



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Mecánica

Prototipado 3D con impresora de hardware abierto

Autor:

González Conde, Ignacio

Tutor:

**Mahillo Isla, Raúl
Ingeniería de Procesos de
Fabricación**

Valladolid, Mayo 2015.

Resumen

Se ha pretendido estudiar con este Trabajo Fin de Grado la capacidad de representación de la impresora 3D, BCN3D fabricada por RepRapBCN, que dispone la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid. Para ello se ha seguido todo el proceso CAD/CAM del prototipado de una pieza.

Primero se ha diseñado con un programa de CAD, FreeCAD y Catia, el modelo en 3D de la pieza que se quería fabricar teniendo en cuenta las características que se querían estudiar. Posteriormente gracias al programa Slic3r, que nos permite seleccionar los parámetros de impresión, se ha podido estudiar cuales son más convenientes dependiendo de la pieza y del material usado.

Y por último se ha comprobado medidas de las piezas respecto con las dadas en el diseño, tanto con un calibre como con la Máquina de Medición por Coordenadas: distancias, concentricidades, curvaturas, inclinaciones, etc. Y también visualmente el acabado exterior obtenido.

Palabras clave

- Prototipado 3D
- Impresora 3D
- Capacidad de representación
- Slic3r
- ABS y PLA

Índice

Resumen.....	3
Palabras clave	3
Introducción.....	7
Objetivos	7
1. Estado del arte.....	9
2. Descripción del método de impresión, FDM	11
3. Descripción de la impresora	13
4. Descripción de materiales utilizados	19
4.1. ABS	19
4.2. PLA.....	22
5. Descripción de los programas utilizados.....	25
5.1. Catia y FreCAD	25
5.2. Netfabb	25
5.3. Slic3r	25
6. Descripción de las piezas impresas.....	33
7. Características estudiadas	43
7.1. Distancia entre planos.....	43
7.2. Concentricidad.....	54
7.3. Curvatura	57
7.4. Inclinación.....	62
7.5. Adhesión a la cama.....	72
7.5.1. Plano 1.....	74
7.5.2. Plano 2.....	77
7.5.3. Plano 3.....	79
7.5.4. Plano 4.....	81
7.5.5. Plano 5.....	83
7.5.6. Conclusiones relacionadas con la adhesión a la cama y el levantamiento de esquinas.....	84

7.6. Voladizo	85
7.7. Acabado exterior.....	94
7.8. Otras características	107
8. Conclusiones generales	119
9. Bibliografía y referencias.....	121
10. Anexos.....	123

Introducción

En este Trabajo Fin de Grado se realizará un estudio sobre las capacidades de representación que tiene la impresora 3D.

Antes de todo se realizará una descripción del actual estado del arte, del proceso de impresión, de los materiales y de la impresora que se usarán.

Para poder estudiar las capacidades de representación, primero se procederá al diseño de distintas piezas con varios programas CAD, FreeCAD y Catia, posteriormente gracias al programa Slic3r que permite variar los parámetros de impresión, se hará un estudio de cuáles son los mejores dependiendo de la pieza que se quiera obtener y del material empleado.

Para finalizar se concluirá si la impresión realizada de las piezas se corresponde a las medidas indicadas en el diseño, siendo medidas tanto con un calibre como con la Máquina de Medición por Coordenadas: distancias, concentricidades, curvaturas, inclinaciones, etc. Y por supuesto también se estudiará el acabado superficial.

Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es el estudio de la capacidad de representación que tiene la impresora 3D, y este se ha dividido en varios objetivos secundarios:

- Diseñar piezas 3D con programas de CAD.
- Estudiar los parámetros de impresión más adecuados para el tipo de pieza que se quiera imprimir.
- Estudiar las diferentes cualidades de los materiales empleados, ABS y PLA.
- Estudiar el acabado dimensional de distancias, concentricidades, curvaturas, inclinaciones, etc. de las piezas.
- Estudiar el acabado visual de distintas superficies obtenidas en la impresión.
- Utilizar la Máquina de Medición por Coordenadas para realizar medidas precisas.

1. Estado del arte

En la actualidad las impresoras 3D están muy en auge ya que se están convirtiendo en una tecnología que avanza muy rápidamente y es usada en muchos campos. Últimamente los avances más conocidos son:

La posibilidad de imprimir piezas en la Estación Espacial Internacional enviando el modelo desde la tierra [1], dando la posibilidad de fabricar piezas para recambios en la misma Estación sin tener que esperar el aprovisionamiento por parte de otra nave. Algo similar ocurre en los buques navales chinos [2].

La posibilidad de construir viviendas [3], esta opción abarata mucho el coste de la casa a la vez que se realizan mucho más rápido.

También es muy conocido el hecho de que se están realizando grandes avances en la producción de prótesis, tejidos y órganos a medida para cada paciente [4].

Se ha conseguido también redactar notas “manuscritas” con una impresora 3D, una pluma y una aplicación [5].

Otro campo en el que hay mucho desarrollo es en el de la impresión 3D de comida [6].

Y dentro de la cultura y la educación las bibliotecas de Estados Unidos están empezando a ser equipadas con impresoras 3D para uso de sus usuarios [7].

Pero el campo más importante dentro de la ingeniería es el del prototipado rápido, ya que permite ver físicamente una pieza que se ha diseñado por ordenador y así poder corregir algún defecto o hacer alguna modificación. Esto es de gran utilidad ya que la obtención de esta pieza es mucho más rápida por este método y permite también ahorrar mucho tiempo y costes.

Aunque ya hay alguna empresa que está diseñando impresoras para la producción industrial [8], piezas de camiones [9], o todo el automóvil [10], incluso ya se ha fabricado el primer motor a reacción para aviones [11].

Toda esta fabricación en 3D tiene grandes ventajas ambientales al ser una fabricación en la que se emplean menos procesos y recursos [12].

2.Descripción del método de impresión, FDM

El Modelado por Deposición Fundida (o FDM por sus siglas en inglés, Fusion Deposited Modelling) o el término equivalente Fabricación con Filamento Fundido (FFF, Fused Filament Fabrication) consiste en la deposición de material por capas para poder obtener una pieza.

Antes de todo se realiza un modelo virtual con un software de CAD, en este trabajo se han realizado con los softwares CATIA y FreCAD. Este modelo se introduce en un software que permita orientarlo según sea la mejor posición para la futura impresión y que también de la opción de reparar el modelo por si se ha producido con algún defecto durante su creación, en este trabajo se ha utilizado el software netfabb.

Una vez creado el modelo y colocado según la posición más idónea para la impresión, se carga el modelo en un software capaz de generar el código G-code, en nuestro caso usaremos el software Slic3r, de código abierto y el recomendado por la empresa proveedora de la impresora, con el Slic3r se puede elegir todos los parámetros de impresión: altura de capa, la forma del relleno, temperatura de la cama y del extrusor, etc., se hablará más extendidamente posteriormente en este trabajo.

Una vez creado el archivo G-code se introduce en la impresora a través de una tarjeta SD, la impresora lo lee y realiza las acciones indicadas. Se mueve en un plano horizontal, en el “eje x” y en el “eje y” extrusionando el material de la bobina que se haya colocado en la parte posterior del extrusor, expulsando este a una temperatura cercana a su punto de fusión para que fluya correctamente, el material se enfría rápidamente y se solidifica.

Cuando ya ha terminado de extruir toda la capa aumenta en el “eje z” la medida que le hayamos indicado como altura de capa y realiza la siguiente extrusión por todo la capa, y así sucesivamente hasta concluir la pieza

3.Descripción de la impresora

La impresora usada en este trabajo es la BCN3D fabricada por RepRapBCN, que es un proyecto de la Fundació CM de la Universitat Politècnica de Catalunya · BarcelonaTech (UPC).

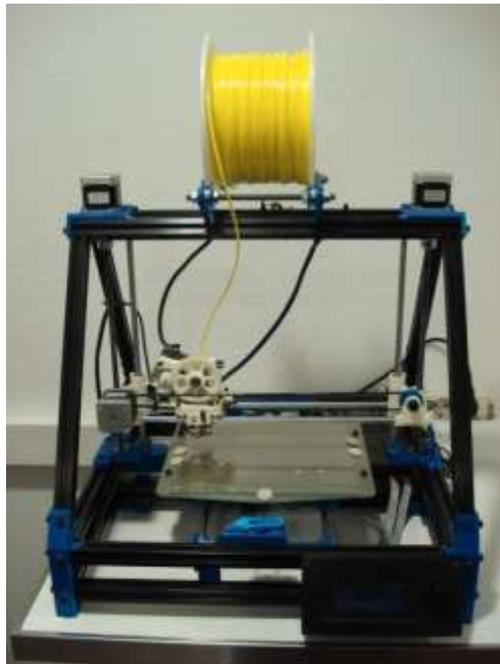


Figura 3.1: Impresora BCN3D fabricada por RepRapBCN

A continuación se expondrán unas figuras en las que se puede observar las partes más importantes de la impresora:

La zona por donde sale el material a alta temperatura es el extrusor:



Figura 3.2: Extrusor de la impresora

La zona donde se deposita el material es la cama, que consiste en un cristal encima de una placa que se calienta con unas resistencias:

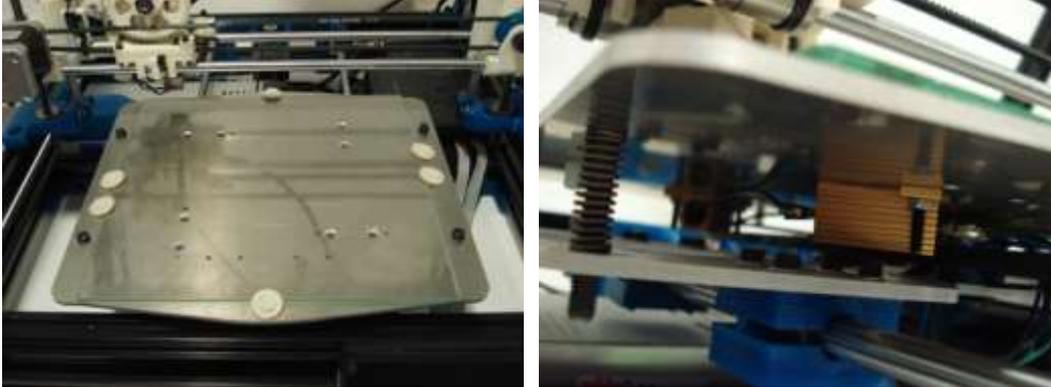


Figura 3.3: Cama de la impresora y resistencia que la calienta

La cama y el extrusor se mueven gracias a los distintos motores que hay en la estructura de la impresora:

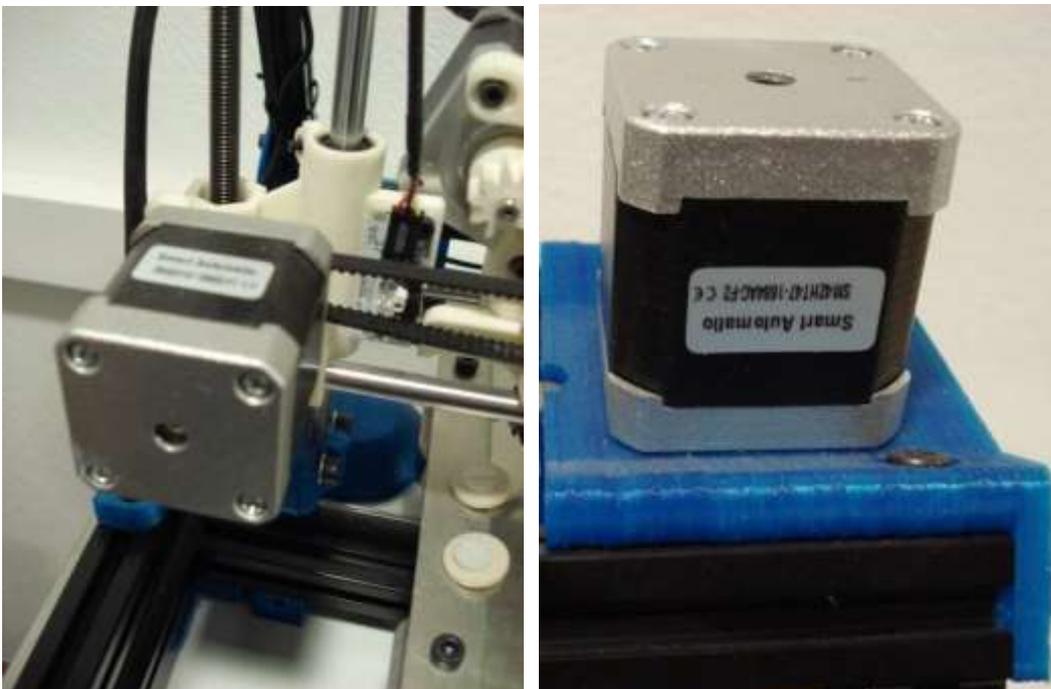


Figura 3.4: Motores que mueven la cama y el extrusor

3. Descripción de impresora

La principal característica de las impresoras con tecnología RepRap es la capacidad de poder imprimir la mayoría de las piezas de las que está compuesta, se puede auto-replicar, pudiendo hacer un kit de sí misma.

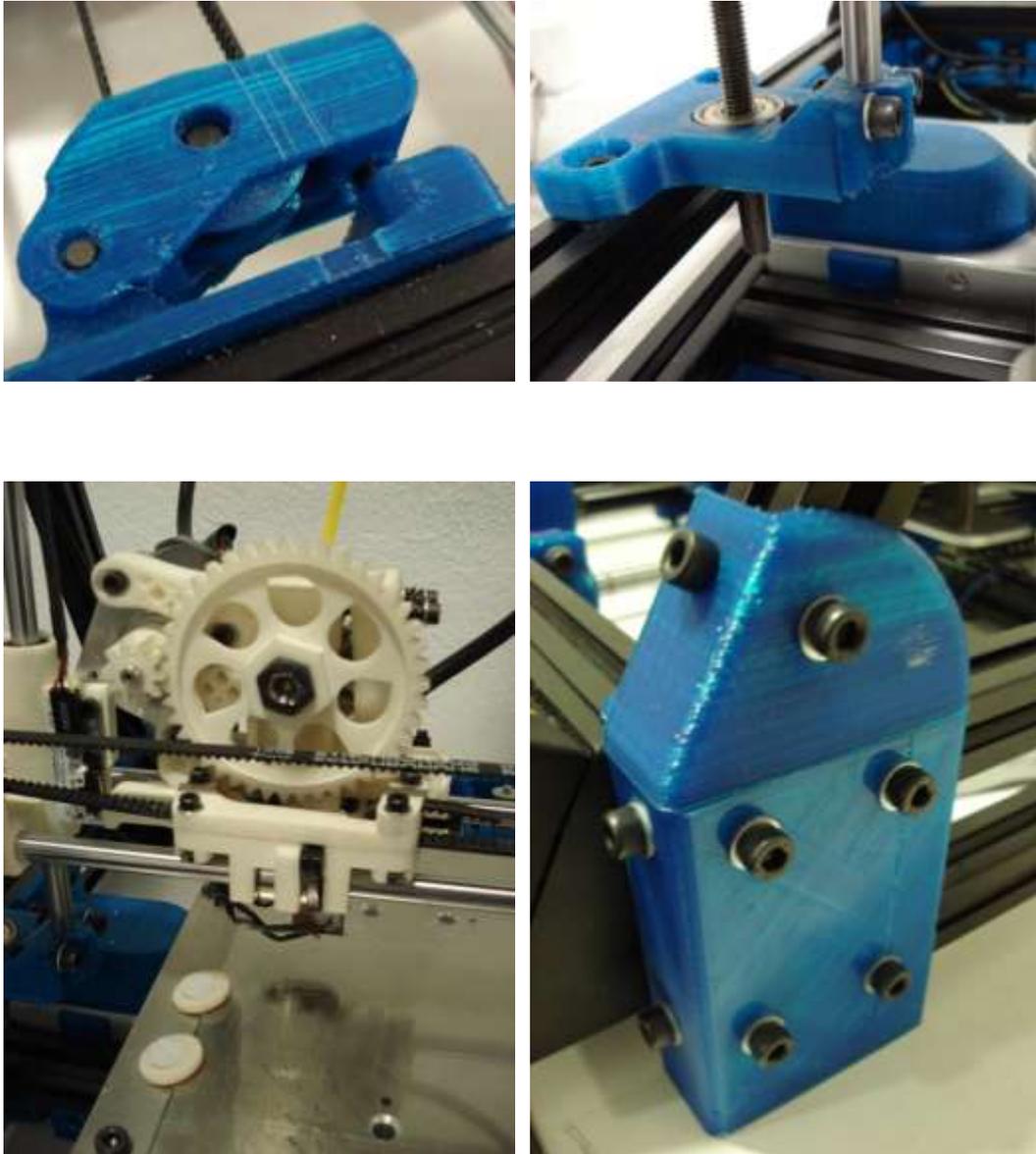


Figura 3.5: Partes de la impresora que han sido fabricadas con otra impresora 3D

También existen unos sensores fin de carrera para poder situar el punto de inicio en cada arranque de la impresora:

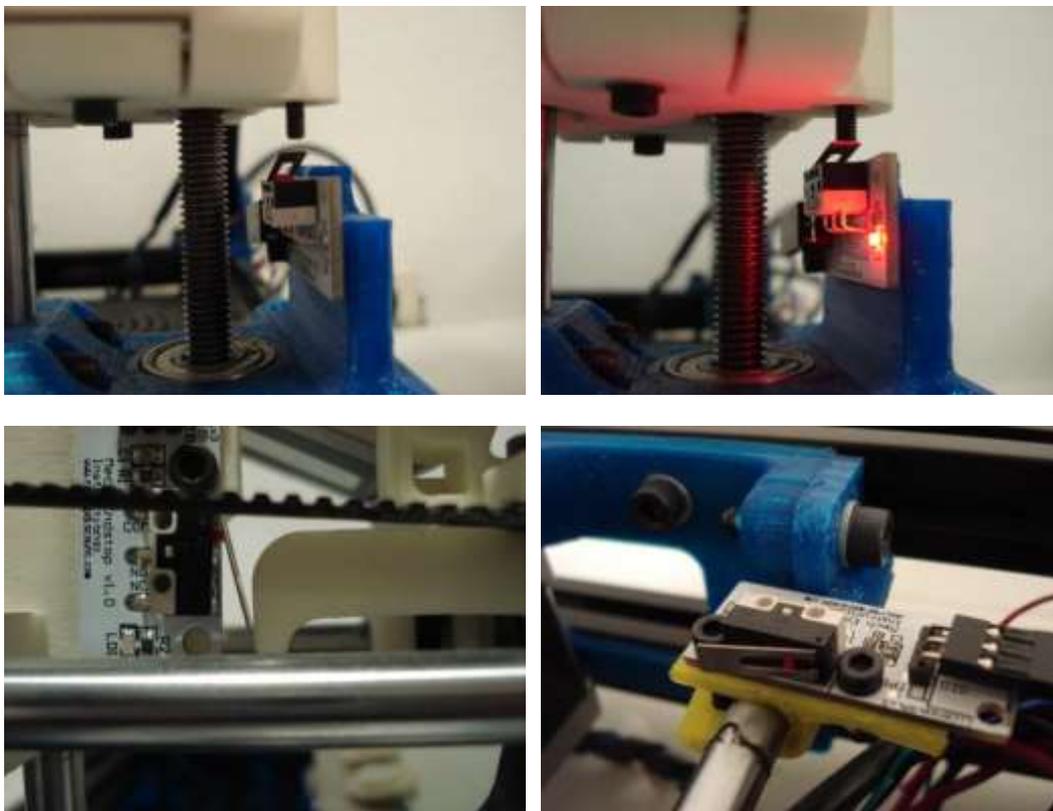


Figura 3.6: Sensores fin de carrera

Las características más importantes de la impresora usada en este estudio son:

Tecnología de fabricación:	Material Extrusion Fused Filament Fabrication (FFF)
Dimensiones generales:	480mm x 480mm x 470mm
Peso:	13kg (sin bobina de filamento)
Volumen de impresión:	Ancho: 200mm
	Profundidad: 200mm
	Altura: 150mm

3. Descripción de impresora

Número de extrusores:	1 (ampliable a 2)
Altura de capa:	0,1-0,35mm (con boquilla estándar de 0,4mm)
	0,2-0,5mm (con boquilla de 0,6mm)
Resolución de posicionado manual:	Eje x: 0,1mm
	Eje y: 0,1mm
	Eje z: 0,1mm
Materiales admisibles:	PLA
	ABS
	Nylon
	HIPS
	PVA
	Laybrick (con boquilla de 0,6mm)
	Laywood (con boquilla de 0,6mm)
Filaflex (con boquilla de 0,6mm)	
Diámetro de filamento:	3mm/1,75mm
Temperatura funcionamiento:	15-35°C
Temperatura de cama caliente máx.:	85°C (medida en el perímetro)
Temperatura de extrusor máx.:	260°C
Electrónica:	Arduino Mega 2560 + RAMPS 1.4
Conectividad:	Tarjeta SD (funcionamiento autónomo)
	Cable USB (control mediante Repetier Host)
Firmware:	Específico BCN3D (basado en Marlin)
Archivos compatibles:	STL
Software preparación archivos:	Slic3r, Cura
Alimentación eléctrica:	AC 100-240 V, ~4 amps, 50-60 Hz
Consumo eléctrico:	200W

Tabla 3.1: Propiedades de la impresora

4. Descripción de materiales utilizados

4.1. ABS

El acrónimo ABS proviene de los tres monómeros que se utilizan para producirlo: acrilonitrilo, butadieno y estireno.

El ABS se produce, principalmente, por medio de la polimerización del estireno y el acrilonitrilo en presencia de polibutadieno, quedando como producto una estructura de polibutadieno, conteniendo cadenas de SAN (estireno acrilonitrilo) injertados en él.

Esta sinergia de materiales hace que el ABS tenga una mezcla adecuada de propiedades de los tres monómeros:

Los bloques de acrilonitrilo proporcionan rigidez, dureza, resistencia a ataques químicos y estabilidad a alta temperatura así como resistencia a la fatiga.

Los bloques de butadieno, que es un elastómero, proporcionan tenacidad a cualquier temperatura cualidad interesante en ambientes fríos, en los cuales otros plásticos se vuelven quebradizos así como resistencia al impacto y a la fusión.

El bloque de estireno aporta fluidez, brillo, resistencia mecánica y rigidez.

Sus propiedades más importantes son buena resistencia a la tensión y al impacto combinado con facilidad para el procesado y ser un material liviano.

Resistencia a la abrasión	Alta
Permeabilidad	Todos los grados son considerados impermeables al agua, pero ligeramente permeables al vapor.
Propiedades relativas a la fricción	No los degradan los aceites, son recomendables para cojinetes sometidos a cargas y velocidades moderadas
Cap. de absorción	Baja

Estabilidad dimensional	Es una de las características más sobresalientes, lo que permite emplearla en partes de tolerancia dimensional cerrada. La baja capacidad de absorción de la resina y su resistencia a los fluidos fríos, contribuyen a su estabilidad dimensional
Pigmentación	La mayoría de estas resinas, están disponibles en colores estándar sobre pedido, se pueden pigmentar aunque requieren equipo especial.
Facilidad de unión	Se unen fácilmente entre sí y con materiales plásticos de otros grupos mediante cementos y adhesivos
Propiedades ambientales	La exposición prolongada al sol produce una capa delgada quebradiza, causando un cambio de color y reduciendo el brillo de la superficie y la resistencia a la flexión. La pigmentación en negro provee mayor resistencia a la intemperie
Resistencia química	Generalmente buena aunque depende del grado de la resina, de la concentración química, temperatura y esfuerzos sobre las partes. En general no son afectadas por el agua, sales inorgánicas, álcalis y por muchos ácidos. Son solubles en ésteres, acetona, aldehídos y en algunos hidrocarburos clorados
Formado	Se adaptan bien a las operaciones secundarias de formado. Cuando se calientan, los perfiles extruidos, se pueden doblar y estampar.
Facilidad de maquinado	Sus características son similares a las de los metales no ferrosos, se pueden barrenar, fresar, tornearse, aserrar y troquelar
Acabados superficiales	Pueden ser acabados mediante metalizado al vacío y electroplateado
Resistencia a la fatiga	Se presenta para cargas cíclicas o permanentes mayores a 0.7 Kg mm ²
Recocida	Se mantiene 5° C arriba de la Temp. de distorsión durante 2 a 4 h.
Alargamiento a la Rotura (%)	45
Coefficiente de Fricción	0,5
Módulo de Tracción (GPa)	2,1-2,4

4. Descripción de materiales utilizados

Resistencia a la Tracción (MPa)	41-45
Resistencia al Impacto Izod (J/m)	200-400
Absorción de Agua - en 24 horas (%)	0.3-0.7
Densidad (g/cm ³)	1,05
Resistencia a la Radiación	Aceptable
Resistencia a los Ultra-violetas	Mala

Tabla 4.1: Propiedades del ABS

4.2. PLA

El ácido poliláctico (PLA), es un biopolímero termoplástico cuya molécula precursora es el ácido láctico. El ácido láctico, ácido 2-hidroxiopropanoico, es el ácido carboxílico más simple con un átomo de carbono asimétrico.

Las propiedades físicas y mecánicas, farmacéuticas y de reabsorción dependen de la composición del polímero, de su peso molecular y de su cristalinidad, que varía desde el 0% al 40%.

La temperatura de procesamiento está entre 60 y 125 °C y depende de la proporción de ácido láctico en el polímero.

El PLA tiene propiedades mecánicas en el mismo rango de los polímeros petroquímicos, a excepción de una baja elongación.

El PLA se puede hacer con diversas características mecánicas dependiendo del proceso de fabricación seguido. Es un polímero permanente e inodoro, resistente a la humedad y a la grasa.

Entre sus puntos fuertes se incluyen:

El PLA puede ser tan duro como el acrílico.

La fuerza extensible y el módulo de elasticidad es comparable al del polietileno, una tenacidad más alta o lo que es lo mismo una fuerza extensible mayor que las fibras naturales. Pero es más hidrofílico y tiene una densidad más baja, bajo peso específico comparado con otras fibras naturales, lo que implica productos más ligeros.

Es claro, brillante y rígido como el poliestireno, o flexible como un elastómero.

Tiene características de barrera del sabor y del olor similares al plástico de polietileno tereftalato.

Al PLA se le atribuyen también propiedades de interés como la suavidad, resistencia al rayado y al desgaste. Su inflamabilidad es demasiado baja.

Recuperación de la humedad perceptiblemente más baja con ello se hace un hueco en los tejidos de secado rápido.

Resistencia UV excepcional comparado con otras fibras.

Índice de refracción bajo, lo cual genera intensos colores una vez teñidas las fibras de PLA.

Comparado con el PET y otros sintéticos, bajo poder calorífico, genera menor cantidad de humos al quemarse y una extensión más rápida de la humedad.

Entre sus puntos débiles se incluyen:

Baja resistencia a compuestos alcalinos, causando pérdida de fuerza en los convencionales procesos de dispersión por teñido.

Resiste temperaturas de planchado bajas puesto que presenta una temperatura cristalinidad baja.

Sus propiedades más importantes son:

Tenacidad (g/dtex)	4,0-5,5
Elongación	20-35
Módulo (g/dtex)	60-70
Densidad (g/cm ³)	1,27
Cristalinidad (%)	83,5
Tm (°C)	175
Tg (°C)	58
Encogimiento (%) (agua a ebullición)	8-15
Recuperación de humedad (%)	0,6

Tabla 4.2: Propiedades del PLA

5. Descripción de los programas utilizados

5.1. Catia y FreCAD

En este trabajo se han usado los programas “CATIA Version 5-6 Release 2012” y “FreeCAD Version 0.14”. Los dos son programas de diseño CAD con los que se puede realizar el diseño de las piezas que se van a imprimir en este trabajo.

Estos dos programas son casi idénticos únicamente variando algunos comandos, la gran diferencia es que CATIA es un programa profesional que para poder utilizarlo se necesita una licencia, en este trabajo se ha usado la licencia que tiene la Escuela de Ingenieros Industriales de la Universidad de Valladolid, mientras que el FreCAD es libre y gratuito.

5.2. Netfabb

En este trabajo se ha empleado el programa “netfabb Basic 5.2.0”, que es un programa de visualización, reparación y transformación de archivos STL.

En este trabajo se ha usado para:

- Posicionar las piezas y evitar que estas se empiecen a imprimir por donde no corresponde.
- Reparar STL que puedan estar dañados.
- Escalar piezas si es necesario

5.3. Slic3r

El programa “Slic3r version 1.1.7” es un software diseñado para generar GCodes, El G-code es un lenguaje informático usado para controlar máquinas de CNC, incluidas la mayoría de impresoras 3D. Este está compuesto por una lista de instrucciones que indican las posiciones y velocidades a las que se debe mover cada uno de los ejes, y las temperaturas del extrusor y de la cama.

Igual que otros software para generar G-codes, Slic3r secciona el modelo 3D en capas, que posteriormente se depositarán para generar el diseño en 3D. En cada capa, se establece una diferencia entre los perímetros y el relleno de la pieza. Además, se puede escoger la secuencia de operaciones, velocidad de impresión, número de perímetros, etc.

En este trabajo se utilizará una configuración previa aportada por el mismo programa Slic3r, la correspondiente al ABS se puede observar en las siguientes imágenes, y a la cual se han efectuado varias modificaciones.

A continuación se explicará brevemente cada una de las opciones que tiene este programa:

Dentro de la pestaña de “Ajustes de impresión”, dentro de la opción “capas y perímetros” se puede elegir:

- La altura de capa y específicamente la de la primera capa
- El número mínimo de perímetros y si se hace en espiral
- El número de capas sólidas en las capas inferiores y superiores
- Si se añaden perímetros extra si es necesario, si se permiten perímetros cruzados, si se detectan muros delgados y si se detectan perímetros cuando se hacen puentes.
- Si el comienzo de cada capa es aleatorio, el más cercano o alineado y si se hacen primero los perímetros externos.

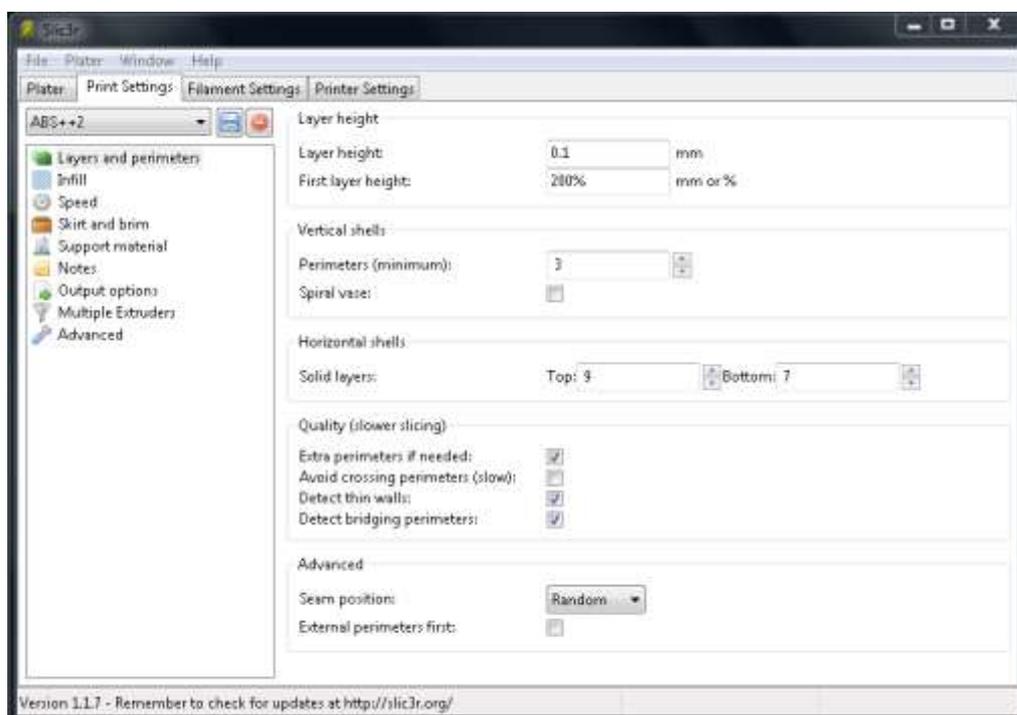


Figura 5.3.1: Parámetros de capa y perímetros

Dentro de la opción “relleno” se puede determinar:

- La densidad de relleno, el patrón del relleno (rectilinea, linear, panel de abjea, curva de Hilbert, acordes de Arquimedes y espiral octagrámica), patrón del relleno de las capas superiores e inferiores (rectilinea, concentrica, curva de Hilbert, acordes de Arquimedes y espiral octagrámica).
- Cada cuantas capas se hace relleno combinado o si solo se hace cuando sea necesario.
- Cada cuantas capas se hace relleno solido, ángulo de relleno, umbral de área por debajo del cual se hace relleno sólido, si solo retractar el extrusor cuando hay perímetros cruzados y si se rellena antes de hacer los perímetros.

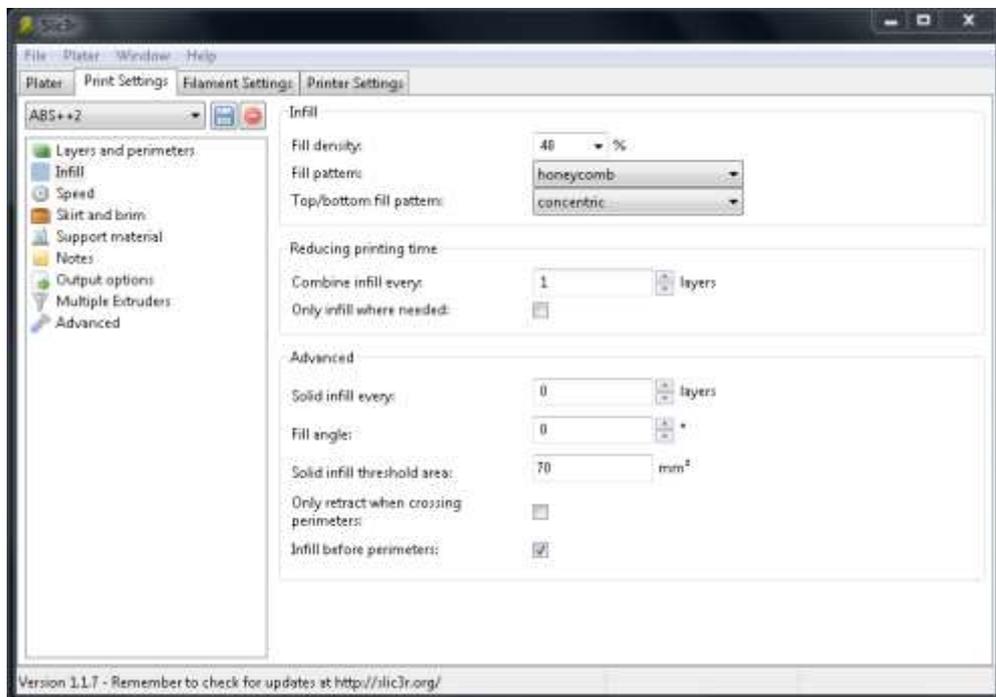


Figura 5.3.2: Parámetros de relleno

Dentro de la opción “velocidad”:

- Velocidad de los movimientos de impresión: perímetros, perímetros pequeños, perímetros externos, relleno, relleno sólido, relleno sólido superior, material de aporte, conexión del material de soporte, puentes y relleno de zonas de pequeño infill.
- Velocidad de movimientos en los que no hay impresión
- Velocidad de la primera capa
- Aceleración de: perímetros, relleno, puente, primera capa y estándar

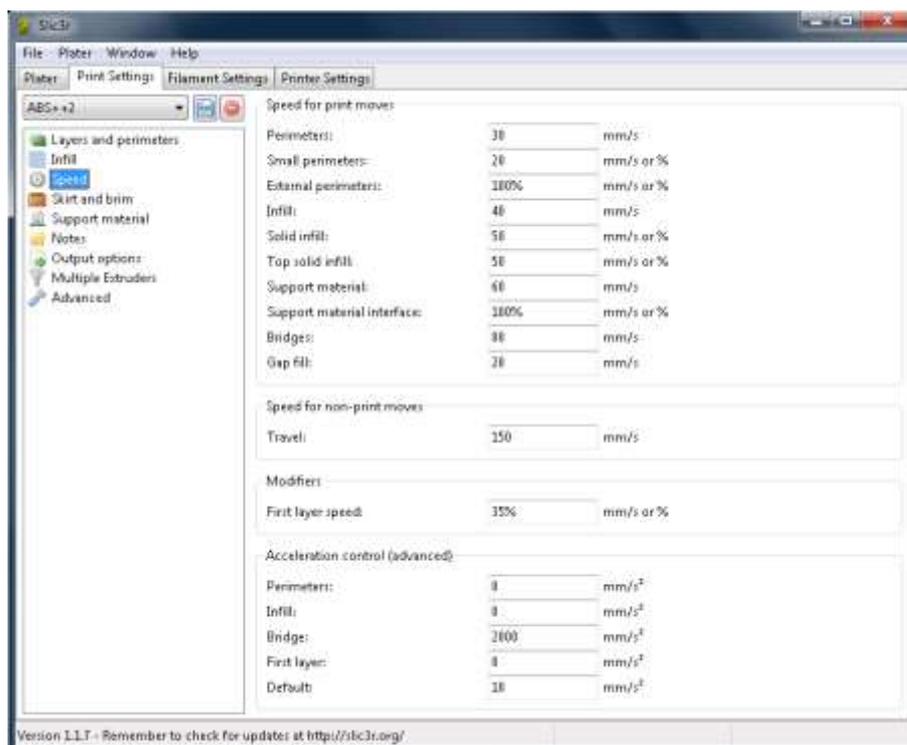


Figura 5.3.3: Parámetros de velocidad

En la opción “falda y borde”

- En la falda, que consiste en una extrusión alrededor de la pieza en la primera capa para cebar el extrusor, se pueden indicar: vueltas, distancia al objeto, altura y longitud mínima de extrusión
- Ancho del ala o “brim”, extrusión que se añade al exterior de la pieza en la primera capa para una mejor adhesión a la cama, se puede elegir el ancho.

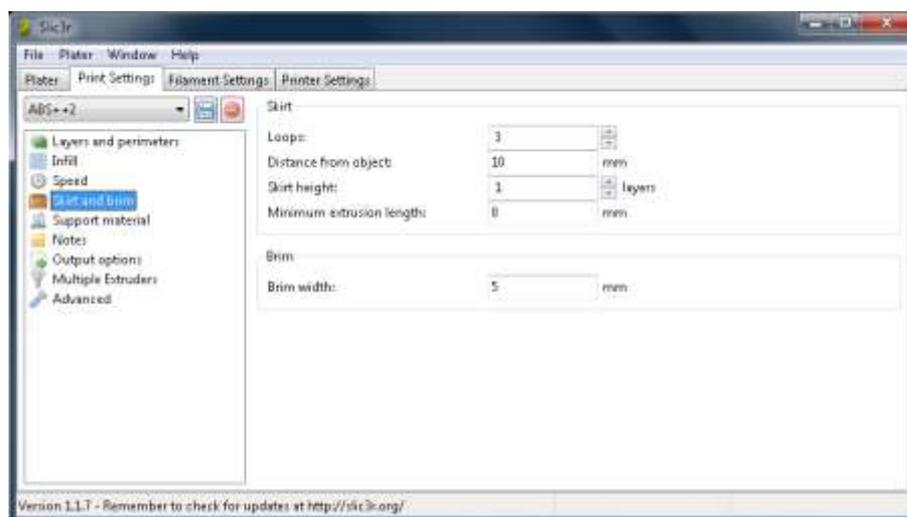


Figura 5.3.4: Parámetros de falda y ala

En la opción de “material de aporte”

- Si se genera material de aporte, ángulo umbral sobresaliente a partir del cual se empieza a generar y número de capas en las que se fuerza el aporte de material
- Capas de balsa
- Opciones del aporte de material: patrón (rectilinea, rectilinea cuadrada, panal de abeja o columna), espacio del patrón, ángulo del patrón, número de capas de conexión, distancia entre las conexiones del patrón y si hacer puentes de aporte

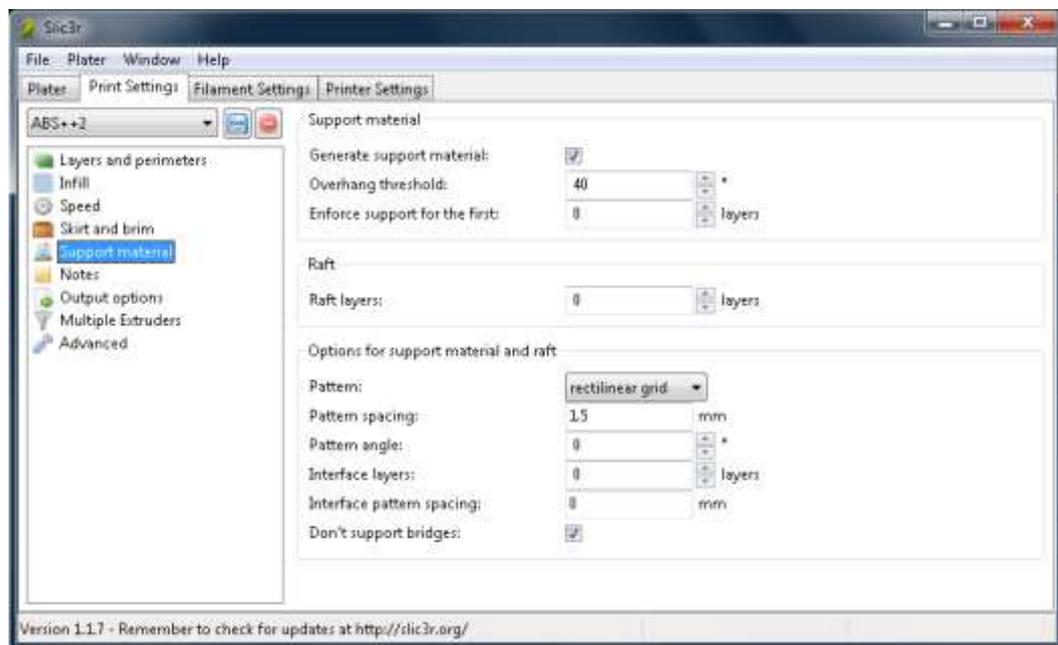


Figura 5.3.5: Parámetros de aporte material

Además existen otras opciones en las que se pueden realizar notas, opciones de salida, opciones si existen varios extrusores y otras avanzadas, que en este estudio no modificaremos.

En la pestaña de ajustes del hilo, dentro de la opción hilo se puede elegir:

- El diámetro del hilo y multiplicador de extrusión
- La temperatura del extrusor y de la cama tanto como para la primera capa como para el resto

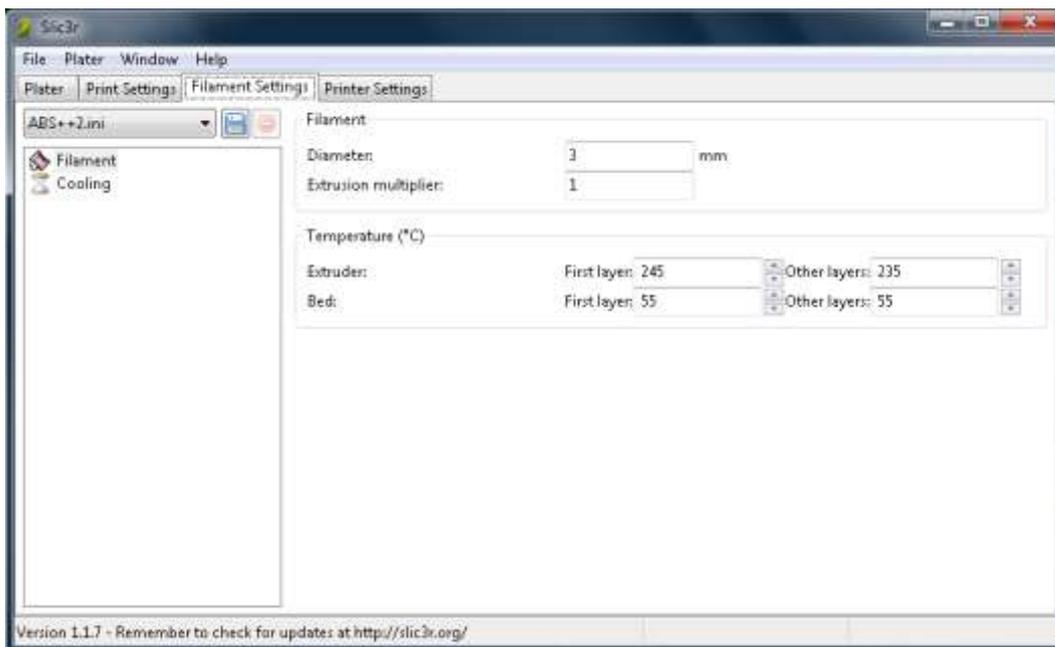


Figura 5.3.6: Parámetros del filamento

Y la opción enfriamiento, que no usaremos en este estudio ya que esta impresora no consta de un ventilador de capa.

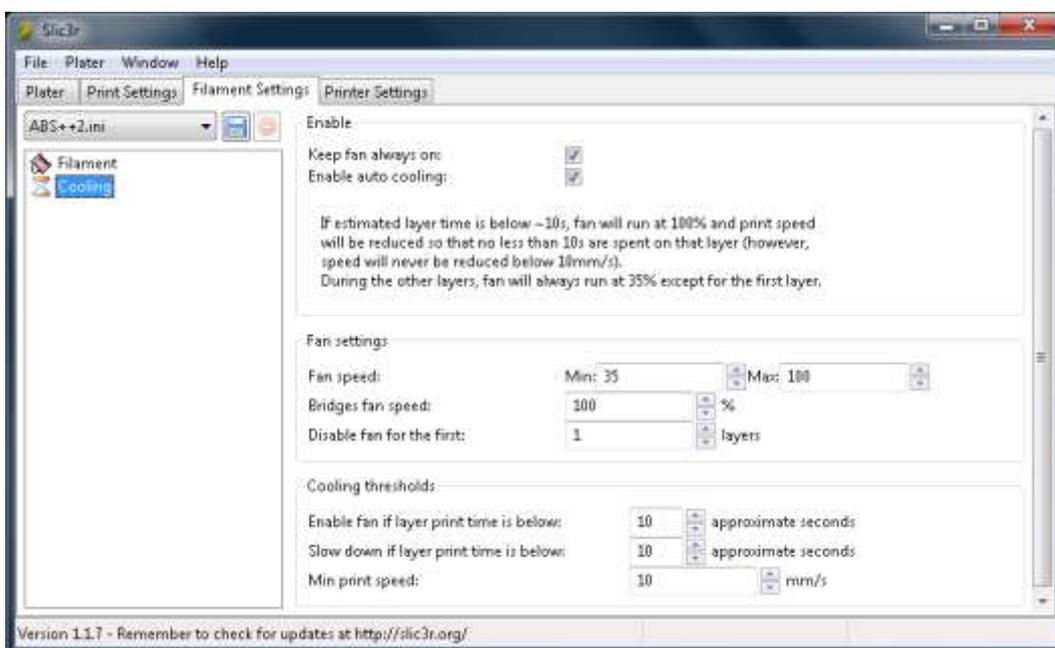


Figura 5.3.7: Parámetros de enfriamiento

En la pestaña de ajustes de la impresora, en la opción general se puede modificar:

- El tamaño de la cama, el punto medio de impresión y el offset en el “eje z”
- El firmware
- El número de extrusores
- Si usar la retracción del firmware y el límite de vibraciones

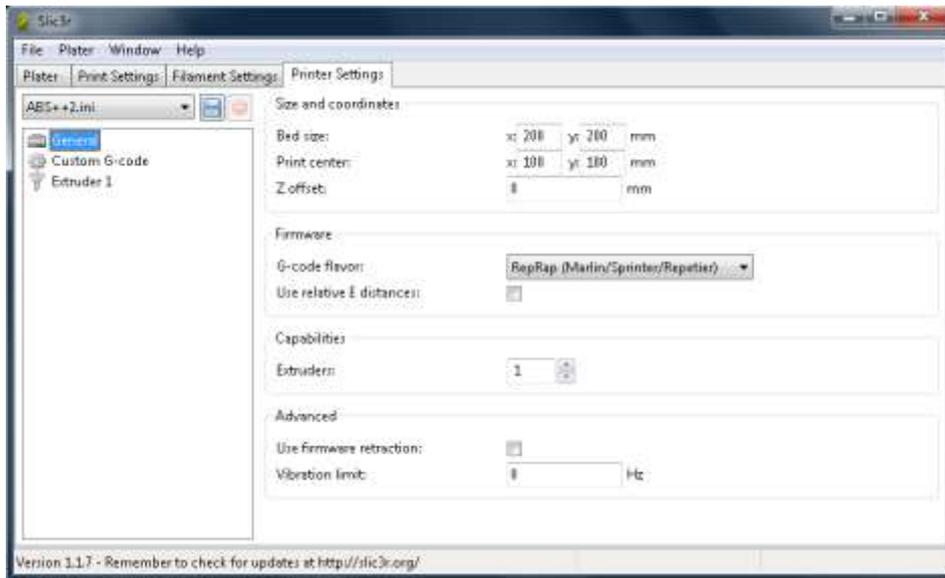


Figura 5.3.8: Parámetros generales de la impresora

En la opción de personalizar el código G, se puede modificar el inicio, el final, el cambio de capa y el cambio de herramienta

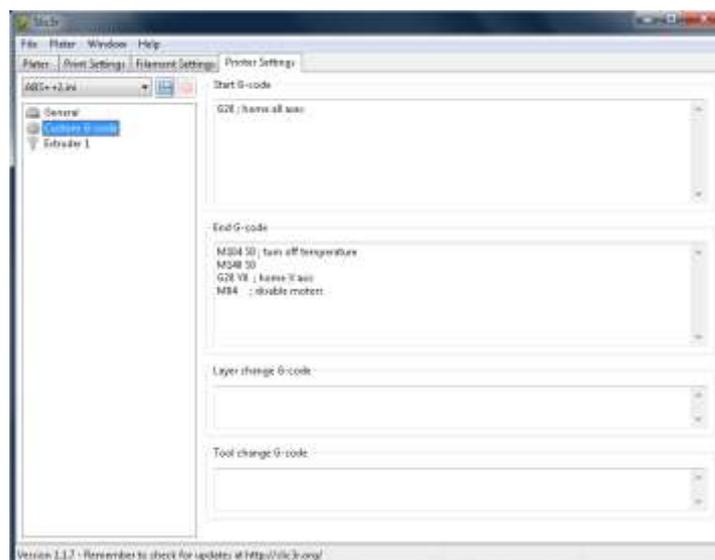


Figura 5.3.9: Parámetros para personalizar el G-code

Y dentro de la opción del extrusor se puede elegir:

- El diámetro de la boquilla del extrusor
- La posición si existieran varios extrusores, que no es nuestro caso
- Dentro de la retracción , altura después de cada extrusión, altura a alcanzar antes de mover el extrusor, velocidad, longitud extra cuando vuelve a empezar, mínimo desplazamiento después de la retracción, si se retrae cuando hay cambio de capa y si sacudir mientras se retrae
- Retracción cuando la herramienta esta desactivada: longitud y longitud extra para volver a empezar

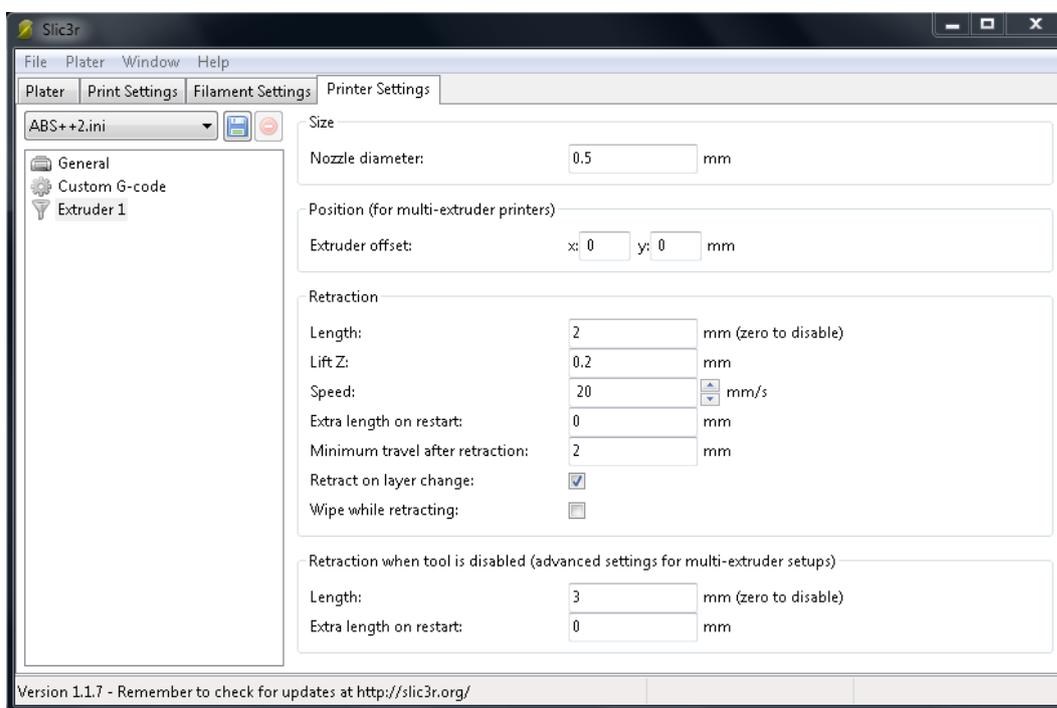
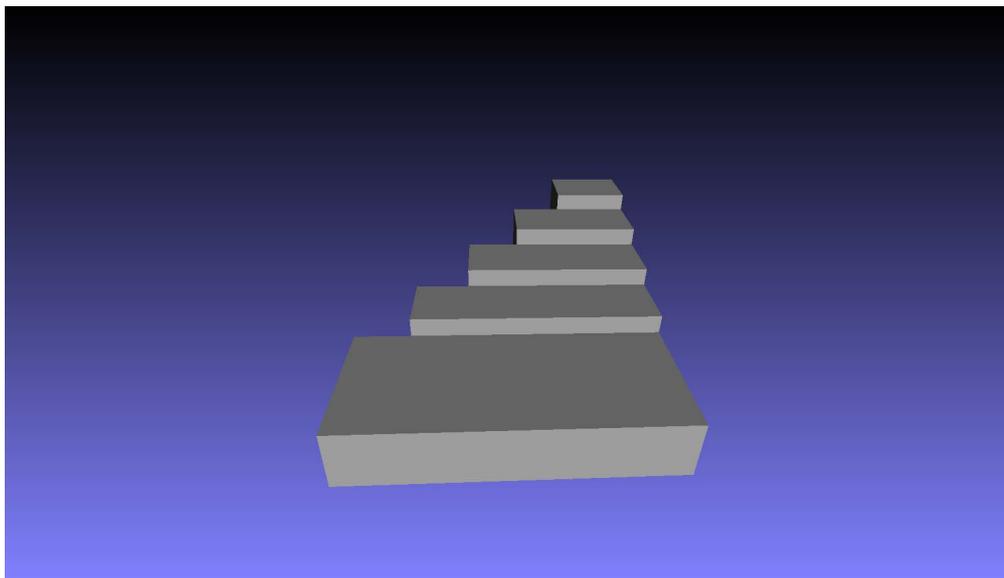


Figura 5.3.10: Parámetros del extrusor

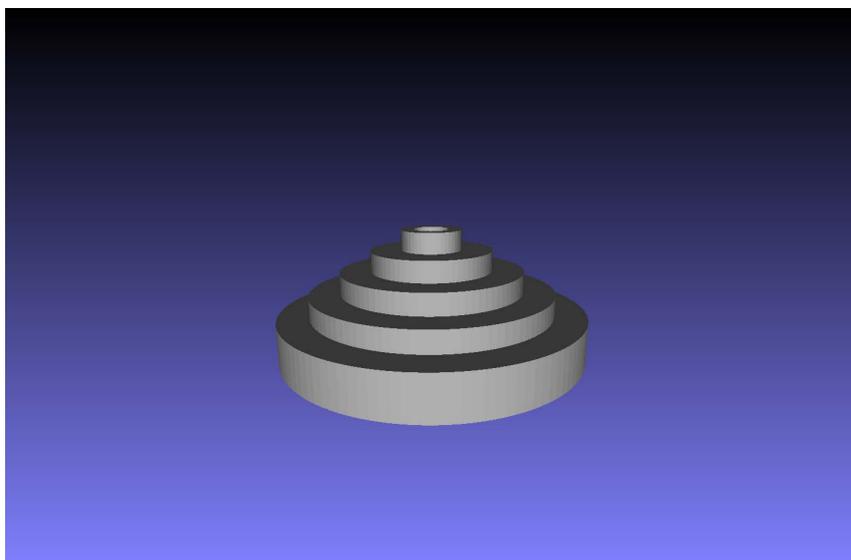
6.Descripción de las piezas impresas

En este apartado se realizará una breve descripción de las piezas impresas en este trabajo y se les pondrá un nombre para el correcto reconocimiento en lo restante del trabajo:

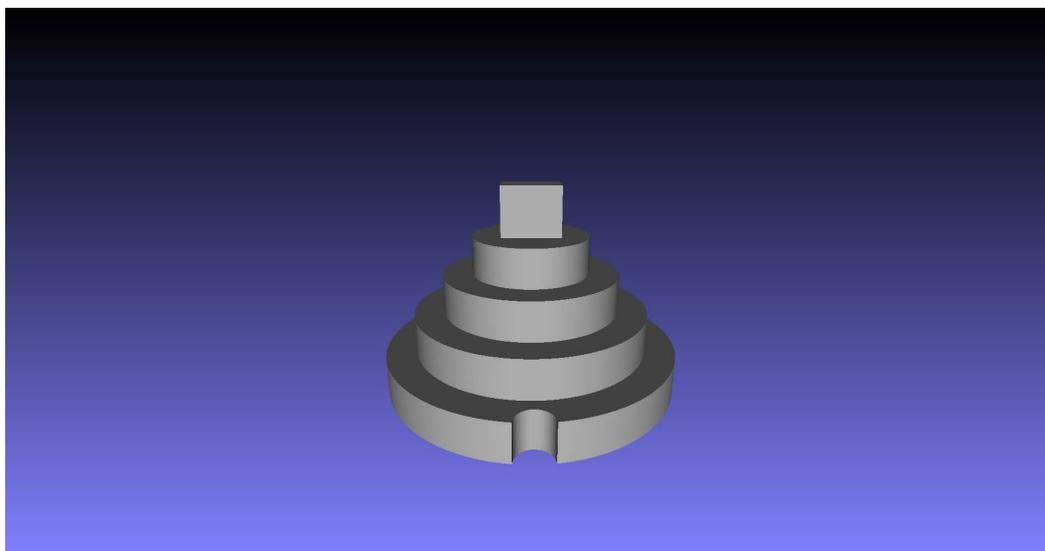
Pieza “Escalones”, es una pieza de planos horizontales a distintas alturas y de distintos tamaños, cuyo plano se puede ver en el Anexo 1.



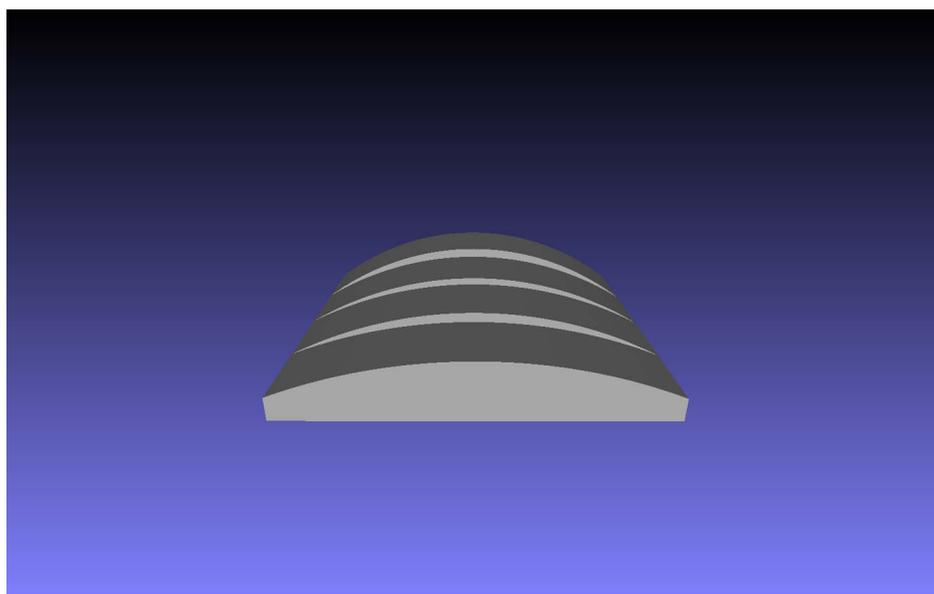
Pieza “Concentricidad v1”, es una pieza compuesta por cilindros de distintos diámetros que son concéntricos, cuyo plano se puede ver en el Anexo 2.



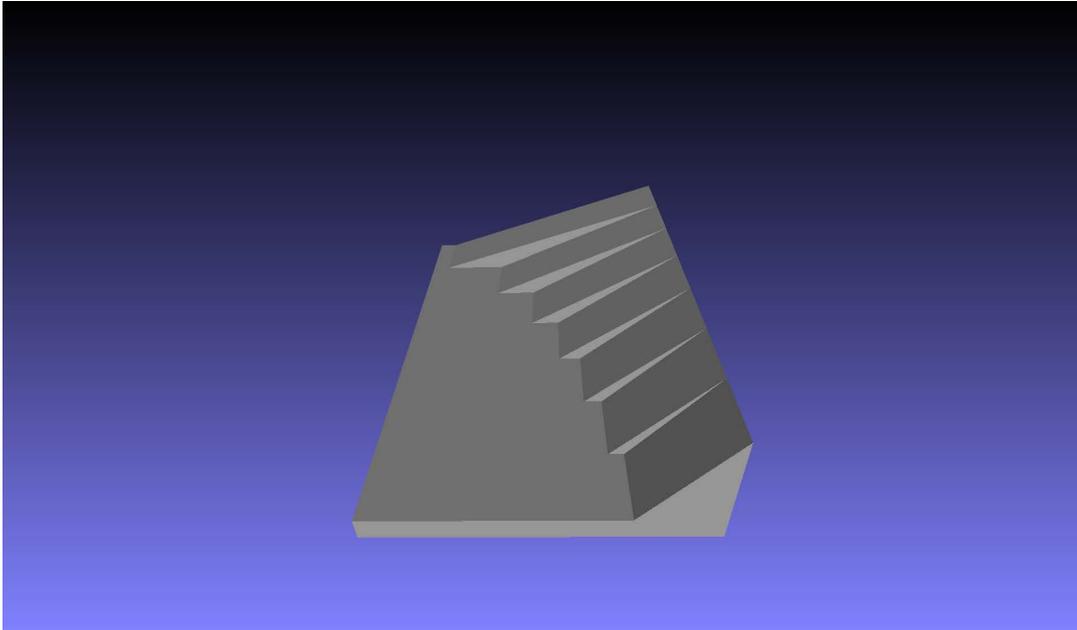
Pieza “Concentricidad v2”, es una pieza compuesta por cilindros verticales de distintos diámetros coronada por un prisma rectangular, cuyo plano se puede ver en el Anexo 3.



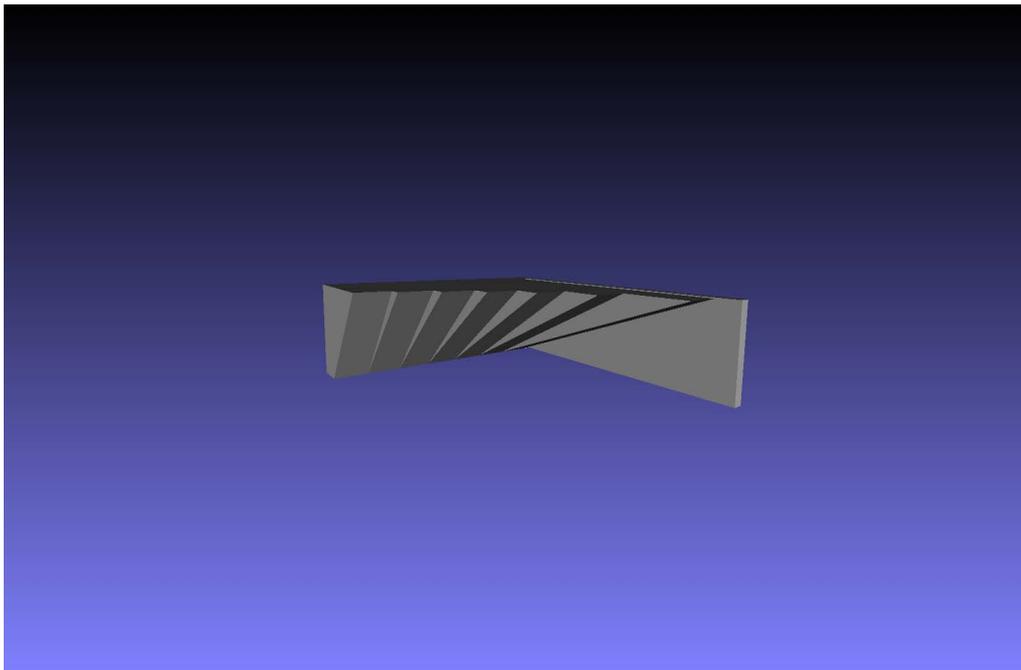
Pieza “Curvatura”, es una pieza compuesta por cilindros horizontales de distinto radio, el plano de esta pieza se puede ver en el Anexo 4.



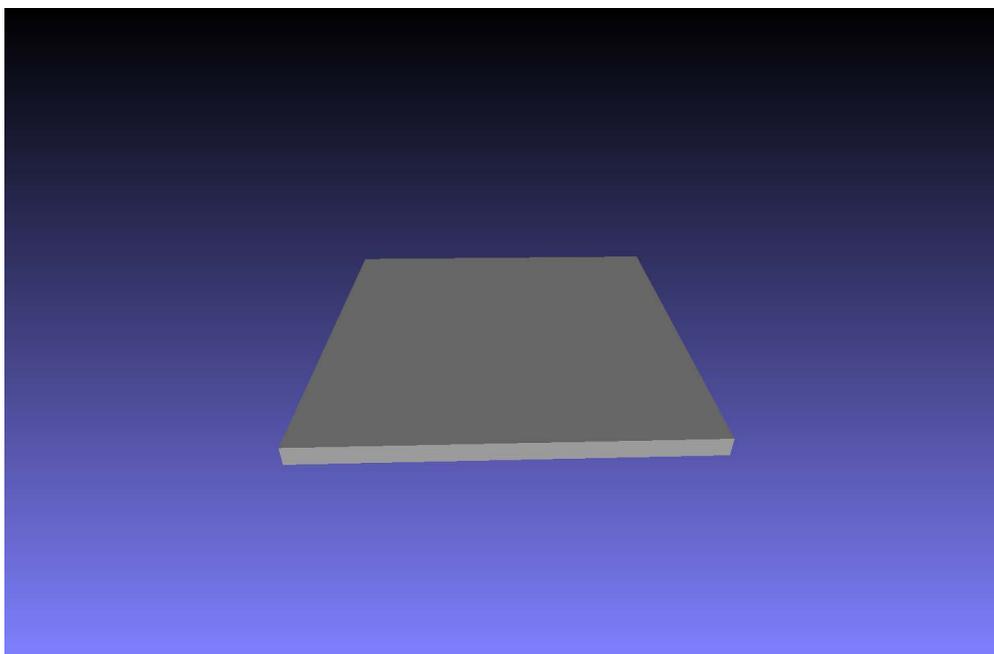
Pieza “Inclinación”, es una pieza formada por varias pendientes de distinto ángulo, se puede ver el plano de dicha pieza en el Anexo 5.



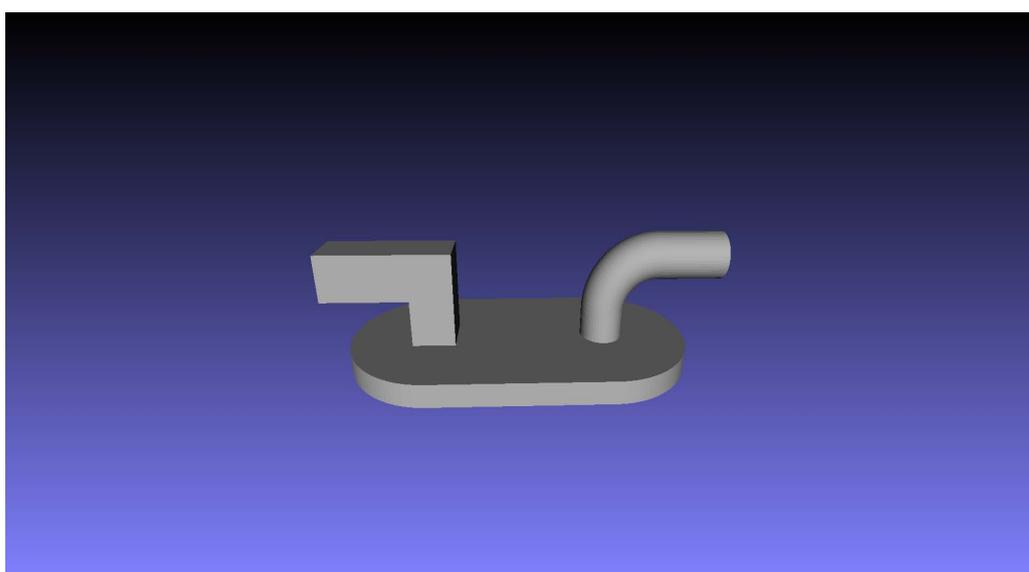
Pieza “Inclinación inversa”, es una pieza compuesta por varias pendientes de distinto ángulo, similar a la pieza “Inclinación” pero con las pendientes en voladizo, su plano se puede ver en el Anexo 6.



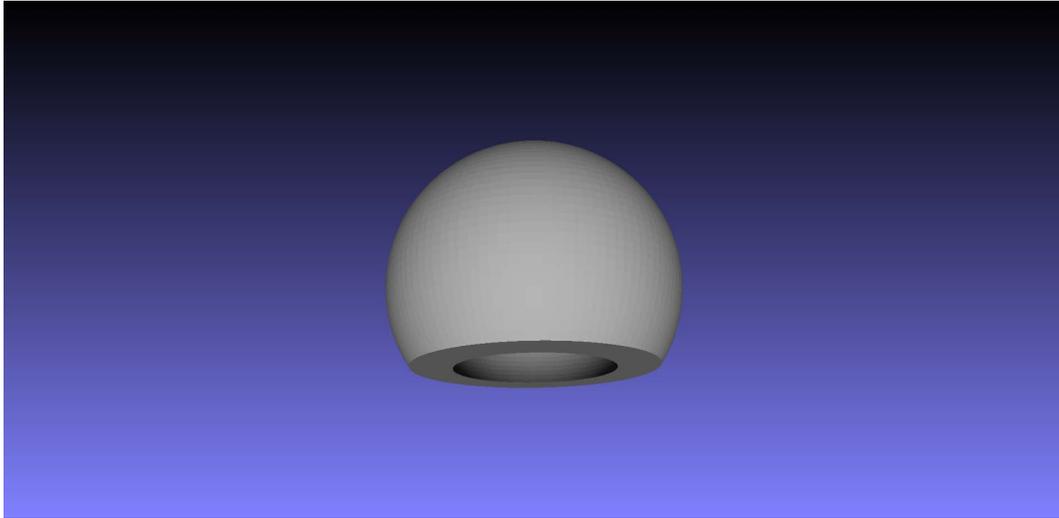
Pieza “Plano”, esta pieza es un simple prisma rectangular de poca altura, el plano se puede ver en el Anexo 7.



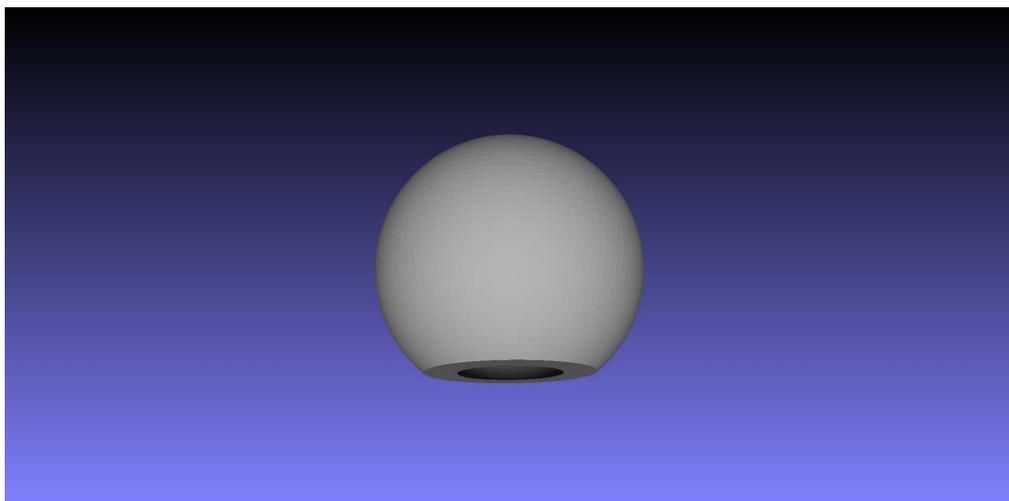
Pieza “Vuelo”, es una pieza compuesta por una plataforma a la que se le han añadido distintos voladizos, uno cilíndrico y otro prismático, cuyo plano se puede ver en el Anexo 8.



Pieza “Esfera 5mm”, es una esfera hueca con un espesor de 5mm a la que le falta un casquete esférico de 10mm de alto, el plano de dicha pieza se puede ver en el Anexo 9.



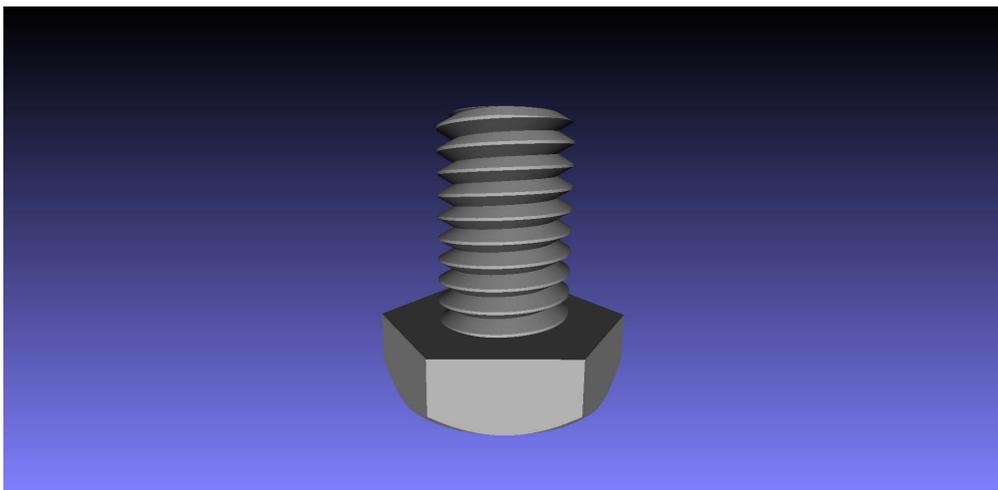
Pieza “Esfera 3mm”, es una esfera hueca con un espesor de 3mm sin un casquete esférico de 5mm de alto, cuyo plano corresponde al Anexo 10.



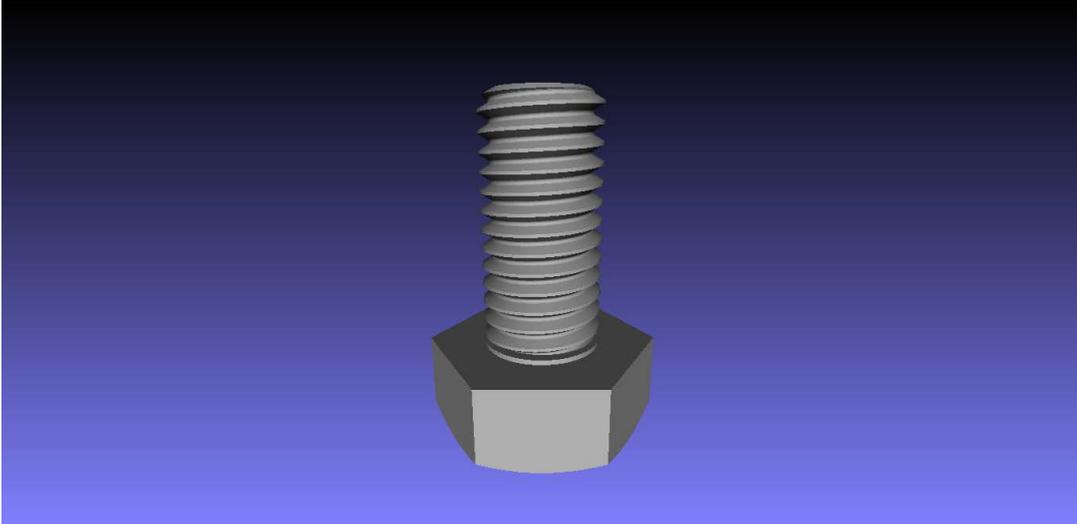
Pieza “Botella”, esta pieza es un diseño de una botella hueca con un espesor de 1mm.



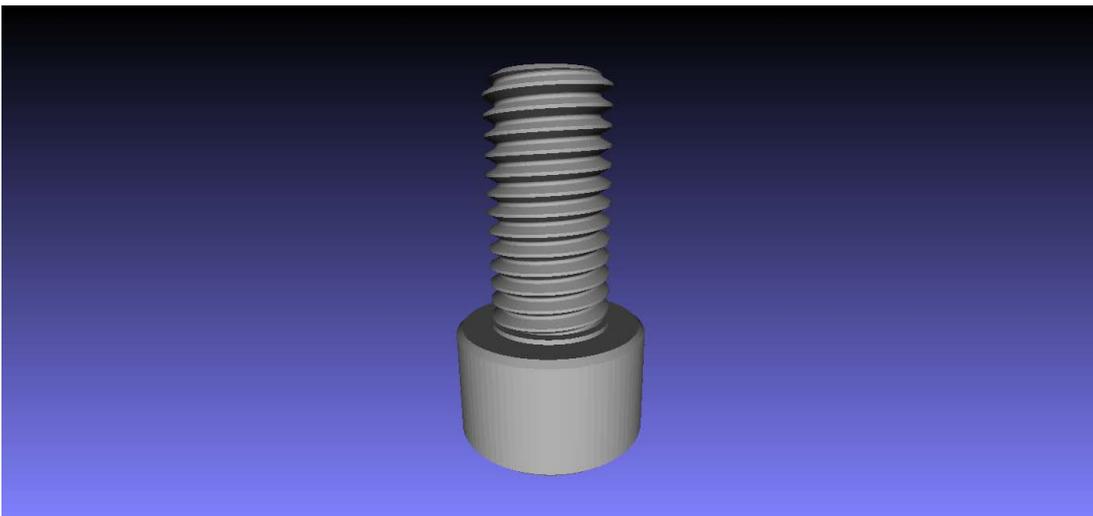
Pieza “Tornillo M8”, es un tornillo de métrica 8.



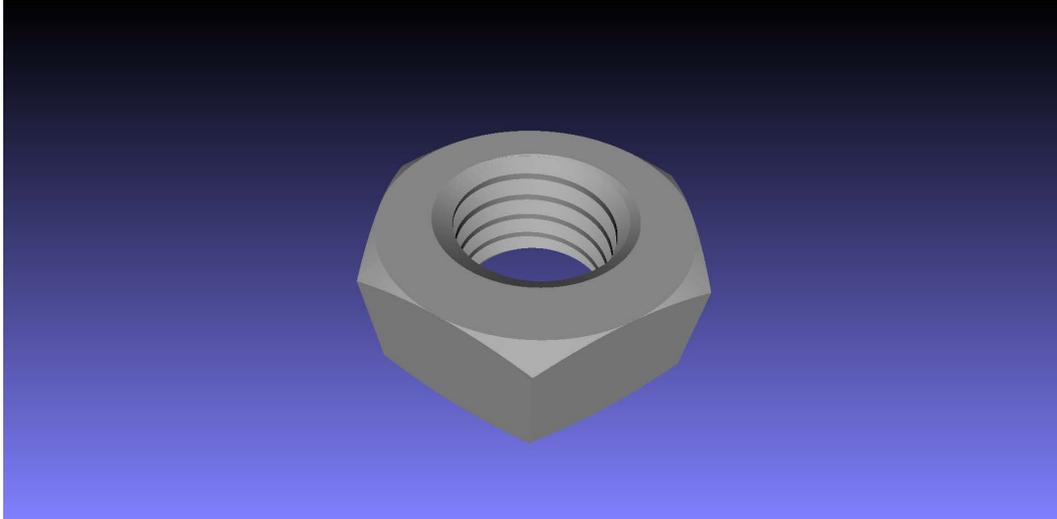
Pieza “Tornillo M10”, es un tornillo de métrica 10.



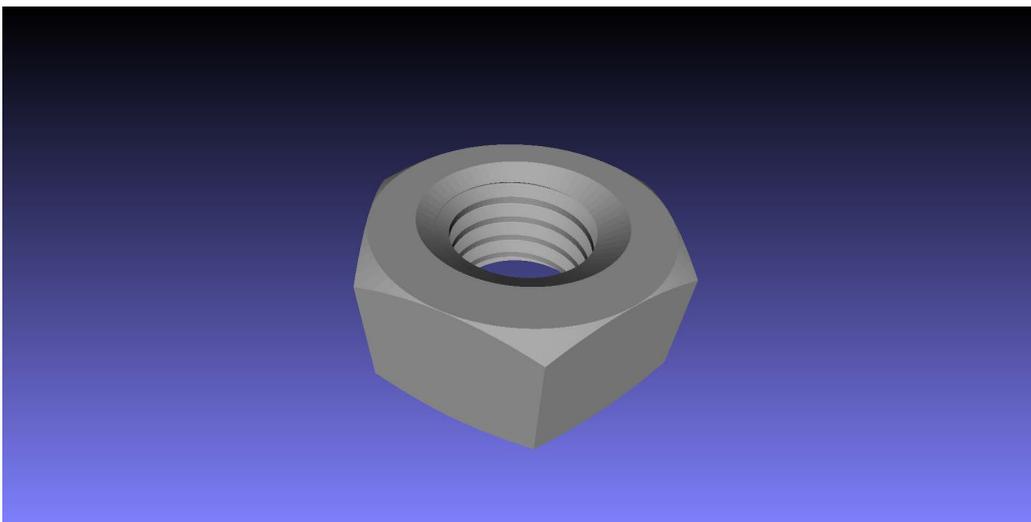
Pieza “Tornillo allen M10”, es un tornillo de métrica 10 con cabeza cilíndrica y hendidura para una herramienta allen.



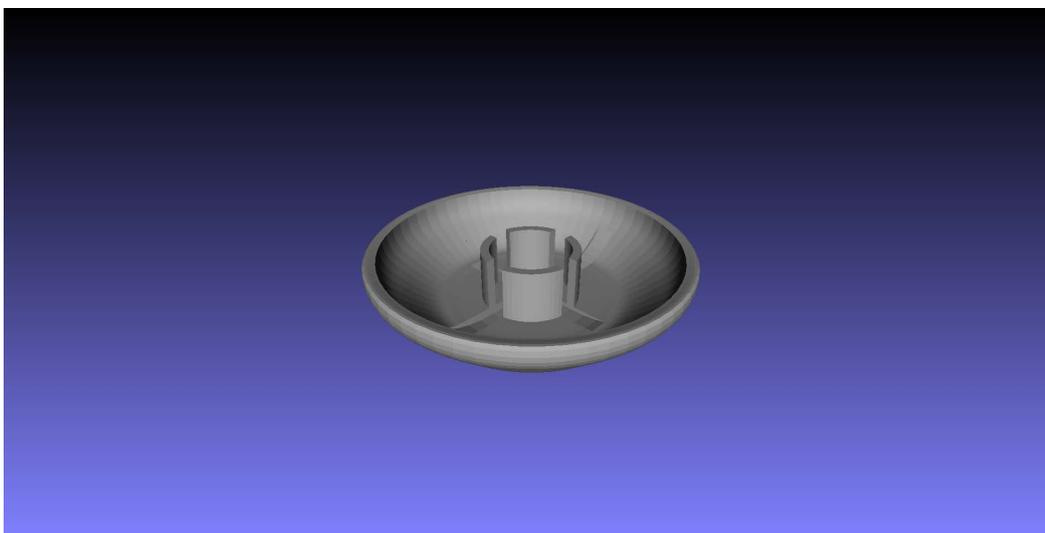
Pieza “Tuerca M8”, es una tuerca de métrica 8.



Pieza “Tuerca M10”, es una tuerca de métrica 10.



Pieza “Planta” es una pieza compuesta por tres piezas distintas de menor tamaño que posteriormente se unen formando un conjunto.



7. Características estudiadas

7.1. Distancia entre planos

Para estudiar la capacidad que tiene la impresora de poder fabricar correctamente planos con las distancias establecidas se ha diseñado principalmente la pieza “Escalones” cuyo plano se puede ver en el Anexo 1. Esta pieza es un conjunto de planos horizontales a distintas distancias y de distintos tamaños. Esta pieza se ha imprimido con los dos materiales disponibles, PLA y ABS, y en dos posiciones distintas.

La pieza “Escalones” realizada en PLA ha sido impresa con la parte de mayor área apoyada en la cama y con los parámetros:

Altura de capa	0.2mm
Altura de la primera capa	0.3mm
Capas sólidas	Capas superiores: 3
	Capas inferiores: 3
Umbral de area a partir de la que se hace relleno sólido	70mm ²
Brim	0mm
Diámetro del filamento	2.93mm
Temperatura del extrusor	Primera capa: 185°C
	Resto de capa: 175°C
Temperatura de la cama	Primera capa: 55°C
	Resto de capa: 55°C

Tabla 7.1.1: Parámetros de impresión de la pieza "Escalones" en PLA

Además de destacar la gran variación de temperatura del extrusor que hay respecto al ABS y la densidad del relleno que en este material es del 25%, también hay que señalar la gran variación respecto a las velocidades entre las correspondientes al ABS, expuestas en la descripción del Slic3r, y al PLA:

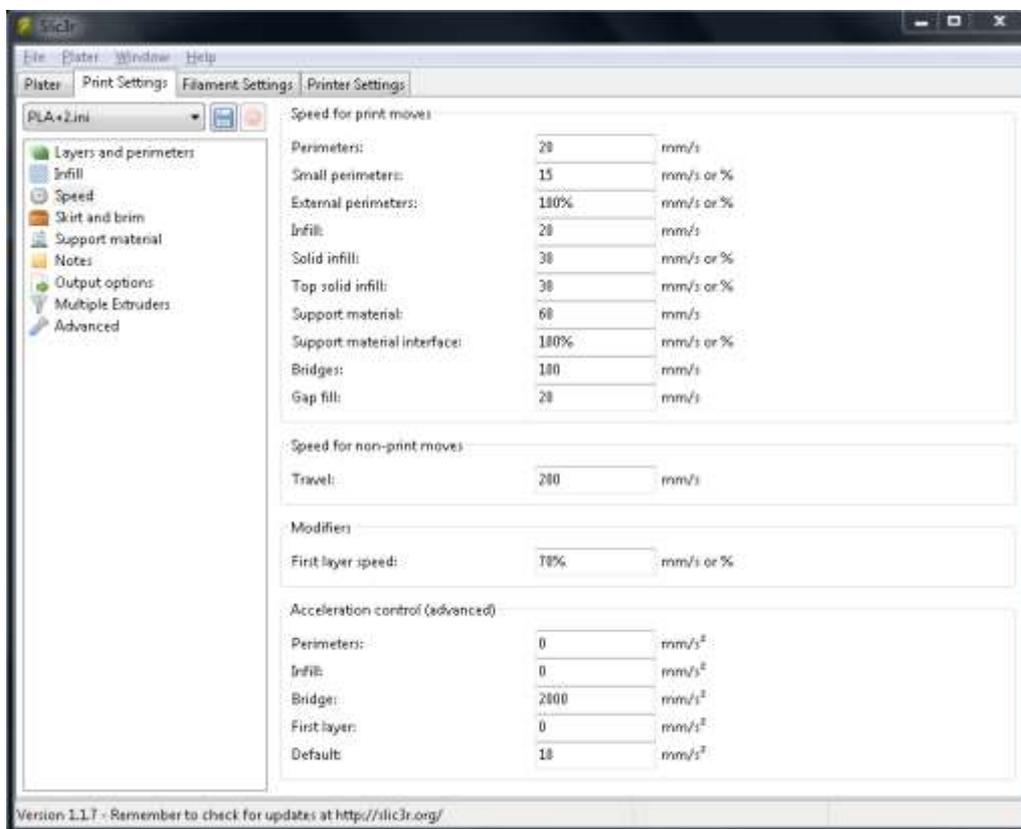


Figura 7.1.1: Parámetros de velocidad de la pieza "Escalones" en PLA

Con los parámetros antes indicados se comenzó la impresión:

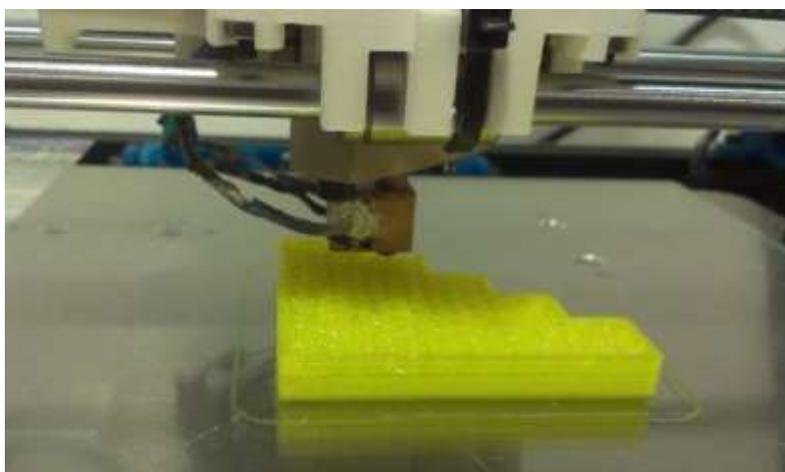


Figura 7.1.2: Impresión de la pieza "Escalones" en PLA

Obteniendo como resultado final:

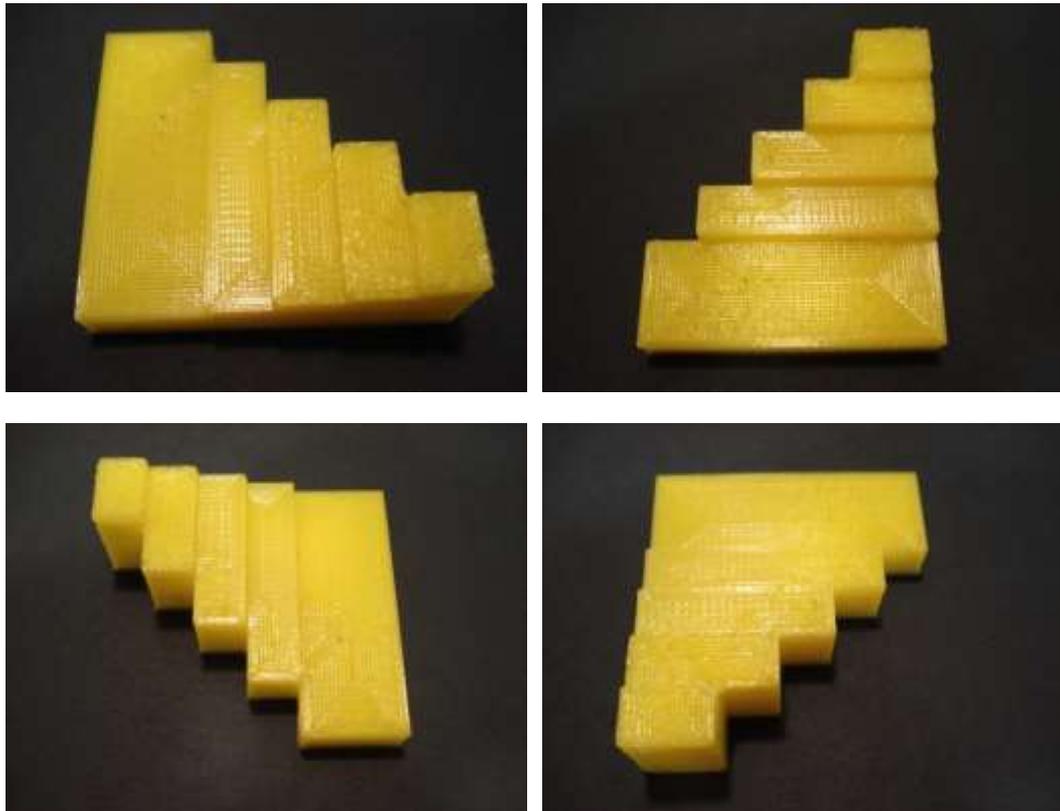


Figura 7.1.3: Pieza "Escalones" una vez impresa en PLA

La otra impresión que se realizó fue con el material ABS y colocada en vertical, con los parámetros:

Altura de capa	0.1mm
Altura de la primera capa	0.3mm
Capas sólidas	Capas superiores: 11
	Capas inferiores: 9
Umbral de area a partir de la que se hace relleno sólido	70mm ²
Brim	5mm
Diámetro del filamento	2.93mm

Temperatura del extrusor	Primera capa: 230°C
	Resto de capa: 225°C
Temperatura de la cama	Primera capa: 65°C
	Resto de capa: 65°C

Tabla 7.1.2: Parámetros de impresión de la pieza "Escalones" impresa en vertical y en ABS

Con estos parámetros la pieza se comenzó a imprimir al mismo tiempo que otra pieza:

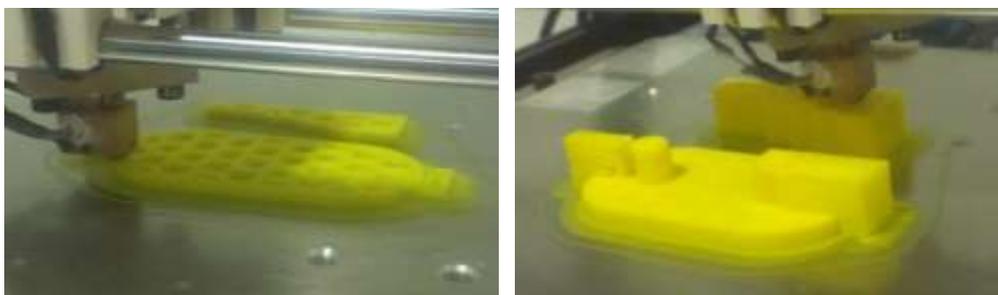


Figura 7.1.4: Proceso de impresión de la pieza "Escalones" en vertical y otra pieza

Siendo el resultado final de la pieza "Escalones" en vertical impresa en ABS y otra pieza de la que se hablará posteriormente:

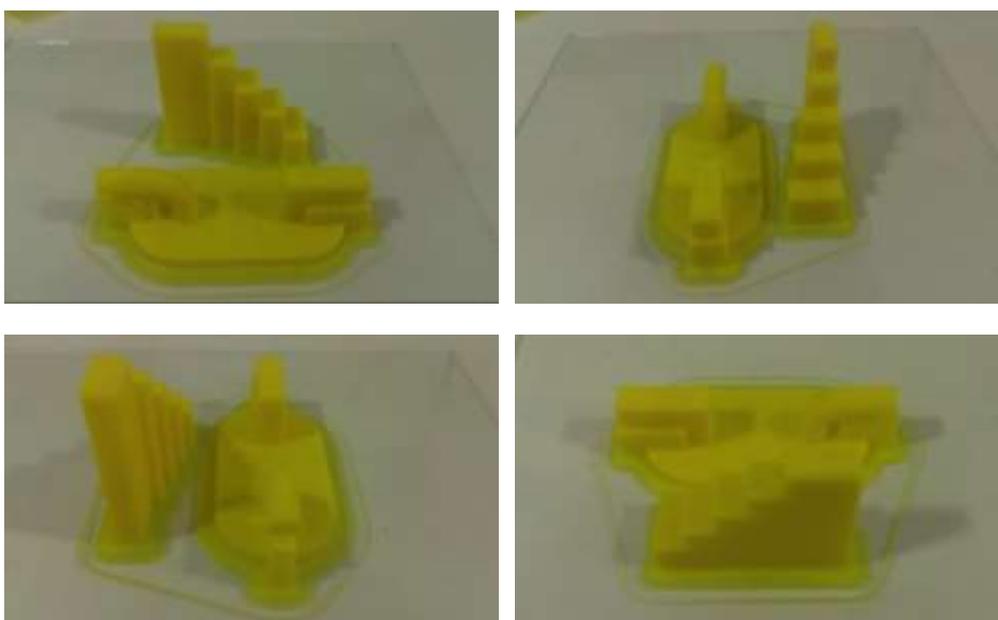


Figura 7.1.5: Pieza "Escalones" en vertical y otra pieza

Y ya separada de la cama y retirado el birm, la pieza "Escalones" impresa en vertical y en ABS queda:

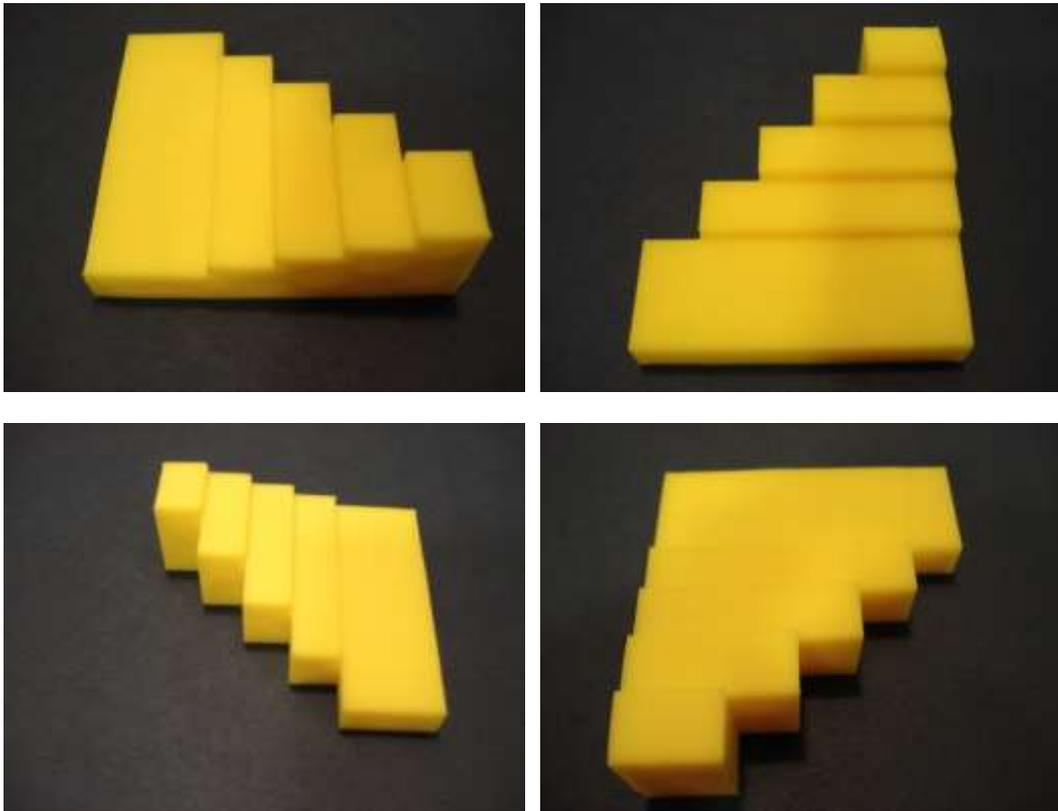


Figura 7.1.6: Pieza "Escalones" impresa en vertical y en ABS

De estas dos piezas se van a medir las distancias entre planos con un calibre de precisión 0.05mm y cinco mediciones para cada distancia, los planos están numerados según se apoyan en cada imagen.

Primero con la pieza apoyada en la zona de mayor área, cuyos datos de todas las mediciones se puede observar en el Anexo 11:



Figura 7.1.7: Posición de las piezas "Escalones" en las primeras mediciones

Las medias de las medidas tomadas son:

	Medida nominal (mm)	Medida media en la pieza impresa en PLA (mm)	Medida media en la pieza impresa en ABS (mm)
Distancia entre plano inferior y primer plano	9	8,79	9,07
Distancia entre plano inferior y segundo plano	12	11,76	12,01
Distancia entre plano inferior y tercer plano	15	14,66	15,06
Distancia entre plano inferior y cuarto plano	18	17,77	18,1
Distancia entre plano inferior y quinto plano	21	20,66	20,99

Tabla 7.1.3: Medidas medias de la pieza "Escalones" apoyada en la cama la zona de mayor área

Si se toma las medidas según la pieza impresa en vertical los datos varían, todos los datos de esta medición se pueden ver en el Anexo 12:

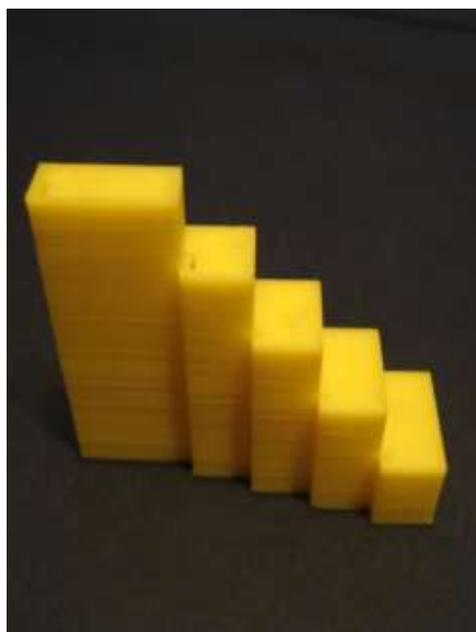


Figura 7.1.8: Posición de las piezas "Escalones" en las segundas mediciones

Las medias de las medidas tomadas son:

	Medida nominal (mm)	Medida media en la pieza impresa en PLA (mm)	Medida media en la pieza impresa en ABS (mm)
Distancia entre plano inferior y primer plano	15	14,75	14,77
Distancia entre plano inferior y segundo plano	25	24,7	24,76
Distancia entre plano inferior y tercer plano	35	34,64	34,7
Distancia entre plano inferior y cuarto plano	45	44,64	44,68
Distancia entre plano inferior y quinto plano	55	54,66	54,63

Tabla 7.1.4: Medidas de la pieza "Escalones" según se imprimió en vertical

Y por último se toman las medidas de los lados restantes, los datos totales de esta medición se pueden observar en el Anexo 13:



Figura 7.1.9: Posición de las piezas "Escalones" en las terceras mediciones

Las medias de las medidas tomadas son:

	Medida nominal (mm)	Medida media en la pieza impresa en PLA (mm)	Medida media en la pieza impresa en ABS (mm)
Distancia entre plano inferior y primer plano	10	9,73	10,10
Distancia entre plano inferior y segundo plano	20	19,69	19,98
Distancia entre plano inferior y tercer plano	30	29,70	29,93
Distancia entre plano inferior y cuarto plano	40	39,63	39,88
Distancia entre plano inferior y quinto plano	60	59,70	59,75

Tabla 7.1.5: Medidas de la pieza "Escalones" de los lados restantes

De la primera tanda de mediciones en la que la pieza en PLA se ha medido según avanzaban las capas en el “eje z” y que en la pieza impresa en ABS son las capas en los “ejes x” e “y”, se puede concluir que en la pieza de PLA las capas finales no han quedado uniformes sobre todo en los planos superiores, lo que ha influido en el hecho de que no sea exactamente la medida correcta. Mientras que en la pieza en ABS la variación de las capas hace que la medida sea superior a la nominal.

En la segunda tanda de medidas la pieza en ABS se mide según la realización de las capas, mientras que en la de PLA no es así, de esto se puede concluir que es muy similar la medida entre ellas, pero siendo inferior a la nominal en las dos piezas teniendo en cuenta lo antes citado sobre la posición de impresión.

Y por último en la tercera tanda de mediciones en la que las dos piezas no se han impreso según avanzaban las respectivas capas, se puede observar que la contracción o el menor tamaño en el PLA es mucho más notable que en la pieza realizada en ABS.

Todo esto se debe comparar con la tolerancia de la impresora en cada impresión, siendo la tolerancia entre planos, según van avanzando las capas, similar a la altura de capa, en el caso de la pieza en PLA de 0.2mm y en la de ABS de 0.1mm. Mientras que si la medida es entre planos que están realizados en los “ejes x” e “y” la tolerancia debería ser tomada como la mitad del ancho del extrusor, si el extrusor es de 0.4mm sería 0.2mm, pero debido a que se miden dos extremos de un plano se tomará la tolerancia como 0.4mm.

Con la tolerancia tomada como 0.4mm se puede concluir que todas estas medidas están dentro de dicha tolerancia siendo esto un buen resultado. Pero normalmente estas medidas han quedado por debajo de la medida nominal, esto se puede deber a la contracción que existe en los materiales tras el enfriamiento posterior a la extrusión.

Además de las medidas realizadas en estas piezas también se ha medido las distancias entre planos de la pieza “Concentricidad v2” con la Máquina de Medición por Coordenadas que dispone la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid, la pieza de la que posteriormente se hablará más detenidamente es “Concentricidad v2”:



Figura 7.1.10: Pieza "Concentricidad v2" impresa

Las mediciones realizadas entre los planos que forman las caras superiores de los cilindros y la del prisma superior se han realizado con una tolerancia de $\pm 0.1\text{mm}$ igual a la altura de capa usada para realizar la impresión. El informe completo que proporciona la Máquina de Medición por Coordenadas se puede ver en el Anexo 14, un resumen de él es:

	Medida nominal (mm)	Medida (mm)	Fuera de tolerancia (mm)
Distancia entre plano inferior y primer plano	6	5.950	0.000
Distancia entre primer plano y segundo plano	6	5.899	0.001
Distancia entre segundo plano y tercer plano	6	5.944	0.000
Distancia entre tercer plano y cuarto plano	6	5.925	0.000
Distancia entre cuarto plano y quinto plano	8	8.037	0.000

Tabla 7.1.6: Medidas entre planos de la pieza "Concentricidad v2"

En esta pieza también se ha realizado con la Máquina de Medición por Coordenadas la comprobación de los diámetros de los distintos cilindros, en este caso se ha utilizado una tolerancia de +/-0.4mm debido a lo antes indicado respecto a que es dos veces la mitad de la medida de la boquilla del extrusor. El informe completo se puede ver en el Anexo 14:

	Medida nominal (mm)	Medida (mm)	Fuera de tolerancia (mm)
Diámetro del cilindro inferior	50	49.675	0.000
Diámetro del segundo cilindro	40	39.666	0.000
Diámetro del tercer cilindro	30	29.742	0.000
Diámetro del cuarto cilindro	20	19.604	0.000

Tabla 7.1.7: Medidas de los diámetros de la pieza "Concentricidad v2"

De estas últimas dos tandas de medidas se puede observar que se realiza un impresión dimensionalmente correcta en cuanto a planos que se imprimen según el “eje z”, según se realizan las capas, pero que es bastante peor al realizarse cilindros en los que influyen varias capas posiblemente debido a la contracción del material. Esto se demuestra al entrar todas las medidas de la tanda de planos dentro de su tolerancia que es de 0.1mm mientras que en la de los cilindros es mayor llegando a los 0.4mm, habiéndose cogido estas tolerancias por lo citado anteriormente.

7.2. Concentricidad

Uno de los aspectos que se han estudiado en este trabajo ha sido la capacidad de la impresora de realizar distintos cilindros en la misma pieza y la concentricidad entre ellos. Para ello se ha diseñado las piezas “Concentricidad v1” y “Concentricidad v2” que se pueden ver en los Anexos 1 y 2.

Los parámetros usados en la impresión de la pieza “Concentricidad v2” distintos a los indicados en la presentación del programa Slic3r son:

Altura de capa	0.1mm
Altura de la primera capa	0.2mm
Capas sólidas	Capas superiores: 9
	Capas inferiores: 7
Umbral de area a partir de la que se hace relleno sólido	100mm ²
Brim	5mm
Diámetro del filamento	2.93mm
Temperatura del extrusor	Primera capa: 235°C
	Resto de capa: 225°C
Temperatura de la cama	Primera capa: 65°C
	Resto de capa: 60°C

Tabla 7.2.1: Parámetros de impresión de la pieza "Concentricidad v2"

En la siguiente imagen se puede observar el proceso de impresión de dicha pieza:

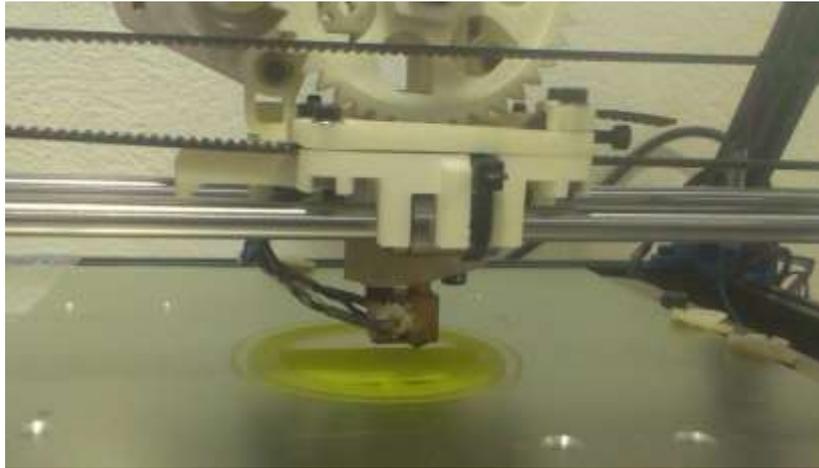


Figura 7.2.1: Proceso de impresión de la pieza "Concentricidad v2"

Quedando como pieza final:

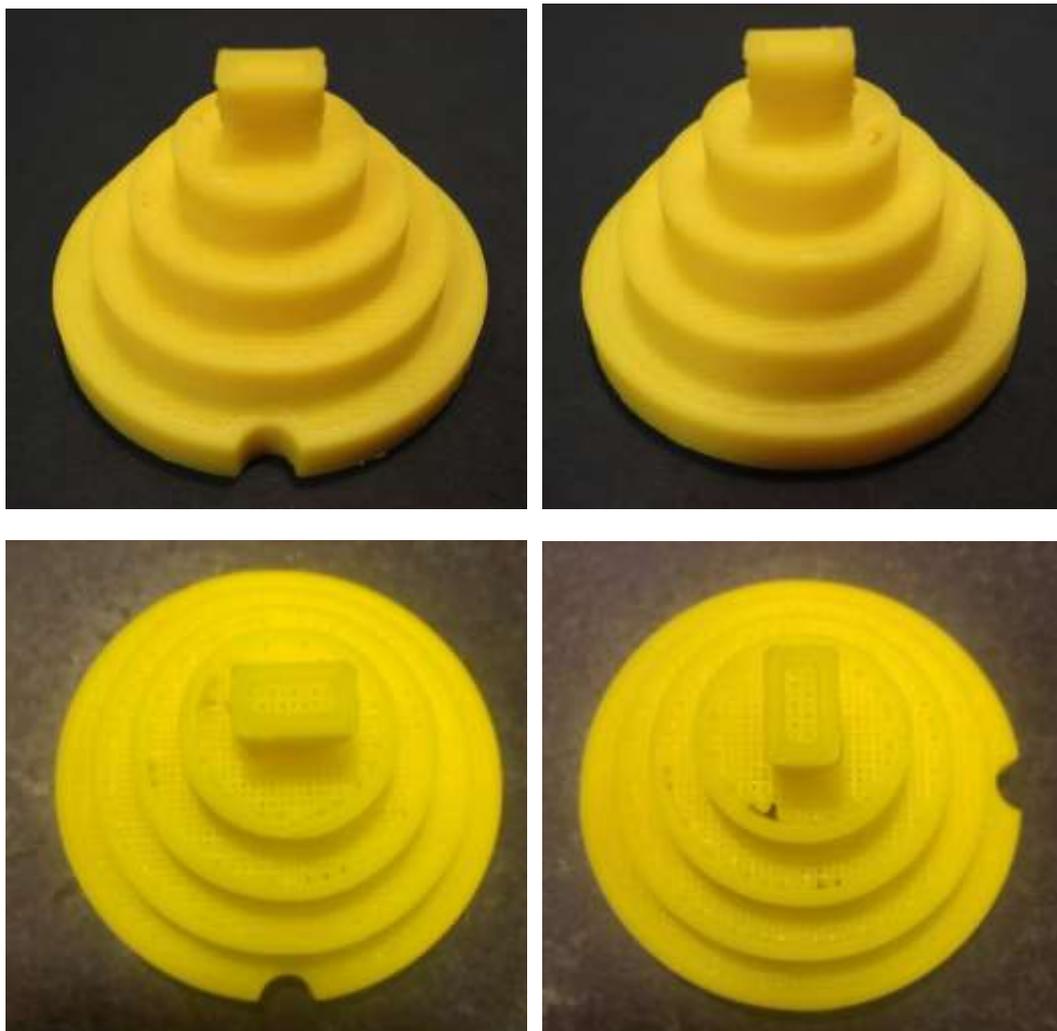


Figura 7.2.2: Pieza "Concentricidad v2" una vez impresa

La principal característica que se quería estudiar con esta pieza es la capacidad de realizar cilindros concéntricos de distinto diámetro. Para poder observar esta concentricidad se ha medido esta pieza con la Máquina de Medición por Coordenadas que dispone la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid.

Para medir las concentricidades se ha ido comparando el cilindro de mayor diámetro, 50mm, con el resto suponiendo que la concentricidad de los cilindros debería ser 0mm pero asumiendo una tolerancia de 0.1mm:

Cilindros entre los que se mide la concentricidad	Medida	Fuera de la tolerancia
Cilindro de 50mm con cilindro de 40mm	0.075mm	0mm
Cilindro de 50mm con cilindro de 30mm	0.072mm	0mm
Cilindro de 50mm con cilindro de 20mm	0.174mm	0.74mm

Tabla 7.2.2: Medidas de concentricidades en la pieza "Concentricidad v2"

El informe que nos proporciona la Máquina de Medición por Coordenadas se puede observar en el Anexo 14.

Con esto se puede concluir que existe una correcta concentricidad entre los cilindros de menor diferencia de diámetro y proximidad en el espacio. Pero que es de menor precisión, saliéndose de la tolerancia, si se comparan los cilindros con gran diferencia de diámetro y en planos más separados.

7.3. Curvatura

En este apartado se va a estudiar la capacidad de la impresora de poder realizar superficies curvas de distinto radio, para ello se ha diseñado la pieza “Curvatura”, que consiste en cilindros horizontales de distinto tamaño, que se puede ver más concretamente en el Anexo 4.

Para este estudio se va a imprimir en ABS dicha pieza variando los siguientes parámetros respecto a los indicados previamente:

Altura de capa	0.1mm
Altura de la primera capa	0.2mm
Capas sólidas	Capas superiores: 9
	Capas inferiores: 7
Umbral de area a partir de la que se hace relleno sólido	70mm ²
Brim	5mm
Diámetro del filamento	2.93mm
Temperatura del extrusor	Primera capa: 235°C
	Resto de capa: 225°C
Temperatura de la cama	Primera capa: 65°C
	Resto de capa: 60°C

Tabla 7.3.1: Parámetros de impresión de “Curvatura”

Como resultado de esta impresión ha quedado la siguiente pieza:

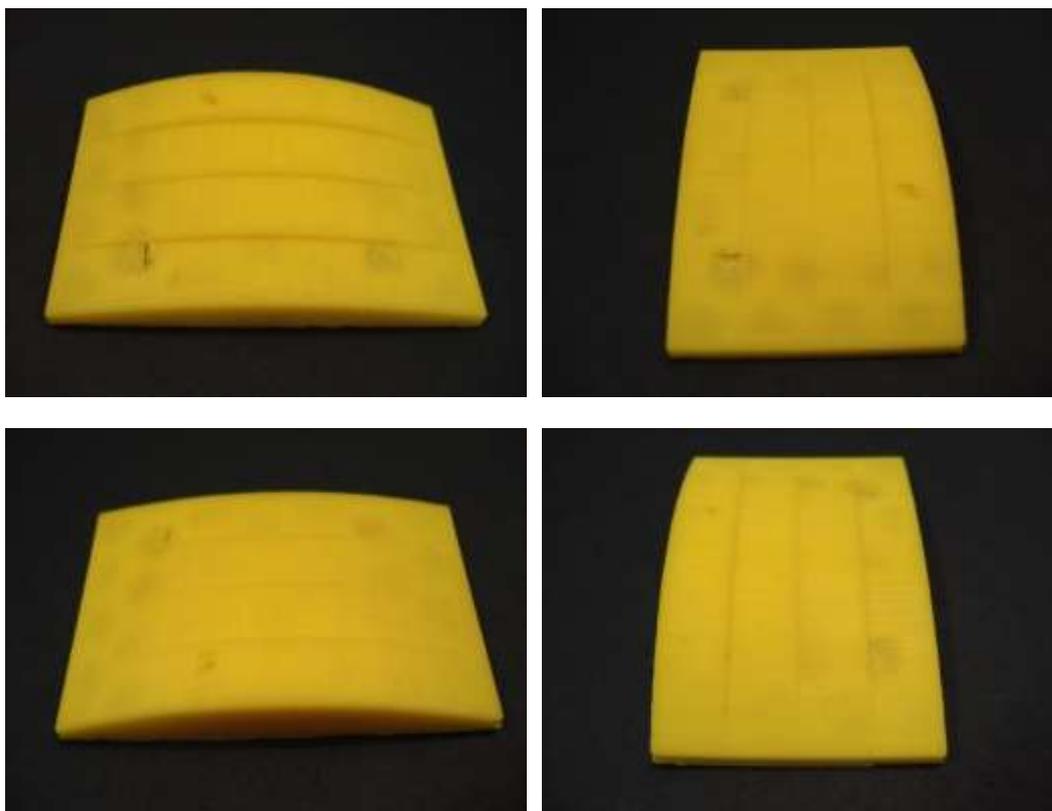


Figura 7.3.1: Pieza "Curvatura" una vez impresa

Visualmente se puede observar que es capaz de realizar unas correctas superficies curvas de radio 100, 80, 70 y 60mm. Pero a partir de la Máquina de Medición por Coordenadas se pueden dar datos mucho más exactos.

Tomando como tolerancia +/- 5mm de radio se ha realizado las mediciones de cada curvatura obteniendo las siguientes medidas:

	Medida nominal (mm)	Medida (mm)	Fuera de tolerancia (mm)
Curvatura de radio 100	100	111.629	6.629
Curvatura de radio 80	80	85.689	0.689
Curvatura de radio 70	70	73.709	0.000
Curvatura de radio 60	60	64.276	0.000

Tabla 7.3.2: Medidas de curvatura de la pieza "Curvatura"

A partir de esta tabla y del Anexo 15 en el que se puede ver el informe completo obtenido de la Máquina de Medición por Coordenadas, se puede concluir que las curvaturas de gran radio, las de 80 y 100mm de radio, no entran dentro de la tolerancia tomada de 5mm, debido a que en la impresión de estas curvaturas cada “escalón” que forma cada capa para poder realizar la curvatura, es de gran tamaño, ya que en radios grandes la diferencia entre la deposición de cada capa es mayor a lo que la curvatura requeriría.

Pero sin embargo, en curvaturas de 70 y 60mm de radio se puede observar que los datos tomados se acercan mucho a la medida nominal entrando dentro de la tolerancia tomada.

Aunque respecto al acabado visual también se puede observar que en varios puntos el relleno de las capas superiores no se ha realizado correctamente y el material se ha caído por una de las celdas del relleno, dejando un hueco y un acabado defectuosos en estos puntos:

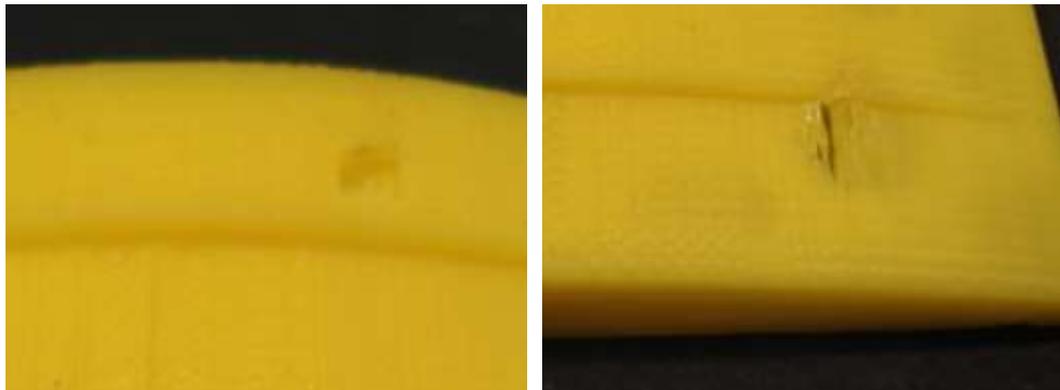


Figura 7.3.2: Huecos originados al caer el material por la celdilla inferior

Unido a esto, en esta pieza, aunque fuese de superficie relativamente pequeña ha aparecido levantamiento en las esquinas y una mala adhesión a la cama:

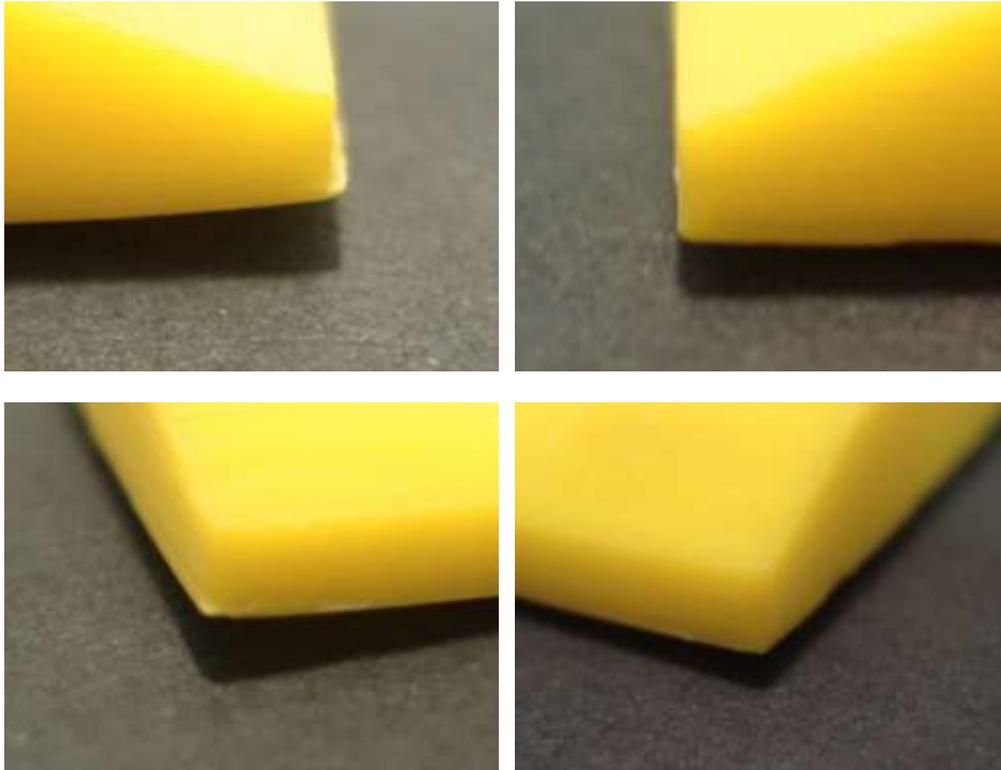


Figura 7.3.3: Esquinas levantadas en la pieza "Curvatura"

Este levantamiento producido, hizo pensar si no sería más correcto posicionar la pieza de otra manera, para evitar tanta área apoyada en la cama y así conseguir una mejor adhesión y menor levantamiento de esquinas. Por ello se decidió imprimir esta misma pieza con los mismos parámetros de impresión pero apoyada en uno de los laterales, el de la curvatura de menor radio, quedando:



Figura 7.3.4: Pieza "Curvatura" impresa en vertical

En esta pieza no se puede observar la capacidad de representación de curvaturas, ya que las ha ido imprimiendo por capas siendo estas curvaturas radios no capas distintas como queríamos estudiar. Pero nos puede aportar la gran ventaja que existe si se determina correctamente la mejor posición para ser impresa.

También se puede observar que existe mucho menor levantamiento de esquinas y una mejor adhesión a la cama:

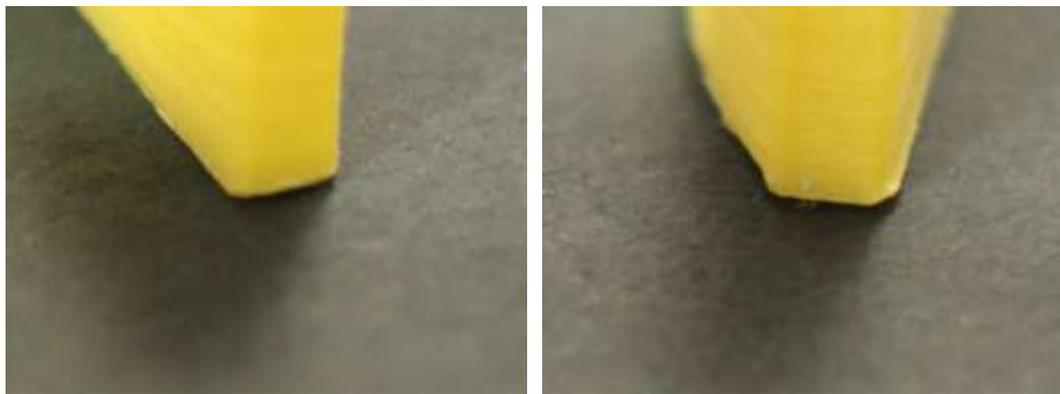


Figura 7.3.5: Levantamiento de esquinas de la pieza "Curvatura" impresa en vertical

7.4. Inclinación

Para poder estudiar la inclinación a la que es capaz de imprimir la impresora usada en este trabajo se han diseñado varias piezas a través del programa CATIA, la pieza “Inclinación” y la pieza “Inclinación inversa”, cuyos planos se pueden ver en los Anexos 5 y 6.

La primera prueba que se realizó fue la impresión de la pieza “Inclinación” en ABS apoyando en la cama la superficie plana para poder observar como realizaba dichas inclinaciones aumentando el “eje z”.

Como bien se puede ver en el Anexo 5 esta pieza está compuesta por varias pendientes que varían desde los 15° a los 45° en intervalos de 5°.

Los parámetros que han sido modificadas respecto a la configuración previa en esta prueba fueron:

Altura de capa	0.1mm
Altura de la primera capa	0.3mm
Capas sólidas	Capas superiores: 11
	Capas inferiores: 9
Umbral de area a partir de la que se hace relleno sólido	70mm ²
Brim	0mm
Diámetro del filamento	3mm
Temperatura del extrusor	Primera capa: 245°C
	Resto de capa: 235°C
Temperatura de la cama	Primera capa: 55°C
	Resto de capa: 55°C

Tabla 7.4.1: Parámetros de impresión de “Inclinación”

En la siguiente imagen se puede observar el proceso de impresión, más concretamente la realización de las celdillas en forma de panal de abeja de la base de la pieza:

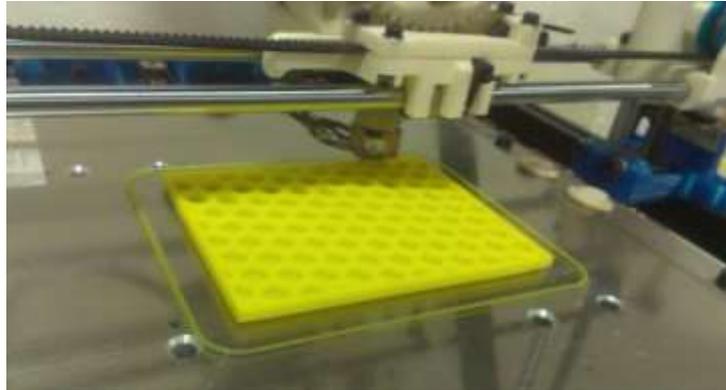


Figura 7.4.1: Impresión de "Inclinación"

Durante la impresión se empezó a detectar un levantamiento en varias esquinas de la base:

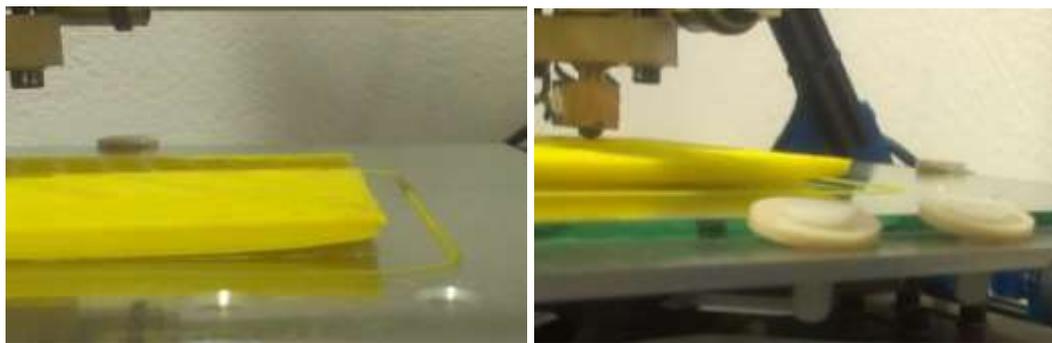


Figura 7.4.2: Levantamiento de esquinas en la impresión de "Inclinación"

Aun así se siguió imprimiendo para poder observar el resultado final, que fue:



Figura 7.4.3: Pieza "Inclinación" impresa

El principal objetivo de esta pieza era poder observar la capacidad de la impresora de realizar distintas pendientes, visualmente se puede corroborar que realiza una gran variedad de pendientes sin ningún problema y al haber realizado la pieza con altura de capa de 0.1mm el acabado de las piezas es muy bueno.



Figura 7.4.4: Pendientes de la pieza "Inclinación"

Pero para poder tener unos resultados más exactos se midieron dichas inclinaciones con la Máquina de Medición por Coordenadas. Para evitar que influyese en las medidas la ondulación en el plano inferior que ha aparecido durante la impresión, la pieza se ha situado apoyando el lateral de 25mm de alto y 105mm de largo en la mesa de la máquina, por lo que al realizar las mediciones de los ángulos estos se han comparado con la vertical y en vez de ser los indicados en el Anexo 5 son sus complementarios. Para estas medidas se ha tomado como tolerancia +/- 1° :

	Medida nominal (grados)	Medida (grados)	Fuera de tolerancia (grados)
Inclinación de 15°	75	75.384	0.000
Inclinación de 20°	70	69.705	0.000
Inclinación de 25°	65	64.114	0.000
Inclinación de 30°	60	59.613	0.000
Inclinación de 35°	55	55.973	0.000
Inclinación de 40°	50	52.720	1.720
Inclinación de 45°	45	47.655	1.655

Tabla 7.4.2: Medidas de las pendientes de la pieza "Inclinación"

Gracias a esta tabla y al informe que da la Máquina de Medición por Coordenadas que se puede ver en el Anexo 16, se puede concluir que las inclinaciones de menor pendiente tienen mejor resolución que las de mayor inclinación ya que estas no entran dentro de la tolerancia tomada.

Como se ha comentado anteriormente se produjo un gran levantamiento de las esquinas al perder la adhesión, produciendo lo que se puede ver en las siguientes imágenes:

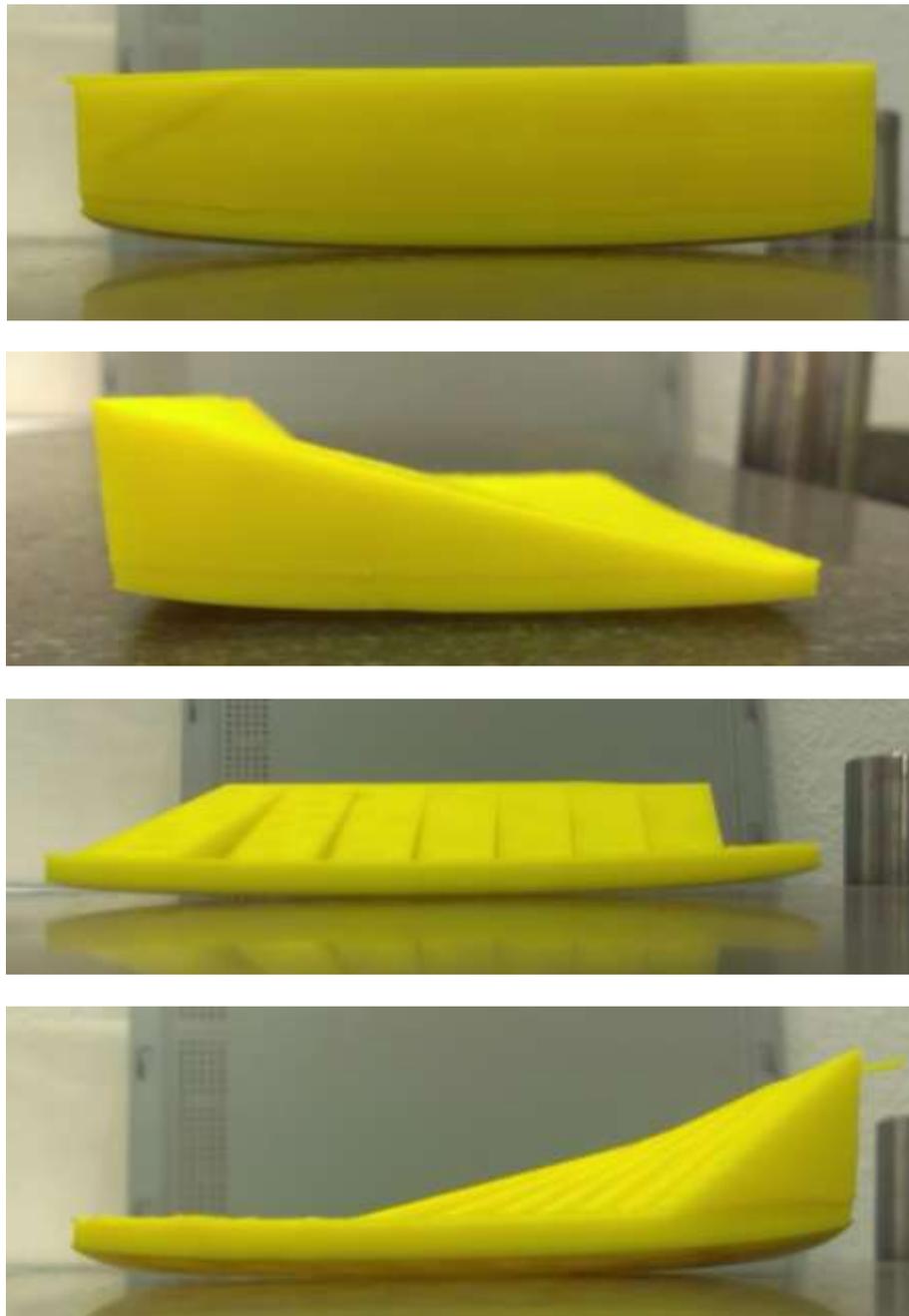


Figura 7.4.5: Esquinas levantadas en la pieza "Inclinación"

Todo este levantamiento que se había producido llevó a pensar si era mejor opción variar la posición de la pieza para que existiese mejor adhesión a la cama, por lo que posteriormente se realizó la prueba de imprimir la misma pieza en vertical, apoyando el lateral con menor pendiente, que es la superficie estable con menor área. Esta impresión se realizó con los siguientes parámetros:

Altura de capa	0.15mm
Altura de la primera capa	0.3mm
Capas sólidas	Capas superiores: 9
	Capas inferiores: 7
Umbral de area a partir de la que se hace relleno sólido	100mm ²
Brim	5mm
Diámetro del filamento	2.93mm
Temperatura del extrusor	Primera capa: 235°C
	Resto de capa: 225°C
Temperatura de la cama	Primera capa: 65°C
	Resto de capa: 60°C

Tabla 7.4.3: Parámetros de impresión de "Inclinación" en vertical

La impresión de esta pieza dio como resultado:

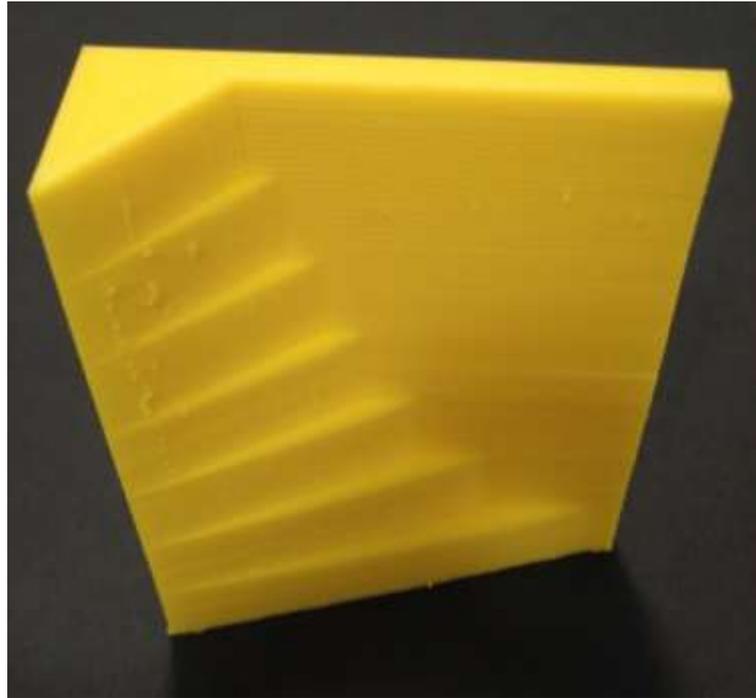


Figura 7.4.6: Pieza "Inclinación" impresa en vertical

En el caso de esta pieza no se puede comprobar la característica de las pendientes, ya que no ha habido una variación de la impresión en el "eje z" y no se han ido haciendo las pendientes por capas.

Pero hay una característica mucho más resaltable de esta pieza: resulta muy conveniente hacer un correcto posicionamiento de la pieza cuando se vaya a imprimir ya que se puede obtener un mejor resultado.

Aunque se ha mejorado mucho la adhesión a la cama por la menor área inferior apoyada y por el pequeño aumento de temperatura de cama, todavía no se ha erradicado del todo el levantamiento, ya que este se produjo en una de las esquinas:



Figura7.4.7: Esquina levantada en la pieza "Inclinación" impresa en vertical

Otra característica que no estaba prevista en la impresión de esta pieza pero que también es de gran interés, es la contracción de varias capas y el correspondiente levantamiento producido. Todo esto ocasionó una separación de capas y un hueco entre ellas como se puede ver en la imagen:

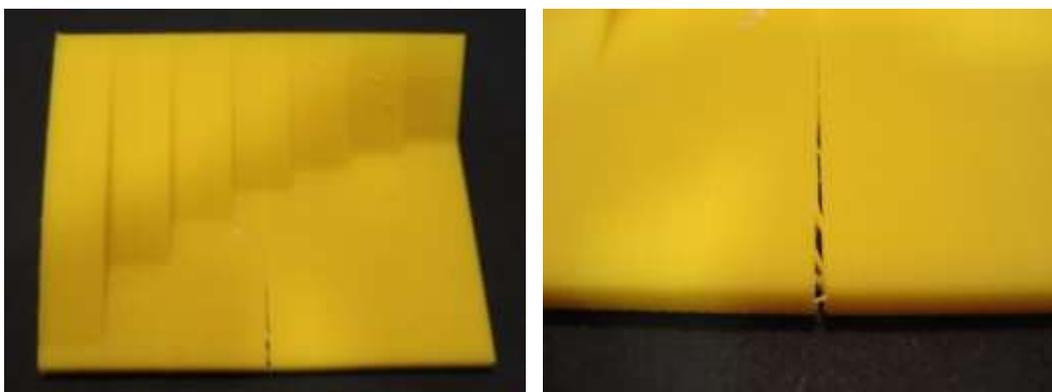


Figura 7.4.8: Separación entre capas en la pieza "Inclinación" impresa en vertical

Respecto a la inclinación que puede realizar la impresora también se ha estudiado si esta inclinación fuese al vuelo, sin estar apoyada en la cama. Para ello se diseñó la pieza "Inclinación inversa" cuyas medidas se puede ver en el Anexo 6.

La impresión de la pieza "Inclinación inversa" se hizo variando los siguientes parámetros respecto a la configuración previa y sin aporte de material:

Altura de capa	0.1mm
Altura de la primera capa	0.2mm
Capas sólidas	Capas superiores: 9
	Capas inferiores: 7
Umbral de area a partir de la que se hace relleno sólido	100mm ²
Brim	5mm

Diámetro del filamento	2.93mm
Temperatura del extrusor	Primera capa: 235°C
	Resto de capa: 225°C
Temperatura de la cama	Primera capa: 85°C
	Resto de capa: 85°C

Tabla 7.4.4: Parámetros de impresión de la pieza "Inclinación inversa"

Como resultado se obtuvo:

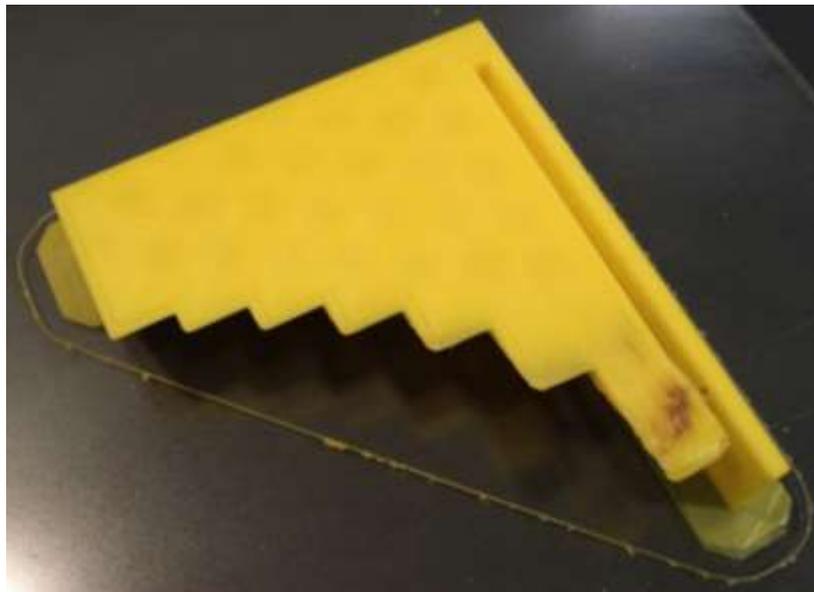


Figura 7.4.9: Imágenes de la pieza "Inclinación inversa"

Si a esta pieza se le da la vuelta se pueden observar las pendientes que se han impreso:

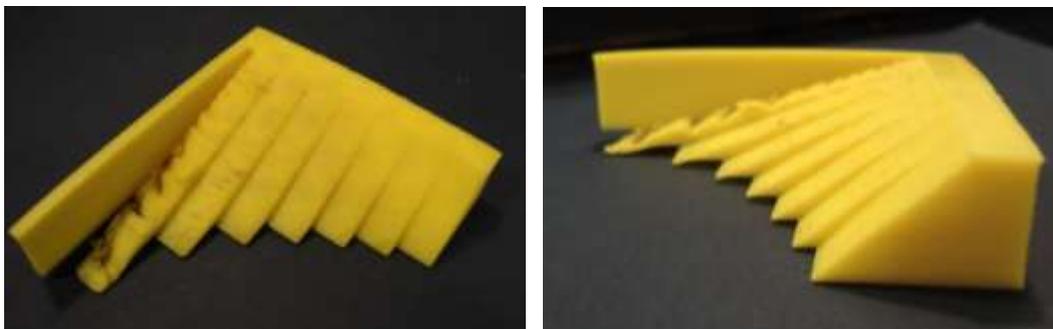


Figura 7.4.10: Pieza "Inclinación inversa" dada la vuelta

Como resultado de imprimir esta pieza se puede deducir que la impresora tiene la capacidad de imprimir pendientes en vuelo en perfecto estado a partir de los 30° y con una calidad aceptable si la pendiente es de 25° .

Si se intenta imprimir con un ángulo de 20° las partes con más vuelo se contraen y se levantan las esquinas, al pasar el extrusor las empuja hacia abajo y queda una distorsión en la pendiente apareciendo distintos bultos que impiden una correcta inclinación.

Si se imprime con un ángulo de 15° pasa algo parecido al anterior pero más exagerado, ya que las esquinas de la parte con más vuelo se levantan más y al pasar el extrusor chocan con la parte externa de este y se quema el ABS, como se puede observar en la zona marrón de la pieza:



Figura 7.4.11: Levantamiento del vuelo de la pendiente de 15°

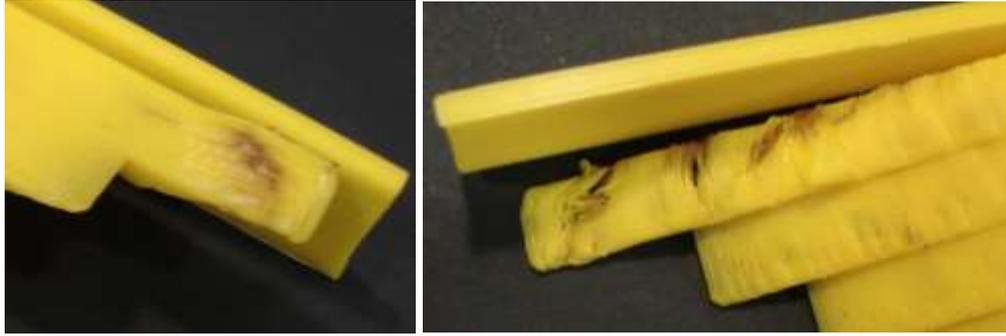


Figura 7.4.12: Zonas quemadas al tocar la parte exterior del extrusor al levantarse durante la impresión

Conclusiones relacionadas con la capacidad de representación de inclinaciones

En este apartado hemos podido observar que la impresora es capaz de realizar la impresión de distintas inclinaciones de varios ángulos a la perfección visualmente si se realizan de mayor a menor área, pero que solamente es capaz de imprimir en voladizo pendientes de hasta 25°, si se disminuye el ángulo aparecen levantamientos de esquinas y no queda un resultado aceptable.

A partir de las piezas estudiadas en este apartado también se puede observar que existe la posibilidad de que se quemen partes del material si se levanta mucho algunas zonas, que es muy importante la mejor colocación de la pieza y que existe un levantamiento de esquinas cuando la base apoyada es muy grande, esto se estudiará más detenidamente en el siguiente apartado.

7.5. Adhesión a la cama

En este apartado se estudiará la adhesión a la cama y el levantamiento que ocurre al despegarse las esquinas de una pieza de la cama. Para ello se imprimirá un prisma rectangular de 60x40mm y 3mm de altura, variando varios parámetros de impresión.

Se mantendrán constantes los siguientes parámetros: los que corresponden al relleno de la pieza, los de la velocidad (aunque se cambiará en la impresora el porcentaje de todos los valores de la velocidad) y los de la falda y el brim.

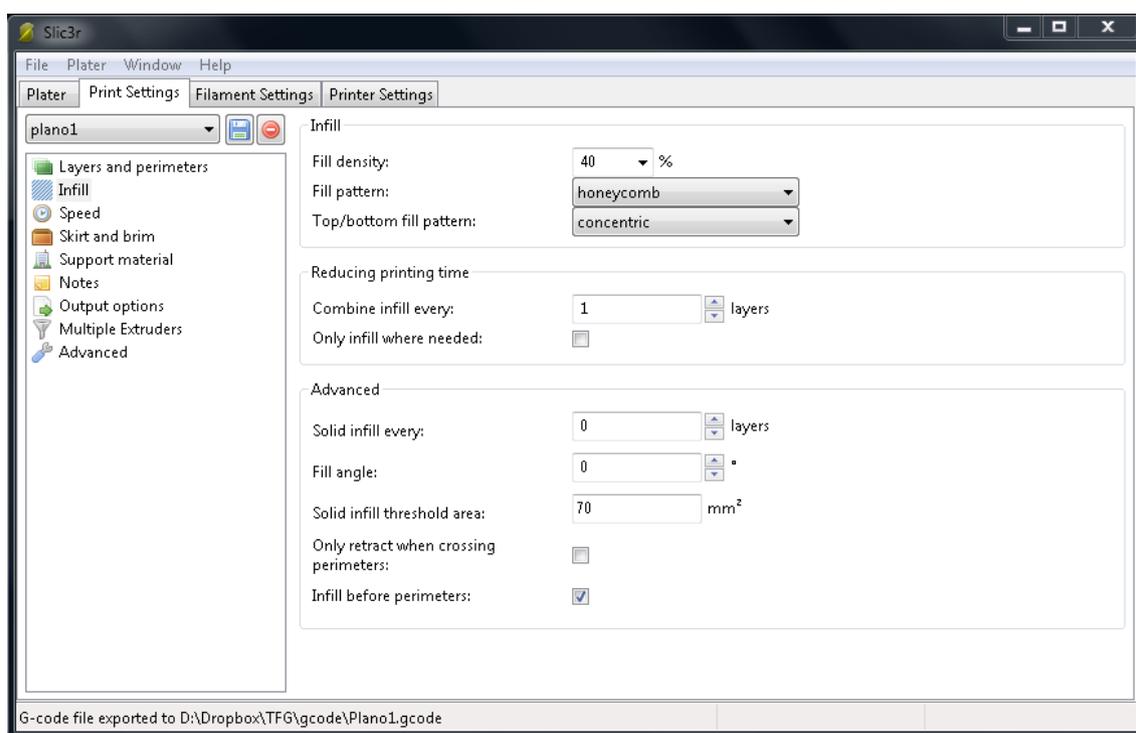


Figura 7.5.1: Parámetros de relleno usados en las piezas "Plano"

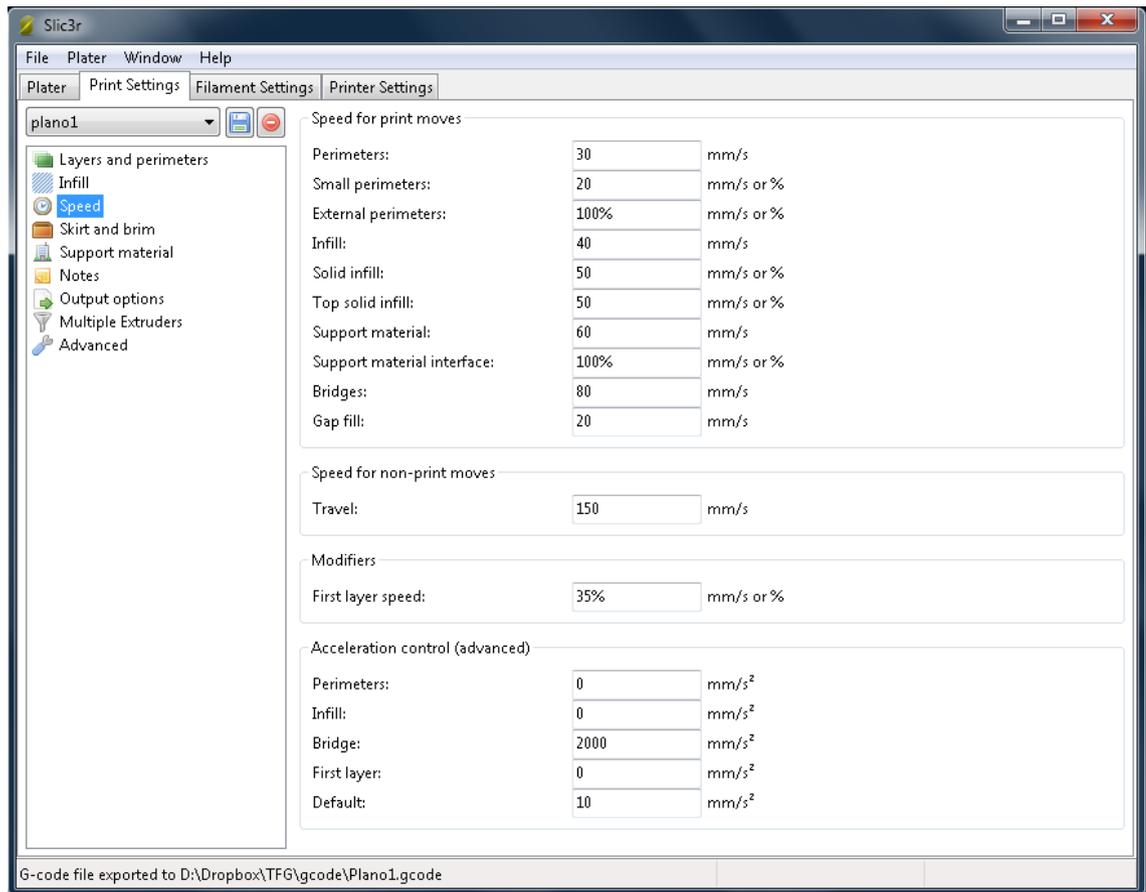


Figura 7.5.2: Parámetros de velocidad usados en las piezas "Plano"

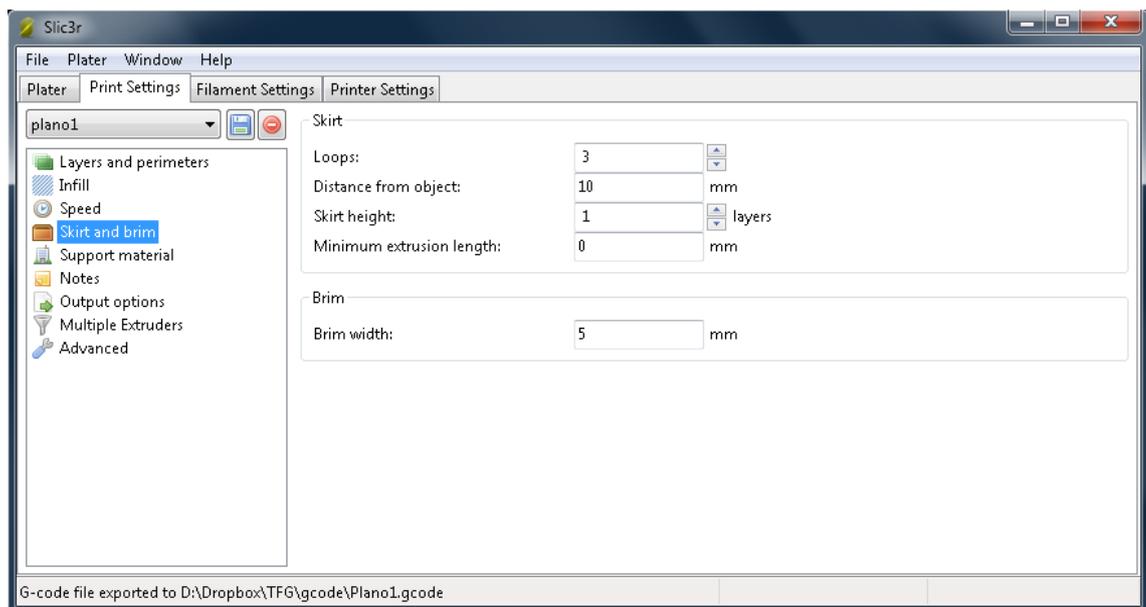


Figura 7.5.3: Parámetros de falda y ala usados en las piezas "Plano"

7.5.1. Plano 1

En la primera prueba se modificará la altura de capa a 0.15mm y una vez ya metido el .G-Code en la impresora se pondrá a una velocidad del 122% de los parámetros antes indicados. También se indicará una temperatura de cama de 65°C en la primera capa y 60°C en las restantes, y en el extrusor 235°C en la primera capa y 230°C en el resto. Mientras que se le indicará al Slic3r que el diámetro del filamento es de 2.93mm.

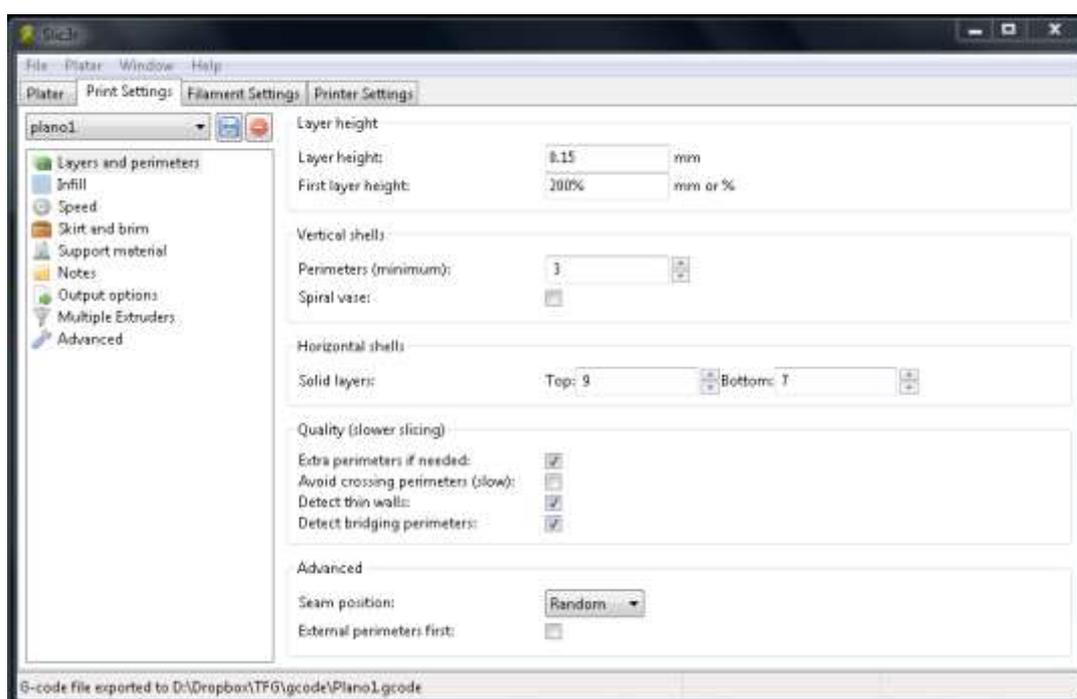


Figura 7.5.1.1: Parámetros de capa y perímetros usados en la pieza "Plano 1"

Siendo los parámetros más importantes los siguientes:

Altura de capa	0.15mm
Altura de la primera capa	0.3mm
Diámetro del filamento	2.93mm
Temperatura del extrusor	Primera capa: 235°C
	Resto de capas: 225°C

Temperatura de la cama	Primera capa: 65°C
	Resto de capas: 60°C
Porcentaje de velocidad modificado en la impresora respecto a los parámetros antes indicados en Slic3r	Primera capa: 122%
	Resto de capas: 122%

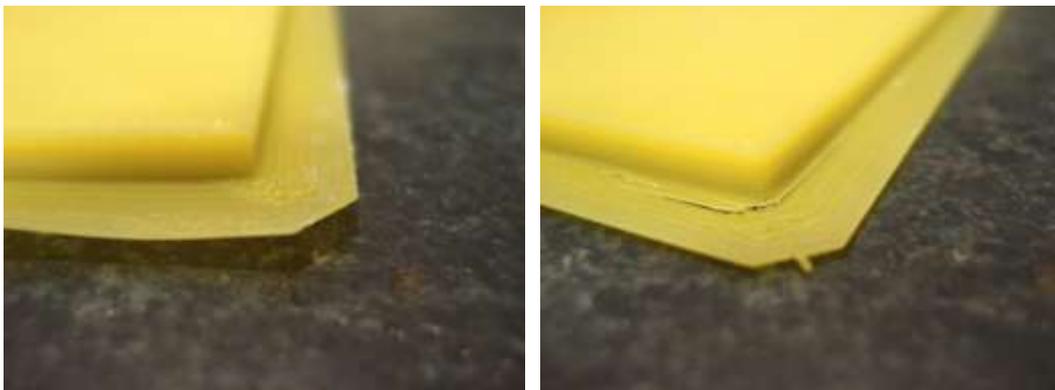
Tabla 7.5.1: Parámetros de impresión de la pieza "Plano 1"

Con dichos parámetros nos dan como resultado la siguiente pieza:



Figura 7.5.1.3: Pieza "Plano 1" una vez impresa

Se puede observar que en esta primera prueba se levantan bastante las esquinas y no existe una buena adhesión a la cama, incluso se ha levantado el ala o brim con el que se ha impreso:



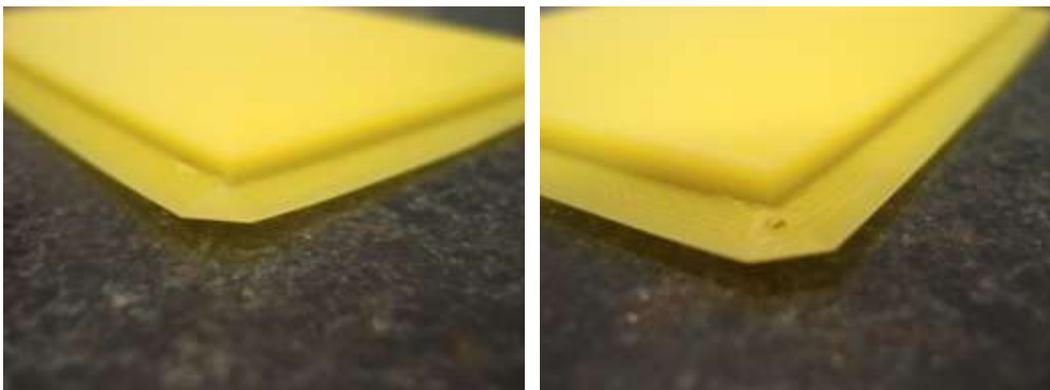


Figura 7.5.1.4: Levantamiento de las esquinas y el ala de la pieza "Plano 1"

Como se ha dicho en varias ocasiones en este trabajo el ala o brim es solo un elemento de ayuda para una mejor adhesión, no forma parte de la pieza por lo que se debe retirar una vez impresa, quedando como resultado una mayor percepción del levantamiento ocurrido en esta prueba:

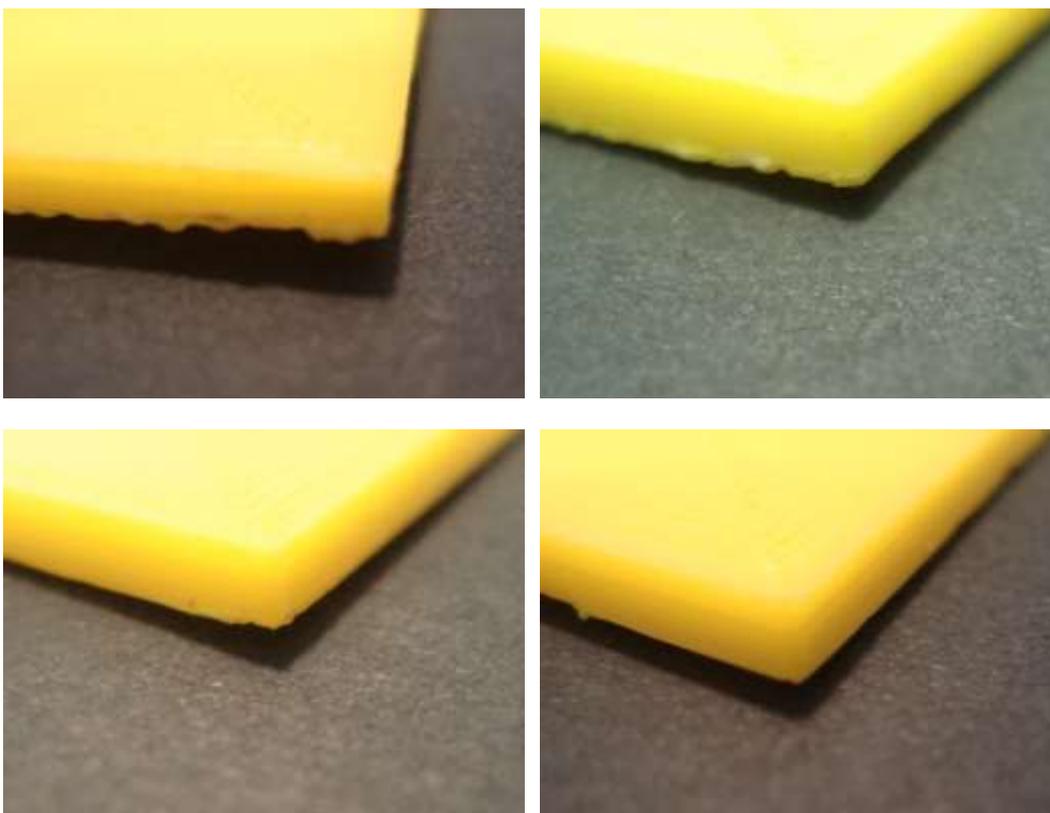


Figura 7.5.1.5: Levantamiento de las esquinas de la pieza "Plano 1"

7.5.2. Plano 2

En esta segunda prueba se va a modificar la altura de capa pasando a ser de 0.1mm y la velocidad se reducirá una vez introducido el .G-Code en la impresora al 80% de los parámetros indicados. Las temperaturas se mantendrán como en la prueba anterior.

Altura de capa	0.1mm
Altura de la primera capa	0.2mm
Diámetro del filamento	2.93mm
Temperatura del extrusor	Primera capa: 235°C
	Resto de capas: 225°C
Temperatura de la cama	Primera capa: 65°C
	Resto de capas: 60°C
Porcentaje de velocidad modificado en la impresora respecto a los parámetros antes indicados en Slic3r	Primera capa: 80%
	Resto de capas: 80%

Tabla 7.5.2: Parámetros de impresión de la pieza "Plano 2"

Estos parámetros hacen que resulte la pieza:



Figura 7.5.2.1: Pieza "Plano 2" una vez impresa

En esta prueba también se han levantado las esquinas como se puede observar en las siguientes imágenes:

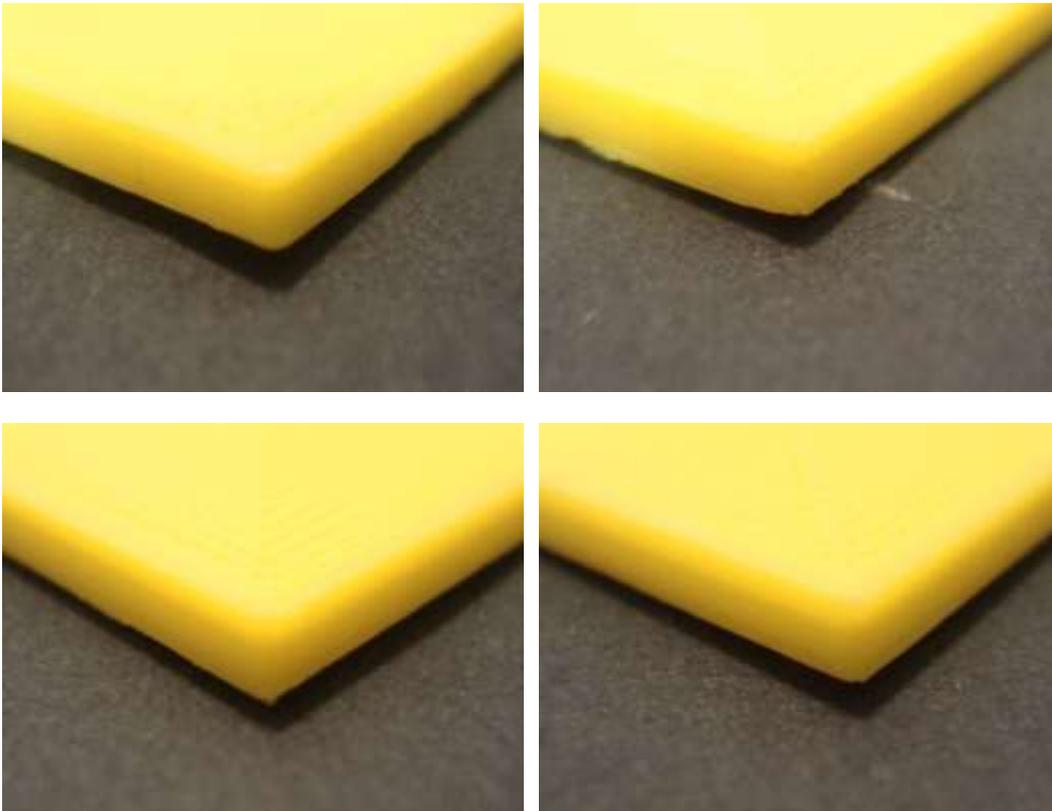


Figura7.5.2.2: Levantamiento de las esquinas de la pieza "Plano 2"

7.5.3. Plano 3

En la tercera prueba se usará una altura de capa de 0.15mm, las velocidades se modificarán con respecto a los parámetros indicados, se realizará la impresión a un 70% de la velocidad indicada en la primera capa y a un 100% en el resto. También se aumentará el flujo de material al indicar que el diámetro del filamento es 2.85mm siendo esto menor al real.

Altura de capa	0.15mm
Altura de la primera capa	0.3mm
Diámetro del filamento	2.85mm
Temperatura del extrusor	Primera capa: 235°C
	Resto de capas: 225°C
Temperatura de la cama	Primera capa: 65°C
	Resto de capas: 60°C
Porcentaje de velocidad modificado en la impresora respecto a los parámetros antes indicados en Slic3r	Primera capa: 70%
	Resto de capas: 100%

Tabla 7.5.3: Parámetros de impresión de la pieza "Plano 3"

Quedando como resultado la siguiente pieza:



Figura7.5.3.1: Pieza "Plano 3" una vez impresa

En esta pieza también se puede observar cómo se han levantado las esquinas incluso más que en la prueba anterior, como nos muestran las siguientes imágenes:

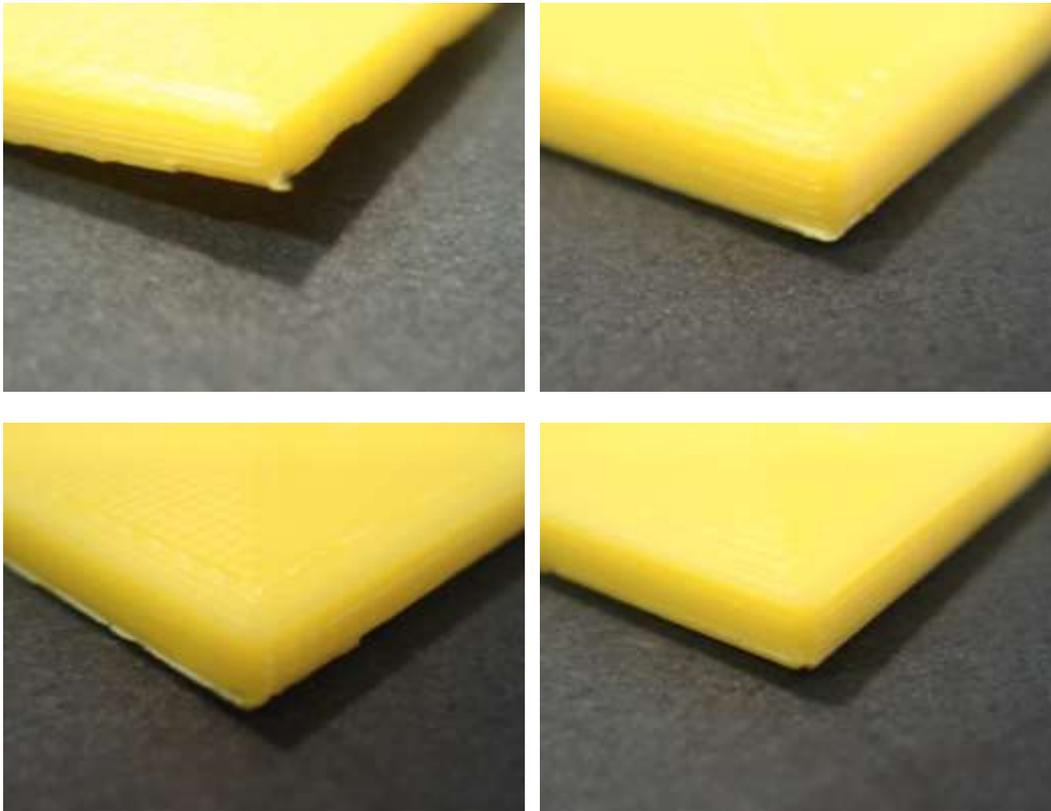


Figura 7.5.3.2: Levantamiento de las esquinas de la pieza "Plano 3"

7.5.4. Plano 4

En esta cuarta prueba se volverá a usar 0.15mm de capa, un diámetro de filamento de 2.93mm y un 100% de los parámetros indicados de velocidad, el mayor cambio recaerá en la temperatura de la cama, que será de 85°C en la primera capa y 80°C en el resto.

Altura de capa	0.15mm
Altura de la primera capa	0.3mm
Diámetro del filamento	2.93mm
Temperatura del extrusor	Primera capa: 235°C
	Resto de capas: 225°C
Temperatura de la cama	Primera capa: 85°C
	Resto de capas: 80°C
Porcentaje de velocidad modificado en la impresora respecto a los parámetros antes indicados en Slic3r	Primera capa: 100%
	Resto de capas: 100%

Tabla 7.5.4: Parámetros de impresión de la pieza "Plano 4"

Con estos parámetros se obtiene la pieza "Plano 4", que se puede ver en la imagen:

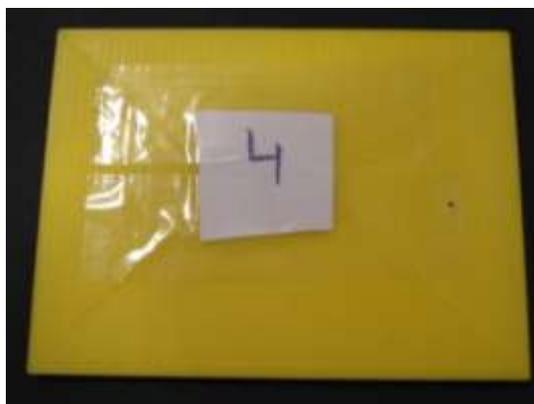


Figura 7.5.4.1: Pieza "Plano 4" una vez impresa

El aumento de la temperatura de cama ha conseguido una mejor adhesión y menor levantamiento de las esquinas comparando esta prueba con las anteriores, como se puede ver:

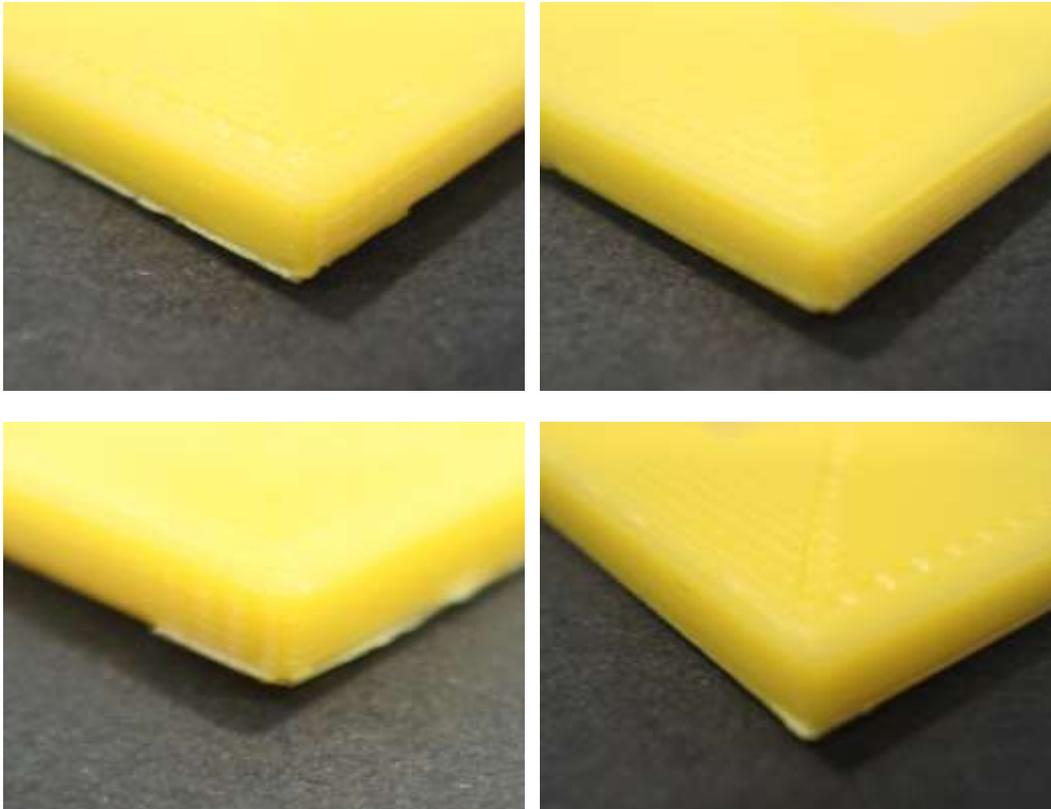


Figura 7.5.4.2: Levantamiento de las esquinas de la pieza "Plano 4"

7.5.5. Plano 5

Como última prueba se imprimirá el plano modificando los valores que se han creído más beneficiosos para evitar que se levanten las esquinas, estos son: la altura de capa de 0.1mm, todas las velocidades indicadas reducidas a un 75% y una temperatura de cama constante de 85°C.

Altura de capa	0.1mm
Altura de la primera capa	0.2mm
Diámetro del filamento	2.93mm
Temperatura del extrusor	Primera capa: 235°C
	Resto de capas: 225°C
Temperatura de la cama	Primera capa: 85°C
	Resto de capas: 85°C
Porcentaje de velocidad modificado en la impresora respecto a los parámetros antes indicados en Slic3r	Primera capa: 75%
	Resto de capas: 75%

Tabla 7.5.5: Parámetros de impresión de la pieza "Plano 5"

Tras modificar los parámetros con la intención de obtener una mejor adhesión se obtiene la siguiente pieza:



Figura 7.5.5.1: Pieza "Plano 5" una vez impresa

Que como se puede ver en las siguientes imágenes se ha obtenido una pieza con mucho menos levantamiento y una bastante mejor adhesión a la cama:

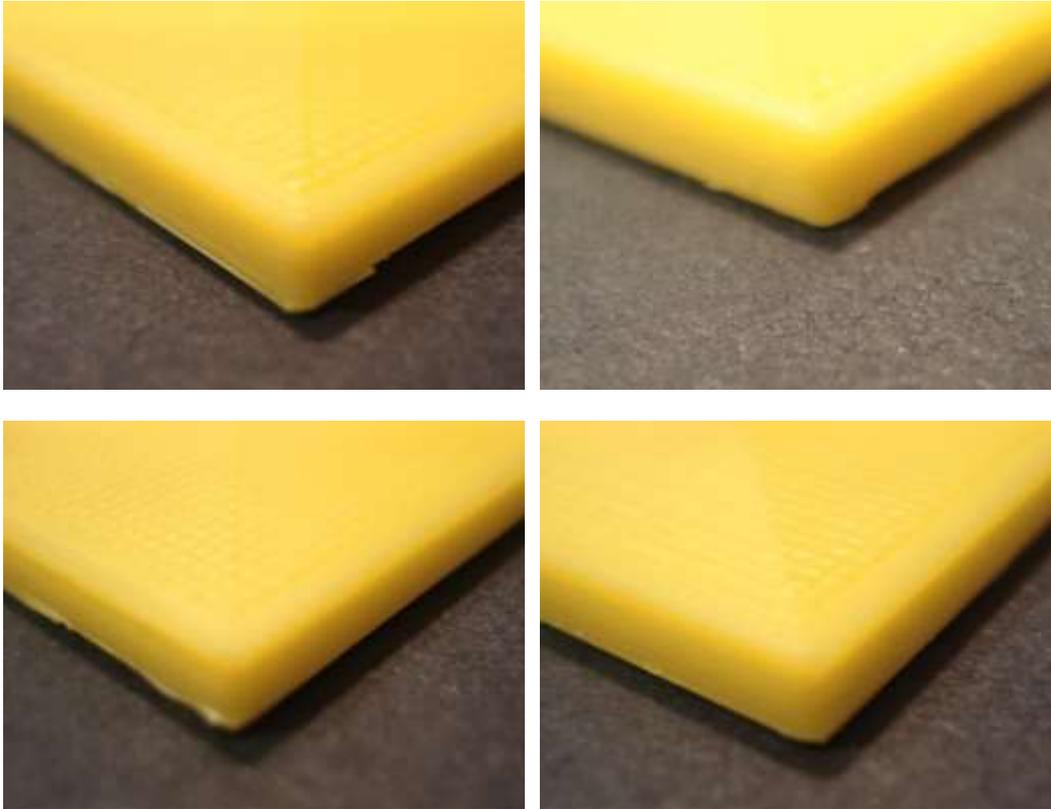


Figura 7.5.5.2: Levantamiento de las esquinas de la pieza "Plano 5"

7.5.6. Conclusiones relacionadas con la adhesión a la cama y el levantamiento de esquinas

Después de varias pruebas modificando principalmente la temperatura de cama, la altura de capa y la velocidad de impresión se ha llegado a la conclusión de que para una correcta adhesión el valor más importante es la temperatura de la cama siendo la recomendada unos 85°C, también es adecuada una velocidad de impresión baja de un 75% de los parámetros recomendados y también influye la altura de capa siendo cuanto menor esta mejor la adhesión y menor el levantamiento.

7.6. Voladizo

La capacidad que tiene la impresora de fabricar distintas piezas con partes en voladizo se va a poder estudiar principalmente a partir de la pieza “Vuelo” que se puede ver en el Anexo 8, de la que se han realizado dos impresiones. También se va a observar el resultado que ha dado la pieza “Inclinación inversa” cuyo plano se encuentra en el Anexo 6 y que ya se ha estudiado previamente en el apartado de Inclinación.

La primera impresión de la pieza “Vuelo” se realizó en PLA cargando unos parámetros indicados por el programa Slic3r de los que se destacan:

Altura de capa	0.15mm
Altura de la primera capa	0.3mm
Capas sólidas	Capas superiores: 3
	Capas inferiores: 3
Umbral de area a partir de la que se hace relleno sólido	70mm ²
Brim	0mm
Diámetro del filamento	2.93mm
Temperatura del extrusor	Primera capa: 185°C
	Resto de capa: 175°C
Temperatura de la cama	Primera capa: 55°C
	Resto de capa: 55°C

Tabla 7.6.1: Parámetros principales de la impresión de la pieza "Vuelo" en PLA

Además de destacar la gran variación de temperatura del extrusor al ser un material diferente también hay que señalar que hay una gran variación respecto a las velocidades:

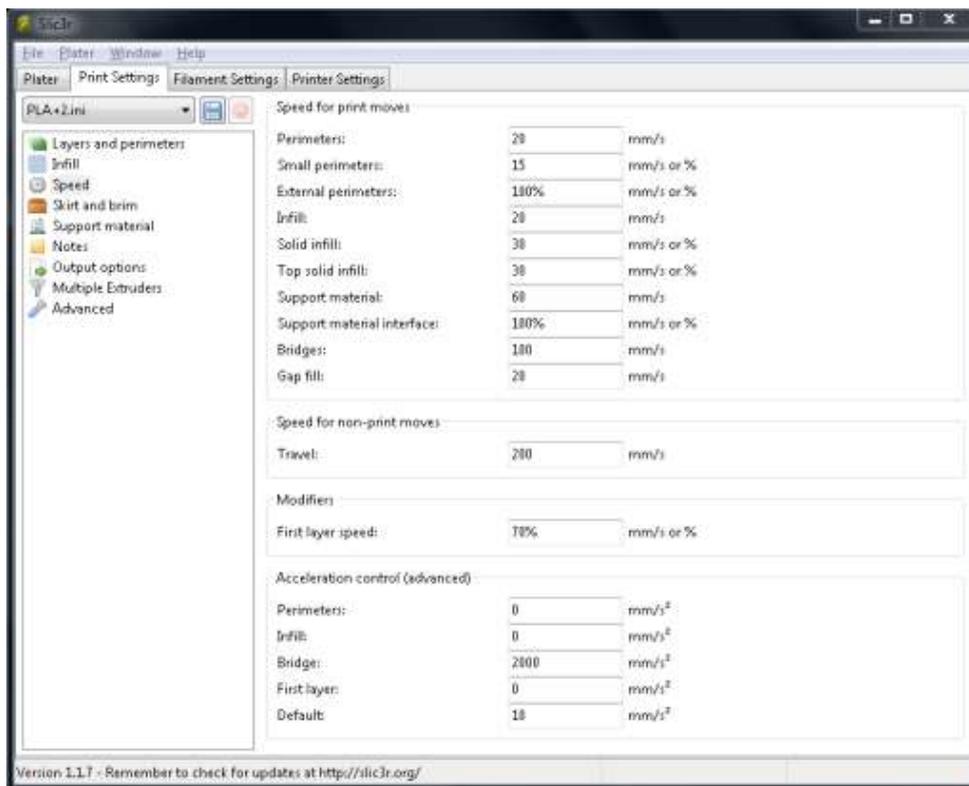


Figura 7.6.1: Parámetros de velocidad al imprimir en PLA

La impresión de esta primera prueba de la pieza “Vuelo” se realizó sin seleccionar la opción de aporte de material:

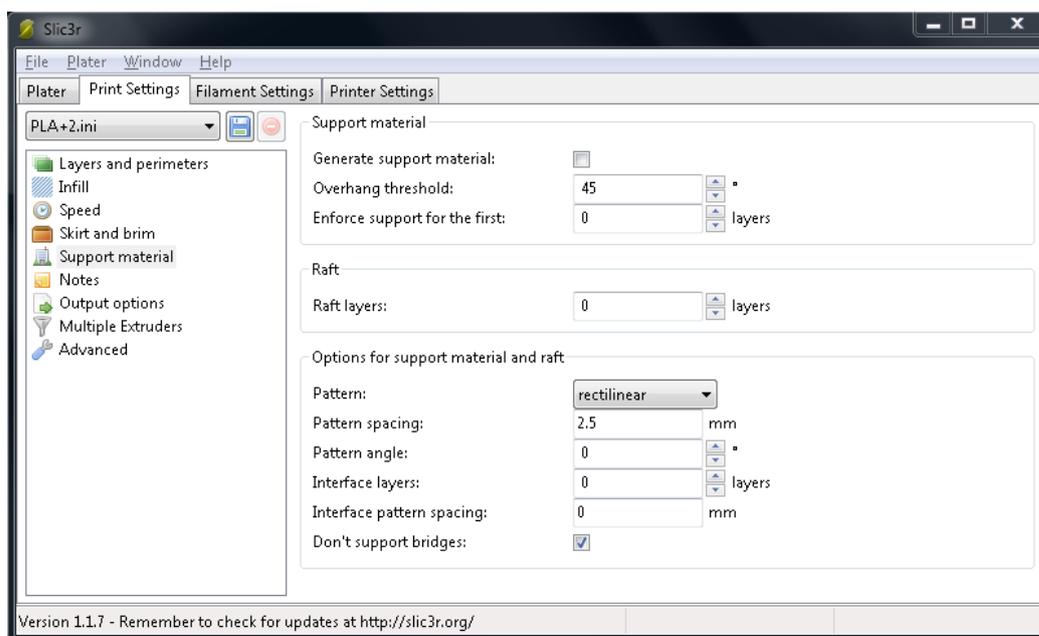


Figura 7.6.2: Aporte de material no seleccionado en la impresión de la pieza "Vuelo" en PLA

Quedando como resultado de la impresión:

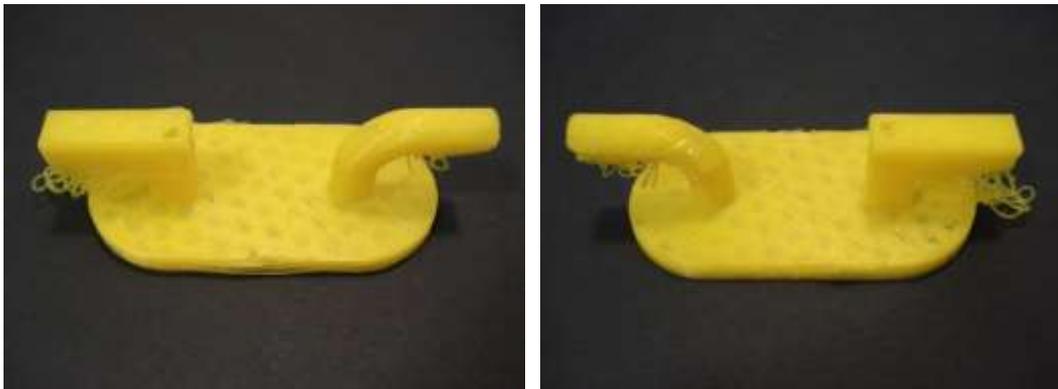


Figura 7.6.3: Pieza "Vuelo" impresa en PLA y sin aporte de material

Al no indicar en el Slic3r que existiese material de aporte, cuando empezó a imprimir las capas en las que aparecía ya voladizo, el material no tenía donde apoyarse y por eso se hundió hasta que se hizo estable, como se puede ver en las siguientes fotografías:

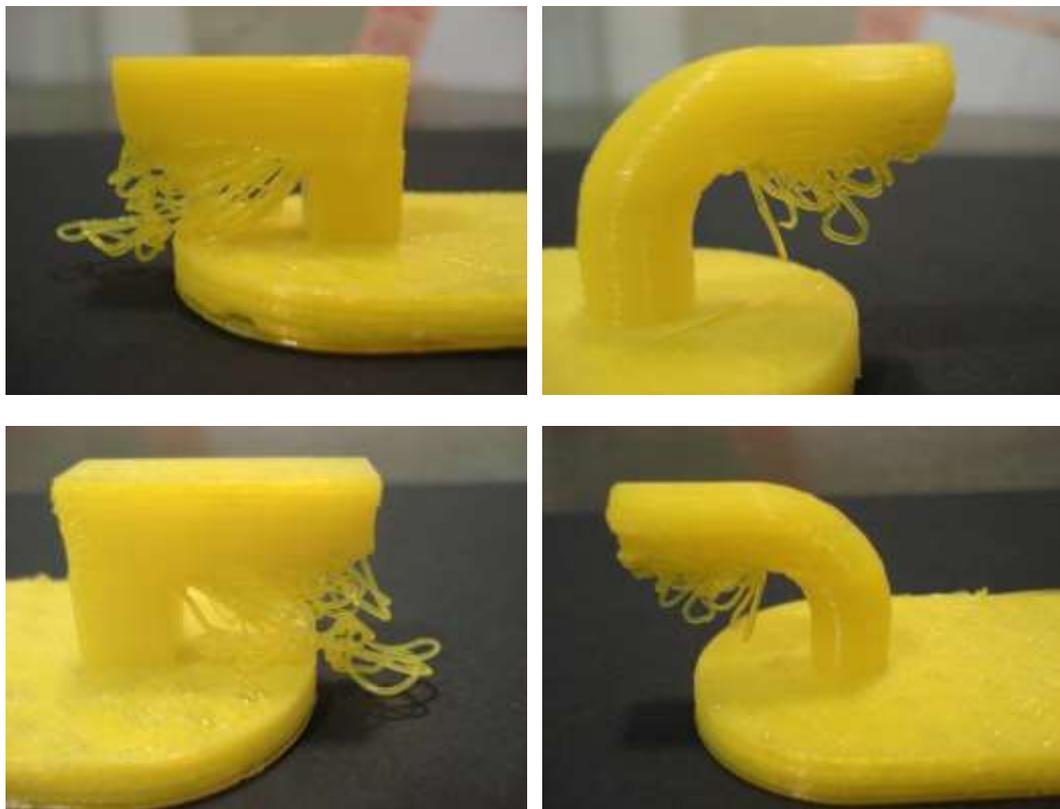


Figura 7.6.4: Material que se hundió al no encontrar apoyo

Se puede resaltar en esta prueba que el material no encontró apoyo al empezar a imprimir las capas en las que existía voladizo, pero que una vez que varios hilos y capas de material habían quedado colgando y que se había formado una cama donde poder depositar el resto de capas se formó la pieza como se deseaba y con un buen acabado superior y lateral

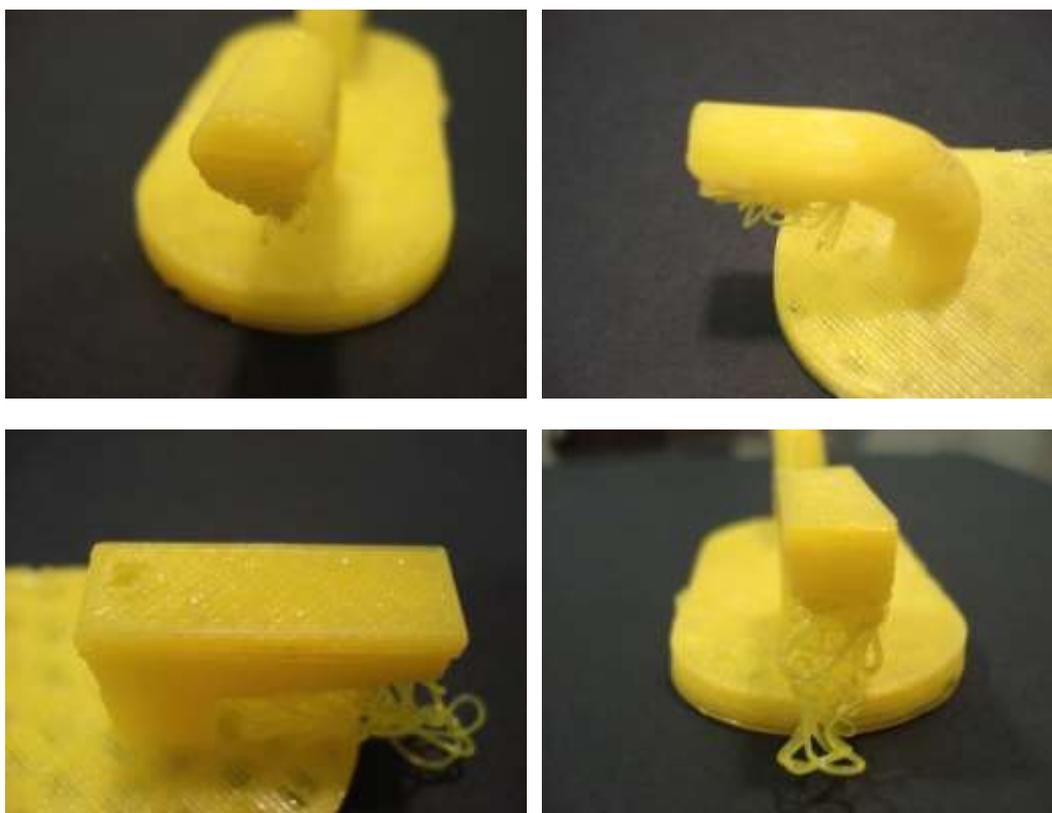


Figura 7.6.5: Acabado lateral y superior de las partes en voladizo

Como segunda prueba para poder estudiar la capacidad de realizar voladizos se ha imprimido por segunda vez la pieza “Vuelo”, pero esta vez con el material ABS, para esta impresión se han usado los parámetros principales siguientes además de los indicados en la descripción del programa Slic3r:

Altura de capa	0.1mm
Altura de la primera capa	0.3mm
Capas sólidas	Capas superiores: 11
	Capas inferiores: 9
Umbral de area a partir de la que se hace relleno sólido	70mm ²
Brim	5mm
Diámetro del filamento	2.93mm
Temperatura del extrusor	Primera capa: 230°C
	Resto de capa: 225°C
Temperatura de la cama	Primera capa: 65°C
	Resto de capa: 65°C

Tabla 7.6.2: Parámetros de impresión de la pieza "Vuelo" impresa en ABS

Y para esta prueba sí que se indicó en el programa Slic3r que se fabricara material de aporte y el mismo programa calculó el necesario:

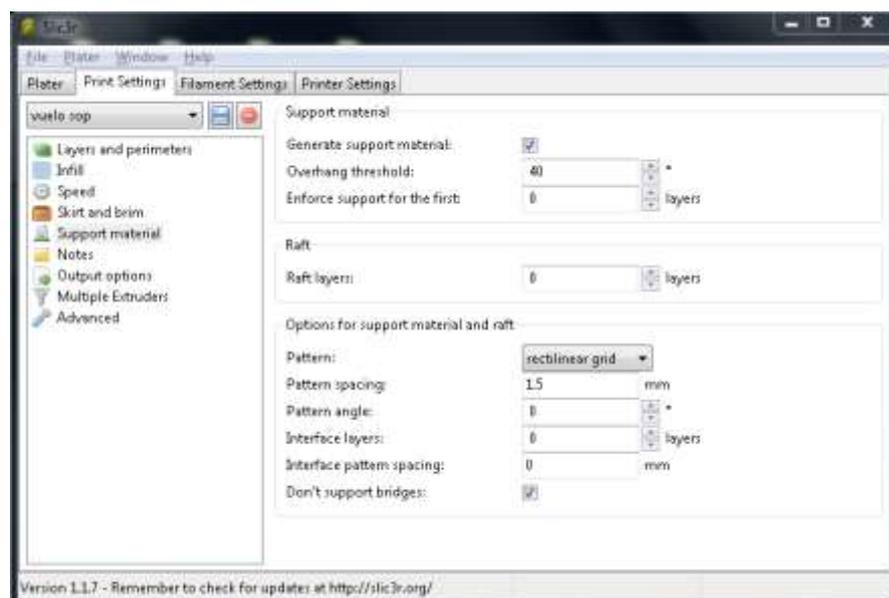


Figura 7.6.7: Parámetros de aporte de material de la pieza "Vuelo" impresa en ABS

Con todos estos parámetros la pieza se comenzó a imprimir al mismo tiempo que otra pieza:

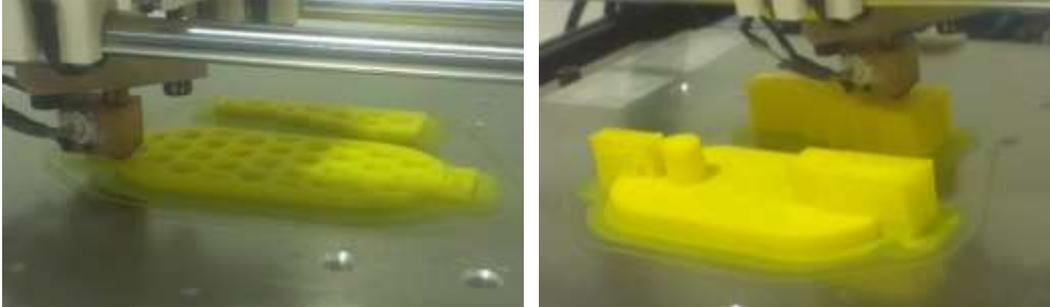


Figura 7.6.8: Proceso de impresión de la pieza "Vuelo" con material de aporte

Siendo el resultado final de la pieza "Vuelo" impresa en ABS y con aporte de material y de la pieza "Escalones" en vertical:

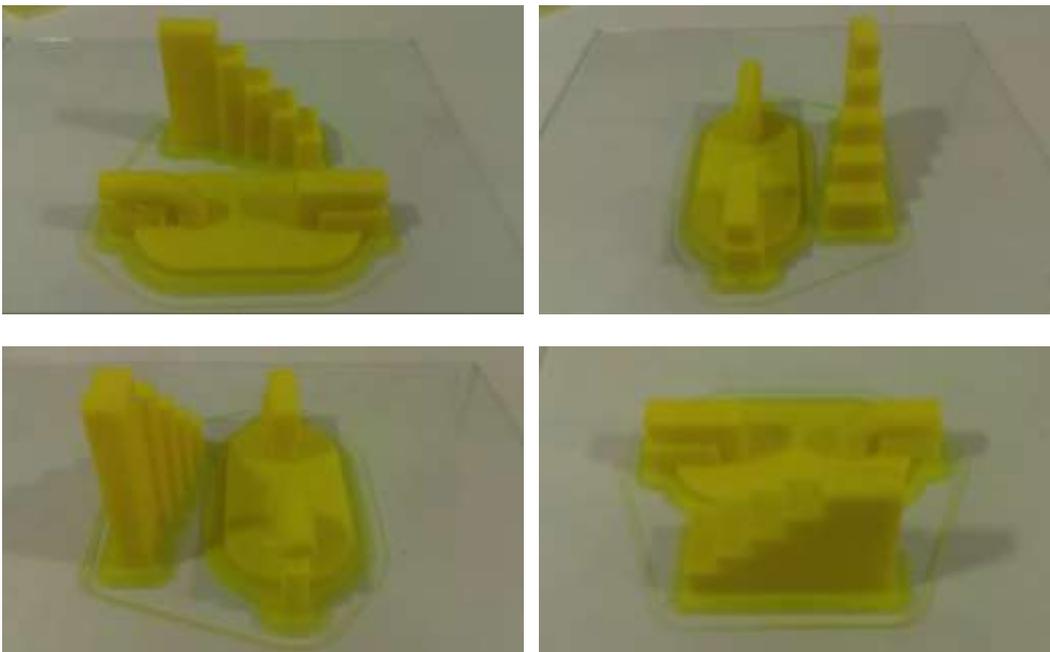
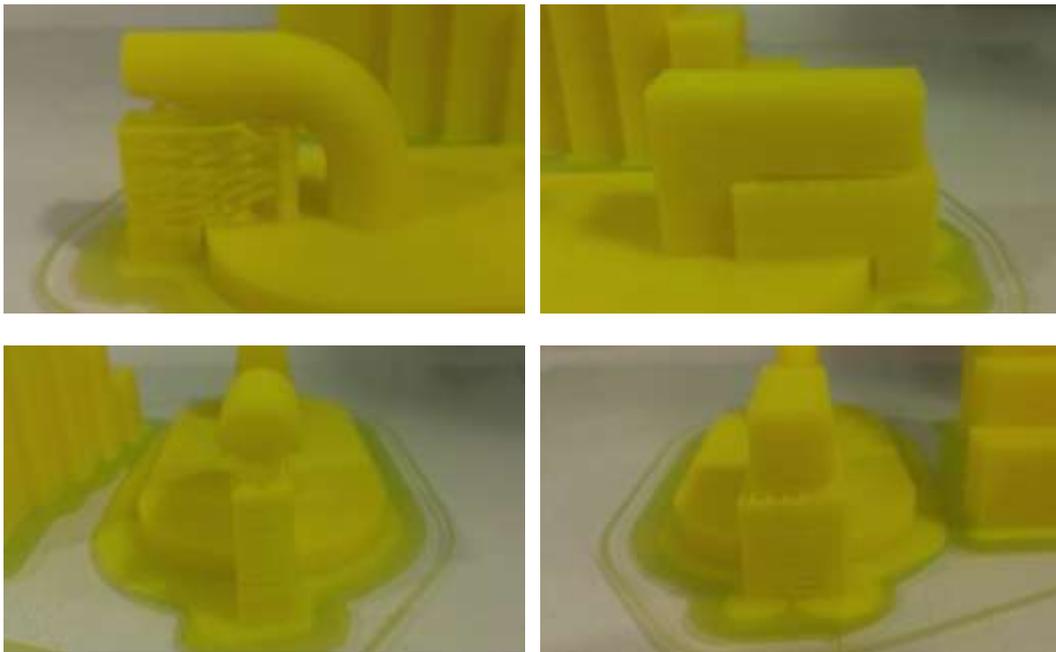


Figura 7.6.9: Pieza "Vuelo" impresa con aporte de material y pieza "Escalones" en vertical

En esta pieza lo que más se puede destacar es el material de aporte, que se utiliza para apoyar las capas que se encuentren en voladizo. El material de aporte es el mismo que se usa para imprimir el resto de la pieza pero este se deposita a mayor velocidad, con una separación mayor entre hilos y cada varias capas de la pieza, todo esto hace que la zona de material de aporte sea de mucha menor densidad. Como se puede observar en las fotografías el material de aporte se puede situar encima de la cama o encima de la propia pieza.



Figuran 7.6.10: Material de aporte en la pieza "Vuelo"

Este material de aporte no forma parte de la pieza y debe ser retirado una vez finalice la impresión, en las siguientes imágenes se puede observar la menor densidad que anteriormente se citaba:



Figura 7.6.11: Material de aporte en la pieza "Vuelo" una vez retirado de la pieza

Quedando como resultado final de la pieza:

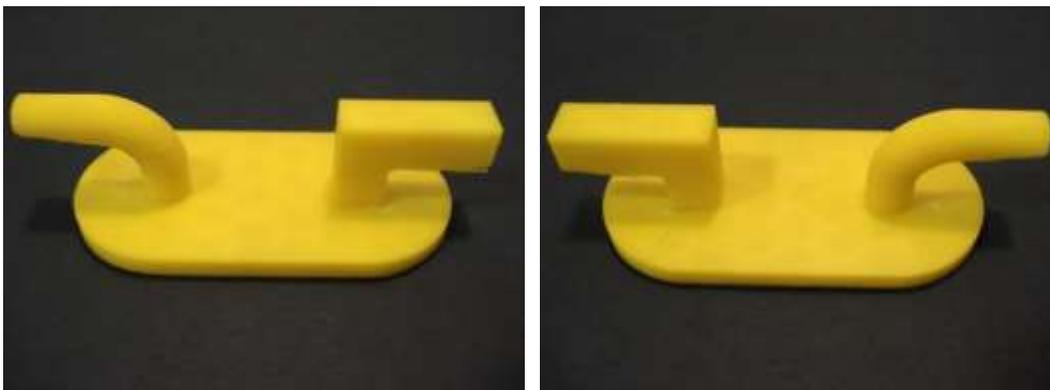


Figura 7.6.12: Resultado final de la pieza "Vuelo" una vez retirado el material de aporte

Se puede observar que en la parte superior y lateral de las zonas de la columna y del voladizo tiene un buen acabado:

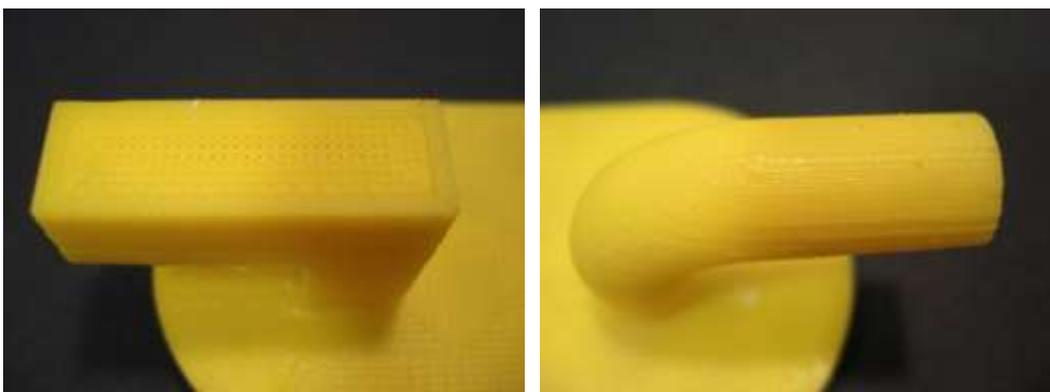


Figura 7.6.13: Zona superior de la pieza "Vuelo"

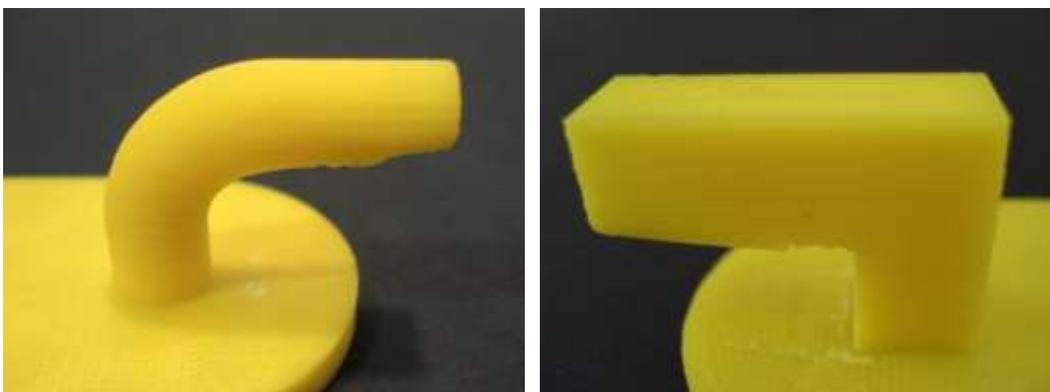


Figura 7.6.14: Zona lateral de las partes en voladizo

Sin embargo la zona inferior de los voladizos no ha quedado tan bien, ya que en el caso del voladizo en forma de prisma se adhirió algún hilo del material de aporte a la pieza y no quedó del todo cuadrada la sección:

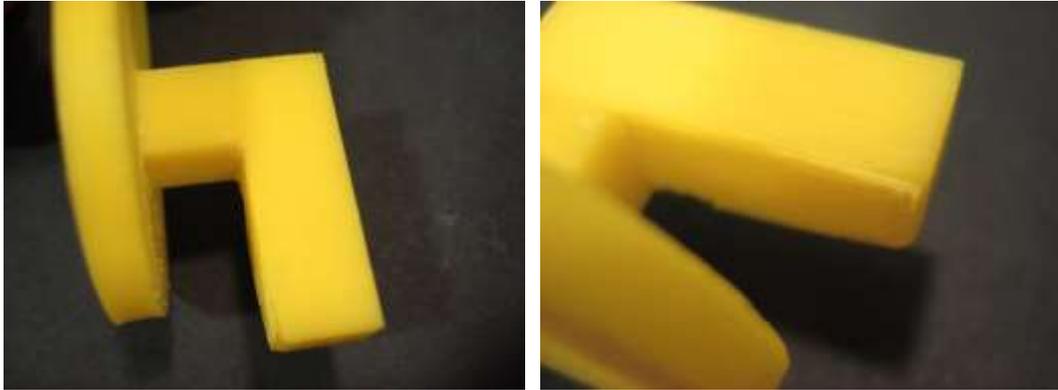


Figura 7.6.15: Zona inferior del voladizo prismático

Pero la zona inferior del voladizo cilíndrico sí que no se realizó correctamente ya que el material de aporte no funcionó bien como apoyo y sustento, por lo que parte de la punta del voladizo se levantó, mientras que en los laterales no se imprimieron del todo bien las capas. Además de todo esto parte del material de aporte se mezcló con la pieza en si dejando hilos sueltos y densidades incorrectas:

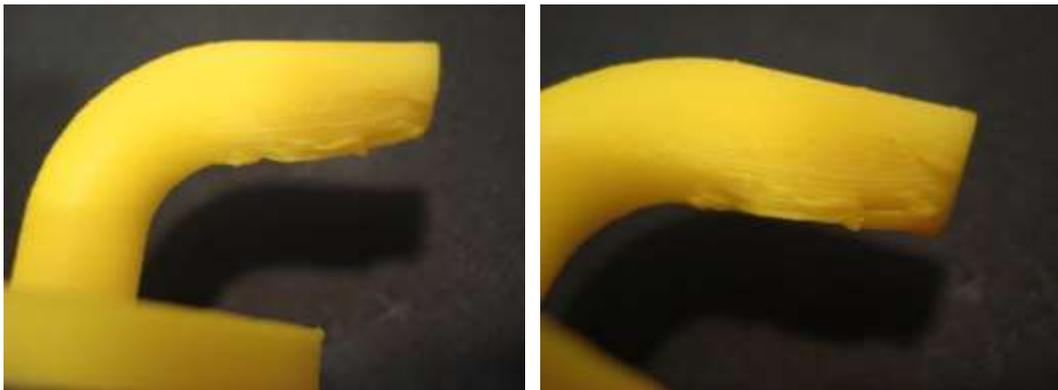


Figura 7.6.16: Zona inferior del voladizo cilíndrico

7.7. Acabado exterior

En este apartado se estudiará principalmente el acabado de las superficies superiores, las últimas capas que imprime la impresora al realizar una pieza. Además de esto también se observará el acabado en el resto de cada pieza.

Para ello se ha diseñado la pieza “Esfera 5mm” cuyo plano se puede observar en el Anexo 9. Esta pieza consiste en una esfera hueca de 5mm de espesor a la que se le ha quitado un casquete esférico de 10mm de alto. Esta pieza se ha impreso en ABS con los parámetros indicados por la configuración cargada en el Slic3r pero variando los siguientes:

Altura de capa	0.1mm
Altura de la primera capa	0.2mm
Capas sólidas	Capas superiores: 9
	Capas inferiores: 7
Umbral de area a partir de la que se hace relleno sólido	100mm ²
Brim	5mm
Diámetro del filamento	2.93mm
Temperatura del extrusor	Primera capa: 235°C
	Resto de capa: 225°C
Temperatura de la cama	Primera capa: 65°C
	Resto de capa: 60°C

Tabla 7.7.1: Parámetros de impresión de la pieza "Esfera 5mm"

Obteniendo como resultado:

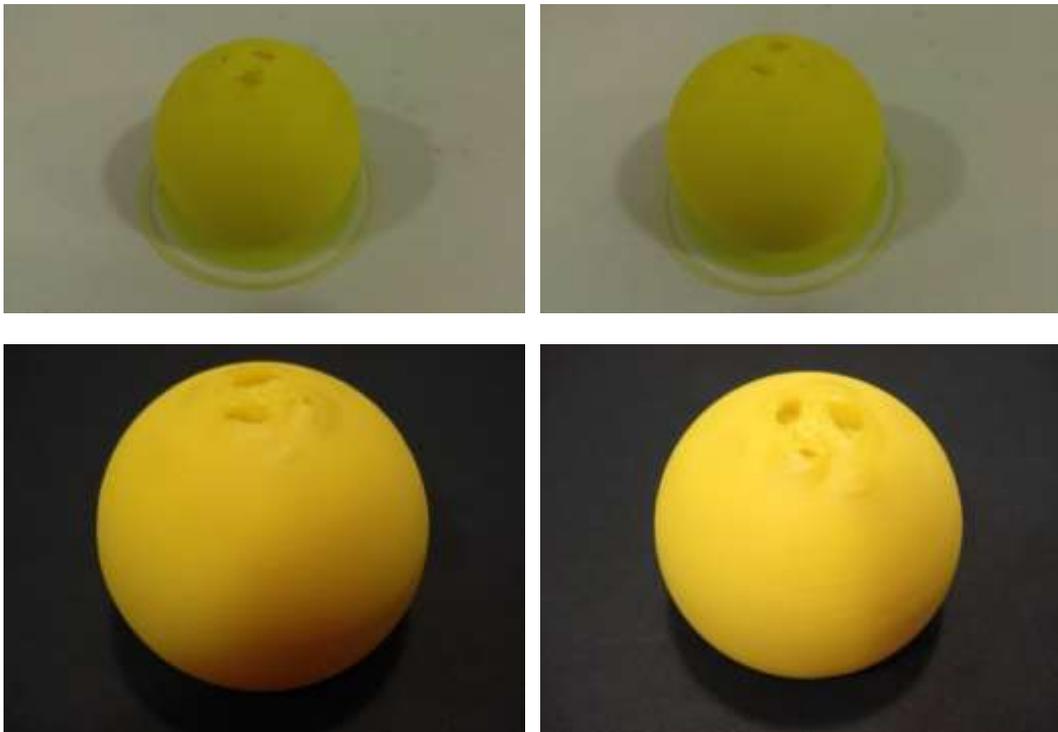


Figura 7.7.1: Pieza "Esfera 5mm" una vez impresa

Como se puede observar en las fotografías anteriores y más detalladamente en las siguientes, se produjo un muy buen acabado en todo el exterior de la pieza menos en la zona superior donde se produjeron durante la impresión varios huecos:

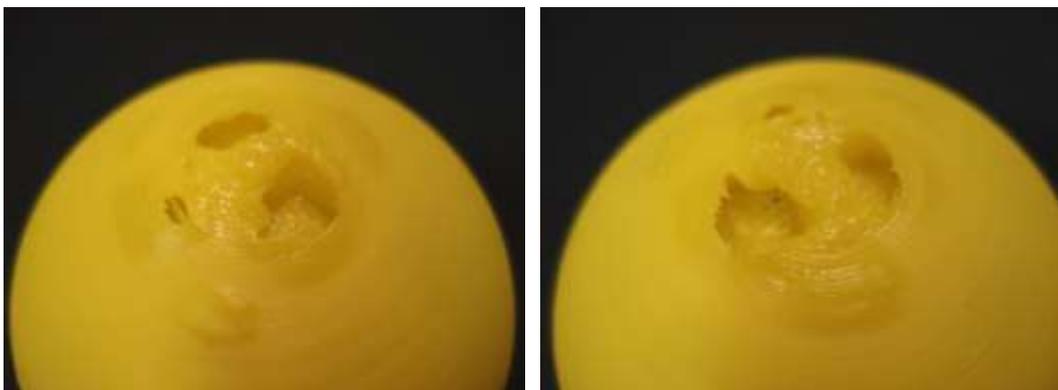


Figura 7.7.2: Huecos producidos durante la impresión de la pieza "Esfera 5mm"

Estos huecos se produjeron debido a que entre la esfera interior y la exterior, que existe una distancia de 5mm menos el espesor de las capas inferiores y superiores (unos 3.5mm), se imprimió la celdilla con forma de panal de abeja ya que el área horizontal era mayor a los 100mm² que se habían indicado en los parámetros de impresión. Al realizarse la esfera externa los hilos de esta no se apoyaron correctamente en las celdillas y se hundieron entre ellas a la vez que se pegaban en las zonas externas de dichas celdillas.

Otro problema que apareció fue la parte inferior de la zona superior de la esfera interior, que al no tener ningún apoyo se formó una mala impresión de los hilos quedando como se puede ver en las siguientes imágenes, también se puede observar en estas que hay zonas que tocaron con la parte exterior del extrusor y se quemaron quedando el hilo con un tono marrón:



Figura 7.7.3: Zona inferior de la esfera interior de la pieza "Esfera 5mm"

Con la pieza anterior se había comprobado que la impresora es capaz de imprimir piezas con un espesor de 5mm para estudiar si puede fabricar piezas de menor espesor se diseñó la pieza "Esfera 3mm" que es una esfera de espesor 3mm a la que le falta un casquete esférico de 5mm de alto, el plano se puede observar en el Anexo 10.

Además para intentar solucionar el hecho de que se produjesen los huecos antes citados se modificó ampliamente el umbral del área a partir del cual se rellena con celdilla pasando a ser de 300mm², este parámetro se modificó además de los siguientes:

Altura de capa	0.15mm
Altura de la primera capa	0.3mm
Capas sólidas	Capas superiores: 9
	Capas inferiores: 7
Umbral de area a partir de la que se hace relleno sólido	300mm ²
Brim	5mm
Diámetro del filamento	2.93mm
Temperatura del extrusor	Primera capa: 235°C
	Resto de capa: 225°C
Temperatura de la cama	Primera capa: 65°C
	Resto de capa: 60°C

Tabla 7.7.2: Parámetros de impresión de la pieza "Esfera 3mm"

Quedando como resultado:

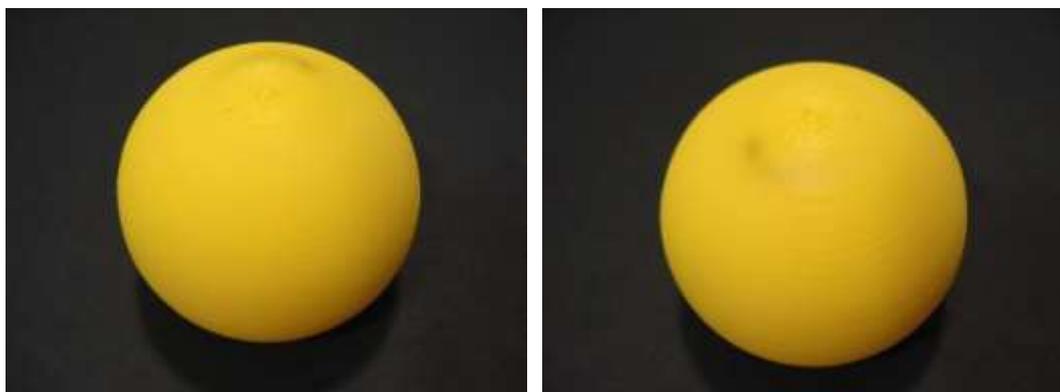


Figura 7.7.4: Pieza "Esfera 3mm" una vez impresa

Es puede observar que ya no se ha producido los huecos antes citados y que tiene muy buen acabado. Pero en la zona inferior de la esfera interior sigue apareciendo una mala impresión de los hilos e incluso alguno también quemado con la parte externa del extrusor:



Figura 7.7.5: Zona inferior de la esfera interior de la pieza "Esfera 3mm"

Como el resultado de la esfera de 3mm de espesor fue muy bueno se ha probado a imprimir una pieza de espesor menor, por ello se ha impreso la pieza "Botella" que es el diseño de una botella con 1mm de espesor. Esta se ha impreso con los parámetros indicados variando los siguientes:

Altura de capa	0.15mm
Altura de la primera capa	0.3mm
Capas sólidas	Capas superiores: 9
	Capas inferiores: 7
Umbral de area a partir de la que se hace relleno sólido	70mm ²
Brim	5mm
Diámetro del filamento	2.93mm

Temperatura del extrusor	Primera capa: 235°C
	Resto de capa: 225°C
Temperatura de la cama	Primera capa: 85°C
	Resto de capa: 85°C

Tabla 7.7.3: Parámetros de impresión de la pieza "Botella"

Siendo la impresión de la pieza la siguiente:

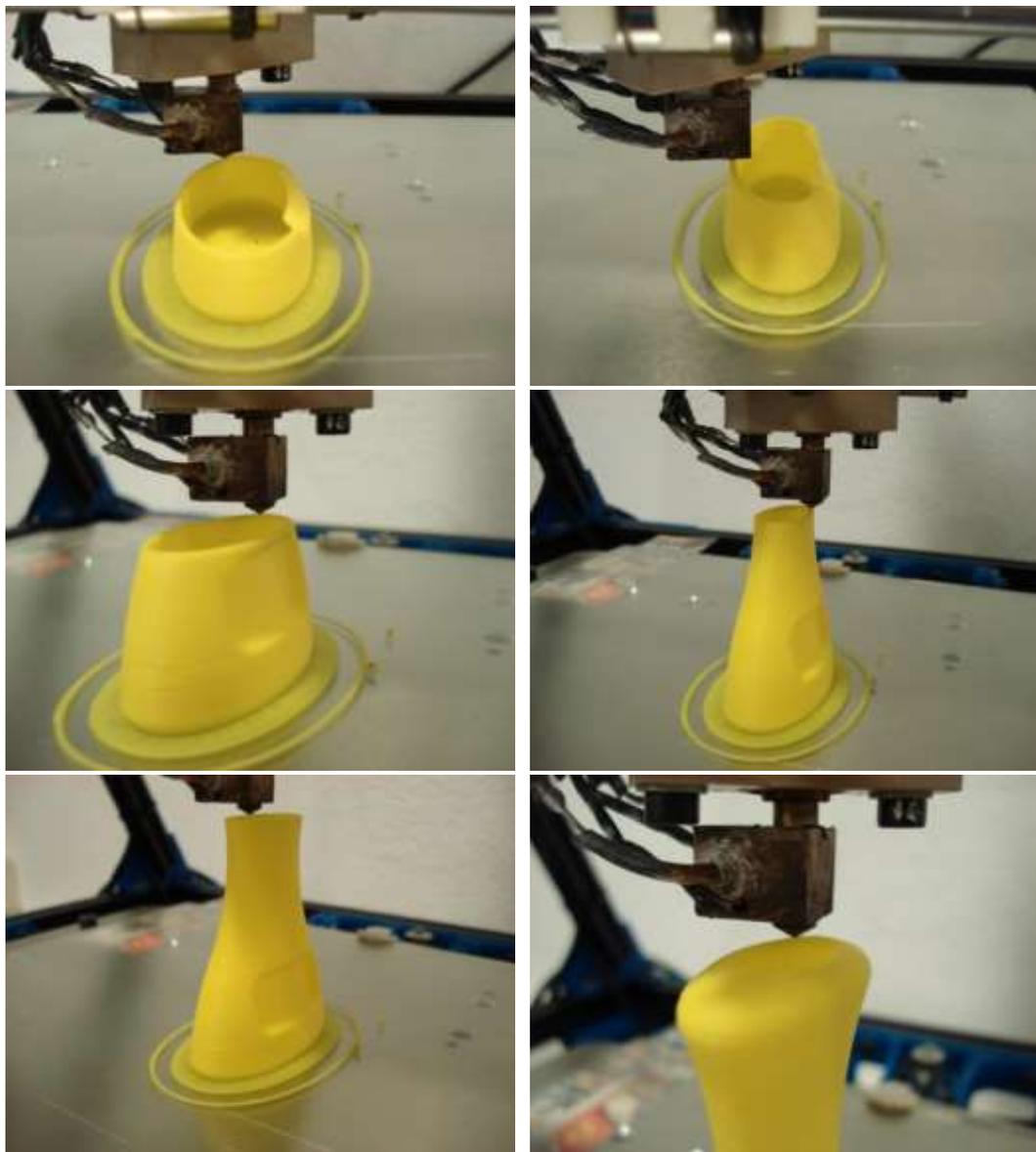


Figura 7.7.6: Proceso de impresión de la pieza "Botella"

Y obteniendo como resultado final:



Figura 7.7.7: Pieza "Botella" una vez impresa

Se puede ver que se obtuvo un buen acabado en toda la pieza menos en la zona superior, que es la que se estudiando en este apartado. Se puede observar que la zona superior no se imprimió correctamente ya que el hilo no tenía superficie donde apoyarse y no se conformó de la manera adecuada quedando huecos e hilos sueltos, como se puede ver en la siguiente imagen:

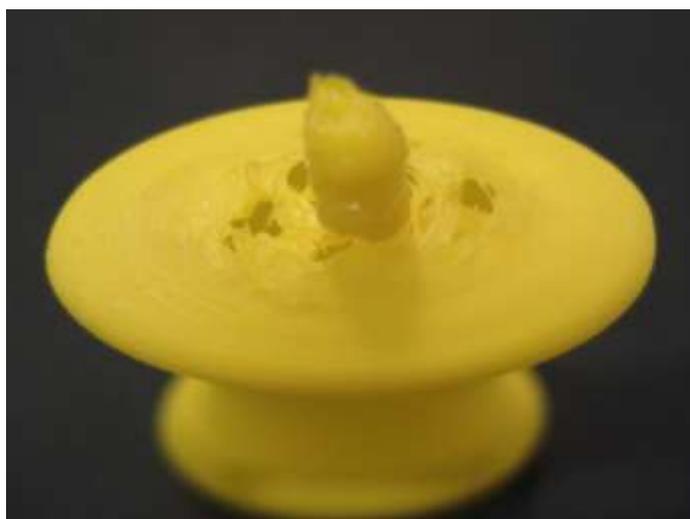


Figura 7.7.8: Zona superior de la pieza "Botella"

También ocurrió algo similar en la zona de la base, ya que no era plana y tenía una pequeña curvatura y al no existir zona de aporte de material quedó algo parecido a las zonas inferiores de las esferas interiores en las piezas “Esfera 5mm” y “Esfera 3mm”, quedando hilos sueltos y mal colocados:



Figura 7.7.9: Zona de la base de la pieza "Botella"

Además de esta zona superior también se obtuvo un mal resultado en la zona del cuello de la botella, ya que el hilo no se adhirió a la zona inferior y en vez de hacer un cilindro hueco se pegó el hilo entre si y acabó formando lo siguiente:



Figura 7.7.10: Zona del cuello de la pieza "Botella"

Una situación parecida apareció en la impresión del prisma de la zona superior de la pieza “Concentricidad v2”, en la que el prisma no se imprimió correctamente quedando todos los laterales de este mal conformados:

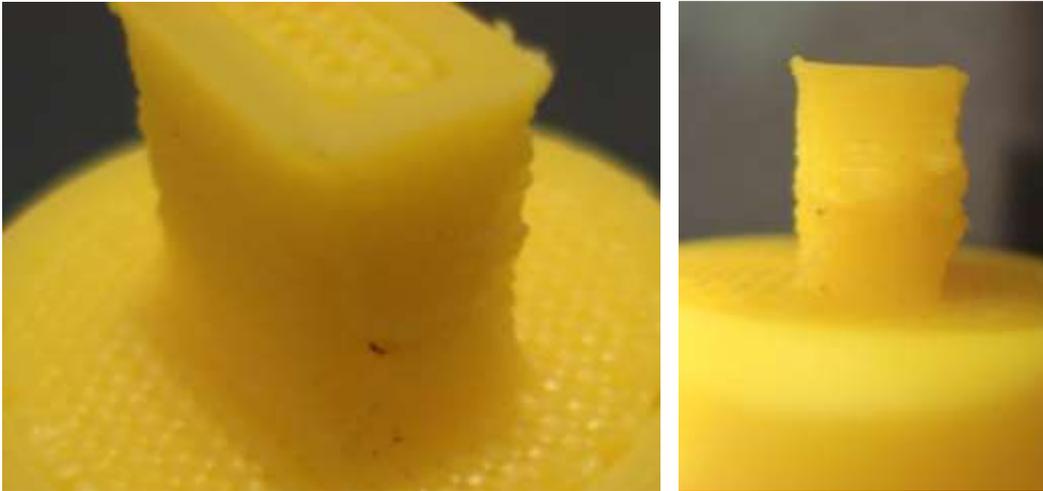


Figura 7.7.11: Zona del prisma de la pieza "Concentricidad v2"

También ocurrió algo similar a lo acontecido en la pieza “Esfera 5mm” en la pieza “Curvatura” impresa en horizontal, al caerse varios hilos por el hueco que formaba las celdillas de las capas inferiores:

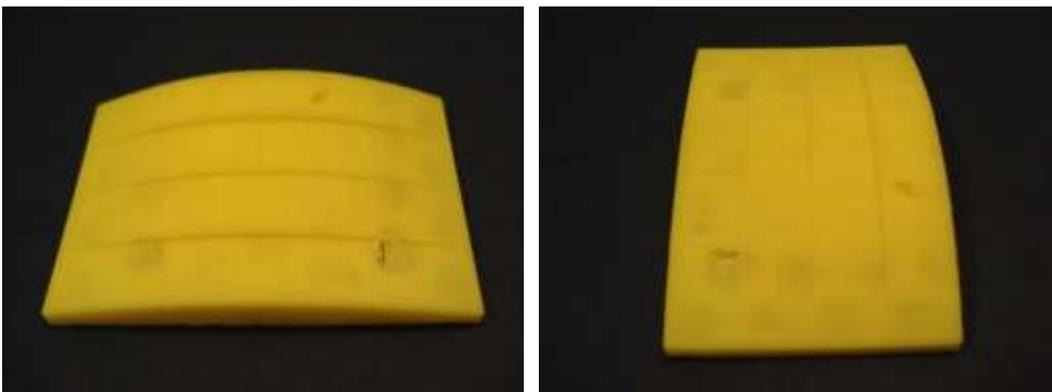


Figura 7.7.12: Huecos producidos en la pieza "Curvatura" impresa en horizontal

Se ha de destacar también el acabado de la última capa en varias piezas que no ha sido el correcto, dejando varios huecos

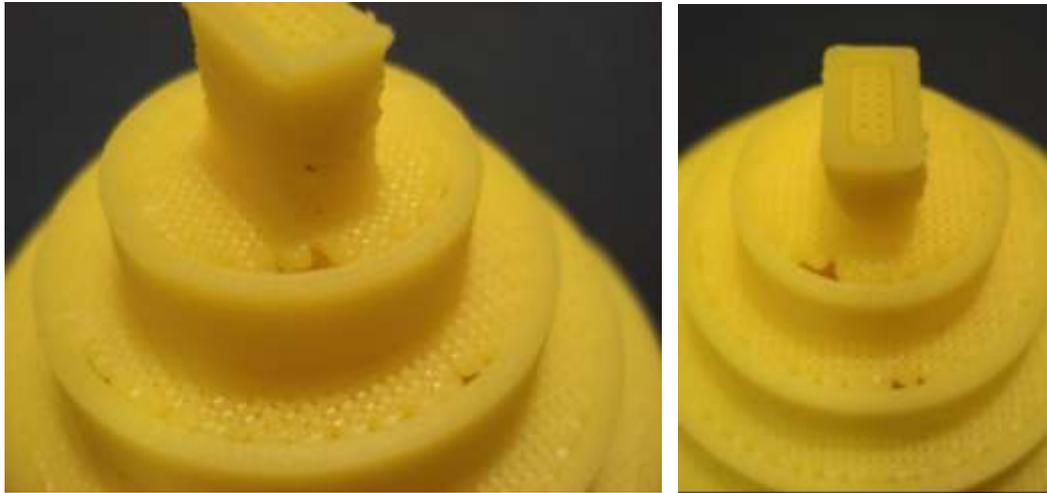


Figura 7.7.13: Huecos aparecidos en la pieza "Concentricidad v2"

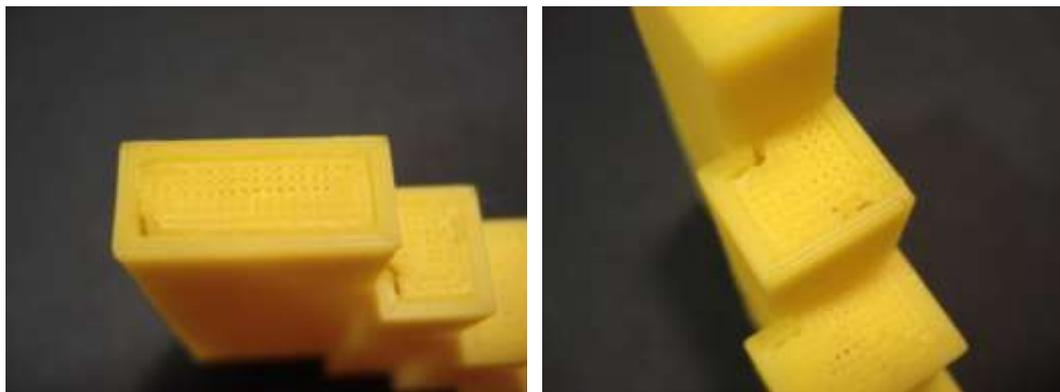


Figura 7.7.14: Huecos aparecidos en la pieza "Escalones" impresa en vertical



Figura 7.7.15: Huecos aparecidos en la pieza "Vuelo" impresa con material de aporte



Figura 7.7.16: Huecos aparecidos en la pieza "Curvatura" impresa en vertical

También han aparecido, en las piezas con una gran área en la última capa, unas zonas en el centro del área superior, en la que no se ha impreso material, el principal motivo debe ser un mal cálculo dentro del programa Slic3r al crear los comandos de impresión:

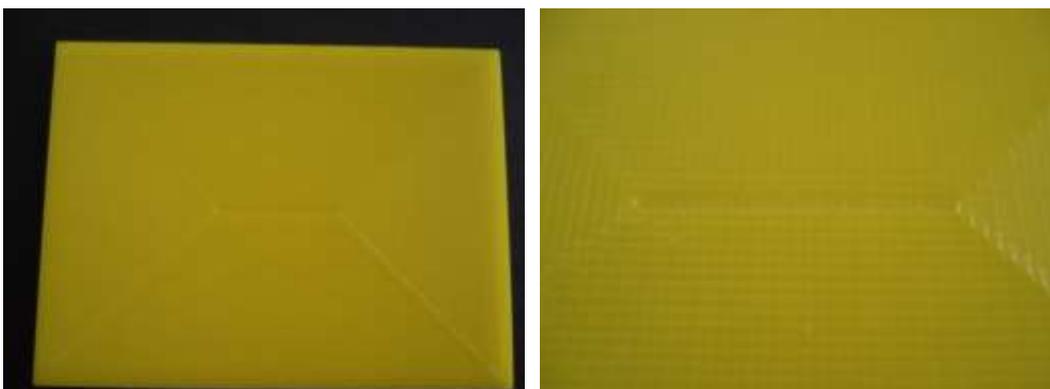


Figura 7.7.17: Zona no impresa en la parte superior de la pieza "Plano 1"

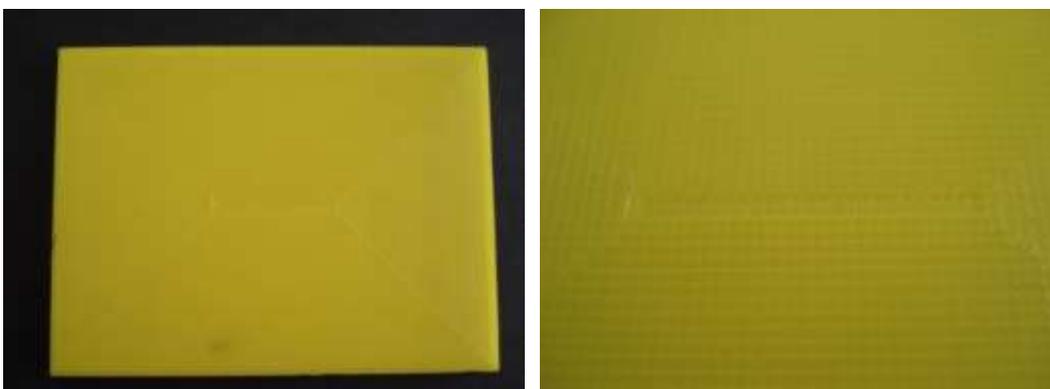


Figura 7.7.18: Zona no impresa en la parte superior de la pieza "Plano 2"

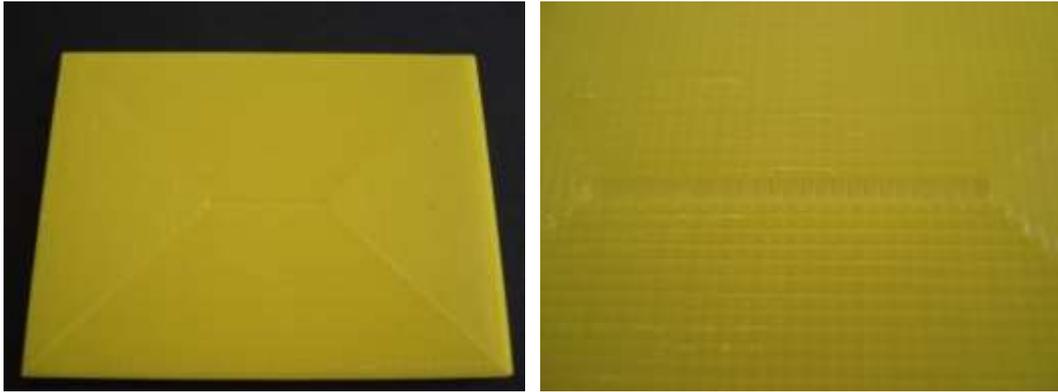


Figura 7.7.19: Zona no impresa en la parte superior de la pieza "Plano 4"



Figura 7.7.20: Zona no impresa en la parte superior de la pieza "Plano 5"

Todas estas piezas anteriores se imprimieron en ABS pero también puede ocurrir si se realiza la impresión en PLA, apareciendo hilos mal adheridos y pegados entre sí de forma incorrecta, como se puede ver en la pieza "Escalones":

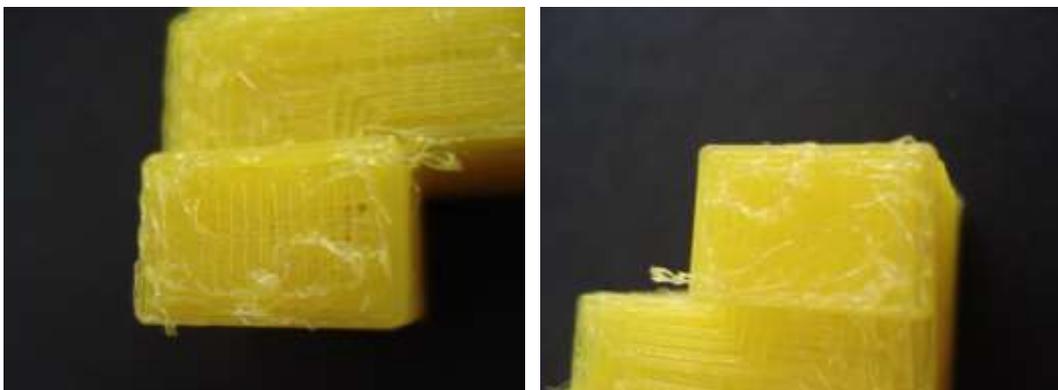


Figura 7.7.21: Hilos mal adheridos en la pieza "Escalones" impresa en PLA

También pueden aparecer huecos en la última capa, como ocurrió en la pieza “Vuelo”:

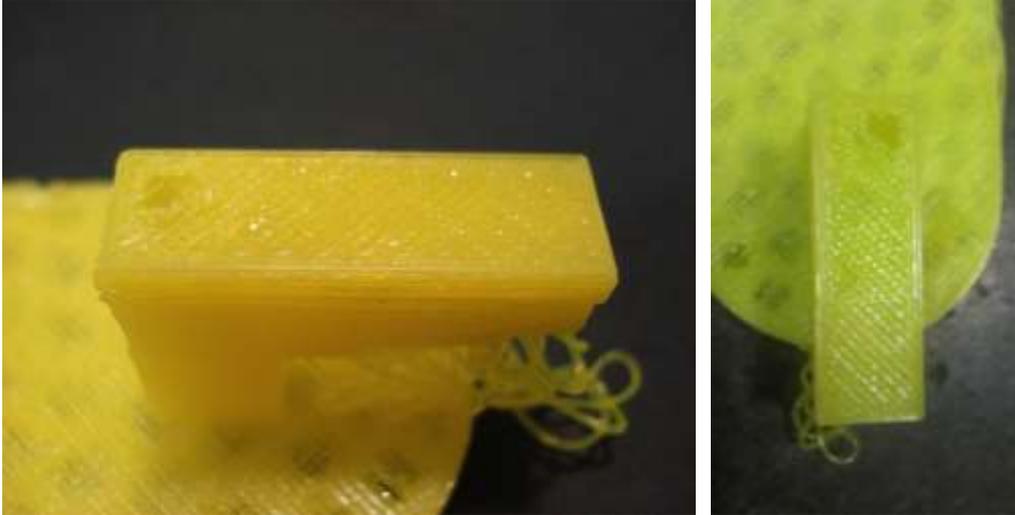


Figura 7.7.22: Hueco aparecido en la pieza "Vuelo" impresa en PLA

Y también pueden aparecer zonas en la última capa sin imprimir material como sucedió en la pieza “Escalones”

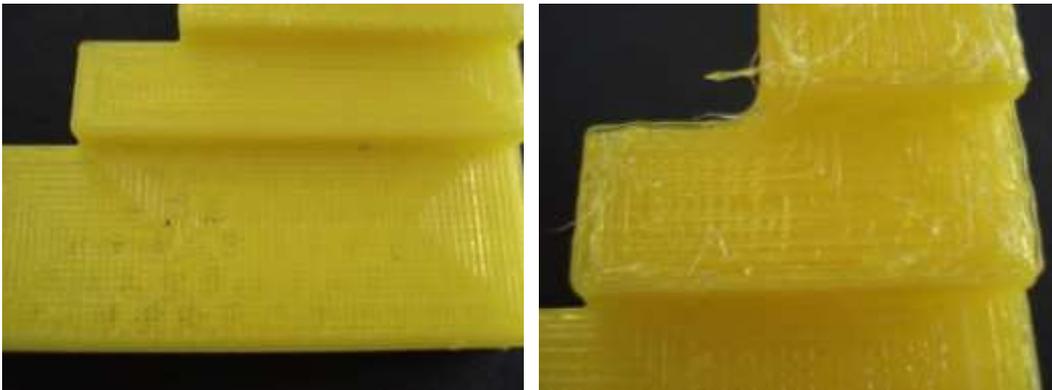


Figura 7.7.23: Zona no impresa en la parte superior de la pieza "Escalones" impresa en PLA

7.8. Otras características

Otra de las características que también se han estudiado en este trabajo ha sido la capacidad de hacer roscas tanto externas como internas, tornillos y tuercas respectivamente.

Para ello se diseñaron según las medidas estándar varias piezas que se pudieron ver en el apartado de descripción de piezas. Todas ellas se imprimieron con los mismos parámetros:

Altura de capa	0.05mm
Altura de la primera capa	0.2mm
Capas sólidas	Capas superiores: 9
	Capas inferiores: 7
Umbral de area a partir de la que se hace relleno sólido	150mm ²
Brim	0mm
Diámetro del filamento	2.93mm
Temperatura del extrusor	Primera capa: 235°C
	Resto de capa: 225°C
Temperatura de la cama	Primera capa: 80°C
	Resto de capa: 80°C

Tabla 7.8.1: Parámetros de impresión de todas las piezas con rosca tanto interna como externa

Siendo el proceso de impresión el que se muestra en las siguientes imágenes:

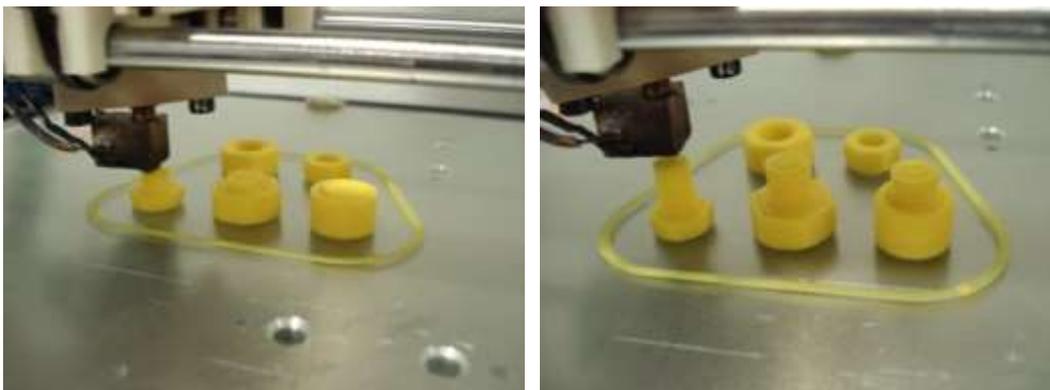


Figura 7.8.1: Proceso de impresión de las piezas con rosca tanto externa como interna

Después de esta impresión se obtuvo:

- Un tornillo de métrica 8 con cabeza hexagonal



Figura 7.8.2: Pieza " Tornillo M8" una vez impresa

- Un tornillo de métrica 10 con cabeza hexagonal



Figura 7.8.3: Pieza "Tornillo M10" una vez impresa

- Un tornillo de métrica 10 con cabeza cilíndrica con hendidura para una llave allen:



Figura 7.8.4: Pieza "Tornillo allen M10" una vez impresa

- Una tuerca de métrica 8:



Figura 7.8.5: Pieza "Tuerca M8" una vez impresa

- Una tuerca de métrica 10:

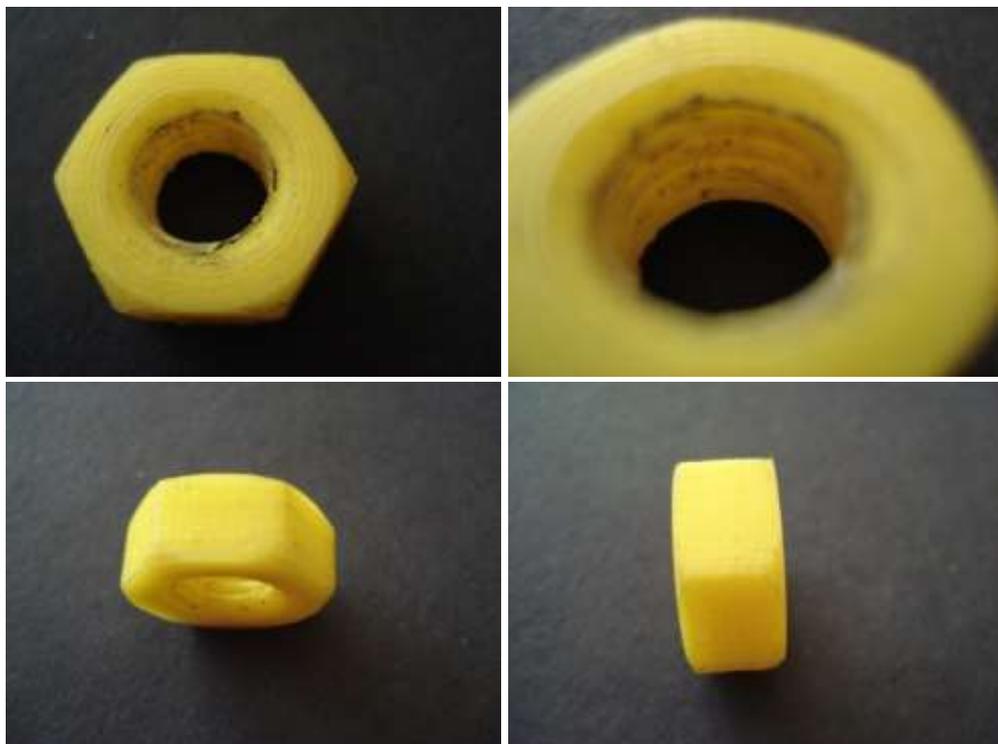


Figura 7.8.6: Pieza "Tuerca M10" una vez impresa

Como resultado se puede concluir que la rosca que se obtiene en las piezas de métrica 8 es mejor que en las de métrica 10, sobre todo en las tuercas ya que en la tuerca de métrica 10 aparecen zonas con acumulación de material entre los filetes de la rosca haciendo que no se pueda enroscar correctamente.

Esto se puede observar en las siguientes fotografías del tornillo y la tuerca de métrica 8 enroscados entre sí:

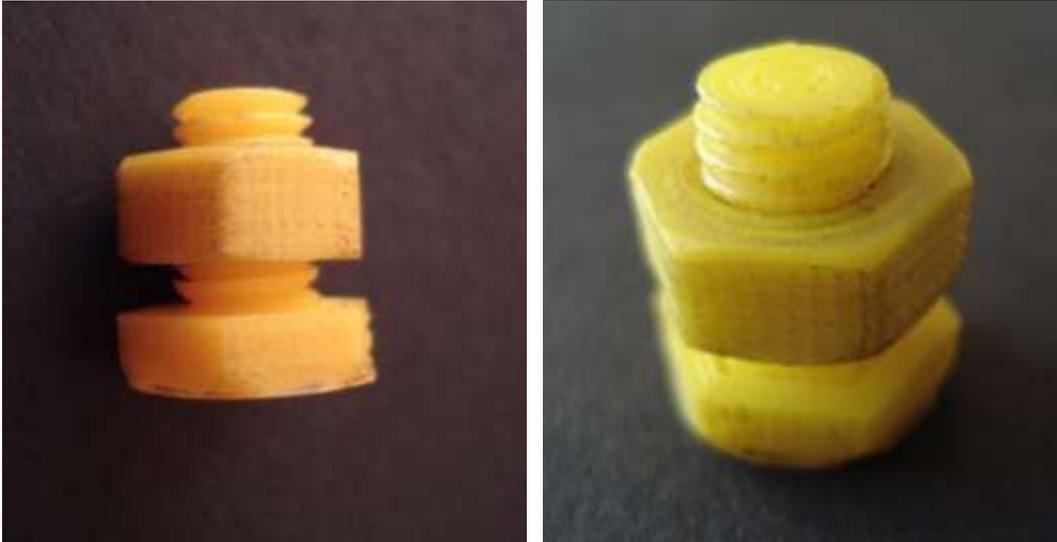


Figura 7.8.7: Tornillo y tuerca de métrica 8 enroscadas entre sí

Mientras que la pieza "Tornillo allen M10" con un buen acabado en las roscas tampoco enrosca bien con la tuerca:



Figura 7.8.8: "Tornillo allen M10" y "Tuerca m10" enroscados entre sí

En la pieza "Tornillo M10" que tiene un acabado peor que la pieza anterior tampoco se enrosca correctamente:



Figura 7.8.9: "Tornillo M10" y "Tuerca m10" enroscados entre sí

El hecho de que la rosca tenga un peor acabado en las piezas de mayor métrica se debe a que existe una mayor cantidad de material en los filetes que son de mayor tamaño, lo que hace que sea más probable que se levanten las puntas de los filetes quedando estos con una forma incorrecta.

Otra de las características de gran interés que se puede estudiar es la posibilidad de crear una pieza a partir de la unión de piezas menores formando un conjunto completo. Esto se ha podido estudiar a partir de la pieza "Planta" en la que las dos partes superiores han sido impresas con los siguientes parámetros:

Altura de capa	0.2mm
Altura de la primera capa	0.4mm
Capas sólidas	Capas superiores: 9
	Capas inferiores: 7
Umbral de area a partir de la que se hace relleno sólido	70mm ²
Brim	0mm
Diámetro del filamento	2.93mm
Temperatura del extrusor	Primera capa: 235°C
	Resto de capa: 225°C
Temperatura de la cama	Primera capa: 80°C
	Resto de capa: 80°C

Tabla 7.8.2: Parámetros de impresión de las dos partes superiores de la pieza "Planta"

Siendo el proceso de impresión:



Figura 7.8.10: Proceso de impresión de las dos partes superiores de la pieza "Planta"

Y el resultado final:



Figura 7.8.11: Primera de las dos partes superiores de la pieza "Planta" una vez impresa



Figura 7.8.12: Segunda de las dos partes superiores de la pieza "Planta" una vez impresa

Mientras que la impresión de la parte inferior se realizó con los mismos parámetros que las otras dos partes pero con 5mm de brim:

Altura de capa	0.2mm
Altura de la primera capa	0.4mm
Capas sólidas	Capas superiores: 9
	Capas inferiores: 7
Umbral de area a partir de la que se hace relleno sólido	70mm ²
Brim	5mm
Diámetro del filamento	2.93mm
Temperatura del extrusor	Primera capa: 235°C
	Resto de capa: 225°C
Temperatura de la cama	Primera capa: 80°C
	Resto de capa: 80°C

Tabla 7.8.3: Parámetros de impresión de la parte inferior de la pieza "Planta"

Quedando:



Figura 7.8.13: Parte inferior de la pieza "Planta" una vez impresa

Y una vez unidas las tres partes se obtiene:

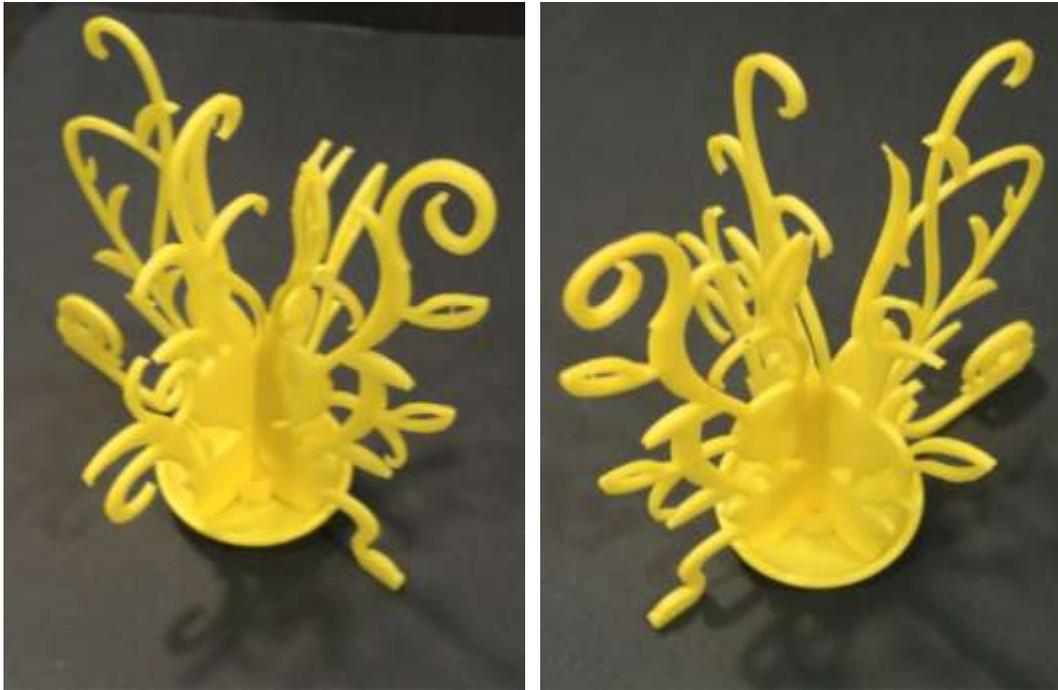


Figura 7.8.14: Unión de las tres partes de la pieza "Planta"

Con esto se puede demostrar que no es necesario imprimir una pieza de una sola impresión, se puede realizar por partes y posteriormente unirlos.

8. Conclusiones generales

Como conclusiones finales de este trabajo se puede deducir:

- En cuanto a lo que se refiere a medidas dimensiones de las piezas, se ha demostrado que la impresora es capaz realizar las piezas dentro de la tolerancia admitida que ya se explicó que corresponde a la altura de capa en planos según avanzan las capas y 0.4mm en el resto de planos. Pero existe en la mayoría de las piezas una contracción del material quedando la pieza siempre por debajo de las medidas nominales que se impusieron al diseñarla. Esto se debe a que al salir del extrusor el material está a una alta temperatura y después de depositarse se enfría y se contrae.

- En lo que se refiere a la concentricidad entre cilindros que es capaz de realizar la impresora, se puede concluir que estas son correctas entre cilindros cercanos en el espacio y que no tengan gran variación de diámetro.

- Al realizar el estudio de la capacidad de representación de cilindros horizontales se puede concluir que los cilindros de radios muy grandes no quedan con una correcta curvatura ya que la altura de capa no es capaz de realizar correctamente los “escalones” que forman la curvatura.

- Respecto a la capacidad de realización de distintas inclinaciones se puede deducir tras la realización de este trabajo, que esta impresora no tiene ningún problema que se detecte visualmente en la realización de inclinaciones con distintas pendientes mientras que estas sean ascendentes. Aunque sí que aparecen problemas si el grado de inclinación se mide más exactamente, ya que tras el estudio realizado con la Máquina de Medición por Coordenadas se puede concluir que en inclinaciones de gran pendiente no coincide exactamente con el ángulo indicado durante el diseño de la pieza.

- Si se intenta realizar pendientes en vuelo hay que tener en cuenta que con una inclinación respecto al plano horizontal de menos de 25° aparecerán levantamientos en las zonas con mayor material en voladizo debido a la contracción. Estos levantamientos harán que no se pueda realizar correctamente la pieza deseada.

- Otra conclusión de gran importancia si se procede a realizar una impresión con una impresora 3D es el correcto posicionamiento de la pieza cuando se genera el G-Code para que luego los comandos tengan un orden correcto cuando se realice la impresión. Con un correcto posicionamiento se pueden evitar o conseguir mejores acabados en pendientes o en voladizos. En este trabajo el posicionamiento se ha realizado con el programa nettfabb.

- También se debe considerar el material con el que se trabaja, ya que existen muchas diferencias entre el PLA y el ABS. En cuanto al acabado es mejor el ABS, además posteriormente a la impresión se puede dar un baño de acetona y conseguir un mejor acabado. Pero en cuanto a la adhesión a la cama, se puede concluir que el levantamiento de esquinas no existe en el PLA, pero si en el ABS por lo que hay que tenerlo muy en cuenta en la elección de los parámetros que se utilizan en la impresión, tanto en la opción de añadir “brim” como en la elección de la temperatura de la cama.

- En relación a la adhesión a la cama, se puede concluir que es más adecuado para una buena adhesión una alta temperatura en la cama, siendo la máxima que alcanza esta impresora unos 85°C, también es muy conveniente una altura de capa de pequeño tamaño, en este caso se ha logrado la mejor adhesión con una altura de capa de 0.1mm, pero también es recomendable el hecho de reducir la velocidad de los parámetros indicados por el programa Slic3r para obtener una adhesión óptima.

- Se puede añadir que para zonas con gran vuelo o con partes en el aire se puede indicar en el Slic3r que se añada material de aporte que sirve de apoyo a las zonas de la pieza que no tienen donde apoyarse. Este material de aporte se retira una vez concluida la impresión de la pieza.

- Respecto al acabado de las piezas se puede indicar que cuanto menor es la altura de capa mejor será, pudiendo darse posteriormente un baño de acetona para pulir todas las zonas.

- Unido con el acabado y con el material de aporte hay que indicar que se debe tener constancia de que en las partes superiores curvas pueden aparecer agujeros por la forma del relleno y caer por esas zonas el material de la pieza y dejar un mal acabado, esto se puede solucionar con un umbral de area a partir de la que se hace relleno sólido, con más capas en la zona superior o con el aporte de material que luego se retirará.

- También se puede añadir que la impresora es capaz de imprimir roscas, pero hay que tener en cuenta que si tienen el filete demasiado grande este puede levantarse y quedar mal.

- Como final para estas conclusiones, se puede añadir que no es necesario realizar la pieza de una sola impresión, se puede imprimir en distintas partes y posteriormente unirse quedando una pieza final única.

9. Bibliografía y referencias

[1]:

http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/3Dratchet_wrench/index.html

[2]:

<http://www.elmundo.es/economia/2015/02/02/54cbd5baca4741a0058b4579.html>

[3]:

<http://www.elmundo.es/el-mundo-tv/2014/04/29/535f6241e2704ebc748b456d.html>

[4]:

<http://www.impresoras3d.com/protesis-e-impresion-3d-la-combinacion-perfecta/>

http://sociedad.elpais.com/sociedad/2013/11/12/actualidad/1384289478_726164.html

http://cincodias.com/cincodias/2014/07/16/empresas/1405532987_299032.html

[5]:

<http://www.impresoras3d.com/empresa-consigue-crear-notas-manuscritas-con-una-impresora-3d/>

[6]:

http://www.elconfidencial.com/tecnologia/2013-11-23/espana-se-adelanta-a-la-nasa-crean-la-primera-impresora-3d-de-comida_57859/

[7]:

<http://www.impresoras3d.com/impresoras-3d-en-las-bibliotecas-estadounidenses/>

[8]:

<http://www.impresoras3d.com/ge-oil-gas-utiliza-la-impresion-3d-para-la-fabricacion-de-piezas-y-prototipos/>

[9].

<http://www.impresoras3d.com/volvo-trucks-incorpora-sistemas-de-impresion-3d-de-stratasys/>

[10]:

<http://www.impresoras3d.com/fabrican-un-coche-con-una-impresora-3d-en-44-horas/>

[11]:

<http://www.impresoras3d.com/primer-motor-a-reaccion-para-aviones-mediante-impresion-3d/>

[12]:

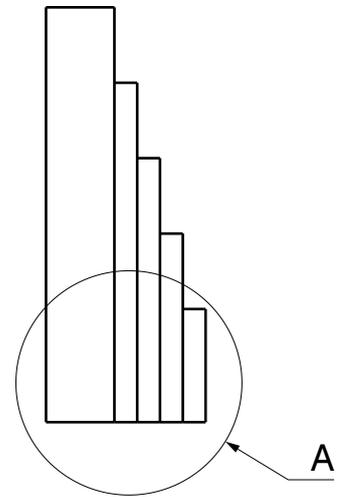
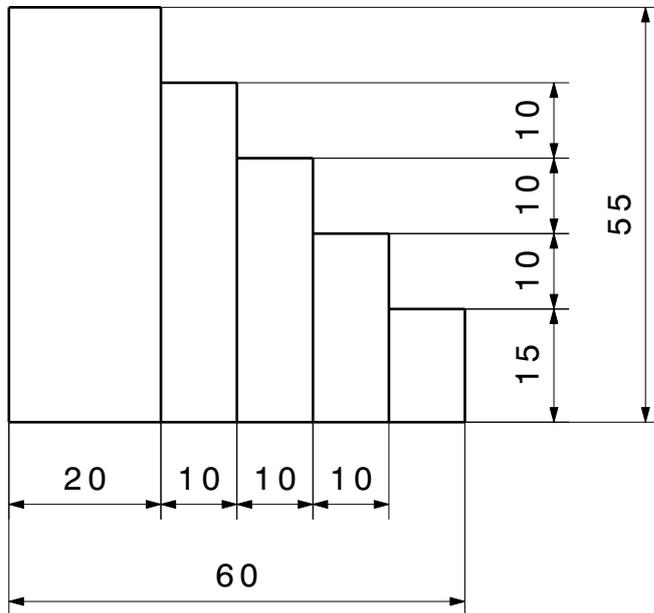
<http://www.impresoras3d.com/impresion-3d-y-medio-ambiente/>

Las webs consultadas para la descripción de los materiales son:

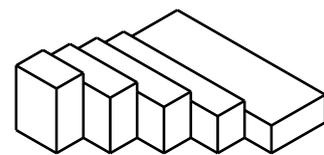
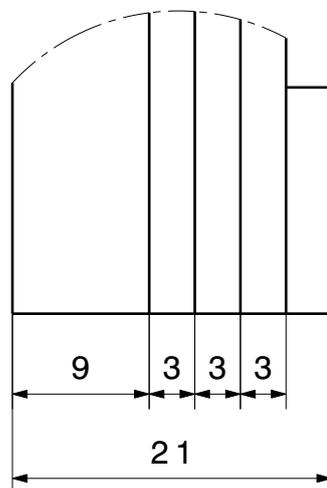
<http://www.eis.uva.es/~biopolimeros/alberto/pla.htm>

<http://www.textoscientificos.com/polimeros/acido-polilactico>

<http://www.textoscientificos.com/polimeros/abs>

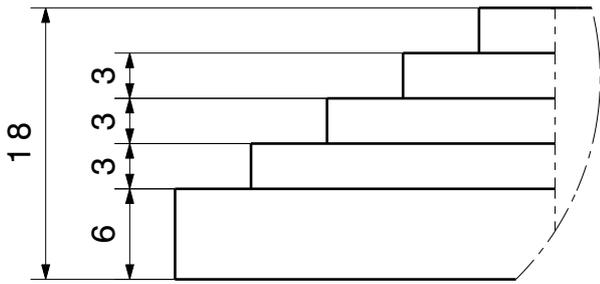


Detalle A
Escala: 2:1

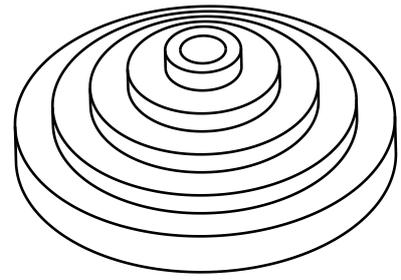


Vista Isométrica
Escala: 1:2

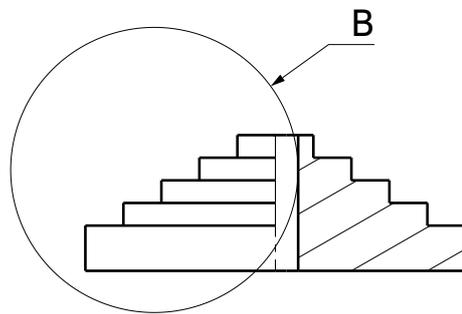
Fecha	Material ABS y PLA	Universidad de Valladolid	Escuelas de Ingenierías Industriales
05/2015			
Escala 1:1	Denominación Anexo 1		Grado en Ingeniería Mecánica
			Nombre: Ignacio González Conde
			Trabajo Fin de Grado



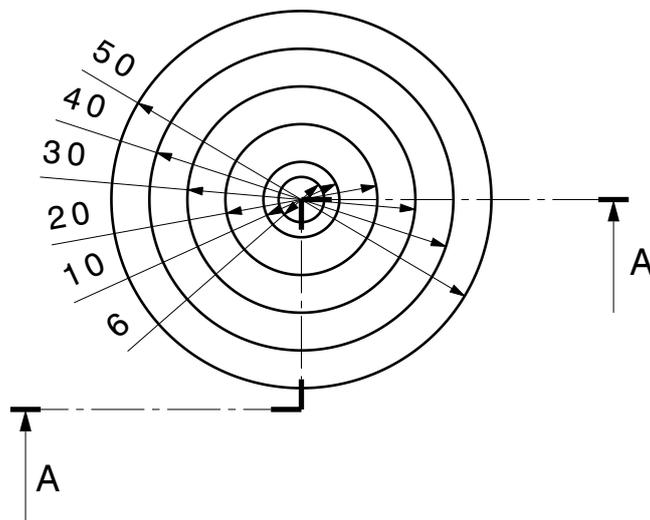
Detalle B
Escala 2:1



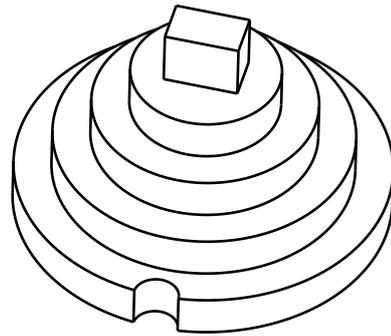
Vista Isométrica
Escala: 1:1



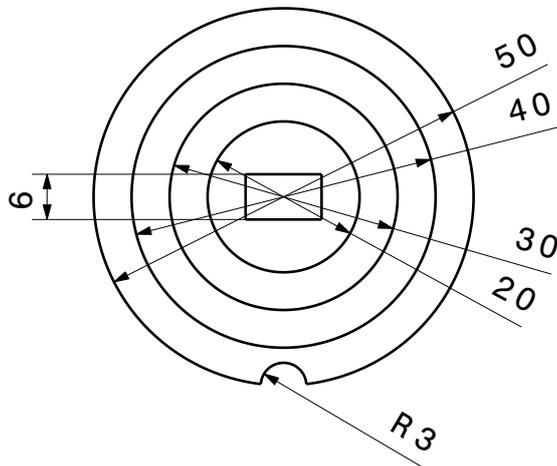
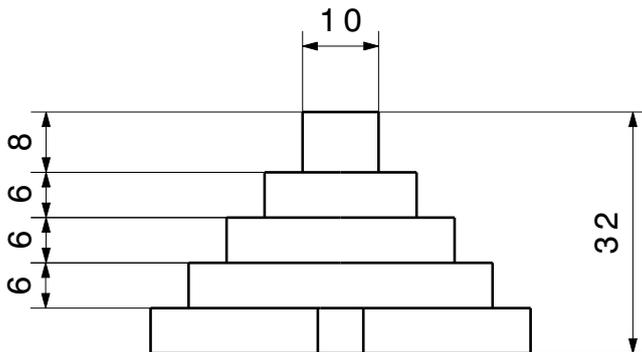
Sección A



Fecha	Material: PLA	Universidad de Valladolid	Escuelas de Ingenierías Industriales
05/2015			
Escala	Denominación: Anexo 2	Grado en Ingeniería Mecánica	
1:1		Nombre: Ignacio González Conde	
		Trabajo Fin de Grado	

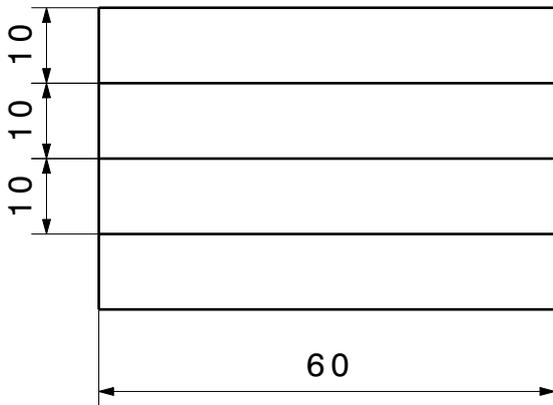
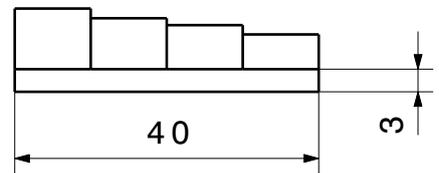
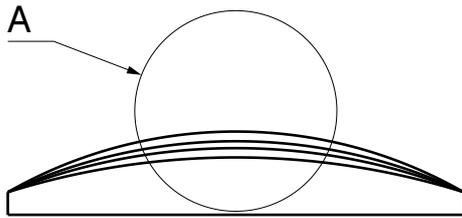
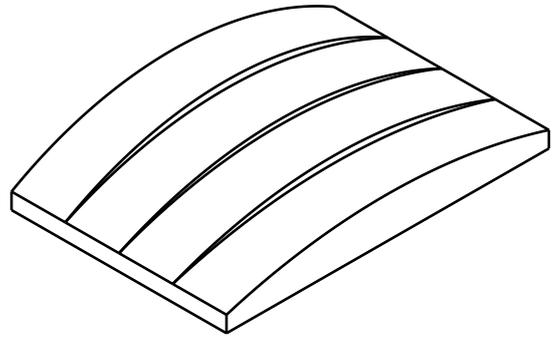


Vista Isométrica
Escala: 1:1

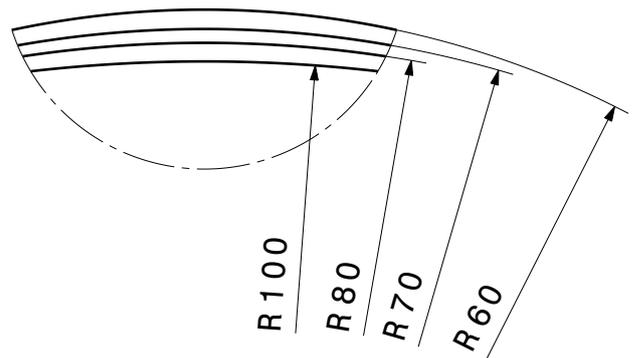


Fecha	Material ABS	Universidad de Valladolid	Escuelas de Ingenierías Industriales
05/2015			
Escala 1:1	Denominación Anexo 3		Grado en Ingeniería Mecánica
			Nombre: Ignacio González Conde
			Trabajo Fin de Grado

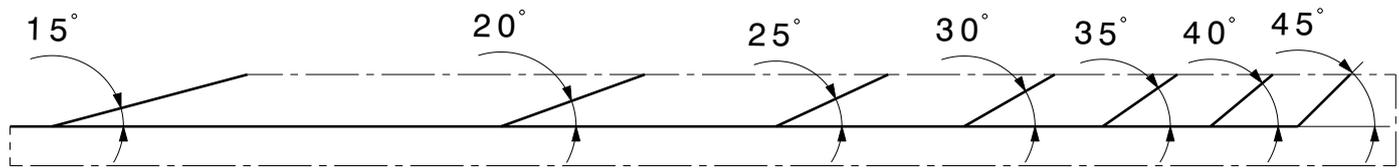
Vista Isométrica
Escala 1:1



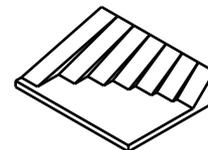
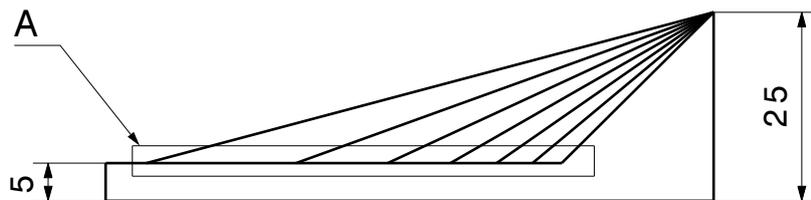
Detalle A
Escala: 2:1



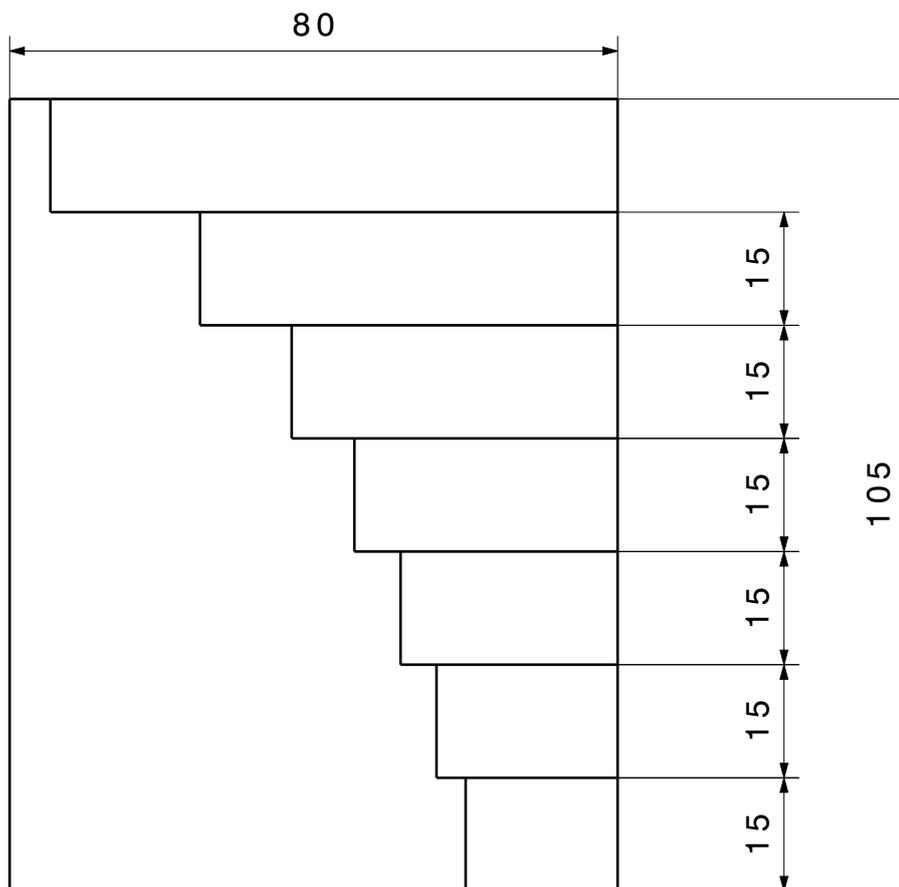
Fecha	Material: ABS	Universidad de Valladolid	Escuelas de Ingenierías Industriales
05/2015			
Escala 1:1	Denominación: Anexo 4	Grado en Ingeniería Mecánica	
		Nombre: Ignacio González Conde	
		Trabajo Fin de Grado	



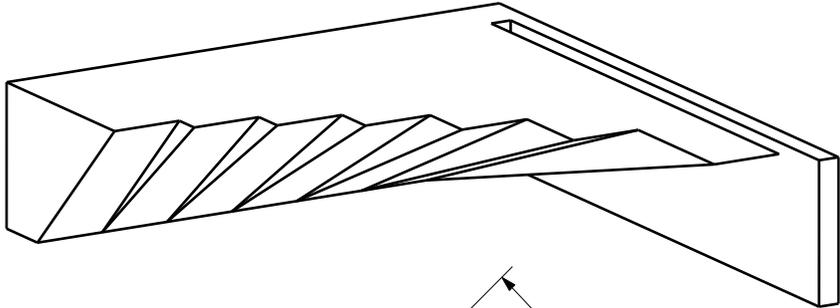
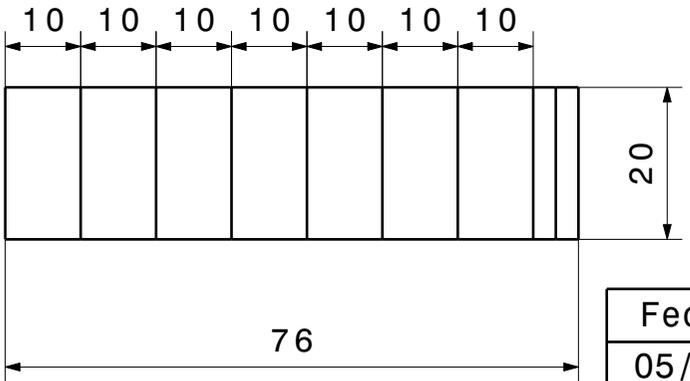
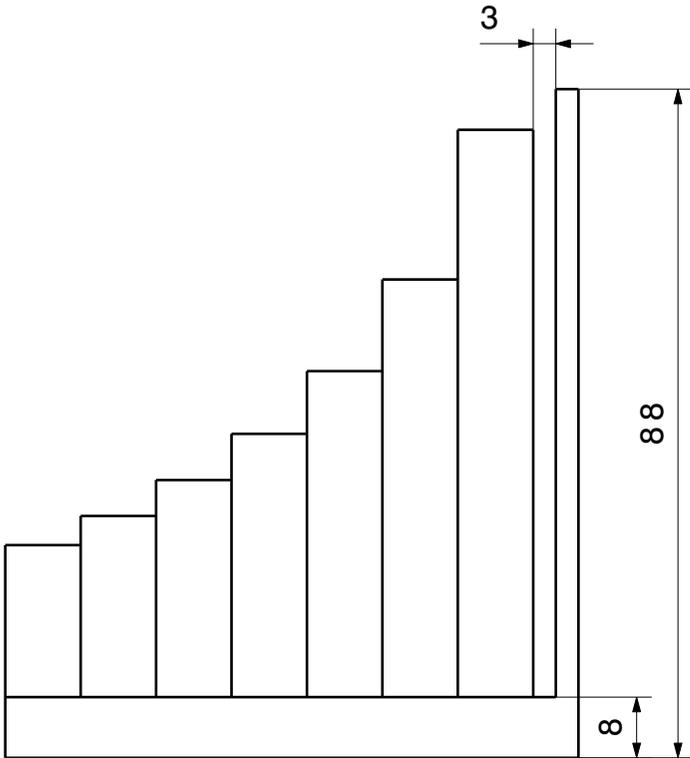
Detalle A
Escala 3:1



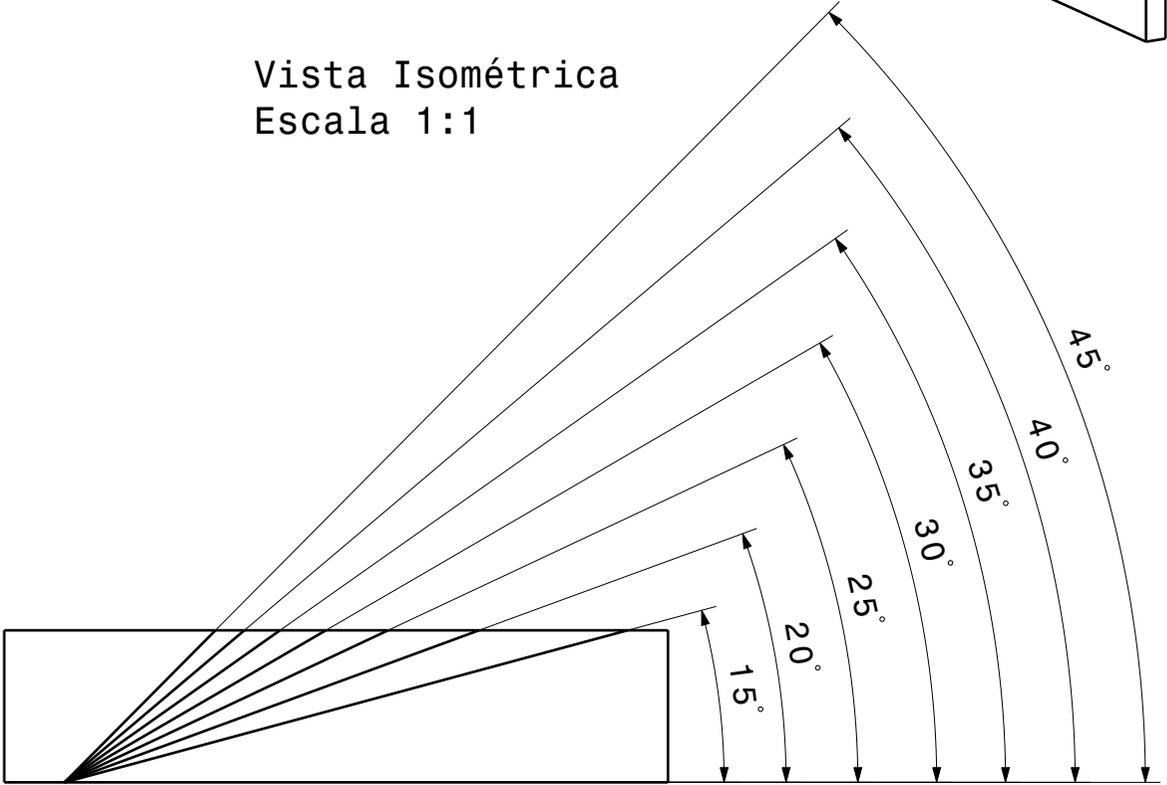
Vista Isométrica
Escala: 1:5



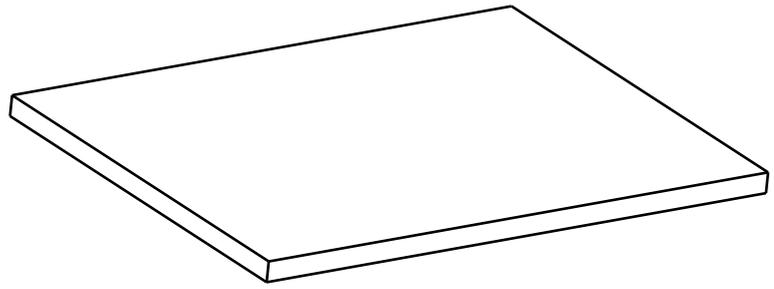
Fecha	Material ABS	Universidad de Valladolid	Escuelas de Ingenierías Industriales
05/2015			
Escala 1:1	Denominación Anexo 5		Grado en Ingeniería Mecánica
			Nombre: Ignacio González Conde
			Trabajo Fin de Grado



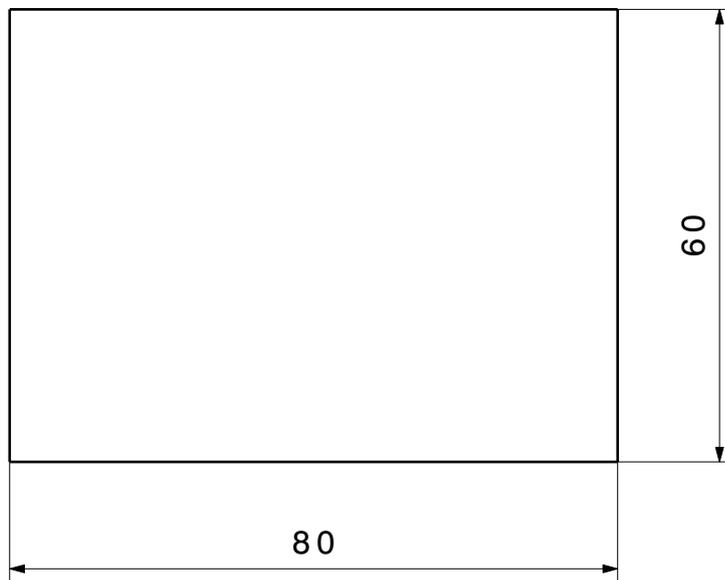
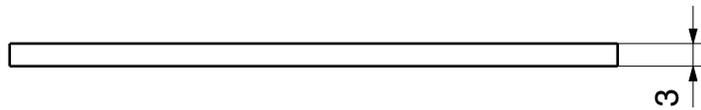
Vista Isométrica
Escala 1:1



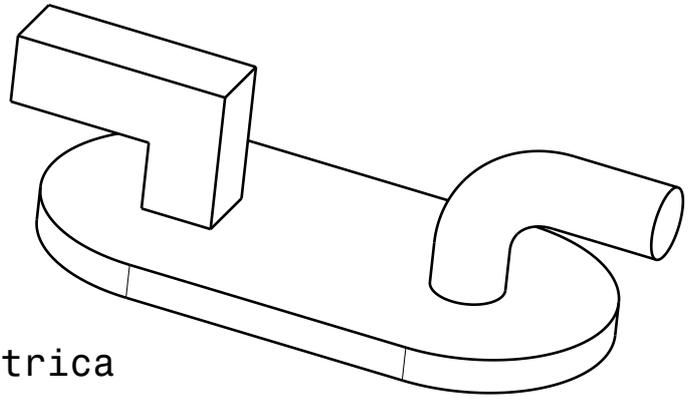
Fecha	Material: ABS	Universidad de Valladolid	Escuelas de Ingenierías Industriales
05/2015			
Escala	Denominación: Anexo 6	Grado en Ingeniería Mecánica	
1:1		Nombre: Ignacio González Conde	
		Trabajo Fin de Grado	



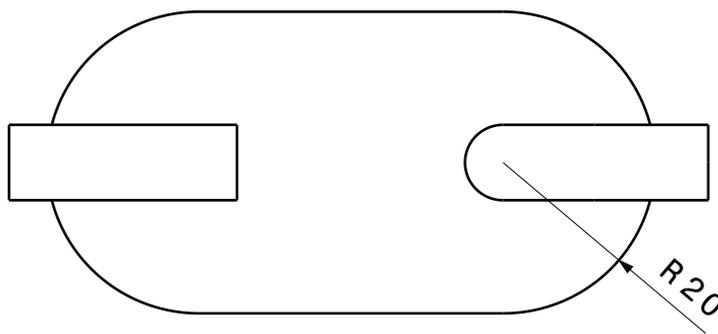
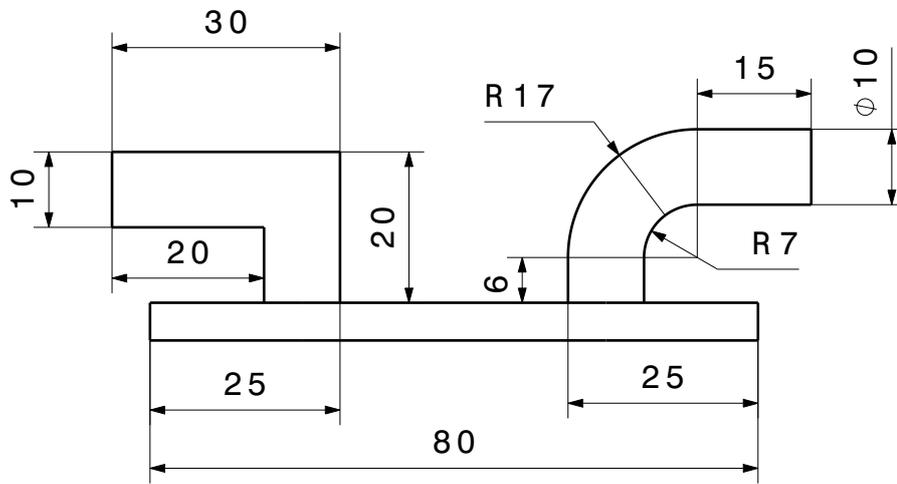
Vista Isométrica
Escala 1:1



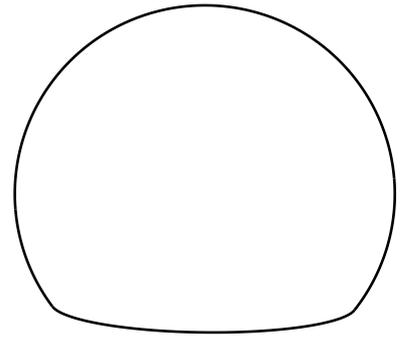
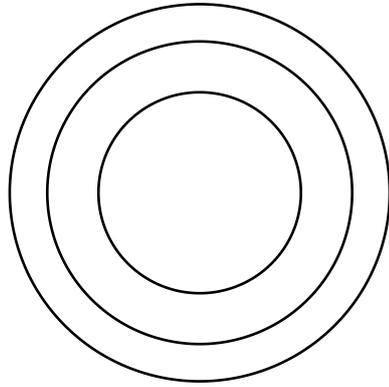
Fecha	Material ABS	Universidad de Valladolid	Escuelas de Ingenierías Industriales
05/2015			
Escala 1:1	Denominación Anexo 7		Grado en Ingeniería Mecánica
			Nombre: Ignacio González Conde
			Trabajo Fin de Grado



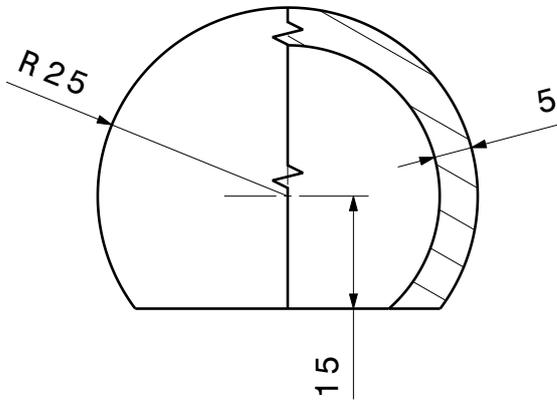
Vista Isométrica
Escala: 1:1



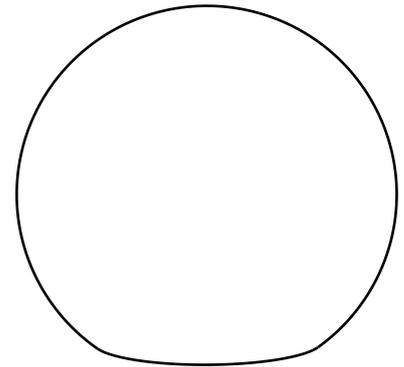
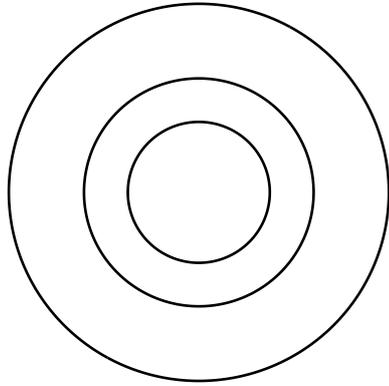
Fecha	Material: ABS y PLA	Universidad de Valladolid	Escuelas de Ingenierías Industriales
05/2015			
Escala 1:1	Denominación Anexo 8	Grado en Ingeniería Mecánica	
		Nombre: Ignacio González Conde	
		Trabajo Fin de Grado	



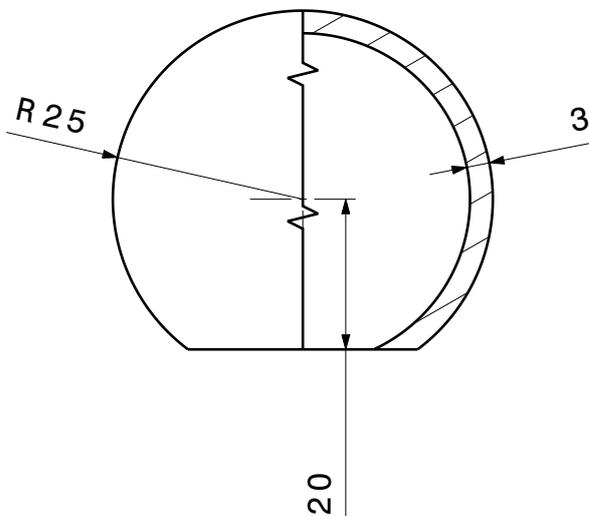
Vista Isométrica
Escala 1:1



Fecha	Material: ABS	Universidad de Valladolid	Escuelas de Ingenierías Industriales
05/2015			
Escala 1:1	Denominación Anexo 9		Grado en Ingeniería Mecánica
			Nombre: Ignacio González Conde
			Trabajo Fin de Grado



Vista Isométrica
Escala 1:1



Fecha	Material ABS	Universidad de Valladolid	Escuelas de Ingenierías Industriales
05/2015			
Escala 1:1	Denominación Anexo 10		Grado en Ingeniería Mecánica
			Nombre: Ignacio González Conde
			Trabajo Fin de Grado

Anexo 11, medidas de la pieza "Escalones" impresa apoyando la zona de mayor área realizadas con un calibre

	Medida nominal	1 ^a medida en pieza en PLA	2 ^a medida en pieza en PLA	3 ^a medida en pieza en PLA	4 ^a medida en pieza en PLA	5 ^a medida en pieza en PLA	Medida media en la pieza impresa en PLA	1 ^a medida en pieza en ABS	2 ^a medida en pieza en ABS	3 ^a medida en pieza en ABS	4 ^a medida en pieza en ABS	5 ^a medida en pieza en ABS	Medida media en la pieza impresa en ABS
Distancia entre plano inferior y primer plano	9mm	8,85	8,80	8,80	8,75	8,75	8,79	9,05	9,10	9,05	9,00	9,15	9,07
Distancia entre plano inferior y segundo plano	12mm	11,85	11,75	11,65	11,70	11,85	11,76	12,00	11,90	11,95	12,10	12,10	12,01
Distancia entre plano inferior y tercer plano	15mm	14,75	14,65	14,60	14,60	14,70	14,66	15,05	14,95	15,05	15,10	15,15	15,06
Distancia entre plano inferior y cuarto plano	18mm	17,75	17,85	17,65	17,85	17,75	17,77	18,10	18,10	18,05	18,15	18,10	18,10
Distancia entre plano inferior y quinto plano	21mm	20,70	20,80	20,45	20,75	20,60	20,66	21,00	20,95	21,00	21,00	21,00	20,99

Anexo 12, medidas de la pieza "Escalones" impresa en vertical realizadas con un calibre

	Medida nominal	1 ^a medida en pieza en PLA	2 ^a medida en pieza en PLA	3 ^a medida en pieza en PLA	4 ^a medida en pieza en PLA	5 ^a medida en pieza en PLA	Medida media en la pieza impresa en PLA	1 ^a medida en pieza en ABS	2 ^a medida en pieza en ABS	3 ^a medida en pieza en ABS	4 ^a medida en pieza en ABS	5 ^a medida en pieza en ABS	Medida media en la pieza impresa en ABS
Distancia entre plano inferior y primer plano	15	14,85	14,60	14,70	14,70	14,90	14,75	14,80	14,75	14,75	14,75	14,80	14,77
Distancia entre plano inferior y segundo plano	25	24,80	24,60	24,65	24,65	24,80	24,70	24,80	24,75	24,75	24,75	24,75	24,76
Distancia entre plano inferior y tercer plano	35	34,65	34,60	34,50	34,70	34,75	34,64	34,70	34,70	34,65	34,70	34,75	34,70
Distancia entre plano inferior y cuarto plano	45	44,60	44,60	44,45	44,80	44,75	44,64	44,60	44,65	44,70	44,80	44,65	44,68
Distancia entre plano inferior y quinto plano	55	54,70	54,70	54,55	54,60	54,75	54,66	54,55	54,60	54,70	54,65	54,65	54,63

Anexo 13, medidas de los planos restantes realizadas con un calibre

	Medida nominal	1 ^a medida en pieza en PLA	2 ^a medida en pieza en PLA	3 ^a medida en pieza en PLA	4 ^a medida en pieza en PLA	5 ^a medida en pieza en PLA	Medida media en la pieza impresa en PLA	1 ^a medida en pieza en ABS	2 ^a medida en pieza en ABS	3 ^a medida en pieza en ABS	4 ^a medida en pieza en ABS	5 ^a medida en pieza en ABS	Medida media en la pieza impresa en ABS
Distancia entre plano inferior y primer plano	10	9,80	9,80	9,60	9,65	9,80	9,73	10,15	10,05	10,05	10,10	10,15	10,10
Distancia entre plano inferior y segundo plano	20	19,75	19,65	19,65	19,65	19,75	19,69	20,05	19,95	19,95	20,00	19,95	19,98
Distancia entre plano inferior y tercer plano	30	29,70	29,70	29,75	29,70	29,65	29,70	30,00	29,85	29,90	29,90	30,00	29,93
Distancia entre plano inferior y cuarto plano	40	39,70	39,65	39,55	39,60	39,65	39,63	39,95	39,85	39,85	39,85	39,90	39,88
Distancia entre plano inferior y quinto plano	60	59,70	59,60	59,65	59,75	59,80	59,70	59,75	59,75	59,75	59,70	59,80	59,75

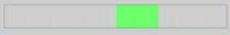
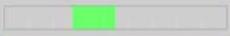
Anexo 14, medidas de la pieza "Concentricidad v2" realizadas con la Máquina de Medición por Coordenadas

pcodmis®		NOMBRE DE PIEZA : Concentricidad v2					marzo 19, 2015	21:11
		NUMERO DE REV :			NUMERO DE SERIE :		CUENTA DE ESTADS : 1	
⊙	MM	CONCEN1 - CIR50 A CIR40						
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL		
M	0.000	0.075	0.100	0.000	0.075	0.000		
⊙	MM	CONCEN2 - CIR50 A CIR30						
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL		
M	0.000	0.072	0.100	0.000	0.072	0.000		
⊙	MM	CONCEN3 - CIR50 A CIR20						
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL		
M	0.000	0.174	0.100	0.000	0.174	0.074		
⊕	MM	UBIC1 - CIR50						
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL		
D	50.000	49.675	0.000	-0.400	-0.325	0.000		
⊕	MM	UBIC2 - CIR40						
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL		
D	40.000	39.666	0.000	-0.400	-0.334	0.000		
⊕	MM	UBIC3 - CIR30						
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL		
D	30.000	29.742	0.000	-0.400	-0.258	0.000		
⊕	MM	UBIC4 - CIR20						
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL		
D	20.000	19.604	0.000	-0.400	-0.396	0.000		
↔	MM	DIST4 - PLN1 A PLN2						
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL		
M	5.950	5.950	0.100	-0.100	0.000	0.000		
↔	MM	DIST1 - PLN2 A PLN3						
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL		
M	6.000	5.899	0.100	-0.100	-0.101	0.001		
↔	MM	DIST3 - PLN3 A PLN4						
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL		
M	6.000	5.944	0.100	-0.100	-0.056	0.000		
↔	MM	DIST7 - PLN4 A PLN5						
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL		
M	6.000	5.925	0.100	-0.100	-0.075	0.000		
↔	MM	DIST11 - PLN5 A PLN6						
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL		
M	8.000	8.037	0.100	-0.100	0.037	0.000		
↔	MM	DIST9 - PLN1 A PLN6						
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL		
M	32.000	31.796	0.100	-0.100	-0.204	0.104		

Anexo 15, medidas de la pieza "Curvatura" realizadas con la Máquina de Medición por Coordenadas

pcodmis®		NOMBRE DE PIEZA :				abril 14, 2015	13:00
		NUMERO DE REV :		NUMERO DE SERIE :		CUENTA DE ESTADS : 1	
⊕	MM	UBIC1 - CIR1					
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL	
R	100.000	111.629	5.000	-5.000	11.629	6.629	
⊕	MM	UBIC2 - CIR2					
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL	
R	80.000	85.689	5.000	-5.000	5.689	0.689	
⊕	MM	UBIC3 - CIR3					
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL	
R	70.000	73.709	5.000	-5.000	3.709	0.000	
⊕	MM	UBIC4 - CIR4					
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL	
R	60.000	64.276	5.000	-5.000	4.276	0.000	

Anexo 16; medidas de la pieza "Inclinación" realizadas con la Máquina de Medición por Coordenadas

		NOMBRE DE PIEZA :					abril 14, 2015	12:46
		NUMERO DE REV :			NUMERO DE SERIE :		CUENTA DE ESTADS : 1	
∠	GRAD	ANG1 - PLN1 A PLN2						
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL		
A	75.000	75.384	1.000	-1.000	0.384	0.000		
∠	GRAD	ANG3 - PLN1 A PLN3						
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL		
A	70.000	69.705	1.000	-1.000	-0.295	0.000		
∠	GRAD	ANG5 - PLN1 A PLN4						
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL		
A	65.000	64.114	1.000	-1.000	-0.886	0.000		
∠	GRAD	ANG7 - PLN1 A PLN5						
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL		
A	60.000	59.613	1.000	-1.000	-0.387	0.000		
∠	GRAD	ANG9 - PLN1 A PLN6						
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL		
A	55.000	55.973	1.000	-1.000	0.973	0.000		
∠	GRAD	ANG11 - PLN1 A PLN7						
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL		
A	50.000	52.720	1.000	-1.000	2.720	1.720		
∠	GRAD	ANG13 - PLN1 A PLN8						
EJE	NOMINAL	MED	+TOL	-TOL	DESV	FUERATOL		
A	45.000	47.655	1.000	-1.000	2.655	1.655	