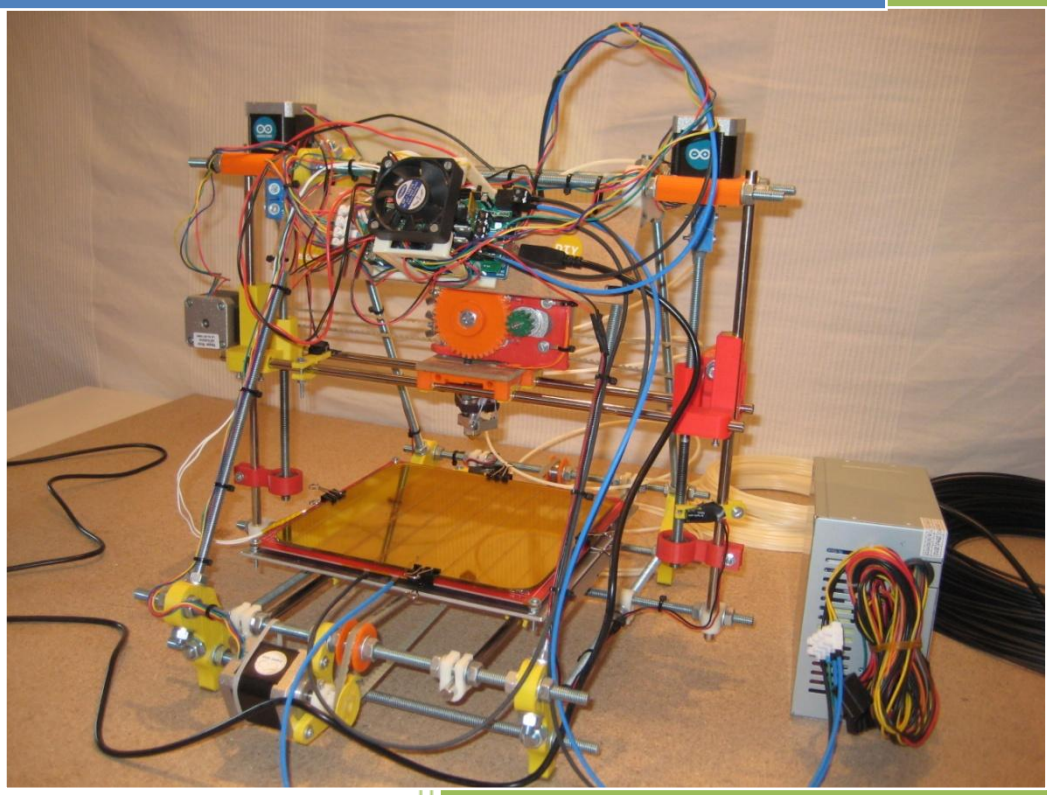
Universidad
Carlos III de Madrid

Trabajo Fin de Grado

2012

Protocolo de calibración y optimización mecánica de una impresora 3D open source



Departamento de Ingeniería de sistemas y automática

Autor: Arturo Vera García 100077384

Tutor: Juan González Gómez

Director: Alberto Valero Gómez

04/07/2012

Un pequeño manual para dar un paso hacia el futuro

ÍNDICE

1. Introducción…….…….....9
2. Estado del Arte…….……10
2.1. Proyecto Reprap…….…….....12
2.2. MakerBot Industries…….…21
2.3. Proyecto Clone Wars…….……..…23
3. Objetivos…….…..……26

Bloque 1……...…….27
4. Optimización Mecánica……...……28
4.1. Mejoras en el eje X……..……...…….29
4.2. Mejoras en el eje Y…….……...…..32
4.3. Mejoras en el eje Z……...……35
4.4. Mejoras en el Extrusor…….……..…….39
4.5. Mejoras en la Electrónica…….....…..42
4.6. Otras mejoras…….……...50

Bloque 2……...…….52
5. Protocolo de calibración……..……..…….53
5.1. Calibración mecánica……..…….54
5.2. Calibración del firmware……..……62
6. Pronterface……..……..68
7. Skeinforge 41……..……..74
7.1. Bottom……..……76
7.2. Dimension……..……...80
7.3. Fill…….……85
7.4. Lash……..…….89
7.5. Multiply……..……...91
7.6. Raft…….…….……..93
7.7. Speed…….…….……...97
7.8. Temperature…….…….……99

8. Presupuesto…….……101
9. Conclusiones……103

10. Anexos……..…...…104
10.1. Programa de diseño 3D OpenSCAD……....105
10.2. Youtube y Thingiverse……..…....108
10.3. Densidades del filamento plástico ABS……..….….111
10.4. Demostración de calibración y sistema auto replicable……..112
10.5. Futuras vías de investigación y actualizaciones……...…113

11. Bibliografía…….……114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: impresora 3D Darwin 12
Figura 2: impresora 3D Cupcake 14
Figura 3: impresora 3D Mendel 15
Figura 4: árbol genealógico Reprap 16
Figura 5: impresora 3D Prusa Mendel 17
Figura 6: impresora 3D Prusa Mendel iteración 2 18
Figura 7: impresora 3D Printbot 19
Figura 8: impresora 3D Thing-O-Matic 21
Figura 9: impresora 3D Replicator 22
Figura 10: impresora 3D Thing-O-Matic "Madre" 24
Figura 11: mejora carro eje X 30
Figura 12: unión del hot-end con el carro del eje X 31
Figura 13: unión del extrusor con el carro del eje X 31
Figura 14: mejora del motor del eje Y 32
Figura 15: mejora del engranaje del eje Y 33
Figura 16: mejora de la base caliente 34
Figura 17: pinzas de sujeción 34
Figura 18: mejora coupling 1 36
Figura 19: mejora coupling 2 37
Figura 20: mejora del eje Z 38
Figura 21: diferencias de impresión 38
Figura 22: mejora del extrusor 39
Figura 23: unión del sistema de impresión 1 40
Figura 24: unión del sistema de impresión 2 41
Figura 25: disipador MOSFET 43
Figura 26: disipador en el MOSFET de la RAMS 1.2 43
Figura 27: MOSFETS 45
Figura 28: cinta de desoldar 45
Figura 29: mejora ventilador 5x5 cm 1 46
Figura 30: mejora ventilador 5x5 cm 2 47
Figura 31: mejora ventilador 8x8 cm 1 47
Figura 32: mejora ventilador 8x8 cm 2 48
Figura 33: fieltro en mejora de la electrónica 49
Figura 34: otras mejoras 51
Figura 35: superficie plana 54
Figura 36: eje X horizontal izquierda 55

Figura 37: eje X horizontal centro 55
Figura 38: eje X horizontal derecha 56
Figura 39: eje Y horizontal 57
Figura 40: distancia hot-end base 57
Figura 41: calibre digital 59
Figura 42: marca eje X 59
Figura 43: marca eje Y 60
Figura 44: marca eje Z 60
Figura 45: configuración del firmware 63
Figura 46: tecla de guardado (Save) 64
Figura 47: tecla de cargar (Upload) 64
Figura 48: calibración Extrusor 65
Figura 49: marca en el filamento de ABS 66
Figura 50: homing 68
Figura 51: Pronterface con texto 71
Figura 52: Pronterface sin texto 71
Figura 53: tecla Shift 72
Figura 54: visión del .gcode 72
Figura 55: Skeinforge 41 75
Figura 56: efecto despegue 76
Figura 57: Bottom 77
Figura 58: primera capa 78
Figura 59: Carve 79
Figura 60: Cool 79
Figura 61: Pieza con Retraction (izquierda), pieza sin Retraction (derecha) 1 80
Figura 62: Pieza con Retraction (izquierda), pieza sin Retraction (derecha) 2 81
Figura 63: Pieza con Retraction (izquierda), pieza sin Retraction (derecha) 3 81
Figura 64: pieza sin Retraction con rebabas 82
Figura 65: pieza sin Retraction limpia 82
Figura 66: Dimension 83
Figura 67: Export 84
Figura 68: Fill 86
Figura 69: relleno hexagonal (0.3=30%) 87
Figura 70: cerrado de menos 87
Figura 71: cerrado de más 88
Figura 72: Lash 89
Figura 73: Limit 90
Figura 74: Multiply 91
Figura 75: Preface 92
Figura 76: Raft 1 94
Figura 77: Raft 2 95

Figura 78: capas del Raft 95
Figura 79: Skirt 96
Figura 80: Speed 98
Figura 81: Temperature 99
Figura 82: OpenSCAD 105
Figura 83: objeto antes de ser renderizado 107
Figura 84: objeto después de ser renderizado 107
Figura 85: objetos bajados e impresos de Thingiverse 108
Figura 86: piezas de mi Prusa Mendel 109
Figura 87: símbolo de la paz y herradura de la suerte 110
Figura 88: diferencia de impresión con plásticos de distinto color 111
Figura 89: piezas de la impresora 3D Prusa Air iteración 2 112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: presupuesto eje X 101
Tabla 2: presupuesto eje Y 101
Tabla 3: presupuesto eje Z 101
Tabla 4: presupuesto extrusor 102
Tabla 5: presupuesto electrónica 102
Tabla 6: presupuesto TOTAL 102

1
INTRODUCCIÓN

Este proyecto de fin de grado podría considerarse el volumen 2 de cómo hacer una impresora 3D open source, el volumen 1 correspondería al proyecto fin de grado realizado por Marco Esteban Illescas con el siguiente título: "Construcción y puesta en marcha de una impresora 3D open source". Puesto que ambos proyectos tienen como objetivo final que cualquier persona pueda montar y usar su propia impresora 3D modelo Prusa Mendel nos haremos alusión ambos proyectos en ciertas partes, por tanto para simplificar la llamada al proyecto de mi compañero lo referenciare como: "como se pudo ver en el Volumen 1" o "consultar Volumen 1" o simplemente "Volumen 1".

Las motivaciones que me llevaron a realizar este proyecto fueron el poder construir una impresora 3D para poder imprimir mis invenciones, aprender más sobre mecánica, actuadores, sensores, hardware y software. Pero sobre todo la principal motivación que me inspiro fueron los múltiples artículos científicos y no científicos que he leído diciendo que en un futuro cada casa tendrá su propia pequeña fábrica o taller en la cual construirán sus propios utensilios y muebles en diversos materiales. Los usuarios podrán comprar el diseño de un utensilio o mueble a una empresa o se lo pueden crear ellos mismos y luego lo construyen en casa abaratando así su coste. Me gusto la idea de poder realizar un manual para que las personas podamos tener en casa una pequeña fábrica, aunque esta sea de momento muy simple y así dar un paso más hacia el futuro.

Este manual estará dividido en dos grandes bloques, el primero de ellos estará dedicado a presentar todas las mejoras mecánicas introducidas en la impresora 3D así como otras múltiples mejoras que se pueden implementar y consejos sobre cual funciona mejor. El segundo bloque lo dedicaré a realizar un protocolo de calibración para que podamos imprimir con buena calidad y describiré los distintos parámetros que podemos encontrar en el programa software Skeinforge 41 para que podáis realizar cambios en la forma en la que imprime vuestra impresora.

Por último en el Anexo dedicare unos pequeños capítulos para que conozcáis un programa de diseño en 3D, de manera que podáis crear objetos y después imprimirlos, así como las webs donde tenéis todos los objetos y videos que he realizado para este proyecto, un pequeño consejo sobre los plásticos ABS, una prueba de la funcionalidad de mi impresora y propuestas sobre futuras investigaciones y actualizaciones.

2

Estado del Arte

Las impresoras 3D nacen de la idea de poder convertir en objetos reales diseños realizados con programas CAD. Se utilizan a día de hoy para la creación de prototipos, matricería o prefabricación de piezas en sectores como la arquitectura o el diseño industrial. Son además muy apropiadas en la creación de prótesis médicas, pues permiten adaptarlas a las características particulares de cada paciente. En el siguiente link [1] tenemos un artículo sobre la impresión del hueso de una mandíbula en 3D. Recientemente se ha hablado de enviar impresoras 3D a la Estación Espacial Internacional (ISS) para poder imprimir las piezas o utensilios que necesiten los astronautas para que no tengan que esperar a que les lleguen por medio de lanzaderas de carga. De esta manera desde la base en tierra les mandan los diseños y ellos los imprimen. El problema que tienen actualmente es el de poder imprimir en gravedad 0. En el siguiente link [2] encontrareis un artículo sobre este tema.

Existen en la actualidad varios tipos de impresoras 3D, por un lado están las de compactación de una masa de polvo por estratos, donde tenemos impresoras 3D de tinta que inyectan tinta aglomerante al polvo para compactarlo, la ventaja de usar tinta es que se pueden mezclar colores. Tenemos también impresoras 3D láseres, que polimerizan el polvo mediante la transmisión de energía, posteriormente al acabar la impresión se introduce la pieza en líquido para solidificarla. La ventaja de las impresoras 3D de tinta es que su proceso es más rápido y económico que el de las impresoras 3D láseres, y su desventaja, frente a las impresoras 3D láseres, es que las piezas que obtenemos son más frágiles.

Por otro lado tenemos impresoras 3D que usan la inyección de polímeros. Se basan en la inyección de resinas líquidas que son tratadas con luz ultravioleta, son los llamados fotopolímeros. Su ventaja frente a las de polvo es que no requieren un tiempo de espera al finalizar la impresión para empezar a manipular las piezas, además se caracterizan por su gran precisión y buen acabado superficial, haciéndolas idóneas, por ejemplo, para imprimir diseños de matricería. Cabe destacar también, que han sido las primeras impresoras en ser capaces de mezclar dos materiales distintos en una sola impresión. Su única pega es que al acabar la impresión hay que retirar unos soportes usados para la misma mediante un chorro de agua a presión.

También existen impresoras 3D que funcionan al 100% con energía solar. La electrónica y los motores son alimentados por placas solares y la impresión de piezas se realiza con arena, ya que mediante espejos concentran los rayos de luz solar en un punto, consiguiendo fundir la arena.

Todas las impresoras que he comentado son del tipo industrial, son grandes, difíciles de manejar y cuestan mucho dinero, su precio ronda las decenas de miles de euros. Por último, tenemos los tipos de impresora 3D, como el del modelo que se desarrolla en este proyecto y en todos los Proyectos Reprap, que están basadas en la extrusión en caliente de un filamento de plástico. Estas impresoras son mas para usuarios ya que son más pequeñas, manejables y baratas (en comparación con las anteriores). Se basan en empujar un hilo de plástico a través de un dispositivo, denominado hot-end, que se calienta hasta una temperatura capaz de fundir ligeramente el material plástico utilizado, ABS (220/230 ºC) o PLA (170/180ºC). Esta tecnología usada por las reprap se llama FFF (Fused Filament Fabrication). De esta manera, al llegar a la punta del dispositivo, que es mucho más fina que el filamento original, va expulsando un fino hilo de plástico que es depositando en una base. Esta base debe estar caliente para que el hilo extruido se vaya quedando pegado y así la máquina pueda ir creando la pieza capa a capa. Si la base no estuviera lo suficientemente caliente para que el hilo se pegase bien (110/120 ºC para ABS, 60/70 ºC para PLA), a la vez que la máquina va ascendiendo construyendo las capas superiores iría arrastrando las capas ya impresas desfigurando por completo la pieza en construcción.

Algunas impresoras de este último tipo, como el último modelo de MakerBot incluyen dos extrusores, uno de ellos va creando la pieza como se ha descrito, mientras que el otro rellena huecos que deben quedar vacíos con un material soluble en agua, de manera que al acabar la impresión, sumergimos la pieza en agua y los hueco que queríamos libres quedan perfectos. Esto hace que la impresión sea más sencilla y precisa para la máquina pues no tendrá que hacer tramos en el aire, llegando incluso a hacer posible la creación de diseños que, por este motivo de tener que imprimir en el aire, con los modelos anteriores no era posible imprimir. La única pega es que este material soluble es tres veces más caro que el plástico ABS o PLA.

2.1

Proyecto Reprap

El Proyecto Reprap nace en el año 2.005 gracias a la idea del ingeniero Adrian Bowyer de la Universidad de Bath, Reino Unido. El nombre Rerprap proviene de Replicating Rapid prototyper y su filosofía desde el inicio estuvo basada en diseños y desarrollos Open Source, motivados por su idea de que la industria nunca desarrollará una máquina auto-replicable porque no le saldría rentable.

Al cabo de tres años consiguieron desarrollar el primer modelo de impresora 3D del Proyecto Reprap, y así en Febrero del año 2.008 crearon la primera impresora 3D modelo Darwin "ver figura 1". A su vez, esta impresora consiguió crear su primera réplica en el Mayo de ese mismo año.

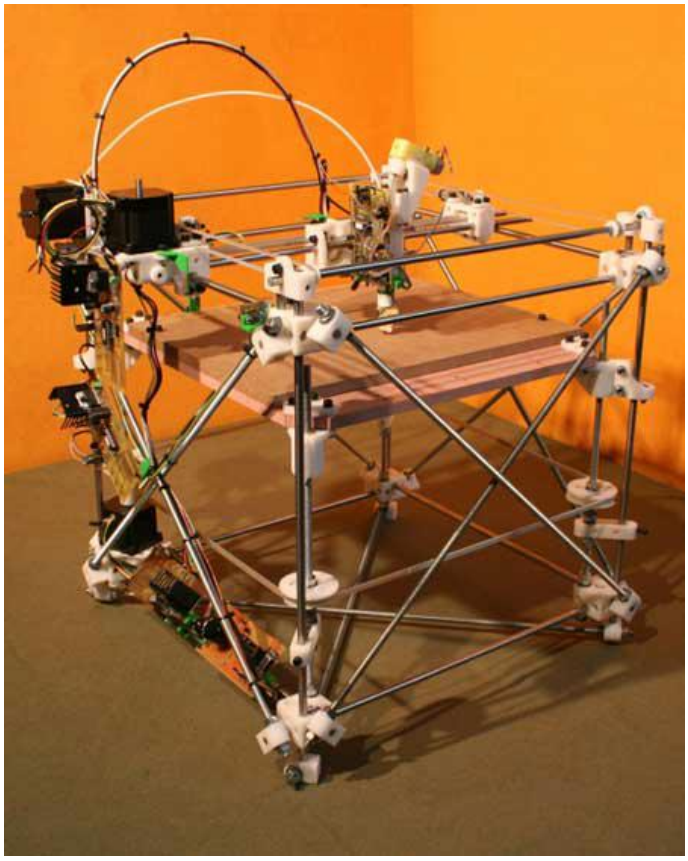


Figura 1: impresora 3D Darwin

El grupo de ingenieros del Proyecto Reprap creció mucho en poco tiempo y se creó la Reprap Foundation (Fundación Reprap) desde donde se venden piezas impresas. Uno de los impulsores de esta fundación fue el ingeniero Zach Smith, que por otro lado fue uno de los creadores de Makerbot.

Gracias a Reprap Foundation se comenzaron a impartir talleres por todo el mundo. El propio Zach Smith dirigió el taller que se celebró en Febrero de 2.009 en el Medialab Prado de Madrid, en el cual se construyó una Darwin.

Zach Smith aprovechó para dar a conocer la noticia de que habían creado MakerBot Industries, dónde cualquiera podría comprar el material necesario para construirse un modelo de impresora que habían desarrollado en MakerBot, la denominada Cupcake "ver figura 2", que costaba en total, incluyendo gastos de envío, alrededor de 715 €.

En este Medialab, se encontraba Juan González Gómez (uno de mis tutores en este proyecto), encargó una Cupcake que suponía la MakerBot número 8. Reconocen que era complicado montarla, requería soldadura y todo el ensamblado, ponerla en marcha, además también fue complicado imprimir con ella y daba muchos fallos.

Figura 2: impresora 3D Cupcake

Sin embargo esta Cupcake, a la que Juan González bautizó con el nombre de R1, le sirvió para imprimirse las piezas con las que se construyó dos años y medio después su propia Prusa Mendel, a la que bautizó como R2; e incluso con R2 tardó solo unos meses en imprimirse las piezas necesarias para construirse su tercera impresora 3D, una Prusa Mendel iteración 2 a la que denominó R3. Esto muestra como el mundo de las impresoras 3D es tan fascinante que llega a cautivar por completo a ingenieros entusiastas como Juan González Gómez que es ya todo un experto en este ámbito y el creador del grupo Clone Wars del que posteriormente se hablará en este proyecto.

Continuando con la historia del Proyecto Reprap, cabe destacar también que Zach Smith, que recordemos que era uno de los impulsores de Reprap Foundation creó la web Thingiverse, que podemos visitar en la siguiente dirección [3]. Creó esta web para subir sus diseños en 3D imprimibles y que los usuarios de impresoras 3D pudieran descargarlos. Hoy en día muchos usuarios son los que suben sus propios diseños para intercambiarlos con otros usuarios, pero además se utiliza para valorar los diseños de los demás, compartir información acerca del ensamblado de los diseños que se suben, etc.

El siguiente hecho importante del Proyecto Reprap se dio en Octubre del año 2.009, cuando terminaron el diseño del modelo Mendel "ver Figura 3". Este nuevo modelo supuso el mayor avance para Reprap, pues suponía haber conseguido una impresora aún más compacta y fácil de montar y replicar que las que ya existían.

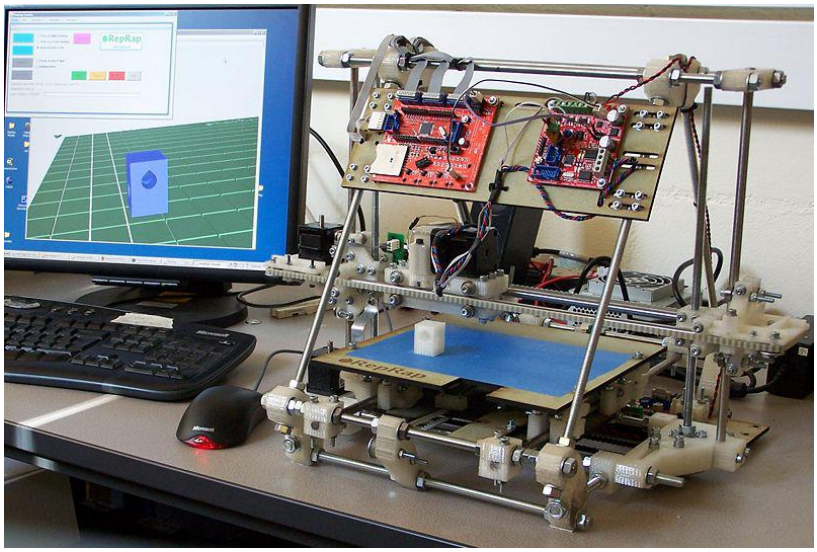


Figura 3: impresora 3D Mendel

Pero el modelo Mendel no se quedó sólo en eso, de él comenzaron a surgir modelos derivados como podemos ver en, lo que podemos llamar, el árbol genealógico del Proyecto Reprap "ver figura 4".

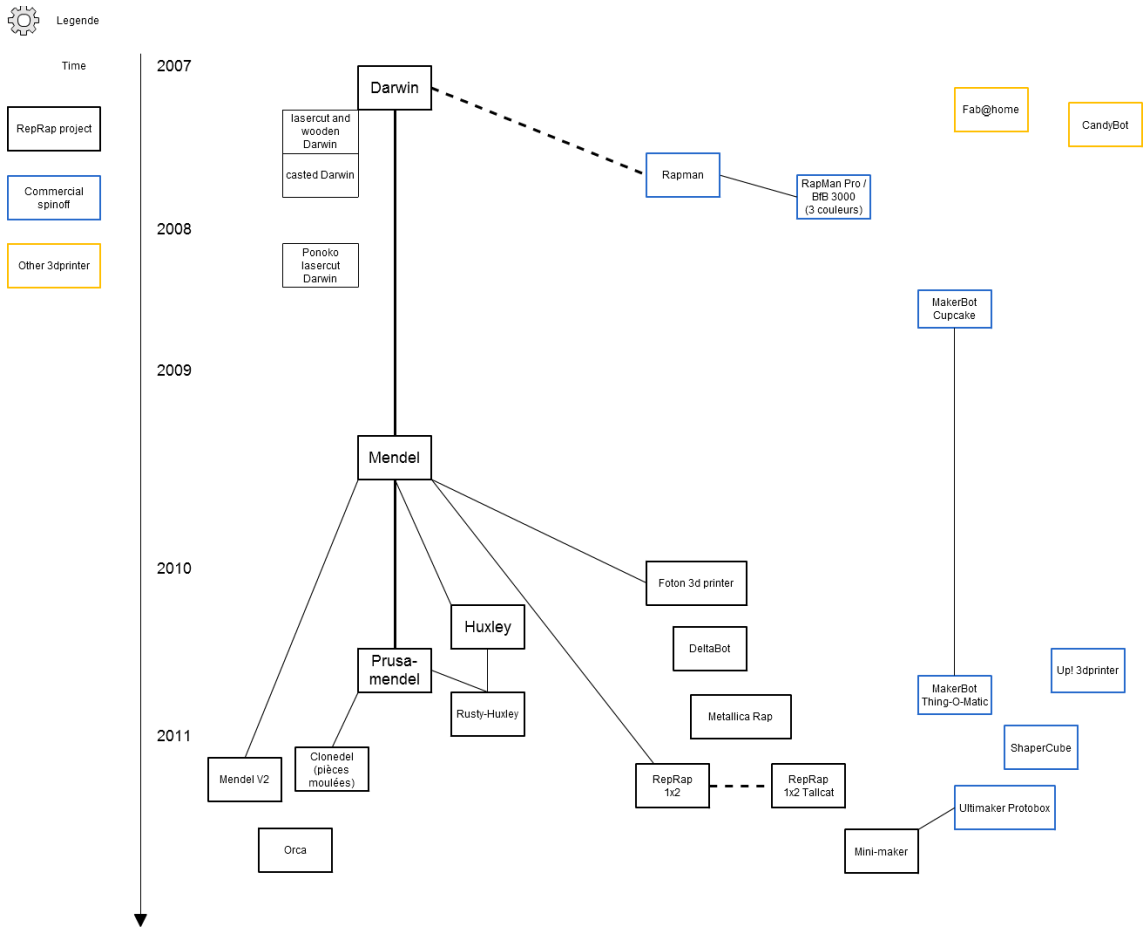


Figura 4: árbol genealógico Reprap

Este árbol genealógico no sólo muestra los modelos de impresoras 3D del Proyecto Reprap (los bordeados en negro según la leyenda de la figura), sino también los modelos comerciales (bordeados en azul) y los calificados como "Otras impresoras 3D", bordeados en amarillo.

El principal modelo derivado del Mendel podemos decir que fue la Prusa Mendel "ver figura 5". Este modelo fue desarrollado por el ingeniero alemán Josef Prusa, y terminado en Agosto del año 2.010. La Prusa Mendel supuso otro paso de gigante para el Proyecto Reprap pues era aún más simple que la Mendel, está muy bien documentada y enseguida se hizo popular. La Prusa Mendel es el modelo tratado en este proyecto y el modelo mejor valorado hasta la fecha del Proyecto Reprap.

En Noviembre del año 2.011, en menos de un año y medio desde que saliera el modelo Prusa Mendel, se hizo un taller en Colonia (Alemania) dónde se expuso la iteración 2 "ver figura 6" del modelo. Esta segunda versión incorporaba mejoras, como la incorporación de rodamientos lineales, y el rediseño de algunas piezas estructurales, entre otros. Aunque realmente no suponía una gran innovación respecto al modelo Prusa Mendel original.

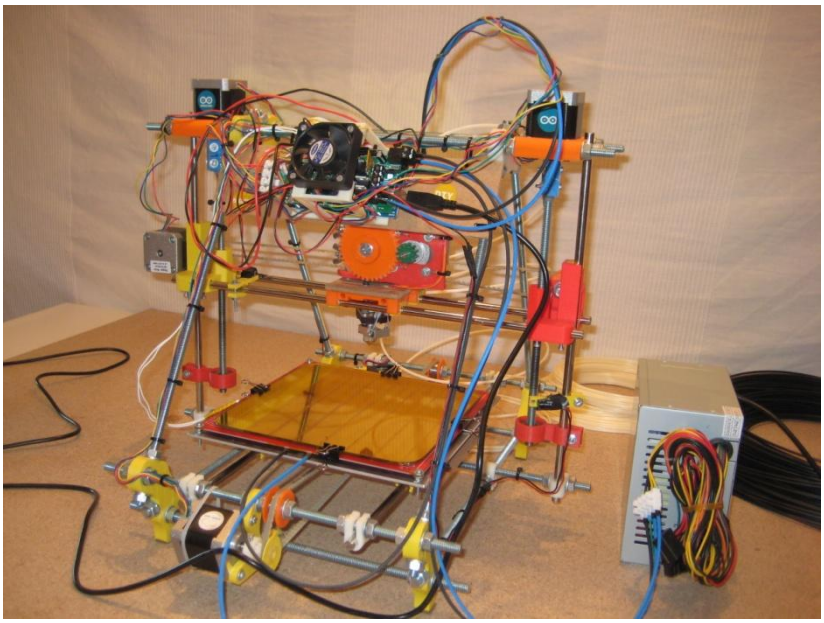


Figura 5: impresora 3D Prusa Mendel

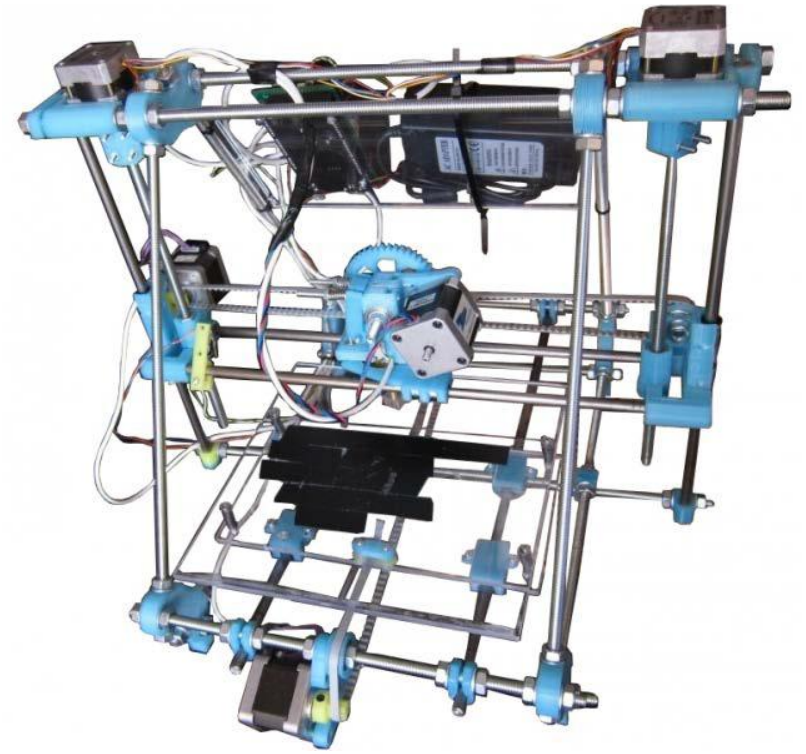


Figura 6: impresora 3D Prusa Mendel iteración 2

Por otro lado, el ingeniero estadounidense Brook Drumm concluyó en Diciembre de 2.011 un nuevo modelo de impresora 3D denominado Printrbot "ver figura 7" que está llamado a ser la revolución de las impresoras 3D. Este modelo es aún más simple y fácil de montar que el modelo Prusa Mendel. Además es expandible a lo largo de los tres ejes de movimiento, lo que significa que el tamaño de la impresora será personalizable por parte del usuario. El problema que tuvo es que solo estaba diseñada para métrica americana por lo que los usuarios europeos teníamos complicado construirla, pero ya hay varios ingenieros, miembros del proyecto Clone Wars, del que hablaremos más adelante, que están rediseñando las piezas para adaptarla a nuestra métrica, por lo que pronto será plenamente asequible en Europa hacerse una Printrbot.

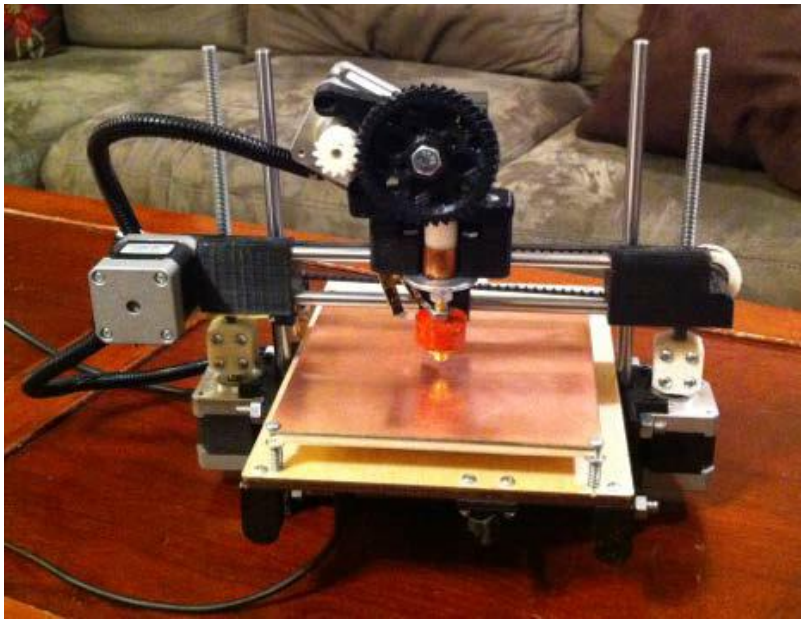


Figura 7: impresora 3D Printbot

El diseño de la Printrbot fue propuesto en Noviembre de 2.011, con la meta: Una impresora en cada casa y en cada colegio. Para realizarla se solicitó una financiación de 25.000 $, y se recibieron 830.000 $, 1.808 personas han aportado dinero.

Actualmente, Josef Prusa, está muy cerca de acabar lo que será la tercera versión del modelo Prusa Mendel. Esta vez, se supone que será una versión totalmente nueva, que, según se dice, parece mezclar aspectos de la Mendel, la Prusa Mendel y la Printrbot, pero habrá que esperar a que salga para ver si realmente es innovadora y es capaz de igualar o incluso superar a la Printrbot.

Para concluir con la historia del Proyecto Reprap, cabe destacar que tiene su propia página web [4]. Esta web fue creada el 1 de Octubre del año 2.008 y hoy en día está adaptada a varios idiomas. En la página inicial de la web, en castellano, hablan de en qué consiste el Proyecto Reprap y, como ya se ha comentado en este proyecto, hablan de que la motivación fue la creación de máquinas capaces de crear objetos, llegando incluso a replicarse a sí mismas. Comentan que aunque todavía se necesita la ayuda de un ser humano, el objetivo es llegar a un modelo capaz de auto-replicarse por completo de manera autónoma.

Por otro lado hablan de que al estar basado en la filosofía Open Source, el proyecto permite que todo avance muy rápido. Incluso lo comparan con la Teoría de la Evolución de Darwin, y llegan a decir que la filosofía Open Source permite que los modelos evolucionen más rápidamente que las especies de los seres vivos.

Por último, hacen referencia al objetivo final de todo el Proyecto, que es conseguir que haya impresoras 3D en cada casa, en cada centro educativo y, lo que se comparte como objetivo de las impresoras 3D en general, en cada fábrica. Que haya una impresora 3D en cada fábrica, dicen, crearía una revolución económica y social; pues, por un lado, se reducirían el número de fábricas, la necesidad de transportar bienes y así las necesidades de dinero y, por otro lado, aumentarían la autonomía de las industrias, los desarrollos tecnológicos, etc.

2.2

MakerBot Industries

Al hablar en el Proyecto Reprap de la figura de Zach Smith hay que hablar también de la empresa MakerBot Inbustries. Fue creada en Marzo de 2.009 por los ingenieros estadounidenses Zach Smith, Bre Pettis y Adam Mayer. En Julio de ese mismo año se mudaron a su local actual. Su primer producto fue el, ya comentado, modelo Cupcake "ver figura 2". Su fama comenzó a crecer y recibieron ayuda de la comunidad. En el año 2.011, pese a haber liberado todos los diseños del modelo Cupcake, recibieron una inversión de 10 millones de $. Evolucionaron su modelo Cupcake al modelo Thing-O-Matic "ver figura 8", que fue el modelo adquirido por la Universidad Carlos III de Madrid en Mayo del año 2.010.

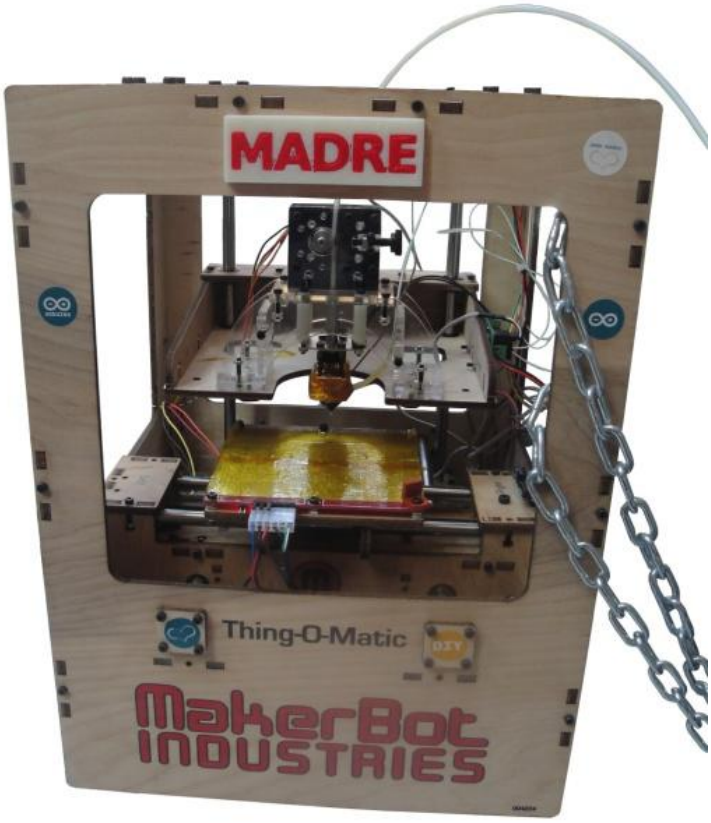


Figura 8: impresora 3D Thing-O-Matic

Sin embargo, las impresoras de MakerBot, además de tener la pega importante de su alto precio y de que pierden la esencia de la filosofía Open Source, tienen la importante pega de que su plataforma de impresión (10 x 10 cm) es un cuarto de la que tienen modelos como la Prusa Mendel original o su segunda versión (20 x 20 cm).

Finalmente, su último modelo, Replicator "ver figura 9", ha supuesto un avance muy importante al introducir un segundo extrusor. Este segundo extrusor, en lugar de extruir plástico ABS o PLA como el otro extrusor o los extrusores de los otros modelos de impresoras de Reprap o de MakerBot, extruye un material soluble en agua que se utiliza para recubrir huecos que se deben dejar libres en las piezas de manera que podemos imprimir modelos que antes era imposible hacerlo, y facilitamos modelos en los que la impresora tuviera que imprimir partes del mismo en el aire. Además, aunque no ha llegado al tamaño de la base de impresión de las Prusa Mendel, ha superado el de los anteriores modelos de MakerBot teniendo una base de 10 x 20 cm.

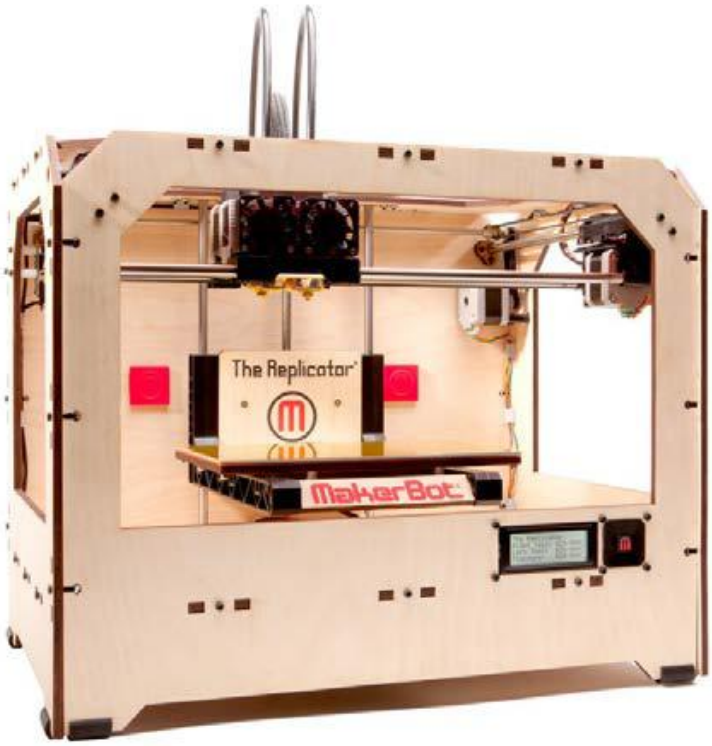


Figura 9: impresora 3D Replicator

2.3

Proyecto Clone Wars

Para finalizar el estado del arte de las impresoras 3D, creo que es importante comentar el primer proyecto español de impresoras 3D, el Proyecto Clone Wars. El Proyecto Clone Wars, fue creado por el Doctor en Robótica Juan González Gómez en Abril de 2.011. Su página web [5], fue creada como una parte de la web de la Asociación de Robótica de la UC3M.

Algunos de los integrantes del grupo, como el autor, comenzamos a formar parte de Clone Wars cuando Juan nos impartía clase en la Universidad Carlos III, él comentaba la idea de hacer un grupo que nos dedicásemos a "clonar", replicar, impresoras 3D modelo Prusa Mendel, inicialmente, a partir de la impresora de MakerBot que la Asociación de Robótica compró, y que recibió en Mayo de 2.011, una impresora 3D modelo Thing-O-Matic a la que la Asociación de Robotica de la UC3M bautizó con el nombre simbólico de Madre (hace referencia a las réplicas de impresoras que a partir de ella se han hecho y se siguen haciendo).

El día 15 de Abril de 2.011 se celebró la primera reunión de Clone Wars para exponer los fines del proyecto y para hablar sobre la impresora, Madre, que pronto llegaría y que habría que ensamblar y calibrar. Madre "ver figura 10", se recibió el 13 de Mayo de 2.011, tras todo el montaje, calibrado, etc., imprimió su primera pieza el 17 de Mayo de 2.011.

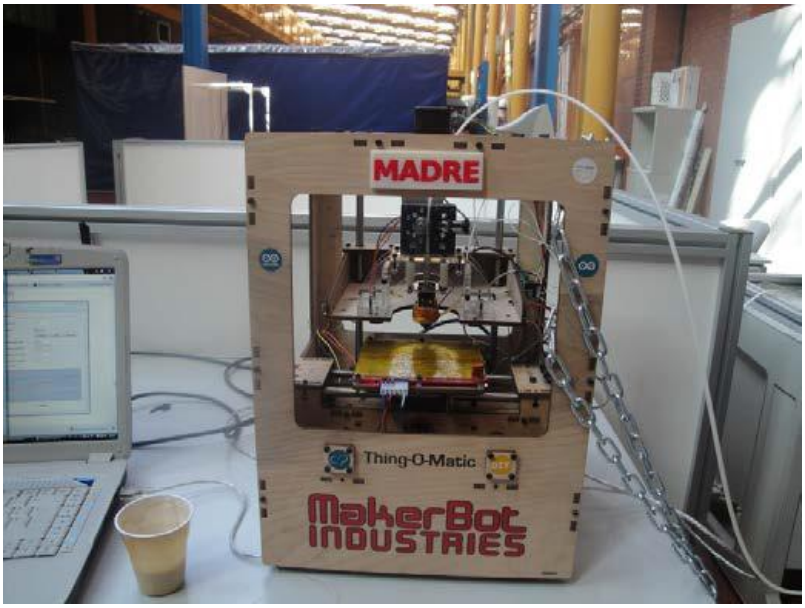


Figura 10: impresora 3D Thing-O-Matic "Madre"

Cada vez éramos más los miembros del Proyecto Clone Wars, al que, gracias al grupo de correo de Google, cada vez se unía más gente, ya no solo de la UC3M, ni siquiera solo de España, sino de todas partes del mundo, Suramérica, Suecia, etc.

En Septiembre de 2.011, Mardan, la impresora 3D Prusa Mendel creada por mi compañero Marco Esteban fue el primer "clon" hecho a partir de Madre y el primer clon ensamblado por completo del Proyecto Clone Wars. Unos meses más tarde, el 11 de Noviembre de 2.011, Maese Artorius, mi impresora 3D Prusa Mendel, estaba también completamente ensamblado, era la segunda réplica que se hacía a partir de Madre. El 11 de Diciembre del mismo año, R2, Prusa Mendel de Juan González Gómez, creada a partir de su Cupcake, R1, llegaba también al final de su montaje. Poco a poco, se fueron acabando más clones, pero ninguno había conseguido aún imprimir ninguna pieza.

Fue el 24 de Diciembre de 2.011 cuando, al fin, Juan conseguía imprimir su primera pieza con su impresora R2. El día 31 de Diciembre del mismo año, R2 estaba plenamente calibrada y Juan comenzaba a imprimir piezas para donárselas a otros integrantes del Proyecto Clone Wars para clonar más impresoras más rápido, pues Madre estaba saturada y había gente, externa a la UC3M que no tenía acceso a ella.

Con la llegada del año 2.012 el Proyecto crecía cada vez más y más rápido. El día 18 de Enero, R2 imprimía por completo el primer juego de Prusa Mendel, además era ya de la iteración 2 del modelo y Juan lo utilizaría para construirse su tercera impresora 3D, una Prusa Mendel Iteración 2 a la que llamará R3.

El día 19 de Enero de 2.012, la impresora Mardan de Marco Esteban y mi impresora Maese Artorius, imprimían su primera pieza y comenzaban así su periodo de calibración. El grupo seguía creciendo y cada vez eran más los clones que iban acabando su ensamblado, y Juan llegó a donar hasta diez juegos de piezas impresas íntegramente por R2 a otros miembros de Clone Wars.

Con el paso del tiempo algún miembro más del Proyecto Clone Wars donó también algún juego de piezas procedentes de sus clones, y el último hito importante es que el clon R3 imprimió su primera pieza el 1 de Abril de 2.012.

A día de hoy somos tantos los miembros que se ha hecho un árbol genealógico de los clones del Proyecto Clone Wars. Dicho esquema se muestra en la web [5].

Además de todo lo comentado sobre Clone Wars, un aspecto muy importante ha sido cumplir uno de sus objetivos iniciales que ha sido fundamental para el crecimiento tan fugaz de este Proyecto, y no es otro que el hecho de haber creado una comunidad en la que todos los miembros, a través del grupo de correo, exponemos nuestras experiencias, preguntamos nuestras dudas y obtenemos respuestas para las mismas. Esto ha hecho que los miembros que se iban incorporando se integrasen con facilidad y cogiesen experiencia rápidamente en el mundo de las impresoras 3D Open Source.

3
OBJETIVOS

Los objeticos de este proyecto son:

1) Diseñar mejoras mecánicas para una impresora 3D open source modelo Prusa Mendel.

2) Realizar un protocolo de calibración para una impresora 3D open source modelo Prusa Mendel de manera que la calidad de impresión sea optima.

BLOQUE 1

4

OPTIMIZACIÓN MECÁNICA

La materia incluida en este primer bloque constara de las mejoras introducidas en las impresoras 3D open source. Empezaré por el eje X, seguido por el eje Y y el eje Z, continuando con las mejoras diseñadas para el extrusor y la electrónica. No todas las mejoras son estrictamente mecánicas, pero ayudan a la hora de optimizar el rendimiento y la calidad de impresión, así como evitar que se rompan piezas y se produzcan accidentes.

Muchas de las mejoras que aparecen en este bloque han sido diseñadas por mí, la mayoría de ellas se pueden imprimir, el resto se pueden fabricar de manera sencilla con diversos materiales que especificare más adelante. El resto de mejoras han sido diseñadas por otros usuarios que han puesto de manera gratuita sus diseños en internet para el resto de la comunidad.

4.1

MEJORAS EN EL EJE X

La mejora introducida en el eje X ha sido diseñada por mí y está situada en el carro del eje X. Esta mejora ha sido introducida para solventar la interconectividad del carro del eje X con las piezas del soporte del extrusor, donde se aloja el motor, y el propio extrusor modelo Arcol V3.0 o Budaschnozzle 1.1, donde calentamos el plástico.

Esta mejora es sencilla y tiene un coste muy pequeño (1€-2€). La mejora consiste en realizar con una plancha de aluminio o una de madera de DM (como la utilizada para el eje Y) una superficie que comprenda todo el carro del eje X para tener así espacio donde anclar las diferentes piezas. Yo he optado por la madera de DM de 4 mm, puesto que es menor o igual de ligera que una plancha de aluminio de las mismas dimensiones, tiene buenas propiedades mecánicas, no se calienta tanto como el aluminio, por tanto evitamos daños a las piezas superiores de plástico del extrusor y es más fácil de mecanizar.

Ahora explicare los pasos que se tiene que seguir para realizar esta mejora:

1. Cortar la madera de Dm, si no se compra la plancha con las medidas del carro del eje X, se puede cortar fácilmente con una segueta. No hace falta que tenga la forma exacta del carro del eje X, cortar una tabla que abarque todo su perímetro "ver figura 11".

2. Aplicar pegamento bicomponente en la superficie del carro del eje X de manera que quede una capa de pegamento uniforme para que no tengamos exceso de pegamento y se nos salga y poner la taba de DM cortada encima. Usar pinzas o agarres para que no se muevan las piezas de manera que garanticemos que la unión sea óptima puesto que la madera o el carro pueden tener alguna irregularidad en su superficie, y de esta manera al hacer presión podamos tener mejor agarre en esa zona y así tener una superficie lisa. "Ver figura 12".

3. Una vez soco el pegamento (mirar en la propiedades del pegamento cuantas horas se tienen que esperar hasta que alcance su punto optimo de dureza mecánica, suelen ser de 12 a 24 horas), retiraremos los agarres y marcaremos con lápiz o portaminas los puntos de agarre del extrusor, para ello cogeremos

uno de los discos de madera del extrusor Arcol V3.0 o Budaschnozzle 1.1 y lo posicionaremos en el agujero cilíndrico del carro del eje X y hacemos unas marcas en los 3 puntos de anclaje que tiene y otra más en el centro que es por donde pasara el filamento de plástico que alimenta el extrusor.

4. Con una taladradora usando una broca de diámetro 3 mm especial para madera realizaremos los taladros en todos los orificios necesarios, de madera que si en estos había algo de excedente de pegamento o el agujero del carro era algo menor conseguimos que pasen sin problemas los tornillos de métrica 3 que se necesitan. Para el taladro por donde pasa el filamento de plástico usar una broca de 3,2 mm, así damos una pequeña holgura por seguridad. También será necesario hacer un par o tres de taladros contiguos en el surco que hay en el hueco para el extrusor para que así puedan pasar los cables de alimentación y de los sensores de este. “Ver figura 11”.

Una vez tengamos lista la pieza podremos acoplar el extrusor Arcol V3.0 o Budaschnozzle 1.1 y el soporte del motor del extrusor (no montar el soporte hasta no haber realizado la mejora del extrusor), el cual tendremos que poner 4 arandelas entre la base y la pieza para rebasar los cabezales de los tornillos de agarre del extrusor. “Ver figura 13”.

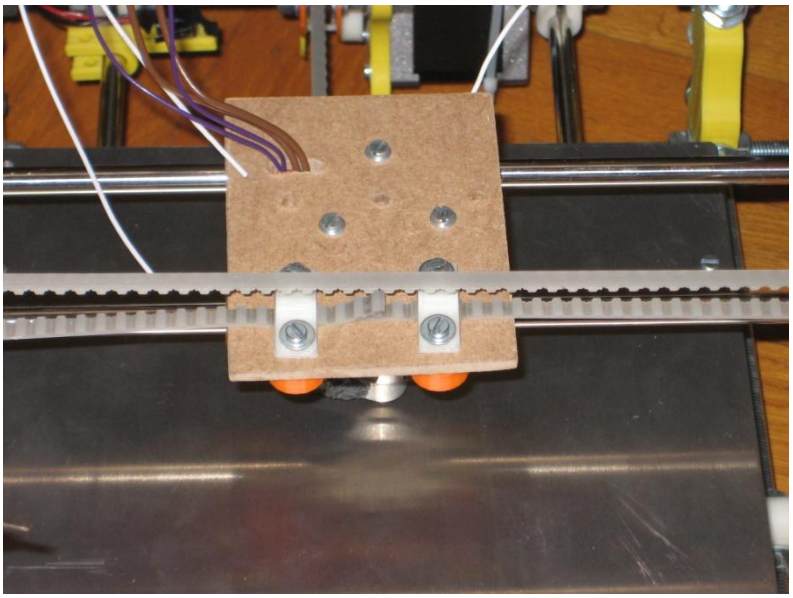


Figura 11: mejora carro eje X

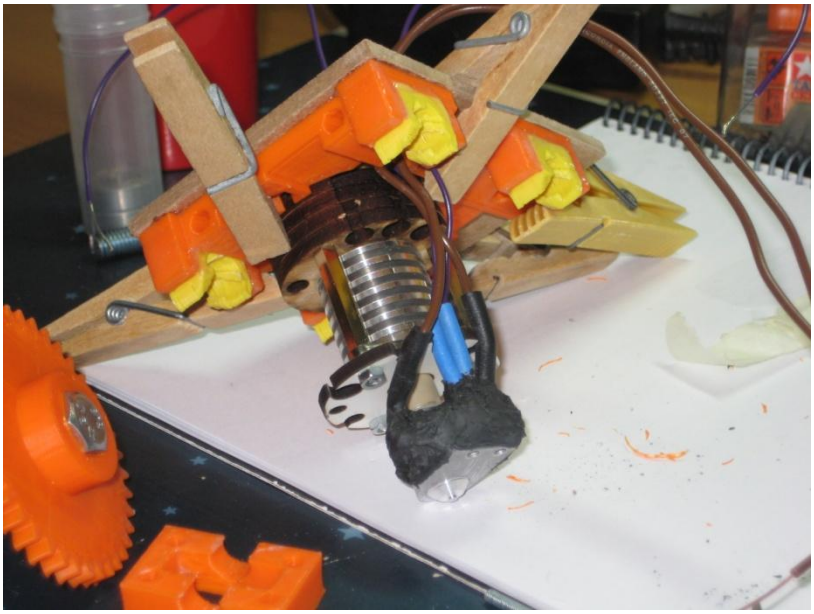


Figura 12: unión del hot-end con el carro del eje X

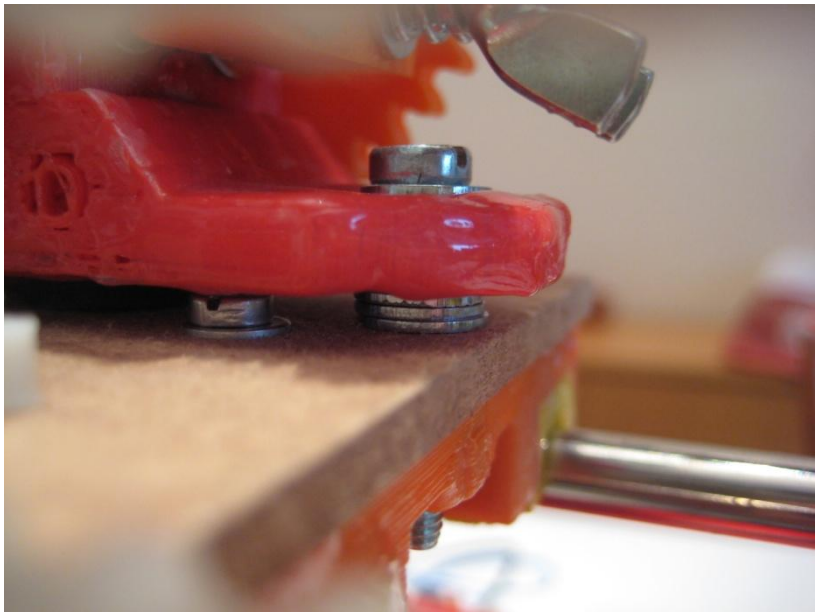


Figura 13: unión del extrusor con el carro del eje X

4.2

MEJORAS EN EL EJE Y

Las mejoras introducidas en el eje Y están situadas en el motor de este eje y en la polea acoplada al eje de este motor. La primera mejora es una simple brida que acoplaremos al motor para sujetarlo a las varillas roscadas próximas, de manera que cuando tensemos la correa del eje Y el motor no se combe y reduzcamos así la probabilidad de que se rompa el soporte del motor del eje Y. Por tanto el precio de esta mejora es ínfimo. También esta mejora nos permitirá poder tensar mejor y más la correa del eje Y. "Ver figura 14".

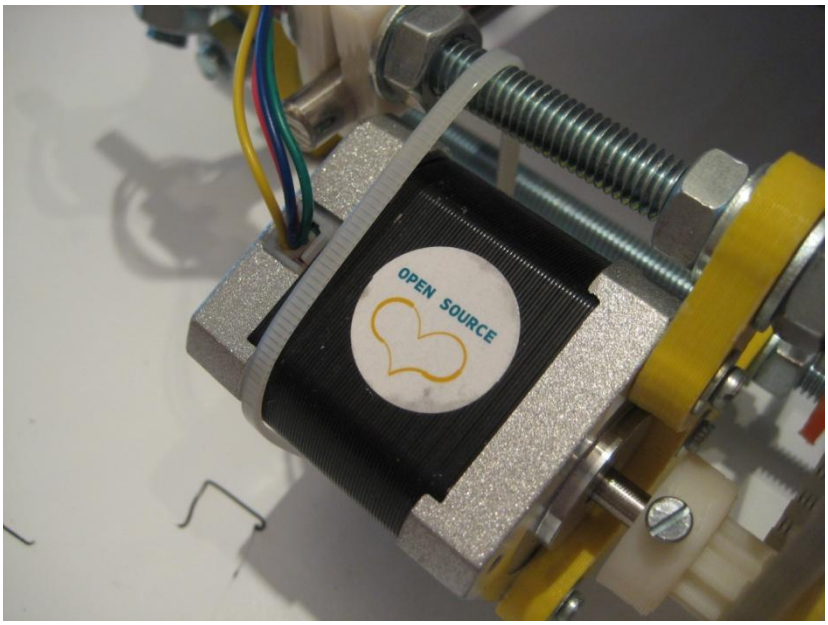


Figura 14: mejora del motor del eje Y

La segunda mejora estará acoplada a la polea del motor del eje Y. Sera un simple trozo de cartón o plástico que pegaremos a su extremo, de manera que consigamos que no se salga la correa del eje Y al moverse esta cuando imprimimos. Para evitar que se rompa la polea y hacer que esta mejora sea eficaz, introducir todo lo que se pueda la polea dentro del eje del motor, pero que llegue la correa del eje Y, de forma que tengamos el máximo del eje del motor dentro de la pieza, para darla así más rigidez y evitar que se parta o combe. Con pegamento bicomponente pegaremos un círculo de cartón,

cartonpluma o plástico que también recubriremos con una pequeña capa de este pegamento, para así dar mayor dureza y mejor prestación mecánica en el extremo de la polea. Las medidas del círculo plástico que uso como mejora son las mismas que una arandela de M8x30. “Ver figura 15”.

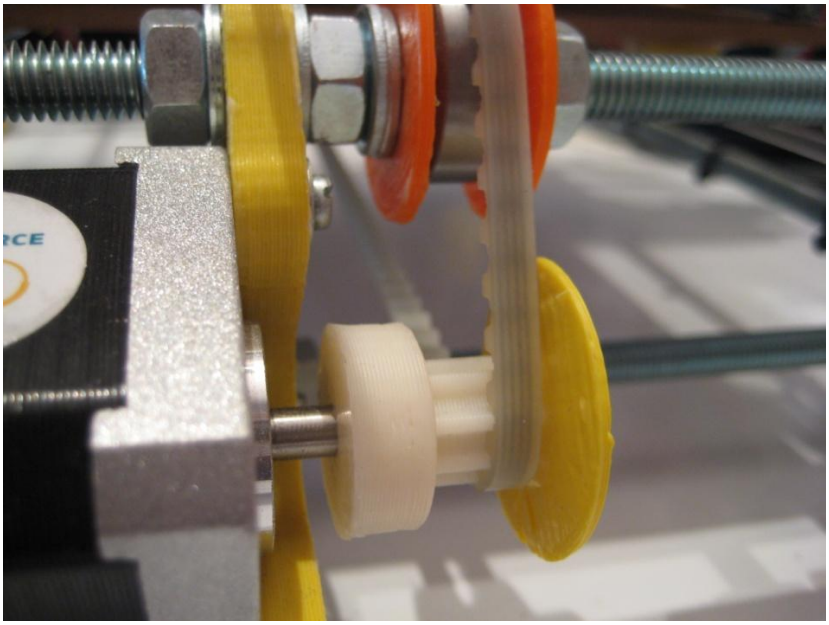


Figura 15: mejora del engranaje del eje Y

La tercera mejora se encuentra en el carro del eje Y, encima de la base caliente. Se trata de colocar un espejo de dimensiones 20x20x0.3 cm, ya que la base caliente tiene unas dimensiones de 21.4x21.4 cm y en sus esquinas tiene los tornillos de sujeción que nos limita el tamaño del espejo, “ver figura 16”. La instalación es muy sencilla, primero sobre el espejo añadiremos en su superficie reflectante tiras de cinta de poliamida (Kapton tape, es importante que no queden burbujas para que la superficie sea lo más lisa posible), terminaremos poniendo el espejo encima de la base caliente y lo sujetaremos con 4 pinzas metálicas de 19 mm,” ver figura 17”, colocadas más o menos a la mitad de cada cara de la base caliente, para que así las dos superficies estén lo mas juntas posibles,” ver figura 16”. Debido al uso o por defectos de fabricación las placas calientes tienden a deformarse cuando están calientes y nosotros las golpeamos con el hot-end, o al tirar para sacar una pieza,…. Por tanto al instalar el espejo tendremos una superficie totalmente lisa, lo que mejorara la calidad de impresión y será más fácil de calibrar la impresora. Se tendrá que tener especial cuidado en colocar bien el sensor de final de carrera del eje Z, para que la punta del hot-end no impacte contra el espejo evitando así su fractura.

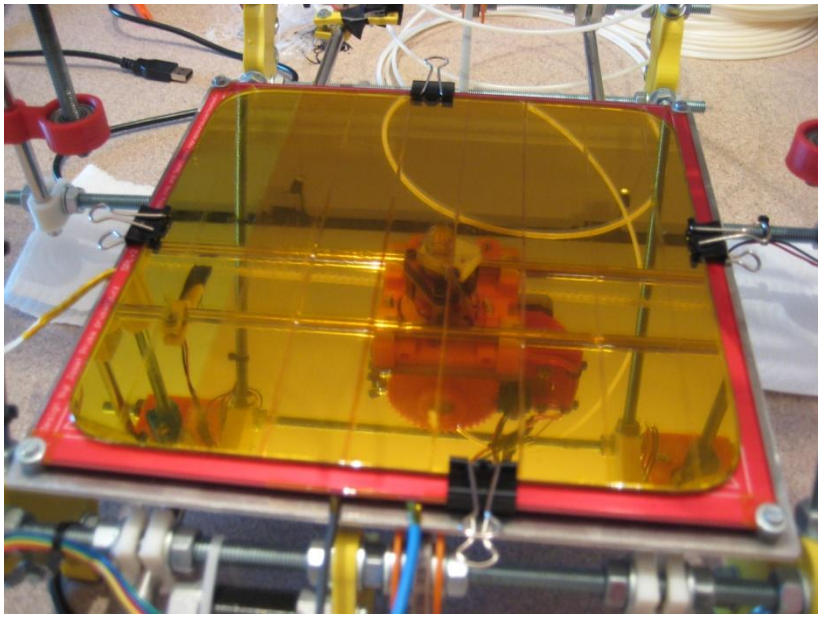


Figura 16: mejora de la base caliente

Figura 17: pinzas de sujeción

4.3

MEJORAS EN EL EJE Z

Las mejoras introducidas en el eje Z están introducidas en la unión de la barra roscada con el motor del eje Z y al final de la barra roscada. Ambas mejoras nos permitirán calibrar e imprimir mejor. Las primeras mejoras introducidas se encuentran en los dos coupling del eje Z (la pieza que une el eje del motor con la varilla roscada del eje Z). Estas piezas son muy delicadas por tanto existen múltiples combinaciones de mejora que comentare, así como la decisión más económica y optima. Ya a la hora de imprimir estas piezas se deben imprimir horizontalmente, para que las fibras de plástico estén colocadas perpendicularmente al par de torsión, puesto que si esta imprimida verticalmente las fibras están en paralelo con este par y la pieza acaba rompiéndose por la mitad.

Si tienes estas piezas imprimidas verticalmente y no puedes acceder o imprimirte unas en horizontal puedes dar una capa de pegamento bicomponente por su superficie para así endurecerlas, y una vez secado el pegamento añadirle una pletina de aluminio con los orificios de los tornillos para así envolver la pieza a modo de refuerzo estructural externo. Una vez calibrada la impresora es conveniente imprimir un juego de couplings en posición horizontal.

Otra mejora correspondiente a esta misma pieza corresponde a su interior en la unión que hace con la varilla roscada. Con el uso la varilla lima la superficie interior de la pieza, causando que la varilla se desprenda y tengamos problemas al calibrar o al imprimir. Una solución rápida es envolver con film transparente de cocina el cabezal de la varilla roscada, para aumentar su anchura y anular la rosca para que no siga limando la pieza. “Ver figura 18”.

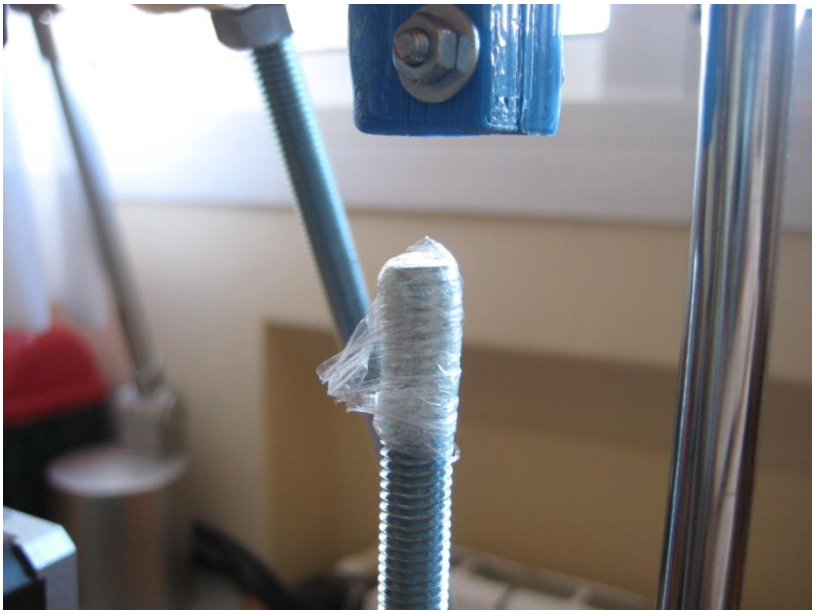


Figura 18: mejora coupling 1

Esta mejora tiene buenos resultados, pero a la larga con el uso si la pieza está muy dañada se puede escurrir un poco, de manera que compromete la eficacia de la impresora al imprimir o al ser calibrada. Por tanto la mejor solución es tener los couplings imprimidos en horizontal, pegar con pegamento bicomponente el cabezal de la varilla roscada al coupling, de manera que desborde algo de pegamento para así tener más superficie adherente y apretar bien los tornillos de sujeción. Una vez seco el pegamento podemos dar una capa fina de bicomponente por la superficie curva de los couplings de manera que lo hagamos más resistente al par de torsión. “Ver figura 19”.

Figura 19: mejora coupling 2

La segunda mejora introducida en el eje Z son dos piezas (una para cada lado del eje Z) que se sujetan a la varilla lisa del eje Z y en su extremo tienen un soporte para un rodamiento del tipo 608zz blindado (como los usados al montar la estructura), por el cual pasara por su parte interna la varilla roscada, "ver figura 20". Esta mejora tiene una importante repercusión a la hora de imprimir, puesto que hace que no se balancee el eje X al subir o bajar el eje Z, de manera que las partes verticales de los objetos que imprimimos quede más liso y no tan rugoso. Como se puede ver en la "figura 21" a la izquierda tenemos una pieza impresa sin esta mejora y a la derecha la misma pieza impresa con esta mejora. Esta mejora del eje Z la podéis encontrar en el siguiente link [6].

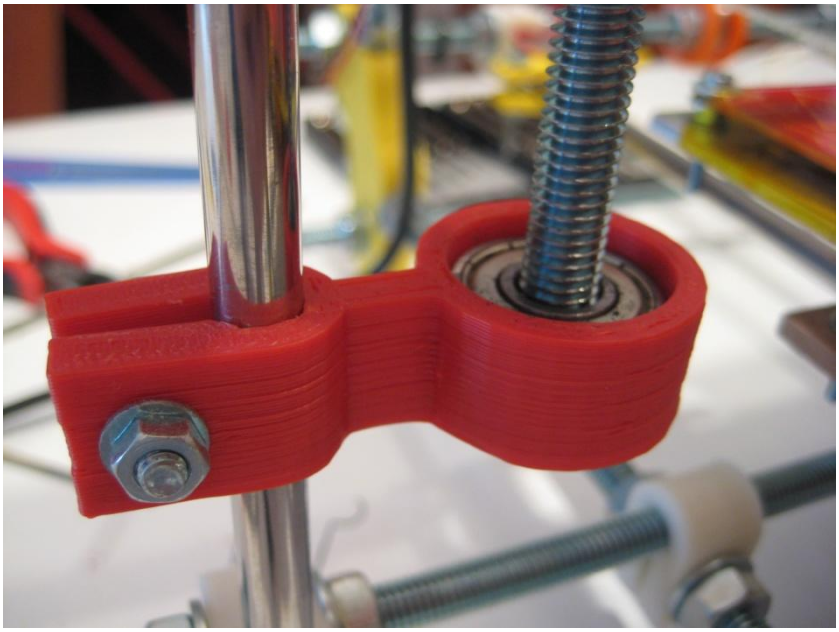


Figura 20: mejora del eje Z

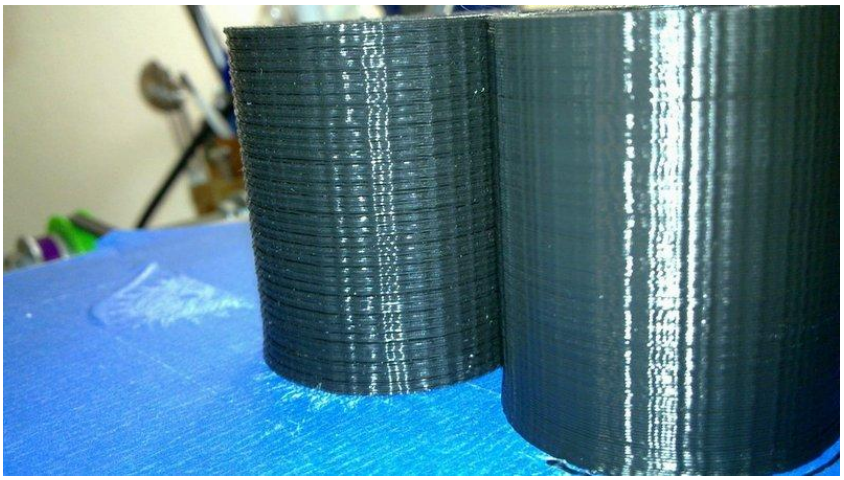


Figura 21: diferencias de impresión

4.4

MEJORAS EN EL EXTRUSOR

La mejora introducida en el extrusor está estrechamente relacionada con la mejora que se hizo en el eje X, esta mejora ha sido diseñada por mí. La mejora consiste en un cilindro hueco que permite conectar el extrusor con la plataforma del carro del eje X. Como la pieza del extrusor tiene un hueco grande, gracias a esta mejora rellenamos ese hueco y conseguimos que el filamento de plástico este guiado desde el tornillo dentado del extrusor hasta el hot-end. El cilindro sobresale de la pieza principal del extrusor puesto que tiene que salvar esos 3-4 mm de la cabeza de los tornillos de amarre del hot-end, como se podía ver en la "figura 13". Esta mejora no solo permite guiar el filamento de plástico que alimenta el extrusor sino que también impide que el filamento se dañe al atascarse en algún hueco y hace que cuando se gaste el filamento e introduzcamos otro no se doblen al chocar las puntas. El cilindro es muy fácil de programar, tiene unas dimensiones de 13,5 mm de altura, un radio exterior de 7 mm y uno interno de 2,5 mm. En el siguiente link os podéis bajar la pieza en formato .stl y .scad [7]. En la "figura 22" podemos ver el cilindro y como queda encajado en la pieza del extrusor.

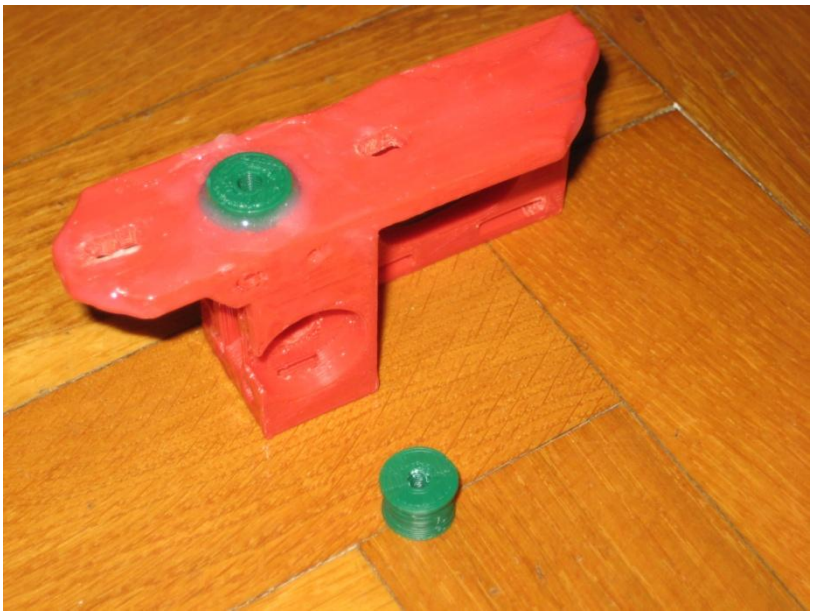


Figura 22: mejora del extrusor

Aunque el filamento plástico tiene un diámetro de 3 mm, le he dado al cilindro interno un diámetro de 5 mm puesto que al imprimirse sale más pequeño y por tener algo de holgura por si el filamento en alguna parte es más ancho. Para acoplar esta mejora a la pieza del extrusor usaremos pegamento bicomponente en los laterales del cilindro para que no salga pegamento sobrante por el cilindro interno y obstruya la guía por donde ira el filamento. De esta manera recubriremos el hueco existente entre la pieza del extrusor y nuestra mejora para dar más solidez a la unión. Ay que tener especial cuidado de que quede totalmente recto el conducto para que no se doble el filamento al pasar por él. Una vez seco el pegamento podremos atornillar el extrusor con su mejora a la plataforma del carro del eje X. “Ver figuras 23 y 24”.

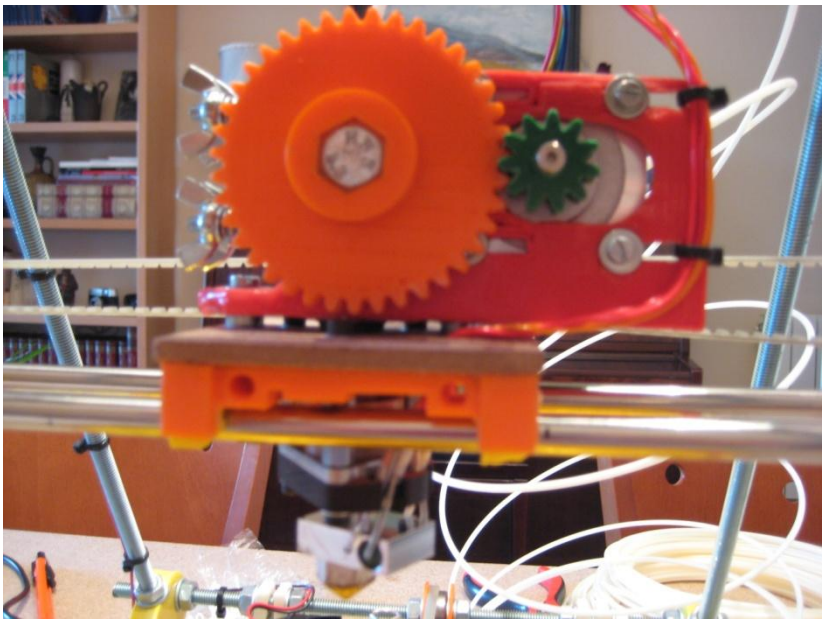


Figura 23: unión del sistema de impresión 1

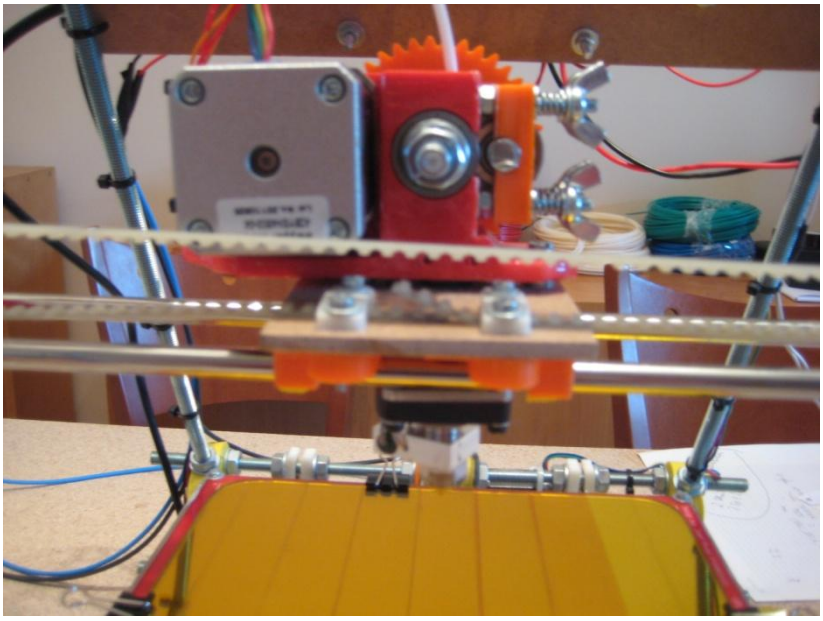


Figura 24: unión del sistema de impresión 2

4.5

MEJORAS EN LA ELECTRÓNICA

Las mejoras introducidas en la electrónica están dedicadas a preservar la integridad de los componentes y de la placa electrónica RAMS. La primera mejora atañe específicamente a uno de los MOSFETS de la RAMS, en concreto, el que controla la alimentación de la plataforma caliente. Al tener poca resistencia la placa caliente, unos pocos ohmios (según la placa varían los valores), y al alimentar el sistema a 12 Voltios, tenemos corrientes de entre 10-16 Amperios que pasan por el MOSFET.

Los MOSFETS que venden con las RAMS aguantan un máximo de 12 A (por lo menos el que me vendieron a mi), y aunque disponen de un pequeño disipador no es suficiente, y el componente acaba por fundirse. Una vez soldado a la electrónica es difícil sustituirlo y corremos el risco de romper los pines de conexión en la placa electrónica al desoldarlo y soldar uno nuevo. Por eso la mejor opción es usar estos MOSFETS u otros que permitan un mayor paso de corriente junto con un disipador adecuado para este componente. “Ver figura 25”.

Este disipador se puede encontrar en cualquier tienda de electrónica y su precio no supera 1€ (disipador + tornillo + tuerca). El modelo del disipador es: DAHER 18.202. Como se puede ver en la “figura 26” tenemos montado el disipador en el MOSFET que controla la placa caliente para una placa electrónica RAMS 1.2.

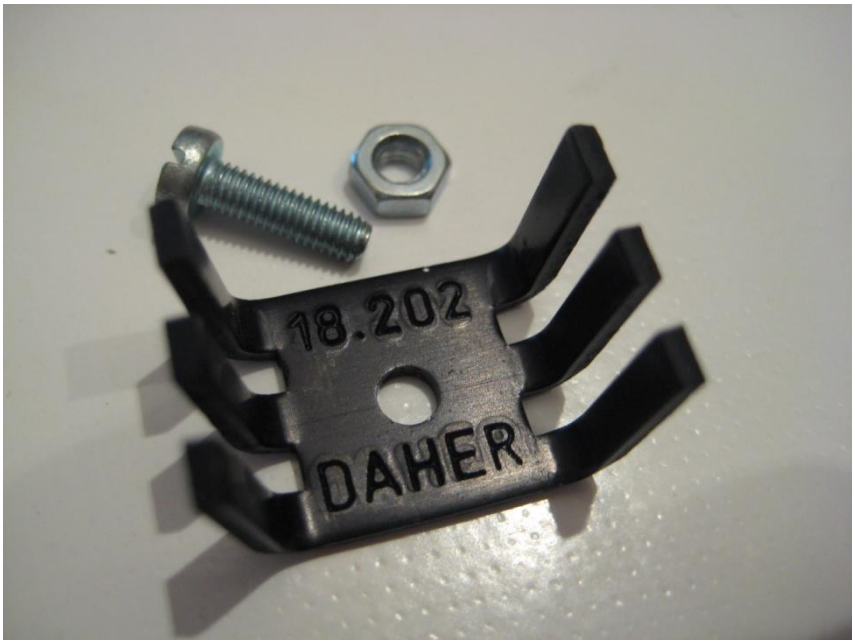


Figura 25: disipador MOSFET

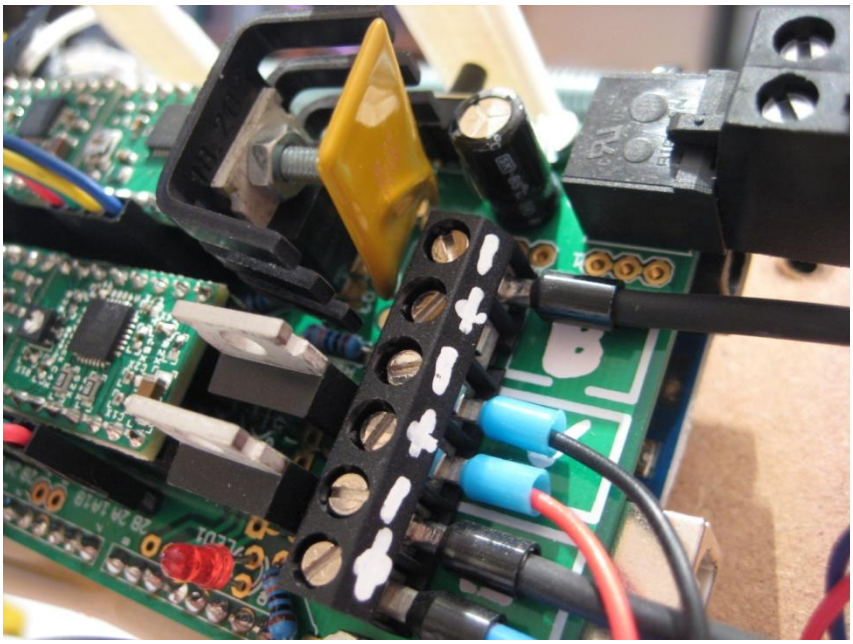


Figura 26: disipador en el MOSFET de la RAMS 1.2

Si como en mi caso ya tienes soldado un MOSFET de este modelo: ZXM64N035L3 o algún otro que no permita el paso de mucha corriente, ya sea porque lo instalaste antes o te vendieron la electrónica soldada, ahora te daré unos consejos para poder desoldar el MOSFET para así poder instalar uno nuevo. Primero compra un MOSFET nuevo, este modelo está bien STB55NF06, ya que funciona a tensiones de 60V (nosotros trabajamos con 12V) y con corrientes de 50 A (nosotros trabajaremos como mucho con 20 A). Por tanto estas dos premisas son las que tienes que comparar a la hora de elegir un MOSFET nuevo. Una manera de saber si nuestro MOSFET no funciona correctamente es si no llega la base caliente a la temperatura que nosotros le marcamos, pero sobre todo si cuando imprime la temperatura de la base baja más de 10ºC.

Para desoldar el MOSFET lo primero de todo será desconectar todos los cables de la placa RAMS y separarla de la Arduino, de manera que solo tengamos la RAMS. Después si tenemos instalado el disipador en el MOSFET lo quitaremos y cortaremos las patillas de este con unos alicates de corte, en caso de no poder llegar con los alicates moveremos el MOSFET hacia adelante y atrás de manera que poco a poco las patillas se doblen y terminen rompiendo, “ver figura 27”. En la “figura 27” podremos ver a la izquierda el nuevo MOSFET a instalar y a la derecha el MOSFET que retiramos de la electrónica. Con ayuda de un desoldador o hilo de desoldar, como use yo “ver figura 28”, retiramos el estaño sobrante, y con ayuda de unas pinzas retiraremos las patillas rotas del MOSFET cuando el estaño que las une a la placa este fundido. Cuando quede poco estaño y las patillas del MOSFET estén retiradas introduciremos la punta del soldador en los huecos de las patillas del MOSFET para retirar el estaño alojado ahí y así poder poner el nuevo MOSFET. Si no llegara a entrar bien ir calentando poco a poco cada patilla hasta que entre bien. Aseguraros de que colocáis el nuevo MOSFET en la posición correcta. Una vez que entra el nuevo MOSFET lo soldaremos a la electrónica comprobando posteriormente que no cortocircuitemos sus pines al poner demasiado estaño.

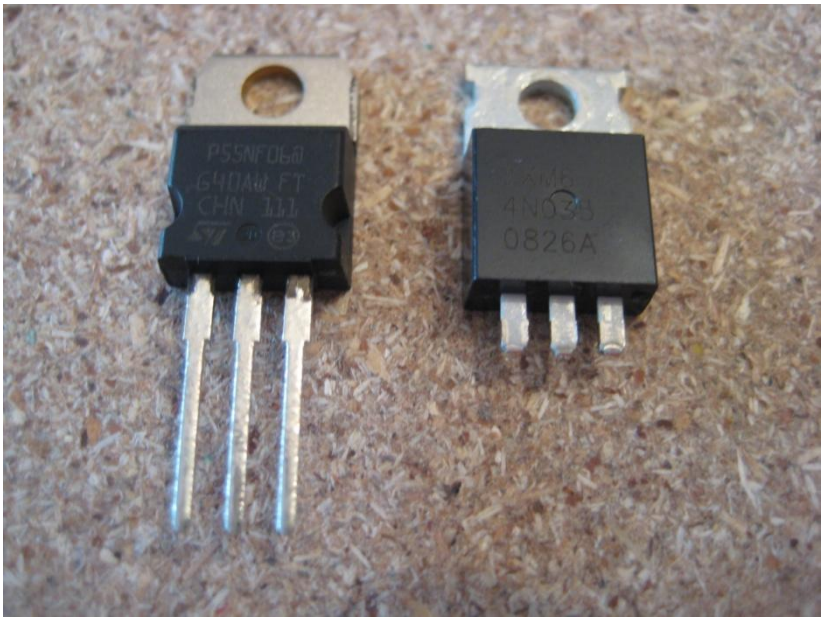


Figura 27: MOSFETS

Figura 28: cinta de desoldar

Puesto que aun teniendo este disipador más grande el MOSFET sigue calentándose y otros componentes también se calientan, he diseñado un soporte con forma de pórtico para colocar un ventilador encima de la electrónica (RAMS 1.2 + Arduino Mega 2560), de tal manera que el flujo de aire que salga por el ventilador incida directamente en los componentes más críticos, como son los MOSFETS y los Pololus o controladores de los motores paso a paso. De tal forma que para impresiones largas o cortas no sufra la electrónica, asegurándonos así un buen funcionamiento de esta. Conseguiremos que nuestra impresora sea más robusta y duradera, reduciremos el deterioro de la electrónica y el gasto en repuestos, al igual que reduciremos la probabilidad de romper la electrónica al cambiar algún componente, puesto que ya no lo tendremos que hacer.

Los ventilador los podréis comprar en tiendas de electrónica o de informática por un precio de 3 a 6€. También los podéis conseguir desguazando algún ordenador antiguo que tengáis en casa. Los soporte que he diseñado son para ventiladores de 5x5 cm y de 8x8 cm. En las “figuras 29 y 30” podéis ver cuál es el resultado final para un ventilador de 5x5 cm y en las “figuras 31 y 32” para uno de 8x8 cm.

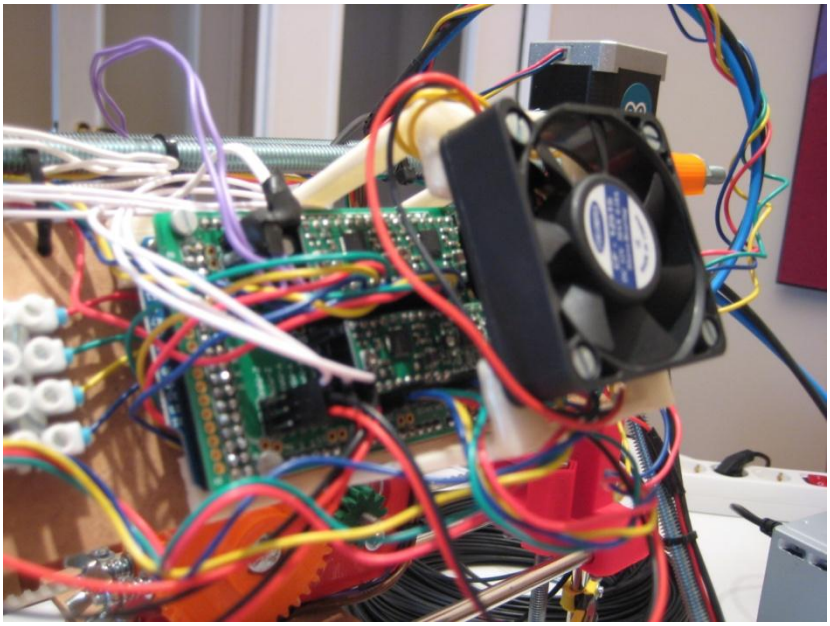


Figura 29: mejora ventilador 5x5 cm 1

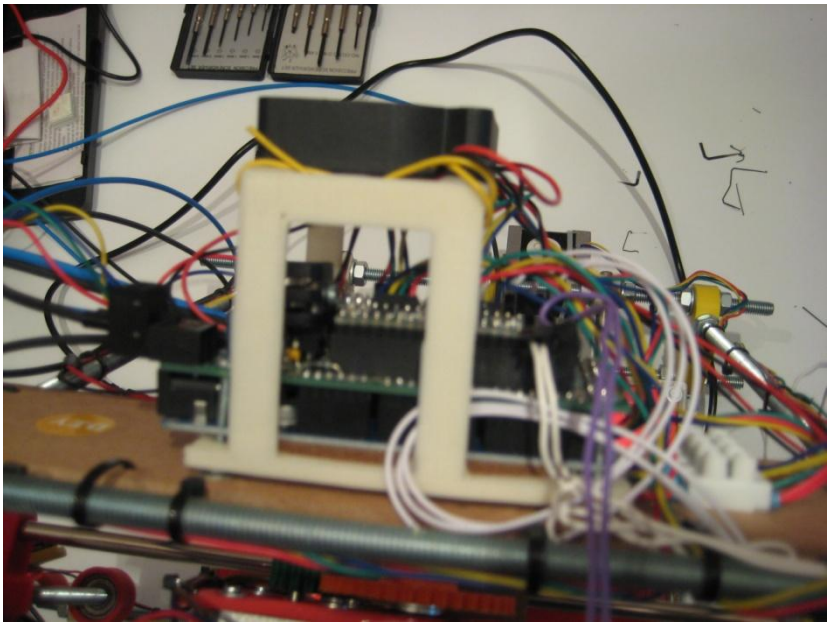


Figura 30: mejora ventilador 5x5 cm 2

Figura 31: mejora ventilador 8x8 cm 1

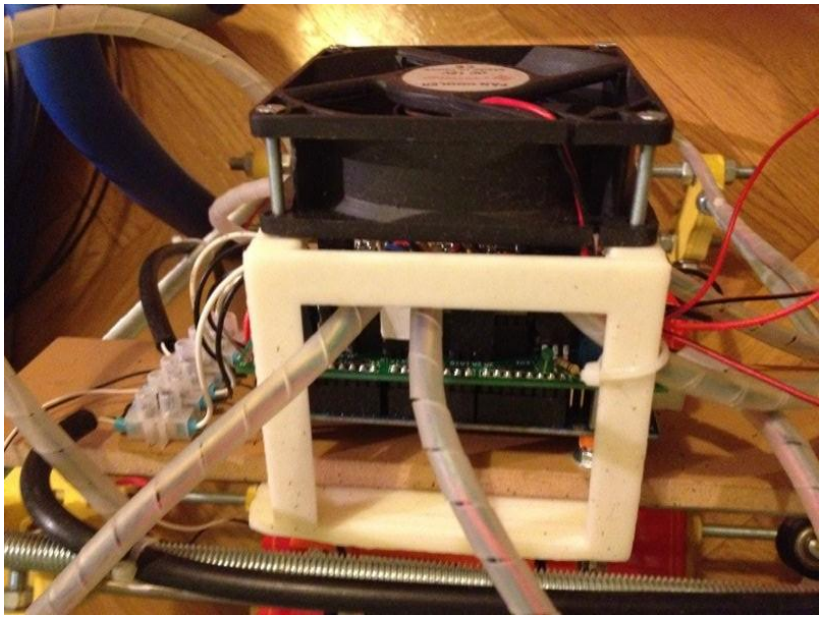


Figura 32: mejora ventilador 8x8 cm 2

A la hora de instalar los soportes, si se pondrán en contacto con los pines soldados de la placa Arduino, es conveniente poner unas tiras de fieltro en la base de los soportes para así evitar que se dañen los pines de la placa y el propio soporte del ventilador, ya que al apretar los tornillos, los pines se pueden clavar en el soporte y pueden realizar grietas que comprometerían la integridad estructural del soporte, haciendo que este se pueda desprender de los tornillos y caerse, provocando serios problemas si se está imprimiendo en ese momento, puesto que puede dañar la pieza que se está imprimiendo y al dejar de enfriar la electrónica puede afectar negativamente en esta.

Además otro punto positivo de poner las tiras de fieltro es que al apretar los tornillos los pines de la Arduino se clavan en el fieltro y no en el soporte, haciendo que la estructura sea más estable, evitando así vibraciones y por tanto ruidos innecesarios. Como puede verse en la “figura 33” entre el soporte blando del ventilador y la electrónica existe una tira de fieltro marrón. En el siguiente link podréis encontrar los soportes para ventilador en formato .stl y .scad, [8].

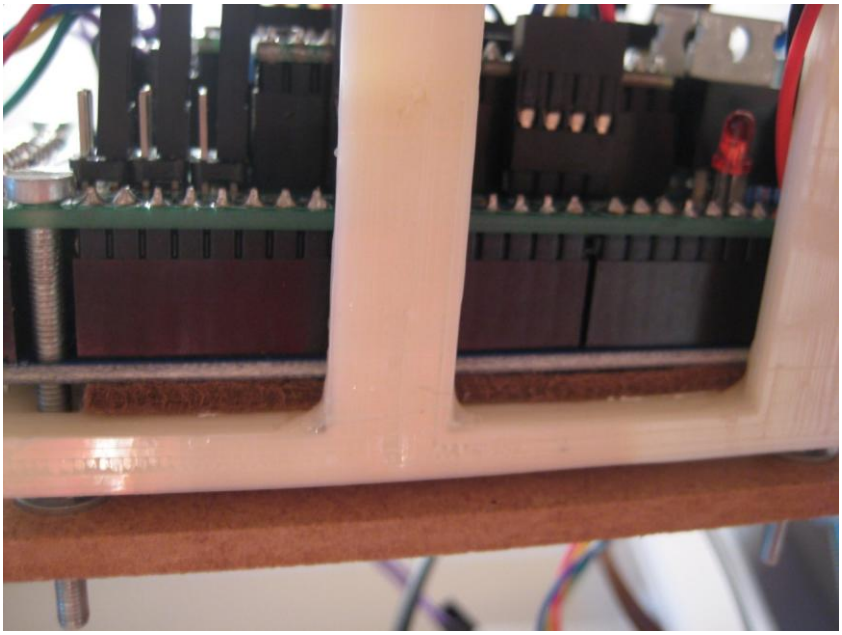


Figura 33: fieltro en mejora de la electrónica

4.6

OTRAS MEJORAS

En este apartado daré unos consejos básicos de mejora para las impresoras 3D que aunque no son tan importantes como los vistos antes, es aconsejable aplicarlos, puesto que nos pueden ayudar a la hora de imprimir, conseguir un mejor acabado en nuestras piezas e incluso evitar que rompamos la electrónica, la fuente de alimentación o algún motor.

La primera mejora que podemos aplicar es simplemente poner unas tiras de fieltro en las patas de la impresora, de manera que impidamos que se rayen las superficies en la cual este apoyada, dar más estabilidad a la impresora ante una superficie rugosa, evitar el deterioro por desgaste al rozar y minimizar pequeños desequilibrios que tienen las impresoras cuando se montan, siempre alguna pata apoya menos que el resto.

La segunda mejora nos permite dar más consistencia y reparar desperfectos de las piezas que imprimamos. Si tenemos alguna pieza con algún defecto grande como la separación de varias capas de fibras, grietas, agujeros, etc. Podemos rellenarlos con pegamento bicomponente y dar una pequeña capa de pegamento por el perímetro más cercano a esta imperfección a fin de proteger y endurecer esa parte.

El resto de la pieza u otras piezas sin imperfecciones podemos mejorar su apariencia y prestaciones mecánicas esparciendo por su superficie con ayuda de un pincel acetona, de manera que derrita un poco el plástico y una así mejor las capas de fibras, proporcionando más dureza a la pieza y un poco de brillo. No esparzáis mucha acetona en un mismo sitio puesto que podría derretir demasiado el plástico y dañar la pieza, esperar a que se seque la primera aplicación y luego dar otra capa más. Usar este producto en un lugar bien ventilado puesto que el olor que produce al evaporarse es muy fuerte.

La tercera mejora creo que tiene bastante importancia ya que podría evitaros tener que comprar una fuente de alimentación nueva o cambiar algún componente o toda la electrónica. Esta mejora consiste simplemente en poner los símbolos de positivo y negativo en los pines de alimentación de la electrónica, “ver figura 34”, así como marcas de la dirección de los pololus o cualquier otra cosa que creas relevante poner, puesto que después de estar trasteando con la electrónica o cuando trasladamos la impresora y ponemos de nuevo todas las conexiones, a veces nos confiamos y lo hacemos demasiado rápido o no nos acordamos bien donde era que conexión, podemos poner algún pololu al revés, al igual que la polaridad de alimentación de la fuente o

cualquier otra cosa que tendrán nefastas consecuencias en nuestra impresora. Por eso con cualquier pintura acrílica y un pincel haz algunas marcas para evitar sustos en el futuro.

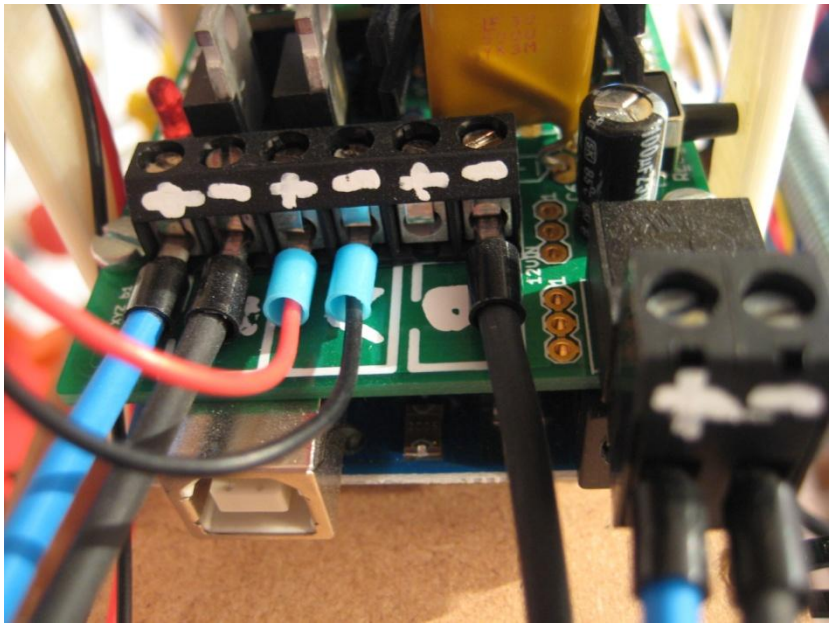


Figura 34: otras mejoras

BLOQUE 2

5

Protocolo de calibración

En este segundo bloque hablare sobre como calibrar una impresora 3D modelo Prusa Mendel, aunque será aplicable a otros modelos de impresoras 3D Open Source. La calibración se empezara desde el nivel estructural, hasta terminar en el nivel de software. Asimismo en este bloque hablare sobre cómo controlar la impresora desde el programa Pronterface y que parámetros debemos calibrar en el programa Skeinforge 41 para que obtengamos una impresión optima para cada tipo de pieza que queramos imprimir.

5.1

Calibración mecánica

Lo primero que tenemos que hacer es ubicar nuestra impresora en una superficie lo mas plana y estable posible, para ello nos ayudaremos de un nivel de burbuja, "ver figura 35". Con este mismo nivel de burbuja ubicado en al carro del eje X haremos que este esté lo mas horizontal posible, para ello haremos 3 mediciones. Una a la derecha del todo "ver figura 36", otra en el centro "ver figura 37" y una última a la izquierda del todo "ver figura 38". En todas estas medidas la burbuja del nivel tendrá que estar centrada de manera que nos indique que está bien nivelado el eje X. Si no tendremos que girar manualmente las barras roscadas del eje Z para conseguir dicho propósito. Es de vital importancia que el eje X este bien nivelado. Luego nos aseguraremos de que las correas están bien tensas, si no es así las tendremos que tensar, para así evitar el fenómeno del backlash (hablare de este fenómeno en el apartado del Skeinforge 41).

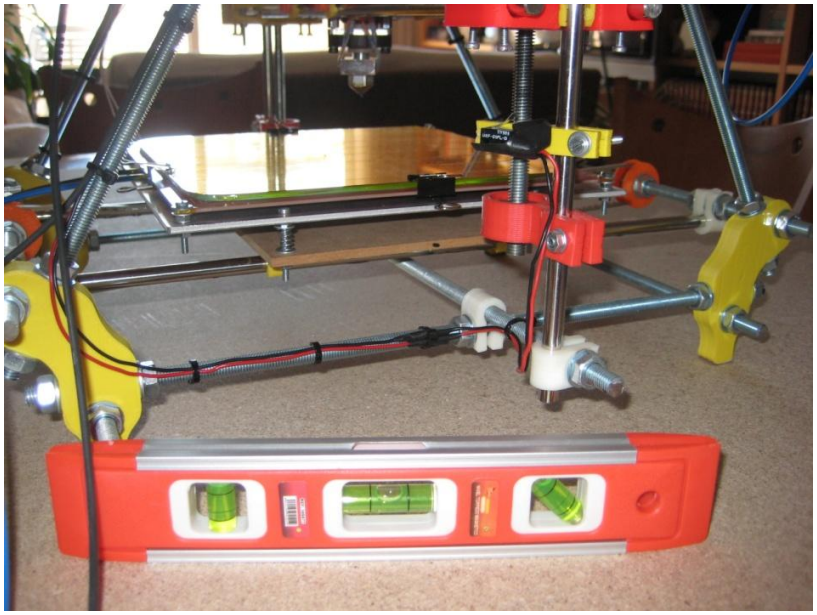


Figura 35: superficie plana

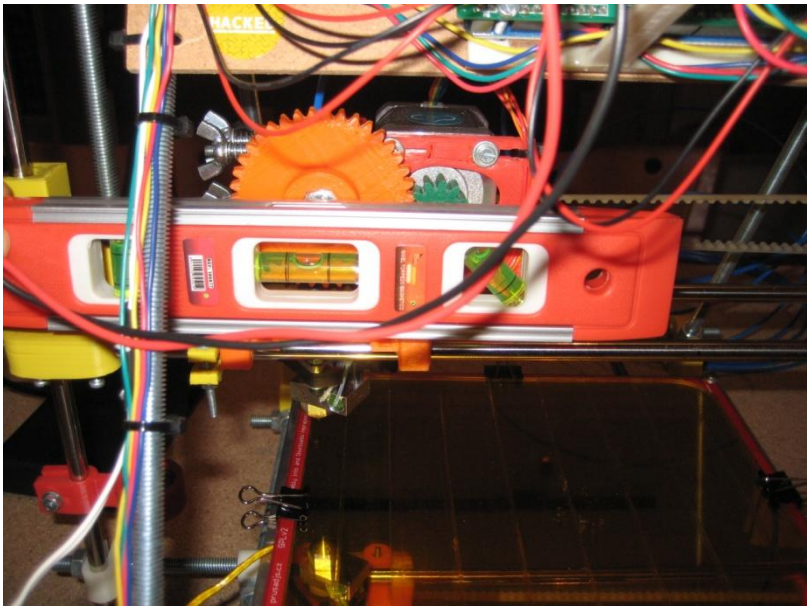


Figura 36: eje X horizontal izquierda

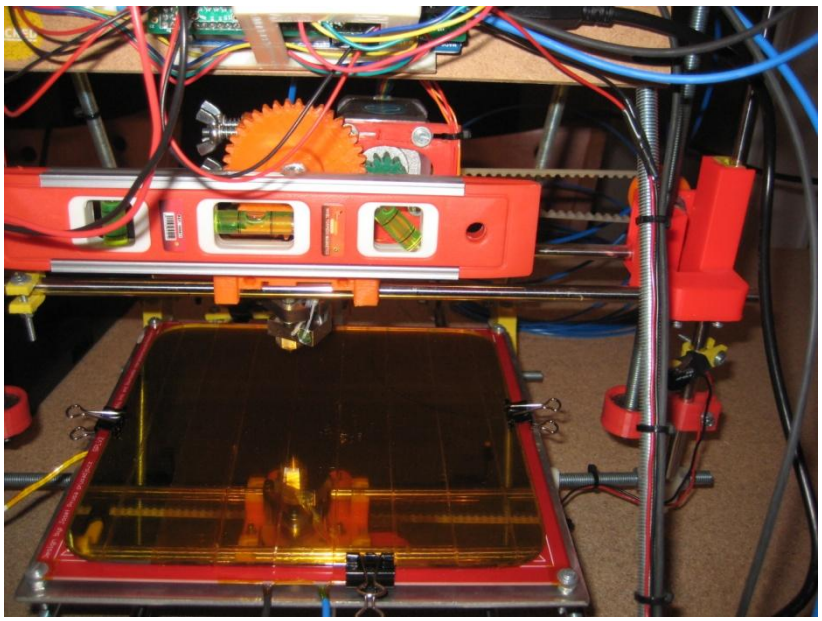


Figura 37: eje X horizontal centro

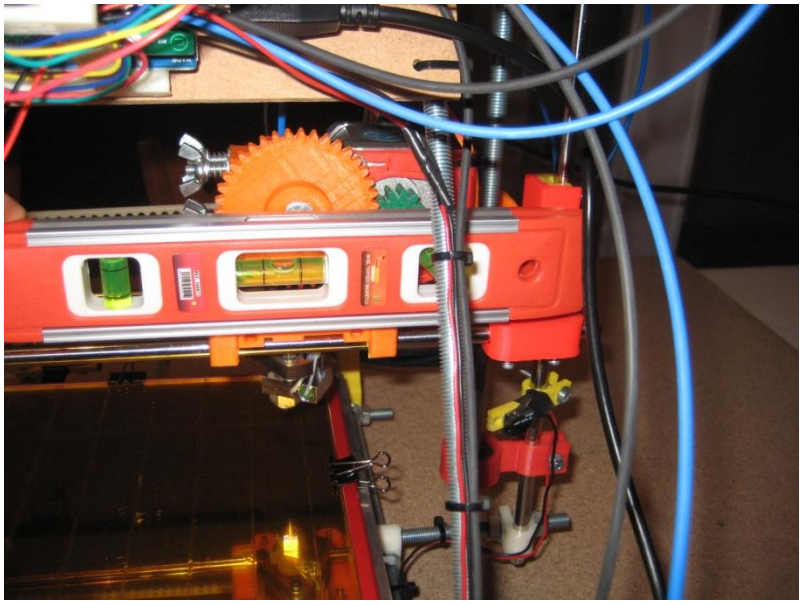


Figura 38: eje X horizontal derecha

Después haremos lo pertinente con el eje Y, pondremos el nivel encima de la base caliente y haremos 4 mediciones, una por cada lado de la base, "ver figura 39". No es muy crítica esta calibración, ya que su calibración óptima se hará un poco más adelante. Llegados a este punto conectaremos la impresora al ordenador por medio del programa Pronterface como se vio en el "Volumen 1" (aunque lo recordare por encima en el punto 6). Bajaremos lentamente el eje Z hasta que se quede a 0.1 mm del espejo del eje Y (que este casi tocando) "ver figura 40", de manera que en ese punto tendremos que colocar el sensor de final de carrera del eje Z. Una vez atornillado subir el eje y bajarlo haciendo homing o bajándolo normal (pulsando los rectangulos de 0.1, 1 o 10 "ver figura 50") para comprobar que se queda casi tocando el espejo. Si no es así se tendrá que recolocar el sensor para que esto se cumpla.

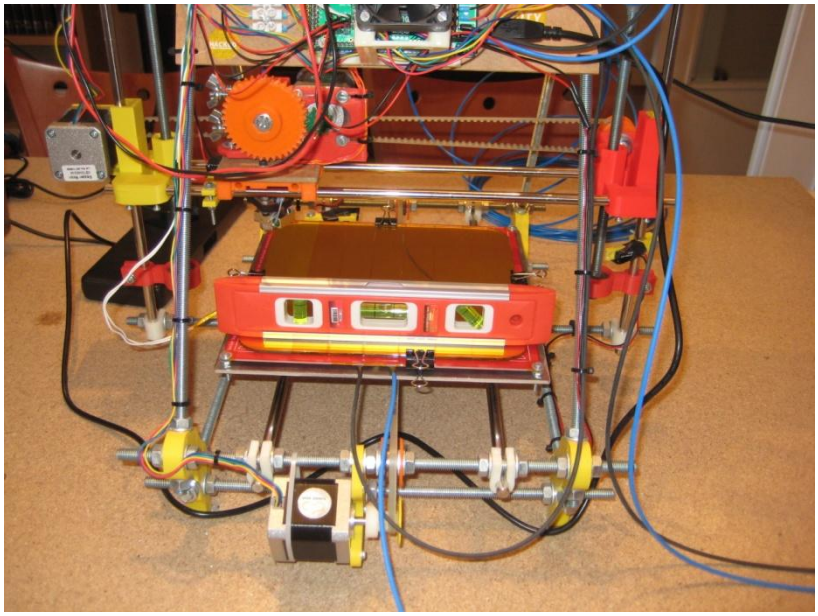


Figura 39: eje Y horizontal

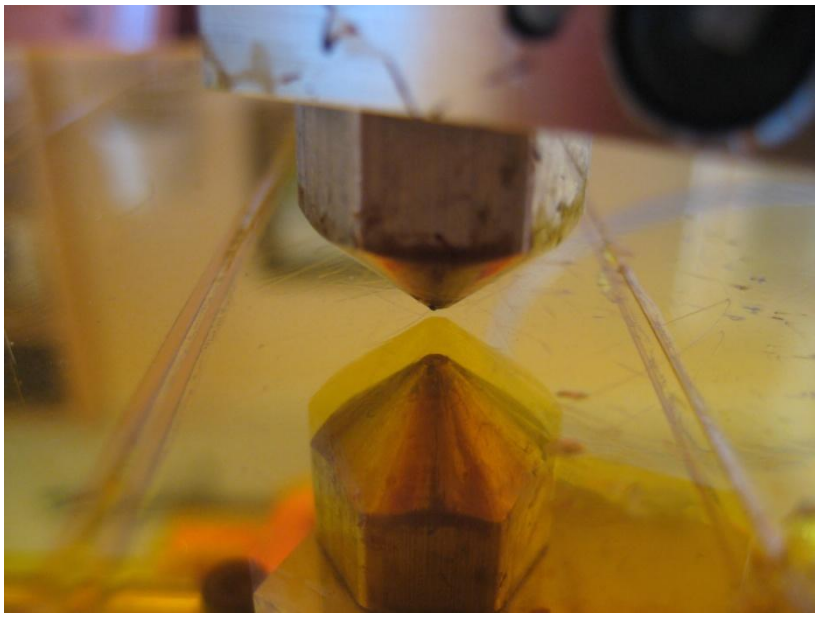


Figura 40: distancia hot-end base

El siguiente paso será desconectar la impresora del ordenador y desenchufar la fuente, de manera que los motores no reciban corriente y por tanto no actúen de freno. Otra opción es pulsar Motors off en la esquina superior izquierda del Pronterface y seguir con la fuente y la impresora conectadas. Manualmente tendremos que posicionar la

punta del hot-end en una de las esquinas del espejo de la base, para ello tiraremos del carro del eje X y del eje Y. Usando este proceso tendremos que hacer recorrer al hot-end todo el perímetro del espejo, de manera que ajustaremos los sensores de final de carrera de los ejes X e Y de tal forma que el hot-end no impacte con ninguna pinza metálica que agarra el espejo a la base caliente. Finalizado este punto tendremos delimitada nuestra área de impresión y calibrado el eje X y Z. Para calibrar el eje Y deberemos hacer lo mismo que hicimos antes para delimitar el área de impresión. Colocaremos manualmente el hot-end en una esquina del espejo y moveremos por todo el perímetro del espejo el hot-end, de manera que en todo su recorrido la punta del hot-end esté a la misma altura, unos 0.1 mm (cuanto más constante sea esa altura a lo largo del recorrido mejor será la impresión).

Finalizada la calibración del eje Y ya tendremos calibrada mecánicamente nuestra impresora, pero antes de pasar a la calibración de firmware tenemos que realizar dos pasos más:

El primero será conectar de nuevo la impresora al ordenador y a la fuente de alimentación y hacer homing en todos los ejes. Usando un calibre o calibre digital (pie de rey) “ver figura 41” haremos una marca con ayuda de un rotulador permanente en las barras lisas de los ejes X, Y y Z. En los ejes X e Y la marca la haremos a 100 mm del apoyo más alejado del final de carrera y en el apoyo, ya que es la máxima distancia que nos permite mover esos ejes el Pronterface, “ver figuras 42 y 43”. En el eje Z realizaremos las marcas a 10 mm de la parte más alta que está en contacto con la barra lisa de acero del eje Z y en la parte más alta, “ver figura 44”. Este paso es de crucial importancia para la calibración del firmware.

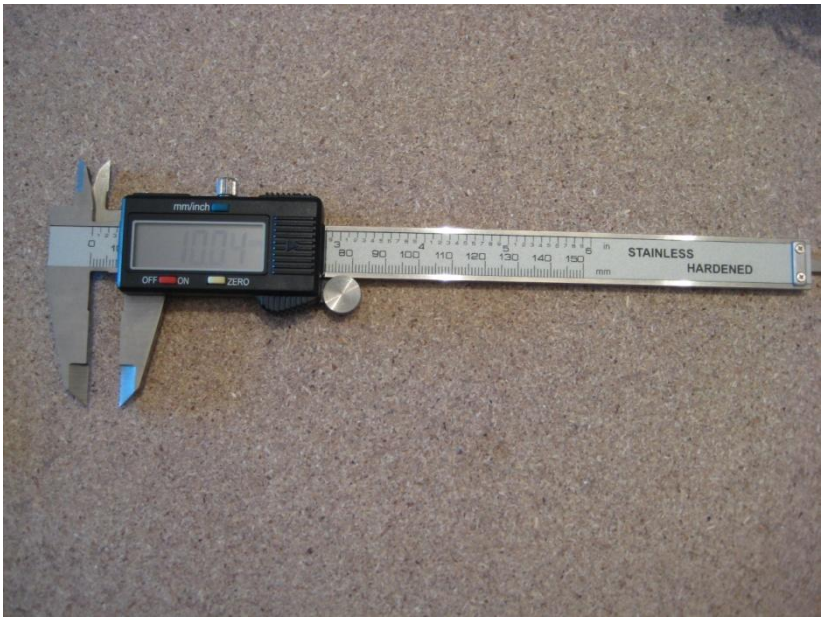


Figura 41: calibre digital

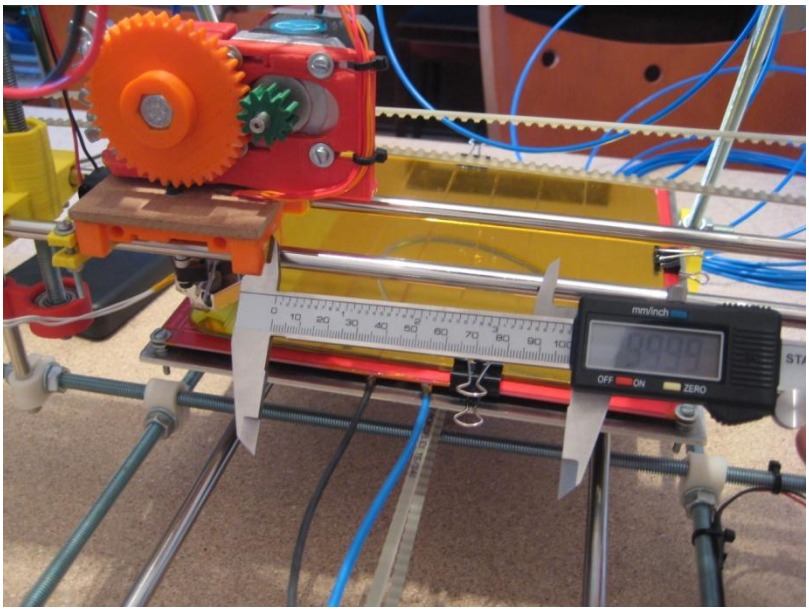


Figura 42: marca eje X

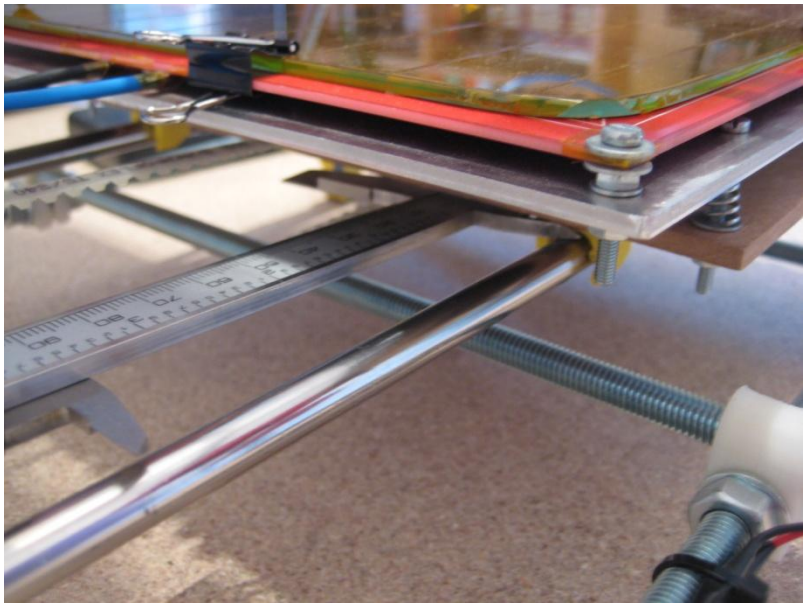


Figura 43: marca eje Y

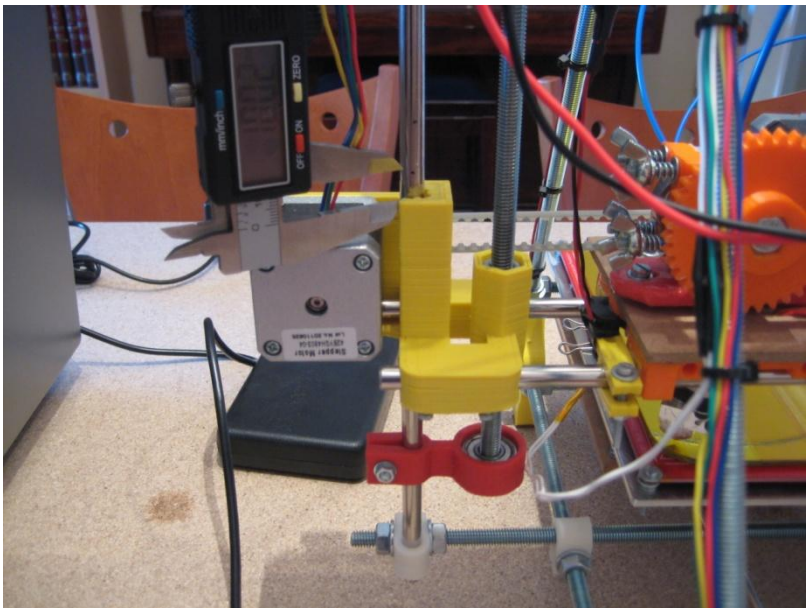


Figura 44: marca eje Z

El segundo paso será lubricar las barras lisas de todos los ejes y la barra roscada del eje Z. podremos lubricar las barras con parafina, grasa o vaselina especial para maquinas, lubricantes como 3 en 1, etc. Al lubricar las barras tendremos que tener cuidado de que no salpique el producto al espejo de la base caliente, por ello es recomendable cubrirlo con papeles y retirar el producto sobrante de las barras para evitar que en un futuro

gotee, pero antes de retirar el sobrante mover manualmente o por medio del ordenador los ejes para que se impregne bien los PLA bushings y los tornillos de lubricante y así retiren el excedente de producto mejor. Dejar que escurra durante un rato el lubricante hasta que se formen gotas y después retirarlo. Al lubricar las barras conseguimos que los ejes deslicen mejor, evitando vibraciones que pueden perjudicar la calidad de impresión de nuestras piezas o incluso desgastar las piezas PLA bushings de nuestra impresora.

5.2

Calibración del firmware

Como se vio al final del "Volumen 1" abriremos el entorno arduino, (yo uso y aconsejo la versión 0022 ya que las nuevas me dieron errores al compilar e introducir el firmware en la electrónica), abriendo el fichero Sprinter.pde que contiene el firmware que configuramos con nuestro tipo de electrónica y los termistores que usamos. En caso usar una versión nueva de arduino el fichero .pde te lo convertirá a otro tipo, así que si luego quieres usar la versión 0022 tendrás que cambiar manualmente el tipo de fichero al que convirtieron el Sprinter.pde cambiándole el nombre al fichero por Sprinter.pde.

Una vez abierto el fichero hacemos click en Configuration.h y bajamos hasta pasar las líneas donde configuramos los termistores, encontraremos una línea con el siguiente código: #define _AXIS_STEP_PER_UNIT {80, 80, 3200/1.25,700} "ver figura 45". Esta línea de código quiere decir los steps que da los motores en los ejes {X, Y, Z, E (extrusor)}, el valor del eje Z {3200/1.25} lo podemos poner al hacer la división como {2560}. Como referencia los valores que tengo en mi impresora son: #define _AXIS_STEP_PER_UNIT {80.2, 80.4, 2586,540}, pero cada impresora tendrá sus valores que se calcularán de la siguiente manera.

Usando las marcas que hicimos en el apartado anterior en las barras lisas iremos eje por eje comprobando que cuando decimos que un eje se mueva, se mueva la distancia que le decimos, ni más ni menos. Para ello abriremos el programa Pronterface y haremos un homing de todos los ejes para que estén en una posición de reposo conocida, además esa es la posición en la cual hicimos las marcas. A continuación hacemos que se muevan los ejes X e Y 100 mm y el eje Z 10 mm. Desconectamos la impresora del Pronterface pulsando Disconnect y dejamos el USB enchufado al ordenador, ya que cuando carguemos los datos desde el entorno arduino a la impresora el puerto USB de esta no puede estar ocupado (estar comunicándose con un programa) ya que tendríamos conflictos de información y nos daría un error.

Ahora cogeremos nuestro calibre digital y mediremos cuanto se han movido realmente los ejes, ya sea midiendo la distancia que se movieron, o restando o sumando a la distancia que hicimos que se movieran (100 mm o 10 mm) la distancia que les falta o sobra en ese movimiento. Según como os resulte más fácil de calcular esta distancia usaremos una técnica u otra aunque las dos nos tendrán que dar el mismo valor. A esas distancias obtenidas las llamaremos drX, drY, drZ (distancia recorrida de X, Y y Z).

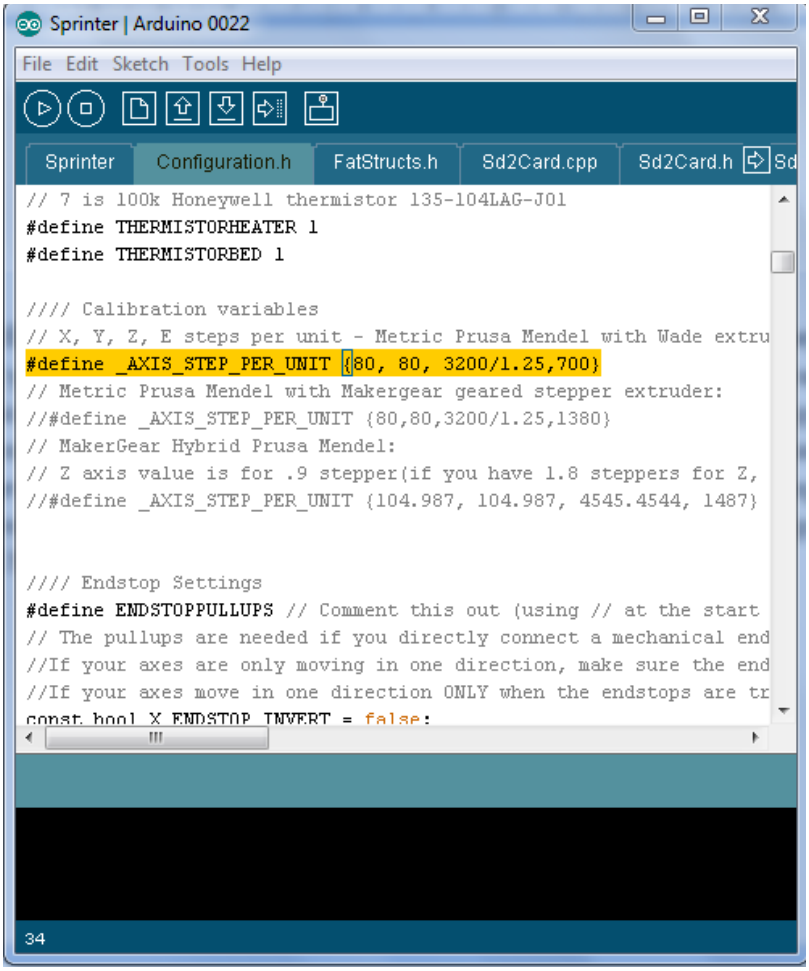


Figura 45: configuración del firmware

Una vez conocida esta distancia aplicaremos las siguientes formulas:

AXIS_STEP_PER_UNIT{X} = (100/drX)* AXIS_STEP_PER_UNIT{X}

AXIS_STEP_PER_UNIT{Y} = (100/drY)* AXIS_STEP_PER_UNIT{Y}

AXIS_STEP_PER_UNIT{Z} = (10/drZ)* AXIS_STEP_PER_UNIT{Z}

Usando los valores iniciales que binen por defecto en el Sprinter usando estas ecuaciones, nos quedarían así:

AXIS_STEP_PER_UNIT{X} = (100/drX)* 80

AXIS_STEP_PER_UNIT{Y} = (100/drY)* 80

AXIS_STEP_PER_UNIT{Z} = (10/drZ)* 2586

Una vez tengamos los nuevos datos los introduciremos en la línea del Sprinter #define _AXIS_STEP_PER_UNIT {X, Y, Z,700}, pulsaremos la tecla de salvado (Save) en el entorno arduino "ver figura 46" y posteriormente a la de cargar (Upload) "ver figura 47", la cual se encargara de compilar el código y transmitirlo a la placa electrónica arduino.

Figura 46: tecla de guardado (Save)

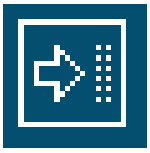


Figura 47: tecla de cargar (Upload)

Una vez cargado con éxito en la electrónica daremos a la tecla Connect del Pronterface y repetiremos estos pasos hasta que los ejes se muevan lo que les pedimos, claro está si alguno ya se mueve lo que se tiene que mover no hace falta seguir haciendo cálculos de ese eje, ya estará calibrado.

Una vez terminada la calibración de los ejes podremos empezar la calibración del extrusor (E). El procedimiento será igual al el que hicimos con los ejes, el único cambio es que para poder hacer la calibración tenemos que poner el hot-end a 225ºC para que podamos extruir sin problemas, por tanto el proceso será algo más lento ya que al desconectarnos del Pronterface para cargar los datos en el entorno arduino el hot-end se enfriara. Ay que tener especial precaución en esto ya que extruir en frio puede dañar el hot-end, el extrusor y el filamento de plástico.

Por tanto para calibrar el extrusor tendremos que calentar el hot-end (Heater en el Pronterface) a 225ºC pulsando en la tecla Set "ver figura 48", midiendo con el calibre digital 10 mm en el filamento haremos una marca con unos alicates de corte "ver figura 49", de manera que cuando el hot-end este a 225ºC pulsaremos en el Pronterface Extrude 10 mm "ver figura 48". Cuando termine de extruir mediremos la distancia drE, como lo hicimos con los ejes, y calcularemos el nuevo valor de E mediante la fórmula:

AXIS_STEP_PER_UNIT{E} = (10/drE)* AXIS_STEP_PER_UNIT{E}

De manera que usando los valores iniciales del Sprinter será:

AXIS_STEP_PER_UNIT{E} = (10/drE)*700

El nuevo valor que obtengamos lo introduciremos en la línea #define _AXIS_STEP_PER_UNIT {X, Y, Z, E} y pulsamos guardar (Save) en el entorno arduino, para a continuación pulsar desconectar (Disconnect) en el Pronterface y dar a Upload en el entorno arduino, de esta manera conseguimos hacer el proceso más rápido y eficiente para que el hot-end no pierda mucha temperatura. Cuando ya esté cargado el firmware volvemos a dar a Connect en el Pronterface y ponemos el hot-end a 225ºC dándole de nuevo a Set. Este proceso lo repetiremos tantas veces como sea necesario para que el extrusor chupe exactamente la distancia de filamento que nosotros le pedimos.

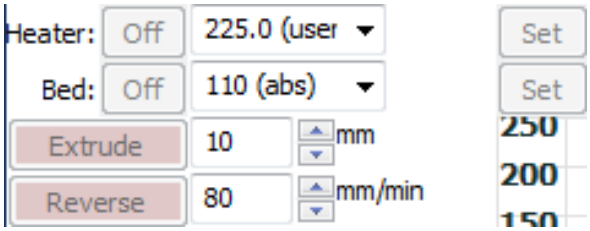


Figura 48: calibración Extrusor

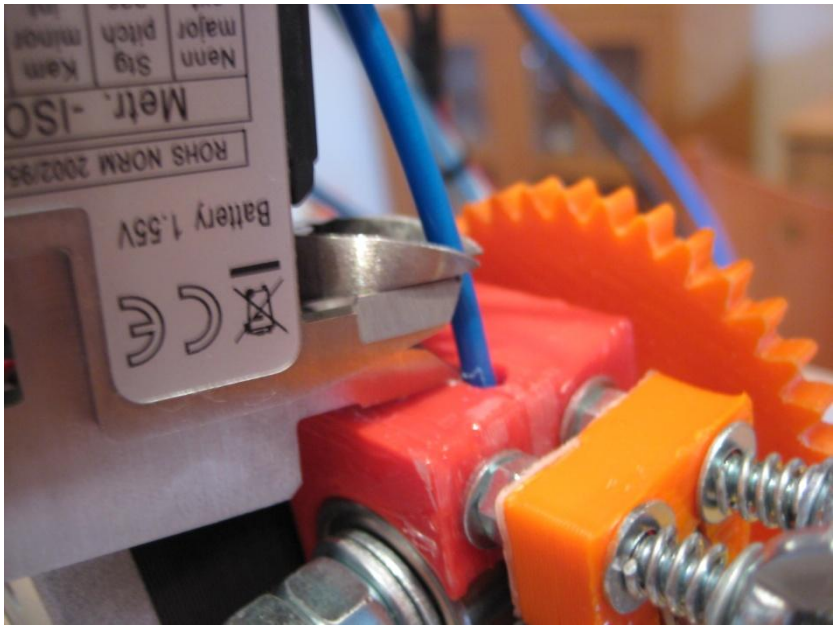


Figura 49: marca en el filamento de ABS

Una vez tengamos los ejes y el extrusor calibrados ya podremos hacer una segunda impresión que será mejor que las primeras que hicimos para comprobar que todo funcionaba. Para ello imprimiremos un cubo (cube-20-20-10.stl) de dimensiones 20x20x10 mm y una moneda (coin.stl) de 20 mm de diámetro y 3 mm de alto, las cuales las encontrareis al final del siguiente link [9], así como información extra de cómo calibrar una impresora y todos los softwares y firmwares con una calibración base de la cual yo he partido hasta alcanzar mi propia calibración y configuración.

Una vez impresas y frías las mediremos con un calibre digital para ver si las medidas son correctas. El error típico en estas impresoras es de 0.3 mm, por tanto si tenemos menos de ese error en cada eje la impresora estará bien calibrada, si en algún eje tenemos más de ese error tendremos que calibrar mejor ese eje en el firmware. Realizar las medidas a mitad de la pieza y en distintos sitios, ya que alguna imperfección o simplemente la base que normalmente es más ancha puede darnos un valor erróneo.

Si la moneda sale elíptica, alguno de los ejes X o Y tienen un error mayor de 0.3 mm puede ser que estén mal calibrados, si no es así puede ser que se esté sufriendo el fenómeno del backlash, el cual se puede evitar tensando las correas, cambiando la polea del motor por una nueva de plástico o metálica o simplemente como me paso a mi actualizando la versión del Sprinter, Pronterface y Skeinforge 41.

El backlash también se puede mitigar por configuración software, en el Skeinforge 41 existe un apartado para configurar este fenómeno en el caso de que aparezca, hablare de ello en el apartado 7. Por tanto antes de hacer esta segunda impresión será aconsejable cambiar unos parámetros en el Skeinforge 41 para asegurarnos de que esta impresión sea buena y evitarnos realizar operaciones innecesarias.

Aun si decimos que los ejes se muevan una distancia y estos se mueven dicha distancia y al imprimir tenemos más error del esperado (0.3 mm) también podemos variar los valores del eje X e Y en ± 1 unidad y el eje Z en ± 10 unidades (aunque no tiene porque ser 1 unidad o 10, pueden ser menos, 0.2 o 7) en la línea de código #define _AXIS_STEP_PER_UNIT {X, Y, Z, E} ya que puede ser que al hacer las mediciones no lleguemos a ser tan exactos como queríamos y esto hace que el error se incremente un poco. Si al volver a imprimir el error no baja tendremos que calibrar con el Skeinforge 41, o probar con las otras sugerencias de mitigación de errores propuestas anteriormente.

6

Pronterface

Pronterface es un programa software que nos permite controlar la impresora 3D desde un PC, algunas cosas ya se vieron en el "Volumen 1", pero recordare los controles principales, así como imprimir y explicaré unos comandos nuevos. Según la versión de Pronterface que se tenga los nombres podrán cambiar así como el que aparezca o no algún comando.

Puesto que a lo largo del proyecto he estado hablando sobre el término "homing", quería empezar por él y ubicarlo en el programa Pronterface. Cuando hacemos homing pulsando cualquiera de las casas que aparecen "ver figura 50" el eje escrito a lado de la casa se moverá hacia su posición de reposo que será la posición en la cual se encuentra el sensor de final de carrera de ese eje. Si pulsamos a la casa que se encuentra sola se hará un homing de todos los ejes, empezando por el X, continuado del Y y el Z.

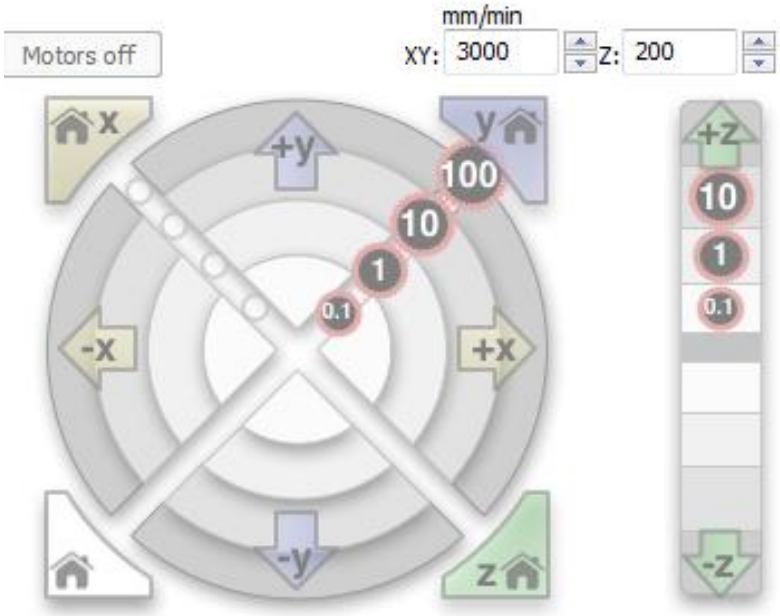


Figura 50: homing

Como se puede ver en las "figuras 50 y 51" disponemos de un panel muy intuitivo para mover los ejes de la impresora, así como subir o bajar la velocidad de movimiento de los ejes y cortar la corriente de los motores (Motors Off), para poderlos mover manualmente ya que los motores paso a paso al llegarles corriente se quedan estáticos, como si dispusieran de un freno.

Para conectar y desconectar la impresora tendremos que elegir el puerto en el cual tenemos enchufado el USB de la impresora (la fuente de alimentación de la impresora dejarla desconectada), poner 115200 en la máxima velocidad de transmisión de datos y pulsar Connect (esquina superior izquierda "ver figura 51"), para desconectar la impresora tendremos que pulsar en Disconnect, que será la misma tecla de Connect, solo que el programa cambia los nombre cuando se conecta y desconecta. Una vez conectada la impresora ya podremos encender la fuente de alimentación de esta.

Si queremos monitorizar la temperatura de la impresora, para tener información continua de la temperatura de la base y del hot-end, podremos pulsar sobre el recuadro blando de Monitor Printer, de manera que salga un tic negro dentro del recuadro, esto significara que lo hemos activado "ver figura 51". Para calentar la impresora simplemente tendremos que ir al apartado de control de temperaturas que está debajo del de control de movimiento "ver figura 51", elegir las temperaturas del extrusor (Heater) y de la base caliente (Bed) según el plástico que usemos y pulsar Set para calentar y Off para dejar de calentar. Al estar monitorizada la impresora nos aparecerá un grafico y los valores reales de temperatura en la esquina inferior izquierda "ver figura 51".

El último control, el del extrusor, se encuentra debajo del de las temperaturas. El primer dato se refiere a la cantidad de filamento que queremos extruir (mm) y el segundo la velocidad a la que lo queremos extruir (mm/min, no pasar de los 90 mm/min). Si pulsamos Extrude, extruiremos y si pulsamos Reverse sacaremos el filamento (esto es útil para cambiar el filamento cuando se nos acabe o para cambiar simplemente de color de filameto) "ver figura 51". Tanto al pulsar Extrude como Reverse el hot-end tiene que estar a 185ºC para PLA o 225ºC para ABS si no queremos dañar el hot-end y el filamento.

Una vez sabemos controlar la impresora ya podemos imprimir. Mientras que se caliente la base y el hot-end podemos pulsar File/Open y seleccionar un archivo de un objeto de extensión .stl que queramos imprimir para que el programa a través del Skeinforge 41 nos haga el slicing y nos cree un archivo de extensión .gcode. Cuando este archivo este terminado (lo podremos ver en la consola de la derecha "ver figura 51") volveremos a pulsar File/Open y seleccionaremos ese archivo .gcode que estará en el mismo lugar que el archivo .stl que elegimos y tendrá el mismo nombre, lo único que cambia es la extensión. Una vez cargado el .gcode, nuestro extrusor este a 185ºC para PLA o 225ºC

para ABS y la base este a casi 100ºC ya podremos imprimir, para ello pulsaremos el botón Print "ver figura 51".

En caso de que al imprimir suene algún tipo de sonido raro o el extrusor baje demasiado e impacte con la base caliente o creamos que se está produciendo algún fallo apagaremos rápidamente la fuente de alimentación de la impresora y pulsaremos Pause en el Pronterface "ver figura 51". Encenderemos otra vez la impresora y comprobaremos que está fallando.

Si al imprimir la primera capa nos la hace mal o nos confundimos de pieza podemos dar al Pause "ver figura 51", subir el eje Z, retirar lo que este impreso, cargar el .gcode que queramos y esperar que la base se caliente mas, puesto que si no está muy caliente la primera capa no la hace bien.

Puede suceder que a mitad de una impresión nos quedemos sin filamento o queramos cambiar de color para imprimir el objeto en distintos colores. Lo que tenemos que hacer antes de que el filamento entre del todo en el extrusor (en el caso de que nos quedemos sin filamento) o cuando queramos cambiar de color, es dar al Pause "ver figura 51", subir el eje Z bastante, dar a Reverse hasta que saquemos el filamento. Después introduciremos el nuevo filamento y daremos Extrude hasta que salga plástico por el hot-end durante un rato (si cambiamos de color lo haremos hasta que salga el color real del filamento, ya que al mezclar colores saldrá otro color) con cuidado de que no caiga el filamento que extruimos encima de la pieza que imprimimos puesto que podriadañarse. Una vez terminado pulsamos en Continue, que será la misma tecla de Print solo que el programa la cambia de nombre. La impresora se posicionara en el sitio donde dimos al Pause y seguirá imprimiendo. Otra opción es mientras que se está introduciendo los últimos centímetros de filamento en el extrusor es ir poniendo manualmente el extremo del nuevo filamento cerca del que se termina para hacer una continuidad del filamento, aunque esto puede producir que una parte pequeña de la pieza no se imprima del todo bien (en caso de querer cambiar de color cortaremos el filamento y realizaremos el proceso antes descrito con el filamento del nuevo color).

Siempre que se termine de imprimir una pieza tendremos que pulsar Off en la base para que esta se enfríe, a partir de 70ºC podremos intentar despegarla, dependiendo de la pieza tendremos que esperar a que la base esté más fría o no. Una vez retirada la pieza y su perímetro pulsaremos Set para calentar otra vez la base si queremos seguir imprimiendo.

Algunos comandos nuevos que nos pueden ayudar son:

Cuando la pantalla derecha del Pronterface está llena de texto y la quieres borrar pinchando en File/Clear console borraremos el texto "ver figuras 51 y 52". El segundo comando que quería explicar es por si queremos comprobar el número de piezas que vamos a imprimir o las trayectorias que seguirá el hot-end capa a capa antes de verlo a

tiempo real en el Pronterface podemos hacer click izquierdo en la ventana cuadriculada del Pronterface "ver figuras 51 y 52" mientras que pulsamos la tecla Shift "ver figura 53" nos aparecerá una ventana con la información capa a capa del .gcode, en la cual manteniendo el botón de Shift pulsado y moviendo la rueda del ratón hacia atrás o hacia delante podremos ver las trayectorias y las capas que se imprimirán "ver figura 54".

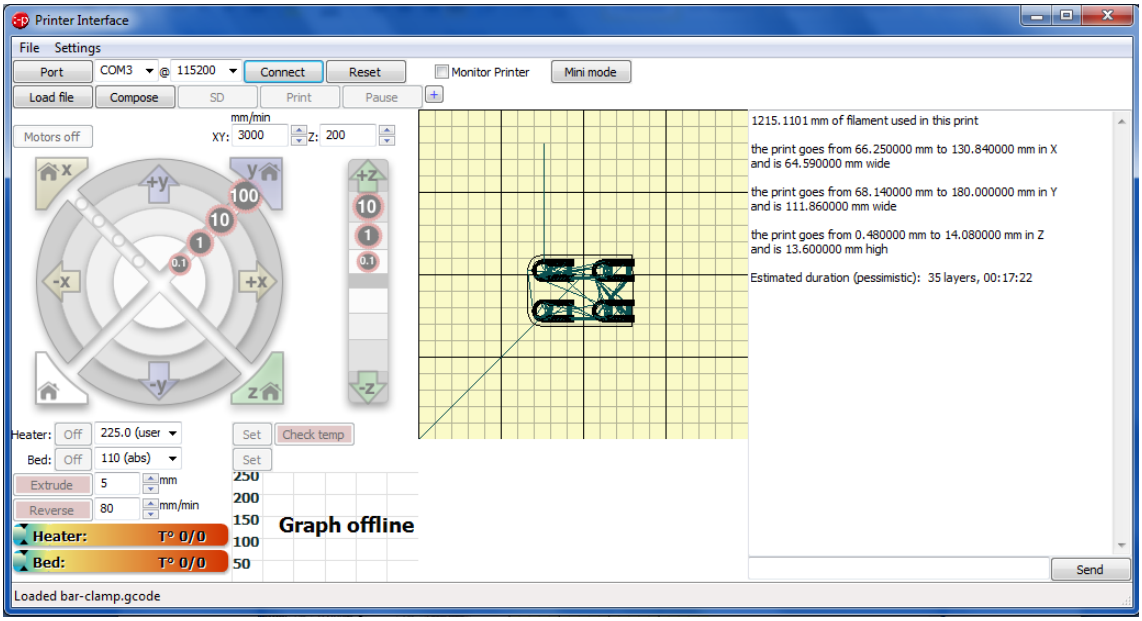


Figura 51: Pronterface con texto

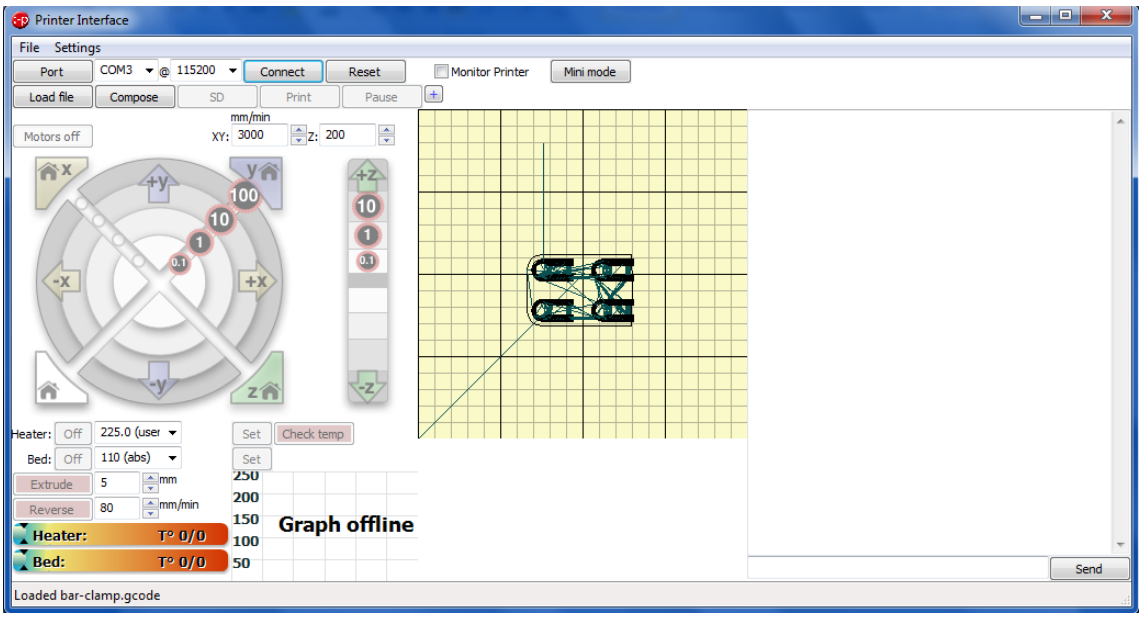


Figura 52: Pronterface sin texto

Figura 53: tecla Shift

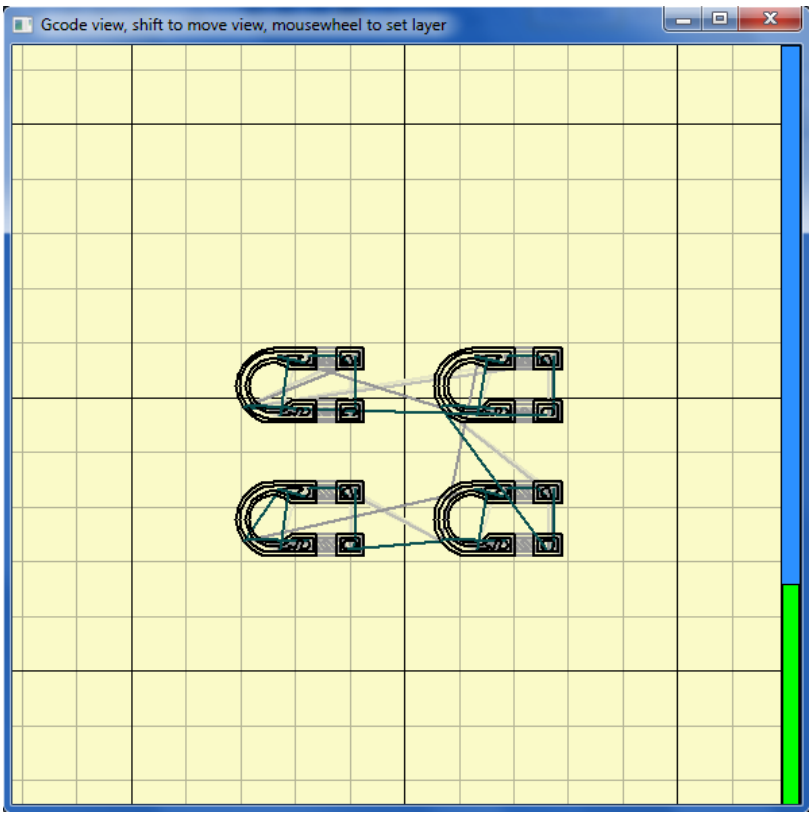


Figura 54: visión del .gcode

Una buena forma de comprobar que tu impresora funciona bien es hacer que toque la canción de la Marcha Imperial, puedes bajar el archivo imperial.gcode en el apartado Pruebas del siguiente link [10]. Para guardarlo tendrás que hacer click derecho y pulsar la opción Guardar destino como… en la ventana que te aparezca para guardarlo pon como nombre imperial.gcode y tipo: Todos los archivos, de esta manera lo guardaremos este documento en formato .gcode. Para reproducirlo tenemos que cargar el archivo imperial.gcode en la impresora como explique antes (no hace falta calentar el hot-end ni la base) y tener los ejes centrados de manera que tengan espacio para moverse si que colisionen con los extremos. Una vez esté todo listo pulsaremos Print y podremos escuchar esta banda sonora tocada por nuestra impresora, en el siguiente link tenéis un video de mi impresora tocando la Marcha Imperial [11].

7

Skeinforge 41

Para poder acceder al Skeinforge 41 desde Pronterface deberemos hacer click en Settings/SFACT settings o Settings/Slicing Settings según la versión que tengamos de Pronterface y nos aparecerá una ventana como esta, "ver figura 55". También según la versión de Skeinforge 41 que tengamos los nombres podrán cambiar así como el que aparezca o no algún comando. Todos los parámetros de calibración los realizaremos en el apartado Craft. Para seguir un orden iré de izquierda a derecha y de arriba abajo empezando por el comando Bottom hasta terminar por el comando Wipe. Describiré solo los comandos que se usan para calibrar la impresora 3D, ya que muchos comandos no se usan. De todas maneras Skeinforge 41 dispone de un apartado llamado Help en el cual podremos encontrar enlaces Web en ingles que nos aclaran las dudas sobre las funciones de cada comando por si quisierais indagar mas sobre los comandos que explique como los que no.

Todos los comandos que explique adjuntaré pantallazos de mi Skeinforge 41 para que toméis mis valores como referencia. Skeinforge 41 es un complemento software que se encarga de hacer el slicing (laminado) de los objetos tridimensionales que queremos imprimir. Esto quiere decir que el Skeinforge 41 trocea en capas horizontales el objeto 3D que queremos imprimir y genera las trayectorias que deberá seguir el hot-end para poder imprimir el objeto 3D. Así pues generara las coordenadas y movimientos que tendrán que realizar los motores de cada eje para realizar los movimientos coordinados que permitan al hot-end realizar dichas trayectorias.

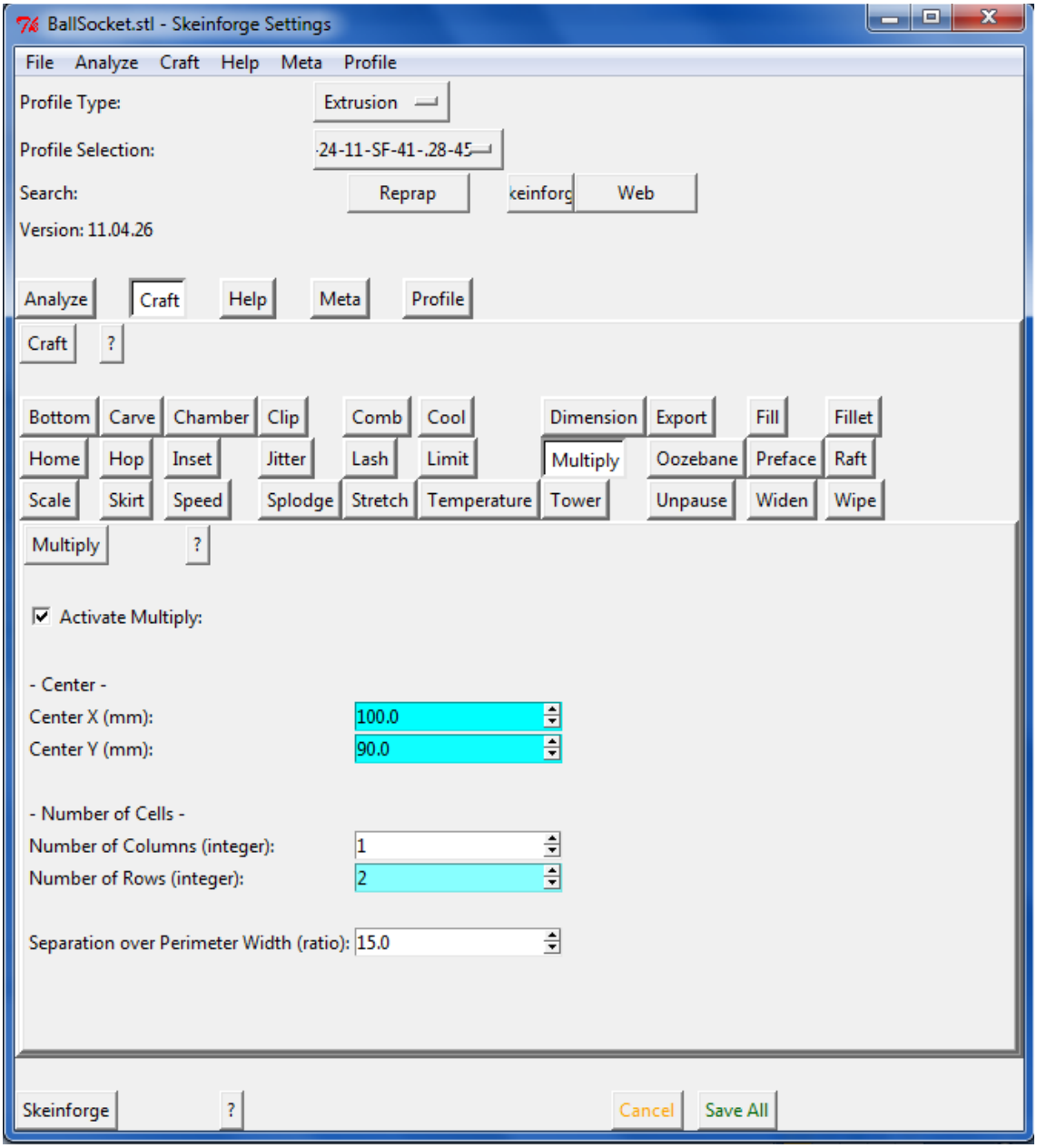


Figura 55: Skeinforge 41

7.1

Bottom

El comando Bottom es de gran importancia a la hora de imprimir la primera capa, ya que esta primera capa tendrá que estar un poco mas aplastada que las siguientes para así imprimir sobre una buena base y conseguir que no se nos despegue la pieza de la base caliente. La base caliente deberá estar entre 100ºC y 120ºC para que esto suceda, ya que si está más fría aunque la primera capa se haga bien, al estar fría la base se despegara "ver figura 56". Este efecto despegue puede afectar a la calidad de impresión de las capas superiores en esa zona, incluso puede provocar que se despegue toda la pieza al ser arrastrada por el hot-end.

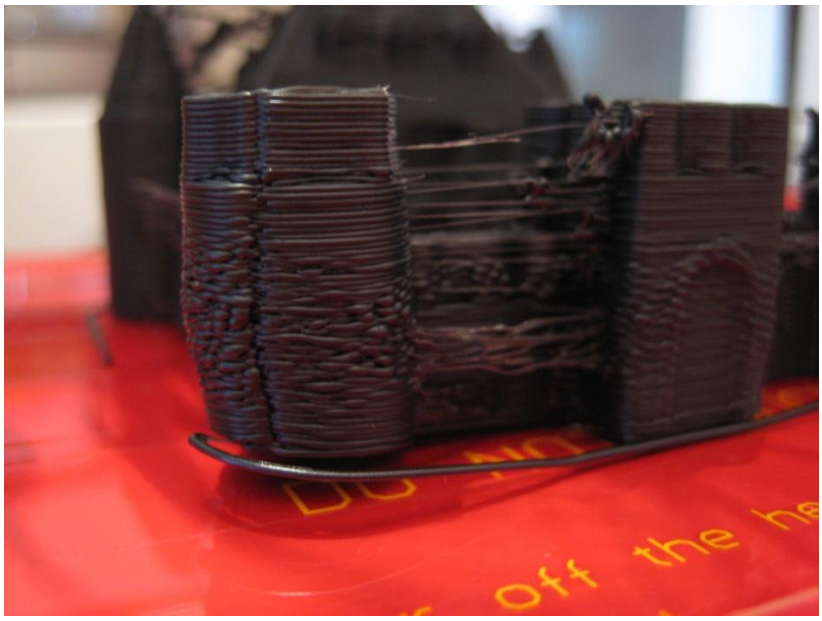


Figura 56: efecto despegue

Para activar un comando del Skeinforge 41 deberemos hacer click izquierdo sobre el recuadro blanco o sobre el nombre del comando para activarlo (aparecerá un tic negro en el recuadro blando), si ya está activo y lo queremos desactivar haremos lo mismo (el tic negro desaparecerá). Por tanto nosotros activaremos el Bottom y pondremos los siguientes datos "ver figura 57". Como podemos ver en la "figura 57" existe un símbolo de interrogación, si lo pulsamos se nos abrirá nuestro explorador de internet con una

web en ingles donde nos explica lo que hace el comando Bottom y sus distintos parámetros. Esta interrogación nos aparecerá en todos los comandos.

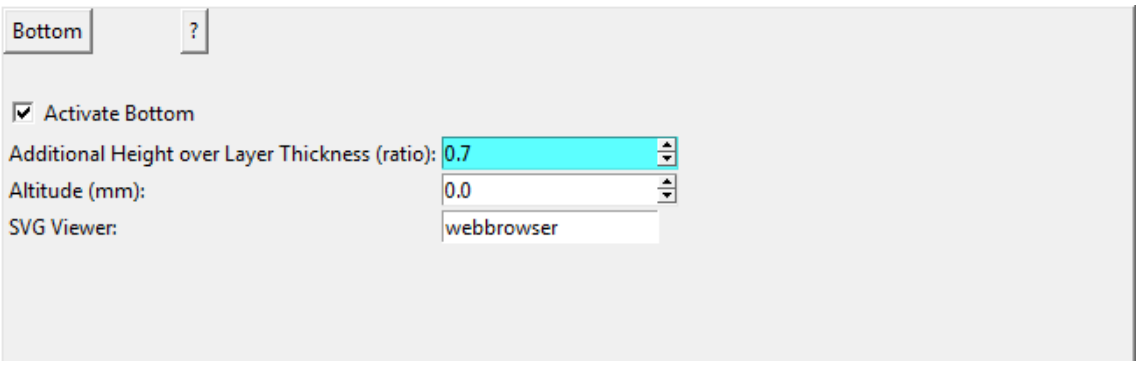


Figura 57: Bottom

El primer dato (0.7) corresponde a la altura que subirá el eje Z cuando se traslade desde el punto de reposo total de todos los ejes (homing), hasta el punto donde empezara a imprimir. Este dato no es necesario modificarlo. El que si tendréis que modificar es el siguiente, la altura de la primera capa (Altitude). Haciendo memoria sobre lo que os conté en el apartado de calibración mecánica del eje Z, si el hot-end en su punto de reposo (homing) está sin tocar la base caliente (unos 0.1 mm) podéis dejar la altura a 0, pero si el hot-end está tocando la base tendréis que poner en la altura 0.1 o 0.2 o 0.3…. Tanto en una opción como en la otra se deberán ajustar cuando hagamos las pruebas de impresión. Lo importante de la primera capa es que este bien pegada a la base y que tenga plástico de sobra "ver figura 58". Cualquier cambio que hagamos y queramos que se mantenga tendremos que pulsar en Save All "ver figura 55" para que esto suceda antes de cerrar el Skeinforge 41.

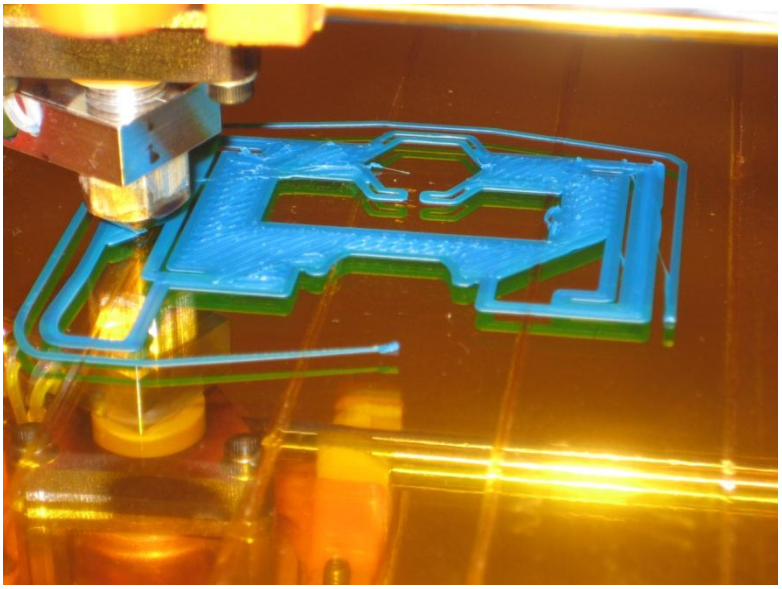


Figura 58: primera capa

Los siguientes comandos “ver figura 55” Chamber, Clip y Comb, no los usaremos y por tanto los tendremos desactivados. Los comandos Carve “ver figura 59” y Cool “ver figura 60” los tendremos activos con los parámetros que vienen por defecto o con los parámetros que aparecen en las “figuras 59 y 60” ya que dependiendo de la versión de Skeinforge 41 estos pueden variar así como la cantidad de parámetros.

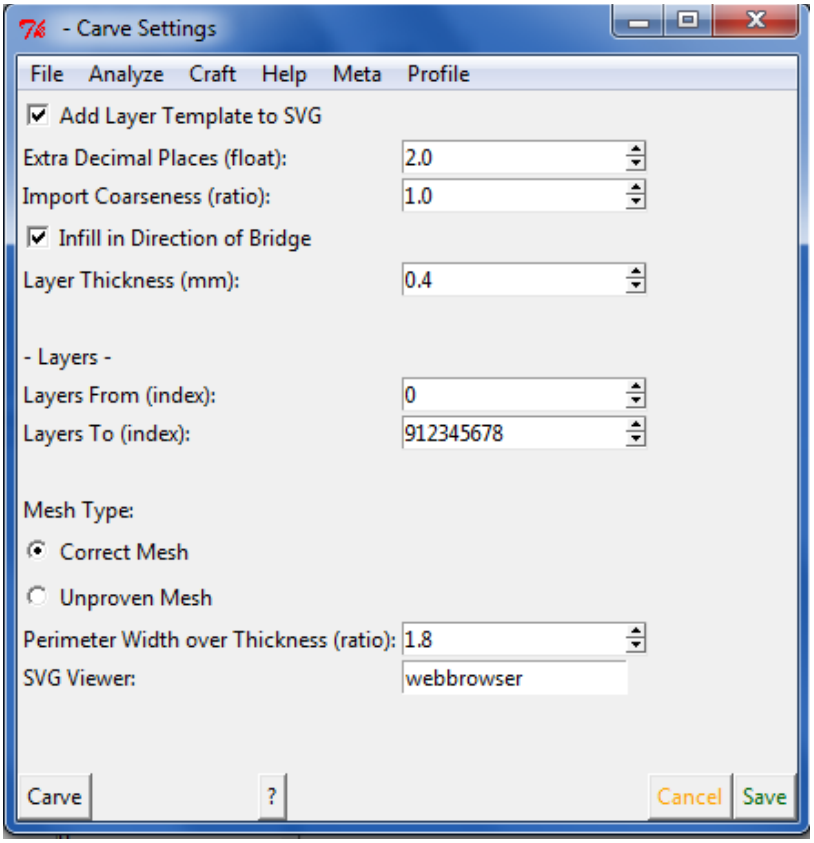


Figura 59: Carve

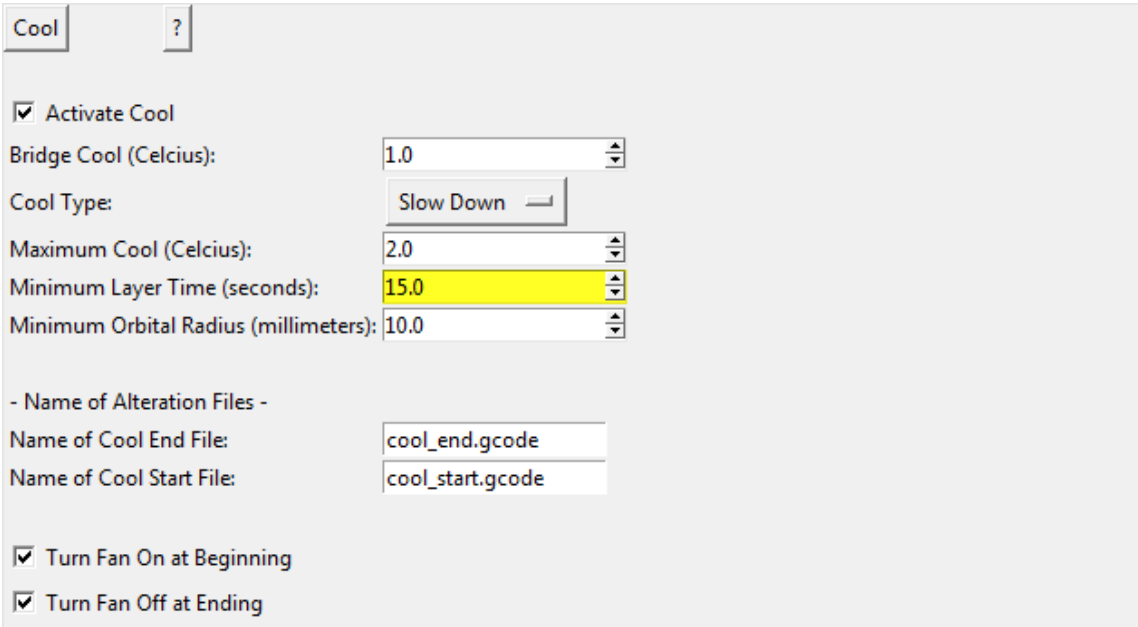


Figura 60: Cool

7.2

Dimension

El siguiente comando que usaremos y por tanto activaremos es el llamado Dimensión. Este comando se encarga básicamente de mandar al extrusor que chupe plástico hacia arriba cuando el hot-end deja de imprimir en una zona y viaja a otra zona para imprimir. Este fenómeno requiere tener en cuenta los valores de otros comandos como el de la velocidad (Speed). Normalmente esto se traduce en que una zona de la pieza se queda con menos plástico y parece más defectuosa "ver figuras 61, 62 y 63", en piezas más grandes aparecerán pequeñas bolitas e hilos finísimos de plástico por las zonas donde se ha movido la impresora al dejar de extruir "ver figura 64". Por tanto según las piezas que queramos realizar será conveniente o no usarlo (simplemente con poner 0.0 en Retraction Distance y en Restart Extra Distance sería suficiente "ver figura 66"). Si pulsamos en la interrogación nos aparecerá una web con los parámetros bien explicados en ingles. Personalmente prefiero dejar los parámetros Retraction Distance y Restart Extra Distance a 0.0 y mediante un cúter y una lima quitar ese poco sobrante "ver figura 65"y tener una pieza perfecta, que no tener una pieza con algún defecto por falta de impresión en algún sitio.

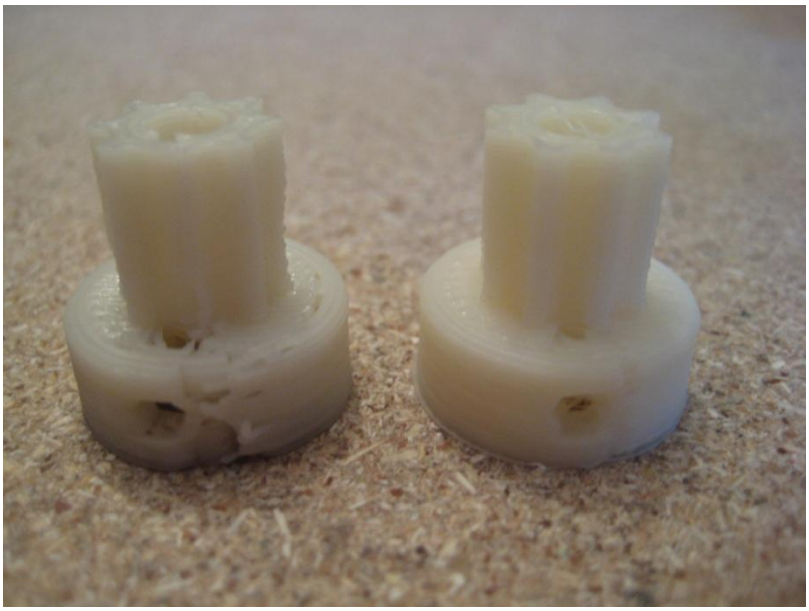


Figura 61: Pieza con Retraction (izquierda), pieza sin Retraction (derecha) 1

Figura 62: Pieza con Retraction (izquierda), pieza sin Retraction (derecha) 2

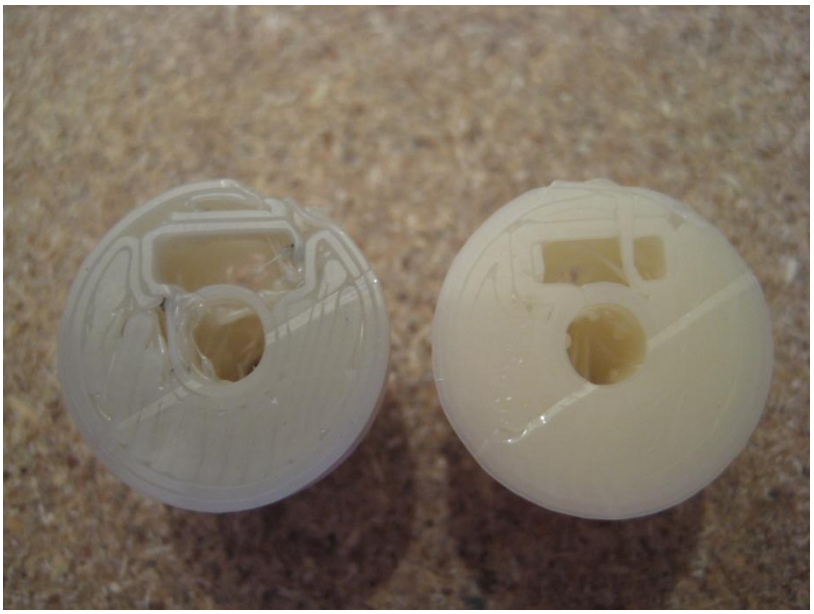


Figura 63: Pieza con Retraction (izquierda), pieza sin Retraction (derecha) 3

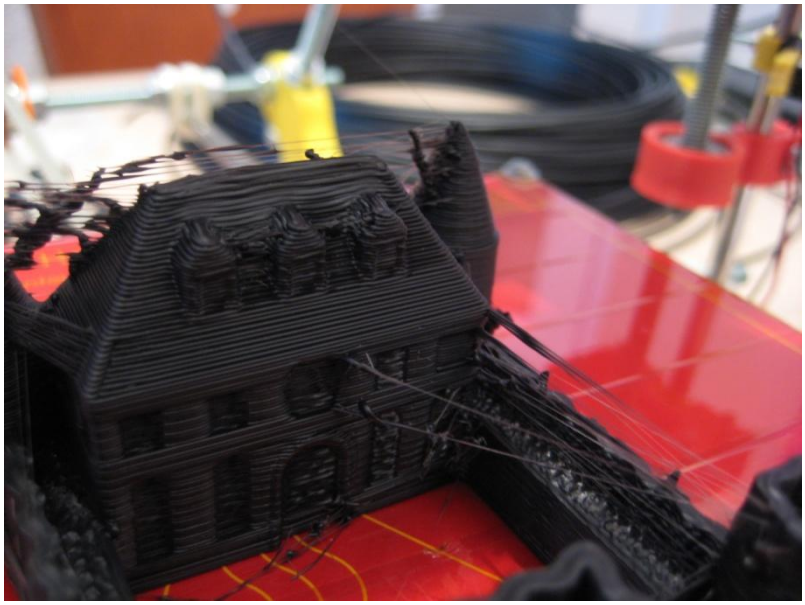


Figura 64: pieza sin Retraction con rebabas

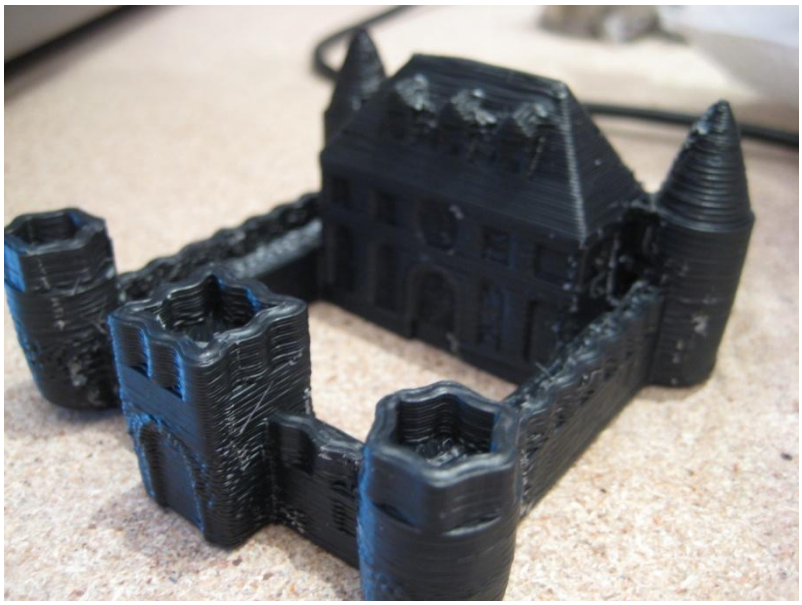


Figura 65: pieza sin Retraction limpia

En este comando tendremos que destacar cuatro parámetros importantes, el primero de ellos es el llamado Extruder Retraction Speed, que es la velocidad a la que chupa y vuelve a extruir el extrusor el filamento de plástico cuando se deja de imprimir en una zona y se viaja a otra a imprimir. Esta velocidad dependerá de la que tengamos en el comando Speed, ya que cuanto mayor sean las velocidades en Speed mayor tendrá que

ser esta velocidad, ya que si no dejaremos más trozo de objeto sin imprimir. Una buena relación seria poner casi el doble del valor de Feed Rate del comando Speed, aunque yo no pondría más de 90 mm/s ya que podemos dañar los engranajes del extrusor (aunque en la web de ayuda, interrogación, dicen que para un Feed Rate de 48 usan un Extruder Retraction Speed de 150). El siguiente parámetro importante es el Filament Diameter, que se refiere al diámetro del filamento plástico que usamos, por tanto con un calibre digital realizamos barias mediciones en nuestro filamento y ponemos la media de los datos que obtengamos. Los otros dos últimos parámetros importantes, de los cuales ya hable anteriormente son el Retraction Distance (es la distancia de filamento que chupa el extrusor cuando deja de imprimir) y el Restart Extra Distance (es la distancia extra de filamento que chupa antes de imprimir, por tanto tendremos que poner valores negativos para extruir mas plástico de lo normal para dejar la menor distancia de objeto sin imprimir, por ejemplo -0.2) “ver figura 66”.

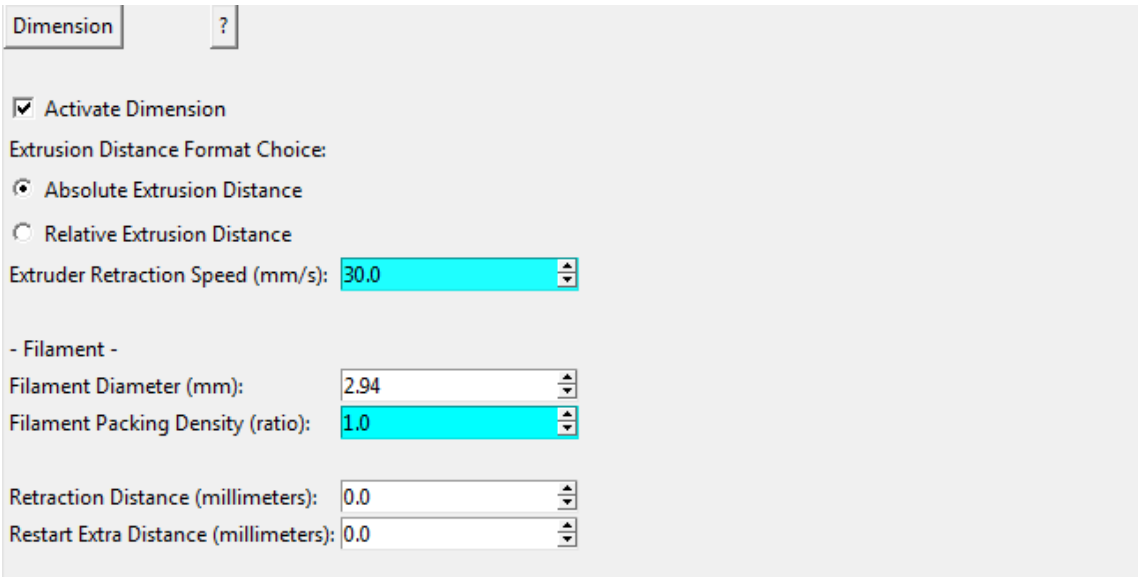


Figura 66: Dimension

El siguiente comando “ver figura 55” llamado Export lo tendremos activo pero no hace falta configurar nada, se encarga de exportar los datos del Slicing al formato .gcode “ver figura 67”.

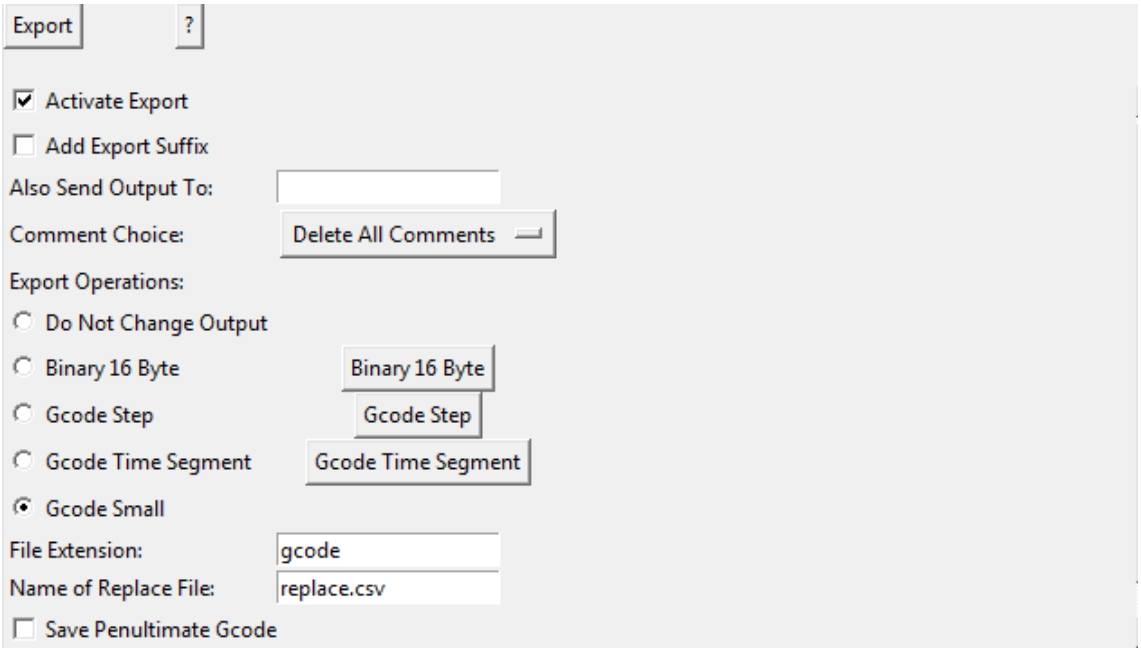


Figura 67: Export

7.3

Fill

Este comando es muy importante a la hora de imprimir y lo usaremos mucho a la hora de cambiar las prestaciones que queramos dar a nuestros objetos. El comando Fill nos permitirá variar la densidad de las piezas que imprimamos, por tanto nos permite hacer piezas más o menos solidas. Este comando tendrá cinco parámetros fundamentales localizados en el apartado Infill "ver figura 68", el primero de ellos será el Infill Pattern, que se refiere a la forma geométrica con la que se rellenara el interior de las piezas. Nos dan las opciones de hacer el relleno con círculos, rectángulos, hexágonos y líneas, pero elegiremos el Grid Hexagonal (relleno hexagonal) puesto que su forma estructural permite soportar mayores cargas y deformaciones, es el típico relleno de panal de abeja que se usa en la industria "ver figura 69".

El siguiente parámetro es el Infill Perimeter Overlap, el cual se refiere a la superposición del relleno con las paredes del objeto, por defecto tenemos un 0,05, si ponemos 0 el relleno no tocaría las paredes, y eso no es muy bueno estructuralmente hablando. Este parámetro nunca deberá exceder el valor de 0.7, pero dependiendo del plástico que usemos para imprimir y su densidad tendremos valores comprendidos entre los 0.05 y los 0.7 (para ABS como mucho 0.2) "ver figura 69".

El parámetro que tenemos a continuación es el Infill Solidity, el cual reflejara el porcentaje de espacio interno que rellenamos (ejemplo: 0.2 equivale a un 20% de relleno, por tanto 1 es el 100%), cuanto más solida hagamos la pieza más tardara en imprimirse, mas material gastara, pero será más compacta y dura la pieza (recomiendo usar valores entre 0.1 y 0.4 ya que son suficientes como para tener buenas prestaciones en nuestras piezas) "ver figura 69".

El siguiente parámetro que tenemos es el Infill Width over Thickness, que se encarga de juntar o separar las líneas de filamentos, esto se aprecia mejor en el cierre de una pieza, o lo que es lo mismo, ultimas capas que se imprimen en una pieza. Si al cerrar la pieza deja mucho sitio entre líneas "ver figura 70" tendremos que bajar el valor de Infill Width over Thickness o aumentar la cantidad de plástico que extruimos en el comando Speed, aumentando el valor del parámetro Flow Rate Setting. Por el contrario si la pieza está bien cerrada pero tiene demasiado plástico "ver figura 71", ya que se producen surcos y la superficie es rugosa podremos aumentar el valor de Infill Width over Thickness o bajar el valor de Flow Rate Setting.

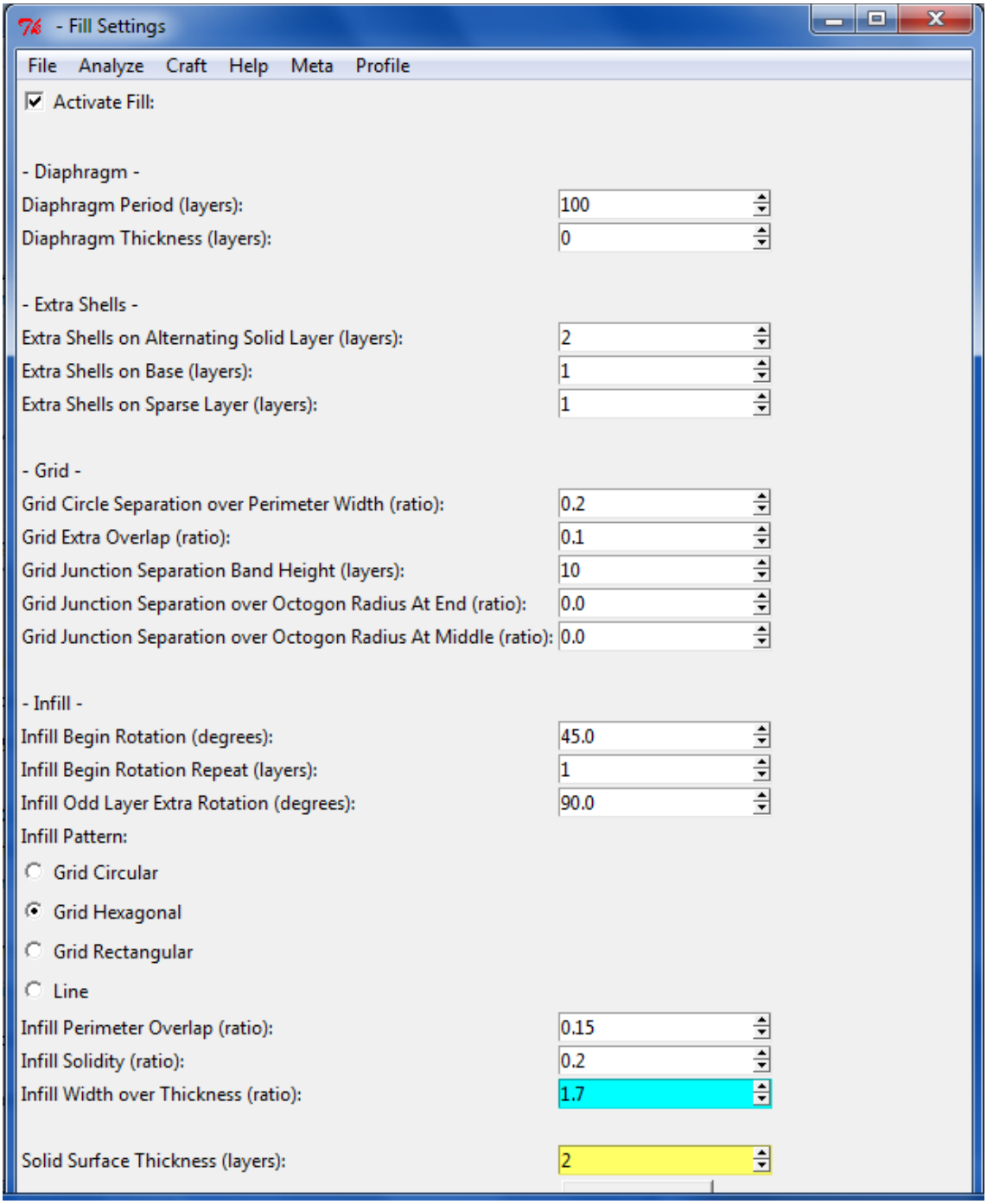


Figura 68: Fill

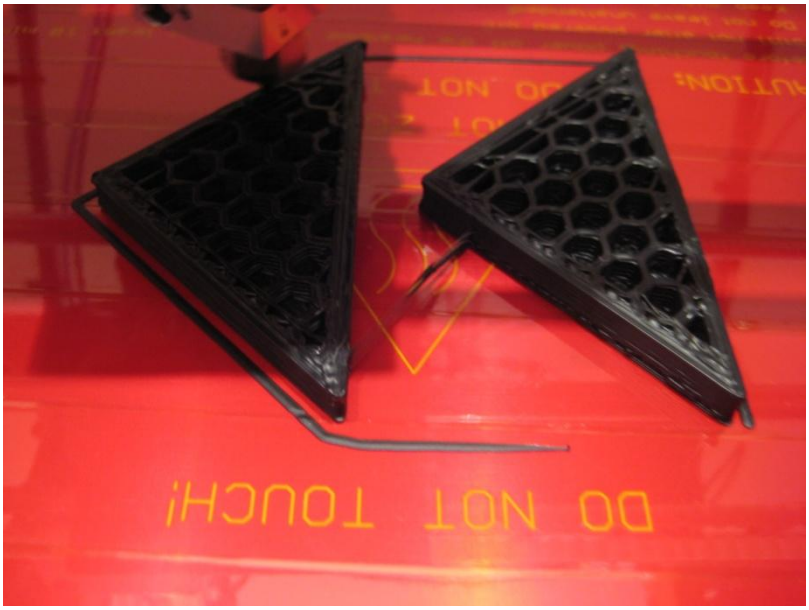


Figura 69: relleno hexagonal (0.3=30%)

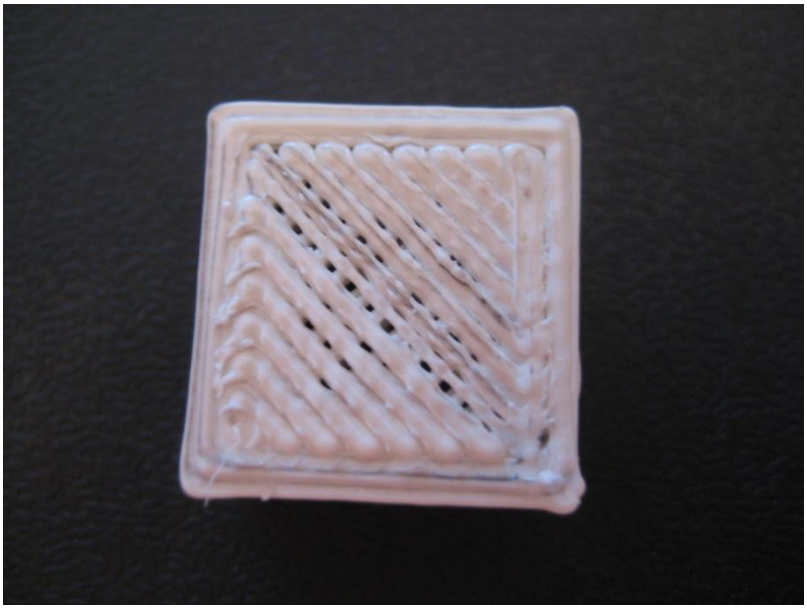


Figura 70: cerrado de menos

Figura 71: cerrado de más

El último parámetro de importancia en este comando es el Solid Surface Thinckness, en el que el valor que le pongamos equivale al número de capas solidas que imprime al empezar, terminar y cerrar un hueco de una pieza, así como las líneas que hace en todos los bordes de la pieza capa a capa. Por mi experiencia un valor de 2 o 3 en este parámetro es más que suficiente.

Los siguiente comandos "ver figura 55" Fillet, Home, Hop, Inset y Jitter no los usaremos por tanto los tendremos desactivados.

7.4

Lash

El comando Lash nos permite mitigar el error del Backlash que he hablado anteriormente. En caso de sufrir Backlash tendremos que activar este comando, los dos parámetros que tenemos (X Backlash e Y Backlash) los debemos obtener. Para obtenerlos simplemente tendremos que mover mediante el programa Pronterface el eje X en una dirección 10 mm sin que colisione con el final de carrera de ese eje o en el otro extremo, a continuación moveremos el eje en sentido contrario 0.1 mm mientras que tenemos la mano tocando el carro del eje X, si no se mueve pulsaremos de nuevo para que se mueva 0.1 mm, así hasta que se mueva. El número de pulsaciones que hemos tenido que dar hasta que se mueva multiplicado por 0.1, nos dará el Backlash que tenemos en el eje X. Para ser más precisos hacer este procedimiento varias veces y en sentidos opuestos, de manera que si una medición la hicimos pulsando 10 mm a la derecha y luego repeticiones de 0.1 mm a la izquierda, en la siguiente toma de valores hagamos 10 mm a la izquierda y luego repeticiones de 0.1 mm a la derecha. La media de los valores obtenidos será el valor de nuestro Backlash en el eje X, ese valor lo tendremos que poner en el apartado X Backlash. El procedimiento será el mismo para el eje Y, el valor final que obtengamos lo tendremos que poner en Y Backlash “ver figura 72”.

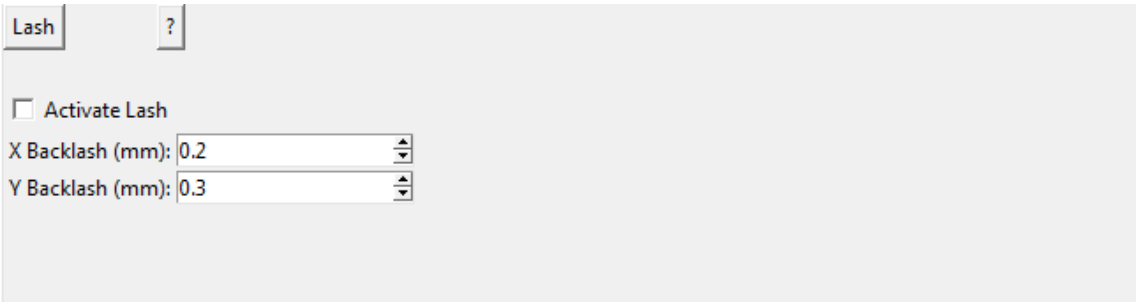


Figura 72: Lash

El comando Limit lo tendremos activado aunque no realizaremos ningún cambio en el, “ver figura 73”.

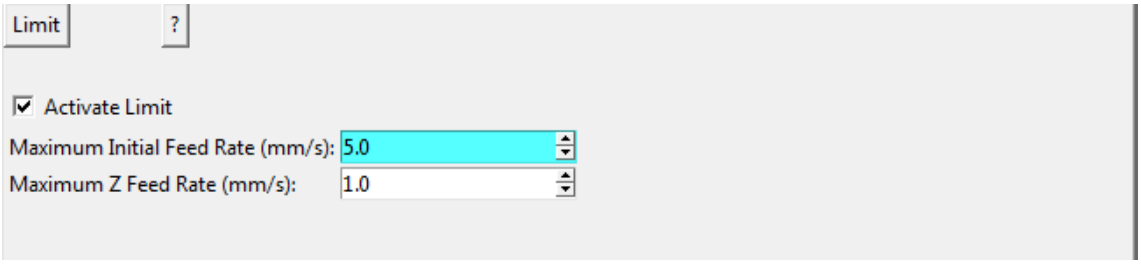


Figura 73: Limit

7.5

Multiply

El comando Multiply nos permite centrar nuestras piezas cuando solo imprimimos una, para ello tendremos que poner las distancias del eje X e Y del centro de nuestra base caliente en el apartado Center "ver figura 74" y poner a 1 el valor de Number of Columns y Number of Rows "ver figura 74" (numero de columnas y filas). Si queremos imprimir varias piezas a la vez, primero tenemos que asegurarnos de que cogen, aunque cuando se realice el .gcode podremos ver si se salen del área de impresión. Normalmente imprimiremos varias piezas pequeñas e iguales a la vez para ahorrar el tiempo que esperamos al calentar y enfriar la base caliente cuando retiramos las piezas y queremos imprimir de seguido. Para hacer una matriz de piezas solo hace falta cambiar el valor de Number of Columns y Number of Rows (numero de columnas y filas) para así imprimir de una vez el número de piezas que queramos.

El ultimo parámetro es Separation over Perimeter Whidth, que nos indica la distancia entre piezas al hacer una matriz, por tanto si bajamos este valor las piezas se imprimirán mas juntas, si lo aumentamos se imprimirán mas separadas "ver figura 74".

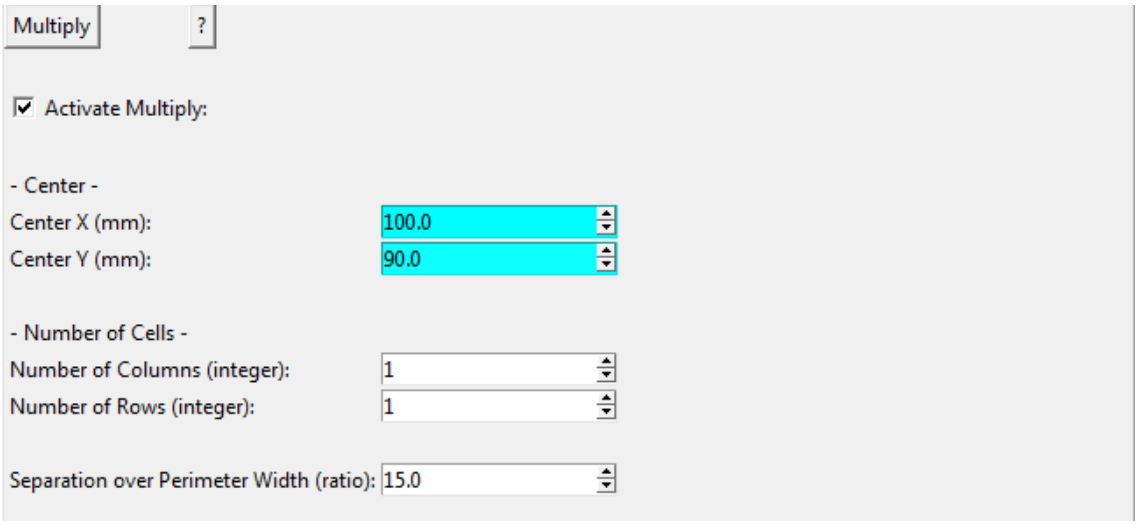


Figura 74: Multiply

En el siguiente link [12] podréis ver un video de mi impresora realizando una impresión múltiple de una matriz 2x2 de las piezas Y Bushing de la impresora 3D modelo Prusa Air 2.

El siguiente comando "ver figura 55" Oozebane no los usaremos y por tanto estará desactivado. El comando Preface "ver figura 75" los tendremos activado con las especificaciones que se ven en la "figura 75".

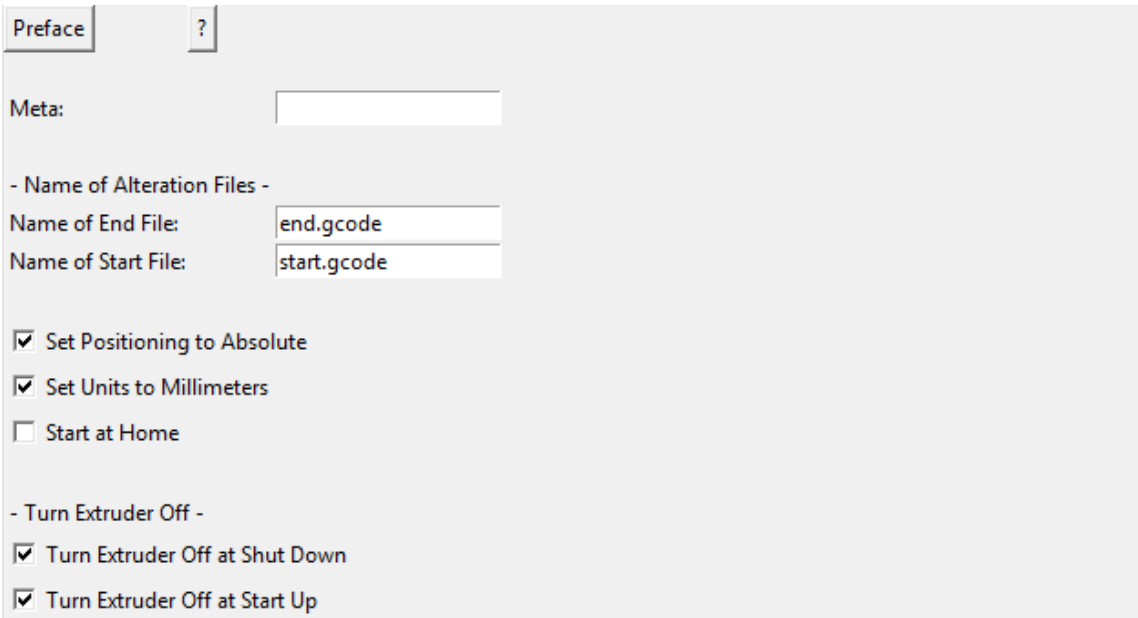


Figura 75: Preface

7.6

Raft

El Raft es un comando que nos permite imprimir una base con un área más grande que nuestro objeto a imprimir "ver figuras 76 y 77" y que sirve para que no se despeguen las puntas de las piezas, y por tanto conseguir no tener defectos, así como permitirnos imprimir objetos con un área pequeña en la base y una gran altura, de esta manera el Raft les proporciona una base donde asentarse mejor.

El Raft se compone de dos capas contrapuestas 90º, en la cual la primera se realiza muy lento y dejando mucho material en la base, de manera que se pegue bien a la base caliente y la segunda capa se realiza rápido y dejando poco material, para así ayudar a la hora de despegar el Raft de la pieza, cosa que tendremos que hacer manualmente cuando la pieza este fría y despegada de la base caliente (la pieza con el Raft) "ver figura 78".

El Raft lo podemos tener activo siempre si queremos, pero para no gastar tiempo y material en piezas que no lo necesita simplemente con poner a 0 los parámetros Base Layers y Interface Layers, que son el número de capas gruesas y finas que se hacen serviría. Otra opción es desactivar este comando y dejar a 1 el valor de los parámetros Base Layers y Interface Layers (poner en cualquiera de los dos parámetros un número mayor de 1 es una pérdida de tiempo y material, ya que se imprimirían capas innecesarias).

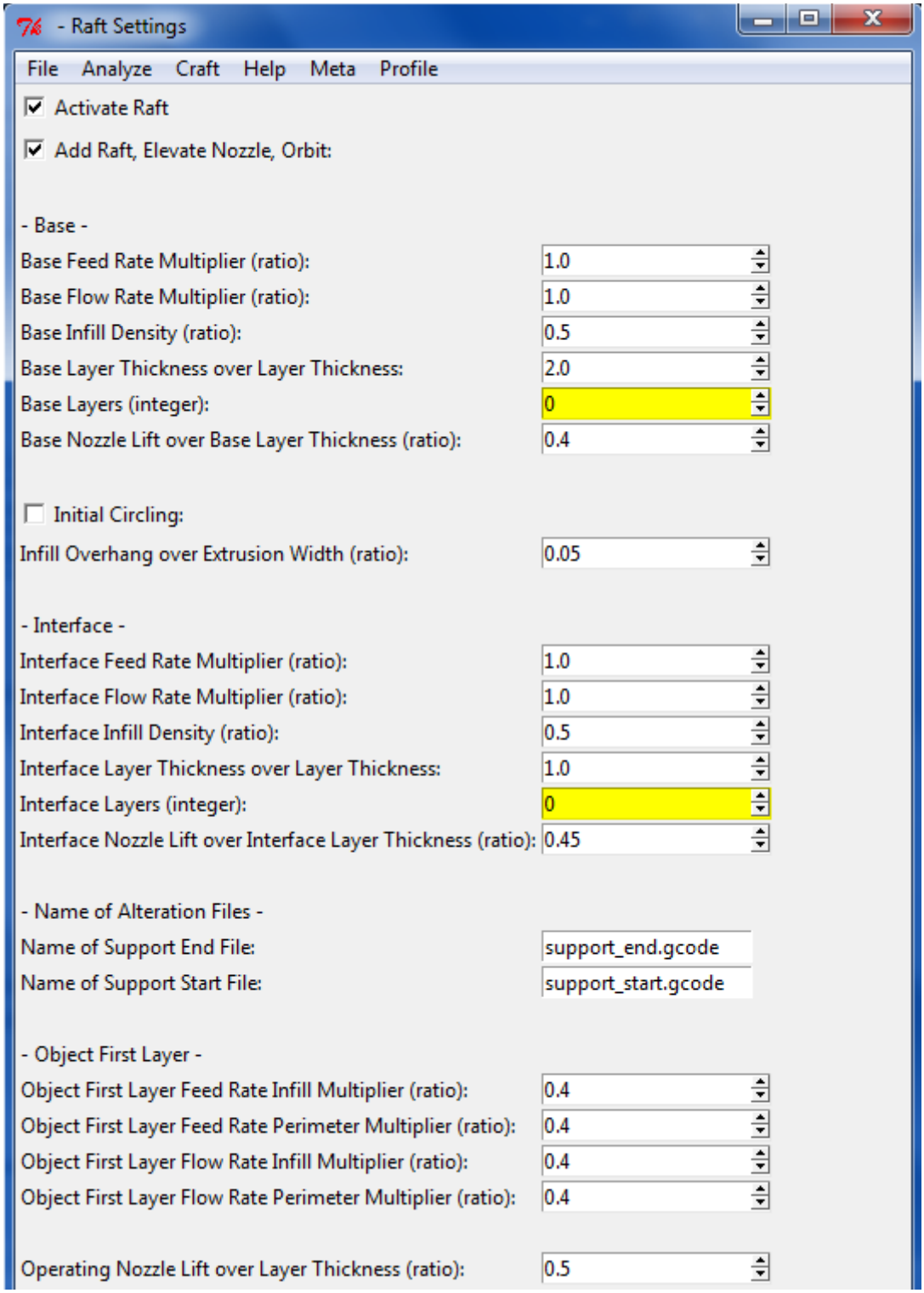


Figura 76: Raft 1

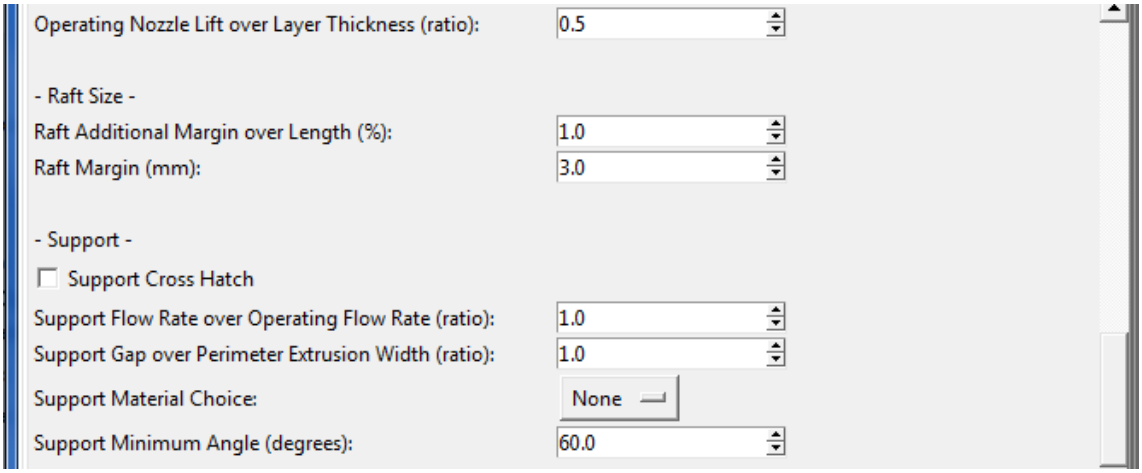


Figura 77: Raft 2

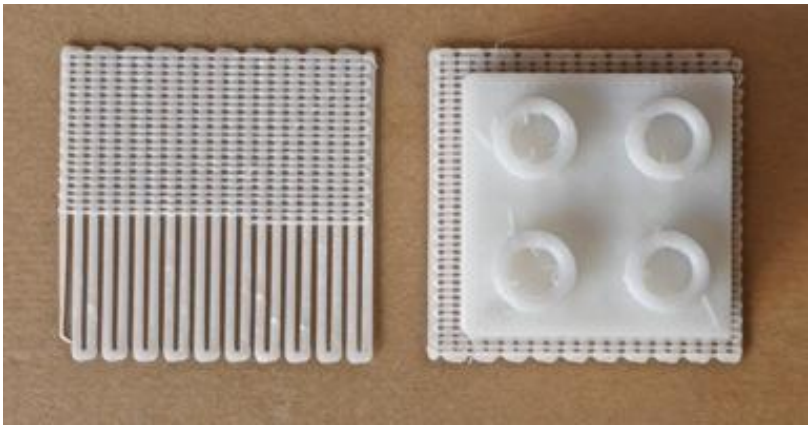


Figura 78: capas del Raft

El siguiente comando "ver figura 55" Scale no los usaremos y por tanto estará desactivado, aunque nos puede ser útil por si intentásemos imprimir una pieza más grande de lo que puede imprimir nuestra impresora, ya que podríamos reducir la pieza con este comando. El comando Skirt "ver figura 79" lo tendremos activado aunque no será necesario configurarlo.

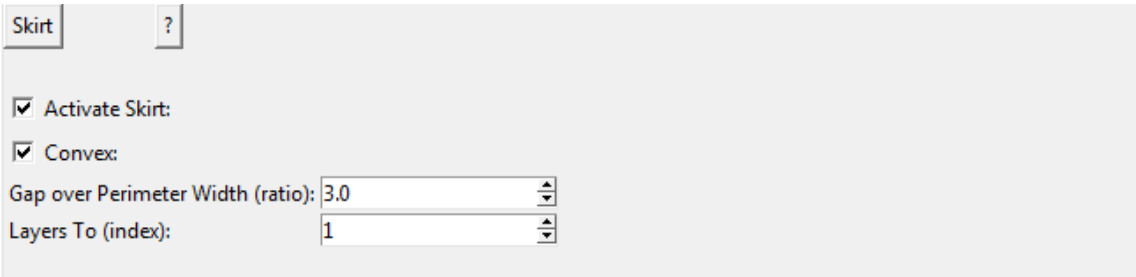


Figura 79: Skirt

7.7

Speed

EL comando Speed nos permite principalmente cambiar las velocidades a las cuales se mueven los ejes X, Y y el Extrusor cuando imprimimos, y la velocidad de traslado a la que se mueven los ejes X e Y cuando se deja de imprimir en una zona y se viaja a otra para imprimir. Este comando lo tendremos que tener activo, lo usaremos mucho ya que para piezas que requieran mucha perfección puesto que son pequeñas o tienen muchos detalles en espacios pequeños tendremos que bajar las velocidades, pero si imprimimos piezas grandes con pocos detalles, podemos imprimir a velocidades altas obteniendo una calidad de impresión optima "ver figura 80" (la velocidad máxima de extrusión os la dará vuestro hot-end, el que uso yo es el Budaschnozzle 1.1 que permite velocidades de 200 mm/s).

Los tres parámetros que usaremos en este comando son el Feed Rate (velocidad de los ejes X e Y cuando imprimimos), el Flow Rate Setting (velocidad del Extrusor cuando imprimimos) y el Travel Feed Rate (velocidad de viaje de los eje X e Y cuando no imprimimos). Las velocidades que subiremos o bajaremos para obtener más o menos perfección son el Feed Rate y el Flow Rate Setting, el Travel Feed Rate lo podemos mantener constante a velocidades altas sin ningún problema, pero si la pieza es pequeña o con muchos detalles en espacios pequeños es mejor reducirla.

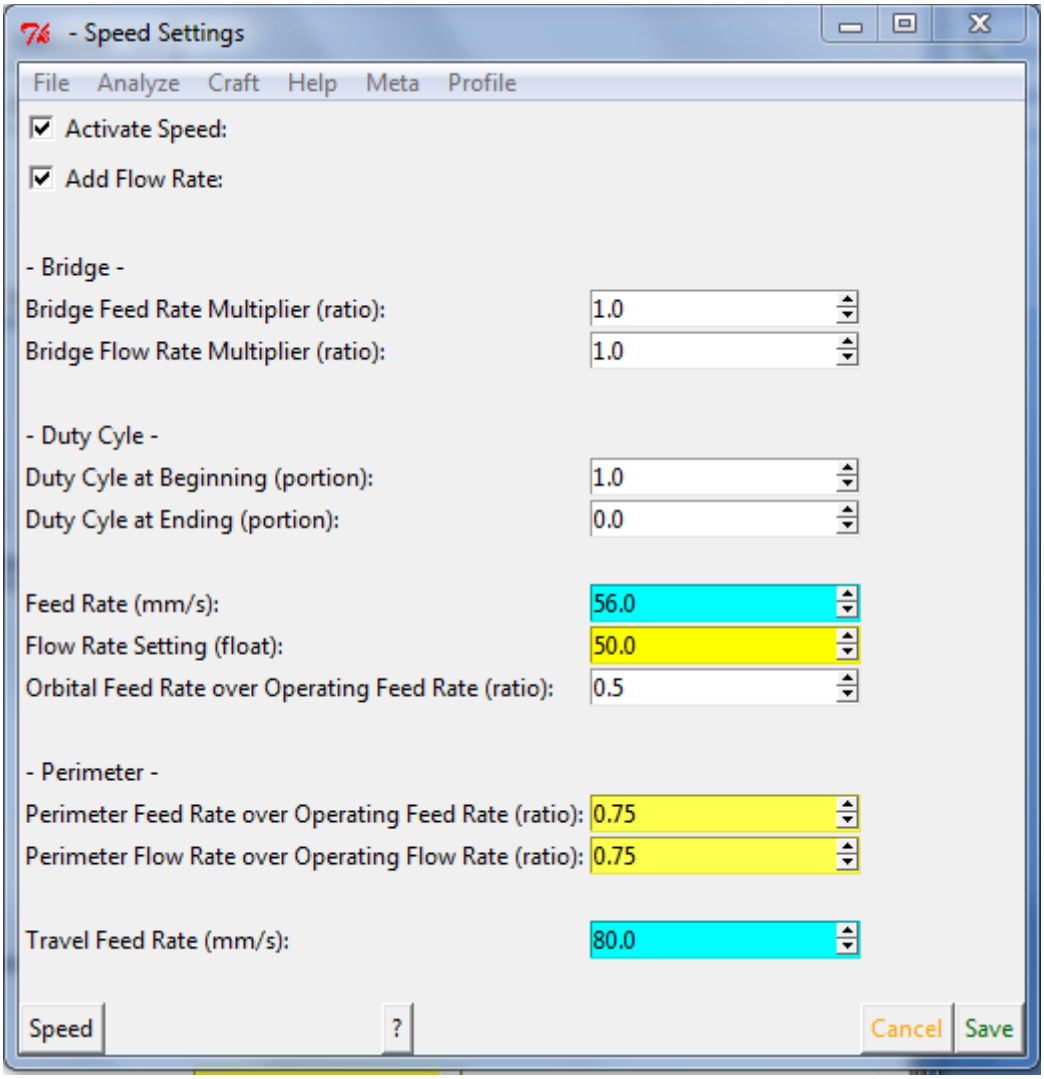


Figura 80: Speed

Los siguientes comandos "ver figura 55" Splodge y Stretch no los usaremos por tanto los tendremos desactivados.

7.8

Temperature

Este comando nos permite fijar la temperatura del extrusor a la cual queramos que imprima (185ºC para PLA y 225ºC para ABS) las distintas capas o soportes externos a la pieza que se pueden hacer. Por lo general en todos los parámetros del apartado Temperature "ver figura 81" deberemos poner el mismo valor de temperatura, aunque yo recomiendo poner +5ºC extra (190ºC para PLA y 230ºC para ABS) en los parámetros Object First Layer Infill Temperature (temperatura a la que extruimos la primera capa del objeto) y Object First Layer Perimeter Temperature (temperatura a la que extruimos el perímetro), para que la primera capa que imprimimos sea más fluida y se adhiera mejor a la base caliente evitando así que se nos despegue el objeto de la base caliente "ver figura 81".

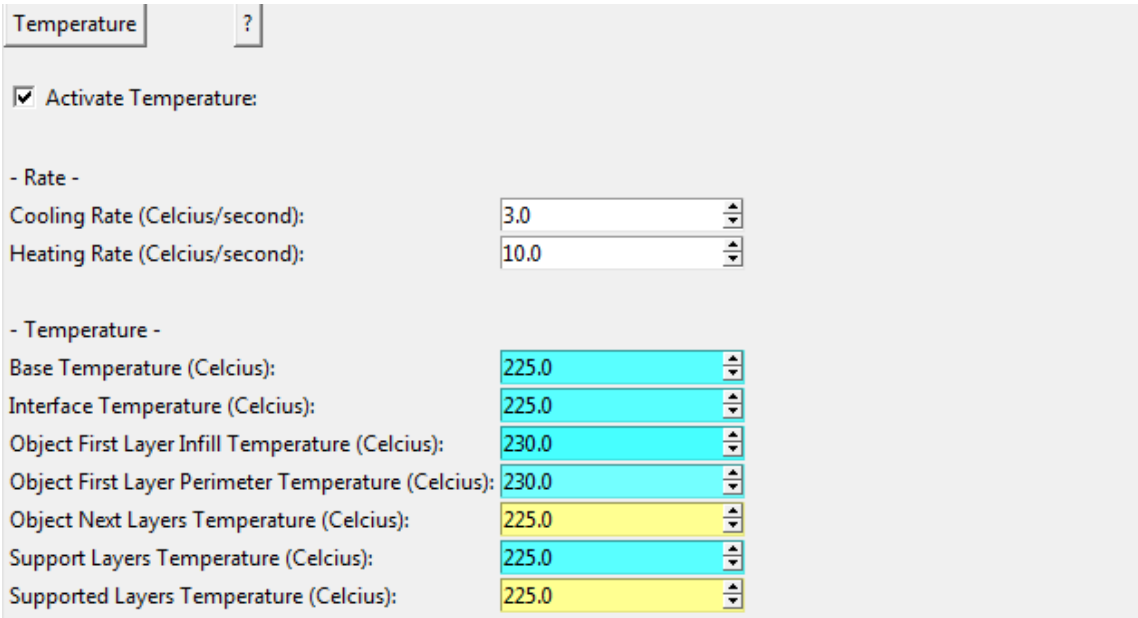


Figura 81: Temperature

Los siguientes últimos comandos "ver figura 55" Tower, Unpause, Widen y Wipe no los usaremos, por tanto los tendremos desactivados.

Como podemos ver muchos parámetros de comandos distintos están interrelacionados, y para poder obtener una buena calidad de impresión hace falta tener una impresora bien calibrada mecánicamente, que disponga de las actualizaciones pertinentes, así como un firmware bien ajustado. La calibración optima del software Skeinforge 41 nos la dará la experiencia mediante la impresión de objetos, ya que lo aquí explicado es una guía de la cual tenemos que partir, ya que cada impresora necesitara parámetros distintos a otra y los gustos de impresión de un usuario a otro pueden cambiar. En el siguiente link [5] encontrareis muchísima información extra sobre tipos de impresoras, videos, fotos, softwares y firmwares, enlaces de piezas de la estructura de las impresoras, etc. Esta web es de la asociación de robótica de la Universidad Carlos III de Madrid, la cual soy miembro (Clon #3: Maese Artorius).

Cuando iniciemos por primera vez el Skeinforge 41 desde Pronterface se nos creará una carpeta de nombre .skeinforge dentro de nuestra carpeta personal o carpeta de sistema (home) de nuestro sistema operativo. En esta carpeta se irán guardando las modificaciones que hagamos en el Skeinforge, de manera que si queremos imprimir desde otro ordenador o si actualizamos la versión del Skeinforge 41, en vez de introducir otra vez los datos manualmente podemos copiar y pegar esta carpeta, manteniendo así los parámetros que ya teníamos.

8

Presupuesto

En este apartado realizare un presupuesto en el cual englobare los precios de las distintas mejoras introducidas y una estimación del tiempo empleado en montarlas e imprimirlas (si son mejoras imprimibles), así como una estimación del tiempo necesario para calibrar la impresora.

Mejoras eje X	**Precio**	**Tiempo**
Tabla madera Dm	1´5€	
Instalación de la tabla		45 min
Subtotal 1	1´5€	45 min

Tabla 1: presupuesto eje X

Mejoras eje Y	**Precio**	**Tiempo**
Brida motor	0´05€	
Instalación de la brida		2 min
Espejo	1´5€	
Pinzas metálicas	1€	
Instalación del espejo		10 min
Subtotal 2	2´55€	12 min

Tabla 2: presupuesto eje Y

Mejoras eje Z	**Precio**	**Tiempo**
Impresión de la mejora	2€	15min
2 Rodamientos 608 zz	0´5€	
2 Tonillos M4x20+4 arandelas M4+2 tuercas M4	0´5€	
Instalación de la mejora		15 min
Subtotal 3	3€	30 min

Tabla 3: presupuesto eje Z

Mejoras Extrusor	Precio	Tiempo
Cilindro imprimido	0´45€	4 min
Instalación del cilindro		4 min
Subtotal 4	0´45€	8 min

Tabla 4: presupuesto extrusor

Mejoras Electrónica	Precio	Tiempo
Disipador DAHER 18.202+tornillo M3x10+arandela M3+tuerca M3	1´5€	
Instalación del disipador		2 min
MOSFET STB55NF06	1´5€	
Instalación del nuevo MOSFET		2 h
Ventilador	6€	
Soporte ventilador impreso	3€	1 h
Fieltro	1´5€	
Instalación del ventilador		30 min
Subtotal 5	13´5€	3 h 32 min

Tabla 5: presupuesto electrónica

Calibración Mecánica: 45 min

Calibración del Firmware: 2 h

Calibración del Skeinforge 41: 8 h

	Precio	Tiempo
Subtotal 1	1´5€	45 min
Subtotal 2	2´55€	12 min
Subtotal 3	3€	30 min
Subtotal 4	0´45€	8 min
Subtotal 5	13´5€	3 h 32 min
Calibración Mecánica		45 min
Calibración del Firmware		2 h
Calibración del Skeinforge 41		8 h
TOTAL	**21€**	**15 h 52 min**

Tabla 6: presupuesto TOTAL

9

Conclusiones

Para terminar puedo concluir que he cumplido ampliamente los dos objetivos propuesto, ya que he propuesto muchas mejoras que ayudan a obtener una mejor impresión, así como otras que ayudan a prolongar la vida útil de nuestra impresora evitándola daños. Todas las mejoras propuestas han sido probadas en varias impresoras, siempre obteniendo resultados satisfactorios. En relación al segundo objetivo, he realizado un protocolo de calibración simple y efectivo que permitirá a cualquier usuario calibrar su impresora 3D perfectamente, así como saber usar el programa software Pronterface y saber que parámetros tiene que cambiar en el programa software Skeinforge 41 para obtener resultados óptimos en cada impresión.

La gran mayoría de los datos, mejoras y consejos que he propuesto a lo largo de este proyecto han sido fruto de la investigación y experiencia obtenida en este último año y medio, experiencia que he obtenido gracias al trabajo de montaje, impresión, mantenimiento y reparación de las impresoras 3D modelo Thing-o-matic que disponemos en la Universidad Carlos III, así como del montaje, calibración y mantenimiento de mi propia impresora 3D modelo Prusa Mendel.

10

Anexos

10.1

Programa de diseño 3D OpenSCAD

OpenSCAD es una herramienta de diseño en 3D mediante programación, es gratuita y fácil de usar. Aunque tenga sus limitaciones permite realizar objetos básicos con gran facilidad, los más complejos requieren comandos específicos y más líneas de código. El resultado final es muy bueno y nos permite exportar nuestros diseños a varios formatos entre los que se encuentra el formato .stl que es el que usaremos para imprimir.

Como podemos ver en la "figura 82" tenemos la ventana del programa. A la izquierda escribimos el código del objeto que queramos realizar y a la derecha nos aparecerá una representación 3D del objeto que estamos programando cada vez que compilemos el código.

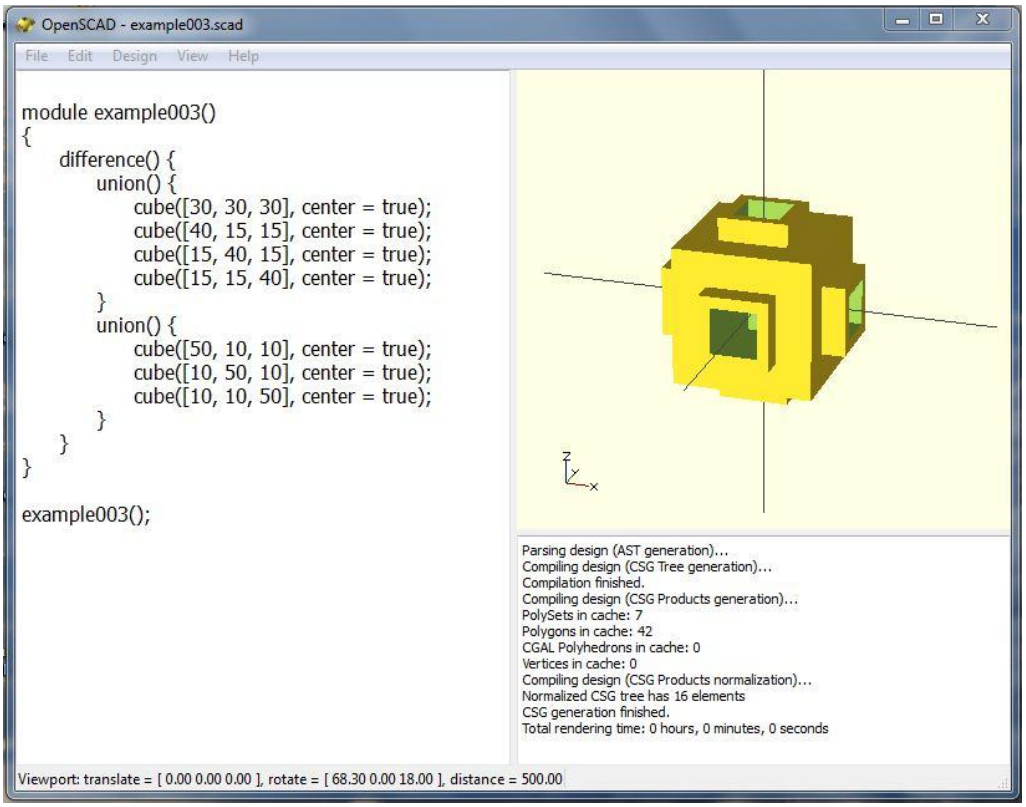


Figura 82: OpenSCAD

Este es un ejemplo que podemos encontrar en el propio programa. Podéis encontrar más ejemplos clicando en File/Examples. La programación de los objetos está basada en la suma y resta de elementos geométricos, pero también se puede hacer degradaciones de estos elementos geométricos para obtener superficies curvas.

El programa OpenSCAD lo encontrareis en la web [13], al final de la pagina están los links de descarga según los sistemas operativos, está disponible para Windows, Linux y OS X. En el siguiente link [14] encontrareis unos tutoriales en ingles que os permitirán aprender a usar y programar con OpenSCAD.

Ahora os daré información básica de botones de acceso rápido, así como los puntos que tenemos que seguir para exportar nuestro diseño al formato .stl que es el que reconocen los programas de las impresoras 3D para imprimir.

Mientras que programáis vuestro objeto si pulsáis la tecla f5 compilareis el código que tengáis escrito y entonces veris en la ventana de la derecha como está quedando vuestro objeto. En caso de que el texto programado este mal os pondrá en rojo el error, y si falta o sobra algún corchete o paréntesis no saldrá la imagen del objeto, al igual que si tenemos un error.

Para ir guardando los cambios pulsar f2, el archivo que se os creara tendrá la extensión .scad. Una vez que terminéis de programar pulsar f6, de manera que os compile y renderice el objeto. En la renderización el programa saca una imagen a partir del modelo que hemos creado. Una vez terminada la renderización veremos mucho mejor nuestro objeto y podremos ir a Desing/ Export as STL de manera que obtengamos así el fichero .stl para poderlo cargar en el programa de la impresora e imprimirlo.

Para poder observar mejor vuestro modelo programado si mantenéis pulsado el botón izquierdo del ratón en la pantalla derecha donde aparece el objeto en 3D podéis mover el objeto y así verlo en todos sus ángulos y si ponemos simplemente el puntero del ratón donde esta nuestro objeto en 3D y movemos la rueda del ratón podremos acercar o alejar nuestro objeto.

Para terminar quería mostraros la comparativa que existe entre compilar y renderizar a la hora de ver el objeto. Cuando compiláis aparecen sombras en color verde oscuro en las zonas donde se realizan restas de objetos “ver figura 83”.

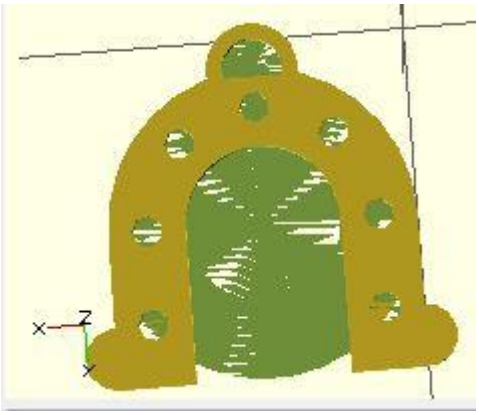


Figura 83: objeto antes de ser renderizado

Pero una vez que rendericéis el objeto estas sombras desaparecen, ya que obtenemos la imagen real de cómo quedaría el objeto. “ver figura 84”.

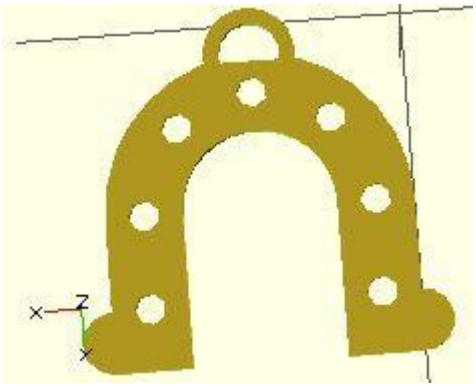


Figura 84: objeto después de ser renderizado

10.2

Youtube y Thingiverse

Probablemente ya sepas que es Youtube, pero si no, Youtube es una web [15] donde los usuarios de internet cuelgan sus videos para que el resto del mundo pueda verlos. Yo usare esta web para subir videos del funcionamiento de mi impresora, además también en esta web podréis encontrar videos y tutoriales de otras impresoras 3D.

Thingiverse es la segunda web que usare para distribuir información, en este caso colgare las mejoras que diseñe para la impresora en formato .stl para que las podáis imprimir directamente y su correspondiente formato .scad para que podáis ver el código. De esta manera el código os sirve de base para adecuar estos modelos de mejora ante posibles cambios de electrónica y configuración estructural. Esta web la podréis encontrar en el siguiente link [3].

Si en el buscador de esta web ponéis las siglas uc3m (Universidad Carlos Tercero de Madrid), encontrareis todos los diseños que han subido tanto alumnos como profesores de esta universidad, y por tanto aparecerán los diseños creados por mí. Como podéis apreciar en la “figura 85” estos son algunos objetos imprimidos que podéis encontrar en Thingiverse.

Figura 85: objetos bajados e impresos de Thingiverse

También todas las piezas usadas para realizar el montaje de mi impresora 3D "ver figura 86" están sacadas de esta web, aunque las podéis encontrar en esta otra [16]. Este enlace también lo podéis ver en el "volumen 1".

Figura 86: piezas de mi Prusa Mendel

En la "figura 87" podéis ver la imagen de dos diseños creados por mí de llaveros o colgantes. En el siguiente link [17] os podréis bajar los ficheros en .stl y .scad de los objetos de la "figura 87" por si los queréis imprimir o simplemente para ver el código y aprender un poco mas de programación en OpenSCAD.

Figura 87: símbolo de la paz y herradura de la suerte

10.3

Densidades del filamento plástico ABS

En este anexo quería hacer un pequeño comentario dando una información sobre los plásticos ABS que he adquirido al imprimir durante mucho tiempo y con impresoras distintas. Cuando compramos filamento plástico ABS por internet a una tienda, estos normalmente compraran a distintos por mayores según el precio, esto supone que al comprar nosotros plástico ABS de un color en esa tienda, de una vez a otra el plástico puede ser mate o brillante, pero al imprimir es cuando más se nota la diferencia. Esa diferencia radica en los aditivos que añaden al plástico, así como los colorantes para dar distinto color hace que el plástico aun siendo el mismo tenga distinta densidad y esto se traduce que al imprimir un objeto con un plástico de un color no lo podamos imprimir y simplemente con cambiar el color nos lo imprima con buena calidad "ver figura 88" (en ambos casos tenemos la misma configuración firmware y software). Por mi experiencia los plásticos de color negro y amarillo no suelen funcionar muy bien, y los de color azul, verde, marrón, rojo y blanco funcionan bien, pero esto es algo orientativo, puesto que a otros usuarios les puede funcionar bien el negro pero no el azul por ejemplo.

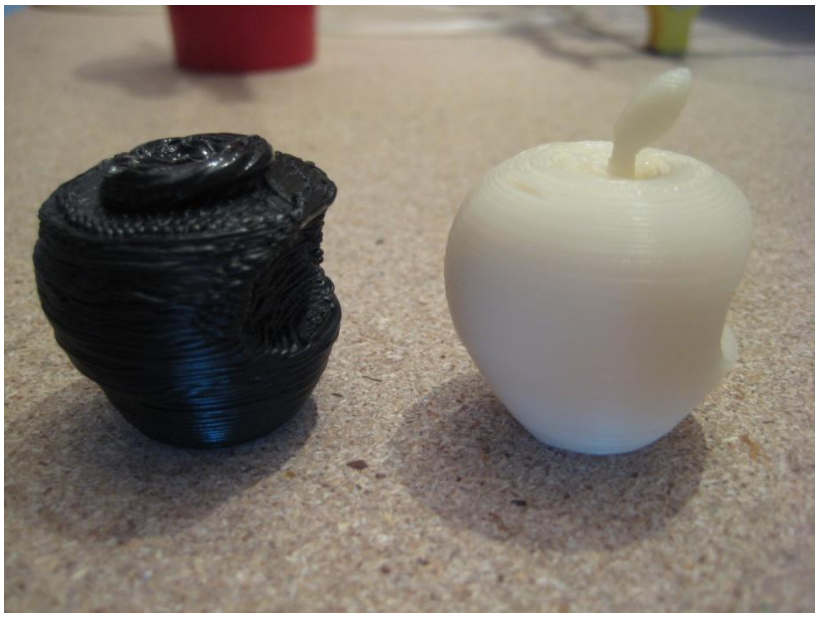


Figura 88: diferencia de impresión con plásticos de distinto color

10.4

Demostración de calibración y sistema auto replicable

Para demostrar que mi impresora está bien calibrada e imprime con buena calidad e impreso un juego completo de piezas de la impresora 3D modelo Prusa Air iteración 2, así como su extrusor "ver figura 89" que serán donadas al Departamento de Ingeniería de Sistemas y automática. Estas piezas las podréis encontrar en el siguiente link [18]. Esto demuestra también que las impresoras 3D Open Source son auto replicables, ya que las piezas de mi impresora salieron de una impresora 3D MakerBot y de mi impresora han salido las piezas para hacer otra impresora 3D.

Figura 89: piezas de la impresora 3D Prusa Air iteración 2

10.5

Futuras vías de investigación y actualizaciones

Tanto para futuros proyectos de investigación o actualizaciones que podemos introducir a nuestra impresora para que este siempre a la última, podemos realizar los siguientes trabajos:

- Sustituir las correas T5 por correas T2.5 para aumentar la precisión y la calidad de impresión de nuestra impresora 3D.
- Sustituir las poleas y los Couplings impresos por unos metalicos de manera que evitemos el fenómeno del Backlash obteniendo así una mejor impresión 3D.
- Imprimir las nuevas piezas de la Prusa Mendel iteración 2 y 3, para así usar rodamientos lineales en todos los ejes en vez de usar los antiguos PLA bushings, esto mejoraría la calidad de impresión, reduciría el consumo, la vibraciones y evitaría la sustitución a largo plazo de los PLA bushings por desgaste.
- Actualizar nuestro firmware Sprinter a nuevas versiones o sustituirlo por el firmware Marlin que poco a poco está dando mejores prestaciones y resultados que el Sprinter aunque todavía no es recomendable usarlo.
- Actualizar en Skeinforge 41 a nuevas versiones o sustituirlo por el Skeinforge 42, o el 50 (el más actual) o usar uno distinto como Silic3r que poco a poco está dando mejores prestaciones y resultados que Skeinforge aunque todavía no es recomendable usarlo.

Como se puede ver la principal ventaja de las impresoras 3D Open Source es que no solo puedes actualizar el software y firmware sino que puedes actualizar la mecánica y la estructura, ya que si te hartas del modelo que tienes de impresora 3D puedes imprimirte las piezas de otro modelo de impresora 3D, desmontar la tuya y reutilizar todas las piezas, tornillos, motores, electrónica, hot-end, etc, para hacerte el otro modelo de impresora 3D. Estas prestaciones, compatibilidad, sencillez y robustez no te la dará ninguna otra impresora 3D que compres en el mercado.

11

Bibliografía

[1] Mandíbula impresa en 3D: http://iblnews.com/story/67363 [08-06-2012]

[2] Impresoras 3D en el espacio:

http://alt1040.com/2011/12/nasa-impresoras-3d-repuestos-espacio [08-06-2012]

[3] Thingiverse: http://www.thingiverse.com/ [14-02-2012]

[4] Reprap: http://reprap.org/wiki/Main_Page [08-06-2012]

[5] Proyecto Clone Wars (Asociación de robótica UC3M):

http://asrob.uc3m.es/index.php/Proyecto:_Clone_wars [07-06-2012]

[6] Mejora del eje Z: http://www.thingiverse.com/thing:9864 [22-03-2012]

[7] Mejora del Extrusor: http://www.thingiverse.com/thing:24731 [11-06-2012]

[8] Mejora en la Electrónica: http://www.thingiverse.com/thing:24733 [11-06-2012]

[9] Información sobre calibración, Softwares y Firwares, cubo y moneda de calibración: http://www.iearobotics.com/wiki/index.php?title=Prusa_Mendel:_Calibraci%C3%B3n [06-06-2012]

[10] Archivo imperial.gcode (canción de la Marcha Imperial de Star Wars): http://www.iearobotics.com/wiki/index.php?title=Prusa_Mendel:_R2D2 [07-06-2012]

[11] Video de impresora tocando la Marcha Imperial: http://www.youtube.com/watch?v=lJ_6YvBYRnQ&feature=youtu.be [11-06-2012]

[12] Video de una impresión múltiple: http://www.youtube.com/watch?v=g3Yr3BoBgoc&feature=youtu.be [11-06-2012]

[13] Programa de diseño 3D OpenSCAD: http://www.openscad.org/ [04-02-2012]

[14] Tutorial de OpenSCAD:

http://en.wikibooks.org/wiki/OpenSCAD_User_Manual [04-02-2012]

[15] Youtube: http://www.youtube.com/ [04-02-2012]

[16] Piezas de la Prusa Mendel:
http://asrob.uc3m.es/index.php/Clone_wars:_Prusa_Mendel_original [10-06-2012]

[17] Simbolo de la paz y herradura de la suerte:

http://www.thingiverse.com/thing:17680 [14-02-2012]

[18] Piezas de la Prusa Air iteración 2: http://reprap.org/wiki/Prusa_Air_2 [10-06-2012]

La imagen de la "figura 1" ha sido obtenida de la siguiente web:

http://queinventenellos.com/impresoras-3d/qie-reprap-darwin/ [08-06-2012]

Las imágenes de las "figuras 2, 6, 8 y 10" han sido tomadas de la web de la asociación de robótica de la UC3M [5].

La imagen de la "figura 3" ha sido obtenida de la siguiente web:

http://reprap.org/wiki/File:Mendel.jpg [08-06-2012]

La imagen de la "figura 4" ha sido obtenida de la siguiente web:

http://reprap.org/wiki/File:Reprap_family_tree_v0.1.png [08-06-2012]

La imagen de la "figura 7" ha sido obtenida de la siguiente web:

http://www.shapeways.com/blog/archives/1104-Printbot-3D-Printer-Project-on-Kickstarter-for-Under-500.html [08-06-2012]

La imagen de la "figura 9" ha sido obtenida de la siguiente web:

http://www.google.es/imgres?q=makerbot+replicator&hl=es&gbv=2&biw=1280&bih=682&tbm=isch&tbnid=w2h7c6Oipae_HM:&imgrefurl=http://ces.cnet.com/8301-33372_1-57355399/makerbot-replicator-3d-printer-beams-in/&docid=u8HB4OBMt4ws4M&imgurl=http://i.i.com.com/cnwk.1d/i/tim/2012/01/09/MakerBot_Replicator_610x407.jpg&w=610&h=407&ei=Mh_ST8njDcSN8gPmv-GkAw&zoom=1&iact=hc&vpx=400&vpy=163&dur=90&hovh=183&hovw=275&tx=147&ty=93&sig=114319208250088872697&page=1&tbnh=154&tbnw=204&start=0&ndsp=15&ved=1t:429,r:1,s:0,i:72 [08-06-2012]

La imagen de la "figura 53" ha sido obtenida de la siguiente web:

http://www.google.es/imgres?q=tecla+shift&hl=es&gbv=2&biw=1280&bih=682&tbm=isch&tbnid=-15PkUPeHCDqMM:&imgrefurl=http://cebadigital1.blogspot.com/2011/08/busqueda-exacta-y-otras-opciones.html&docid=f1ncu7hCiU6T7M&imgurl=http://3.bp.blogspot.com/-zdue9jUVuUI/ToscBoFzM3I/AAAAAAAAB1Q/2c_RNDtmX14/s400/Tecla_Shift.png&w=93&h=93&ei=vh_ST471Jofe8QP9iPC7Aw&zoom=1 [08-06-2012]

La imagen de la "figura 78" ha sido obtenida de la siguiente web:

http://fabmetheus.crsndoo.com/wiki/index.php/File:Raft.jpg [08-06-2012]