



Universidad de  
Oviedo



**ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN**

**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

**ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN**

**TRABAJO FIN DE GRADO Nº 19010218**

**DISEÑO MECÁNICO DE UN SISTEMA DE CAMBIO AUTOMÁTICO  
DE CABEZALES DE EXTRUSIÓN PARA UNA IMPRESORA 3D DE FFF  
MULTIFILAMENTO**

**D. JORGE LARA GARCÍA  
TUTOR: D. GONZALO VALIÑO RIESTRA**

**Julio de 2019**



Universidad de  
Oviedo



**ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN**

**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

**ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN**

**TRABAJO FIN DE GRADO Nº 19010218**

**DISEÑO MECÁNICO DE UN SISTEMA DE CAMBIO AUTOMÁTICO  
DE CABEZALES DE EXTRUSIÓN PARA UNA IMPRESORA 3D DE FFF  
MULTIFILAMENTO**

**MEMORIA**

**D. JORGE LARA GARCÍA  
TUTOR: D. GONZALO VALIÑO RIESTRA**

**Julio de 2019**

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>4</b>
<b>3. ESTADO DE LA TÉCNICA</b> .....	<b>5</b>
<b>3.1. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS Y TECNOLOGÍAS DE FA MÁS UTILIZADOS</b> .....	<b>5</b>
3.1.1. ESTEREOLITOGRAFÍA (SLA) .....	5
3.1.2. SINTERIZADO SELECTIVO POR LÁSER (SLS).....	6
3.1.3. FABRICACIÓN CON FILAMENTO FUNDIDO (FFF) .....	7
3.1.4. INYECCIÓN AGLUTINANTE .....	8
3.1.5. POLYJET.....	9
3.1.6. SINTERIZADO DIRECTO DE METAL POR LÁSER (DMLS) .....	10
3.1.7. FUSIÓN POR HAZ DE ELECTRONES (E-BEAM) .....	11
<b>3.2. MÁQUINAS COMERCIALES DE IMPRESIÓN 3D BASADAS EN FFF</b> .....	<b>12</b>
3.2.1. BIG 60 V2 DE MODIX 3D .....	12
3.2.2. PRO2 DE RAISE 3D .....	13
3.2.3. SIGMAX DE BCN3D .....	13
3.2.4. ULTIMAKER S5 DE ULTIMAKER.....	14
<b>3.3. TIPOS DE CABEZALES DE EXTRUSIÓN Y ELEMENTOS QUE LO FORMAN</b> .....	<b>16</b>
<b>3.4. FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE DOS CABEZALES</b> .....	<b>19</b>
<b>3.5. SISTEMAS DE CAMBIO RÁPIDO DE HERRAMIENTAS EN OTRAS TECNOLOGÍAS</b> .....	<b>21</b>
3.5.1. CAMBIADOR AUTOMÁTICO DE HERRAMIENTAS EN CENTROS DE MECANIZADO TIPO BRAZO .....	21
3.5.2. CAMBIADOR AUTOMÁTICO DE PALPADORES EN MÁQUINAS DE MEDIR POR COORDENADAS.....	23
3.5.3. CAMBIADOR AUTOMÁTICO DE HERRAMIENTAS EN ROBOTS INDUSTRIALES	24
3.5.4. CARACTERÍSTICAS COMUNES PARA EL DISEÑO DE UN CAMBIADOR DE EXTRUSORES .....	25
<b>4. DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE CAMBIO AUTOMÁTICO</b> .....	<b>26</b>
<b>4.1. ESPECIFICACIONES DE PARTIDA</b> .....	<b>26</b>
<b>4.2. ELEMENTOS A CONSIDERAR EN EL CABEZAL DE EXTRUSIÓN</b> .....	<b>27</b>
<b>4.3. PROPUESTAS DE DISEÑO CONCEPTUAL</b> .....	<b>28</b>
4.3.1. CARRO CON VARILLAS CILÍNDRICAS ALARGADAS Y ALMACÉN MODULAR .....	29
4.3.2. CARRO CON PESTAÑAS EN FORMA DE “L” Y ALMACÉN MODULAR .....	29
4.3.3. ALMACÉN ROTATORIO Y BRAZO PORTA-CABEZALES .....	29
4.3.4. CARRO CON CASQUILLOS Y ALMACÉN MODULAR .....	31
4.3.5. ELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN A DESARROLLAR .....	33

<b>5. DISEÑO DETALLADO DEL SISTEMA DE CAMBIO AUTOMÁTICO.....</b>	<b>34</b>
<b>5.1. CABEZAL DE EXTRUSIÓN .....</b>	<b>34</b>
5.1.1. EXTRUSOR.....	34
5.1.2. CARCASA DE CHAPAS.....	35
5.1.3. GUÍAS.....	36
5.1.4. ACOPLAMIENTO .....	36
5.1.5. VENTILADORES .....	37
5.1.6. DEFLECTOR PARA EL VENTILADOR DE CAPA .....	38
5.1.7. TORNILLOS.....	37
5.1.8. MONTAJE DEL CABEZAL DE EXTRUSIÓN.....	38
<b>5.2. CARRO DE EXTRUSIÓN.....</b>	<b>41</b>
5.2.1. GUÍA Y CARRO .....	41
5.2.2. PLACA DE ALUMINIO .....	41
5.2.3. CASQUILLOS.....	41
5.2.4. MONTAJE DEL CARRO.....	43
<b>5.3. ALMACÉN.....</b>	<b>45</b>
5.3.1. PARED DEL ALMACÉN.....	45
5.3.2. BASE DEL ALMACÉN.....	45
5.3.3. GUÍAS.....	46
5.3.4. ESCUADRAS .....	46
5.3.5. POSICIONADOR DE BOLAS.....	46
5.3.6. SOPORTE DE LOS POSICIONADORES DE BOLAS .....	47
5.3.7. TORNILLOS.....	47
5.3.8. PLACAS DE CONTROL.....	48
5.3.9. MONTAJE DEL ALMACÉN.....	48
<b>5.4. FUNCIONAMIENTO DEL CAMBIO AUTOMÁTICO DE CABEZALES .....</b>	<b>50</b>
5.4.1. ALMACÉN-CABEZAL.....	50
5.4.2. CARRO-CABEZAL.....	51
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>53</b>
<b>7. PLANIFICAIÓN Y PRESUPUESTO.....</b>	<b>54</b>
<b>7.1. PLANIFICACIÓN .....</b>	<b>54</b>
<b>7.2. PRESUPUESTO.....</b>	<b>57</b>
<b>8. REFERENCIAS.....</b>	<b>59</b>

# 1. Introducción

La *fabricación aditiva* (FA) o *impresión 3D* es una técnica de fabricación por la que un modelo virtual tridimensional de una pieza es convertido en un objeto físico mediante la adición de material, depositado capa a capa. Los procesos de aporte de material o aditivos son aquellos que depositan un material, originalmente en estado sólido, líquido o en polvo, por capas sucesivas dentro de un espacio predeterminado y con procedimientos electrónicos. En función del estado del material, los procesos utilizan como principio de funcionamiento la fusión-solidificación (sólidos), la solidificación (líquidos) o la unión o sinterizado (polvos). En la Tabla 1.1 se muestra una clasificación de los procesos de FA en función del estado del material.

ESTADO DEL MATERIAL	HERRAMIENTAS	PROCESOS	NOMBRE
Líquido	Radiación láser	Solidificación	Fotopolimerización con láser - Estereolitografía (SLA)
			Fotopolimerización por proyección por máscara (DLP)
			Impresión láser UV de sólidos
	Lámpara de luz UV		Fotopolimerización
	Impresión por inyección (Polyjet)		
Sólido	Cabezal extrusión	Fundido / solidificado	Modelado por deposición fundida (FDM)
	Cabezal Inyección		Material Jetting - Polyjet
	Laminación	Laminación	Fabricación por laminación (SDL)
Polvo	Aglutinante	Unión	Impresión 3D (3DP)
	Láser	Sinterizado	Sinterizado por láser (SLS-DMLS)

**Tabla 1.1.** Clasificación de los procesos de FA en función del estado del material

Los procesos de FA comenzaron a desarrollarse en la segunda mitad de los años 80, en la que algunas adaptaciones y avances sobre el concepto de la inyección de tinta transformaron esta tecnología de impresión con tinta, en impresión con materiales. Estas tecnologías se desarrollaron con el objetivo final de creación de un prototipo físico a partir de un CAD 3D, pero rara vez cumplían con los requisitos mínimos para su uso como pieza funcional. Es a partir de los 90 cuando nuevas tecnologías permiten la obtención de piezas funcionales, pasando a denominarlas como procesos de *Rapid Manufacturing* (RM) y comienzan a ser utilizados en algunas aplicaciones industriales como la fabricación de pequeños moldes, insertos de moldes de alta complejidad y la fabricación de componentes de plástico para vehículos de competición o de muy alta gama. Sin embargo, el precio de los equipos seguía siendo prohibitivo para la mayoría de las empresas y el nicho de aplicaciones donde las técnicas de RM podían ser rentables se reducía a pocos clientes.

En la actualidad, es frecuente emplear el término de *Impresión 3D* cuando se habla de máquinas de impresión de alcance doméstico o semiprofesional. *Fabricación Aditiva* es el último término aplicado y se utiliza para describir la tecnología en general. Es muy habitual cuando se hace referencia a



aplicaciones de fabricación de componentes funcionales, usando equipos industriales de altas prestaciones.

Algunos sectores donde la FA está adquiriendo especial relevancia son, por ejemplo, el sector aeronáutico, donde el peso es un factor muy importante y la FA permite aligerar y diseñar piezas en pequeñas series y con materiales especiales como el titanio, o el sector biomédico, donde se pueden diseñar prótesis adaptadas, ya que es posible escanear digitalmente la mano o cualquier parte del cuerpo de un paciente y diseñar la férula adaptada al momento.

Este auge se traduce, según algunos expertos, en que la FA ha pasado ya de la fase en la que se utilizaba para el prototipado, a una en la que ya se utiliza en la producción industrial de pequeñas series o allá donde se precisen piezas muy complejas. La FA es particularmente efectiva donde los métodos de fabricación tradicional son ineficientes. Mientras en la fabricación tradicional existen límites y restricciones, la FA ofrece:

- Flexibilidad en el diseño y construcción de formas, facilitando la personalización de los productos
- Posibilidad de optimización del diseño en función del ahorro de material, no estando condicionado por las limitaciones geométricas propias de los procesos tradicionales
- Utilización solamente del material preciso para producir la pieza, evitando así la generación de residuos, abaratando el precio de los componentes y produciendo de una manera más sostenible
- Posibilidad de fabricación de productos multimaterial, mejorando las prestaciones en la relación peso/resistencia mecánica
- Reducción en los tiempos de desarrollo de del producto, al poder obtener un modelo 3D rápido que permita detectar fácilmente los aspectos a rediseñar
- Posibilidad de fabricación de series cortas a costes bajos, reduciendo al mínimo el número de utillajes necesarios
- Posibilidad de reducir costes y tiempos de reparación
- Creación de un inventario digital, con lo que se pueden elaborar recambios de piezas que se han dejado de fabricar hace tiempo sin tener que acumular stock
- Posibilidad de evitar los gastos de transporte de piezas, pues con la FA se puede fabricar in situ las piezas que se necesiten

A pesar de los evidentes avances que puede aportar a la industria por sus indiscutibles ventajas, existen limitaciones que hacen que las tecnologías FA no se hayan implantado aún de manera generalizada en muchos sectores. Tales limitaciones tienen que ver con:

- La disponibilidad de los materiales no es tan amplia como en otros procesos más convencionales y el coste de los mismos es aún más elevado
- Deficiente acabado superficial y baja velocidad de fabricación, que limitan la funcionalidad del producto en cuanto a precisión y del proceso, en cuanto a productividad. La mejora de la rugosidad está ligada a la reducción del espesor de la capa, lo que tiene una influencia directa en un aumento en el tiempo de fabricación final.
- Precisión dimensional y repetibilidad de los procesos, condicionados tanto por el desarrollo de la tecnología aplicada, muchas veces de bajo coste, como a los factores físicos en la transformación del material, con la aparición de distorsiones relacionados con las tensiones de naturaleza térmica.



- El volumen de pieza máximo que se puede construir hoy en día es bastante limitado. En piezas de plástico se puede llegar a dos metros, mientras que empleando metales no se puede superar un cubo de 500 mm de lado. Existe también un límite inferior de las piezas más pequeñas que se pueden fabricar y está condicionado por parámetros, como el tamaño del polvo, el diámetro de las boquillas de deposición de material fundido, el espesor de la capa de material.
- El elevado coste de la maquinaria, dado que en procesos para piezas funcionales el coste de inversión es muy superior en comparación a la tecnología utilizada en procesos tradicionales

Actualmente existen más de 11.500 patentes y aplicaciones publicadas sobre los procesos de fabricación aditiva, y cada año se publican cerca de 1.400 nuevas patentes que abarcan todas las facetas de la tecnología incluyendo procesos, materiales y software. Asimismo, las piezas funcionales realizadas por procesos aditivos para series cortas representan alrededor de un 30% del total de las piezas fabricadas. Después de más de tres décadas de investigación y desarrollo, la tecnología de FA continúa creciendo, teniendo un fuerte impacto en la forma en la que las empresas están fabricando sus productos, introduciendo nuevos materiales y nuevos modelos de negocio.

Las principales tendencias en las que se está desarrollando la tecnología de FA es en el desarrollo de nuevos materiales, muchas veces de carácter mixto (metal-resina), así como el desarrollo de la impresión 3D de metales. Por tanto, es necesario mejorar algunos aspectos de la tecnología para obtener un proceso de impresión 3D competitivo, como son:

- El desarrollo de materiales que puedan ser impresos a gran velocidad
- El trabajo con múltiples materiales
- Ampliación de los límites volumétricos, tanto mínimos como máximos
- Mejora del acabado superficial sin añadir tratamientos posteriores al proceso
- Control de la humedad en los filamentos de plásticos, en procesos de FDM
- Mejora de la precisión dimensional
- Mejora de las propiedades mecánicas de los productos



## 2. Objetivos

Dentro de los retos planteados de cara a la evolución y mejora de las tecnologías de FA destacan la necesidad de mejora de sus prestaciones en lo referido fundamentalmente a precisión, productividad y trabajo con múltiples materiales.

Justamente con estos objetivos se desarrollan varios trabajos en el Área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación de la Universidad de Oviedo, tales como el proyecto titulado *Compensación en tiempo real de errores de geometría de capa para procesos de fabricación aditiva* (Ref. DPI2017-83068-P), financiado por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, centrado fundamentalmente en la mejora de precisión de los sistemas basados en *Fused Filament Fabrication* (FFF). También se han desarrollado otros proyectos anteriores y, en el presente curso, se han propuesto varios TFGs dentro de los objetivos generales antes presentados.

En particular, en el presente TFG se aborda el reto de la mejora de productividad y el trabajo multimaterial, combinando ambos objetivos. Para ello, se propone el desarrollo de un sistema destinado a su integración en una impresora 3D basada en FFF, que posibilite a la misma trabajar con un único cabezal de extrusión unido al carro de la máquina y tener almacenados otros cabezales adicionales con diferentes materiales y/colores que puedan ser conectados fácilmente al carro de la máquina, reemplazando al anterior. Para ello, el software integrado de la impresora debería ser capaz de realizar el cambio automático de un cabezal por otro y la impresora podría seguir trabajando en la pieza sin la necesidad de que intervenga ningún operario.

Para poder afrontar este objetivo, en el TFG se plantean las siguientes especificaciones:

- Realizar el diseño mecánico de un sistema de almacenaje y cambio automático de cabezales de extrusión para una impresora de *fabricación con filamento fundido* (FFF).
- El trabajo se particularizará para una impresora 3D de esta tecnología disponible en las instalaciones del Área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación.
- El sistema diseñado deberá permitir trabajar con 4 materiales y/o colores y deberá tener en cuenta todos los detalles necesarios para un correcto funcionamiento del sistema.
- En particular, se prestará especial atención al diseño del almacén de los cabezales de extrusión, garantizando un posicionamiento estable de éstos y en condiciones de utilización rápida (atemperados).
- También es necesario definir un sistema de acoplamiento/desacoplamiento rápido que garantice el correcto posicionamiento y fijación sobre el almacén y sobre el carro de la máquina que lo desplazará durante la extrusión, así como el correcto suministro de material y de energía eléctrica.
- El desarrollo del sistema se realizará sin la utilización de accionamientos adicionales a los propios de la impresora 3D utilizada como base para la integración.
- No será objetivo de este TFG la realización de las adaptaciones del sistema de control de la máquina para el funcionamiento automatizado del sistema.

## 6. Conclusiones

El objetivo de este proyecto era diseñar un sistema de almacén y cambio automático de cabezales de impresión 3D, para una impresora FFF multifilamento. Para ello, se ha empezado realizando un estudio de la técnica de la Fabricación Aditiva, definiéndola, justificando su auge en estos últimos años y viendo las diferentes técnicas de FA que existen actualmente en el mercado. Posteriormente, nos hemos centrado ya en la técnica que usará la impresora para fabricar las piezas, la Fabricación por Filamento Fundido, FFF. Aparte, se ha realizado también un estudio de los diferentes tipos de sistemas de cambio automático de herramientas que existen en el mercado, para ver qué ideas podrían ser aprovechables para el desarrollo del cambiador automático de cabezales de extrusión.

Terminado el estudio, se desarrollaron las primeras ideas para el diseño del sistema de cambio automático de cabezales. Tras barajar distintas opciones, la elegida finalmente consiste en un almacén modular con guías en el sentido horizontal y topes y posicionadores de bolas para fijar la posición de los cabezales, y por un carro con tres casquillos que, al introducirlos en un acoplamiento y fijar también su posición con posicionadores de bolas, soporten y muevan el cabezal de extrusión.

Así, con el diseño final de nuestro sistema automático de cambio de cabezales, conseguimos, con la ayuda de un software externo, no solo poder cambiar los cabezales de impresión tantas veces como sea necesario, combinando distintos materiales para realizar la pieza, sin la necesidad de que intervenga ningún operador, ahorrando tiempo y dinero, sino que también aseguramos una adecuada calidad de impresión al haber combinado las nuevas ideas con tecnologías ya existentes en el mercado. Otros puntos fuertes de nuestro diseño son: su simplicidad mecánica, ya que no necesita accionamientos adicionales y está todo integrado en un solo sistema. El cambio de cabezales, precisamente gracias a la simplicidad del sistema, será rápido y preciso, por lo que los tiempos de cambio de cabezales de extrusión serán bajos y éstos se podrán poner a trabajar inmediatamente una vez estén acoplados al carros, gracias a que en el almacén están atemperados. Otro motivo es que todos los componentes que forman dicho sistema, pueden ser fabricados con procesos de fabricación en serie (fresados, impresión 3D con otra impresora...), por lo que si algún componente del sistema fallase o se rompiese, podría ser repuesto rápidamente por otro componente igual fabricado al momento. No solo es sistema de cambio es sencillo, sino que el montaje del mismo también lo es, pues habiendo tenido en cuenta las dimensiones de todos los tornillos encargados de unir las piezas, éste no conlleva ninguna complicación.



## 8. Referencias

- ESTADO DEL ARTE DE FABRICACIÓN ADITIVA. OPORTUNIDADES INDUSTRIA 4.0 EN GALICIA. Ed: Xunta de Galicia (IGAPE). Noviembre 2017. Accedido el 12/02/2019, mediante enlace:  
<http://www.igape.es/es/ser-mas-competitivo/galiciaindustria4-0/estudios-e-informes/item/1529-opportunidades-industria-4-0-en-galicia>
- HISTORIA DE LA FABRICACIÓN ADITIVA. Accedido el 12/02/2019, mediante enlace:  
<https://www.sculpteo.com/es/servicios/fabricacion-aditiva/>
- EL AUGE IMPARABLE DE LA FABRICACIÓN ADITIVA, DE LOS PROTOTIPOS A LAS SERIES. Artículo on-line. Accedido el 13/02/2019, mediante enlace:  
<https://www.deia.eus/2019/06/06/economia/el-auge-imparable-de-la-fabricacion-aditiva-de-los-prototipos-a-las-series>
- ¿QUÉ SON LAS TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN ADITIVA? Artículo on-line. Accedido el 13/02/2019, mediante enlace:  
<https://www.3dnatives.com/es/tecnologias-3d/>
- TOP 13 DE IMPRESORAS 3D CON GRAN VOLUMEN DE IMPRESIÓN A MENOS DE €5,000. Accedido el 14/02/2019, mediante enlace:  
<https://www.3dnatives.com/es/top-10-impresoras-fdm-volumen-de-impresion-21092016/>
- GRAN ESCALA IMPRESORAS 3D MODIX. Accedido el 14/02/2019, mediante enlace:  
<https://www.modix3d.com/>
- MODIX BIG 60 V2. Accedido el 14/02/2019, mediante enlace:  
<https://3dprinting.com/pricewatch/3d-printer/modix-big-60/#details>
- 3D PRINTERS. Accedido el 14/02/2019, mediante enlace:  
<https://www.raise3d.eu/collections/3d-printer>
- RAISE3D PRO2. Accedido el 14/02/2019, mediante enlace:  
<https://3dprinting.com/pricewatch/3d-printer/raise3d-pro2/>
- BCN3D. Accedido el 15/02/2019, mediante enlace:  
<https://www.bcn3dtechnologies.com/es/3d-printer/>
- BCN3D Sigma X. Accedido el 15/02/2019, mediante enlace:  
<https://www.bcn3dtechnologies.com/es/3d-printer/bcn3d-sigma-x/>
- BCN3D Launches New R19 Printers. Accedido el 15/02/2019, mediante enlace:  
<https://3dprinting.com/news/bcn3d-launches-new-r19-printers/>
- ULTIMAKER S5. Accedido el 15/02/2019, mediante enlace:  
<https://ultimaker.com/en/products/ultimaker-s5>



- ULTIMAKER S5. Accedido el 15/02/2019, mediante enlace:  
<https://3dprinting.com/pricewatch/3d-printer/ultimaker-s5/>
- EXTRUSORES DE LAS IMPRESORAS 3D. Accedido el 20/02/2019, mediante enlace:  
<https://tublogen3d.com/impresoras-3d/extrusores/>
- EL MUDO 3D. Accedido el 20/02/2019, mediante enlace:  
<https://elmundo3d.com/extrusor/>
- TIPOS DE CAMBIADORES DE HERRAMIENTAS. Accedido el 28/02/2019, mediante enlace:  
<http://www.famasa.com/tipos-cambiador-de-herramientas>
- HAAS VF2 CNC CARRUSEL. Accedido el 28/02/2019, mediante enlace:  
<https://www.youtube.com/watch?v=j3545ML7bZU>
- CAMBIADOR DE HERRAMIENTAS DE MONTAJE LATERAL DE 30 POSICIONES DE HAAS. Accedido el 28/02/2019, mediante enlace:  
<https://www.haascnc.com/es/video/products/x4ku8qsvywk.html>
- CAMBIADORES AUTOMÁTICOS Y ACCESORIOS. Accedido el 01/03/2019, mediante enlace:  
<https://www.renishaw.es/es/cambiadores-automaticos-y-accesorios--6653>
- CAMBIO AUTOMÁTICO CXC10. JKE Robotics. Enero 2016. Accedido el 01/03/2019, mediante enlace:  
[http://www.jkerobotics.com/images/Folleto%20CXC10\(1\).pdf](http://www.jkerobotics.com/images/Folleto%20CXC10(1).pdf)
- FASTITE 2000. CELO Screw Technology. Accedido el 03/04/2019, mediante enlace:  
<https://www.celofasteners.com/es/1661-fastite2000>