidas para cada probeta. Se selecciona el patrón de relleno, el espesor de relleno, la densidad de relleno, la forma y el tamaño de la probeta.

Patrón de relleno: consiste en determinar la forma que sigue la estructura interior de nuestra pieza.


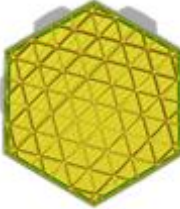
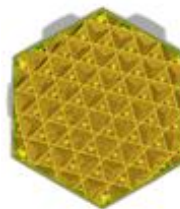
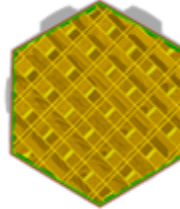

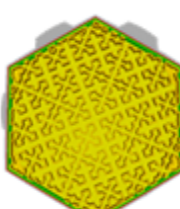
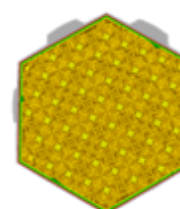
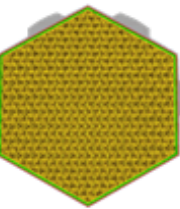
1 - Rejilla	2 - Triángulos	3 - Cúbico	4 - Cuarto cúbico
			
5 - Concéntrico	6 - Cruz	7 - Cross 3D	8 - Gyroid
			

Tabla I. Diferentes opciones de patrón de relleno a escoger.

Altura de capa: consisteix en determinar la altura que tindrà cada una de les capes que formaran la peça.






1 - 0.1mm	2 - 0.3mm	3 - 0.45mm	4 - 0.6mm	5 - 0.8mm
				

Tabla II. Diferentes opciones altura de capa a escoger.

Densidad de relleno: consisteix en determinar la quantitat de material que tindrà la estructura interior de la peça.

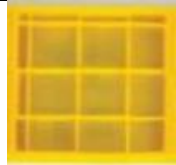
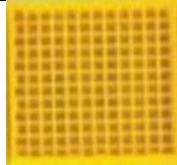
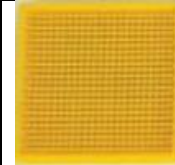



1 - 10%	2 - 20%	3 - 40%	4 - 60%	5 - 80%	6 - 100%
					

Tabla III. Diferentes opciones de densidad de relleno a escoger.

Forma de la probeta: consisteix en determinar la forma de la secció de la peça.

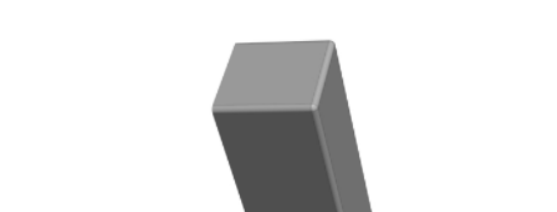

1 - Sección rectangular	2 - Sección circular
	

Tabla IV. Diferentes opciones de forma de probeta a escoger.

Tamaño de la probeta: consisteix en determinar la longitud de la peça.

1 - 50mm	2 - 100mm	3 - 150mm	4 - 200mm
----------	-----------	-----------	-----------

Tabla V. Diferentes opciones de tamaño de probeta a escoger.

Ensayo de la probeta: consisteix en determinar que ensayo se le realizara a la probeta dissenyada.

1	2	3	4	5	6
Tracción	Compresión	Flexión	Torsión	Elementos finitos	Extensometría

Tabla VI. Diferentes opciones de ensayo a escoger.

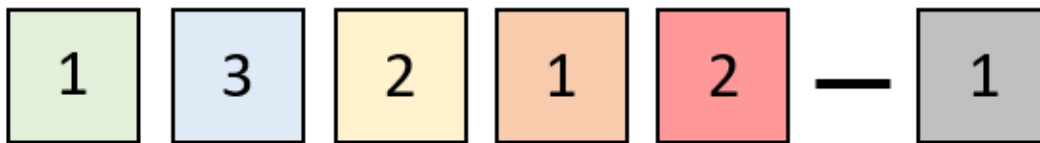
Anteriormente, se han podido observar las tablas que contienen los números corresponden a cada opción. A continuación, hay una tabla conjunta. Se debe completar una tabla por cada probeta enviada donde se debe marcar que número se quiere aplicar de cada una de las variables a la probeta. Una vez, seleccionado se rellena cada uno de los cuadrados con su número correspondiente de selección. Juntamente con cada archivo de probeta se debe enviar un archivo “PDF” donde aparezca la tabla conjunta con los valores seleccionados y el código que se obtiene.

Cada variable está asociada a un color, respetar estos colores para evitar posibles dudas. Seguidamente se puede observar un ejemplo de selección que aclarar cualquier duda de este apartado, si es necesario se puede enviar vía atenea todas las dudas que se tengan siempre antes de la fecha de entrega de los archivos.

Aquí se puede ver un ejemplo de selección:

Patrón	1	2	3	4	5	6	7	8
Altura de capa	1	2	3	4	5			
Densidad	1	2	3	4	5	6		
Forma	1	2						
Tamaño	1	2	3	4				
Ensayo	1	2	3	4	5	6		

Realizando esta selección obtenemos el siguiente código:



Únicamente, por cada probeta se debe enviar un archivo .pdf que contenga la misma información que hay de ejemplo en el recuadro anterior, juntamente con el archivo .stl.

IV. Procedimiento

Al llegar al laboratorio se le entrega cada grupo sus 3 probetas indicando cual corresponde a cada código. Realizar fotos de cada una de las probetas.

IV.I. Comparativa de las dos probetas similares

1. Con la supervisión del profesor presente en la sala cada grupo realiza su ensayo seleccionado. Si hay más de un grupo con el mismo ensayo se debe seguir el orden que se determine en ese momento.
2. Si se tiene alguna duda de algún ensayo siempre consultar al profesor o consultar guiones de prácticas anteriores donde se determinen con claridad los pasos a seguir para la realización del ensayo seleccionado.
3. Se hacen fotos a las probetas diseñadas y se realiza el ensayo de las dos probetas a comparar.
4. Una vez ha finalizado el ensayo se obtienen los resultados de los cuales se deben sacar unas conclusiones. Realizar fotos de las probetas una vez ensayadas.

IV.II. Tercera probeta independiente

1. Previamente a realizar el ensayo se deben realizar unas hipótesis de cómo se cree que se comportara la probeta al aplicarle el ensayo.
2. Con la supervisión del profesor presente en la sala cada grupo realizará su ensayo seleccionado. Si hay más de un grupo con el mismo ensayo se debe seguir el orden que se determine en ese momento.
3. Si se tiene alguna duda de algún ensayo siempre consultar al profesor o consultar guiones de prácticas anteriores donde se determinen con claridad los pasos a seguir para la realización del ensayo seleccionado.
4. Se hacen fotos a la probeta diseñada y se realiza el ensayo de la probeta.
5. Una vez ha finalizado el ensayo se obtienen los resultados de los cuales se deberán sacar unas conclusiones y contrastarlas con las hipótesis previas. Realizar fotos de las probetas una vez ensayadas.

V. Informe

Realiza el informe de la práctica completando las fichas que hay en atenea para cada una de las probetas. También debes adjuntar los datos y gráficos obtenidos de cada ensayo.

VI. Referencias bibliogràfiques del guion

- [I] «¿Qué es la impresión en 3D? | Tecnología de impresión en 3D | Autodesk». <https://www.autodesk.es/solutions/3d-printing>
- [II] «Guía de impresión 3D por sinterizado selectivo por láser (SLS)». <https://formlabs.com/es/blog/que-es-sinterizado-selectivo-laser/>
- [III] «FDM o modelado por deposición fundida, te explicamos todo! - 3Dnatives». <https://www.3dnatives.com/es/modelado-por-deposicion-fundida29072015/>
- [IV] «La guía de impresión de estereolitografía (SLA) en 3D - 3D Newworld». <https://3dnewworld.com/la-guia-de-impresion-de-estereolitografia-sla-en-3d/>
- [V] «FDM o SLA: ¿Qué tecnología de impresión 3D elegir? - 3Dnatives». <https://www.3dnatives.com/es/fdm-o-sla-impresion-3d-131220172/>
- [VI] «SLA: Impresión 3D por estereolitografía, ¡te explicamos todo! - 3Dnatives». <https://www.3dnatives.com/es/impresion-3d-por-estereolitografia-les-explicamos-todo/#!>
- [VII] «Relleno en impresión 3D ¿Qué es? ¿Para qué sirve? | Crear 4D». <https://www.crear4d.com/relleno-impresion-3d/>
- [VII] «Altura de Capas y Resolución en la Impresión 3D». <https://www.3dworks.cl/post/altura-de-capas>
- [IX] «3D Printing Technology Comparison: FDM vs. SLA vs. SLS». <https://formlabs.com/blog/fdm-vs-sla-vs-sls-how-to-choose-the-right-3d-printing-technology/>
- [X] «Guía completa: Sinterizado selectivo por láser o SLS, te explicamos todo! - 3Dnatives». <https://www.3dnatives.com/es/sinterizado-selectivo-por-laser-les-explicamos-todo/>
- [XI] «Guía sobre impresión 3D por estereolitografía (SLA) de 2020». <https://formlabs.com/es/blog/guia-definitiva-estereolitografia-sla-impresion-3d/>
- [XII] «cura vs slic3r | Soloelectronicos.com». <https://soloelectronicos.com/tag/cura-vs-slic3r/>
- [XIII] «Propiedades del PLA». <https://sites.google.com/view/poliacidolactico-coma/poliácido-láctico/propiedades-del-pla>

7. INFORME DE LA PRÁCTICA

INFORME DE IMPRESIÓN 3D

Dept. Resistencia de Materiales

UPC – ESEIAAT

Grupo	Nombre y apellidos	Fecha de realización

PROBETA n°1

- Indica que valores de variable se han seleccionado para cada opción.

Patrón de relleno: _____

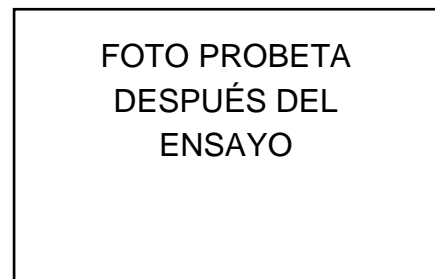
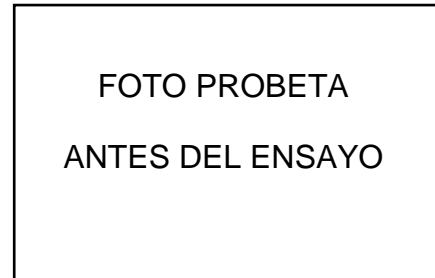
Altura de capa: _____

Densidad de relleno: _____

Forma: _____

Tamaño: _____

Código -



PROBETA n°2

- Indica que valores de variable se han seleccionado para cada opción.

Patrón de relleno: _____

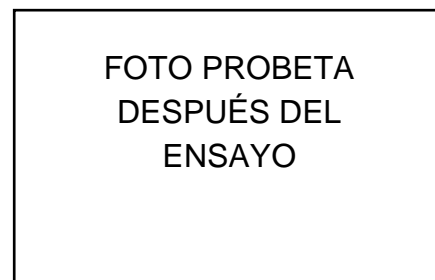
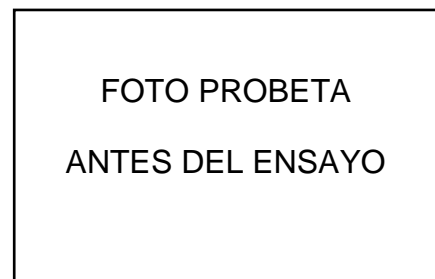
Altura de capa: _____

Densidad de relleno: _____

Forma: _____

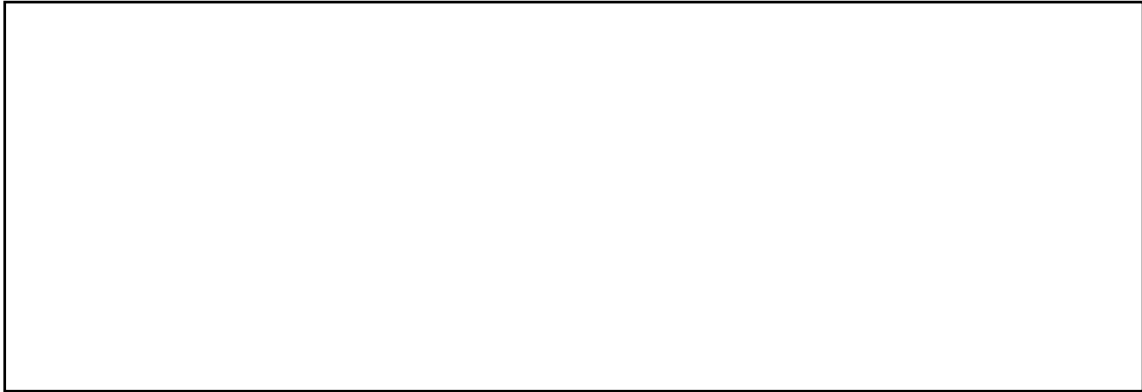
Tamaño: _____

Código -



RESULTADOS

- Explica brevemente en que consiste el ensayo seleccionado y cuál es su función.



- Adjunta todos los datos, resultados y gráficos obtenidos a partir del ensayo realizado en ambas probetas. Indicando que resultados pertenecen a cada una de ellas.

Probeta nº1



Probeta nº2



CONCLUSIONES

- Realiza las conclusiones que creas necesarias obtenidas al ensayar las dos probetas.

VALORACIÓN PERSONAL

- Indica que te ha parecido esta primera parte de la práctica de impresión 3D, si ha sido de tu interés, que aspectos mejorarías, que te hubiese gustado ver y no estaba presente en la práctica, etc. Cualquier aspecto que consideres relevante.

PROBETA nº3

- Indica que valores de variable se han seleccionado para cada opción.

Patrón de relleno: _____

Altura de capa: _____

Densidad de relleno: _____

Forma: _____

Tamaño: _____

Código -

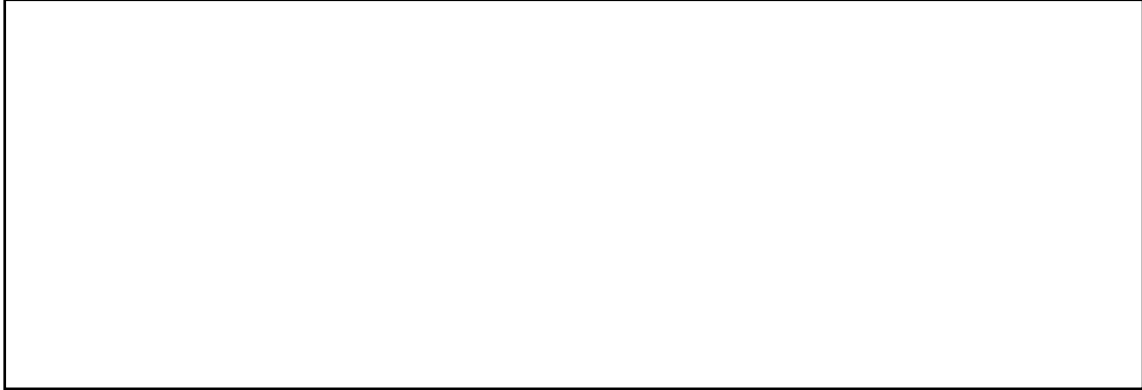
FOTO PROBETA
ANTES DEL ENSAYO

FOTO PROBETA
DESPUÉS DEL
ENSAYO

- Realiza todas las hipótesis que creas convenientes antes de realizar el ensayo sobre los posibles resultados que obtendrás y como crees que se comportará la probeta.

RESULTADOS

- Explica brevemente en que consiste el ensayo seleccionado y cuál es su función.



- Adjunta todos los datos, resultados y gráficos obtenidos a partir del ensayo realizado en ambas probetas. Indicando que resultados pertenecen a cada una de ellas.

Probeta nº3



CONCLUSIONES

- Realiza las conclusiones que creas necesarias obtenidas al ensayar la probeta y compara tus hipótesis iniciales con los resultados finales.

VALORACIÓN PERSONAL

- Indica que te ha parecido esta segunda parte de la práctica de impresión 3D, si ha sido de tu interés, que aspectos mejorarías, que te hubiese gustado ver y no estaba presente en la práctica, etc. Cualquier aspecto que consideres relevante.

8. PRUEBA PILOTO

En este apartado se desarrolla una prueba de la práctica anteriormente detallada. La intención de esta prueba es comprobar que se ha seleccionado una metodología adecuada y apta para el buen funcionamiento de la práctica.

8.1. VARIABLE SELECCIONADA

Probeta nº1, tabla de selección:

Patrón	1	2	3	4	5	6	7	8
Altura de capa	1	2	3	4	5			
Densidad	1	2	3	4	5	6		
Forma	1	2						
Tamaño	1	2	3	4				
Ensayo	1	2	3	4	5	6		

Tabla 11. Tabla de selección para la probeta nº1.

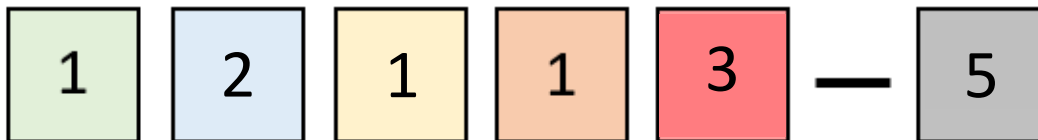


Figura 40. Código de la probeta nº1

Con este código obtenemos una probeta con las siguientes variables:

Patrón de relleno: Patrón de rejilla

Altura de capa: 0.3 mm

Densidad de relleno: 10%

Forma de la probeta: Sección rectangular

Tamaño de la probeta: 150 mm

Ensayo a realizar: Elementos finitos

Probeta nº2, tabla de selección:

Patrón	1	2	3	4	5	6	7	8
Altura de capa	1	2	3	4	5			
Densidad	1	2	3	4	5	6		
Forma	1	2						
Tamaño	1	2	3	4				
Ensayo	1	2	3	4	5	6		

Tabla 12. Tabla de selección para la probeta nº2.

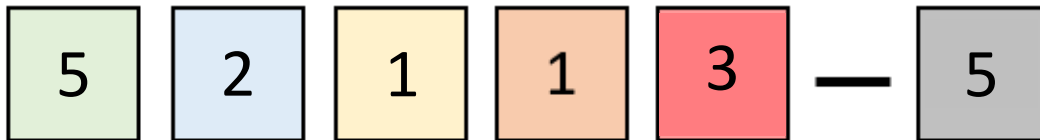


Figura 41. Código de la probeta nº2

Con este código obtenemos una probeta con las siguientes variables:

Patrón de relleno: Patrón concéntrico

Altura de capa: 0.3 mm

Densidad de relleno: 10%

Forma de la probeta: Sección rectangular

Tamaño de la probeta: 150 mm

Ensayo a realizar: Elementos finitos

Con estas selecciones de variables se estudia la variable patrón de relleno para ver cómo afecta a la probeta a la hora de realizarle un ensayo.

Probeta nº3, tabla de selección:

Patrón	1	2	3	4	5	6	7	8
Altura de capa	1	2	3	4	5			
Densidad	1	2	3	4	5	6		
Forma	1	2						
Tamaño	1	2	3	4				
Ensayo	1	2	3	4	5	6		

Tabla 13. Tabla de selección para la probeta nº3.

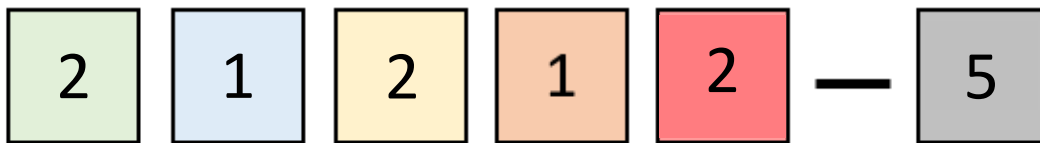


Figura 42. Código de la probeta nº3

Con este código obtenemos una probeta con las siguientes variables;

Patrón de relleno: Patrón de triángulos

Altura de capa: 0.1 mm

Densidad de relleno: 20%

Forma de la probeta: Sección rectangular

Tamaño de la probeta: 100 mm

Ensayo a realizar: Elementos finitos

A esta tercera probeta se le aplica el mismo ensayo, pero con variables diferentes a las probetas anteriores.

8.2. ENSAYO SELECCIONADO

Para esta prueba piloto se aplica un ensayo no destructivo, el cual consiste en un análisis a través de elementos finitos. Se ha seleccionado este tipo de ensayo debido a que por problemas relacionados con el Covid-19 han surgidos dificultades para poder realizar un ensayo que necesitase de maquinaria para realizarlo, así que por prevención se ha decidido realizar este ensayo.

Este ensayo consiste en realizar una aproximación con el método de elementos finitos utilizando software especializado, en este caso se utiliza “SolidWorks”. Este software te permite crear un modelo 3D y tiene una herramienta que permite simular la situación en la cual se encuentra la pieza que se quiere estudiar y aplicarle el análisis de elementos finitos.

8.3. IMPRESIÓN DE LA PROBETAS

Para el tipo de ensayo seleccionado no es necesario la impresión de las probetas, sin embargo, imprimiendo las probetas seleccionadas se adquiere mayor apreciación de lo que se ha diseñado con el ordenador.

8.3.1. IMPRESORA 3D

Para realizar estas impresiones se utiliza la impresora de la marca “Creality”, concretamente el modelo “Ender 3”. Este modelo de impresora es un modelo de uso cotidiano, muy recomendada para la gente que tiene interés en iniciarse en el mundo de la impresión 3D. Actualmente, calidad precio es una de las más recomendadas en el mercado.



Figura 43. Impresora Ender 3 embalada



Figura 44. Impresora Ender 3 montada

Esta impresora utiliza el método de FDM y es capaz de imprimir con una alta variedad de materiales entre ellos PLA y ABS, que son los más comunes. Tiene un volumen de impresión de 220x220x250mm y utiliza filamento de 1.75mm. Dispone de una cama caliente con un sistema que permite fácilmente nivelarla. El extrusor que viene incorporado tiene un diámetro de boquilla de 0.4mm, lo que permite trabajar con espesores de capa de 0.1 a 0.35mm consiguiendo un acabado muy bueno en las piezas.

8.3.2. PROBETAS

Para el diseño de las probetas se utiliza “SolidWorks”, un software de modelado en 3D con el cual se trabaja en diferentes asignaturas del grado universitario.

En el caso de la probeta 1 y la probeta 2 las dimensiones son las mismas para ambas, la variable de ensayo es el patrón.

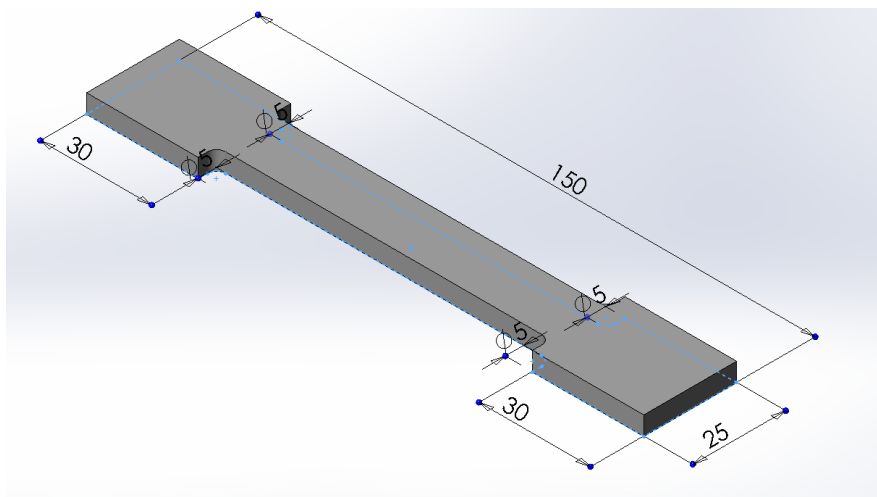


Figura 45. Dimensiones probeta n°1 y

En el caso de la probeta 3 las dimensiones son diferentes.

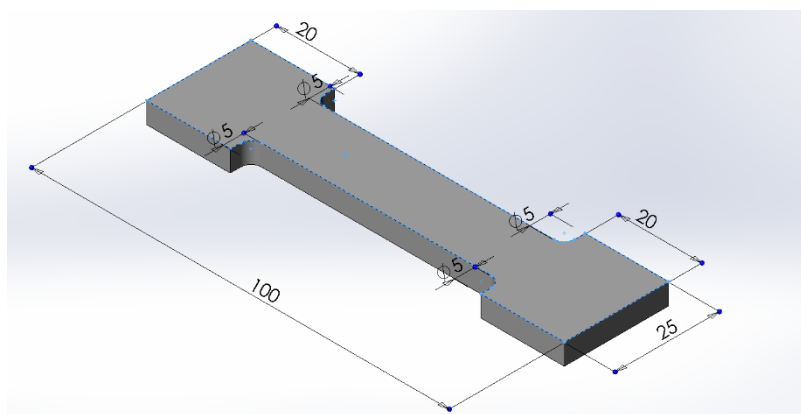


Figura 46. Dimensiones probeta n°3

Una vez se han diseñado las probetas con el software de modelado 3D se guarda el archivo en formato .stl y se procede a abrir con el software de laminado en este caso "Ultimaker Cura", un software completamente gratuito y disponible para cualquier usuario. Una vez está el archivo abierto en este programa se configura los parámetros de impresión en función de las variables seleccionadas.

Probeta nº1:

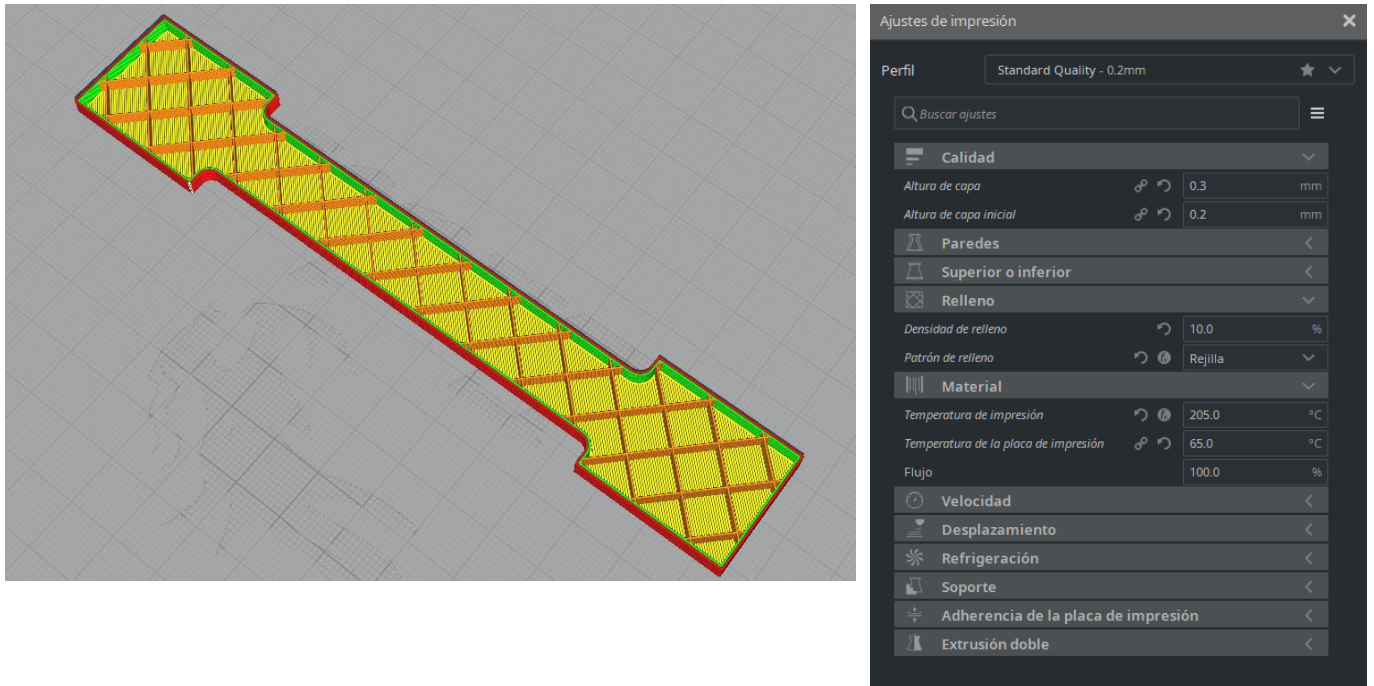


Figura 47. Configuración de impresión probeta nº1

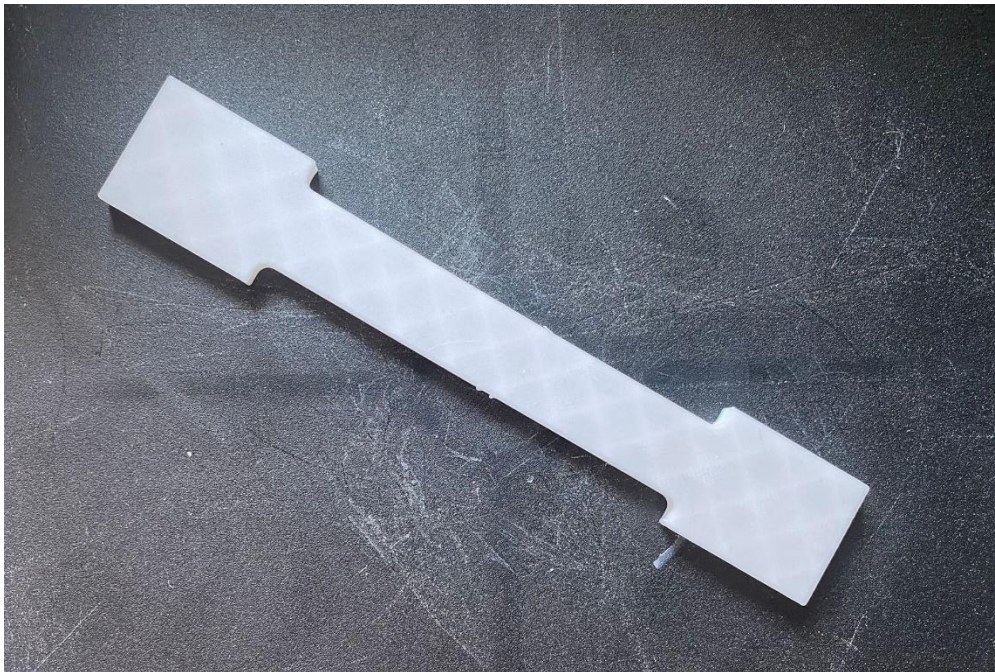


Figura 48. Probeta nº1 impresa

Link video del proceso de impresión: <https://youtu.be/COm-nGVnTL8>

Probeta nº2:

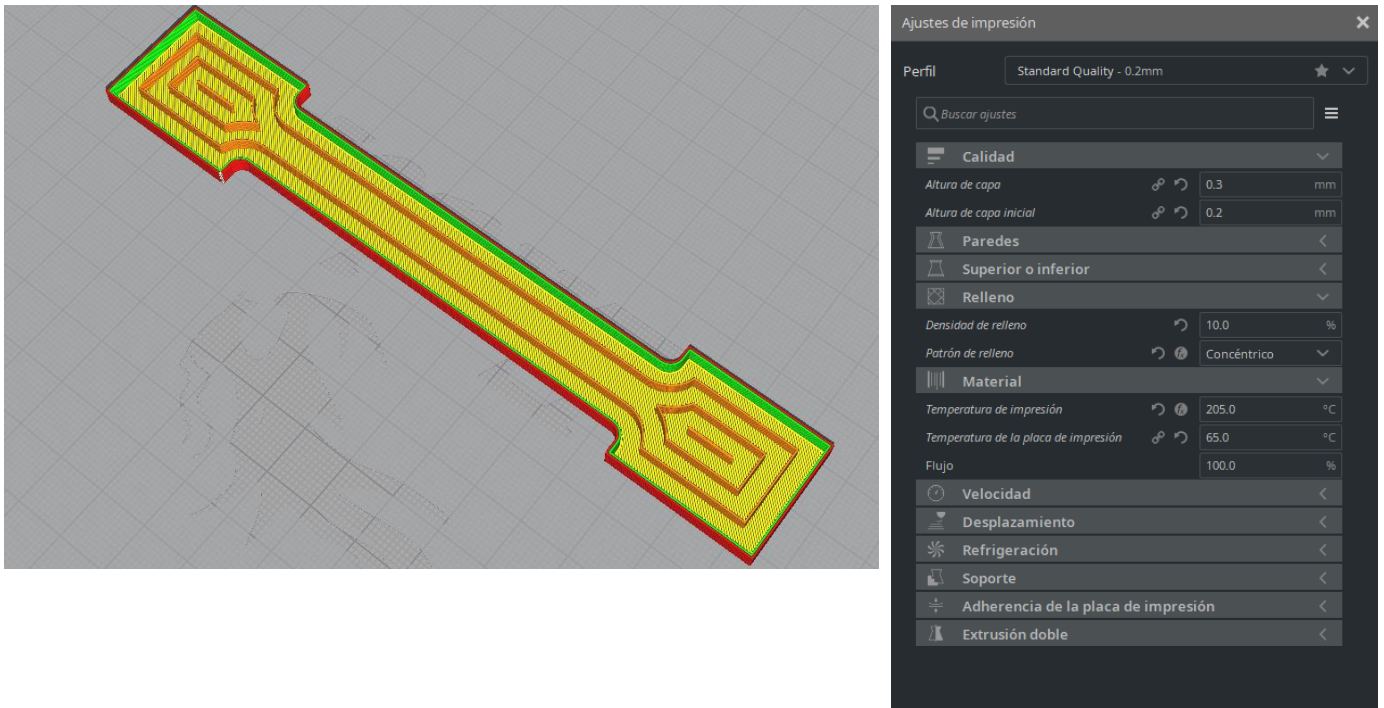


Figura 49. Configuración de impresión probeta nº2

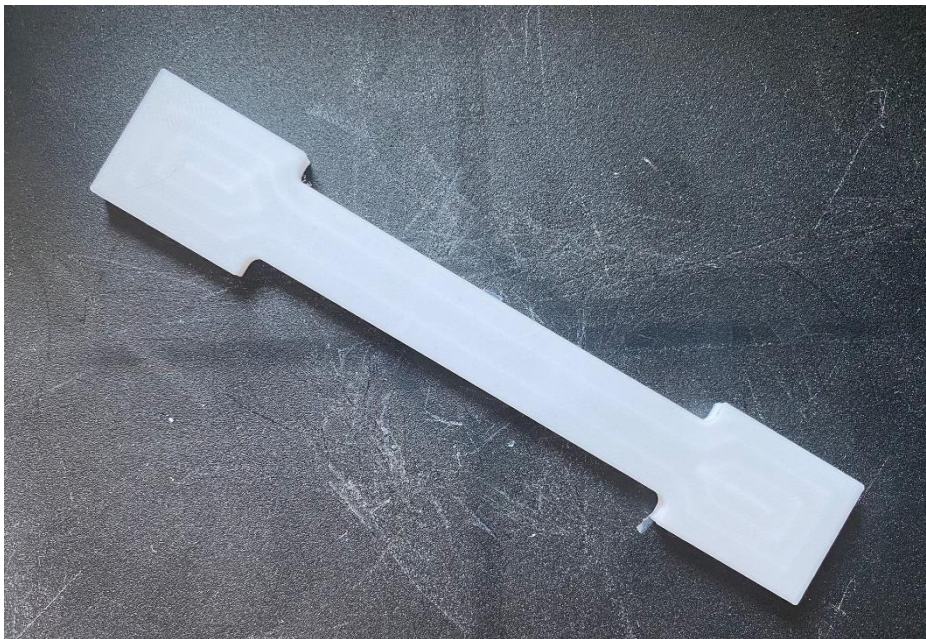


Figura 50. Probeta nº2 impresa

Link video del proceso de impresión: https://youtu.be/n5XUxHWA_t8

Probeta nº3:

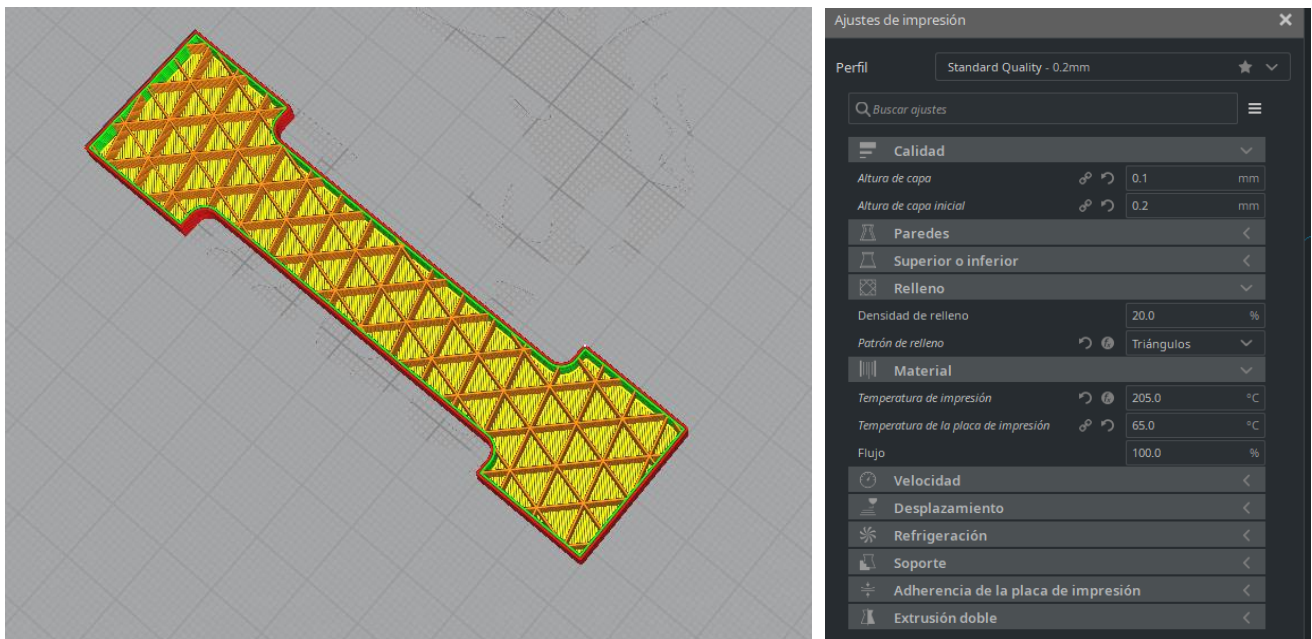


Figura 51. Configuración de impresión probeta nº3



Figura 52. Probeta nº3 impresa

Link video del proceso de impresión: <https://youtu.be/3EwxU8-y84Y>

8.4. REALIZACIÓN DEL ENSAYO

Debido a que el patrón se determina en el programa de laminación, y el programa de modelización genera una pieza completamente solida con el 100% de su espacio ocupado por material, se hace una pieza con el interior simulando el patrón de impresión en cada caso.

Probeta nº1:

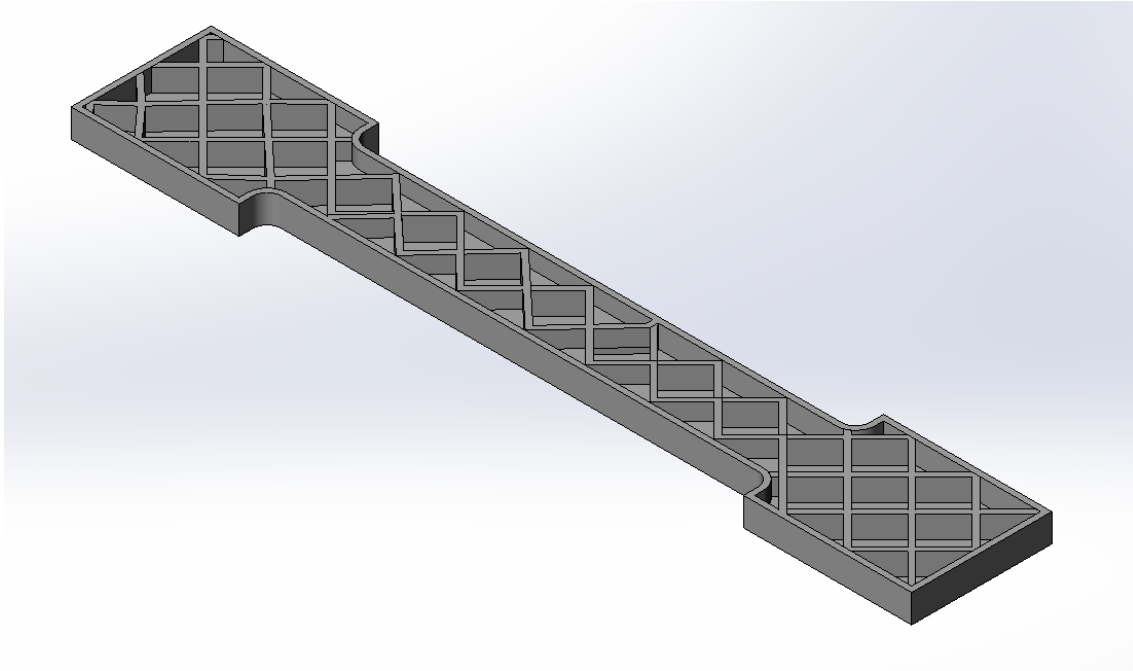


Figura 53. Probeta nº1 diseñada en 3D

Probeta nº2:

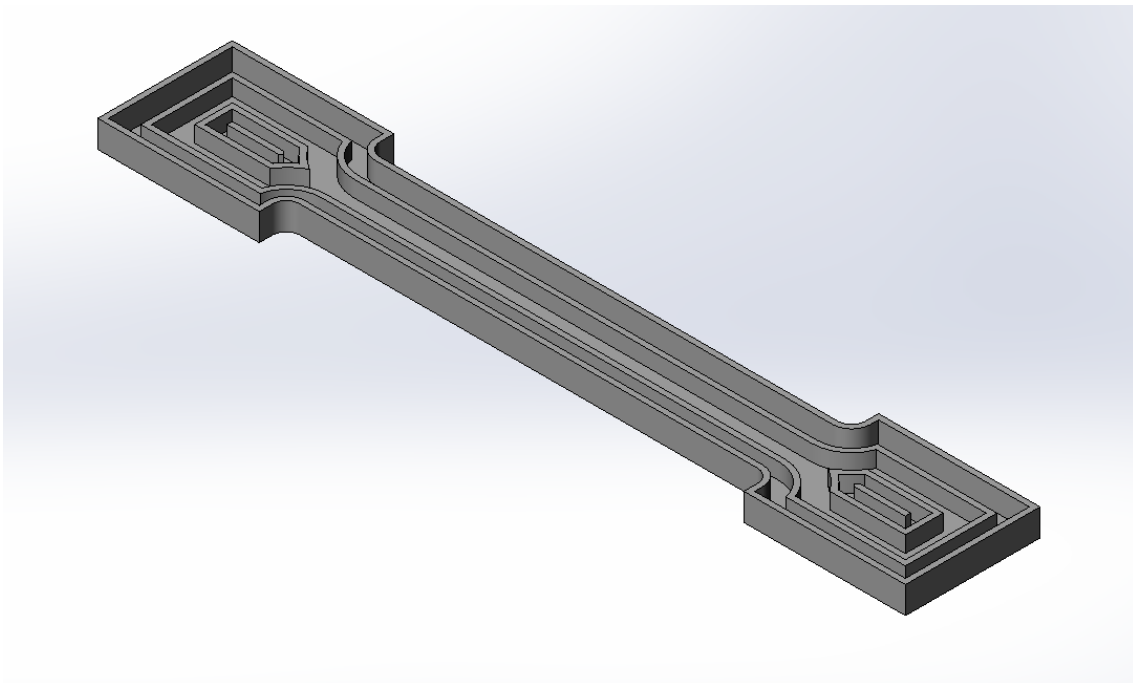


Figura 54. Probeta nº2 diseñada en 3D

Probeta nº3:

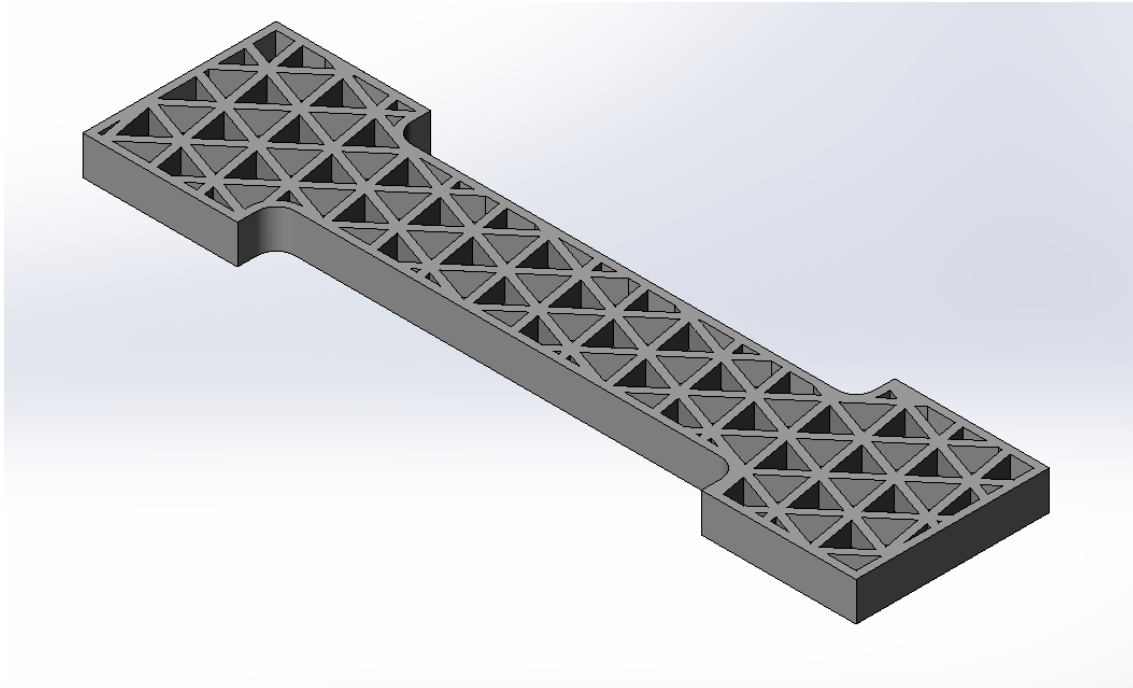


Figura 55. Probeta nº3 diseñada en 3D

A continuación, para poder obtener unos resultados lo más reales posible se aplican las características del material utilizado, en este caso PLA.

Material ×

- > SolidWorks DIN Materials
- > solidworks materials
- > Sustainability Extras
- ▼ Materiales personalizados
 - Plástico
 - PLA

Propiedades Tablas y curvas Apariencia Rayado Personalizado Datos de apl

Propiedades de material
No se pueden editar los materiales en la biblioteca predeterminada. Para editar un material, cópielo primero a una biblioteca personalizada.

Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Guardar tipo de modelo en la t

Unidades: SI - N/m² (Pa)

Categoría: Plástico

Nombre: PLA

Criterio de fallos predeterminado: Tensión de von Mises máx.

Descripción: -

Origen:

Sostenibilidad: No definido Seleccionar...

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2910000000	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.394	N/D
Módulo cortante	330000000	N/m ²
Densidad de masa	1240	kg/m ³
Límite de tracción	47200000	N/m ²
Límite de compresión	66000000	N/m ²
Límite elástico		N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	0.1	/K
Conductividad térmica	0.01	W/(m·K)

Haga clic [aquí](#) para acceder a más materiales con el portal web de materiales de [solidworks](#)

Aplicar Cerrar Guardar Config... Ayuda

Figura 56. Propiedades del PLA

Para realizar el ensayo de elementos finitos se estudian la probeta 1 y 2 como si fuera una viga encastrada en la pared, soportando una carga puntual en el extremo de 20kg.

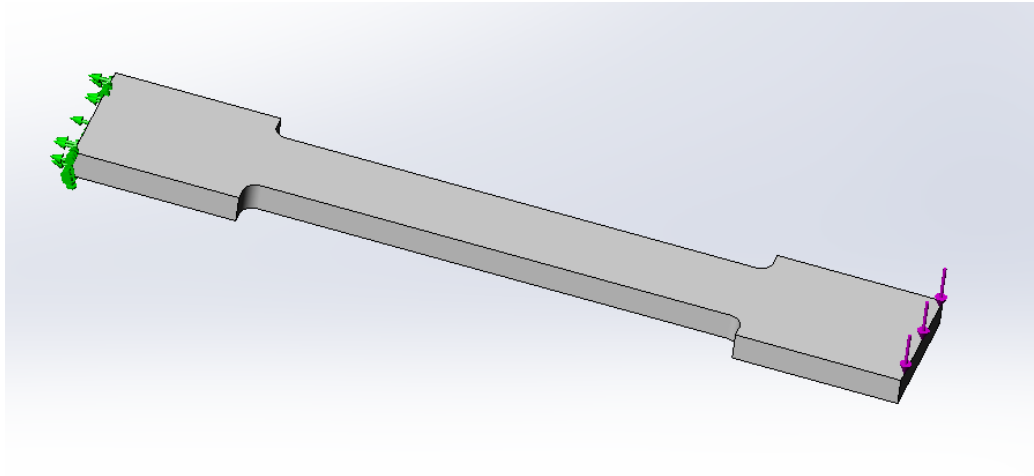


Figura 57. Ensayo probeta nº1 y nº2

Para realizar el ensayo de elementos finitos en el caso de la probeta 3 se estudia como si fuera un puente colgante, colocando dos puntos de apoyo en los extremos y una carga repartida por la cara superior de la pieza de 100kg/m².

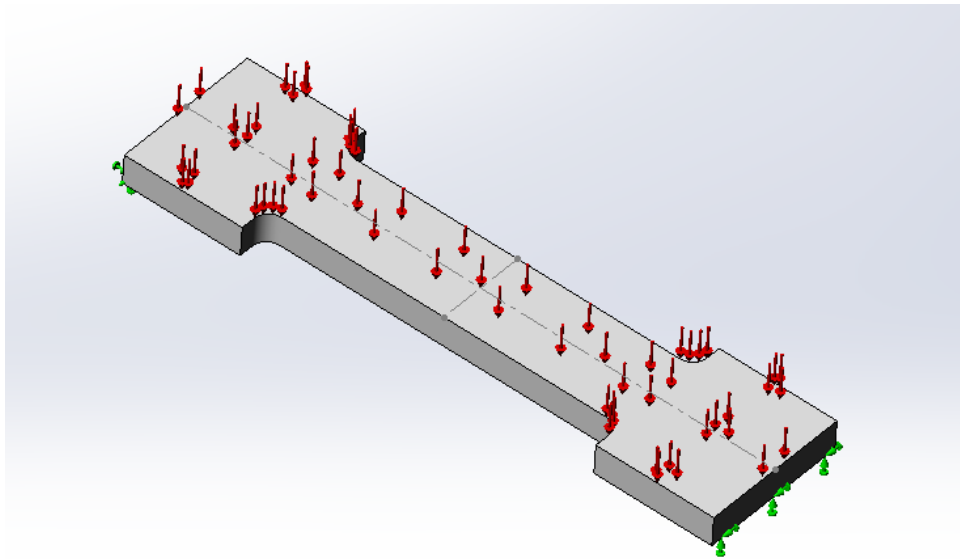


Figura 58. Ensayo probeta nº3

8.5. RESULTADOS OBTENIDOS

Seguidamente se puede observar una tabla comparativa entre los principales resultados obtenidos del ensayo realizado en la probeta 1 y en la probeta 2.

	Probeta nº1		Probeta nº2	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Tensión de Von Mises	3,776e+05 N/m ² Nodo: 9330	2,517e+08 N/m ² Nodo: 17598	3,268e+05 N/m ² Nodo: 15469	2,577e+08 N/m ² Nodo: 11109
Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1	1,435e+02 mm Nodo: 178	0,000e+00 mm Nodo: 14	1,438e+02 mm Nodo: 704
Deformaciones unitarias	1,657E-04 Elemento: 6477	5,668E-02 Elemento: 8268	1,816E-04 Elemento: 4280	5,767E-02 Elemento: 7251
Factor de seguridad	1,649E-01 Nodo: 17598	1,264E+02 Nodo: 18107	1,596E-01 Nodo: 11109	1,61E+02 Nodo: 15469

Tabla 14. Resultados probeta nº1 y nº2

Los datos generados por el ensayo realizado a la probeta 3 son los siguientes:

	Probeta nº3	
	Mín.	Máx.
Tensión de Von Mises	1,243e+03 N/m ² Nodo: 10394	5,995e+05 N/m ² Nodo: 611
Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 507	2,441e-02 mm Nodo: 18808
Deformaciones unitarias	2,742E-07 Elemento: 840	1,027E-04 Elemento: 4025
Factor de seguridad	9,673E+01 Nodo: 611	3,657E+04 Nodo: 10394

Tabla 15. Resultados probeta nº3

En el documento “TFG_ANEXOS_Mario_Pinto” se pueden consultar los informes de cada una de las probetas generados por el programa de modelización “SolidWorks”.

8.6. CONCLUSIONES DE LA PRUEBA

Una vez realizado los ensayos en las probetas podemos observar diferentes resultados de cada uno de los diseños como los valores de tensión de Von Mises, los desplazamientos y deformaciones unitarias que sufren las probetas y por último el factor de seguridad.

En el primer caso en el cual se compara la probeta 1 y 2 los valores son muy similares, pero cabe destacar que en ambos casos tenemos factores de seguridad mínimos inferiores a 1. Que el factor de seguridad sea inferior a 1 equivale a que el material en ese punto está fallando lo que indica que la pieza no sería capaz de soportar esa carga en esas condiciones.

Según los resultados obtenidos, como en este caso se ha estudiado la variable de patrón de relleno se puede considerar que el patrón de rejilla, ya que, tiene un factor de seguridad mínimamente superior a la probeta con el patrón concéntrico y también se puede observar que sufre menos deformación unitaria y desplazamiento.

En cambio, la probeta 3, la cual esta ensayada completamente diferente colocándole dos puntos de apoyo y una carga distribuida trabaja con un factor de seguridad de 9.

Respecto a la práctica considero que se ajusta al objetivo que se buscaba al inicio del proyecto, ya que es una práctica dinámica. Donde el alumnado puede diseñar y fabricar sus propias probetas y ver cómo actúan frente al ensayo deseado.

9. CONCLUSIONES DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto de final de grado consiste en implementar la fabricación aditiva dentro de la asignatura de “*Resistencia de materiales y teoría de estructuras*”. De modo que el estudiante pueda adquirir conocimientos de este proceso productivo y pueda experimentar con piezas impresas en 3D.

Se ha desarrollado una metodología de práctica en la cual el alumno tiene libertad de diseño y modelaje sobre las piezas que posteriormente serán ensayadas. Esto hace que se profundice más en esta nueva tecnología y los estudiantes interioricen con mayor facilidad todas las ventajas que puede aportar en un futuro esta tecnología.

Del modo que está diseñado el proceso de esta práctica, hace que el alumnado adquiere una cierta experiencia con diferente software que se utiliza para el diseño e impresión de las probetas, juntamente con el amplio abanico de opciones que ofrece la impresión 3D y finalmente consolidando unos conocimientos previos sobre los ensayos mecánicos vistos en prácticas anteriores.

Por la situación actual que estamos viviendo a nivel mundial no se ha podido realizar la resolución de la práctica en un laboratorio, esto habría sido interesante de cara realizar una prueba piloto lo más cercana posible a una práctica real en horario lectivo. Sin embargo, debido a que uno de los ensayos disponibles consiste en un estudio de elementos finitos, se ha realizado este con el fin de realizar una práctica piloto completa y no finalizarla únicamente en la impresión de las probetas.

Finalmente, una vez realizada la prueba piloto se ha podido comprobar que la metodología diseñada cumple con las expectativas que se buscaban con la realización de este proyecto.

10. LÍNEAS FUTURAS

Posibles opciones a implementar en futuros proyectos:

- Debido a la situación actual sería conveniente diseñar la opción no presencial de esta práctica. Como por ejemplo asignarle a cada grupo de alumnos un ensayo, que diseñen e impriman una sola probeta y el profesorado realizara el ensayo en el laboratorio compartiendo posteriormente todos los resultados con los alumnos incluso podría realizar un video del ensayo para que los alumnos recibieran más información y no solo una gráfica de resultados.
- Implementar la opción de trabajar con diferentes materiales.
- Implementar la opción de trabajar con diferentes tipos de impresoras
- Ampliar el número de variables a estudiar, incluyendo la velocidad de impresión, el grosor de pared exterior, la orientación de las piezas, etc.
- En caso de que el alumno disponga de impresora 3D ofrecerle la opción de realizar él las impresiones de sus probetas.

11. BIBLIOGRAFIA

- [1] «¿Qué es la impresión en 3D? | Tecnología de impresión en 3D | Autodesk». <https://www.autodesk.es/solutions/3d-printing>
- [2] «▷ Ensayos destructivos ⚠ ¿Cual es su uso? | Infinitia». <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/ensayos-destructivos-y-cuando-aplicarlos/>
- [3] «Extensometría Electrónica». <http://personales.upv.es/fbardisa/Pdf/Extensometria electronica.PDF>
- [4] «Materiales para impresoras 3d ▷ la guia mas completa ? 【 2021 】 ». https://tresdpro.com/que-material-utilizan-las-impresoras-3d/#Materiales_termoplasticos
- [5] «Guía de impresión 3D por sinterizado selectivo por láser (SLS)». <https://formlabs.com/es/blog/que-es-sinterizado-selectivo-laser/>
- [6] «FDM o modelado por deposición fundida, te explicamos todo! - 3Dnatives». <https://www.3dnatives.com/es/modelado-por-deposicion-fundida29072015/>
- [7] «Ensayo de Traccion. Ensayo, Grafica, Formulas, Problemas.» <https://www.areatecnologia.com/materiales/ensayo-de-traccion.html>
- [8] «Sinterización - Wikipedia, la enciclopedia libre». <https://es.wikipedia.org/wiki/Sinterización>
- [9] «La guía de impresión de estereolitografía (SLA) en 3D - 3D Newworld». <https://3dnewworld.com/la-guia-de-impresion-de-estereolitografia-sla-en-3d/>
- [10] «FDM o SLA: ¿Qué tecnología de impresión 3D elegir? - 3Dnatives». <https://www.3dnatives.com/es/fdm-o-sla-impresion-3d-13122017/>
- [11] «SLA: Impresión 3D por estereolitografía, ¡te explicamos todo! - 3Dnatives». <https://www.3dnatives.com/es/impresion-3d-por-estereolitografia-les-explicamos-todo/#!>
- [12] «Relleno en impresión 3D ¿Qué es? ¿Para qué sirve? | Crear 4D». <https://www.crear4d.com/relleno-impresion-3d/>
- [13] «Mercado laboral en la impresión 3D 2019 - 3Dnatives». <https://www.3dnatives.com/es/mercado-laboral-en-la-impresion-3d-220520192/#!>
- [14] «Ensayo de compresión | IBERTEST». <https://www.ibertest.es/products/ensayo-de-compresion/>
- [15] «Impresión 3D: qué es, métodos, aplicaciones, materiales e impresoras 3D». <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/impresion-3d/>

- [16] «Altura de Capas y Resolución en la Impresión 3D». <https://www.3dworks.cl/post/altura-de-capas>
- [17] «3D Printing Technology Comparison: FDM vs. SLA vs. SLS». <https://formlabs.com/blog/fdm-vs-sla-vs-sls-how-to-choose-the-right-3d-printing-technology/>
- [18] «Guía completa: Sinterizado selectivo por láser o SLS, te explicamos todo! - 3Dnatives». <https://www.3dnatives.com/es/sinterizado-selectivo-por-laser-les-explicamos-todo/>
- [19] «Guía sobre impresión 3D por estereolitografía (SLA) de 2020». <https://formlabs.com/es/blog/guia-definitiva-estereolitografia-sla-impresion-3d/>
- [20] «Impresora 3D Creality Ender 3 - impresoras3d.com». <https://www.impresoras3d.com/producto/impresora-3d-creality-ender-3/>
- [21] «SOFTWARE PARA IMPRESIÓN 3D | Blog Ingenius». <https://eddm.es/blog-ingenius/software-para-impresion-3d-slicers-para-impresoras-con-tecnologia-fdm-fff/>
- [22] «cura vs slic3r | Soloelectronicos.com». <https://soloelectronicos.com/tag/cura-vs-slic3r/>
- [23] «Capítulo 3: ENSAYO DE EXTENSOMETRÍA EN PROBETAS DE FÁBRICA». <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6207/06.pdf?sequence=7&isAllowed=y>
- [24] «Ensayo no destructivo - Wikipedia, la enciclopedia libre». https://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo_no_destructivo
- [25] «Cura – Impresión 3D y cultura maker». <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoescuela/3d/2017/03/27/cura/>
- [26] «Los softwares de impresión 3D: la Guía completa - 3Dnatives». <https://www.3dnatives.com/es/guia-programas-softwares-de-impresion-3d/>
- [27] «Comprobación del Factor de seguridad - 2018 - Ayuda de SOLIDWORKS». http://help.solidworks.com/2018/spanish/SolidWorks/cworks/c_Factor_of_Safety_Check.htm
- [28] «(27) Inventor -Set up PLA Material for FEA - YouTube». <https://www.youtube.com/watch?v=4X6TXTsYsrE>
- [29] «Propiedades del PLA». <https://sites.google.com/view/poliacidolactico-coma/poliácido-láctico/propiedades-del-pla>
- [30] «Los mejores programas para impresoras 3D de 2021 | All3DP». <https://all3dp.com/es/1/programas-software-impresora-3d-printer-software-3d-gratis/>
- [31] «¿Qué es la impresión 3D? | Tecnología de impresión 3D | Autodesk». <https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/3d-printing>

- [32] «Qué es la Impresión 3D - 3D Newworld». <https://3dnewworld.com/que-es-la-impresion-3d>
- [33] Pérez, Oscar Eduardo Peña. 2020. «Proyecto de diseño de piezas modeladas con una impresora 3D para la realización de prácticas de laboratorio de las asignaturas de resistencia de materiales y estructuras en la ingeniería». : 78. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/328515/REPORT_Pe%c3%b1a_P%c3%a9rez_Oscar_E_fitxer%20de%20consulta.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- [34] Campillo, Xavier Rodríguez. 2018. «PROYECTO DE DISEÑO DE PIEZAS MODELADAS CON UNA IMPRESORA 3D PARA LA REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE LA ASIGNATURA DE RESISTENCIA DE MATERIALES Y TEORÍA DE ESTRUCTURAS». : 72. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/126329/xavier.rodriiguez.cam-pillo_130960.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [35] «ACTUALIZACIÓN DE UN MODELO NUMÉRICO DE LA PASARELA DE LA CARTUJA A PARTIR DE DATOS EXPERIMENTALES». <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4980/fichero/INTRODUCCIÓN.pdf>
- [36] «ENSAYO DE TORSIÓN». https://rita.udistrital.edu.co:23604/Documentos/Guias_de_laboratorio/resistencia/GL-RE05.pdf
- [37] «CAPITULO 4. ENSAYO DE FLEXIÓN». <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6229/06.pdf?sequence=7&isAllowed=y>
- [38] «Relleno - Hellbot». <https://hellbot.xyz/relleno/>
- [39] «Sectores en la fabricación aditiva: las mejores aplicaciones». <https://www.3dnatives.com/es/aplicaciones-por-sector/>
- [40] «¿Cuáles son las profesiones y sectores que más usan la impresión 3D?». https://filament2print.com/es/blog/61_profesiones-sectores-mas-uso-impresion-3d.html
- [41] «Áreas de aplicación de la impresión 3D · Cults». <https://cults3d.com/es/blog/articles/areas-application-impresion-3d>