

# Capítulo 1

## Estado del arte

### 1.1. Impresoras 3D

En los últimos años ha tenido un gran auge las denominadas impresoras 3D. Máquinas capaces de crear un objeto físico de cero mediante un proceso de fabricación de modelado por deposición fundido (**FDM®** en inglés). Aunque estas siglas están registradas por la empresa Stratasys Inc. ya que su co-fundador, **S. Scott Crump** fué quien desarrollo está tecnología, y poseedor de la patente en la que se detalla su funcionamiento [1]. Por ello, se usa el término equivalente, fabricación con filamento fundido (**FFF**).

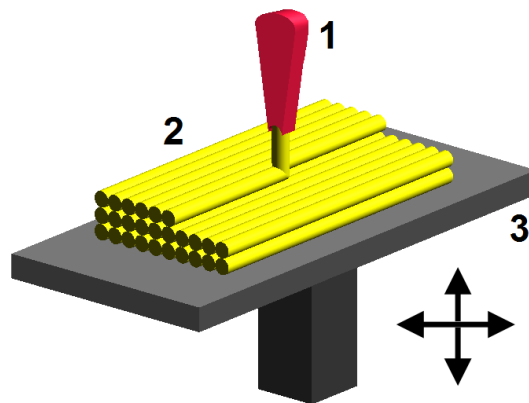


Figura 1.1: Principio de la fabricación con filamento fundido. Fuente [2]

En la imagen 1.1 podemos ver en detalle el principio de funcionamiento de este tipo de impresoras. La máquina dispone de un elemento fusor (1), que está por encima de la temperatura de transición vítrea del polímero, haciendo que entre en un estado viscoso y maleable. El fusor deposita el polímero (2) en distintos niveles sobre una superficie plana (3) a la vez que se desplaza en los tres ejes cartesianos (X,Y,Z), de este modo, la pieza es creada con el filamento que solidifica al salir del fusor.

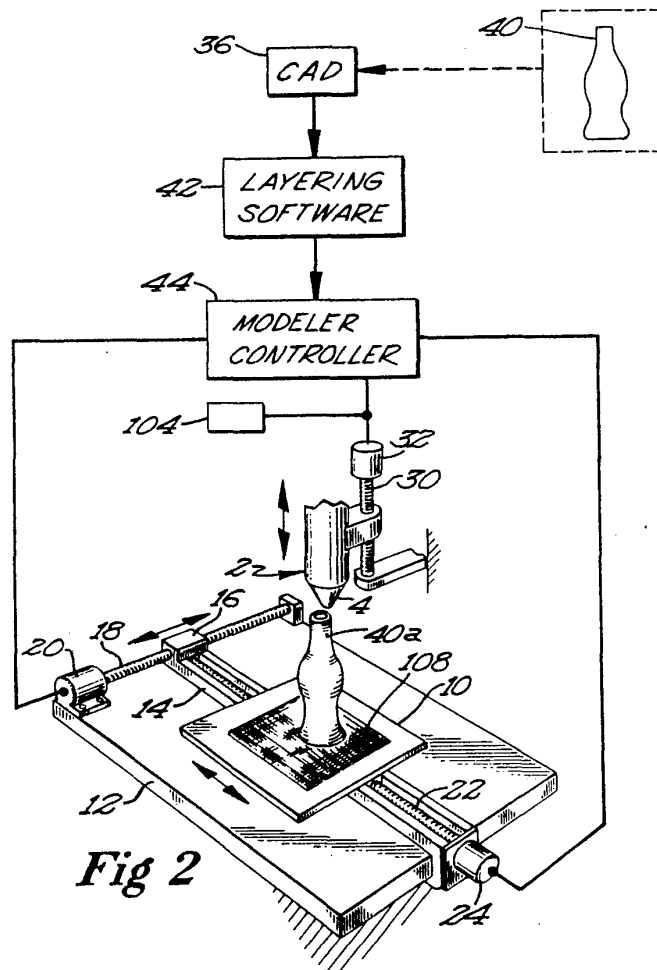


Figura 1.2: Esquema de la patente de S. Scott Crump. Fuente [1]

Este sistema de producción de fabricación, tiene tres pasos definidos:

- **Pre-procesado:** Un software especial lamina en capas y calcula las trayectorias necesarias para crear el objeto que queremos fabricar.
- **Producción:** La impresora 3D calienta el termoplástico hasta alcanzar un estado viscoso y maleable y lo va depositando en capas muy finas siguiendo las trayectorias anteriormente calculadas por el software. En los sitios en los que es necesario un soporte, la impresora pone material que posteriormente será quitado de la pieza final.
- **Post-procesado:** Una vez la impresora termina, la pieza será usable. En caso de haber puesto material, el usuario deberá removerlo antes de poder dar la pieza por terminada.

Según explica stratasys en su página web [3] La tecnología FFF tiene varios beneficios que la hacen idónea para fabricar:

- La tecnología es limpia y fácil de usar por el usuario.
- Los termoplásticos usados son estables mecánicamente y con el medio ambiente.
- Formas complejas que con otra tecnología serían costosas de fabricar, con FFF son mucho más prácticas de realizar.

---

El motivo de su crecimiento ha sido gracias a que han surgido unos modelos *Do It Yourself* (DIY), de tal manera que uno mismo es capaz de fabricarse una, reduciendo así el precio de la máquina. También se ha generado una gran comunidad de usuarios en donde se comparte conocimientos y vivencias de los usuarios, haciendo más fácil la iniciativa a que la gente construya sus propias impresoras. Las impresoras más extendidas son las que se basan en el modelado por deposición fundida (**FDM®** en inglés). Aunque estas siglas están registradas por la empresa Stratasys Inc. y por ello dentro de la comunidad de usuarios, se usa el término equivalente fabricación con filamento fundido (**FFF**) para poder utilizarlo sin tener ninguna repercusión legal.

### 1.1.1. Materiales usados en impresión 3D

En la actualidad hay multitud de materiales que se pueden usar en las impresoras 3D. Siendo la mayoría de ellos polímeros termoplásticos, ya que si se les aplica una temperatura alta se vuelven deformables y al enfriarlos, pasando por un estado de transición vítrea, se endurecen.

Algunos materiales que se usan son:

- **ABS** o acrilonitrilo butadieno estireno.
- **PLA** o poliácido láctico.
- **PVA** o alcohol de polivinilo.
- **NYLON**.

Todos ellos tienen características que hacen idóneo su uso en diferentes campos. Por ejemplo, el ABS tiene unas propiedades mecánicas mejores que el PLA. Por ello, en función de la utilidad que se vaya a dar a la pieza final, será recomendable usar un polímero u otro. Todos estos consumibles comparten la característica de como se distribuyen. El polímero es introducido en el fusor de la impresora en forma de filamento para de ese modo conseguir un hilo continuo durante la impresión.

Por ello, el método de fabricación del consumible es la extrusión, ya que es el método que mejor se amolda para crear objetos con una sección transversal definida y fija.

## 1.2. Extrusión de polímeros

La extrusión de polímeros es un proceso industrial de fabricación, en el cual se hace pasar por un troquel (también denominado dado) la materia prima previamente prensada y calentada. El proceso de prensado y calentamiento, se hace en una cámara, que contiene un tornillo sin fin el cual gira concéntricamente y es alimentado por una tolva. Al hacer pasar el polímero por el troquel, se consigue un objeto con un perfil constante y una longitud variable, pudiendo llegar a ser de centímetros, o en algunos casos de metros.

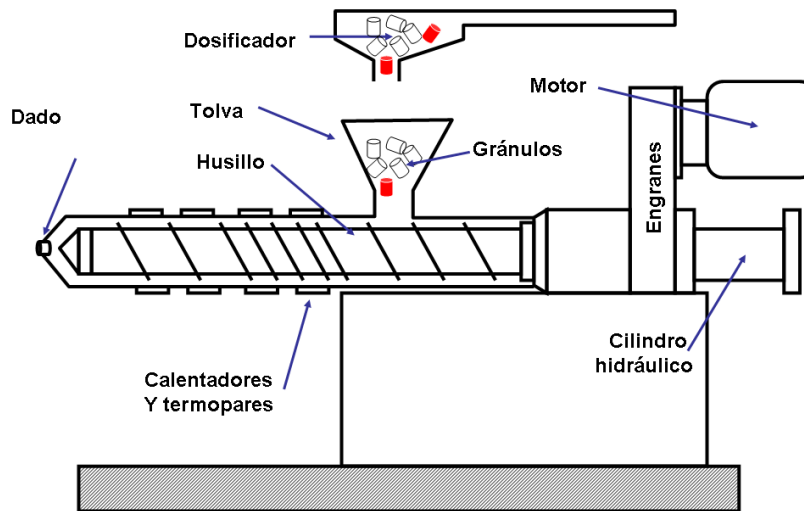


Figura 1.3: Esquema básico de una extrusora. Fuente [4]

Las principales variables de control que influyen en el acabado del producto final, son la velocidad de extrusión y la temperatura del cilindro hidráulico afectando estos en la calidad final del producto.

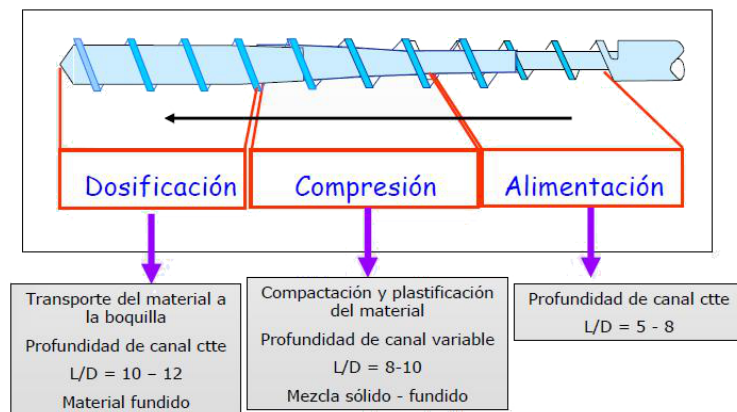
La velocidad influye directamente en el caudal de producción de la máquina. Teóricamente, al incrementar la velocidad del husillo, obtendríamos una mayor producción en la línea, por contra repercute en la calidad final haciendo que la mezcla del producto no sea homogénea y llegando a producirse la denominada fractura del polímero fundido, que es debido a la fricción que sufre el polímero al salir por el dado.

La temperatura por contra, influye en la viscosidad del polímero, este parámetro repercute directamente en la resistencia al fundido. Lo cual es bastante importante, por que en el caso que nos ocupa, el material obtenido será posteriormente fundido en una impresora 3D.

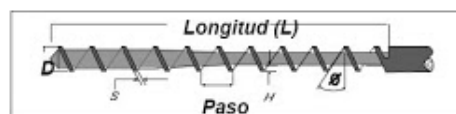
Los distintos elementos que conforman la extrusora son los siguientes.

- **Dosificador:** es el encargado de suministrar el polímero, normalmente en forma de granza, a la tolva garantizando un suministro constante.
- **Tolva:** depósito en el que cae la granza proveniente del dosificador. Debe proveer un flujo constante al extrusor para evitar cortes en el objeto que se está construyendo. Su diseño es muy importante, y en función del tipo de material que esté suministrando deberá ser de una manera u otra, debido a que el material puede llegar a compactarse en el fondo y no pasar a la extrusora. Algunos modelos de tolva incluyen sistemas de vibración para ayudar a que el material caiga. En la mayoría de los casos y dependiendo del material con el que estemos trabajando, será conveniente que incluya un sistema de secado para eliminar la humedad, puesto que puede afectar a la hora de trabajar con el.
- **Cilindro hidráulico:** Constituye el cuerpo principal de la extrusora y en su interior está el husillo. Es en este cilindro donde se encuentran las resistencias eléctricas que aportan la energía calorífica necesaria para fundir el material. La temperatura está registrada a lo largo de las distintas zonas del cilindro, para poder tener un control sobre la temperatura de fusión del material. El cilindro debe estar fabricado con materiales especiales de tal manera, que tenga una buena transferencia de calor y debe ser más duro que el material que se está extruyendo, para lograr una larga duración.

- **Husillo:** Es el elemento más importante de la extrusora y el que determina el grado de calidad con el que la pieza saldrá de la extrusora.



(a) Forma de un husillo. Fuente [5]



<b>S</b>	ancho del filete	Entre $0.08D - 0.12D$
<b>P</b>	paso o ancho de canal	Distancia horizontal entre los centros de dos filetes consecutivos.
<b>D</b>	diámetro	Distancia máxima entre los topes de los filetes del tornillo
<b>H</b>	profundidad del canal	Distancia perpendicular desde el tope del filete hasta la superficie del canal
<b>Ø</b>	ángulo de hélice	Cuando el paso = D, el ángulo es $17.7^\circ$

(b) Parámetros de un husillo. Fuente [6]

Figura 1.4: Características de un husillo.

Como se aprecia en la figura 1.4a tenemos tres zonas claramente definidas:

- **Alimentación:** Esta zona, es la encargada de transportar la grana de la tolva al interior del husillo. En la figura 1.4a podemos ver como los filetes están muy separados del centro del husillo, con el fin de transportar la mayor cantidad posible de material.
  - **Compresión:** A medida que entramos en la zona de compresión, los filetes van disminuyendo y se acercan al husillo, con el fin de fundir y homogeneizar el material. Aquí se expulsa el posible aire residual que quede entre la grana.
  - **Dosificación:** Conduce el material compactado hacia el dado de la extrusora. Esta zona debe garantizar que el material sale con una temperatura constante y homogéneo.
- **Dado:** En función del dado que se coloque al final de la extrusora, se conseguirá un perfil distinto, en el caso que nos ocupa, el dado tiene un círculo para conseguir la forma de cilindro que deseamos.

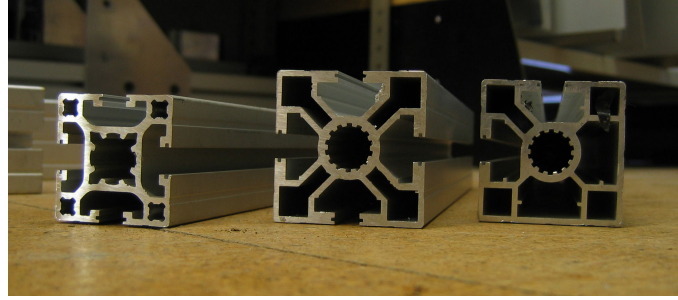


Figura 1.5: Distintos ejemplos de extrusión. Fuente [7]

### 1.3. Fundamentos del control

### 1.4. Comunicaciones industriales

# Bibliografía

- [1] 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.
- [2] Zureks. Fundamento fdm. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AFDM\\_by\\_Zureks.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AFDM_by_Zureks.png), June 9 2008.
- [3] Stratasys. Fdm technology, June 9 2015.
- [4] Gran Loco. Diseño genérico de un extrusor. [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ed/Disenio\\_de\\_un\\_extrusor.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ed/Disenio_de_un_extrusor.png), June 9 2006.
- [5] Santiago Ferrándiz. Detalle de un husillo de extrusora. <http://3.bp.blogspot.com/-ZOGzL5mmFW8/TbWU01HOD5I/AAAAAAAAAHE/aW1dNIsoPl8/s1600/21.JPG>, June 9 2012.
- [6] Santiago Ferrándiz. Parámetros de un husillo de extrusora. [https://lh4.googleusercontent.com/-38dQ\\_PeujTE/TYCjbjVFSxI/AAAAAAAAAB8/Ogy301i\\_KCo/s1600/14.JPG](https://lh4.googleusercontent.com/-38dQ_PeujTE/TYCjbjVFSxI/AAAAAAAAAB8/Ogy301i_KCo/s1600/14.JPG), June 9 2012.
- [7] 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](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/ef/Extruded_aluminium_section_x3.jpg/1920px-Extruded_aluminium_section_x3.jpg), June 9 2007.