



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA, INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG

SCADA Y MODELADO PARCIAL DE SISTEMA DE
EXTRUSIÓN DE FILAMENTO

Alumnos: Santiago López Pina
Tutor: Víctor González Pacheco

Índice general

0.1. Filastruder-sensor diámetro-Tractora	5
0.1.1. Resultados	9

Índice de figuras

1.	Esquema de producción	5
2.	Diseño del eje de giro de la tractora	7
3.	Diseño de la tractora	7
4.	Pieza de la tractora.	8
5.	Tractora con filamento	8
6.	Montaje final filastruder-tractora-sensor	9
7.	Gráfica con los datos de la producción	10
8.	Encoder instalado en la filastruder.	10
9.	Velocidad de la extrusora.	11
10.	Mezcla de granza con pellets reciclados.	12
11.	Diseño y montaje de la tolva.	12

Índice de tablas

1.	Resolución del driver en función del micropaso elegido	5
2.	Valores para controla la velocidad de giro del motor paso a paso	6
3.	Datos obtenidos en el ensayo del día 20 de Julio	9

0.1. Filastruder-sensor diámetro-Tractora

En una de las pruebas de extrusión de filamento, se va estirando a mano según va saliendo de la filastruder y se comprueba que, traccionando del hilo a una distancia cercana de la boquilla y una vez enfriado, se puede llegar a regular el diámetro final. Por ello, se trata de investigar en esta linea, diseñar un sistema capaz de traccionar el filamento a medida que va saliendo de la boquilla.

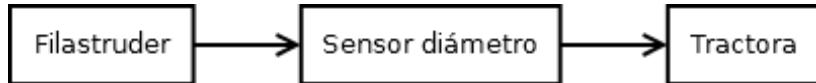


Figura 1: Esquema de producción

Con el conocimiento adquirido al diseñar la peletizadora (ver capítulo ?? de la página ??) se diseña una unidad tractora que irá colocada después de la filastruder, la cual, deberá ir traccionando del filamento independientemente del diámetro del mismo. Así mismo, deberemos ser capaces de regular la velocidad de una forma más precisa que como lo hicimos con la peletizadora. El material del que dispondremos será el siguiente.

- **Arduino Mega:** Microcontrolador encargado de mover un motor y regular su velocidad.
- **RAMPS:** Placa auxiliar colocada encima del arduino Mega, la cual dispone de un driver A4988 para controlar varios motores paso a paso.
- **Motor paso a paso:** Dispositivo electromagnético, que transforma una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares.

Se vuelve a elegir un motor paso a paso como unidad de tracción, debido a las mismas razones por las que se eligió en la peletizadora.

El principio de funcionamiento de un motor paso a paso es sencillo. En el interior del mismo se dispone de dos bobinas giradas 90° entre sí [24] las cuales, en función de una secuencia de excitación, generarán campos magnéticos que hará que el rotor del mismo gire un determinado ángulo. Para la realización de la tractora, se usará una técnica denominada de micropasos con la que conseguimos que nuestro motor de 1.8° de giro pueda alcanzar grados de 0.225°. Para poder controlar el motor con esta técnica y conseguir una velocidad de rotación constante, será necesario que el microcontrolador genera una señal cuadrada, en la que dependiendo de la frecuencia de esta señal, el motor girará a una velocidad distinta. El nivel alto de esta señal cuadrada, se la denominará paso. Por cada paso que reciba el motor, girará 1,8° dividido el número de micropasos configurados en el driver:

MS1	MS2	MS3	Resolución de micropaso
L	L	L	Paso completo (1)
H	L	L	Medio paso (1/2)
L	H	L	Un cuarto de paso (1/4)
H	H	L	Un octavo de paso (1/8)
H	H	H	Un dieciseisavo de paso (1/16)

Tabla 1: Resolución del driver en función del micropaso elegido

Para el caso que nos ocupa, elegiremos la configuración de un dieciseisavo de resolución, es decir:

$$\text{Pasos por vuelta} = \frac{360^\circ}{1,8^\circ \cdot \frac{1}{16}} = 3200 \text{ pasos}$$

Por tanto, si quisieramos girar el motor a una velocidad de $1RPM$ tendríamos que da un total de:

$$\frac{1RPM \cdot 3200\text{pasos}}{60s} = 53\text{pasos/s}$$

O lo que es lo mismo, un paso cada $18,86ms$. Esta separación temporal, va inversamente relacionada con la velocidad de giro deseada, cuanta más velocidad de giro queramos, menor será el tiempo entre pasos. Para poder generar el tren de pulsos, se usará una interrupción del microcontrolador, que se ejecutará cada $10\mu s$ e irá incrementando un contador, el cual, al llegar a un valor máximo determinado por la velocidad de giro, efectuará un escalón. El valor máximo del contador viene dado por la fórmula:

$$Valor_{Max} = \frac{\text{Separación temporal de ticks}}{\text{Tiempo de interrupción}}$$

En nuestro caso, para girar el motor a una velocidad de $1RPM$ con una interrupción de $10\mu s$ deberíamos contar el siguiente número:

$$Valor_{Max} = \frac{18,75ms}{10\mu s} = 1875$$

Por especificación del filastruder, determinamos que la velocidad de tracción deberá ir entre el rango de $1RPM$ y $3RPM$, por tanto, con ayuda de una hoja de cálculo de excel, determinamos los valores máximos a contar en función de la velocidad de giro.

RPM	TICKS/S	Separacion ticks (s)	Ticks a contar por ISR
0	-1	-1	-1
1	53	0,01875	1875
2	107	0,009375	938
3	160	0,00625	625

Tabla 2: Valores para controla la velocidad de giro del motor paso a paso

Por tanto, cuando el contador llegue a los valores máximos establecidos, se generará un pulso, haciendo que el motor avance los grados determinados. A su vez, la velocidad de giro, vendrá dada por el PLC el cual, en función de un tensión de 0 a 5 V hará que el motor gire a una velocidad distinta.

Una vez establecida la arquitectura del software, se pasa a diseñar las piezas necesarias para crear la unidad tractora. Como la vez anterior, usaremos la herramienta Autodesk Inventor. Como unidad tractora, se diseñará una pieza que irá acoplado al eje de giro del motor, la cual irá recubierta por una goma para aumentar la fricción con el filamento. Con ayuda de un rodamiento haciendo presión por la otra parte del filamento, conseguiremos que se desplace de forma lineal

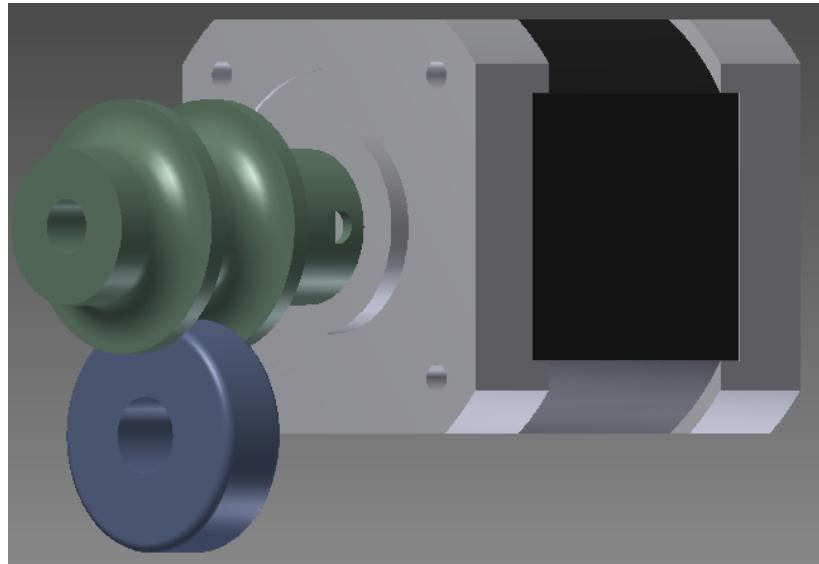


Figura 2: Diseño del eje de giro de la tractora

La pieza que soporte el rodamiento, deberá ir apretada por un muelle, para conseguir que asuma los cambios de diámetro y pueda hacer desplazar cualquier filamento sin importar el diámetro.

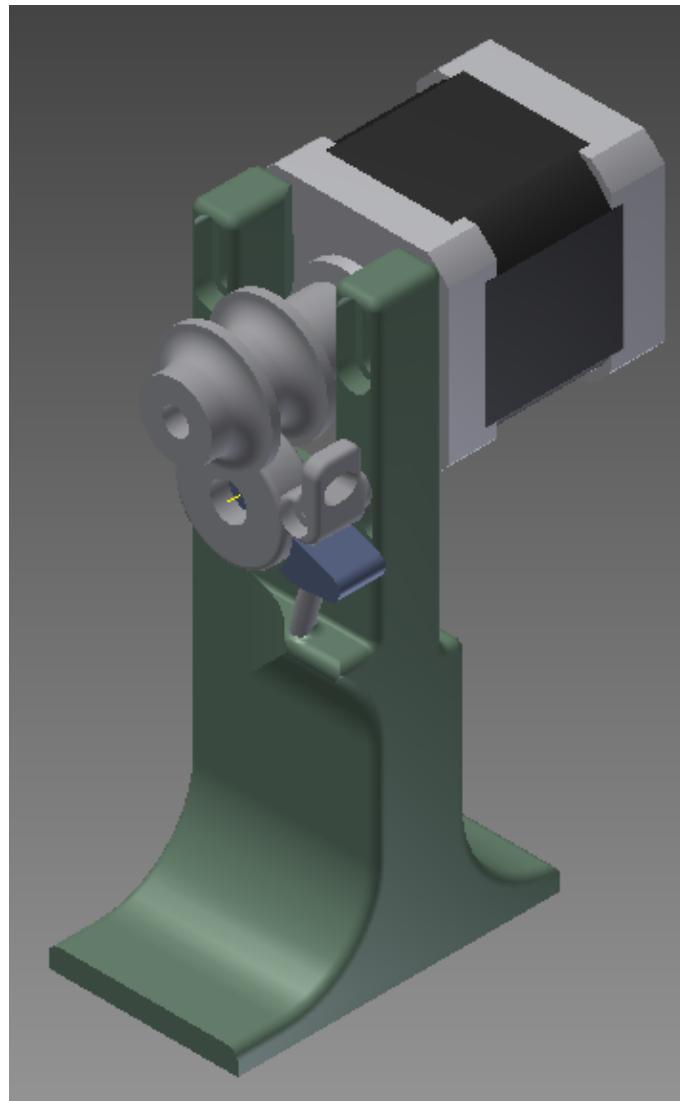


Figura 3: Diseño de la tractora

Una vez diseñadas las piezas, se pasan a imprimir en una impresora 3D



Figura 4: Pieza de la tractora.

Por último, para comprobar que el funcionamiento de la tractora es el esperado, se hace pasar una bobina de filamento através de la tractora, y comprobamos que podemos variar la velocidad de tracción y el agarre del filamento es el adecuado.

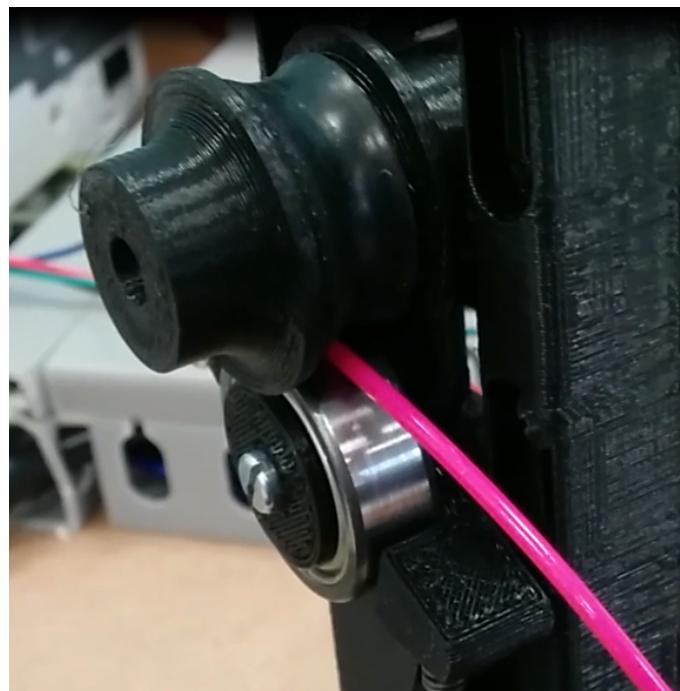


Figura 5: Tractora con filamento

Por tanto, podemos pasar a instalar la tractora en la maqueta.

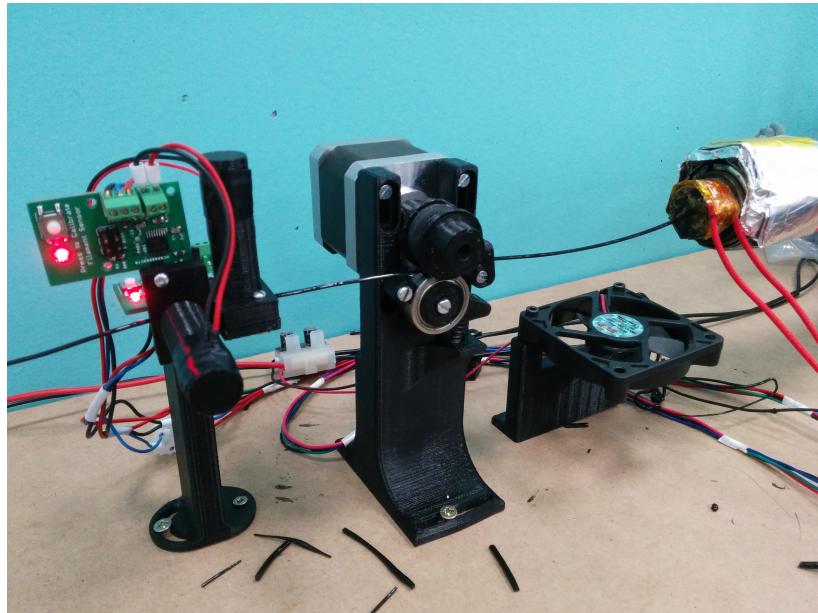


Figura 6: Montaje final filastruder-tractora-sensor

0.1.1. Resultados

Usando pellets reciclados, se pasa a hacer una producción de filamento, para comprobar que el diseño de la tractora es el correcto. El ensayo que se va a realizar consiste en:

- Establecer una temperatura de 135°C en el extrusor.
- Llenar la tolva que incluye de serie la extrusora con 42gr de pellets reciclados.
- Extruir filamento registrando los datos para su posterior análisis.
- Cambiar la velocidad de tracción para comprobar la relación final en el diámetro. Se establecerá una velocidad de 1RPM y 3RPM

Se está alrededor de seis minutos extruyendo filamento, sin embargo, debido a un exceso en el diámetro del filamento, hace que este no entre por el sensor de diámetro y sea necesario parar, sin embargo podemos estudiar los datos obtenidos. Tras el ensayo, los resultados obtenidos son los siguientes:

	Diámetro X
Medidas	203
Media (mm)	1.59
Desviación estandar	0.25
Min (mm)	1.08
Max (mm)	2.19

Tabla 3: Datos obtenidos en el ensayo del día 20 de Julio



Figura 7: Gráfica con los datos de la producción

En la gráfica anterior vemos los datos obtenidos del diámetro del eje X. Se ve claramente, que hay una variación muy pronunciada al tener una velocidad de tracción constante, esto es un problema en el diseño de la filastruder ya que, a una velocidad de tracción constante, el diámetro debería serlo también. Durante el ensayo, se ha notado física y acústicamente que la extrusión no es constante, por ello, pensamos que el funcionamiento de la filastruder, que a simple vista parecía correcto, no puede llegar a proporcionarnos los resultados que necesitamos. Se instala un encoder mediante un imán, un sensor de efecto hall y un arduino a la filastruder, para cerciorarnos de que la velocidad es constante.

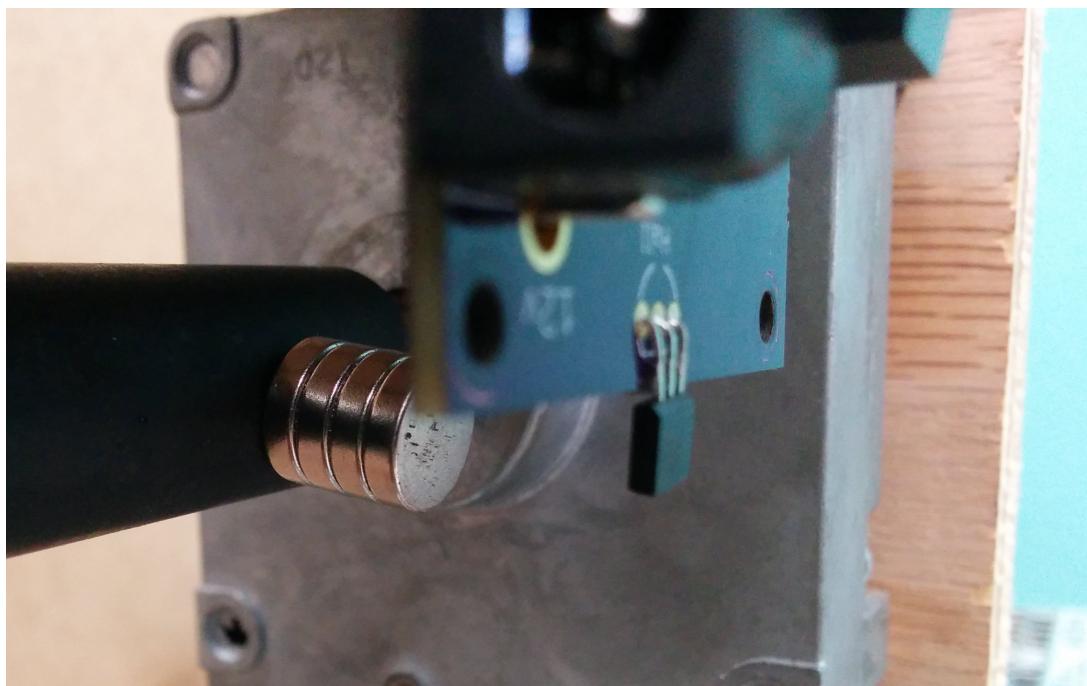


Figura 8: Encoder instalado en la filastruder.

Se extruye una cantidad de filamento sin medir el diámetro, tan sólo registrando la velocidad con la que gira el husillo y los datos proporcionados son los siguientes:

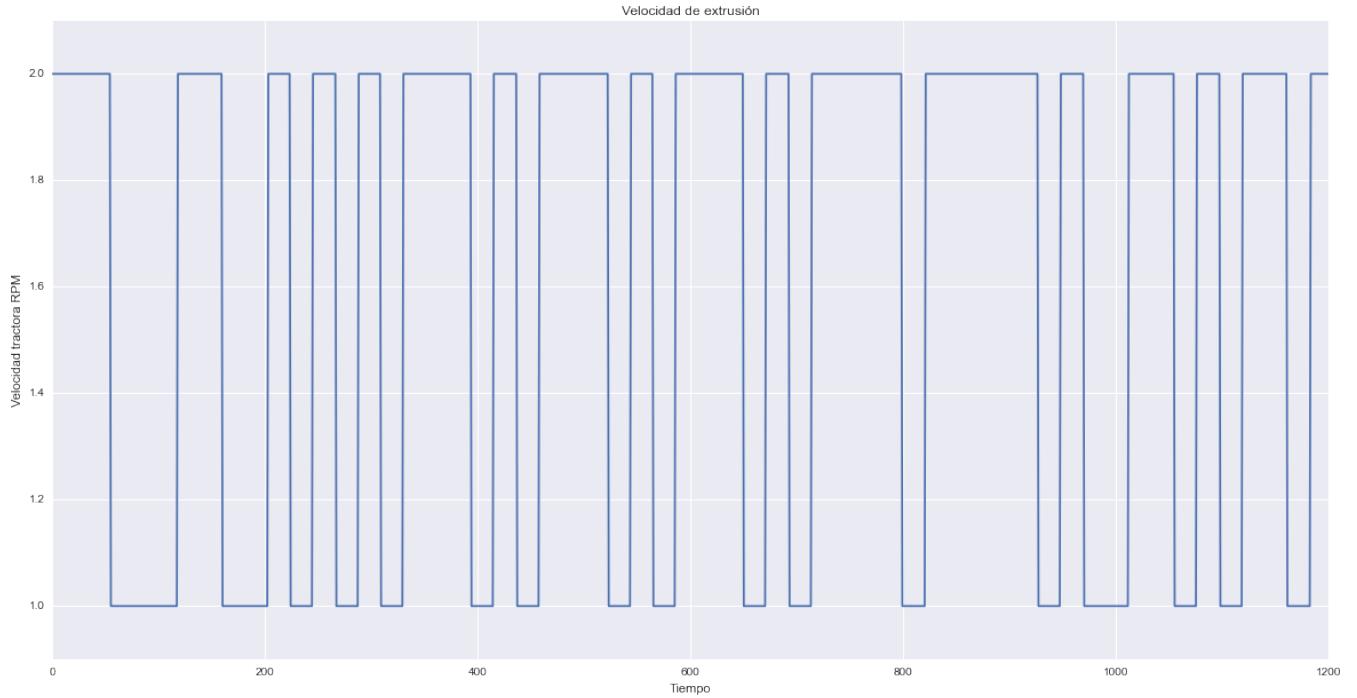


Figura 9: Velocidad de la extrusora.

Vemos claramente, que la velocidad de giro no es constante, variando entre 1 y 2 RPM. El motor que hace girar el husillo está conectado directamente a 12V y no se tienen ningún control sobre él. Además mecánicamente, el motor está conectado al husillo mediante una caja reductora, la cual no podemos cambiar. Para no alargar la duración del proyecto e intentar avanzar en el control se van a tomar las siguientes medidas:

- Usar una mezcla de granza de PLA natural (70 %) con pellets reciclados de filamento (30 %) (ver imagen 10). Se usará granza de PLA natural, el cual tiene una forma más redondeada que los pellets reciclados, haciendo más fácil el avance dentro del cañón. Se usa una mezcla con los pellets reciclados, ya que el sensor de diámetro que usamos, no funciona con filamento transparente, por ello, debemos tintar el filamento
- Antes de hacer una producción de filamento, la granza de PLA que se vaya a usar, se va a secar en un horno a una temperatura de 80°C durante, al menos, tres horas antes de la producción. Esto es debido a que si el PLA tiene un alto porcentaje de humedad, hará que la extrusión del material no sea el adecuado, afectando directamente en el acabado final.
- Se va a diseñar una tolva de alimentación mayor, para que la capacidad de granza aumente, y se ejerza mayor presión a la entrada del extrusor, para que de ese modo, la alimentación de la granza se lo más constante posible.



Figura 10: Mezcla de granza con pellets reciclados.



(a) Tolva impresa



(b) Tolva montada

Figura 11: Diseño y montaje de la tolva.

Bibliografía

- [1] Brent Stucker. Additive manufacturing technologies: Technology introduction and business implications. pages 1–11, August 7 2015.
- [2] Zureks. Fundamento fdm. https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AFDM_by_Zureks.png, June 9 2008.
- [3] S.S. Crump. Apparatus and method for creating three-dimensional objects. <https://www.google.com/patents/US5121329>, June 9 1992. US Patent 5,121,329.
- [4] Gran Loco. Diseño genérico de un extrusor. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ed/Disenio_de_un_extrusor.png, June 9 2006.
- [5] Mike1024. Distintos ejemplos de perfiles de extrusión. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/ef/Extruded_aluminium_section_x3.jpg/1920px-Extruded_aluminium_section_x3.jpg, June 9 2007.
- [6] Josef Prusa. Imagen de una prusa i2. <http://blog.reprap.org/2010/10/story-of-simpler-mendel-pla-bushings.html>, August 10 2015.
- [7] Página oficial de bq. <http://bq.com/es/>, August 11 2015.
- [8] Maribel Beltrán and Antonio Marcilla. Temario de la asignatura tecnología de polímeros. pages 137–139, August 27 2015.
- [9] Dr. Guillermo Reyes Pozo. Fabricación aditiva: Tecnologías. pages 7–14, August 7 2015.
- [10] D. Trápero. Diseño, construcción y control de un extrusor de filamento para impresoras 3d. page 37, August 14 2015.
- [11] Dan Mishek. How and when to choose between additive and subtractive prototyping]. pages 1–2, August 7 2015.
- [12] D. Rypl and Z. Bittnar. Triangulation of 3d surfaces recovered from stl grids. page 1, August 7 2015.
- [13] Stratasys. Fdm technology. <http://www.stratasys.com/3d-printers/technologies/fdm-technology>, June 9 2015.
- [14] Antonio Alberto Relaño Pastor. Estudio comparativo de piezas de abs y pla procesadas mediante modelado por deposición fundida. pages 83–93, August 12 2015.
- [15] Santiago Ferrández. Detalle de un husillo de extrusora. <http://3.bp.blogspot.com/-Z0GzL5mmFW8/TbWU01H0D5I/AAAAAAAHE/aW1dNIs0P18/s1600/21.JPG>, June 9 2012.
- [16] Santiago Ferrández. Parámetros de un husillo de extrusora. https://lh4.googleusercontent.com/-38dQ_PeujTE/TYCjbjVFSxI/AAAAAAAAB8/0gy301i_KCo/s1600/14.JPG, June 9 2012.

- [17] Rhys Jones, Patrick Haufe, Edward Sells, Pejman Iravani, Vik Olliver, Chris Palmer, and Adrian Bowyer. Reprap—the replicating rapid prototyper. *Robotica*, 29(01):177–191, 2011.
- [18] Juan Gonzalez Gomez. Conferencia de adrian bowyer en medialab. <http://www.ihearobotics.com/blog/2009/02/04/conferencia-sobre-el-proyecto-reprap-en-madrid/>, August 10 2015.
- [19] Juan Gonzalez Gomez. Ficha técnica de r1. primera impresora de juan gonzalez gomez. http://www.ihearobotics.com/wiki/index.php?title=Makerbot_Cupcake:_R1, August 10 2015.
- [20] T. Elmore. Filastruder developement thread. <http://www.soliforum.com/post/4783/#p4783>, August 14 2015.
- [21] T. Elmore. Filawinder. <http://www.filastruder.com/products/filawinder>, August 19 2015.
- [22] flipper. Filament width sensor prototype version 3. <http://www.thingiverse.com/thing:454584>, August 14 2015.
- [23] Virginia Mazzone. Controladores pid. pages 1–11, August 17 2015.
- [24] Sergio Berti, Javier Roitman, and Claudio Verrastro. Controlador de motores paso a paso mediante técnica de micropasos por modulación de ancho de pulso. pages 1–6, August 31 2015.