



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: Victor Gonzalez Pacheco

Índice general

1. Producciones	5
1.1. Peletizadora	5
1.2. Filastruder-sensor diámetro-bobinadora	10
1.2.1. Resultados	11
1.3. Filastruder-sensor diámetro-Tractora	12

Índice de figuras

1.1. Proceso para conseguir pellets	5
1.2. Proceso funcionamiento peletizadora	5
1.3. Diseño de la unidad tractora	6
1.4. Diseño de guía de filamento	7
1.5. Conjunto tractora completo	7
1.6. Diseño de las aspas	8
1.7. Mecanismo de corte	8
1.8. Mecanismo impreso con servo para generar oscilación	9
1.9. Estructura con aspas encerradas.	9
1.10. Pellets de filamento reciclado.	9
1.11. Esquema de producción	10
1.12. Cambio de tamaño debido a la relajación del material. Fuente [1]	10
1.13. Cambio de tamaño debido a la contracción del material. Fuente [1]	10
1.14. Representación de las medidas de los ejes X e Y.	12
1.15. Diagrama de cajas de las medidas de los ejes X e Y.	12
1.16. Esquema de producción	13

Índice de tablas

- 1.1. Resultados obtenidos en la producción 11
- 1.2. Resolución del driver en función del micropaso elegido 13
- 1.3. Valores para controla la velocidad de giro del motor paso a paso 14

Capítulo 1

Producciones

1.1. Peletizadora

Algo que no se tuvo en cuenta al establecer los objetivos del proyecto, fue el tener disponibilidad de pellets de PLA, ya que en ese momento, los pellets no los proporcionarían en la fábrica de Huesca para poder hacer las pruebas de la puesta en marcha. Por ello, se investiga en la posibilidad de reciclar bobinas defectuosas que no son útiles para imprimir en una impresora 3D ocasionando averías y en la actualidad son mermas que se tiene en la producción de la fábrica de Huesca.



Figura 1.1: Proceso para conseguir pellets

Una vez que la filastruder está operativa, se peletizan a mano unos metros de filamento negro y comprobamos que al menos somos capaces de extruir los pellets reciclados. Se continua con la línea de investigación del reciclado de bobina as al comprobar la viabilidad del proceso. Sin embargo, cada bobina de filamento de 1Kg de peso son 350M por lo que peletizar una bobina a mano, conllevaría mucho tiempo y trabajo, por lo que se descarta la opción y se pasa a diseñar una máquina capaz de peletizar bobinas de forma automática. La máquina que diseñemos debe ser capaz de realizar el siguiente proceso:

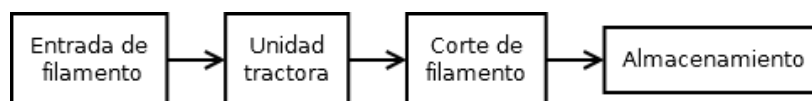


Figura 1.2: Proceso funcionamiento peletizadora

Por tanto, debe tener al menos dos partes diferenciadas:

- **Unidad Tractora:** Mecanismo capaz de arrastrar el filamento hacia la unidad de corte.
- **Cuchillas de corte:** Mecanismo capaz de ejercer la fuerza necesaria para cortar el filamento.

Para controlar toda la máquina se decide usar una placa arduino Mega que se tiene disponible en el departamento, con la que seremos capaz de controlarlo. Para la fabricación de la máquina, se usarán impresoras 3D, con lo que el prototipado será más rápido, ya que se tiene acceso a ellas dentro del departamento. Con las herramientas disponibles se inicia el diseño de la máquina.

Para la unidad tractora, se deciden usar dos motores paso a paso con un eje de giro recubierto de una goma, que cogerá el filamento y lo arrastrará. Usando la herramienta Inventor, se hace un primer diseño de la posible solución.

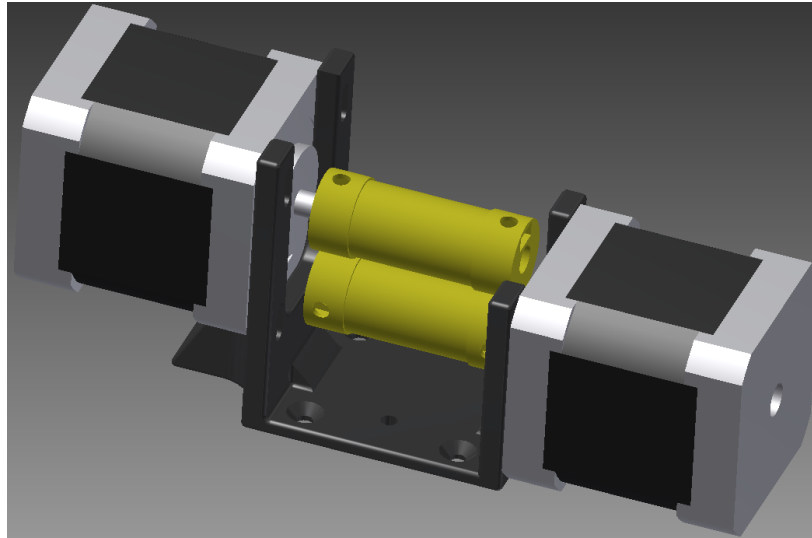


Figura 1.3: Diseño de la unidad tractora

Los ejes, deberán ir recubiertos de goma de neopreno, para que puedan arrastrar del filamento. Se eligen motores paso a paso, debido a:

- Fáciles de programar.
- Fáciles de controlar en velocidad.
- Gran fuerza neta en el eje.

Aunque el mecanismo es capaz de tirar del filamento bobinado, es necesario que se le guíe para que el corte sea siempre en la misma posición, por tanto, se diseña una guía para que la salida del filamento sea siempre por el mismo sitio, a la pieza impresa, se le pondrá una plancha de metal para que al realizar el corte, el filamento se apoye sobre ella y se ejerza más fuerza a cizalla. Además, deberá tener forma de embudo, para que la entrada del filamento sea lo más amplia posible y el final sea un único cilindro de un tamaño similar al del diámetro de filamento:

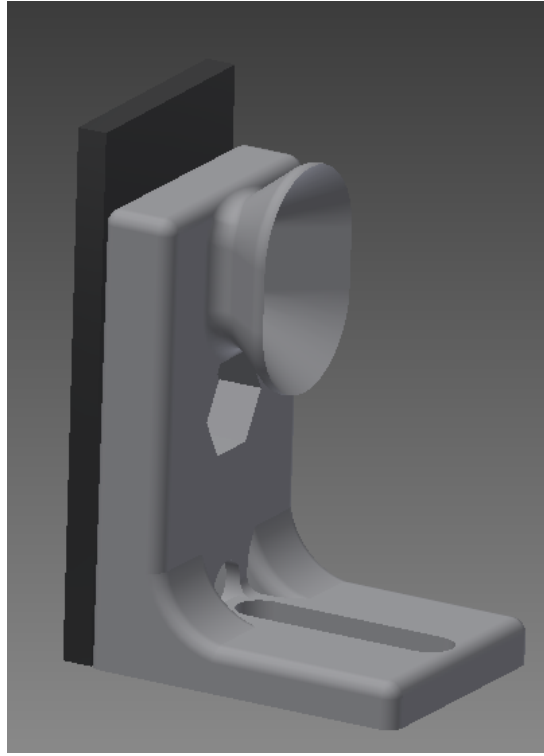


Figura 1.4: Diseño de guía de filamento

El diseño final de la unidad tractora se ve a continuación:

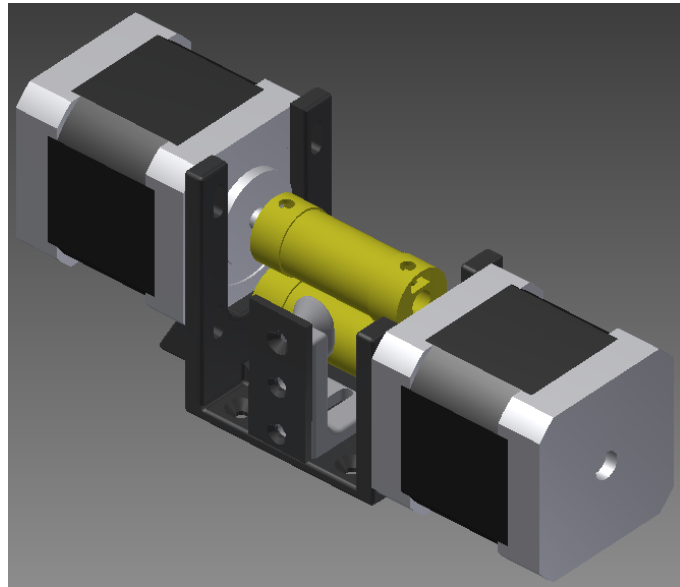


Figura 1.5: Conjunto tractora completo

Con este conjunto, garantizamos que el desbobinado del filamento sea correcto, aparte, seremos capaces de regular la velocidad de tracción de forma controlada. El siguiente paso a realizar será el diseño de las cuchillas de corte.

Como unidad motriz de las cuchillas de corte, se elige un taladro con fuerza ajustable, en la boca del mismo, se acoplará un eje con las cuchillas. Como primera idea, se piensa en un diseño con un molino a cuatro ejes, donde en cada uno de ellos irá una cuchilla, de esta manera, por cada giro se podrán realizar cuatro cortes.

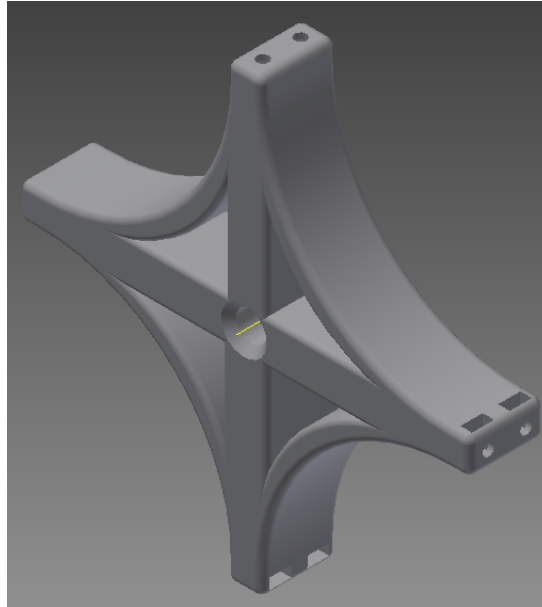


Figura 1.6: Diseño de las aspas

El conjunto de las aspas, irán instaladas sobre dos pilares, que harán de eje de giro al taladro, a su vez, se instalará una rampa de salida, para que los pellets vayan cayendo por ella, por último, para tapar todas las cuchillas y añadir seguridad al mecanismo, se incorpora una tapa que hará que las cuchillas no sean accesibles.

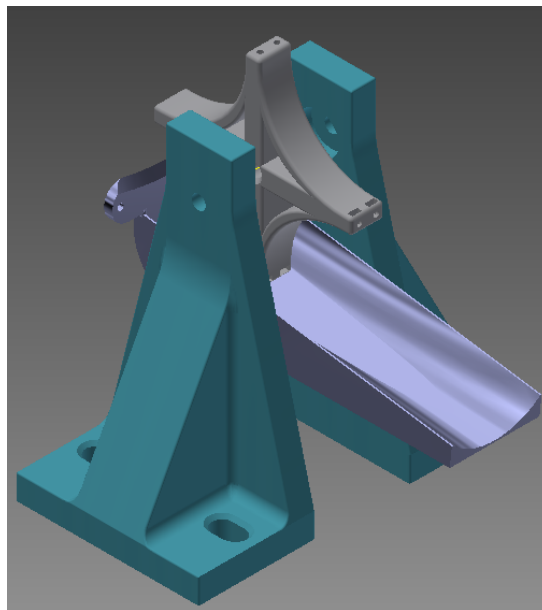


Figura 1.7: Mecanismo de corte

Una vez impresas todas las piezas y realizado el montaje se realizan pruebas del mecanismo, se detecta que el filamento es capaz de desgastar la goma del eje de los motores, por ello, se incorpora a la entrada de la tracción un servo que hace que el filamento oscile, haciendo que el desgaste de la goma sea menor.

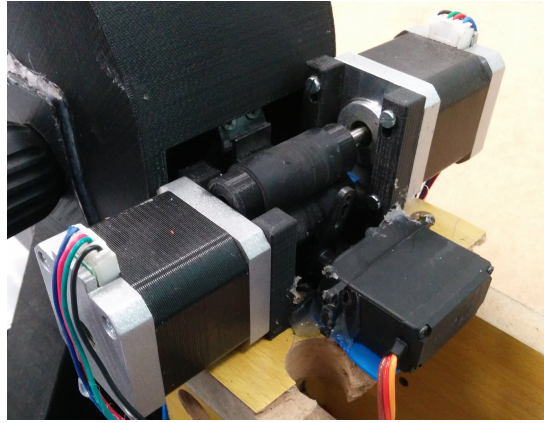


Figura 1.8: Mecanismo impreso con servo para generar oscilación



Figura 1.9: Estructura con aspas encerradas.

Una vez el diseño se da por bueno, somos capaces de peletizar una bobina de 1 Kg en 30 minutos con una longitud del pellet de 0.5 mm. Por tanto, el problema de conseguir pellets para extruir lo hemos solucionado. Más adelante, se realizará un ensayo de calorimetría de barrido diferencial (DSC) con la que analizaremos térmicamente el filamento extruido en la filastruder, y comprobaremos la degradación que ha sufrido el polímero.



Figura 1.10: Pellets de filamento reciclado.

1.2. Filastruder-sensor diámetro-bobinadora

Como primera aproximación e intentando asemejar el esquema de producción que tienen en la fábrica de Huesca se va a seguir el siguiente esquema:

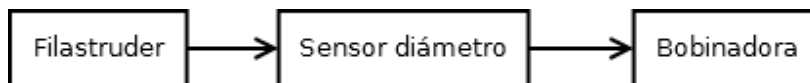


Figura 1.11: Esquema de producción

La boquilla de la filastruder es de 3mm, de esta manera tenemos margen suficiente para intentar regular el filamento aplicando una fuerza de tracción según sale de la extrusora y se va enfriando. A la hora de trabajar con una técnica de conformado como es esta, es muy importante que la velocidad de salida sea lo más constante posible y también hay que tener en cuenta que se producen cambios en el material tanto de tamaño como de forma según sale de la extrusora. Tres de estos cambios que afectan al material son: [1]

- **Tensionado:** Habitualmente, el material es recogido por sistemas de almacenamiento consistentes en rodillos que aplican una tensión. Esto hace que el tamaño del material varíe en función de esa tensión. Nos ayudaremos de esta característica para intentar regular el diámetro final del filamento. El tamaño del diámetro tendrá una relación inversamente proporcional a la velocidad.
- **Relajación:** Dentro de la extrusora, el material soporta esfuerzos normales y al salir por la boquilla se relaja. Esta relajación será mayor, en función del gradiente de temperatura que haya entre la boquilla y el ambiente.

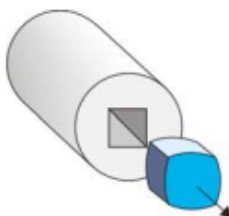


Figura 1.12: Cambio de tamaño debido a la relajación del material. Fuente [1]

- **Enfriamiento:** A medida que el material se va enfriando, se va generando una contracción en el perfil del mismo. Esta contracción depende de la velocidad de enfriamiento del material. Por ello, no habrá la misma contracción en una zona gruesa donde haya más material, que en una fina.

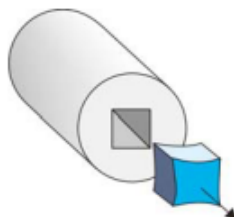


Figura 1.13: Cambio de tamaño debido a la contracción del material. Fuente [1]

1.2.1. Resultados

Vamos a comprobar el funcionamiento del sistema con el control de regulación de la propia filawinder, en la que intenta mantener el filamento en una determinada altura y en función de esa altura, aplicar más o menos velocidad de bobinado. Para esta primera producción se usarán todos los pellets reciclados como materia prima, no se mezclará con PLA transparente, para así ver si el funcionamiento de la filastruder es el correcto.

Una vez llegado a la consigna de temperatura de 150°C se comienza a extruir PLA reciclado y se almacena en la bobina. A simple vista, se ve que la velocidad mínima de bobinado hace que el filamento salga demasiado delgado y se generan demasiadas tensiones en el bobinado del mismo. No obstante, analizaremos los resultados obtenidos. Para el análisis del fihero CSV generado, se usará la herramienta ipython con las librerías, Numpy y Scypi, con los que de manera rápida obtendremos unas conclusiones.

Las condiciones iniciales del ensayo son:

- Hora de inicio: 11:50
- Hora de fin: 12:20
- Temperatura de extrusión: 150°C

Las medidas obtenidas en el ensayo son:

	Diámetro X [mm]	Diámetro Y [mm]
count	1110.000000	1110.000000
mean	1.176870	0.913499
std	0.393488	0.510295
min	0.014000	0.000342
25 %	1.069229	0.761755
50 %	1.241277	1.092180
75 %	1.401856	1.241589
max	1.929470	1.747282

Tabla 1.1: Resultados obtenidos en la producción

Cómo podemos comprobar obtenemos una media aritmética de filamento de $\bar{x} = 1,17mm$ mm con una desviación estandar $\sigma = 0,39$. Representando las medidas de los ejes X e Y podemos comprobar que el resultado no es el deseado:

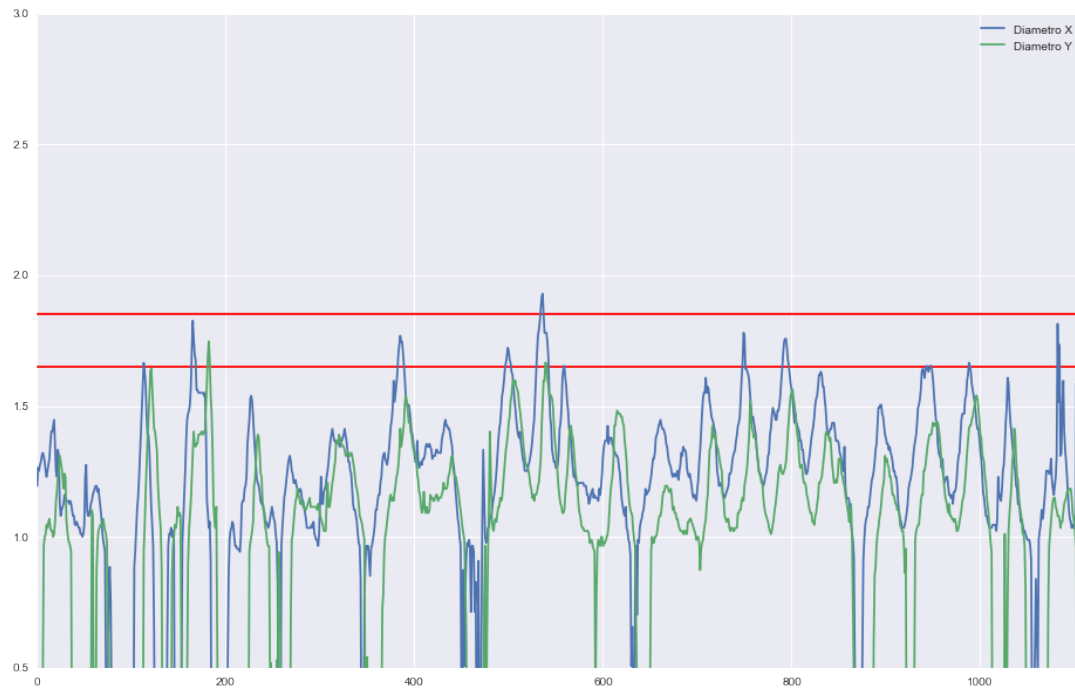


Figura 1.14: Representación de las medidas de los ejes X e Y.

Sólo un pequeño número de muestras están por dentro de los márgenes de calidad establecidos por BQ (Max = 1.85mm ; Min = 1.65mm). Además, si representamos los datos en un diagrama de cajas, vemos que hay mucha variación entre los dos ejes:

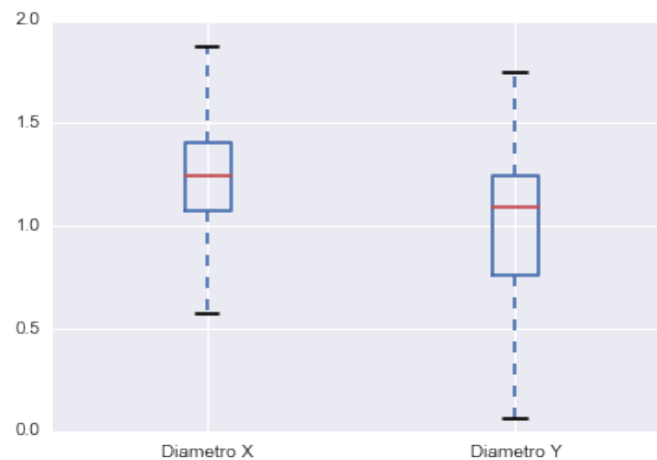


Figura 1.15: Diagrama de cajas de las medidas de los ejes X e Y.

Después de los resultados obtenidos en el experimento, descartamos que con este esquema de producción y los materiales disponibles, lleguemos a regular el diámetro de salida de una forma óptima, por tanto se trata de obtener otro esquema de producción para garantizar mejores resultados.

1.3. 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 línea, diseñar un sistema capaz de traccionar el filamento a medida que va saliendo de la boquilla.



Figura 1.16: Esquema de producción

Con el conocimiento adquirido al diseñar la peletizadora (ver capítulo 1.1 de la página 5) 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 [2] 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 alcanzazr grados de 0.225° . Para poder controlar el motor con está 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 1.2: 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:

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

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 1.3: Valores para controlar la velocidad de giro del motor paso a paso

Bibliografía

- [1] Maribel Beltrán and Antonio Marcilla. Temario de la asignatura tecnología de polímeros. pages 137–139, August 27 2015.
- [2] 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.