

custom-on-body

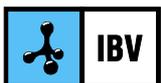


MEMORIA

PT3. Tecnologías de fabricación flexible para la personalización

Entregable:	E3.1
Paquete de trabajo:	PT3
Responsable:	AIDIMME

Definición de una metodología de diseño para la personalización de productos adaptados a la variabilidad morfológica de la población, que sean fabricados mediante tecnologías de producción flexible



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVO	5
3. REVISIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN FLEXIBLE	6
3.1. PROCESOS DE FABRICACIÓN ADITIVA	9
Clasificación de los procesos de fabricación aditiva	10
Procesos de fabricación aditiva de polímeros	10
Procesos de fabricación aditiva de metales	18
3.2. Procesos de fabricación aditiva indirecta	22
Colada en vacío	22
Microfusión	24
Combinación de procesos de fabricación (Fabricación aditiva+colada en vacío)	24
3.3. Materiales utilizados en los productos personalizados.	25
Sector tecnologías sanitarias:	25
Monturas oftalmológicas:	26
Sector Prevención	27
Sector Bienes de consumo	28
Sector Indumentaria	28
Sector automoción	30
3.4. Selección de los procesos de fabricación flexible en función de la tipología de producto personalizado.	30
4. PROTOCOLO PARA EL USO DE LAS TECNOLOGÍAS QUE PERMITEN UNA FABRICACIÓN FLEXIBLE PARA LA PERSONALIZACIÓN	31
4.1. Factores clave para la fabricación de productos de alta calidad	32
4.2. Diseño orientado al proceso productivo para hacer un uso eficiente de FA	36
4.3. Pasos del protocolo de uso de tecnologías de fabricación flexible	43

1. INTRODUCCIÓN

En este informe se recogen los resultados del paquete de trabajo *PT3. Tecnologías de fabricación flexible*, cuyo principal objetivo es obtener una selección de procesos de fabricación que permitan obtener productos personalizados a los usuarios de un modo flexible y las condiciones de uso de dichos procesos de fabricación.

2. OBJETIVO

El objetivo de esta fase es obtener una selección de procesos de fabricación que permitan obtener productos personalizados a los usuarios de un modo flexible y las condiciones de uso de dichos procesos de fabricación. Para alcanzar este objetivo se ha realizado un estudio de las tecnologías de fabricación que nos permiten la obtención de piezas personalizadas de una forma lo más eficiente posible y son adecuadas para la obtención de productos pertenecientes a los sectores de mercado previamente identificados en el paquete de trabajo 1. Tras la identificación de dichas tecnologías se ha descrito un protocolo de actuación genérico para la fabricación de productos personalizados donde se tienen en cuenta las características de la tecnología de fabricación seleccionada, así como el material con el que se fabricará.

3. REVISIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN FLEXIBLE

En el entorno de este proyecto se denomina Fabricación flexible aquellos procesos de fabricación o combinación de procesos que permite fabricar rápida y económicamente factible un producto que ha sido diseñado en sistemas CAD y por lo tanto se dispone de información digital para su procesado.

Las tecnologías de fabricación existentes se dividen en tres grandes grupos tanto para metales como para plásticos:

1. Procesos sustractivos
2. Procesos de conformado
3. Procesos de fabricación aditiva

Procesos sustractivos:

Se parte de un bloque de material de dimensiones mayores que la geometría final a obtener. Mediante sucesivas operaciones de arranque de material se elimina selectivamente el material creando la pieza deseada. Algunos ejemplos de esta tipología serían los procesos de fabricación siguientes:

- Mecanizado: proceso de fabricación que comprende un conjunto de operaciones de conformación de piezas mediante la eliminación de material, ya sea por arranque de viruta o por abrasión. Dentro de mecanizado se encuentran los procesos de fresado, torneado, taladro.



Figura 1. Imágenes de mecanizado.

- Electroerosión: Proceso que consiste en la generación de un arco eléctrico entre una pieza y un electrodo en un medio dieléctrico para arrancar partículas de la pieza hasta conseguir reproducir en ella las formas del electrodo. Ambos, pieza y electrodo, deben ser conductores, para que pueda establecerse el arco eléctrico que provoque el arranque de material.



Figura 2. Imágenes de electroerosión

- Corte: Corte por agua, laser, sierra, etc...

Fabricación Conformativa:

El material se introduce en una matriz con la cavidad de la pieza que se desea obtener. El material de partida se adapta a la forma de la matriz, se procesa con esta forma, finalmente la pieza es extraída de la matriz. Ejemplos:

Metales:

- Moldeo por Inyección: El material fundido es inyectado en la cavidad del molde, la cavidad es el negativo de la pieza, el material solidifica con la forma de la pieza.



Figura 3. Ejemplo de producto inyectado

- Forja, embutición, extrusión: El material metálico se deforma plásticamente para que se adapte a la cavidad de la matriz.
- Termoconformado: una plancha o lámina de semielaborado termoplástico se calienta de forma que al reblandecerse puede adaptarse a la forma de un molde por acción de presión vacío o mediante un contramolde.
- Pulvimetalurgia convencional (sinterización, MIM, CIM, etc.). La cavidad del molde es rellena con material en formato polvo, tras un proceso de compactación y sinterización se extrae la pieza.

Polímeros:

- En el caso de los polímeros hay numerosos procesos de fabricación basados moldeo, como es el moldeo por inyección, moldeo por extrusión, moldeo por soplado así como termoconformado.

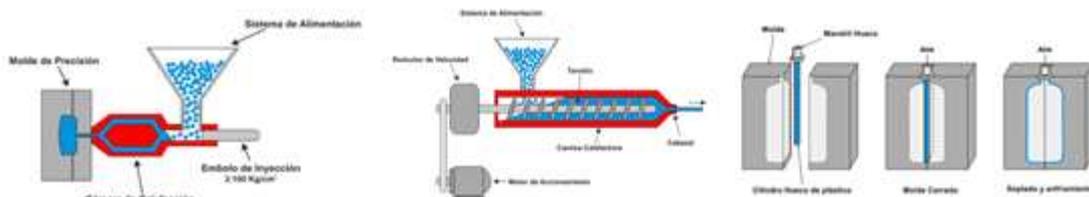


Figura 4. (a) Moldeo por inyección; (b) Moldeo por extrusión; (c) Moldeo por soplado

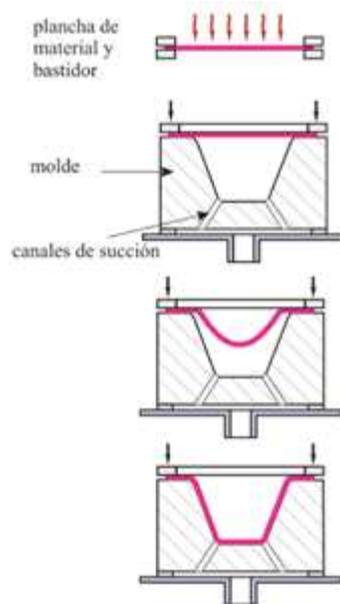


Figura 5. Termoconformado

Los procesos sustractivos y de conformado se podrían denominar procesos de fabricación convencionales y son la base de la industrialización y de las producciones en masa. Generalmente, requieren de utillajes específicos como son moldes y herramientas por lo que se reduce su uso cuando se requieren pocas unidades de un producto y por lo tanto no son las más adecuadas para la obtención de productos personalizados que requieren de una alta flexibilidad de adaptación.

Fabricación Aditiva:

Recientemente, ha aparecido un nuevo tipo de tecnologías denominadas Tecnologías de Fabricación Aditiva (FA) que permiten la producción de productos con geometrías más complejas que las obtenidas mediante tecnologías de fabricación tradicionales. La principal característica de las tecnologías de FA es que las piezas o productos se fabrican por la sucesiva adición selectiva de material, directamente a partir de un fichero digital con la geometría de la pieza CAD 3D.

El hecho de que la base de estas tecnologías sea un fichero digital las hace unas de las principales opciones para la personalización del producto puesto que la personalización de producto en este proyecto se centra principalmente en la captación digital de la morfología del paciente o solicitante.

Cabe destacar que estas tecnologías de FA no necesitan de ningún tipo de utillaje como ocurre en los procesos convencionales de fabricación anteriormente mencionados. De aquí se derivan 2 de sus principales ventajas, la primera es que no es necesaria la inversión en utillaje para la fabricación de piezas, la segunda es que no existen limitaciones geométricas de fabricación derivadas de la utilización de utillaje en las piezas, por ejemplo, colisión de la herramienta en mecanizado, ángulos de desmoldeo en inyección de piezas, etc...

Tras la elevada trayectoria de AIDIMME en el estudio de las tecnologías de fabricación aditiva, en ocasiones será necesario utilizar post procesos para mejorar alguna de las propiedades del producto y poder cumplir con los requisitos establecidos. La calidad

superficial de los productos dependerá por una parte del proceso de fabricación aditiva seleccionado así como de los postprocesos que se realicen.

En la actualidad los procesos de fabricación aditiva son los más adecuados para la obtención de productos únicos, series cortas y productos personalizados dada las ventajas anteriormente descritas. En los últimos años han aparecido numerosos sistemas de fabricación aditiva o impresoras 3D económicos que han acercado estas tecnologías al público en general que conoce de primera mano las ventajas y las oportunidades que abre el uso de estas tecnologías. El problema que existe con esta revolución de impresoras 3D económicas es que la carta de materiales es limitada y no siempre es posible obtener productos personalizados finales con la calidad requerida por dicho producto.

En este informe se va a realizar un estudio de las tecnologías de fabricación aditiva disponibles más adecuadas para la obtención de productos personalizados de calidad tanto en polímero, metal como una combinación de ambos tipos de materiales.

3.1. PROCESOS DE FABRICACIÓN ADITIVA

Las tecnologías de fabricación aditiva son aquellas tecnologías que permiten fabricar modelos o productos a partir de información electrónica. Las tecnologías de fabricación aditiva funcionan del siguiente modo: Una vez se dispone del modelo 3D de la pieza, éste se transforma en un fichero en formato STL que está formado por una malla triangular que hay que verificar dependiendo de la tecnología hay que incluir geometría auxiliar (soportes) para garantizar la fabricación. Una vez colocado e Una vez se dispone de un fichero stl verificado se divide en finísimas capas, este proceso de capeado se realiza en un software específico para estas tecnologías. El fichero de capas se transmite a la máquina o impresora 3D donde se asignan los parámetros de fabricación (depende del tipo tecnología de fabricación aditiva) y se proceded a su fabricación. Cuando se ha terminado la fabricación se extrae la pieza de la máquina, se eliminan los soportes y se aplica el post proceso requerido para finalizar la pieza. La siguiente figura presenta un esquema de los pasos anteriormente explicados

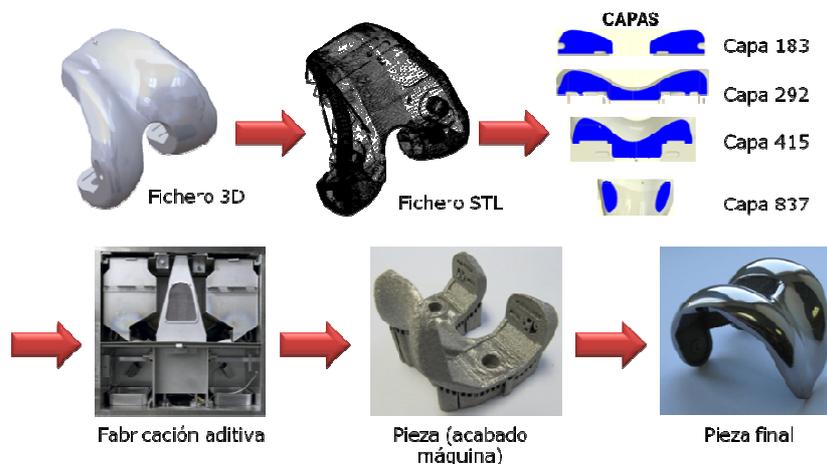


Figura 6. Esquema del fundamento del proceso de fabricación aditiva

Clasificación de los procesos de fabricación aditiva

Los procesos de fabricación aditiva se pueden clasificar en función de varios parámetros como el material y por otro lado si el tipo de tecnología es directa o indirecta.

- Clasificación dependiendo de material:
 - o Polímeros
 - o Metales
- Clasificación dependiendo de los pasos a realizar:
 - o Directas: Los modelos se construyen por aportación de material directamente con una máquina de fabricación aditiva.
 - o Indirectas: Los modelos se construyen con varias etapas partiendo de un máster fabricado con una tecnología de fabricación aditiva, entre ellas destacan dos tecnologías Colada en Vacío y microfusión.

Procesos de fabricación aditiva de polímeros

Existen numerosas técnicas de construcción por capas en el caso de los polímeros. Entre ellas cabe destacar las siguientes:

- Impresión de termoplásticos
- Extrusión de termoplásticos
- Impresión de termoestables
- Solidificación de polímeros termoestables

A continuación se muestra unos cuadros resumen que contienen información sobre las tecnologías de fabricación aditiva de polímeros, las máquinas, sus aplicaciones y los materiales que procesan. Cabe destacar que tanto las tecnologías como los materiales que procesan están evolucionando continuamente por lo tanto debe ser revisado y actualizado continuamente.

Tabla 1. Resumen de procesos de fabricación aditiva de polimeros

Técnica de construcción	Tecnología	Fabricante	Modelo de Máquina	Aplicaciones	Link	Material	
Impresión de Termoplásticos	Inkjet Printing	Solidscape (Stratays)	3Z Lab	Creación de modelos de cera de gran precisión para ser fundidos en metal, para hacer moldes o para ser inyectado en cerámica	http://www.solidscape.com/products/3d-printers/solidscape-lab/ https://www.youtube.com	PlusCAST®, Indura®Cast	
Extrusión de Termoplásticos	Fused Deposition Modeling, FDM	3D systems (plastic jet printing)	Desktop 3D printers: CubePro, Project1200,	CubePro. Impresión multicolor en cartuchos Project12200. Micro modelos con gran detalle de cera y piezas de plástico. Joyas, uso dental, componentes electrónicos.	http://www.3dsystems.com/3d-printers/personal/cube	Cube pro:Madera, Nylon, PLA/ABS Project1200: Visiljet FTX Cast, Visiljet FTX clear, Visiljet FTX Gold, Visiljet FTX Gray, Visiljet FTX Green, Visiljet FTX Silver.	
			Serie Idea: Mojo, uPrint SE, uPrint SE Plus	Desarrollo de ideas con modelos y prototipos asequibles. Las impresoras 3D de la serie Idea se adaptan a su escritorio		Termoplastico ABSPlus. Plástico estándar opaco en 9 colores	
			Serie Design: Dimension 1200es, Fortus 250mc, dimension Elite	Perfección de los diseños con piezas resistentes, duraderas y dimensionalmente estables que resisten las pruebas más exigentes. La precisión y		Termoplastico ABSPlus. Plástico estándar opaco en 9 colores	
				Aporte agilidad y estética a todas las fases de desarrollo del producto con la mayor variedad de colores y propiedades de material para la fabricación de prototipos y herramientas. Termoplásticos estandares , ABS resistencia a traccio, impacto y flexión.	http://www.stratays.com/es/impresoras-3d/technologies/fdm-technology	Termoplásticos estándar ABS-M30 en seis colores para conseguir una resistencia superior a la tracción, al impacto y a la flexión. ABS-M30 para biocompatibilidad. Esterilizable y biocompatible. ABS-ESD7 para disipación estática ASA para estabilidad UV y una excelente estética. ABSi para transparencia (Fortus 900) Termoplásticos de ingeniería PC-ISO para biocompatibilidad y resistencia superior. Se puede esterilizar mediante rayos gamma y óxido de etileno (ETO) y cumple la normativa ISO 10993 y USP Clase VI. PC(polycarbonato) para unas propiedades mecánicas y una resistencia térmica de nivel superior FDM Nylon 12 para una dureza máxima PC-ABS a una máxima resistencia a impactos, además de las propiedades mecánicas y resistencia térmica del PC y el aspecto atractivo de las superficies del ABS (Fortus 900) Termoplásticos de alto rendimiento (no disponibles para la Fortus 380mc) La resina ULTEM 1010 ofrece la mejor resistencia térmica, resistencia química y resistencia a la tracción de todos los termoplásticos FDM ULTEM 9085 para la mejor combinación de propiedades mecánicas, químicas y térmicas. PPSF/PPSU (polyphenylsulfone) para la máxima resistencia térmica y química. Se puede esterilizar mediante rayos gamma,	
		Stratays	Serie Production: Fortus 380/450mc, Fortus 900mc				PLA (poliácido láctico), bronce, madera o cobre, e, incluso, materiales flexibles como el Filaflex.
		BQ	Witbox2, Hephestos2, BQ Prusa i3 Hephestos	Máquinas de uso domesticos. No tienen gran calidad. PLA	https://www.bq.com/es/mundo-3d		
		Sicnova	JCR1000	Volumen de construcción de 1000 x 600 x 600 mm. Entorno cerrado y cama calefactada. Amplia gama de termoplásticos. Impresión simultánea con doble material con un solo cabezal.	http://sicnova3d.com/		Amplia gama de termoplásticos. Impresión simultánea con doble material con un solo cabezal
		Dynamical Tools	DT600	Máquinas de entorno industrial de gran formato y 'bajo coste' en Europa. Entorno de fabricación calefactado, para controlar la temperatura. Doble cabezal independiente, que permite trabajar tanto con doble material, como fabricar dos piezas a la vez, mejorando los tiempos de producción.	http://dynamicaltools.com/		plásticos técnicos de uso industrial como el ASA, PEEK o PEI (ULTEM), así como con plásticos reforzados con fibra de vidrio, carbono o grafeno
Markforged	Mark two	La Mark Two tiene dos cabezales de impresión. Uno de ellos construye piezas en nylon, mientras que el otro es un nuevo y revolucionario cabezal de impresión de composite para reforzar las piezas con fibra continua (fibra de carbono, Kevlar o fibra de vidrio). La impresora cambia activamente entre los dos extrusores durante la impresión, creando piezas de plástico reforzadas con fibra con un ratio de fuerza-peso superior al aluminio 6061.	https://markforged.com/why-markforged/		fibra continua de carbono, Kevlar y fibra de vidrio.		

Técnica de construcción	Tecnología	Fabricante	Modelo de Máquina	Aplicaciones	Link	Material
Impresión de Termoestables	Polyjet	Stratasys	Serie Design para escritorio: Objet24, Objet30, Objet3D Pro, Objet3D Prime	Modelos pequeños y precisos con un solo material, directamente desde el escritorio.	http://www.stratasys.com/es/impresoras-3d/technologies/polyjet-technology	Materiales opacos rígidos, material transparente, material alta temperatura, material similar al polipropileno (resistencia, durabilidad, cierta flexibilidad), caucho y biocompatibles (crear prototipos dispositivos médicos)
			Serie Design:Objet Eden260VS, Objet260 Connex3	Eficiencia y libertad de diseño con más opciones de material y eliminación de soporte sin utilizar las manos. Impresión de materiales digitales permite la fabricación de piezas rígidas y flexibles a la vez y con distintos colores.		Materiales transparentes, rígido opaco, polipropileno simulado, materiales de goma, de alta temperatura. El sistema connex3 permite imprimir materiales digitales. (http://www.stratasys.com/es/materiales/polyjet/material-compuesto). Colores intensos mezclados en material rígido y opaco Tonos translúcidos en color Materiales similares a la goma con distintos valores Shore A ABS digital para ofrecer una gran durabilidad, incluidas mezclas con goma Materiales similares al polipropileno con una resistencia térmica mejorada.
			Serie Production: Connex 3, object 1000 plus, J750	Aporte agilidad y estética a todas las fases de desarrollo del producto con la mayor variedad de colores y propiedades de material para la fabricación de prototipos y herramienta. Connex 3 puede cambiar las propiedades de material en el mismo trabajo de impresión para producir piezas que requieran una variedad de propiedades mecánicas, ópticas o térmicas.		Connex3 puede cambiar las propiedades de material en el mismo trabajo de impresión para producir piezas que requieran una variedad de propiedades mecánicas, ópticas o térmicas como, por ejemplo, empuñaduras antideslizantes, ventanas transparentes, bisagras flexibles o superficies termorresistentes. Aplicación automática del color El color llega de forma natural a la impresora J750: tonos neutros y fluorescentes, sombras y resaltados, texturas y degradado. Fácil selección de material Cargue seis materiales a la vez para ampliar la variedad sin tener que cambiar los recipientes. Capas más finas e impresión 3D más rápida. Cree superficies muy homogéneas y detalles finos con un espesor de capa de hasta 0,014 mm.
	MultiJet	3D systems	Professional 3D printers: ProjectMJP2500 series, project MJP 3600 series, MJP5500X;ProJet® 3510 SD; ProJet® 5000	El material esta en estado líquido, un cabezal tipo impresora solidifica el material por UV capa a capa según sea pieza o soporte.	http://www.3dsystems.com/resources/information-guides/multi-jet-printing/mjp	ProJetMJP2500 series: VisiJetM2EBK Elastomeric Black, VisiJetM2ENT (Elastomeric natural), VisiJetM2 RBK (Rigid Black), VisiJetM2 RCL (Rigid clear), VisiJetM2 RWT rigid white. ProjectMJP3600 series: VisiJet® M3 Black (black, durable plastic that looks and feels like injection molded plastic), VisiJet® M3 Crystal (plastic performance for durability and stability ideal for functional testing and rapid tooling applications. It is USP Class VI certified for approved medical applications.), VisiJet® M3 Navy (provides an economical solution for general models. In addition, this material is commonly used for sacrificial patterns for numerous direct casting applications.) VisiJet® M3 Procast (for microcasting), VisiJet® M3 Proplast, VisiJet® M3 Techplast (I) provides an economical solution for general models), VisiJet® M3-X (Look, feel and performance of injection molded ABS plastic, end use applications requiring extreme toughness and high temperature resistance)

Técnica de construcción	Tecnología	Fabricante	Modelo de Máquina	Aplicaciones	Link	Material
Solidificación de polímeros termoestables	Estereolitografía (SLA)	3D systems	ProJet 6000, ProJet 7000, ProX800, ProX950, Viper Si2	Los modelos realizados con SLA son prototipos muy precisos y adecuados para la verificación de un producto durante la etapa de diseño. Alta exactitud y buen acabado superficial lo que hace que sean perfectos para verificaciones ingenieriles y como master para realizar moldes de silicona. Gran cantidad de materiales disponibles, resinas con propiedades que incluyen, resistencia a altas temperaturas, grandes esfuerzos e incluso con certificado USP Clase VI para aplicaciones médicas.	http://www.3dsystems.com/quickparts/prototyping-pre-production/stereolithography-sla	Rigid, PC-Like Semi-flexible PP-Like (Accura 25 / Visijet SL Flex) High-Temp ABS-Like Technician's Choice High-Impact ABS-Like High Temp PC-Like, Rigid Durable High Resolution ABS-like, Gray ABS-like, Black ABS-Like A wide choice of materials are available that closely match or exceed the properties of traditional plastic materials including resistance to high temperature, tensile strengths and impact strengths. Visijet SL Clear is also USP Class VI certified, making it ideal for medical product manufacturing, especially in mass custom manufacturing projects such as hearing aids and dental application ProX800 y ProX950: Accura ClearVue. Plástico que simula las propiedades y la apariencia del policarbonato y ABS (USP Class VI). Accura ClearVue Free is a clear, low viscosity stereolithography resin with excellent accuracy. It offers a large working envelope of physical properties, as well as a unique combination of high elongation and impact strength which allows the building of durable parts.
			Formlabs	Form1, Form1+, Form2	Máquinas económicas, Form 2 volumen de fabricación (145 x 145 x 175 mm). Reglas de diseño disponibles en la web. Resinas transparentes, rígidas, flexibles,	http://formlabs.com/
	Digital Light Processing, DLP	Envisiontec	Xede 3SP, Xtreme 3SP, vector 3SP, Ultra 3SP Micro family Perfactory family	Ideal para productos de consumo (cada máquina tiene un tamaño diferente y espesor de capa), gran precisión y detalle. Materiales muy diversos con distintas propiedades, rígidos, flexibles, transparentes, fundibles, biocompatible, aplicaciones dentales y joyería.	http://envisiontec.com/	Castable Resin Burnout Process Clear Resin Dental SG Flexible Resin ABS 3SP Flex (Black, Gray, White): Models similar to ABS plastic with flexibility characteristics ABS 3SP Tough: Rigid, stable models similar to those made with ABS plastic ABS TRU 3SP: Rigid, stable models similar to those made with ABS plastic E-Tool 3SP: 3D printed molds for thermoplastic injection molding quickly and efficiently E-Denstone 3SP Peach: General purpose, high temperature molding, concept models E-Glass 3SP: Strong, clear material with flexible capabilities MICROFAMILY (los materiales son adecuados para el sector dental) E-Appliance M, E-Denstone Peach M, E-Guard M, Clear Guide M, E-Partial M, Ortho Tough M PERFACTORY family: ABStuff ABflex, EC500 HTM Series LS600, WIC100G WIC300, E-Shell® 200 Photosilver PIC 100, EPIC R5, R5 Gray, R11 RCP30, RC31, RC70, RC90
Fusión de Polvos Termoplásticos	Selective Laser Sintering, SLS	EOS Systems	Formiga P 110; EOS P396; EOSINT P760; EOSINT P800	Ideal para productos de consumo, no necesita soportes durante el proceso de construcción. Materiales con altas prestaciones, poliamida y poliamida cargada de vidrio. En la actualidad	http://www.eos.info/systemsolutions/plastic	PA 2200 - Polyamide white PA 2201- Polyamide natural PA 2202 black is a polyamide material with black pigments. T PA 1101 is a whitish-translucent polyamide 11 material, which is optimised for the use as a laser-sintering material. Laser-
		3D systems	ProXSL500, SPro140, SPro230, SPro60HD	Gran número de aplicaciones funcionales por las propiedades de sus materiales.	http://www.3dsystems.com/quickparts/prototyping-pre-production/selective-laser-sintering-sls	ProX SLS 500/DuraForm® ProX™ PA Plastic is an extra-strong engineered production plastic. SPro140, SPro230, SPro60HD: CastForm™ PS. A styrene-based, expendable pattern casting material, compatible with most standard foundry processes DuraForm® EX Black. A black-color, impact-resistant engineering plastic with the toughness of injection-molded polypropylene (PP) and ABS. DuraForm® EX Natural. A natural-color, impact-resistant engineering plastic with the toughness of injection-molded polypropylene (PP) and ABS. DuraForm® Flex. A durable, rubber-like material with good tear resistance and burst strength. DuraForm® FR 100. A halogen and antimony-free, flame retardant engineering plastic, suitable for Rapid Manufacturing of aerospace parts and parts requiring UL 94 V-0 compliance. DuraForm® GF. A glass-filled engineering plastic with good stiffness, elevated temperature resistance, and isotropic properties. DuraForm® HST Composite. A fiber-reinforced engineering plastic with excellent stiffness, strength and temperature resistance. DuraForm® PA. A durable engineering plastic with balanced mechanical properties and fine-feature surface resolution.
	VoxelJet	VX 200, VX 500	Aplicaciones de microfusión y modelos arquitectónicos	http://www.voxeljet.de/	PMMA particle material	
Multijet Fusion		HP	hp Jet Fusion 3200 y 4200	Novedad mundial, todavía no hay muchos datos. Materiales termoplásticos, poliamidas y también elastómeros.	http://www8.hp.com/us/en/printers/3d-printers.html	PA12 Next up, HP will be offering a wider family of thermoplastics—including PA11, PA12 glass beads and materials with flame retardant properties—as well as elastomers.

De entre todas las tecnologías previamente identificadas cabe destacar las siguientes:

Estereolitografía (SLA)

El proceso de estereolitografía consiste en solidificar capa a capa mediante la acción de un láser, resinas sensibles a la luz ultravioleta en estado líquido a partir de un fichero electrónico.



Figura 7. Estereolitografía (máquina, proceso, material y piezas ejemplo).

Esta tecnología utiliza resinas fotopoliméricas de diferentes propiedades que imitan las prestaciones de los termoplásticos. La selección de una u otra varía en función de la aplicación.

Las propiedades mecánicas de las resinas y temperaturas que resisten varían en función del material seleccionado.

MATERIALES	DESCRIPCION Y APLICACIONES
Somos® Nex T	Propiedades ABS. Excelentes propiedades de clipaje
Somos®11120 water Shed	Resina transparente.
Somos® Proto tool™ Y Nano form™	Resinas especiales: altas temperaturas de deformación al calor y elevada rigidez. Para la fabricación rápida de moldes y para modelos de pruebas en túneles de viento.



Figura 8. Estereolitografía (materiales y características).

Polyjet. Impresión de fotopolímeros

Consiste en la impresión de un material foto polímero mediante múltiples boquillas ubicadas en el cabezal. Las boquillas depositan el material en estado líquido sobre la bandeja de construcción con un movimiento similar al de una impresora, en capas de tan solo 16 micras de grosor. Una vez depositado, una luz ultravioleta solidifica el material. La bandeja desciende y el proceso se repite.

Todos los materiales empleados son resinas acrílicas. La variedad de materiales disponibles depende totalmente de la utilidad que se le vaya a dar al prototipo

Al tratarse de resinas acrílicas las principales limitaciones vienen determinadas por los esfuerzos a los que se somete.

Cabe destacar que la máquina Connex3 puede cambiar las propiedades de material en el mismo trabajo de impresión para producir piezas que requieran una variedad de propiedades mecánicas, ópticas o térmicas como, por ejemplo, empuñaduras antideslizantes, ventanas transparentes, bisagras flexibles o superficies termo-resistentes.



Figura 9. Ejemplos polyjet

FDM. Modelado por deposición de hilo fundido

El proceso FDM se basa en la construcción capa a capa de una pieza 3D, mediante la extrusión de un hilo de material plástico fundido, a través de unos cabezales. Dichos cabezales “dibujarán” la sección correspondiente a la capa del CAD 3D.

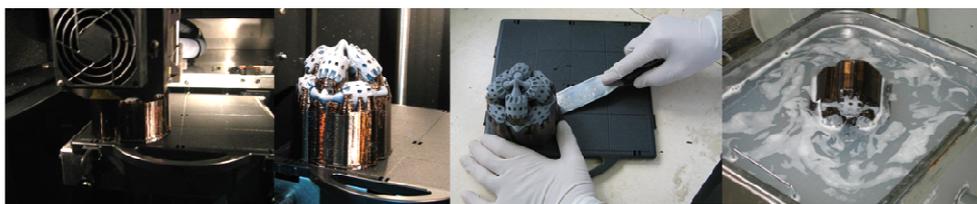
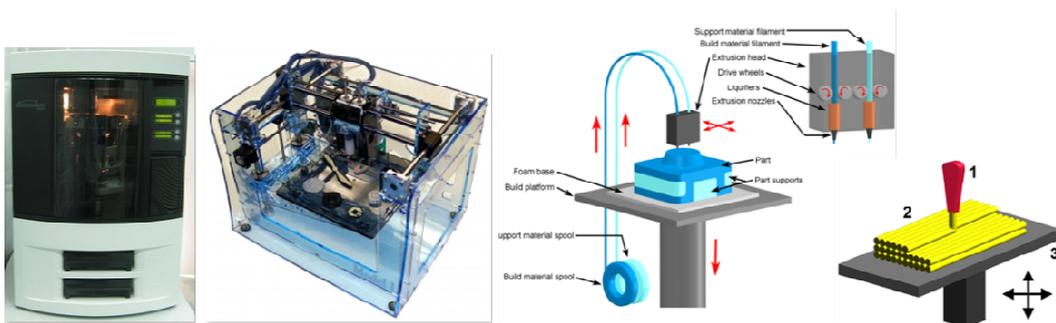


Figura 10. Tecnología FDM

Los materiales que se ofrecen para esta tecnología, además de los ya usuales policarbonato (PC) y ABS, son una mezcla PC-ABS, y los denominados PC-ISO y ABSi, con propiedades de hasta un 80% de los de inyección.

MATERIALES	DESCRIPCION Y APLICACIONES
ABS	Aplicaciones funcionales. Material con hasta el 80% de la resistencia del ABS inyectado.
PC	Alta resistencia. Aplicado en carcasas y dispositivos médicos.
PC-ABS	Mezcla de plástico PC y ABS que combina la resistencia del PC y la flexibilidad de ABS.
ABSi	Alta resistencia al impacto. Material semi-transparente.

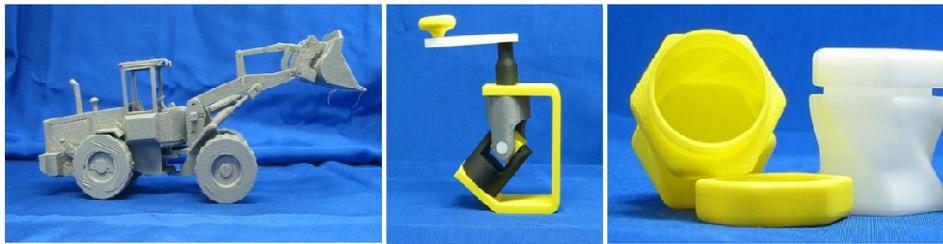


Figura 11. Materiales principales y características

Actualmente han aparecido en el mercado numerosas máquinas FDM de bajo coste lo que ha llevado al desarrollo de numerosos tipos de materiales como pueden ser PLA, ABS, polímeros flexibles, nylons, PC, PP, acabado madera, acabado metálico.

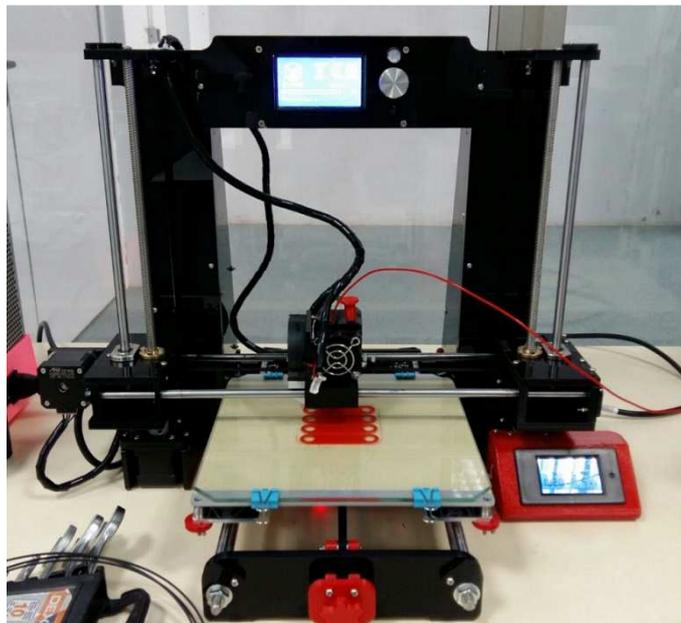


Figura 12. Máquina Prusa i3

Son una alternativa a evaluar en función de los requisitos técnicos del producto.

SLS. Sinterizado selectivo láser

El proceso SLS se basa en la construcción capa a capa de una pieza 3D, mediante un láser que reproducirá la sección correspondiente a una capa del CAD 3D de la pieza

sobre una capa de polvo termoplástico, gracias a lo que dicho polvo se sinterizará (proceso parecido a la fusión) y quedará solidificado.

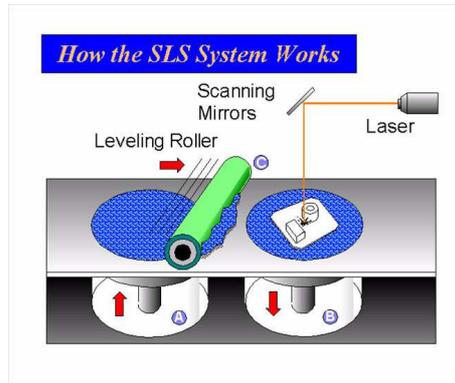


Figura 13. Fundamento de funcionamiento de SLS.

Los materiales que se utilizan en esta tecnología son poliamidas en polvo incluso con carga de fibra de vidrio o de aluminio.

	Polyamid® 2200	Polyamid® 3200	ALUMIDE®	Windform XT®
material	PA 12	PA 12 glas-ball-filled	PA 12 aluminium-filled	PA 12 carbon-ball-filled
density laser sintering *	0.9-0.95 g/cm³	1.2-1.3 g/cm³	1.36 g/cm³	1.101 g/cm³
tensile modulus (DIN 53457)*	1.500 N/mm²	3.500 N/mm²	3.800 N/mm²	7.320 N/mm²
tensile strength*	50 N/mm²	47 N/mm²	46 N/mm²	78 N/mm²
elongation at break *	15 %	4 %	3,5 %	-
shore hardness *	D 80	-	D 76	-
temperature resistance *	140 °C	140 °C	177 °C	175 °C
tolerance	+/- 0.25mm; +/- 0.15%	+/- 0.25mm; +/- 0.15%	+/- 0.25mm; +/- 0.15%	+/- 0.25mm; +/- 0.15%



Figura 14. Materiales y características de las piezas

Digital Light Processing (DLP)

Se trata de solidificar por acción de la luz una resina termoestable en estado líquido por el sistema de proyección por máscara DLP (Digital Light Processing)

La resina en estado líquido se expone a una imagen proyectada por el proyector DLP, desde el fondo de la máquina, que empieza el proceso de cura. Una vez terminado, la placa de cristal sube arriba, una nueva capa de resina líquida fluye, la placa baja otra vez hasta poner en contacto la capa sólida en construcción con la resina líquida, y el proceso sigue adelante.

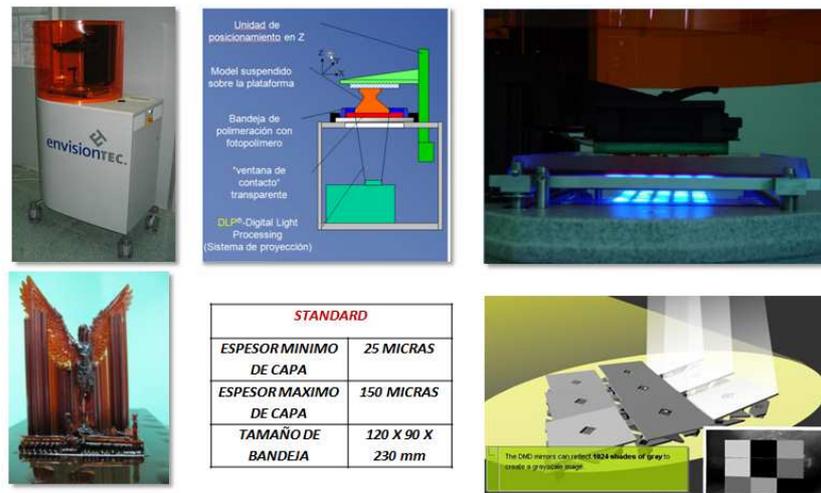


Figura 15. Digital Light Processing DLP

El material de partida son termoestables líquidos fotopolimerizables.

MATERIALES	APLICACIONES
RS y RI1	Resina que proporciona un alto nivel de detalle y un buen acabado superficial, ideal para modelos, master, etc.
PIC 100 y PIC 100G	Resina naranja fundible ideal para utilizar como modelo en joyería. Ideal para microfusión.
E-shell 100	Polímero biocompatible (Clase 6) con propiedades similares al ABS de color beige.
Serie E-shell 200	Polímero biocompatible (Clase IIA) para aplicaciones de medicina de distintos colores similar al ABS
QJD 100.	Resina para aplicaciones dentales.
RCP 25	Resina con un 87% de cerámico. Resistencia a altas temperaturas.
RCP30 Nanocure	Resistente a altas temperaturas.



Figura 16. Materiales y características de Digital Light Processing DLP



Figura 17. Ejemplos piezas fabricadas con tecnologías de fabricación aditiva

Procesos de fabricación aditiva de metales

Las tecnologías de fabricación aditiva de metal son las más novedosas, no existen tantas técnicas de construcción como en polímero, las más importantes se basan en la fusión de polvo metálico y la fuente de calor que permite la fusión es la clave de esta clasificación de procesos:

- Fusión por haz de laser
- Fusión por chorro de electrones.

A continuación se muestra un cuadro que contiene información sobre las tecnologías de fabricación aditiva de metales, las máquinas, sus aplicaciones y los materiales que procesan. Dada la rápida evolución de estas tecnologías es posible que aparezcan, desaparezcan o evolucionen las máquinas presentadas:

Tabla 2. Resumen de procesos de fabricación aditiva de metales

Técnica de construcción	Tecnología	Fabricante	Modelo de Máquina	Aplicaciones-Material	Link
Fusión de polvo metálico	Selective laser melting, SLM	Concept Laser	Mlab Cusing R, M1 Cusing, M2 Cusing, M3 Cusing	Piezas finales, prototipos y moldes. Los materiales que se procesan dependen de cada una de las máquinas en función de sus condiciones. Materiales: Aceros de alto grado, acero para trabajo en caliente, acero inoxidable, aleaciones de aluminio, aleaciones de níquel, aleaciones de titanio, titanio puro, aleaciones de cobalto cromo, bronce y aleaciones de metales preciosos.	http://www.concept-laser.de/home.html
		EOS	EOS M100, EOS M290, EOS M400, EOSINT M280	Piezas finales, prototipos y moldes. Los materiales que se procesan dependen de cada una de las máquinas en función de sus condiciones. Materiales: Aleaciones de aluminio (AlSi10Mg, AlSi10Mg/200°C), cobalto cromo para aplicaciones biomédicas y certificado para dental, acero maraging, aleaciones de níquel (IN625, IN718, HX (HastelloyX)), acero inoxidable (17-4PH, CX, GP1-aplicaciones medicas (17-4PH), 316L, PH1(15-5PH), aleaciones de titanio (Ti6Al4V, Ti64-ELI, Titanio grado 2)	http://www.eos.info/systems_solutions/metal
		SLM Solutions	SLM 125, SLM 280, SLM 500	Piezas finales, prototipos y moldes. Los materiales que se procesan dependen de cada una de las máquinas en función de sus condiciones. Materiales: Aleaciones de titanio (Ti6Al4V, TiAl7Nb, Reintitan), acero para herramienta y acero inoxidable (316L, 1.2709, 15-5PH, 17-4PH), aleaciones de aluminio (AlSiMg, AlSi12, AlSiMg, AlSi9Cu), Cobalto-Cromo (CoCr, SLM medident), aleaciones de Níquel (Inconel 718, Inconel 625, Inconel 939, Hastelloy X)	https://slm-solutions.com/
		Renishaw	RenAM 500M, AM 400, AM 250	Piezas finales, prototipos y moldes. Los materiales que se procesan dependen de cada una de las máquinas en función de sus condiciones. Materiales: Titanio (Ti6Al4V), Aluminio, (AlSi10Mg), Cobalto Cromo, Acero inoxidable, (316L), Aleaciones de níquel (Inconel 625, Inconel 718)	http://www.renishaw.es/es/impresion-de-metales-3d--32084
		Realizer	SLM 50, SLM125, SLM300i	Piezas finales, prototipos y moldes. Los materiales que se procesan dependen de cada una de las máquinas en función de sus condiciones. Materiales: Cobalto cromo, Titanio, Aceros	http://www.realizer.com/en/
	Electron beam melting, EBM	Arcam	Q.10, Q20, Q10 plus, Q20 plus, A2, A2X	Piezas finales, prototipos y moldes. Los materiales que se procesan son Titanio Ti6Al4V, Ti6Al4V-ELI, Grado 2, Cobalto-Cromo ASTM F75	http://www.arcam.com/

Las aplicaciones más destacadas de las tecnologías de fabricación aditiva de metal son productos finales así como moldes con canales de refrigeración adaptados a la geometría.

Dentro de los productos cabe destacar la fabricación de piezas para el sector sanitario mediante la fabricación de implantes personalizados e ingeniería de tejidos.

La fabricación de implantes personalizados permite una disminución significativa de los tiempos de recuperación del paciente tras la intervención. A partir de imagen médica, TAC o Resonancia Magnética, es posible mediante el software específico obtener la geometría necesaria a partir de la cual diseñar el implante personalizado. Con el diseño 3D del implante personalizado la fabricación puede llevarse a cabo de forma directa mediante tecnologías aditivas o bien mediante la fabricación de forma indirecta, aplicando la tecnologías aditivas para obtener un máster (patrón) ó un molde, a partir del cual se obtendrá el implante definitivo.

En lo que respecta a la ingeniería de tejidos, debido a la propia naturaleza de los procesos aditivos incorporados en estas tecnologías, son ideales para la fabricación de

implantes con geometrías muy complejas. Mediante las tecnologías aditivas es posible fabricar estructuras porosas que favorecen el crecimiento de tejido óseo hacia el interior del implante. Estas estructuras sirven de plataforma para un rápido y guiado crecimiento del nuevo tejido óseo.

Además del sector médico, otro de los grandes sectores interesados en estas tecnologías es el sector aéreo por la posibilidad de obtener piezas con un diseño optimizado donde se produce una reducción de peso importante.

A continuación se describe brevemente los fundamentos de los dos tipos de tecnologías existentes para el procesamiento de polvo de metal:

Selective Laser Melting (SLM)

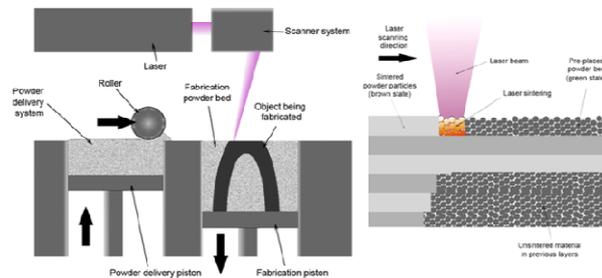
Estas tecnologías funden polvo metálico en atmosfera controlada por la acción de un laser. El espesor de capa estándar es de 30 μm . El tipo de atmosfera de nitrógeno (N_2) le permite procesar materiales metálicos no reactivos, en cambio no es posible el caso del Titanio o el Aluminio, para los cuales es necesaria una mayor protección como atmosfera de argón (Ar) o vacío. Existen distintas máquinas con potencia de láser diferente y atmosferas controladas diferentes. El tipo de material que se procesa depende de las características del láser y de la atmósfera de la cámara de construcción de la máquina.

Esta tecnología permite realizar detalles muy finos, estructuras 3D y canalizaciones complejas. La tecnología fabrica añadiendo el material por capas, a continuación se presentan las etapas del proceso:

1. El polvo metálico es repartido en una fina capa sobre el área de trabajo.
2. El laser funde el polvo metálico selectivamente siguiendo el patrón de la sección de la pieza para esa capa determinada.

Estos dos pasos se repiten hasta que la pieza se ha fabricado.

En cuanto a los sectores de aplicación, esta tecnología se ha utilizado básicamente en sectores de utillaje, bienes de equipo y maquinaria. Así como utensilios médicos y dentales de acero inoxidable



MATERIALS

Stainless steel 316L (DIN 1.4404).
Hot-work steel (DIN 1.2709).
Stainless Steel AISI 316 LVM
AlSi10Mg.
Stainless Steel 17-4PH AISI 630
FeCrAlloy
CoCrMo Astrm F75
CoCrMoW

1. Polvo esférico 30-54 μm - Rugosidad superficial.
2. Entorno pobre en oxígeno.
3. Potencia Láser: 100W - 1000W
4. 2 estados del material - Posibilidad de hacer canales
5. Densidad del material procesado 99.99%
6. Prestaciones mecánicas equivalentes a otros procesos.
7. Entre 2 a 10 cm^3/h .
8. Precisión dimensional $\pm 0.2\text{mm}$.
9. Soportes - evacuación térmica
10. Polvo reutilizable 100%.

Figura 18. Ficha resumen del equipo M3 Laser Cusing de la tecnología SLM

Electron Beam Melting (EBM)

Electron Beam Melting (EBM) utiliza el chorro de electrones emitido desde un filamento de tungsteno para fundir el material en polvo. El principio de deposición del material es común con las tecnologías aditivas de fusión por láser. El material se suministra desde unos depósitos y se distribuye sobre la plataforma en capas mediante el movimiento horizontal de un peine.

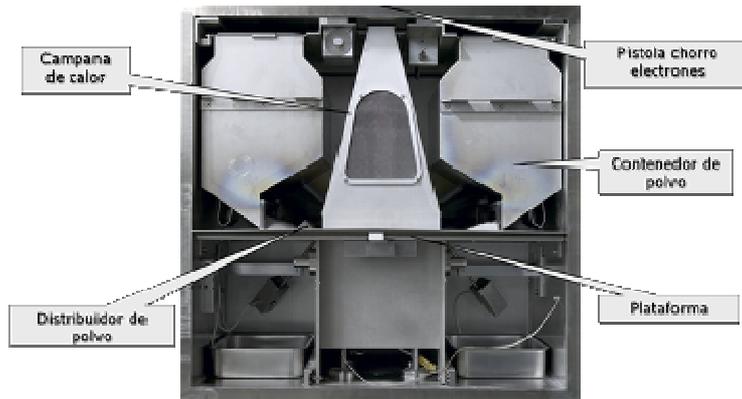


Figura 19. Interior de la máquina EBM

Las principales diferencias respecto a las tecnologías de láser son la temperatura de polvo y el ambiente de vacío. La temperatura de polvo ronda 700°C , implicando menor salto térmico respecto a la temperatura de fusión. Así mejoran las propiedades mecánicas y la microestructura de las piezas. El vacío es necesario para mantener el chorro de electrones enfocado. Esta exigencia tecnológica, sin embargo, se ha convertido en ventaja a la hora de fabricar las piezas. Debido a la ausencia del oxígeno durante la fabricación, las piezas tienen alta pureza que resulta muy importante en ciertos sectores de aplicación.

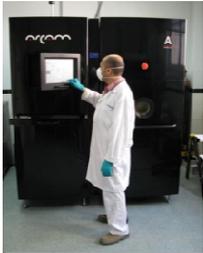
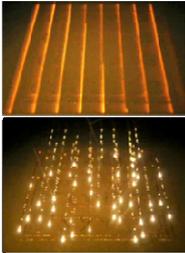
Cabe destacar la alta velocidad de la fabricación, que le hace un serio competidor del mecanizado, gracias a la potencia del haz de electrones puede llegar hasta 3000W y el soporte volumétrico (polvo en estado semi-sinterizado, 95-98 % reutilizable) que permite ampliar los rangos geométricos que se pueden fabricar con éxito.

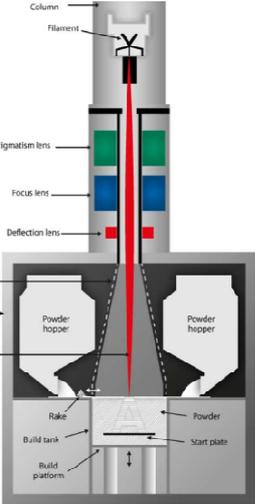
Los materiales que se pueden procesar por EBM tienen un denominador común: conductividad eléctrica suficiente. En la actualidad se procesan aleaciones de titanio y Cobalto Cromo pero se está investigando el procesamiento de nuevos materiales como el cobre, aleaciones de níquel, etc.

Su alta velocidad de trabajo la posiciona como una fuerte competencia frente a los procesos convencionales así como económicamente viable en fabricación de piezas, bienes de equipo así como maquinaria a medida. Otra de las grandes aplicaciones se centra en el sector médico, en la fabricación de implantes personalizados al paciente e ingeniería de tejidos.



Figura 20. Ejemplos de piezas fabricadas en EBM



MATERIALS	1. Polvo esférico 50-100µm - Rugosidad superficial
Ti6Al4V (grade 5)	2. Haz de electrones "Vacío - Fusión de polvo"
Ti6Al4V (grade 23)	3. Potencia Haz de e-: Hasta 3000W
CoCrMo F75	4. 3 estados del material - Lin tacion geometrica
Ti6Al7Nb	5. Densidad del material procesado 99.99%
Ni (experimental)	6. Prestaciones mecánicas mejoradas respecto SLM
Cu (experimental)	7. Entre 10 y 60 en 3th
	8. Precisión dimensional +/- 0.2mm
	9. Soportes - evacuacion torn ca
	10. Polvo reutilizable en 20-30 ciclos.

Figura 21. Ficha resumen de la tecnología EBM

3.2. Procesos de fabricación aditiva indirecta

Existen tecnologías de fabricación indirectas, que pueden utilizar un máster obtenido con tecnologías de fabricación aditiva como por ejemplo resinas con una gran calidad y precisión que además son fundibles sin dejar residuo como puede ser la Estereolitografía (SLA).

Los procesos de fabricación indirectos considerados son “Colada en Vacío” para la obtención de piezas con poliuretano y el proceso de “Microfusión” para la obtención de piezas metálicas.

A continuación se describen los dos procesos.

Colada en vacío

Esta tecnología consiste en la obtención de piezas en poliuretanos de diversas propiedades (similares a materiales termoplásticos) mediante su colado en moldes de silicona dentro de atmósfera de vacío, evitándose así la formación de burbujas de aire.

También es posible el colado de piezas en otro tipo de materiales: siliconas, metales de bajo punto de fusión, resinas epóxi, etc. Es frecuente el uso de tintes o pigmentos que

confieran a las piezas los colores deseados, siendo posible también obtener piezas traslúcidas y transparentes. La pieza “master” puede ser obtenida a partir de otra técnica de fabricación aditiva, ver cuadro con las tecnologías de fabricación aditiva de polímero.



Figura 22. Características y ejemplos de colada en vacío

El proceso de colada en vacío se realiza en diversas etapas:

- Elaboración del molde de silicona:
 1. Preparación del modelo.
 2. Fijación del modelo en el molde y construcción. Se fija el modelo en la posición deseada y se construye el borde del molde con maderas. Luego se vierte la silicona dentro de esa caja de madera.
 3. Preparación de la silicona y vertido de la silicona
 4. Curado del molde. Se introduce el molde con la silicona dentro de un horno para que se produzca el curado, además se introducen unos palitos que formaran las futuras salidas de gases.
 5. Apertura del molde. Una vez curado el molde se abre con mucho cuidado con un bisturí y un abremoldes.



Figura 23. Apertura del molde de silicona

- Colado de material polimérico
 6. Precalentamiento del molde.
 7. Colada de resina. Para colar la resina, inicialmente se pesan los componentes A y B, después se mezcla automáticamente en la máquina y se vierte la resina en el molde.



Figura 24. Colado de material polimérico

8. Curado. Una vez colada la resina, se precinta el molde y se introduce en el horno.
9. Desmoldeo. En esta etapa se separan las dos partes del molde, se saca la pieza y se cortan los bebederos y las salidas de gases.



Figura 25. Extracción de la pieza del molde

Microfusión

Proceso de fabricación de piezas de metal, obtenida tras fundir un modelo fundible, también denominado proceso a la cera perdida. A partir de una pieza máster, normalmente de cera (puede ser fabricado con las tecnologías de fabricación aditiva de polímero), se realiza un molde de revestimiento cerámico. El máster se funde o quema en un horno dejando perfectamente libre y limpia la cavidad del molde. En dicha cavidad posteriormente se cuela por gravedad el metal y una vez enfriado, se elimina el molde cerámico para extraer la pieza.

Combinación de procesos de fabricación (Fabricación aditiva+colada en vacío)

Una alternativa interesante que permiten estas tecnologías es la realización de productos multilateral como por ejemplo un producto polimérico con en interior metálico o con un interior con un material polimérico rígido o con otras propiedades. Se procedería del siguiente modo:

1. Se realizaría un máster de la pieza final (consta de dos materiales), el máster podría realizarse con SLA.
2. Se realiza el molde en silicona basado en el master de la pieza final.

3. Se fabrica el interior de la pieza (alma de la pieza) en metal o en un polímero rígido (con el material deseado).
4. Se introduce el alma dentro del molde de silicona y se cuele al vacío el poliuretano más adecuado por ejemplo un poliuretano blando.
5. Cuando se abre el molde se tiene una pieza polimérica exteriormente pero que en el interior tiene un elemento diferente que le proporciona, por ejemplo, la rigidez adecuada.

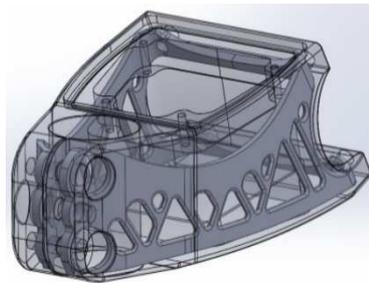


Figura 26. Ejemplo combinación de fabricación aditiva + colada en vacío

3.3. Materiales utilizados en los productos personalizados.

Los mercados de productos personalizados sobre los que se está desarrollando este proyecto son los siguientes:

Sector tecnologías sanitarias:

- **Protésica, ortopedia y ayudas técnicas:**

Los materiales utilizados para órtesis deben cumplir unos requisitos mínimo que soporten sollicitaciones, estable a la corrosión y envejecimiento, ligeros y maleables y que sean aceptables estéticamente.¹

- Polímeros de fibra de carbono. Son muy resistentes para su peso. Son a menudo más fuertes que el acero, pero mucho más livianos.
- Acero inoxidable, el cromo que contiene posee gran afinidad por el oxígeno y reacciona con él formando una capa pasivadora, evitando así la corrosión del hierro, sin embargo esta película puede ser afectada
- Aleaciones de titanio. Presenta una alta resistencia a la corrosión debida al fenómeno de pasivación, se considera que es fisiológicamente inerte. Posee muy buenas propiedades mecánicas y es relativamente ligero.
- Aleaciones de aluminio. Metal ligero, blando pero resistente, de aspecto gris plateado. El aluminio puro es blando y frágil, pero sus aleaciones presentan una gran variedad de características adecuadas a las más diversas aplicaciones.
- Duraluminio. Aleación de aluminio con cobre, manganeso, silicio. Presenta mayor dureza y mayor resistencia a la corrosión.

¹ Materiales utilizados en técnica ortopédica, ortesis y prótesis. Viladot, ed. Masson, 1985 pp35-47

- Poliamida: Nylon, kevlar y Nomex
- Plásticos: Caucho, polietileno, polipropileno
- Materiales blandos: Pelite (espuma de polietileno, neopreno, silicona, latex).
- Combinación de materiales metálicos y plásticos.

Monturas oftalmológicas²:

- El Acetato. Las gafas de plástico están hechas a menudo en acetato de celulosa. También llamada viscosa, seda artificial o rayón, se trata de un material blando, para trabajar y muy resistente, obtenido a base de compuestos vegetales como el algodón. Las gafas en acetato son fabricadas con ayuda de placas de acetato de diferentes colores que son ensambladas entre ellas con una técnica de calentamiento. La superposición de varias placas permite, entre otras cosas, obtener gamas inéditas de colores y de gran diversidad, lo que gusta particularmente a los creadores.
- La madera. De formas y colores originales, las monturas en madera son igualmente muy agradables al tacto. Las maderas más utilizadas son el nogal, el cerezo, el arce, el peral, el palisandro y el bubinga (árbol africano cuya madera es ligeramente violácea). Las monturas en madera son bastante frágiles, por eso se tratan más bien de accesorios de lujo que deben manipularse delicadamente.
- La fibra de carbono. Sin duda el material más de moda actualmente, la fibra de carbono seduce cada vez más a los fabricantes y a los diseñadores de gafas por sus sorprendentes propiedades. Muchas grandes marcas lo utilizan en algunas de sus monturas. Su único inconveniente es la escasa posibilidad de coloración. Los diseñadores deben privilegiar más la forma que el color.
- Resina epoxi. El Optyl es una resina epoxi hipoalergénica. Las gafas hechas en este material son, en general, translúcidas aunque algunas monturas pueden ser igualmente opacas. Las principales ventajas son su solidez, su ligereza, sus propiedades ininflamables y el hecho de que una vez caliente, el material adquiere automáticamente su forma inicial. Sin embargo hay que tener cuidado, si uno deja la montura bajo el vidrio del coche, al sol, ésta corre el riesgo de volver a su forma original, es decir, a la del molde en la cual fue hecha y el ajuste hecho por el óptico podría desaparecer.
- Las Poliamidas. Una poliamida es una resina termoplástica utilizada pura o en mezcla con otros materiales plásticos para la fabricación de monturas de gafas de sol, de deporte y de seguridad. El SPX es una de las poliamidas que se usan en óptica. Las monturas en poliamida son sólidas, flexibles y resistentes a la mayoría de los solventes. Sin embargo, tienden a retractarse si son expuestas a una muy fuerte temperatura. Visualmente, este material se parece mucho al acetato.

² <http://www.optica-albacete.com/el-material-de-la-gafas.htm>

- El Titanio. Es un metal ligero, hipoalergénico, flexible, muy resistente y anticorrosivo. Sirve igualmente para la confección de gafas muy finas y con muchas posibilidades de coloración, muy ligeras, resistentes a la torsión y con una duración de vida relativamente larga. En titanio puro estas monturas son particularmente adaptables a personas alérgicas al níquel. Existen igualmente aleaciones a base de titanio como el beta-titanio, ultra ligero y compuesto de un 75% de titanio.
- Monel: Aleación níquel-cobre, es el material más usado en monturas, es resistente y moldeable, necesita tratamientos para evitar reacciones alérgicas.
- Aluminio: Material sólido y ligero, resiste perfectamente las agresiones del tiempo.
- Acero inoxidable: Material que confiere una resistencia extraordinaria y ausencia total de corrosión.

Sector Prevención

- **Equipos de protección individual del entorno laboral (EPIs).**

Existe un gran número de productos utilizados para la protección individual en el entorno laboral y dependiendo del producto considerado se realizarán de un determinado material ya sea plástico, metal o textil. Lo que es indiscutible es que estos productos o equipos proporcionarán una protección eficaz frente a los riesgos que motivan su uso, sin suponer por sí mismos u ocasionar riesgos adicionales ni molestias innecesarias. A tal fin deberán:

- Responder a las condiciones existentes en el lugar de trabajo.
- Tener en cuenta las condiciones anatómicas y fisiológicas y el estado de salud del trabajador.
- Adecuarse al portador, tras los ajustes necesarios.
- En caso de riesgos múltiples que exijan la utilización simultánea de varios equipos de protección individual, éstos deberán ser compatibles entre sí y mantener su eficacia en relación con el riesgo o riesgos correspondientes.
- En cualquier caso, los equipos de protección individual que se utilicen deberán reunir los requisitos establecidos en cualquier disposición legal o reglamentaria que les sea de aplicación, en particular en lo relativo a su diseño y fabricación.

Entre los equipos de protección individual cabe destacar: Protectores de la cabeza (cascos, gorros con recubrimientos especiales), protectores de oído (tapones, protectores auditivos desechables o reutilizables., protectores con arnés de cabeza o nuca, cascos antirruído), protectores de los ojos y de la cara (gafas, pantallas faciales, pantallas de soldadura), protección de las vías respiratorias (Equipos filtrantes, mascaros y mascarillas), protectores de manos y brazos (guantes contra agresiones mecánicas, químicas, eléctricas y térmicas), protectores de pies y piernas (calzado de seguridad y protección, suelas especiales, rodilleras), protectores del tronco y el abdomen (chalecos, chaquetas, mandiles contra agresiones externas), protección total del cuerpo (equipos contra caídas, arneses, cinturones, ropa de protección,

- **Ortopedia deportiva preventiva.**

En este caso los materiales utilizados son similares a los descritos en el caso del sector de protésica, ortopedia y ayudas técnicas.

Sector Bienes de consumo

- **Calzado y plantillas confort**

El material de la plantilla es seleccionado por el doctor en función de la patología a tratar. Entre los materiales más usados destaca³:

- EVA (Etilino Vinilo Acetato). Material indicado tanto para plantilla correctoras como funcionales. Permite la realización de plantillas muy cómodas. Existen distintas durezas de EVA (mayor dureza mas corrección y menor dureza mayor confort).
- Termoconformadas, se realizan con materiales desde flexibles a muy rígidos para conseguir la comodidad y corrección requeridas. Entre ellos destacan materiales como:
 - Polipropileno. Material termoadaptable que mantiene la forma correcta y larga durabilidad.
 - Fibra de carbono. Mantiene la forma correcta, para pacientes de bajo peso. Elevada resistencia, su grosor es mínimo.

Sector Indumentaria

En el caso del sector de la indumentaria, son muchos los materiales que se utilizan para confeccionar prendas de ropa. Se distingue entre materiales de origen natural y materiales sintéticos. Entre los naturales se encuentran los de origen animal, como la seda, la lana (en especial para ropa estampada o ropa de flores) o el cuero. Y de origen vegetal como el rosita, el algodón y el lino. Y entre los materiales sintéticos se encuentran, por ejemplo, la licra y el poliéster.

Existen materiales o textiles inteligentes, capaces de alterar su naturaleza en respuesta a la acción de diferentes estímulos externos, físicos o químicos, modificando alguna de sus propiedades, principalmente con el objetivo de conferir beneficios adicionales a sus usuarios.



Figura 27. Ejemplo de textiles inteligentes

³ <http://www.carmenmoral.es/materiales-plantillas-pies/>

Llamados también “e-tejidos” o SFIT (Smart Textiles and Intelligent Fabrics) son materiales textiles que de alguna manera incorporan capacidades relacionadas con la monitorización o la mejora del rendimiento mediante el uso de medios físicos o informáticos. Estos tejidos pueden clasificarse en pasivos (mantienen sus características independientemente del entorno exterior-solo sienten los estímulos exteriores), activos (actúan específicamente sobre un agente exterior-siente estímulo exterior y reaccionan ante él) y muy activos (adaptan automáticamente sus propiedades al percibir cambios o estímulos externos).

Polímeros con memoria de forma: Materiales inteligentes que, como resultado de un estímulo externo tal y como la temperatura, pueden cambiar de una forma temporal, posteriormente vuelve a su formato original. El Nitinol es una aleación de níquel-titanio con estas propiedades. Se fabrican finos alambres que pueden cambiar de forma. Es usado por diseñadores de moda, cambiando la forma simplemente calentando con un secador de pelo.

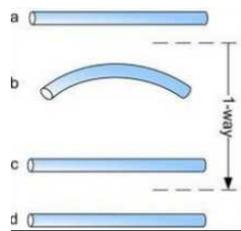


Figura 28. Polímeros con memoria de forma

Tal y como se muestra en el artículo “Los nuevos materiales invaden la moda española 17/02/2014”⁴ Carmen Jover, química y responsable del grupo de investigación de Moda, Diseño y Confección del Instituto Tecnológico Textil de Valencia (Aitex), comenta que "las investigaciones en campos como el deporte, la medicina o las telecomunicaciones han generado nuevos materiales textiles, fibras y acabados con prestaciones extraordinarias. Estos materiales, "que hasta hace poco eran únicamente utilizados en sectores técnicos, son los que están comenzando a emplear empresas de moda para la creación de prendas más funcionales". Tintes electrónicos, iluminación LED en las prendas, camisetas que monitorizan tus constantes vitales, pantalones que cargan tu móvil... ya están en el mercado. "No tardaremos mucho en comprar en nuestras tiendas de ropa habituales prendas autolimpiables, protectoras contra alergias o suministradoras de medicación por vía tópica", vaticina Lucina Llorente, especialista en materias y técnicas textiles del Museo del Traje de Madrid.

Existen materiales no convencionales en el sector de indumentaria, no son los más utilizados pero dotan de originalidad al sector. La impresión 3D o fabricación aditiva también es utilizada por diseñadores para crear modelos basados en polímeros que difícilmente podrían realizarse con los métodos convencionales. Las tecnologías que hacen este tipo de prendas de vestir son la SLS y la Polyjet

⁴ http://www.tendencias21.net/notes/Los-nuevos-materiales-invaden-la-moda-espanola_b6333716.html



Figura 29. Ejemplos del uso de fabricación aditiva en el sector de indumentaria

Sector automoción

El sector automoción es uno de los sectores que involucra mayor cantidad de materiales, puesto que existen numerosas partes en las que se puede dividir un automóvil. Los principales materiales son aceros, aluminios, fibra de carbono, plásticos, vidrio, cuero, textil. Tal y como se ha mencionado en el paquete de trabajo 1, la personalización en este sector es complicada como consecuencia de la legislación que debe cumplir, por lo tanto no se va a profundizar más en este sector.

3.4. Selección de los procesos de fabricación flexible en función de la tipología de producto personalizado.

A continuación se muestra una tabla donde se selecciona que tecnologías son las más adecuadas para la fabricación de los productos personalizados de los sectores inicialmente seleccionados.

Tabla 3. Selección de los procesos de fabricación flexible en función de la tipología de producto personalizado

Sector	Subsector	CONVENCIONALES	FA POLIMEROS						FA METALES ⁵		COMBINACION	
			SLA	POLYJET	FDM	SLS	DLP	COLADA EN VACIO	EBM	SLM	FA POLIMERO +COLADA VACIO	FA METAL +COLADA
Sector tecnologías sanitarias	Protésica, ortopedia y ayudas técnicas:		X	X	X	X	X	X			X	
	Monturas oftalmológicas		X	X		X	X	X	X + PP	X + PP		
Sector Prevención	Equipos de protección individual del entorno laboral (EPIs).		X	X	X	X	X	X	X	X		
	Ortopedia deportiva preventiva.		X	X		X	X	X			X	
Sector Bienes de consumo	Calzado y plantillas confort	X		X	X	X		X			X	X
Sector indumentaria	Materiales inteligentes y materiales no textiles					X					X	

Por la naturaleza de los sectores y en concreto a los productos que se desarrollan en el presente proyecto, adaptados a la morfología y gustos de los usuarios. Estos productos son únicos por su adaptación al usuario. Los procesos de fabricación más adecuados para este tipo de productos únicos son los procesos de fabricación aditiva o impresión 3D. En principio el protocolo de fabricación se va a centrar en estos procesos de fabricación aditiva y se completará con otros procesos si es requerido.

4. PROTOCOLO PARA EL USO DE LAS TECNOLOGÍAS QUE PERMITEN UNA FABRICACIÓN FLEXIBLE PARA LA PERSONALIZACIÓN

Como se ha mencionado anteriormente, las tecnologías de fabricación aditiva son aquellas tecnologías que permiten fabricar modelos o productos a partir de información electrónica. Una vez se dispone del modelo 3D de la pieza, éste se transforma en un fichero en formato STL que está formado por una malla triangular que hay que verificar dependiendo de la tecnología, hay que incluir geometría auxiliar (soportes) para garantizar la fabricación. Una vez se dispone de un fichero stl verificado se divide en finísimas capas, este proceso de capeado se realiza en un software específico para estas tecnologías. El fichero de capas se transmite a la

⁵ Generalmente es necesario un postproceso para mejorar la calidad superficial de la pieza e incluso un mecanizado de zonas muy críticas para cumplir.

máquina o impresora 3D donde se asignan los parámetros de fabricación (depende del tipo tecnología de fabricación aditiva) y se procede a su fabricación. Cuando se ha terminado la fabricación se extrae la pieza de la máquina, se eliminan los soportes y se aplica el post proceso requerido para finalizar la pieza. La siguiente figura presenta un esquema de los pasos anteriormente explicados.

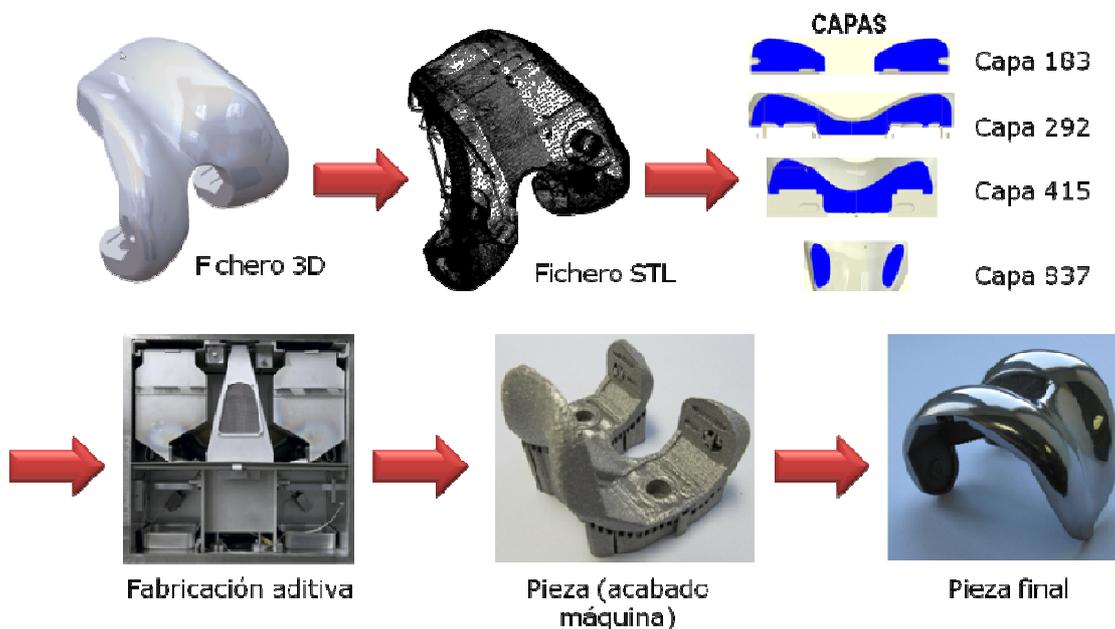


Figura 30. Esquema general del proceso de fabricación aditiva

4.1. Factores clave para la fabricación de productos de alta calidad

- Fichero STL

La transferencia de la geometría 3D sólido del modelo a reproducir con los sistemas de fabricación aditiva se realiza mediante ficheros STL.

A priori los ficheros que se obtienen tras un escaneado están también en formato STL.

El formato .STL se ha convertido en el formato estándar de transmisión de datos para la industria de fabricación aditiva, así como en el proceso de escaneado y es el formato requerido para interactuar con cualquier sistema de FA. La mayoría de los actuales sistemas CAD son capaces de producir un fichero STL. Para el usuario, el proceso es, a menudo, tan simple como seleccionar File, Save As, STL.

En todos los casos, se debe exportar el fichero STL como un fichero Binario. Esto ahorra tiempo y reduce el tamaño del fichero. Normalmente las oficinas de servicios de FA determinan la idoneidad de los ficheros STL recibidos. En caso de no ser adecuados para la construcción de las piezas, se requerirá una actualización del mismo.

Los ficheros STL son procesados por el software específico de las máquinas de FA y la geometría 3D es convertida en un número determinado de secciones 2D, que posteriormente serán reproducidas con diferentes procesos, materiales y tecnologías.

Existen otros formatos de ficheros pero que actualmente no se usan de un modo tan extensivo como los ficheros STL.

Un fichero STL, cuyas siglas provienen de la palabra “Stereolithography”, es una aproximación, mediante mallas poliédricas, a la geometría de una superficie 3D.

La superficie es facetada en una serie de pequeños triángulos (facetas o caras). Cada faceta viene determinada por una dirección perpendicular (la normal) y los tres vértices del triángulo. La calidad de ese facetado se verá reflejada en la calidad de la pieza obtenida.

Tal y como se ha mencionado los ficheros STL están formados por una piel dividida en triángulos. Si hay algún error en el STL lo que suele ocurrir por el propio proceso de intercambio de ficheros, es necesaria su edición.

Existen programas específicos para tratar estos ficheros, entre ellos destaca el software Magics de materialise, (<http://software.materialise.com/magics>) ampliamente utilizado para la preparación de las fabricaciones así como Netfabb de Autodesk (<https://www.netfabb.com/>). Además existen otros software específicos que permiten realizar más acciones a los stl como es el uso de operaciones de CAD convencional y la reconstrucción de un stl a partir de un escaneado. Destacando 3-Matic y Mimics de Materialise (<http://www.materialise.com/>).

- Dirección de fabricación y adición de soportes

Los modelos STL de las piezas son colocadas en una plataforma virtual, específica para cada tecnología, donde los modelos STL son dispuestos con la orientación de fabricación más favorable, de acuerdo con las capacidades y limitaciones de cada proceso de fabricación aditiva.

La dirección de fabricación condiciona por un lado la calidad de la pieza puesto que condicionan la forma y cantidad de capas que tendrá el modelo.

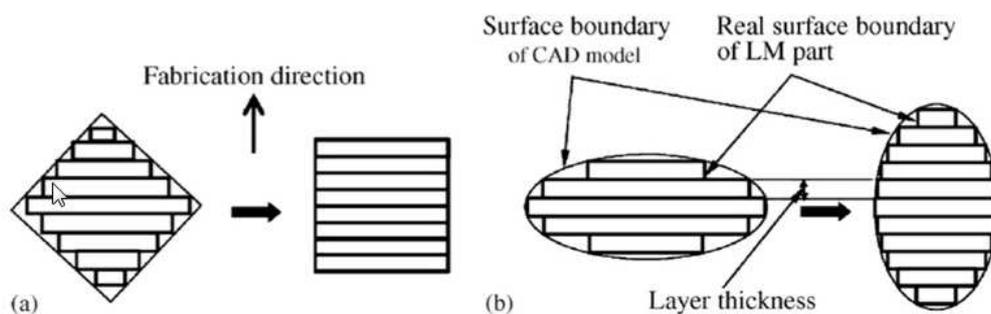


Figura 31. Capeado del modelo

Además el establecimiento de la dirección de fabricación es clave porque existen zonas geométricas de la pieza que no pueden ser fabricadas directamente de forma aditiva y es necesario añadir “soportes” para asegurar la correcta fabricación de la pieza. Estos soportes son finas columnas o entramados que sustentan zonas de la pieza demasiado esbeltas, voladizas o superficies con ángulos de fabricación muy bajos, normalmente a partir de ángulos mayores a 45º respecto a la horizontal los soportes no son

necesarios. Estos soportes son generados automáticamente por el software de planificación de cada tecnología, durante el proceso de fabricación, se fabrican al mismo tiempo que la pieza y normalmente con el mismo material que esta.

Los soportes se fabrican capa a capa desde la plataforma de fabricación y terminan en las caras de la pieza a soportar, para asegurar su correcta fabricación. Cuando la fabricación de las piezas ha terminado los soportes son eliminados de forma manual, debido a este post-proceso el objetivo de la etapa actual, suele ser orientar las piezas de forma que sea necesaria la mínima cantidad de soportes.

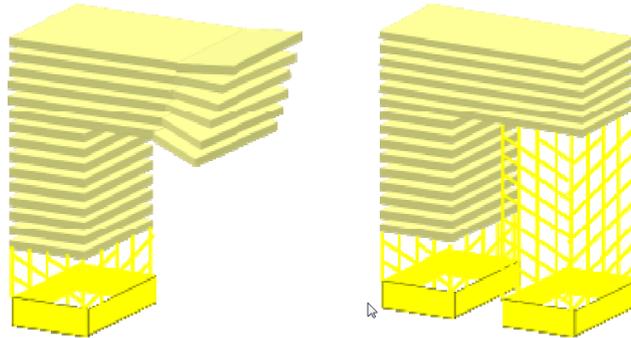


Figura 32. Izquierda, geometría en voladizo fabricada por capas, al no existir soportes la geometría en voladizo se genera en “el aire” y se desploma. Derecha, geometría en voladizo soportada correctamente.



Figura 33. Izquierda, esta orientación del modelo obliga a colocar más soportes que en la orientación de la derecha.

- Espesor de capa

Durante el proceso de capeado se divide virtualmente en finas capas el modelo 3D (formato STL), con la orientación adecuada de fabricación y con los soportes necesarios. El rango de espesor de las capas está comprendido entre 15 y 200 μm para la mayoría de tecnologías. El espesor de capa depende de la tecnología utilizada y las resoluciones disponibles en cada tecnología, normalmente existen 2 ó 3 resoluciones:

- Baja Resolución: ofrece una alta productividad con baja calidad de detalle, este es el caso de espesores de capa mayor, por ejemplo 200 μm , donde resulta apreciable un efecto de escalonado en la superficie de la pieza fabricada.



Figura 34. Efecto escalonado en la superficie de la pieza.

- Estándar: ofrece un buen compromiso entre productividad y nivel de detalle, espesor de capa intermedio, por ejemplo 100 μm . (estos valores dependen de la tecnología).
- Alta resolución: posibilita un alto nivel de detalle pero con una productividad menor. El espesor es, en este caso de 15 a 70 μm . Con esta resolución de fabricación no resulta apreciable el efecto de escalonado entre capas en las superficies de la pieza obtenida.

El espesor de capa condiciona la calidad superficial así como la producción, a menor espesor de capa, menor velocidad de la máquina y más calidad superficial al reducirse el efecto de escalonado.

- Formato del material de partida

Existen tres formatos de material de partida en función de la tecnología:

1. Líquido
2. Polvo
3. Hilo

La calidad superficial final de la pieza depende también del material de partida de la tecnología. Las tecnologías que utilizan líquido como material de partida tienen una calidad superficial excepcional que dependerá del espesor de capa. En el caso de las tecnologías de polvo se aprecia ligeramente y dependiendo del tipo de tecnología los granos de polvo y en el caso de tecnologías de hilo se aprecian los hilos.



Figura 35. Ejemplos de tipos de material de partida

La calidad superficial de las piezas se puede mejorar mediante post procesos como pueden ser pulidos o mecanizados en las zonas más críticas.

4.2. Diseño orientado al proceso productivo para hacer un uso eficiente de FA

Las características de estas tecnologías implican un cambio en el modo de diseñar los productos. Los diseñadores deben tener en cuenta todos los detalles de las tecnologías para hacer un diseño correcto de la pieza. Este hecho es mucho más relevante cuando se producen piezas finales en las que además del propio proceso de fabricación suelen aplicarse postprocesos para el acabado definitivo de la pieza.

Para reducir el coste de fabricación es necesario determinar la orientación de fabricación para garantizar:

- Mínimo material posible
- Mínimo soporte.
- Mínimos postprocesos.
- Máxima Compactación y máxima apilabilidad, cuantas más piezas se fabriquen en una bandeja de fabricación menor es el coste por pieza.

Factores clave para el diseño orientado a los procesos de fabricación aditiva, los factores dependen de la tecnología y material procesado:

1. Identificar que geometrías que requieren soporte. Para ello hay que evaluar el tamaño de ciertas geometrías que se fabrican correctamente sin soportes. En el caso de que o se conozcan estos valores, es posible diseñar pequeños artefactos que contemplen diámetros, voladizos, planos inclinados con distintas dimensiones, detalles mínimos, separación entre elementos, espesores, etc... De este modo se obtendrán los criterios de diseño basados en la tecnología y material a procesar.
2. Identificar el sobre espesor a aplicar para eliminar la rugosidad. Es necesario conocer en que superficies se van a colocar los soportes, porque dependiendo del tipo de soporte será necesaria su eliminación.
3. Definición de las tolerancias de fabricación. En función de las tolerancias geometrías de la pieza final será necesario aplicar post procesos para alcanzar los requisitos establecidos para la pieza.
4. Conocer las características mecánicas del material. Las características del material varían en función de la orientación de fabricación, este efecto es más crítico en algunas tecnologías.

El diseñador de piezas que van a ser fabricadas con tecnologías de fabricación aditiva necesita, al menos, disponer de una ficha resumen por tecnología y material.

Se ha realizado un estudio completo de una de las tecnologías de polímero que se plantean como alternativas adecuadas, como es la tecnología SLS y la tecnología FDM.

La tecnología SLS ofrece un acabado de alto nivel y de gran resistencia, pero el material procesado (polvo de Poliamida) tiene un coste elevado, además, tras cada fabricación debe refrescarse el material retirando cierto porcentaje de polvo no sinterizado, lo que aumenta en gran medida los costes. Como puntos positivos de la fabricación por FDM, es una tecnología que tiene gran flexibilidad, el material es relativamente económico y, si el proceso es estable, se obtienen resultados relativamente buenos a precio económico. La tecnología de modelado por deposición de hilo fundido se adapta a fabricaciones limitadas como es el caso del procesado de plantillas a medida (no producción en serie) y por lo tanto se considera como una de las más adecuadas para ser utilizada en el desarrollo del proyecto.

Se realiza un estudio genérico en material PLA (Poliácido Láctico) de geometrías límite a tener en cuenta en el diseño de piezas para fabricación por FDM. No obstante, el hecho de emplear materiales de otra naturaleza como ABS, Nylon, flexibles, así como cambiar los parámetros de fabricación, pueden variar los resultados presentados a continuación, pero sirve de ejemplo de procedimiento de obtención de los parámetros de diseño para tener en cuenta el proceso de fabricación.

- Material empleado: PLA Ingeo LEON3D



Figura 36. Material PLA de tecnología FDM

- Test de fabricación de taladros en diferentes planos

Tabla 4. Parámetros de fabricación

Parámetros de fabricación	
Velocidad de fabricación	65 mm/seg
Temperatura de extrusión	200 C
Temperatura de cama caliente	60 C
Espesor de capa	0.2 mm
Diámetro del nozzle	0.4 mm
Infill	100%

Se genera un modelo 3D con tres planos de fabricación:

PT3. Tecnologías de fabricación flexible para la personalización

- Plano de fabricación perpendicular a Z máquina (0 grados)
- Plano de fabricación paralelo a Z máquina (90 grados)
- Plano de fabricación a 45 respecto a Z máquina (45 grados)

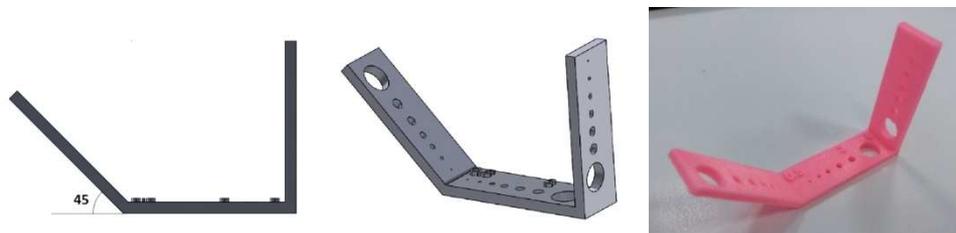


Figura 37. Modelo CAD y pieza fabricada para la comprobación de taladros

Los taladros de 8mm a 2mm se han medido empleando un calibre. Para la medición de taladros 1.5mm a 0.5mm se ha empleado un microscopio electrónico.

Tabla 5. Mediciones

ÁNGULO	CAD	Toma 1	Toma 2	Toma 3	MEDIA	DESVIACIÓN
0	8.00	7.85	7.85	7.86	7.85	-0.25mm
	3.00	2.85	2.84	2.86	2.85	-0.25mm
	2.50	2.39	2.37	2.35	2.37	-0.13mm
	2.00	1.90	1.86	1.85	1.87	-0.13mm
	1.50	1.45	-	-	-	-0.05mm
	1.00	0.98	-	-	-	-0.02mm
	0.50	0.45	-	-	-	-0.05mm
90	8.00	7.78	7.92	7.68	7.79	-0.21mm
	3.00	2.85	2.83	2.78	2.82	-0.18mm
	2.50	2.34	2.27	2.16	2.26	-0.24mm
	2.00	1.80	1.86	1.89	1.85	-0.15mm
	1.50	1.51	-	-	-	+0.01mm
	1.00	0.98	-	-	-	-0.02mm
	0.50	0.44	-	-	-	-0.06mm
45	8.00	7.70	7.79	7.35	7.61	-0.38mm
	3.00	2.72	2.75	2.62	2.70	-0.30mm
	2.50	2.32	1.88	2.16	2.12	-0.38mm
	2.00	1.69	1.60	1.49	1.59	-0.41mm
	1.50	1.32	-	-	-	-0.18mm
	1.00	0.85	-	-	-	-0.15mm
	0.50	0.33	-	-	-	-0.17mm

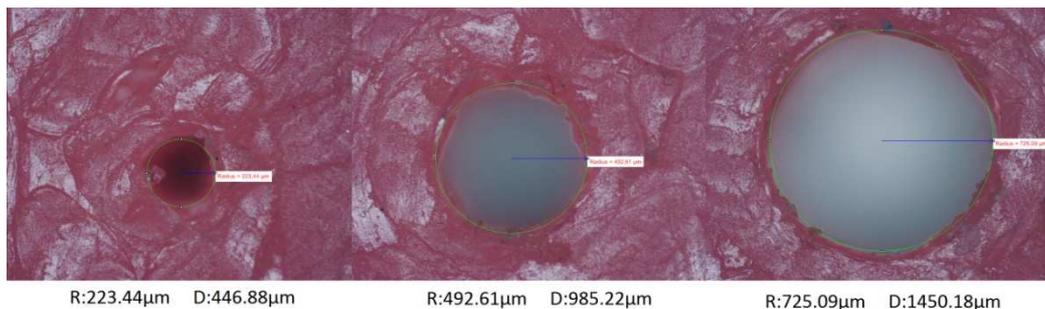


Figura 38. Imágenes ángulo 0°

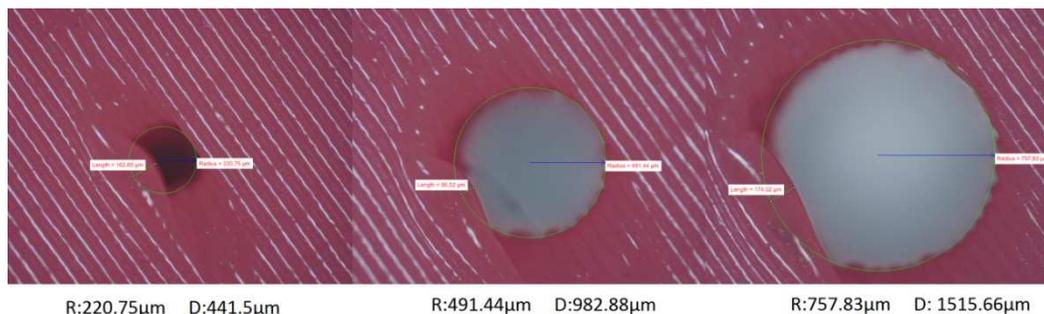


Figura 39. Imágenes ángulo 90°

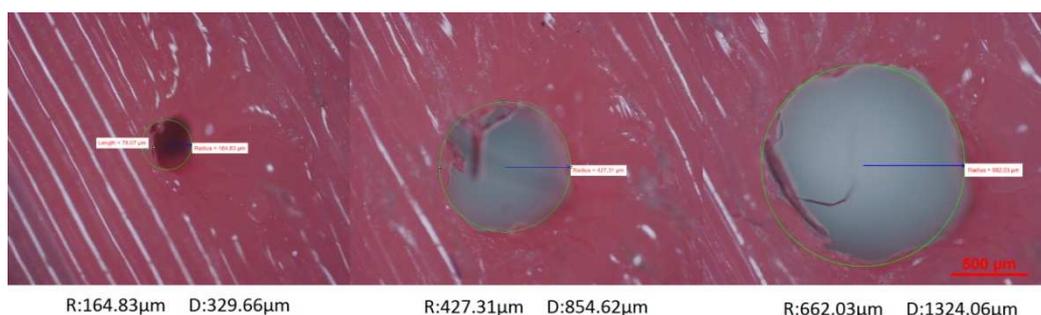


Figura 40. Imágenes ángulo 45°

Como se puede observar en las microscopías, en ángulos de fabricación de 90 y 45°, no se obtiene una geometría perfectamente circular debido a un pequeño desprendimiento de material causado por el voladizo. Se puede concluir, que en general siempre se obtendrán valores nominales más precisos cuando los taladros se coloquen sobre el plano de fabricación, por otro lado, si se orientan en caras diferentes, dependiendo de la precisión que se necesite, puede ser aconsejable aplicar un diámetro menor en el CAD y posteriormente realizar un postproceso de taladrado empleándolo como guía.

- Test de voladizos

Tabla 6. Parámetros de fabricación para el test de voladizos

Parámetros de fabricación	
Velocidad de fabricación	65 mm/seg
Temperatura de extrusión	200 C
Temperatura de cama caliente	60 C

Espesor de capa	0.2 mm
Diámetro del nozzle	0.4 mm
Infill	20%

El modelo 3D generado para la evaluación de voladizos está compuesto por 11 muestras desde los 20 hasta los 70 grados de inclinación con respecto a la vertical.

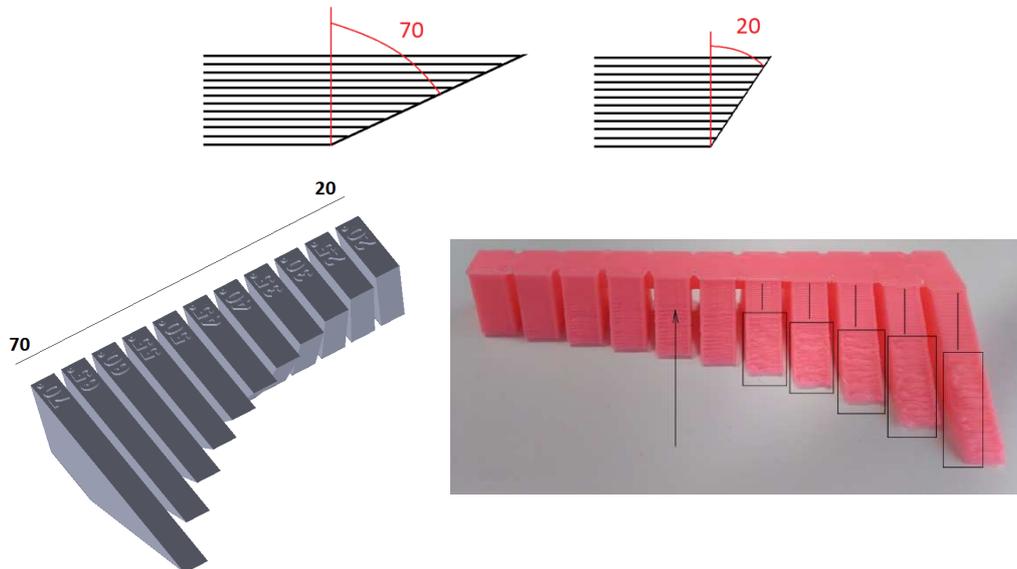


Figura 41. Rango de pruebas evaluadas y pieza fabricada

A la vista de los resultados de la fabricación, en 27mm de construcción, los voladizos de hasta 40 grados se auto soportan manteniendo un acabado relativamente aceptable en la superficie. Modificando parámetros de relleno y de espesor de pared así como temperatura y velocidad, es posible crear voladizos de mayor ángulo auto soportados.

- Ensayo de voladizo biapoyado.

Se generan dos archivos 3D de voladizos biapoyados que van desde los 5 hasta los 60 mm.

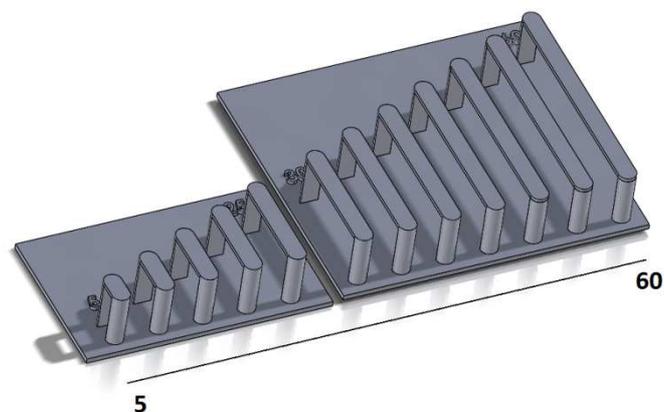


Figura 42. Diseño CAD del test para evaluación de biapoyados

Para cuantificar el resultado obtenido en el test, se mide la distancia entre la base y el punto medio del voladizo en cada caso.

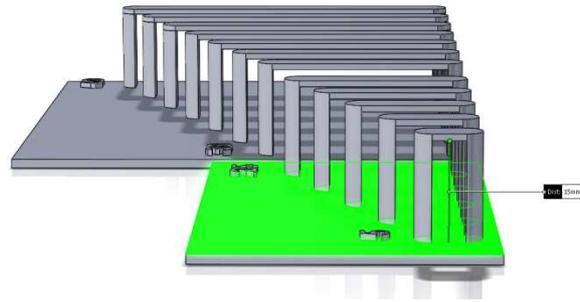


Figura 43. Proceso de medición

A continuación se muestran los resultados de la medición:

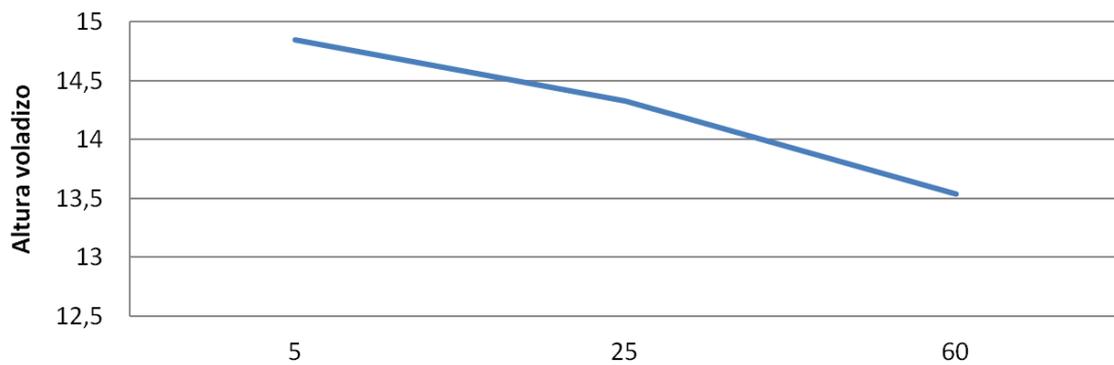


Figura 44. Resultados de la medición

Siendo la altura nominal CAD 15 mm y aceptando en la tecnología un error de 0.25 mm, se observa una recta de pendiente prácticamente constante en los valores medidos sobre las probetas. La cohesión entre capas no es buena, a partir de un voladizo de 40 mm los hilos comienzan a despegarse de la geometría.

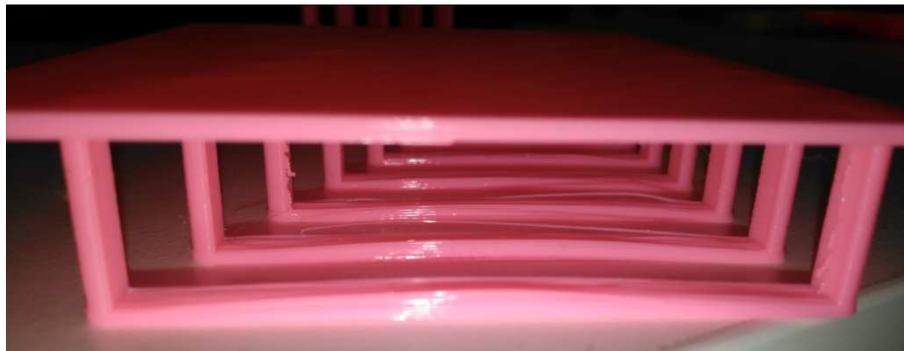


Figura 45. Test de biapoyados fabricados

Con estas pruebas se obtienen las características de diseño en función del material y de la tecnología.

TECNOLOGIA				
MATERIAL				
CARACTERISTICA DISEÑO	IMAGEN	VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO	OBSERVACIONES
Espesor de capa				
Agujeros Verticales				
Agujeros Horizontales sin soporte				
Planos inclinados				
Detalles - Espesor de pared - diámetros				
Volados laterales sin soportes				
Volados biapoyados sin soportes				
Fabricacion de rosca				
Crez de mecanizado				

Figura 46. Ejemplo de plantilla de características de diseño en función de tecnología y material

A continuación se muestra un esquema general del protocolo de fabricación flexible para la obtención de producto personalizado adaptado a la morfología.

4.3. Pasos del protocolo de uso de tecnologías de fabricación flexible

A continuación se muestra un esquema que incluye los pasos a seguir en el protocolo de uso de tecnologías de fabricación flexible.

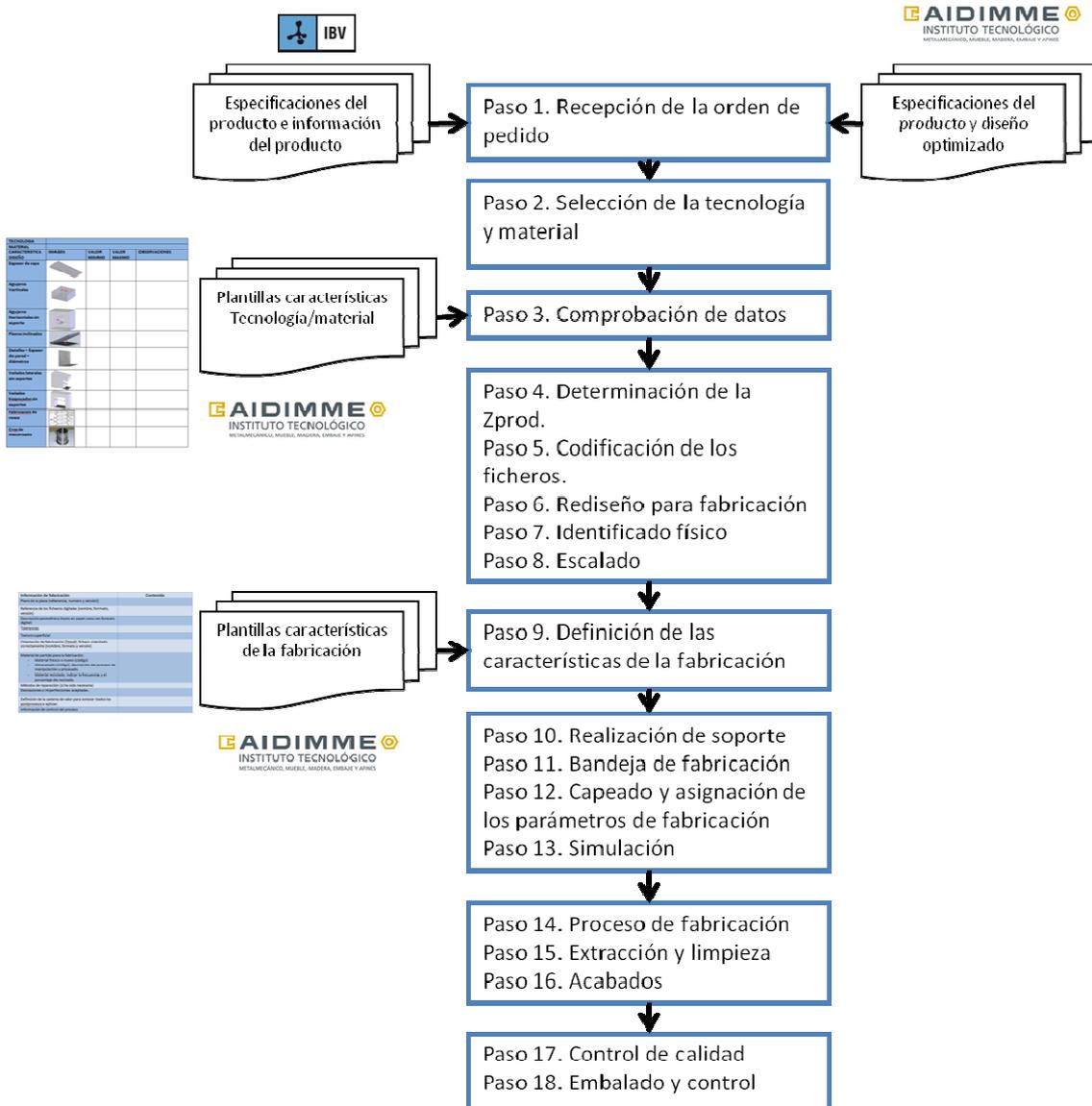


Figura 47. Esquema del protocolo de uso de las tecnologías de fabricación flexible