



Departamento de Sistemas y Automática

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Trabajo Fin de Grado

Construcción de una impresora 3D Open Source

Autor: Marco Esteban Illescas

Director: Alberto Valero Gómez

Tutor: Juan González Gómez

Junio de 2.012



Índice

1	Introducción.....	11
1.1	Motivación y contexto	12
1.2	Estado del Arte: Impresoras 3D y El Proyecto Reprap.....	13
1.2.1	El Proyecto Reprap	14
1.2.2	MakerBot Industries	20
1.2.3	El Proyecto Clone Wars	22
2	Objetivo.....	25
2.1	Objetivo del Proyecto	26
3	Prusa Mendel Reprap	27
3.1	Estructura del soporte:	28
3.1.1	Componentes	28
3.1.1.1	Componentes imprimibles	28
3.1.1.2	Componentes no imprimibles.....	30
3.1.2	Montaje	33
3.1.2.1	Capítulo 1: Preparación de varillas.....	33
3.1.2.2	Capítulo 2: Montaje de los Laterales	35
3.1.2.3	Capítulo 3: Unión de los laterales. Parte inferior	37
3.1.2.4	Capítulo 4: Unión de los laterales. Parte superior	42
3.1.2.5	Capítulo 5: Colocación de varillas transversales y base de madera ..	44
3.1.2.6	Capítulo 6: Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y ...	49
3.1.2.7	Capítulo 7: Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z ..	57
3.1.2.8	Capítulo 8: Ensamblado completo del eje X	66
3.1.2.9	Capítulo 9: Montaje de los finales de carrera.....	72
3.1.2.10	Capítulo 10: Colocación de base de aluminio y base caliente	77
3.2	Extrusor	82
3.2.1	Componentes	82
3.2.1.1	Componentes Imprimibles	82
3.2.1.2	Componentes no imprimibles.....	83
3.2.2	Montaje	85
3.2.2.1	Capítulo 1: Ensamblado del cuerpo del extrusor.....	85
3.2.2.2	Capítulo 2: Colocación sobre el eje X y ensamblado del Hot-End ...	89
3.2.2.3	Capítulo 3: Montaje del motor y ensamblado de los engranajes.....	91
3.2.2.4	Capítulo 4: Cableado del hot-end	94



3.3	Electrónica.....	96
3.3.1	Possibilidades.....	96
3.3.2	Componentes Característicos	100
3.3.2.1	Conector USB.....	100
3.3.2.2	Botón de Reset.....	101
3.3.2.3	Drivers para los motores	101
3.3.2.4	Jumpers	102
3.3.2.5	Mosfet	103
3.3.2.6	Motores paso a paso.....	104
3.3.2.7	Fuente de alimentación	105
3.3.3	Conexiones	106
3.3.3.1	Conexiones para la Ramps 1.2	106
3.3.3.2	Conexiones para la Sanguinololu 1.2	109
3.3.4	Montaje de la electrónica en la impresora y acabado del cableado.....	110
3.4	Precauciones: Posibles errores y soluciones	112
3.4.1	Conexiones de los motores y finales de carrera	112
3.4.2	Conexión de la fuente de alimentación.....	114
3.4.3	Conexión y regulación de los drivers	114
3.4.4	Conexión de los Mosfet y disipador	115
3.4.5	Vibración.....	116
3.4.6	Tensión de las correas dentadas	116
3.5	Programación y funcionamiento.....	117
3.5.1	Firmware y de generación archivos Gcode	117
3.5.1.1	Posibilidades.....	117
3.5.1.2	Instalación	118
3.5.2	Software de control.....	122
3.5.2.1	Posibilidades.....	122
3.5.2.2	Instalación	123
3.5.3	Software de generación de Gcode	124
3.5.3.1	Posibilidades.....	124
3.5.3.2	Instalación	124
3.5.4	Primeras pruebas.....	126
3.5.4.1	Resultados obtenidos	127
4	Proveedores y Presupuesto.....	131
4.1	Presupuesto y proveedores	132



4.1.1	Proveedores	132
4.1.2	Presupuesto Básico	135
4.1.3	Presupuesto con Mejoras	137
4.1.4	Comparación de precios de los elementos principales entre proveedores	138
4.1.4.1	Kits de electrónica con Sanguinololu	139
4.1.4.2	Kits de electrónica con Arduino + Ramps	139
4.1.4.3	Base caliente (heated bed).....	140
4.1.4.4	Motores paso a paso NEMA 17	140
4.1.4.5	Correas dentadas.....	141
4.1.4.6	Rodamientos.....	142
4.1.4.7	Hot-end	142
5	Conclusiones.....	143
5.1	Por qué se ha cumplido la motivación	144
5.2	Por qué estoy en el Proyecto Reprap	145
5.3	Por qué se han cumplido los objetivos	146
6	Anexo: Análisis de funcionamiento.....	148
6.1	Vida útil, piezas delicadas y consejos de uso	149
6.1.1	Vida útil.....	149
6.1.2	Piezas delicadas	149
6.1.3	Consejos de uso	150
7	Anexo: Trabajos futuros y Mejoras	151
7.1	Mejoras Realizadas	152
7.2	Trabajos Futuros	155
8	Bibliografía.....	157
8.1	Referencias bibliográficas	158
8.1.1	Referencia de imágenes	160



Índice de Tablas

Tabla 1.	Listado de Piezas para la estructura	30
Tabla 2.	Listado de materiales no imprimibles para la estructura del soporte	33
Tabla 3.	Medida de cortes para las varillas roscadas	33
Tabla 4.	Medida de cortes para las varillas lisas	34
Tabla 5.	Listado de piezas imprimibles para el extrusor.....	83
Tabla 6.	Listado de materiales no imprimibles para el extrusor.....	84
Tabla 7.	Presupuesto básico	137
Tabla 8.	Presupuesto con mejoras	138
Tabla 9.	Comparación de precios: Kits electrónica con Sanguinololu	139
Tabla 10.	Comparación de precios: Kits electrónica con Arduino + Ramps	140
Tabla 11.	Comparación de precios: Heated Bed.....	140
Tabla 12.	Comparación de precios: Motores paso a paso NEMA 17	141
Tabla 13.	Comparación de precios: Correas dentadas	141
Tabla 14.	Comparación de precios: Rodamientos	142
Tabla 15.	Comparación de precios: Hot-end	142



Índice de Figuras

Figura 1.	Primer modelo de impresora 3D del Proyecto Reprap: Darwin	14
Figura 2.	Impresora 3D modelo Cupcake, de MakerBot	15
Figura 3.	Impresora 3D modelo Mendel, del Proyecto Reprap	16
Figura 4.	Árbol genealógico de los modelos de impresoras del Proyecto Reprap	17
Figura 5.	Impresora 3D modelo Prusa Mendel, del Proyecto Reprap	18
Figura 6.	Impresora 3D modelo Prusa Mendel Iteración 2, del Proyecto Reprap	18
Figura 7.	Impresora 3D modelo Printrbot, del Proyecto Reprap	19
Figura 8.	Impresora 3D modelo Thing-O-Matic, de MakerBot	21
Figura 9.	Figura 9: Impresora 3D modelo Replicator, de MakerBot	21
Figura 10.	Madre, primera impresora de Clone Wars, modelo Thing-O-Matic de MakerBot	22
Figura 11.	Primer juego de piezas para clonar una Prusa Mendel Iteración 2 hecho por un clon del Proyecto Clone Wars, por la Prusa Mendel, R2, de Juan González Gómez.	23
Figura 12.	Montaje lateral (paso 1)	35
Figura 13.	Montaje lateral (paso 2)	35
Figura 14.	Montaje lateral (paso 3)	36
Figura 15.	Montaje lateral (paso 4)	36
Figura 16.	Montaje lateral (paso 5). Lateral completado.....	36
Figura 17.	Montaje lateral (paso 6). Laterales ensamblados	37
Figura 18.	Unión de los laterales. Parte inferior (paso 1).....	37
Figura 19.	Unión de los laterales. Parte inferior (Paso 2).....	38
Figura 20.	Figura 9: Unión de los laterales. Parte inferior (Paso 3).....	39
Figura 21.	Unión de los laterales. Parte inferior (consecución de los pasos 2 y 3)....	39
Figura 22.	Unión de los laterales. Parte inferior (paso 4). Laterales unidos por la parte frontal	39
Figura 23.	Unión de los laterales. Parte inferior (paso 5).....	40
Figura 24.	Unión de los laterales. Parte inferior (paso 6).....	40
Figura 25.	Figura 14: Unión de los laterales. Parte inferior (paso 7)	41
Figura 26.	Unión de los laterales. Parte inferior (comprobación pasos 5, 6 y 7)	41
Figura 27.	Unión de los laterales. Parte inferior (paso 8).....	41
Figura 28.	Unión de los laterales. Parte inferior. Laterales unidos por la parte inferior	42
Figura 29.	Unión de los laterales. Parte superior (paso 1).....	42



Figura 30.	Unión de los laterales. Parte superior (paso 2).....	43
Figura 31.	Unión de los laterales. Parte superior (paso 3).....	43
Figura 32.	Unión de los laterales. Parte superior (paso 4).....	43
Figura 33.	Unión de los laterales. Parte superior. Laterales unidos por la parte superior	44
Figura 34.	Colocación de varillas transversales y base de madera (paso 1).....	44
Figura 35.	Colocación de varillas transversales y base de madera (paso 2).....	45
Figura 36.	Colocación de varillas transversales y base de madera (paso 3).....	45
Figura 37.	Colocación de varillas transversales y base de madera (paso 4).....	46
Figura 38.	Colocación de varillas transversales y base de madera (paso 5).....	46
Figura 39.	Colocación de varillas transversales y base de madera (consejo paso 5) .	47
Figura 40.	Colocación de varillas transversales y base de madera (paso 6, “rodamientos”)	48
Figura 41.	Colocación de varillas transversales y base de madera (paso 6)	48
Figura 42.	Colocación de varillas transversales y base de madera. Completado.....	49
Figura 43.	Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 1)	50
Figura 44.	Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 2)	50
Figura 45.	Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 3)	51
Figura 46.	Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 4)	51
Figura 47.	Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 5)	52
Figura 48.	Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 6)	53
Figura 49.	Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 7)	53
Figura 50.	Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 8)	53
Figura 51.	Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 9)	54
Figura 52.	Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 9). Motor Y ensamblado	54
Figura 53.	Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 9). Motor Y ensamblado, con brida.....	55
Figura 54.	Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 10)	55
Figura 55.	Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 11)	56
Figura 56.	Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 12)	56
Figura 57.	Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 13)	57
Figura 58.	Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 1).....	58
Figura 59.	Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 2).....	58
Figura 60.	Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 3).....	59



Figura 61.	Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 4).....	59
Figura 62.	Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 5).....	60
Figura 63.	Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 6).....	61
Figura 64.	Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 6, laterales acoplados)	61
Figura 65.	Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 7).....	62
Figura 66.	Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 8).....	62
Figura 67.	Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 9).....	63
Figura 68.	Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 10).....	63
Figura 69.	Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 11).....	64
Figura 70.	Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 12).....	64
Figura 71.	Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 13).....	65
Figura 72.	Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 14).....	65
Figura 73.	Figura 62: Ensamblado completo del eje X (paso 1).....	66
Figura 74.	Ensamblado completo del eje X (paso 2).....	67
Figura 75.	Ensamblado completo del eje X (paso 3).....	68
Figura 76.	Ensamblado completo del eje X (paso 4).....	68
Figura 77.	Ensamblado completo del eje X (paso 5).....	68
Figura 78.	Ensamblado completo del eje X (paso 6).....	69
Figura 79.	Ensamblado completo del eje X (paso 7).....	69
Figura 80.	Ensamblado completo del eje X (paso 8).....	70
Figura 81.	Ensamblado completo del eje X (paso 9).....	70
Figura 82.	Ensamblado completo del eje X (paso 10).....	71
Figura 83.	Ensamblado completo del eje X. Terminado (cuerpo casi acabado).....	71
Figura 84.	Montaje de los finales de carrera (paso 1). Ubicación futura de la electrónica	72
Figura 85.	Montaje de los finales de carrera (paso 2)	73
Figura 86.	Montaje de los finales de carrera (paso 3). Unión con tornillos.....	73
Figura 87.	Montaje de los finales de carrera (paso 3). Unión con pegamento.....	74
Figura 88.	Montaje de los finales de carrera (paso 4). Final de carrera del eje X.....	74
Figura 89.	Montaje de los finales de carrera (paso 4). Final de carrera del eje Y.....	75
Figura 90.	Montaje de los finales de carrera (paso 4). Final de carrera del eje Z.....	75
Figura 91.	Montaje de los finales de carrera (paso 5). Colocación de los cables en las clemas	76
Figura 92.	Montaje de los finales de carrera (paso 5). Fijación de las clemas al listón de madera	76



Figura 93.	Colocación de base de aluminio y base caliente (paso 2)	77
Figura 94.	Colocación de base de aluminio y base caliente (paso 3)	77
Figura 95.	Colocación de base de aluminio y base caliente (paso 4)	78
Figura 96.	Colocación de base de aluminio y base caliente (paso 5)	78
Figura 97.	Colocación de base de aluminio y base caliente (paso 6)	78
Figura 98.	Colocación de base de aluminio y base caliente (paso 7)	79
Figura 99.	Colocación de base de aluminio y base caliente (paso 8)	79
Figura 100.	Colocación de base de aluminio y base caliente (paso 9)	80
Figura 101.	Colocación de base de aluminio y base caliente (paso 10)	80
Figura 102.	Ensamblado del cuerpo del extrusor (paso 1)	85
Figura 103.	Ensamblado del cuerpo del extrusor (paso 1). Piezas del extrusor	86
Figura 104.	Ensamblado del cuerpo del extrusor (paso 2)	86
Figura 105.	Ensamblado del cuerpo del extrusor (paso 3)	87
Figura 106.	Ensamblado del cuerpo del extrusor (paso 4)	87
Figura 107.	Ensamblado del cuerpo del extrusor (paso 5)	88
Figura 108.	Ensamblado del cuerpo del extrusor (paso 5). Sólo con dos mariposas	89
Figura 109.	Colocación sobre el eje X y ensamblado del Hot-End (paso 1)	90
Figura 110.	Colocación sobre el eje X y ensamblado del Hot-End (paso 1). Hot-End Budaschnozzle	91
Figura 111.	Colocación sobre el eje X y ensamblado del Hot-End (paso 1). Cómo debe quedar	91
Figura 112.	Colocación Montaje del motor y ensamblado de los engranajes (paso 2)	92
Figura 113.	Colocación Montaje del motor y ensamblado de los engranajes (paso 3)	93
Figura 114.	Colocación Montaje del motor y ensamblado de los engranajes (paso 5)	93
Figura 115.	Colocación Montaje del motor y ensamblado de los engranajes. Extrusor ensamblado	94
Figura 116.	Extrusor montado y cableado	95
Figura 117.	Circuito Integrado Ramps 1.2	97
Figura 118.	Ramps 1.2 completamente ensamblada	98
Figura 119.	Sanguinololu 1.3a sin componentes (parte de abajo)	99
Figura 120.	Sanguinololu 1.3a completamente ensamblada	100
Figura 121.	Pololu A4988	101
Figura 122.	Conexión de Pololus en la Ramps 1.2	102
Figura 123.	Jumpers	102



Figura 124.	Mosfet canal N, STP55NF06L	104
Figura 125.	Motor paso a paso, Nema 17, de Reprap World	105
Figura 126.	Esquema de conexionado para Ramps 1.2	106
Figura 127.	Conectores para los motores	107
Figura 128.	Conexión de los motores del eje Z a la clema desde la que se conectan a su driver	107
Figura 129.	Esquema de conexionado para Sanguinololu 1.2.....	109
Figura 130.	Tornillos para sujeción de la electrónica en el listón de madera.	110
Figura 131.	Electrónica montada y conexiones realizadas	111
Figura 132.	Acabado final de la impresora 3D Prusa Mendel	111
Figura 133.	Terminales del final de carrera utilizados.....	112
Figura 134.	Conexión de los finales de carrera en la placa electrónica	113
Figura 135.	Referencia de conexión de los drivers en una Ramps 1.2	114
Figura 136.	Marca que indica la posición del mosfet en la placa, en una Ramps 1.2 (arriba) y una Sanguinololu 1.3a (abajo).....	115
Figura 137.	Disipador del mosfet conectado a la clema de alimentación para la heated bed	116
Figura 138.	Selección de microcontrolador que estamos utilizando en el software de Arduino	119
Figura 139.	Selección del puerto al que está conectado el microcontrolador en el software de Arduino.....	119
Figura 140.	Ventana que visualizamos al abrir el firmware en el software de Arduino	120
Figura 141.	Código del firmware, ya configurado, compilado con el software de Arduino	121
Figura 142.	Software de control Pronterface.....	123
Figura 143.	Ventana de calibración de los parámetros de Skeinforge.....	125
Figura 144.	Primeras pruebas: Cubo (20 x 20 x 10 mm)	127
Figura 145.	Primeras pruebas: Cilíndro (h = 3 mm, r = 10 mm).....	128
Figura 146.	Primeras pruebas: Polea	128
Figura 147.	Primeras pruebas: Polea tras calibrar la impresora	129
Figura 148.	Primeras pruebas: Pieza de ejemplo de gran tamaño tras calibración.	129
Figura 149.	Primeras pruebas: Esfera hueca que precisa una muy buena calibración	129
Figura 150.	Primeras pruebas: Muñeco de piezas encajadas, conseguido al afinar la calibración	130
Figura 151.	Mejora. Rodamientos lineales, modelo LM8UU, del eje Y	152



- Figura 152. Mejora. Piezas que dan estabilidad al eje Z..... 153
Figura 153. Mejora. Ventilador para la electrónica 153



1 Introducción



1.1 Motivación y contexto

Este proyecto consiste en construir una Prusa Mendel, que es un modelo de impresora 3D, de los que forman el Proyecto Reprap, basado en la construcción de piezas a través de la extrusión de un hilo o filamento de plástico, y a partir de un diseño en tres dimensiones de la pieza a construir.

A lo largo del proyecto podremos encontrar las instrucciones visuales que nos permitirán ensamblar la impresora, así como su extrusor; que es el dispositivo encargado de extruir el plástico para crear las piezas. Se aporta también en este documento una importante cantidad de información acerca de la electrónica que necesita la máquina en cuestión, así como los programas de software que se requieren para su uso; llegando a mostrar las primeras muestras de lo que la máquina es capaz de hacer. Finalmente se incluirá un presupuesto que permitirá al lector conocer la variedad de proveedores a los que podrá comprar los elementos y dispositivos necesarios, y obtener una estimación de lo que cuesta construir una impresora 3D Prusa Mendel; incluyendo también una comparación de precios entre proveedores para los elementos más característicos de la máquina.

Lo que me condujo a hacer este proyecto fue la idea de poder construir mis propias piezas, tanto las que pueda aprender a diseñar en un futuro, como los modelos que pueda conseguir por internet. Soy estudiante de ingeniería, me encanta la robótica, y esta máquina me pareció la oportunidad perfecta, no solo para comenzar a introducirme en el mundo de la robótica, sino también para poder hacer, en un futuro próximo, los primeros prototipos de robots que pueda llegar a diseñar en posibles trabajos de investigación en la universidad. Mi interés fue fomentado también por la idea de conseguir hacer dichos prototipos a un coste muy bajo, pues el plástico es relativamente barato, en relación a lo que cuesta, por ejemplo una bobina de 2 Kg, y la cantidad de piezas, objetos, que puedes hacer con esa cantidad de plástico.

Otro aspecto que me motivó considerablemente a introducirme en este increíble mundo de la impresión 3D es el coste de una máquina como la tratada en este proyecto, que solo por el hecho de que es Open Source es tremadamente más barata que una impresora 3D comercial como las que podemos encontrar de algunos grandes fabricantes como HP. Todo lo que se necesita para construir y hacer funcionar la máquina: documentación, software, firmware, etc., es libre y, por tanto, puede adquirirse gratuitamente en internet, permitiendo además colaborar en el desarrollo y mejora de todas la partes.

Por otro lado, vi en la Prusa Mendel una forma de mejorar como ingeniero, una oportunidad para ampliar mis conocimientos en campos como la electrónica o la automática y de poner en práctica los que ya tenía gracias a mi proceso formativo en la Universidad.

Por último, por qué no decirlo, otra razón que me condujo a construir la impresora y a hacer este proyecto fue la idea de emprender un pequeño negocio propio, en el futuro, basado en el diseño y construcción de objetos de bajo coste, o incluso en la construcción de más impresoras 3D, a partir de mi Prusa Mendel.



1.2 Estado del Arte: Impresoras 3D y El Proyecto Reprap

Las impresoras 3D nacen de la idea de convertir en objetos reales diseños realizados con un programa CAD en un ordenador. Se utilizan a día de hoy para la creación de prototipos y la matrizería 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 con facilidad.

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 funcionan de manera que inyectan tinta aglomerante al polvo para compactarlo, es positivo el hecho de que al usar tinta se pueden mezclar colores; y, tenemos también impresoras 3D láseres, que polimerizan el polvo mediante una transmisión de energía, posteriormente, al acabar la impresión, de introduce la pieza en líquido para solidificarse. 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, también frente a las impresoras 3D láseres, es que las piezas que obtenemos son más frágiles.

Por otro lado tenemos impresoras 3D que se basan en 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 matrizería. 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.

Por último, tenemos los tipos de impresora 3D, como el del modelo que se desarrolla en este proyecto, y en general todos los modelos del Proyecto Reprap, que están basadas en la extrusión en caliente de un filamento de plástico. Se basan en empujar un hilo de plástico a través de un dispositivo, denominado extrusor, que se calienta hasta una temperatura capaz de fundir ligeramente el material de plástico utilizado, por ahora ABS (220/230 °C) o PLA (170/180°C), sin llegar a derretirlo por completo. De esta manera, al llegar a la punta del dispositivo, que es mucho más fina que el filamento original, va expulsando por esta un fino hilo de plástico y lo va 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 °C para ABS, 60/70 °C 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 huecos que queríamos que quedasen 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.

1.2.1 El Proyecto Reprap

El Proyecto Reprap nace en el año 2.005 gracias a la idea del ingeniero Adrian Bowyer de la Universidad de Bath, en el Reino Unido. El nombre Rerrap 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, el modelo conocido como Darwin; nombre inspirado del creador de La Teoría de la Evolución, Charles Darwin, pues tenían la idea de crear una sucesión de modelos que evolucionen más rápido que las especies de seres vivos. A su vez, esta impresora consiguió crear su primera réplica en Mayo de ese mismo año.

El modelo Darwin que los componentes del Proyecto Reprap terminaron en el año 2.008 es una impresora como la que se muestra en la imagen de la figura 1.

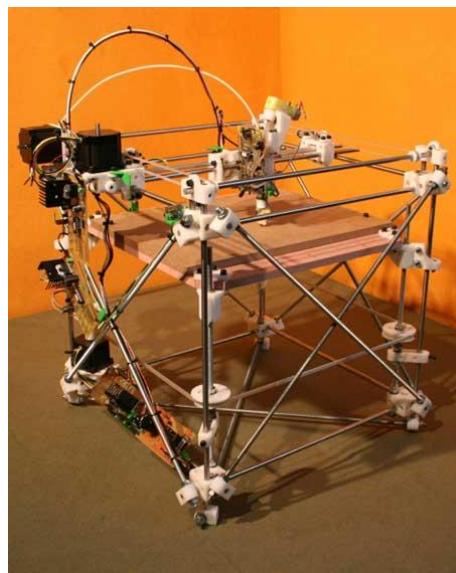


Figura 1. Primer modelo de impresora 3D del Proyecto Reprap: Darwin

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; que costaba en total, incluyendo gastos de envío, alrededor de 715 €.

Aunque para los que asistieron al taller del Medialab, entre los que se encontraba Juan González Gómez (uno de mis tutores en este proyecto), que fue el que encargó la Cupcake (que suponía además la MakerBot número 8), fue increíble poder contar con su propia impresora 3D, reconocen que era complicado montarla, requería soldadura y todo el ensamblado, y ponerla en marcha; además de que también fue, luego, complicado imprimir con ella pues daba muchos fallos.

En la imagen de la figura 2 podemos ver el modelo Cupcake, de MakerBot, del que se está hablando.



Figura 2. Impresora 3D modelo Cupcake, de MakerBot

Sin embargo esta Cupcake, a la que Juan González bautizó con el nombre 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 [1]. Creó esta web para subir sus diseños en 3D imprimibles y que los usuarios de impresoras 3D pudieran descargarlos. Hoy en día, son muchos los usuarios que suben sus propios diseños para intercambiarlos con otros usuarios; pero además se utiliza la web 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. Este nuevo modelo supuso el mayor avance para Reprap, pues suponía haber conseguido una impresora 3D aún más compacta y fácil de montar y replicar que las que ya existían.

En la figura 3 se muestra una imagen del modelo Mendel.

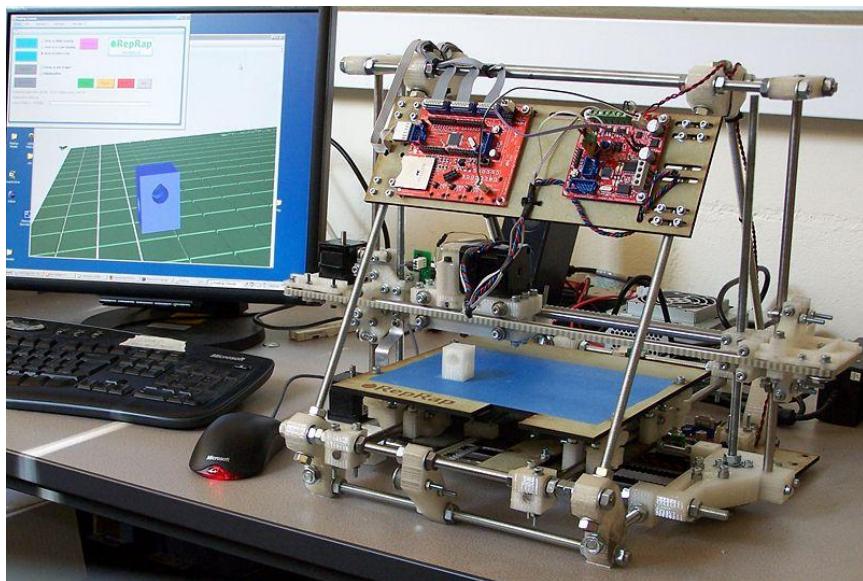


Figura 3. Impresora 3D modelo Mendel, del Proyecto Reprap

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, que se muestra en la figura 4.

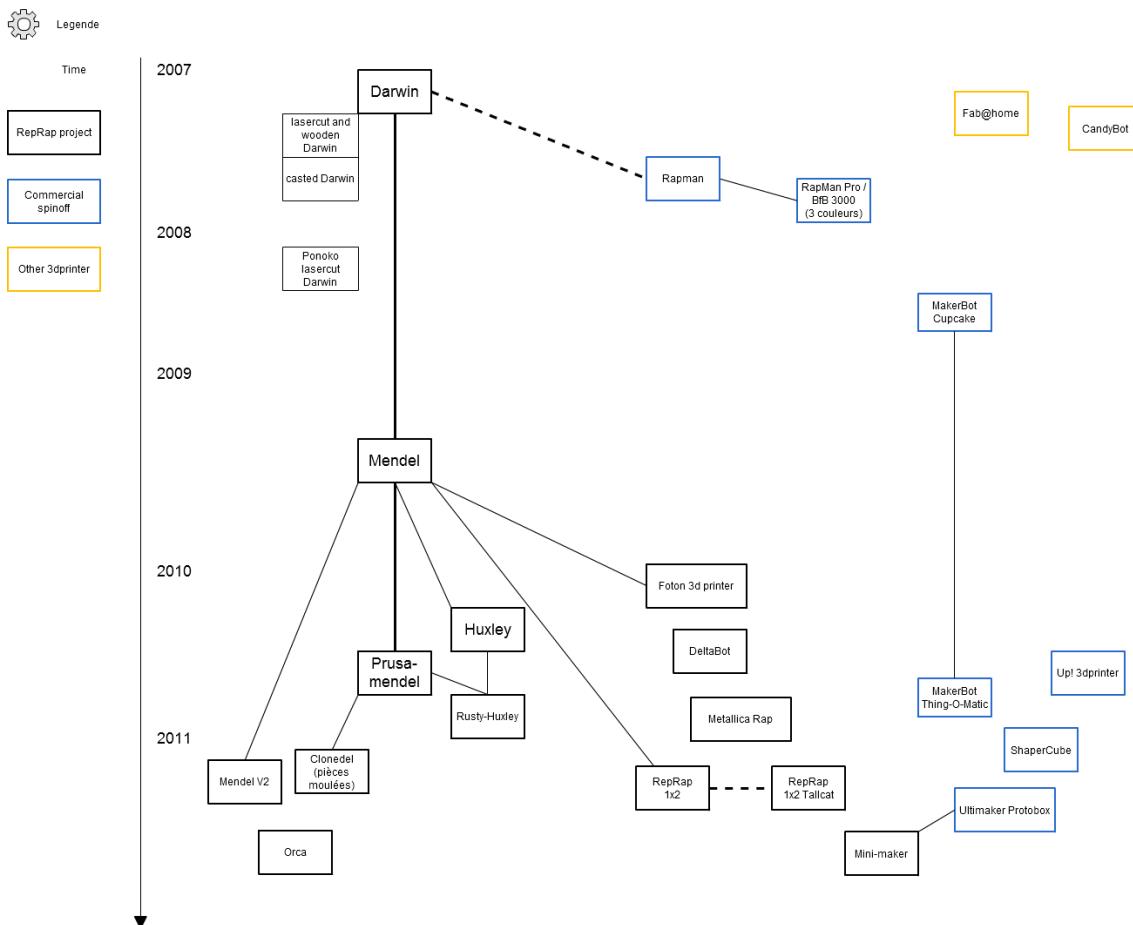


Figura 4. Árbol genealógico de los modelos de impresoras del Proyecto RepRap

Este árbol genealógico de la figura 4, muestra, no sólo 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 el Prusa Mendel. 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 del modelo. Esta segunda versión incorporaba mejoras, que se comentarán en este proyecto (ver Trabajos futuros y Mejoras para más información), 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.



En la imagen de la figura 5 podemos ver el modelo Prusa Mendel original, el de Agosto del año 2.010, y en la de la figura 6 tenemos la segunda versión del modelo Prusa Mendel, el de Noviembre de 2.011. El lector verificará que estructuralmente los cambios son difíciles de apreciar a priori.

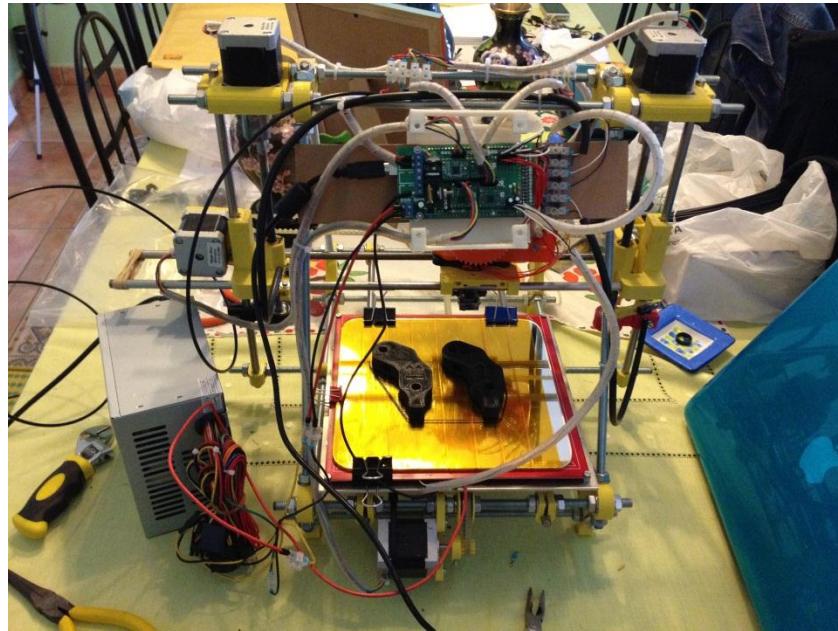


Figura 5. Impresora 3D modelo Prusa Mendel, del Proyecto Reprap

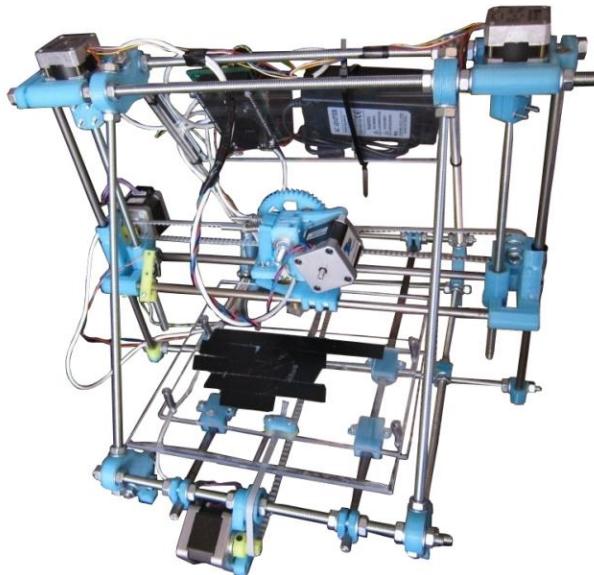


Figura 6. Impresora 3D modelo Prusa Mendel Iteración 2, del Proyecto Reprap



Por otro lado, el ingeniero estadounidense Brook Drumm concluyó en Diciembre de 2.011 un nuevo modelo de impresora 3D denominado Printrbot, 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 la métrica europea, por lo que pronto será plenamente asequible, en Europa también, hacerse una Printrbot.

El modelo Printrbot es el que se muestra en la figura 7.

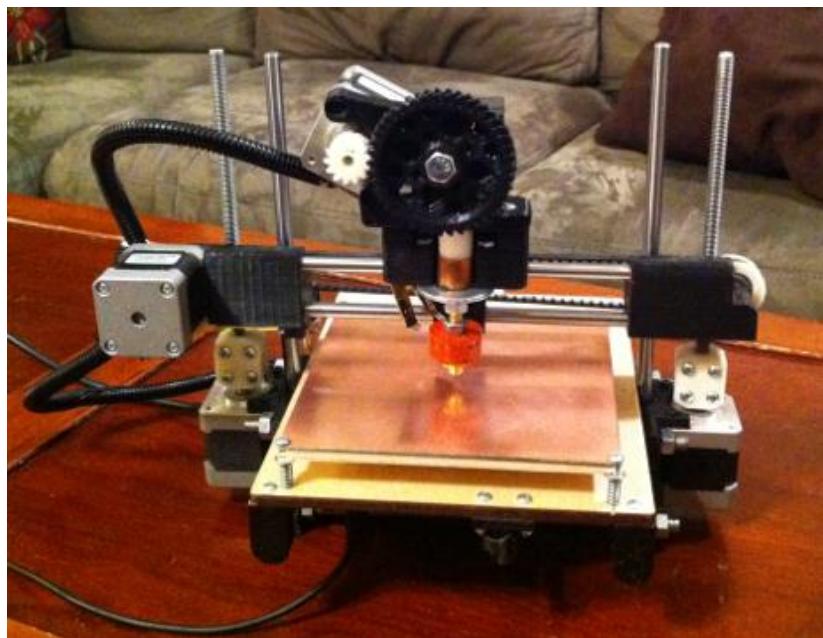


Figura 7. Impresora 3D modelo Printrbot, del Proyecto Reprap

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

Brook, el creador del modelo, ha iniciado una empresa a través de la web [3], en la que vende impresoras de su propio modelo y/o piezas y componentes para las mismas.

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 se salga a la luz 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 en [2]. 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, como ya se ha dicho, con la Teoría de la Evolución de Charles 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. Este último hecho, 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.

1.2.2 MakerBot Industries

Al hablar en el Proyecto Reprap de la figura de Zach Smith hay que hablar también de la empresa MakerBot Industries.

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 y que podemos ver en la imagen de la 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 dólares.

Evolucionaron su modelo Cupcake al modelo Thing-O-Matic, que es el que se puede apreciar en la figura 8, que fue el modelo adquirido por la Universidad Carlos III de Madrid en Mayo del año 2.010.

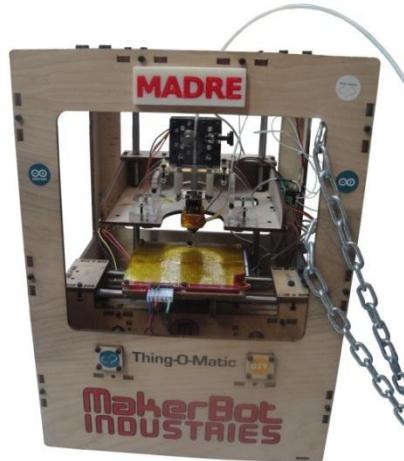


Figura 8. Impresora 3D modelo Thing-O-Matic, de MakerBot

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 el gran inconveniente de que su plataforma de impresión (de 10 x 10 cm) es un cuarto de la que tienen modelos como la Prusa Mendel original o su segunda versión (de 20 x 20 cm).

Finalmente, su último modelo, Replicator, si 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 la impresión de 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.

Podemos ver el modelo Replicator en la imagen de la figura 9.

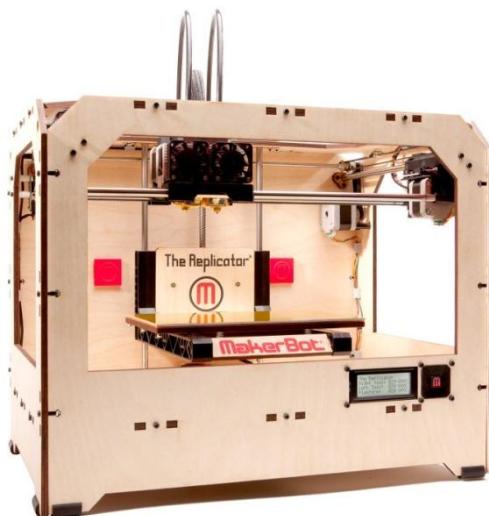


Figura 9. Figura 9: Impresora 3D modelo Replicator, de MakerBot



1.2.3 El 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, al que el autor pertenece, fue creado por el ingeniero, Doctor en Robótica, Juan González Gómez, del que ya hemos hecho mención y que es uno de los tutores de este proyecto, en Abril de 2.011. Su página web, creada como una parte de la web de la Asociación de Robótica de la Universidad Carlos III de Madrid (Uc3m), es [4].

Algunos de los integrantes del grupo, como el autor, comenzamos a formar parte de Clone Wars cuando Juan nos impartía clase en la Uc3m. 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 de la Uc3m compró, y que recibió en Mayo de 2.011. Esta es 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 del Proyecto 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, a la que vemos en la imagen de la figura 10 y que la Asociación de Robótica de la Uc3m 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.

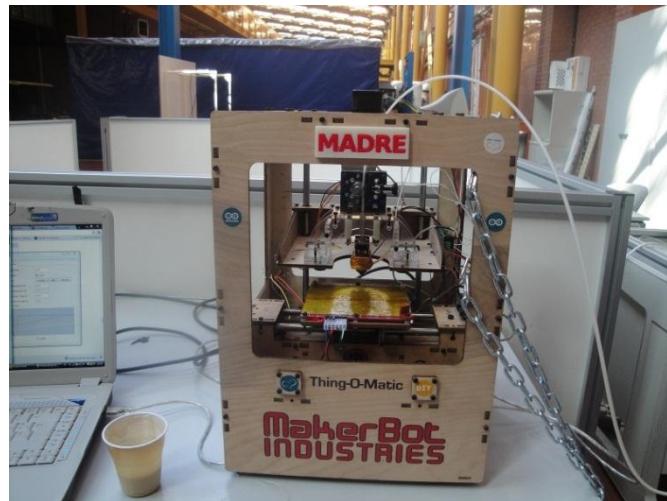


Figura 10. Madre, primera impresora de Clone Wars, modelo Thing-O-Matic de MakerBot

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, Estados Unidos, Suecia, etc).



En Septiembre de 2.011, Mardan, la impresora 3D Prusa Mendel creada por el autor, y en la que se basa este proyecto, 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, Prusa Mendel de Arturo Vera García (estudiante de la Universidad Carlos III y miembro de Clone Wars), estaba también completamente ensamblada; era la segunda réplica que se hacía a partir de Madre. Y, 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, sin embargo, 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 su tercera impresora, R3, y también para donárselas a otros integrantes del Proyecto Clone Wars, para clonar más impresoras y 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, que 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 llamaría R3. Juego de piezas de gran calidad que se muestra en la imagen de la figura 11.



Figura 11. Primer juego de piezas para clonar una Prusa Mendel Iteración 2 hecho por un clon del Proyecto Clone Wars, por la Prusa Mendel, R2, de Juan González Gómez.

El día 19 de Enero de 2.012, la impresora del autor, Mardan, y la impresora de Arturo Vera García, 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. Juan llegó a donar hasta diez juegos de piezas, impresas íntegramente por R2, a otros miembros de Clone Wars, que les servían a estos para hacerse sus propias Prusa Mendel Iteración 2, teniendo, a cambio de esta donación, que donar ellos también un juego de piezas, a otro miembro, cuando acabasen el ensamblado y calibración de su impresora..

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 especie de comunidad, en la que todos los miembros, a través del grupo de correo, exponemos nuestras experiencias y 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.



2 Objetivo



2.1 Objetivo del Proyecto

El objetivo principal de este proyecto es el ensamblado y la puesta en funcionamiento de una impresora 3D Open Source, modelo Prusa Mendel.

Se utiliza también este proyecto para introducir al lector en el mundo de la impresión 3D y, fundamentalmente, de las impresoras 3D Open Source.

Por otro lado, se hará un montaje personalizado de toda la máquina tratando de aportar al lector varias alternativas, siempre que existan, y comentando las ventajas y desventajas de las opciones de que se disponga en cada caso.

Se expondrán conceptos básicos sobre la electrónica a utilizar, dando nuevamente a conocer distintas posibilidades, si las hubiera, para cada elemento; y, se aconsejará qué hacer para evitar errores en el ensamblado, tanto de la estructura como de la electrónica.

Finalmente, se incluirá un presupuesto estimativo para dar a conocer al lector algunos de los proveedores, a los que podrá comprarles los diferentes componentes y dispositivos necesarios, y el precio aproximado que le costaría construir una impresora 3D Open Source, modelo Prusa Mendel.



3 Prusa Mendel Reprap



3.1 Estructura del soporte:

3.1.1 Componentes

Para construir tu impresora necesitas dos tipos de componentes. Por una lado tenemos los que denominaremos imprimibles y por otro lado los no imprimibles.

Los imprimibles, son las piezas que sostienen y forman la estructura de la impresora. Los denomo imprimibles porque pueden adquirirse imprimiéndolos con otra impresora 3D. Aun así, si no dispones de una impresora 3D con la que fabricar las piezas puedes conseguirlas comprándolas a diversos proveedores, como puedes ver en el apartado Proveedores y Presupuesto de este proyecto, o puedes, si cuentas con los medios adecuados, mecanizarlas haciéndolas, incluso, con otros materiales que no sean plástico.

Los no imprimibles por su parte son todo tipo de varillas, tornillos, tuercas, arandelas, clemas, componentes electrónicos, actuadores (motores), sensores (finales de carrera), etc., que requeriremos en el montaje de la máquina.

3.1.1.1 Componentes imprimibles

Como se ha dicho, los componentes imprimibles, son las piezas que necesitamos para sujetar la estructura de la impresora. En la tabla 1 quedan desglosadas todas estas piezas. En la tabla 1 se da el nombre de la pieza, una imagen (para tener una referencia visual), la cantidad que necesitamos de cada tipo, el tiempo invertido en la impresión de las mismas, aproximado para el caso de imprimirlas con una impresora 3D modelo Thing-O-Matic (de Makerbot) con cabezal de 0.5 mm (como Madre, impresora 3D de la Asociación de Robótica de la Uc3m, que utilizó el autor); la forma óptima de imprimirlas (entendiendo por óptima la forma en que se utiliza menos tiempo) y una breve descripción de su función (más detallada en Montaje de la estructura).

El orden de adquisición no es crítico, pero es importante tener en cuenta que seguir el orden en el que aparecen en la tabla te permitirá ir avanzando, más rápido, con el ensamblado de tu impresora 3D a la vez que vas adquiriendo el resto de piezas (en el supuesto caso de estar imprimiendo tus propias piezas o de que no se compran como un lote a un vendedor específico).

Nombre	Imagen	Cantidad	Tiempo	Forma óptima	Descripción
Pie		4	50 min		Pie de la estructura que además se utiliza como vértice
Vértice		2	45 min		Vértice superior de la estructura



Nombre	Imagen	Cantidad	Tiempo	Forma óptima	Descripción
Abrazadera		8	9 min	Una matriz 3x3	Pieza que utilizamos para abrazar las varillas lisas
Soporte motor Y		1	30 min		Soporte del motor del eje Y
Soporte motor Z		2	1 h 10 min		Soporte de los motores del eje Z
Rodamientos		12	4 min	Matriz 4x3	Rodamientos para base, carro y laterales de del eje X
Polea		2	10 min	Matriz 2x1	Poleas para los motores
Pinza		4	3 min	Matriz 2x2	Taraban las correas dentadas
Lateral con motor		1	2 h		Extremo del eje X con soporte para el motor
Lateral sin motor		1	1 h 30 min		Extremo del eje X sin soporte para el motor

Nombre	Imagen	Cantidad	Tiempo	Forma óptima	Descripción
Sujeción		2	6 min	Matriz 2x1	Sujeta las varillas lisas para el movimiento en Z
Acoplador		2	14 min	Matriz 2x1	Acoplan las varillas del eje Z a los ejes de los motores
Carro		1	1 h		Carro para mover el extrusor
Soporte finales de carrera		3	9 min	Matriz 3x1	Sostienen los finales de carrera

Tabla 1. Listado de Piezas para la estructura

Como este mundo de las impresoras avanza a pasos agigantados, es posible que el lector encuentre multitud de mejoras, a parte de las que se comenten más adelante en este proyecto (ver anexo Trabajos futuros y Mejoras para más información), o posibles alternativas, en diversos repositorios de internet; especialmente en Thingiverse, en la web [1].

Estas son, por tanto, las piezas que te permiten montar la estructura básica, pero estas máquinas pueden personalizarse o mejorarse a gusto de cada usuario. Para conseguir estas piezas en formato stl puede descargarlas en la página dedicada a la Prusa Mendel dentro de la web del Proyecto Clone Wars [6].

3.1.1.2 Componentes no imprimibles

Este grupo de componentes, como expliqué con anterioridad, engloba material de ferretería, tales como tornillos, arandelas o tuercas de diversas métricas, varillas (rosadas y lisas), rodamientos y muelles; además de elementos electrónicos, como motores, que harán la función de actuadores, finales de carrera, que marcarán el origen o “cero” para que el software pueda controlar la localización de la impresora, clemas, cables, tubo helicoidal y/o tubo de riego, y puntas para conexiones; también otros componentes como correas dentadas; bases, tanto de madera, como de aluminio, como la base caliente o “heatedbed” (con su resistencia y leds sdm, y un termistor); y, bridas y demás componentes auxiliares, usados para corregir ciertos defectos que puedan producirse (tal y como se explicará detenidamente en la descripción del ensamblado).



Estos materiales pueden adquirirse de numerosas maneras, incluso es posible encontrar kits que engloban gran parte de los mismos en tiendas online (ver apartado Proveedores y Presupuesto para más información).

La tabla 2 recoge estos componentes, describiéndolos con su nombre, una imagen (excepto de componentes opcionales o componentes genéricos como tornillos, tuercas, arandelas, cables, clemas, etc.) y la cantidad necesaria de cada uno.

Nombre	Imagen	Cantidad
Varilla Roscada M8		6 metros
Varilla Lisa (de acero Inox.) M8		3 metros
Tornillo M3 x 10		17
Tornillo M3 x 25		23
Tornillo M3 x 40		4
Tuerca M8		71
Tuerca M3		39
Arandela M8		72
Arandela M8 x 30		6
Arandela M3		54
Rodamiento 608zz blindados		3
Muelle (8 mm de interior)		2
Muelle (3 mm de interior)		4
Motor paso a paso Nema 17		4



Nombre	Imagen	Cantidad
Finales de carrera		3
Clemas		14
Cable 0,75 mm ² rojo		1 metro
Cable 0,75 mm ² negro		1 metro
Cable 0,25 mm ² blanco		1,5 metros
Cable 0,25 mm ² negro		1,5 metros
Tubo helicoidal 9 mm de diámetro		2 metros
Tubo de riego 9 mm de diámetro		2 metros
Punta para hilo de 1 mm ²		2
Punta para hilo de 0,5 mm ²		28
Correa dentada T5 840x5 mm		1
Correa dentada T5 1380x5 mm		1
Base de madera 225x140x3 mm		1
Base de aluminio 225x225x3 mm		1
Base caliente “heatedbed” Mk1		1
Resistencia smd 1 KΩ		1(opcional)
Led smd		2(opcional)
Termistor de 100 ó 200 KΩ		1



Nombre	Imagen	Cantidad
Brida		30
Listón de madera 260x60 mm		1(opcional)
Cristal/Espejo de 200x200x3 mm		1(opcional)

Tabla 2. Listado de materiales no imprimibles para la estructura del soporte

Si deseamos adquirir estos componentes de forma escalada, recomiendo comenzar por conseguir todo el material de ferretería (desde el comienzo hasta los muelles, tomando como referencia la tabla 2) y continuar por las correas, bases (las de madera y aluminio), motores, finales de carrera y cables, clemas y puntas, base caliente (con su resistencia, leds y termistor) y por último tubos (helicoidal o de riego).

Cuando dispongamos de las primeras piezas imprimibles y el material de ferretería podremos comenzar con el ensamblado.

3.1.2 Montaje

Para amenizar las instrucciones de montaje y hacerlas más comprensibles, serán desarrolladas por capítulos, en los cuales se hará una descripción, paso a paso, de lo que se debe ir realizando.

3.1.2.1 Capítulo 1: Preparación de varillas

Para comenzar con el ensamblado de la estructura de nuestra Prusa-Medel debemos cortar las varillas (pues la adquisición más frecuente es en trozos de un metro); aunque si el usuario adquiere las varillas a medida podrá saltarse este paso.

Por un lado tenemos las varillas roscadas. En la tabla 3 tenemos las medidas de los cortes y cantidad de los mismos que necesitamos.

Medida (en mm)	Cantidad
440	3
370	6
294	4
210	2
50	1

Tabla 3. Medida de cortes para las varillas roscadas

El trozo de 50 mm puede ser sustituido por un tornillo M8 de esta misma longitud; pero, debido a que sobra material para este pedazo en las varillas, podemos ahorrarnos tener que comprar dicho tornillo.



La manera más eficiente de realizar los cortes es la siguiente:

Varilla 1 → 370 mm, 370 mm, 210 mm (sobran aproximadamente 50 mm)

Varilla 2 → 370 mm, 370 mm, 210 mm (sobran aproximadamente 50 mm)

Varilla 3 → 370 mm, 294 mm, 294 mm (sobran aproximadamente 42 mm)

Varilla 4 → 370 mm, 294 mm, 294 mm (sobran aproximadamente 42 mm)

Varilla 5 → 440 mm, 440 mm (sobran aproximadamente 120 mm)

Varilla 6 → 440 mm (sobran aproximadamente 560 mm)

Los pedazos sobrantes los tomo como aproximados ya que recomiendo al lector medir unos milímetros de más antes de cortar y, si es necesario, luego limar los bordes, pues el grosor del disco de la radial, dremel, etc., o hoja del serrucho que uses para cortar, debemos tenerlo en cuenta para no quedarnos con pedazos más pequeños de los especificados en los cortes.

Como se puede observar el corte de 50 mm requerido, se puede obtener tanto de la varilla 5 como de la 6 (en la 1 y la 2 probablemente, teniendo cuenta lo recientemente explicado del grosor de la hoja de la herramienta cortante, nos sobrará menos de la medida necesaria).

Por otro lado, también debemos cortar las varillas lisas, en este caso vemos en la tabla 4 las medidas y cantidades que necesitamos adquirir.

Medida (en mm)	Cantidad
495	2
406	2
330	2

Tabla 4. Medida de cortes para las varillas lisas

En este caso se puede cortar de cada varilla de un metro el par de trozos de cada medida, es decir:

Varilla 1 → 495 mm, 495 mm (sobran aproximadamente 10 mm)

Varilla 2 → 406 mm, 406 mm (sobran aproximadamente 188 mm)

Varilla 3 → 330 mm, 330 mm (sobran aproximadamente 340 mm)

3.1.2.2 Capítulo 2: Montaje de los Laterales

En este capítulo veremos cómo se montan los laterales de forma triangular de la estructura de la impresora. Para ello debemos seguir los pasos que se describen a continuación.

- 1.- Cogemos dos varillas roscadas de 370 mm e introducimos por cada extremo, de cada una de ellas, una tuerca y una arandela de M8, quedando ambas tal y como se muestra en la figura 12.



Figura 12. Montaje lateral (paso 1)

- 2.- Por un lado de cada varilla introducimos un “pie” (ver tabla 1, Componentes imprimibles) con una arandela y una tuerca de M8, y por el otro un “vértice”, con otra arandela y otra tuerca de M8. Debe quedar como vemos en la figura 13.

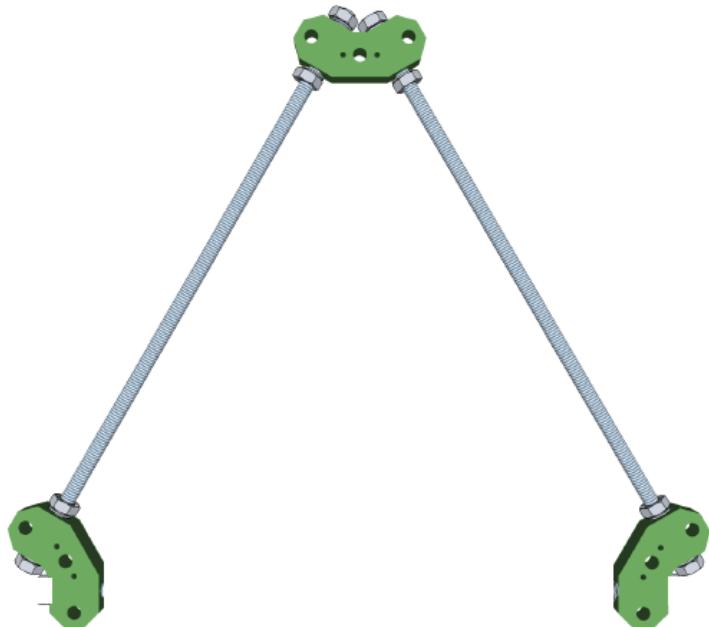


Figura 13. Montaje lateral (paso 2)

3.- A continuación introducimos, en una tercera varilla roscada de 370 mm, una “abrazadera” de manera que quede centrada; y, a cada lado de la misma una arandela y una tuerca de M8, quedando como en la figura 14.



Figura 14. Montaje lateral (paso 3)

4.- En la misma varilla introducimos en cada extremo una tuerca y una arandela de M8 para obtener lo mostrado en la figura 15.



Figura 15. Montaje lateral (paso 4)

5.- En los extremos introducimos los dos “pies” anteriormente usados, seguidos, cada uno, de una arandela y una tuerca de M8. Con esto habríamos ensamblado un lateral como el mostrado en la figura 16.

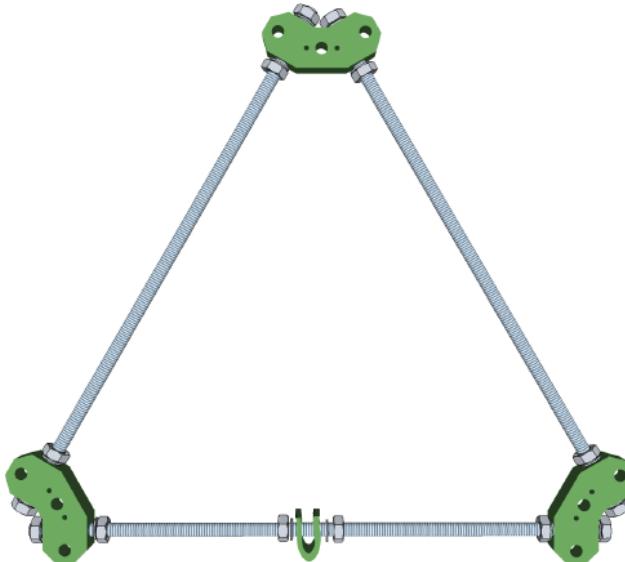


Figura 16. Montaje lateral (paso 5). Lateral completado

Aunque en la imagen salen cortados y no se ven los apoyos, las dos esquinas inferiores son las piezas denominadas “pie”.

Recomiendo al lector no apretar ninguna tuerca de momento. Aun así, se debe intentar que el triángulo tenga sus lados aproximadamente iguales (más adelante esto habrá que ajustarlo para que el triángulo sea perfectamente equilátero).

6.- Para finalizar el capítulo 2, repetimos los cinco pasos anteriores con piezas y componente homónimos. Así se habrán obtenido los dos laterales, como se muestra en la figura 17.

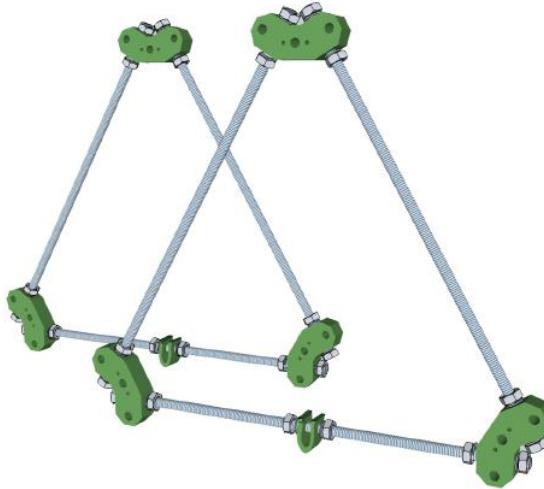


Figura 17. Montaje lateral (paso 6). Laterales ensamblados

3.1.2.3 Capítulo 3: Unión de los laterales. Parte inferior

Con los laterales montados debemos unirlos. Comenzaremos con la unión por la parte inferior, es decir, la unión de los “pies” de la impresora; para lo cual, recomiendo al lector seguir los pasos explicados a continuación.

1.- Cogemos una de las varillas roscadas M8 de longitud 294 mm e introducimos la pieza “soporte motor Y” de manera que quede centrada. Por cada lado se introducen además una arandela y una tuerca de M8, que se llevan hasta la pieza mencionada; pues cuando apretemos todas las tuercas, estas que acabamos de introducir, sujetarán dicha pieza. Por último introducimos una tuerca y una arandela de M8 también por cada lado. Para comprobar que se ha ejecutado correctamente este paso consultar la figura 18, en la cual se muestra al lector cómo debe quedar la varilla.

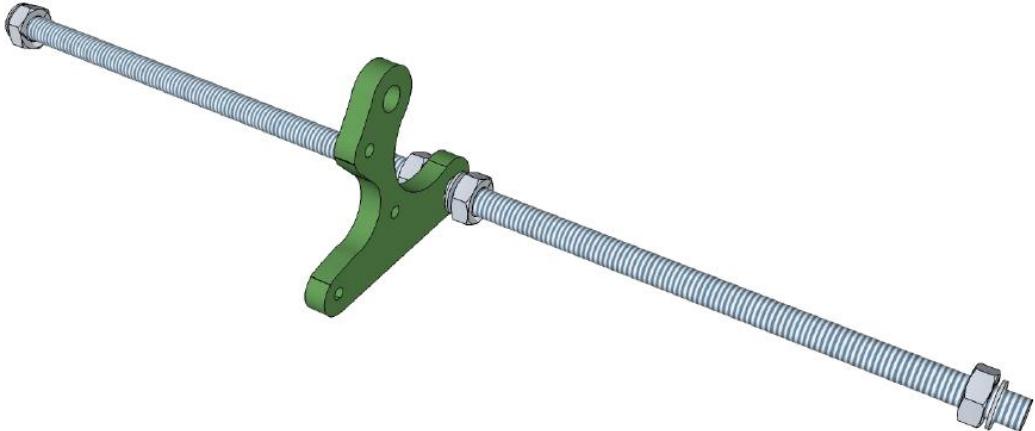


Figura 18. Unión de los laterales. Parte inferior (paso 1)

2.- Se debe mostrar mucha atención a este paso pues requiere muchos componentes. Introducimos una varilla roscada, también de 294 mm por el agujero de M8 que queda libre en la pieza “soporte motor Y”, utilizada en el paso anterior, e introducimos a la izquierda de esta (tomando la orientación según como se aprecia la pieza en las figuras 18 y 19) una arandela y una tuerca de M8, que se dejan pegadas a la pieza mencionada; seguidas de una tuerca y una arandela de M8, más una pieza de las denominadas “abrazaderas”. Tras estas, otra arandela y otra tuerca de M8 que, junto con la arandela y la tuerca anterior, sujetarán la “abrazadera”. Por último, se introducen otra tuerca y otra arandela de M8. Para ilustrar este paso, y que quede más claro, se ha añadido la imagen de la figura 19.

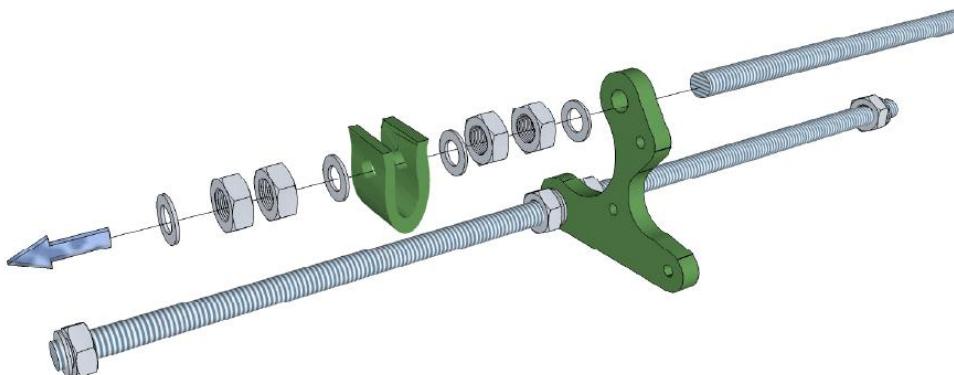


Figura 19. Unión de los laterales. Parte inferior (Paso 2)

3.- De nuevo estamos ante un paso que requiere gran cantidad de componentes, por lo que se recomienda al lector prestar mucha atención y recurrir siempre a la imagen de la figura 20 para aclarar dudas. Consiste en introducir por el otro lado de la varilla, empleada en el paso anterior, una arandela y una tuerca de M8, que se dejarán pegadas a la pieza “soporte motor Y”; seguidas de dos arandelas de M8 más una arandela de M8x30, una arandela de M8, un rodamiento del tipo 608zz, otra arandela de M8, otra arandela de M8x30 y otra tuerca de M8; que se dejaran también arrimadas a la pieza situada en el centro anteriormente mencionada. Tras esto se introduce también una tuerca y una arandela de M8, seguidas de una “abrazadera” y otra arandela y otra tuerca de M8. Por último se introducen en el extremo otra tuerca y otra arandela de M8. Todo esto se ve más claro atendiendo a la figura 20.

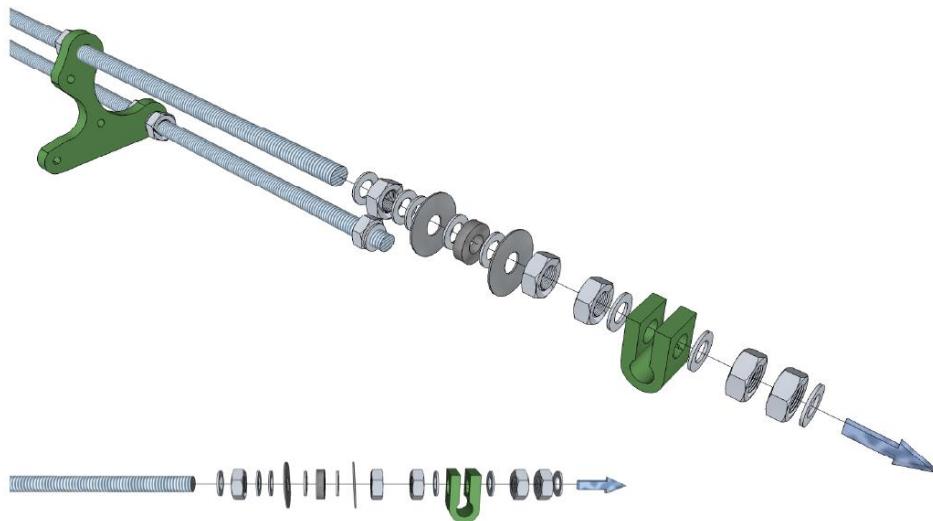


Figura 20. Figura 9: Unión de los laterales. Parte inferior (Paso 3)

Deberíamos haber conseguido un ensamblado como el mostrado en la figura 21.

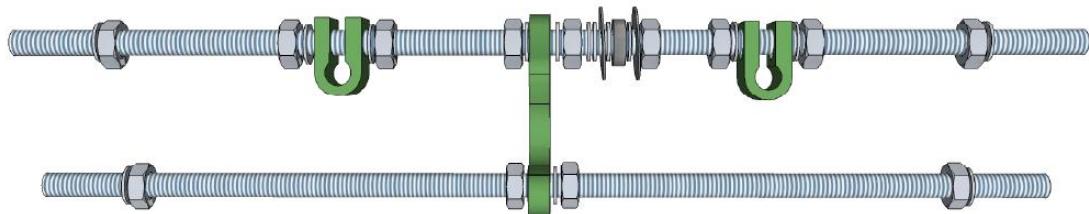


Figura 21. Unión de los laterales. Parte inferior (consecución de los pasos 2 y 3)

4.- Ahora introducimos los extremos de las varilla en los orificios de M8 de uno de los “pies” de cada lateral, los cuales ya montamos en el capítulo anterior, con una arandela y una tuerca de M8 en cada uno de los extremos, obteniendo lo que vemos en la figura 22.

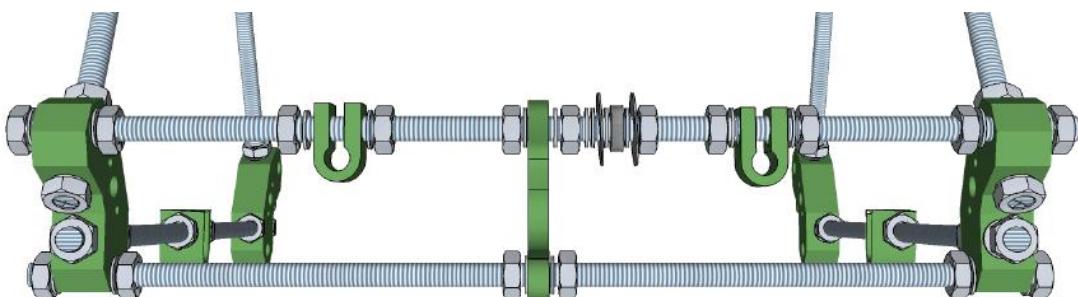


Figura 22. Unión de los laterales. Parte inferior (paso 4). Laterales unidos por la parte frontal

Como ya dice el título de la figura 22, esta parte recién ensamblada es lo que tomaremos como la parte anterior, frontal, de la impresora.



5.- Hacemos lo propio para la parte posterior, pero en este caso no tenemos que montar el soporte de ningún motor, lo que hace que esta parte el capítulo sea más sencilla.

Tomamos otra de las varillas roscadas M8 de 294 mm y le introducimos en cada extremo una tuerca y una arandela de M8; quedando como se muestra en la figura 23.



Figura 23. Unión de los laterales. Parte inferior (paso 5)

6.- Nuevamente nos encontramos en un paso con gran cantidad de material así que se pide el máximo de atención por parte del lector. Para hacerlo más sencillo se dividirá en dos pasos.

Cogemos la última varilla roscada de 294 mm y le introducimos por uno de los lados un rodamiento, con una arandela M8, una arandela de M8x30 y una tuerca de M8 y lo posicionamos de manera que quede aproximadamente enfrente del rodamiento colocado en la varilla que conformaba la parte frontal de la estructura. Además introducimos otra tuerca y otra arandela de M8, más una “abrazadera” y otra arandela y otra tuerca de M8. Por último, añadimos otra tuerca y otra arandela de M8 que dejamos en el extremo.

Para que la inserción de las diversas piezas se vea más claramente se debe prestar atención a la figura 24.

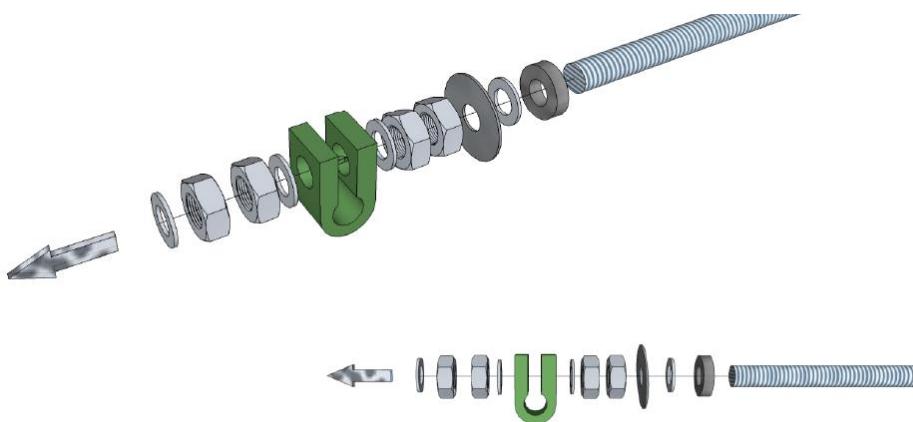


Figura 24. Unión de los laterales. Parte inferior (paso 6)

7.- Este paso, que como ya comenté, completa el anterior (pues se dijo que se dividía en dos partes). Consiste en introducir por el otro lado de la varilla una arandela de M8, una arandela de M8x30 y una tuerca de M8, que se dejarán pegadas al rodamiento ya insertado en el paso 6; más una tuerca y una arandela de M8, una “abrazadera” y otra arandela y otra tuerca de M8; y, para finalizar, otra tuerca y otra arandela de M8.

Para estar más seguro, de cómo ensamblar todo lo mencionado, observar la figura 25.

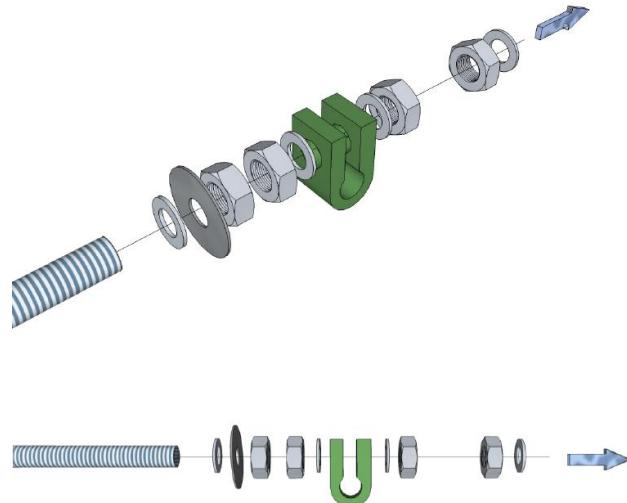


Figura 25. Figura 14: Unión de los laterales. Parte inferior (paso 7)

Antes continuar se pide al lector que compruebe con atención, atendiendo a la figura 26, que se han realizado correctamente los pasos 5, 6 y 7, debiendo haber quedado estos como se muestra en dicha figura 26.

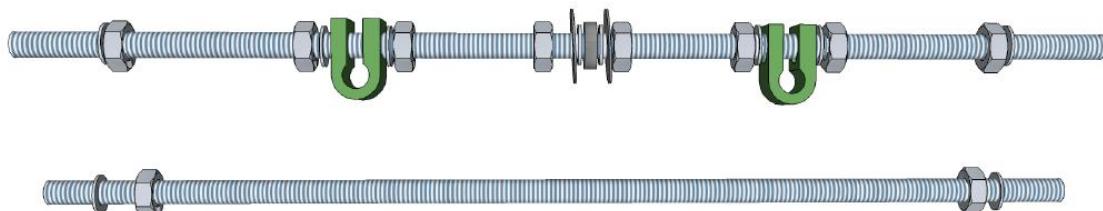


Figura 26. Unión de los laterales. Parte inferior (comprobación pasos 5, 6 y 7)

8.- Como ya hicimos con la parte frontal, introducimos las dos varillas, preparadas en los últimos pasos, por los agujeros de M8 de los “pies”, que aún están libres, de cada lateral. Y, para cerrar el montaje, añadimos en los extremos de las respectivas varillas una arandela y una tuerca de M8, quedando la unión como puede verse en la figura 27.

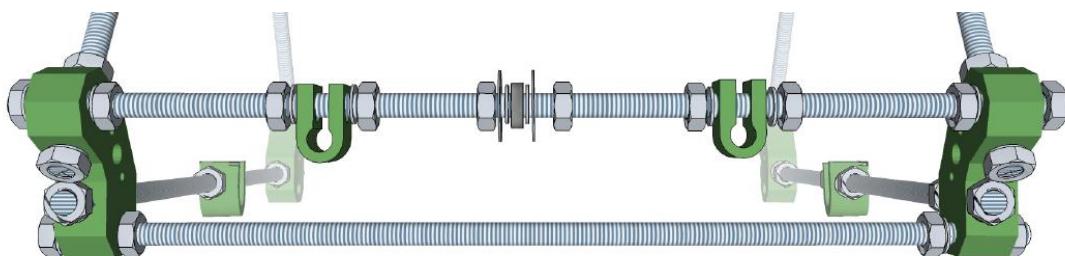


Figura 27. Unión de los laterales. Parte inferior (paso 8)

Así hemos llegado al final del capítulo 3 y, por tanto, debemos haber conseguido ensamblar la parte de la estructura que se muestra en la figura 28.

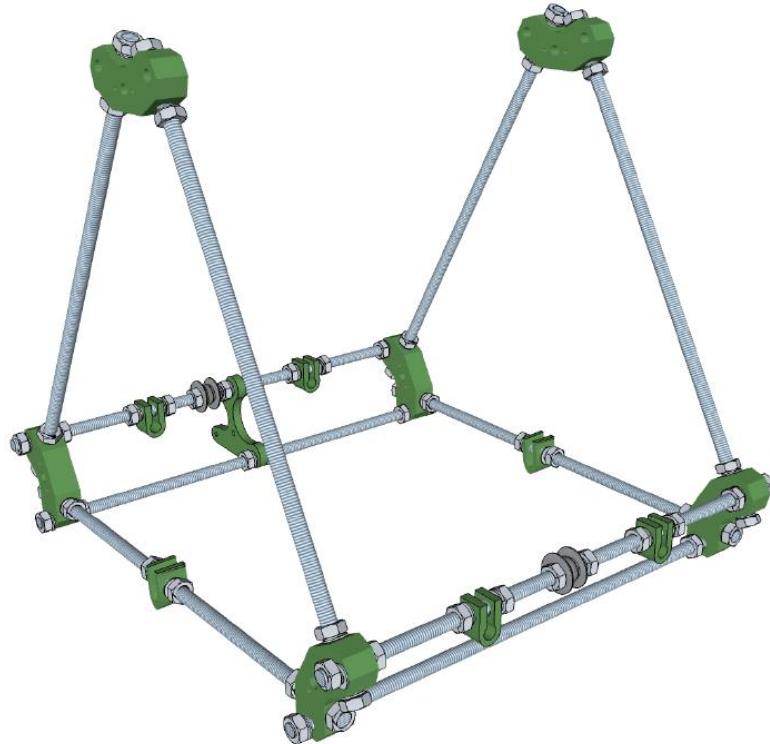


Figura 28. Unión de los laterales. Parte inferior. Laterales unidos por la parte inferior

3.1.2.4 Capítulo 4: Unión de los laterales. Parte superior

En este capítulo se describe paso a paso cómo unir los laterales por la parte superior. Para ello se deben seguir las instrucciones que vienen a continuación.

1.- Cogemos dos de las varillas roscadas de M8 de 440 mm y las pasamos, parcialmente por los respectivos orificios de M8 de una de las piezas denominadas “vértices”. A continuación, introducimos una arandela y una tuerca de M8 por cada una, y las arrimamos a dicho vértice por el que hemos pasado las varillas. Seguidamente introducimos otra tuerca y otra arandela de M8 por cada varilla, consiguiendo así tener lo mostrado en la figura 29.

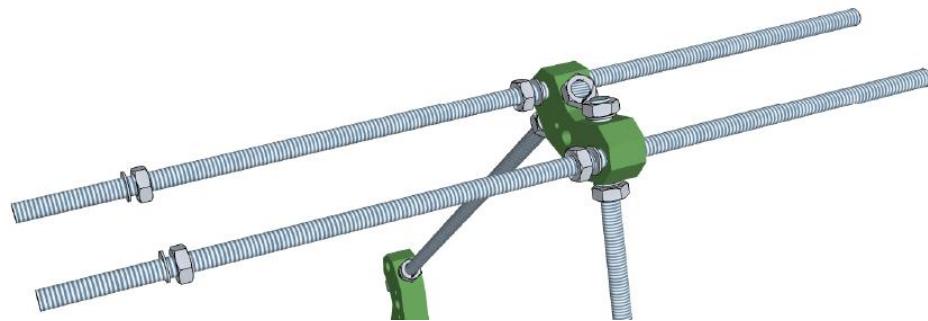


Figura 29. Unión de los laterales. Parte superior (paso 1)

2.- Seguimos pasando las dos varillas hasta que atraviesan los agujeros del otro vértice e insertamos en uno de los extremos, de cada varilla, una arandela de M8, una tuerca de M8 y otra arandela de M8. Tal y como se muestra en la figura 30.

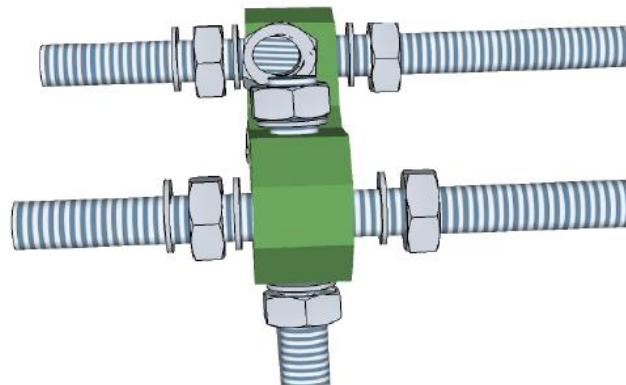


Figura 30. Unión de los laterales. Parte superior (paso 2)

3.- En esos mismos extremos de esas dos varillas añadimos la pieza denominada “soporte motor Z”; y, tras esta, una arandela y una tuerca de M8 en cada varilla. Así tendremos montado uno de los dos extremos superiores como se muestra en la figura 31.

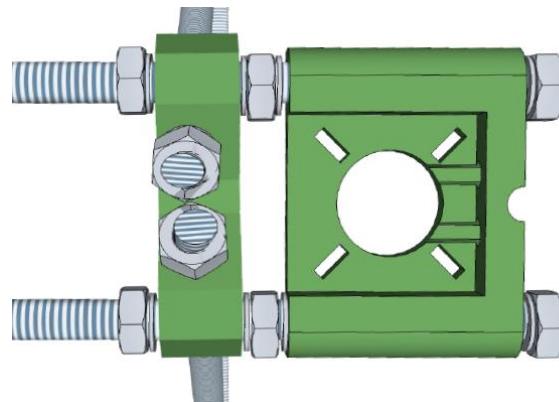


Figura 31. Unión de los laterales. Parte superior (paso 3)

4.- Introducimos en el otro extremo de las dos varillas utilizadas en este capítulo, una arandela M8, una tuerca M8 y otra arandela M8; y, a continuación repetimos el paso 3 en este otro extremo. Obtendremos como resultado lo que se observa en la figura 32.

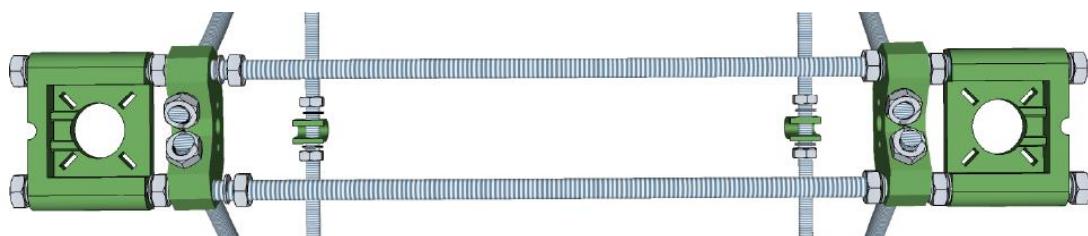


Figura 32. Unión de los laterales. Parte superior (paso 4)

Con esto habríamos acabado capítulo 4, con lo que tendríamos la parte exterior de la impresora, laterales, parte anterior, parte posterior y parte superior, montada al completo. La consecución correcta de estos capítulos se puede comprobar comparando con la imagen de la figura 33.

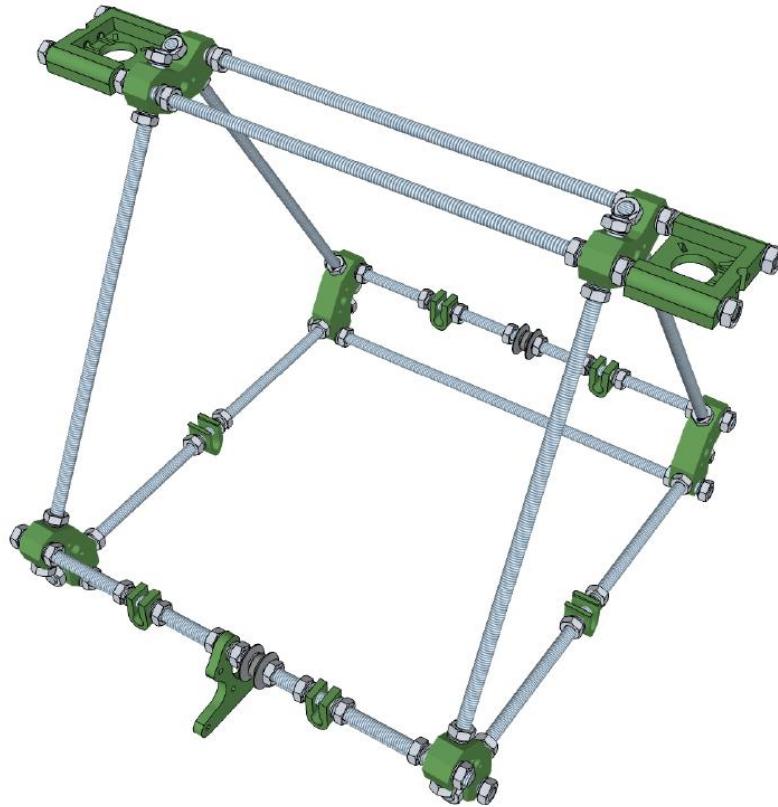


Figura 33. Unión de los laterales. Parte superior. Laterales unidos por la parte superior

3.1.2.5 Capítulo 5: Colocación de varillas transversales y base de madera

Una vez hemos montado la estructura exterior de la impresora vamos a colocar las varillas transversales, las cuales, como ya puede deducirse, se sostendrán con las “abrazaderas” que hemos ido poniendo en los capítulos anteriores.

1.- Se hace pasar la última varilla rosada de M8 que tenemos, que debería ser de 440 mm, por las “abrazaderas” situadas en la parte inferior de los laterales de la impresora. Quedando como se aprecia en la figura 34.

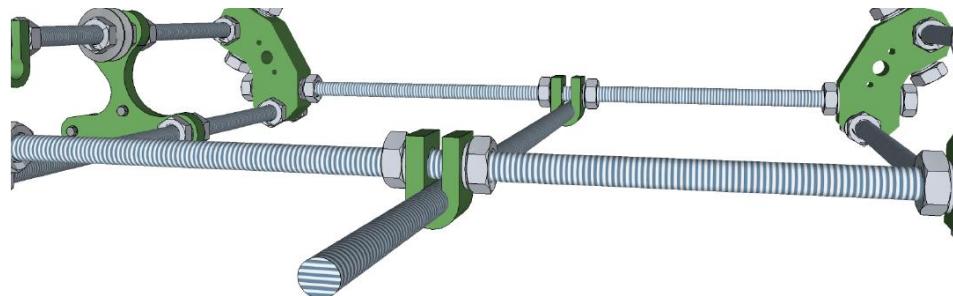


Figura 34. Colocación de varillas transversales y base de madera (paso 1)

Ojo, es importante tener en cuenta que la posición de las dos “abrazaderas” que soportan esta varilla puede ser contraria a como vemos en la figura 34, quedando la varilla, utilizada en este paso 1, por encima de las dos que conforman los dos laterales; de hecho, el autor en su impresora las tiene colocadas al contrario que en la figura 34. Más adelante el lector podrá comprobar cuál sería la ventaja de ponerlo como lo hizo el autor.

2.- A continuación, introducimos, en cada extremo de última varilla colocada, una tuerca y una arandela de M8, una “abrazadera” y otra arandela y otra tuerca de M8. Este paso da como resultado lo que el lector puede observar en la figura 35.

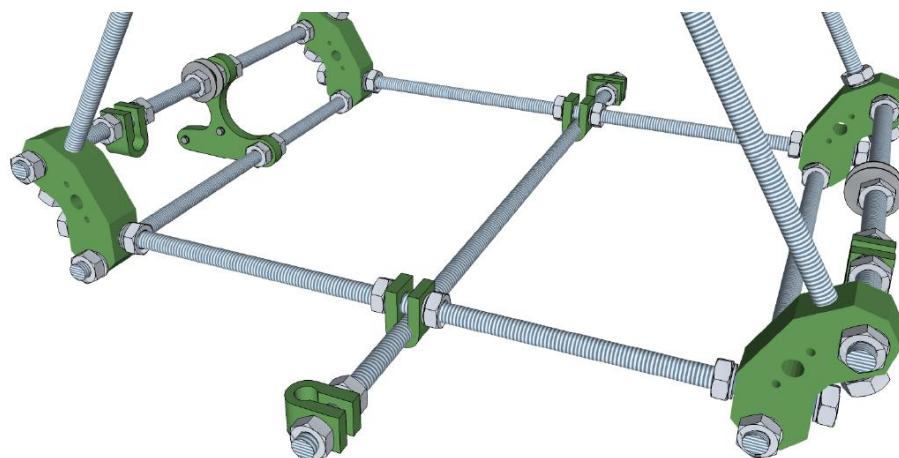


Figura 35. Colocación de varillas transversales y base de madera (paso 2)

3.- Ahora, por otro lado, situaremos las dos primeras varillas lisas de acero inoxidable. Serán las de 406 mm, y las haremos pasar por las parejas de “abrazaderas”, a lo largo del eje Y. Habremos conseguido así lo que muestra la figura 36.

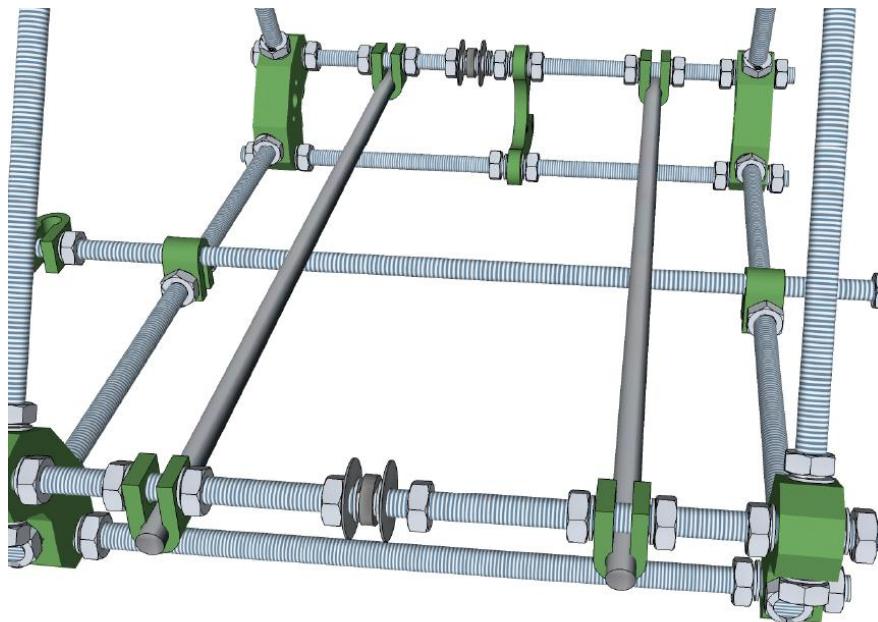


Figura 36. Colocación de varillas transversales y base de madera (paso 3)



4.- Lo siguiente es colocar la primera base, la de madera de 140 mm x 225 mm (que es la de menor tamaño de las tres). Para ello, inicialmente debemos hacer un primer ajuste de medidas, consistente en que entre las dos varillas lisas recién colocadas haya, exactamente, 140 mm; coincidiendo con la medida de los dos laterales cortos de esta base rectangular que vamos a montar, como se puede ver en la figura 37.

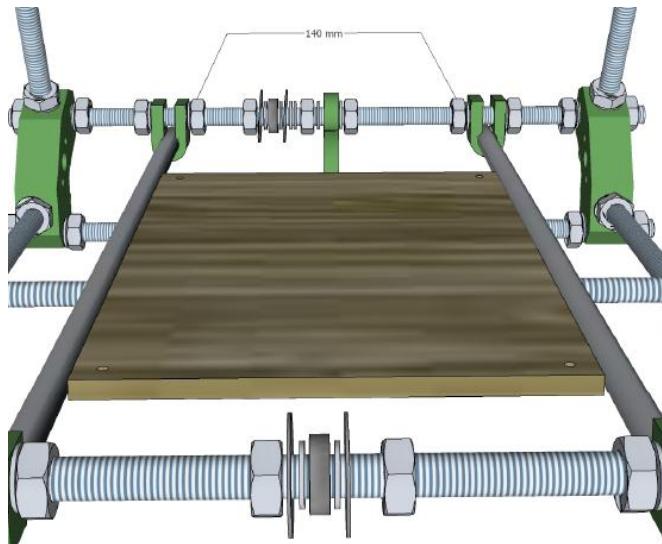


Figura 37. Colocación de varillas transversales y base de madera (paso 4)

5.- Una vez hecho esto, y antes de poner la base en su lugar, debemos taladrar cuatro agujeros en las esquinas de dicha base. Los agujeros deben ser de 3 mm y deben colocarse, a escuadra, a 8 mm x 8 mm de la esquina correspondiente. Esto se entiende mejor viendo con atención la figura 38, en la que se muestra sólo la mitad de dicha base (siendo la otra mitad simétrica).



Figura 38. Colocación de varillas transversales y base de madera (paso 5)

Para ahorrarnos problemas futuros, recomiendo al lector que antes de colocar esta base se aproveche de guía para hacer los agujeros en la siguiente base a colocar, la de aluminio de 225 mm x 225 mm; pues en pasos futuros deberán coincidir, y si lo intentamos hacer con la base de madera ya montada podemos tener serias dificultades.



Para hacer esto se sitúa la base de madera, centrada, sobre la de aluminio y se taladra esta última usando como guía los agujeros realizados anteriormente en la primera. Por supuesto, estos agujeros serán también de 3 mm.

Cómo efectuar este consejo queda más claro en la imagen de la figura 39.

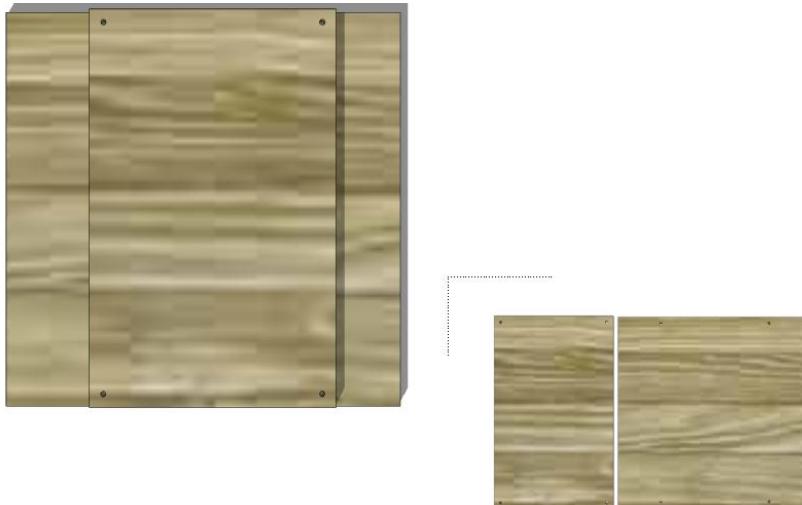


Figura 39. Colocación de varillas transversales y base de madera (consejo paso 5)

Aunque en la figura 39 no se aprecia la diferencia de material, la pequeña es la base de madera, y la grande es la de aluminio.

6.- El siguiente paso ya es pegar los cuatro “rodamientos”, que permitirán a las bases moverse a lo largo del eje Y, a la base de madera.

No debemos confundir estos “rodamientos”, que son de plástico, (impresos con otra impresora 3D), con los rodamientos del modelo 608zz, o los rodamientos lineales como los LM8UU, que son metálicos, y de los cuales (los del tipo 608zz) ya usamos dos para colocarlos en una de las varillas frontales de la impresora y otra de las de la parte posterior de la misma; ver pasos 3 y 6 (respectivamente), del capítulo 3 para más información. El uso de estos dos rodamientos mencionados tiene como finalidad que la correa dentada, que será ensamblada posteriormente, del eje Y, pueda deslizar con facilidad.

Este paso puede realizarse de dos maneras. Puede tratar de sacar las medidas exactas en las que colocar los “rodamientos” en la base de madera; o, puede situar los mismos en las varillas lisas (dos en cada una), separados de centro a centro, los dos que coinciden en la misma varilla, 120 mm (como se observa en la figura 40), untarlos de pegamento (bi-componente o Loctite, por ejemplo), y situar la base de madera como especifica la figura 41.

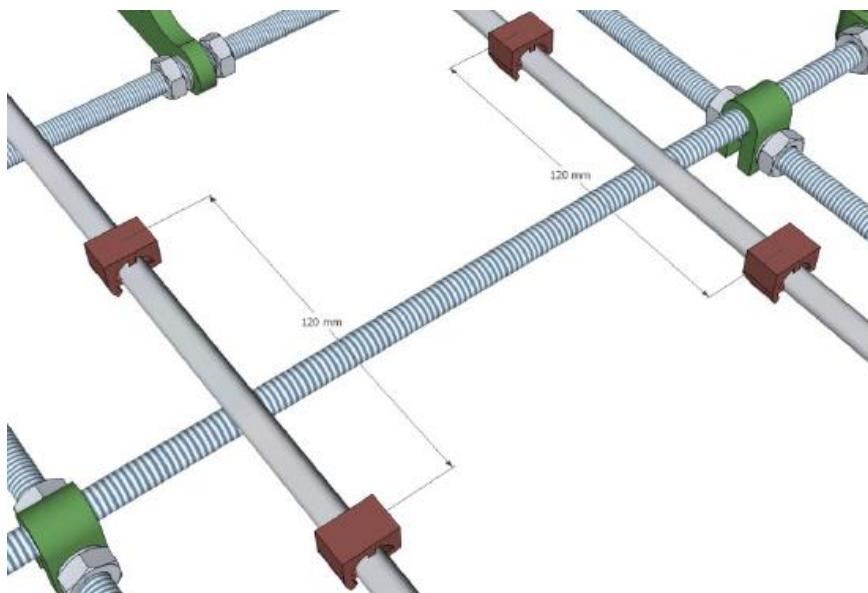


Figura 40. Colocación de varillas transversales y base de madera (paso 6, “rodamientos”)

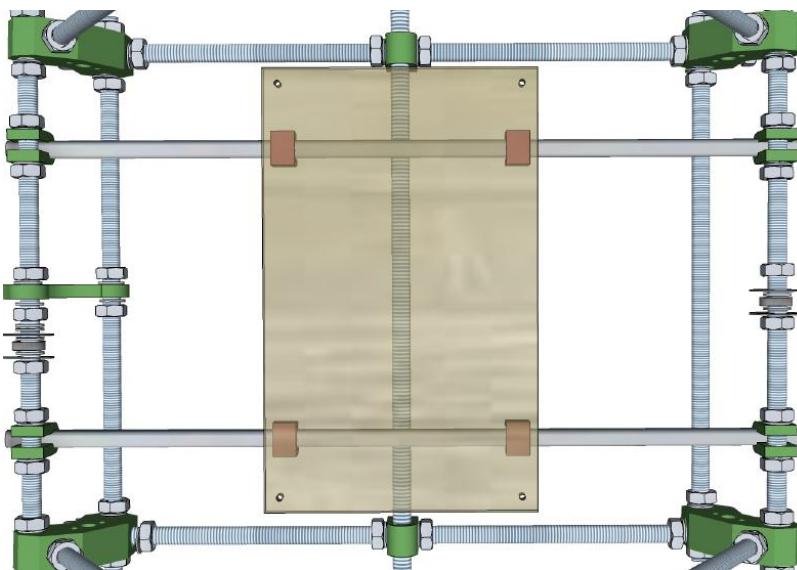


Figura 41. Colocación de varillas transversales y base de madera (paso 6)

Este último método es más complejo de lograr, especialmente si se utiliza Loctite como pegamento (pues se pega instantáneamente sin dar opción a corrección). Sin embargo, el primero tiene también un importante inconveniente, y es que si no se colocan los “rodamientos” con total precisión podemos provocar que el movimiento de la base no sea suave y, en consecuencia que, en el mejor de los casos, aumentemos el desgaste de estos “rodamientos”; y, en el peor de los casos, la base se trabe demasiado y no pueda avanzar, o en su defecto, se despegue o rompa algún “rodamiento”.

El autor aconseja pues, que se intente con el segundo método, explicado e ilustrado, utilizando pegamento bi-componente, que nos dará unos minutos de maniobra antes de secarse.

Con esto habríamos acabado este capítulo 5, obteniendo como resultado del mismo lo que se muestra en la figura 42, en la que, sin embargo, no debemos considerar el motor ni la correa; ya que aún no los hemos montado.

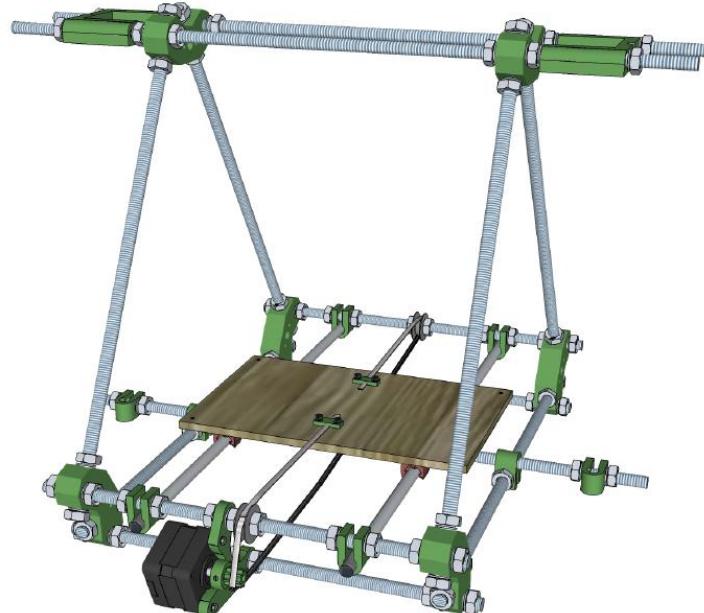


Figura 42. Colocación de varillas transversales y base de madera. Completado

3.1.2.6 Capítulo 6: Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y

En esta parte del ensamblado nos dedicaremos a ajustar las medidas idóneas, y para ello debemos disponer de un metro, o un calibre o pie de rey para mayor precisión, y una llave de M8 que nos permita apretar las tuercas que tenemos.

Por simplicidad y con la idea de que el texto no se haga repetitivo, omitiré el detalle de apretar las correspondientes tuercas. El lector debe saber que cuando acabe de ajustar una medida debe ajustar todas las tuercas de las varillas y elementos que se vean afectados por dicha medida.

1.- Comenzaremos por los laterales. Como explicamos en el capítulo 1, debemos crear un triángulo equilátero en cada lateral. La medida de cada lado debe ser 290 mm de arandela a arandela (en concreto, de la cara de la misma que da contra la pieza que esté en el extremo, o, lo que es lo mismo, de la cara opuesta a la cara opuesta de una a la otra). Para verlo más claro observe la figura 43.

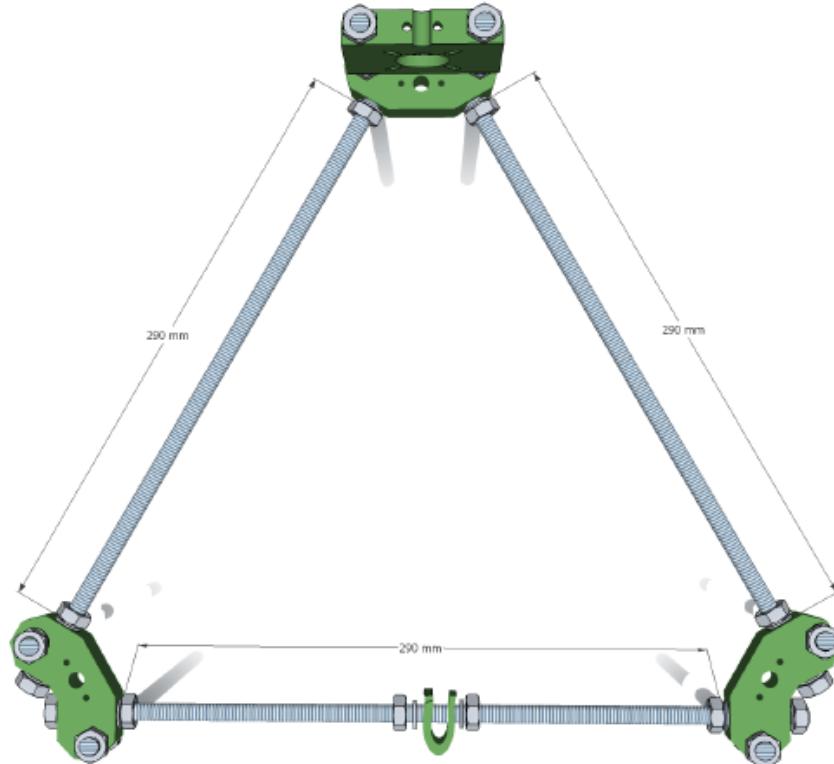


Figura 43. Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 1)

2.- A continuación, ajustamos las medidas de las varillas de la parte anterior y posterior de la impresora, dejando todas ellas a una distancia, de nuevo de arandela a arandela, de 234 mm, como puede verse, para la parte frontal, en la figura 44.

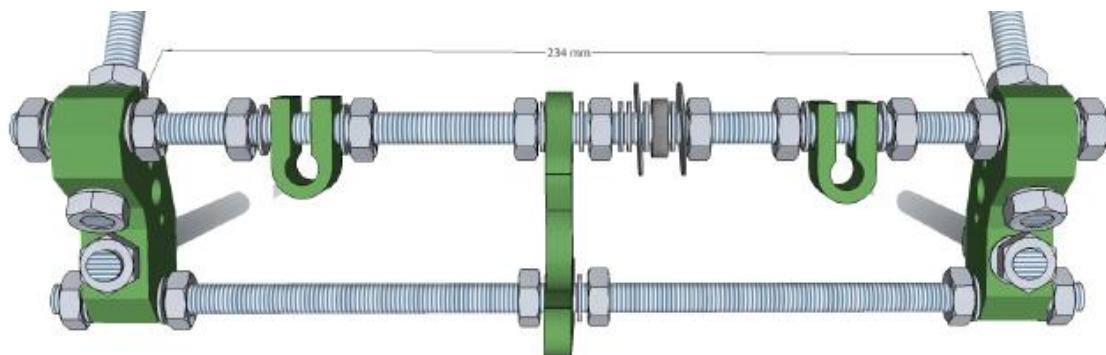


Figura 44. Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 2)



3.- La misma medida se aplica a la parte superior de la estructura, como se muestra en la figura 45.

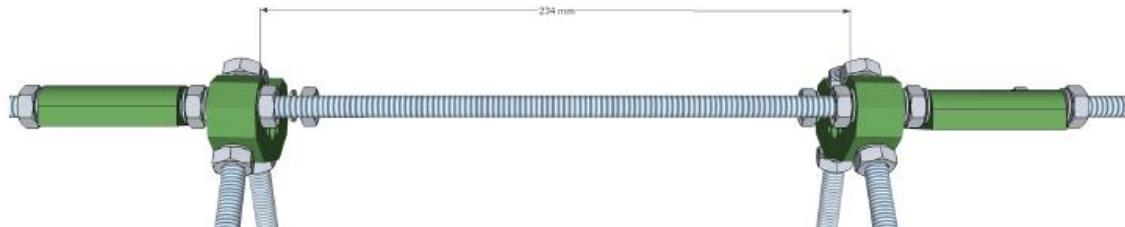


Figura 45. Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 3)

4.- Lo siguiente es conseguir que la varilla roscada de M8 que atraviesa la estructura por la parte inferior, de forma transversal, quede aproximadamente igual de saliente por un lateral que por el otro; y, lo que sí es importante, que el centro del orificio de las “abrazaderas”, colocadas en la misma, queden alineados con el centro del agujero circular grande que poseen los “soportes motor Z”.

Una vista inferior de la impresora que nos puede hacer una idea de la primera parte de este paso es la que aporta la figura 46; aunque por desgracia, no se aprecia la segunda parte de este paso. Aun así, el lector no debe preocuparse pues más adelante se podrá rectificar la posición de estas “abrazaderas” en caso de que no estén del todo correctamente colocadas.

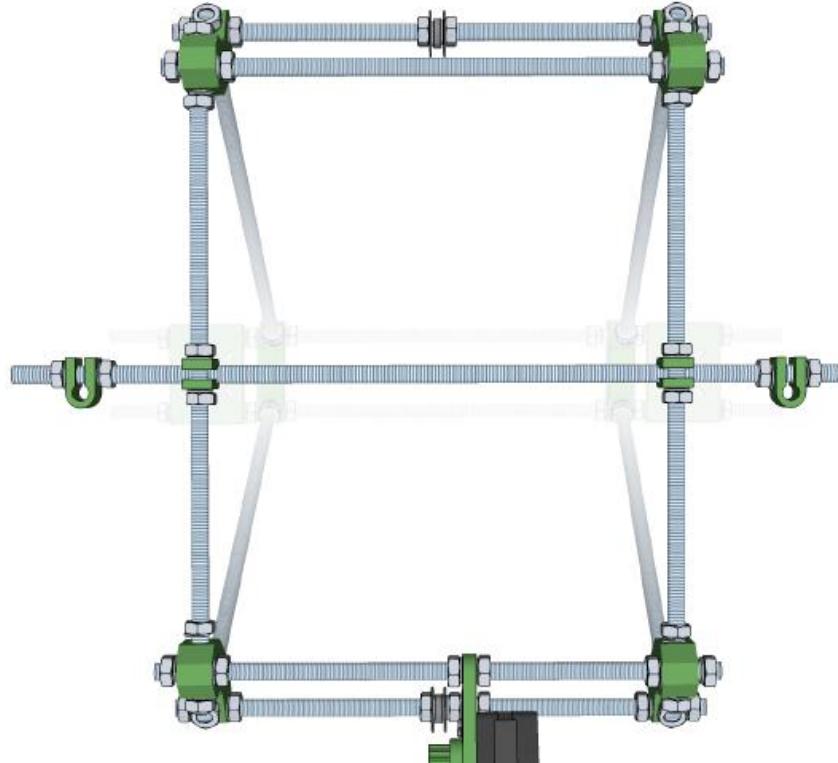


Figura 46. Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 4)



Pido al lector que, nuevamente, obvie la presencia del motor, pues aún no se ha indicado su colocación, en la imagen de la figura 46.

5.- Ahora ajustaremos las medidas para poner en su posición exacta las “abrazaderas” de las partes anterior y posterior de nuestra Prusa Mendel. Para no dañar ningún “rodamiento”, no hay que olvidar que son de plástico y podrían dañarse o despegarse de la base, si hacemos movimientos de apertura o cierre de las varillas lisas (como consecuencia de mover las “abrazaderas”), recomiendo quitar la base de madera, que ya debe de llevar los cuatro “rodamientos” pegados; aprovechando otra de las ventajas de estos “rodamientos”, y es que, al no ser cerrados completamente, podemos montarlos/desmontarlos con facilidad.

Como ya dijimos, de varilla lisa a varilla lisa (de cara interior a cara interior) debe haber 140 mm; pero además, desde el centro de uno de los lados de la “abrazadera” (el más pegado al lateral) a la cara de la arandela, situada en el extremo, que da contra el “pie”, debe haber 39 mm. Queda mucho más claro observando la imagen de la figura 47.

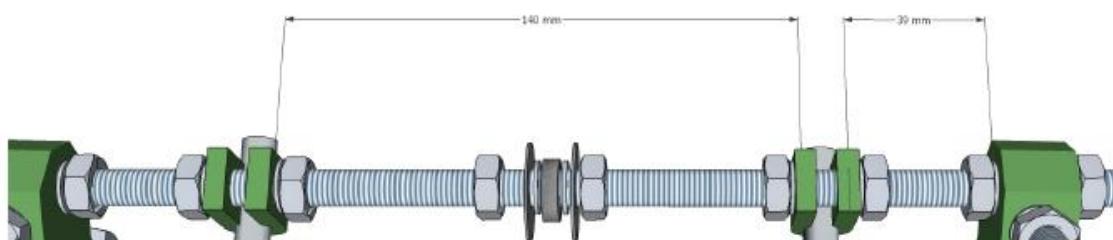


Figura 47. Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 5)

Lo mismo se aplica para la “abrazadera” del lado opuesto; y, también, para las que están en la parte contraria de la impresora (parte anterior, siendo esta la posterior).

6.- Para ajustar la posición de los rodamientos por los que deslizará la correa es conveniente colocar antes el motor del eje Y; ya que no tenemos una distancia concreta a alguno de los laterales. Por tanto, simplemente (como se verá más adelante en más detalle) hay que sobreponer la correa dentada de 840 mm (que será la utilizada para el eje Y), lo cual será más preciso con el motor colocado, y comprobar que ambos rodamientos están justo uno en frente del otro, como se ve en la figura 48.

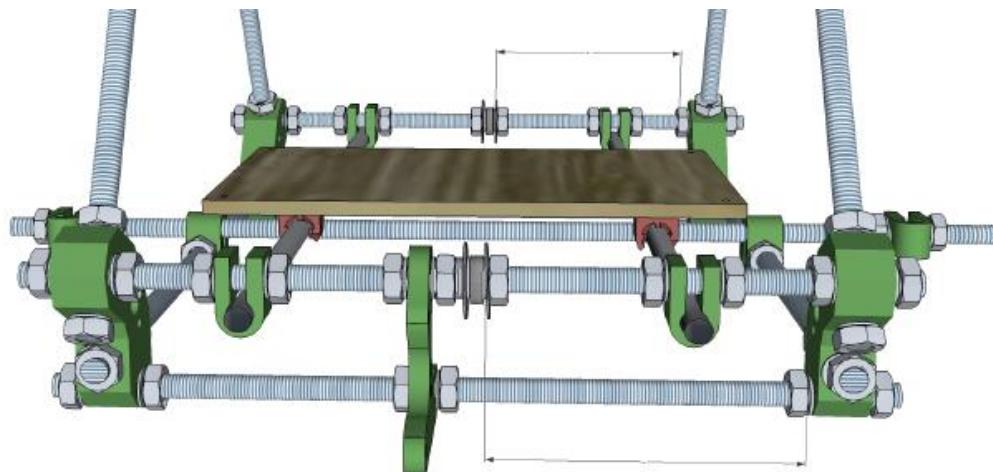


Figura 48. Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 6)

7.- Así pues, cogemos uno de los motores Nema 17 (ver especificaciones en Electrónica/Componentes/Motores paso a paso) y una de las “poleas”. En la “polea” introducimos una tuerca de M3 en lugar habilitado para ello, como muestra la figura 49.

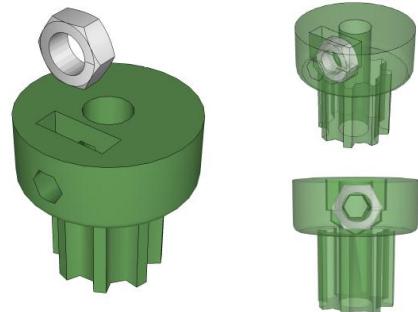


Figura 49. Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 7)

8.- Seguidamente introducimos un tronillo de M3x10 por el orificio correspondiente, como se observa en la figura 50, hasta que se empiece a enroscar en la tuerca.

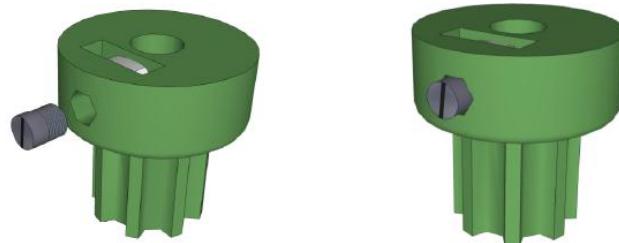


Figura 50. Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 8)

9.- Y luego introducimos el eje del motor por el agujero de la parte inferior de la “polea” hasta donde veamos que es conveniente, no necesariamente debe ser hasta el final del eje. El lector comprobará en seguida que debe aplicar bastante fuerza para realizar esta operación, lo cual garantiza que, incluso sin tornillo, muy probablemente la “polea” no se saldrá del eje. Si ve que aun así, aplicando bastante fuerza, no es posible introducir el eje en la “polea”, ensanche ligeramente el agujero con una lima o un taladro y una broca de M3 (incluso cabe la posibilidad de limar un poquito el exterior del eje del motor).

Lo colocamos sobre la pieza “soporte motor Y”, cogemos tres tornillos y tres arandelas de M3 y los usamos para sujetar el motor a dicha pieza, tal y como se ve en la figura 51, quedando finalmente como vemos en la figura 52.

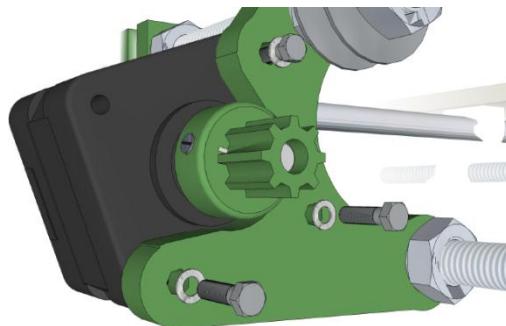


Figura 51. Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 9)

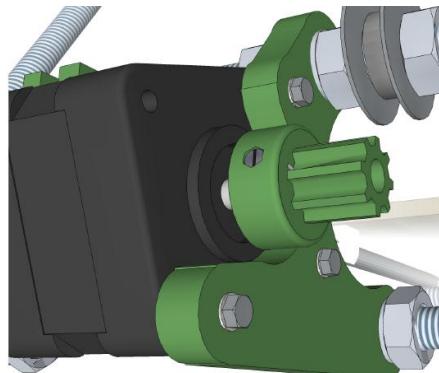


Figura 52. Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 9). Motor Y ensamblado

El problema, que el lector detectará enseguida, es que el motor es demasiado pesado y el “soporte motor Y” se dobla ligeramente hacia el lado en el que se encuentra el propio motor. Para solucionar este problema se puede colocar una brida, de manera que abrace el motor a la varilla roscada que queda por encima (varilla en la que se encuentra el rodamiento). Este remedio puede observarse en la imagen de la figura 53.

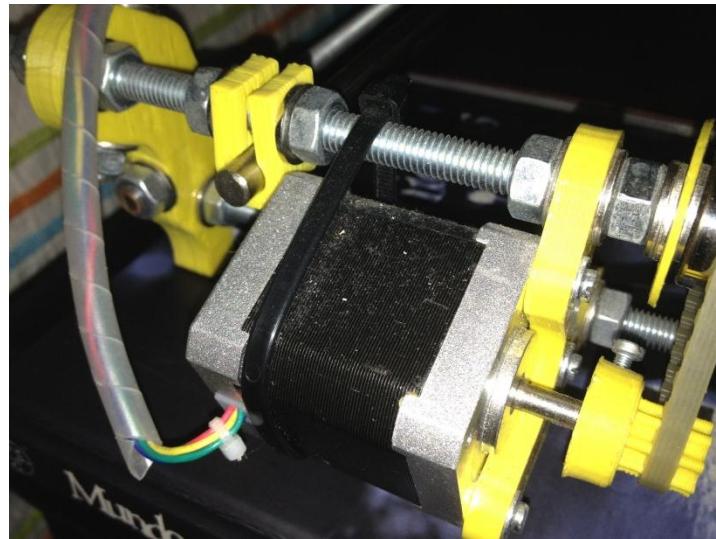


Figura 53. Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 9). Motor Y ensamblado, con brida

Ahora sí, podemos retomar brevemente el paso 6 para colocar con mayor precisión los rodamientos que, como ya se explicó, deben quedar uno enfrente del otro.

10.- Hecho esto, debemos taladrar la base de madera para poder colocar las “pinzas” que sujetaran las correas dentadas.

En primer lugar, debido a no tener una referencia exacta de por dónde irá la correa, tenemos que recolocar la base en su sitio; para ello encajamos los “rodamientos” en las varillas lisas.

Hecho esto, sobreponemos la correa dentada de manera que podamos ver cómo quedaría y la sujetamos en la posición mostrada en la figura 54 de para que podamos tomar una referencia.



Figura 54. Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 10)

11.- Con esa referencia tomada, retiramos la correa dentada, volvemos a quitar la base (desencajando con cuidado los “rodamientos”) y ponemos la pieza “pinza” sobre la referencia, simulando, con la mayor precisión posible, cómo debería quedar colocada posteriormente esta pieza. En esa posición marcamos, a través de los agujeros de dicha pieza, los puntos en los que taladrar, y con un taladro y una broca de M3 hacemos los dos agujeros. Posteriormente repetimos este paso para la referencia tomada con el otro extremo de la correa.

Deberían quedarnos cuatro agujeros similares a los de la figura 55, en la que vemos cómo deben coincidir con los de las piezas “pinza”.



Figura 55. Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 11)

12.- A continuación, volvemos a colocar la base de madera en su posición (encajando de nuevo los “rodamientos”), colocamos la correa dentada en su posición definitiva (es importante asegurarse de que pasa por los dos rodamientos y por la polea del motor), enganchamos un extremo a la base colocando una “pinza” e introduciendo por encima de la base dos tornillos M3, cada uno con una arandela M3, como puede verse en la figura 56, y por debajo de la base una arandela y una tuerca de M3 en cada tornillo. Apretamos fuerte y comprobamos que el extremo está bien sujetado.

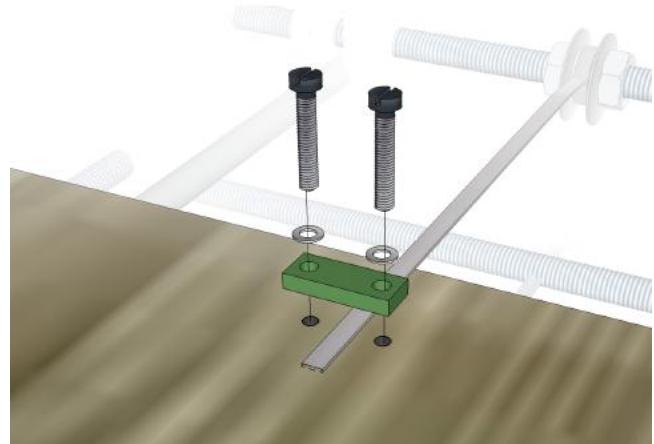


Figura 56. Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 12)



13.- Con un extremo sujeto, hacemos lo propio con el otro extremo, como se aprecia en la figura 57, pero en este caso debemos asegurarnos de que la correa está sujetada y de que queda bien tensa.

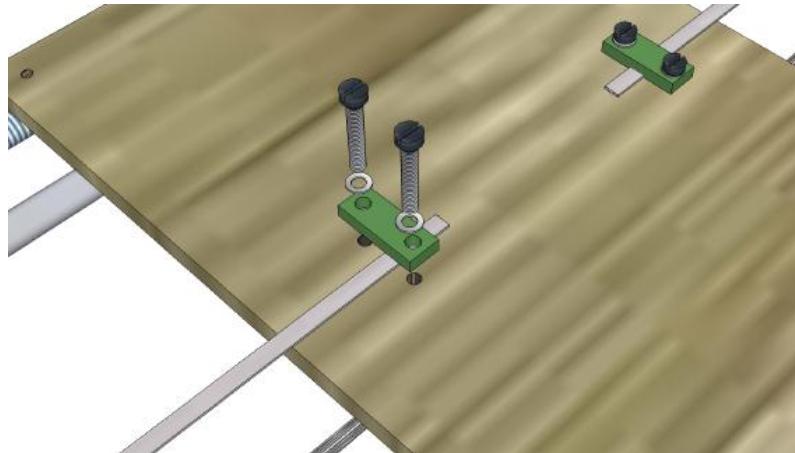


Figura 57. Ajuste de medidas exteriores y ensamblado del eje Y (paso 13)

Con estos pasos concluimos el capítulo 6. Ahora ya si nos debería quedar todo lo que llevamos ensamblado como se veía en la figura 42; además con todas las medidas ajustadas y todas las tuercas apretadas.

3.1.2.7 Capítulo 7: Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z

En este capítulo prepararemos los extremos del eje X y dejaremos ya ensamblado el eje Z. Se preparan estos extremos del eje X porque son piezas compartidas con el eje Z; sin embargo se monta primero el eje Z porque es más sencillo hacerlo así que ensamblar en primer lugar el eje X.

1.- Tomamos las piezas “lateral con motor” y “lateral sin motor” y les introducimos por los agujeros paralelos de M8 cuatro tuercas de M3 a cada uno, de manera que estas queden encajadas en los orificios habilitados para ello. Seguidamente introducimos ligeramente cuatro tornillos de M3, en cada pieza, sólo hasta que se comiencen a enroscar en las respectivas tuercas, de manera que los agujeros de M8 por los que metimos las tuercas no queden obstruidos pero estas y los tornillos estén los más fijos posible.

El proceso, para la pieza “lateral sin motor”, es el que se describe de izquierda a derecha y de arriba abajo en la imagen de la figura 58; para el “lateral con motor” se hace exactamente igual.

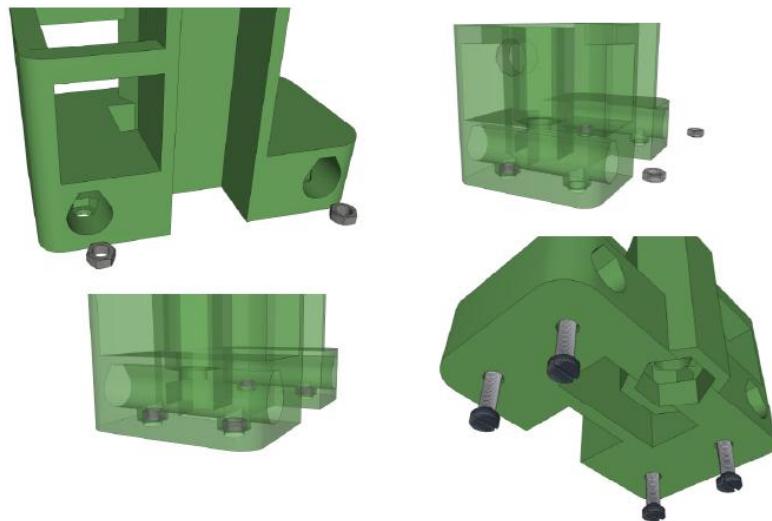


Figura 58. Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 1)

2.- El siguiente paso es coger otros cuatro “rodamientos” y pegar dos en cada una de las dos piezas utilizadas en el paso anterior en los carriles diseñados para esto. Se deben pegar de manera que quede uno pegado al extremo superior del carril y otro al extremo inferior.

Para pegar estos materiales podemos usar de nuevo pegamento bi-componente, Loctite o incluso Acetona; la cual disuelve el plástico, por lo que echando una capa finita y uniendo rápidamente las dos partes podemos llegar a hacer que queden como si estuviesen fundidas.

Para tener una idea visual de cómo deben quedarse aporta la imagen de la figura 59; en la que se muestra solo para el caso de la pieza “lateral sin motor”, aunque, como en el paso anterior, la operación es exacta para la otra pieza (“lateral con motor”).



Figura 59. Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 2)

Es importante no prestar atención a las varillas y demás elementos que aparecen en la ilustración, sólo se pretende mostrar cómo debemos colocar los “rodamientos” en las piezas mencionadas.



3.- Por último, para terminar de preparar estos extremos del eje X, en la pieza “lateral sin motor” debemos introducir por el agujero de M8, que esta pieza tiene en su lateral, el trozo de 50 mm de varilla roscada de M8 (o en su defecto, el tornillo de M8x50). En la parte interior, la parte del trozo de varilla que queda más pegado al tronco de la pieza, ponemos una arandela y una tuerca de M8; y, por el otro extremo, una arandela de M8x30, una arandela de M8, un rodamiento del tipo 608zz, otra arandela de M8, otra arandela de M8x30 y una tuerca de M8, quedando como se muestra en la figura 60.

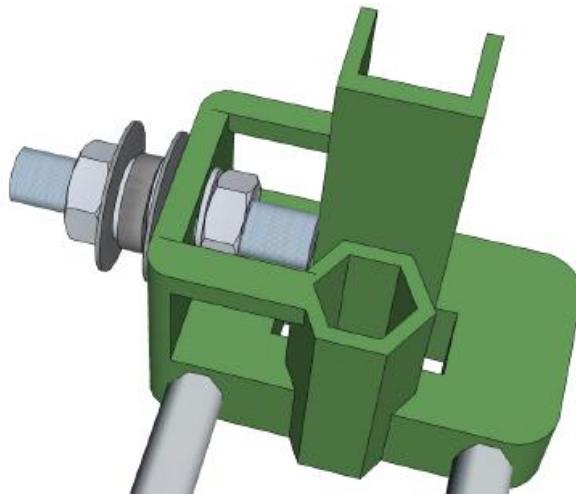


Figura 60. Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 3)

Con esto habríamos preparado, lo necesario, los extremos del eje X para poder ensamblar el eje Z y no complicar el posterior montaje del eje X.

4.- Para comenzar con el eje Z hay que colocar dos tuercas en los orificios, realizados para ello, en cada uno de los “soporte motor Z”; como se ve en la imagen de la figura 61 para uno de ellos.

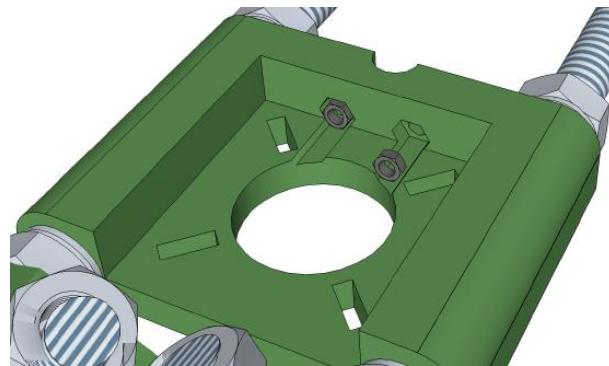


Figura 61. Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 4)

5.- Ahora cogemos una de las dos piezas “sujeción” y la colocamos, con dos tornillos de M3x25 (que se enroscan en las tuercas del paso anterior) y una arandela M3 cada uno, en uno de estos “soporte motor Z”, como se ve en la figura 62; dejándolo ligeramente suelto de momento.

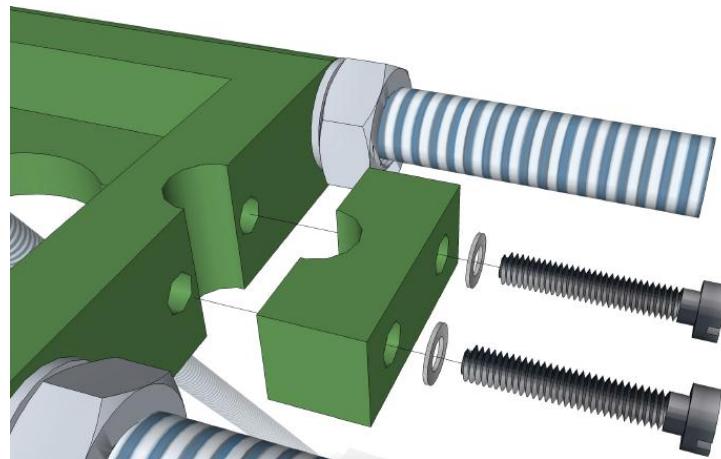


Figura 62. Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 5)

Seguidamente hacemos lo propio en el otro “soporte motor Z”.

En este paso tenemos un problema, y es que si introducimos los tornillos como en la figura 62 luego no podremos poner los motores del eje z en su correspondiente lugar. Tenemos dos soluciones, una es meter los tornillos por los orificios donde encajamos las tuercas y poner las tuercas donde quedarían las cabezas de los tornillos de la figura 62; y, la otra, que es la que el autor escogió y, por tanto, recomienda, que consiste en cortar los tornillos de manera que cuando apretemos la pieza queden a ras de la tuerca.

Como se ha dicho, el autor escogió y recomienda, la segunda opción, porque si en un futuro queremos o necesitamos quitar esta pieza, “sujeción”, es más sencillo; pues si lo resolvemos por el primer método para quitar la pieza “sujeción” tendríamos previamente que quitar el motor correspondiente.

6.- Lo siguiente es coger una de las varillas lisas de M8 de longitud 330 mm y la colocamos de manera que quede sujetada con una “abrazadera”, de las colocadas en la varilla roscada que atraviesa la impresora de lateral a lateral por la parte inferior de la misma, y una “sujeción” de las colocadas en el paso anterior.

Debemos asegurarnos de que esta varilla queda perfectamente vertical como se muestra en la figura 63. El lector debe tener en cuenta que, si al colocarla no está como en la imagen de la figura 63, puede recolocar la “abrazadera” en incluso la varilla roscada de la parte inferior aflojando las tuercas correspondientes, moviendo la “abrazadera” correspondiente y volviendo a apretar las tuercas aflojadas.

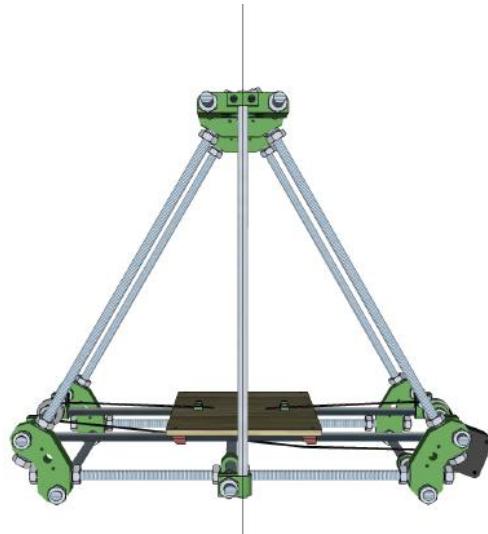


Figura 63. Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 6)

Si hacemos lo mismo en el otro lateral y encajamos los “rodamientos” de las piezas “lateral con motor” y “lateral sin motor” en las varillas lisas recién colocadas, nos debería quedar como en la figura 64.

Es especialmente importante tener en cuenta que la pieza “lateral con motor” es la que debe quedar a la izquierda y “lateral sin motor” a la derecha; recordando que se considera la parte frontal aquella en la que está el motor del eje Y.

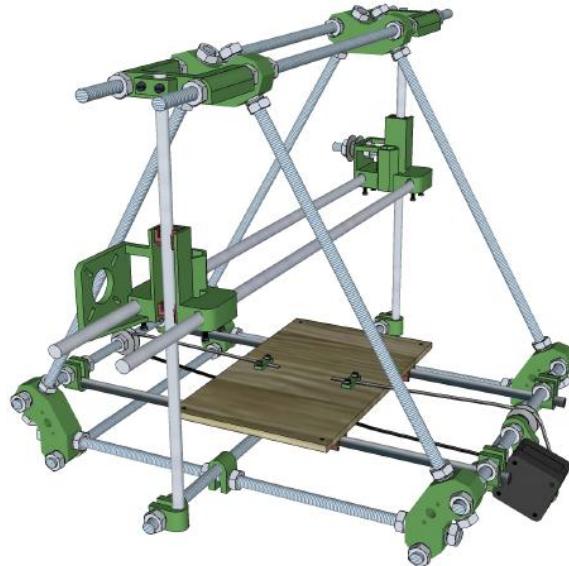


Figura 64. Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 6, laterales acoplados)

Lo único que aún no debemos tener de lo que aparece en la imagen de la figura 64 son las varillas lisas paralelas que conforman el eje X, pues a mi juicio es conveniente ensamblar estas varillas posteriormente, pues pueden estorbar para montar lo que nos queda del eje Z.

7.- Ahora ponemos una tuerca de M8 en el orificio, específico para ello, de la parte inferior de la pieza “lateral con motor”, como se muestra en la figura 65.

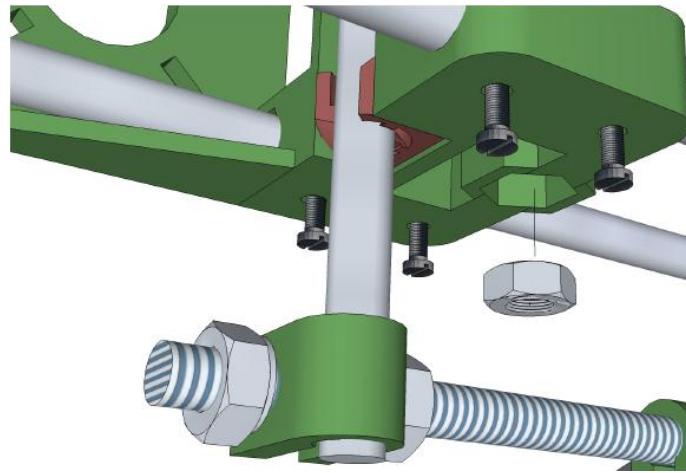


Figura 65. Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 7)

Recordemos que no debemos fijarnos en las varillas lisas paralelas que aparecen en la figura 65, ya que aún no las hemos montado.

8.- Seguidamente, en la misma pieza, introducimos, por la parte superior del conducto hexagonal, uno de los muelles con diámetro interior de 8 mm y sobre él colocamos otra tuerca de M8. Cómo efectuar este paso, y cómo queda el mismo junto con el anterior, puede verse en la figura 66.

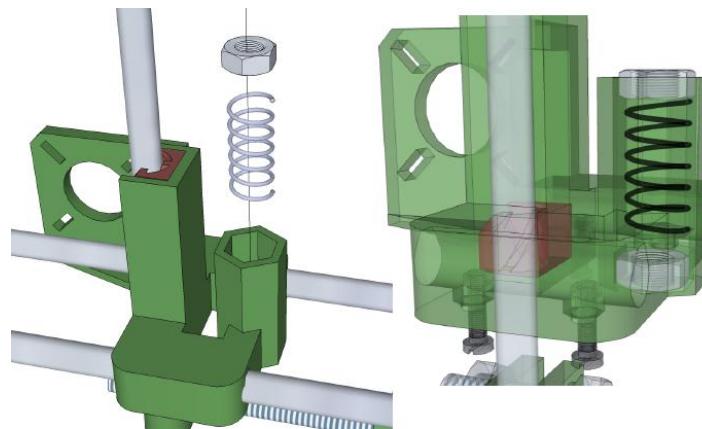


Figura 66. Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 8)

De nuevo aparecen las varillas lisas del eje X que, siguiendo los pasos de este proyecto, aún no deberían haberse ensamblado.

9.- Ahora cogemos una de las varillas roscadas de M8 de 210 mm y la hacemos pasar por ambas tuercas, tal y como se muestra en la figura 67.

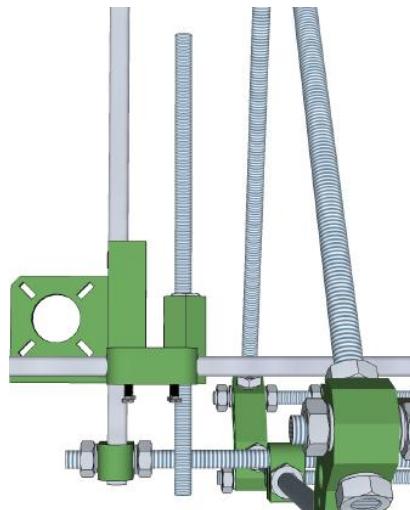


Figura 67. Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 9)

Repetimos los pasos 7, 8 y 9 para la pieza “lateral sin motor” (se podría haber hecho perfectamente en el orden contrario).

10.- Por otro lado, preparamos los “acopladores”, que nos permitirán conectar estas últimas varillas roscadas utilizadas con los ejes de los motores del eje Z. Para ello cogemos un “acoplador” y le introducimos dos tornillos de M3x25, con una arandela de M3, por los correspondientes agujeros laterales de la pieza. Por el otro lado de la pieza se pone una arandela de M3 y una tuerca de M3 en cada tornillo, que se utiliza para apresar el mismo (aunque de momento lo dejaremos sin apretar). Para ver mejor este paso se puede utilizar la imagen de la figura 68.

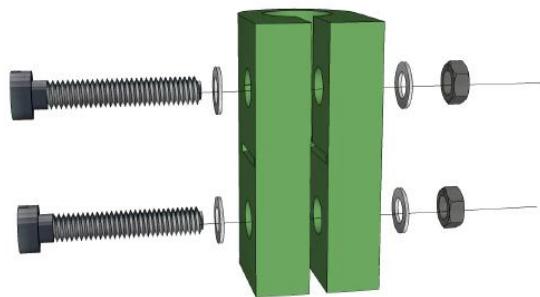


Figura 68. Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 10)

Esta pieza puede tener un problema, que consiste en que las fuerzas de torsión y, sobre todo, de tracción que soportará, cuando la impresora esté trabajando, puede hacer que se parta por la mitad. Una solución, que el autor implementó con éxito, es recubrir dicha pieza con una fina chapa metálica; a la que previamente le haremos los taladros correspondientes para que coincidan con los agujeros de la pieza, y seguidamente le daremos la forma de la pieza (lo cual puede hacerse fácilmente, por ejemplo, con un gato y un alicate).

11.- Hecho esto colocaremos los motores del eje Z. Para ello tomamos dos de los motores Nema 17 y los colocamos sobre las piezas “soporte motor Z” en el lugar habilitado para ello; tal y como puede verse en la figura 69.

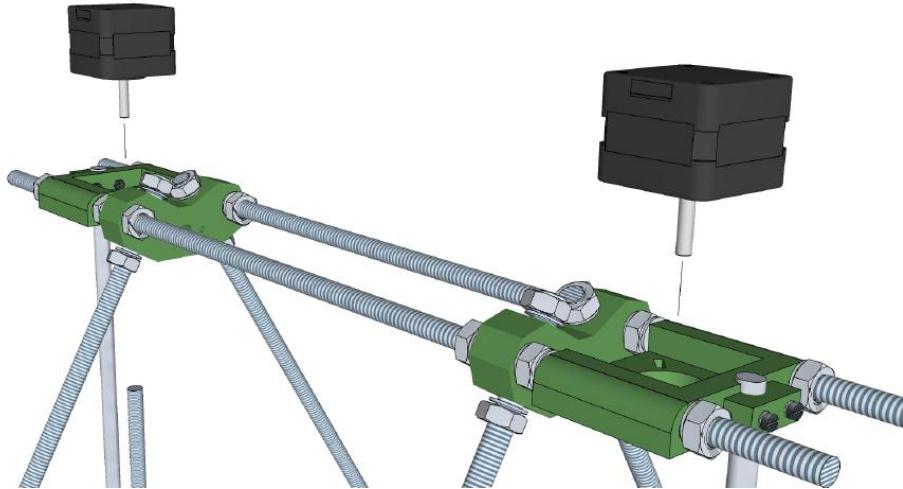


Figura 69. Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 11)

12.- Ahora cogemos cuatro tornillos de M3x10, con cuatro arandelas de M3, y los colocamos en los cuatro agujeros que cada motor posee para ello. Así, como se muestra en las imágenes de la figura 70, dejaremos el motor sujeto a la pieza “soporte motor Z”; y, repetimos la operación para el otro motor, también colocado en el paso anterior.

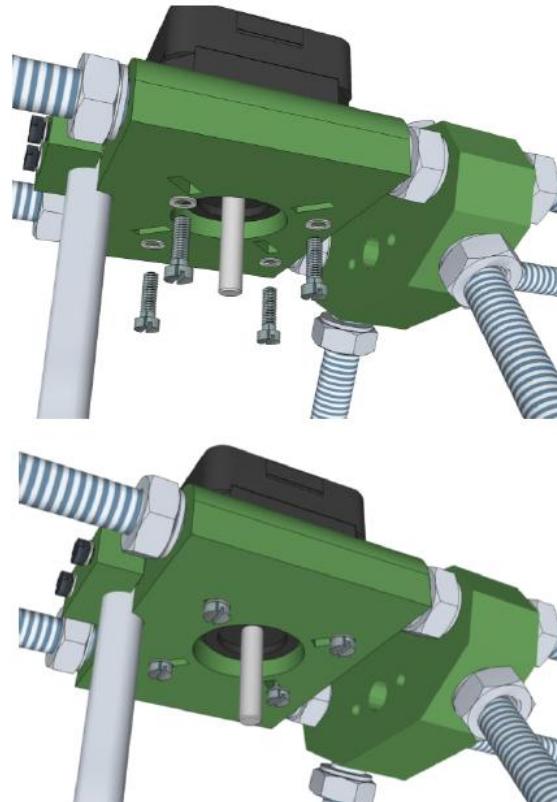


Figura 70. Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 12)

13.- Seguidamente, introducimos el eje del motor, en el agujero de 5 mm de diámetro que posee en uno de sus extremos la pieza “acoplador” y apretamos el tornillo de esa parte de dicha pieza; quedando como puede verse en la figura 71.

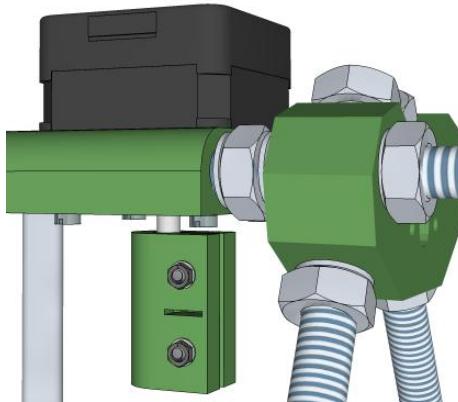


Figura 71. Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 13)

Y hacemos lo mismo con el otro motor del eje Z y con el otro “acoplador”.

14.- A continuación vamos pasando las varillas roscadas de M8 de 210 mm que habíamos puesto en las piezas laterales del eje X, hasta que las introducimos por el otro orificio, de 8 mm, de los “acopladores”. Una vez introducidas apretamos los tornillos correspondientes para que queden bien fijadas. Deberíamos obtener algo similar a lo que se observa en la imagen de la figura 72.

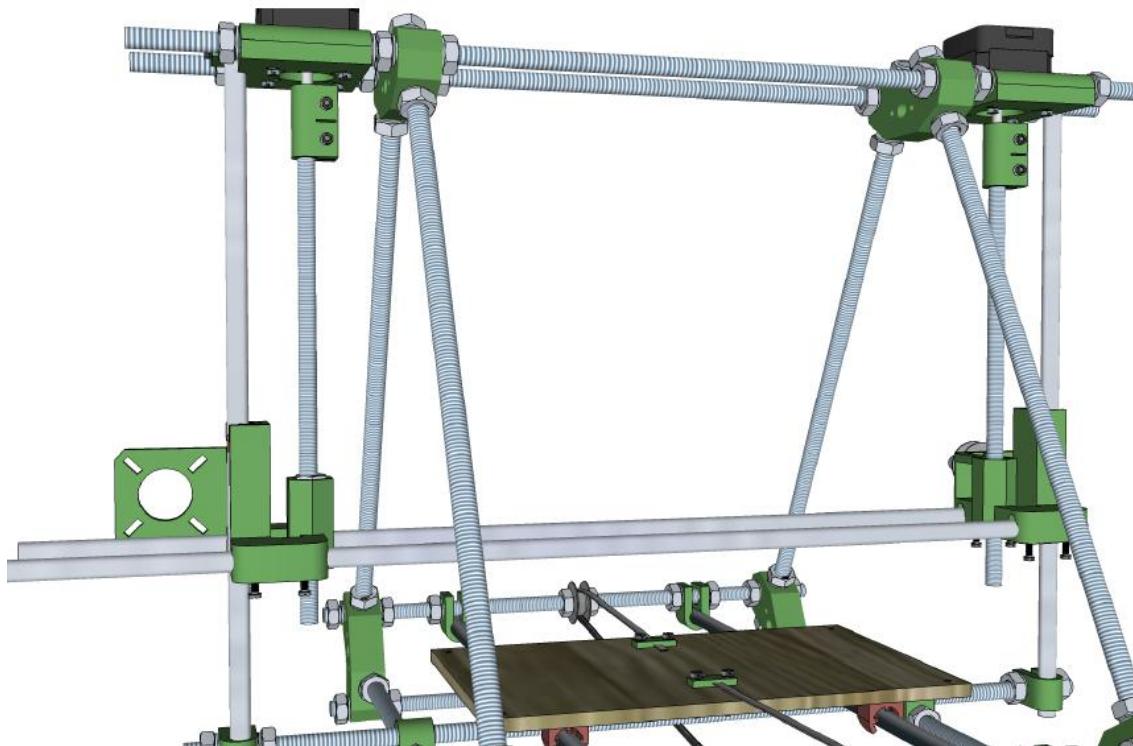


Figura 72. Preparación de extremos en X y ensamblado del eje Z (paso 14)



Es muy probable que cuando se tenga la impresora terminada y empecemos a imprimir las varillas roscadas que acabamos de fijar se suelten. En ese caso una posible solución (a la que el autor recurrió) es pegar las varillas a los “acopladores” con, por ejemplo, pegamento bi-componente. De hecho el lector puede prevenir este posible problema pegando las varillas ya; pero, en ese caso, el problema es que si en un futuro, por problemas, etc., queremos cambiar las varillas y/o los “acopladores”, deberemos cambiar forzosamente ambas cosas.

Como a lo largo de todo este capítulo 7, debemos tener en cuenta que las varillas lisas horizontales que formarían el eje X, y que se aprecian en la figura 72, aún no las hemos ensamblado.

3.1.2.8 Capítulo 8: Ensamblado completo del eje X

En este capítulo terminaremos de montar definitivamente el eje X, ensamblando las varillas lisas que forman dicho eje, el motor y la correa dentada que permitirán el movimiento, y el “carro” que se mueve en dicho eje.

1.- El primer paso es introducir una varilla lisa de M8 de 495 mm por los orificios de M8 de las piezas laterales del eje X, de manera que quede al límite del agujero de 8 mm de la pieza “lateral sin motor” y sobrante en el lado en el que iría el motor en la pieza “lateral con motor”.

Como se puede comprobar, si la varilla se sujetara en esa posición, el motor no encajaría, por lo que es necesario hacerle un rebaje a la misma (que fue lo que hizo el autor), tal y como se muestra en la imagen de la figura 73. Para hacer este rebaje, se marca la zona de la varilla en la que es necesario hacer la operación, se saca la varilla de los agujeros por los que la hemos introducido y, con un torno, piedra de afilar, o herramienta de que se disponga para realizar el rebaje, se hace el mismo.

Si no se dispone de los medios para hacer dicho rebaje, se pueden cortar las varillas lisas para que queden justo hasta el límite de los agujeros de ambas piezas laterales.



Figura 73. Figura 62: Ensamblado completo del eje X (paso 1)

2.- Solucionado el problema, volvemos a introducir la varilla lisa de M8 de 495 mm en los agujeros de 8 mm de las piezas laterales (ya que si nos hemos decidido por la opción de hacer el rebaje, debemos haber sacado la varilla para ello); y, hacemos lo propio con la otra varilla lisa de M8 (que no precisa de ningún rebaje).

Cómo ya se especificó inicialmente, hay que posicionar las varillas lisas de manera que queden al límite de la pieza “lateral sin motor” y sobrantes en la pieza “lateral con motor” (en el caso de haber optado por hacer el rebaje).

Cómo quedan ambos extremos y la estructura en general podemos verlo en las imágenes de la figura 74.



Figura 74. Ensamblado completo del eje X (paso 2)

Debemos tener en cuenta que, aunque en las imágenes no se aprecia, la varilla más próxima al soporte del motor, de la pieza “lateral con motor”, debe tener el rebaje que le hicimos en el paso 1.

3.- Una vez las varillas estén bien colocadas debemos hacer que queden sujetas. Para ello apretamos los tornillos de M3x10, que colocamos en la parte inferior de las piezas laterales en el paso 1 del capítulo 7.

Ojo, es importante tener en cuenta que las tuercas que iban por dentro de las piezas laterales, encajadas en unos agujeros específicos para ello, están sobre sólo un par de capas de plástico, por lo que, si los tornillos se aprietan en exceso, podría arrancarse el pedazo de plástico que queda entre la tuerca y el tornillo imposibilitando la función de este último de sujetar las varillas lisas.

La solución que implementó el autor para este problema consiste en pegar por debajo de los agujeros arandelas de M3. De esta manera se le da algo más de fuerza a las piezas y se arregla el problema. Esto quedaría como se puede apreciar en la figura 75.

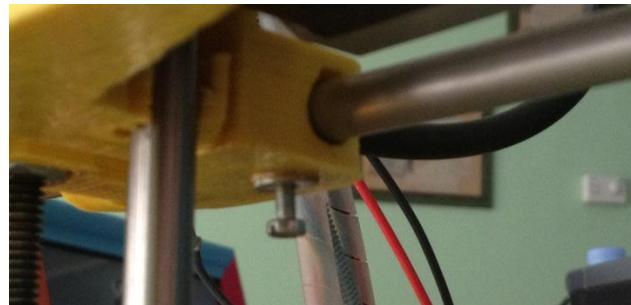


Figura 75. Ensamblado completo del eje X (paso 3)

4.- Por otro lado, al igual que hicimos para el motor del eje Y, debemos introducir la “polea” que nos queda en el eje del motor del que utilizaremos para el eje X. Esta operación se realiza exactamente igual que la realizada para el eje Y, con la salvedad de que, en este caso, es conveniente introducir la polea en el orden contrario al caso para el eje Y. Así pues, debería quedarnos como muestra la figura 76.



Figura 76. Ensamblado completo del eje X (paso 4)

5.- Con el motor preparado, lo posicionamos en el soporte para el mismo que incluye la pieza “lateral con motor” y lo sujetamos a esta pieza con cuatro tornillos de M3x10 (con sus respectivas arandelas de M3), quedando entonces como aparece en la figura 77.

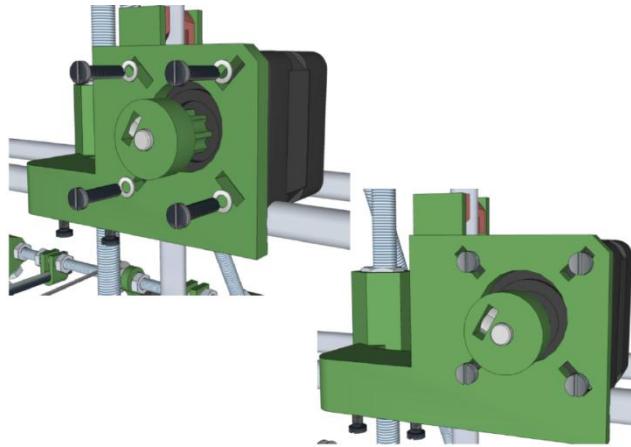


Figura 77. Ensamblado completo del eje X (paso 5)



6.- Preparamos ahora el “carro” del eje X. Para ello debemos pegarle los cuatro últimos “rodamientos” en los lugares de la pieza “carro” específicos para ello.

A fin de asegurar un movimiento más suave a la hora de trabajar con la impresora, se recomienda al lector enganchar los cuatro rodamientos a las varillas lisas del eje X, untarles de pegamento por la parte plana, podemos de nuevo usar Loctite, pegamento bi-componente o acetona para ello (aunque cabe recordar que el de secado más lento pero que aporta por ello más margen de corrección es el pegamento bi-componente); y, finalmente, colocar, como se muestra en la figura 78 el “carro” sobre ellos en la posición correcta.

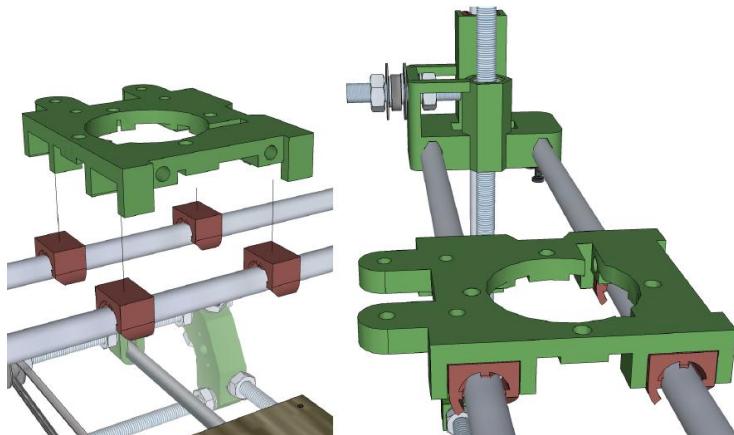


Figura 78. Ensamblado completo del eje X (paso 6)

Es importante que las dos partes salientes del “carro” queden hacia la parte trasera de la estructura.

7.- Nos quedaría ahora colocar la correa. En primer lugar se cogen las dos últimas “pinzas” y se les introduce por un lado dos tornillos de M3x25 (con su respectiva arandela de M3 cada uno) como se ve en la figura 79.



Figura 79. Ensamblado completo del eje X (paso 7)

8.- Se introducen, los tornillos, por los agujeros de las dos partes salientes del “carro” y se sujetan con sendas tuercas que se colocan por la parte inferior de dichos salientes; como se puede observar en la imagen de la figura 80. Aunque se dejan aún sin apretar.

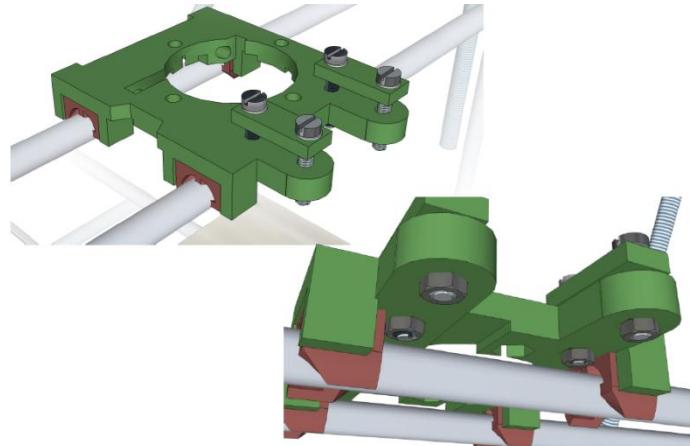


Figura 80. Ensamblado completo del eje X (paso 8)

9.- En el hueco que queda entre una de estas pinzas, por ejemplo la de la derecha (para las imágenes de la figura 80) y el “carro”, se introduce uno de los extremos de la correa dentada de 1380 mm de longitud, quedando los dientes hacia arriba; es decir, hacia la parte de la “pinza”.

Se aprietan entonces fuertemente los tornillos de la “pinza” en cuestión, de modo que la correa quede bien fijada.

Una referencia visual es la mostrada en la imagen de la figura 81.

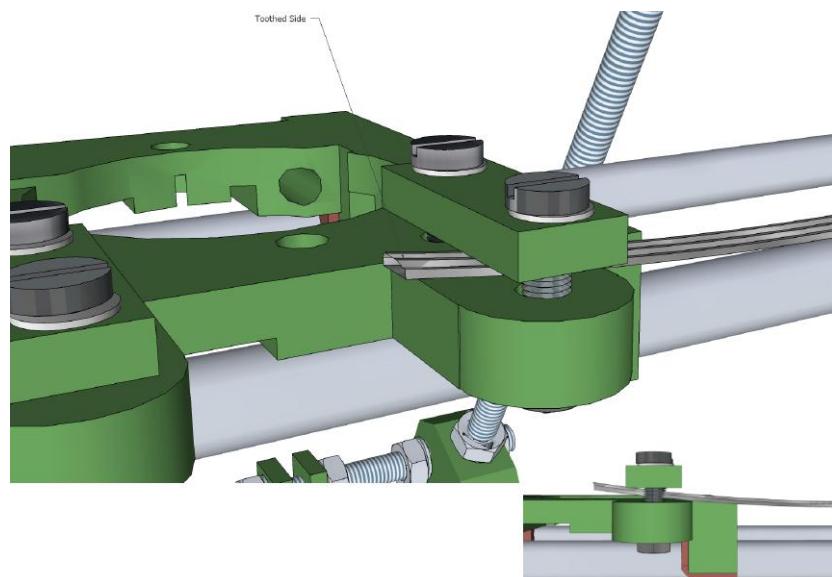


Figura 81. Ensamblado completo del eje X (paso 9)

10.- Colocamos la correa dentada correctamente, de manera que pase por la polea del motor y por el rodamiento en el lateral opuesto, y se pasa el otro extremo por el mismo hueco que en el paso anterior pero, en este caso, para la otra “pinza”.

En este paso, antes de apretar bien los tornillos debemos asegurarnos de que la correa queda bien tensa.

Que las correas queden bien tensas provocará que no tengamos, o que si lo tenemos sea mínimo, backlash. Esto es, los milímetros que se pierden de movimiento hasta que el diente de la polea engancha el siguiente diente de la correa dentada al hacer un cambio de dirección.

Si lo hemos realizado correctamente, deberíamos tener algo similar a lo mostrado en la figura 82.

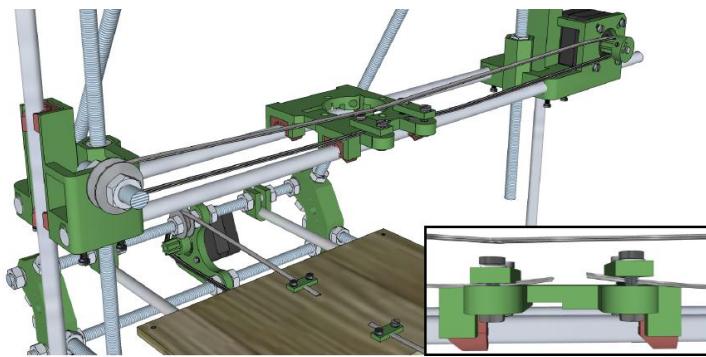


Figura 82. Ensamblado completo del eje X (paso 10)

Habríamos acabado así el capítulo 8, y, por tanto, el ensamblado del eje X; teniendo el cuerpo de nuestra Prusa Mendel casi acabado. Si todo ha ido bien su impresora tendrá un aspecto como el de la imagen de la figura 83 (en la que se muestra la impresora vista desde atrás).

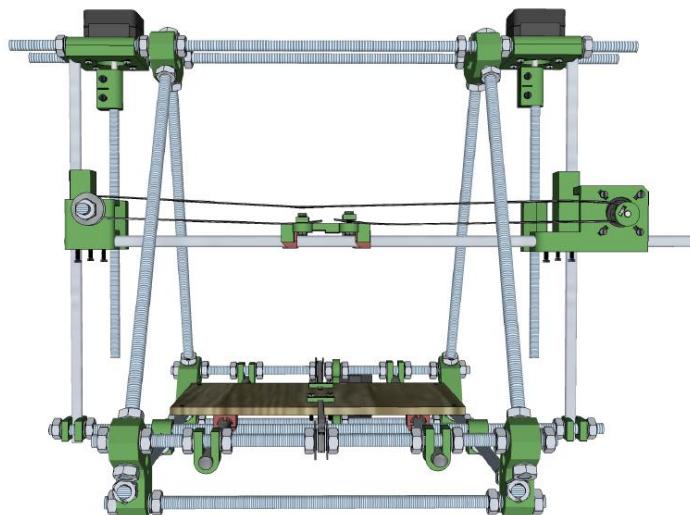


Figura 83. Ensamblado completo del eje X. Terminado (cuerpo casi acabado)

3.1.2.9 Capítulo 9: Montaje de los finales de carrera

En este capítulo se colocarán los finales de carrera en sus correctas posiciones. Sin embargo, previamente se deberán cablear los mismos para, posteriormente, conectarlos como se debe a la placa electrónica (para más información ver el sub-apartado Electrónica/Conexiones).

1.- Para comenzar cogemos los hilos de cable de $0,25 \text{ mm}^2$ de sección, blanco y negro, de que disponemos y los troceamos en tres partes cada color. Cómo de largo sea cada trozo dependerá del final de carrera que se cableará con el mismo.

Es importante tener en cuenta en este punto que debemos elegir una ubicación para la electrónica antes de cablear nada; pues de ella dependerá, principalmente, la longitud de los cables para cada elemento. Si elegimos ubicarlo en la parte frontal de la impresora, como hizo el autor, ver imagen de la figura 84; debemos disponer previamente de un tablón de madera o el material que se prefiera de dimensiones mínimas $260 \times 60 \text{ mm}$.



Figura 84. Montaje de los finales de carrera (paso 1). Ubicación futura de la electrónica

Una vez tenemos claro donde ubicaremos la electrónica, debemos tener en cuenta, para el caso de los finales de carrera, que el del eje Y y el del eje Z permanecerán fijos, sin embargo el del eje X se moverá en sentido vertical a lo largo del eje Z. Luego, antes de cortar el pedazo de cable, tanto blanco como negro, para asignárselo a este último final de carrera, debemos asegurarnos que será lo suficientemente largo para llegar, sin estar tenso, a cualquier posición del final de carrera.

Para comprobar la longitud que necesitamos de cables debemos tener en cuenta que el final de carrera del eje X estará en el lateral del mismo eje donde se encuentra la pieza “lateral con motor”, parte izquierda de la máquina (vista por la parte frontal, parte donde está el motor del eje Y); el del eje Y estará en la unión de los laterales donde no hay motor, parte posterior de la impresora; y, el del eje Z estará en la parte baja del propio eje Z.



2.- Con los hilos cortados, blanco y negro, para cada final de carrera, procederemos a soldarlos a las patillas correspondientes. El cable negro se soldará a la patilla exterior que está justo en el lado donde la pletina que activa el dispositivo está en contacto con el cuerpo del mismo, patilla C (Común); y, el blanco justo en la otra patilla exterior, patilla NC (Normalmente Cerrado). La patilla central puede quedar desconectada; de esta manera el funcionamiento del final de carrera será esencialmente abierto/cerrado, siendo un circuito cerrado si no presionamos la pletina, y un circuito abierto si la presionamos.

Como ilustración auxiliar para la soldadura se aporta al lector la imagen de la figura 85, en la que se puede observar la patilla correcta en la que, como hemos explicado, debe soldarse cada cable.

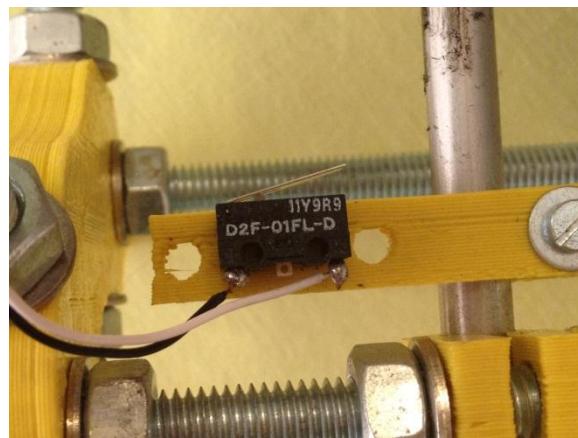


Figura 85. Montaje de los finales de carrera (paso 2)

3.- Ahora debemos unir estos dispositivos a las piezas “soportes finales de carrera”. Si los finales de carrera de los que disponemos son del tamaño suficiente, se pueden unir a las piezas mencionadas mediante tornillos M3x20, como se muestra en la figura 86. Y si por el contrario, como le pasó al autor, son demasiado pequeños, debemos pegarlos (puede usarse loctite o pegamento bi-componente), como se puede ver en la figura 87.

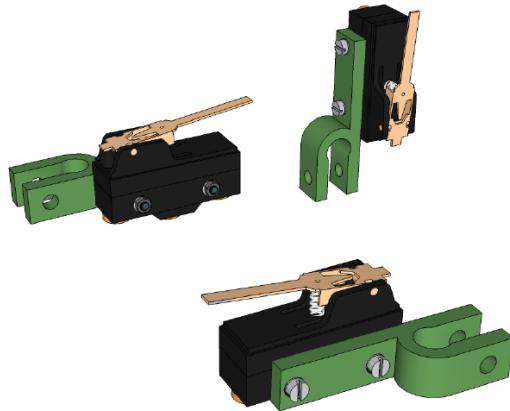


Figura 86. Montaje de los finales de carrera (paso 3). Unión con tornillos

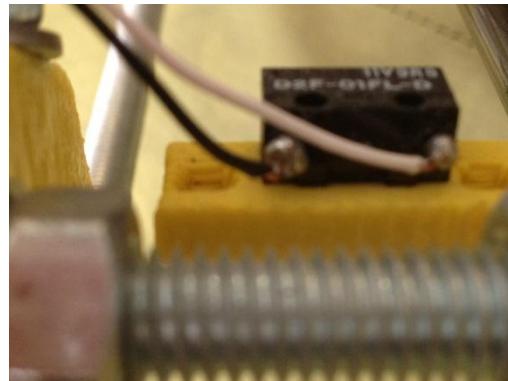


Figura 87. Montaje de los finales de carrera (paso 3). Unión con pegamento

Como se observa en la figura 87, el final de carrera del autor no está sujeto por ningún tornillo (está colocado justo en el hueco entre los orificios por los que se colocarían los tornillos), sino que están pegados con loctite.

4.- A continuación, se acoplan los “soportes finales de carrera” en las varillas lisas de sus respectivos ejes y se sostienen introduciendo por uno de los laterales un tornillo de M3x25 con su respectiva arandela de M3 y por el otro otra arandela de M3 y una tuerca de M3.

Cómo han de quedar se muestra en las figuras 88, 89 y 90 para los ejes X, Y y Z respectivamente.

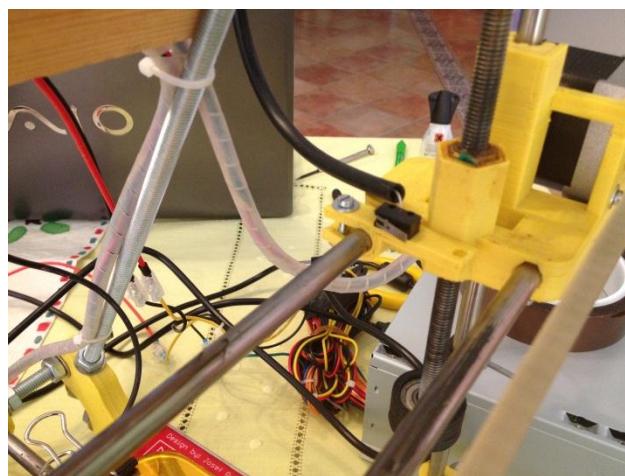


Figura 88. Montaje de los finales de carrera (paso 4). Final de carrera del eje X

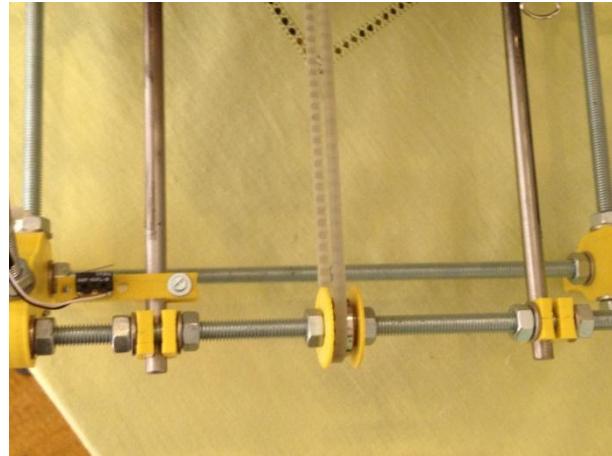


Figura 89. Montaje de los finales de carrera (paso 4). Final de carrera del eje Y



Figura 90. Montaje de los finales de carrera (paso 4). Final de carrera del eje Z

Estas imágenes solo pretenden mostrar cómo queda colocado el final de carrera de cada eje; así pues, por ejemplo en la figura 90, el lector no debe prestar demasiada atención a elementos que aún no hemos descrito en este proyecto, como puede ser el extrusor o la pieza de color rojo (que es una mejora que se describirá en este proyecto en el anexo Trabajos futuros y Mejoras).

5.- Finalmente se pone una punta (para cable de $0,5 \text{ mm}^2$) en el extremo libre de cada hilo, tanto negro como blanco, y se aplasta la parte metálica de la misma con una grimpadora o, en su defecto, un alicate. Se introducen en clemas y se acoplan estas últimas cerca de donde se ubicará posteriormente la electrónica; si el lector quiere hacerlo como decidió hacerlo el autor, deberá hacer tres taladros en la plancha de madera descrita en el paso 1 de este capítulo, de manera que se acoplen las clemas a la misma mediante tres tornillos de M3x25 con su respectiva arandela y tuerca de M3, como se muestra en las figuras 91 y 92.



En la figura 91 vemos el orden de colocación de los cables en las clemas, siendo este (de arriba abajo): cables del final de carrera del eje X, del eje Y, y del eje Z.

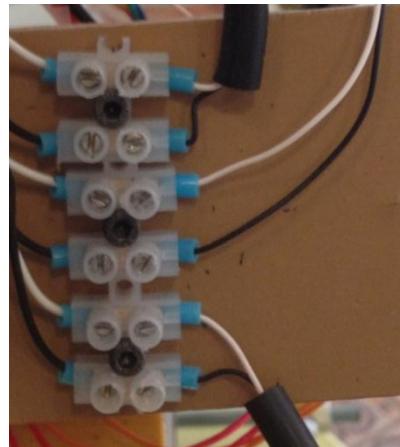


Figura 91. Montaje de los finales de carrera (paso 5). Colocación de los cables en las clemas

Por su parte, en la figura 92 se muestra como se han colocado una arandela y una tuerca de M3 por debajo del listón de madera para fijar las clemas al mismo.



Figura 92. Montaje de los finales de carrera (paso 5). Fijación de las clemas al listón de madera

Con el fin de dejar el cableado de los finales de carrera bien organizado se pueden entubar en un tubo de riego de diámetro interior 3 mm o en un tubo helicoidal. La principal diferencia es que si se utiliza el tubo de riego, para ponerlo y quitarlo debemos sacar las puntas de las clemas o rajarse el tubo. Luego estos tubos se sujetan con bridales a las varillas que más nos convengan de la estructura para que queden recogidos, mejorando así la estética de nuestra impresora 3D.

Con esto acabamos el capítulo 9, quedándonos sólo ensamblar la base de aluminio y la base caliente para finalizar todo el montaje estructural de nuestra Prusa Mendel.



3.1.2.10 Capítulo 10: Colocación de base de aluminio y base caliente

En este apartado se mostrará como ensamblar tanto la base de aluminio como la base caliente sobre la que se debe imprimir.

1.- Utilizando la base de caliente como guía, hacemos cuatro taladros en la base de aluminio de manera que queden alineados con los de la base anterior, quedando la base caliente, o heated bed, perfectamente centrada sobre la de aluminio.

2.- Ahora se coge la misma base de aluminio, de 225x225 mm, que ya habíamos taladrado también en el capítulo 5 y se introduce por cada uno de estos taladros un tornillo de M3x40 con su respectiva arandela de M3. Quedando como en la figura 93.



Figura 93. Colocación de base de aluminio y base caliente (paso 2)

3.- Por la parte inferior se coloca una tuerca de M3, una arandela de M3, un muelle de diámetro interior 3 mm, otra arandela de M3 y otra tuerca de M3, en cada tornillo. Teniendo cada uno de los mismos como se muestra en la figura 94, en la que sin embargo no puede verse la primera tuerca ni la primera arandela de M3 que hemos mencionado que debíamos introducir por la parte inferior.

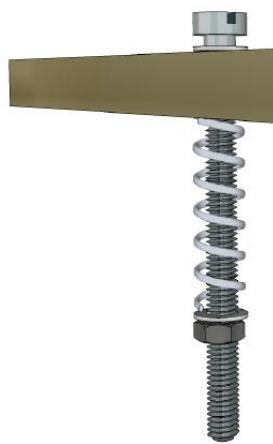


Figura 94. Colocación de base de aluminio y base caliente (paso 3)



4.- Ahora encajamos los cuatro tornillos en los agujeros de la base de madera ensamblada en el capítulo 5, como se muestra en la imagen de la figura 95.

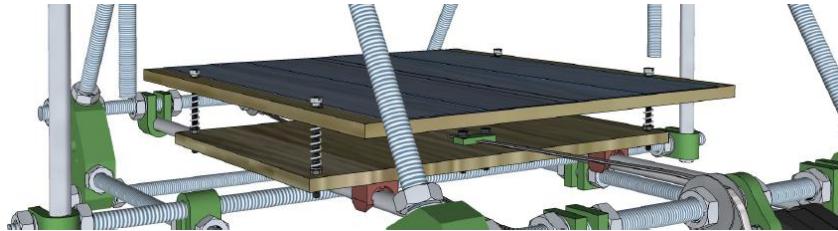


Figura 95. Colocación de base de aluminio y base caliente (paso 4)

5.- Hacemos que queden sujetas, ambas bases, poniendo una arandela de M3 y una tuerca de M3, por debajo de la base de madera, en cada tornillo; como puede verse, para uno de ellos, en la figura 96.

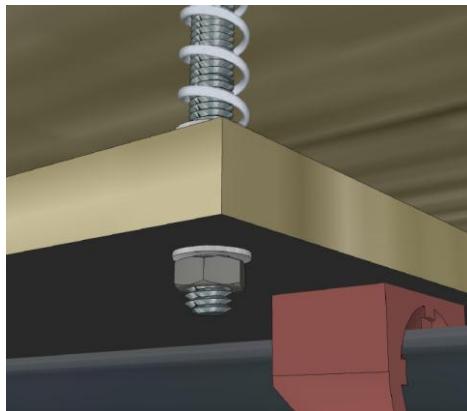


Figura 96. Colocación de base de aluminio y base caliente (paso 5)

6.- Apretamos las tuercas de manera que, con ayuda de un nivel, nos aseguremos de que las bases queden perfectamente horizontales. Esta operación se ilustra en la figura 97.

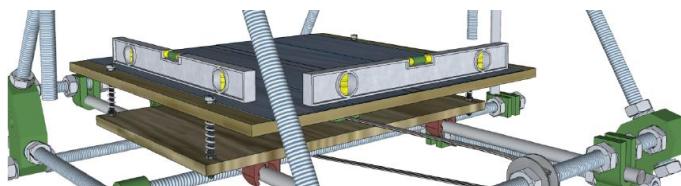


Figura 97. Colocación de base de aluminio y base caliente (paso 6)

7.- Por otra parte debemos preparar la base caliente o heated bed, para ello se suelda un hilo rojo de $0,75 \text{ mm}^2$ en uno de los pad's laterales que tiene disponible; y, un cable negro de la misma sección en el pad del otro extremo. En los extremos libres de estos dos cables se debe poner una punta (para cable de 1 mm^2) para facilitar su posterior conexión.

Opcionalmente se pueden soldar también una resistencia smd y dos led's smd en los pad's correspondientes, tal y como se muestra en la imagen de la figura 98.

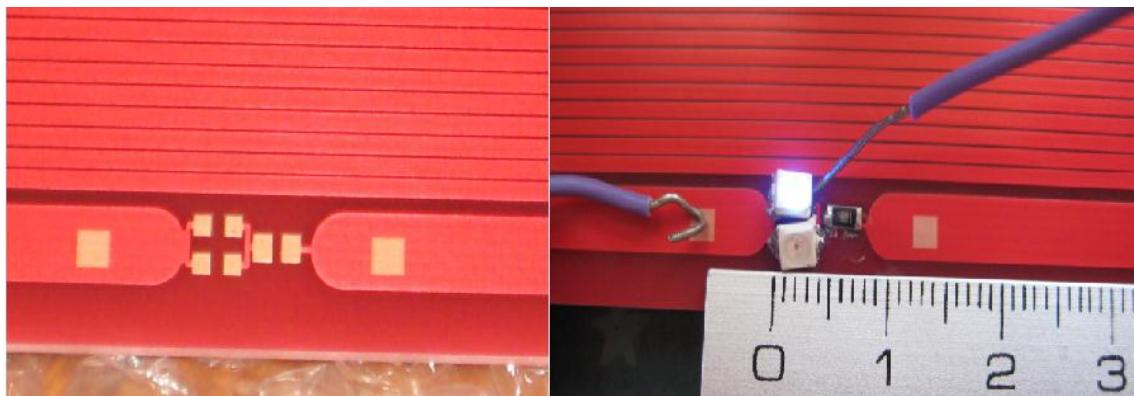


Figura 98. Colocación de base de aluminio y base caliente (paso 7)

8.- Se coge también un termistor de 100 ó 200 K Ω y se le sueldan a sus patas un hilo de 0,25 mm² blanco y otro negro, de la misma sección, respectivamente (da igual en que pata coloques cada uno porque no tiene polaridad).

Se coloca el termistor en el centro de la base caliente y se sujetta a esta con cinta de Kapton, tal y como se puede ver en la figura 99. El modelo Mk2 de la base caliente lleva un orificio en el centro para encazar el termistor.

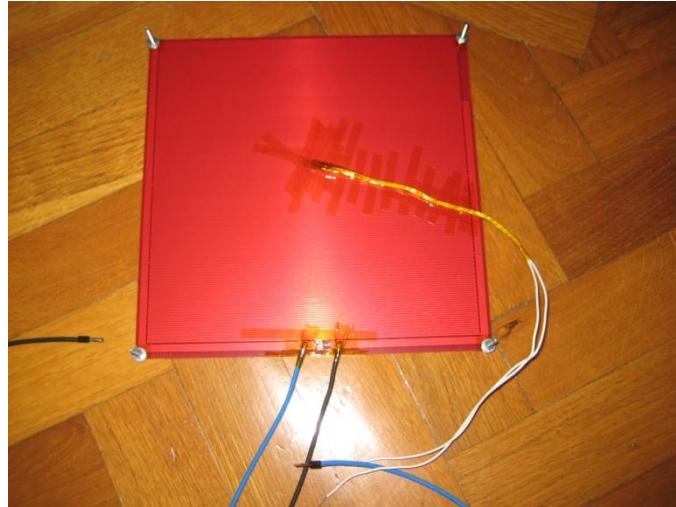


Figura 99. Colocación de base de aluminio y base caliente (paso 8)

El termistor será el dispositivo que nos permita controlar la temperatura a la que se encuentra la base, y es importante tener en cuenta si este es de 100 ó de 200 K Ω para la futura configuración del firmware del microcontrolador.

9.- Hecho esto, se introducen cuatro tornillos de M3x25 en los respectivos agujeros de esta base caliente, de manera que quede hacia abajo la parte en la que se ve el circuito impreso y hacia arriba, por tanto, la parte de las letras; esto es meramente por precaución, pues al trabajar con la impresora se podría dañar el circuito impreso y, en consecuencia, estropear la base.



Por la parte de abajo se ponen dos tuercas, juntas, de M3, simplemente para que la base caliente quede por encima de la de aluminio en la cantidad justa como para no tocarse con la cabeza de los tornillos que unen la de aluminio con la de madera.

Se introducen los tornillos por los cuatro agujeros que hicimos en la base de aluminio al comienzo de este capítulo, y se coloca por debajo de dicha base una tuerca de M3 en cada tornillo.

Para ver más claro este paso se aporta la imagen de la figura 100, en la cual podemos ver como se realiza el mismo en uno de los cuatro tornillos.



Figura 100. Colocación de base de aluminio y base caliente (paso 9)

10.- Ahora se recubriría la parte superior de la base caliente con cinta de kapton.

Opcionalmente se puede colocar un cristal, espejo, o base de metacrilato, de 200x200x3 mm sobre la base caliente y sujetarla a la misma con pinzas para el papel, por ejemplo. En este caso lo que se recubre con kapton es esta base que colocamos encima, como se observa en la imagen de la figura 101; en la cual se ha colocado un espejo.

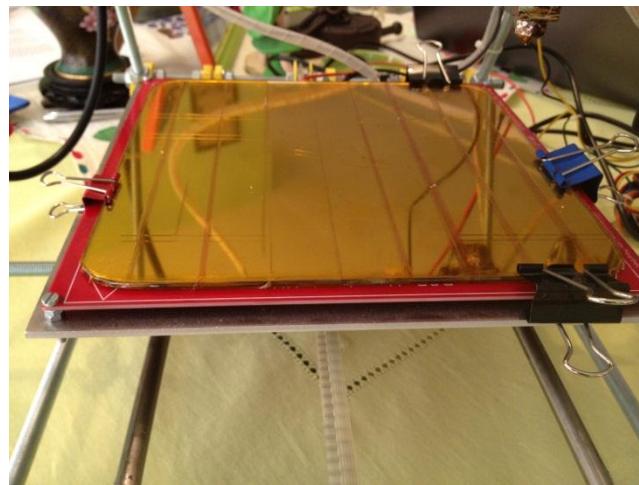


Figura 101. Colocación de base de aluminio y base caliente (paso 10)

Personalmente recomiendo esta opción, pues la base caliente, debido al calor, los múltiples tirones al despegar piezas acabadas, etc., tiene su superficie irregular y la impresión poco a poco va perdiendo calidad. Con esta opción este problema desaparece.



Abríamos acabado así todo el ensamblado de la estructura del soporte de nuestra Prusa Mendel, dando paso en la siguiente parte del proyecto a hacer lo propio con el extrusor que utilizaremos en la misma.



3.2 Extrusor

En esta parte del proyecto se enseñará al lector a construir un extrusor del modelo “Wade’s Extruder” y cómo añadirle el hot-end modelo Budaschnozzle 1.1.

Como se ha explicado en este proyecto, el mundo de las impresoras 3D avanza a una enorme velocidad y, por tanto, es posible que cuando el lector se disponga a ensamblar su impresora disponga de modelos, tanto de extrusor como de hot-end, que den mejores resultados, requieran menos mantenimiento, o que simplemente le gusten más. Aun así, se quiere dejar constancia en este proyecto de que los modelos utilizados funcionan muy bien y prueba de ello es que el autor ha sido capaz de replicar más juegos de piezas que han permitido la construcción de más impresoras como la aquí descrita e incluso de otros modelos.

3.2.1 Componentes

Al igual que en el caso de la estructura, para construir nuestro extrusor tenemos dos tipos de componentes, unos que podrán imprimirse utilizando una impresora 3D, a los que de nuevo denominaremos componentes imprimibles; y, otros que han de adquirirse en tiendas, como son los materiales de ferretería o materiales que tendremos que conseguir de tiendas on-line.

3.2.1.1 Componentes Imprimibles

Los componentes imprimibles son aquellos componentes que podemos construir con otra impresora 3D o que podemos mecanizar, si se dispone de la maquinaria necesaria, con, por ejemplo, fresadoras.

El autor las adquirió, al igual que las piezas para la estructura del soporte, gracias a la impresora 3D modelo Thing-O-Matic, Madre, de la Asociación de Robótica de la Uc3m.

En la tabla 5 se recogen estas piezas que necesitamos para construir nuestro extrusor “Wade’s Extruder”. Del mismo modo que en la tabla 1, en la tabla 5 se puede ver el nombre de cada pieza, una imagen de la misma, el tiempo que aproximadamente tarda en imprimirse y su función. No se añade sin embargo el campo que indicaba al lector la forma óptima de imprimir las piezas o la cantidad de las mismas que necesitamos, pues solo se necesita una pieza de cada una de las que aparecen y, por tanto, estos campos no son necesarios.



Nombre	Imagen	Tiempo de impresión	Función
Cuerpo		1 h 30 min	Es la parte central que une todas las piezas del extrusor
Extremo		30 min	Hace presión sobre el hilo de plástico para que pueda extruirse
Engranaje Grande		35 min	En él se coloca el hobbed bolt que será el encargado de tirar del hilo de plástico
Engranaje pequeño		15 min	Se coloca en el eje del motor y transmite el movimiento al engranaje grande

Tabla 5. Listado de piezas imprimibles para el extrusor

El diseño en formato stl de estas piezas puede adquirirse, además de la web que se indicó para las piezas de la estructura, página de la impresora Prusa Mendel en la web del Proyecto Clone Wars [6], del siguiente enlace [7].

3.2.1.2 Componentes no imprimibles

Como se explicó con anterioridad, los componentes no imprimibles, son aquellos que deben comprarse. Entre ellos están el hot-end, que debemos comprar en tiendas on-line a proveedores extranjeros, en nuestro caso, el budaschnozzle 1.1 puede adquirirse de la tienda Lulzbot a través de la web [9].

También tenemos material de ferretería como tornillos M4, tornillos M3, tuercas M8, tuercas M4, tuercas M3, arandelas M8, arandelas M4, arandelas M3, tuercas de mariposa M4 o muelles; material eléctrico, como motores paso a paso, cables y clemas; rodamientos; o, material específico como el hobbed bolt, que es un tornillo de M8x50 que a una distancia determinada de la cabeza tiene unas estrías que son las que permiten que tire del hilo de plástico.

Para más detalle podemos consultar la tabla 6 en la que se describen estos materiales por nombre, una imagen (excepto de componentes comunes como tornillos, tuercas, arandelas, clemas, etc.), y la cantidad de los mismos que necesitamos. Es importante tener en cuenta que si se escogiera otro modelo de extrusor o de hot-end estos componentes podrían ser otros y/o podrían variar sus cantidades.



Nombre	Imagen	Cantidad
Budaschnozzle 1.1		1
Clemas		4
Motor Nema 17		1
Rodamientos 608zz		3
Hobbed bolt		1
Varilla Lisa (de acero Inox.) M8		2 cm (aprox)
Tornillos M4x50		4
Tornillos M3x25		2
Tornillos M3x10		4
Tuercas M8		2
Arandelas M8		4
Tuercas M4		2
Arandelas M4		4
Tuercas M3		2
Arandelas M3		6
Muelles de diámetro interior 3 mm		4
Puntas para cable de 0,5 mm ²		8
Puntas para cable de 1 mm ²		2
Cables de 0,25 mm ²		50 cm
Cables de 0,75 mm ²		30 cm

Tabla 6. Listado de materiales no imprimibles para el extrusor

No se comenzará a hablar del montaje sin antes hacer un par de aclaraciones:

La varilla lisa de, aproximadamente, 2 cm que necesitamos, la podemos conseguir de uno de los trozos que nos sobraron en el montaje de la estructura.

Por otro lado, los tornillos de M4x50 son difíciles de adquirir; así pues se pueden utilizar en su defecto tornillos de M4x40, aunque tendrán cierto inconveniente que será explicado en el apartado Montaje.

3.2.2 Montaje

De forma similar a como se describió el montaje de la estructura, se explicará el ensamblado del extrusor mediante las instrucciones, paso a paso y agrupadas en capítulos, que se encuentran a continuación.

3.2.2.1 Capítulo 1: Ensamblado del cuerpo del extrusor

1.- En primer lugar montaremos el extrusor con las partes imprimibles y sus correspondientes tornillos, rodamientos, etc.

Así pues cogemos la pieza que hemos denominado como “cuerpo” y le colocamos dos rodamientos, del tipo 608zz, en los huecos que tiene habilitados para ello en las caras posterior y anterior; tal y como se muestra en la figura 102.

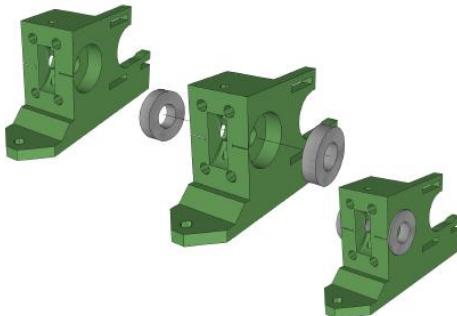


Figura 102. Ensamblado del cuerpo del extrusor (paso 1)

Es importante tener en cuenta que, aunque el modelo de la pieza “cuerpo” que aparece en las imágenes utilizadas en este proyecto tiene solo tres agujeros en su parte frontal para situar el motor, el modelo de la pieza “cuerpo” que el lector puede descargar en la página web dedicada a la Prusa Mendel, dentro de la web de Clone Wars [6], aunque parece que precisamente solo tiene esos tres agujeros, es (como el que utilizó el autor en su impresora) con cuatro agujeros en la parte frontal para colocar el motor; teniendo la esquina superior derecha, tomando como referencia la imagen de la figura 102, completa, no cortada como aparece en dicha imagen, y con otra ranura más, de la misma forma que las otras tres, en dicha esquina.



Para que el lector tenga una idea visual de cómo es la pieza exactamente, se puede ver la imagen de la figura 103.



Figura 103. Ensamblado del cuerpo del extrusor (paso 1). Piezas del extrusor

En la figura 103 vemos las cuatro piezas que forman los “componentes imprimibles” del extrusor, teniendo la pieza “cuerpo”, con las especificaciones anteriormente descritas, al fondo de la imagen.

2.- A continuación introducimos el tercer rodamiento en el pedazo de 2 cm de varilla lisa que hemos preparado, a partir de uno de los sobrantes de dicho tipo de varilla del montaje de la estructura.

Seguidamente lo colocamos en la ranura que tiene la pieza “extremo”. Queda encajado a presión luego debemos hacer un poco de fuerza para introducirlo.

Para ver más claro el desarrollo de este paso, podemos fijarnos en la figura 104.

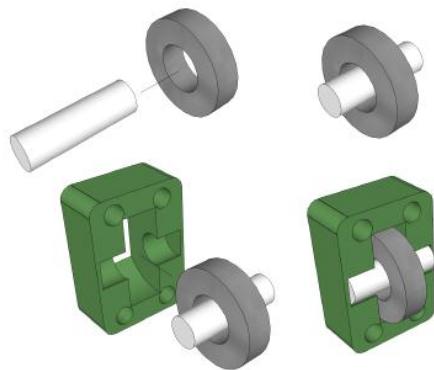


Figura 104. Ensamblado del cuerpo del extrusor (paso 2)



3.- El siguiente paso es dejar la pieza “cuerpo” preparada para añadirle la pieza “extremo”. Para ello se introducen los cuatro tornillos de M4x50 como se muestra en la figura 105.

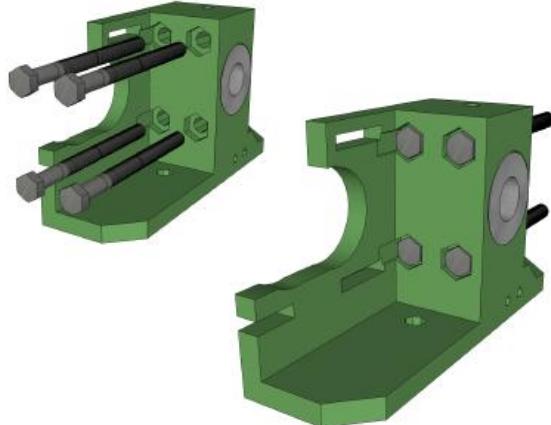


Figura 105. Ensamblado del cuerpo del extrusor (paso 3)

Si no se dispone de tornillos M4x50, se pueden utilizar de M4x40 pero tendremos menos espacio para colocar y, posteriormente, para maniobrar, con la pieza “extremo”.

4.- Ahora introducimos el sobrante de cada tornillo por los respectivos agujeros de la pieza “extremo”; como se ve en la figura 106.

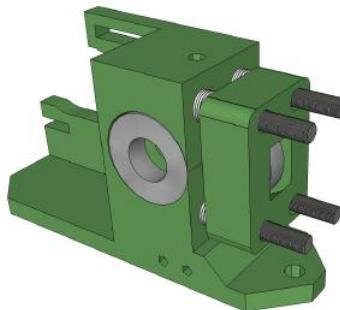


Figura 106. Ensamblado del cuerpo del extrusor (paso 4)

En la figura 106 se ven que entre el “cuerpo” y el “extremo” se han introducido unas arandelas en cada tornillo. Sin embargo, el autor puede asegurar al lector, y a las pruebas del buen funcionamiento de su impresora se remite, que estas arandelas no son en absoluto necesarias; es más, su colocación solo nos ocasionará problemas futuros.



El autor colocó en un principio estas arandelas, pero se encontró con los siguientes problemas: En primer lugar hay que recortarlas para que den con un lado plano hacia el rodamiento, en caso contrario traban a este y no dejan que se mueva; en consecuencia el plástico no avanzará y no será extruido. Solucionado ese problema nos encontraríamos con que, si bien es cierto que ayudan a que no dejemos excesivamente apretado el rodamiento contra el filamento de plástico, que se introducirá para ser extruido, no lo es menos, que hay que dar con la cantidad exacta para que regulen está presión máxima, pero sin hacer que sea imposible hacer presión sobre dicho filamento; provocando en ese último caso que el filamento deslice y no sea extruido.

Insisto, el extrusor funciona perfectamente sin estas arandelas y recomiendo encarecidamente al lector que no las coloque.

5.- Para finalizar este capítulo 1, simplemente debemos dejar sujetada la pieza “extremo” al “cuerpo” dando además la posibilidad de regular en cierta medida la presión que el rodamiento hará sobre filamento de plástico; esto último lo conseguiremos gracias a la colocación de unos muelles.

Para llevar a cabo este paso se sitúa en cada tornillo, una arandela de M4, seguida de un muelle de diámetro interior 3 mm, otra arandela de M4 y finalmente una tuerca de M4 o una tuerca de M4 de mariposa.

Cómo debe quedar podemos comprobarlo con la imagen de la figura 107.

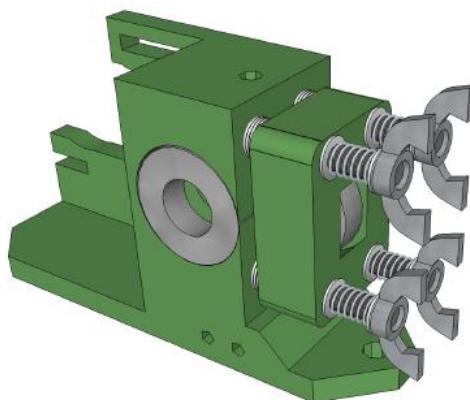


Figura 107. Ensamblado del cuerpo del extrusor (paso 5)

En la figura 107 se han colocado, tal y como hizo el autor en un principio, las cuatro tuercas de M4 de mariposa. Sin embargo, estas tuercas son demasiado grandes y se traban unas con otras. Es por esto que recomiendo al lector sustituir una de las de arriba y otra de las de abajo por una tuerca normal de M4, siendo además estas la que quede en diagonal con su homónima. Esto permitirá al usuario de la máquina una mejor maniobrabilidad de las cuatro tuercas, pudiendo ajustar con más precisión, y más cómodamente, la presión que se deba aplicar sobre el filamento de plástico.

Hay que tener en cuenta que esta presión no solo variará en función del diámetro del filamento de plástico, sino que también variará en función del fabricante del mismo, el material (ABS o PLA) con el que esté hecho, etc.

Esta opción quedaría como se puede muestra en la imagen de la figura 108.

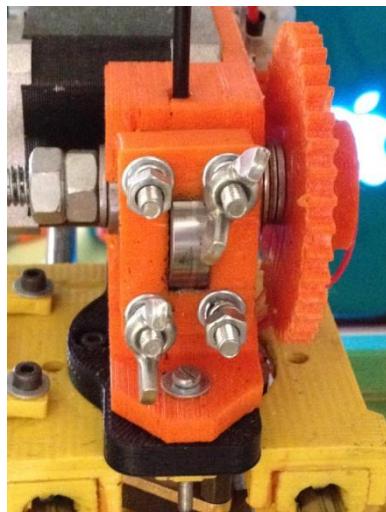


Figura 108. Ensamblado del cuerpo del extrusor (paso 5). Sólo con dos mariposas

3.2.2.2 Capítulo 2: Colocación sobre el eje X y ensamblado del Hot-End

En este capítulo se mostrará al lector cómo se coloca el extrusor sobre la pieza encargada de desplazar al mismo a lo largo del eje X en nuestras futuras impresiones, esta pieza no es otra que la denominada “carro” en la tabla 1 de este proyecto (en el sub-apartado Prusa Mendel/Estructura del soporte/Componentes/Componentes imprimibles), y que forma parte de los componentes imprimibles de la estructura del soporte. En esta descripción se incluirá también los detalles de cómo colocar el hot-end en la impresora.

Para llevar a cabo este capítulo sólo será necesario seguir el siguiente paso.

1.- Para comenzar debemos introducir un tornillo de M3x25 con una arandela de M3 por cada hueco vertical que hay en la base del extrusor, y hacer que encaje junto con el “carro” a través de los agujeros que esta pieza tiene habilitados para ello. Para que quede fijado ponemos una tuerca por la parte inferior del carro y nos aseguramos de apretarlo bien para que no haya holgura ni movimientos.



Este paso se realiza como se muestra en la figura 109.

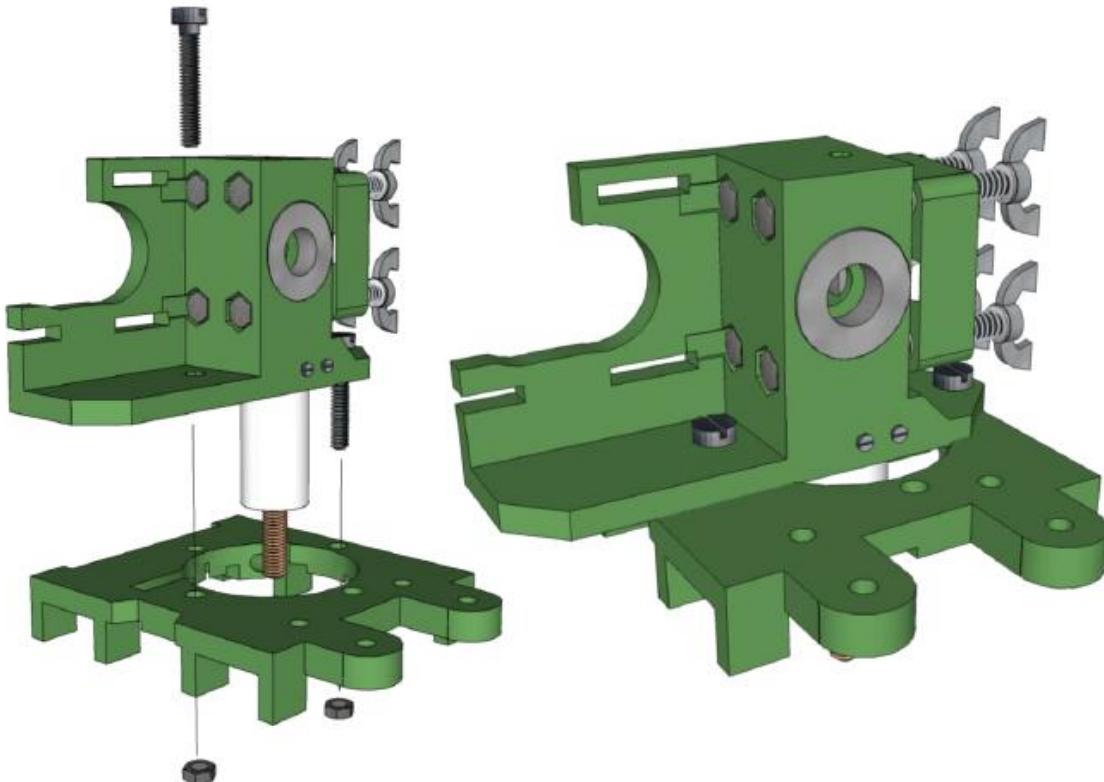


Figura 109. Colocación sobre el eje X y ensamblado del Hot-End (paso 1)

La imagen de la derecha de la figura 109 muestra cómo debe quedar. El cilindro blanco simula el hot-end, que como vemos queda fijado en el extrusor mediante dos tornillos de M3 que hacen presión sobre el cilindro que forma el hot-end, y que ha sido previamente introducido en el agujero con forma cilíndrica que tiene la pieza “cuerpo” en su parte inferior.

Sin embargo, este ensamblaje es propio para modelos de hot-end como el J-Head o el que, a día de hoy, se vende en la web del proveedor Reprap World, en el enlace directo [11]. Pero para modelos de hot-end como los de arcol, tanto las versiones v3 como la v4, o el modelo que utiliza el autor, el budaschnozzle 1.1, que llevan una pieza de plástico o madera (o en casos como el arcol v3 se la tienes que hacer tú) acoplada en su parte superior, como podemos ver en la imagen de la figura 110 para el modelo budaschnozzle 1.1, se deberá colocar el hot-end con los tornillos de M3x25 utilizados en este primer paso para unir el “carro” y el “cuerpo” del extrusor, de manera que la pieza de plástico del hot-end quede justo en medio de ambas.

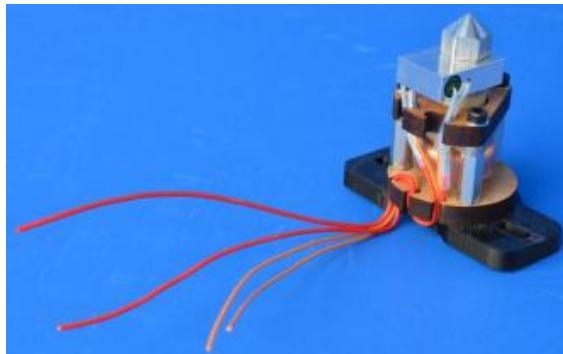


Figura 110. Colocación sobre el eje X y ensamblado del Hot-End (paso 1). Hot-End Budaschnozzle

Al término de este capítulo 2 se nos quedarán los cuatro cables que salen del hot-end sueltos. Debemos apartarlos para que no nos estorben en el desarrollo de los pasos siguientes, hasta que sean colocados debidamente; pero es importante tener en cuenta que deben pasar por el agujero circular central del “carro” y quedar por encima de mismo.

Para tener una referencia, en la imagen de la figura 111 podemos ver cómo debe quedar colocado el extrusor y el hot-end en el carro del eje X; y, vemos también por dónde se pasan los cables mencionados anteriormente.



Figura 111. Colocación sobre el eje X y ensamblado del Hot-End (paso 1). Cómo debe quedar

3.2.2.3 Capítulo 3: Montaje del motor y ensamblado de los engranajes

En este capítulo se describe cómo se colocará el motor en el extrusor y cómo se ensamblan a partir del mismo los dos engranajes encargados de transmitir el movimiento de dicho motor al hilo de plástico, para que este avance y sea extruido en caliente por el hot-end.

Para llevar a cabo estas acciones el lector debe seguir los pasos descritos a continuación.

1.- En primer lugar debemos colocar la pieza “engranaje pequeño” en el eje del motor, de la misma manera que colocábamos las “poleas” en el sub-apartado Estructura del Soporte/Montaje de este proyecto.



Sin embargo, este engranaje no se sujeta con un tornillo de M3, y su correspondiente tuerca de M3, sino que se introduce a presión. Si el lector se fija bien, el agujero central de la pieza no es completamente circular sino que tiene una parte plana. Si el usuario hace un rebaje con una lima en el eje del motor y lo hace coincidir con la parte plana del agujero, el eje del motor pasará mejor a través del agujero. Para que quede fijo simplemente giramos ligeramente la pieza “engranaje pequeño” una vez esté colocada en la posición deseada, de manera que la parte plana del mismo y el rebaje realizado en el eje del motor dejen de coincidir.

En función de la fuente en la que encontramos el “engranaje pequeño” es posible que obtengamos un modelo que sea más parecido a las “poleas” utilizadas para mover las correas, cuyo montaje ya se describió en Estructura del Soporte/Montaje.

2.- Hecho esto colocamos el motor en el extrusor y lo fijamos con 4 tornillos de M3x10, con su correspondiente arandela de M3, quedando como puede verse en la figura 112.

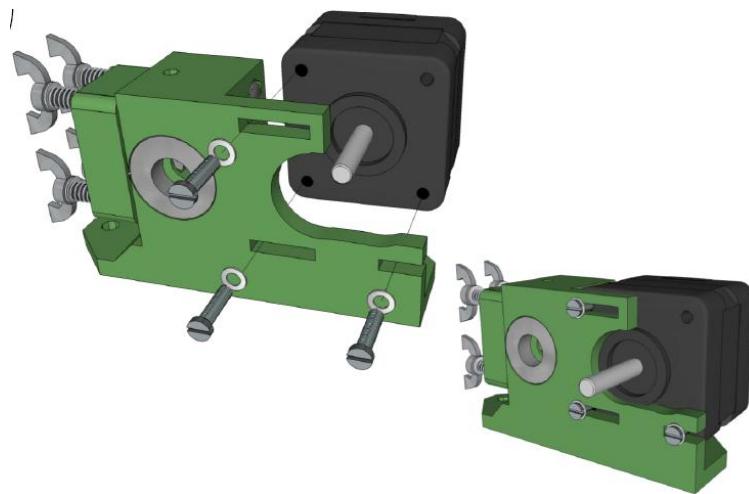


Figura 112. Colocación Montaje del motor y ensamblado de los engranajes (paso 2)

En la imagen de la figura 112, vemos que la pieza “cuerpo” no es como la que se recomienda en este proyecto. Le falta la esquina superior derecha (según la imagen de la figura 112), donde habría otra ranura para colocar otro tornillo de sujeción del motor; de la misma manera que era la pieza que vimos en la figura 103. Además, debemos tener en cuenta que no se muestra en la figura lo realizado en el paso 1 de este capítulo.

No debemos apretar los tornillos aún, para poder recolocar el motor hacia un lado o hacia el otro, de manera que los dos engranajes encajen uno con el otro lo mejor posible.

3.- En este paso cogemos la pieza “engranaje grande” y el hobbed bolt. Debemos colocar el hobbed bolt de manera que su cabeza quede encajada en el agujero hexagonal del “engranaje grande” y pase a través de él, y a través de los dos rodamientos paralelos del extrusor, y a continuación mover el motor hacia un lado o hacia otro de manera que los dientes de los dos engranajes queden encajados perfectamente; tal y como se puede ver en la imagen de la figura 113.

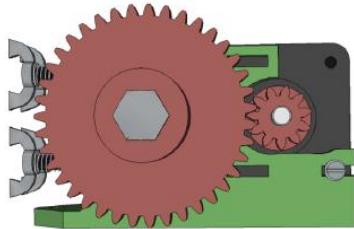


Figura 113. Colocación Montaje del motor y ensamblado de los engranajes (paso 3)

4.- Tomada la posición exacta del motor, se retira de nuevo el hobbed bolt con el “engranaje grande” y se aprietan los cuatro tonillos de sujeción del motor de manera que este quede fijo en esa posición.

5.- Se vuelve a colocar el “engranaje grande” y el hobbed bolt como hicimos en el paso 3, y comprobamos, mirando a través del agujero de la parte superior del extrusor (agujero por el que posteriormente se introducirá el hilo de plástico), que las muescas del hobbed bolt están justamente en línea con el agujero.

De no ser así, que seguramente sea lo que pase en un inicio, lo sacamos de nuevo y le ponemos entre el “cuerpo” y el “engranaje grande” una arandela de M8 al hobbed bolt. Volvemos a introducirlo y volvemos a comprobar. Repetimos este proceso hasta que hagamos coincidir las muescas con el agujero mencionado.

Una vez conseguido, en el otro extremo del hobbed bolt, ponemos una arandela de M8 y dos tuercas de M8, para fijarlo y evitar que la primera tuerca de M8 se afloje con el movimiento y las vibraciones del funcionamiento normal de la impresora.

Como ejemplo visual tenemos la figura 114 en la que se ve un modelo en el que se han tenido que usar dos arandelas de M8 para ajustar las muescas en la posición exacta.

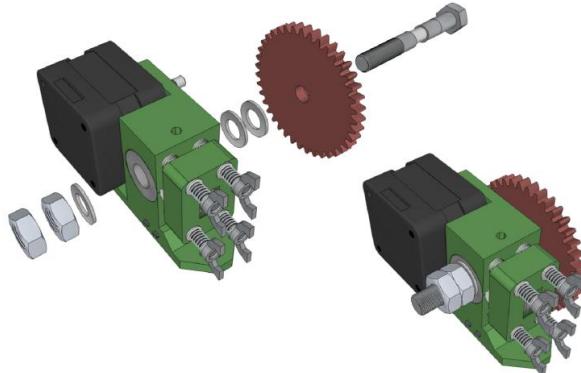


Figura 114. Colocación Montaje del motor y ensamblado de los engranajes (paso 5)

La realización de este capítulo 3 correctamente debe dar como resultado un extrusor, ensamblado, como el que vemos en la figura 115.

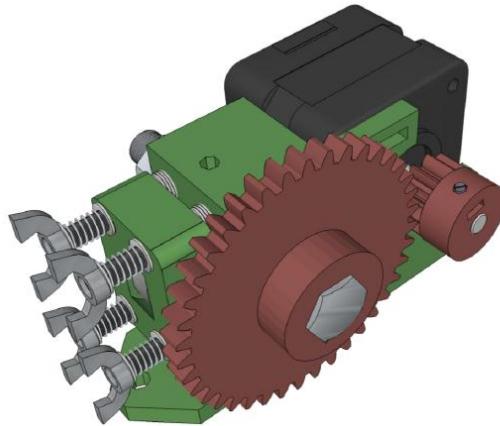


Figura 115. Colocación Montaje del motor y ensamblado de los engranajes. Extrusor ensamblado

Aunque de esta imagen de la figura 115, debemos tener en cuenta detalles como que la pieza “cuerpo” no es, de nuevo, la que recomienda el autor para el extrusor; el modelo de la pieza “engranaje pequeño”, es el que se ha descrito como similar a las “poleas” que mueven las correas dentadas de los ejes X e Y, no el que entra directamente a presión; y, que ya debería estar colocado sobre la pieza “carro”, que se moverá sobre el eje X, y por debajo debería tener ya montado el hot-end.

3.2.2.4 Capítulo 4: Cableado del hot-end

En este último capítulo de ensamblado del extrusor se realizará la colocación de los cables del hot-end de manera que se dejen preparados para su posterior conexión a la placa electrónica de la impresora.

Debemos seguir los pasos que se describen a continuación, aunque se debe tener en cuenta de que partimos de la premisa, para este cableado, de que usamos la pieza “cuerpo” recomendada por el autor; ya descrita en los capítulos anteriores.

1.- Cogemos cuatro clemas, que deben estar en una sola pieza y la colocamos en la ranura situada en la esquina superior derecha del “cuerpo” del extrusor (mirando este de manera que tengamos de frente el lado por el que quedan los engranajes). Para dejarla sujetada utilizamos un tornillo de M3x25 y lo atornillamos a una tuerca de M3, que irá precedida de una arandela de M3, que colocamos por el lado opuesto del “cuerpo”. Debemos dejarlo bien apretado. Vemos como queda en la imagen de la figura 116 que tenemos más adelante.

2.- A continuación, vemos que del hot-end suben cuatro cables, dos serán de la resistencia disipadora de potencia, encargada de calentar la punta del hot-end (cables rojos en caso del budaschnozzle 1.1); y, los otros dos del termistor, que nos servirá para medir la temperatura a la que se encuentra el hot-end (cables naranjas en caso del budaschnozzle 1.1).



Debemos colocarlos seguidos en las cuatro clemas que utilizamos en el paso 1. Por el otra borne de cada una debemos colocar, un cable rojo de $0,75 \text{ mm}^2$, en la clema de uno de los cables que van a la resistencia; uno negro de la misma sección, en la clema del otro cable que va a la resistencia, estos dos cables irán al terminal positivo y negativo de alimentación del hot-end, respectivamente, que encontraremos en la placa electrónica posteriormente; y, dos cables de $0,25 \text{ mm}^2$ (cables blanco y negro de la imagen de la figura 116), uno en cada borne libre de las clemas a las que iban los cables del termistor.

Colocaremos una punta para cable de 1 mm^2 en cada cable de $0,75 \text{ mm}^2$ de sección, y una punta para cable de $0,5 \text{ mm}^2$ en el resto de cables, antes de conectarlos en la clema correspondiente.

Es importante tener en cuenta que tanto el termistor como la resistencia no tienen polaridad, por lo que da igual qué terminal de cada componente vaya al positivo y cuál al negativo.

Para tener una referencia visual de cómo debe quedar finalmente el extrusor montado, así como para comprobar si se ha realizado correctamente el cableado descrito, se puede ver la imagen de la figura 116. Es importante evitar que los cables que van del hot-end a las clemas traben el movimiento de los engranajes.

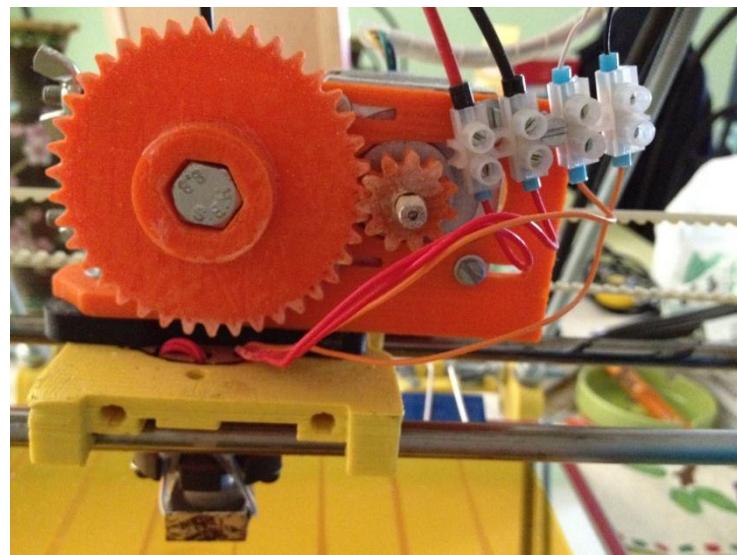


Figura 116. Extrusor montado y cableado



3.3 Electrónica

Habiendo terminado de ensamblar nuestra impresora con su extrusor debemos encargarnos de la puesta a punto de la electrónica para así poder comenzar a hacer pruebas de funcionamiento, etc.

En este apartado se comentarán los posibles circuitos integrados y microcontroladores que podemos usar para una impresora 3D como la que nos ocupa. Así pues, en primer lugar veremos las posibilidades que tenemos, continuaremos con los componentes, tomando estos como los comunes en la mayoría de las posibilidades que se comenten; describiremos como se realizaría la conexión de los distintos elementos de la impresora (motores, hot-end, heated bed, termistores, etc.) a la placa electrónica; y, concluiremos con el montaje de la electrónica en la impresora.

3.3.1 Posibilidades

Se han desarrollado, hasta la fecha, multitud de posibilidades también en cuanto a electrónica, y contamos así con una amplia gama de productos entre los que podemos elegir para configurar nuestra impresora. Además avanza a gran rapidez, el autor empezó en Junio de 2.011 con el ensamblado y puesta en marcha de su impresora, adquiriendo un modelo de circuito integrado, que luego describiremos con detalle, y del que solo en un año ya hay una versión sobradamente probada y en funcionamiento, y otra nueva versión menos usada aún pero que ya se va escogiendo también frecuentemente.

Entre estas posibilidades encontraremos microcontroladores tan conocidos como los Arduino, entre ellos modelos como el Mega 2560, el Mega (o ATmega) 1280, etc.; que deberán ir con un circuito integrado como, por ejemplo, el modelo denominado Ramps; que será objeto de estudio en este proyecto por ser, el modelo Ramps 1.2, el elegido por el autor para su impresora. También encontraremos otros modelos como el denominado Gen. Y encontraremos otras placas, como las modelo Sanguinololu, que incorporan tanto el microcontrolador como el circuito integrado en una sola placa.

Comenzaremos hablando de la opción, escogida por el autor, que consiste en la unión de un microcontrolador Arduino Mega 2560 y un circuito integrado Ramps 1.2.

Estos circuitos integrados pueden adquirirse teniendo los componentes por un lado y el circuito impreso por otro, y requiriendo, por tanto, ser soldado por el comprador; o, pueden adquirirse completamente soldados y listos para su conexión y configuración, que es la opción elegida en este proyecto. Si el lector prefiriera soldar su propia placa, que en la mayoría de los casos puede resultar más económico, dispone de unas instrucciones ilustradas, paso a paso, en la web [12] para soldar precisamente el modelo Ramps 1.2.

Las siglas RAMPS, provienen de “RepRap Arduino Mega Pololu Shield”, su circuito impreso tiene la forma que se muestra en la figura 117.

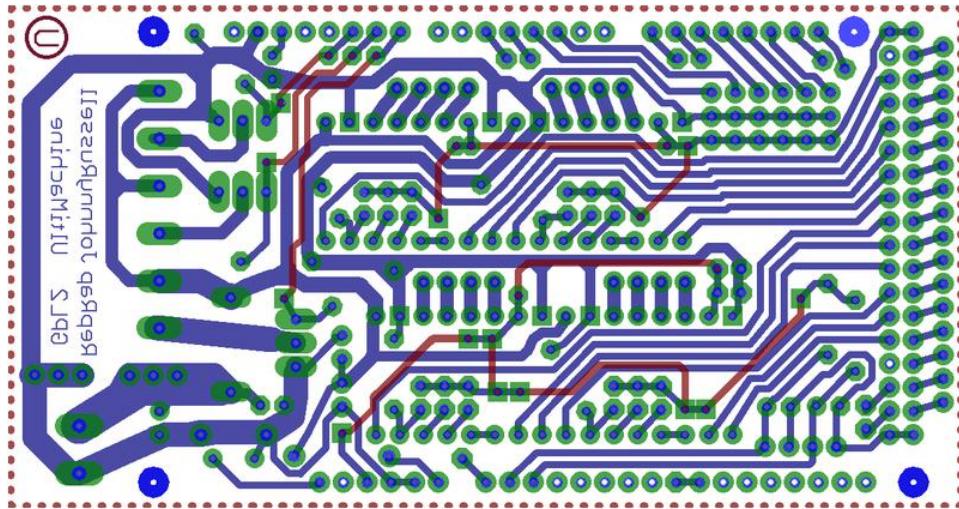


Figura 117. Circuito Integrado Ramps 1.2

Entre sus características tenemos las siguientes:

Si tenemos soldado un diodo modelo 1N4004, que será el caso normal, debemos alimentar el circuito a 12 V DC como máximo. Si no tuviéramos diodo, se podría alimentar hasta un máximo de 32 V, pero esta opción no es recomendada.

Lleva conexiones para tres Mosfet, para calentar la placa base o heated bed y el hot-end y otro para dar funcionamiento a un posible ventilador que pudieramos instalar (ver apartado Trabajos Futuros y Mejoras para más información acerca del ventilador).

Tiene dos circuitos para conectar un termistor en la heated bed y otro en el hot-end y así poder monitorizar la temperatura a la que ambos se encuentran.

Las conexiones para los Pololus están en la parte superior, haciendo fácil las posibles conexiones o desconexiones futuras de los mismos, porque queramos actualizar la placa con modelos nuevos que pudieran desarrollarse o simplemente por un posible fallo que ocasione la necesidad de reemplazar alguno de estos Pololus. Lleva capacidad para conectar hasta cuatro Pololus, tres para controlar los motores de los tres ejes de movimiento (X, Y, Z) y otro más para controlar el motor del extrusor; que hace pasar el plástico por el mismo para extruirlo.

Las conexiones de los motores, finales de carrera y termistores son del tipo de las conexiones para servos, realizándose como veremos más adelante, haciendo que la conexión/desconexión sea sencilla.

Además tiene pines SPI e I2C disponibles para posibles expansiones futuras.



Esta placa integrada va conectada a un microcontrolador Arduino modelo Mega 2560, aunque podría conectarse también a otros modelos de Arduino como el Mega 1280; que es la opción de compra que te dan algunos proveedores como Reprap World (ver Proveedores y Presupuesto para conocer más información acerca de este proveedor). Es este microcontrolador el que tiene el puerto USB 2.0 tipo B para conectar la impresora a un ordenador.

Ya hay una nueva versión del circuito integrado Ramps, que es la Ramps 1.3. Se diferencia del modelo descrito en que incorpora la posibilidad de conectar un Pololu más, para controlar el funcionamiento de un segundo extrusor; aunque el desarrollo de impresoras con dos extrusores está comenzando a coger fuerza ahora.

También se ha desarrollado otro modelo más de Ramps, la Ramps 1.4, pero este modelo está menos probado y el autor tiene menos referencias de buen funcionamiento que de las dos versiones anteriores, luego no puedo recomendarlo tan firmemente como las dos versiones previas.

En la figura 118 podemos ver una imagen de la Ramps 1.2 completamente ensamblada.



Figura 118. Ramps 1.2 completamente ensamblada

Para cualquier información adicional que necesite comprobar el lector, puede recurrir al blog de Reprap que se encuentra en la web [13].

Hay otras opciones a configurar como la posibilidad de usar el circuito integrado Gen, pero el autor tiene constancia de que en las primeras versiones de nuevos firmware más robustos y eficientes como Marlin, que serán comentados más adelante, no incluyen aún una configuración compatible con estos circuitos integrados.

Sin embargo una opción que ha cobrado muchísima fuerza es la de configurar tu impresora con una placa Sanguinololu. Como ya se ha dicho esta placa incorpora las funciones del circuito integrado y del microcontrolador, y al solo tener que comprar un placa hace que sea económicamente más viable que las opciones de Arduino + Ramps. De hecho esta opción la que ha desbancado un poco a las Ramps y la culpable de que el autor apenas tenga referencias del uso de la versión Ramps 1.4.



La placa Sanguinololu podemos adquirirla también soldada completamente y prácticamente lista para configurarla, o, como la Ramps, obtener la placa por un lado y los componentes por otro y tener que soldarlos uno mismo. Sin embargo en este caso tenemos una complejidad añadida y es la necesidad de soldar el chip FTDI, que tiene un patillaje muy pequeño y junto, por lo que se recomienda que si el lector no es un experimentado soldador de componentes electrónicos compre la placa completamente ensamblada.

La última actualización de la Sanguinololu es la 1.3b, y data del día 4 de Abril de 2.012, aunque existen versiones anteriores como la 1.3a de Julio de 2.011 que son igualmente compatibles para nuestra impresora y los firmware disponibles; de hecho, la diferencia entre la versión 1.3a y la 1.3b es que en esta última los componentes son smd (lo cual hace que ser soldada por el usuario sea mucho más difícil).

A parte de la diferencia principal de incorporar en una sola placa las funciones que tenemos con la opción Arduino + Ramps, cabe destacar que se diferencia de esta última opción en que el microcontrolador es el Atmel ATmega644P o el ATmega1284 (según la versión); para las conexiones, en lugar de usar conectores del tipo de los servos, se usan conectores Molex; o, que tiene más pines libres para ampliaciones futuras entre los que tenemos pines GPIO, I2C, SPI, USART y ADC.

En la figura 119 podemos ver una imagen de la placa sin componentes.

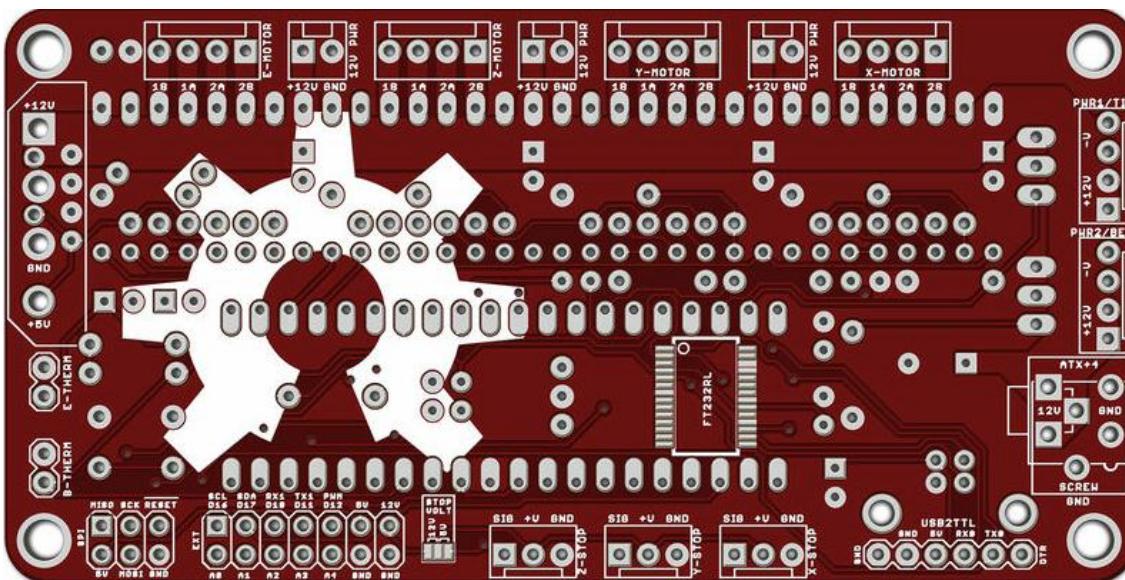


Figura 119. Sanguinololu 1.3a sin componentes (parte de abajo)



Y en la figura 120 vemos como queda completamente ensamblada.



Figura 120. Sanguinololu 1.3a completamente ensamblada

3.3.2 Componentes Característicos

Escojamos la opción que escojamos en cuanto a electrónica, nuestro circuito estará compuesto por una series de componentes como resistencias, condensadores, pines, etc.

En este apartado del proyecto se quiere describir los componentes más significativos de la placa electrónica, como son el conector USB, el botón de reset, los drivers de los motores (Pololus/Stepstick), los jumpers, o los mosfet.

Además se describirán otros componentes electrónicos que forman parte de la estructura de la impresora, y cuyo ensamblado se describió en el apartado Estructura del Soporte, como son los finales de carrera y los motores paso a paso.

Y se concluirá con una breve descripción de los requisitos de la fuente de alimentación que debemos usar para nuestra impresora.

3.3.2.1 Conector USB

El conector USB, como se ve, tanto en la imagen de la figura 118 como en la imagen de la figura 120, que muestran las placas Arduino Mega 2560 con Ramps 1.2 y la Sanguinololu 1.3a respectivamente, deben ser de tipo B. Nos servirá para conectar la electrónica a un ordenador desde el que controlaremos la impresora. Esta conexión USB servirá por tanto para comunicación de datos entre el ordenador y la impresora, pero además nos servirá para suministrar una alimentación de 5 V DC a nuestro microcontrolador.



3.3.2.2 Botón de Reset

El botón de reset no es un elemento crítico para la electrónica, aunque puede sernos tremendamente útil, sobre todo en la etapa de calibración o pruebas, para reiniciar la impresora rápidamente, sin tener que cortar la alimentación a la misma, en caso de tener algún problema. Este botón es más accesible en los modelos de Ramps que en la Sanguinololu, como puede verse en las imágenes de las mismas que se recogen en las figuras 118 y 120 respectivamente.

3.3.2.3 Drivers para los motores

Los drivers para controlar los motores paso a paso son unos microcontroladores, más pequeños, que conectamos a la placa electrónica, tanto a la Sanguinololu, como a la Ramps (en el caso de Arduino + Ramps). En concreto, se usan los del modelo Pololu A4988, que es el modelo de la figura 121; aunque algunos proveedores como Reprap World (ver Proveedores y Presupuesto para conocer más información acerca de este proveedor), venden otro modelo que imita al Pololu A4988 y que es de menor coste que el primero, hablamos del modelo Stepinstick.

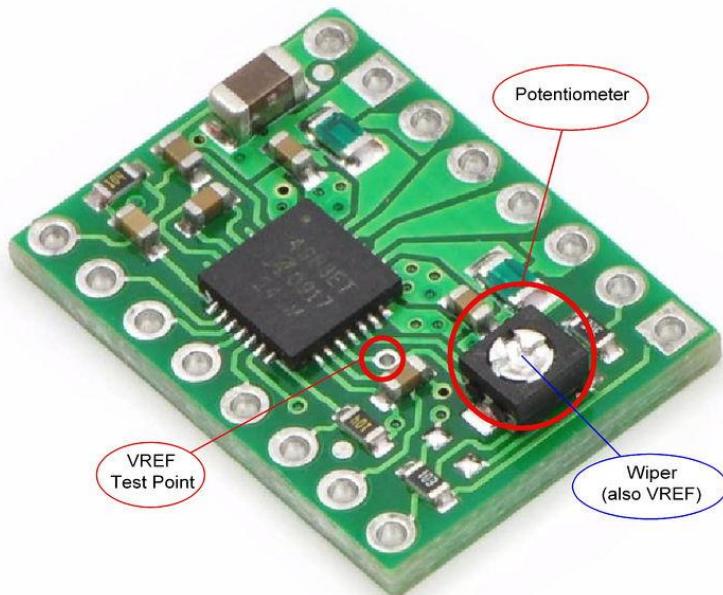


Figura 121. Pololu A4988

También se usa el modelo Pololu A4983, que es exactamente igual que el Pololu A4988, mostrado en la figura 121, en cuanto a funcionalidad, pero este último lleva integrado un diodo de protección contra sobrecorrientes que no lleva el primero.

Estos elementos se instalan en los pines destinados para ello de la placa electrónica, quedando como vemos en la imagen de la figura 122.



Figura 122. Conexión de Pololus en la Ramps 1.2

En la figura 122 se han colocado los cuatro Pololus en sus respectivas posiciones dentro de un circuito integrado modelo Ramps 1.2.

La función de los Pololus es ordenar el movimiento de los motores paso a paso, a través de impulsos eléctricos. La magnitud del movimiento la determinará el usuario a través del ordenador, mientras no estemos imprimiendo; o, el propio Software de control mientras se ejecuta una impresión.

Los Pololus, así como los Stepincks, llevan integrados un potenciómetro para regular la corriente que le suministraremos al motor, que estará en función de la carga a mover, y que debemos calibrar como se verá en el apartado Precauciones: Posibles errores y soluciones/Conexión y regulación de los drivers, de este documento.

3.3.2.4 Jumpers

Los jumpers son unos elementos que nos permiten unir dos pads de un circuito integrado cuando no se puede hacer la unión con una pista, o cuando su unión es, como en esta ocasión, una cuestión de calibrado. Con los jumpers podemos calibrar la precisión del control de movimiento sobre los motores.

En la imagen de la figura 123 se puede ver dónde van colocados en la placa Ramps, que sería justo debajo de la posición en la que posteriormente se instalarían los drivers de control de cada motor (los Pololus).

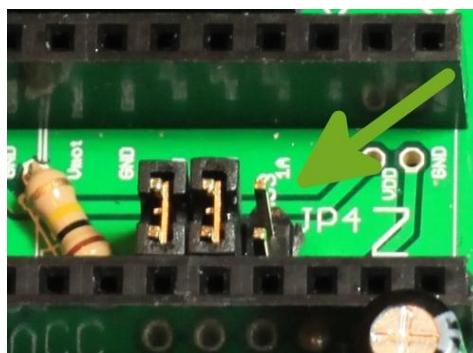


Figura 123. Jumpers



En esta figura 123 vemos cómo ya se han colocado dos de los tres jumpers que hay que colocar, el tercero iría en la posición señalada por la flecha, para conseguir una configuración de 1/16, lo que significa que cada paso del motor paso a paso, cuyo movimiento controlamos, se puede dividir en 16 “micropasos”, consiguiendo así mayor precisión en el control de movimiento del motor; pudiendo así hacer movimientos más pequeños con gran precisión.

3.3.2.5 Mosfet

El último elemento característicos de las placas electrónicas, escojamos la opción que escojamos, son los mosfet. Las siglas MOSFET significan Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor, es decir, Transistor de Efecto de Campo Metal Óxido Semiconductor. Se llaman así porque en la patilla gate o puerta, a través de la cual controlamos el paso de corriente de la patilla source o fuente a la patilla drain o drenador (también podemos verlo como “sumidero”), está conectada a un metal, separado del semiconductor por un óxido. Funcionando de forma similar a un condensador, de tal forma que permite polarizar el transistor, hacer que funcione, pero no consume energía por la puerta; es decir, que no hay corriente pero si tensión. Esto quiere decir que controlaremos el paso de corriente mediante aplicaciones de tensión; de esta forma, en modo estático, o reposo, el transistor apenas consumirá energía pues el valor de la corriente será del orden de nanoamperios

En nuestro circuito tendremos tres mosfet de canal N, esto significa que la tensión a aplicar en la patilla puerta, para que pase corriente de la fuente al drenador, debe ser positiva. Si fueran canal P serían similares pero la tensión aplicada debería ser negativa.

Se utilizan dos de esos tres mosfet para controlar el calentamiento de la base, heated bed, y del hot-end. El tercer mosfet se usa para controlar el funcionamiento de un ventilador, que es un elemento extra de nuestra impresora implementado en este proyecto como mejora de la misma (Ver anexo Trabajos futuros y Mejoras para más información).

Para el calentamiento de la base, a 130 °C, que es la temperatura de trabajo al imprimir con ABS, necesitaremos un suministro de unos 11 A; para calentar el hot-end, a 225/230 °C que es la temperatura para extruir el ABS, necesitamos una alimentación de unos 2,5 A. Estos valores de corriente serán los que determinen, si un mosfet es apropiado o no para nuestra electrónica; por eso debemos tener cuidado y asegurarnos de que compramos los componentes correctos.

Sin embargo, no es ese el único parámetro característico para determinar si el mosfet es apropiado o no, porque, por ejemplo, algunos proveedores nos venden con la electrónica el modelo P30N06LE, y, sin embargo, el modelo recomendado para la impresora sería el STP55NF06L. Según sus hojas de características, ambos soportan una corriente de hasta 60 amperios, sin embargo tienen dos diferencias importantes.

La primera es la tensión de activación, el modelo P30N06LE se activa con 3 V, y el modelo STP55NF06L se activa con 5 V; y, nuestra electrónica emplea una tensión de 5 V para activarlos. Aun así, la hoja de características del modelo P30N06LE nos dice que aguanta valores comprendidos entre -8 y 10 V, luego no debería de ser un problema.



La segunda diferencia, probablemente la más importante, es que el parámetro $R_{ds(on)}$ es diferente en ambos; siendo de $0,047 \Omega$ para el modelo P30N06LE y $0,018 \Omega$ para el modelo STP55NF06L. Este parámetro determina la duración de los períodos de carga y descarga del mosfet; siendo el modelo con menor valor de $R_{ds(on)}$ el que se carga y se descarga más rápido. El problema es que en estos períodos de carga y descarga es donde más se calientan los mosfet por eso interesa que sean lo más rápidos posibles.

Si bien es cierto que, alcanzada la temperatura de trabajo, el mosfet actúa como un termostato, encendiéndose y apagándose cada poco tiempo, los usuarios de una electrónica con el modelo P30N06LE tardan mucho más en alcanzar la temperatura de trabajo y han tenido más problemas de calentamiento de los mismos que los que usamos el modelo STP55NF06L.

El termistor modelo STP55NF06L es el mostrado en la figura 124.



Figura 124. Mosfet canal N, STP55NF06L

3.3.2.6 Motores paso a paso

A continuación, como se dijo al inicio del epígrafe, vamos a hablar sobre otros dispositivos electrónicos cuyos parámetros también son críticos para el funcionamiento correcto de la impresora 3D, y que no están integrados en la placa electrónica; uno de ellos son los motores paso a paso.

El motor paso a paso elegido para este proyecto es el NEMA 17, pero dentro de este modelo tenemos motores de diferentes pares, de diferentes tensiones y corrientes de alimentación y motores bipolares y unipolares; aunque en este último caso, es el parámetro que menos importa, podemos usar motores bipolares o unipolares en nuestra Prusa Mendel.

En cuanto al par, necesitamos motores de $0,137 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($13,7 \text{ N}\cdot\text{cm}$), como mínimo, para los motores que gobiernan el movimiento de los tres ejes (X, Y, Z), y un motor de $0,4 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($40 \text{ N}\cdot\text{cm}$), como mínimo, para el motor que desplaza el hilo de plástico a través del extrusor y lo empuja para ser extruido en caliente.

Por otro lado está la alimentación de los motores. Los controladores Pololu, drivers de los motores (ya comentados), utilizan un modo de control a corriente constante, de modo que la fuerza que hace el motor depende de la corriente, y no de la tensión, de alimentación. Los valores de tensión y corriente que da el fabricante te permiten conocer los parámetros máximos del motor. Así pues, si operas a esa tensión y a esa corriente nominal, el motor dará el par nominal y su vida útil será larga; por el contrario, si lo alimentamos a más de eso se sobrecalentará y durará menos tiempo.

Que un motor de 2.5A se controle a 250 mA hace que este entregue un par muy inferior a su par máximo, pero que en nuestro caso suele resultar más que suficiente para una operación correcta de la impresora 3D. En el control a corriente constante, la resistencia del devanado es importante, así los motores se suelen controlar con una alimentación varias veces superior a la tensión nominal del motor para poder conseguir mejores prestaciones; sin por ello comprometer la salud del motor. Luego, si el motor es de 12V y el control trabaja a 12V no se podrá conseguir tan buen rendimiento como si, por ejemplo, el motor es de 3.1V a 12V; ya que, en ese caso, es cuatro veces la tensión nominal.

Conocidos estos conceptos se puede establecer que los motores de 3,1 V/2,5 A son muy apropiados para la construcción de la impresora 3D; y estos son serían los que vende, por ejemplo, el proveedor Reprap World (ver Proveedores y Presupuesto para conocer más información acerca de este proveedor). Aunque se puede jugar con los parámetros, siempre que entren en las especificaciones de par y aguanten el suministro de potencia de nuestra alimentación, para conseguir modelos, tal vez, económicamente más viables.

El modelo de motor paso a paso, Nema 17, que vende Reprap World (ver Proveedores y Presupuesto para conocer más información acerca de este proveedor) y que se muestra en la figura 125, es, como hemos dicho de 3,1V/2,5 A, y tiene un par máximo de 0,471 N·m (47,1 N·cm).



Figura 125. Motor paso a paso, Nema 17, de Reprap World

3.3.2.7 Fuente de alimentación

Y el otro sería la fuente de alimentación. De este dispositivo, no es crítico el modelo en concreto, pero sí que debe darnos una salida con 12 V DC y unos 16 A en la misma, pues necesitamos entre 11 y 12 amperios para la base, 2,5 A para el hot-end y, aproximadamente unos 250 mA por motor para el movimiento de los ejes y del filamento de plástico por el extrusor. Esto significa que nuestra fuente debe ser, como mínimo, de 200 W, en mi caso la fuente es de 500 W, ya que no encontré una fuente de menor potencia, y todo el funcionamiento es correcto.

3.3.3 Conexiones

En este apartado se describirá a través de sencillos esquemas y explicaciones de los mismos, cómo se conectan todos los dispositivos de la impresora a la placa electrónica de la misma.

Nuevamente se desarrolla la explicación de cara a dos de las posibilidades que teníamos en cuanto a electrónica, la opción Arduino + Ramps y la opción con Sanguinololu, y dentro de estas, para la versión de Ramps 1.2, que además será la opción más detallada por ser la escogida por el autor, y para la versión de la Sanguinololu 1.2. No es crítico el modelo de Arduino en el caso de Arduino + Ramps, para hacer las conexiones, ya que estas se realizarán sobre el circuito integrado, es decir, sobre la Ramps.

3.3.3.1 Conexiones para la Ramps 1.2

El esquema de conexiones para la Ramps 1.2 es el mostrado en la figura 126.

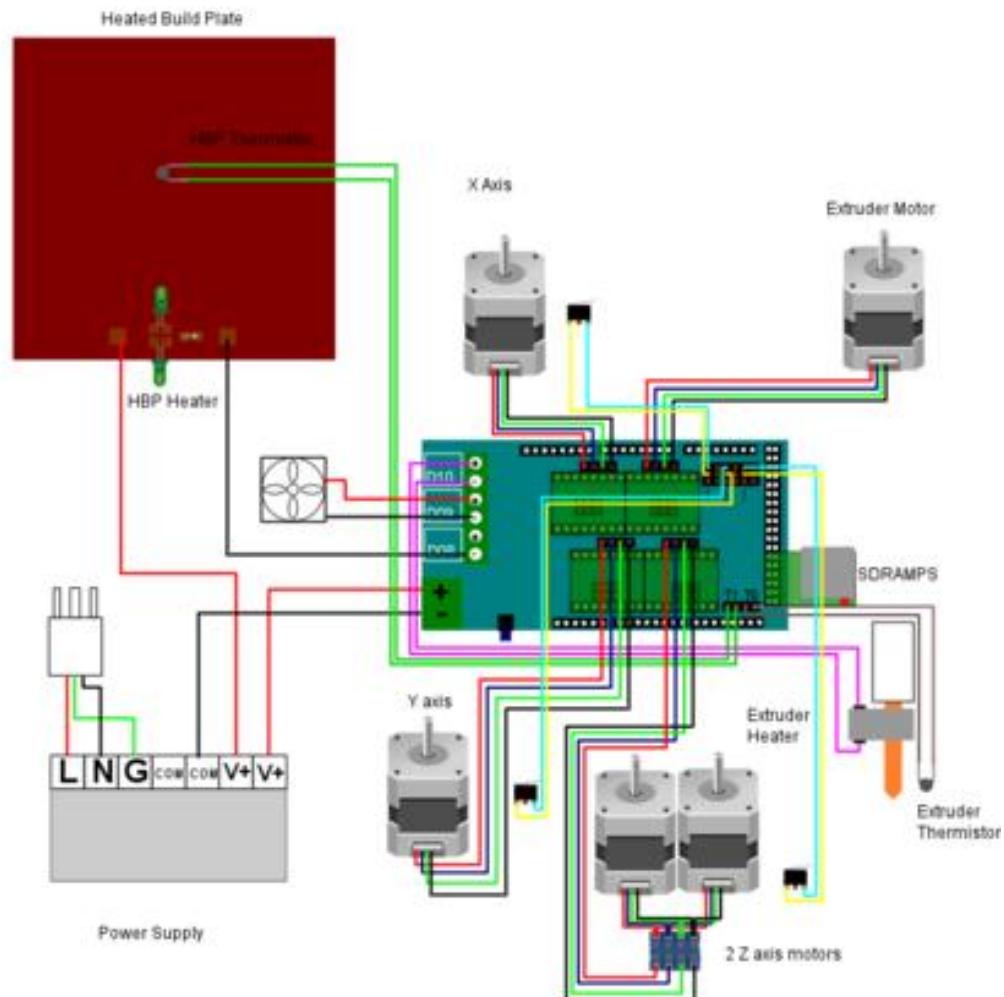


Figura 126. Esquema de conexionado para Ramps 1.2



Como puede verse en la figura 126, tenemos cuatro divers para motores, cuatro Pololus, al lado de cada uno llevamos cuatro pines donde se conectan los cuatro cables que salen de cada motor. La conexión, como ya se explicó, para esta placa se realiza con conectores del tipo de los que llevan los servomotores, y que podemos ver en la imagen de la figura 127, pero en vez de ser para tres hilos, es para cuatro.



Figura 127. Conectores para los motores

Los cuatro drivers nos permiten controlar el movimiento del motor del X, el del eje Y, los dos del eje Z y el del extrusor, que es el que impulsa el plástico para que sea extruido. Los motores del eje Z tienen que ir, como se muestra en el esquema de la figura 126, a una clema, y de esta vamos a ya a la placa electrónica. Para visualizar esta conexión podemos ver la imagen de la figura 128 (la conexión es la realizada en la clema situada aproximadamente en el centro de una de las varillas de la parte superior de la impresora que son las que se ven en la imagen), en la que se ha puesto la clema, sujetada con una brida, en una de las varillas roscadas de la parte superior de la impresora.

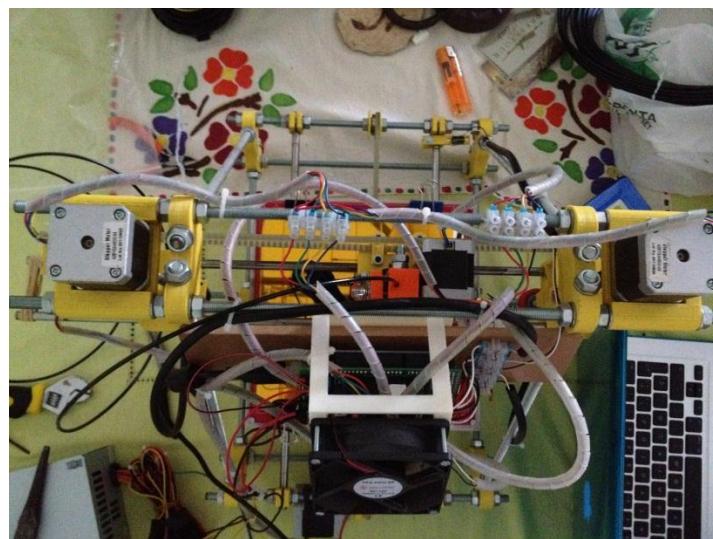


Figura 128. Conexión de los motores del eje Z a la clema desde la que se conectan a su driver



Por otro lado, vemos, en el esquema de la figura 126, la conexión para los finales de carrera mecánicos de cada eje. Aunque en este esquema se muestra la conexión a dos hilos que se comentó en la parte Estructura del soporte/Montaje, tenemos tres pines de conexión y es muy probable que el proveedor nos venda el cableado con un conector de tres terminales. Si esto es así y el lector decide seguir la conexión expuesta en este documento no tiene más que, o bien cortar el hilo que no usamos de cada final de carrera, o bien agruparlos y dejarlos apartados como hizo el autor.

En la parte inferior derecha vemos que tenemos otros cuatro pines, donde dos son para cada termistor, el de la heated bed y el del extrusor. Tanto estas conexiones de los termistores, como las anteriormente explicadas de los finales de carrera, se realizan también con conectores del tipo de los servos, solo que para los finales de carrera, tenemos un conector de tres terminales y para los termistores, se pueden usar dos conectores de dos terminales cada uno (así cada termistor queda conectado por separado); o, se pueden conectar, como hizo el autor, a uno de cuatro terminales, ya que los cuatro pines están juntos, siendo como los cuatro pines donde, en su lugar correspondiente, se conectaba cada motor.

Por último falta por explicar las conexiones realizadas en las clemas que lleva integradas la Ramps 1.2 en su parte izquierda (según el esquema de la figura 126). En la parte inferior va una clema con dos bornes, donde se conectará la alimentación principal proveniente de la fuente de alimentación.

Por encima de esta clema tenemos otros de seis bornes donde, los dos bornes de más arriba están destinados a conectar el hot-end, los dos hilos que provenían de la resistencia de potencia del mismo y que sirve para calentarlo (al dar alimentación a una resistencia no tenemos polaridad por lo que da igual que hilo vaya en cada borna); los dos del centro son para el posible ventilador a instalar (ver más detalles en el apartado Trabajos futuros y Mejoras); y las dos de más abajo, se deja uno libre, el de arriba, y en el de abajo, que está conectado directamente al terminal negativo o masa (GND) de la Ramps, conectamos uno de los hilos de alimentación de la heated bed, el otro hilo va directamente conectado al terminal positivo de la fuente de alimentación (como queda reflejado en el esquema de la figura 126). Esas tres conexiones (hot-end, ventilador y heated bed) van conectadas internamente en la placa a los tres mosfet, cada una a uno, que se encargan de controlar el paso o no de la corriente a los tres dispositivos conectados, de manera que se puede controlar cuando estos tres dispositivos serán alimentados, para regular así las temperaturas de la heated bed y del hot-end, y para controlar cuando queremos que esté funcionando el ventilador.

De forma análoga se realizarían las conexiones para la Ramps 1.3 y la Ramps 1.4, pero siguiendo sus respectivos esquemas de conexión que podemos encontrar en la web [14] y [15] respectivamente.

3.3.3.2 Conexiones para la Sanguinololu 1.2

El esquema de conexiones para la placa Sanguinololu 1.2 es el mostrado en la figura 129.

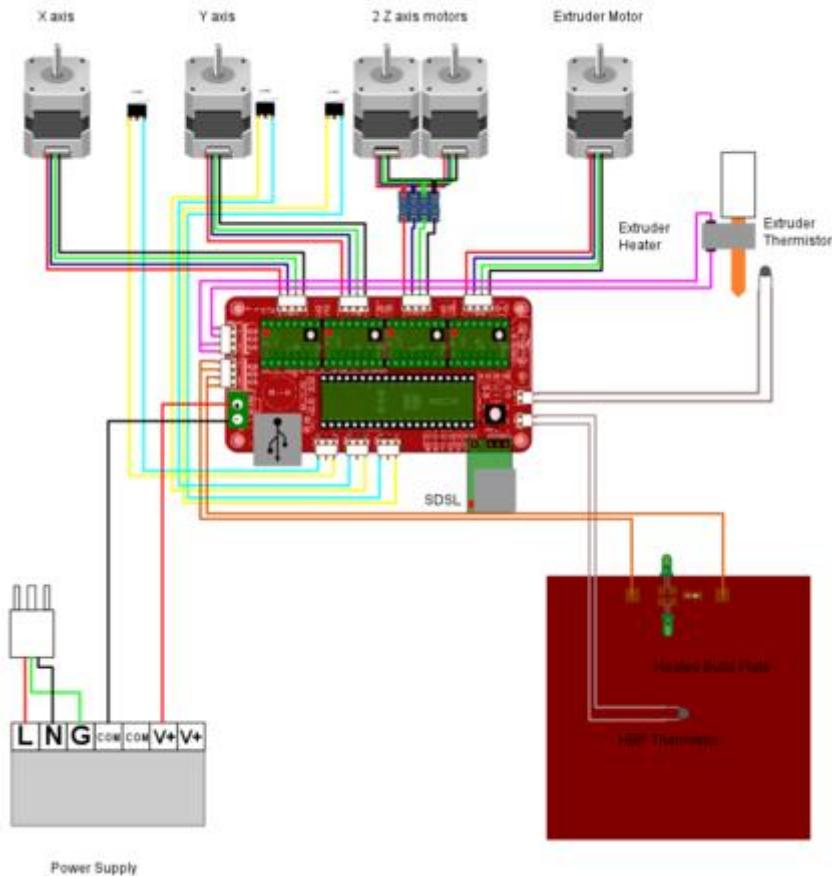


Figura 129. Esquema de conexionado para Sanguinololu 1.2

Como vemos en el esquema de la figura 129, las conexiones son muy similares a las que se han explicado para la Ramps, aunque, lógicamente, con otra distribución de los elementos.

Las diferencias más apreciables son que los conectores, en lugar de ser los modelos de los servomotores, son Molex; y, que la base caliente, heated bed, no tiene un terminal conectado directamente a la fuente sino que van los dos a la Sanguinololu. También hay otros dos aspectos destacables, uno es que en esta versión de la Sanguinololu, la 1.2, no hay pines o bornes destinados a la conexión de un posible ventilador (aunque las versiones posteriores ya si lo llevan incorporado); y, el otro, es que se muestra muy claramente la posición y orientación exacta en la que debe ir colocado el driver de cada motor, cosa que no ocurría en el esquema de la Ramps y que nos puede ser de gran ayuda y nos puede evitar cometer errores de conexión que podrían provocar incluso la perdida funcional de los drivers mal conectados, o hacernos perder gran cantidad de tiempo en buscar errores porque la impresora no funcione.



De la misma manera que ocurría para la Ramps, las versiones posteriores tienen un conexionado análogo, aunque este aún no se encuentra disponible en la web y el autor no ha podido desarrollarlo por no haber tratado con este tipo de placa electrónica.

3.3.4 Montaje de la electrónica en la impresora y acabado del cableado

Una vez se hayan realizado las conexiones se puede proceder a colocar la placa electrónica en el listón de madera que, como se explicó en el apartado Estructura del Soporte/Montaje, se puso para ello. Incluso si el lector lo prefiere (y es un detalle recomendado por el autor), puede colocar su microcontrolador y circuito integrado en la posición final antes de hacer las conexiones.

Para la colocación, se realizan cuatro taladros en el listón de madera utilizando como guía los cuatro agujeros que tanto el Arduino como la Ramps tienen (o la Sanguinololu, si es nuestra opción elegida). Una vez hecho esto se coloca la placa y se introduce un tornillo de M3x40, con una arandela de M3, por cada agujero del listón y por los agujeros de la/s placas electrónicas, poniendo una tuerca de M3 en cada uno por su parte superior.

Si el lector no desea que la electrónica quede pegada al listón de madera, puede introducir una tuerca de M3 entre el listón y la electrónica en cada tornillo, pero en ese caso se recomienda introducir también una arandela de M3 de plástico, que nosotros mismos podemos fabricarnos, para evitar posibles cortocircuitos, pues el autor tiene comprobado que las tuercas llegan a tocar varios pines, del Arduino Mega 2560, por sus lados opuestos.

En la figura 130 podemos ver cómo quedan los tornillos que sujetan la electrónica por detrás del listón de madera.



Figura 130. Tornillos para sujeción de la electrónica en el listón de madera.



En la figura 131 se puede ver cómo queda la electrónica colocada y con todas las conexiones realizadas.

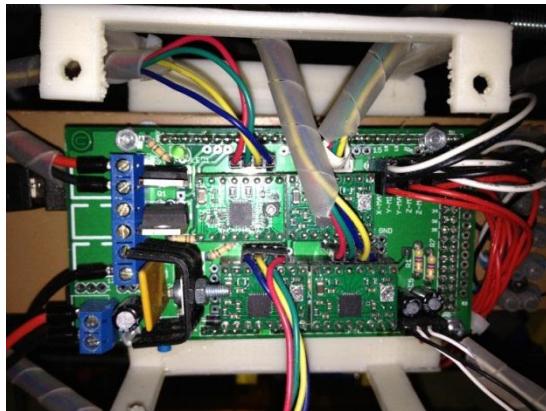


Figura 131. Electrónica montada y conexiones realizadas

El lector debe obviar de momento las piezas de plástico blancas que aparecen en la figura 131 por encima y por debajo de la electrónica, pues son las piezas que se usarán para la sujeción del ventilador (ver Trabajos futuros y Mejoras para más información acerca del ventilador).

Montada la electrónica y realizadas las conexiones, se pueden recubrir los cables con tubo helicoidal o tubo de riego, aunque este es más complicado de colocar pues debemos rajarlo para introducir los cables ya conectados, y posteriormente se pueden recoger los cables con bridales, acoplándolos junto a las varillas que forman la estructura de la impresora para lograr un acabado lo más elegante posible.

En la imagen de la figura 132 se muestra como quedó la impresora 3D Prusa Mendel, Mardan, del autor tras realizar todos éstos ensamblados.

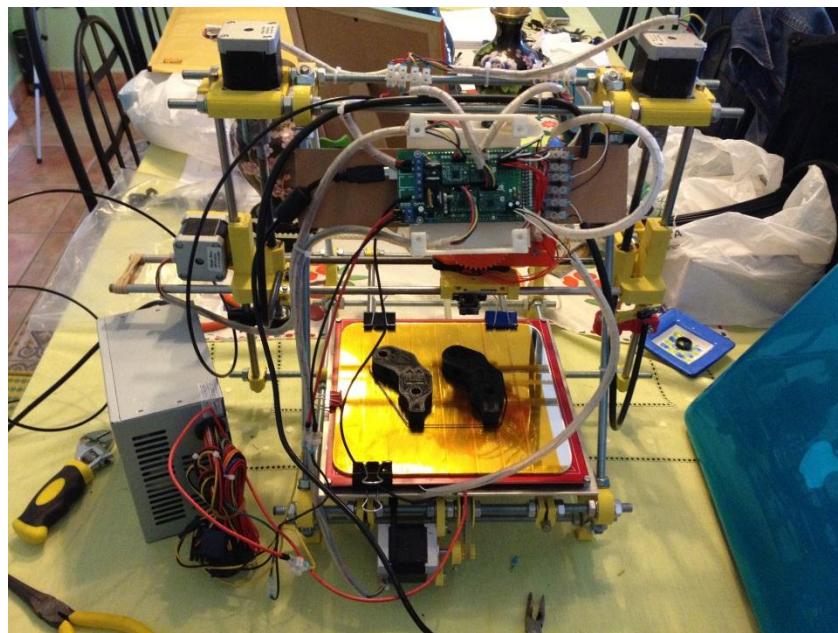


Figura 132. Acabado final de la impresora 3D Prusa Mendel

3.4 Precauciones: Posibles errores y soluciones

En este epígrafe se expondrán posibles errores que se pueden dar en la fabricación de la impresora 3D Prusa Medel y sus respectivas soluciones.

3.4.1 Conexiones de los motores y finales de carrera

Respecto a las conexiones de los motores, aunque dispongamos del esquema de conexiones respecto a la placa electrónica, es posible que el cableado del modelo de motor que estemos utilizando sea de unos colores diferentes. Así pues deberemos asegurarnos de colocar el bobinado correctamente, es decir, que pongamos los cables en los conectores de forma adecuada.

Un pequeño error que puede aparecer es que cuando estemos probando el movimiento en alguno de los ejes o del motor del extrusor, estos se muevan en sentido contrario a como nosotros se lo ordenamos desde el ordenador. En ese caso, se podría cambiar la configuración en el firmware que estemos usando, pero es mucho más sencillo quitar el conector de los pines del circuito integrado, girarlo 180º y volver a colocarlo en los mismos pines. El lector podrá comprobar que el motor ya se mueve en los sentidos indicados por el ordenador.

En cuanto a los finales de carrera, se quiere insistir una vez más en que en caso de escoger la conexión descrita en este documento nos aseguremos de que los terminales utilizados del final de carrera sean el Común (C) y el de Normalmente Cerrado (NC), como se puede ver en la figura 133.

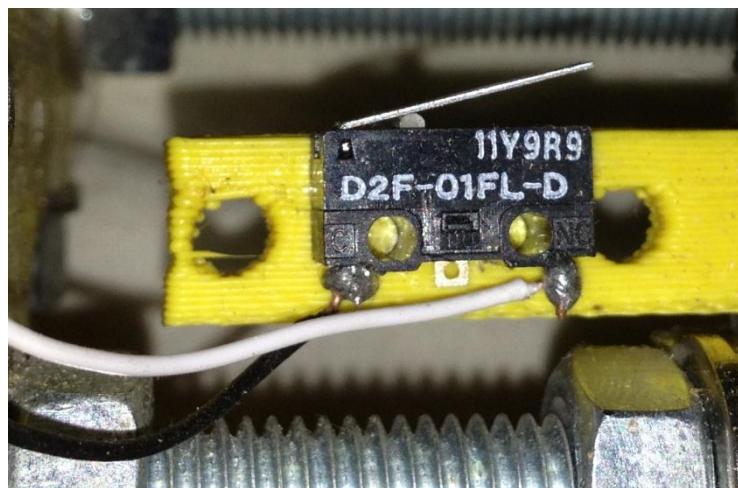


Figura 133. Terminales del final de carrera utilizados



Y se debe conectar en la placa como se ve en la figura 134. Se deben hacer las conexiones en los pines que en la placa vienen denominados como X-min, Y-min y Z-min, para que los finales de carrera marquen al software el origen en cada eje.



Figura 134. Conexión de los finales de carrera en la placa electrónica

Como se puede ver, tomando esa posición de la placa, el cable negro, que viene del terminal Común (C) del final de carrera, va al pin central en el circuito integrado; y, el cable blanco, que viene del terminal Normalmente Cerrado (NC), del final de carrera, va al pin de la derecha. El cable rojo es el que debemos dejar sin conectar, recogido y apartado para que no estorbe.

Otro aspecto a tener en cuenta es que, normalmente, con los finales de carrera se nos suministran unas resistencias de $10\text{ K}\Omega$ para que las intercalemos en el cable que vaya al terminal Común (C) del final de carrera (el negro en el caso visto anteriormente), entre el pin del circuito integrado y el propio terminal. Sin embargo, esta resistencia se utiliza para hacer la función de una resistencia Pull Up/Pull Down, pero, al menos en el caso de la Ramps, esta resistencia ya va integrada en el circuito electrónico, por lo que si usted utiliza una Ramps NO debe utilizar la resistencia con los finales de carrera; y, si usa una Sanguinololu o cualquier otra opción de placa electrónica, asegúrese de comprobar si en esa placa viene integrada la resistencia de Pull Up/Pull Down, antes de acoplar la que le pueda suministrar el vendedor del final de carrera.

3.4.2 Conexión de la fuente de alimentación

Es importante fijarse bien en el esquema de conexiones de la placa que estemos utilizando y conectar los terminales positivo y negativo de la fuente de alimentación en los bornes adecuados de la clema, pues aunque algunos dispositivos como el hot-end o la heated bed, que se calientan por resistencia, o los termistores, no están polarizados, el circuito integrado tiene claramente diferenciados el terminal positivo y negativo, o masa (GND) en este caso; creando graves problemas si la conexión es al revés. El autor cometió este error por accidente y afortunadamente los únicos daños fueron que uno de los drivers quedó inservible y hubo que reemplazarlo.

3.4.3 Conexión y regulación de los drivers

Los drivers de los motores, tanto Pololus como Stepstick se deben conectar también en la posición adecuada. Esta puede variar según la placa electrónica, así pues el lector debe asegurarse de que la posición en la que lo está posicionando es la correcta. Para el caso de utilizar la Ramps 1.2 el lector puede orientarse de la siguiente manera: Posiciona la placa electrónica de manera que la clema en la que se conecta la fuente de alimentación queda en la parte inferior izquierda, en esa posición, los drivers deben tener su potenciómetro en el lado derecho. Para tener una referencia visual puede comparar su conexión con la que se aprecia en la figura 135.

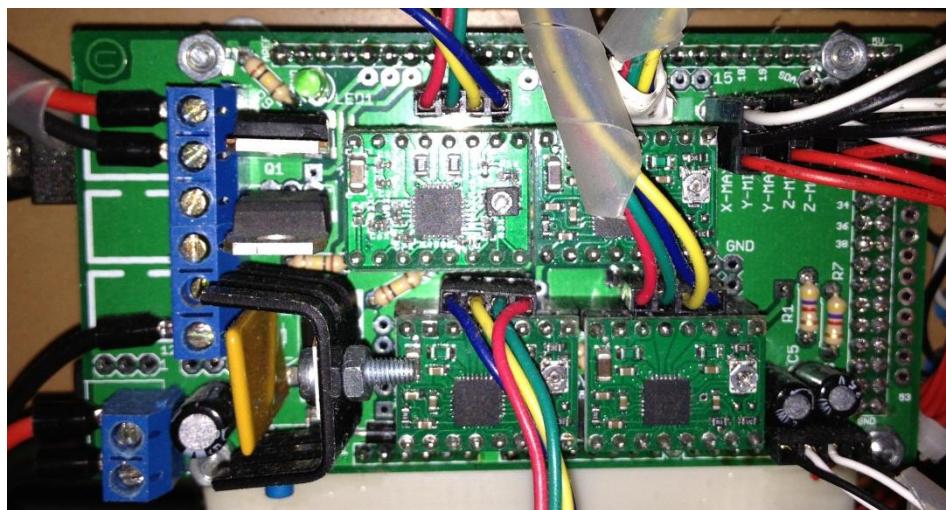


Figura 135. Referencia de conexión de los drivers en una Ramps 1.2

Además de la posición para su conexión, es importante que regulemos la corriente a la que controlaremos los motores para cada driver. Una corriente excesiva hace que el chip del driver se sobrecaliente y se acabe quemando requiriendo su sustitución.

Para regularlo adecuadamente debemos hacer lo siguiente: Teniendo el driver conectado como se aprecia en la figura 124, giramos el potenciómetro hasta su límite en sentido anti-horario. A continuación vamos girando poco a poco en sentido horario y vamos probando si el motor es capaz de hacer su función. Debemos ajustarlo en el punto en el que el motor reciba la corriente justa para realizar su función correctamente (mover las bases, el carro del eje X, desplazar el eje X a lo largo del eje Z o impulsar el plástico).



Esto se producirá, aproximadamente, al girar un cuarto de vuelta en sentido horario, partiendo del límite mencionado en sentido anti-horario; para un Pololu A4988.

Esta regulación es más fácil si disponemos de una fuente de alimentación regulable. En ese caso debemos ajustar los Pololus de manera que cada motor consuma aproximadamente 250 mA de corriente a 12 V DC.

3.4.4 Conexión de los Mosfet y disipador

El posicionamiento correcto de los mosfet en el circuito también es crítico. Un mal posicionamiento puede ocasionar graves problemas. En estas placas el mal posicionamiento más probable sería que se colocase el mosfet girado 180° respecto a su posición correcta. En ese caso lo que ocurriría sería que el mosfet se quemaría; e incluso se podría quemar algún otro componente.

La posición del mosfet viene marcada en la propia placa, con una banda sombreada en lado en el que debe ir el pequeño disipador que el propio mosfet lleva integrado, como se puede ver en la figura 136 para una Ramps 1.2 y para una Sanguinololu 1.3a.

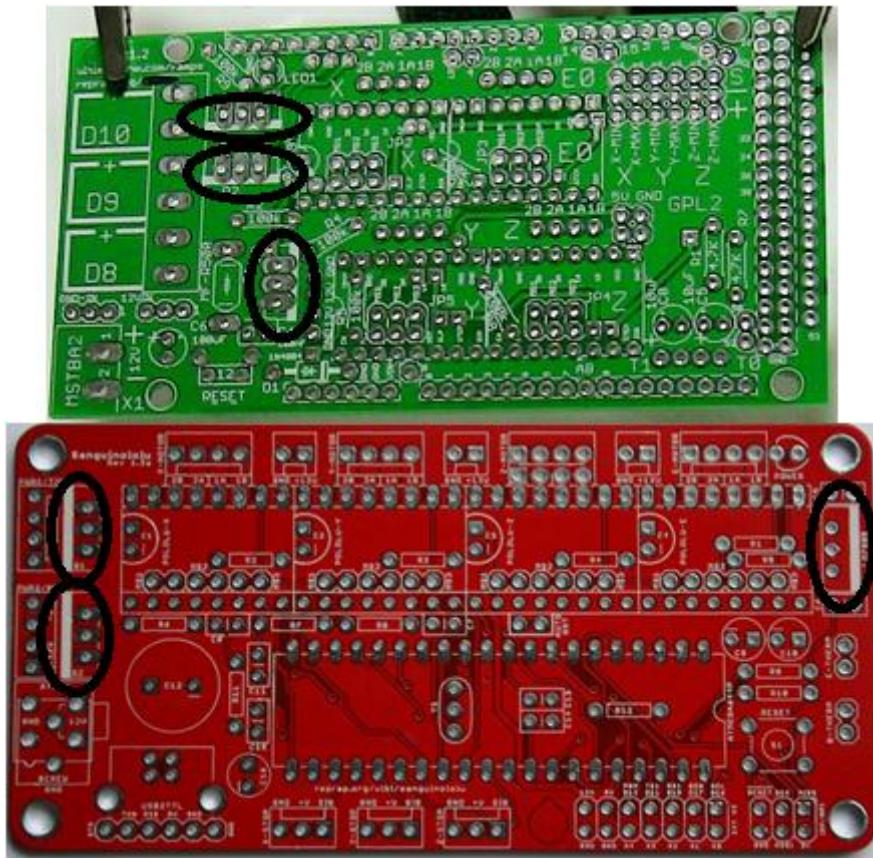


Figura 136. Marca que indica la posición del mosfet en la placa, en una Ramps 1.2 (arriba) y una Sanguinololu 1.3a (abajo)

Si nos fijamos en las zonas que se han bordeado con elipses, las dos placas tienen tres pines juntos para cada mosfet y a uno de lados tienen la banda sombreada que se ha comentado.



Por otro lado, en el mosfet que va conectado a la clema de la base caliente, heated bed, debemos poner un disipador adicional pues debe conducir mucha corriente y si no ponemos el disipador con total seguridad el mosfet se acaba quemando. Las dimensiones de este disipador no es necesario que sean grandes, con uno como el que vemos en la figura 137 nos valdría, pues es el que usa el autor y lleva más de 200 horas de impresión y el mosfet ha aguantado estando, en ocasiones hasta 7 u 8 horas seguidas imprimiendo con la base a 120 °C.



Figura 137. Disipador del mosfet conectado a la clema de alimentación para la heated bed

3.4.5 Vibración

Debemos ser precavidos y tener en cuenta que la vibración producida en el funcionamiento de la impresora puede ocasionar que las tuercas de las bases, los tornillos que sujetan las varillas lisas del eje X bajos las piezas “Lateral con motor” y “Lateral sin motor”, etc. se desatornillen o se aflojen y acaben por caerse y extraviarse, dejando elementos sueltos, etc. Por ello debemos, siempre que sea posible, poner una tuerca más, a modo de “contratuerca”, y apretar periódicamente estas tuercas y/o tornillos que puedan estar sueltos.

3.4.6 Tensión de las correas dentadas

Se deben ajustar fuertemente las correas dentadas, tanto del eje X como del eje Y, de modo que queden bien tensas. Es posible que para el tensado correcto necesitemos la ayuda de otra persona, pues no debemos tensar tanto que lleguemos a romperlas, pero, insisto, es importante que queden bien tensas.

Una baja tensión en las correas puede producir backlash, esto es que, cuando el sentido de movimiento del eje (X o Y) cambia, se necesitan ordenar una determinada cantidad de milímetros de movimiento en ese sentido contrario para que ese eje comience realmente a moverse en ese nuevo sentido. Esto ocurre porque los dientes de las poleas, especialmente si son de plástico, no son perfectos y, sobre todo si la correa dentada no está bien tensada, tardan unos milímetros en engancharse con el siguiente diente.

Si las poleas que utilizamos son metálicas reduciremos enormemente este efecto y la tensión en las correas seguirá siendo importante, pero no será tan crítica.



3.5 Programación y funcionamiento

Habiendo acabado el ensamblado de la impresora y su electrónica vamos a proceder a su puesta en funcionamiento. Para ello debemos cargarle al microcontrolador el firmware adecuado, con la configuración adecuada y deberemos instalar en el ordenador, desde el que vayamos a controlar la máquina, el software correspondiente y un programa que se encargue de generar lo que se denomina “capeado” es decir, que transforme los diseños 3D que vayamos a imprimir a un formato que represente ese diseño por capas para que pueda ser creado por la impresora. Ese formato se denomina código G, más conocido como Gcode.

En este proyecto se expondrán los distintos firmware, libres, entre los que podemos elegir para nuestra impresora, se describirán los distintos programas de software, libres, que podemos usar para el control de la máquina, y los dos programas, libres, que tenemos en repositorios web para generar los Gcode. Pero se dejarán para un proyecto futuro la configuración del firmware y del programa de generación del Gcode con la que conseguiríamos un calibrado óptimo de la impresora.

3.5.1 Firmware y de generación archivos Gcode

Comenzaremos viendo precisamente los distintos firmware, entre los que podemos elegir, para instalar en el microcontrolador de nuestra Prusa Mendel.

3.5.1.1 Posibilidades

Existen múltiples posibilidades, entre las que encontramos Sprinter, Marlin, Teacup, FiveD, Repetier, etc.

Pero en este proyecto se describirán los dos más usados hasta ahora y que mejor rendimiento aportan que son Sprinter y, recientemente, Marlin, que permite un calibrado aún más fino.

Ambos son libres, es decir, que podemos descargarlos, editarlos y distribuirlos libremente. Podemos encontrarlos en diversos repositorios de internet, entre ellos este: [16], para el Sprinter; y, este: [17], para el Marlin.

Estos firmware, están en desarrollo constante por los múltiples usuarios que, al ser libres, disponen de ellos y están autorizados para su uso y su edición.

Estos firmware nos permitirán escoger diferentes configuraciones, en función del tipo de termistor que utilicemos en nuestra impresora (tanto para la heated bed como para el hot-end, por separado), en función de si usamos finales de carrera ópticos o mecánicos, en función de la velocidad de transferencia de datos que utilicemos (que generalmente es 115200 baud); nos permiten calibrar los ejes, de manera que se muevan lo más precisos posible, la cantidad que les indiquemos desde el ordenador manualmente y, por tanto, las cantidades que deban moverse durante una impresión. Estas son algunas de las posibilidades, en cuanto a configuración que nos ofrecen estos firmware; pero lo más importante es que todo esto se puede configurar sin apenas editar el código del firmware.



El escogido por el autor fue Sprinter, pero recientemente se desarrolló uno nuevo, Marlin, basado en Sprinter, que ofrece múltiples posibilidades nuevas. Entre estas tenemos algunas como establecer un control PID sobre las temperaturas de la heated bed y del hot-end, a fin de que estas no estén permanentemente oscilando en torno a la temperatura de referencia que le hayamos indicado por configuración de software; también, permite un control de la velocidad de los ejes con aceleración gradual; etc.

El único problema que tiene Marlin es que al tener más opciones de configuración que Sprinter, puede abrumar a un usuario sin experiencia en impresoras 3D; en tal caso recomiendo al lector escoger Sprinter y, una vez haya cogido experiencia, cambie, si así lo desea, a Marlin. Sin embargo, si el lector ya está experimentado en este fascinante mundo de la impresión 3D, seguramente Marlin le resulte más atractivo por su mayor capacidad de afinar la calibración de la máquina.

3.5.1.2 Instalación

Para instalar el firmware en el microcontrolador, previamente debemos descargarnos el software de Arduino; que podemos conseguir gratuitamente en la página de Arduino, en concreto en el siguiente enlace [18]. Para este documento se utiliza como guía la versión 0022 del software de Arduino, pero el lector debe saber que hay versiones nuevas cuyo funcionamiento es muy similar.

Se va a describir el proceso para el firmware Sprinter, utilizando como sistema operativo Windows 7. El procedimiento a seguir es similar para cualquier firmware, o utilizando MAC o Linux.

Una vez tengamos en nuestro ordenador tanto el firmware como el software de arduino debemos seguir las siguientes instrucciones visuales expuestas paso a paso:

- 1.- Descomprimimos el archivo que hemos descargado de la web de Arduino [18].
- 2.- Arrancamos el programa.
- 3.- Seleccionamos en la pestaña “Tools/Board” de la parte superior, la placa que estemos utilizando (Arduino Mega 2560, Arduino Mega 1280, etc.), como se muestra en la imagen de la figura 138 para la selección de la placa Arduino Mega 2560.

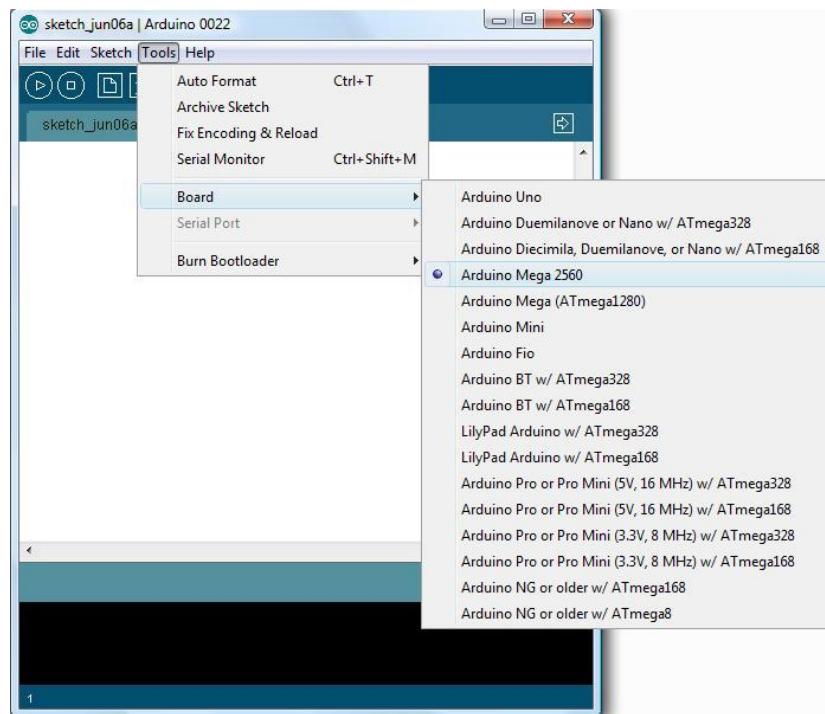


Figura 138. Selección de microcontrolador que estamos utilizando en el software de Arduino

4.- Seleccionamos, en la pestaña “Tools/ Serial Port”, que se muestra en la imagen de la figura 139, el puerto USB en el que está conectado el microcontrolador.

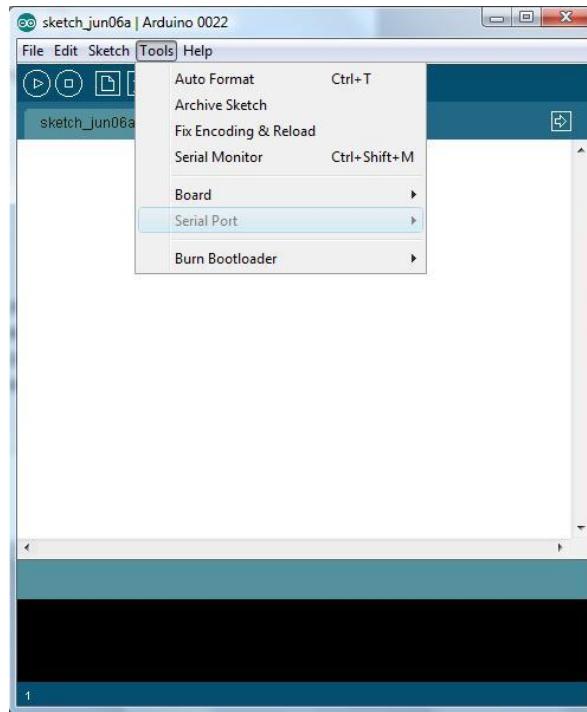


Figura 139. Selección del puerto al que está conectado el microcontrolador en el software de Arduino



5.- Hacemos click en “File/Open” y abrimos el archivo .pde, que se debe encontrar en la carpeta descargada del repositorio web con el firmware. Se debería abrir una ventana como la que vemos en la figura 140.

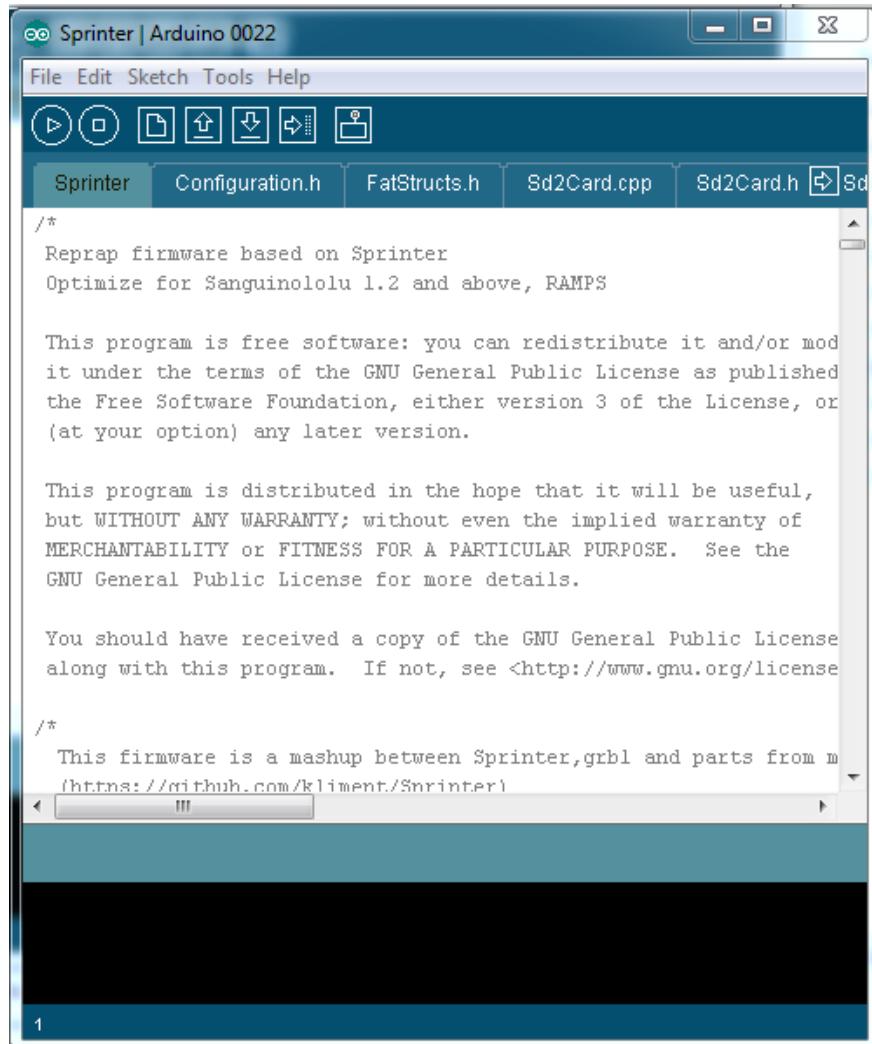


Figura 140. Ventana que visualizamos al abrir el firmware en el software de Arduino

6.- A continuación se realizaría la calibración, configurando el código del firmware para adaptarlo a nuestros dispositivos y para mejorar la calidad de la impresión. Pero como ya se explicó, se dejará para un posible proyecto futuro la calibración de la impresora (ver Trabajos Futuros y Mejoras para más información).

7.- Configurado adecuadamente el firmware debemos compilar el código para ver que no hayamos cometido errores. Para ello podemos hacer click en “Sketch/Verify/Compile”, podemos hacer click en el icono con la flecha de play o, simplemente, podemos usar el comando rápido, que es pulsar las teclas Ctrl+R.

Al compilar, debería aparecer un mensaje en la consola como el que se aprecia en la figura 141. El proceso de compilación debería dudar unos segundos, aunque depende del ordenador que estemos utilizando y de la cantidad de código que tenga el firmware.

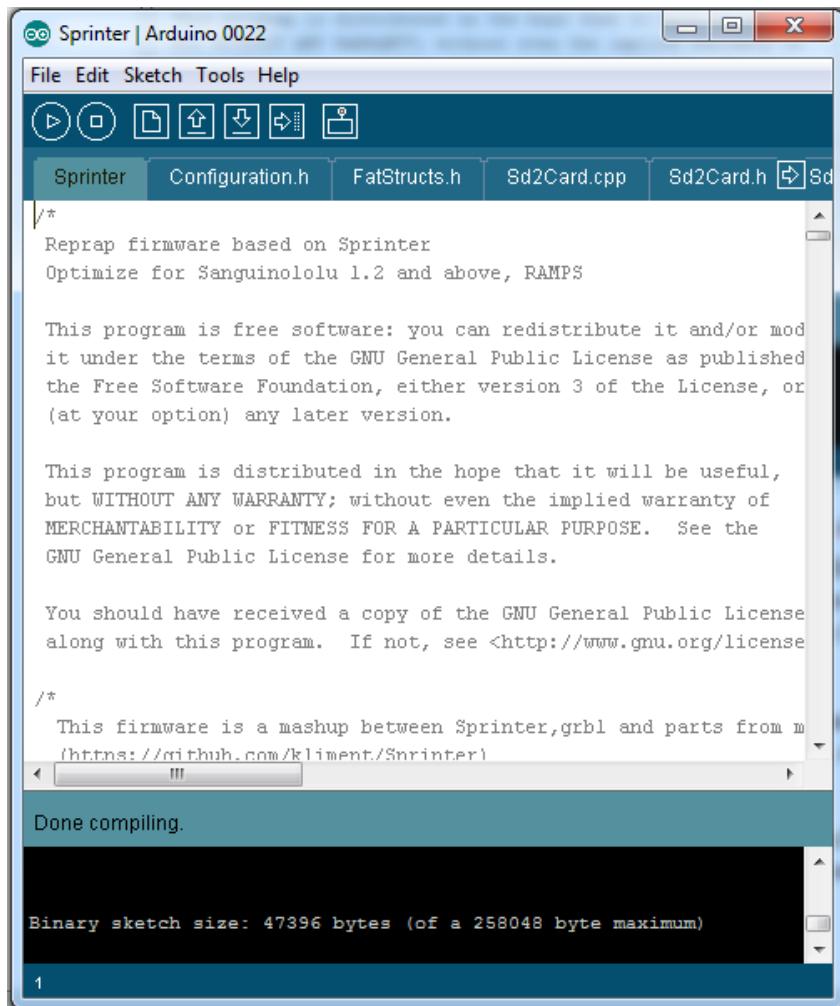


Figura 141. Código del firmware, ya configurado, compilado con el software de Arduino

Se aconseja al lector compilar el firmware antes de comenzar a calibrar, ya que, aunque no es normal, puede darse el caso de que haya algún error en el código que descarguemos del repositorio, pues recordemos que es un código libre y que por tanto puede ser editado por cualquier usuario; aunque se insiste en que lo normal es que todo este correcto.

8.- Con el código compilado ya podemos cargarle el firmware a nuestro microcontrolador. Para ello podemos hacer click en “File/Upload to I/O Board”, podemos hacer click en el icono con una flecha que indica hacia la derecha, y que al pasar el puntero por él aparece un mensaje a la derecha que dice “Upload”; o, simplemente, podemos usar el comando rápido, que es pulsar las teclas Ctrl+U.

Mientras se carga el firmware el led del microcontrolador parpadeará a gran velocidad. Una vez cargado, aparecerá un mensaje en la consola del software de Arduino, similar al que veíamos al compilar, pero esta vez pondrá un mensaje del tipo “Done Uploading”. Este proceso de carga es algo más lento que el de compilación.

Realizados los pasos expuestos en este epígrafe tendremos el firmware configurado para nuestra Prusa Mendel y cargado en el microcontrolador de la misma.



3.5.2 Software de control

Teniendo el firmware instalado, el siguiente paso es instalar, en el ordenador desde el trabajaremos con la impresora, el software de control.

Existen muchas posibilidades en cuanto a software de control, desde ReplicatorG, que es que utilizan las impresoras de Makerbot y que aún no está bien adaptado a las Prusas, hasta el Pronterface, que es el que utiliza el autor y probablemente la gran mayoría de usuarios de Prusas, pasando por otros no tan desarrollados ni tan usados como RepSnapper.

En este proyecto se expondrá principalmente el Pronterface, por ser el escogido por el autor y el que, hasta ahora, parece funcionar mejor con los modelos Prusa Mendel.

3.5.2.1 Posibilidades

Como ya se ha dicho, el programa de software más recomendado por el autor para controlar la impresora es el Pronterface. Este programa, que también es libre, podemos descargarlo gratuitamente de internet, de repositorios web como, por ejemplo, este [19].

El Pronterface es un programa de software que nos permite acceder directamente a la configuración del programa de creación de archivos Gcode, para editarlos y calibrar las impresiones a nuestro antojo. Tiene un entorno gráfico que nos permitirá manipular los ejes de nuestra impresora, calentar la base y el extrusor, monitorizar la temperatura de ambos elementos permanentemente, cambiar la velocidad de transmisión de datos, comenzar impresiones (que ya ejecuta el programa automáticamente a partir del Gcode de la figura 3D), pausarlas, reiniciarlas, etc. Además Pronterface permite cargar archivos Gcode, que se podrán imprimir directamente, pero también permite cargar archivos en formato stl; en ese caso, se conecta directamente al software de creación de archivos Gcode, genera automáticamente dicho archivo (guardándolo en el mismo directorio donde tuviéramos el stl) y lo carga, directamente, en el propio Pronterface para que podamos imprimirllo cuando queramos.

Tiene una ventana en la que podemos ver como es el capeado de la figura a imprimir, capa a capa, y otra ventana que nos informa de las dimensiones de la pieza nada más cargar o generar (como se ha explicado anteriormente) su archivo Gcode y que nos da una estimación (supuestamente pesimista, pero que en realidad siempre es inferior a lo que de verdad tarda) de lo que tardará en imprimir el objeto 3D.

Por otro lado tenemos la opción de ReplicatorG, que podemos descargar, también gratuitamente, de la web [20]; o, la opción de RepSnapper, que podemos conseguir, también gratis, de la web [21].

Sin embargo, el autor no recomienda ninguna de estas dos últimas opciones pues, tras probar ambas, ReplicatorG no está bien adaptado a los modelos Prusa Mendel, y no incluye aún los drivers para controlar dichas impresoras (se usa para las MakerBot). Se puede intentar usar pero hasta ahora da muchos problemas. Por su parte RepSnapper, sí que se conecta adecuadamente con la impresora, pero tiene su propio generador de archivos Gcode y es bastante malo de momento. Si, desde él, intentamos abrir archivos Gcode generados con otro software, como por ejemplo Skeinforge, no los carga adecuadamente y las impresiones que realiza son muy malas. La única ventaja de estos dos software respecto a Pronterface es que permiten ver, en todo momento, la pieza a imprimir en tres dimensiones; aunque el entorno gráfico de Pronterface es bastante más llamativo.

3.5.2.2 Instalación

La instalación de cualquiera de estos software es instantánea, es decir, simplemente lo descargamos, arrancamos el archivo ejecutable y ya lo tenemos. Aunque se requiere una buena versión de Phyton, sobre todo para usar Pronterface.

En el caso de Pronterface, en Windows y en Linux se debe abrir el archivo .py, y en MAC, donde ha dado algunos problemas, los propios usuarios comentan que lo mejor es hacer un script para ejecutarlo más fácilmente.

Al ejecutar Pronterface se debería de abrir una ventana como la que se muestra en la figura 142.

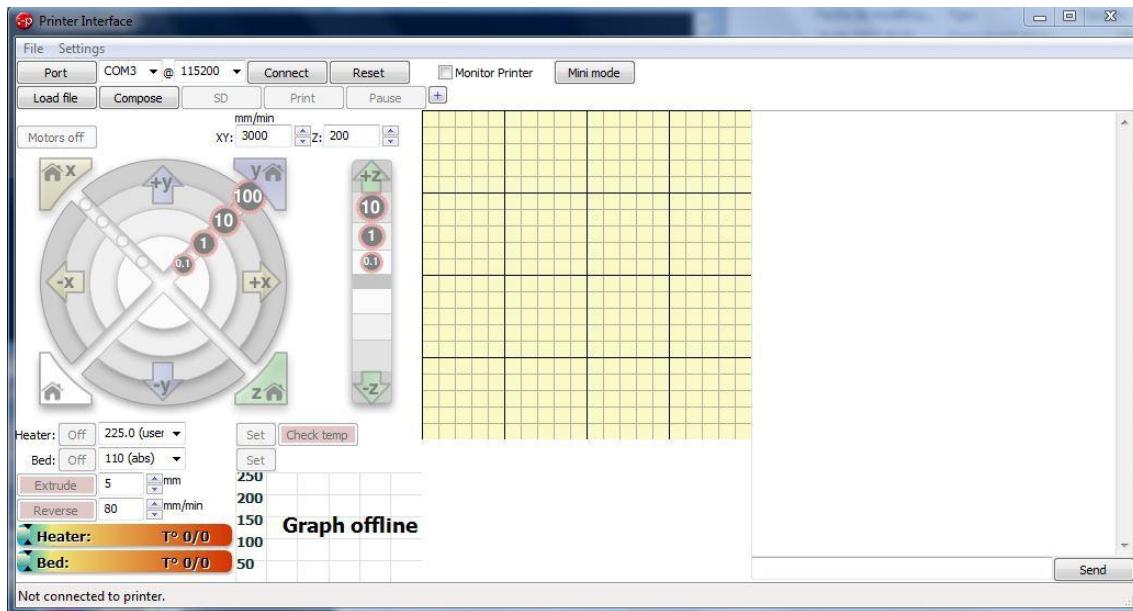


Figura 142. Software de control Pronterface

Se quiere insistir en que los otros dos programas de software se instalan de la misma manera, incluso más sencillo pues solo hay que arrancar el archivo ejecutable descargado.



3.5.3 Software de generación de Gcode

Estamos a un paso de poder comenzar a imprimir con nuestra impresora 3D. Sólo nos falta instalar uno de los dos posibles software que nos sirven para generar los archivos Gcode.

En este apartado se describirán esas dos posibilidades que tenemos y su instalación.

3.5.3.1 Posibilidades

Para generar el Gcode de un diseño 3D tenemos dos programas de software entre los que elegir: Skeinforge y Slic3r.

Por un lado, Skeinforge, que podemos descargar, la versión 41 que utiliza el autor, gratuitamente (por ser software libre) de la web [22], tiene muchos más parámetros que Slic3r, lo que hace que podamos lograr un calibrado mucho más fino de nuestras impresiones. Hay que tener en cuenta que el Gcode es el que determina cómo serán las capas, las velocidades de impresión, las temperaturas...en general todos los parámetros que utilizará el software de control para imprimir las piezas. Sin embargo, como ya se ha dejado claro en este proyecto, no se explicará en este documento cómo calibrar adecuadamente los parámetros del software para hacer una buena impresión (ver Trabajos futuros y Mejoras para más información).

Por su parte, Slic3r, que podemos descargar también gratis (por ser también software libre) de la web [23], al tener menos parámetros, es más sencillo de usar que Skeinforge, por lo que es más recomendado para un usuario principiante en este increíble mundo de la impresión 3D. Además, la última versión, aunque aún está en desarrollo y da algunos errores, incorpora una opción que permite al usuario imprimir varios objetos a la vez, no como una matriz de elementos iguales (lo cual ya permitían hacer las versiones anteriores y las versiones de Skeinforge), sino objetos diferentes en una misma impresión.

La opción escogida por el autor fue Skeinforge, por desconocimiento de la otra opción al construir su Prusa Mendel. Pero se recomienda, si el lector acaba de adentrarse en la impresión 3D, que comience con Slic3r y cuando adquiera experiencia se aventure a calibrar sus impresiones con Skienforge, que es más difícil de usar.

3.5.3.2 Instalación

Una vez hayamos descargado el software con el que vayamos a trabajar, de entre las dos opciones comentadas, debemos proceder a su instalación.

Como ya ocurría con el software de control, el software utilizado para generar el Gcode no requiere de un proceso de instalación. En el caso de Skeinforge, debemos copiar la carpeta descargada en el directorio donde guardamos el software de control. Una vez hecho esto, será desde el software de control desde donde podemos abrir Skeinforge para configurar sus parámetros a fin de alcanzar una calibración lo más fina posible.



Si se usa Pronterface, para abrir Skeinforge debemos hacer click en la pestaña “Settings/Slicing Settings” de la barra de herramientas de la parte superior. Al abrir Skeinforge veremos una ventana como la de la figura 143.

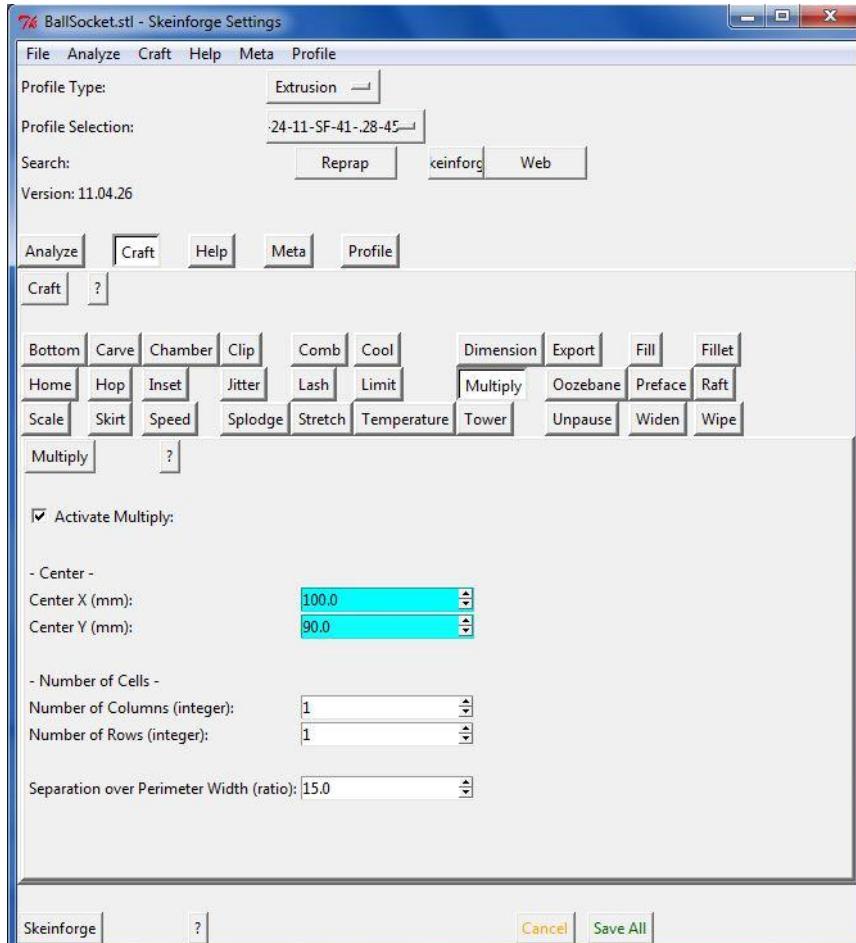


Figura 143. Ventana de calibración de los parámetros de Skeinforge

En el caso de optar por la opción de Slic3r, tampoco se necesita un proceso de instalación; pero en este caso tenemos dos opciones. Una es arrancar directamente el archivo ejecutable descargado, y ahí configurar los parámetros, cargar la pieza y generar el Gcode; o, podemos, gracias a las instrucciones que encontramos en el repositorio web [24], integrar Slic3r en el propio Pronterface para actuar de modo similar a si usáramos Skeinforge. El autor no puede aportar su experiencia propia por no haber trabajado nunca con el software Slic3r.



3.5.4 Primeras pruebas

Con toda la impresora 3D construida y los programas necesarios instalados y configurados debidamente, podemos comenzar a hacer nuestras primeras pruebas. Aunque no es el objetivo de este proyecto hacer una buena calibración y configuración de la impresora, se quiere destacar que los parámetros que inicialmente configuraremos, a no ser que los consigamos de otro usuario que este experimentado y tenga una impresora, del mismo modelo que la nuestra y con los mismos componentes (electrónica, hot-end, etc) y las mismas versiones de los mismos, en funcionamiento óptimo con esos parámetros, no nos permitirán imprimir las piezas que deseemos con la calidad que nos gustaría. Hay que ir haciendo sucesivas pruebas y en función de los resultados que vayamos obteniendo ir modificando unos parámetros u otros.

Para hacer una primera impresión se deben seguir los siguientes pasos; que se han elaborado para un caso en el que se utilice Skeinforge para generar los Gcode y Pronterface como programa de control de la impresora 3D.

- 1.- Encendemos el ordenador y no arrancamos aún ningún programa. Ya debemos tener el firmware cargado en el microcontrolador y el Skeinforge con unos parámetros adecuados para que la impresora imprima, podemos obtener información sobre Skeinforge en la web [25].
- 2.- Conectamos la fuente de alimentación a la placa electrónica (en la que deben estar conectados todos los componentes), y un terminal positivo de la fuente de alimentación a un terminal de la heated bed, da igual cual porque la heated bed no tiene polaridad. Aunque conviene, ya que va al terminal positivo de la fuente, que sea el cable rojo tenemos conectado a la heated bed; de manera que es el negro el que se conecta al terminal negativo o, en este caso, masa (GND) de la placa.
- 3.- Encendemos la fuente de alimentación.
- 4.- Conectamos el cable USB, a la electrónica y al ordenador.
- 5.- Arrancamos el Pronterface.
- 6.- Hacemos click en el icono “Conect” y vemos como, en la consola, aparece el mensaje que indica que la impresora está lista. Si esto no ocurriera, comprobar que el puerto USB seleccionado es en el que está conectada la impresora.
- 7.- Seleccionamos la opción “Monitor Printer”.
- 8.- Seleccionamos las temperaturas de trabajo para el hot-end y la heated bed y hacemos click en los iconos “Set” de cada una. Según la versión de Pronterface, en la consola o en una gráfica de la parte inferior nos irá dando la temperatura actual de ambos elementos.



9.- Hacemos click en “Load file” y abrimos, o bien un archivo ya en formato Gcode, o bien uno en formato stl; en cuyo caso, a través de Skeinforge, se generará previamente el Gcode. Vemos como una vez cargado el Gcode, la consola del programa nos informa de las dimensiones de la pieza y de su tiempo de impresión; mientras que en la ventana central aparece la propia pieza en dos dimensiones. Si hacemos click en esa ventana podemos ver el desarrollo capa a capa de la pieza.

9.- Alcanzadas las temperaturas hacemos click en el icono “Print”, y al cabo del tiempo determinado para la impresión de la pieza habremos conseguido imprimir el objeto seleccionado.

10.- Antes de quitar la pieza de la base se recomienda disminuir la temperatura de la heated bed hasta estar en torno a los 60/70 °C, para el caso de usar ABS, y una temperatura bastante inferior para PLA. De lo contrario, las piezas estarán demasiado pegadas, especialmente si son grandes, y tirar con fuerza puede hacer que dañemos la propia pieza o incluso algún elemento de las bases (la heated bed, los rodamientos, etc.).

Se recomienda usar un alicate, o herramienta de pinza no cortante, para ayudarnos a despegar las piezas; y, hacerlo sin aplicar demasiada fuerza. No se recomienda tratar de meter por debajo de la misma un cíuter u herramienta punzante, pues solo conseguiremos dañar el Kapton y la superficie que haya debajo de este; que, en caso de ser directamente la heated bed (si no estamos usando un espejo o cristal), podemos dañar las pistas del circuito impreso y, por tanto, dejar inservible la heated bed necesitando reemplazarla.

3.5.4.1 Resultados obtenidos

A continuación se dan muestras de los resultados obtenidos en las primeras impresiones, sin calibración; y, se contrastan con los obtenidos después, tras una buena calibración.

Primeramente, con suerte, obtendremos piezas cúbicas con la calidad de la que se muestra en la figura 144.



Figura 144. Primeras pruebas: Cubo (20 x 20 x 10 mm)



Las primeras piezas con caras circulares serán con una calidad como la que vemos en la figura 145.



Figura 145. Primeras pruebas: Cilíndro ($h = 3$ mm, $r = 10$ mm)

Y, por ejemplo, se obtendrán unas primeras poleas con una calidad como la que vemos en la figura 146.



Figura 146. Primeras pruebas: Polea

Si nos fijamos bien, el cubo no tiene exactamente una forma cúbica, ni mucho menos el cilindro la forma cilíndrica; sobre todo hay deformaciones en sus caras circulares. Esto es porque lo primero que debemos configurar es, en el firmware, que los ejes se muevan exactamente la distancia que nosotros le mandamos y que el motor del extrusor impulse la cantidad de plástico que nosotros le indicamos.

También vemos como, tanto el cubo como el cilindro, no están bien llenos, porque además la capa superior está incompleta; o vemos como, pese a estar ya mejorada, la polea tampoco está del todo bien, las capas están un poco separadas, se nota mucho donde empieza cada capa porque hay varios milímetros que no están impresos en ese inicio de cada capa, etc. Esto es porque en el Skeinforge, o programa de generación de Gcode que utilicemos, hay que ajustar mejor algunos parámetros como: la velocidad de los ejes, la velocidad de extrusión, la altura de las capas, la temperatura, la retracción (distancia que el extrusor echa para atrás el cable en los momentos en los que el extrusor debe moverse sin extruir plástico, para que no queden hilos de cable por todos sitios que caen por la propia inercia mientras el extrusor hace ese movimiento sin extruir), etc.

Sin embargo, poco a poco iremos mejorando los parámetros de configuración e iremos consiguiendo una buena calibración. Entonces el lector comenzará ya a ser todo un experto y será capaz de llegar a obtener piezas con una calidad tan buena, o incluso mejor, que la que podemos ver en las imágenes de la figura 147, de la figura 148 o de la figura 149, por poner algunos ejemplos.



Figura 147. Primeras pruebas: Polea tras calibrar la impresora

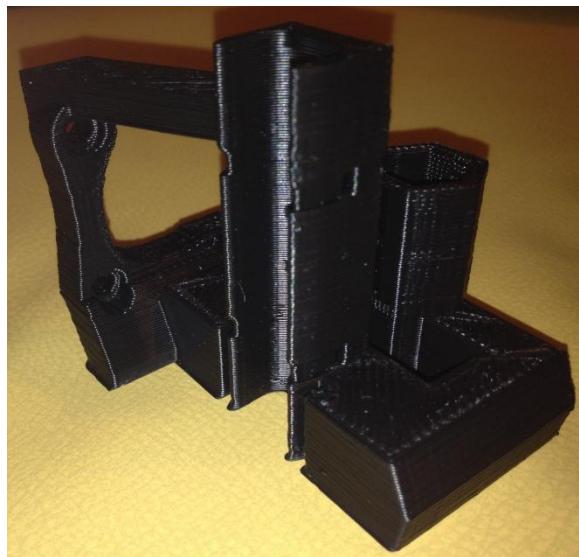


Figura 148. Primeras pruebas: Pieza de ejemplo de gran tamaño tras calibración



Figura 149. Primeras pruebas: Esfera hueca que precisa una muy buena calibración



Además de esto, y aunque la esfera hueca de la figura 149 sea la pieza que más calibración requiere de las mostradas en este proyecto, si hacemos una buena calibración podemos llegar a hacer objetos formados por piezas, que se encajan unas con otras, como el muñeco, que representa al personaje “Bender” de la serie de dibujos animados “Futurama”, que se muestra en la figura 150.



Figura 150. Primeras pruebas: Muñeco de piezas encajadas, conseguido al afinar la calibración

Los objetos tridimensionales de las figuras 147, 148, 149 y 150 han sido impresos con la impresora 3D modelo Prusa Mendel, Mardan, del autor.



4 Proveedores y Presupuesto



4.1 Presupuesto y proveedores

Este apartado del proyecto servirá para que el lector tenga referencias acerca de dónde encontrar todos los materiales necesarios para poder construirse su impresora 3D y el presupuesto estimado para la misma.

Podríamos hacer muchos presupuestos y todos ellos diferentes, en función de dónde comprásemos cada componente, y con este apartado se pretende que no se cometan los errores que cometió el autor por falta de experiencia y desconocimiento de proveedores.

Así pues, antes de elaborar un presupuesto, en cantidades y precios de los componentes, se van a describir los principales proveedores, que son conocidos hasta la fecha por el autor, y qué materiales nos aporta cada uno. Dado que lo único que el autor ha encontrado en España son los componentes de ferretería, y cada cual puede tener su ferretería de confianza cerca de casa, en este proyecto se darán las características de los proveedores extranjeros, los cuales venden a través de internet.

4.1.1 Proveedores

Comenzaremos con los proveedores que nos venden desde Europa y, por tanto, por cuyos envíos no pagaremos gastos de aduanas.

El principal proveedor, el que más artículos ofrece y a un precio generalmente más barato que sus competidores, es Reprap World; que tiene su tienda on-line en la web [10]. En esta tienda podremos encontrar prácticamente todos los componentes necesarios para hacer nuestra impresora, desde cables, hasta plástico, pasando por todos los componentes electrónicos necesarios; los motores, los finales de carrera, el material de ferretería, rodamientos, piezas impresas, etc. Además se ofertan varios lotes o se hacen descuentos por cantidades.

A pesar de lo comentado sobre Reprap World, también tiene sus inconvenientes, como por ejemplo que los motores que venden, aunque es la tienda donde más baratos podemos encontrarlos (siempre que no demos con una tienda en china que los tengan más baratos o una oferta aislada de un vendedor de ebay) vienen con los cables de conexión excesivamente cortos, por lo que pueden requerir empalmes; además no te los venden con los conectores para la conexión con la placa electrónica, sino que tendremos que comprarlos a parte y en otra tienda porque ellos no los venden. En cuanto a la electrónica, los drivers para los motores, Pololus, que vende este proveedor son copias llamadas Stepstick, que son más baratas y deben funcionar igual que los Pololus pero que dan menos fiabilidad.

El material de ferretería, tornillos, tuercas, arandelas, etc. Es más caro que si lo compramos en una ferretería por lo que se desaconseja su adquisición a través de este proveedor; además de que el hobbed bolt no está disponible en esta tienda. Sin embargo, en cuanto a rodamientos, es el sitio más barato, con diferencia, y en cuanto al hot-en, han sacado a la venta un modelo propio muy barato, pero del que aún no puedo hablar de fiabilidad por falta de pruebas.



En resumen, es un lugar muy bueno y aconsejable para comprar, salvando el hobbed bolt, y algunos componentes como el tubo helicoidal, bridas, pegamento o muelles, tienen todo lo que necesitamos y en general sus precios son más baratos que los de sus competidores.

Reprap tiene otras tiendas on-line como son Reprap Source, en la web [26]; Reprap Barcelona, en la web [27]; pero, sus productos son más caros que los que venden en Reprap World, y tienen menos variedad, especialmente en Reprap Barcelona, que es la más nueva de las tres.

Otro proveedor importante es XYZ Printers, que tiene su tienda on-line en la web [28], es otro proveedor que tiene todos los componentes que necesitamos para hacer nuestra impresora, salvando en este caso el pegamento, bridas, tubo helicoidal y puntas para los cables, que no dejan de ser elementos de muy fácil adquisición a través de una tienda local de nuestra localidad.

XYZ Printers es más caro que Reprap World en cuanto a componentes individuales, si bien es cierto que ofrece kits de material electrónico, o de material de ferretería que pueden resultar atractivos. Además ofrece dos modelos de hot-end, el Arcol v4 y el J-Head Mk IV.

Tiene la ventaja de que es el proveedor que más rápido saca a la venta nuevas actualizaciones de los componentes, como ejemplo tenemos que fue el primero en incorporar a su catálogo las correas dentadas T2.5, que son más precisas que las T5, pues su distancia entre dientes es la mitad de grande (aunque ya están también disponibles en Reprap World). También incorporaron rápidamente modelos de hobbed bolt, y modelos de poleas, para mover las correas dentadas, metálicas, lo que hace que, a diferencia de las de plástico, desaparezca el backlash; que es la distancia que debe moverse el eje del motor, al cambiar el sentido del movimiento del eje (X o Y) en cuestión, antes de que la correa del mismo empiece a moverse.

Tiene otras ventajas como que todos los componentes electrónicos son originales, no son copias, como nos pasaba en Reprap World con los Stepstick; o, que los motores tienen cableado largo, de hecho tienes que quitar sobrantes de cable al colocar los motores, e incluyan sus respectivos conectores.

Sin embargo, su principal desventaja es el precio. Los motores y electrónica (en componentes individuales) son más caros que en Reprap World, su hobbed bolt y el hot-end de arcol son más caros que el hobbed bolt y el hot-end que vende Arcol, y los componentes de ferretería son más caros que en una ferretería.

Otra tienda on-line es la de Arcol, en cuya web [29], encontramos muy pocos componentes, pero tiene la ventaja de su modelo de hot-end, actualmente el Arcol v4 es más barato que en otras tiendas como XYZ Printers, su vendedor es una persona realmente amable que, siempre que tienes alguna duda acerca de la impresora y los componentes que comprar, etc., te la resuelve sin ningún tipo de problema o compromiso de compra; y, tiene los precios para gatos de envío más bajos que he encontrado. Sin embargo, tiene poca variedad y precisamente su modelo de hot-end, el arcol v4, o incluso el v3, son los menos recomendados por el autor.



Por supuesto, podemos encontrar los componentes para nuestra impresora a través de Ebay, aunque yo solo recomiendo esta opción para comprar componentes aislados que, en momentos concretos, encontraremos realmente a buen precio; ya que si pretendemos adquirir todo de Ebay, rara vez encontraremos descuentos por cantidad y los gastos de envío pueden multiplicarse si vamos comprando cada componente, o pocos componentes, a diferentes vendedores.

Proveedores que no vendan desde Europa tenemos, dos americanos, Ultimachine y LulzBot, y varios proveedores chinos que podemos encontrar en internet entre los que cabe destacar a Deal Extreme o Good Luck Buy.

Comenzaremos con Ultimachine, vendedor americano que tiene en su web [30] muchos de los componentes que necesitamos para nuestra impresora 3D.

Sus precios, pese a que con el cambio de Dólar a Euro los compradores europeos salimos ganando, son más altos que los de proveedores que ya hemos comentado como Reprap World. Su principal ventaja es que tiene una amplia variedad de productos y que sus gastos de envío suelen tener opciones más baratas que Reprap World o XYZ Printers; pero tiene las desventajas de que sus precios son altos y de que sus envíos llevan un cargo a nuestra compra por pasar las aduanas.

Otro proveedor americano es Lulzbot, tiene su tienda on-line en la web [8]. Es un proveedor importante porque, hasta ahora es el único que el autor conoce que suministre el hot-end modelo Budaschnozle. Hot-end, que como el resto de componentes que tiene Lulzbot, lo vende a un precio elevado, pero que, de los que más se han probado, es sin duda el que mejor resultado ha dado, en cuanto a durabilidad y calidad de las impresiones.

Sin embargo el resto de componentes que podemos ver en Lulzbot, aparte de que la variedad brilla por su ausencia, son más caros incluso que los de Ultimachine o XYZ Printers. Además sus envíos tienen gastos bastante elevados y sufren el cargo adicional de las aduanas.

En cuanto a proveedores chinos, cabe destacar Deal Extreme, cuya web es [31]; y, Good Luck Buy, cuya web es [32]. Ambos vendedores solo tienen productos electrónicos, pero sus precios son muy atractivos; lo cual, en algunos casos se debe a que no son productos originales sino copias, que en teoría dan el mismo funcionamiento, pero que pierden fiabilidad.

Nuevamente, al estar fuera de Europa cuentan con la desventaja de que, pese a tener gastos de envío a veces incluso nulos, tienen el cargo aduanero correspondiente.



4.1.2 Presupuesto Básico

Conocidos estos proveedores y recordando al lector, que le material de ferretería es preferible comprarlo en tiendas locales, a continuación se elaborará un presupuesto acorde a los componentes que tiene la impresora del autor y comprando los mismos en los lugares recomendados por el propio autor. Aun así, como en muchos de los componentes el lector tendrá varias opciones entre las que elegir, este presupuesto puede variar notablemente. Además de que puede variar también si se prefiere buscar ofertas que, en un momento dado, puedan resultar más atractivas, ofertas puntuales de vendedores de Ebay o si, incluso, se van encontrando proveedores y tiendas nuevas.

El presupuesto describe cada artículo, donde está comprado, la cantidad que se compra del mismo, su precio unitario y el precio total en función de la cantidad. Además se estiman los gastos de envío que se tendrían que tener en cuenta para los proveedores y componentes seleccionados.

En la tabla 7 se desglosa pues un presupuesto detallado, dividido en varios capítulos que abarcan los tipos de componentes que componen la impresora, para poder construir nuestro modelo básico de una Prusa Mendel.

Unidad	Descripción	Proveedor / Tienda	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Capítulo 1: Piezas					
Unidad	Juego de piezas para Prusa Mendel + Wade Extruder	Ebay	1		
				50,00	50,00
Subtotal Capítulo 1.....					50,00 €
Capítulo 2: Componentes de Ferretería					
Metro	Varilla roscada de M8	Ferretería Hermanos Carrillo, S.A. (Torrijos)	5	0,80	4,00
Metro	Varilla maciza acero inox de M8	Novoinox http://www.novoinox.com/	3	3,66	10,98
Unidad	Tuerca M8	Ferretería Hermanos Carrillo, S.A. (Torrijos)	100	0,03	3,00
Unidad	Arandela M8	Ferretería Hermanos Carrillo, S.A. (Torrijos)	100	0,02	2,00
Unidad	Tornillos M3x10	Ferretería Fraga (Fuensalida)	30	0,03	0,90
Unidad	Tornillos M3x25	Ferretería Fraga (Fuensalida)	40	0,02	1,20
Unidad	Tornillos M3x40	Ferretería Fraga (Fuensalida)	5	0,05	0,25
Unidad	Tuerca M3	Ferretería Fraga (Fuensalida)	100	0,02	2,00
Unidad	Arandelas M3	Ferretería Fraga (Fuensalida)	100	0,02	2,00
Unidad	Tornillos M4x50	Ferretería Fraga (Fuensalida)	4	0,08	0,32
Unidad	Tuerca M4	Ferretería Fraga (Fuensalida)	4	0,03	0,12
Unidad	Tuerca de mariposa M4	Ferretería Fraga (Fuensalida)	4	0,10	0,40
Unidad	Arandelas M4	Ferretería Fraga (Fuensalida)	4	0,02	0,08
Unidad	Muelles diámetro de 8 mm	Ferretería Fraga (Fuensalida)	2	0,80	1,60



Unidad	Descripción	Proveedor / Tienda	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Unidad	Muelles diámetro de 3 mm	Ferretería Fraga (Fuensalida)	8	0,75	6,00
Unidad	Hobbed Bolt	Arcol	1	5,00	5,00
Subtotal Capítulo 2.....					39,85 €
Capítulo 3: Componentes electrónicos					
Unidad	Arduino Mega 2560	XYZ Printers	1	52,99	52,99
Unidad	Ramps v1.2 (fully assembly)	Reprap World	1	37,80	37,80
Unidad	Disipador para mosfet de la heated bed	Electrónica Jupi, S.L. (Leganés)	1	0,50	0,50
Unidad	Cable USB type A to type B; 1,8 m	XYZ Printers	1	1,98	1,98
Kit	Juego de 3 finales de carrera	XYZ Printers	1	7,98	7,98
Metro	Cable de 0,25 mm ² negro	ABM-Rexel, S.A. (Toledo)	1	0,50	0,50
Metro	Cable de 0,25 mm ² blanco	ABM-Rexel, S.A. (Toledo)	1	0,50	0,50
Metro	Cable de 0,75 mm ² rojo	ABM-Rexel, S.A. (Toledo)	1	0,75	0,75
Metro	Cable de 0,75 mm ² negro	ABM-Rexel, S.A. (Toledo)	1	0,75	0,75
Unidad	Fuente de alimentación de 500 W	Efecto 2000 (Madrid Xanadú)	1	17,00	17,00
Kit	Juego de 5 conectores para los motores	XYZ Printers	1	2,49	2,49
Bolsa de 100 ud.	Puntas para conexiones para cables de 0,5 mm ²	ABM-Rexel, S.A. (Toledo)	1	0,01	1,00
Bolsa de 100 ud.	Puntas para conexiones para cables de 1 mm ²	ABM-Rexel, S.A. (Toledo)	1	0,01	1,00
Metro	Tubo helicoidal	ABM-Rexel, S.A. (Toledo)	1,5	1,00	1,50
Tiras de 10 ud.	Clemas	ABM-Rexel, S.A. (Toledo)	2	1,50	3,00
Unidad	Termistor de 200 KΩ	Arcol	2	2,00	4,00
Subtotal Capítulo 3.....					133,74 €
Capítulo 4: Extrusor y Heated bed					
Unidad	Budasschnozzle 1.1	Lulzbot	1	71,21	71,21
Unidad	Heated Bed MK1, con resistencia smd de 1 KΩ y dos leds smd	Reprap World	1	24,99	24,99
Unidad	Base de Aluminio de 225x225x3 mm	Carpintería de Aluminio Romoli, S.L. (Torrijos)	1	2,00	2,00
Unidad	Base de Madera de 140x225x3 mm	Carpintería Lillo, S.L. (Torrijos)	1	0,50	0,50
Unidad	Cristal 200x200x2 mm	Ikea (Parque Oeste, Alcorcón)	1	1,50	1,50
Unidad	Rollo de cinta de Kapton de 100 mm/33 m	Reprap World	1	19,03	19,03
Subtotal Capítulo 4.....					119,23 €



Unidad	Descripción	Proveedor / Tienda	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Capítulo 5: Motores					
Unidad	Motor Nema 17	Reprap World	1	12,50	12,50
Kit	Juego de 4 motores Nema 17	Reprap World	1	45,00	45,00
Subtotal Capítulo 5.....					57,50 €
Capítulo 6: Otros					
Unidad	Juego de correas dentadas	Reprap World	1	5,88	5,88
Unidad	Rodamientos 608zz	Reprap World	6	0,25	1,50
Bolsa de 100 ud.	Bridas	ABM-Rexel, S.A. (Toledo)	1	2,00	2,00
Subtotal Capítulo 6.....					9,38 €
Capítulo 7: Gastos de envío y aduanas					
Pedido	Gastos de envío	RepRap World	1	15,00	20,00
Pedido	Gastos de envío	Arcol	1	3,50	3,50
Pedido	Gastos de envío	Lulzbot	1	35,00	35,00
Pedido	Gastos de envío	Novoinox	1	12,00	12,00
Pedido	Gastos de envío	Ebay	1	6,00	6,00
Pedido	Gastos de envío	XYZ Printers	1	12,00	12,00
Pedido	Aduanas	Lulzbot	1	30,00	30,00
Subtotal Capítulo 7.....					113,50 €
Total.....					528,20 €

Tabla 7. Presupuesto básico

El lector podrá observar que hay una gran variedad de tiendas en las que adquirir los diferentes componentes, gracias a lo cual cada uno podrá manejar este presupuesto base y modificarlo, jugando entre las diferentes tiendas e incluso haciendo pedidos en grupo con más personas cercanas que quieran construir también su propia impresora, a fin de abaratar dicho presupuesto.

4.1.3 Presupuesto con Mejoras

Se va a desarrollar otro segundo presupuesto, en el que sólo se añadirán los componentes necesarios para las mejoras implementadas ya en este proyecto y a implementar en proyectos futuros (ver Trabajos futuros y Mejoras para más información).

Para hacer las mejoras se necesitarían ciertas piezas de plástico para reemplazar las antiguas (ver Trabajos futuros y Mejoras para más información), pero a efectos de este presupuesto se supondrá que en el pack que compramos en el presupuesto anterior ya van incluidas estas piezas aptas para desarrollar las mejoras. Al igual que no consideraremos de nuevo gastos de envío, pues el pedido de estas piezas extra se podría añadir a los pedidos anteriores.

Teniendo en cuenta las consideraciones comentadas, en la tabla 8 se desglosa un presupuesto detallado de los componentes necesarios para realizar las mejoras.



Unidad	Descripción	Proveedor / Tienda	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Capítulo 8: Mejoras					
Unidad	Rodamientos 608 zz	Reprap World	2	0,25	0,50
Pack de 2 ud.	Rodamientos lineales LM8UU	Reprap World	6	2,37	14,22
Unidad	Z motor coupling	Reprap World	2	4,75	9,50
Unidad	Ventilador 80x80 mm	Efecto 2000 (Madrid Xanadú)	1	3,50	3,50
Subtotal Capítulo 8.....					27,72 €
Total (Básico + Mejoras).....					555,92 €

Tabla 8. Presupuesto con mejoras

Luego, podemos concluir nuestro presupuesto viendo que, añadiendo las mejoras a nuestra Prusa Mendel, asciende a un total de “QUINIENTOS CINCUENTA Y CINCO EUROS CON NOVENTA Y DOS CÉNTIMOS”.

Se quiere insistir una vez más en que este presupuesto puede reducirse si concentrarmos los pedidos en menos tiendas. Con este presupuesto se pretende demostrar como disponemos de varios proveedores a los que podemos comprarles los componentes. También puede abaratarse haciendo pedidos en grupo con otras personas que pudieran querer hacer una impresora 3D con nosotros. Además hay componentes que tal vez no tengamos que comprar, como es el caso de las piezas (tal vez nos la pueda hacer alguien que tenga ya una impresora 3D), o cierto material que pudiéramos tener ya, como tornillos, tuercas, arandelas, etc. O incluso, componentes que podamos reutilizar, como la fuente de alimentación de un ordenador (siempre que cumpla los requisitos), o fabricar nosotros mismo; en internet hay tutoriales sobre cómo hacer tu propio hobbed bolt, en la web [33] tenemos varios ejemplos donde se incluyen videos dónde se muestra cómo hacerlo.

También se recomienda al lector estar atento a ofertas puntuales que salgan en Ebay para adquirir algunos de estos componentes por un menor precio y seguir así disminuyendo el presupuesto básico aquí aportado.

4.1.4 Comparación de precios de los elementos principales entre proveedores

En este último sub-apartado del presupuesto se quiere exponer una comparación de los precios de los elementos más importantes entre los principales proveedores que se expusieron con anterioridad en este proyecto; por lo que las comparaciones serán entre los proveedores europeos Reprap World y XYZ Printers.

En las siguientes tablas, en las que se harán las comparaciones, se dará el nombre del artículo y, en función del proveedor, un comentario/descripción acerca del artículo y el precio del mismo.



4.1.4.1 Kits de electrónica con Sanguinololu

Descripción	Reprap World			XYZ Printers		
	Comentarios	Enlace directo	Precio	Comentarios	Enlace directo	Precio
Kit Sanguinololu 1.3a	Requiere soldadura + 4 Stepstick + 4 disipadores para los Stepstick	http://reprapworld.com/?products_details&products_id=120&cPath=1591_1617	71,42 €	Requiere soldadura + 3 finales de carrera + 4 Pololus	http://xyzprinters.com/sanguinololu/124-complete-kit.html	94,49 €
Sanguinololu 1.3a Full	Todo Soldado + 4 Stepsitck + 4 disipadores para los Stepstick	http://reprapworld.com/?products_details&products_id=158&cPath=1591_1617	79,99 €	Requiere soldadura + 3 finales de carrera + 4 Pololus + 5 motores	http://xyzprinters.com/electronics/148-prusa-make-it-red-kit.html	170,99 €

Tabla 9. Comparación de precios: Kits electrónica con Sanguinololu

4.1.4.2 Kits de electrónica con Arduino + Ramps

Descripción	Reprap World			XYZ Printers		
	Comentarios	Enlace directo	Precio	Comentarios	Enlace directo	Precio
Arduino 2560					http://xyzprinters.com/electronics/56-arduino-mega-2560.html	52,99 €
Kit Ramps v1.2	Todo Soldado + 4 Stepsitck	http://reprapworld.com/?products_details&products_id=1691_1593	37,80 €			
Kit Ramps v1.3				Requiere soldadura + 3 finales de carrera + 4 Pololus	http://xyzprinters.com/electronics/134-ramps-complete-kit-13.html	81,99 €



Kit Ramps v1.3 FULL			Requiere soldadura + Arduino Mega 2560 + 3 finales de carrera + 4 Pololus + 5 motores + cable USB	http://xyzprinters.com/electronics/136-prusa-all-you-need-electronics-kit.html	216,99 €
Kit Ramps v1.4 FULL	Requiere soldadura + Arduino Atmega 1280 + 3 finales de carrera ópticos (no recomendados) + 4 Stepinck + 4 disipadores para los Stepinck + 5 motores + cable UUSB	http://reprapworld.com/?products_details&products_id=153&cPath=1591_1609	169,99 €		
Kit Ramps v1.4 FULL assembly	Todo Soldado + Arduino Atmega 1280 + 3 finales de carrera + 4 Stepinck + 4 disipadores para los Stepinck + 5 motores + cable USB	http://reprapworld.com/?products_details&products_id=140&cPath=1591_1606	190,99 €		

Tabla 10. Comparación de precios: Kits electrónica con Arduino + Ramps

4.1.4.3 Base caliente (heated bed)

Descripción	Reprap World			XYZ Printers		
	Comentarios	Enlace directo	Precio	Comentarios	Enlace directo	Precio
Heated bed MK1	+ 2 Led's smd + 1 resistencia de 1 KΩ	http://reprapworld.com/?products_details&products_id=121&cPath=1591_1618	24,99 €			
Heated bed MK2					http://xyzprinters.com/printbed/153-heated-printbed.html	29,99 €

Tabla 11. Comparación de precios: Heated Bed



4.1.4.4 Motores paso a paso NEMA 17

Descripción	Reprap World			XYZ Printers		
	Comentarios	Enlace directo	Precio	Comentarios	Enlace directo	Precio
Motor paso a paso NEMA 17	3,1 V/2,5 A 47,1 N·cm	http://reprapworld.com/?products_details&products_id=94&cPath=1614	12,50 €	49,05 N·cm	http://xyzprinters.com/electronics/89-stepper-motor.html	16,49 €
Kit 4 motores paso a paso NEMA 17	3,1 V/2,5 A 47,1 N·cm	http://reprapworld.com/?products_details&products_id=95&cPath=1614	45,00 €			

Tabla 12. Comparación de precios: Motores paso a paso NEMA 17

4.1.4.5 Correas dentadas

Descripción	Reprap World			XYZ Printers		
	Comentarios	Enlace directo	Precio	Comentarios	Enlace directo	Precio
Correa T5 840 mm					http://xyzprinters.com/belts/58-t5-timing-belt-840mm.html	6,75 €
Correa T5 1380 mm					http://xyzprinters.com/belts/59-t5-timing-belt-1380mm.html	12,00 €
Prusa Mendel Kit (T5)	1 de 900 mm + 1 de 840 mm	http://reprapworld.com/?products_details&products_id=76&cPath=1595_1611	5,88 €	1 de 1380 mm + 1 de 840 mm	http://xyzprinters.com/belts/111-prusa-long-belt-kit.html	15,99 €
Correas de T2.5	1 de 1000 mm	http://reprapworld.com/?products_details&products_id=175&cPath=1595_1611	3,50 €	1 de 840 mm + 1 de 920 mm	http://xyzprinters.com/belts/157-prusa-t25-optimized-belt-kit.html	21,99 €

Tabla 13. Comparación de precios: Correas dentadas



4.1.4.6 Rodamientos

Descripción	Reprap World			XYZ Printers		
	Comentarios	Enlace directo	Precio	Comentarios	Enlace directo	Precio
Modelo 608zz		http://reprapworld.com/?products_details&products_id=24&cPath=1595_1596	0,25 €		http://xyzprinters.com/metal/s/57-608zz-bearing.html	1,18 €
Rodamiento lineal modelo LM8UU	2 unidades	http://reprapworld.com/?products_details&products_id=151&cPath=1595_1596	1,99 €		http://xyzprinters.com/metal/s/128-linear-bearing-lm8uu.html	2,49 €
Kit rodamientos lineales LM8UU				12 unidades	http://xyzprinters.com/metal/s/154-linear-bearing-kit.html	19,99 €

Tabla 14. Comparación de precios: Rodamientos

4.1.4.7 Hot-end

Descripción	Reprap World			XYZ Printers		
	Comentarios	Enlace directo	Precio	Comentarios	Enlace directo	Precio
Arcol v4				Completo NO recomendado	http://xyzprinters.com/extruders-hot-ends/164-wade-and-arcol-kit-with-hydra.html	98,00 €
J-Head Mk IV-B				Completo Bastante bueno	http://xyzprinters.com/173-j-head-mk-iv-b-05mm.html	50,00 €
Extruder set 3mm v5				Completo Ha dado fallos	http://reprapworld.com/?products_details&products_id=164&cPath=1595_1616	34,99 €

Tabla 15. Comparación de precios: Hot-end

No se ha añadido el modelo budaschnozzle, porque solo está disponible en el proveedor Lulzbot, en el enlace directo [9], por 71 €; aunque es el más recomendado de usar. Ni tampoco el modelo arcol v4, como oferta del propio proveedor Arcol, en el enlace directo [34], por 69 €; porque además es el menos recomendado de usar, pues ha dado muchos problemas.



5 Conclusiones



5.1 Por qué se ha cumplido la motivación

Puedo decir que he cumplido mi motivación, porque:

- He conseguido construirme una máquina, Open Source, que es capaz de imprimir en tres dimensiones los diseños que hago o descargo de internet.
- Me he introducido en el mundo de las impresoras 3D, y formo parte del Proyecto Clone Wars del que se habló en el apartado del Estado del Arte, pudiendo a su vez decir que formo parte del Proyecto Reprap; además, me ha servido para ampliar mis conocimientos, no solo en el ámbito general de las impresoras 3D, sino que también he aprendido mucho sobre electrónica (sobre los motores paso a paso, sobre los transistores, etc.).
- También he satisfecho mi idea de hacer negocio con la impresora y he conseguido vender piezas que imprimo con mi Prusa Mendel a través de Ebay. Esto, además de ser una satisfacción personal, me ha ayudado a recuperar el dinero invertido en la construcción de la impresora.

Por lo expuesto, puedo volver a insistir en que mi motivación se ha cumplido por completo.



5.2 Por qué estoy en el Proyecto Reprap

Puedo decir que formo parte del Proyecto Reprap, porque, aunque directamente no he participado en el diseño de nuevos modelos de impresora, etc., como ya dije estoy en el Proyecto Clone Wars y desde el mismo se está trabajando en el diseño y desarrollo de heated bed caseras, se está intentado crear un hot-end diseñado por la gente del grupo (trabajo iniciado y fomentado por César Augusto Fernández, uno de los miembros de más peso en Clone Wars a día de hoy) y, como un miembro más del Proyecto, hago mis aportaciones de ideas e intento colaborar en lo que me es posible.

Al hacer este tipo de aportaciones y diseños, estoy seguro de poder afirmar que poco a poco nos vamos integrando en el Proyecto Reprap, pues no debemos olvidar que su filosofía Open Source busca precisamente esto, que personas de cualquier lugar del mundo cojan sus modelos, sus diseños, los desarrollos, los personalicen, los mejoren, etc., a fin de que la evolución de las impresoras 3D sea lo más rápida posible y se pueda alcanzar, cuanto antes, los objetivos marcados para el Proyecto; por un lado, conseguir una máquina plenamente auto-replicable y, por otro lado, conseguir que haya una impresora 3D en cada casa, en cada centro educativo y en cada fábrica.



5.3 Por qué se han cumplido los objetivos

Los objetivos del proyecto se han cumplido:

- He conseguido construir mi propia impresora 3D Open Source, modelo Prusa Mendel.
- Se ha instruido al lector para que sea capaz de ensamblar también una Prusa Mendel.
- Se han dado múltiples posibilidades, en los ámbitos en los que existían, con la finalidad de que el lector pueda personalizar su impresora 3D, modelo Prusa Mendel.
- Se ha expuesto información sobre la electrónica a utilizar en la impresora, explicando conceptos de funcionamiento de los principales elementos electrónicos, dando también en todo momento varias alternativas a cerca de la electrónica que se puede utilizar el montaje de una impresora 3D, modelo Prusa Mendel.
- Se han dado consejos al lector sobre precauciones a tener en cuenta para evitar errores, y para cómo solucionar estos, si se han producido.
- Y, se ha realizado un presupuesto estimativo de lo que costaría construir una impresora 3D Prusa Mendel, dando además una descripción previa de los principales proveedores conocidos, por el autor, entre los que se puede elegir para adquirir los diferentes componentes que necesitamos para el montaje de la impresora 3D.

Puedo decir también que no solo se han cumplido los objetivos establecidos al comienzo de este proyecto, sino que además:

- Aunque aquí se ha dejado cómo un trabajo futuro, el autor ha conseguido un calibrado fino de su impresora que, hasta la fecha le ha permitido crear diez juegos de piezas para replicar más impresoras, nueve de Prusa Mendel Iteración 2 y una de Printrbot, con métrica americana; todas ellos con su extrusor modelo Greg's Accessible Extruder, cuyas piezas en formato stl podemos descargar de Thingiverse [35], y de la página de la Prusa Mendel Iteración 2 que se encuentra en la web de Clone Wars [36].
- Se han expuestos las instrucciones a seguir para hacer una primera impresión, y se ha mostrado la diferencia de calidad de las piezas que la máquina es capaz de imprimir cuando está sin calibrar y cuando está calibrada.
- Se han realizado las mejoras descritas en el anexo al proyecto: Trabajos futuros y Mejoras/Mejoras Realizadas.
- Se ha añadido un anexo al proyecto para dar a conocer al lector información sobre la vida útil de la impresora, las piezas que son más delicadas y/o duran menos y algunos consejos de uso que harán alargar la durabilidad a pleno rendimiento de la impresora.
- Y, se han añadido unas tablas de comparación de precios por componente y proveedor, en el apartado Proveedores y Presupuesto, para que se pueda estudiar con mayor facilidad dónde adquirir cada componente.



- Con esto, se ha logrado también que este proyecto, aunque está basado en el modelo original de la Prusa Mendel, se pueda aplicar también para otros modelos de impresoras 3D Open Source, especialmente para otros modelos de Prusa Mendel.



6 Anexo: Análisis de funcionamiento



6.1 Vida útil, piezas delicadas y consejos de uso

En este anexo se quiere dar una serie de información con la finalidad de que el lector conozca detalles de la vida útil de la máquina en general, que tenga en cuenta cuáles son las piezas con las que más cuidado debe tener y dar algunos consejos de uso que pueden ser de gran importancia.

6.1.1 Vida útil

Personalmente, llevo más de 200 horas de impresión, estando a veces hasta 8 o 10 horas seguidas imprimiendo y hasta ahora no se me ha estropeado ninguna pieza de la impresora.

El único elemento que hasta ahora me ha dado problemas ha sido el hot-end, primero tuve el modelo de Arcol v3, y se me obstruyó de manera considerable hasta el punto de no poder arreglarlo. Este extrusor tiene un error de diseño, pues el conducto por el que se mueve el filamento es más ancho que este y propicia, por tanto, que cuando llega a la parte metálica el filamento se vaya quedando pegado a las paredes, formando una pasta, con forma de embudo, que hace que al final se obstruya. Además tiene la punta terminada en un estrecho y corto conducto, que, al ser de aluminio y estar a 230 °C, cuando retiramos con un alicate, o cualquier otra herramienta de pinza, el sobrante de filamento para iniciar una impresión, esta punta se deforma y, por tanto, el orificio, que inicialmente es de 0.5 mm, se va cerrando.

Cuando esto ocurrió cambie el hot-end por el Budaschnozzle 1.1, y después de unas 200 horas de impresión también parece haberse obstruido.

Sin embargo, las piezas de plástico que forman la impresora, la electrónica, etc., salvo por el mosfet que da servicio a la heated bed que se me quemó al no saber que debía ponerle un disipador, no me han dado ningún tipo de problema. Ya que el otro problema que tuve, de conectar accidentalmente el terminal positivo de la fuente de alimentación en el negativo de la placa electrónica y viceversa, el negativo de la fuente en el positivo de la placa, fue provocado por mí, accidentalmente, y es verdad que hizo que un Pololu quedará inservible y hubiera que sustituirlo.

6.1.2 Piezas delicadas

Como ya se habrá podido deducir, la pieza más delicada de toda la máquina es el hot-end. Es el elemento que más se ha estropeado, no solo en la impresora del autor, sino también en la de otros usuarios que, como los del Proyecto Clone Wars, lo comentan en diversos blogs.

Por otro lado, el autor tiene constancia de que hay piezas, como los engranajes del extrusor o las poleas, que son piezas críticas que a varios usuarios les han dado problemas, ya sea por backlash, en el caso de las poleas; o, por llegar a destruirse en mitad de una impresión, tanto por parte de las poleas como por parte de los engranajes comentados. Es por eso que se recomienda al lector que una vez tenga montada y calibrada su impresora 3D, lo primero que haga sea imprimirse un repuesto tanto de las dos poleas como de los engranajes.



Personalmente, no he tenido ningún problema, ni con las poleas ni con los engranajes, y tal vez sea por el hecho de recubrirlos con una fina capa de pegamento bi-componente (aunque acetona sería aún más recomendado).

Por último, insistir una vez más en la necesidad de tener que añadir un disipador en el mosfet, del circuito integrado, que va conectado a los bornes de conexión de la heated-bed; de no hacerlo, es prácticamente seguro que se quemará y habrá que sustituirlo.

6.1.3 Consejos de uso

En este último sub-apartado del anexo se pretende ayudar al lector a que la puesta en marcha sea más sencilla. Como consejo de uso es importante tener en cuenta las siguientes consideraciones, las cuales nos ahorrarán problemas al imprimir piezas:

- No debemos extruir, ni manualmente ni como velocidad de impresión, a más de 90 mm/min, pues los dientes de los engranajes del extrusor sufrirían mucho y, por otro lado, las estrías del hobbed bolt podrían provocar un “mordisco” en el filamento de plástico, es decir, desgastar un pezado tan grande del mismo que no llegue a poder seguir tirando de él y, por tanto, deslice, dejando de extruir plástico.
- Debemos esperar a que tanto la heated-bed como el hot-end alcancen las temperaturas de trabajo, 110/120 °C y 220/230 °C, respectivamente, para plástico ABS y 70/80 °C y 170/180 °C para plástico PLA. Si el hot-end no ha llegado a su temperatura de trabajo se puede provocar un intento de extrusión en frío, que estropee tanto el hot-end como el extrusor. Por otro lado, si es la heated-bed la que no ha alcanzado la temperatura de trabajo, el plástico no se adhiere a ella como es debido y, por tanto, se estropeará la pieza en construcción.
- Debemos posicionar el final de carrera del eje Z de manera que, cuando hagamos “homing” en ese eje (es decir cuando mandemos buscar el origen del eje), la punta del hot-end quede pegada a la base. De esa manera será más fácil calibrar la altura a la que se imprime la primera capa de nuestras piezas, la cual es crítica; ya que, si es muy baja, podemos dañar la heated-bed o dañar u obstruir el hot-end y, si es muy alta, el plástico no se pegará bien a la base y, por tanto, la pieza no se imprimirá bien.
- Debemos bajar la temperatura de la heated bed antes de retirar las piezas impresas, de lo contrario, especialmente las piezas de gran tamaño estarán demasiado pegadas y, si aplicamos demasiada fuerza para quitarlas, podemos dañar tanto la propia pieza como cualquier elemento de la base de nuestra impresora.
- No se aconseja usar herramientas punzantes para despegar las piezas, metiéndolas entre estas y el Kapton de la base, pues podemos dañar el Kapton y la superficie que haya debajo de este; que, como ya se comentó en el apartado Prusa Mendel Reprap/Programación y funcionamiento/Primeras pruebas, en caso de ser la heated bed (porque no usemos espejo o cristal) podemos dañar su circuito impreso, quedando la heated bed inutilizable y requiriendo entonces su sustitución por otra heated bed nueva.



7 Anexo: Trabajos futuros y Mejoras



7.1 Mejoras Realizadas

En este anexo al proyecto se describirán, en primer lugar, las mejoras que el autor ha realizado sobre su impresora 3D, modelo Prusa Mendel.

Las mejoras ya realizadas están basadas en encaminar la impresora hacia la segunda versión del modelo Prusa Mendel. Esto consiste en sustituir los “rodamientos” de plástico de las piezas que recorren los tres ejes por rodamientos lineales del modelo LM8UU, cambiar los acoplos de los motores del eje Z con las varillas roscadas del mismo eje por piezas metálicas y sustituir los diseños de algunas de las piezas que forman la estructura.

Respecto a esas actualizaciones, hasta ahora, el autor sólo ha cambiado los rodamientos del eje Y por rodamientos lineales, como se puede ver en la imagen de la figura 151 (en la que se muestra la parte inferior de la impresora vista desde abajo). Para ello se necesita crear una pieza que sostiene el rodamiento y que se pega y/o atornilla a la base de madera.

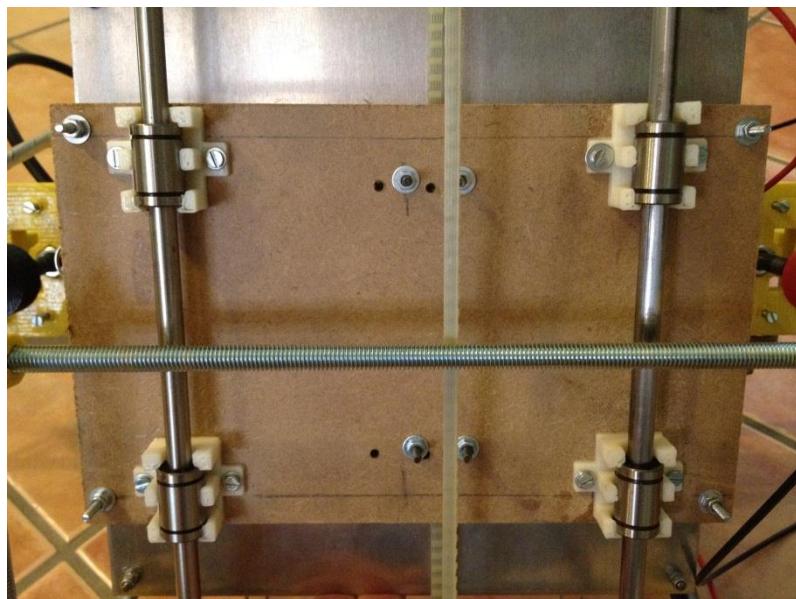


Figura 151. Mejora. Rodamientos lineales, modelo LM8UU, del eje Y

Pero además de estas mejoras, que como hemos dicho, podemos considerar que van destinadas a llegar a la versión dos de este modelo de impresora 3D Open Source, el autor ha realizado otro tipo de mejoras como:

- Poner una pieza en cada lado del eje Z para dar estabilidad al mismo, pieza que lleva un rodamiento, del tipo 608zz, acoplado y por cuyo agujero central se pasa la varilla roscada correspondiente del eje Z. Estas piezas se sostienen con una parte de la misma en forma de abrazadera que, con ayuda de un tornillo de M3 y una tuerca y dos arandelas de M3, se engancha en la varilla lisa del lado correspondiente. Cómo quedan estas piezas se puede ver en la imagen de la figura 152, en la que se muestra la mejora comentada para uno de los lados del eje Z, donde la pieza utilizada para la mejora descrita es la de color rojo.

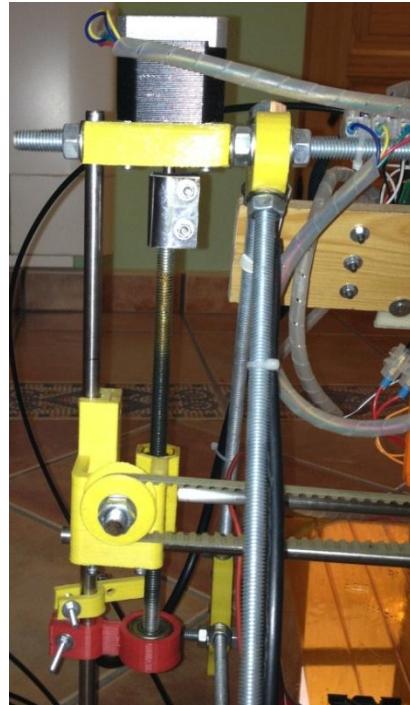


Figura 152. Mejora. Piezas que dan estabilidad al eje Z

- Poner un ventilador a la placa electrónica, para lo que se necesita diseñar unas piezas de plástico que sujeten el ventilador sobre la electrónica. Se recomienda poner dicho ventilador de manera que saque aire de la placa electrónica, a fin de que expulse el calor generado por los componentes electrónicos. Podemos ver cómo queda en la imagen de la figura 153. Si se colocase el ventilador de manera que este eche aire, de forma directa, sobre la placa, se podría provocar un desplazamiento del calor de unos componentes a otros que, tal vez, no soporten determinadas temperaturas y se estropeen. El ventilador posee dos cables de conexión que debemos colocar a la clema de conexiones de la placa electrónica a la que se conectaban el hot-end y la heated bed, en los dos bornes del centro; como también se aprecia en la figura 153.



Figura 153. Mejora. Ventilador para la electrónica



A parte de estas, se han realizado otras modificaciones respecto al diseño original, recogidas de manera implícita a lo largo del proyecto como son:

- Recubrir las piezas “acoplador” (ver tabla 1 en el apartado Prusa Mendel/Estructura del Soporte/Componentes) con chapas metálicas, para que la pieza no se rompa por las fuerzas de torsión o tracción a la que es sometida
- Poner un cristal o espejo sobre la base caliente (heated bed), para salvar las irregularidades de la misma, propias de un circuito impreso sometido además a fuertes temperaturas y tirones para despegar las piezas, consiguiendo así una superficie perfectamente plana sobre la que imprimir.
- Poner una brida en el motor del eje Y, para agarrarlo a la estructura y que no quede vencido hacia un lado por su propio peso.
- Poner un disipador en el mosfet conectado a la heated bed para evitar que se queme.

Incluso, por qué no, se puede considerar una mejora el hecho de poner puntas en los cables para mejorar la conexiones; o, cubrirlos con tubo helicoidal o tubo de riego para mejorar la estética al quedar los cables recogidos; o, sostener la electrónica con un listón de madera para tenerla fija en un lugar donde, además, no supone un estorbo importante.

Esto son trabajos adicionales realizados por el autor. Como también lo es haber conseguido calibrar la impresora, hasta el punto de ser capaz de imprimir piezas como algunas de las mostradas en este proyecto; o, haber sido capaz de imprimir hasta diez juegos de piezas que he vendido por internet a personas que también querían adentrarse en el interesante mundo de la impresión 3D. Esto demuestra, por otra parte, la gran robustez de las impresoras 3D Open Source, modelo Prusa Mendel.



7.2 Trabajos Futuros

En esta segunda, y última, parte del anexo se expondrán otras mejoras y en general, trabajos, que podrían realizarse sobre la impresora y que, incluso, podrían recogerse en otro proyecto.

Para comenzar hablaremos de las mejoras estructurales que podrían añadirse. Entre estas tenemos las que, como ya se comentó en el sub-apartado anterior (Mejoras Realizadas), conducirían a convertir nuestra impresora en la segunda versión del modelo Prusa Mendel; estas mejoras serían:

- Cambiar los rodamientos de plástico del carro del eje X por rodamientos lineales, del modelo LM8UU, como se hizo para el eje Y. Sin embargo, en este caso además debemos imprimir una pieza nueva para utilizar como carro del eje X que lleve los acoplos necesarios para estos rodamientos. A este efecto, si cogemos un diseño ya creado, en internet podemos encontrar piezas con tres acoplos y piezas con cuatro acoplos. Podemos descargar algunos de estos diseños de Thingiverse, por ejemplo en [37], o de la página de Clone Wars dedicada a la Prusa Mendel Iteración 2 [36].
- Cambiar los rodamientos de plástico de las piezas que ejecutan el movimiento del eje Z, por rodamientos lineales del modelo LM8UU. Nuevamente, tendremos que sustituir las piezas de los laterales, las que hemos especificado que realizan el movimiento a lo largo del eje Z, por piezas iguales funcionalmente hablado, pero con los acoplos necesarios para los rodamientos. Igual que para el carro del eje X podemos encontrar estas piezas en Thingiverse, por ejemplo en [38], o en la página de Clone Wars dedicada a la Prusa Mendel Iteración 2 [36].
- Cambiar el sistema de pasar las correas dentadas sobre los rodamientos del tipo 608zz y evitar que se salgan mediante dos arandelas de M8x30, por unas guías de plástico que se ponen sobre el rodamiento y sobre las cuales se pone la correa. Este cambio hace que, al moverse la guía con la correa, la correa no roce con nada y, por tanto, no se desgaste por sus laterales; pues en el modelo inicial al tener las arandelas fijas, la correa dentada roza con ellas y poco a poco se va desgastando (aunque tan lentamente que no es apreciable a corto plazo). El diseño de estas guías podemos también adquirirlo de Thingiverse, por ejemplo de [39]; o, de la página de Clone Wars dedicada a la Prusa Mendel Iteración 2 [36].

A parte de estas modificaciones para adaptarnos a la segunda versión de nuestro modelo de impresora, se pueden realizar otros como:

- Sustituir las poleas de plástico por poleas metálicas, para eliminar el backlash que pudíramos tener y asegurarnos que la polea no se romperá con el tiempo.
- Sustituir los acopladores del eje Z por acopladores metálicos. Realizarán la misma función pero nos ahorrarán problemas como que la varilla roscada (si no está pegada) deslice, pues muchos diseños tienen rosca, a modo de tuerca para sujetar dicha varilla; o, que se parte el acoplador por las fuerzas de torsión y tracción a las que es sometido.



Por otra parte, un trabajo muy importante a realizar sobre la impresora es la calibración de la misma. Ésta a su vez consta de dos partes, por un lado tenemos la calibración del firmware y por otra la de los parámetros del software que usemos para crear el Gcode.

La calibración del firmware consiste, primero, en adaptar este a nuestros dispositivos: microcontrolador, circuito integrado, termistores, finales de carrera, etc. Y por otro lado, en configurar la corriente que se le debe suministrar a los motores para traducir una orden movimiento, de una determinada distancia, en el movimiento físico del eje correspondiente la distancia exacta que ha sido ordenada. Lo primero se consigue cambiando pequeños detalles del código que vienen, por lo general, explicados con comentarios; y, lo segundo se realiza conectando la impresora y, siguiendo un algoritmo específico (que no es objeto de este proyecto), consistente en: mover un eje de la impresora una determinada cantidad, comprobar si el movimiento se ha realizado en la cantidad ordenada y, en caso contrario, ajustar un parámetro determinado del firmware. Se repetiría este proceso hasta alcanzar la mayor precisión posible; y, se repetiría también, para cada eje y para el motor que impulsa el plástico por el extrusor.

La calibración de los parámetros del software que utilizaremos para generar el Gcode (Skeinforge o Slic3r) consiste en, mediante un procedimiento de prueba y error, ir cambiando valores de velocidad, temperatura, etc. hasta conseguir piezas con la mayor calidad posible.

Ambos procesos de calibración son procesos trabajosos que, aunque el autor los ha realizado para su impresora, su documentación se ha dejado para un proyecto futuro por la extensión de la misma.



8 Bibliografía



8.1 Referencias bibliográficas

- [1] Página web de Thingiverse: <http://www.thingiverse.com/> [10/06/2.012]
- [2] Página web del Proyecto Reprap: http://reprap.org/wiki/Main_Page [07/06/2.012]
- [3] Página web de la impresora 3D modelo Printrbot: <http://printrbot.com/> [07/06/2.012]
- [4] Página web del Proyecto Clone Wars, dentro de la web de la Asociación de Robótica de la Uc3m: http://asrob.uc3m.es/index.php/Proyecto:_Clone_wars [11/06/2.012]
- [5] Página web del árbol genealógico del Proyecto Clone Wars dentro de la web del mismo: <http://asrob.uc3m.es/images/d/d0/2012-06-02-clone-wars-genealogy.png> [07/06/2.012]
- [6] Página web de la impresora 3D modelo Prusa Mendel dentro de la web del Proyecto Clone Wars: http://asrob.uc3m.es/index.php/Clone_wars:_Prusa_Mendel_original [03/04/2.012]
- [7] Página web del extrusor modelo Wade´s Extruder dentro de la web de Thingiverse: <http://www.thingiverse.com/thing:1794> [03/04/2.012]
- [8] Página web del proveedor estadounidense Lulzbot: <http://www.lulzbot.com/en/> [30/05/2.012]
- [9] Enlace directo para la compra del Hot-end modelo Budaschnozzle 1.1 dentro de la web de Lulzbot: <http://www.lulzbot.com/en/96-budaschnozzle-11.html> [30/05/2.012]
- [10] Página web del proveedor europeo Reprap World: <http://reprapworld.com/> [11/06/2.012]
- [11] Enlace directo para la compra del Hot-end modelo Extruder Set 3mm v5 de Reprap World, dentro de la web del proveedor Reprap World: http://reprapworld.com/?products_details&products_id=164&cPath=1595_1616 [11/06/2.012]
- [12] Enlace a las instrucciones visuales para soldar los componentes del circuito integrado modelo Ramps 1.2: <http://printthat.wordpress.com/2011/02/11/reprap-ramps-build/> [30/05/2.012]
- [13] Página web de los circuitos integrados modelos Ramps dentro de la web del Proyecto Reprap: <http://reprap.org/wiki/RAMPS> [07/06/2.012]
- [14] Página web del esquema de conexiones utilizando Ramps 1.3 dentro de la web del Proyecto Reprap: <http://reprap.org/wiki/File:Rampswire13.svg> [30/05/2.012]
- [15] Página web del esquema de conexiones utilizando Ramps 1.3 dentro de la web del Proyecto Reprap: <http://reprap.org/wiki/File:Rampswire14.svg> [30/05/2.012]
- [16] Repositorio web para descargar el firmware Sprinter: <https://github.com/kliment/Sprinter> [30/05/2.012]



- [17] Repositorio web para descargar el firmware Marlin: <https://github.com/ErikZalm/Marlin> [30/05/2.012]
- [18] Página web para descargar el software de Arduino dentro de la web de Arduino: <http://arduino.cc/en/Main/Software> [30/05/2.012]
- [19] Repositorio web para descargar el software de control de la impresora Pronterface: <https://github.com/kliment/Printrun> [11/06/2.012]
- [20] Página web para descargar el software de control de la impresora ReplicatorG, dentro de la web de ReplicatorG: <http://replicat.org/download> [30/05/2.012]
- [21] Repositorio web para descargar el software de control de la impresora RepSnapper: <https://github.com/timschmidt/repsnapper> [30/05/2.012]
- [22] Página web para descargar el software de generación de archivos Gcode Skeinforge: http://fabmetheus.crsndoo.com/files/41_reprap_python_beanshell.zip [01/06/2.012]
- [23] Página web para descargar el software de generación de archivos Gcode Slic3r: <http://slic3r.org/> [01/06/2.012]
- [24] Repositorio web en el que se explica cómo integrar el software de generación de archivos Gcode Slic3r en el software de control de la impresora Pronterface: <https://github.com/alexjrj/Slic3r/blob/master/README.markdown#how-can-i-integrate-slic3r-with-pronterface> [01/06/2.012]
- [25] Página web en la que se recoge mucha información acerca de los parámetros de configuración Skeinforge: <http://wiki.bitsfrombytes.com/index.php/Skeinforge> [01/06/2.012]
- [26] Página web del proveedor europeo Reprap Source: <http://www.reprapsource.com/> [02/06/2.012]
- [27] Página web del proveedor europeo Reprap Barcelona: <http://www.rerapbcn.com/catalog/> [02/06/2.012]
- [28] Página web del proveedor europeo XYZ Printers: <http://www.xyzprinters.com/> [11/06/2.012]
- [29] Página web del proveedor europeo Arcol: <http://shop.arcol.hu/> [02/06/2.012]
- [30] Página web del proveedor estadounidense Ultimachine: <http://ultimachine.com/> [02/06/2.012]
- [31] Página web del proveedor chino Deal Extreme: <http://es.dealextreme.com/> [02/06/2.012]
- [32] Página web del proveedor chino Good Luck Buy: <http://goodluckbuy.com/> [02/06/2.012]



[33] Página web en la que encontrarás varios vídeos en los que se muestra cómo hacer tu propio hobbed bolt, dentro de la web del Proyecto Reprap: http://reprap.org/wiki/Wade%27s_Geared_Extruder#How_to_make_the_hobbed_bolt [02/06/2.012]

[34] Enlace directo para la compra del hot-end modelo arcol v4 dentro de la web del proveedor europeo Arcol: <http://shop.arcol.hu/item/arcol-hu-hot-end-v4-unassembled-05> [11/06/2.012]

[35] Página web del extrusor modelo Greg's Accessible Extruder dentro de la web de Thingiverse: <http://www.thingiverse.com/thing:10377> [03/06/2.012]

[36] Página web de la impresora 3D modelo Prusa Mendel Iteración 2 dentro de la web del Proyecto Clone Wars: http://asrob.uc3m.es/index.php/Clone_wars:_Prusa_Iteraci%C3%B3n_2 [03/06/2.012]

[37] Página web del carro para el eje X, diseñado para rodamientos lineales del modelo LM8UU, dentro de la web de Thingiverse: <http://www.thingiverse.com/thing:16208> [11/06/2.012]

[38] Página web de los laterales del eje X, que se mueven a lo largo del eje Z, diseñados para acoplarlos rodamientos lineales del modelo LM8UU, dentro de la web de Thingiverse: <http://www.thingiverse.com/thing:9862> [11/06/2.012]

[39] Página web de las guías para las correas dentadas que se ponen sobre los rodamientos dentro de la web de Thingiverse: <http://www.thingiverse.com/thing:20032> [11/06/2.012]

8.1.1 Referencia de imágenes

Las imágenes de las figuras del apartado Introducción:

- Web del Proyecto Reprap [2] (figuras 1, 2, 3, 4 y 7).
- Web del Proyecto Clone Wars [4] (figuras 6, 8, 10 y 11).
- Web de Makerbot: <http://www.makerbot.com/> [11/06/2.012] (figura 9).

Las imágenes de las figuras del apartado Prusa Mendel Reprap:

- Sub-apartado Estructura del soporte:
 - Las de las tablas de componentes → Web de la impresora 3D modelo Prusa Mendel, dentro de la web del Proyecto Clone Wars, [6].
 - Las que son con fondo blanco, y en las que se representan las piezas de plástico en color verde y las metálicas en tono azulado, → Documento Pdf "Prusa Mendel Visual Instruction" creado por Gary Hodgson y que podemos descargar de la web: <http://garyhodgson.com/reprap/prusa-mendel-visual-instructions/> [11/06/2.012] (figuras 12 a 52, 54 a 72, 74, 76 a 83, 86, 93 a 97).
- Sub-apartado Extrusor:
 - Las de las tablas de componentes → Web de la impresora 3D modelo Prusa Mendel, dentro de la web del Proyecto Clone Wars, [6].



- Las que son con fondo blanco, y en las que se representan las piezas de plástico en color verde y las metálicas en tono azulado, → Documento Pdf “Wade’s Geared Extruder Visual Instruction” creado por Gary Hodgson y que podemos descargar de la web: <http://garyhodgson.com/reprap/wades-gearied-extruder-visual-instructions/> [11/06/2.012] (figuras 102, 104 a 107, 109 y 112 a 115).
- Web: <http://johnbiehler.com/tag/prusa/page/2/> [03/04/2.012] (figura 103).
- Web de Lulzbot [8] (figura 110).
- Sub-apartado Electrónica:
 - Web del Proyecto Reperap [2] (figuras 117, 119, 121, 122, 123, 126 y 129).
 - Web del proveedor Reprap World [10] (figuras 118, 120, 124, 125 y 136).
 - XYZ Printers [28] (figura 127).

Las figuras no referenciadas son imágenes tomadas por el propio autor de su impresora, Mardan; imágenes tomadas por Arturo Vera sobre su impresora, Maese Artorius; o, pantallazos tomados por el autor de su propio portátil.