



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Mecánica

OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE IMPRESIÓN 3D

Autor:

MARTÍN MORLANES, JUAN LUIS

Tutor:

**Delgado Urrecho, Javier
Área de Ingeniería de los
Procesos de Fabricación**

Valladolid, noviembre de 2020.

RESUMEN

Realizar una correcta impresión puede resultar muchas veces complicado, sobre todo para personas que se inician en el mundo de la impresión 3D.

Existen una gran variedad de conceptos y conocimientos que son difíciles de dominar y normalmente requieren de una alta experiencia en impresión para llegar a dominarlos, por ello esta guía de optimización servirá como lectura obligatoria para los iniciados en este campo y además de ayuda o consulta para depurar errores en las impresiones de los ya avanzados (en muchos casos la alta personalización no hace rentable el proceso de prueba error de prototipado y se necesita obtener el mejor resultado al mínimo número de intentos), ya que como todo proceso de producción todo error cometido se traduce en costes y pérdidas tanto de material y tiempo.

Por todo lo anterior veremos en que consiste la impresión por FDM, los componentes más importantes de las impresoras y su influencia, materiales típicos su utilidad y como imprimirlos, y por último, diferentes métodos para mejorar la impresión y evitar los errores típicos.

PALABRAS CLAVE

Impresión 3D.

FDM. Fused Deposition Modeling

Componentes Impresora 3D.

Proceso de impresión 3D.

Mejoras de proceso.

Ayuda técnica.

Soluciones impresión 3D.

Problemas de impresión 3D.

Caracterización de filamento.

Calibración.

ABSTRACT

Making a correct printing can often be complicated, especially for people who are just starting out in the world of 3D printing.

There is a wide variety of concepts and knowledge difficult to command, which usually require a high experience in printing to master. This optimization guide will therefore work as mandatory reading for those initiating in this field and as a helping and consulting guide in order to debug errors in the printings for the already advanced ones. In many cases, the high customization does not make the prototyping trial error process profitable and it is necessary to obtain the best result with the minimum number of attempts. This is because every mistake implies costs and loss of both material and time, just like in any other productive process.

Due to the mentioned reasons, we will be studying what FDM printing consists of, the most important components of printers and their influence, typical materials, how to print them and their usefulness, and finally, different methods to improve printing and to avoid the typical errors.

KEYWORDS

3D print.

FDM. Fused Deposition Modeling

3D printer components.

3D printing process.

Process improvements.

Technical support.

3D printing solutions.

3D printing problems.

Filament characterization.

Calibration.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
CAPÍTULO 2.	INTRODUCCIÓN A LA IMPRESIÓN 3D.....	3
2.1.	BREVE HISTORIA DE LA IMPRESIÓN 3D.....	4
2.1.1.	HECHOS DESTACABLES EN LA IMPRESIÓN 3D	4
2.2.	AVANCES EN LA INGENIERÍA.....	6
2.3.	MEJORAS EN LA IMPRESIÓN 3D.....	7
2.4.	COMPARACIÓN CON EL MECANIZADO CNC	8
CAPÍTULO 3.	IMPRESIÓN 3D POR FDM	11
3.1.	FUNCIONAMIENTO DE LA IMPRESIÓN 3D POR DEPOSICIÓN FUNDIDA	11
3.2.	OTROS MÉTODOS DE IMPRESIÓN 3D	12
3.2.1.	FOTOPOLIMERIZACIÓN	12
3.2.2.	FUSIÓN DE LECHO DE POLVO.....	14
3.2.3.	INYECCIÓN DE MATERIAL.....	16
3.2.4.	LAMINACIÓN DE HOJAS	17
3.2.5.	DEPOSICIÓN DIRECTA DE ENERGÍA.....	18
CAPÍTULO 4.	COMPONENTES DE UNA IMPRESORA 3D FDM Y SU INFLUENCIA	21
4.1.	ESTRUCTURA.....	22
4.1.1.	DEFECTOS DE UNA ESTRUCTURA DÉBIL.....	22
4.1.2.	TIPOS DE ESTRUCTURAS	23
4.1.3.	BASE O CAMA.....	25
4.1.3.1.	CAMA DE VIDRIO.....	25
4.1.3.2.	CAMA DE METAL.....	26
4.1.3.3.	OTROS AÑADIDOS.....	27
4.1.3.3.1.	CAMA CALIENTE	27
4.1.3.3.2.	CAMA FLEXIBLE MAGNETICA.....	28
4.2.	EXTRUSIÓN.....	29
4.2.1.	ZONA DE ALIMENTACIÓN	29
4.2.1.1.	ENGRANAJE Y MOTOR DE EMPUJE	30
4.2.1.2.	TIPO DE ALIMENTACIÓN	31
4.2.1.2.1.	DIRECTA	31
4.2.1.2.2.	BOWDEN	32
4.2.2.	ZONA ENFRIAMIENTO DEL EXTRUSOR.....	33

4.2.2.1.	DISIPADOR Y VENTILADOR	33
4.2.2.2.	BARREL, GARGANTA O BARRERA TÉRMICA	33
4.2.3.	ZONA CALENTAMIENTO DEL EXTRUSOR O FUSOR	36
4.2.3.1.	BLOQUE CALENTADOR	36
4.2.3.2.	NOZZLE O BOQUILLA	37
4.3.	MECÁNICA	39
4.3.1.	TIPO DE MOVIMIENTO	39
4.3.1.1.	CARTESIANAS	39
4.3.1.2.	CORE-XY	40
4.3.1.3.	DELTA	41
4.3.2.	CORREAS Y POLEAS	42
4.3.3.	VARILLAS	43
4.3.4.	RODAMIENTOS	43
CAPÍTULO 5.	MATERIALES UTILIZADOS EN FDM	45
5.1.	CONSIDERACIONES INICIALES	45
5.2.	PLA	46
5.2.1.	COMO IMPRIMIR PLA	46
5.2.2.	VENTAJAS Y LIMITACIONES	47
5.2.3.	APLICACIONES	47
5.3.	ABS	48
5.3.1.	COMO IMPRIMIR ABS	48
5.3.2.	VENTAJAS Y LIMITACIONES	49
5.3.3.	APLICACIONES	49
5.4.	ASA	50
5.4.1.	COMO IMPRIMIR ASA	50
5.4.2.	VENTAJAS Y LIMITACIONES	51
5.4.3.	APLICACIONES	51
5.5.	PET y PETG	52
5.5.1.	COMO IMPRIMIR PETG	52
5.5.2.	VENTAJAS Y LIMITACIONES	53
5.5.3.	APLICACIONES	53
5.6.	PVA	54
5.6.1.	COMO IMPRIMIR PVA	54
5.6.2.	VENTAJAS Y LIMITACIONES	55

5.6.3.	APLICACIONES.....	55
5.7.	OTROS MATERIALES DE IMPRESIÓN	56
5.7.1.	TERMOPLÁSTICOS DE ALTO RENDIMIENTO.....	56
5.7.2.	MATERIALES FLEXIBLES.....	56
5.7.3.	FIBRAS DE CARBONO	57
5.7.4.	MATERIALES HÍBRIDOS	57
5.7.5.	LOS MATERIALES SOLUBLES.....	58
CAPÍTULO 6.	PROCESO DE IMPRESIÓN 3D	59
6.1.	DISEÑO EN CAD.....	59
6.1.1.	CONSEJOS PARA EL MODELADO 3D.....	59
6.1.2.	DIGITALIZADO 3D	60
6.2.	OBTENER EL STL	61
6.2.1.	EXPORTAR A STL.....	62
6.3.	SEGMENTADOR Y PARÁMETROS DE IMPRESIÓN	63
6.3.1.	VELOCIDAD DE IMPRESIÓN.....	64
6.3.2.	TEMPERATURA DE IMPRESIÓN	66
6.3.3.	ALTURA DE CAPA.....	66
6.3.4.	ORIENTACIÓN DE LA PIEZA	67
6.4.	SEGMENTAR Y GENERAR GCODE A PARTIR DEL STL.....	69
6.4.1.	G-CODE.....	69
6.5.	IMPRIMIR Y RETIRAR LAS PIEZAS DE LA IMPRESIÓN	71
6.6.	POSTPROCESADO.....	72
6.6.1.	LIJADO	72
6.6.2.	PULIDO	73
6.6.3.	RECUBRIMIENTO DE EPOXI	73
6.6.4.	SUAVIZADO CON ACETONA	74
6.6.5.	IMPRIMACIÓN.....	74
6.6.6.	HIDROIMPRESIÓN	75
6.6.7.	UNIÓN	75
CAPÍTULO 7.	PROBLEMAS Y DEFECTOS MÁS COMUNES EN LA IMPRESIÓN 3D	77
7.1.	ATASCOS DEL EXTRUSOR	77
7.1.1.	DESATASCAR EL EXTRUSOR.....	79
7.2.	AJUSTE Y NIVELADO DE LA CAMA.....	80
7.3.	WARPING O PANDEO.....	81

7.4.	CRACKING O DELAMINACIÓN	83
7.5.	LAYER SHIFT O DESPLAZAMIENTO DE CAPAS.....	84
7.6.	Z-WOBBLE O BAMBOLEO EN Z.....	85
7.7.	STRINGING O HILOS.....	86
7.8.	OVERHEATING, CURLING O SOBRECALENTAMIENTO.....	87
7.9.	EL PIE DE ELEFANTE.....	88
7.10.	GHOSTING, RINGING O VIBRACIONES.....	89
CAPÍTULO 8.	MÉTODOS PARA MEJORAR LA IMPRESIÓN 3D.....	91
8.1.	TEST DE TEMPERATURA	91
8.1.1.	CUÁNDO REALIZAR UN TEST DE TEMPERATURA.	91
8.1.2.	DEFECTOS QUE PUEDE PROVOCAR UN MAL AJUSTE DE LA TEMPERATURA DE EXTRUSIÓN.....	92
8.1.3.	DETERMINAR LA TEMPERATURA DE EXTRUSIÓN	93
8.1.3.1.	PRIMER PASO: MODELO DEL TEST	93
8.1.3.2.	SEGUNDO PASO: ESTABLECER LOS PARÁMETROS DE IMPRESIÓN ...	95
8.1.3.3.	TERCER PASO: MODIFICAR EL GCODE PARA QUE CAMBIE LA TEMPERATURA CON LA ALTURA.....	96
8.1.3.4.	CUARTO PASO: IMPRESIÓN Y ELECCIÓN DE LA TEMPERATURA ÓPTIMA DE IMPRESIÓN.....	100
8.2.	CALIBRACIÓN DE PASOS DE LA IMPRESORA	101
8.2.1.	RESTRICCIONES PARA REALIZAR LA CALIBRACIÓN.....	101
8.2.2.	CUÁNDO REALIZAR CALIBRACIÓN DE PASOS.....	102
8.2.3.	ALGUNOS DEFECTOS QUE PUEDE PROVOCAR UNA MALA CALIBRACIÓN DE LOS MOTORES.....	102
8.2.4.	DETERMINAR LOS PASOS DEL MOTOR.....	104
8.2.4.1.	PRIMER PASO: CONECTAR LA IMPRESORA AL ORDENADOR MEDIANTE PRONTERFACE.....	104
8.2.4.2.	SEGUNDO PASO: OBTENER LOS PARÁMETROS DE IMPRESIÓN.....	105
8.2.4.3.	TERCER PASO: CANTIDAD EXTRUIDA Y DISTANCIA RECORRIDA	106
8.2.4.4.	CUARTO PASO: CALCULAR Y MODIFICAR LOS PASOS/MM.....	107
8.3.	TEST FLUJO DE MATERIAL	108
8.3.1.	CUÁNDO REALIZAR UN TEST DE FLUJO	108
8.3.2.	DEFECTOS ORIGINADOS A UN MAL CALIBRADO DEL FLUJO	108
8.3.3.	DETERMINAR EL FLUJO DE EXTRUSIÓN.....	110
8.3.3.1.	PRIMER PASO: MODELO DEL TEST	110
8.3.3.2.	SEGUNDO PASO: PARÁMETROS DE IMPRESIÓN	111

8.3.3.3.	TERCER PASO: IMPRESIÓN Y CÁLCULO DEL FLUJO	111
8.4.	TEST DE LINEAR ADVANCE	112
8.4.1.	CUÁNDO REALIZAR UN TEST DE LINEAR ADVANCE	113
8.4.2.	DEFECTOS QUE PUEDE PROVOCAR UNA MALA CALIBRACIÓN DE LINEAR ADVANCE.....	114
8.4.3.	DETERMINAR PARÁMETRO DE LINEAR ADVANCE	115
8.4.3.1.	PRIMER PASO: OBTENER EL GCODE.....	115
8.4.3.2.	SEGUNDO PASO: IMPRESIÓN Y ELECCIÓN DEL FACTOR K	118
8.4.3.3.	TERCER PASO: AÑADIR EL FACTOR K A LA IMPRESIÓN.....	119
8.5.	TEST DE EXPANSIÓN HORIZONTAL	121
8.5.1.	CUANDO REALIZAR UN TEST EXPANSIÓN HORIZONTAL.....	122
8.5.2.	DEFECTOS QUE PUEDE PROVOCAR UNA MALA CALIBRACIÓN DE LA EXPANSIÓN HORIZONTAL	122
8.5.3.	DETERMINAR EL VALOR DE EXPANSIÓN HORIZONTAL.....	123
8.5.3.1.	PRIMER PASO: MODELO DEL TEST	123
8.5.3.2.	SEGUNDO PASO: PARÁMETROS DE IMPRESIÓN.....	124
8.5.3.3.	TERCER PASO: IMPRESIÓN Y OBTENCIÓN DEL PARÁMETRO DE EXPANSIÓN HORIZONTAL	124
CAPÍTULO 9.	MANTENIMIENTO DE LA IMPRESORA.....	127
9.1.	CONSEJOS DE MANTENIMIENTO	127
9.2.	DIARIO.....	127
9.3.	SEMANAL	128
9.4.	MENSUAL	128
9.5.	TRIMESTRAL.....	128
CAPÍTULO 10.	CONCLUSIONES	129
	BIBLIOGRAFÍA.....	131
ANEXO 1.	COMANDOS G-CODE.....	135
A.1.	COMANDOS GEOMETRICOS: G	135
A.2.	COMANDOS MISCELÁNEOS: M.....	136

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 – Impresión 3D frente a mecanizado CNC	8
Ilustración 2 – Proceso de fotopolimerización	12
Ilustración 3 – Fotopolimerización	12
Ilustración 4 – Proceso de fusión de lecho de polvo	14
Ilustración 5 – Fusión de lecho de polvo	14
Ilustración 6 – Proceso de inyección de material	16
Ilustración 7 – Laminación de hojas.....	17
Ilustración 8 – Deposición directa de energía	18
Ilustración 9 – Componentes de una impresora 3D	21
Ilustración 10 – Estructura de perfiles de aluminio.....	23
Ilustración 11 – Estructura de corte por láser	24
Ilustración 12 – Ultimaker 2+ y Extended+	24
Ilustración 13 – Cama de vidrio	25
Ilustración 14 – Cama de metal magnética flexible.....	26
Ilustración 15 – Izquierda: Silicona. Derecha: PCB	27
Ilustración 16 – Cama magnética flexible.....	28
Ilustración 17 – Componentes de un extrusor	29
Ilustración 18 – Extrusor engranaje doble MK8	30
Ilustración 19 – Extrusor engranaje simple MK8.....	30
Ilustración 20 – Tipos de alimentación: Izquierda directa. Derecha bowden	31
Ilustración 21 – Extrusor directo.....	31
Ilustración 22 – Impresora tipo bowden Ender-3 Pro	32
Ilustración 23 – Disipador y ventilador.....	33
Ilustración 24 – Barrel All metal Acero y Titanio	34
Ilustración 25 – Barrel PTFE y Bimetal.....	35
Ilustración 26 – Cartucho calentador	36
Ilustración 27 – Bloque calefactor aluminio y bronce	36
Ilustración 28 – Boquilla de latón y acero inoxidable.....	37
Ilustración 29 – Boquilla de acero endurecido	38
Ilustración 30 – Boquilla de punta de rubí.....	38
Ilustración 31 – Impresoras cartesianas	39
Ilustración 32 – Impresora CoreXY DIY	40
Ilustración 33 – Impresora Delta	41
Ilustración 34 – Correa y pulea GT2.....	42
Ilustración 35 – Rodamientos y varillas	43
Ilustración 36 – Ejemplo PVA como soporte	54
Ilustración 38 – Exportar STL en Autodesk Inventor	62
Ilustración 39 – Exportar STL opciones de exportación.....	62
Ilustración 40 – Variedad de velocidades de impresión.....	65
Ilustración 41 – Alturas de capa.....	66
Ilustración 42 – Forma del modelo Y H T	67
Ilustración 43 – Fuerza y orientación.....	68
Ilustración 44 – Litofanía (mejor resolución en Z)	68

Ilustración 45 – Generar GCode	69
Ilustración 46 – Retirar la impresión de la cama	71
Ilustración 47 – Postprocesado por lijado	72
Ilustración 48 – Postprocesado por vibración con abrasivo.....	73
Ilustración 49 – Postprocesado por recubrimiento de epoxi	73
Ilustración 50 – Postprocesado con acetona.....	74
Ilustración 51 – Postprocesado con imprimación	74
Ilustración 52 – Postprocesado por hidroimpresión	75
Ilustración 53 – Postprocesado unión por soldadura.....	75
Ilustración 54 – Atasco grave del extrusor.	77
Ilustración 55 – Desatascar extrusor, introducir aguja en el nozzle.....	79
Ilustración 56 – Altura cama extrusor: alta, correcta y baja.	80
Ilustración 57 – Warping o pandeo.	81
Ilustración 58 – Brim o borde en Cura.....	82
Ilustración 59 – Círculos de mejora de adherencia	82
Ilustración 60 – Cerramiento de impresora	82
Ilustración 61 – Cracking o delaminación.....	83
Ilustración 62 – Layer shift o desplazamiento de capas.....	84
Ilustración 63 – Z-wobble o bamboleo en z	85
Ilustración 64 – Modelo y ejemplo de stringing.....	86
Ilustración 65 – Efectos del Sobrecalentamiento u Overheating.....	87
Ilustración 66 – Efectos del Sobrecalentamiento u Overheating.....	87
Ilustración 67 – Pie de elefante	88
Ilustración 68 – Altura cama extrusor: alta, correcta y baja	88
Ilustración 69 – Ghosting o ringing.....	89
Ilustración 70 – Efectos de temperatura de extrusión baja. Cracking y Warping.....	92
Ilustración 71 – Efectos del Sobrecalentamiento u Overheating.....	92
Ilustración 72 – Test temperatura descargado de internet	94
Ilustración 73 – Test temperatura propio	94
Ilustración 74 – Modificar GCode Cura	96
Ilustración 75 – Complemento de posprocesamiento Cura.....	96
Ilustración 76 – Primer cambio de temperatura del modelo de internet.....	98
Ilustración 77 – Último cambio de temperatura del modelo de internet.....	99
Ilustración 78 – Icono de modificaciones en el GCode. Cura	99
Ilustración 79 – Motor paso a paso (Stepper).....	101
Ilustración 80 – Fallo por exceso de material.....	102
Ilustración 81 – Fallo por falta de material	103
Ilustración 82 – Mala precisión dimensional.....	103
Ilustración 83 – Pronterface: Puerto y Baudios de conexión	104
Ilustración 84 – Administrador de dispositivos / Puertos (COM y LPT)	105
Ilustración 85 – Fallo por flujo de extrusión alto.....	109
Ilustración 86 – Fallo por flujo de extrusión bajo en pared fina.	109
Ilustración 87 – Fallo por flujo de extrusión bajo en capa superior.	109
Ilustración 88 – Previsualización test flujo y parámetros de impresión.....	110
Ilustración 89 – Flujo en función de la velocidad	112
Ilustración 90 – Mala calibración avance lineal, defecto en las esquinas	114

Ilustración 91 – Aparición de ghosting con avance lineal desactivado	114
Ilustración 92 – Parámetros de la impresora Avance Lineal	115
Ilustración 93 – Parámetros de la cama Avance Lineal	116
Ilustración 94 – Parámetros de la velocidad Avance Lineal.....	116
Ilustración 95 – Parámetros del patrón Avance Lineal.....	117
Ilustración 96 – Parámetros avanzados Avance Lineal.....	117
Ilustración 97 – Modelo esquemático de Avance lineal.....	118
Ilustración 98 – Efectos de la velocidad de impresión en el flujo	119
Ilustración 99 – Ejemplo de GCode inicial y final en Cura	120
Ilustración 100 – Expansión horizontal: excesiva, correcta, insuficiente	122
Ilustración 101 – Ejemplo de modelo test expansión horizontal	123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 – Velocidades de impresión.	65
Tabla 2 – Efectos de variar la temperatura de extrusión.....	66
Tabla 3 – Torre de temperatura. Variación de la temperatura con la altura.	98
Tabla 4 – Dimensiones test de flujo.....	111
Tabla 5 – Ejemplos de coeficientes de dilatación térmica.....	121
Tabla 6 – Ejemplos de Contracción de moldeo.....	121

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 – Cálculo de pasos por milímetro	107
Ecuación 2 – Cálculo del flujo de impresión	112
Ecuación 3 – Cálculo de la expansión horizontal	124

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En estos días la impresión 3D está en crecimiento y gracias a esta tecnología novedosa podemos obtener objetos muy personalizados de una manera relativamente rápida y muy económica, esta personalización suple el aumento de tiempo de fabricación pudiendo obtener objetos muy similares pero que se adapten completamente a cada usuario.

Pero este proceso todavía requiere mucho conocimiento y para realizar impresiones perfectas en el primer intento requiere de una gran experiencia y conocimientos tanto de diseño, como de impresión y de la impresora a utilizar.

El objetivo fundamental es evitar el proceso de prueba y error en la fabricación de los elementos personalizados. Para ello nos centraremos en conocer cómo debemos imprimir mediante los siguientes campos:

- Conocer las propiedades del material de impresión, cómo debemos imprimirlo y en qué casos es conveniente cada material.
- Conocer todos componentes de las impresoras y su relevancia en la impresión.
- Conocer los principales errores de impresión para poder evitarlos o solucionarlos rápidamente en caso de aparición.
- Caracterización de los materiales y parámetros de impresión para configurar y calibrar la impresora para realizar una impresión perfecta.

Una vez que sigamos todos estos pasos, conseguiremos mejorar la calidad de nuestras impresiones y evitaremos tener que realizar varias impresiones hasta encontrar la impresión perfecta, reduciendo tanto los costes por el gasto de material, como el tiempo que perdemos en realizar todos esos intentos fallidos.

CAPÍTULO 2. INTRODUCCIÓN A LA IMPRESIÓN 3D

La tecnología de impresión 3D, conocida también como fabricación aditiva, podría considerarse emparentada con las tecnologías de mecanizado mediante control numérico, ya que, como ellas, utiliza un sistema informático para controlar los movimientos de una herramienta de trabajo, en un sistema de coordenadas X (anchura), Y (longitud) y Z (altura). Sin embargo, al contrario que estas, donde un torno o fresadora realiza incisiones (una tecnología sustractiva) o en una forja donde se deforma el material (siendo por tanto una tecnología de deformación), en el caso de la impresión 3D se realiza una superposición de capas sucesivas de material, en la que cada capa constituye una sección transversal del objeto a fabricar, siguiendo un patrón establecido en un archivo digital en formato STL, de forma similar a como lo haría, en dos dimensiones, una impresora de inyección de tinta.

Una impresora 3D es un sistema capaz de realizar réplicas físicas de diseños 3D, de esta forma se crean piezas o reproducciones volumétricas a partir de un diseño hecho por ordenador u obtenido a partir de un escáner 3D. Tradicionalmente se venían utilizando para el prototipado de piezas o componentes con el fin de realizar pruebas de control y validez de nuevos diseños antes de su fabricación final. En la actualidad, se está extendiendo su uso en la fabricación de todo tipo de objetos, modelos para vaciado, piezas de estructuras complejas, prótesis e instrumental médico, realización de tiradas cortas en la fabricación de utillaje, elementos mecánicos o productos de consumo.

Podemos definir las tecnologías de fabricación aditiva dentro de las siguientes familias:

- Fotopolimerización
- Fusión de lecho de polvo
- Inyección de aglutinante (Binder Jetting)
- Laminación de hojas
- Extrusión de material
- Deposición directa de energía (DED)

2.1. BREVE HISTORIA DE LA IMPRESIÓN 3D

En 1981, Hideo Kodama, del Instituto Municipal de Investigaciones Industriales de Nagoya, inventó dos métodos de fabricación aditiva de un modelo de plástico tridimensional a partir del uso de un polímero fotoendurecible en el que el área de exposición a los rayos UV era controlada por un patrón de máscara o transmisor de fibra de barrido.

Tres años después, en 1984, Chuck Hull (3D Systems) en EEUU presenta la primera patente de un proceso de fabricación aditiva en el que se añadían capas mediante el curado de fotopolímeros con láseres de rayos ultravioleta, denominado como estereolitografía, y tan solo dos semanas después Alain Le Méhauté, Olivier de Witte y Jean Claude André presentaron su propia patente en Francia para un proceso muy similar finalmente denominado con el mismo nombre, aunque la aplicación de los inventores franceses fue abandonada por la compañía General Electric francesa aduciendo "falta de perspectiva empresarial".

La principal contribución de Hull fue el diseño del formato de archivo STL ampliamente aceptado por el software de impresión 3D, así como las estrategias digitales de corte y relleno comunes a muchos procesos actuales.

2.1.1. HECHOS DESTACABLES EN LA IMPRESIÓN 3D

- **1987** - Car/ Deckard desarrolla el sistema de impresión de sinterización selectiva por láser (SLS)
- **1988** - Scott Crump inventa el modelado por deposición fundida (FDM)
- **1988** - Desarrollada finalmente a través la marca 3D Systems, la estereolitografía (SLA) de Chuck Hill sale al mercado.
- **1989** - Se concede la patente del SLS. Scott Crump funda Stratasys Hans Langer funda EOS GmbH.
- **1990** - EOS vende su primer sistema de Stereos, una variante de la estereolitografía patentado por la marca.
- **1992** - Stratasys consigue la patente de su tecnología FDM
- **1996** - Z-Corporation (Adquirida posteriormente por 3D Systems) saca a la venta su tecnología 3DP, ahora conocida como Color Jet Printing.

- **1999** - El Instituto de Medicina Regenerativa de la Universidad de Wake Forrest implanta en humanos los primeros órganos modificados por medio de implantes arteriales impresos en 3D y cubiertos con células del paciente.
- **2002** - El Instituto de Medicina Regenerativa de la Universidad de Wake Forrest imprime el primer órgano en 3D: un riñón completamente funcional.
- **2005** - El Dr. Adrian Bowyer funda Rep Rap una iniciativa open-source para crear una impresora 3D que pudiera imprimir sus propias piezas.
- **2006** - El proyecto Fab@Home, de la Universidad Comen presenta la primera impresora 3D de código abierto (más tarde conocido como Open Source Hardware).
- **2007** - Sale a la venta el primer sistema SLA de impresión profesional por menos de 10.000€ con el modelo 1000 de 3D Systems.
- **2008** - Se desarrolla la primera prótesis de pierna impresa en 3D con tecnología SLS.
- **2009** - Sale al mercado la primera impresora 3D comercializada en forma de kit la cual se basa en la filosofía Rep-Rap. En ese momento, solo unos cientos de personas en todo el mundo se interesaron por esta nueva forma de construir impresoras que iba a revolucionar el sector.
- **2010** - La empresa Organovo (compañía de medicina regenerativa) se centra en la tecnología de bioimpresión anunciando la publicación de datos sobre los primeros vasos sanguíneos completamente impresos.
- **2011** - La Universidad de Southampton fabrica el primer avión no tripulado impreso en 3D.
- **2013** - Defense Distributed saca a la luz la primera pistola imprimible en 3D la Liberator, hito que convulsiona al sector de la impresión 3D centrandolo todos los medios de comunicación en las posibilidades y peligros del mismo.
- **2014** - Winsun Decoration Design Engineering Co. difunde su sistema Atlas de impresión 3D, capaz de construir casas.

2.2. AVANCES EN LA INGENIERÍA

La impresión 3D está teniendo mucho impacto en la ingeniería en la última década, veremos algunos de los avances más destacados que ha supuesto la impresión 3D en la ingeniería.

Hoy en día es bastante habitual encontrar la impresión 3D como solución en algunas fases de producción y su mejora de rendimiento está creciendo a una buena velocidad por lo que este método se está extendiendo cada vez más rápido. Aunque la principal aplicación en ingeniería y diseño de la impresión 3D es el prototipado rápido que permite acortar los plazos, gracias a la capacidad de autosuficiencia que permite, la customización, la velocidad y flexibilidad del prototipado y de la asequibilidad de la producción de pequeñas producciones son las razones las cuales la impresión 3D se está adaptando a muchos procesos productivos sobre todo los relacionados con diseño e ingeniería.

Por todo lo anterior la impresión 3D está ganando mucha popularidad y a medida que crece también aumenta su demanda de clientes, haciendo más atractiva la impresión 3D para ser acogida por nuevas empresas que aún no se han decidido a dar el paso.

La proyección de estos en estos sectores todavía tiene mucho margen de mejora permitiendo que podamos encontrar muchas consultoras especializadas en impresión 3D que nos pueden guiar en los procesos de implantación y darnos servicios como:

- Identificación precisa de los mapas del flujo de valor.
- Inmersión profunda para entender las distintas metodologías posibles en un nuevo proyecto o producto.
- Análisis sobre aceleración y simplificación del desarrollo y ejecución de un proyecto.
- Detección y estudio de ventanas de oportunidades.
- Mejora de productos reduciendo al máximo la obsolescencia.

Por todo esto, es un hecho que la ingeniería se está viendo impulsada e incluso revolucionada por la impresión 3D, principalmente debido a todo lo que la fabricación aditiva puede aportar.

2.3. MEJORAS EN LA IMPRESIÓN 3D

La impresión 3D está creciendo a una gran velocidad y está ganando mucha popularidad, esto es debido a que todavía no hemos obtenido el máximo rendimiento en su aplicación,

Como podemos comprobar, en los últimos años sus avances han mejorado mucho este proceso:

- 250 materiales: tenemos una gran gamma de materiales para poder imprimir con diferentes colores, características. Dependiendo del método de impresión podemos encontrar muchos otros materiales como: metales, cerámica, vidrio, caucho, cuero, células madre e incluso chocolate y otros alimentos.
- 100 veces más rápido: Recientemente, los innovadores métodos de estereolitografía han logrado producir formas complejas a una velocidad hasta 100 veces superior a la de las impresoras 3D tradicionales. A partir de un lecho de resina líquida fotoreactiva, se ha descubierto que la aplicación de diferentes longitudes de onda de luz endurece selectivamente la resina a medida que se libera, logrando así una impresión continua, y eliminando la estratificación incremental.
- 90 % de eficiencia de material: la fabricación aditiva supone unos costes económicos y medioambientales prometedores, ya que elimina enormes cantidades de residuos como consecuencia de que los requisitos de materia prima se reducen hasta en un 90 %.

Veamos ahora que mejoras podremos encontrarnos en la siguiente década gracias a la impresión 3D:

- Las velocidades de impresión en 3D aumentarán entre 50 y 100 veces. El MIT ha creado recientemente una impresora 3 veces más rápida que un sistema de escala industrial de 100.000 dólares.
- Se están construyendo barrios impresos en 3D sostenibles y asequibles, que son una alternativa barata y respetuosa con el medio ambiente.
- Filetes y hamburguesas impresas en 3D en restaurantes, gracias a la carne impresa usando proteínas vegetales.
- Las impresoras 3D de metal superarán a los plásticos, sobre todo gracias a la optimización de la estructura y su peso reducido, lo que es muy conveniente en aviación, automoción y en joyería.

2.4. COMPARACIÓN CON EL MECANIZADO CNC

Aunque el mecanizado y la impresión son procesos muy diferentes el objetivo que buscan es el mismo, hoy en día el proceso de mecanizado CNC está mucho más consolidado y está mucho más optimizado a la hora de fabricación de mayores cantidades.

La gran diferencia entre los dos procesos consiste en que la impresión 3D obtiene los objetos mediante fabricación aditiva es decir añadiendo material, mientras que el mecanizado CNC lo realiza mediante la sustracción de material, por tanto, las pérdidas de material son mayores en este caso.

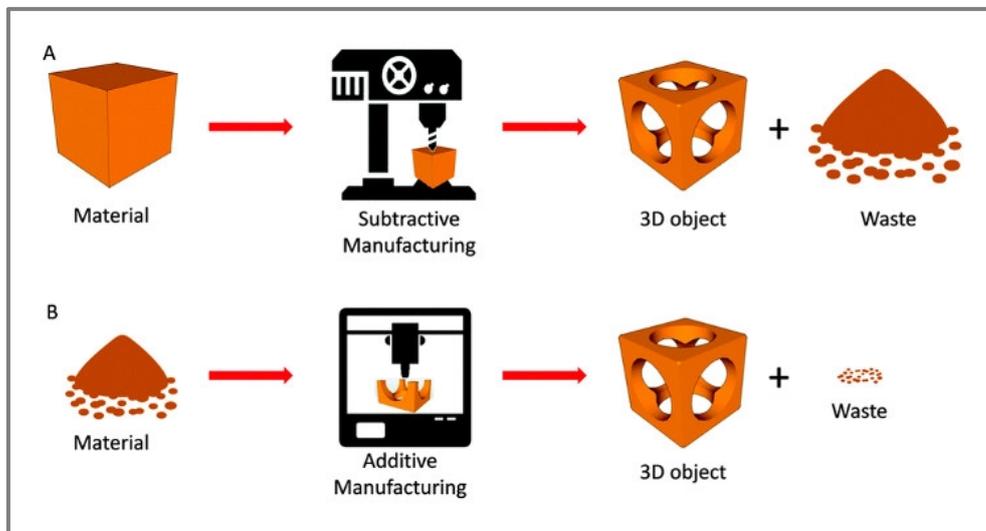


Ilustración 1 – Impresión 3D frente a mecanizado CNC

Veamos a grandes rasgos las características del mecanizado CNC frente a lo visto anteriormente de la impresión 3D:

- Obtención del modelo mediante sustracción del material. Lo que nos deja mayor cantidad de material como residuo, mientras que la impresión al ser por adición de material el residuo es mínimo, optimizando mucho mejor los recursos.
- Resultado final más fiel al modelo. Aunque dependiendo de la impresora se pueden obtener acabados muy similares.
- Proceso más optimizado que permite producciones mayores. La impresión 3D es un proceso relativamente nuevo y las velocidades de fabricación todavía son muy reducidas.
- No tiene tantas limitaciones de tamaño como la impresión 3D.

- Amplia variedad de materiales (plásticos ABS, nylon, PC, PMMA, PP, POM y PEEK hasta aluminio y otros metales como titanio, latón, acero inoxidable o aleación de magnesio.
- Complejidad de uso, no es apto para todos los usuarios
- El coste, es ligeramente superior al de la impresión 3D estándar, aunque todo depende de la calidad que busquemos en ambos casos y de las funcionalidades extras que implantemos.

Vistas estas características podemos decir que la cantidad, el tamaño y el coste son los principales factores a sopesar para elegir un proceso de fabricación de cara a un proceso más industrial.

En cuanto a nivel local y más personalizado el mecanizado CNC contaría con una mayor precisión y tolerancias, pero la diferencia puede llegar a ser mínima en algunos casos. Además, la impresión 3D permite la fabricación de piezas mucho más complejas y personalizadas. Por tanto, si necesitamos funcionalidad de material buscaremos el mecanizado CNC y si necesitamos obtener una pieza complicada y personalizada nos decantaremos por la impresión 3D.

Debido a la cada vez más alta exigencia, se buscan formas de combinar ambos procesos. En este caso, unir la flexibilidad de la impresión 3D y la precisión del mecanizado CNC hace que el resultado final sea un producto de mayor calidad.

En conclusión, ambos métodos son igual de competentes y válidos⁷ para obtener una pieza personalizada y solo nos decantaremos entre un método u otro en función de nuestras necesidades.

Como en nuestro caso necesitaremos una alta personalización y un presupuesto reducido para un nivel usuario que no necesitamos una alta producción la impresión 3D es el más adecuado.

CAPÍTULO 3. IMPRESIÓN 3D POR FDM

Esta tecnología, más conocida como FDM de las siglas en inglés Fused Deposition Modeling (también FFF Fused Filament Fabrication), fue desarrollada por S. Scott Crump a finales de 1980 y comercializada en 1990 por Stratasys (EE.UU.). Otro año clave para esta tecnología es 2005, cuando el profesor Adrian Brower inició el proyecto RepRap, el movimiento mundial detrás de la auto-replicación de impresoras 3D de código abierto.

3.1. FUNCIONAMIENTO DE LA IMPRESIÓN 3D POR DEPOSICIÓN FUNDIDA

Esta técnica es considerada a menudo el método existente más sencillo. La tecnología de modelado por deposición fundida o FDM se basa en 3 elementos principales: una placa/cama de impresión en la que se imprime la pieza, una bobina de filamento que sirve como material de impresión y una cabeza de extrusión también llamada extrusor. En resumen, el filamento es succionado y fundido por el extrusor de la impresora 3D, que deposita el material de forma precisa capa por capa sobre la cama de impresión.

Quien dice «impresión 3D» dice «modelo 3D»: todo comienza con el diseño del objeto utilizando algún software CAD (como SolidWorks, TinkerCAD o Blender, por ejemplo). El archivo 3D resultante, en su mayoría en formato STL, se divide en varias capas utilizando un software denominado «slicer» (como Makerware, Cura o Repetier) en el que es posible seleccionar los distintos parámetros de la impresión. Una vez configurado todo, se puede iniciar.

La impresión 3D comienza cuando la máquina alcanza una temperatura alrededor de los 200°C, necesaria para la fusión del material. Entre los materiales de impresión 3D más populares en la deposición por fusión se encuentran el PLA (ácido poliláctico) y el ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno).

Una vez que se calienta la máquina, se extruye un filamento de material de 1,75 mm o 2,85 mm de diámetro sobre la plataforma a través de una boquilla que se mueve sobre 3 ejes X, Y e Z. La plataforma desciende un nivel con cada nueva capa aplicada, hasta que se imprime el objeto.

Durante la impresión, se pueden utilizar soportes para mejorar la calidad de ciertos modelos. Su función es apoyar las partes sobresalientes del modelo 3D, ya que hay ciertos modelos que sin apoyo es muy difícil que consigan ser impresos.

3.2. OTROS MÉTODOS DE IMPRESIÓN 3D

3.2.1. FOTOPOLIMERIZACIÓN

La fotopolimerización es una de las primeras tecnologías para impresión que aparecieron. Su funcionamiento básico consiste en un fotopolímero que es endurecido por capas mediante la polimerización provocada por la acción de luz.

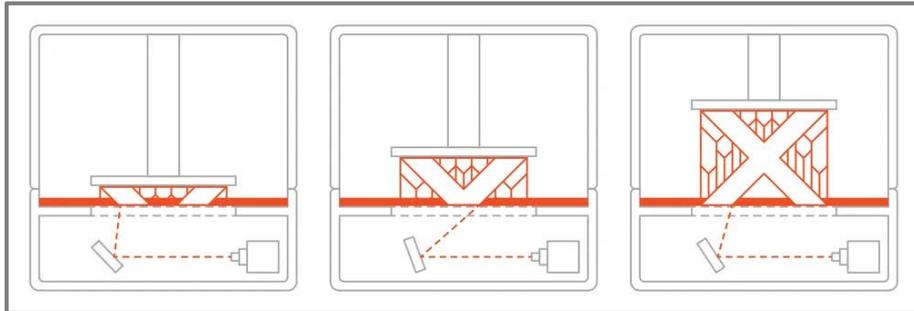


Ilustración 2 – Proceso de fotopolimerización

Encontramos 3 tipos de fotopolimerización: SLA (Stereolithography) o Estereolitografía, DLP (Digital Light Processing) o Fotopolimerización por Luz Ultravioleta, Fotopolimerización por absorción de fotones.

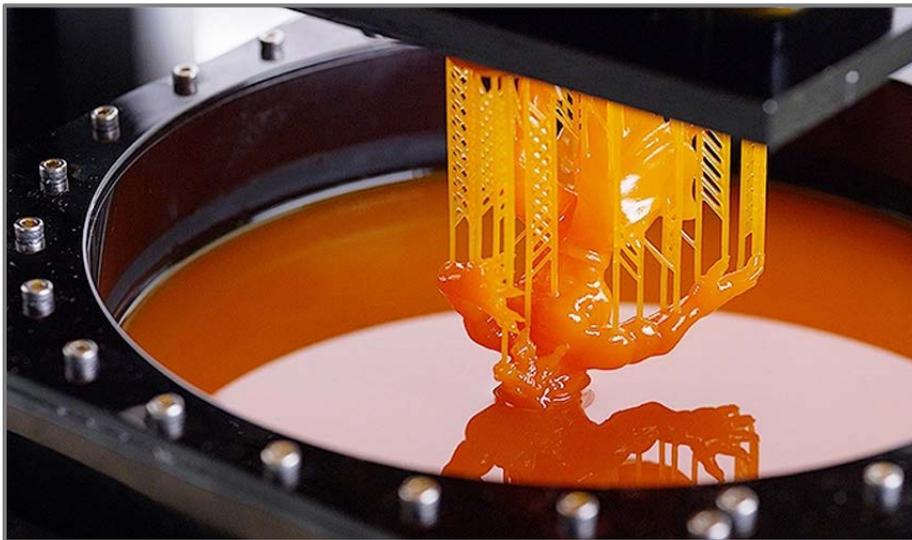


Ilustración 3 – Fotopolimerización

- **Estereolitografía (SLA o SL)**

La estereolitografía (SLA o SL), también conocida como fabricación óptica o foto-solidificación es una forma de tecnología de manufactura de impresión 3D utilizada para la producción de modelos, prototipos, patrones, o piezas definitivas. Es la técnica de prototipado y fabricación rápida más antigua.

- **Fotopolimerización por Luz Ultravioleta (DLP)**

En la fotopolimerización por luz ultravioleta, un recipiente de polímero líquido es expuesto a la luz de un proyector DLP (similar a los proyectores de vídeo convencionales) bajo condiciones controladas. El polímero líquido expuesto endurece; la placa de montaje se mueve hacia abajo en incrementos pequeños y el polímero es expuesto de nuevo a la luz. El proceso se repite hasta que el modelo es construido. El polímero líquido restante es entonces extraído del recipiente, dejando únicamente el modelo sólido.

- **Fotopolimerización por absorción de fotones**

Esta técnica de microfabricación 3D permite obtener modelos altamente precisos en escalas muy reducidas. Para ello, el objeto 3D deseado es trazado en un bloque de gel con un láser, posteriormente el gel es curado y se solidifica sólo en los lugares en donde el láser había incidido, esto se consigue debido a la no linealidad óptica de la fotoexcitación; después del proceso de láser, el gel restante es lavado. Esta técnica ofrece tamaños de menos de 100 nm siendo fácilmente fabricables tanto en estructuras complejas de partes móviles como en fijas. El uso más común de esta tecnología se debe a fines de investigación con nanopartículas, por lo que no supone una herramienta de fabricación común en industrias comunes

3.2.2. FUSIÓN DE LECHO DE POLVO

La tecnología de impresión 3D de Fusión de lecho de polvo (Powder Bed Fusion) consiste básicamente en una capa de polvo (del material con el que se desea construir) al cual se le aplica una fuente de energía térmica que funde con la forma programada capa a capa hasta formar el objeto deseado. Existen 5 procesos que usan la tecnología de fusión de lecho de polvo.

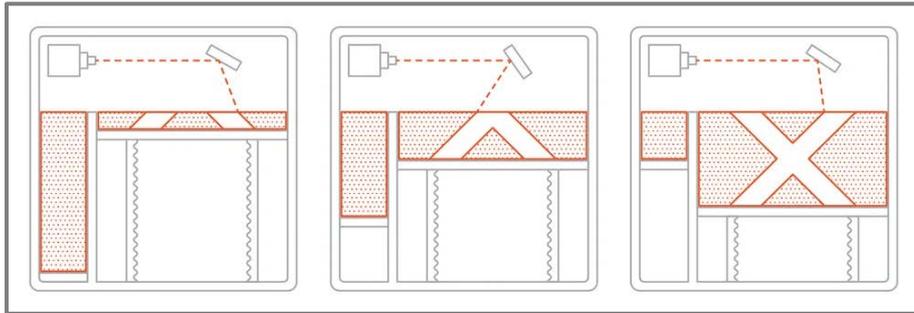


Ilustración 4 – Proceso de fusión de lecho de polvo

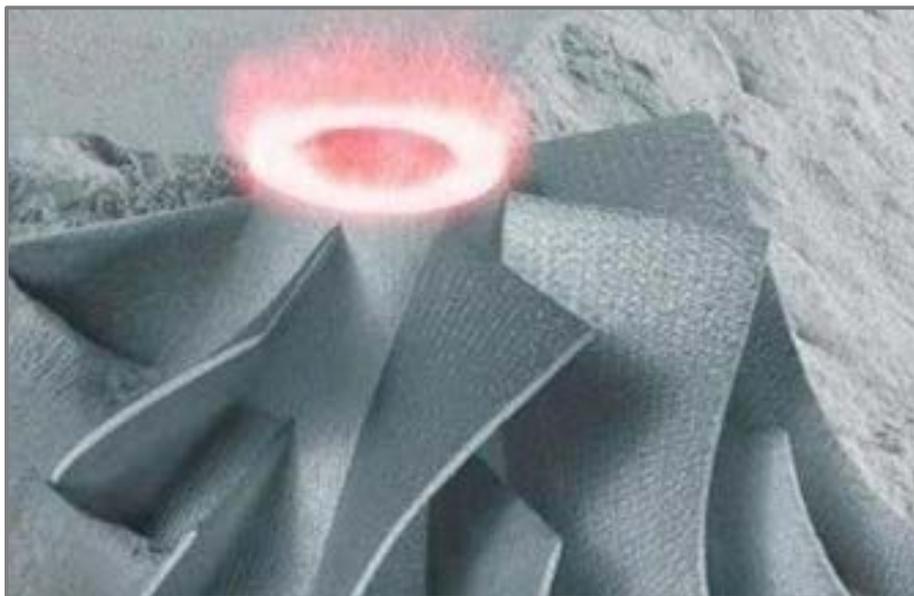


Ilustración 5 – Fusión de lecho de polvo

- **Fusión por haz de electrones (EBM)**

La fusión de haz por electrones (Electron Beam Melting o EBM) es una forma de fabricación aditiva que se clasifica como una técnica de fusión de cama de potencia que originalmente fue desarrollada y patentada por Arcam AB. La fusión por haz de electrones, para imprimir metal, utiliza un rayo de electrones como fuente de energía en lugar de un láser. El rayo de electrones funde el polvo de metal capa por capa en un alto vacío (para evitar porosidades y defectos logrando una fusión completa del polvo).

- **Sinterizado selectivo por láser (SLS)**

El sinterizado selectivo por láser (en inglés, Selective laser sintering, o SLS) es una técnica de adición de prototipado rápido en el cual se deposita una capa de polvo, de unas décimas de milímetro, en una cuba que se ha calentado a una temperatura ligeramente inferior al punto de fusión del polvo. Seguidamente un láser CO2 sinteriza el polvo en los puntos seleccionados (causando que las partículas se fusionen y solidifiquen).

Es un proceso continuo de gran flexibilidad que permite la conversión de una gran variedad de materiales. Por ejemplo, finos de mineral de hierro, polvos recolectados en filtros y otros materiales que contienen hierro, etc.

Se utiliza para pequeños volúmenes de piezas que requieran ser funcionales.

- **Fusión selectiva por láser (SLM)**

La fusión selectiva por láser es un proceso de fabricación aditiva donde, al igual que en todos los procesos de fusión de lecho de polvo, se crean piezas metálicas tridimensionales mediante la fusión de polvos metálicos finos juntos. En el caso del SLM, la energía la proporciona un haz de láser de alta potencia, generalmente de iterbio.

Aunque la norma ASTM F42 lo cataloga dentro de la categoría de "sinterización por láser", no parece apropiado catalogarlo así, ya que el proceso SLM "licua" completamente el metal en una masa homogénea, a diferencia de la sinterización selectiva por láser (SLS) o la sinterización de metal directa por láser (DMLS), que son verdaderos procesos de sinterización. Un proceso que sí es similar es el anteriormente visto de fusión de haz de electrones (EBM), aunque utiliza un haz de electrones como fuente de energía en lugar del láser de alta potencia.

3.2.3. INYECCIÓN DE MATERIAL

La Inyección de material o Material Jetting es la tecnología de impresión 3D o fabricación aditiva más parecida a la impresión de una impresora de inyección de tinta clásica. La marca 3D Systems es propietaria de la tecnología MJM (MultiJet Modeling), y la marca Stratasys comercializa Polyjet.

Consisten en un cabezal de impresión que se mueve inyectando un fotopolímero (material plástico reactivo a la luz), en lugar de tinta como en las impresoras tradicionales. Luces UV rodean el cabezal de impresión para endurecer el material después de ser inyectado.

Las impresoras que utilizan esta tecnología son capaces de imprimir con múltiples materiales en un solo trabajo. Los materiales pueden ser posicionados selectivamente en el modelo.

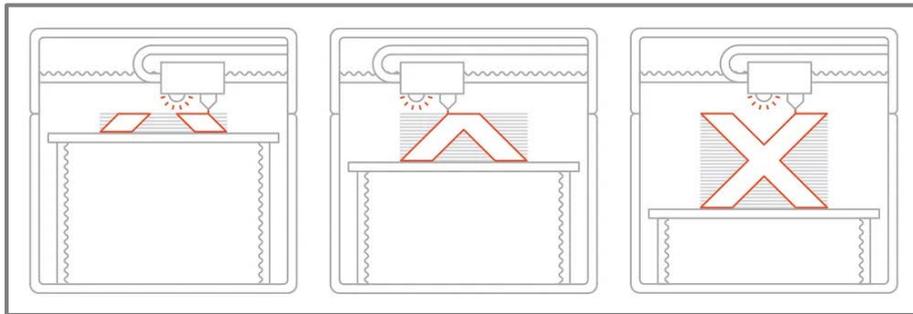


Ilustración 6 – Proceso de inyección de material

- **Modelado de Inyección Múltiple (MJM)**

Esta tecnología consiste en un cabezal de impresión que se mueve inyectando un fotopolímero y un material de soporte (cera). Una luz UV en el cabezal permite endurecer el material después de ser inyectado. Repitiendo este proceso, se imprime el objeto capa a capa.

3.2.4. LAMINACIÓN DE HOJAS

La Laminación de hojas o Sheet lamination es una tecnología de impresión 3D o fabricación aditiva que no necesita de altas temperaturas ni de cámaras de vacío para su funcionamiento. La tecnología consiste en ir colocando finas láminas de material (papel, plástico o incluso metal) que posteriormente son recortadas con la forma de la pieza por una fresadora o un láser de CO2. Existen dos procesos que usan esta tecnología: LOM (Laminated Object Manufacturing) y UC (Ultrasonic Consolidation).

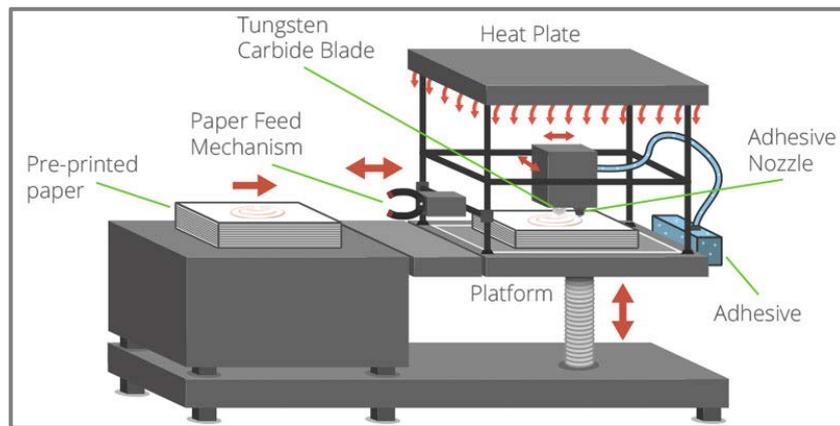


Ilustración 7 – Laminación de hojas

- **Consolidación por ultrasonidos (UC)**

Creada en 1999 por la empresa norteamericana Solidica, la consolidación ultrasónica (UC) es una técnica de fabricación aditiva basada en la soldadura ultrasónica de láminas metálicas. Esta técnica usa vibraciones ultrasónicas (típicamente 20.000 hz) que se aplican a las láminas de materiales metálicos -unidos bajo presión- para crear una soldadura de estado sólido. Una fresadora CNC realiza el contorno para crear la forma necesaria para cada capa.

- **Fabricación mediante laminado de objetos**

La tecnología de fabricación mediante laminado de objetos (LOM) es un proceso de fabricación aditiva desarrollado por la empresa Cubic Technologies.

A diferencia de la consolidación ultrasónica, las capas de papel recubierto con adhesivo, plástico o (menos frecuentemente) laminados metálicos son pegados y recortados con su forma definitiva con una cuchilla o láser cortador. Un rodillo caliente pasa sobre la hoja de material en la plataforma de construcción para fusionar el adhesivo aplicado y presionar las láminas sobre la plataforma. Un láser controlado por ordenador o una cuchilla, cortan posteriormente el material con la forma deseada.

3.2.5. DEPOSICIÓN DIRECTA DE ENERGÍA

A diferencia de todas las demás tecnologías estudiadas, en la deposición directa de energía el material con el que se va a fabricar nuestro objeto o pieza puede estar en una cuba, en un rollo o esparcido sobre una plataforma: se agrega o se inyecta justo sobre la fuente de energía (láser) que lo va a construir. Los siguientes procesos utilizan esta tecnología: LMD (Laser Metal Deposition), DMD (Direct Metal Deposition) y LENS (Laser Engineered Net Shaping).

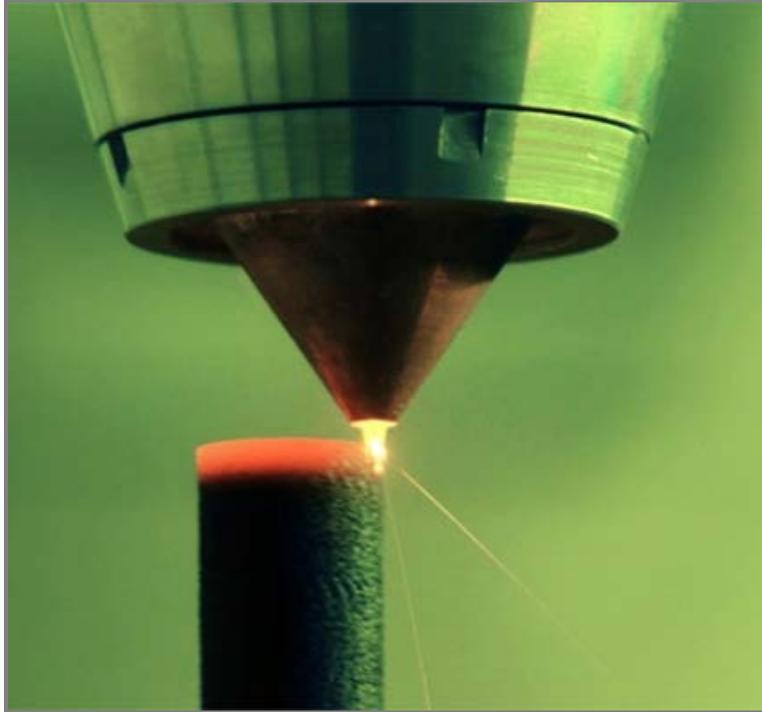


Ilustración 8 – Deposición directa de energía

- **Deposición directa de metal (DMD)**

La deposición directa de metal es una tecnología de fabricación aditiva que utiliza láser para fundir polvo de metal. A diferencia de la mayoría de tecnologías parecidas, no trabaja sobre una cama de polvo depositada, sino que utiliza una boquilla de alimentación para propulsar el polvo bajo el haz de láser.

- **Laser Cladding**

El "laser cladding" es una novedosa técnica de aporte de material que consiste en la deposición de material con el objetivo de crear capas funcionales, mejorar las características de la pieza tratada o restaurarla. Mediante la interacción de la energía del haz láser en la superficie del sustrato, se produce la fusión de una cama de polvo pre-depositado, del hilo de alimentación o de polvo arrastrado por una corriente de gas, obteniendo una dilución mínima. Se funde solamente una pequeña capa del sustrato, y se consiguen deposiciones de entre 50µm y 2mm de altura, conservando las propiedades originales del material de aporte.

La necesidad del láser cladding surge de aplicaciones que requieren superficies duras y resistentes al desgaste o a la corrosión en unas zonas concretas, pero con unas características de mayor ductilidad en el resto de la pieza. Ello se obtiene aportando una capa de material a un sustrato, que le confiere al material base sobre el que se deposita las características requeridas.

El láser cladding permite dar solución a los problemas de porosidad, distorsión térmica de la pieza tratada o dificultades en el procesado de zonas muy localizadas que suelen aparecer con otras técnicas de tratamiento superficial con aporte de material.

CAPÍTULO 4. COMPONENTES DE UNA IMPRESORA 3D FDM Y SU INFLUENCIA

Podemos clasificar los diferentes componentes de una impresora 3D de la siguiente manera:

- **ESTRUCTURA:** es el esqueleto de la impresora, determinará la rigidez y las vibraciones de la impresora. Tiene una gran influencia en el coste de la impresora ya que cuanto mejor construida esté, mayor precisión y rigidez tendrá la impresora. Incluiremos en este apartado la cama.
- **EXTRUSIÓN:** engloba todos los elementos encargados de controlar el flujo de material durante la extrusión y determinará en la mayor medida la calidad de las impresiones. Distinguiremos entre fusor, extrusor y alimentador.
- **MECÁNICA:** engloba todos los elementos que se encargan del buen movimiento de la impresora, como son los ejes, motores, raíles, etc.

Con todos estos elementos controlados podemos mejorar notablemente los resultados en la impresión 3D.

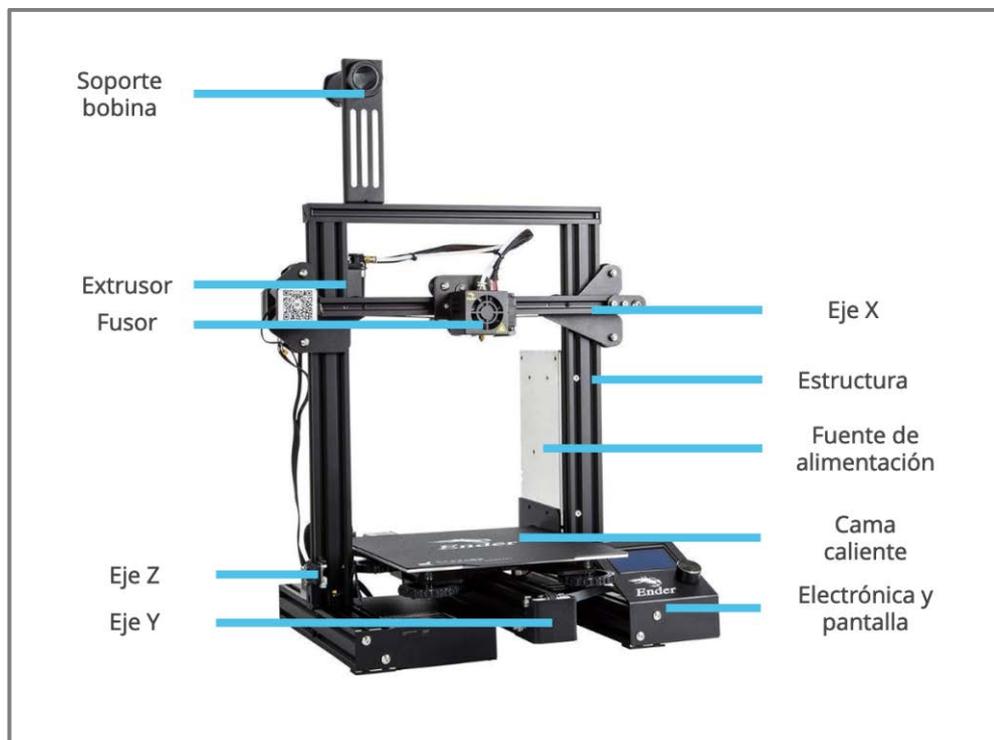


Ilustración 9 – Componentes de una impresora 3D

4.1. ESTRUCTURA

Es uno de los componentes más relevantes en cuanto hablamos del coste de la impresora y por tanto tiene también una relación equiparable con la calidad de la impresión, por ello es un elemento del que su conocimiento es esencial ya que una mala estructura puede derivar en los defectos que veremos en el siguiente punto.

4.1.1. DEFECTOS DE UNA ESTRUCTURA DÉBIL

Los principales defectos e inconvenientes de disponer de una estructura inadecuada o débil son muy difíciles de solucionar ya que básicamente es el esqueleto de la impresora, por ello la gran importancia de estar bien dimensionada.

A continuación, veremos los inconvenientes más comunes que se derivan de una estructura débil:

- Bamboleaos y vibraciones que provocan una mala impresión, además estos defectos aumentan con la velocidad de impresión por lo que nos limitará la velocidad. Muchas veces para poder evitar esta situación debemos intentar aligerar en la medida de lo posible los elementos en movimiento para disminuir estas oscilaciones, incluso en las impresoras que tienen la bobina soportada en la estructura, aunque esta sea suficientemente rígida siempre es recomendable eliminar este peso y colocar un soporte de bobina independiente.
- Mal ajuste de la base o cama puede provocar una mala impresión de la primera capa o incluso dañar la base y producir atascos por el choque del fusor con la cama.
- Si la estructura es débil, la impresora no podrá utilizar extrusores directos, lo que implica menor control de la impresión y será muy complicado imprimir ciertos materiales como son los flexibles.

4.1.2. TIPOS DE ESTRUCTURAS

A continuación, veremos las estructuras más utilizadas hoy en día, las mencionaremos de mayor a menor popularidad y además son inversamente proporcionales al coste.

- **PERFILES DE ALUMINIO:** Los perfiles de aluminio es la manera más común de construir la estructura de las impresoras debido a su coste reducido para la rigidez que ofrece. Esto es debido a que hoy en día el mecanizado de estos perfiles es muy preciso y permite dar muchas variaciones a las impresoras. En este tipo de estructuras debido a las vibraciones, las juntas y uniones al ser por tornillería se suelen aflojar ligeramente, por lo que aumentarían las vibraciones, por lo que tenemos que revisar las uniones de vez en cuando.



Ilustración 10 – Estructura de perfiles de aluminio

- **CORTE POR LÁSER:** Estas estructuras se han vuelto más comunes en los últimos años ya que, aunque no den una rigidez mayor a los perfiles de aluminio, nos proporcionan una gran precisión estructural ya que el corte por láser es mucho más preciso y aligeran notablemente la impresora, lo que mejorará los resultados.



Ilustración 11 – Estructura de corte por láser

- **HÍBRIDAS:** Aquí englobamos las estructuras más costosas ya que engloban ambos casos en los que tienen un chasis diseñado por corte láser, por inyección de plástico o chapa doblada, aunando las ventajas de los dos casos anteriores y que son característicos de las impresoras de gama alta, mejorando ligeramente la rigidez y permitiendo una mejor estética de impresora.



Ilustración 12 – Ultimaker 2+ y Extended+

4.1.3. BASE O CAMA

Existen varios tipos de camas de impresión, en este caso afectan mucho a la integridad estructural ya que el peso de la cama afecta mucho a las vibraciones y bamboleos de la estructura, por lo que podemos distinguir dos tipos camas o bases en función del material y sobre todo el peso que añaden.

4.1.3.1. CAMA DE VIDRIO

Las camas de vidrio están compuestas de borosilicato y son muy comúnmente utilizadas. Básicamente no necesitan mucha explicación ya que únicamente es un vidrio sujeto a la estructura de la cama.



Ilustración 13 – Cama de vidrio

Se podrían definir mejor indicando sus ventajas:

- El vidrio es más plano que cualquier base que podamos encontrar, las camas de metal, aunque puedan ser muy planas siempre encontraremos discrepancias al comparar las cuatro esquinas y pueden llegar a doblarse. En cambio, el vidrio siempre permanecerá liso y plano.
- Facilidad en la limpieza, es bastante más sencillo limpiar un cristal. Además, nos facilita el uso de alcohol para eliminar la laca, y podemos utilizar rasquetas ya que es más complicado rayar el cristal.
- Mejor acabado superficial en la zona de contacto con la base.
- Facilidad de extracción de las piezas, ya que después del enfriamiento de la cama o de la propia pieza, la dilatación o contracción ayuda a despegar la pieza. Hoy en día no podemos considerar esto realmente como ventaja ya que las camas de metal hoy en día utilizan láminas flexibles que facilitan la extracción.

En el caso de los inconvenientes podemos decir que son las ventajas de las camas de metal:

- Elevado peso del vidrio frente al metal, esto puede derivar en mayores bamboleos o incluso ghosting en nuestras piezas, además tener menor peso nos permite llegar a velocidades de impresión mayores.
- No se recomienda el uso de camas flexibles, ya que perderíamos todas las ventajas de las camas de cristal únicamente para poder facilitar la extracción de pieza, además que se pierde parte de la uniformidad y temperatura de la cama caliente.

4.1.3.2. CAMA DE METAL

En este caso la cama de metal no tiene tantas ventajas en el caso de la impresión, pero podemos mejorar en los siguientes campos frente al vidrio:

- Disminución del peso de las partes móviles de la impresora, lo que implica que podremos alcanzar velocidades de impresión mayores antes de que se muestren problemas como bamboleos o ghosting.
- Nos permite utilizar camas flexibles magnéticas sin perder calidad de impresión.

El inconveniente más grande de estas camas:

- Puede presentar problemas en la calibración de la cama ya que normalmente no son completamente planas, lo que puede derivar en problemas de adherencia como el warping.

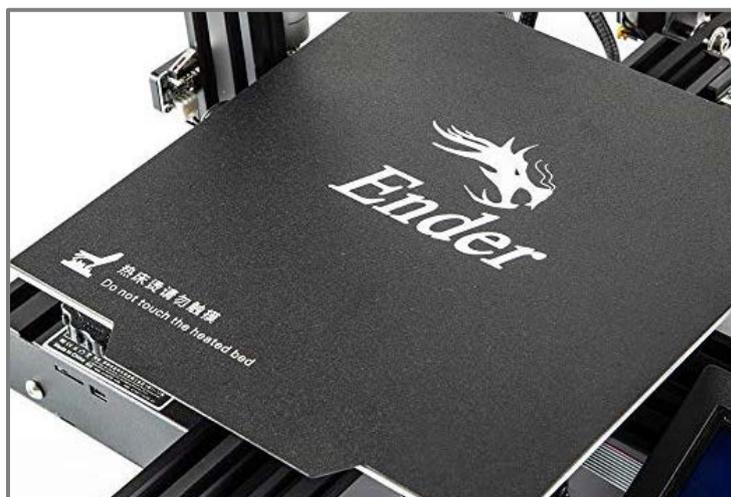


Ilustración 14 – Cama de metal magnética flexible

4.1.3.3. OTROS AÑADIDOS

4.1.3.3.1. CAMA CALIENTE

La cama caliente o heatbed lo que nos permite es imprimir sobre una superficie caliente a una temperatura constante mediante una resistencia eléctrica basada en el principio de Joule.

Gracias a la cama caliente podemos obtener las siguientes ventajas:

- Disminuir la velocidad de enfriamiento de la pieza para evitar problemas como el warping o craking, ya que la dilatación se realiza más lentamente permitiendo estabilizarse sin deformar la pieza.
- Mejorar la adherencia sobre la cama, el filamento fundido se adhiere mejor sobre la superficie caliente y además si utilizamos lacas, estas se convierten en un potente pegamento si se caliente por encima de los 50° C. Esto también evita la aparición de warping.

Vistas estas ventajas podemos utilizar la cama caliente para imprimir cualquier material, aunque hay materiales como el PLA en el que no es muy necesario, en cambio será obligatoria para imprimir ABS, ASA, PETG o flexible.

En cuanto a los tipos, normalmente podemos encontrar dos:

- Camas de silicona: están formadas por una resistencia de hilo de nicron unido a una placa de aluminio sobre la cual se coloca el cristal de la base de impresión. Estas camas se pueden fabricar a medida, son más seguras y además podemos obtener temperaturas mayores a 110° C, con lo que la velocidad de calentamiento es mayor.
- Camas PCB: compuestas por placas de baquelita o aluminio que en su interior tienen un circuito de material conductor. En este caso destacan por su menor precio, pero no podremos superar los 110° C y debemos atender más su mantenimiento ya que se ensucian con más facilidad. Solo se suelen utilizar para impresoras pequeñas de menos de 250mm.



Ilustración 15 – Izquierda: Silicona. Derecha: PCB

4.1.3.3.2. CAMA FLEXIBLE MAGNETICA

En el caso de la cama flexible perdemos la ventaja frente al vidrio o cristal de la planitud que nos proporciona, y a cambio disminuimos el peso de la cama en unos 250 gramos lo que mejorará el bamboleo y vibraciones, por ello podemos aumentar la velocidad de impresión. Y el añadido de que sea flexible y magnética es para poder extraer la superficie de impresión y poder doblarla para despegar fácilmente la pieza impresa incluso si imprimimos con laca.

Estas camas están compuestas por una base normalmente de aluminio a la que también se uniría la resistencia de la cama caliente, sobre esta base de aluminio se colocaría la lámina imantada, y la superficie flexible está formada por una lámina de acero inoxidable templada (industrialmente suele denominarse como fleje) que le permite ser flexible y volver a su forma original, en todo caso aunque se puede imprimir directamente sobre esta lámina de acero, no es lo más recomendable, para mejorar esto se adhiere una superficie de impresión que nos da una ligera rugosidad que están preparadas para mejorar la adherencia.

Últimamente, debido a lo bien fabricadas que están este tipo de camas están prevaleciendo sus ventajas frente a las camas de vidrio ya que se busca mucho reducir el peso de las partes móviles y las camas flexibles dan muy buenos resultados.

Lo que nunca deberemos hacer es añadir una cama flexible magnética sobre un vidrio ya que aumentaremos más el peso solo para ganar en facilidad de extraer la pieza.



Ilustración 16 – Cama magnética flexible

4.2. EXTRUSIÓN

En este apartado veremos los componentes del extrusor que se encargan de mover el filamento, calentarlo y extruirlo por el nozzle, estos componentes los podemos dividir en tres zonas en función de:

- Zona de alimentación: motor y rueda dentada.
- Zona de enfriamiento del extrusor: ventilador, disipador y barrel o barrera térmica.
- Zona de calentamiento del extrusor o fusor: bloque calentador, boquilla o nozzle y ventilador de capa.

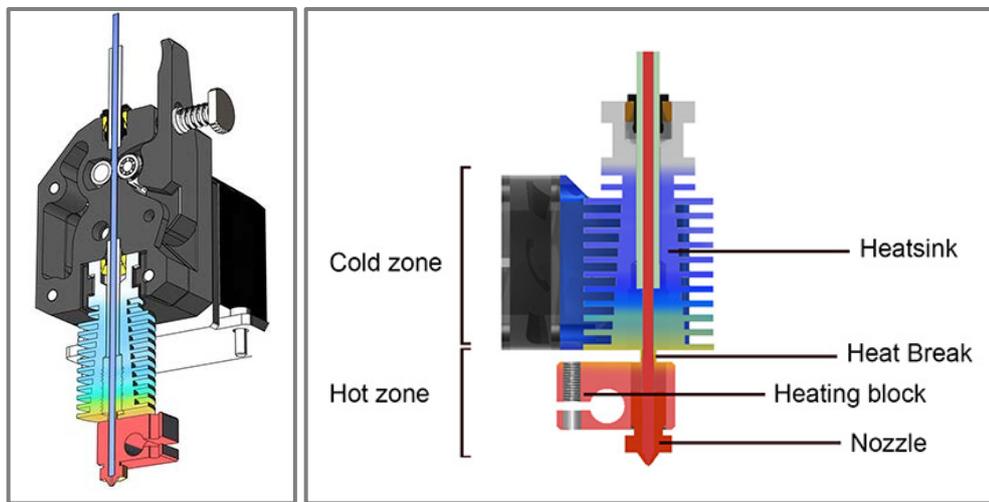


Ilustración 17 – Componentes de un extrusor

Existen diferentes tipos de extrusores para impresoras 3D e incluso hay algunas que pueden trabajar con doble extrusor o más.

4.2.1. ZONA DE ALIMENTACIÓN

La zona de alimentación está compuesta por el conjunto de piezas que transmiten el movimiento del motor al filamento, empujándolo hacia el fusor.

Normalmente los componentes que vienen por defecto en la impresora suelen ser suficientes para una impresión normal, pero podemos tener algunos problemas para imprimir ciertos filamentos dependiendo del motor y del tipo de alimentación como veremos a continuación.

4.2.1.1. ENGRANAJE Y MOTOR DE EMPUJE

Son los encargados de transmitir la fuerza al filamento para entrar en el extrusor, por tanto, son los responsables de la homogeneidad del flujo de impresión afectando directamente a la calidad de la pieza.

Normalmente se utilizan motores nema 17, con un engranaje multiplicador de 3 a 1 para no sobrecargar el motor y que se caliente demasiado.

En cuanto a las configuraciones que existen, podemos diferenciar dos:

- **Engranajes dobles:** la fuerza se transmite al filamento por ambos lados evitando que este patine y mejorando el flujo. Esta configuración aumenta el peso del alimentador y por ello no se suelen ver en extrusión directa (aunque para imprimir filamento flexible mejoran mucho el flujo), pero son muy recomendables para extrusión tipo bowden ya que necesitamos un mejor control de la fuerza de empuje.

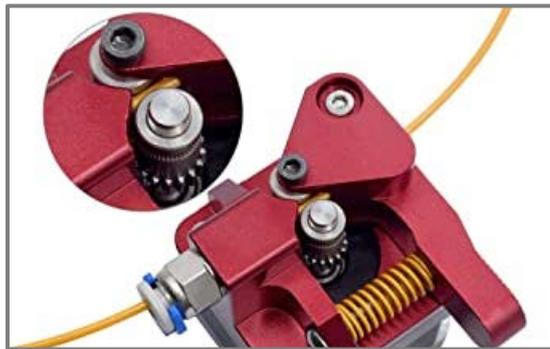


Ilustración 18 – Extrusor engranaje doble MK8

- **Engranaje simple:** en este caso la fuerza se realiza desde un solo lateral y por tanto es menos consistente, pero el alimentador disminuye su peso y por ello predominan en extrusión directa.



Ilustración 19 – Extrusor engranaje simple MK8

También se podría diferenciar en función del tipo de material del engranaje y el tipo de dientes, pero normalmente no tienen una gran repercusión.

4.2.1.2. TIPO DE ALIMENTACIÓN

Básicamente existen dos tipos de alimentación en impresión 3D: directa o indirecta. Veremos a continuación sus ventajas en ambos casos.

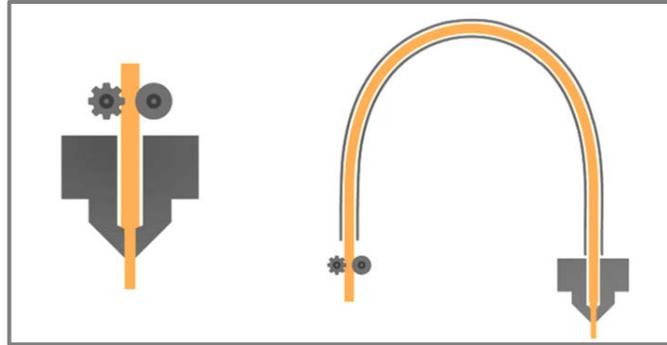


Ilustración 20 – Tipos de alimentación: Izquierda directa. Derecha bowden

4.2.1.2.1. DIRECTA

Los extrusores directos se caracterizan porque sus partes están en un mismo bloque y por ello son más compactos, pasando el filamento directamente desde el alimentador hasta el fusor.

Las ventajas de estos extrusores:

- Pueden imprimir cualquier tipo de filamento, es la configuración adecuada para imprimir filamento flexible o de material abrasivo.
- Retracciones más cortas que conllevan menor posibilidad de atasco.

En cuanto a las desventajas:

- Mayor inercia debido al aumento de masa, reduciendo la velocidad máxima a la que podemos imprimir sin perder calidad.
- Aumento de la temperatura del motor, debido a que el motor está más cerca de la zona caliente, sobre todo en impresoras cerradas.

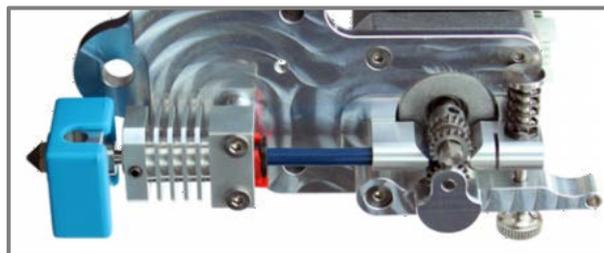


Ilustración 21 – Extrusor directo

4.2.1.2.2. BOWDEN

En este caso la zona de alimentación y el fusor están deslocalizados y se guía el filamento mediante un tubo de teflón. Debido a esto necesitaremos mayor potencia en el motor de alimentación para poder mantener un flujo constante, por ello se suele utilizar motores de doble engranaje.

Las principales ventajas son:

- Bajas inercias del desplazamiento del hotend. Lo que permite realizar impresiones más rápidas sin perder calidad y mejorando la precisión.
- Mayor fuerza transmitida al filamento gracias al doble engranaje y que permite tener motores más grandes.

En cuanto a las desventajas:

- Dificultad para imprimir filamentos flexibles ya que no podemos mantener la presión en el fusor.
- Aumento de las retracciones, aumentando las posibilidades de provocar atascos.



Ilustración 22 – Impresora tipo bowden Ender-3 Pro

4.2.2. ZONA ENFRIAMIENTO DEL EXTRUSOR

Incluye todos los elementos encargados de mantener fría la zona de alimentación y que el filamento no se caliente en la zona inadecuada.

4.2.2.1. DISIPADOR Y VENTILADOR

Tanto el disipador y ventilador son un refuerzo para la barrera térmica y evitan que tanto el filamento como el motor de alimentación se calienten en la zona de alimentación y en la zona fría, pueden tener diferentes formas, pero su funcionamiento básico es idéntico.

Un mal diseño del disipador puede provocar que el filamento funda antes de llegar a la zona caliente lo que degenerará en atascos en el extrusor.

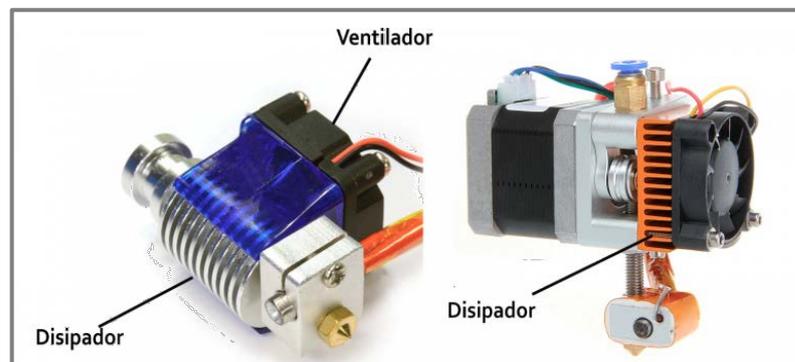


Ilustración 23 – Disipador y ventilador

4.2.2.2. BARREL, GARGANTA O BARRERA TÉRMICA

Esta pieza se caracteriza por ser la zona de transición entre la zona fría del extrusor y la zona caliente, por ello se va a realizar un choque térmico en la pieza y debe ser capaz de que el calor no pase a la zona de alimentación del extrusor ya que esto podría provocar atascos ya que se dilataría el material en una zona que no está pensada para ello.

Por todo esto, esta pequeña pieza tiene una gran importancia en la homogeneidad de la impresión y además nos va a definir los materiales que vamos a poder imprimir con nuestra impresora.

En todos los casos que veremos más adelante, siempre debemos asegurarnos que los barrels de metal su interior debe estar electro-pulidos para mejorar el paso del filamento y evitar atascos.

Normalmente los barrels que encontraremos más habitualmente son los siguientes:

- **ALL METAL ACERO:** Es el barrel más común, debido a la calidad y precio se comenzó a utilizar antes de volverse más común trabajar con PLA y se usaba sobre todo para imprimir ABS que es para el cual fue diseñado, aunque con él se puede imprimir casi cualquier tipo de material ya que al ser de metal completamente, no se degradan.

Es importante que en cualquier caso el interior sea electro-pulido.

Es importante que siempre nos aseguremos que los barrels de metal su interior esté electro-pulido para mejorar el paso del filamento y evitar atascos.

Se recomienda para imprimir PET, ASA y ABS (para el cual fue diseñado) o para impresiones a alta temperatura. En estos casos no debemos preocuparnos de las retracciones.

En otros casos las retracciones deben ser cortas (máximo de 2 mm para extrusor directo) ya que si el filamento caliente sube demasiado puede enfriarse y dilatarse en la parte inadecuada del barrel provocando atascos, además el PLA caliente se adhiere ligeramente al metal.

- **ALL METAL TITANIO:** Mismos problemas que con el acero, pero están pensados para realizar impresiones a mayores temperaturas y sobre todo para solucionar problemas comunes de goteos que normalmente van asociados a las altas temperaturas.



Ilustración 24 – Barrel All metal Acero y Titanio

- **GUIADO TUBO PTFE:** Consiste en una rosca de metal de 4mm con un tubo de PTFE, normalmente se recomienda que lleve tubo de teflón Capricorn de 1.9 a 4 mm que tiene la pared un poco más gruesa que los estándares.

Se recomienda para cualquier tipo de material, siempre que la temperatura no exceda los 250° C, ya que a esta temperatura el tubo de teflón se degrada por encima de esta temperatura y comenzara a provocar atascos o irregularidades en la impresión.

Normalmente es muy utilizado para PLA y filamento flexible ya que estos casos funcionan muy bien y mejora mucho la calidad de la impresión.

Como inconvenientes hay que resaltar que requiere más mantenimiento ya que el teflón se irá degradando con cada impresión, aunque no alcancemos los 250° C, por lo que se recomienda cambiarlo cada 200 impresiones aproximadamente. Además, requiere un montaje preciso ya que no podemos dejar espacio entre el teflón y el nozzle o fusor ya que ese espacio se llenará de filamento caliente provocando atascos.

- **BIMETAL ACERO INOX Y COBRE:** Recubierto con la rosca de cobre, mejora el enfriamiento, y no le da tiempo a dilatarse debido al mejor choque térmico que se genera en la punta y al no dilatarse antes de tiempo evita los atascos. El precio no es barato en comparación con el All metal, pero suele compensar por evitar problemas de atascos.



Ilustración 25 – Barrel PTFE y Bimetal

4.2.3. ZONA CALENTAMIENTO DEL EXTRUSOR O FUSOR

En esta zona incluiremos todas las partes que intervienen en el calentamiento y manipulación del filamento fundido.

4.2.3.1. BLOQUE CALENTADOR

Está formado por un cartucho calentador y un bloque calefactor.

El cartucho calentador está formado por un hilo de nicrom o resistencia que calienta el bloque calefactor.

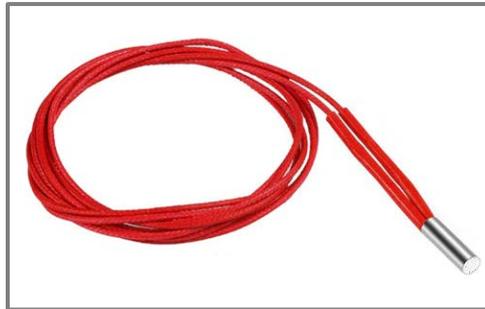


Ilustración 26 – Cartucho calentador

El bloque calefactor se encarga de distribuir y mantener la temperatura del fusor constante, normalmente podemos encontrar dos tipos de bloques calefactor:

- **ALUMINIO:** tienen una mejor conducción térmica y suelen ser suficientes para impresiones normales.
- **BRONCE O LATÓN:** dispone de mayor inercia térmica debido a que tiene mayor peso, ya que pesa cuatro veces más que en el caso del aluminio. Este bloque se suele utilizar para impresiones con un flujo muy alto, ya sea por una velocidad muy alta o por una boquilla más ancha.

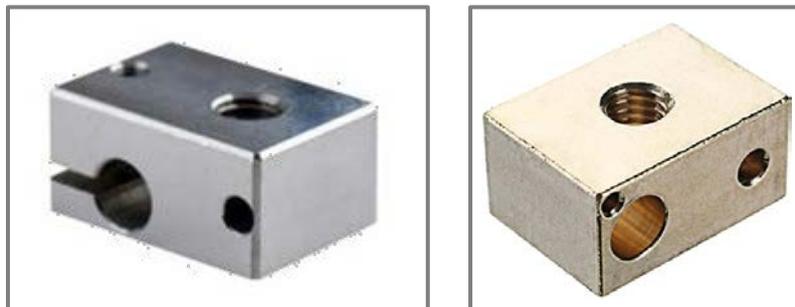


Ilustración 27 – Bloque calefactor aluminio y bronce

4.2.3.2. NOZZLE O BOQUILLA

La boquilla es el último elemento por el que pasa el filamento fundido antes de depositarlo sobre la cama de impresión, de su calidad deriva la precisión de la impresión. Podemos encontrar diversos tipos de boquillas en función del diámetro de la boquilla y el material con el que se realiza.

Al igual que el barrel si cambiamos el nozzle debemos tener en cuenta que el interior debe estar electro-pulido para mejorar el flujo.

En cuanto al tamaño de la boquilla normalmente podemos encontrar diámetros: 0.25, 0.4, 0.6, 0.8, 1 y 1.2mm. Aunque ya podemos encontrar diámetros de 0.15 o 0.10mm.

Podemos encontrar los siguientes tipos de boquillas ordenados por frecuencia de uso y coste:

- **BOQUILLA DE LATÓN:** es el material más común ya que para el coste que tiene proporciona gran estabilidad térmica, el único problema que presenta es un desgaste más rápido que el resto, sobre todo ante filamentos abrasivos.
- **BOQUILLA DE ACERO INOXIDABLE:** posee una mayor resistencia al latón, la ventaja es que no contiene plomo por lo que puede ser utilizado para piezas en contacto con piel o alimentos.

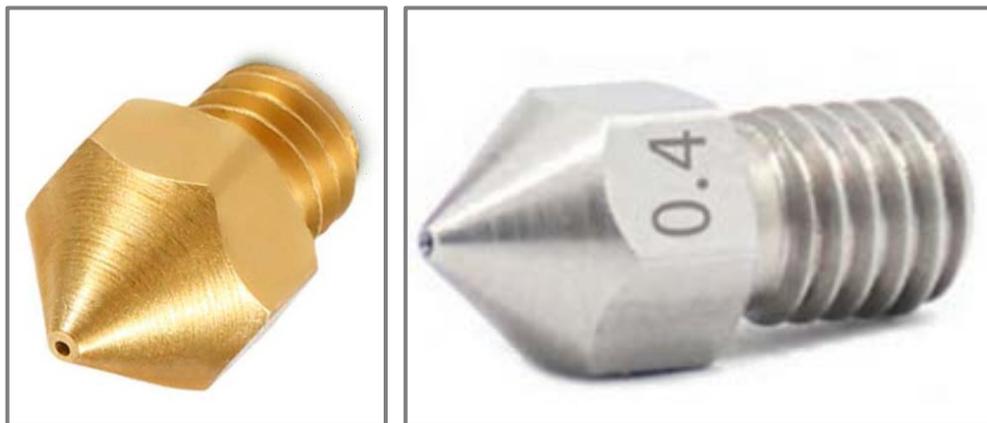


Ilustración 28 – Boquilla de latón y acero inoxidable

- **BOQUILLA DE ACERO ENDURECIDO:** se crearon para solucionar los problemas de desgaste de los nozzle anteriores manteniendo la calidad de impresión, pero acostaba de perder transmisión de calor que puede ser un inconveniente para flujos altos.



Ilustración 29 – Boquilla de acero endurecido

- **BOQUILLA DE PUNTA DE RUBÍ:** es la combinación de un nozzle de latón con una punta incrustada de rubí. Lo que permite mantener las propiedades térmicas del nozzle de latón con una durabilidad y precisión muy superior. Por todo esto es una boquilla con un alto precio.



Ilustración 30 – Boquilla de punta de rubí

4.3. MECÁNICA

Engloba todos los elementos que se encargan del buen movimiento de la impresora, como son los ejes, motores, raíles, etc.

4.3.1. TIPO DE MOVIMIENTO

4.3.1.1. CARTESIANAS

Este tipo de impresoras son las más comunes ya que son las más sencillas de programar gracias a que el movimiento de cada eje es obtenido por motores individuales. Esto implica que estas impresoras tienen un mayor peso y por tanto mayor masa en movimiento.

Sus principales ventajas son:

- Montaje y mantenimiento sencillo.
- Programación y Gcode más sencillos.
- Es más sencillo encontrar problemas de movimiento.
- El esfuerzo que soporta cada motor es menor.

Presentan un principal inconveniente:

- Mayor masa suspendida, lo que limita las velocidades de impresión.



Ilustración 31 – Impresoras cartesianas

En impresoras cartesianas podemos diferenciar entre varios movimientos:

- XZ: el cabezal se mueve en dirección X y Z, con lo que solo se mueve en plano vertical, mientras que el movimiento en Y lo realiza la base.
- XY: el cabezal se mueve en X e Y, plano horizontal, mientras que la base se mueve en Z.
- XYZ: el cabezal se mueve en las 3 direcciones mientras que la cama permanece inmóvil. Se utiliza para grandes impresiones.

4.3.1.2. CORE-XY

Este sistema de movimiento se basa en mezclar los conceptos de la cartesiana y la delta, desde el cual tenemos un movimiento del cabezal en el plano horizontal XY sujeto simultáneamente a dos motores mediante poleas, lo que nos permite alcanzar grandes velocidades y precisión, mientras que el movimiento en el eje Z lo realiza la base y es mucho más lento.

Todavía no es muy habitual verlo, aunque se está popularizando cada vez más, ya que tiene algunas ventajas determinantes:

- Tiene una menor masa en movimiento, que es lo que permite mejorar las velocidades de impresión sin perder precisión.
- Gran relación entre volumen de impresión y volumen de impresora.

En contra tenemos varias desventajas:

- Requiere un procesador mayor para realizar los complejos cálculos de movimiento.
- Montaje complicado y preciso. Mantenimiento y calibración difícil.
- Materiales más caros, ya que debemos invertir en correas y poleas de gran calidad.

Estas desventajas suben el coste y por ello no se llega a popularizar totalmente, ya que puede no compensar estas mejoras frente al gasto económico que debemos realizar.

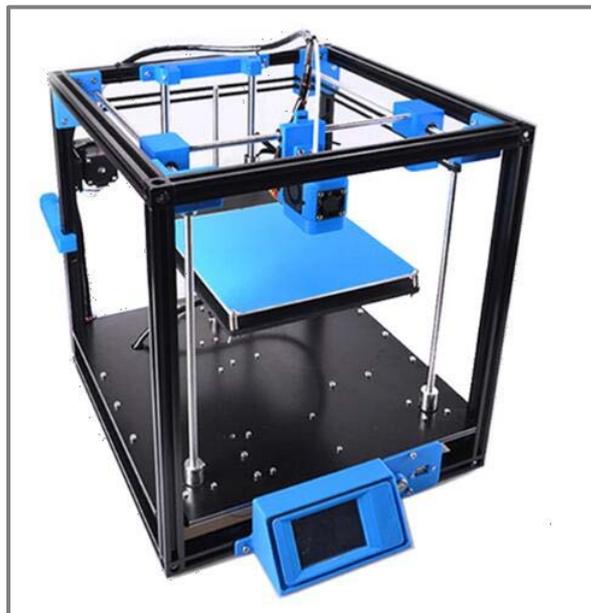


Ilustración 32 – Impresora CoreXY DIY

4.3.1.3. DELTA

Este tipo de movimiento se popularizó en los entornos industriales por su capacidad de mover objetos a gran velocidad. El movimiento consiste en tres guías verticales que se unen al cabezal mediante brazos, cada posición del cabezal en el volumen de impresión viene definida por la altura de los tres brazos sobre las guías.

Ventajas principales:

- Grandes velocidades de impresión, interesa disminuir la masa del cabezal lo máximo posible por ello se suelen usar alimentación bowden.
- Tiene menos componentes lo que implica menor mantenimiento y costes de materiales.
- El esfuerzo se reparte entre los tres motores.

Desventajas:

- Debido a las grandes velocidades y que la estructura no puede absorber las inercias de movimiento, no suelen tener una calidad de impresión mejor que otros tipos.
- El movimiento es complejo por lo que requiere un procesador mayor y suele generar problemas de impresión.
- La calidad está limitada por la impresión a alta velocidad del extrusor y del material.

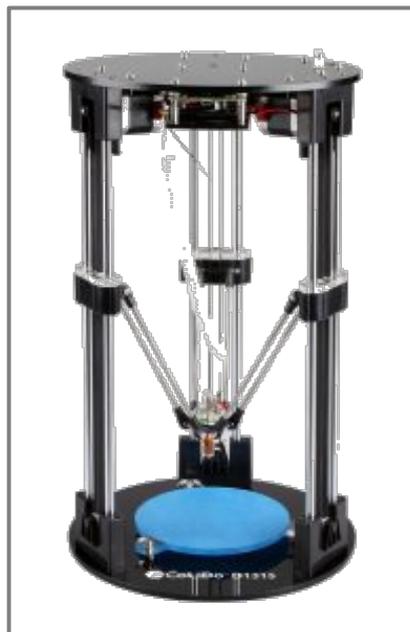


Ilustración 33 – Impresora Delta

4.3.2. CORREAS Y POLEAS

Son las encargadas de transmitir el movimiento de los motores a los ejes o el cabezal.

Veremos los diferentes tipos de correas que podemos encontrar:

- **CORREA DE GOMA:** no tenían refuerzos, lo que se deriva en una mala precisión por el estiramiento de las correas con la tensión del motor y su alargamiento con el uso. Su única ventaja es su bajo coste en comparación con el resto.
- **CORREAS TIPO T:** tienen los dientes rectos lo que se traduce en juego entre en los movimientos de ejes. Con la aparición de las correas GT2 se dejaron de utilizar.
- **CORREAS GT2 REFORZADAS CON FIBRA DE VIDRIO:** son las más comunes ya que eliminan el problema del alargamiento con el uso.
- **CORREAS GT2 REFORZADAS CON FIBRA DE VIDRIO Y CON RECUBRIMIENTO ANTI-DESGASTE:** son relativamente nuevas y solucionan el único problema que presenta el modelo anterior, evitan que su superficie se desgaste con el uso.
- **POLEAS GT2:** tienen un menor número de dientes que las anteriores por lo que afecta al número de pasos, que se traduce en una menor transmisión de la fuerza, un mayor par y el motor realiza más movimiento para realizar el mismo recorrido. En ciertos casos puede no ser interesante la mejora del par, tomando como referencia la polea de 20 dientes, podemos decir que puede ser interesante bajar el tamaño para impresoras 3D pequeñas, lentas y precisas, y aumentar el tamaño para impresoras 3D grandes y rápidas.



Ilustración 34 – Correa y polea GT2

4.3.3. VARILLAS

Podemos encontrar dos tipos de varillas normalmente:

- **VARILLAS DE ACERO INOXIDABLE:** son las más comunes y las que suelen llevar los ejes, ya que estas no se oxidarán en condiciones normales.
- **BARRAS CROMADAS:** se utilizan mayormente de manera estética ya que solo tiene una superficie cromada, con el uso se desgastará y si pierde esta película se oxidará rápidamente.
- **GUÍAS LINEALES:** es la opción más cara, es un sustituto de las varillas y rodamientos. Solo suele compensar su uso en máquinas de alta calidad.

4.3.4. RODAMIENTOS

Podemos encontrar gran variedad de rodamientos. Podemos encontrarlos de cualquier tipo de calidad, si bien la calidad se notará en el ruido que realizarán en movimiento y el desgaste de las varillas, por lo que siempre será mejor usar unos de una calidad media o alta.

- **LM8UU, SC8UU:** son rodamientos normales de bolas. Son los rodamientos más utilizados por su calidad de movimiento y coste.
- **IGUS DRYLIN** o casquillos de polímero: estos rodamientos no llevan bolas por lo que no necesitan lubricación, son más silenciosos y así disminuiríamos el peso de las partes móviles. En cuanto a los inconvenientes vemos que tienen un mayor desgaste y son difíciles de montar correctamente.
- **Perfil V-Slot:** en este caso las ruedas excéntricas se ajustan al perfil de aluminio con ranuras en V que le dan nombre, es una solución económica y con buena precisión, el único inconveniente es que con las vibraciones las ruedas tienden a aflojarse.



Ilustración 35 – Rodamientos y varillas

CAPÍTULO 5. MATERIALES UTILIZADOS EN FDM

Una vez que conocemos el funcionamiento de las impresoras 3D por FDM antes de comenzar a imprimir debemos conocer el tipo de material que más nos conviene para la aplicación de nuestro proyecto de impresión. Por tanto, es importante conocer los diferentes filamentos plásticos disponibles ya que el filamento elegido determinará las características físicas y químicas de la pieza.

En este apartado veremos las propiedades de los plásticos más comunes en la impresión 3D para la tecnología FDM, e indicaremos cómo podemos imprimir con ellos, cuáles son sus limitaciones y en que aplicaciones serían más convenientes.

5.1. CONSIDERACIONES INICIALES

En el caso de todos los materiales recomendamos el uso de los siguientes elementos y parámetros:

- Cama caliente: en la mayoría de los casos no es imprescindible, pero es recomendable; podemos utilizar temperaturas de hasta 70°C. Sobre todo, en piezas que son muy grandes y debemos asegurar la adherencia y evitar el warping.
- Velocidad de impresión: utilizaremos velocidades medias de impresión, entre 30 a 60 mm/s, en función también de la necesidad de calidad que necesitemos en nuestra impresión.
- Altura de capa: no se recomienda utilizar alturas mayores al diámetro de la boquilla.
- Laca: mejora la adherencia de la impresión a la cama sobre todo cuando utilizamos la cama caliente, ya que la laca se convierte en un fuerte pegamento cuando alcanzamos temperaturas superiores a 60°C y cuando se enfría nos permite despegar la pieza con facilidad.

Aunque estos elementos no son obligatorios, sí que recomendaremos que se sigan para mejorar el rendimiento, y son válidos para todos los materiales exceptuando algunos casos que indicaremos en cada material.

5.2. PLA

El PLA o ácido poliláctico es uno de los materiales más comunes y su ventaja es que se crea a partir de materias primas renovables y recursos naturales como son las raíces de tapioca, el almidón de maíz y la caña de azúcar. Y por tanto estamos ante un compuesto biodegradable y que no contamina el medio ambiente.

Dada su naturaleza quiral proveniente del ácido láctico, pueden obtenerse diferentes tipos de polímero como producto de las diferentes polimerizaciones.

Algunas de sus características físicas y químicas más relevantes en la impresión 3D son:

- Densidad 1,3 g/cm³.
- Temperatura de transición vítrea entre 60° a 65°C.
- Temperatura de fusión entre 173° y 178°C.
- Módulo de elasticidad entre 2,7 y 16 GPa.

5.2.1. COMO IMPRIMIR PLA

En este caso, es uno de los materiales más comunes (entorno a un 35% del total de filamentos fabricados son PLA) debido a su facilidad de impresión.

Para imprimir perfectamente PLA debemos seguir los siguientes consejos y parámetros de impresión:

- Temperaturas de trabajo entre 185°C y 225°C, trabaja a unas temperaturas relativamente bajas comparado con el resto de filamentos.
- Cama caliente: no es imprescindible, pero es recomendable. Podemos utilizar temperaturas de hasta 70°C, sobre todo, en piezas que son muy grandes para asegurar la adherencia y evitar el warping.
- Ventilador de capa: dado que tiene un punto de fusión relativamente bajo tiene un enfriamiento a temperatura ambiente lento por lo que necesitaremos tener siempre activado el ventilador de capa para mejorar el enfriamiento y evitar deformaciones en la impresión.

5.2.2. VENTAJAS Y LIMITACIONES

Principales **ventajas**:

- Trabajo a temperaturas relativamente bajas.
- Ligera contracción y dilatación térmica, pocos casos de aparición de warping. Lo que se traduce en una gran precisión dimensional.
- Gran adherencia entre capas.
- Desprende poco olor en la impresión por lo que es excelente para imprimir en espacios poco ventilados.
- Es biodegradable.
- Gran variedad de colores y aditivos, para obtener diferentes acabados.

Principales **limitaciones**:

- Resistencia y fragilidad reducida en comparación con otros filamentos.
- Debido a que es biodegradable e higroscópico no es recomendable utilizarlo en aplicaciones en exteriores o con alta humedad, ya que se deteriora rápidamente y absorbe la humedad variando su tamaño ligeramente.

5.2.3. APLICACIONES

Dadas sus propiedades y su bajo coste, es muy recomendable para los siguientes casos:

- Predomina el acabado: gracias a la gran calidad en relación a su coste y su baja contracción térmica permite una gran precisión dimensional y acabado.
- Prototipado rápido y maquetación.

5.3. ABS

Se trata de un termoplástico formado por tres componentes que forman las iniciales ABS: acrilonitrilo que le proporciona rigidez y estabilidad a altas temperaturas, butadieno que le da tenacidad y resistencia a los impactos y estireno que está relacionado con la resistencia mecánica y el acabado. Este material es muy utilizado por su gran resistencia a los golpes y su gran dureza.

Algunas de sus características físicas y químicas más relevantes en la impresión 3D son:

- Densidad 1 a 1.4 g/cm³.
- Expansión térmica: 83 a 95 µm/m-K.
- Temperatura de transición vítrea entre 100°C.
- Temperatura de fusión entre 210°C a 215°C.
- Módulo de elasticidad entre 1,7 y 2.8 GPa.

5.3.1. COMO IMPRIMIR ABS

Es el segundo material más común debido a su facilidad de impresión y su resistencia. Debemos usar los siguientes consejos y parámetros de impresión:

- Temperaturas de trabajo entre 220°C y 255°C. Debemos atender a las propiedades de nuestro hotend ya que en este caso si nuestra impresora tiene teflón, este no puede sobrepasar los 245°C ya que se degrada y puede producir atascos.
- Cama caliente: es muy recomendable y casi imprescindible, ya que tiene problemas de warping y cracking. Mantendremos la temperatura entre 90°C y 100°C. Es muy recomendable utilizar una impresora cerrada ya que es muy sensible a los cambios bruscos de temperatura y cualquier corriente de aire nos producirá errores en la impresión.
- Ventilador de capa: dado que las corrientes de aire le afectan mucho por su elevada velocidad de enfriamiento, al enfriarse tan rápidamente no tiene suficiente tiempo para soldar las capas por ello debemos desactivar obligatoriamente el ventilador de capa.

5.3.2. VENTAJAS Y LIMITACIONES

Principales **ventajas**:

- Es relativamente fácil de extruir si dispones de cama caliente o impresora cerrada.
- Ligera elasticidad que permite encajar a presión en montajes.
- Gran resistencia a los impactos.
- Gran variedad de catálogo con buenas prestaciones.

Principales **limitaciones**:

- **Warping**: ya que tiene una gran contracción, lo que hace combar la pieza y despegarse al no mantenerse plana sobre la superficie.
- **Cracking**: debido al rápido enfriamiento y la tensión de las contracciones, la adherencia entre capas puede ser limitada si no se controla provocando que se despeguen.
- **Emisiones**: al calentarse emite sustancias perjudiciales por lo que es necesario que la impresora sea cerrada o se ventile adecuadamente. Puede ser contraproducente ya que, al ventilar, las corrientes pueden provocar el warping o cracking.

5.3.3. APLICACIONES

Dadas sus propiedades y su bajo coste es muy recomendable para los siguientes casos:

- Piezas que requieran resistencia al impacto. En caso de necesitar piezas demasiado resistentes el PET o PETG puede ser una mejor opción.
- Prototipado con funcionalidad.
- Necesidad de acabados poco brillantes.
- Aplicaciones con restricción de temperatura de trabajo elevada.

5.4. ASA

Se trata de un polímero termoplástico cuyo nombre proviene de las siglas de los componentes: acrilonitrilo, estireno y acrilato. Este material se creó para sustituir al ABS. Por tanto, tiene unas propiedades muy similares al ABS, pero ligeramente superiores.

Algunas de sus características físicas y químicas más relevantes en la impresión 3D son:

- Densidad 1 a 1.1 g/cm³.
- Expansión térmica: 90 µm/m-K.
- Temperatura de transición vítrea entre 100°C.
- Temperatura de fusión entre 220°C a 235°C.
- Módulo de elasticidad entre 2.3 y 3 GPa.

5.4.1. COMO IMPRIMIR ASA

En el caso de ASA tenemos unas características de impresión muy similares al ABS mejorando las características y reduciendo los problemas que presenta a la hora de imprimir:

- Temperaturas de trabajo entre 230°C y 265°C. Debemos atender a las propiedades de nuestro hotend ya que en este caso si nuestra impresora tiene teflón, este no puede sobrepasar los 245°C ya que se degrada y puede producir atascos.
- Cama caliente: al igual que el ABS es muy recomendable y casi imprescindible, ya que tiene grandes problemas de warping y cracking. También, es muy recomendable utilizar una impresora cerrada ya que es muy sensible a los cambios bruscos de temperatura y cualquier corriente de aire nos producirá errores en la impresión.
- Ventilador de capa: dado que las corrientes de aire le afectan ligeramente, en este caso podemos mantener el ventilador siempre por debajo del 30% o desactivarlo.

5.4.2. VENTAJAS Y LIMITACIONES

Principales **ventajas**:

- Es relativamente fácil de extruir si dispones de cama caliente o impresora cerrada.
- Ligera elasticidad que permite encajar a presión en montajes.
- Gran resistencia a los impactos.
- Resistencia a los rayos UV.
- Mejora la resistencia a la temperatura del ABS en 10°C.

Tiene las mismas limitaciones que el ABS, pero en menor medida.

Principales **limitaciones**:

- **Warping**: ya que tiene una gran contracción lo que hace combar la pieza y despegarse al no mantenerse plana sobre la superficie.
- **Cracking**: debido al rápido enfriamiento y la tensión de las contracciones, la adherencia entre capas puede ser limitada si no se controla provocando que se despeguen.
- **Emisiones**: al calentarse emite sustancias perjudiciales por lo que es necesario que la impresora sea cerrada o se ventile adecuadamente.

5.4.3. APLICACIONES

Dadas sus propiedades y su bajo coste es muy recomendable para los siguientes casos:

- Piezas que requieran resistencia al impacto. En caso de necesitar piezas muy resistentes el PET o PETG puede ser una mejor opción.
- Prototipado con funcionalidad.
- Necesidad de acabados poco brillantes.
- Aplicaciones con restricción de temperatura de trabajo elevada. Mejora la resistencia a la temperatura del ABS en 10°C.
- Piezas situadas en exteriores, gracias a su resistencia a los rayos UV.

5.5. PET y PETG

PET proviene de Tereftalato de polietileno y es uno de los plásticos más utilizados en la industria, se caracteriza por su transparencia y resistencia química por lo que es muy utilizado en la industria alimentaria. En el caso de la impresión 3D se utiliza una variante llamada PETG que viene de Glicol modificado y le confiere aún más transparencia y menor fragilidad facilitando la impresión.

Algunas de sus características físicas y químicas más relevantes en la impresión 3D son:

- Densidad 1.3 g/cm³.
- Expansión térmica: 60 µm/m-K.
- Temperatura de transición vítrea 80°C.
- Temperatura de fusión entre 225°C a 235°C.
- Módulo de elasticidad entre 2.2 GPa.

5.5.1. COMO IMPRIMIR PETG

El PETG es relativamente sencillo de imprimir, las características de impresión son muy similares al PLA:

- Temperaturas de trabajo entre 220°C y 250°C. En este caso si mantenemos la temperatura por debajo de los 245°C lo podremos imprimir con cualquier hotend.
- Cama caliente: es recomendable configurar la cama entorno a unos 70°C, ligeramente superior al PLA.
- Ventilador de capa: recomendable utilizar el ventilador de capa por encima del 75%.

5.5.2. VENTAJAS Y LIMITACIONES

Principales **ventajas**:

- Resistencia química.
- Transparencia.
- Reciclable.
- Apto para el uso alimentario.
- No produce olor al imprimir.
- Alta resistencia impacto, pero inferior al ABS.
- Resistencia térmica.

Principales **limitaciones**:

- Precio, sus características son mejores que el PLA, pero conllevan un coste de un 25% más.
- Si buscamos únicamente resistencia, el PLA es una mejor opción.

5.5.3. APLICACIONES

- Impresiones para uso alimentario.
- Recomendable para piezas de gran tamaño con buenas propiedades.
- Impresiones con resistencia química.

5.6. PVA

El alcohol polivinilo es otro plástico biodegradable que se caracteriza por ser soluble en agua lo que nos da la oportunidad de usarse como material de soporte para impresiones complicadas en el caso de disponer de impresoras con dos extrusores.



Ilustración 36 – Ejemplo PVA como soporte

Algunas de sus características físicas y químicas más relevantes en la impresión 3D son:

- Densidad 1.2 a 1.3 g/cm³
- Temperatura de transición vítrea entre 85°C
- Temperatura de fusión entre 165°C

5.6.1. COMO IMPRIMIR PVA

- Temperaturas de trabajo entre 200°C y 220°C. Debemos tener mucho cuidado con superar estas temperaturas ya que se degrada muy rápidamente provocando atascos.
- Cama caliente: 60°C o normalmente viene definida por el otro filamento al que acompañará, la calidad de este elemento no suele tener importancia ya que se utilizará como soporte.
- Ventilador de capa: se pueden activar, debemos atender a las necesidades del filamento que imprimamos en conjunto.

5.6.2. VENTAJAS Y LIMITACIONES

Principales **ventajas**:

- Biodegradable.
- Soluble en agua y etanol.
- Inodoro.

Principales **limitaciones**:

- No es muy utilizado para imprimir únicamente con este filamento.
- Necesidad de doble extrusor para poder utilizarlo como soporte.
- Tener especial cuidado con las altas temperaturas para no atascar el extrusor

5.6.3. APLICACIONES

Dadas sus propiedades y su bajo coste es muy recomendable para los siguientes casos:

- Como soporte para piezas complejas o con muchas cavidades donde los soportes normales no son factibles.
- Modelos conceptuales.
- Moldes.

5.7. OTROS MATERIALES DE IMPRESIÓN

5.7.1. TERMOPLÁSTICOS DE ALTO RENDIMIENTO

La evolución de las tecnologías de impresión 3D ha llevado a un gran trabajo de investigación en materiales de impresión, que permite desarrollar una gama de filamentos de alto rendimiento que tienen características mecánicas similares a los metales. Existen varios tipos de polímeros de alto rendimiento, como PEEK, PEKK o ULTEM; se distinguen por su familia, como las poliariletercetonas (PAEK) o las polieterimidias (PEI). Estos filamentos tienen una resistencia mecánica y térmica muy alta, son muy fuertes y mucho más ligeros que algunos metales. Estas propiedades las hacen muy atractivas en los sectores aeroespacial, automotriz y médico.

Debido a sus características, los termoplásticos de alto rendimiento no se pueden imprimir en todas las máquinas FDM del mercado. De hecho, es necesario que la impresora 3D tenga una placa de calentamiento capaz de alcanzar al menos 230 ° C, una extrusión a 350 ° C y un recinto cerrado. Hoy en día, alrededor del 65% de estos materiales se imprimen con tecnología FDM, pero también se encuentran en forma de polvos, compatibles con la tecnología SLS.

5.7.2. MATERIALES FLEXIBLES

Cada día existen más tipos de filamentos, y algunos de los que más éxito han tenido son los filamentos flexibles. Son muy similares al PLA, pero fabricados de TPE o TPU. La ventaja de estos filamentos es que permiten el desarrollo de objetos deformables, muy utilizado en la industria de la moda como la colección de Danit Peleg.

En general tienen las mismas características de impresión que el PLA, y puede ser encontrado con diferentes rangos de rigidez. Se recomienda únicamente prestar atención a que el tipo de extrusor sea el adecuado para evitar atascos en la máquina.

5.7.3. FIBRAS DE CARBONO

Los filamentos que incluyen fibras de carbono han ido adquiriendo cada vez más popularidad dentro de la industria 3D, más aún al llegar al mercado impresoras 3D como las de Markforged especializadas en estos materiales. El motivo de su gran demanda es su increíble resistencia manteniendo en las piezas fabricadas, un peso inferior en comparación con otros materiales.

Los filamentos con estas características incluyen pequeñas fibras de carbono en un material base que puede ser PLA, PETG, Nylon, ABS, o Policarbonato, mejorando las propiedades de cada uno. Los ajustes de impresión suelen ser los requeridos por su material base, aunque es importante contar con un hardware adecuado ya que las fibras de carbono pueden provocar la obstrucción de las boquillas de impresión.

5.7.4. MATERIALES HÍBRIDOS

Existen diferentes tipos de materiales que mezclan una base como PLA y que después incluyen polvos que dan un color o acabado diferente a los tradicionales. Están compuestos en un 70% de PLA y en un 30% por el material híbrido. Se pueden encontrar en el mercado filamentos a base de madera que contienen polvos de bambú, corcho, madera, etc. La presencia de estos materiales dentro del filamento hace que el resultado final sean piezas con una textura más orgánica.

Aunque ya existen máquinas que utilizan la base de la tecnología FDM para imprimir en metal, como las nuevas máquinas de Desktop Metal. Hasta ahora es algo a lo que no todos tenemos acceso, por ello la empresa Colorfabb lanzó su filamento 3D de metal. Tiene la misma base que los filamentos híbridos creados con madera, pero en este caso se cambia por polvos de metal. Le dan a cada objeto un color diferente dependiendo de lo que elijamos: cobre, bronce, plata.

Finalmente, dentro de los filamentos que consideramos híbridos y siguiendo la misma regla de fabricación, están los que mezclan materiales rocosos, como el cemento, los ladrillos o la arena, que dan una textura completamente diferente a cada uno de los modelos.

5.7.5. LOS MATERIALES SOLUBLES

Los plásticos solubles pueden ser utilizados igualmente para imprimir soportes de impresión (en función de la complejidad y de la tecnología utilizada para la pieza deseada), que serán disueltos en la etapa siguiente. Los plásticos solubles más utilizados actualmente son el HIPS (Poliestireno de alto impacto) y el PVA (acetato de polivinilo). El primero se asocia con el ABS, y puede ser disuelto con limoneno, por el contrario, el PVA se asocia con el PLA y se disuelve únicamente con agua. Existen igualmente los filamentos BVOH o copolímero de butanodiol y alcohol vinílico, muy popular últimamente en la impresión 3D de doble extrusión por ser un material de soporte soluble en agua, de acuerdo con los expertos tiene mejor solubilidad que el PVA y es compatible con múltiples materiales.

CAPÍTULO 6. PROCESO DE IMPRESIÓN 3D

Veremos todos los pasos relacionados con la impresión desde el diseño del modelo 3D hasta el postprocesado final.

6.1. DISEÑO EN CAD

El diseño asistido por ordenador es la base de la impresión 3D, ya que todo parte del diseño, por ello es la base y parte más importante para un modelo factible para impresión 3D. Cualquier error que cometamos en el diseño nos dificultará el proceso de impresión.

Un buen diseño en 3D nos permitirá ahorrar tiempo de impresión, material y dolores de cabeza ya que muchos problemas provienen del diseño.

6.1.1. CONSEJOS PARA EL MODELADO 3D

Vamos a definir una serie de consejos y pautas que podemos o debemos usar cuando vayamos a diseñar un modelo 3D orientado a la impresión 3D por FDM.

- **Bocetos:** antes de comenzar con el diseño en ordenador siempre debemos comenzar plasmando físicamente que es lo que queremos tener, por lo que es conveniente realizar croquis rápidos pensando en los diferentes inconvenientes de la impresión 3D para poder evitarlos. Muchas veces no es necesario realizar todo el modelo en una pieza, podemos realizar ensamblajes más fáciles de imprimir. Hay dos partes fundamentales que debemos considerar en el boceto:
 - **Orientación:** como veremos más adelante, dependiendo de la orientación la pieza tendrá unas resistencias diferentes en función de las direcciones de impresión, y según la orientación podremos suprimir ciertos soportes o necesitar más.
 - **Soportes:** está muy relacionado con la orientación, por lo que tendremos que tener en cuenta los voladizos. No debemos agobiarnos con eliminar los soportes, normalmente son la forma más simple de obtener una buena impresión de voladizos.

- **Unidades de medida y escalas:** debemos ajustar correctamente las unidades de trabajo en el programa de diseño, ya que al exportarlo a STL pueden provocar que el tamaño sea el equivocado.
- **Piezas sólidas y cerradas:** debemos evitar huecos interiores.
- **Refuerzos:** en muchos casos tendremos zonas que pueden ser demasiado susceptibles a pandeo o bamboleo durante la impresión por lo que será conveniente añadir refuerzos. Sobre todo, dependiendo de la orientación.
- **Grosor:** se recomienda que los elementos tengan como mínimo dos veces el tamaño de la boquilla del extrusor y para evitar malos acabados se recomienda que sea cuatro veces el diámetro del extrusor.
- **Esquinas afiladas:** debemos evitarlas ya que provocan tensión en la impresora debido a los cambios bruscos de dirección provocando además bamboleos. Muchas veces las esquinas, aunque quisiéramos que queden afiladas nos van a salir ligeramente redondeadas, por lo que es recomendable redondearlas nosotros mismos a nuestro gusto.
- **Holguras en ensamblajes:** siempre debemos tenerlo en cuenta si queremos facilitar o no el movimiento, para un movimiento normal podemos usar holguras de 0,3mm.
- **Grosor y profundidad de relieves y grabados:** es recomendable que tengan un grosor de al menos 1mm. En profundidad, se recomienda como mínimo el diámetro del extrusor, normalmente 0,4mm.

6.1.2. DIGITALIZADO 3D

Hoy en día el proceso de diseño para impresión 3D al ser tan orientado a la personalización, se pueden encontrar muchos casos en los que la pieza deba encajar, adaptar o incluso sustituir de manera que necesitaríamos conocer exactamente las dimensiones o el elemento, puede ser muy complejo de diseñar por sus formas complejas. En estos casos puede ser más sencillo que diseñar la pieza, poder escanearla mediante el digitalizado obteniendo una pieza prácticamente igual ahorrándonos tiempo de diseño.

Veremos en qué consisten el digitalizado 3D

- **DIGITALIZADO 3D:** Consiste en la obtención de un modelo 3D con una definición relativamente buena mediante el uso de escáneres 3D de luz estructurada (se proyecta la luz calibrada y con un patrón variable sobre un objeto, los sensores captan la deformación de la luz sobre la superficie o láser), que crean una nube de puntos y generan una malla para obtener un modelo matemático, por lo que este puede contener algunos errores. Este modelo podremos imprimirlo directamente o modificarlo para obtener otros modelos en función de este.

Como podemos ver, aunque sea una técnica independiente del modelado, se pueden obtener muy buenos resultados usando únicamente una de ellas. Podemos optimizar el proceso de impresión 3D usando el digitalizado junto al modelado, mejorando así la personalización de nuestras impresiones 3D.

Normalmente partiremos de un modelo 3D digitalizado que nos dará una muy buena aproximación de lo que necesitamos en nuestro modelo y mediante el diseño 3D modificaremos este modelo matemático para que nuestra impresión sea lo más funcional posible facilitando el proceso de impresión. Evitando así los errores que comete la digitalización y disminuyendo los tiempos de diseño tan altos que requiere el modelado.

6.2. OBTENER EL STL

Antes debemos definir en que consiste el STL:

- Son las siglas de STereoLithography, formato que define la geometría 3D de objetos, que excluye otros tipos de información como color, texturas y propiedades físicas.

Este formato es el más ampliamente utilizado en la impresión 3D y que es más fácil encontrar debido a que podemos obtenerlo de los programas más comunes de diseño 3D.

En muchos casos, también podremos encontrar formatos compatibles con los laminadores por ejemplo Ultimaker Cura admite formatos OBJ, X3D y 3MF.

6.2.1. EXPORTAR A STL

Para obtener este formato únicamente tenemos que convertir o exportar nuestro diseño normalmente siguiendo la ruta:

- Archivo/Exportar/Formato de CAD

Donde seleccionaremos el tipo de archivo como: Archivos STL (*.stl)

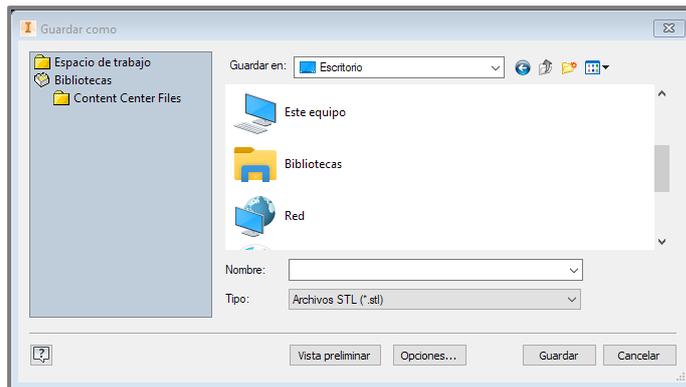


Ilustración 37 – Exportar STL en Autodesk Inventor

Debemos comprobar que el formato y resolución son los adecuados, sobre todo debemos ver que las unidades de trabajo y diseño coinciden con las que nos aparecen.

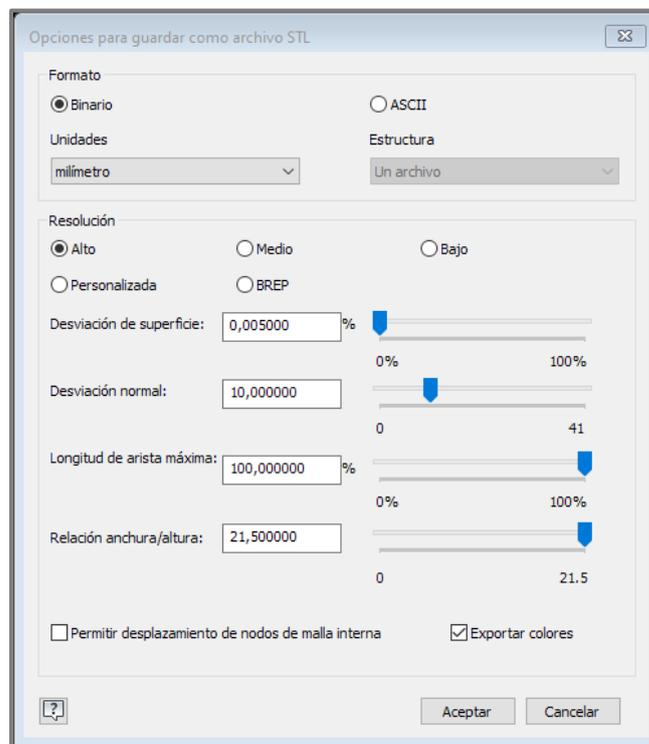


Ilustración 38 – Exportar STL opciones de exportación

6.3. SEGMENTADOR Y PARÁMETROS DE IMPRESIÓN

Una vez obtenido el STL lo abrimos con nuestro software de impresión 3D (Slicer o laminador), en este caso usaremos Ultimaker Cura, existen muchos softwares para gestionar el modelo de impresión 3D como podemos ver en la siguiente lista ordenados por popularidad:

- **Ultimaker Cura:** es gratuito y tiene un potente motor de código abierto y software libre, permite generar perfiles para diferentes impresoras. Por todo esto es el más utilizado y el mostraremos en la mayoría de los ejemplos.
- **PrusaSlicer:** creado a partir de una versión surgida de Slic3r, ha ganado mucha popularidad. No solo cuenta con una amplia lista de ajustes configurables, sino que además incorpora algunas características útiles como las estructuras de soporte personalizables.
- **Simplify3D:** desarrollado para usuarios profesionales por lo que es necesario obtener la licencia para uso, a pesar de esto es el software que utilizan la mayoría de las empresas ya que está asociada con muchas de ellas y prácticamente incluye todos los modelos de impresoras del mercado.
- **MatterControl 2.0:** es un programa de diseño sencillo de CAD, permite laminar, modificar STL y controlar la impresora de manera remota.
- **3DPrinterOS:** es una plataforma en la nube que integra el laminador, es interesante ya que dispone de una aplicación para reparar STL.
- **KISSlicer:** es el acrónimo de Kepp It Simple Slicer, consta de una aplicación multiplataforma y posee una versión gratuita para principiantes, aunque para usuarios avanzados se necesitaría la versión profesional de pago.
- **Slic3r:** gratuito y de código abierto, es apto para todos los niveles ya que es una herramienta bastante sencilla de usar.
- **IceSL:** no es un simple software de corte, incluye una herramienta de modelado 3D hecha con scripts usando un lenguaje basado en Lua. Puede cortar y generar de manera eficiente las instrucciones de la impresora 3D (por código G), evitando el costoso paso de crear una malla.

- OctoPrint: gratuito y de código abierto, aparte del segmentador también incluye una interfaz para el control de la impresora.
- Repetier-Host: es de código abierto y gratuita, es muy popular dentro de la comunidad RepRap ya que permite gestionar diferentes tipos de filamentos y colores. Incluye cuatro segmentadores diferentes, Slice3r, Slic3r Prusa Edition, CuraEngine y Skeinforge
- AstroPrint: es una plataforma en la nube del mismo estilo que Octoprint, la diferencia es que es demasiado simple y no tiene muchas opciones de configuración.

Aparte de los laminadores o segmentadores cabría destacar otros programas que son muy útiles a la hora de modificar STL y controlar la impresora:

- Meshmixer: es un software para impresoras 3D muy avanzado para ver, verificar, editar y reparar archivos STL. Es especialmente bueno para detectar problemas potenciales y repararlos automáticamente.
- Pronterface: este software es el más utilizado a la hora de controlar las impresoras de manera remota, es muy sencillo de utilizar de ahí su popularidad.

Con el modelo en el software de impresión debemos configurar los parámetros.

Aunque existen multitud de parámetros para poder definir a la perfección el proceso de impresión. A continuación, veremos los que son más relevantes y su cambio afecta en mayor medida a la calidad de nuestra impresión.

6.3.1. VELOCIDAD DE IMPRESIÓN

Con este parámetro controlaremos la velocidad a la que se mueve nuestro cabezal extrusor o nozzle por lo que estará muy relacionado con la calidad

En estos casos existen multitud de estudios que relacionan la calidad de la pieza con la velocidad de extrusión. Además, a medida que aumentamos la temperatura aumentará la fluidez del plástico y con ello nos permitirá aumentar la velocidad de impresión, por ello siempre es aconsejable realizar los test oportunos para conocer las temperaturas óptimas.

Hoy en día los programas de laminación o gestión de la impresión nos permiten modificar la velocidad en función de diferentes condiciones de nuestro modelo. En la siguiente ilustración vemos muchas de ellas.

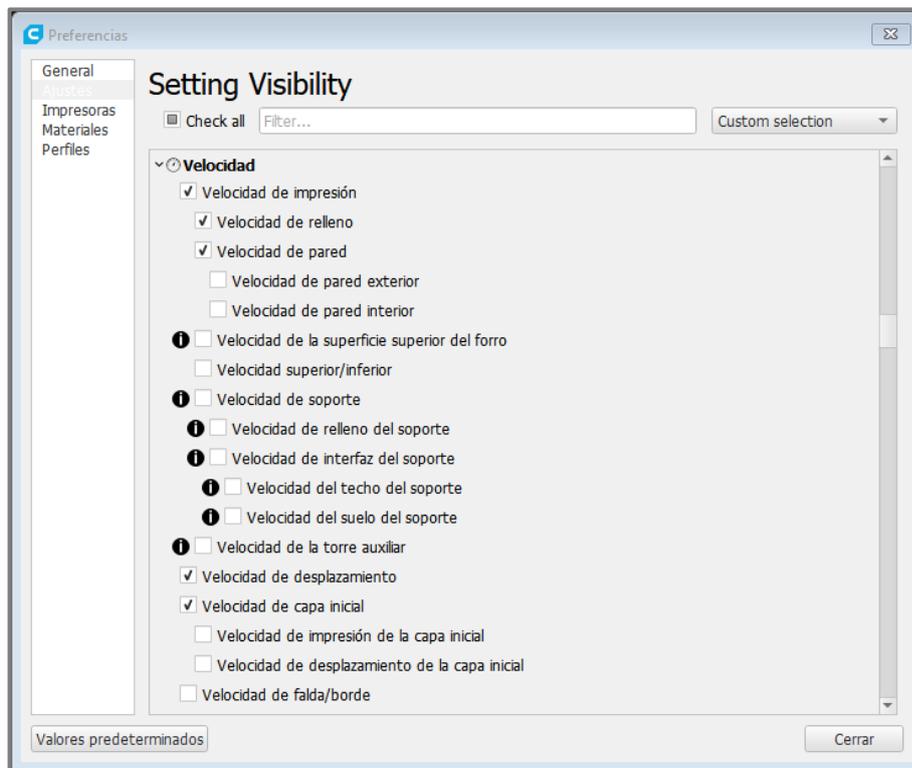


Ilustración 39 – Variedad de velocidades de impresión

Normalmente utilizaremos velocidades de impresión bajas en elementos que requieran más calidad o sean más complejos y velocidades más altas en elementos más sencillos. En la siguiente tabla vemos el porcentaje adecuado de la velocidad de impresión para las diferentes velocidades.

Tabla 1 – Velocidades de impresión.

<i>Tipo de velocidad</i>	<i>% de la velocidad de impresión</i>
<i>Relleno</i>	100% a 120%
<i>Pared o perímetro externo</i>	50%
<i>Pared o perímetro interno</i>	60%
<i>Superficie superior</i>	50%
<i>Desplazamiento</i>	300%
<i>Capa inicial</i>	40%
<i>Falda o borde</i>	40%
<i>Puentes</i>	70%

6.3.2. TEMPERATURA DE IMPRESIÓN

La temperatura de impresión nos indica la temperatura a la que está el interior del extrusor y a la que se imprime el filamento, este parámetro es de gran importancia ya que al igual que la velocidad, afecta mucho a la calidad de la impresión. Por ello, es muy importante realizar los test para caracterizar el material como veremos más adelante y así imprimir a la temperatura óptima.

Veamos cuáles son las ventajas e inconvenientes de aumentar o disminuir la temperatura óptima de impresión.

Tabla 2 – Efectos de variar la temperatura de extrusión.

	Aumentar la temperatura	Disminuir la temperatura
<i>Adherencia entre capas</i>	Mejora	Empeora
<i>Primera capa</i>	Mejora	Empeora
<i>Atascos del extrusor</i>	Mejora	Empeora
<i>Velocidad de extrusión</i>	Aumenta	Disminuye
<i>Degradación del plástico</i>	Aumenta	Disminuye
<i>Puentes y voladizos</i>	Empeora	Mejora
<i>Stringing</i>	Empeora	Mejora

6.3.3. ALTURA DE CAPA

La altura de capa nos define la distancia entre capas por tanto una mayor altura de capa nos dará como resultado una menor resolución en el eje Z. Además, una mayor altura de capa reduce el número total de capas necesarias para imprimir nuestra pieza. Por ello, es importante encontrar un equilibrio entre la calidad de la pieza y el tiempo de impresión que nos permiten las diferentes alturas de capa.

En caso de imprimir piezas con unas características muy geométricas podemos decantarnos por una altura de capa alta, en el caso de necesitar un acabado superficial mayor disminuiríamos en la medida de lo posible la altura de capa para mejorar el acabado superficial.



Ilustración 40 – Alturas de capa

6.3.4. ORIENTACIÓN DE LA PIEZA

La orientación de la pieza cobra gran importancia si queremos que nuestra impresión tenga que soportar fuerzas en una dirección o si necesitamos que alguna de las caras tenga mejor resolución o incluso podremos reducir los soportes cambiando la orientación.

Soportes: dependiendo de cómo orientemos la pieza es posible que necesitemos más soportes o incluso no los necesitemos. Podemos englobar los modelos en tres tipos muy básicos según su forma:

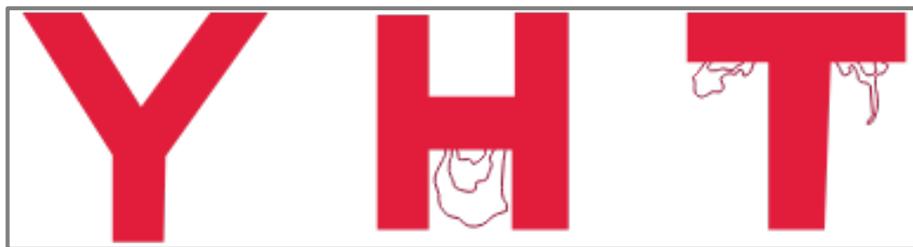


Ilustración 41 – Forma del modelo Y H T

- Y: en estos modelos se puede observar que no necesitaremos soportes para imprimirlos ya que cumple la regla básica de los 45° y nos garantiza que la capa estará apoyada sobre la capa anterior evitando los soportes.
- H: observamos que en la parte central siempre habrá una zona que está al aire por lo que podría necesitar soportes, aunque si la distancia es menor a 40mm y controlamos bien la velocidad de impresión y el ventilador de capa podremos imprimirla sin necesidad de soportes o con unos soportes mínimos.
- T: obligatoriamente necesitaremos utilizar soportes en estos modelos ya que tienen un voladizo que no permite usar las opciones para puentes. En estos casos es posible colocando la pieza en una posición diferente, volteándola normalmente solucionemos el problema. También deberemos sopesar si va a necesitar soportar fuerzas y en qué dirección para saber si deberemos imprimirla con soportes o será necesario hacer el cambio en la orientación.

Fuerzas: en el caso de tener que soportar fuerzas, debemos intentar que las capas sean lo más perpendiculares posible a la dirección de aplicación de la fuerza, ya que la adherencia entre capas nunca es perfecta y hay más posibilidades de que la pieza se rompa, en cambio si la fuerza se realiza en la dirección de la capa esta tenderá a deformarse antes de romper.

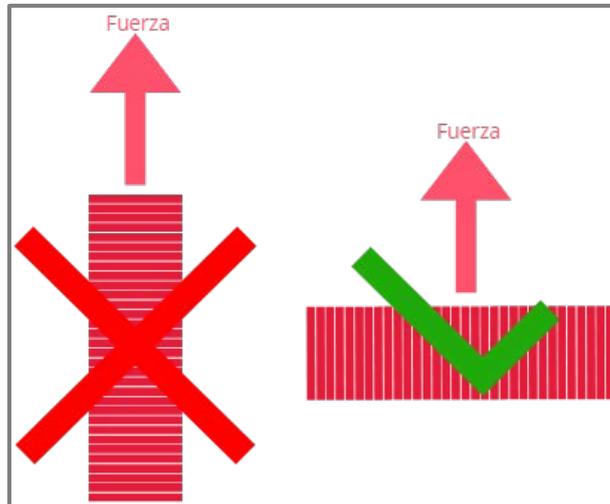


Ilustración 42 – Fuerza y orientación

Resolución: En cuanto a la resolución o calidad se puede observar que normalmente un nozzle de 0.4mm realizará las líneas de capa de la misma dimensión en X e Y, mientras que en la dirección Z al depender de la altura de capa podemos obtener mejores resoluciones, en muchos casos se utiliza 0.12mm de altura de capa con lo que obtendremos detalles con mejor calidad.



Ilustración 43 – Litofanía (mejor resolución en Z)

En muchos de los casos puede que sea conveniente dividir el modelo en varias partes para facilitar la orientación hacia las diferentes funciones mencionadas.

6.4. SEGMENTAR Y GENERAR GCODE A PARTIR DEL STL

Cuando tengamos seleccionados correctamente todos los parámetros de impresión para obtener el GCode (Lenguaje de programación de control numérico más utilizado) únicamente tendremos que segmentar el modelo y guardar en el formato GCode.

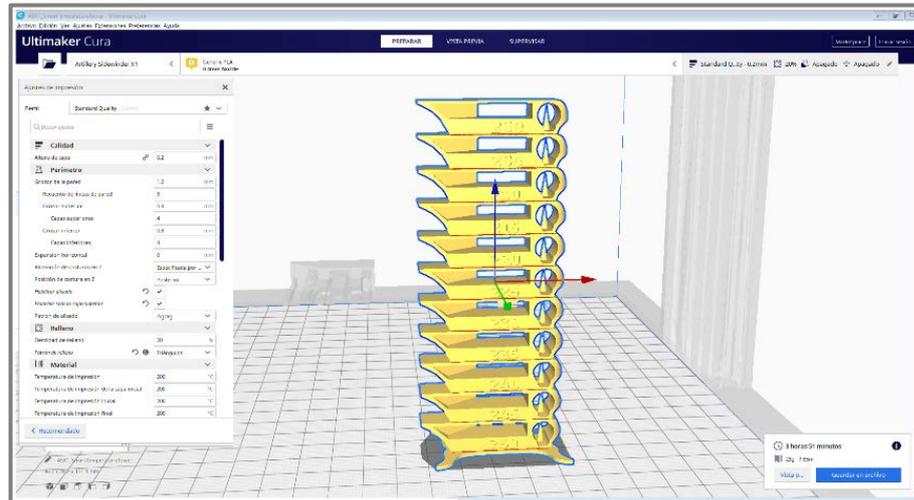


Ilustración 44 – Generar GCode

6.4.1. G-CODE

El código G es un lenguaje de programación simplificado que es mayormente utilizado en programación de herramientas y máquinas de control numérico “CNC”. Este código fue desarrollado por el laboratorio de servo mecanismos del Instituto de Tecnología de Massachusetts en la década de los 50, posteriormente se estandarizó en las siguientes normas: EIA RS 274D, ISO 6983 y DIN 66025. La base del código G es la misma para todas las normas con algunas diferencias entre ellas, además dependiendo del fabricante podemos encontrar modificaciones y ampliaciones dependiendo de la máquina a controlar.

Básicamente el lenguaje de código G se compone de líneas de código simple con diferentes letras y números que indican como y donde debe moverse la máquina, en el caso de la impresión como mover el cabezal, la cama, controlar velocidad de movimiento de los componentes, el encendido y apagado, etc.

Este lenguaje se puede dividir en dos tipos básicos de funciones:

- **Comandos M** no geométricos (Misceláneos): referidos a acciones que no están asociados a movimientos de la máquina como puede ser apagar o encender y calentar o enfriar. Este comando estará acompañado de argumentos numéricos y otras funciones complementarias. Dependiendo del argumento tendremos diferentes acciones que veremos en el siguiente punto.
- **Comandos G** geométricos: referidos a movimientos de máquina y herramientas. Este comando estará acompañado de argumentos numéricos y otras funciones complementarias.

Acompañando estas funciones tenemos otras complementarias:

- **X/Y/Z** = Ejes de coordenadas. Indican que el extrusor debe moverse en alguna de los ejes X, Y o Z. El número que lo acompaña indica los mm de movimiento.
- **F** = Velocidad del movimiento. Se usa para indicar la velocidad a la que debe moverse el extrusor de la impresora 3D. El número que lo acompaña indica los mm/min de velocidad.
- **E** = Extrusión de filamento. Se usa para indicar la cantidad de filamento que debe ser pasado a través de la boquilla del extrusor. El número que lo acompaña indica los mm de extrusión.
- **S** = Temperatura del extrusor o velocidad del ventilador de enfriamiento. Cuando se usa con los comandos G, se usa para indicar la temperatura (en grados centígrados) que debe alcanzar el extrusor. También se usa para ajustar la velocidad del ventilador que enfría el objeto impreso, cuando se usa con los comandos M.
- **T** = Especificar extrusor. Cuando tenemos más de 1 extrusor, podemos especificar cual extrusor se usará en cada comando específico. Con T0, normalmente, solicitamos el extrusor derecho. T1, se suele usar para pedir el extrusor izquierdo.

6.5. IMPRIMIR Y RETIRAR LAS PIEZAS DE LA IMPRESIÓN

Una vez obtenido el GCode solo debemos introducirlo en la impresora (siempre que la tengamos puesta a punto y con el filamento adecuado), debemos atender a la configuración adecuada de la impresora que nos suele proporcionar el fabricante, y hecho esto, solo tenemos que iniciar la impresión.

Es importante que comprobemos que el filamento no está obstruido antes de comenzar la impresión, básicamente podemos realizar una pequeña extrusión antes de comenzar, muchas veces si hemos configurado falda o balsa podremos ver si la impresión comienza perfectamente.

También debemos atender a la impresión y no abandonarla durante todo el tiempo de impresión, sobre todo si no disponemos de mucha experiencia en la impresión, ya que aun siguiendo todos los pasos pueden suceder errores, sobre todo en las primeras capas, y cuanto antes nos percatemos de estos más tiempo y material salvaremos.

Una vez terminada la impresión solo tenemos que despegar las piezas, si tenemos cama flexible despegar las piezas será muy sencillo, en caso de cama de cristal si hemos usado laca debemos dejar enfriar y por último humedecer la zona para disolver la laca y retirar con una espátula.

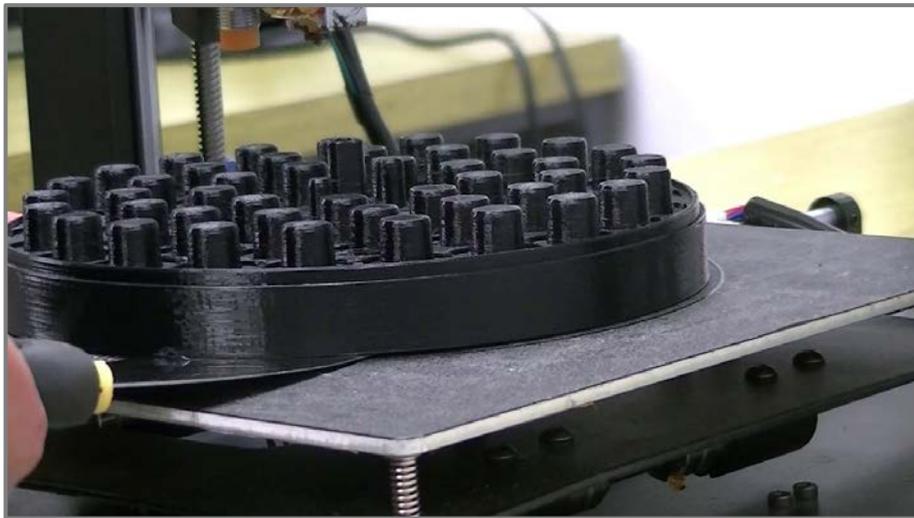


Ilustración 45 – Retirar la impresión de la cama

6.6. POSTPROCESADO

Una vez impresa nuestra pieza es posible que esta necesite montaje o que el acabado superficial no sea el adecuado, por lo que deberemos eliminar todos los soportes y procederemos a darle el acabado adecuado.

Tenemos que tener en cuenta que el postprocesado va a requerir mucho tiempo de trabajo, por lo que debemos intentar acercarnos lo máximo posible al acabado final durante la impresión ya que el tiempo total será mucho menor que teniendo que corregir mediante postprocesado.

6.6.1. LIJADO

El lijado es el método más común y más sencillo de realizar, únicamente necesitaremos lijas de diferente rugosidad o una lijadora o Dremel (herramienta rotativa).

Únicamente debemos lijar comenzando desde la rugosidad más alta y terminando por la más baja. Cuanto menor sea la rugosidad de la lija mejor acabado. También podemos realizar el último lijado humedeciendo la lija con agua para no perder las partículas abrasivas y mejorar el acabado final.

En el caso de realizar el lijado con una Dremel o lijadora debemos tener cuidado y realizarlo a la mínima velocidad ya que si aumenta mucho la temperatura por la fricción reblandecerá el material por lo que el efecto será el contrario y empeorará el acabado.



Ilustración 46 – Postprocesado por lijado

6.6.2. PULIDO

En este caso nos referimos al proceso de rozamiento con un abrasivo, pero sin ser el caso de la lija, podemos encontrar dos métodos:

- Chorro abrasivo: utiliza un chorro de aire que contiene el abrasivo (normalmente silicatos de aluminio o arena de sílice) con el que pulimos la superficie. No es muy común a nivel usuario ya que requiere tener una cabina y la máquina de chorro.
- Vibración con abrasivo: consiste en introducir la pieza en arena de sílice y mediante vibración se pulirá la pieza. Es muy común hoy en día e incluso existen diseños para imprimir.



Ilustración 47 – Postprocesado por vibración con abrasivo

6.6.3. RECUBRIMIENTO DE EPOXI

Consiste en la aplicación de una capa de epoxi con un pincel sobre toda la superficie de la pieza, lo que rellena los huecos y los surcos entre capas. Dejando un acabado superficial más liso y brillante, parecido a un lacado.



Ilustración 48 – Postprocesado por recubrimiento de epoxi

6.6.4. SUAVIZADO CON ACETONA

Este método solo es válido para piezas de ABS, ya que nos apoyamos en que el ABS se puede disolver en acetona, con lo que introduciéndolo en un ambiente con vapor de acetona esta fundirá la capa exterior de la pieza dando un acabado suave y brillante. Es necesario controlar el tiempo de exposición ya que podemos perder resistencia y afecta a la precisión ya que puede borrar detalles muy pequeños.



Ilustración 49 – Postprocesado con acetona

6.6.5. IMPRIMACIÓN

Consiste en la aplicación de una capa superficial de pintura que rellene los huecos y disimule las capas, se suele realizar un pequeño lijado para mejorar aún más la calidad. Existen espráis específicos para impresión 3D para este fin. Además, prepara la superficie para poder ser pintada.



Ilustración 50 – Postprocesado con imprimación

6.6.6. HIDROIMPRESIÓN

Esta técnica está adquiriendo mucha popularidad a pesar de su coste, ya que nos proporciona un acabado superficial mucho más personalizado. Consiste en depositar una película de pintura especial con una decoración o motivos sobre agua para después introducir la pieza y que la película se adhiera a la superficie de la pieza. Dado esto, no podremos realizarlo con piezas muy complejas o con esquinas muy pronunciadas.



Ilustración 51 – Postprocesado por hidroimpresión

6.6.7. UNIÓN

Para la unión de varias piezas podemos utilizar pegamentos normales para plásticos, normalmente no es aconsejable para piezas que necesiten soportar algún esfuerzo ya que esta unión es menos resistente que una unión sólida. Puede ser una buena solución en el caso en el cual tengamos que dividir una pieza que de otra manera sería muy complicada de imprimir con buena calidad.

Para mejorar ciertas uniones siempre podemos realizar soldaduras en la parte exterior, únicamente usaremos el filamento y un soldador para derretirlo sobre la unión mejorando así la adherencia exterior.



Ilustración 52 – Postprocesado unión por soldadura

CAPÍTULO 7. PROBLEMAS Y DEFECTOS MÁS COMUNES EN LA IMPRESIÓN 3D

En los siguientes apartados veremos los problemas más comunes en la impresión 3D y las posibles soluciones para cada uno de ellos, siempre tenemos que tener en cuenta que estas soluciones son las más comunes y que suelen dar resultado, pero puede darse el caso que no resuelva nuestro problema. Para evitar esto, debemos tener nuestra impresora bien calibrada, seleccionar el perfil correcto, atender a las características de nuestro material de impresión y sobre todo tener experiencia en la impresión para detectar que solución es la adecuada a cada problema.

7.1. ATASCOS DEL EXTRUSOR

Los atascos en la extrusión son una de las principales causas de fallo en las impresoras, por lo que es importante trabajar siempre con la impresora en perfectas condiciones y conocer perfectamente nuestra impresora y el material con el que trabajamos para ser capaces de prevenir los atascos en nuestra impresora y no perder la impresión además de todo el material utilizado, y en caso de aparecer, que seamos capaces de corregirlo y tener nuestra impresora a punto para próximas impresiones.



Ilustración 53 – Atasco grave del extrusor.

Para poder prevenir los atascos debemos conocer las principales causas que lo provocan:

- Impurezas en el canal de impresión: normalmente, aunque usemos un filamento de alta calidad siempre aparecen pequeñas impurezas que se acumulan en el nozzle y en el extrusor disminuyendo la sección y creando una disminución del flujo de impresión hasta que llegan a atascarlo.
- Teflón degradado: debido al uso y a estar sometido a altas temperaturas, cerca de unos 255°C, el teflón que tienen incorporado las impresoras en el extrusor se degrada, con lo que el material pierde su antiadherencia creando atascos en el extrusor.

Existen otros problemas que por sí solos no causarían atasco en el extrusor, pero hacen que el extrusor no funcione correctamente pudiendo afectar al flujo:

- El motor del extrusor no tiene suficiente fuerza de empuje de filamento.
- El motor no tiene bien calibrados los pasos por milímetro.
- Desgaste o suciedad en los dientes de la rueda de empuje, provocando que el filamento se deslice y no llegue a entrar al extrusor.
- Mala tensión en la rueda de empuje provocando el deslizamiento del filamento si es muy baja o deformación del filamento si es excesiva.
- Mala calibración de la cama, si la distancia es demasiado pequeña entre la cama y la punta del nozzle el filamento no puede salir correctamente provocando una mala impresión de las primeras capas.
- Mala configuración de las retracciones. Si no configuramos bien las retracciones y las realizamos en exceso puede que el filamento se desgaste en ese punto que tiene que ejecutar muchas retracciones y no se consiga el empuje suficiente por la rueda para mantener el flujo adecuado. Si las retracciones son muy lentas pueden provocar que parte del material caliente pase a la zona fría del extrusor y provocar atascos cuando se enfrían.
- Mala refrigeración, si no tenemos una buena refrigeración de la zona fría debido al mal funcionamiento o configuración esta se podría calentar en exceso y al enfriarse puede crear atascos en el extrusor. Hay que tener más en cuenta este efecto si tenemos un extrusor completamente de metal.
- Piezas rotas o sueltas.

7.1.1. DESATASCAR EL EXTRUSOR

En la mayoría de los casos podremos recuperar el extrusor ya que normalmente tienen un número muy alto de horas de impresión, por lo que el caso más común es el atasco de este por impurezas, y para corregirlo únicamente tenemos que utilizar una aguja de soldador, de acupuntura o un kit especializado de impresión 3D.

Para eliminar la impureza calentaremos el extrusor hasta una temperatura de unos 220° C e introduciremos la aguja por el nozzle varias veces y después probaremos a imprimir. Si vemos que no ha funcionado repetiremos el proceso hasta recuperar el flujo normal.

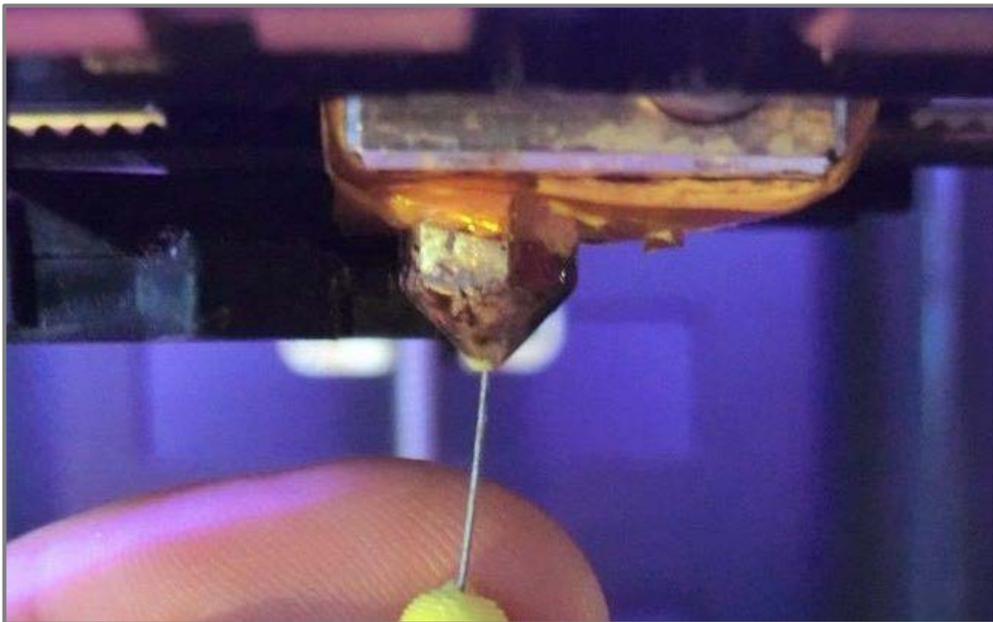


Ilustración 54 – Desatascar extrusor, introducir aguja en el nozzle.

En muchos casos para prevenir atascos podemos realizar una impresión continua de material utilizando filamentos flexibles. Estos necesitan una temperatura ligeramente superior al resto y tienen una alta adherencia con el resto de plásticos por lo que pueden recoger todas las impurezas que se acumulan. Pero solo podremos realizar este proceso si nuestro extrusor no está muy atascado, ya que si no tiene suficiente flujo podríamos complicar el problema.

7.2. AJUSTE Y NIVELADO DE LA CAMA

La nivelación de la cama es uno de los apartados que normalmente dominamos en primer lugar y que viene muchas veces indicado por el fabricante de nuestra impresora; por ello no se explicaremos cómo realizarlo, sino que vamos a ver cuál sería la altura correcta de nivelación.

Únicamente utilizaremos como referencia un folio y modificaremos la nivelación hasta que justo no podamos mover el folio en ninguna dirección.

Nos encontraremos tres casos para la nivelación en función de la distancia entre la cama y el nozzle:



Ilustración 55 – Altura cama extrusor: alta, correcta y baja.

- Distancia muy pequeña, por lo que se podrían producir atascos ya que no dejamos salir correctamente el filamento, y la primera capa de impresión no se realizaría correctamente provocando malas dimensiones en el eje Z, aparición de pie de elefante, mala adherencia de la primera capa, incluso que las diferentes líneas de impresión se solapen provocando zonas de diferente altura. Y en el peor de los casos podríamos dañar la cama.
- Distancia correcta, las líneas de impresión están perfectamente alineadas, no hay separación entre dos líneas de impresión consecutivas y no están demasiado comprimidas contra la cama, por lo que podremos apreciar una homogeneidad en toda la capa.
- Distancia muy grande, notaremos que las líneas de impresión no llegan a tocarse entre sí, creando una especie de malla por lo que la adherencia tampoco es la mejor porque no está en contacto con toda la superficie necesaria y provocaría que la pieza se despreque.

7.3. WARPING O PANDEO

El warping era uno de los problemas más comunes en la impresión 3D en sus comienzos y que se ha controlado con la aparición de las camas calefactadas. Consiste en el pandeo de la pieza por la contracción que se produce en el material durante el enfriamiento, cuando esta tensión de pandeo o contracción es superior a la de adhesión a la cama esta se despega y se comba produciendo el defecto que llamamos warping.

Las principales causas del warping son:

- Una mala adherencia de la cama, como hemos indicado si tenemos suficiente adhesión a la cama la tensión no superará esta fuerza y el material al enfriarse mantendrá su forma hasta estabilizarse.
- Mala calibración de la cama, está relacionado con el punto anterior ya que una mala calibración provoca que la adhesión a la cama sea peor.
- Mal control del enfriamiento y la corriente de aire. En el caso de materiales con un enfriamiento muy rápido como el ABS si habilitamos los ventiladores de capa aumentamos el efecto de la contracción ya que no le da tiempo a estabilizar las tensiones provocando el warping.

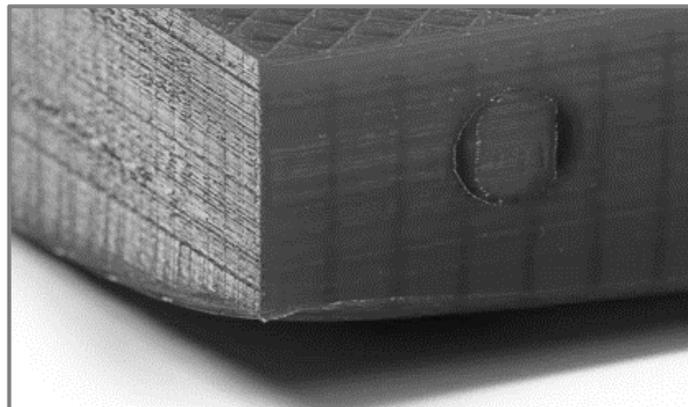


Ilustración 56 – Warping o pandeo.

Las soluciones más comunes para evitar el warping son las siguientes:

- Una solución muy simple es activar la cama caliente, pero en muchos casos no se dispone de ella y puede ser un desembolso económico que no es necesario asumir. Sólo con la cama caliente se elimina el warping en la mayoría de materiales.
- Para solucionar la mala adherencia a la cama se recomienda usar lacas para mejorar la adherencia, y si lo sumamos a la cama caliente sus efectos son mucho mayores.

- Brim o borde: en Cura configuraremos esta opción que nos crea un borde alrededor de la pieza aumentando la superficie de la primera capa. En caso de que el borde no fuese suficiente, podríamos añadir círculos de adherencia en las esquinas de nuestra impresión para aumentar los efectos del borde.

Adherencia de la placa de impresión	
Tipo adherencia de la placa de impresión	Borde
Longitud mínima de falda/borde	250 mm
Ancho del borde	8.0 mm
Recuento de líneas de borde	20
Distancia del borde	0 mm
Borde solo en el exterior	<input checked="" type="checkbox"/>

Ilustración 57 – Brim o borde en Cura

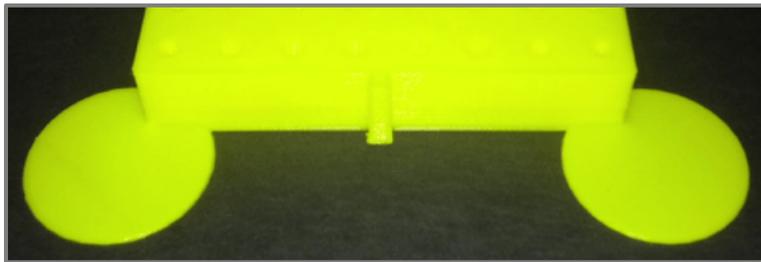


Ilustración 58 – Círculos de mejora de adherencia

- Cerrar la impresora, la función de esta opción es mantener el calor de la impresión en la zona de impresión (mejora los efectos de la cama caliente) y evitar las corrientes de aire no deseadas.



Ilustración 59 – Cerramiento de impresora

7.4. CRACKING O DELAMINACIÓN

El cracking es un defecto muy similar al warping, pero en este caso se debe a la mala adherencia entre capas provocando grietas o separación entre capas (de ahí el nombre de delaminación) en el plano horizontal de impresión. Está provocado al igual que el warping por la contracción del material.



Ilustración 60 – Cracking o delaminación

Las causas son muy similares a las del warping:

- Una mala adherencia entre capas, normalmente es debido a un enfriamiento muy rápido de la capa lo que provoca que no se fundan correctamente dos capas contiguas.
- Falta de temperatura en la impresión, que provoca que las capas no se fusionen adecuadamente.
- Mal control del enfriamiento y la corriente de aire, en el caso de materiales con un enfriamiento muy rápido como el ABS si habilitamos los ventiladores de capa aumentamos el efecto de la contracción ya que no le da tiempo a estabilizar las tensiones, provocando el warping.

Las soluciones para evitar este defecto son:

- Aumentar la temperatura de impresión dentro del rango de temperaturas aptas para la impresión, que obtenemos a partir del test de temperatura.
- Reducir la velocidad de los ventiladores de capa aumentando el tiempo de enfriamiento de la capa y facilitando la fusión entre capas.
- Aumentar la temperatura de la cama caliente con lo que aumentaremos la cúpula de calor sobre la impresora, aunque en piezas muy altas seguirá apareciendo cracking a partir de cierta altura.
- Cerrar la impresora, la función de esta opción es mantener el calor de la impresión en la zona de impresión (mejora los efectos de la cama caliente) y evitar las corrientes de aire no deseadas.

7.5. LAYER SHIFT O DESPLAZAMIENTO DE CAPAS

Este problema consiste en el desplazamiento de las capas en el plano horizontal en los ejes X o Y o ambos a la vez, como si hiciésemos un corte en la impresión y lo desplazásemos para ver el interior.

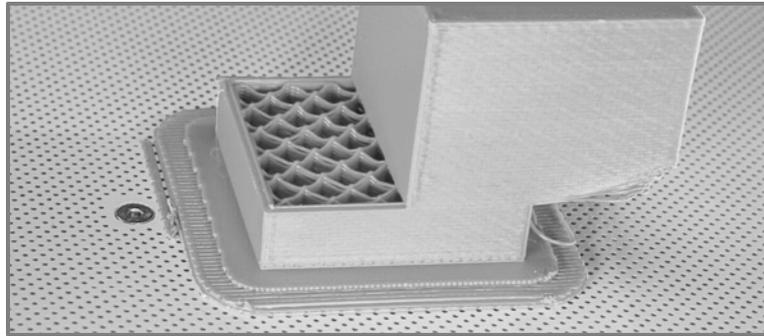


Ilustración 61 – Layer shift o desplazamiento de capas

Las causas que provocan este defecto son muy diversas:

- El cabezal de extrusión se mueve demasiado rápido provocando que en la correa se salte algún diente o incluso llegue a patinar, haciendo que el cabezal no esté situado en la posición que marca el código.
- Poca tensión en las correas o dientes dañados, al tener poca tensión provoca que sea más sencillo saltarse un diente.
- Exceso de temperatura en la electrónica de la impresora, si vamos a realizar impresiones muy largas tenemos que tener en cuenta que los drivers se van a calentar provocando un mal funcionamiento y haciendo que los motores se salten pasos o no funcionen correctamente ya que no están diseñados para trabajar a altas temperaturas.

Para solucionar estos problemas probaremos los siguientes consejos:

- Controlar las velocidades de impresión y de movimiento en vacío, normalmente con una velocidad inferior a 100mm/s obtendremos buenos resultados sin comprometer la máquina.
- Mantener las correas en buenas condiciones y verificar que la tensión es la adecuada.
- Para controlar el exceso de temperatura debemos controlar la disipación de calor montando disipadores. En caso de utilizar cerramientos debemos intentar que la electrónica esté fuera del cerramiento, garantizando así que no supere los 50°C. Para impresiones muy largas podemos configurar paradas de impresión para que la electrónica descanse y se enfríe.

7.6. Z-WOBBLE O BAMBOLEO EN Z

Este defecto es muy común y normalmente es difícil identificarlo a simple vista. Consiste en el movimiento ligero de capas a lo largo del eje Z, como si una capa se desplazase hacia cada lado en forma de pequeñas ondulaciones de manera periódica o siguiendo un patrón.

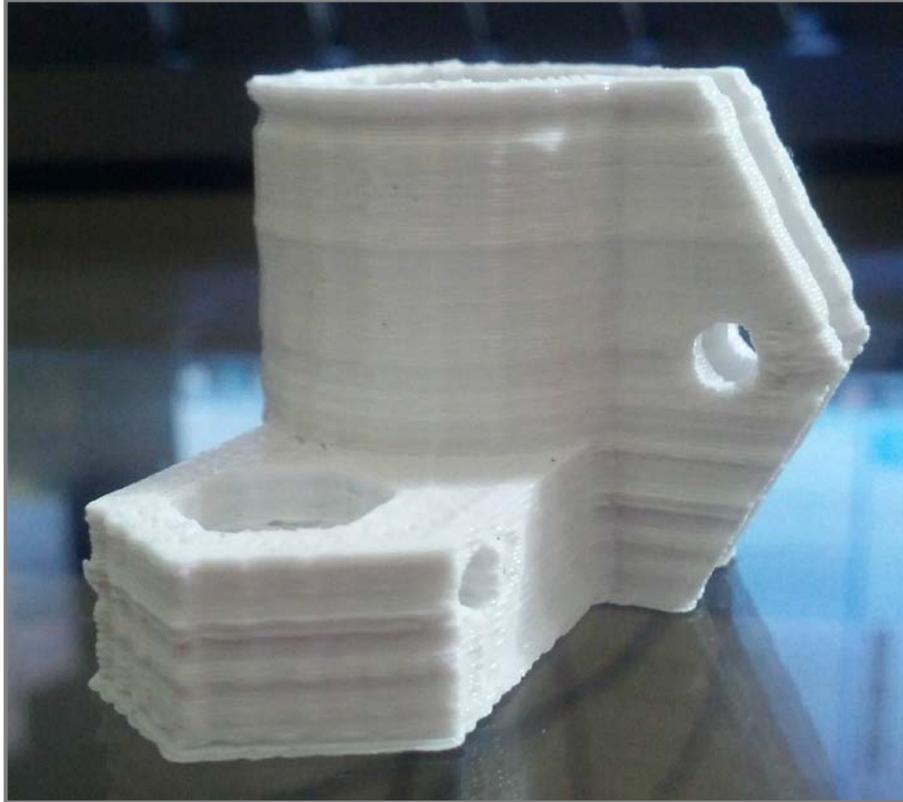


Ilustración 62 – Z-wobble o bamboleo en z

En cuanto a las causas que lo provocan se resumen básicamente en mala configuración en la construcción de la máquina o desajuste de alguno de los tornillos que afectan al eje Z, como por ejemplo una máquina que tenga mucho voladizo, lo que provoca vibraciones en el eje Z.

La solución es complicada normalmente, ya que suele ser provocada por el mal diseño de la máquina y por ello habría que añadir rigidizadores para el eje Z que reduzcan el bamboleo. Debemos intentar eliminar las holguras que afectan al eje Z ajustando toda la tornillería y comprobando la holgura del husillo y las tuercas trapezoidales.

7.7. STRINGING O HILOS

El stringing es un defecto muy común pero que no suele tener consecuencias para la integridad de la pieza. Consiste en la aparición de hilos finos de filamento debido al movimiento en vacío del extrusor y a la fluidez del material que sigue goteando, aunque no se ejerza más presión.

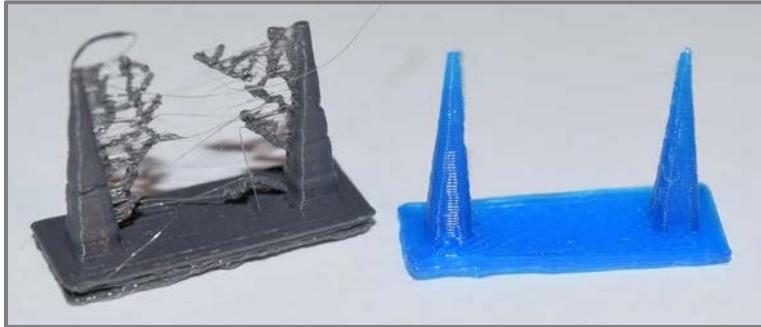


Ilustración 63 – Modelo y ejemplo de stringing

El causante de este defecto suele ser una mala configuración del laminador o incluso una mala calidad del extrusor o un hotend dañado.

Normalmente es fácil de solucionar, controlando los siguientes parámetros podremos mejorar en gran medida la aparición de hilos:

- **Temperatura:** si imprimimos a una temperatura demasiado alta para nuestro material la fluidez será demasiado alta también generando un mayor goteo, por lo que es conveniente encontrar la temperatura óptima de nuestro material mediante una torre de temperatura y si persiste debemos tomar la temperatura más baja de nuestro rango obtenido.
- **Distancia de retracción:** consiste en retirar el filamento del extrusor para disminuir la presión y que se pare la extrusión bruscamente eliminando el goteo. Unos valores normales son entre 3 y 6 mm para tipo Bowden, y entre 0,5 y 2mm para directa.
- **Velocidad de retracción:** define la velocidad a la que se retira el filamento. Está inversamente relacionado a mayor velocidad menor stringing, normalmente podemos establecer esta velocidad entre 40 y 60 mm/s.

Para controlar estos parámetros y encontrar los adecuados existen modelos simples con tiempos de impresión de 1 min con los que podemos hacer variaciones de los 3 parámetros hasta encontrar los adecuados:

- <https://www.thingiverse.com/thing:2219103>

7.8. OVERHEATING, CURLING O SOBRECALENTAMIENTO

Este defecto es provocado como bien indica su nombre por fundir nuestro filamento a temperaturas excesivas, siendo esta la principal causa. Podemos detectar rápidamente este problema ya que nuestra impresión se verá deformada, tendrá la parte central de la capa hundida, aparecerán zonas con exceso de material o incluso en casos extremos zonas negras debido al degradado del filamento.

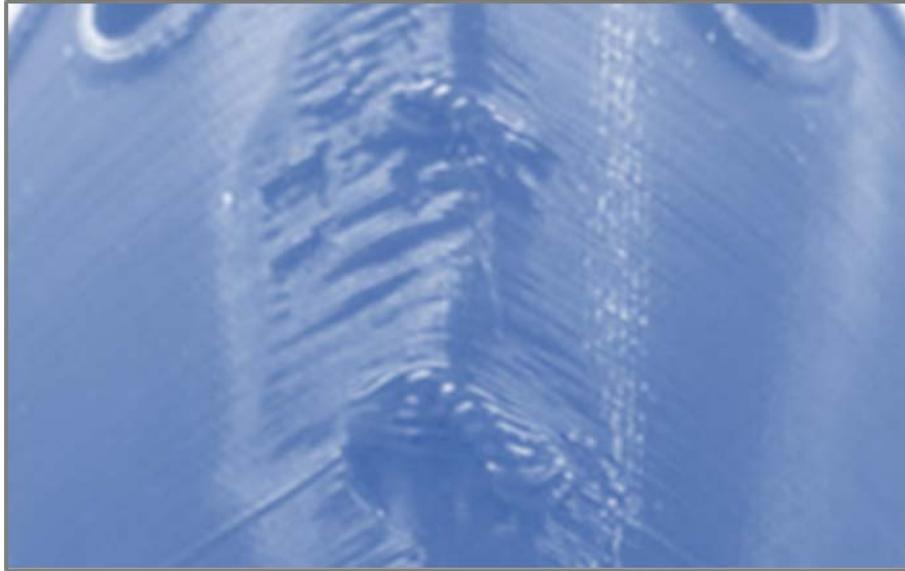


Ilustración 64 – Efectos del Sobrecalentamiento u Overheating

Las soluciones son simples, podemos bajar la temperatura a la óptima como veremos en el test de temperatura o controlar la velocidad de enfriamiento con el ventilador de capa contrarrestando la fluidez del material y permitiendo imprimir a velocidades ligeramente más elevadas.



Ilustración 65 – Efectos del Sobrecalentamiento u Overheating

7.9. EL PIE DE ELEFANTE

El pie de elefante consiste en la expansión de las capas inferiores, aumentando las dimensiones y empeorando la calidad dimensional horizontal.

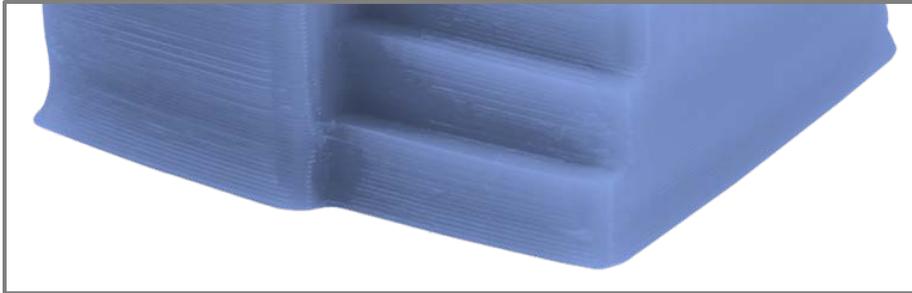


Ilustración 66 – Pie de elefante

Las causas normalmente son dos y pueden darse simultáneamente:

- Mala calibración de la cama de impresión, si la distancia entre la cama y el extrusor es más baja de lo recomendado a pesar de que mejoraremos la adherencia, las primeras capas presentarán este defecto debido a que el material desbordará haciendo la línea de impresión más ancha y con menor altura (a mismo flujo se mantiene la sección, si disminuye la altura aumenta la anchura)
- Temperatura de extrusión o de la cama elevada, lo que conlleva que cuando imprime la capa, la anterior no haya tenido tiempo de enfriarse provocando el aplastamiento y su expansión horizontal.

Como soluciones probaremos los siguientes consejos:

- Ajustar correctamente la cama de impresión como en la imagen.



Ilustración 67 – Altura cama extrusor: alta, correcta y baja

- Disminuir la temperatura de la cama en función del material y aumentar el ventilador de capa.
- Aplicar un pequeño chaflán en el borde inferior para contrarrestar los efectos que provoca este problema.

7.10. GHOSTING, RINGING O VIBRACIONES

Este defecto se caracteriza por mostrar vibraciones en la dirección del eje Z provocando que en los cambios de dirección o modificaciones bruscas de velocidad aparezcan unas ondulaciones como si el contorno tuviese sombras, que podemos observar en la imagen.

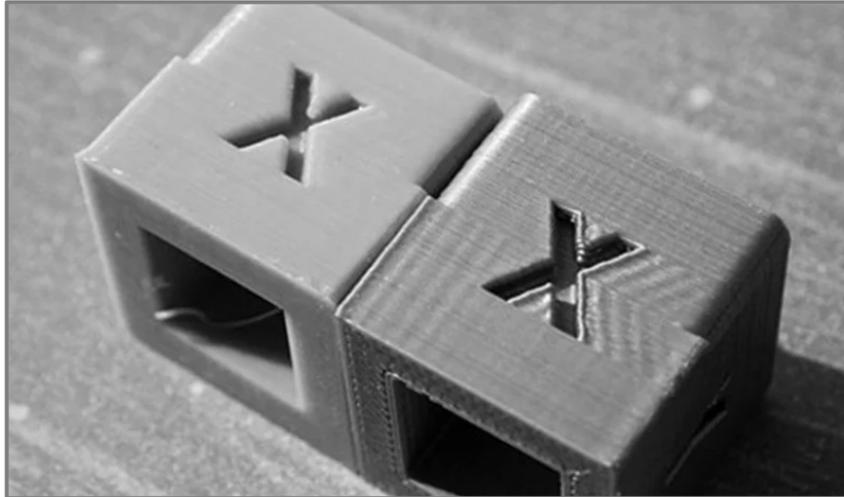


Ilustración 68 – Ghosting o ringing

Veamos las causas y consejos para solucionarlo:

- Una alta velocidad de impresión, aunque no es una causa en sí, este defecto se acentúa si la velocidad es muy alta y no tenemos bien calibrada las aceleraciones y el flujo, por tanto, podemos eliminarlo en gran medida reduciendo la velocidad de impresión.
- Demasiado peso en las partes móviles, lo que hace más complicado compensar el impulso que lleva la impresora. Lo que nos lleva a que cuanto más aligeremos el peso que soportan los ejes, más sencillo será compensar el impulso del extrusor a la impresora y se reducirá notablemente el ghosting.
- Mala configuración del avance lineal, ya que no se controlan bien los cambios de aceleración en los contornos, provocando mayores vibraciones. Para solucionarlo debemos realizar el test adecuado.
- Verificar holguras y tensión de las correas, si existen holguras se traducen en vibraciones en la impresión en los cambios de dirección, por lo que debemos realizar un buen mantenimiento de rodamientos y comprobar que las correas están ligeramente tensas como las cuerdas de una guitarra.

CAPÍTULO 8. MÉTODOS PARA MEJORAR LA IMPRESIÓN 3D

8.1. TEST DE TEMPERATURA

La impresora 3D lo que hace es fundir plástico, para lo cual hay que calentarlo hasta el punto en que fluye a través de la boquilla. Cada tipo de plástico tiene su propia temperatura de fusión determinada por sus características químicas. Además, el material puede tener aditivos diferentes dependiendo del fabricante, incluso un mismo material con diferentes colores puede tener diferentes temperaturas de extrusión debido a los pigmentos que se le añaden. Por último, no todas las impresoras tienen situado el sensor de temperatura en el mismo sitio, sin tener en cuenta también que normalmente desconocemos la precisión y exactitud del sensor. Por lo tanto, aunque el fabricante nos dé una referencia de la temperatura de extrusión que debemos utilizar (normalmente nos da un rango de temperaturas) debemos comprobar cuál sería la temperatura que nos proporciona un mejor rendimiento de impresión.

8.1.1. CUÁNDO REALIZAR UN TEST DE TEMPERATURA.

Como hemos indicado en la introducción deberíamos realizar el test siempre que se cambie alguno de los factores que afectan a la temperatura de impresión.

Los factores que afectan a la temperatura de extrusión de mayor a menor influencia:

- El material o tipo de filamento.
- La impresora y sus características.
- El fabricante del filamento.
- El sensor: su posicionamiento, precisión y exactitud.
- Los aditivos.
- El color.

8.1.2. DEFECTOS QUE PUEDE PROVOCAR UN MAL AJUSTE DE LA TEMPERATURA DE EXTRUSIÓN

- En el caso de ser demasiado baja podría provocar puntos donde las capas sucesivas en la dirección Z no lleguen a fundirse entre sí y se separen provocando lo que conocemos como Delaminación o Cracking. Además, puede provocar que la primera capa no tenga suficiente adherencia a la base (Warping) y por tanto se despegue con facilidad.

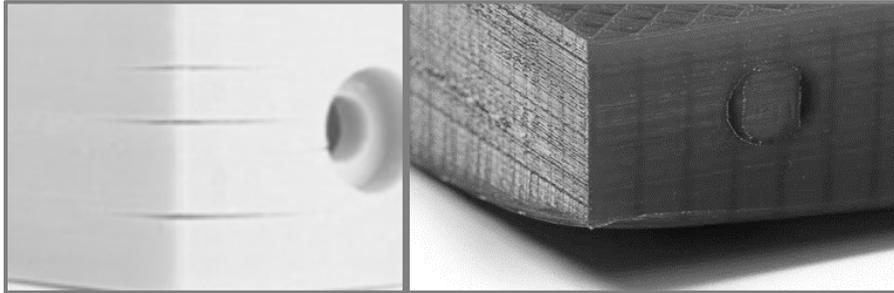


Ilustración 69 – Efectos de temperatura de extrusión baja. Cracking y Warping

- En el caso de aumentar demasiado la temperatura de impresión, también conocido como Overheating, el plástico crea burbujas y el flujo deja de ser constante, por tanto comienzan a aparecer irregularidades en la impresión creando zonas rugosas y zonas con exceso o defecto de material. Además, el material estará más líquido y aparecerán más problemas a la hora de imprimir los denominados puentes y voladizos o zonas con ángulos cercanos a los 45°.

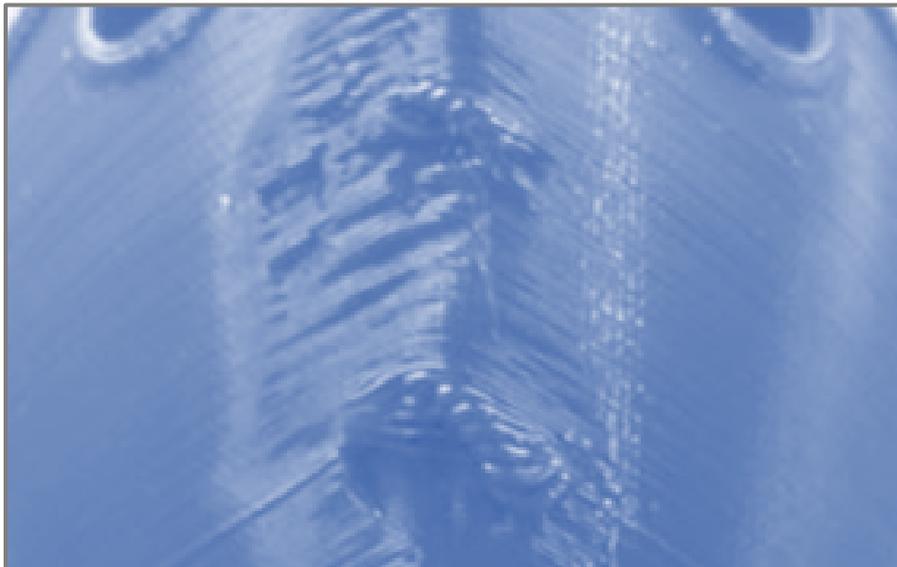


Ilustración 70 – Efectos del Sobrecalentamiento u Overheating

8.1.3. DETERMINAR LA TEMPERATURA DE EXTRUSIÓN

Para poder determinar la temperatura óptima de extrusión debemos realizar un test de torre de temperatura. Para ello imprimiremos una torre en la que cada cierto número de capas o de altura variaremos linealmente la temperatura, y así podremos comprobar en qué temperatura aparecen menos defectos.

Realizaremos el test utilizando como ejemplo PLA suponiendo que no conocemos el rango de temperaturas que nos proporciona el fabricante, por lo que trabajaremos con un rango estándar de 225° a 180°.

8.1.3.1. PRIMER PASO: MODELO DEL TEST

Existen múltiples test de torre de temperatura en internet. Aunque en el caso de no disponer de uno o necesitar realizar un test rápido podemos realizar el nuestro propio, ya que los test que circulan por internet engloban varios test y su duración puede llegar a las 4 horas en los más completos. Normalmente los test que podemos encontrar nos dan más información que la temperatura de extrusión.

- **Modelo descargado de internet:**

Utilizaremos el siguiente modelo obtenido gratuitamente de la página de thingiverse:

<https://www.thingiverse.com/thing:2729076>

Este test nos da un poco de información sobre otras características de impresión como:

- Voladizos desde 60° a 25°.
- Puentes de 15mm a 30mm.
- Stringing (formación de hilos debidos al movimiento de la máquina en zonas donde no debe extruir).
- Formas curvadas.

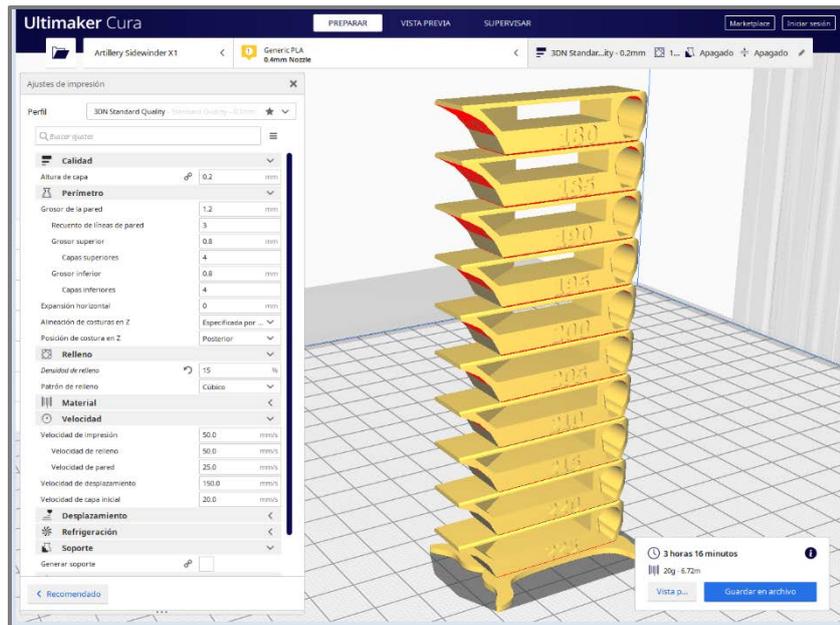


Ilustración 71 – Test temperatura descargado de internet

- **Modelo creación propia:**

En este caso, solo obtendremos información sobre la temperatura y puede resultar algo más complicado determinar la temperatura óptima.

Debemos crear un prisma cuadrangular, en el cuál si podemos le realizaremos una muesca entre las zonas donde se realizará el cambio de temperatura para poder ver estos cambios, ya que en algunos casos pueden ser imperceptibles (en este caso cada 5mm).

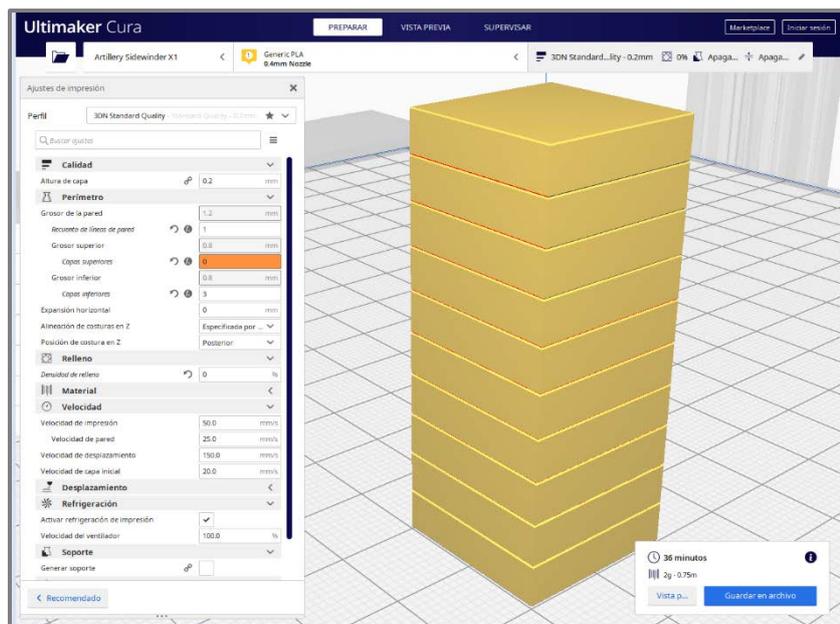


Ilustración 72 – Test temperatura propio

8.1.3.2. SEGUNDO PASO: ESTABLECER LOS PARÁMETROS DE IMPRESIÓN

- **Modelo descargado de internet:**
 - Altura de capa (Resolution): 0.2 mm
 - Velocidad de impresión: 50 mm/s (No es muy influyente, pero para poder comparar con otras torres de temperaturas es aconsejable estandarizar la velocidad)
 - Temperatura de impresión: se ajustará a la máxima que nos indica el fabricante.
 - Relleno (Infill): 15%
 - Ventilador: depende del tipo de material, en el caso del PLA podemos trabajar entre el 80% y el 100%, mientras que para ASA o ABS debemos desactivarlo.
 - Soportes: Desactivados.

- **Modelo creación propia:**
 - Altura de capa (Resolution): 0.2 mm
 - Velocidad de impresión: 50 mm/s (No es muy influyente, pero para poder comparar con otras torres de temperaturas es aconsejable estandarizar la velocidad)
 - Temperatura de impresión: se ajustará a la máxima que nos indica el fabricante.
 - Relleno (Infill): 0%
 - Perímetros: 1
 - Capas superiores: 0
 - Capas inferiores: 3
 - Ventilador: depende del tipo de material, en el caso del PLA podemos trabajar entre el 80% y el 100%, mientras que para ASA o ABS debemos desactivarlo.
 - Soportes: Desactivados.

8.1.3.3. TERCER PASO: MODIFICAR EL GCODE PARA QUE CAMBIE LA TEMPERATURA CON LA ALTURA

Necesitamos que la temperatura varíe entre cada módulo para poder comprobar cuál es la óptima.

Para ello nos dirigimos al software de impresión 3D, en nuestro caso trabajamos con Cura y lo explicaremos para este software.

Una vez dentro de Cura, habiendo abierto nuestro modelo test y modificado todos los parámetros necesarios, nos dirigiremos a la barra de herramientas y buscaremos:

Extensiones/Posprocesamiento/Modificar GCode

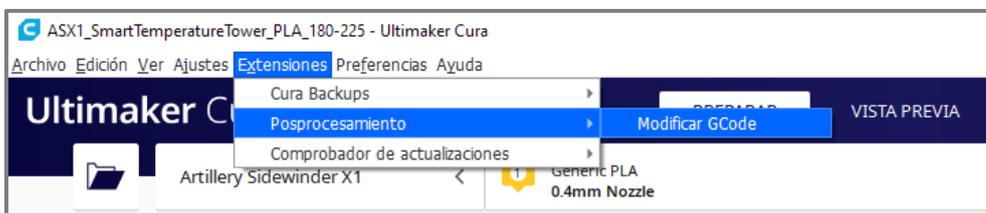


Ilustración 73 – Modificar GCode Cura

Donde se nos abrirá la siguiente ventana:

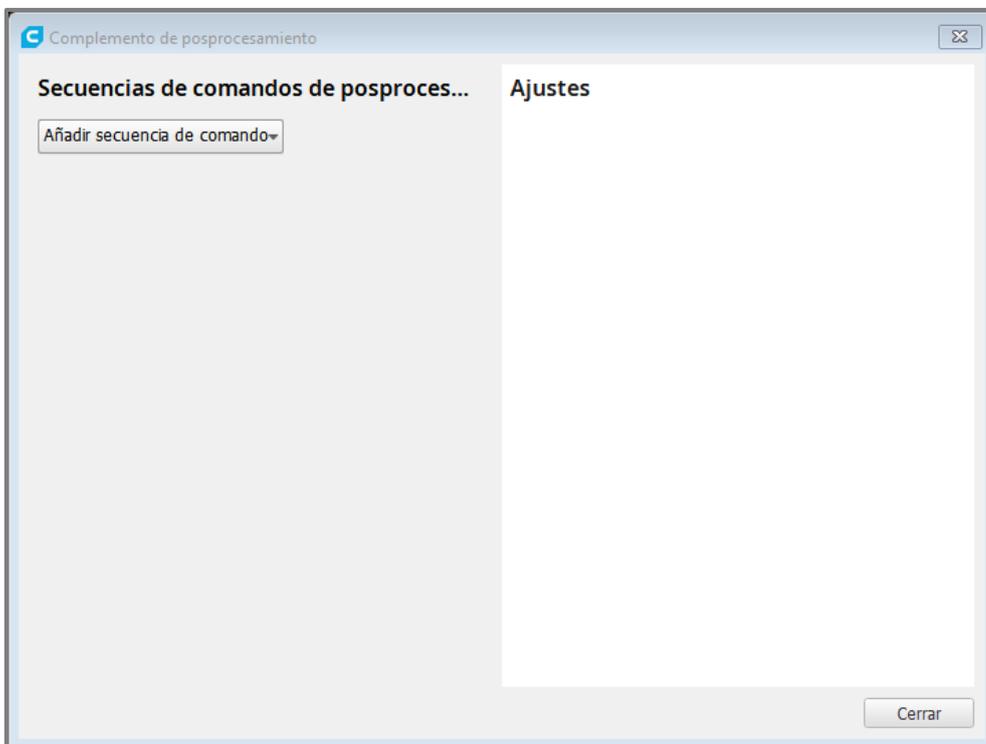


Ilustración 74 – Complemento de posprocesamiento Cura

Este menú nos permite modificar los valores de nuestro GCode de impresión en curso, por lo que si en algún momento necesitamos realizar variaciones en nuestro GCode podemos realizar cambios, como por ejemplo programar un cambio de filamento, programar pausas de impresión en función de la altura o el número de capas, incluso si nuestra impresora lo permite podemos realizar funciones más avanzadas como Time lapse o Color Mix aunque estas opciones no se recomiendan a no ser que seamos usuarios experimentados.

En este caso, vamos a modificar la temperatura conforme avanza nuestro eje Z (por mm). Para ello seleccionaremos:

Añadir secuencia de comando/ChangeAtZ 5.1.1 (Experimental)

Donde añadiremos tantos niveles como cambios de temperatura se deban realizar, repitiendo el último paso para que cada módulo del test se realice a la temperatura adecuada. Incluyendo la base del modelo, debemos realizar unos 10 cambios en la temperatura de impresión dependiendo del modelo elegido.

En cada uno los niveles deberemos modificar los siguientes parámetros:

- Trigger (Activar): Height (Elegimos cuando se activará el cambio, en este caso cuando alcanza la altura elegida)
- Change height (Altura):
 - Modelo descargado de internet: el primer cambio se produce a 1.4 por la altura de la base, y cada módulo tiene una altura de 10 mm. Por tanto, el siguiente cambio de temperatura se produce a 11.4.
 - Modelo propio: en este caso para que sea un test rápido los módulos están separados por 5 mm.
- Change extruder 1 Temp: activamos esta opción para que nos permita añadir la temperatura. En caso de disponer de dos extrusores debemos asegurarnos con cuál vamos a realizar la impresión ya que será al que modificaremos su temperatura.
- Extruder 1 Temp: dependiendo de la altura necesitaremos una temperatura. Como en este ejemplo, que lo realizaremos con PLA en un rango de temperaturas de 225° a 180° y con cambio de temperatura en intervalos de 5 grados.

Finalmente nos quedaría una relación de temperatura en función de la altura de la siguiente manera:

Tabla 3 – Torre de temperatura. Variación de la temperatura con la altura.

<i>Temperatura (grados)</i>	<i>Altura (mm) Descargado</i>	<i>Altura (mm) Creación propia</i>
225°	1.4	0
220°	11.4	5
215°	21.4	10
210°	31.4	15
205°	41.4	20
200°	51.4	25
195°	61.4	30
190°	71.4	35
185°	81.4	40
180°	91.4	45

En las siguientes imágenes vemos los parámetros modificados y un ejemplo del primer y último caso para el modelo descargado de internet.

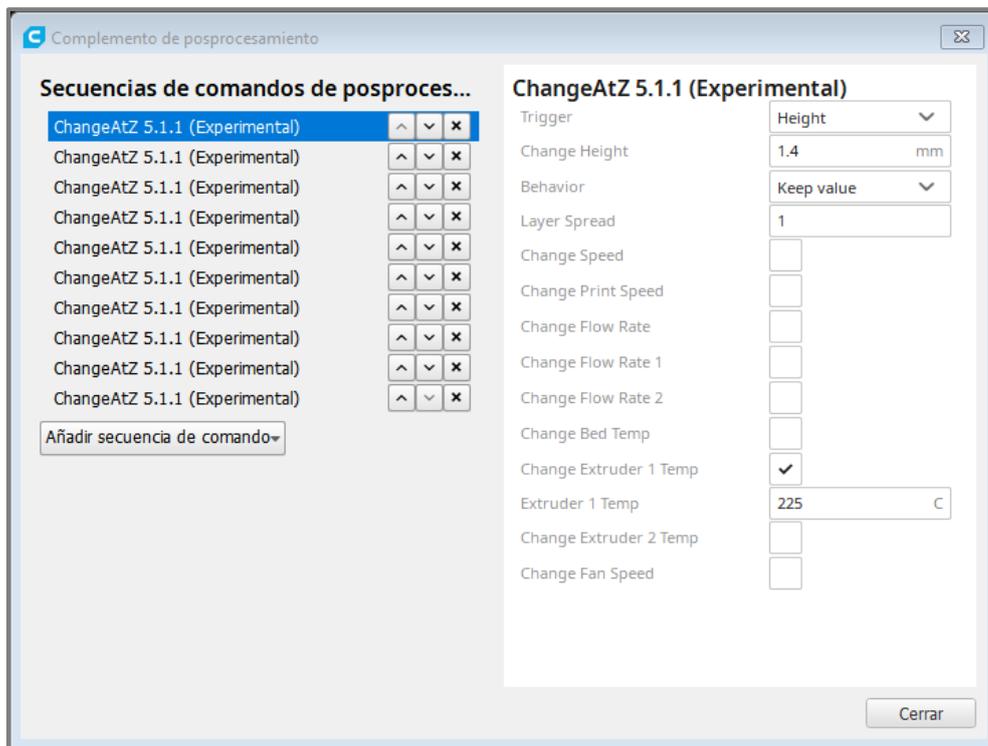


Ilustración 75 – Primer cambio de temperatura del modelo de internet

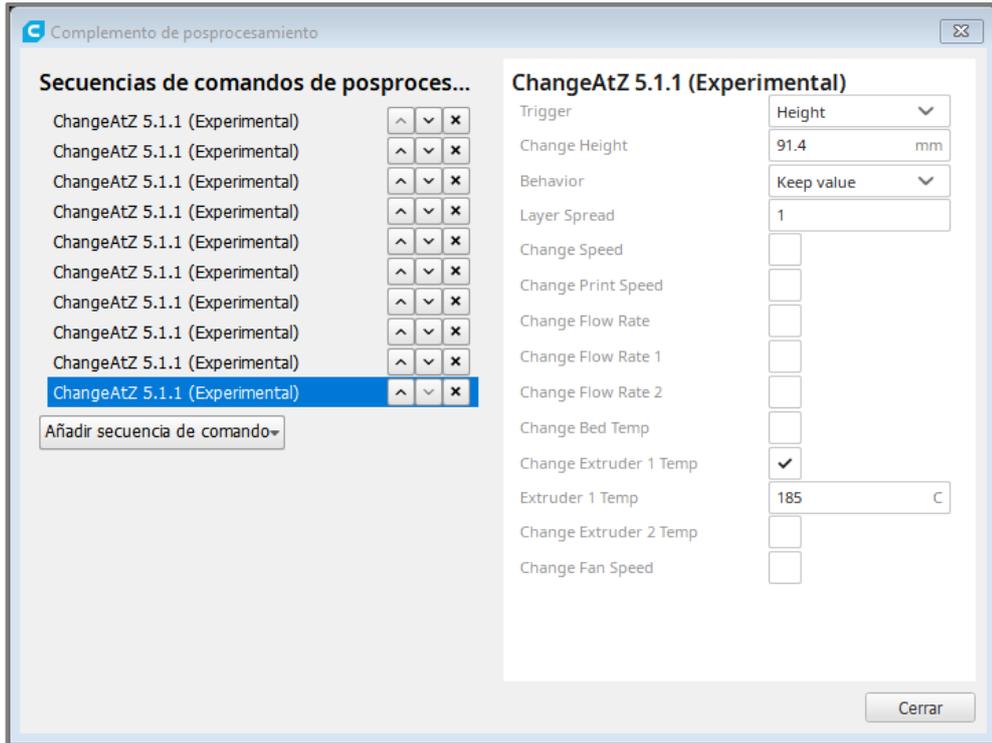


Ilustración 76 – Último cambio de temperatura del modelo de internet

Una vez completado el proceso nos aparecerá un icono de herramientas con el número de modificaciones en el GCode junto a los botones de vista previa y el tiempo de impresión, que nos indica que lo hemos realizado correctamente, como se muestra en la siguiente imagen:

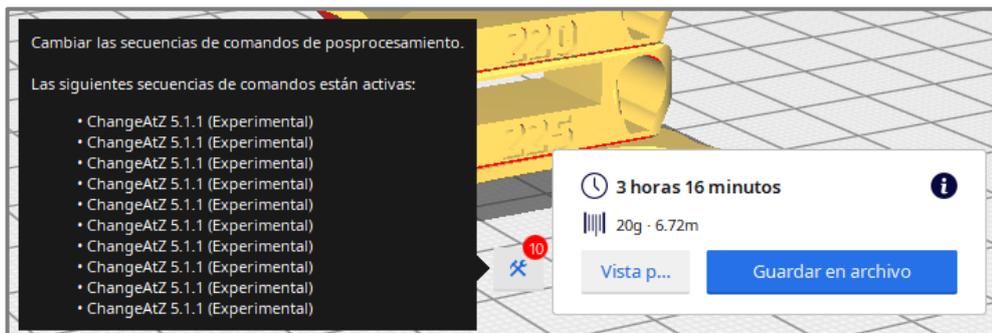


Ilustración 77 – Icono de modificaciones en el GCode. Cura

8.1.3.4. CUARTO PASO: IMPRESIÓN Y ELECCIÓN DE LA TEMPERATURA ÓPTIMA DE IMPRESIÓN.

Una vez impreso correctamente nuestro modelo deberemos elegir que temperatura será la óptima en nuestro caso, para ello seguiremos las siguientes premisas:

- Temperatura demasiado alta: si aparecen burbujas en la superficie, creando poros o pequeños agujeros en la misma.
- Temperatura demasiado baja: si las capas tienden a separarse entre sí creando grietas longitudinales, o si encontramos pequeños pegotes o grumos ocasionales.
- Temperatura correcta: acabados uniformes, sin defectos evidentes en la superficie, indican que la temperatura es correcta. En el caso de que varios niveles presenten un acabado similar, elegiremos el nivel que nos permita una temperatura más elevada lo que se traduce en una mejor adhesión entre capas. También podemos tener en cuenta el acabado que necesitamos, una mayor temperatura nos proporciona un acabado más brillante en nuestra impresión.

Dentro de las bandas con acabado aceptable, en casi todos los materiales podremos jugar un poco con el aspecto final: a más temperatura, más brillo.

En el caso del modelo descargado de internet obtendremos más información sobre otros parámetros de impresión, aunque no voy a entrar en detalle, para cada uno de ellos podemos utilizarlos para definir nuestra temperatura de extrusión óptima en función de estos:

- Voladizos desde 60° a 25°.
- Puentes de 15mm a 30mm.
- Stringing (formación de hilos debidos al movimiento de la máquina en zonas donde no debe extruir).
- Formas curvadas.

En estos casos podemos acotar más el rango pudiendo elegir la temperatura donde aparezcan menor cantidad de defectos en estos casos.

8.2. CALIBRACIÓN DE PASOS DE LA IMPRESORA

Las impresoras 3D utilizan motores paso a paso para realizar los movimientos de todas las partes móviles de la impresora; mover los husillos, el extrusor y la cama. Por tanto, es necesario tener una correcta calibración ya que se traducirá en una mejor calidad dimensional en nuestras piezas.

Para calibrar bien estos motores debemos conocer un poco el funcionamiento de estos motores:

- El motor paso a paso (Stepper) conocido también como motor de pasos es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa que es capaz de girar una cantidad de grados (paso o medio paso) dependiendo de sus entradas de control. El motor paso a paso se comporta de la misma manera que un conversor digital-analógico (D/A) y puede ser gobernado por impulsos procedentes de sistemas digitales. Este motor presenta la ventaja de tener precisión y repetitividad en cuanto al posicionamiento.



Ilustración 78 – Motor paso a paso (Stepper)

8.2.1. RESTRICCIONES PARA REALIZAR LA CALIBRACIÓN

Para poder realizar estas calibraciones necesitamos poder acceder a la EEPROM de nuestra impresora, donde están guardados todos los parámetros de impresión y lo más importante, que podamos modificar estos parámetros y guardarlos en la EEPROM. Para ello debemos tener el firmware de nuestra impresora actualizado, con firmware como Marlin 2.0 o equivalentes.

8.2.2. CUÁNDO REALIZAR CALIBRACIÓN DE PASOS

La calibración de pasos la deberemos realizar cuando se produzcan algunos de los siguientes casos:

- Modificaciones mecánicas de la impresora, como mantenimientos o sustituciones de piezas
- Traslado de la impresora o movimientos bruscos de esta (o haber golpeado alguno de los motores).
- Fallos en la impresión en cuanto a la precisión dimensional de las piezas, como tamaños incoherentes con el modelo o partes que no encajan.
- Medida preventiva, los cambios se pueden notar muy a largo plazo ya que todas las partes están sometidas a vibraciones y pueden producirse pequeñas variaciones. Por lo tanto, es recomendable realizar esta calibración al menos una vez al año.

8.2.3. ALGUNOS DEFECTOS QUE PUEDE PROVOCAR UNA MALA CALIBRACIÓN DE LOS MOTORES

Los principales defectos que puede provocar una mala calibración de alguno de los motores son:

- Motor de extrusión
 - Exceso de material, produciendo cicatrices en el exterior de la pieza con una mayor presencia en las capas superiores.

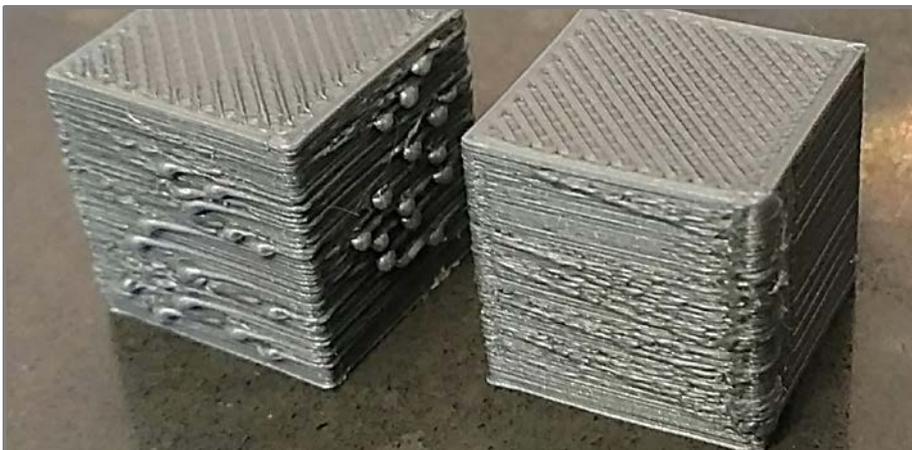


Ilustración 79 – Fallo por exceso de material

- Falta de material, produciendo huecos en la pieza sobre todo en las primeras y últimas capas debido a que no extruye suficiente material para cubrir toda la superficie. También provoca que no se imprima bien el relleno pudiendo llegar a ser demasiado débil.

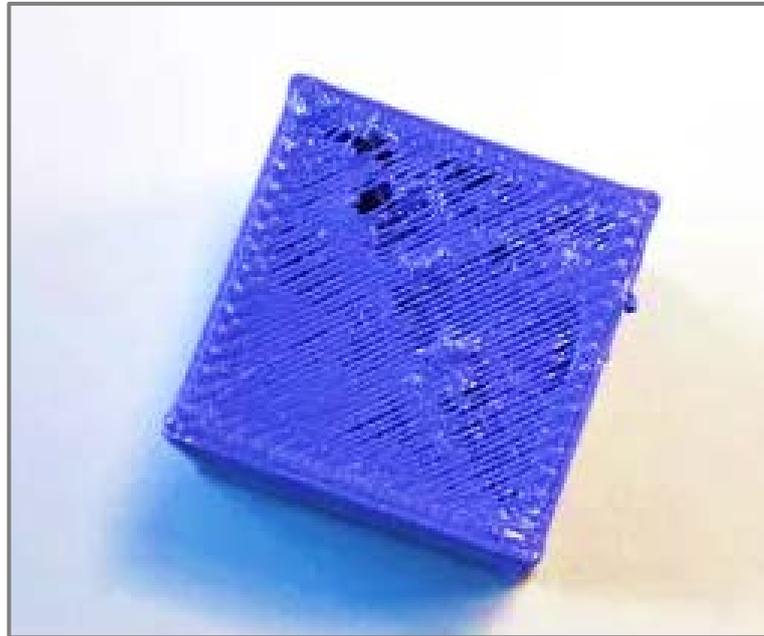


Ilustración 80 – Fallo por falta de material

- Motores de los ejes
 - Poca precisión dimensional de la pieza

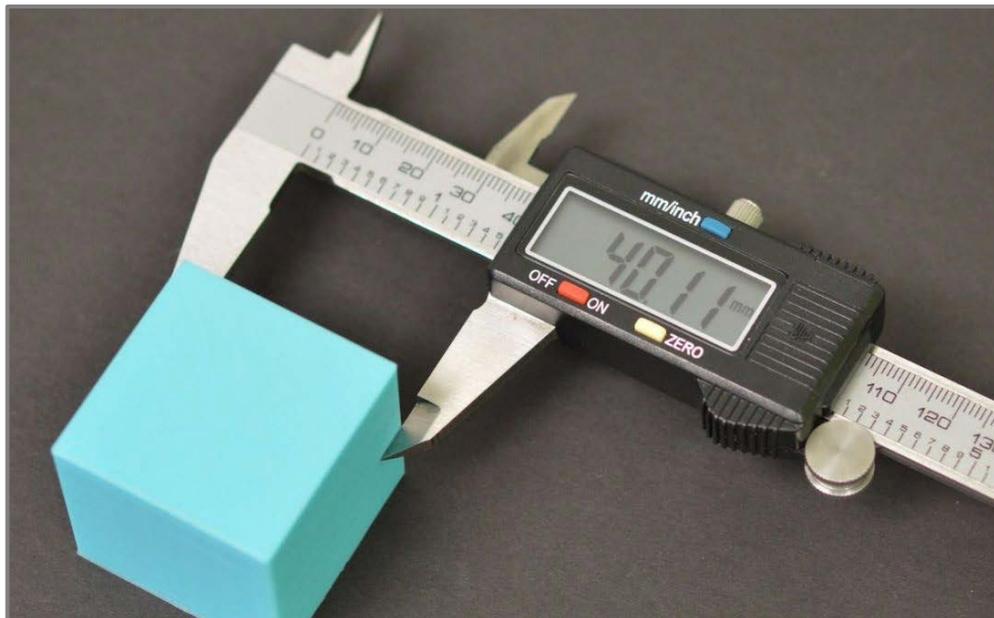


Ilustración 81 – Mala precisión dimensional

8.2.4. DETERMINAR LOS PASOS DEL MOTOR

El proceso para determinar los pasos de cada motor es muy sencillo, únicamente tenemos que hacer que el motor realice un movimiento estándar, ya sea de longitud de filamento impreso o distancia recorrida en eje. Relacionaremos la distancia que debe realizar con la distancia que realmente ha realizado y los pasos que ha necesitado para realizar este movimiento.

8.2.4.1. PRIMER PASO: CONECTAR LA IMPRESORA AL ORDENADOR MEDIANTE PRONTERFACE

En muchas impresoras se puede realizar la impresión de filamento, consulta y modificación de los parámetros desde la pantalla de la impresora, pero dado que en algunos casos no es posible, es necesario conectar la impresora a un ordenador y controlarla de forma remota con un software, en nuestro caso utilizaremos Pronterface ya que es un programa gratuito.

Para enlazar la impresora a Pronterface la conectaremos mediante USB y abriremos Pronterface. Debemos seleccionar el puerto donde está conectada la impresora y modificar el número de baudios a los que se conecta. Una vez modificados los datos para nuestra impresora pulsamos Connect y nos confirmará si la conexión se ha establecido correctamente.

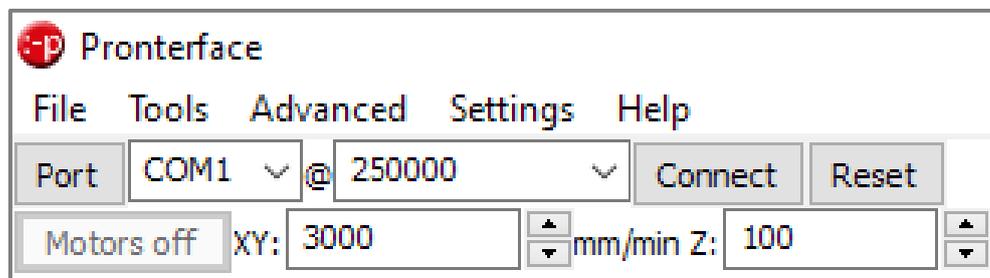


Ilustración 82 – Pronterface: Puerto y Baudios de conexión

En caso de no conocer el puerto al cual está conectada lo podemos comprobar en el administrador de dispositivos de Windows dentro del apartado Puertos (COM y LPT)

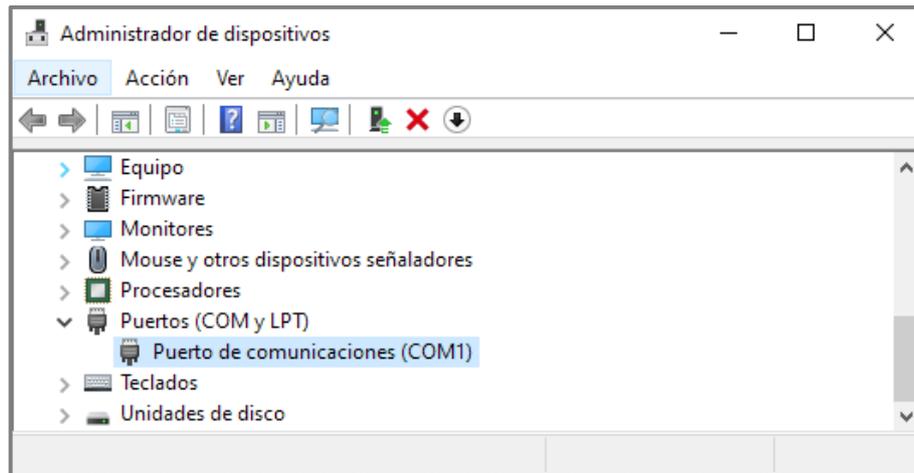


Ilustración 83 – Administrador de dispositivos / Puertos (COM y LPT)

8.2.4.2. SEGUNDO PASO: OBTENER LOS PARÁMETROS DE IMPRESIÓN

Una vez conectada la impresora tenemos que obtener los parámetros de nuestra impresora y guardarlos, ya que durante el proceso se podrían perder.

En este caso mediante comandos haremos que nos muestre por pantalla todos los parámetros y utilizaremos los siguientes comandos:

- M500 – Guarda los parámetros en la EEPROM.
- M501 – Lee los parámetros de la EEPROM (Si necesitamos resetearlos después de cambiarlos temporalmente).
- M502 – Devuelve la configuración de fábrica. Es necesario guardar estos parámetros en la EEPROM si queremos que sea permanente.
- M503 – Nos muestra por pantalla los parámetros almacenados en la memoria, pero cuidado, no muestra los de la EEPROM.
- M92 – Define los pasos por unidad de los motores por eje y extrusión.

Utilizaremos el comando M503 que nos mostrará por pantalla los parámetros que tenemos definidos en nuestra impresora, en este copiaremos lo que nos muestra la pantalla en el caso que hayamos modificado alguno de los parámetros de impresión para no perderlos.

Debemos fijarnos y apuntar los parámetros que se indican como:

Step per unit:

M92 X###.## Y##.## Z###.## E##.##

Donde:

- X###.##: nos indica el número de pasos por mm recorrido en el eje X.
- Y##.##: nos indica el número de pasos por mm recorrido en el eje Y.
- Z###.##: nos indica el número de pasos por mm recorrido en el eje Z.
- E##.##: nos indica el número de pasos por mm de filamento introducido.

Con estos parámetros y las distancias recorridas que midamos en los siguientes apartados calcularemos el nuevo número de pasos para calibrar nuestra impresora.

8.2.4.3. TERCER PASO: CANTIDAD EXTRUIDA Y DISTANCIA RECORRIDA

Conocidos el número de pasos de cada uno de los motores mediante el Pronterface, ordenaremos a la impresora que recorra una cierta distancia y después con un calibre mediremos la distancia real recorrida y calcularemos el nuevo número de pasos.

Para comenzar con la calibración debemos seguir los siguientes pasos:

- **Tomar puntos de referencia:** uno fijo alineado con las guías en la dirección que mueve el motor y otro que se mueva solidario al motor, y medimos la distancia entre ambos. En el caso del motor de extrusión realizaremos una marca con un rotulador permanente en el filamento a 100 mm y a 120 mm de la entrada del extrusor.
- **Realizar un movimiento de 100 mm** mediante Pronterface en el eje del motor a calibrar. En el caso del motor de extrusión, haremos que extruya 100 mm de filamento a una velocidad baja de entre 60 y 100 mm/min, debemos calentar el extrusor a la temperatura adecuada del filamento en el apartado Heat y pulsando en Set.

- **Tomar la medida real del movimiento** midiendo la nueva distancia entre los puntos de referencia tomados en el primer paso y restando la distancia inicial para obtener la medida real. En el caso del motor de extrusión, mediremos la distancia desde la segunda marca a la entrada del extrusor y hallaremos la distancia extruida de filamento.

Con todos estos datos ya podemos calcular el nuevo valor de pasos de nuestros motores.

8.2.4.4. CUARTO PASO: CALCULAR Y MODIFICAR LOS PASOS/MM

Ya obtenidos todos los datos, tenemos que aplicar la siguiente fórmula para obtener el número de pasos:

Ecuación 1 – Cálculo de pasos por milímetro

$$\text{Pasos/mm} = \frac{\text{Distancia teórica} \cdot \text{Pasos iniciales/mm}}{\text{Distancia real}}$$

- Distancia teórica: la hemos definido como 100mm.
- Pasos iniciales/mm: el número de pasos por mm obtenidos de la memoria (M92 X##.## Y##.## Z###.## E##.##).
- Distancia real: la distancia real calculada en el apartado anterior.

Calculados los nuevos pasos/mm de cada motor para introducirlos, utilizaremos el comando:

`M92 X##.## Y##.## Z###.## E##.##`

Donde sustituiremos los # con los nuevos pasos calculados. E introduciremos el comando M500 para guardar la nueva configuración en la EEPROM. Podemos comprobar que se han guardado correctamente con el comando M500, donde aparecerán todos los parámetros y debemos fijarnos donde aparece:

Step per unit:

`M92 X##.## Y##.## Z###.## E##.##`

Para comprobar si la calibración ha sido correcta podemos repetir el proceso, y nos deben salir unos pasos/mm prácticamente iguales. Si imprimimos un cubo de calibración la precisión dimensional debería haber mejorado.

8.3. TEST FLUJO DE MATERIAL

Normalmente nuestras impresiones por defecto en Cura vienen definidas con un nivel de flujo del 100% aunque en ciertos casos no es suficiente o es excesivo ya que dependiendo de los factores que veremos a continuación el flujo puede no ser el correcto y con ello no tendríamos la precisión dimensional que estaríamos buscando. Por tanto, se recomienda realizar este test en los casos que mencionamos en el siguiente apartado, porque mejora mucho la calidad de nuestras piezas, es un test muy rápido y es muy fácil de realizar.

8.3.1. CUÁNDO REALIZAR UN TEST DE FLUJO

Como hemos indicado en la introducción deberíamos realizar el test siempre que se cambie alguno de los factores que afectan al flujo de extrusión. Este factor está muy relacionado con la temperatura ya que la fluidez del material depende de la temperatura, por tanto, será susceptible de todos los factores que afectan a la temperatura.

Los factores que afectan al flujo de extrusión de mayor a menor influencia:

- El material o tipo de filamento.
- La impresora y sus características.
- El fabricante del filamento.
- Los aditivos.
- El color.

8.3.2. DEFECTOS ORIGINADOS A UN MAL CALIBRADO DEL FLUJO

Los principales defectos que puede provocar una mala calibración del flujo de extrusión son:

- Flujo de extrusión alto: produce cicatrices en el exterior de la pieza con una mayor presencia en las capas superiores. Cuando el flujo es demasiado elevado en relación a su valor correcto, la pieza puede quedar irreconocible.



Ilustración 84 – Fallo por flujo de extrusión alto

- Flujo de extrusión bajo: produce huecos en la pieza sobre todo en las primeras y últimas capas debido a que no extruye suficiente material para cubrir toda la superficie. También provoca que no se imprima bien el relleno, pudiendo llegar a ser demasiado débil. Se puede apreciar también la falta de material en paredes finas.



Ilustración 85 – Fallo por flujo de extrusión bajo en pared fina.



Ilustración 86 – Fallo por flujo de extrusión bajo en capa superior.

8.3.3. DETERMINAR EL FLUJO DE EXTRUSIÓN

Para determinar el flujo correcto de extrusión realizaremos una impresión controlada en la que conoceremos las dimensiones correctas y las compararemos con las impresas para calcular el flujo de extrusión correcto de nuestra impresora. En este caso, imprimiremos un cubo en el que eliminaremos las capas superiores e inferiores y no tendrá relleno para comparar los grosores de las paredes con los impresos.

8.3.3.1. PRIMER PASO: MODELO DEL TEST

Para realizar el test de flujo existen muchos modelos en internet que se pueden descargar, pero básicamente consisten en un cubo el cual modificando los parámetros de impresión únicamente imprimiremos las caras laterales.

Utilizaremos un Cubo de dimensiones 20mm · 20mm · 20mm, el cual gracias al número de capas del perímetro y el nozzle que usemos conoceremos las dimensiones del perímetro.

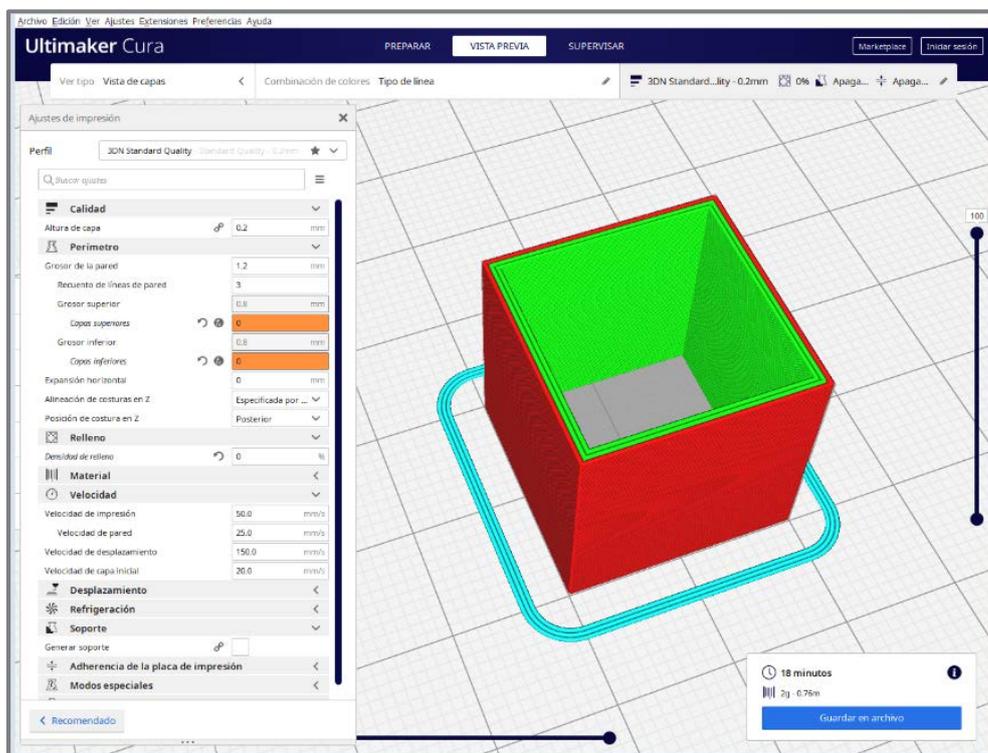


Ilustración 87 – Previsualización test flujo y parámetros de impresión

8.3.3.2. SEGUNDO PASO: PARÁMETROS DE IMPRESIÓN

Para realizar la impresión debemos definir correctamente el material y perfil de impresión y definir los siguientes parámetros:

- Altura de capa (Resolution): 0.2 mm
- Velocidad de impresión: 50 mm/s (No es muy influyente, pero para poder realizar un proceso estable es aconsejable estandarizar la velocidad) y para que la diferencia entre capas sea menor cuanto menor velocidad mejor.
- Temperatura de impresión: se ajustará a la obtenida mediante la torre de temperatura o la máxima que nos indica el fabricante.
- Relleno (Infill): 0%
- Recuento de líneas de la pared: 3
- Grosor de la pared: 1.2
- Capas superiores: 0
- Capas inferiores: 0
- Ventilador: depende del tipo de material, en el caso del PLA podemos trabajar entre el 80% y el 100%, mientras que para ASA o ABS debemos desactivarlo.

8.3.3.3. TERCER PASO: IMPRESIÓN Y CÁLCULO DEL FLUJO

Una vez impreso correctamente nuestro modelo, para calcular el flujo de extrusión tomaremos las medidas de los cuatro laterales de nuestro cubo con un calibre y realizaremos la media como en el siguiente ejemplo:

Tabla 4 – Dimensiones test de flujo

<i>Lado</i>	<i>Anchura medida (mm)</i>	<i>Media (mm)</i>	<i>Anchura teórica (mm)</i>
LADO 1	1.25	1.265	1.2
LADO 2	1.27		
LADO 3	1.26		
LADO 4	1.28		

Aplicaremos la siguiente formula:

Ecuación 2 – Cálculo del flujo de impresión

$$Flujo = \frac{Anchura\ teórica \cdot Flujo\ inicial}{Anchura\ medida}$$

Calculando en el caso del ejemplo con un flujo inicial del 100%:

$$Flujo = \frac{1.2 \cdot 100}{1.265} = 94,86\%$$

Surtiremos este valor de flujo en los parámetros de Cura y realizaremos el proceso anterior hasta que el valor de la media de las anchuras del perímetro o pared obtenido sea exactamente el valor del grosor de la pared.

8.4. TEST DE LINEAR ADVANCE

El Linear Advance es una característica de la configuración Marlin que nos controla la presión del filamento dentro del nozzle.

Para entender su funcionamiento observaremos qué ocurre en los cambios de velocidad del extrusor durante la impresión. Encontramos dos casos:

- El primero cuando aumenta la velocidad del extrusor, normalmente se produce después de realizar un cambio de dirección. En este caso, si el parámetro de Linear Advance no está bien calibrado la presión del filamento en el nozzle no se corregirá adecuadamente y el flujo será menor y por tanto faltará material en esos puntos.
- El segundo cuando disminuye la velocidad del extrusor, normalmente se produce al acercarse a un cambio de dirección. En este caso, se produce el efecto contrario al caso anterior y el flujo será mayor al deseado y por tanto habrá un exceso de material, que se puede detectar sobre todo en las esquinas de nuestras piezas.

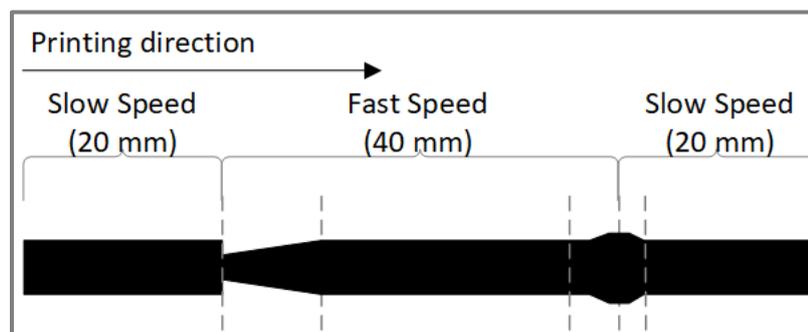


Ilustración 88 – Flujo en función de la velocidad

Por ello, es muy interesante mejorar este parámetro ya que si hacemos que la línea que aparece en la imagen anterior sea lo más homogénea posible conseguiremos las siguientes mejoras en la impresión:

- Una mejor precisión dimensional que se traducirá en bordes más afilados.
- Mejora en las velocidades de impresión manteniendo la calidad, siempre que el extrusor pueda soportar dichos cambios de velocidad.
- Una gran calidad de impresión a bajas velocidades de impresión.
- No necesitaremos modificar las aceleraciones y el Jerk o impulso para obtener bordes afilados.

Para ello realizaremos una impresión controlada en la que variaremos las velocidades para diferentes valores del Linear Advance hasta encontrar el que mejor se adapte a nuestra impresión.

8.4.1. CUÁNDO REALIZAR UN TEST DE LINEAR ADVANCE

Este parámetro interno de la impresión está muy relacionado con los factores que afectan tanto a la temperatura como al flujo por lo que podríamos incluir todos estos, aunque afectan en menor medida que los que vamos a ver a continuación.

Los factores que afectan al flujo de extrusión de mayor a menor influencia:

- Tipo de filamento. No se puede realizar para filamentos extremadamente flexibles.
- La impresora y sus características. Sobre todo, hay que diferenciar los casos de extrusor Bowden y extrusión directa.
- Tamaño del nozzle y su geometría.
- La correcta calibración de los pasos por milímetro del motor de flujo.
- La velocidad de impresión, los efectos de una mala calibración de este parámetro se acentúan con la velocidad en la impresión, por lo que, si queremos imprimir a unas velocidades mucho mayores de las habituales, es posible que necesitemos realizar el test con unos parámetros de velocidad superiores.

8.4.2. DEFECTOS QUE PUEDE PROVOCAR UNA MALA CALIBRACIÓN DE LINEAR ADVANCE

Los principales defectos que puede provocar una mala calibración del flujo de extrusión son:

- Aparición de exceso de material en las esquinas o redondeo de estas. Debido a la reducción incorrecta de la velocidad en el cambio de dirección, por una incorrecta corrección de la presión en los cambios de velocidad.

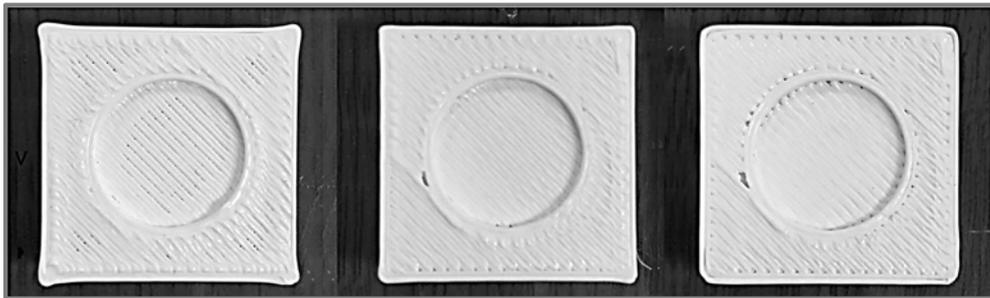


Ilustración 89 – Mala calibración avance lineal, defecto en las esquinas

- Falta de precisión en los detalles. Es un fallo directamente relacionado con el anterior, ya que, al haber exceso de material en los cambios de dirección, las zonas más detalladas se verán más redondeadas o con bordes menos afilados.
- Aparición de ghosting o vibraciones en la impresión (parecido a pequeñas sombras), esto es debido a que al no controlar bien los cambios de velocidad se producen algunos bamboleos debidos al cambio de sentido.

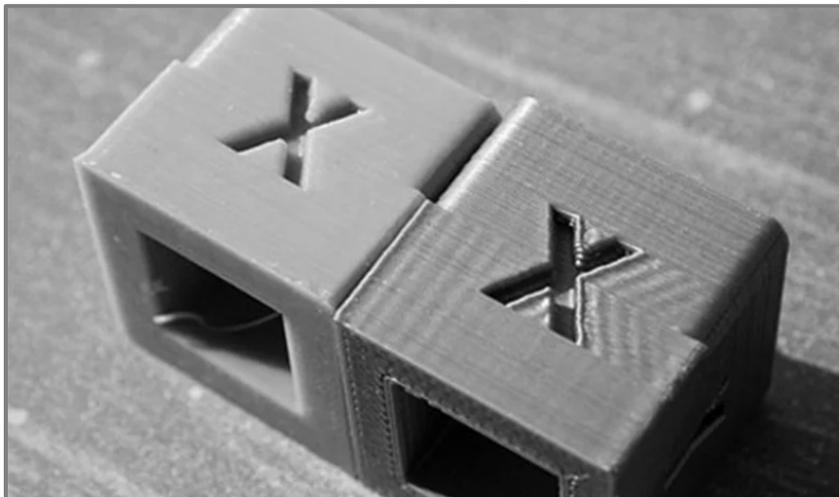


Ilustración 90 – Aparición de ghosting con avance lineal desactivado

8.4.3. DETERMINAR PARÁMETRO DE LINEAR ADVANCE

Para obtener el parámetro característico del Linear Advance, normalmente denominado K, desde la página de Marlin nos permite descargar el GCode el cuál imprimirá líneas con cambios de velocidad en los que cada una tendrá un valor de K diferente y nos permitirá obtener el adecuado.

8.4.3.1. PRIMER PASO: OBTENER EL GCODE

Para obtener el GCode necesario debemos acceder a la página de Marlin e ir al apartado Tools (herramientas) y dentro del K-factor Calibration Pattern, o desde el siguiente enlace:

https://marlinfw.org/tools/lin_advance/k-factor.html

Para un caso normal de impresión solo tendremos que modificar los siguientes parámetros:

- Filament Diameter: dependiendo de nuestra impresora.
- Nozzle Temperature: la temperatura que hemos obtenido mediante la torre de temperatura o la indicada por el fabricante.
- Bed Temperature: Normalmente 60° pero utilizaremos la que normalmente imprimamos.

The image shows a configuration window titled "Printer:" with several input fields and their corresponding units:

Parameter	Value	Unit / Description
Printer:	printer name	
Filament:	filament name	
Filament Diameter:	1.75	Diameter of the used filament (mm)
Nozzle Diameter:	0.4	Diameter of the nozzle (mm)
Nozzle Temperature:	205	Nozzle Temperature (°C)
Bed Temperature:	60	Bed Temperature (°C)
Retraction Distance:	1	Retraction distance (mm)
Layer Height:	0.2	Layer Height (mm)
Extruder:	0	Extruder Index (0 to 7)
Fan Speed:	0	Fan Speed (%)

Ilustración 91 – Parámetros de la impresora Avance Lineal

- Print bed: indicaremos la dimensiones de nuestra impresora.

Print Bed:

Bed Shape: Rectangular or round bed. Round beds will activate Origin Bed Center

Bed Size X: Size (mm) of the bed in X

Bed Size Y: Size (mm) of the bed in Y

Origin Bed Center: Set the origin position (X0 Y0) to bed center instead of front-left corner

Ilustración 92 – Parámetros de la cama Avance Lineal

- Speed: en este caso no modificaremos ningun parametro.

Speed:

Use mm/s: Use mm/s instead of mm/m

Slow Printing Speed: Slow printing speed

Fast Printing Speed: Fast printing speed. This should differ noticeably from Slow Speed

Movement Speed: Movement speed

Retract Speed: Retract Speed of the extruder

Unretract Speed: Unretract Speed of the extruder

Acceleration: Set printing acceleration (mm/s²)

Jerk X: Set the Jerk for the X-axis. -1 to use firmware default

Jerk Y: Set the Jerk for the Y-axis. -1 to use firmware default

Jerk Z: Set the Jerk for the Z-axis. -1 to use firmware default

Jerk E: Set the Jerk for the Extruder. -1 to use firmware default

Ilustración 93 – Parámetros de la velocidad Avance Lineal

- Starting Value for K: Valor inicial de K en la primera iteración dejaremos el que viene por defecto.
- Ending Value for K: Valor final de K en la primera iteración dejaremos el que viene por defecto.
- K-factor Stepping: Pasos entre cada línea para el valor K, tiene que ser un divisor exacto del rango entre el valor inicial y el final.
- En el caso de necesitar realizar este test para unas velocidades de impresión diferentes, por ejemplo si necesitamos imprimir a velocidades mucho mayores podemos duplicar los valores de velocidad, aunque normalmente con estos valores se obtienen unos resultados bastante buenos incluso a altas velocidades.

Pattern:

Lin Advance Version:	<input type="text" value="1.5"/>	Select version 1.0 for Marlin 1.1.8 and earlier. Select 1.5 for Marlin 1.1.9 / 2.0 and up
Pattern Type:	<input type="text" value="Standard"/>	Select standard or alternate pattern
Starting Value for K:	<input type="text" value="0"/>	Starting value for the K-factor
Ending Value for K:	<input type="text" value="2"/>	Ending value of the K-factor
K-factor Stepping:	<input type="text" value="0.2"/>	Stepping of the K-factor in the test pattern. Needs to be an exact divisor of the K-factor Range (End - Start)
Slow Speed Length:	<input type="text" value="20"/>	Length of the Slow Speed test-line (mm)
Fast Speed Length:	<input type="text" value="40"/>	Length of the Fast Speed test-line (mm)
Test Line Spacing:	<input type="text" value="5"/>	Distance between the test lines. This will impact print size
Print Anchor Frame:	<input type="checkbox"/>	Adds a frame around the start and end points of the test lines. May improve adhesion
Printing Direction:	<input type="text" value="Left to Right (0°)"/>	Rotates the print in 45° steps
Line Numbering:	<input checked="" type="checkbox"/>	Prints the K-value besides every second test line

Ilustración 94 – Parámetros del patrón Avance Lineal

- **Avanced:** no modificaremos ningún parámetro en este apartado.

Advanced:

Nozzle Line Ratio:	<input type="text" value="1.2"/>	Ratio between extruded line width and nozzle diameter. Should be between 1.05 and 1.2
Z-Offset:	<input type="text" value="0"/>	Offset the Z-axis for manual Layer adjustment
Use Bed Leveling:	<input type="text" value="No"/>	Level bed or load a saved mesh (i.e. for UBL) before printing. Bed leveling has to be activated in Configuration.h! Loading a mesh requires UBL to be activated!
Use FW Retract	<input type="checkbox"/>	Use Firmware Retract. Needs to be activated in Marlin
Extrusion Multiplier:	<input type="text" value="1.0"/>	Usually 1.0
Prime Nozzle:	<input checked="" type="checkbox"/>	Prime the nozzle before starting the test pattern
Prime Extrusion Multiplier:	<input type="text" value="2.5"/>	The default of 2.5 results in roughly 1mm of filament for 10mm line length
Prime Printing Speed:	<input type="text" value="30"/>	Speed of the prime move
Dwell Time:	<input type="text" value="2"/>	Inserts a pause of x seconds before starting the test pattern to bleed off any residual nozzle pressure
Filename:	<input type="text" value="filename"/>	<input type="button" value="Generate G-code"/> <input type="button" value="Save as default"/>

Ilustración 95 – Parámetros avanzados Avance Lineal

Una vez cambiados todos los parámetros indicados, generaremos el GCode y lo descargaremos.

8.4.3.2. SEGUNDO PASO: IMPRESIÓN Y ELECCIÓN DEL FACTOR K

Una vez descargado abriremos el GCode en Cura y lo guardaremos para imprimir.

Para imprimir necesitaremos limpiar exhaustivamente la cama de impresión y necesitaremos aplicar laca de impresión para mejorar la adherencia, asegurando así una perfecta impresión del GCode ya que se realiza a alta velocidad.

Una vez impreso el GCode nos quedará un modelo como la siguiente imagen.

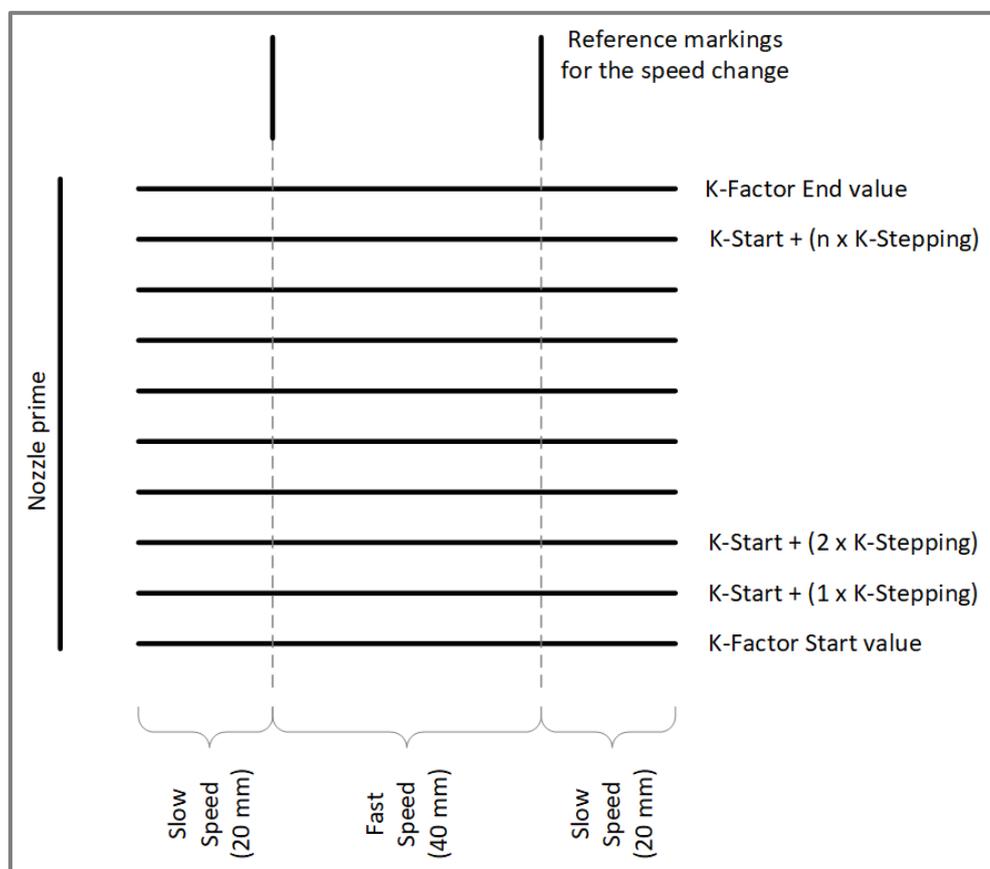


Ilustración 96 – Modelo esquemático de Avance lineal

Para elegir el rango de valores de K que más se ajusta debemos conocer:

1. Zona de impresión lenta.
2. Comienzo de la zona de impresión rápida. La presión en el nozzle (relacionado con el flujo) no está acompañada con la aceleración del extrusor, dando como resultado una zona de falta de material hasta que alcanza el valor de presión deseado.

3. La extrusión y el movimiento del extrusor están sincronizados.
4. Comienzo de la deceleración hacia la zona de impresión lenta. Tenemos el caso opuesto al apartado 2, la presión disminuye a un ritmo más lento que la aceleración, creando una zona con exceso de material.
5. La impresión lenta se estabiliza.

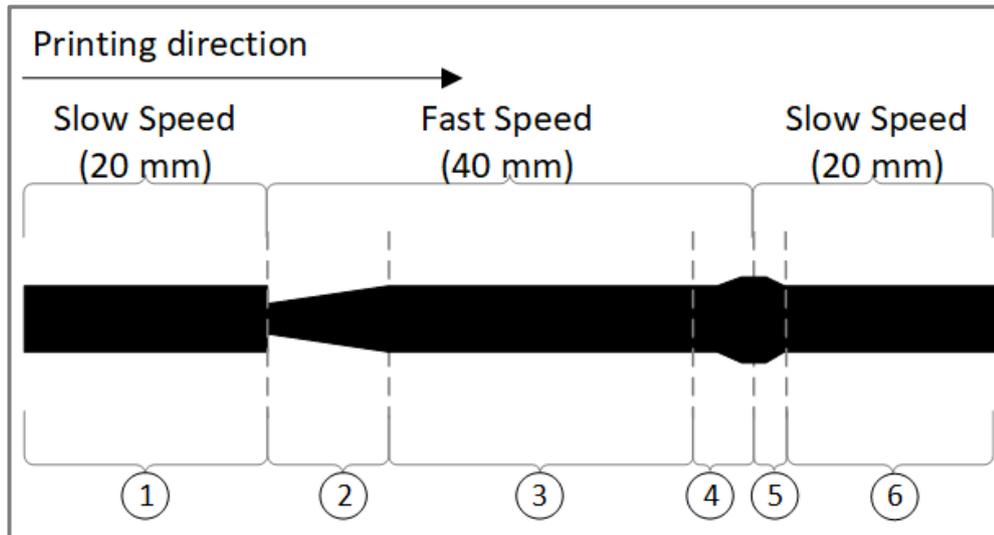


Ilustración 97 – Efectos de la velocidad de impresión en el flujo

Conocida esta situación debemos encontrar el rango de valores en los que la zona 2 y la zona 4 y 5 sean lo menos acusadas posible. Tomaremos los valores que forman este rango y repetiremos el proceso de generación del GCode hasta que encontremos un valor K adecuado.

En el caso de que se inviertan los puntos de falta y exceso de material tendremos un factor K demasiado elevado.

8.4.3.3. TERCER PASO: AÑADIR EL FACTOR K A LA IMPRESIÓN

Para añadir el factor K en nuestra impresora tenemos dos opciones:

- Acceder a los valores de la EEPROM, para ello los introduciremos por línea de comando. Este caso lo realizaremos si normalmente imprimimos siempre con el mismo material. En la mayoría de impresoras la conectaremos mediante cable USB al ordenador y abriremos Pronterface como en casos anteriores. Una vez

conectados o por línea de comando introduciremos los siguientes valores:

M900 K#.# (Donde #.# es el valor de K que hemos obtenido)

M500 (Guardaremos los valores en la EEPROM)

M503 (Comprobaremos que se ha guardado correctamente)

- Modificar el GCode, introduciremos el valor dentro del código como nos permite el Slicer, en nuestro caso Cura, lo que nos permite modificarlo de una manera más rápida si imprimimos con varios materiales.

Para ello nos dirigiremos a:

Ajustes/Impresoras/Administrar impresoras/Ajustes de la máquina

O también desde:

Preferencias/Impresoras/Ajustes de la máquina

En el apartado Iniciar GCode en una nueva línea de comando introduciremos:

M900 K#.# ; Set K-factor

Donde #.# es el valor de K que hemos obtenido como se muestra en la imagen.

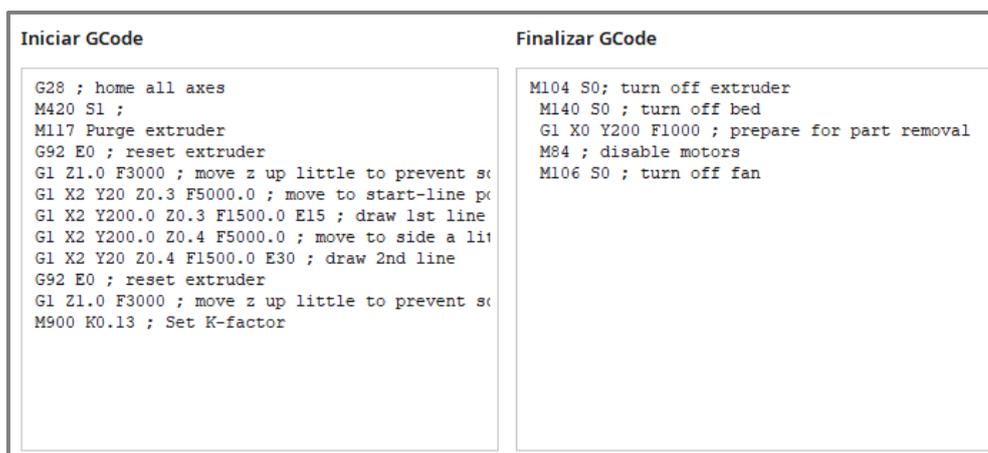


Ilustración 98 – Ejemplo de GCode inicial y final en Cura

8.5. TEST DE EXPANSIÓN HORIZONTAL

Este parámetro no suele tener mucha importancia en impresiones simples y que no requieran combinaciones de varias piezas. Pero se vuelve muy relevante en los casos en los que tenemos que realizar un montaje entre varias piezas y estas tienen que encajar a la perfección.

La expansión horizontal se encarga de corregir el coeficiente de expansión o contracción y la dilatación del material. Normalmente estos plásticos no tienen un coeficiente de dilatación y contracción muy elevado, pero si tenemos que realizar un montaje muy ajustado, la contracción en los agujeros provocará que la pieza no encaje a la perfección, ya que, al ser muy ajustado, aunque tengamos una buena calidad superficial, esta superficie no es lisa debido a las capas que la forman.

Aquí mostramos algunos datos de contracción y dilatación de los plásticos más utilizados.

Tabla 5 – Ejemplos de coeficientes de dilatación térmica

<i>Material</i>	<i>Coefficiente de dilatación térmica lineal</i>	<i>Unidades</i>	<i>Método</i>
ASA	3.9E-5 a 5.3E-5	in/in/°F	ISO 11359-2
PC	3.3E-5 a 4.5E-5	in/in/°F	ISO 11359-2
ABS	4.4E-5 a 5.3E-5	in/in/°F	ISO 11359-2

Tabla 6 – Ejemplos de Contracción de moldeo

<i>Material</i>	<i>Contracción de moldeo</i>		<i>Unidades</i>	<i>Método</i>
ASA	73°F	0.49 a 0.71	%	ISO 294-4
PC	73°F	0.46 a 0.76	%	ISO 294-4
PLA	73°F	0.30 a 1.1	%	ISO 294-4
ABS	73°F	0.40 a 0.70	%	ISO 294-4

Para corregir la contracción o dilatación del material la expansión horizontal expande (si el valor es positivo) o contrae (si el valor es negativo) nuestro modelo en la dirección perpendicular a la superficie en cada punto del modelo.

8.5.1. CUANDO REALIZAR UN TEST EXPANSIÓN HORIZONTAL

Este parámetro está muy relacionado con la temperatura, por tanto, si cambiamos la temperatura de extrusión puede variar ligeramente este valor. Aunque como trabajaremos en un rango muy acotado normalmente no afectará además el tiempo de enfriamiento será lento. Otro de los parámetros que está muy relacionado y con el que jugamos a la par con la expansión horizontal es el flujo. Por tanto, los factores que afectan a la expansión horizontal son una combinación de los factores que afectan a la temperatura y el flujo.

Los factores que afectan al flujo de extrusión de mayor a menor influencia:

- El material o tipo de filamento.
- El flujo.
- El fabricante del filamento.
- Los aditivos.
- El color

8.5.2. DEFECTOS QUE PUEDE PROVOCAR UNA MALA CALIBRACIÓN DE LA EXPANSIÓN HORIZONTAL

Los principales defectos que puede provocar una mala calibración del flujo de extrusión son:

- Mala precisión dimensional: al modificar nuestro modelo en el valor asignado si no es correcta podemos tener una pieza ligeramente más grande o más pequeña de lo que necesitaríamos.
- Mal ajuste en el montaje entre piezas: dado que este parámetro puede modificar el diámetro de los agujeros o ejes, puede que al intentar encajar dos piezas sea un trabajo imposible o que haya demasiada holgura y no sea lo que buscamos.



Ilustración 99 – Expansión horizontal: excesiva, correcta, insuficiente

8.5.3. DETERMINAR EL VALOR DE EXPANSIÓN HORIZONTAL

Para conocer exactamente la expansión horizontal de nuestro material imprimiremos dos piezas, una macho y otra hembra y repetiremos el proceso hasta que ambas piezas encajen perfectamente, sin demasiado rozamiento ni holgura. Es importante realizar los test de flujo y temperatura antes de realizar este test.

8.5.3.1. PRIMER PASO: MODELO DEL TEST

Para realizar el test de expansión horizontal existen muchos modelos en internet que se pueden descargar, pero básicamente consisten en dos piezas que deben encajar una dentro de la otra. Podemos diseñar nuestro modelo propio creando dos cilindros, uno con un orificio en el que pueda encajar el otro, como podemos observar en la siguiente imagen. El orificio central debe ser del mismo diámetro que el cilindro a encajar y el tamaño no es necesario que sea muy grande, como máximo 10 mm de diámetro interior.

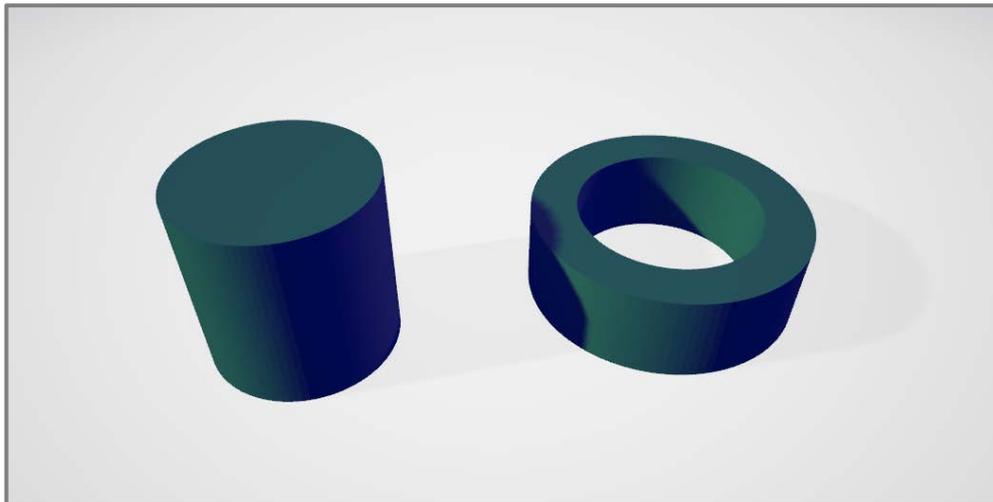


Ilustración 100 – Ejemplo de modelo test expansión horizontal

8.5.3.2. SEGUNDO PASO: PARÁMETROS DE IMPRESIÓN

Para realizar la impresión debemos definir correctamente el material y perfil de impresión y definir los siguientes parámetros:

- Expansión horizontal: 0 mm Comenzaremos con este valor como inicial, en el proceso iteraremos hasta encontrar el adecuado. En caso de saber que las piezas no encajan podemos optar por empezar por -0.1mm, y en caso de ver mucha holgura por +0.1mm.
- Altura de capa (Resolution): 0.2 mm
- Velocidad de impresión: 50 mm/s (No es muy influyente, pero para poder comparar con otras torres de temperaturas es aconsejable estandarizar la velocidad) y para que la diferencia entre capas sea menor, cuanto menor velocidad mejor.
- Temperatura de impresión: se ajustará a la obtenida mediante la torre de temperatura o la máxima que nos indica el fabricante.
- Flujo: el obtenido mediante el test de flujo.
- Relleno (Infill): 20%
- Ventilador: depende del tipo de material en el caso del PLA podemos trabajar entre el 80% y el 100%, mientras que para ASA o ABS debemos desactivarlo.
- Soportes: Desactivados.

8.5.3.3. TERCER PASO: IMPRESIÓN Y OBTENCIÓN DEL PARÁMETRO DE EXPANSIÓN HORIZONTAL

Una vez realizada la primera impresión, comprobaremos si encajan ambas piezas. En caso de que tengan holgura entre ambas o no encajen, necesitaremos variar el parámetro, para ello mediremos el diámetro del cilindro a encajar y el diámetro del orificio.

Utilizaremos la siguiente ecuación para calcular la expansión horizontal en cada iteración:

Ecuación 3 – Cálculo de la expansión horizontal

$$\text{Expansión Horizontal} = \frac{D. \text{interior} - D. \text{exterior}}{2} + EH_0$$

Con ello calcularemos el desfase entre ambos, como realizaremos en los siguientes ejemplos para un diámetro de orificio de 10mm en caso de haber holgura o no encajar:

- Holgura: En este caso el juego es más del que necesitamos para nuestra pieza, por lo que mediremos ambos diámetros y calcularemos la expansión horizontal:
 - Diámetro interior 9.86mm
 - Diámetro exterior 10.11mm
 - Nueva expansión horizontal:

$$\frac{D. interior - D. exterior}{2} + EH = \frac{10.11 - 9.86}{2} + 0 = +0.125 mm$$

Al ser un valor positivo nos indica que la pieza se expandirá 0.125mm.

- No encajar: En este caso las piezas no encajarán y no podremos ensamblar, por lo que mediremos ambos diámetros y calcularemos la expansión horizontal:
 - Diámetro interior 10.15mm
 - Diámetro exterior 9.87mm
 - Nueva expansión horizontal:

$$\frac{D. interior - D. exterior}{2} + EH = \frac{10.15 - 9.87}{2} + 0.00 = -0.14 mm$$

Al ser un valor negativo nos indica que la pieza se contraerá 0.14mm.

Repetiremos el proceso hasta que encontremos la holgura adecuada en nuestras impresiones.

CAPÍTULO 9. MANTENIMIENTO DE LA IMPRESORA

En este apartado veremos diferentes consejos y su frecuencia de realización para el uso adecuado y mantener siempre a punto nuestra impresora para conseguir siempre los mejores resultados de impresión.

9.1. CONSEJOS DE MANTENIMIENTO

- Mantener las bobinas en un lugar fresco y seco.
- Si no se va a utilizar la impresora durante más de 2 días, retirar el filamento y limpiar el HotEnd y el extrusor.
- Al usar filamentos especiales (como madera, bronce o cobre) y no se va a estar presente cuando termine la impresión, utilizar un comando para mantener la temperatura de la impresora. Así, se impide que los restos de filamento se solidifiquen y el HotEnd se mantendrá limpio.
- Al utilizar laca, pulverizarla lo más lejos posible de la impresora para evitar que se adhiera a los elementos mecánicos.

9.2. DIARIO

- Cuando comencemos a utilizarla haremos una revisión visual de toda la impresora y comprobaremos que todas las partes están limpias para su correcto funcionamiento.
- Comprobar que los movimientos de todos los ejes se realizan a la perfección y no realizan movimientos bruscos.
- A la hora de comenzar una nueva impresión siempre hay que revisar que el perfil de impresión coincida con el de nuestra impresora.

9.3. SEMANAL

- Limpiar la superficie de impresión o la cama a conciencia, sobre todo en los casos de utilizar laca para la adhesión, en este caso frotaremos con un trapo con agua caliente hasta retirar todos los restos.
- Realizar una calibración de la superficie de impresión y ajuste del offset. Es obligatorio realizarla también si realizamos algún cambio o traslado de la impresora.
- Limpieza del HotEnd o extrusor, para evitar atascos limpiaremos el exterior con un cepillo rígido y con una aguja de limpieza el orificio.

9.4. MENSUAL

- Calibración completa de la impresora.
- Comprobar las actualizaciones de firmware.
- Limpiar con un trapo de microfibra (sobre todo uno que no deje restos del mismo) las varillas lisas y lubricarlas con aceite de máquina.
- Lubricar con el aceite de máquina los rodamientos.
- Retirar la grasa del husillo del eje Z con un trapo que no suelte fibras y lo volvemos a lubricar con grasa industrial de litio.

9.5. TRIMESTRAL

- Desmontar el ventilador del extrusor y eliminar con un cepillo o pincel los restos de polvo y plástico alrededor del extrusor y ventilador.
- Es aconsejable comprobar las conexiones de la placa base y cableado para que se mantengan al mismo voltaje, ya que puede variar con las vibraciones de la impresión.
- Revisar la integridad de las roscas, tornillos y muelles.
- Comprobar la tensión en las correas en los ejes X e Y.
- Revisar el tubo PTFE cada 250 horas de impresión, retirándolo a 200°C con ayuda de unos guantes térmicos o alicates. Sustituirlo si es necesario (sólo si es un extrusor DDG).

CAPÍTULO 10. CONCLUSIONES

En el comienzo de este documento indicamos una serie de objetivos que debíamos realizar y conocer para poder determinar si somos capaces de realizar una impresión 3D de manera óptima, ahora es el momento de recapitular y comprobar si hemos cumplido con estos objetivos.

Tras toda la investigación de la documentación y procesos para obtener los mejores métodos de impresión, hemos concluido que para obtener unas mejores prestaciones en la impresión 3D es muy necesario conocer ampliamente los materiales y el funcionamiento de la impresión 3D para conocer todos los problemas y soluciones.

Ahora es el momento de recapitular y comprobar si hemos cumplido con los objetivos, el cual hemos definido como evitar en la medida de lo posible el proceso de prueba y error en la fabricación de los procesos de impresión y para cumplir este objetivo hemos aprendido lo siguiente:

- Hemos desglosado todos los componentes relevantes de una impresora 3D y su influencia en la impresión.
- Disponemos de una lista con los materiales más comunes en impresión 3D con sus propiedades, ventajas, limitaciones y aplicaciones, conociendo así cual es el material más adecuado para nuestra pieza.
- Hemos destacado todos los pasos que debemos seguir en el proceso de impresión desde el diseño hasta el postprocesado.
- Tenemos una lista de los problemas más comunes y sus diferentes soluciones para evitar estos problemas antes de que se produzcan.
- Destacamos varios procesos y métodos para encontrar los parámetros de impresión adecuados para nuestra impresora y filamento rápidamente, obteniendo los parámetros óptimos para una mejor calidad en función de nuestras necesidades.
- Debemos conocer y realizar un mantenimiento adecuado de todos los elementos que utilizamos para la impresión, y ahora tenemos una guía de qué aspectos debemos cuidar y la frecuencia de mantenimiento.

Con todos estos conocimientos seremos capaces de mejorar notablemente la calidad y los tiempos de impresión, por lo que habrá una notable mejora competitiva y una reducción de los costes derivados.

BIBLIOGRAFÍA

Según norma de formato de American Psychological Association (APA) y ordenado alfabéticamente por apellido del autor principal.

3D HUB AVANCED ENGINEERING. (s.f.). Obtenido de ¿Impresión 3D o mecanizado CNC?: <https://www.3dhub.es/impresion-3d-o-mecanizado-cnc/> [Consulta: 15 de Octubre de 2020]

3DNATIVES. (16 de Abril de 2018). Obtenido de Impresión 3D o mecanizado CNC: ¿Cuál es mejor para el prototipaje?: <https://www.3dnatives.com/es/impresion-3d-o-mecanizado-cnc-160420182/> [Consulta: 15 de Octubre de 2020]

AECOC. (s.f.). Obtenido de Cinco grandes avances en el mundo de la impresión 3D: <https://www.aecoc.es/innovation-hub-noticias/cinco-grandes-avances-en-el-mundo-de-la-impresion-3d/> [Consulta: 15 de Octubre de 2020]

All3DP. (22 de Abril de 2020). Obtenido de Los mejores programas para impresoras 3D de 2020: <https://all3dp.com/es/1/programas-software-impresora-3d-printer-software-3d-gratis/#netfabb>

All3DP. (9 de Abril de 2020). Obtenido de Los 11 tipos de impresoras: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/> [Consulta: 15 de Octubre de 2020]

ARMADA PITA, D. (2015). *Desarrollo de impresora 3d open-source. Propuesta e implementación de nuevas dimensiones y mejoras estructurales (TFG)*. Universidade da Coruña. Escola Universitaria Politécnica.

BERCHONBERTIER LUYT, M., & MARTÍN GIRÁLDEZ, R. (2016). *La impresión 3D: Guía definitiva para makers, diseñadores, estudiantes, profesionales, artistas y manitas en general*. GUSTAVO GILI.

BITFAB. (s.f.). Obtenido de Materiales de impresión 3D FDM: <https://bitfab.io/es/materiales-de-impresion-3d-fdm/> [Consulta: 15 de Octubre de 2020]

BITFAB. (2020). Obtenido de Guía visual para resolver problemas impresión 3D por Bitfab: <https://bitfab.io/es/blog/problemas-impresion-3d/> [Consulta: 15 de Octubre de 2020]

CULTS3D. (s.f.). Obtenido de Identificar y corregir problemas de impresión 3D: <https://cul3d.com/es/blog/articles/identificar-corregir-defectos-problemas-impresion-3d> [Consulta: 15 de Octubre de 2020]

EL MUNDO 3D. (s.f.). Obtenido de Guía de resolución de errores impresión 3D: <https://elmundo3d.com/errores-impresion-3d/> [Consulta: 15 de Octubre de 2020]

- EL MUNDO 3D.* (s.f.). Obtenido de Guía general para el mantenimiento en impresoras 3D: <https://elmundo3d.com/mantenimiento-impresoras-3d/> [Consulta: 15 de Octubre de 2020]
- FILAMENT2PRINT.* (13 de Diciembre de 2017). Obtenido de Qué es el flow de impresión 3D y cómo ajustarlo: https://filament2print.com/es/blog/33_flow-impresion-3d.html [Consulta: 15 de Octubre de 2020]
- FILAMENT2PRINT.* (13 de Marzo de 2019). Obtenido de Todo sobre nozzles de impresoras 3D (I): Clasificación y recomendaciones: https://filament2print.com/es/blog/56_guia-nozzles-clasificacion-recomendaciones.html [Consulta: 15 de Octubre de 2020]
- FILAMENT2PRINT.* (15 de Enero de 2020). Obtenido de Problemas comunes y soluciones en impresiones 3D: https://filament2print.com/es/blog/78_problemas-soluciones-impresiones-3d.html [Consulta: 15 de Octubre de 2020]
- FORMIZABLE!* (s.f.). Obtenido de ¿Qué tipos de impresoras 3D existen? Todo lo que necesitas saber: <https://formizable.com/tipos-de-impresoras-3d/> [Consulta: 15 de Octubre de 2020]
- FORMIZABLE!* (2019). Obtenido de Mega Tutorial de Cura: Profundizando en Cura 3D Slicer: <https://formizable.com/mega-tutorial-de-cura-profundizando-en-cura-3d-slicer> [Consulta: 15 de Octubre de 2020]
- GIBSON, I., ROSEN, D., & STUCKER, B. (2015). *Additive Manufacturing Technologies, Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*. New York: Springer-Verlag.
- GIL ITADAS.* (17 de Marzo de 2019). Obtenido de La importancia de la temperatura: <http://gilitadas.com/blog/impresion-3d-la-importancia-de-la-temperatura/#1551833421642-da0bb25c-f20f> [Consulta: 15 de Octubre de 2020]
- HORNE, R., & KIRK HAUSMAN, K. (2017). *3D Printing for Dummies, 2nd Edition*. John Wiley & Sons.
- HTA3D.* (29 de Julio de 2020). Obtenido de Partes importantes de una impresora 3D, componentes clave, como elegirlos y mejorar tu impresora 3D: <https://www.hta3d.com/es/blog/partes-importantes-de-una-impresora-3d-componentes-clave-como-elegirlos-y-mejorar-tu-impresora-3d> [Consulta: 15 de Octubre de 2020]
- IKLOX. (2017). Curso Impresion 3D. Structuralia.
- IMPRESIONTRESDE.* (s.f.). Obtenido de Avances en la ingeniería con impresión 3D: <https://impresiontresde.com/avances-en-la-ingenieria-impresion-3d/> [Consulta: 15 de Octubre de 2020]
- IMPRESORA 3D ONLINE.* (2020). Obtenido de Comandos G-code para Impresoras 3D: <https://impresora-3d.online/g-code-para-impresoras-3d/> [Consulta: 15 de Octubre de 2020]

- IMPRESORAS 3D*. (9 de Octubre de 2019). Obtenido de ¿Cómo calibrar una impresora 3D?: <https://impresoras3d.org.es/como-calibrar-una-impresora-3d/> [Consulta: 15 de Octubre de 2020]
- IMPRESORAS3D*. (1 de Enero de 2018). Obtenido de Breve historia de la impresión 3D: <https://www.impresoras3d.com/breve-historia-de-la-impresion-3d/> [Consulta: 15 de Octubre de 2020]
- INGENIERIA 3D DIGITAL*. (s.f.). Obtenido de Postprocesado en Impresión 3D para resultados profesionales: <https://ingenieria3ddigital.es/servicio-de-impresion-3d/postprocesados-impresion-3d/> [Consulta: 15 de Octubre de 2020]
- LÁZARO SÁNCHEZ, R. (2017). *Mejoras en el proceso de impresión basado en una impresora de modelado por deposición fundida (TFG)*. Universidad de Valladolid.
- LEON3D*. (s.f.). Obtenido de Guía de resolución de problemas: <https://www.leon-3d.es/guia-de-resolucion-de-problemas/> [Consulta: 15 de Octubre de 2020]
- LUIS LLAMAS*. (14 de Marzo de 2020). Obtenido de Componentes de una impresora 3D FFF: <https://www.luisllamas.es/componentes-de-una-impresora-3d/> [Consulta: 15 de Octubre de 2020]
- MARLINFW*. (s.f.). Obtenido de Marlin firmware Linear Advance: https://marlinfw.org/docs/features/lin_advance.html [Consulta: 15 de Octubre de 2020]
- OF3LIA*. (2018). Obtenido de Tutorial de Ultimaker Cura: <https://of3lia.com/ultimaker-cura/> [Consulta: 15 de Octubre de 2020]
- PRINTRUN*. (s.f.). Obtenido de Software Pronterface: <https://www.pronterface.com/> [Consulta: 15 de Octubre de 2020]
- REDWOOD, B., SCHÖFFER, F., & GARRET, B. (2017). *The 3D Printing Handbook: Technologies, design and applications*. 3D Hubs B.V.
- TRESDE*. (25 de Junio de 2019). Obtenido de Postproceso de Impresión 3D: <https://tresde.pe/postproceso-de-impresion-3d-como-lograr-el-acabado-ideal/> [Consulta: 15 de Octubre de 2020]
- TRESDPRO*. (10 de Octubre de 2019). Obtenido de ¿Qué material utilizan las impresoras 3D?: <https://tresdpro.com/que-material-utilizan-las-impresoras-3d/> [Consulta: 15 de Octubre de 2020]
- ULTIMAKER*. (s.f.). Obtenido de Software Ultimaker Cura: <https://support.ultimaker.com/hc/en-us/sections/360003548339-Ultimaker-Cura> [Consulta: 15 de Octubre de 2020]
- VALVERDE LORENZO, E. (2018). *Análisis de la influencia de la temperatura de la cámara en piezas fabricadas por impresión 3D por la tecnología FFF (TFG)*. Universidad de Valladolid.

ANEXO 1. COMANDOS G-CODE

A.1. COMANDOS GEOMETRICOS: G

- G0 & G1: Move
- G2 & G3: Controlled Arc Move
- G28: Move to Origin (Home)
- G29: Detailed Z-Probe
- G30: Single Z Probe
- G31: Report Current Probe status
- G32: Probe Z and calculate Z plane
- G4: Dwell
- G10: Tool Offset
- G20: Set Units to Inches
- G21: Set Units to Millimeters
- G90: Set to Absolute Positioning
- G91: Set to Relative Positioning
- G92: Set Position

A.2. COMANDOS MISCELÁNEOS: M

- M0: Stop
- M1: Sleep
- M3: Spindle On, Clockwise (CNC specific)
- M4: Spindle On, Counter-Clockwise (CNC specific)
- M5: Spindle Off (CNC specific)
- M7: Mist Coolant On (CNC specific)
- M8: Flood Coolant On (CNC specific)
- M9: Coolant Off (CNC specific)
- M10: Vacuum On (CNC specific)
- M11: Vacuum Off (CNC specific)
- M17: Enable/Power all stepper motors
- M18: Disable all stepper motors
- M20: List SD card
- M21: Initialize SD card
- M22: Release SD card
- M23: Select SD file
- M24: Start/resume SD print
- M25: Pause SD print
- M26: Set SD position
- M27: Report SD print status
- M28: Begin write to SD card
- M29: Stop writing to SD card
- M30: Delete a file on the SD card
- M31: Output time since last M109 or SD card start to serial
- M32: Select file and start SD print
- M36: Return file information

- M37: Modo Simulación
- M40: Eject
- M41: Loop
- M42: Stop on material exhausted / Switch I/O pin
- M43: Stand by on material exhausted
- M80: ATX Power On
- M81: ATX Power Off
- M82: Set extruder to absolute mode
- M83: Set extruder to relative mode
- M84: Stop idle hold
- M92: Set axis_steps_per_unit
- M98: Call Macro/Subprogram
- M99: Return from Macro/Subprogram
- M98: Get axis_hysteresis_mm
- M99: Set axis_hysteresis_mm
- M101: Turn extruder 1 on (Forward), Undo Retraction
- M102: Turn extruder 1 on (Reverse)
- M103: Turn all extruders off, Extruder Retraction
- M104: Set Extruder Temperature
- M105: Get Extruder Temperature
- M106: Fan On
- M107: Fan Off
- M108: Set Extruder Speed
- M109: Set Extruder Temperature and Wait
- M110: Set Current Line Number
- M111: Set Debug Level
- M112: Emergency Stop

- M113: Set Extruder PWM
- M114: Get Current Position
- M115: Get Firmware Version and Capabilities
- M116: Wait
- M117: Get Zero Position
- M118: Negotiate Features
- M119: Get Endstop Status
- M120: Push
- M121: Pop
- M122: Diagnose
- M123: Tachometer value
- M124: Immediate motor stop
- M126: Open Valve
- M127: Close Valve
- M128: Extruder Pressure PWM
- M129: Extruder pressure off
- M130: Set PID P value
- M131: Set PID I value
- M132: Set PID D value
- M133: Set PID I limit value
- M134: Write PID values to EEPROM
- M135: Set PID sample interval
- M136: Print PID settings to host
- M140: Bed Temperature (Fast)
- M141: Chamber Temperature (Fast)
- M142: Holding Pressure
- M143: Maximum hot-end temperature

- M144: Stand By Your Bed
- M160: Number of mixed materials
- M190: Wait for bed temperature to reach target temp
- M200: Set filament diameter / Get Endstop Status
- M201: Set max printing acceleration
- M202: Set max travel acceleration
- M203: Set maximum feedrate
- M204: Set default acceleration
- M205: Advanced settings
- M206: Marlin - Set home offset
- M207: Calibrate z axis by detecting z max length
- M208: Set axis max travel
- M209: Enable automatic retract
- M210: Set homing feedrates
- M211: Disable/Enable software endstops
- M220: Set speed factor override percentage
- M221: Set extrude factor override percentage
- M226: Gcode Initiated Pause
- M227: Enable Automatic Reverse and Prime
- M228: Disable Automatic Reverse and Prime
- M229: Enable Automatic Reverse and Prime
- M230: Disable / Enable Wait for Temperature Change
- M240: Start conveyor belt motor / Echo off
- M241: Stop conveyor belt motor / echo on
- M245: Start cooler
- M246: Stop cooler
- M251: Measure Z steps from homing stop (Delta printers)

- M280: Set servo position
- M300: Play beep sound
- M301: Set PID parameters
- M302: Allow cold extrudes
- M303: Run PID tuning
- M304: Set PID parameters - Bed
- M305: Set thermistor and ADC parameters
- M306: set home offset calculated from toolhead position
- M320: Activate autolevel(Repetier)
- M321: Deactivate autolevel(Repetier)
- M322: Reset autolevel matrix
- M340: Control the servos
- M355: Turn case lights on/off
- M360: Report firmware configuration
- M360: Move to Theta 0 degree position
- M361: Move to Theta 90 degree position
- M362: Move to Psi 0 degree position
- M363: Move to Psi 90 degree position
- M364: Move to Psi + Theta 90 degree position
- M365: SCARA scaling factor
- M370: Morgan manual bed level - clear map
- M371: Move to next calibration position
- M372: Record calibration value, and move to next position
- M373: End bed level calibration mode
- M374: Save calibration grid
- M375: Display matrix / Load Matrix
- M400: Wait for current moves to finish

- M420: Set RGB Colors as PWM
- M540: Set MAC address
- M550: Set Name
- M551: Set Password
- M552: Set IP address
- M553: Set Netmask
- M554: Set Gateway
- M555: Set compatibility
- M556: Axis compensation
- M557: Set Z probe point
- M558: Set Z probe type
- M559: Upload configuration file
- M560: Upload web page file
- M561: Set Identity Transform
- M562: Reset temperature fault
- M563: Define a tool
- M564: Limit axes
- M565: Set Z probe offset
- M566: Set allowable instantaneous speed change
- M567: Set tool mix ratios
- M568: Turn off/on tool mix ratios
- M569: Set axis direction values
- M570: Set heater timeout
- M571: Set output on extrude
- M572: Set or report extruder elasticity compensation
- M573: Report heater PWM
- M574: Set endstop configuration

- M575: Set serial comms parameters
- M665: Set delta configuration
- M666: Set delta endstop adjustment
- M906: Set motor currents
- M909: Set microstepping
- M998: Request resend of line
- M999: Restart after being stopped by error
- M500: store parameters in EEPROM
- M501: read parameters from EEPROM
- M502: revert to the default "factory settings."
- M503: Print settings