

IO1 – Metodología para definir ejercicios de Impresión 3D adecuados para educación transversal

GUIA TÉCNICA DE IMPRESIÓN 3D

- RESUMEN -

- O1A1-

Transferencia de conocimiento sobre conceptos básicos de Impresión 3D a profesores de VET.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

E3D+VET

ERASMUS+
3D PRINTING
VET CENTRES

ERASMUS3D+

Para la inmersión de la impresión 3D en los centros VET.

Project Agreement Number
2017-1-DE02-KA202-004159

Este trabajo está bajo licencia

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



ORGANIZACIONES PARTICIPANTES



Descargo de responsabilidad:

"El apoyo de la Comisión Europea para la producción de esta publicación no constituye un respaldo de los contenidos que reflejan únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en ella"

Identificación del Output	O1
Título del Output	IO1 – Metodología para definir ejercicios de Impresión 3D adecuados para educación transversal.
Descripción del Output	O1 – A1. Transferencia de conocimiento sobre conceptos básicos de Impresión 3D a profesores de VET.
Versión	v.1

ÍNDICE

ÍNDICE DE ESQUEMAS	4
ÍNDICE DE TABLAS	4
1. INTRODUCCIÓN A LA FABRICACIÓN ADITIVA	5
1.1 ¿Qué es la fabricación aditiva?	5
1.2 ¿Cómo funciona la impresión 3D?	5
1.3 ¿Qué es el prototipado rápido?	6
2 MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA (fdm)	7
3 proceso de producción en la impresión 3d	8
3.1 Obtener el modelo digital	9
3.2 Exportar y reparar el archivo STL	10
3.3 Test, orientación, distribución y G-Code	10
3.1.1. Analizar la pieza o modelo:	10
3.1.2. Estructuras de soporte:	11
3.1.3. Relleno del modelo:	12
3.1.4. Posicionamiento y orientación	13
3.1.5. Generating the G-Code	14
3.4 Impresión 3D	15
3.5 Extracción de las piezas	15
3.6 Post-procesado	15
4 SOFTWARE NECESARIO PARA IMPRESIÓN 3D	16
4.1 Programas para el diseño	17
4.2 Programas para pruebas, orientación y reparación	18
4.3 Programas para generar el G-Code	19
4.4 Flujo de trabajo en impresión 3D	19
5 MATERIALES DE IMPRESIÓN 3D	20
5.1 Descripción general	20
5.2 Materiales de impresión 3D para FDM	20
6 LIMITACIONES DE LOS OBJETOS IMPRESOS	21
6.1 Limitaciones de la fabricación aditiva y de la impresión 3D	21
6.2 Tabla de limitaciones para FDM	22
6.3 Introduction to the limitations of FDM technology	23
7 EJEMPLO	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Proceso de impresión 3D.....	6
Figura 2: Tecnología FDM.....	7
Figura 3: Estructuras de soporte.....	11
Figura 4: Diferentes tipos de estructuras de soporte.....	12
Figura 5: Diferentes porcentajes de relleno y patrones.....	13
Figura 6: Dos alturas de capa distintas.....	14
Figura 7: Extracción.....	15
Figura 8: Proceso mecánico y baño para quitar las estructuras de soporte.....	16
Figura 9: Diferentes acabados.....	16
Figura 10: Proceso para desarrollar un modelo 3D.....	17
Figura 11. Diagrama del flujo de trabajo en impresión 3D.....	19
Figura 13: Modelo digital resultante del escaneo en 3D.....	26
Figura 14: Orientar el modelo en Meshmixer.....	26
Figura 15: Análisis general en Meshmixer.....	27
Figura 16: Mandíbula con los agujeros y defectos reparados.....	27
Figura 17: Modelo cargado y configuración de parámetros del modelo en Cura.....	28
Figura 18: Proceso de impresión de la mandíbula.....	29
Figura 19: Resultado final.....	29

ÍNDICE DE ESQUEMAS

Esquema 1: Técnicas y procesos de fabricación.....	5
Esquema 2: Proceso de producción en impresión 3D.....	9

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Software para diseñar un modelo 3D.....	18
Tabla 2: Software para probar, orientar y reparar modelos 3D.....	19
Tabla 3: Tabla comparativa.....	22

1. INTRODUCCIÓN A LA FABRICACIÓN ADITIVA

1.1 ¿Qué es la fabricación aditiva?

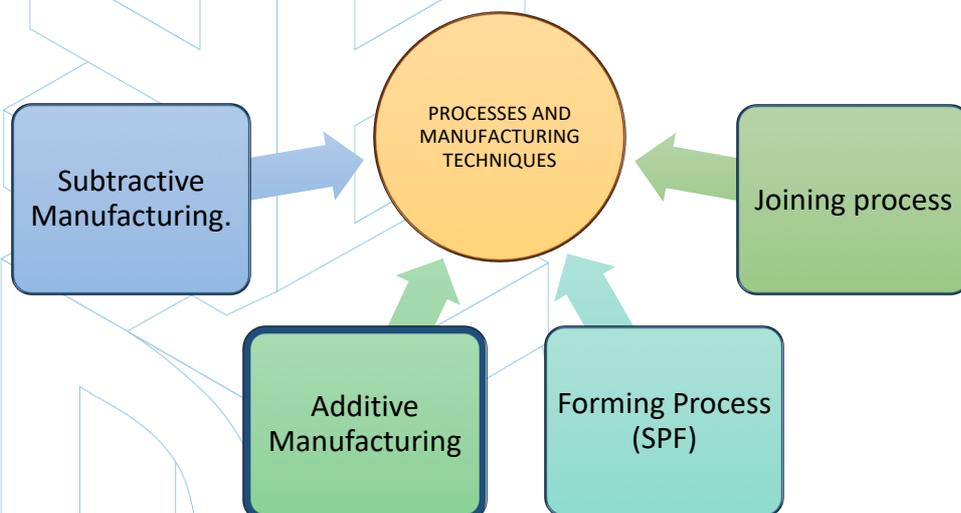
La fabricación aditiva o impresión 3D (como se llama comúnmente) es un proceso que crea objetos físicos a partir de un diseño digital. Hay diferentes tecnologías de impresión 3D y materiales con los que imprimir, pero todas están basadas en el mismo principio: un modelo digital es convertido en un objeto sólido físico tridimensional a base de añadir material capa a capa.

Es importante señalar desde el principio que la Fabricación Aditiva no constituye una única tecnología sino que se trata de un conjunto de procesos de fabricación, muy diferentes entre sí, que comparten en común tres características:

1. Son procesos de fabricación por adición de material para construir objetos sólidos tridimensionales.
2. El objeto se construye superponiendo sucesivas capas de material.
3. El objeto se hace a partir de un modelo 3D digital.

Son llamados procesos de Fabricación ADITIVA para diferenciarlos de los procesos convencionales. Junto con estos, son parte de todo el conjunto de procesos disponibles en la Industria.

Algunas de las tecnologías de fabricación aditiva más usadas que mejor encajan en el área educacional serán descritas en los siguientes puntos de esta guía. Estas tecnologías son: Modelado por Deposición Fundida (FDM), Estereolitografía (SLA) y Sinterizado Láser Selectivo (SLS).



Esquema 1: Técnicas y procesos de fabricación.

1.2 ¿Cómo funciona la impresión 3D?

Todo empieza por crear u obtener un diseño virtual del objeto que quiere crearse. Este diseño virtual puede hacerse en un archivo CAD (diseño asistido por ordenador) usando un programa de modelado 3D (para la creación de un objeto totalmente nuevo) o usando un escáner 3D (para copiar un objeto existente). Un escáner 3D hace una copia 3D digital de un objeto. También hay muchos repositorios de archivos online donde pueden descargarse archivos 3D ya existentes que pueden ayudar a empezar.

El proceso de impresión 3D convierte en un objeto en muchas y pequeñas rebanadas, y luego las construye de abajo hacia arriba, rebanada a rebanada. Las capas se acumulan entonces para formar el objeto sólido.

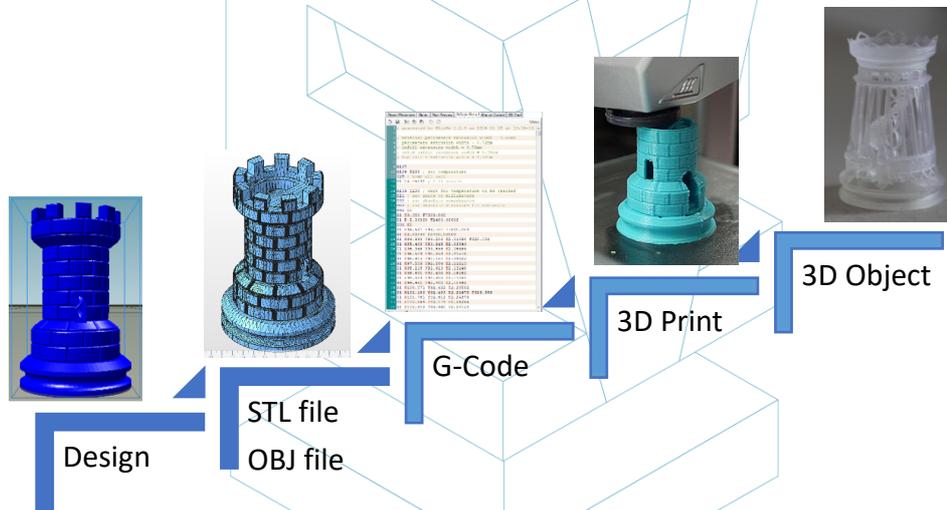


Figura 1: Proceso de impresión 3D.

Algunas de las ventajas de la Fabricación Aditiva en comparación con procesos convencionales son:

- Menos pasos entre el modelo CAD y la producción de la pieza.
- Se necesita poca mano de obra debido al alto nivel de automatización.
- Mayor número de formas geométricas pueden fabricarse, permitiendo por ejemplo la producción de piezas con topología optimizada, con canales internos, etc.
- Fabricación de alta velocidad para piezas pequeñas y complejas.
- Generalmente menos desperdicio de material
- Posibilidad de reconstruir secciones dañadas de objetos existentes, dependiendo del material de la pieza.
- No son necesarias herramientas especiales.

1.3 ¿Qué es el prototipado rápido?

El prototipado rápido es un proceso automatizado que rápidamente construye prototipos físicos a partir de archivos CAD 3D compuestos por superficies o modelos sólidos. Cualquier proceso de fabricación puede ser clasificado como sustractivo, de moldeo o aditivo. Todo proceso de fabricación encaja completamente en una de estas categorías, o es un proceso híbrido que encaja en más de una. En el campo de la fabricación, la productividad se consigue guiando a un producto desde el concepto hasta el mercado de manera rápida y económica. Las tecnologías de prototipado rápido ayudan a este proceso.

Es importante no confundir el prototipado rápido de la impresión 3D o de la fabricación aditiva, porque estos conceptos son usados de manera indistinta y mal muchas veces. Puede decirse que la fabricación aditiva es una de las tecnologías con las que pueden producirse un producto prototipado rápido.

Es conveniente subrayar que cada tecnología y cada proceso tiene un punto de partida en común: diseño asistido por ordenador (CAD).

2 MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA (FDM)

Las impresoras caseras trabajan normalmente con filamento de plástico. La tecnología detrás de esto, llamada normalmente Modelado por Deposición Fundida (FDM), es una tecnología de impresión 3D que trabaja extruyendo un polímero termoplásticos a través de una boquilla caliente, que se va depositando en una plataforma de construcción. El FDM también es considerado como una forma de fabricación aditiva, que es al mismo tiempo un "proceso de unión de materiales para crear objetos a partir de los datos de un modelo 3D, normalmente capa sobre capa".

El proceso involucra un filamento de plástico que es alimentado por un carrete a la boquilla, donde el material es fundido y licuado y se "dibuja" en la plataforma. Tan pronto como toca la superficie de impresión, el filamento se endurece mientras se deposita gradualmente, siguiendo una cierta estructura, para crear finalmente la impresión 3D. Cuando una capa es dibujada, la plataforma desciende la altura de una capa para que la impresora sea capaz de empezar a trabajar en la siguiente capa.

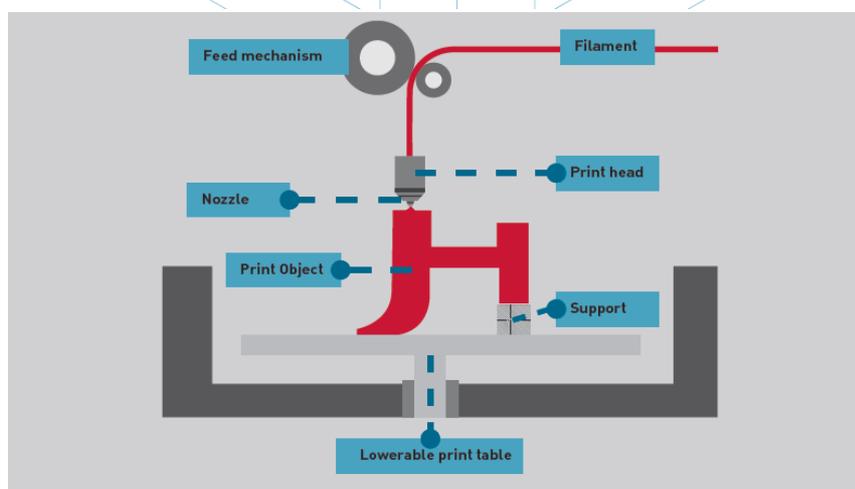


Figura 2: Tecnología FDM

Hay muchos materiales diferentes que pueden ser usados para FDM. En primer lugar, están divididos entre las categorías industrial y consumidor. Los más comunes son el ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), el PLA (Ácido Poliláctico) y el Nylon (Poliamida), pero otras variedades más exóticas de materiales pueden usarse también, como una mezcla de plástico y madera o carbón.

Debido a que esta tecnología presenta algunos pros muy buenos, el FDM es con frecuencia usada en el área de prototipos no funcionales para producir piezas conceptuales, modelos funcionales, prototipos en general, fabricación de utillaje y piezas finales. Más

específicamente, el FDM puede ser usado para la producción a bajo volumen y prototipos destinados a pruebas de forma, ajuste y funcionalidad.

Al mismo tiempo, es comúnmente usada en el sector aeroespacial, por ejemplo, para producir turbinas de viento. Los modelos anatómicos para uso médico también son adecuados para ser producidos con esta tecnología. Finalmente, el FDM está permitiendo lentamente el prototipado rápido de micro dispositivos biomédicos, el tipo de dispositivos que son usados a diario en hospitales, por ejemplo, por lo tanto es fundamental, ya que se considera barato, pero al mismo tiempo muy seguro.

Cuando se trata de tecnologías de impresión 3D, una de las primeras preocupaciones es la relacionada con su coste. Mientras que por lo general es el uso a largo plazo de los materiales lo que puede convertirse en un gasto serio, aquellos que desean adentrarse con el Modelado por Deposición Fundida tienen una ventaja desde el principio; de hecho, las máquinas de FDM se encuentran entre las más baratas y las más asequibles, especialmente para aquellos que desean utilizarla en un entorno doméstico.

En cuanto a la precisión, las impresiones 3D no alcanzan el mismo nivel de precisión y calidad que otros ítems que se han producido mediante el uso de la Estereolitografía. Dicho esto, el resultado se considera bastante cualitativo, según el sector donde la tecnología se aplique. La resolución depende principalmente del tamaño de la boquilla que se use. La precisión de la máquina es dependiente de los movimientos del extrusor en los ejes X e Y, pero hay otros factores que deben considerarse. Por ejemplo, la fuerza de unión entre las capas es más baja que en Estereolitografía. Consecuentemente, el peso de las capas puede comprimir capas inferiores, lo que puede influir e incluso comprometer la calidad de la impresión 3D.

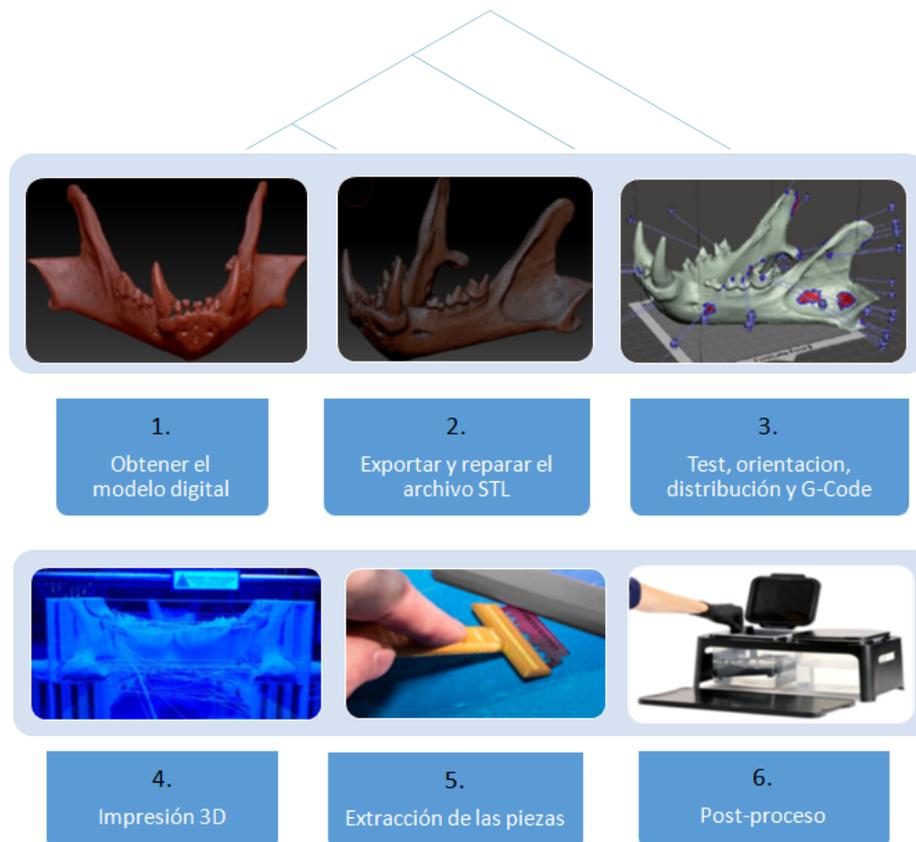
3 PROCESO DE PRODUCCIÓN EN LA IMPRESIÓN 3D

A continuación, en este apartado, se van a describir los procesos y pasos necesarios para, partiendo de un diseño digital, conseguir una pieza real impresa.

Cabe decir que no hay un solo proceso válido para imprimir piezas en tres dimensiones. Lo que en esta guía se propone son una serie de pasos que deberán ser adaptados al tipo de pieza, la tecnología seleccionada, al tipo de máquina e incluso al software usado. Además, el proceso que se describe a continuación está en mayor medida pensado para impresoras de filamento fundido (FDM).

Es importante que los consejos que se dan en cada uno de los pasos del proceso son orientativos y tienen carácter general. Esto significa que no deben ser tomados al pie de la letra. En el proceso de producción para impresión 3D influye mucho la experiencia, las características de la pieza, la máquina usada... Seguramente alguien con muy poca o nula experiencia imprima muchas piezas con fallos, antes de dar con la clave.

El proceso de producción, de un modo general, es el siguiente:



Esquema 2: Proceso de producción en impresión 3D.

3.1 Obtener el modelo digital

Para obtener el modelo 3D o modelo digital que se quiere imprimir se tienen varias posibilidades. En concreto son tres:

- **Modelar la pieza usando un software CAD:** Con esta primera opción, para obtener el modelo tridimensional se debe usar un software de diseño asistido por ordenador (CAD). Existen infinidad de software tipo CAD con los que modelar, y no hay una opción mejor, si no que dependerá del usuario y sus habilidades con el software en cuestión.
- **Obtener la geometría mediante Ingeniería Inversa y escáneres 3D:** Mediante esta opción se usa un escáner 3D para obtener digitalmente la geometría de un objeto real. No es un proceso simple y se requiere de cierta habilidad y experiencia. Además, hay muchos tipos de escáneres 3D y suelen ser caros. El proceso de ingeniería inversa suele servir para copiar, mejorar o customizar objetos existentes, o también para incorporar superficies complejas a una pieza ya modelada en 3D.
- **Descargar el modelo de repositorios o pedir a alguien que lo diseñe por ti:** Si no se poseen conocimientos de diseño 3D asistido por ordenador, o no se posee el equipamiento necesario (o software o incluso conocimientos) para aplicar un proceso de ingeniería inversa, descargar el modelo de un repositorio o pedir a alguien que lo diseñe es la mejor opción. Dependiendo de si el repositorio es un repositorio de modelos para imprimir en 3D (ej.: Thingiverse) o un repositorio de modelos

digitales más genérico (ej.: GrabCAD), el modelo que se descargue estará listo para imprimir o no.

En el siguiente tutorial pueden verse una serie de recomendaciones de diseño CAD para impresión 3D, dependiendo del material seleccionado: <https://www.sculpteo.com/en/materials/materials-design-guidelines/>
Y en el siguiente link puede encontrarse más información y tutoriales sobre como modelar y preparar una pieza para ser impresa con distinto software CAD: <https://www.sculpteo.com/en/tutorial/>

3.2 Exportar y reparar el archivo STL

Cuando se trabaja con el diseño e impresión de modelos 3D pueden encontrarse gran variedad de formatos o tipos de archivos. Algunos sólo están pensados para el diseño, o el escaneo, pero otros están más asociados a la impresión 3D, como: STL, OBJ, PLY o FBX, entre otros. Dependiendo de la pieza modelada, del software, de las características de la impresora, etc. deberá usarse uno u otro. En esta guía, para unificar criterios se explicará cómo exportar y usar el archivo tipo STL.

Cuando la pieza ya está diseñada y modelada es necesaria una conversión de formato a esta extensión ".stl". Si la pieza se ha descargado de un repositorio, muchas veces esta conversión ya está implementada. Sin embargo, si se han usado software comerciales o libres CAD sí que es necesaria.

Normalmente, exportar un diseño CAD al formato STL es tan simple como ir al menú del software que se esté usando y clicar en "Guardar como..." o en "Exportar" y elegir STL.

Algunas veces hay problemas durante la conversión a STL, ya sea porque el modelo no estaba pensado para la impresión 3D, ya sea porque el diseño en el programa CAD no se ha hecho correctamente, o por otras causas. Así pues, el modelo exportado puede tener ciertos fallos. Estos errores son de diversa índole: agujeros o huecos, triángulos al revés, caras o triángulos duplicados, caras o triángulos que se cortan, puntos o caras singulares (fuera del modelo), etc.

La reparación de un modelo digital se explica en el siguiente paso del proceso de producción en impresión 3D, ya que está muy ligada a la realización de diversos análisis a las piezas.

3.3 Test, orientación, distribución y G-Code

Esta fase del proceso de producción en impresión 3D trata sobre la preparación de las piezas o modelos digitales (ya exportados a STL) para ser impresas en 3D. Se trata de llevar a cabo el siguiente proceso, ordenadamente:

3.1.1. Analizar la pieza o modelo:

El análisis suele ser necesario cuando se trata de piezas relativamente complejas, o piezas cuyo origen se desconozca, o simplemente puede realizarse si se quiere estar seguros al cien por cien de que la pieza es apta para imprimirse en 3D. Además, un buen análisis permite detectar errores en la malla de triángulos que surge de la conversión a STL.

Estos análisis pueden ser llevados a cabo mediante cierto software, que también puede servir para otros propósitos, o no. Pueden llevarse a cabo análisis de:

- *Espesor*: El espesor recomendado dependerá de la máquina de impresión 3D usada (y consecuentemente de la tecnología usada). Algunas máquinas permiten mayores espesores que otras. Bastará con buscar la máquina usada en cuestión y ver qué espesores permite. De un modo general, para máquinas de filamento fundido (FDM) pueden considerarse espesores como mínimo de 1 milímetro, aproximadamente. Este parámetro no debe confundirse con el espesor de capa.
- *Agujeros o huecos*: El modelo que se quiera imprimir debe estar correctamente cerrado, o como suele decirse: estanco. Esto significa la malla triangular no debe tener agujeros o huecos, o lo que es lo mismo, que no debe haber vértices o puntos de triángulos "suelos"; todos deben contactar con otros triángulos.
- *Ángulos y partes en voladizo*: Mediante este análisis puede averiguarse, dependiendo de la tecnología y máquina seleccionada si el modelo o pieza necesitará estructuras de soporte para ser impresa. En general, para impresoras FDM el ángulo de inclinación mínimo permitido es de 45°.

Finalmente, cabe destacar que muchos de los programas usados para analizar la pieza permiten, no sólo detectar los errores o problemas que presenta, si no que permiten también reparar, o lo que es mejor, auto reparar el modelo.

3.1.2. Estructuras de soporte:

Para ciertas tecnologías (casi todas las que usan plástico), es necesario que, para vencer a la gravedad e imprimir partes en voladizo (o con huecos internos), se inserten estructuras de soporte en estas zonas. Suelen ser necesarias a partir de los 45 grados (para impresoras FDM).

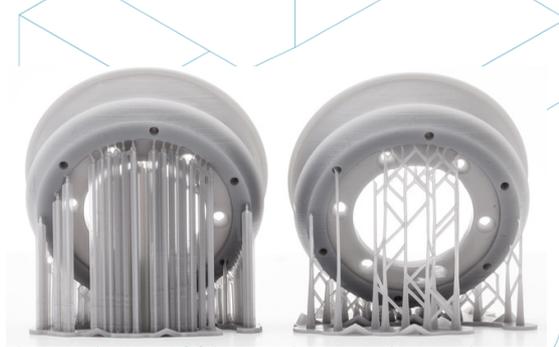


Figura 3: Estructuras de soporte.

Las estructuras de soporte suelen hacerse del mismo material que la pieza, aunque hay impresoras que poseen dos materiales: el de la pieza y el de las estructuras de soporte. De esta última manera, pueden usarse materiales de soporte solubles en ciertos líquidos. Como están pensadas nada más que para sujetar las primeras capas del modelo que están en voladizo, las estructuras de soporte se construyen de forma más ligera y usando menos material que la pieza en sí. Además, así, dejarán menos marcas en la pieza, cuando se retiren. La mayoría de software existente, ya sea de análisis o del propio software de la máquinas de impresión, permiten dos opciones: o hacer un diseño de las estructuras de soporte, o calcular e insertar automáticamente estas estructuras.

Una buena guía para diseñar, saber usar, y cuánto y cuándo usar soportes puede encontrarse en el siguiente link: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/supports-3d-printing-technology-overview>.

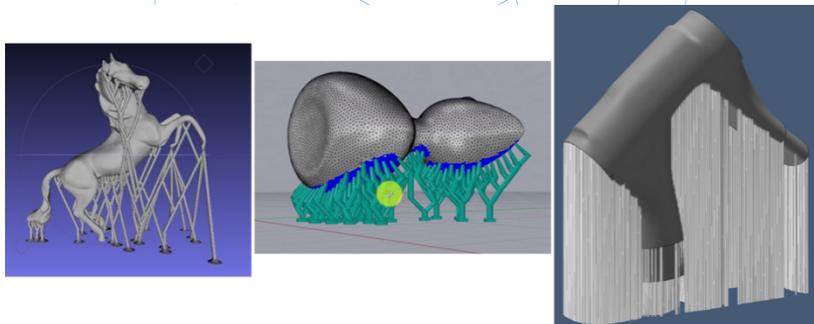


Figura 4: Diferentes tipos de estructuras de soporte.

3.1.3. Relleno del modelo:

Cuando se habla del relleno se habla de la estructura que es impresa por dentro del objeto. Es decir, si se pone el ejemplo de un simple cubo, las seis paredes externas serán impresas de un modo sólido, con cierto grosor, pero todo el interior del cubo no será sólido, si no que habrá que elegir el porcentaje del relleno, e incluso la forma geométrica que presenta dicho relleno.

También puede elegirse el patrón geométrico del relleno. Algunos son más resistentes que otros, pero de modo general puede dejarse el que por defecto aparezca en el software usado.

Se elegirán porcentaje y forma del patrón en función de varios factores: peso total de la pieza, material usado, resistencia a conseguir, tiempo de impresión y a veces propiedades decorativas. De un modo general cuanto mayor sea el porcentaje de relleno más fuerte será la pieza impresa, pero más tiempo tardará en imprimirse. Un porcentaje de entorno al 15% suele ser suficiente.

Pueden verse algunos ejemplos (tanto en el software como en piezas impresas) a continuación):

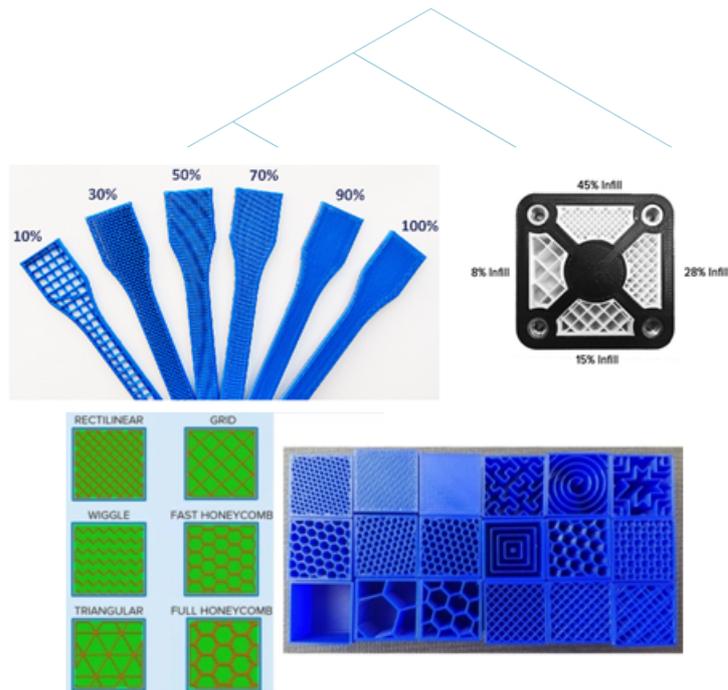


Figura 5: Diferentes porcentajes de relleno y patrones.

3.1.4. Posicionamiento y orientación

Decidir el posicionamiento y orientación de la pieza en la base de impresión o cama es una de las partes más importantes de todo el proceso. Es una decisión que influye en la calidad y propiedades de la pieza.

Hay que tener en cuenta que un posicionamiento u otro se hará dependiendo de la tecnología usada para imprimir (FDM, SLA, etc.). En esta guía se explicará pensando mayormente para impresoras de filamento fundido (FDM).

Uno de los criterios más usados para elegir el posicionamiento y la orientación es el de usar mínimo material (y conseguir menor tiempo de impresión). Esto se consigue de tal forma que las partes en voladizo se minimicen, con lo que consecuentemente se imprimirán menos estructuras de soporte y la pieza se construirá en menor tiempo. Sin embargo, a veces prima más la calidad a conseguir, por ejemplo, por lo que pueden elegirse orientaciones que no sean óptimas en cuanto a material y tiempo de impresión.

Algunos consejos, de modo general son:

- Centrar las piezas en la superficie de impresión o cama de impresión. Esto reducirá los movimientos del cabezal de impresión (y por tanto, el tiempo de impresión). Además, aumentará la calidad y precisión de la pieza, puesto que las plataformas de impresión suelen estar más calibradas y niveladas en su parte central y puesto que si están calefactadas, lo estarán más por el centro.
- Si hay superficies curvas o inclinadas, y se desea que se impriman con calidad, la pieza debe posicionarse de tal manera que esas superficies queden en el plano XY o plano horizontal, o lo más paralelas posible a este plano. De este modo se evitará el llamado efecto "stair-stepping" o escalonamiento, en el que las superficies inclinadas o curvas no quedan demasiado lisas y con calidad.

- Si la pieza tiene un agujero interno, o un agujero pasante, sería interesante colocarlo con su eje perpendicular a la cama de impresión, si se quiere conseguir buena calidad en dicho orificio.
- Una sección larga y plana impresa en el plano horizontal o XY puede sufrir deformación, lo que significa que sus bordes exteriores se enfrían y se contraen más rápido, causando que comben hacia arriba. A veces, conviene imprimir estas piezas de manera que su sección más larga quede perpendicular al plato de impresión.
- De modo general, la superficie superior de una pieza impresa tendrá el mejor acabado.
- Si se trata de piezas funcionales, que deben soportar esfuerzos o cargas, es mucho más probable que se deslaminen y fracturen cuando la tensión es perpendicular a las direcciones de las capas.

3.1.5. Generating the G-Code.

Una vez se han implementado todos los pasos anteriores ya se está en disposición de generar lo que es conocido como G-Code o código máquina. Este código es la traducción de la pieza (y todos los parámetros que anteriormente se han configurado) en unas instrucciones que cada máquina pueda entender.

Antes, dependiendo del software usado, es muy posible que haya que elegir el **espesor de capa o altura de capa**. Este parámetro tiene mucha importancia también, e influirá significativamente en la calidad final de la superficie de la pieza. Una altura de capa pequeña resultará en mejor resolución o calidad, pero también en un mayor tiempo de impresión.

Es vital, por tanto, entender qué es más importante: la estética o una impresión rápida y más barata. A veces, las diferencias entre dos piezas idénticas pero con alturas de capa de 100 micras y 200 micras son difíciles de distinguir, pero la de 100 micras tardará el doble en imprimirse y costará más. Por tanto, es imprescindible saber cuál es la aplicación final de una pieza. También es decisivo la cantidad de curvas y ángulos de la pieza, puesto que la altura de capa es más perceptible en estas partes que en paredes rectas.



Figura 6: Dos alturas de capa distintas.

Para finalizar con este tema de la altura de capa, cabe decir que para cada máquina y tecnología solo se podrá elegir entre un rango de valores de alturas de capa. Por ejemplo, para FDM un rango muy común es de 50 a 300 micras (0.05 a 0.3 milímetros).

Así pues, llegados a este punto se debe generar el G-Code, y esto puede hacerse con diverso software. Probablemente, alguno de los programas que se vayan a usar ha podido utilizarse ya en etapas anteriores. El programa corta el modelo en "rebanadas" horizontales o capas, generando las trayectorias que el cabezal de la máquina debe seguir. También calcula la cantidad de material (en peso y a veces en metros) y el tiempo de impresión estimado.

Con el programa que se haya usado, se exporta el G-Code y se guarda, ya sea en una tarjeta SD o en un "Pen Drive". O también puede ser enviado directamente a la máquina, dependiendo de ésta y del software usado.

Para concluir esta parte, cabe destacar que hay muchos parámetros que pueden cambiarse: espesor de las paredes exteriores, velocidades de impresión, temperatura de impresión y de la plataforma, caudal, etc. Pero son parámetros cuya edición se deja a usuarios con mucha experiencia, por lo que se aconseja dejar como vienen por defecto.

3.4 Impresión 3D

Ahora que ya se ha obtenido el código máquina se puede llevar a cabo la impresión 3D en sí. Hay ciertas cosas que hay que comprobar y hacer antes de imprimir.

Para impresoras FDM debe comprobarse tanto la plataforma o cama, como el extrusor están caliente (el software o la impresora lo hacen automáticamente cuando se manda la pieza a imprimir). Y también es altamente recomendable usar algún tipo de laca para facilitar la extracción de la pieza. Se ruega que, debido a los muchos tipos de máquinas, cada usuario lea las instrucciones para también saber cómo colocar el filamento en la impresora, por ejemplo. Así pues, se manda el código a la máquina y se deja que trabaje.

3.5 Extracción de las piezas

Cuando la impresora haya acabado su trabajo, es el momento de llevar a cabo el proceso de extracción de la/s piezas/s. Una vez más, dependiendo de la máquina y fundamentalmente, de la tecnología y los materiales usados, los procesos de extracción variarán.

Para impresoras de filamento fundido (FDM), las piezas suelen ser extraídas a mano, o con algún utensilio tipo cuchilla. También es posible adquirir plataformas flexibles que facilitan la extracción. Incluso puede hacerse con otros métodos como: usando disolvente, con diferencia de temperatura (frío) o por ejemplo con hilo dental.



Figura 7: Extracción.

3.6 Post-procesado

Para muchas piezas es necesario un proceso de acabado, que una vez más, varía con el tipo de tecnología y el tipo de máquina. Incluso para algunas tecnologías y máquinas es absolutamente necesario.

En primer lugar, cabe decir que muchas de las piezas que se impriman no tienen por qué necesitar una etapa de post-procesado. O a algunas solamente les hará falta quitarle las estructuras de soporte de manera mecánica.

Hay muchísimos procesos de acabado y post-procesos en general:

- **Quitar soportes:** Puede hacerse de manera mecánica, como ya se ha dicho, o bien por medio de un baño en ciertos disolventes (o incluso en agua), si el material de impresión es el adecuado.



Figura 8: Proceso mecánico y baño para quitar las estructuras de soporte.

- **Lijado:** Es un proceso a aplicar cuando ya se han retirado las estructuras de soporte. Pueden elegirse diferentes grosores de lija.
- **Pulido:** Si se quiere dotar a la pieza de una superficie "de espejo" es necesario pulir dicha pieza. Se necesitará lijar la pieza con una lija de grano 2000 previamente. Hecho esto se limpiará el polvo perfectamente y se pulimentará con un paño de microfibra y un esmalte especial, que produzca un brillo de larga duración. También hay ruedas rotativas lijadoras y pulidoras.
- **Revestimientos:** Todas las piezas son susceptibles de aplicar un revestimiento. En el caso de pinturas suele aconsejarse primero una capa de imprimación y para luego pintar con aerosoles, acrílicos o aerógrafos. También está la opción de aplicar un geles epoxi, revestimientos de metal, etc.



Figura 9: Diferentes acabados.

Hay muchos más procesos de acabado: granallado, suavizado con vapor de acetona... Para conocer más post-procesos para la tecnología FDM puede visitarse el siguiente link: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/post-processing-fdm-printed-parts>

4 SOFTWARE NECESARIO PARA IMPRESIÓN 3D

Hay diferente software para cada forma de crear el objeto 3D, así como para cada fase del proceso. Para saber qué software tiene la mayor afinidad y satisface más las necesidades, es

necesario estudiar y evaluar cuál es el más apropiado para tu manera de trabajar y tu nivel técnico.

El proceso para obtener el objeto 3D está compuesto de 3 fases: Diseñar el objeto, Reparar/Generar el G-Code e Imprimir.

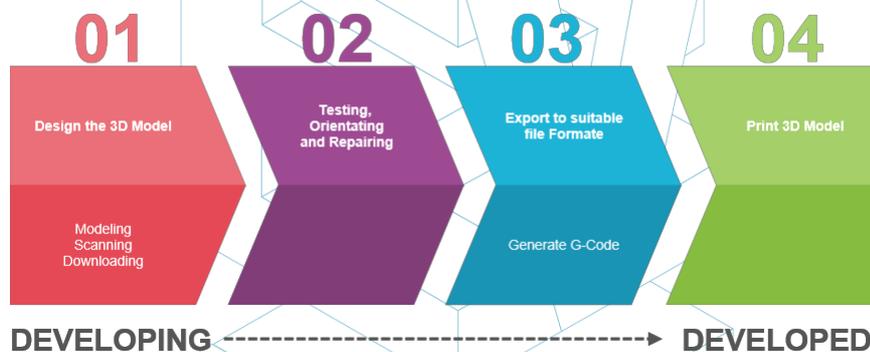


Figura 10: Proceso para desarrollar un modelo 3D.

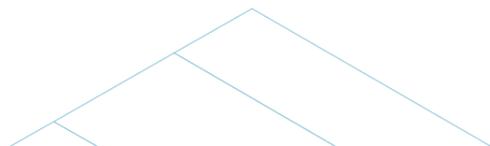
Cierto software es capaz de hacer todo el proceso, lo que significa que tiene herramientas para la creación 3D del objeto, la verificación y reparación, y hasta la generación del G-Code. A continuación se explica el software disponible para la creación del objeto 3D; está divididos en 3 grupos.

4.1 Programas para el diseño

Hay tres maneras de crear un objeto 3D: Modelándolo, Escaneándolo y Descargándolo de repositorios que estén disponibles online.

Modelar:

Muchos programas pueden ser usados para crear o dibujar un Modelo 3D desde el principio. Tienen diferentes niveles de complejidad, y también diferentes licencias. Para elegir cuál de ellos se acerca a tus necesidades de trabajo y encaja con tus habilidades, hay una lista a continuación, con una breve descripción y enlaces, para que pueda conocerse más de ellos.



Software libre

 SketchUp [1]	Su interfaz potente pero fácil de usar lo hace ideal para principiantes en modelado 3D.	https://www.youtube.com/watch?v=pv7TrGnZ17w
 blender [1]	Software "Open Source" y gratis para diseñar en 3D. También es usado para animación, renderizado y edición de vídeo.	https://www.blender.org/support/tutorials/
 FreeCAD [1]	Modelador 3D paramétrico. Es fácil modificar diseño usando el histórico del modelo y cambiando los parámetros. El programa es multi-plataforma (Windows, Mac OS, y Linux) y lee y guarda en varios tipos de formatos abiertos.	https://www.freecadweb.org/wiki/Draft_tutorial#Tutorial
 WINGS 3D [1]	Modelador de subdivisión avanzado es poderoso y fácil de usar. Es de código abierto y completamente gratis.	http://www.wings3d.com/?page_id=252

Software comercial – Versión estudiantil

 AUTOCAD [1]	Software CAD y de dibujo aplicado a diseño 2D y 3D.	https://knowledge.autodesk.com/support/autocad/getting-started?sort=score
 AUTODESK® INVENTOR® [1]	Este software de CAD 3D profesional ofrece una serie de herramientas fáciles de usar para diseño mecánico 3D, documentación, simulación de producto y prototipo digital.	https://www.youtube.com/watch?v=IEheF5s
 AUTODESK® REVIT® [1]	Revit está específicamente hecho para Modelado de Información de Construcción (BIM), potenciando el diseño y la construcción profesional para llevar ideas desde el concepto a la construcción con un enfoque coordinado y consistente basado en el modelo.	https://www.youtube.com/watch?v=PR0BvU9t5No&list=PLAQZFR75sdgK_v1enjjesCKMeMo80CN

Software comercial

 SOLIDWORKS [1]	Es una solución de diseño 3D para la creación rápida de piezas, ensamblajes y dibujos 2D. Posee herramientas específicas para chapa metálica, soldadura, superficies y moldeo, y hace que sea fácil entregar los mejores diseños de cada tipo.	https://www.youtube.com/watch?v=LAdn7k8W0g&list=PLR0UP1bV8REQiUL7R5xcQK_Mq-pW_KMa
 CATIA [1]	Es el software líder para diseñar, simular, analizar y fabricar productos en una gran variedad de industrias.	https://www.youtube.com/watch?v=gGqbbim8U7k
 CINEMA 4D by MAXON [1]	Aplicación de modelado 3D, animación, gráficos y rendering, capaz de modelado de procedimiento y poligonal/subdivisión, animación, iluminación, texturización, rendering, y con las características comunes que se encuentran en las aplicaciones de modelado 3D.	https://www.youtube.com/watch?v=iLQzBfp2xxx&list=PLTzhWSINdIMz3aivqQzuffoCPElai_c

Tabla 1: Software para diseñar un modelo 3D.

Escanear:

Usando un escáner 3D se puede capturar una copia digital de un objeto físico del mundo real. Diferentes tecnologías son capaces de escanear un objeto para crear un Modelo 3D, como por ejemplo: "time-of-flight", luz modular/estructurada, escaneado volumétrico, etc.

Descargar:

La tercera posibilidad de conseguir un Modelo 3D es descargándolo de páginas web de repositorios, ya esté listo para imprimir o ya necesite una pequeña corrección.

4.2 Programas para pruebas, orientación y reparación

Antes de imprimir el Modelo 3D, es necesario analizar el modelo 3D. Esto mostrará si alguna parte no puede ser impresa o si hay algún fallo. Entonces es posible reparar, reducir o incrementar los triángulos que forman la superficie que será impresa, y cortar el modelo en partes si es necesario.

Hay cierto software disponible para hacer esta parte del proceso y abajo puede encontrarse una lista con los más usados:

 AUTODESK® NETFABB®	https://knowledge.autodesk.com/support/netfabb?p=NETF&skill=Beginner&sort=score&page=1&v=2017
---	---

 Meshlab	http://www.meshlab.net/#support
 AUTODESK MESHMIXER	https://www.mmmanual.com/

Tabla 2: Software para probar, orientar y reparar modelos 3D.

4.3 Programas para generar el G-Code

G-Code es un lenguaje por el cual se le dice a una máquina computerizada cómo hacer algo. Este "cómo" se define por instrucciones de a dónde moverse, cómo de rápido moverse, y qué camino seguir. El G-Code puede ser generado con diferentes software como Skeinforge, Cura, Slic3r... Uno de los más usados es Slic3r. Es una herramienta necesaria para convertir un modelo 3D en unas instrucciones de impresión (G-Code) para la impresora. Corta el modelo en rebanadas horizontales (capas), genera las trayectorias para rellenarlas y calcula la cantidad de material a extruir. Es posible escalar, rotar, dividir o cortar el objeto, y también añadir soportes.

4.4 Flujo de trabajo en impresión 3D

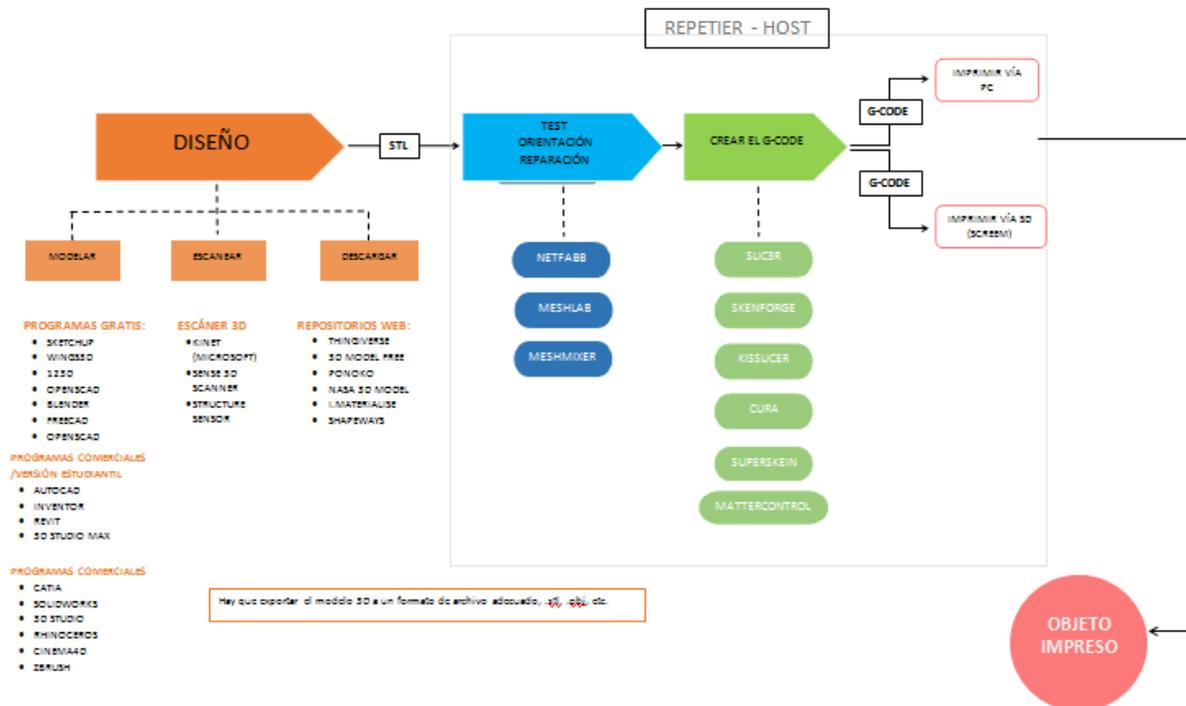


Figura 11. Diagrama del flujo de trabajo en impresión 3D.

5 MATERIALES DE IMPRESIÓN 3D

5.1 Descripción general

En lo que se refiere a la impresión 3D, los materiales suelen ser una de las decisiones más importantes. Las tecnologías anteriores a la Fabricación Aditiva hacían uso de ciertos materiales que demostraron no ser lo suficientemente resistentes y que se degradaban rápidamente. Con el tiempo, los conocimientos sobre impresión 3D han estado ampliándose y se han expandido por todo el mundo. Con más personas interesadas y la idea de que esta tecnología tiene el potencial correcto para liderar nuevas e innovadoras maneras de fabricar, estudios y análisis más profundos se están llevando a cabo y nuevos materiales se han creado.

Algunos ejemplos están visibles en 3dhubs.com, un portal que ofrece servicios de impresión 3D en un nivel global:

- **Plástico prototipo**, adecuado para prototipos rápidos y económicos;
- **Resina de alto detalle**, adecuado para diseño intrincados y esculturas;
- **Nylon SLS**, para prototipos funcionales y piezas finales;
- **Nylon reforzado con fibras**, para piezas fuertes de ingeniería;
- **Plástico rígido opaco**, para prototipos realistas con alta precisión;
- **Plástico de goma**, simulando gomas;
- **Plástico transparente**, para crear piezas y prototipos transparentes;
- **ABS simulado**, con una alta precisión y para moldes funcionales;
- **Arenas a todo color**, para modelos foto-realistas;
- **Metales para industria**, para prototipos y piezas finales.

5.2 Materiales de impresión 3D para FDM

En cuanto al **Modelado por Deposición Fundida (FDM)**, algunos de los materiales más populares son:

- Filamentos Termoplásticos.
- PLA: Fácil de imprimir, muy preciso, bajo punto de fusión, rígido. Bueno para muchas cosas, pero no para aplicaciones de calor.
- ABS: Tiende a deformarse, fuerte y algo flexible. Usado para muchas piezas mecánicas.
- PETG: Fácil de imprimir y preciso, tiende a deshilacharse, buena adhesión de capa.
- TPU: Polímero flexible; buena impresión, aspecto de goma rígida.
- Nylon: Fuerte y flexible; filamento especial para impresoras.
- Policarbonato: Indescriptiblemente fuerte, alta deformación, alta temperatura y humo tóxico [Paul Chase, 3D Printing 101. 2016.]

En cuanto al PLA y al ABS, no hay límite en lo que puede hacerse con ellos. Por ejemplo pueden ser mezclados. Representan una mejor solución que usar un material de plástico puro; esto es, de hecho, relativamente caro, y de una baja resistencia y durabilidad. Los productos finales pueden ser fácilmente deformados. Así pues, los plásticos no hacen al FDM

rentable, ni permiten a la tecnología ser aplicada en aplicaciones funcionales y de soporte de cargas, especialmente en una producción a gran escala.

Los filamentos de ABS, en cambio, pueden tomar gran variedad de formas y pueden ser diseñados para tener muchas propiedades. Por lo tanto, son fuertes, pero también flexibles; pueden ser lijados y mecanizados, además puede añadirse acetona para aplicar brillo a las piezas mediante cepillado o sumergiéndolas en esta. Una primera comparación entre el ABS y el PLA es que los primeros son mucho más fáciles de reciclar, otra razón de por qué la mayoría de los ingenieros preferiría usar este tipo de material.

6 LIMITACIONES DE LOS OBJETOS IMPRESOS

En este apartado se pretenden mostrar las limitaciones tanto de la fabricación aditiva y de la impresión 3D en general, como las limitaciones particulares de cada tecnología, poniendo el foco algo más en la tecnología de *Modelado por Deposición Fundida* (FDM).

6.1 Limitaciones de la fabricación aditiva y de la impresión 3D

A pesar de los avances obvios que esta tecnología puede llevar a la industria debido a sus ventajas indiscutibles, hay limitaciones que hacen que la fabricación aditiva no esté implementada en algunos sectores.

Las limitaciones actuales son debidas a los propios procesos de fabricación aditiva, que todavía pueden mejorarse, así como a los procesos auxiliares (manipulaciones previas del material, post-procesos, control de calidad...) que en muchos casos condicionan la viabilidad. La falta de conocimiento en cómo diseñar los productos y cómo reorientar las empresas para integrar con éxito estas nuevas tecnologías también influye.

Algunas de estas limitaciones son las siguientes:

Tecnologías en desarrollo: Muchas de las tecnologías se encuentran en continuo desarrollo. Algunas de ellas todavía se encuentran en fases iniciales de desarrollo. En pocos años, una máquina puede quedar desfasada o desactualizada.

Disponibilidad y coste de la materia prima: Conseguir el suministro de materiales en algunos puntos puede ser complicado. También, algunos materiales son bastante caros, si se buscan propiedades muy específicas. El material más básico y barato suele ser plástico.

Inversión inicial: Las impresoras FDM de escritorio suelen ser baratas, pero para otras tecnologías, y si se buscan mayores tamaños de máquina, la inversión inicial puede ser muy elevada.

Tamaño de las piezas: El tamaño de las piezas a producir es el del plato de impresión. Si bien es cierto que muchas piezas grandes pueden trocearse y luego unirse.

Producción en masa no rentable: La fabricación aditiva y la impresión 3D están pensadas para series muy cortas de piezas (1 - 10 unidades, por ejemplo). Para series más largas, la producción con estas tecnologías no resulta rentable.

Acabados y precisión: En general, conseguir muy buen acabado y muy buena precisión será caro. Es decir, habrá que recurrir a tecnologías y máquinas más caras. Además, las piezas pueden requerir de post-procesos y otras máquinas y sub-procesos especiales.

La obtención de los ficheros digitales: Si se desean piezas específicas y muy personalizadas, es necesario poseer conocimientos avanzados de diseño CAD. La mayoría de las veces los repositorios de archivos CAD no son suficientes. Lo mismo pasa con el escáner 3D; son caros y utilizarlo requiere de ciertos conocimientos.

6.2 Tabla de limitaciones para FDM

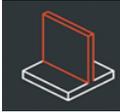
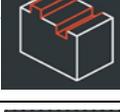
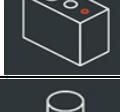
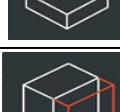
LIMITACIONES			
NOMBRE	DESCRIPCIÓN	DIBUJO	FDM
Paredes con soporte	Paredes que están conectadas al resto de la impresión en al menos dos lados.		0.8 mm
Paredes sin soporte	Las paredes sin soporte están conectadas con el resto de la impresión en menos de dos lados.		0.8 mm
Soportes y voladizos	El ángulo máximo que puede ser impresos sin requerir soportes.		45°
Detalles en relieve y grabados	Características en el modelo que pueden ser elevadas o empotradas bajo la superficie del modelo.		0.6 mm de ancho y 2.00 de alto
Puentes horizontales	El puente que una tecnología puede imprimir sin la necesidad de soportes.		10 mm
Agujeros	El diámetro mínimo con el que una tecnología puede imprimir con éxito un agujero.		∅ 2 mm
Partes conectadas / móviles	El espacio recomendado entre dos partes móviles o conectadas.		0.5 mm
Detalles mínimos	El tamaño mínimo recomendado para un detalle para asegurar que no fallará al imprimirse.		2 mm
Diámetro de un pin	El mínimo diámetro de un pin al que puede imprimirse.		3 mm
Tolerancia	La tolerancia esperada de una tecnología específica.		± 0.5% (límite por abajo ± 0.5 mm)

Tabla 3: Tabla comparativa.

6.3 Introduction to the limitations of FDM technology.

Profundizando un poco más en la tecnología FDM a continuación se muestran algunas de sus limitaciones en detalle y se proponen algunos métodos que pueden implementarse en la etapa del diseño para minimizar el impacto de estas limitaciones cuando se imprime un objeto.

PUENTES

Los puentes en FDM ocurren cuando se requiere que la impresora imprima entre dos soportes o puntos separados. Debido a que la primera capa impresa no ofrece soporte (no hay nada sobre lo que construir) y se requiere "puentear" un hueco, el material tenderá a hundirse. Los puentes ocurren más frecuentemente en los ejes de agujeros horizontales que se encuentran en las paredes de los objetos o en la capa superior (o "techo") de piezas huecas.

Una solución para reducir el impacto de los puentes es reducir la distancia del puente, pero esto dependerá de las restricciones de diseño de la pieza. Otra solución para evitar el hundimiento es incluir soportes. Éstos ofrecen una plataforma de construcción temporal para construir las capas de los puentes. El material de soporte se elimina cuando la impresión ha sido completada. Esto puede dejar marcas o daños sobre la superficie dónde los soportes conectan con la pieza final.

AGUJEROS VERTICALES

El FDM a menudo imprimirá agujeros verticales de tamaño inferior. El proceso general para imprimir un agujero y la razón de porqué la reducción en diámetro ocurre es:

1. Conforme el inyector imprime el perímetro de un agujero vertical, comprime la capa recién impresa sobre las capas construidas recientemente para ayudar a mejorar la adhesión.
2. La fuerza de compresión del inyector deforma la forma de la capa redondeada en una forma más ancha y plana (ver imagen de abajo).
3. Esto incrementa el área de contacto con la capa impresa previamente (mejorando la adhesión), pero también incrementa el ancho del segmento extruido.
4. El resultado de esto es una reducción del diámetro del agujero que se está imprimiendo.

Esto puede ser un problema en particular cuando se imprimen agujeros de pequeño diámetro donde el efecto es mayor debido al ratio diámetro del agujero y diámetro del extrusor. El tamaño inferior dependerá de la impresora, del software de rebanado, del tamaño del agujero y del material. A menudo, la reducción del diámetro de los agujeros verticales se tiene en cuenta en el software de rebanado, pero la precisión puede variar y ciertas pruebas de impresión pueden ser necesarias para conseguir la precisión deseada. Si un alto nivel de calidad es requerida, taladrar el agujero después de imprimirlo puede ser necesario.

VOLADIZOS

Los problemas con los voladizos son uno de los problemas de impresión más comunes relacionados con el FDM. Los voladizos ocurren cuando la capa impresa del material sólo está parcialmente soportada por la capa de debajo. De manera similar a los puentes, el soporte

inadecuado proporcionado por la superficie de debajo de la capa construida puede resultar en una pobre adhesión de capa, abombamiento o curvatura.

Un voladizo puede ser impreso sin pérdida de calidad hasta los 45 grados, dependiendo del material. A los 45 grados, la nueva capa impresa se soporta por el 50% de la capa previa. Esto permite suficiente soporte y adhesión sobre lo que construir. Por encima de 45 grados se requiere soportes para asegurar que la nueva capa impresa no caiga hacia abajo y lejos de la boquilla.

Otro problema que ocurre cuando se imprimen voladizos es el rizado. La nueva capa impresa se vuelve cada vez más delgada en el borde del voladizo, lo que resulta en una diferencia de enfriamiento causando que se deforme hacia arriba.

ESQUINAS

Debido a que la boquilla de impresión en FDM es circular, las esquinas y los ejes tendrán un radio igual al tamaño de la boquilla. Esto significa que estas características nunca serán perfectamente cuadradas.

Para ejes y esquinas afiladas, las primeras capas de una impresión son particularmente importantes. Como se ha mencionado arriba para agujeros verticales, conforme el inyector imprime cada capa, comprime el material de impresión hacia abajo para mejorar la adhesión. Para la primera capa impresa, esto crea a veces un brote llamado "pie de elefante". Puede tener impacto en la capacidad para ensamblar piezas de FDM debido a que sobresale fuera de las dimensiones especificadas.

Otro problema que a menudo está presente en relación con la primera capa impresa en FDM es el pandeo o "warping". El ABS es más vulnerable al pandeo debido a su alta temperatura de impresión comparado con el PLA. La capa base es la primera capa que se imprime y enfría conforme las otras capas calientes se imprimen encima. Esto causa un enfriamiento diferencial y puede resultar en que la capa base se pandee hacia arriba del plato de impresión conforme se encoge y contrae.

La adición de un chaflán o un radio a lo largo de los ejes de la pieza que están en contacto con el plato de impresión reducen el impacto de estos problemas. Esto ayudará también a retirar el componente del plato de impresión una vez la pieza se ha completado.

PINES VERTICALES

Los pines verticales son frecuentemente impresos en FDM cuando se requiere ensamblar partes o alinearlas. Considerando que estos factores son frecuentemente funcionales, es importante entender el tamaño de los pines verticales que el FDM puede imprimir con precisión.

Pines más grandes (más de 5 mm de diámetro) son impresos con un perímetro y relleno, permitiendo una conexión fuerte con el resto de la impresión. Pines más pequeños (menos de 5 mm de diámetro) pueden ser impresos perimetralmente sin relleno. Esto crea una discontinuidad entre el resto de la impresión y el pin, resultando en una conexión débil que es susceptible de romperse. En el peor escenario, los pines pequeños pueden no imprimirse del todo ya que no hay suficiente material de impresión al que las nuevas capas se adhieran. Frecuentemente una correcta calibración de la impresora (altura de capa óptima, velocidad de impresión, temperatura de extrusión, etc.) pueden reducir la probabilidad de que fallen los pines pequeños. Añadir un radio a la base del pin eliminará ese punto como un

concentrador de tensiones y aportará fuerza. Para pines críticos de menos de 5 mm de diámetro, un pin fuera de la plataforma insertado en el agujero impreso puede ser la solución óptima.

DISEÑO AVANZADO

Algunos aspectos a considerar cuando se imprime con FDM son cómo reducir la cantidad de soporte requerido o la orientación y dirección de la pieza a imprimir en la plataforma.

A menudo, dividir el modelo puede reducir su complejidad, ahorrando tiempo y dinero. Los voladizos que requieren grandes cantidades de soporte pueden ser eliminados simplemente dividiendo una forma compleja en secciones que son impresas individualmente. Si se desea, las secciones pueden ser pegadas una vez la impresión se ha completado.

ORIENTACIÓN DEL AGUJERO

El soporte para agujeros se evita mejor cambiando la orientación de la impresión. Eliminar los soportes en agujeros horizontales puede ser a menudo difícil, pero rotando la dirección de construcción 90 grados, la necesidad de soportes se elimina. Para componentes con agujeros múltiples en diferentes direcciones, hay que priorizar los agujeros ciegos, luego agujeros de diámetros más pequeños a más grandes, y luego el tamaño de agujero.

DIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

Debido a la naturaleza anisotrópica de la impresión por FDM, entender qué aplicación tiene un componente y cómo se construye es crítico para el éxito del diseño. Los componentes por FDM son inherentemente más débiles en una dirección debido a la orientación de las capas.

7 EJEMPLO

En este apartado se pretende mostrar, mediante un ejemplo real, todos los pasos a seguir para, partiendo de un modelo o fichero digital, conseguir una pieza real impresa.

El ejemplo que va a ser expuesto a continuación trata sobre un proyecto de reproducción de patrimonio. Surge de la necesidad de hacer accesible a personas invidentes ciertas piezas del Museo de Historia Natural de Valencia. Concretamente, se trata de la mandíbula inferior de un tigre. El proyecto comienza con el escaneo tridimensional de la mandíbula original, obteniéndose un modelo digital. Es a partir de aquí dónde empezará este ejemplo.

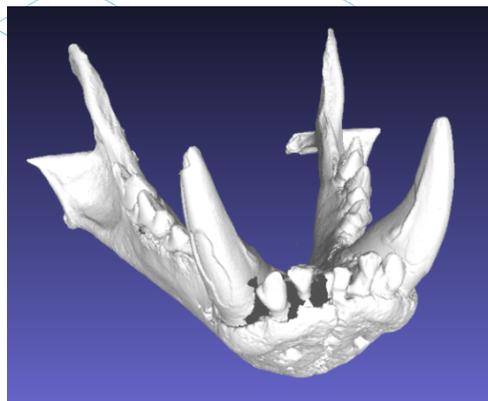


Figura 12: Modelo digital resultante del escaneo en 3D.

Sea cual sea el formato en el que esté el archivo, debe exportarse a STL, tal y como se ha visto en apartados anteriores.

Como puede observarse casi a simple vista en la imagen anterior, el modelo tiene algunos errores que deben repararse, como en la parte de los dientes, por ejemplo. Para ello puede utilizarse diverso software. Aquí se explicará el proceso de análisis y reparación con software de libre acceso o uso. Por ejemplo: Meshmixer, de Autodesk.

Antes de ver el proceso de análisis y reparación del modelo STL cabe destacar, que este modelo en cuestión pasó por un software (Meshlab, en concreto) para reducir su tamaño. La malla de este modelo tenía un número muy elevado y excesivo de triángulos, por lo que éste se bajó y con ello, su tamaño de archivo. Este es un paso que pocas veces hay que implementar, por lo que sólo se ha mencionado. Para más información de cómo reducir el número de triángulos de una malla, y por tanto, su tamaño: https://www.shapeways.com/tutorials/polygon_reduction_with_meshlab

Así pues, como se comentaba, se abrirá el modelo STL en cuestión en Meshmixer, con la opción de importar. Lo primero que puede observarse es que la orientación puede no ser la adecuada. No hay que preocuparse por esto. Meshmixer permite cambiarla mediante la opción de Edit > Transform. Además, no se imprimirá con Meshmixer, por lo que se ajusta la orientación de una forma aproximada, como puede observarse a continuación:

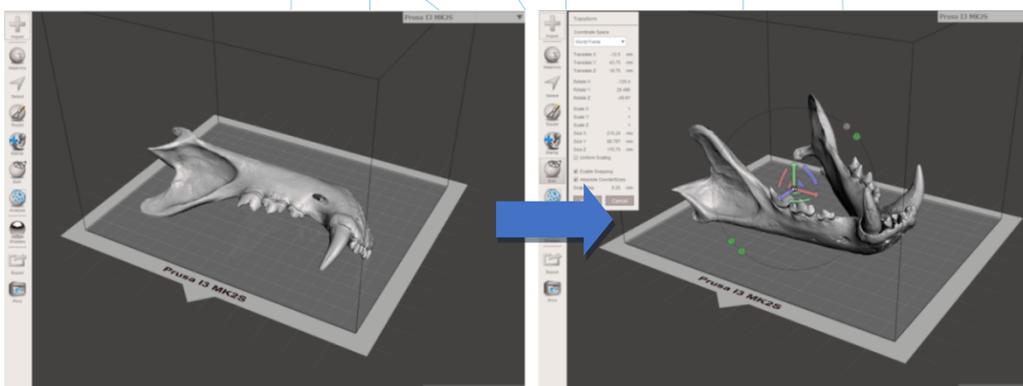


Figura 13: Orientar el modelo en Meshmixer

Seguidamente, se procede a realizar un análisis general de todos los defectos de la pieza. Para ello se usará la opción Inspector, dentro Analysis. Meshmixer muestra todos los errores en el archivo que detecta. Muestra de distinto color, y mediante puntos y flechas los distintos

tipos de errores. En azul aparecen los agujeros en la malla, en rojo partes con ejes o puntos compartidos o duplicados ("non-manifold") y en magenta componentes desconectados o con un área muy pequeña en comparación con la malla entera. Se tienen dos opciones ahora, o reparar los errores uno a uno clicando en la bola o punto, o clicar en Auto Repair All y repararlo todo a la vez.

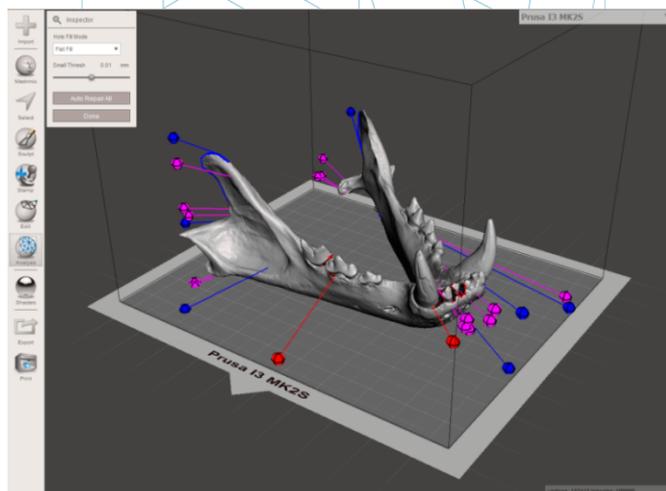


Figura 14: Análisis general en Meshmixer.

En este caso, el software consigue reparar automáticamente todos los defectos encontrados. De lo contrario, se podría acudir a otro software e implementar otro análisis y reparación.

Con Meshmixer también puede realizarse otro tipo de análisis como: de espesor, estabilidad, orientación óptima y posicionamiento en la base de impresión, etc.

Así pues, llegados a este punto, se tiene un modelo STL completamente reparado y listo para la siguiente fase. Como puede observarse, el programa ha cerrado completamente los agujeros que tenía la malla, y ha arreglado todos sus defectos. Cabe destacar que el software hace estas reparaciones de forma automática, intentando en mayor o menor medida aproximarse a la geometría que tiene a su alrededor. Si se desea reparar agujeros o huecos con una geometría determinada se debe acudir a un software de escultura digital. Si bien es cierto que Meshmixer tiene un módulo de escultura digital, pero no va a ser explicado en este ejemplo, puesto que queda fuera del alcance de esta guía.

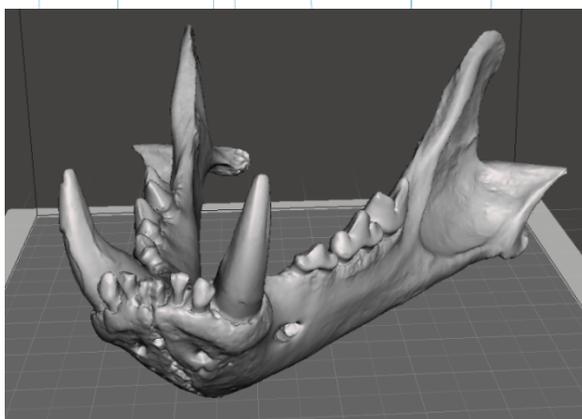


Figura 15: Mandíbula con los agujeros y defectos reparados.

Ahora, en Meshmixer se exportará en formato STL de nuevo el modelo reparado.

El siguiente paso es llevar el archivo a un software que permita hacer, por lo menos, lo siguiente:

- Elegir una orientación en la cama de impresión. Rotar y mover el modelo.
- Escalar el modelo.
- Elegir la calidad o la altura de capa.
- Elegir un relleno, sobre todo en términos de densidad.
- Generar las estructuras de soporte necesarias.

Además, con este mismo software se generará el código máquina o G-Code. Se tiene diverso software de libre uso a disposición para ello. Por ejemplo, Ultimaker Cura, o Slic3r. En este ejemplo va a usarse Cura.

Así pues, se importará a Cura el modelo reparado. Es conveniente configurar el software usado para que ahora sí se muestre la cama de impresión de la máquina. Cura tiene preestablecidas una serie bastante grande de impresoras 3D. Si la que se va a usar no está en esta base de datos, es posible crearla de cero.

Para este modelo se va a proceder a escalarlo al 60%, darle una calidad de capa de 0.2 mm., un relleno del 15% cuadrícula, se generarán soportes automáticos en todas partes, y se configurará el parámetro de "velocidad de la primera capa" a 20 mm/s. para garantizar una buena adhesión de esta primera capa. También se elige el material del que se dispone en la impresora: PLA. Finalmente, se guardará el G-Code en el dispositivo a insertar en la impresora clicando en "Save to File".

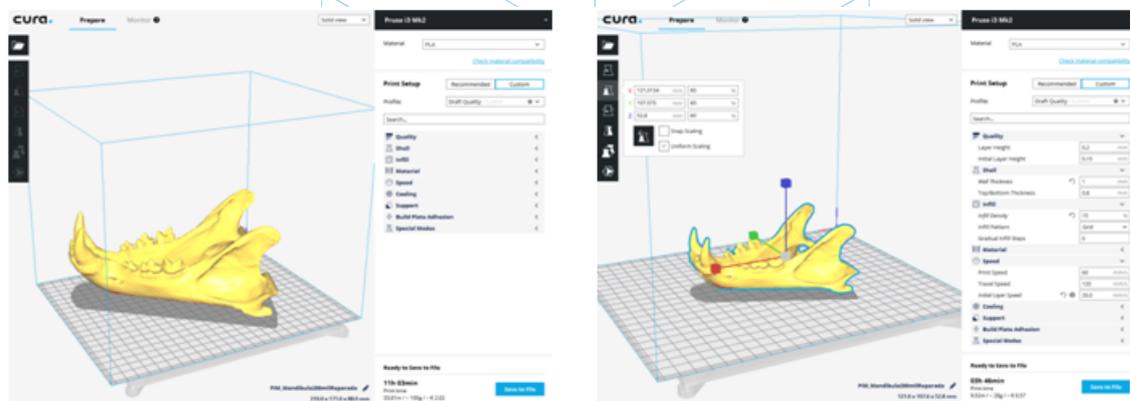


Figura 16: Modelo cargado y configuración de parámetros del modelo en Cura.

Llegados a este punto, es posible pasar a la siguiente fase del proceso: la impresión 3D en sí. Se acudirá a la máquina y, por el medio que ésta use, se lanzará la impresión y se dejará a la máquina trabajar, pudiendo ir de vez en cuando a comprobar si todo está correcto. Cabe decir que es recomendable observar si la primera capa de impresión se adhiere correctamente a la cama o plataforma. Si no es así, consultar la siguiente guía: <https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/#print-not-sticking-to-the-bed>

Se muestra a continuación la secuencia de impresión para el ejemplo dado:



Figura 17: Proceso de impresión de la mandíbula.

El siguiente paso, claro está, es extraer la pieza impresa. Para ello se hace uso de una espátula con los bordes redondeados, para que no raye y estropee la plataforma de impresión.

Una vez la pieza ha sido retirada de la plataforma, es momento de ir a la etapa de post-procesado, consistente en retirar los soportes manual y mecánicamente, y lijar aquellas partes de la pieza que tengan marcas (como las de los propios soportes, por ejemplo). La plataforma de la impresora debe quedar correctamente limpia para la siguiente impresión. Como se ha comentado, es conveniente lijar las marcas que dejan las estructuras de soporte, sobre todo.

Al final, el resultado de la pieza es el que puede observarse a continuación:



Figura 18: Resultado final.

Si el resultado en algún punto de la impresión no es bueno, o al final de la impresión se observan errores o mermas, la siguiente guía puede resultar de gran ayuda, para configurar correctamente ciertos parámetros de impresión y de la propia impresora: <https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>

Esta guía es un resumen del documento IO/A1 de Transferencia de conocimiento sobre conceptos básicos de impresión 3D a profesores de VET.

FUENTES

- [1] ¿Qué es la fabricación aditiva? Fuente: <https://www.3dhubs.com/what-is-3d-printing>
- [2] Esquema 1: Procesos y técnicas de fabricación. Fuente: [KIT](#)
- [3] ¿Cómo funciona la impresión 3D? Fuente: <https://www.createeducation.com/about-us/introduction/>
- [4] Figura 1: Proceso de impresión 3D. Fuente: [KIT](#)
- [5] Tecnología de prototipado rápido para el Desarrollo de nuevos productos. 2016. Fuente: http://ijiset.com/vol3/v3s1/IJISSET_V3_I1_39.pdf
- [6] Figura 2: Tecnología FDM. Fuente: <https://i.materialise.com/blog/3d-printing-technologies-and-materials/>
- [7] F. Kunz, A. A. Jorg, L. Chaabane: Innovation Infrastructure& Services. Switzerland Innovation Park Biel. 2017.
- [8] Impresiones por FDM. 2017. Fuente: <https://www.sculpteo.com/en/glossary/fdm-fused-deposition-modeling-definition/>
- [9] Surface modification of fused deposition modeling ABS to enable rapid prototyping of biomedical microdevices. 2013. Fuente: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092401361300006X>
- [10] Scaffold Design and in Vitro Study of Osteochondral Coculture in a Three-Dimensional Porous Polycaprolactone Scaffold Fabricated by Fused Deposition Modeling. 2004. Fuente: <http://online.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/10763270360697012>
- [11] Esquema 2: Proceso de producción en impresión 3D. Fuente: [CETEM](#)
- [12] Figura 3: Estructuras de soporte. Fuente: <https://www.geeky-gadgets.com/wp-content/uploads/2015/01/Form-1-3D-Printer-Update1.jpg>
- [13] Figura 4: Diferentes tipos de estructuras de soporte. Fuente: http://www.reppersdelight.spacymen.com/public/RD_images/MeshMixer_support3.jpg
<https://i.ytimg.com/vi/GThbJZZvRFY/maxresdefault.jpg>
https://www.simufact.com/files/Medien/2Produkte/2.3_Simufact_Additive/Support-settings_more_support.png

- [14] Figura 5: Diferentes porcentajes de relleno. Fuente: <http://my3dmatter.com/wp-content/uploads/2015/03/infillpercentimage.png>
<https://3dplatform.com/wp-content/uploads/2015/08/3DP-Infill-Percentage-1024x745.jpg>
Different infill patterns. Source: <https://i.ytimg.com/vi/BMWTK2ZgJCM/maxresdefault.jpg>
https://assets.pinshape.com/uploads/image/file/98145/container_display_tray_for_infill-pattern-and-infill-density-3d-printing-98145.jpg
- [15] Figura 6: Dos alturas de capa distintas. Fuente: http://wiki.ikaslab.org/images/thumb/8/8c/Altura_de_capa.jpg/700px-Altura_de_capa.jpg
- [16] Figura 7: Extraction. Fuente: <https://i.ytimg.com/vi/1T5BdRFICd8/maxresdefault.jpg>
https://d3v5bfco3dani2.cloudfront.net/photo/image/1300x0/58ee1eb0f407c/SDB2017-04-11_0001-61.JPG
- [17] Figura 8 Izquierda: Proceso mecánico. Fuente: https://formlabs.com/media/upload/thumbs/Removing_Supports_copy.jpg.895x0_q80_crop-smart.jpg
- [18] Figura 8 Derecha: Baño para quitar las estructuras de soporte. Fuente: <https://3dprint.com/wp-content/uploads/2015/07/rinse3.png>
- [19] Figura 9: Diferente acabado. Fuente: <https://hackadaycom.files.wordpress.com/2013/02/rap.jpg?w=580>
- [20] Figura 10: Proceso para desarrollar un modelo 3D. Fuente: [KIT](#)
- [21] Tabla 1: Software para diseñar un modelo 3D. Fuente: [KIT](#)
- [22] Tabla 2: Software para probar, orientar y reparar un modelo 3D. Fuente: [KIT](#)
- [23] Figura 11: Diagrama de impresión 3D. Fuente: [KIT](#)
- [24] Materiales de impresión. 2017. Fuente: <https://www.3dhubs.com/materials>
- [25] Limitaciones en impresión 3D. Fuente: http://informecotec.es/media/N30_Fabric_Aditiva.pdf
- [26] Tabla 3: Tabla comparativa. Fuente: <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/3dhubs-knowledgebase/key-design-considerations-for-3d-printing/3d-printing-design-rules.jpg>
- [27] Cómo diseñar piezas para impresión 3D. Fuente: <https://www.3dhubs.com/knowledgebase/how-design-parts-fdm-3d-printing>
- [28] Figura 12: Modelo digital, resultado del escáner 3D. Fuente: [CETEM](#)
- [29] Figura 13: Posicionar el modelo en Meshmixer. Fuente: [CETEM](#)
- [30] Figura 14: Análisis general en Meshmixer. Fuente: [CETEM](#)
- [31] Figura 15: Mandíbula con agujeros y defectos reparados. Fuente: [CETEM](#)

[32] Figura 16: Modelo cargado en Cura. Configuración y parámetros del modelo en Cura.
Fuente: [CETEM](#)

[33] Figura 17: Secuencia de impresión de la mandíbula. Fuente: [CETEM](#)

[34] Figura 18: Resultado final. Fuente: [CETEM](#)

