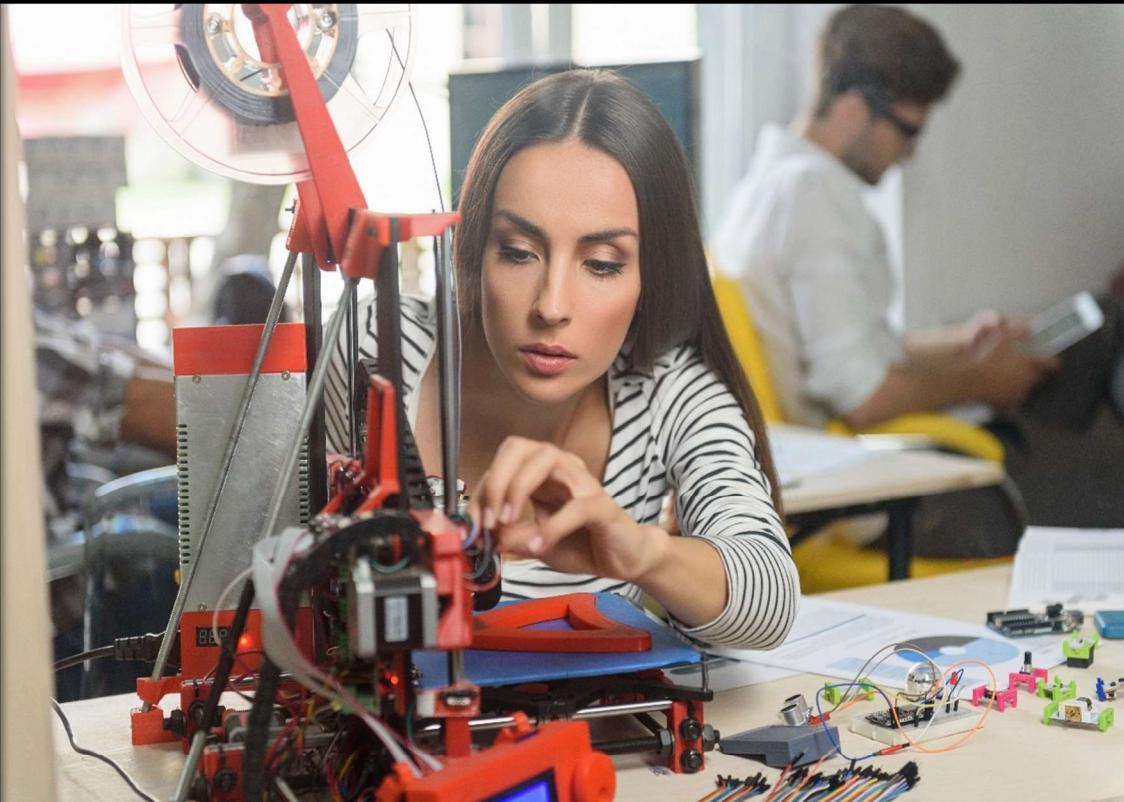


Fondo Europeo de Desarrollo Regional

Impresión 3D FDM



Índice

1. Información del curso.....	1
1.1. Datos generales.....	1
2. Introducción	1
3. La Era de la Fabricación digital	2
3.1. Un poco de historia	2
3.2. Técnicas de fabricación digital	3
3.3. Actualidad.....	5
4. Fabricación Asistida por Ordenador (CAM).....	6
4.1. Laminador PrusaSlicer.....	7
4.2. Altura de capa	11
4.3. Ajuste de los soportes	12
4.4. Orientación de la pieza y su resistencia mecánica.....	13
4.5. Ajuste de la primera capa y adherencia.....	13
4.6. La retracción.....	14
4.7. Relleno de la pieza	14
4.8. Escalado y situación de la pieza en la cama de impresión.....	15
4.9. GCODE	16
4.10. Generación y almacenamiento del GCODE	16
5. La impresora 3D.....	18
5.1. Partes de la impresora 3D	18
5.1.1. Partes de un extrusor	21
5.2. Tipos de filamentos para impresora (Materiales básicos).....	22
5.3. Modelos de Impresoras 3D a emplear.....	23
5.3.1. Creality Ender 3	23
5.3.1.1. Características principales	24
5.3.1.2. Pros y contras.....	24
5.3.2. Prusa i3 MK3S	24
5.3.2.1. Características principales	25
5.3.2.2. Pros y contras.....	25
5.4. Ajuste y calibrado de una impresora	26
5.5. Carga de filamento	30
5.6. Impresión de una pieza	32

6. Actividad final	33
7. Recursos adicionales.....	35

1. Información del curso

1.1. Datos generales

- Proyecto: Curso Prototipado y Fresadoras CNC
- Acción formativa: Impresión 3D FDM
- Empresa: Amanecer Digital S.L. (Academia Maker)
- Programa: Subvención para la mejora de las competencias digitales de la población residente en Canarias, cofinanciadas con Fondos Estructurales Europeos. Convocatoria 2022
- Órgano que tramita: Agencia Canaria de Investigación, Innovación y Sociedad de la Información (ACIISI)
- Docentes: Miqueas Fortes González
Alfonso Rodríguez Lecuona
Augusto Samuel Hernández Martín
Alejandro Piñero Platero
Raúl Mosquera Roquero
- Modalidad: Presencial
- Lugar: Instituto Tecnológico de Canarias. Plaza Sixto Machado, 3, oficina 124. 38009. Santa Cruz de Tenerife
- Duración: 3 horas
- Fecha: 09/11/2022
- Mínimo de plazas: 20
- Máximo de plazas: 25

2. Introducción

Este curso tiene por objetivo el mostrar y dar a conocer a la comunidad maker una de las herramientas más importantes y populares de la era de la fabricación digital, el diseño e impresión 3D, dada la importante implicación que está teniendo en la industria y en los nuevos proyectos.

Comenzaremos por aprender a manejar lo necesario de un software CAD (Computer-Aided Design), para el modelado de varias piezas mecánicas como una tuerca, tornillo o un pistón de motor.

Posteriormente aprenderemos lo más importante acerca de impresoras 3D y sobre cómo configurar correctamente una impresión para un resultado exitoso por medio de software específico CAM (Computer Aided Manufacturing).

3. La Era de la Fabricación digital

3.1. Un poco de historia

La impresión 3D nace en el año 1984 gracias a Charles Hull, quién inventó la primera técnica de impresión, la estereolitografía (SLA), siendo el primer objeto impreso en 3D mediante este método, una copa de plástico negra.



A partir de ese momento más empresas se fueron sumando a la carrera de la fabricación digital, y en el año 1988 Carl Deckard (Universidad de Texas) presentó la patente para la tecnología de impresión SLS.

En 1989 Scott Crump, cofundador de la empresa Stratasys, patenta una de las tecnologías de impresión 3D más populares a día de hoy, la impresión por Deposición de Material Fundido (FDM).

Durante este periodo la impresión 3D pasó bastante desapercibida debido a la escasa madurez de la tecnología y los altos costes de las impresoras. Todo empieza a cambiar a partir del año 2004 cuando surge el movimiento Rep-Rap, un proyecto de código abierto que promovía la fabricación de impresoras 3D que pudiesen fabricarse a sí mismas. En paralelo a este movimiento y en parte como consecuencia del mismo, surge la Cultura Maker, personas con ánimo de fabricar objetos por sí mismas que entre otras cosas participan del movimiento Rep-Rap para extender, hacer madurar y liberalizar una de las tecnologías más emblemáticas a día de hoy de la Cultura Maker, la impresión 3D.

En el año 2009 caduca la patente de la tecnología FDM, y esto permite que a partir del año 2010 muchas empresas saquen al mercado impresoras 3D domésticas a precios muy asequibles, permitiendo así que esta tecnología pudiese hacerse realmente popular en

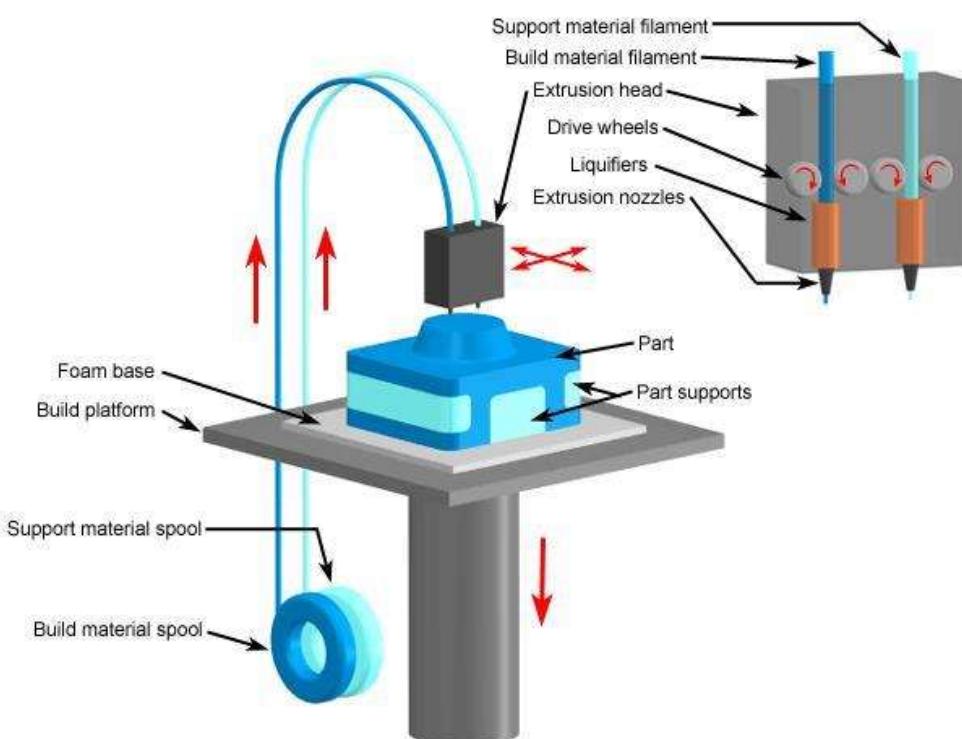
todo el mundo. A día de hoy ¿quién no ha visto, o cómo mínimo no ha escuchado hablar acerca de impresoras 3D?

3.2. Técnicas de fabricación digital

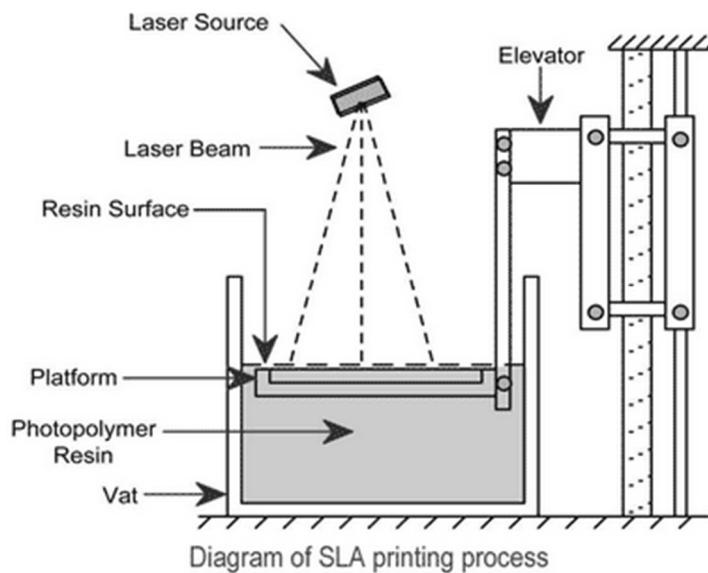


Hablando de forma amplia acerca de fabricación digital, podemos decir que en términos generales existen dos grandes categorías:

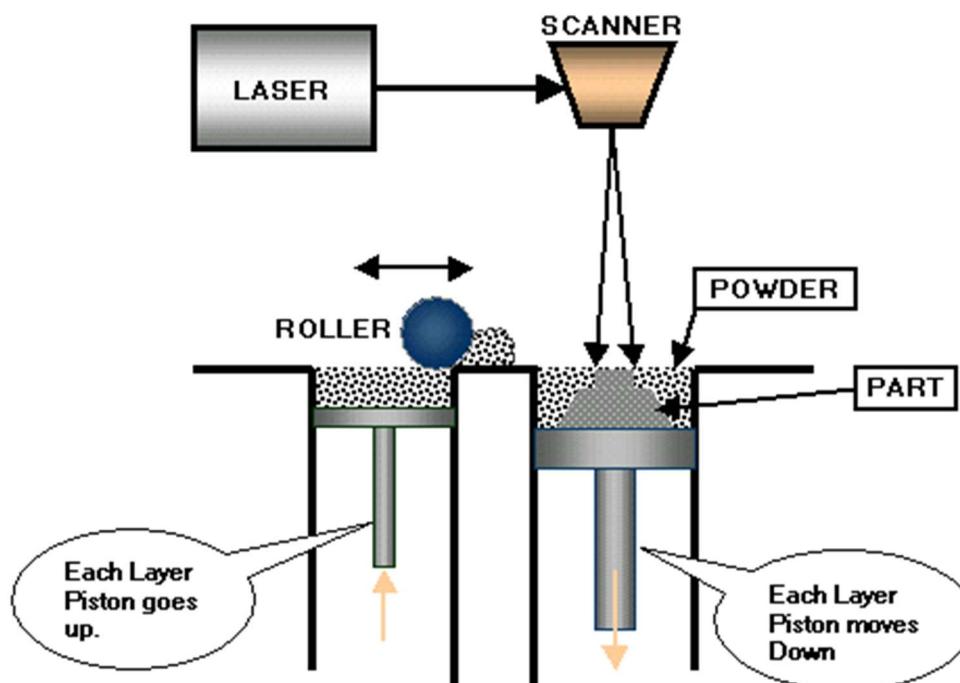
- 1) **Técnicas de fabricación aditivas:** Aquellas que trabajan mediante aporte de material.
 - Deposición de material fundido (FDM)



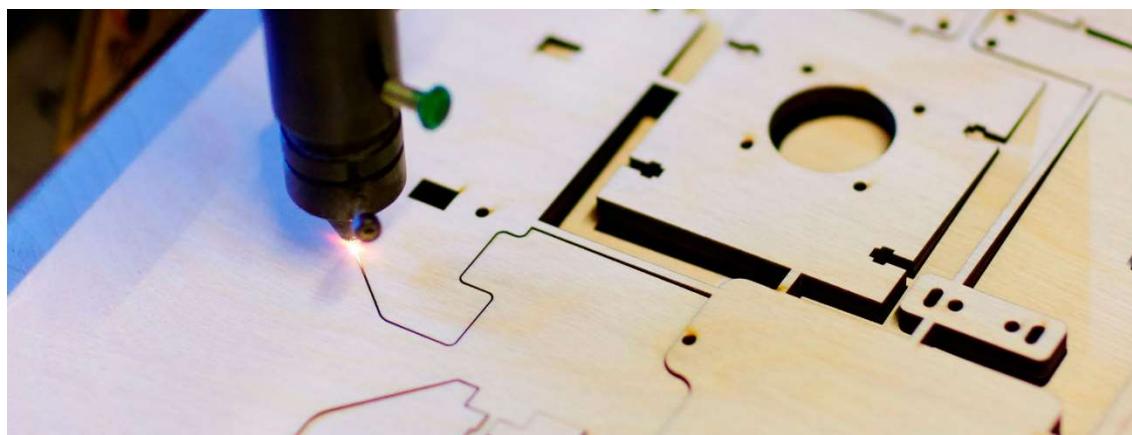
- Impresión 3D con resinas por estereolitografía (SLA) o procesado digital de luz (DLP)



- Impresión 3D por sinterizado selectivo por láser (SLS)



- 2) **Técnicas de fabricación sustractivas:** Aquellas que trabajan mediante eliminación de material.
- Máquinas de control numérico computarizado (CNC): fresadora y cortadora láser son las más populares, pero existen más tipos de máquinas.



3.3. Actualidad

La fabricación digital ha experimentado un avance extraordinario en los últimos años suponiendo una enorme revolución en la industria. Con las actuales herramientas de fabricación digital hoy en día se puede construir casi cualquier cosa, por lo cual están surgiendo una inmensa cantidad de nuevas aplicaciones y usos: fabricación de máquinas y piezas de máquinas, productos para múltiples usos, muebles, vestimenta, joyas, alimentos, prótesis, etc...; por no hablar de otro tipo de aplicaciones experimentales aún en desarrollo, tales como la construcción de casas, coches, tejidos orgánicos humanos y la fabricación de repuestos espaciales fuera de la tierra.



4. Fabricación Asistida por Ordenador (CAM)

La Fabricación Asistida por Ordenador (CAM) la conforman diversos tipos de herramientas software diseñados para una máquina en exclusiva o varias máquinas de características similares.

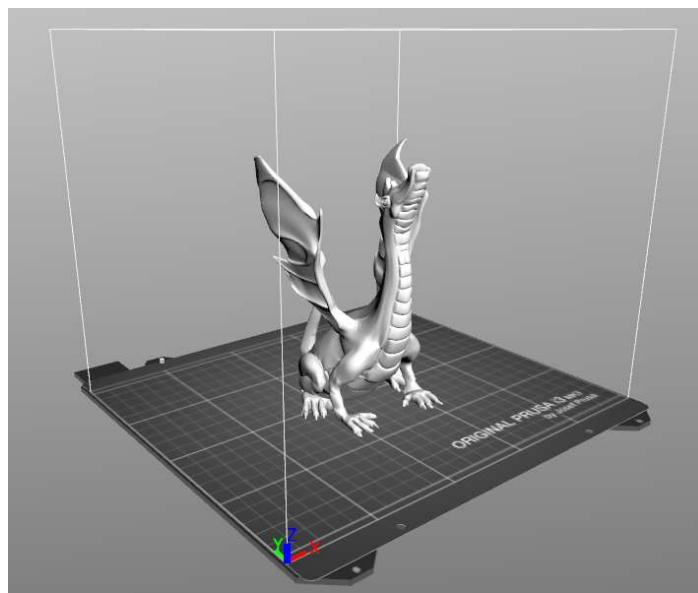
Aunque algunos de estos software pueden incluir ciertas herramientas CAD, por lo general no están pensadas para crear o modificar el modelo 3D, ya que el modelo viene dado por el software CAD utilizado anteriormente. La función del software CAM es configurar determinados parámetros que afectan al proceso de fabricación de la pieza, no al modelo en sí.

En el caso particular de impresoras 3D, los parámetros mínimos que hay que configurar antes de una impresión son:

- Posición de la pieza en la base
- Segmentación de la pieza
- Tipo de material
- Altura de capa
- Densidad de la pieza
- Soportes

Hay varios programas sencillos como el **PrusaSlicer** o el **Cura** que nos permiten configurar la impresión de forma rápida y simplificada.

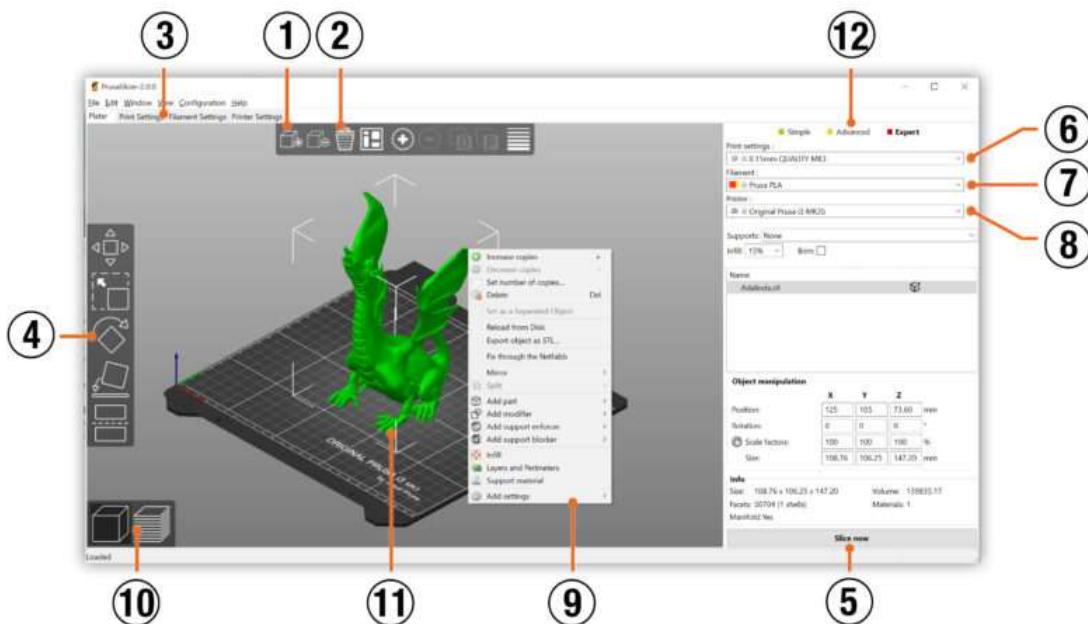
En nuestro caso utilizaremos el **PrusaSlicer**, el programa de corte propio creado por la empresa Prusa Research, la empresa que está detrás de las impresoras Original Prusa 3D, a partir de una variación de Slic3r, un programa de corte de código abierto. PrusaSlicer ha ganado mucha popularidad rápidamente por varias razones: por una parte, cuenta con los numerosos ajustes activables de Slic3r, y, por la otra, también incorpora algunas características útiles de las que carece el software original.



4.1. Laminador PrusaSlicer

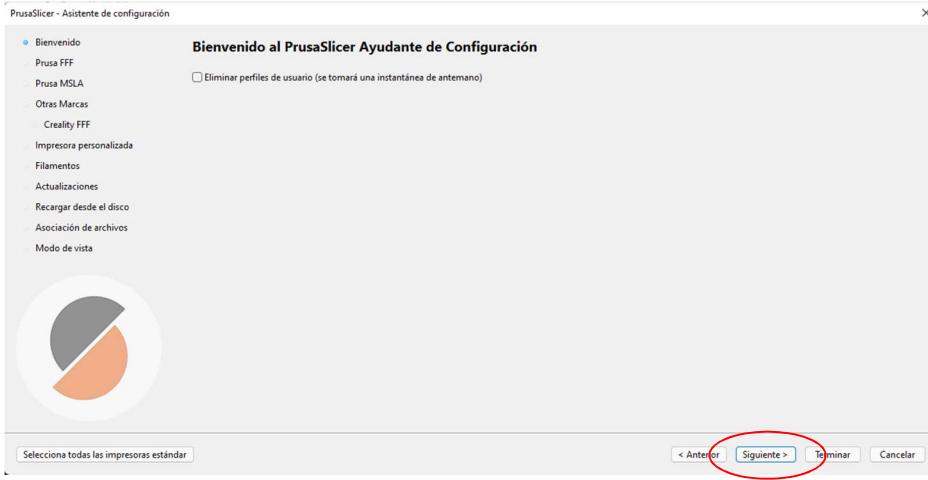
Durante el curso emplearemos el software **PrusaSlicer** de Prusa (disponible en https://www.prusa3d.com/es/página/prusaslicer_424/). Este software permite cargar nuestros archivos .STL o .OBJ y seleccionar el material y la impresora con la que vamos a producir la pieza, ajustar nuestros parámetros y obtener el archivo .GCODE de salida.

La interfaz principal del laminador se muestra en la siguiente imagen, donde se enumeran las funcionalidades principales.



1. El botón *Add* carga los modelos en el PrusaSlicer.
2. Los botones *Delete* y *Delete All* eliminan los modelos del PrusaSlicer.
3. Abre ajustes detallados de impresión, filamento e impresora.
4. Mover, escalar, rotar, colocar en la cara y cortar las herramientas.
5. Cortar y generar el botón del código G.
6. Ajuste de calidad / velocidad de una impresión.
7. Selección de material.
8. Selección de la impresora.
9. Al hacer clic con el botón derecho del ratón sobre el modelo se abre un menú contextual.
10. Cambiar entre el editor 3D y la vista previa de las capas.
11. Vista previa del modelo.
12. Cambiar entre el modo simple / avanzado / experto.

Al abrir el *software* por primera vez se nos abrirá un asistente que nos preguntará por la impresora con la que queremos emplearla. Seleccionaremos el fabricante Creality 3D y el modelo Ender 3 Pro, o bien el modelo MK3S de Prusa. Continuaremos el resto de menús hasta llegar a la interfaz principal.



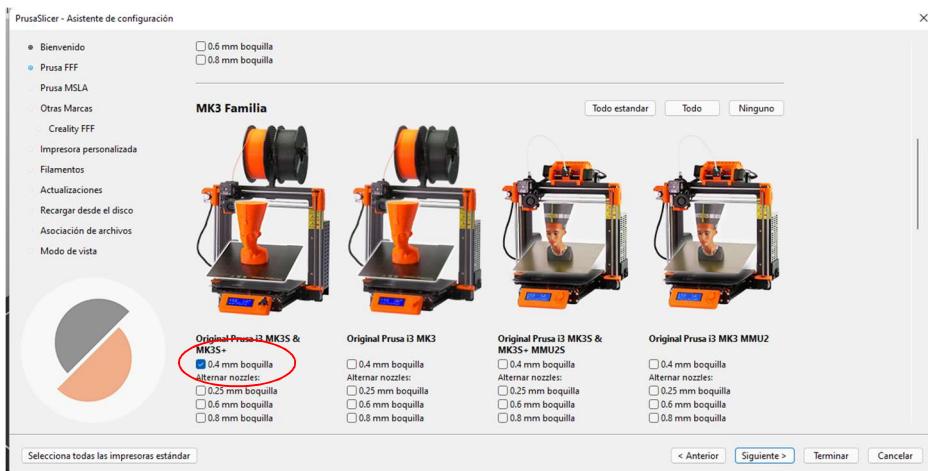
Bienvenido al PrusaSlicer Ayudante de Configuración

- Bienvenido
- Prusa FFF
- Prusa MSLA
- Otras Marcas
- Creatly FFF
- Impresora personalizada
- Filamentos
- Actualizaciones
- Recargar desde el disco
- Asociación de archivos
- Modo de vista

Eliminar perfiles de usuario (se tomará una instantánea de antemano)

Selección de impresoras:

- Selecciona todas las impresoras estándar
- < Anterior
- Siguiente >
- Terminar
- Cancelar

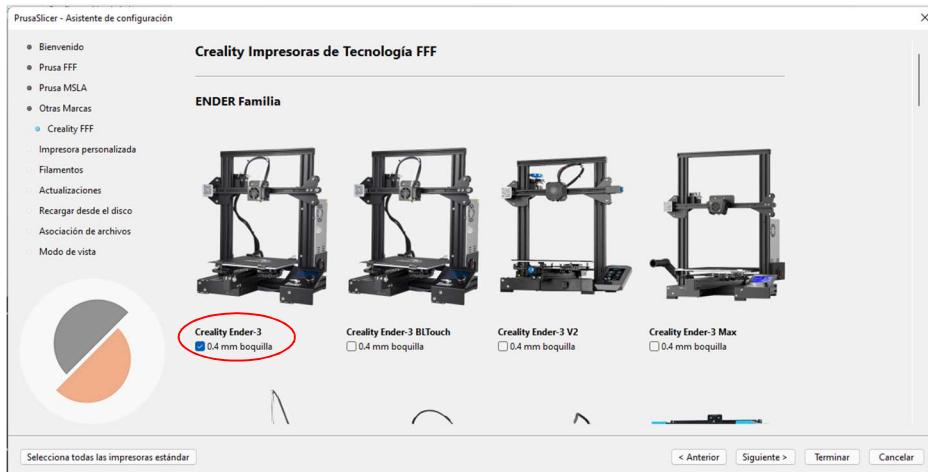


MK3 Familia

Original Prusa i3 MK3 & MK3S+	Original Prusa i3 MK3	Original Prusa i3 MK3 & MK3S+ MMU2S	Original Prusa i3 MK3 MMU2
<input checked="" type="checkbox"/> 0.4 mm boquilla	<input type="checkbox"/> 0.4 mm boquilla	<input type="checkbox"/> 0.4 mm boquilla	<input type="checkbox"/> 0.4 mm boquilla
Alternar boquillas:	Alternar boquillas:	Alternar boquillas:	Alternar boquillas:
<input type="checkbox"/> 0.25 mm boquilla	<input type="checkbox"/> 0.25 mm boquilla	<input type="checkbox"/> 0.25 mm boquilla	<input type="checkbox"/> 0.25 mm boquilla
<input type="checkbox"/> 0.6 mm boquilla	<input type="checkbox"/> 0.6 mm boquilla	<input type="checkbox"/> 0.6 mm boquilla	<input type="checkbox"/> 0.6 mm boquilla
<input type="checkbox"/> 0.8 mm boquilla	<input type="checkbox"/> 0.8 mm boquilla	<input type="checkbox"/> 0.8 mm boquilla	<input type="checkbox"/> 0.8 mm boquilla

Selección de impresoras:

- Selecciona todas las impresoras estándar
- < Anterior
- Siguiente >
- Terminar
- Cancelar



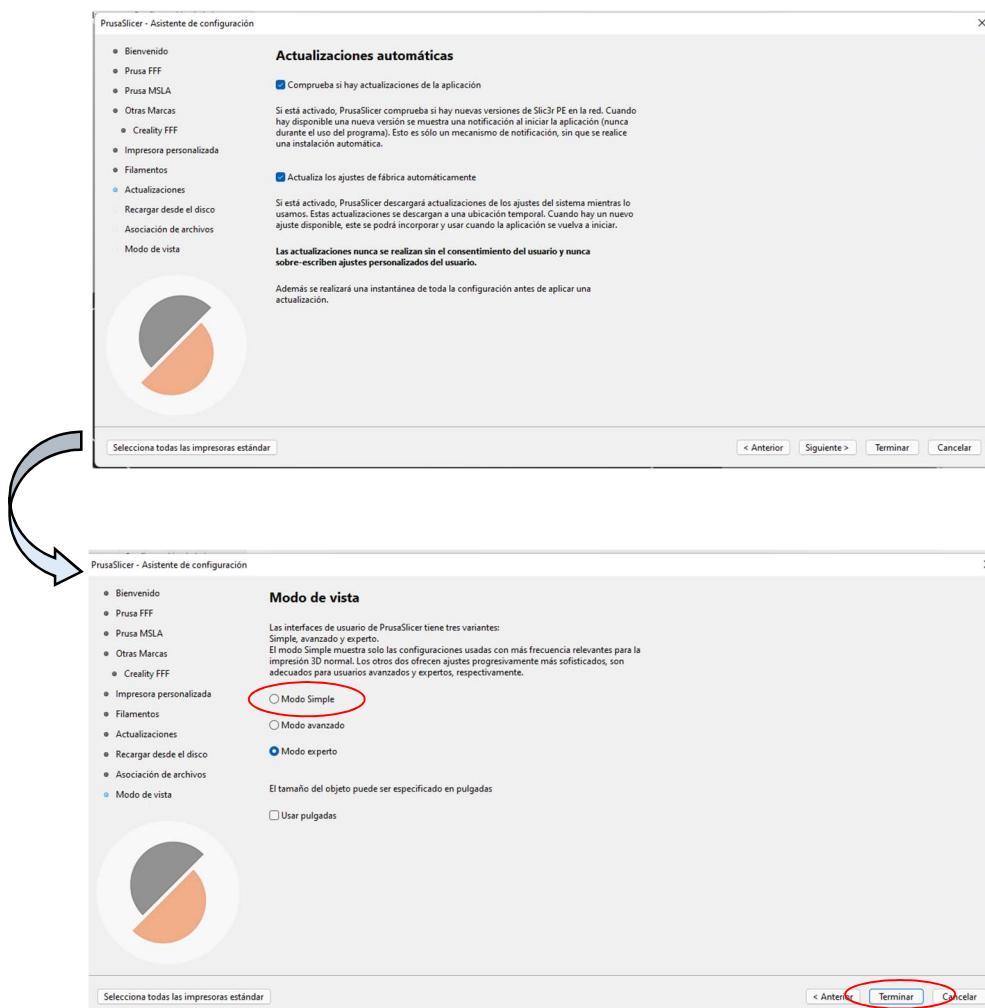
Creality Impresoras de Tecnología FFF

ENDER Familia

Creality Ender-3	Creality Ender-3 BLTouch	Creality Ender-3 V2	Creality Ender-3 Max
<input checked="" type="checkbox"/> 0.4 mm boquilla	<input type="checkbox"/> 0.4 mm boquilla	<input type="checkbox"/> 0.4 mm boquilla	<input type="checkbox"/> 0.4 mm boquilla

Selección de impresoras:

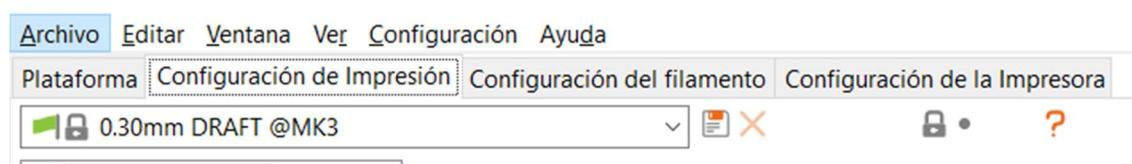
- Selecciona todas las impresoras estándar
- < Anterior
- Siguiente >
- Terminar
- Cancelar



Tras esto, el laminador nos aporta un conjunto de perfiles preconfigurados para estas impresoras según el nivel de detalle deseado.

Los principales parámetros que repercuten en la calidad de la pieza son la altura de cada una de las capas (entre 0.1 y 0.3 mm para el extrusor de 0.4 mm por defecto) y la velocidad de impresión (del orden de entre 40 mm/s a 70 mm/s).

Podremos modificar los parámetros de impresión seleccionando configuración de impresión situado en el menú superior.



Se verá una pantalla de configuración como la siguiente:

Capas y perímetros

- Relleno
- Falda y balsa
- Material de soporte
- Velocidad
- Múltiples Extrusores
- Avanzado
- Opciones de salida
- Notas
- Dependencias

Altura de la capa

- Altura de la capa: mm
- Altura de la primera capa: mm o %

Carcasas verticales

- Perímetros: (mínimo)
- Modo vaso:

Espesor de pared delgada del objeto recomendado para una altura de capa 0.30 y 2 líneas: 1.14 mm , 4 líneas: 2.01 mm

Carcasas horizontales

- Capas sólidas: Superior: Inferior:
- Espesor mínimo de pared: Superior: mm Inferior: mm

La tapa superior es de 1.2 mm de espesor con una altura de capa de 0.3 mm. El espesor mínimo de la carcasa superior es 0.6 mm.
 La carcasa inferior es 0.9 mm más grueso para la altura de capa de 0.3 mm. El espesor mínimo de la carcasa inferior es 0.5 mm.

Calidad (laminado más lento)

- Perímetros adicionales si es necesario:
- Asegurar el espesor de la carcasa vertical:
- Evita cruzar perímetros:
- Detecta paredes delgadas:
- Detectar perímetros con puentes:

Avanzado

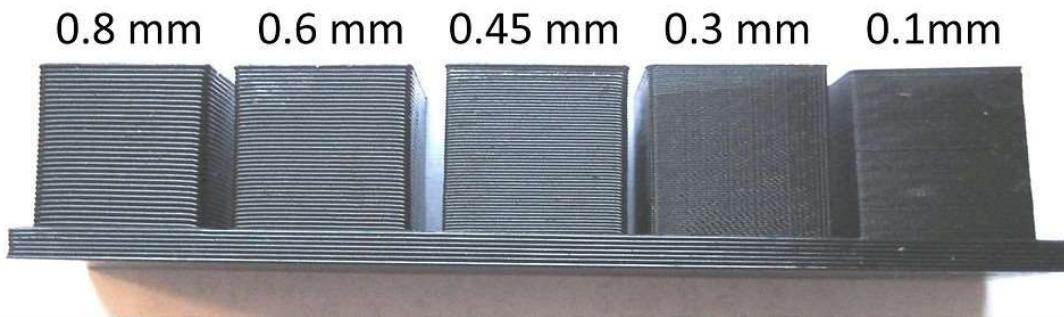
- Posición de la costura:
- Perímetros externos primero:

Todos estos parámetros se explicarán de forma detallada durante la clase.

4.2. Altura de capa

En la impresión FDM es posible elegir qué altura deseamos que tenga cada una de las capas que conforman la pieza. Este es uno de los parámetros principales que definirán la calidad final del modelo impreso. Es posible establecer alturas de capas que parten desde 0.1 mm y pueden llegar hasta 0.8-0.9 mm. No obstante, no se recomienda sobrepasar un valor que sea el 95% del grosor de la boquilla instalada. Por ejemplo, para una boquilla típica de 0.4 mm los tamaños de capa recomendados oscilan entre 0.1mm y 0.35 mm.

A continuación, se observan los resultados de una impresión de prueba con diferentes alturas de capa. Es posible observar cómo según se incrementa la altura de capa, las capas se hacen más notables, sin embargo, en ciertas ocasiones ese acabado final puede ser adecuado y supone una ventaja al reducir los tiempos de impresión.



4.3. Ajuste de los soportes

Un ajuste muy importante a tener en cuenta cuando existen voladizos, es decir, partes de la pieza que quedan suspendidas en el aire, son los soportes. Se trata de estructuras auxiliares impresas que permiten sostener la pieza a imprimir evitando que ésta se desplace.

Para activarlo nos dirigiremos a la pestaña de **“Material de Soporte”**

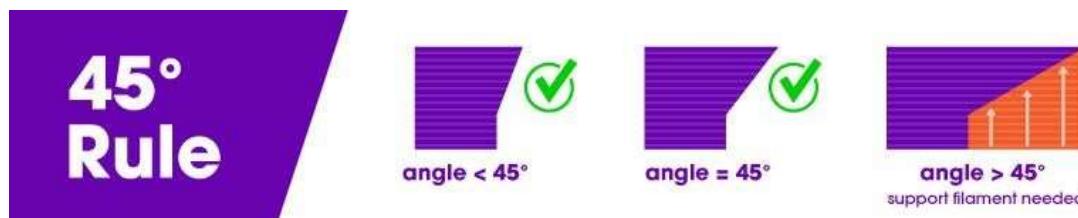
Seleccionaremos generar soporte y nos aparecerán nuevas opciones.



Podemos elegir entre colocar soportes solo tocando la cama de impresión o en cualquier lugar de la pieza, podemos definir la densidad del relleno del soporte, la separación entre la última capa del soporte y el comienzo de la pieza y una serie de ajustes más avanzados.

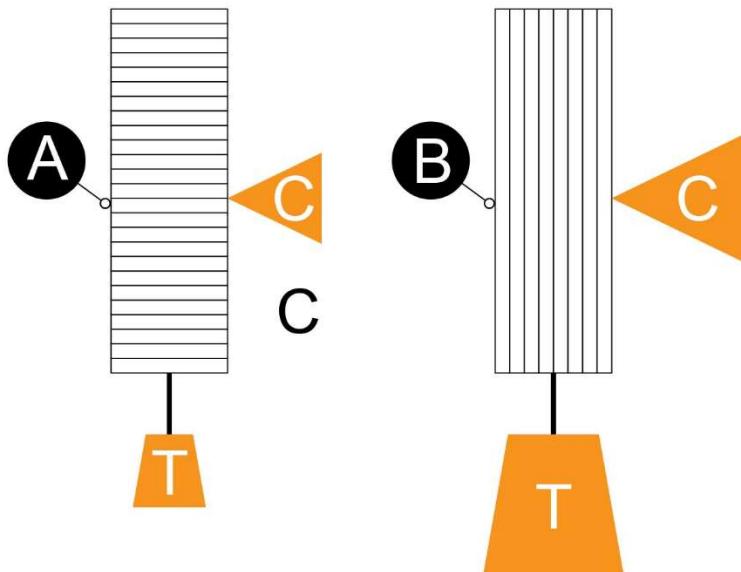
Para un usuario que comience en la impresión 3D basta con seleccionar la densidad y el patrón del soporte.

Una regla adecuada para definir cuándo colocar o no soportes, es la “regla de los 45º”: Todo voladizo que supere los 45º se le debe colocar soportes, mientras que aquellas partes con un ángulo inferior es posible imprimirlas sin soporte.



4.4. Orientación de la pieza y su resistencia mecánica

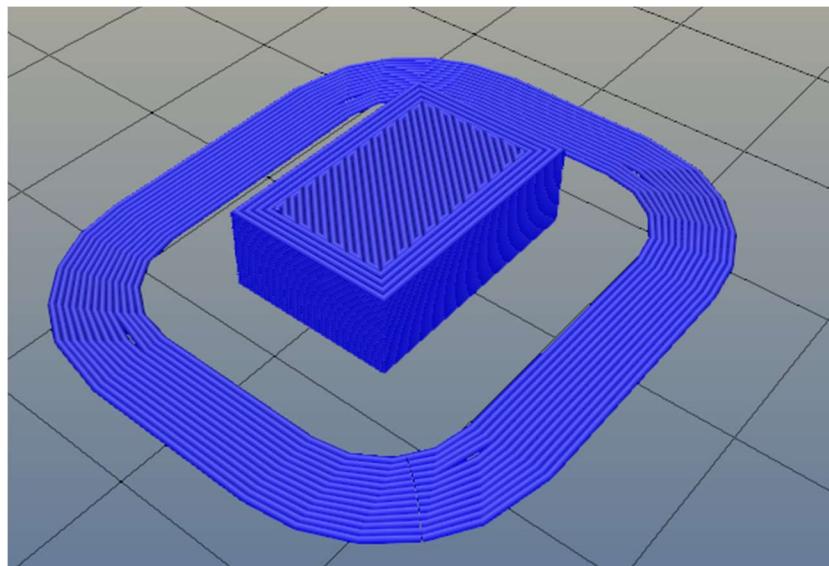
Si queremos evitar que nuestra pieza se fracture al someterla a alguna fuerza debemos orientar la pieza de forma que las capas sean perpendiculares al punto en el que se aplica la fuerza. Las partes más débiles de una pieza impresa en 3D son los puntos de unión entre las capas debido a que cada capa se imprime cuando la superior se ha enfriado lo que hace que la unión no sea perfecta como en una inyección de plástico.



Dependiendo de la orientación de la pieza a imprimir, las propiedades mecánicas entre las piezas A y B, sometidas a esfuerzos, varian. (Para el ejemplo, Tensión -T- y Cortante -C-)

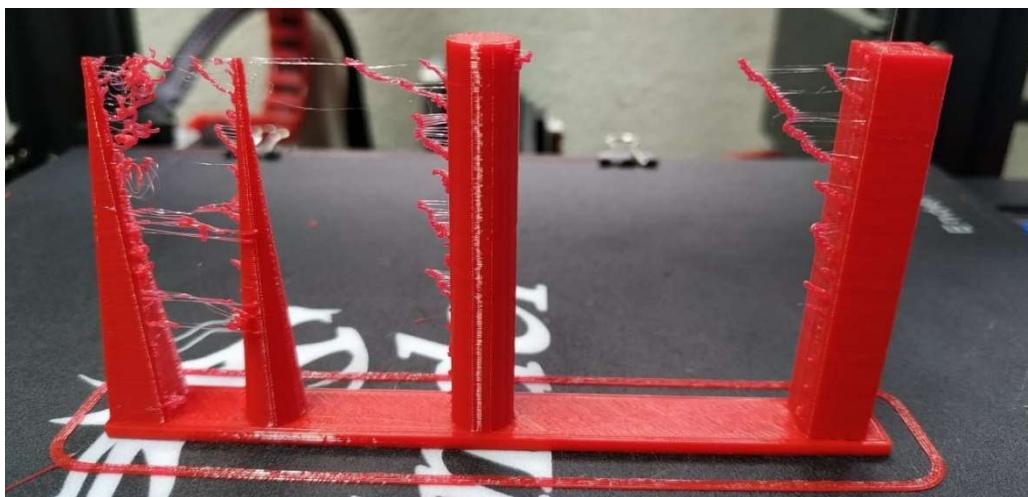
4.5. Ajuste de la primera capa y adherencia

Con el objetivo de que nuestro extrusor tenga un flujo suficiente de material al comenzar la impresión, se suele realizar una primera *purga de filamento*. Para ello nos dirigimos a la pestaña “**Falda y Balsa**” Seleccionaremos “**Falda**” y le indicaremos el número de líneas a hacer. Existen otras posibles configuraciones como *balsa o borde*. El resultado de esto se puede observar en la siguiente imagen.



4.6. La retracción

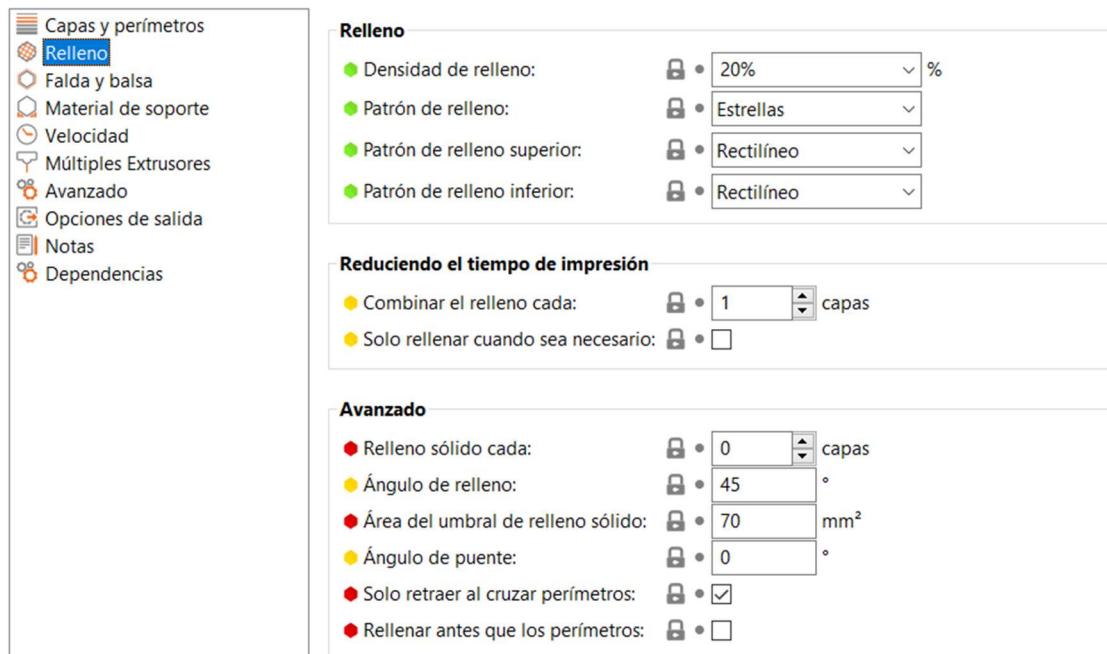
Como todos sabemos, el plástico debe ser fundido para ser depositado en la pieza. Esto implica que durante los desplazamientos entre dos puntos, parte del material pueda escaparse dejando elementos no deseados en la impresión. Para solucionar este problema se debe habilitar la retracción. Esto hará que el motor del extrusor gire en sentido contrario para extraer el filamento del *nozzle*, evitando así el goteo.



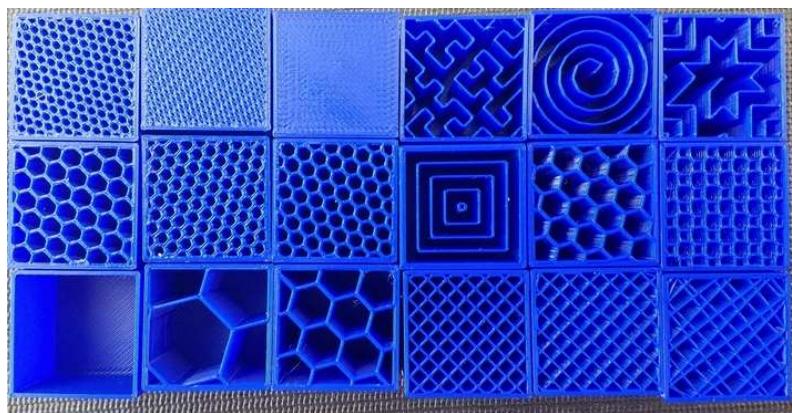
4.7. Relleno de la pieza

Dependiendo del uso que queramos darle a la pieza que vamos a imprimir nos puede interesar que la pieza no sea completamente maciza. Para ello podemos ajustar qué porcentaje interior queremos que se imprima.

Generalmente, para piezas que no vayan a soportar grandes esfuerzos mecánicos es suficiente con un relleno de un 30% máximo. Su comportamiento mecánico se verá afectado también por el patrón interior del relleno.

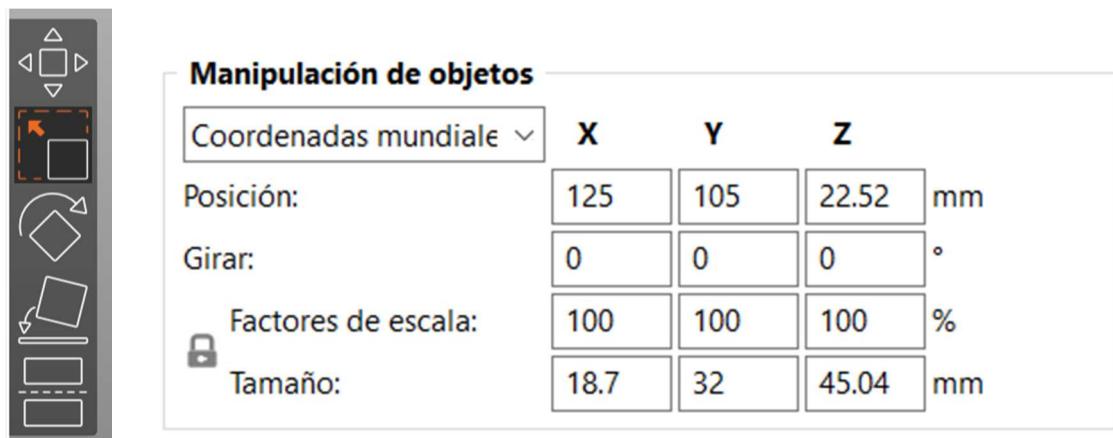


Para su configuración existe una pestaña “**Relleno**” donde ajustar el relleno y el patrón. En la siguiente imagen se muestra el aspecto de los diferentes patrones de relleno.



4.8. Escalado y situación de la pieza en la cama de impresión

Podemos cambiar el tamaño de la pieza a imprimir, rotarla o desplazarla. Para ello disponemos a la izquierda de un menú.



Asimismo podemos recolocar las piezas o multiplicarlas, seleccionando un diseño y mediante el botón "+" duplicarlo.



4.9. GCODE

El *Gcode* (“Geometric Code”) es el formato de archivo que interpreta nuestra impresora 3D. Es el archivo de salida de nuestro laminador y en él se indican las órdenes a realizar de forma secuencial.

Una línea de GCODE tiene un aspecto similar a este:

G1 X-5.3 Y-8.25 Z0.7 F3000.0 E0.0433

Como se observa en el ejemplo se ordena a la impresora a posicionarse en (-5.3, -8.25, 0.7) indicándole que extruya 0.0433 durante el movimiento, y que la velocidad de desplazamiento sea de 3000 mm/min.

Debemos de aclarar que, aunque el formato es estándar, generalmente el archivo generado con el laminador para una determinada impresora 3D no suele ofrecer buenos resultados en un modelo de impresora diferente, por tener dimensiones o funcionamientos ligeramente distintos.

4.10. Generación y almacenamiento del GCODE

Una vez se han ajustado los parámetros necesarios para la impresión, seleccionaremos la opción “**Laminar Ahora**” con la que comienza el proceso de laminado.



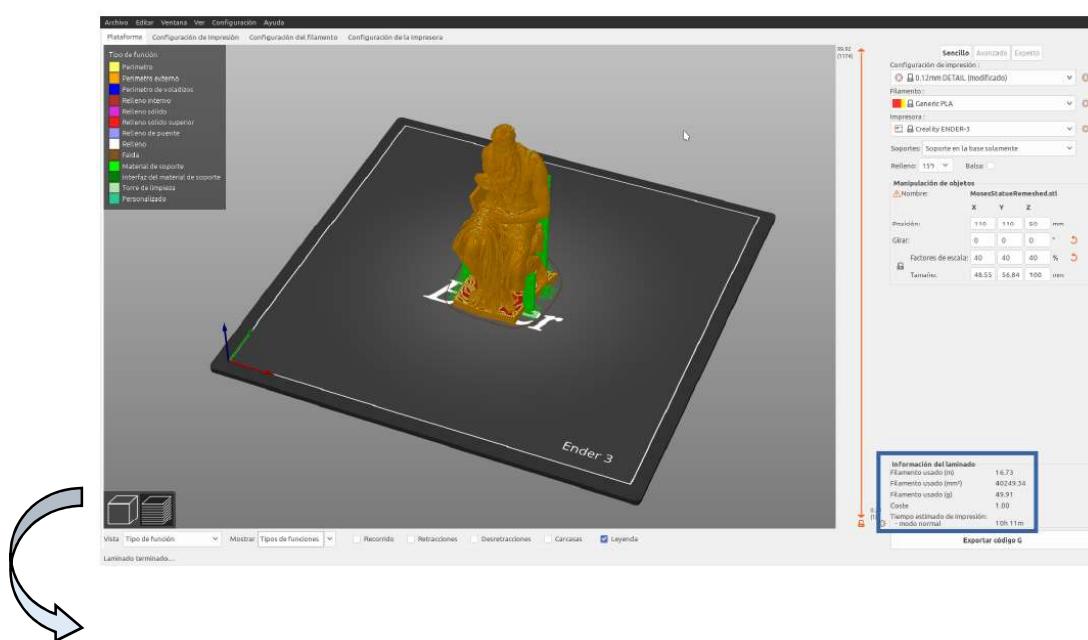
Una vez finalizado se nos indica el tiempo de duración de la impresión y la cantidad de filamento que se empleará. Podemos elegir entre almacenar el GCODE o previsualizar la pieza.

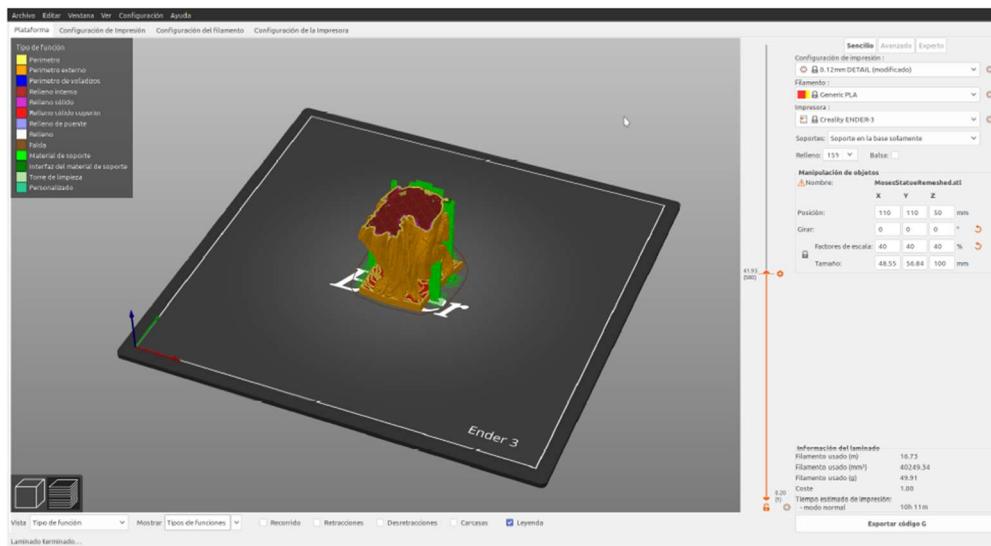
Información del laminado

Filamento usado (m)	3.67
Filamento usado (mm³)	8828.01
Filamento usado (g)	10.95
Coste	0.28
Tiempo estimado de impresión:	
- modo normal	1h 2m
- modo silencioso	1h 2m

Exportar código G

Si seleccionamos “Vista previa” nos aparecerán dos barras para desplazarnos por cada una de las capas de impresión y poder visualizar los movimientos que realizará nuestra impresora.





Esta herramienta es muy útil para comprobar que ninguna parte de la pieza se encuentre sin soportes o bien para ver si estos se han colocado de la forma óptima para su fácil eliminación posteriormente.

5. La impresora 3D

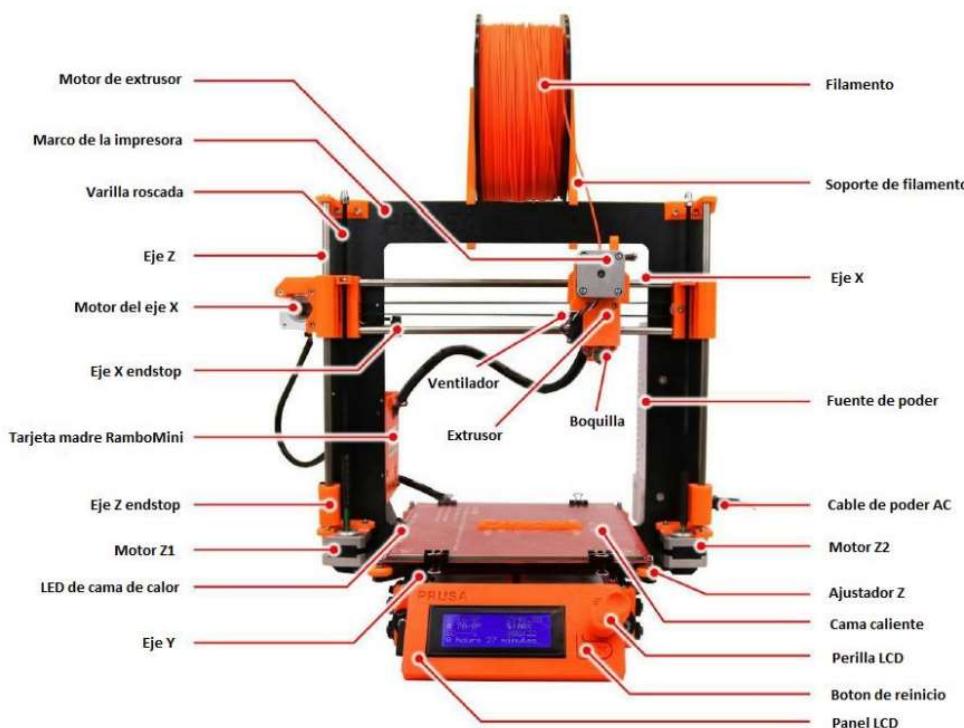
Dedicaremos la última parte del curso a explicar el funcionamiento de una impresora 3D mientras ponemos en marcha la fabricación de una pieza. Los aspectos que tocaremos serán los siguientes:

- Encendido de la impresora 3D
- Explicación de sus principales componentes
- Menú general de la impresora
- Aspectos generales sobre calibración
- Precalentado antes de imprimir
- Selección de una pieza para imprimir
- Extraer una pieza impresa de la base
- Limpieza de la base

5.1. Partes de la impresora 3D

Durante este curso trabajaremos con dos modelos de impresoras diferentes: la Ender 3 Pro y la Prusa MK3S.

Detallaremos a continuación las partes de una impresora 3D genérica.



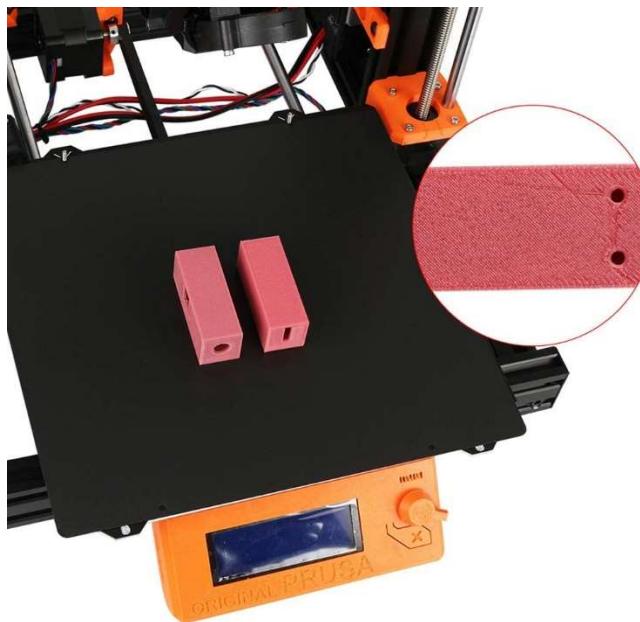
Las piezas principales de una impresora 3D son:

- **Motores paso a paso de los ejes X,Y,Z:** Son los motores encargados de mover los ejes mediante correas de transmisión, varillas roscadas y engranajes con el objetivo de poder depositar el filamento fundido en las coordenadas exactas.



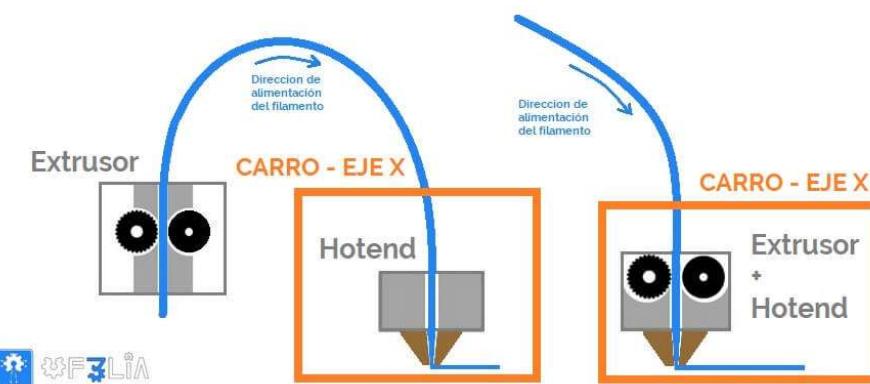
- **Cama de impresión:** Se trata de la base sobre la que se imprime la pieza. En ella se depositan las capas de material fundido. Es de vital importancia evitar que el material se despegue al enfriarse, para ello se emplea una resistencia calefactora para conformar una cama caliente y se añade en ocasiones una lámina de cristal

templado que mejora el acabado superficial de la primera capa y aumentar la adherencia (con la ayuda de algún aerosol adherente específico).



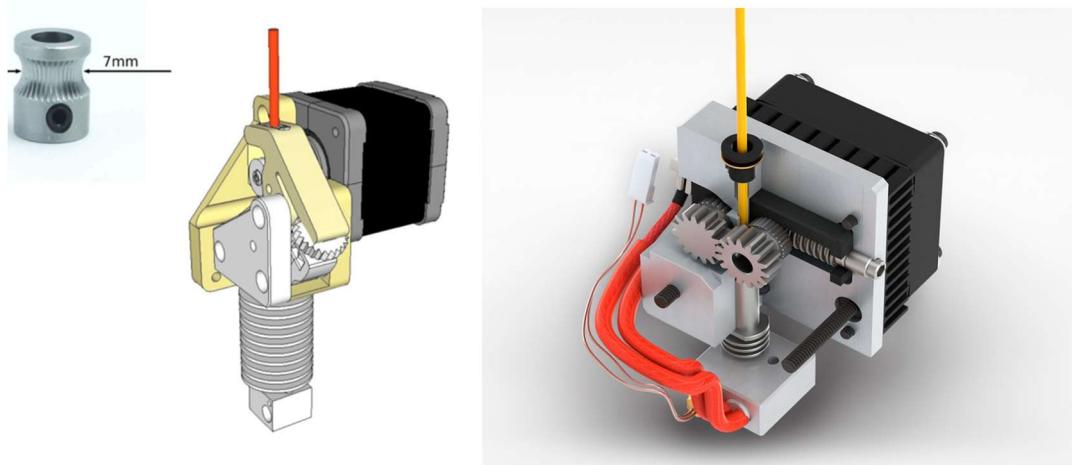
- **Extrusor y Nozzle:** Son las piezas encargadas de reducir el diámetro del filamento hasta un tamaño mucho más fino. Está formado por un motor que mediante una corona empuja el filamento, y una resistencia que derrite el plástico para hacerlo pasar por una boquilla de diámetro menor (*nozzle*). Generalmente el diámetro de salida del filamento en impresoras FDM estándar está en valores de entre 0.2-0.4 mm.

EXTRUSIÓN BOWDEN EXTRUSIÓN DIRECTA

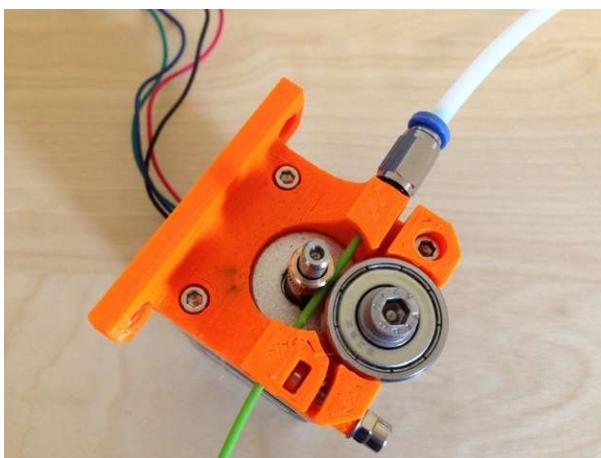


Se pueden distinguir dos tipos de extrusores según su disposición:

- **Extrusor directo:** El motor paso a paso y todo el bloque extrusor se encuentra en el carro que se desplaza a lo largo del eje X. Es el mecanismo más básico, pero presenta el inconveniente de unas velocidades de impresión menores debido al mayor peso e inercia en el eje X.

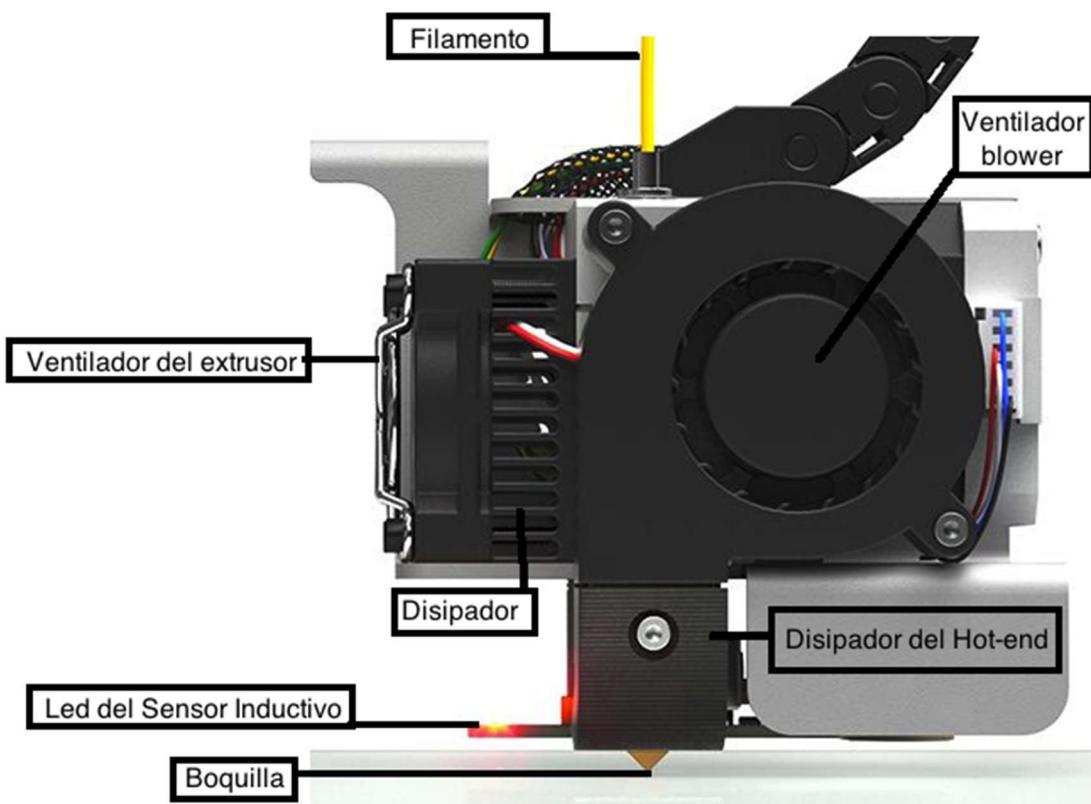


- **Extrusor bowden:** En este caso el motor paso a paso que empuja el material se encuentra fijado y fuera del eje X. En el carrito que se desplaza por el eje se encuentra únicamente la resistencia calefactora y el *nozzle*.



5.1.1. Partes de un extrusor

Las principales partes de un extrusor directo se muestran a continuación en la siguiente imagen:



5.2. Tipos de filamentos para impresora (Materiales básicos)

Existen diversos tipos de materiales con los que imprimir: ABS, PLA, FilaFlex, etc. El más empleado en la impresión de prototipos es el PLA por ser un material no tóxico y fácil de imprimir; sin embargo, es poco resistente a la temperatura deformándose en cuanto la temperatura supera los 50-60ºC.

A continuación, se presentarán los principales materiales, mostrando los parámetros recomendados de temperatura para la impresión.

Parámetros sugeridos

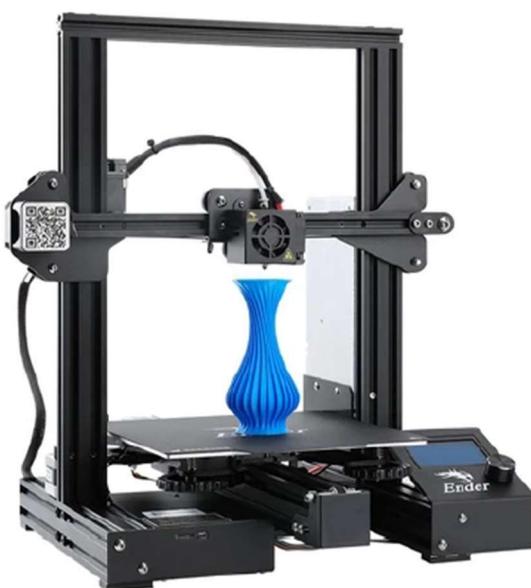
	grados	%	mm/s	mm	
	cama	extrusor	ventilación capa	velocidad	retracciones
PLA	60	200	100	60	2.5
PVA	60	200	100	60	1.5
Wood	60	200	100	45	2.5
TPU	60	225	80	45	1.5
PETG	60	235	60	60	3.5
ABS	90	235	0	60	2.5
HIPS	90	235	0	60	2.5
TPE	90	235	0	45	1.5

5.3. Modelos de Impresoras 3D a emplear

Durante el desarrollo del curso se utilizarán dos modelos de impresoras de tecnología FDM. En esta sección se introducen de forma breve ambos modelos.

5.3.1. Creality Ender 3

La popularidad de la Creality Ender 3 ha sido tan grande que la empresa ha decidido lanzar la nueva versión mejorada, la ENDER 3 PRO. Esta impresora es un poco más costosa, pero ha superado muchos de los problemas de la versión original.



5.3.1.1. Características principales

Las características principales de la impresora son las siguientes:

- **Volumen de impresión:** 220 x 220 x 250 mm.
- **Diámetro del cabezal de serie:** 0,4 mm.
- **Diámetro del filamento:** 1,75 mm.
- **Temperatura máxima de la cama caliente de impresión:** 110 °C.
- **Máxima Velocidad de impresión:** 180 mm/s.
- **Resolución de capa:** 0,1-0,4 mm.
- **Tipo de conectividad:** lector de tarjeta SD y cable USB.
- **Pantalla LCD:** sí.
- **Precisión de impresión:** +/- 0,1 mm

5.3.1.2. Pros y contras

La Ender 3D Pro tiene muchas ventajas y algunas desventajas como veremos a continuación:

- **Pros**
 - Fácil de montar.
 - Excelente relación Calidad – Precio.
 - Viene con cama magnética.
 - Buen volumen de Impresión.
 - Posee modo de reinicio automático ante pérdida de energía eléctrica.
 - Es adecuada para trabajar con filamentos flexibles.
 - Es perfecta para principiantes.
 - La calidad de las impresiones es decente.
 - Es más estable que la Ender 3.
 - En menos de 5 minutos, la cama de impresión puede alcanzar los 110° de temperatura.
 - Gran Comunidad de usuarios detrás.
- **Contras**
 - Problemas de adhesión a la cama magnética, sino se toman los recaudos adecuados.
 - La autonivelación es mejorable.
 - Puede dar problemas al trabajar con filamento ABS.
 - Las correas se aflojan con facilidad y requieren reajuste constantemente.
 - Se considera una impresora 3D ruidosa.

5.3.2. Prusa i3 MK3S

Pocas marcas tienen tan buena reputación y tantos aficionados fervientes como los que tiene la empresa Prusa Research, ubicada en la República Checa.

El fabricante Josef Prusa tiene la destreza de mejorar constantemente cada aspecto de su ecosistema de código abierto: desde el hardware hasta el software, y eso es parte de lo que adora su comunidad. Las mejoras de la impresora 3D Prusa i3 MK3S se hicieron después de escuchar los comentarios de su comunidad.

La Prusa i3 MK3S tiene un sistema de extrusión completamente rediseñado e incluye la suma de todas las mejoras que se han incorporado al modelo a lo largo del tiempo.



5.3.2.1. Características principales

Las características principales de la impresora son las siguientes:

- **Espacio de construcción:** 250 x 210 x 200 mm.
- **Cama de impresión:** caliente, extraíble, recubrimiento PEI.
- **Diámetro del filamento:** 1,75 mm.
- **Temperatura máxima del extrusor:** 300 °C.
- **Temperatura máxima de la cama de impresión:** 120 °C.
- **Conectividad:** tarjeta SD y cable USB.
- **Panel de control integrado:** Sí.

5.3.2.2. Pros y contras

La Prusa i3 Mk3S tiene muchas ventajas y algunas desventajas como veremos a continuación:

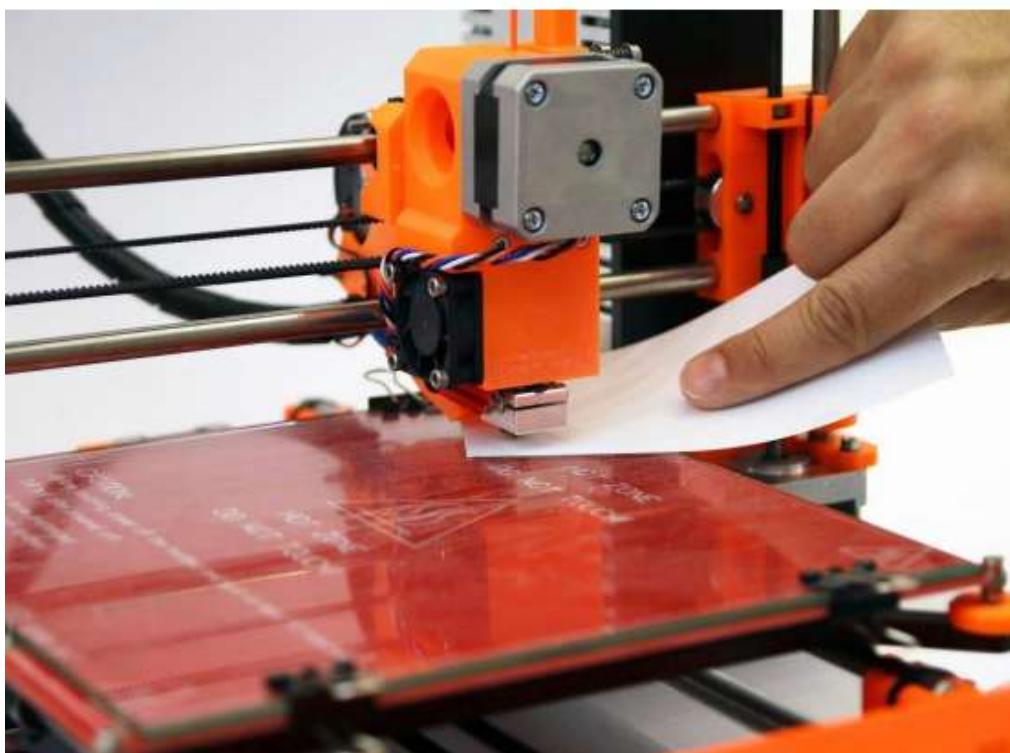
- **Pros**
 - Calidad de impresión excepcional.
 - Resistente.
 - Comunidad entusiasta y de gran abundancia.
 - Calibración automática.
 - Detección de colisiones.

- Pausa y reinicio de la impresión.
- **Contras**
 - Las impresiones de larga duración son menos precisas.
 - Estructuras de soporte densas en la configuración predeterminada.

5.4. Ajuste y calibrado de una impresora

Dedicaremos este apartado para ajustar la distancia entre el *nozzle* y la cama en el caso de la impresora Ender 3 y Prusa MK3S. El proceso que explicaremos será similar en cualquier impresora de tipo FDM.

Se debe comenzar ajustando el final de carrera del eje Z, es decir, debemos de conseguir que el interruptor esté pulsado cuando exista una pequeña distancia entre la boquilla del extrusor y la cama. Esto nos permitirá ajustar mediante los tornillos de la propia cama, la distancia entre ésta y la boquilla.



Tras este momento, pondremos a precalentar la impresora. Para ello debemos dirigirnos a “**Prepare**” -> “**Preheat PLA**”. Esperaremos a que el *nozzle* alcance la temperatura de 190 °C y la cama una temperatura de al menos 50°C.

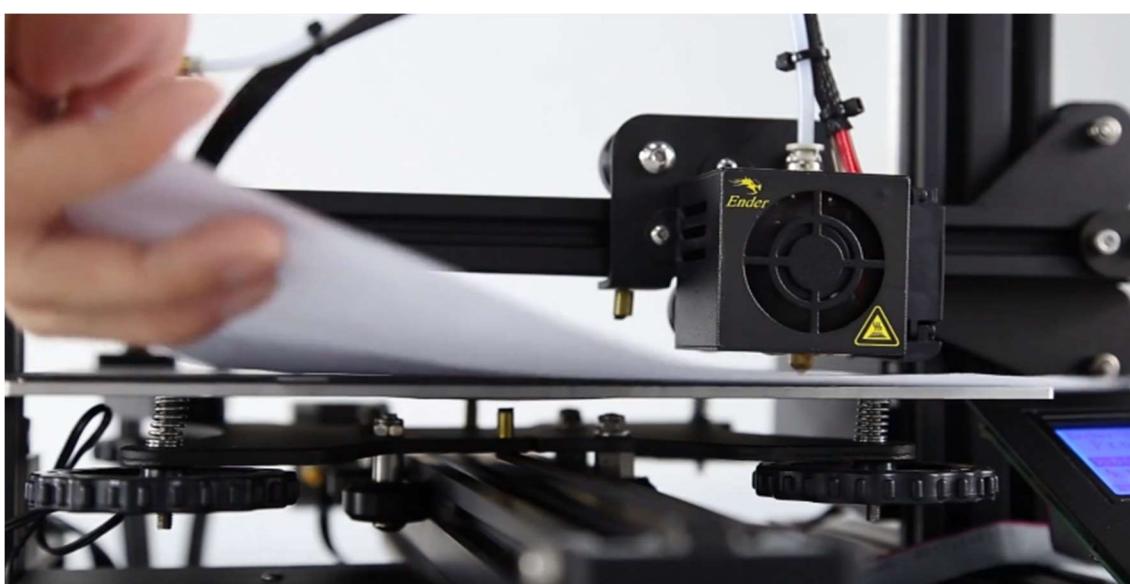
Es recomendable aprovechar este momento para retirar el filamento del extrusor y evitar que gotee y nos engañe durante la fase de ajuste.

El siguiente paso es realizar un *homing* para llevar la impresora al cero absoluto. Para ello en el mismo menú “**Prepare**” nos dirigimos a la opción “**Home All**”. Esperamos a

que finalice el *homing* y procedemos a desactivar los motores paso a paso (“Prepare” -> “Disable Steppers”). Esto nos permitirá mover el carro de impresión y la cama con libertad.



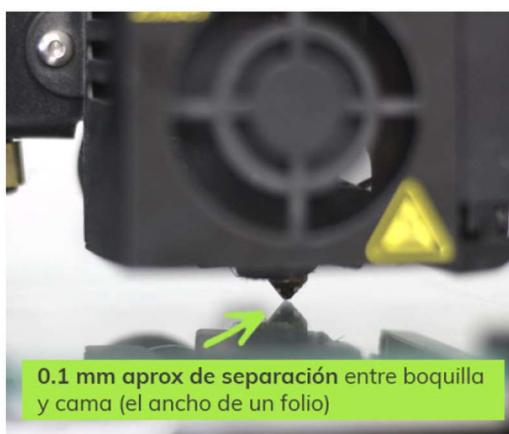
Llegados a este punto tenemos la máquina lista para realizar el ajuste. Para ello situaremos el *nozzle* en una de las esquinas de la cama y con ayuda de la tuerca de ajuste y un folio de grosor 80g debemos moverla hasta conseguir que el folio pase por la punta del *nozzle* de forma justa, es decir, sin llegar a arañar pero sin holgura. Esto supone una separación aproximada de 0,1-0,15 mm.



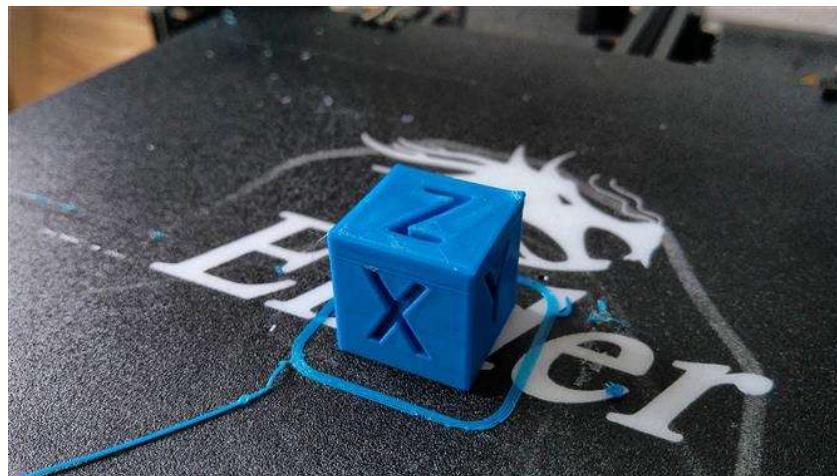
Continuamos con el mismo procedimiento en las otras tres esquinas y revisamos que en el centro de la cama el folio entre y pueda desplazarse. Debemos tener mucho cuidado con que no quede material fundido en la punta. En caso de no presentar el comportamiento correcto repetiremos el proceso.



La distancia entre la boquilla y la cama es la que se observa en la siguiente imagen.



Para comprobar el correcto funcionamiento de la pieza, se recomienda imprimir un cubo de 20x20 mm para observar el acabado de este y poder detectar fallos en el funcionamiento.



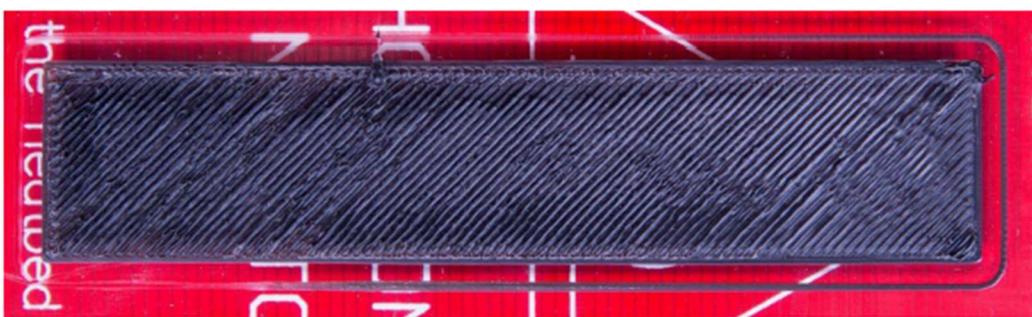
Observando el acabado de la primera capa o segunda capa es posible saber si la boquilla está a la distancia correcta de la cama. En las siguientes imágenes se muestra una impresión con la boquilla muy lejos de la cama (primera imagen), boquilla a la distancia adecuada (segunda imagen) y boquilla demasiado cerca (tercera imagen).



Boquilla muy lejos de la cama, el filamento no se adhiere y se rompe.



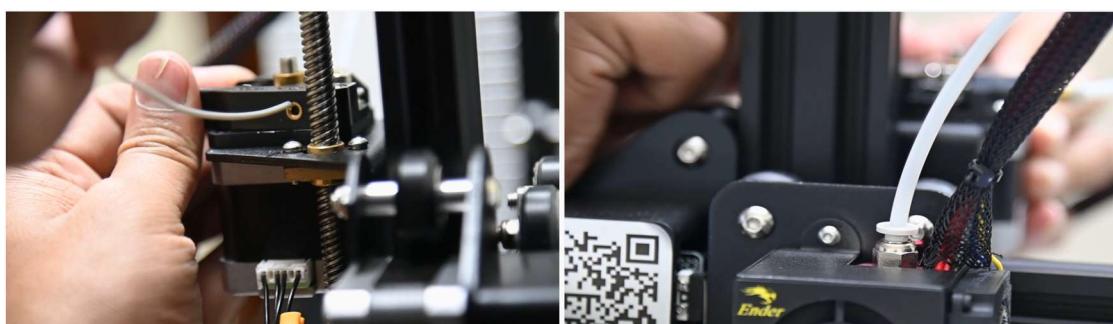
Boquilla a la distancia adecuada. Se muestra un flujo constante de filamento.



Boquilla demasiado cerca de la cama, las capas se ven muy comprimidas.

5.5. Carga de filamento

Para realizar la carga o descarga de filamento, deberemos en primer lugar precalentar la impresora de igual forma que se ha hecho para realizar el calibrado de la primera capa. Tras esto, es posible seleccionar en el menú “**Prepare**” la opción “**Change Filament**” la cual procederá a extraer el filamento insertado y una vez finalizado nos indicará que carguemos el nuevo filamento. Para ello, debemos hacer presión en el tensor del extrusor para liberarlo e insertar fácilmente el filamento. Continuaremos insertándolo hasta aproximarnos al comienzo del *hot-end*. Una vez ahí, haremos *click* en la rueda central para que comience a introducir el filamento. También es posible realizar la carga de forma manual, haciendo moverse el eje del extrusor desde “**Prepare**” → “**Move axis**” → “**Extruder**”.



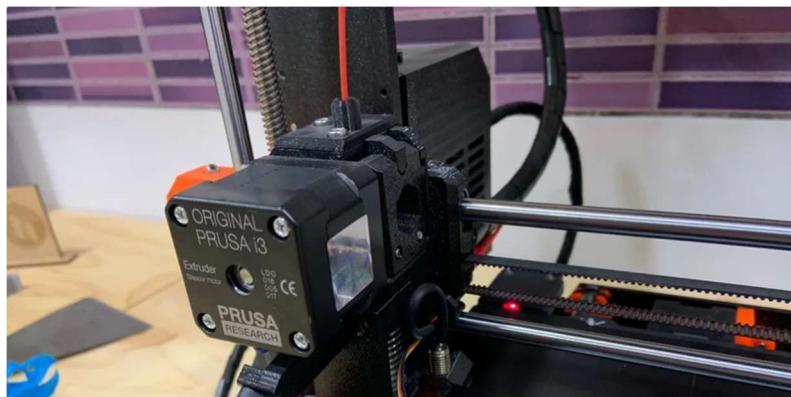
En el caso de la Prusa MK3 el procedimiento es muy similar y se detalla en las siguientes imágenes.



Una vez precalentada a la temperatura adecuada, se procede a seleccionar “Soltar filamento”.



Tras ello, se extrae el filamento y se introduce el nuevo en el cuerpo del extrusor.



Una vez colocado se selecciona “Introducir filamento” y se observa como este comienza a fluir por el *nozzle*. Tras unos segundos nos preguntará si el nuevo color es nítido. En caso afirmativo, seleccionamos “Sí” y en caso contrario (“No”) se continuará extruyendo unos centímetros extras hasta conseguirlo.

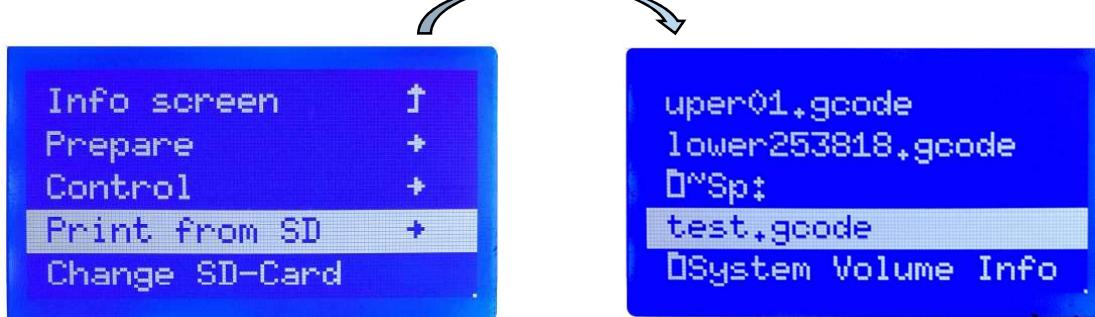


5.6. Impresión de una pieza

Una vez obtenido el archivo .GCODE necesario para la pieza y con la impresora ajustada. Insertamos la tarjeta SD con el archivo y preparamos la cama para la impresión.

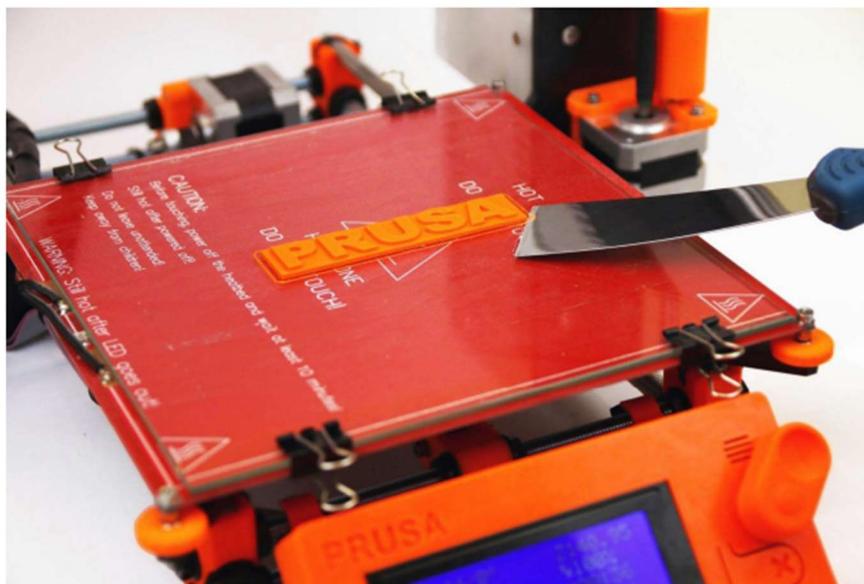
En primer lugar, para mejorar la adherencia de la primera capa aplicaremos laca al cristal o base magnética. Lo montaremos sobre la cama caliente y con la ayuda de las pinzas lo afianzaremos.

Tras esto, nos dirigimos a la pestaña “Print from SD” y nos desplazamos hasta el archivo que deseamos imprimir. Lo seleccionamos y comenzará la impresión.



Una vez ha finalizado la pieza, podremos retirar el cristal de la cama y con ayuda de agua eliminaremos la laca. Si queremos retirarla con facilidad, en caso de existir una gran superficie de contacto es recomendable dejarla un tiempo en agua.

Tras esto, con la ayuda de una espátula bien afilada procederemos a despegar la pieza del cristal. La secaremos y con ayuda de agua limpiaremos bien el cristal templado. Si se trata de una cama magnética es tan sencillo como despegar la cama y doblarla ligeramente para que la pieza se despegue.



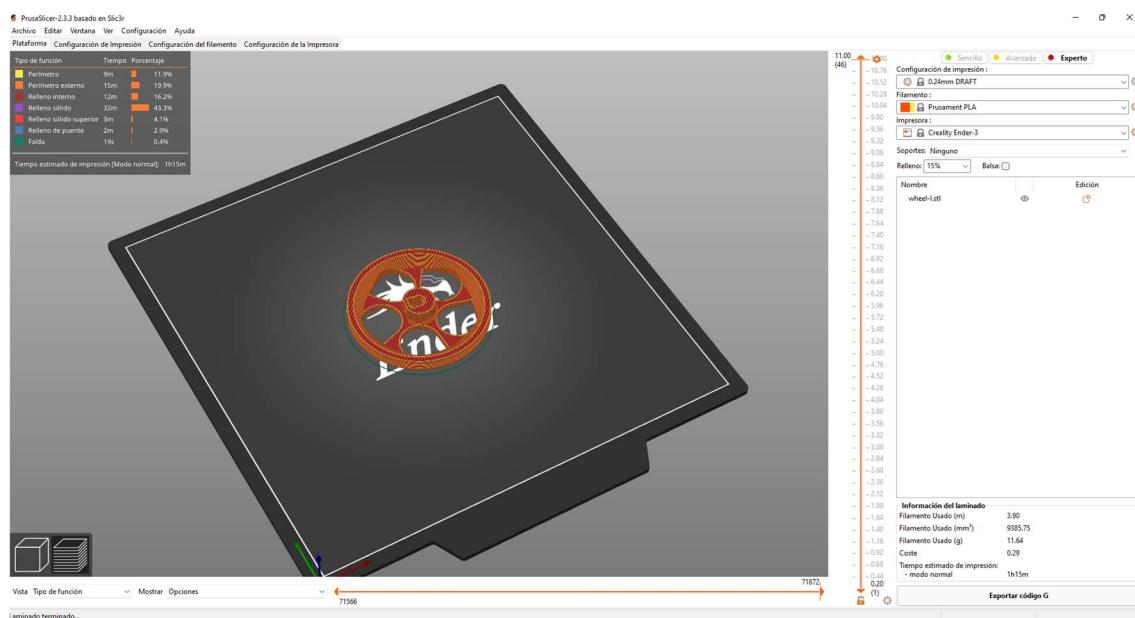
6. Actividad final

Durante el curso se irá construyendo un pequeño robot DIY (“Do It Yourself”) muy usado en educación llamado ESCORNABOT (<https://escornabot.com/es/index>), por lo que en esta sesión se aprovecha para laminar e imprimir una de las piezas del mismo.

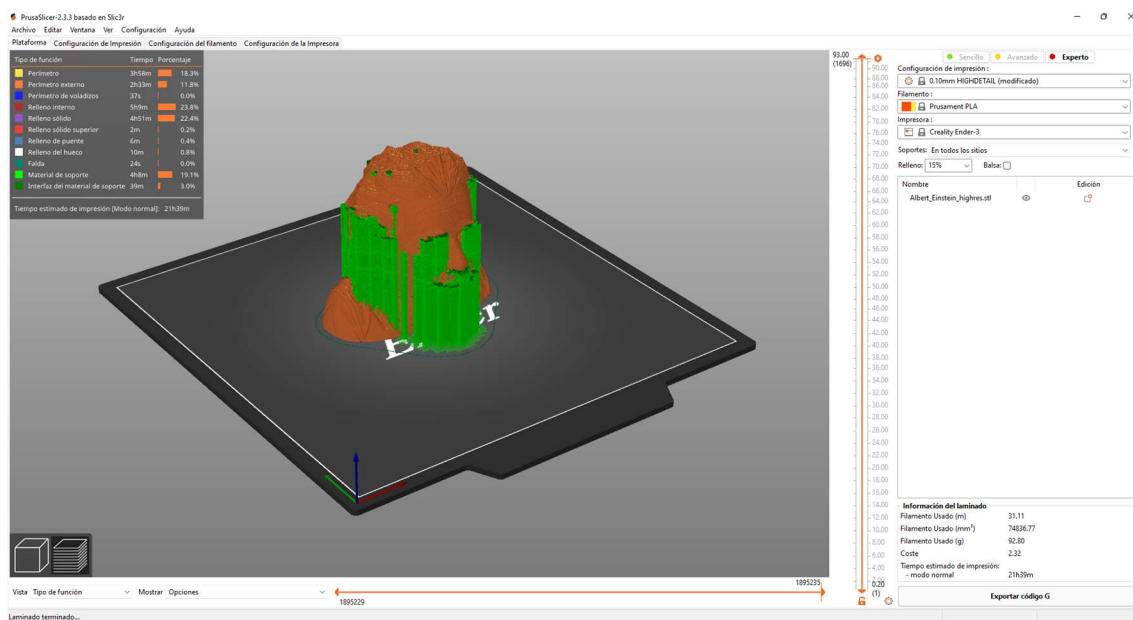


No obstante, durante las siguientes sesiones se aprenderá como diseñar piezas en 3D, por lo que cada alumno diseñará una pieza personalizada que laminará y será impresa por los docentes, para ser entregadas al finalizar el curso.

En este caso, se laminará y se pondrá a imprimir la rueda derecha (fichero “*Wheel-r.stl*”) con una altura de capa de 0.24mm y un relleno del 15%. Todos los diseños 3D pueden localizarse aquí (<https://www.thingiverse.com/thing:2162130>).



Con el objetivo de manejar las funciones más avanzadas del laminador y poder seleccionar soportes y otras opciones, se laminará también un busto de Albert Einstein (<https://www.thingiverse.com/thing:966908>) con una resolución de 0.1 mm.



7. Recursos adicionales

Es posible localizar múltiples diseños 3D realizados por la comunidad en diversas plataformas abiertas. Destacan principalmente estas dos:

- Thingiverse: <https://www.thingiverse.com/>
- GrabCAD community library: <https://grabcad.com/library>