

# 2022 INFORME



Proyectos

## “ALFA”

ESTUDIO DE NUEVAS SOLUCIONES PARA LA INDUSTRIA DE LA  
FABRICACIÓN ADITIVA

INFORME DE RESULTADOS

Número de proyecto: 22200003

Expediente: IMAMCA/2022/2

Duración: Del 01/01/2022 al 31/12/2022

Coordinado en AIDIMME por: BLASCO PUCHADES, JOSE RAMON

Línea de I+D: FABRICACIÓN ADITIVA



GENERALITAT  
VALENCIANA

**iVACE**  
INSTITUTO VALENCIANO DE  
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL

“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva

# ÍNDICE

---

<b>1</b>	<b>Introducción, objetivos del proyecto .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Resultados obtenidos .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Actividades realizadas.....</b>	<b>4</b>
3.1	Procesado en tecnología láser de lecho de polvo un Titanium Matrix Composite (TMC) con nanopartículas de SiC.....	4
3.2	Soluciones novedosas para el diseño de estructuras complejas.....	16
3.3	Identificación de nuevas tecnologías de fabricación aditiva de bajo coste .....	21
3.4	Desarrollo de demostradores para acercar la fabricación aditiva .....	37
3.5	Actividades de promoción .....	41
3.6	Potenciar la participación del centro y de las empresas en proyectos europeos e internacionales .....	43

“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva

## 1 Introducción, objetivos del proyecto

El objetivo del proyecto es contribuir a aumentar la excelencia en la fabricación aditiva avanzada, para mejorar el trabajo en red y reducir las deficiencias tecnológicas, reforzando de forma significativa la excelencia y la capacidad de innovación de la investigación en este campo, mediante la mejora en las aplicaciones y tecnologías, así como en el procesado de materiales.

## 2 Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos en el proyecto son los siguientes:

- Procesado en tecnología láser de lecho de polvo un Titanium Matrix Composite (TMC) con nanopartículas de SiC en partículas de gran formato, donde se han obtenido condiciones de proceso preliminares con buena densificación, pero con altos niveles de agrietamiento que deben ser estudiados para avanzar en la utilización de estos materiales en procesos industriales.
- Estudio de la aplicabilidad de estructuras complejas diferentes, para obtener el máximo partido a la fabricación aditiva; y se pone en valor soluciones novedosas como son el estudio de estructuras con modelos implícitos (matemáticos), modelos de tipo “conformal” que se adaptan a las geometrías complejas y que permiten la creación de estructuras gradadas, estructuras estocásticas que emitan espumas similares a formas naturales y creación de estructuras mediante optimización topológica en función de condiciones de carga.
- Estudio y actualización del conocimiento del personal en la fabricación aditiva, donde se pone en valor la aparición de tecnologías de bajo coste para múltiples tecnologías, clásicamente de alto coste. Este hecho proporciona un acercamiento de la industria manufacturera a estas tecnologías para fabricar productos y utillajes. Adicionalmente, poner en relieve la combinación que se está dando en la industria de la fabricación aditiva, con la robótica, para automatizar la fabricación aditiva.
- Desarrollo demostradores para acercar la fabricación aditiva a las empresas, para despertar su interés por mejorar sus procesos y sus productos.
- Participación en ferias para promocionar las tecnologías de fabricación aditiva y se ha potenciado la participación del centro en nuevos proyectos de I+D.

“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva

### 3 Actividades realizadas

Las actividades realizadas en el proyecto han sido las siguientes:

#### 3.1 Procesado en tecnología láser de lecho de polvo un Titanium Matrix Composite (TMC) con nanopartículas de SiC

En el Proyecto Europeo Nanotun3D (Programa H2020 – número de expediente GA- 68595) desarrollado por AIDIMME entre los años 2015 y 2019, se desarrolló un polvo metálico nanomodificado basado en la aleación Ti6Al4V para ser procesado mediante técnicas de fabricación aditiva y mediante el que se obtuvo un comportamiento estructural mejorado, en torno al 30%, frente a la aleación estándar. El polvo de titanio nanomodificado disponible tiene una granulometría entre 60 y 106 micras, polvo adecuado para tecnologías aditivas de lecho de polvo de fusión por haz de electrones.

Además en el proyecto TITAN - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser (Programa Proyectos de I+D en cooperación con empresas – número de expediente IMDEEA/2021/8 del IVACE) una de las líneas que se estudiaron para aumentar la productividad de la fabricación de piezas de Ti6Al4V estándar con tecnologías de lecho de polvo por láser, fue el procesado de material más grueso que el recomendado para este tipo de tecnologías que debe tener una granulometría más fina con un polvo de 15 a 53 micras. En el proyecto TITAN se validó la posibilidad de procesar polvo más grueso de lo recomendado en las tecnologías de lecho de polvo por láser.

En el proyecto ALFA se ha desarrollado un diseño de experimentos para la obtención de un conjunto de parámetros de proceso que permite el procesado de una aleación de titanio, Ti6Al4V nanomodificado por tecnología láser.

Para el desarrollo de los experimentales se han diseñado unos prismas con diferentes condiciones de proceso. Para cada una de las condiciones de proceso se han diseñado dos prismas uno pequeño de 5x5x20 mm y el otro mayor de 15x15x20 mm.

La máquina utilizada para todos los experimentales ha sido la Prima Additive PG250.

**“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva**

Ilustración 1. Máquina Prima PG250 de fabricación aditiva de lecho de polvo multiláser (PBF-LB)

Se ha preparado el material de Ti6Al4V nanomodificado, tamizándolo y deshumidificándolo antes de colocarlo en la máquina de fabricación aditiva.



Ilustración 2. Preparación del polvo de titanio nanomodificado

**Experimental 1. Estudio de la influencia de las nanopartículas en la densidad energética con una potencia fija.**

Como referencia se ha tomado la densidad energética de los parámetros desarrollados en el proyecto TITAN que permitió la obtención de unos parámetros de proceso para polvo fino y con un espesor de capa de 60 micras, permitiendo la mejora de la productividad de esta máquina. Este valor de referencia se estableció en una densidad energética de  $1.875 \text{ J/mm}^2$ . Cabe destacar que la densidad energética se calcula mediante una ecuación que relaciona la potencia del láser, la velocidad de avance de la máquina y la distancia Hatch distance (mm) que se define como la distancia entre diferentes pasadas de láser cuando está fundiendo el interior de una determinada pieza.

**“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva**

En el primer experimental el valor de la potencia es fijo, la velocidad y la distancia entre pasadas de láser varía. Se analizaron 12 condiciones de proceso diferentes en los dos prismas definidos.

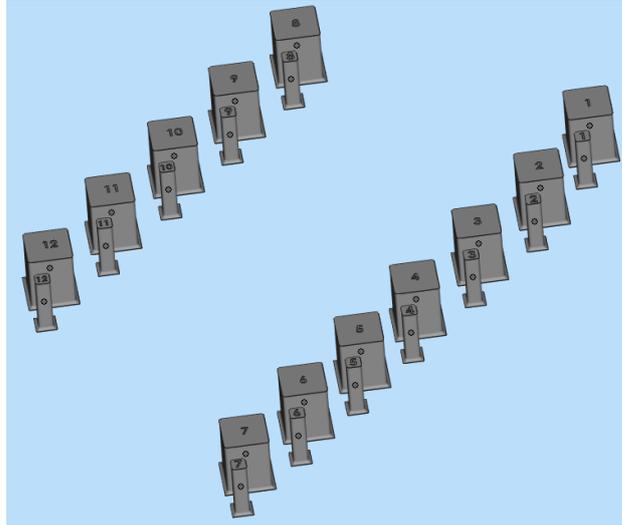


Ilustración 3. Diseño de piezas para el experimental 01

En la siguiente tabla se muestra las densidades energéticas con valores entre 1.2 J/mm<sup>2</sup> y 2.5 J/mm<sup>2</sup>.

EXPERIMENTAL 01- POLVO GRUESO TITANIO NANOMODIFICADO		
	Espesor de capa (µm)	Densidad Energética (J/mm <sup>2</sup> )
e1	60	1,5
e2	60	1,33333333
e3	60	1,2
e4	60	1,73010381
e5	60	1,53787005
e6	60	1,38408304
e7	60	2,04359673
e8	60	1,81653043
e9	60	1,63487738
e10	60	2,5
e11	60	2,22222222
e12	60	2

Ilustración 4. Tabla con las condiciones de proceso evaluadas en el experimental 1

“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva

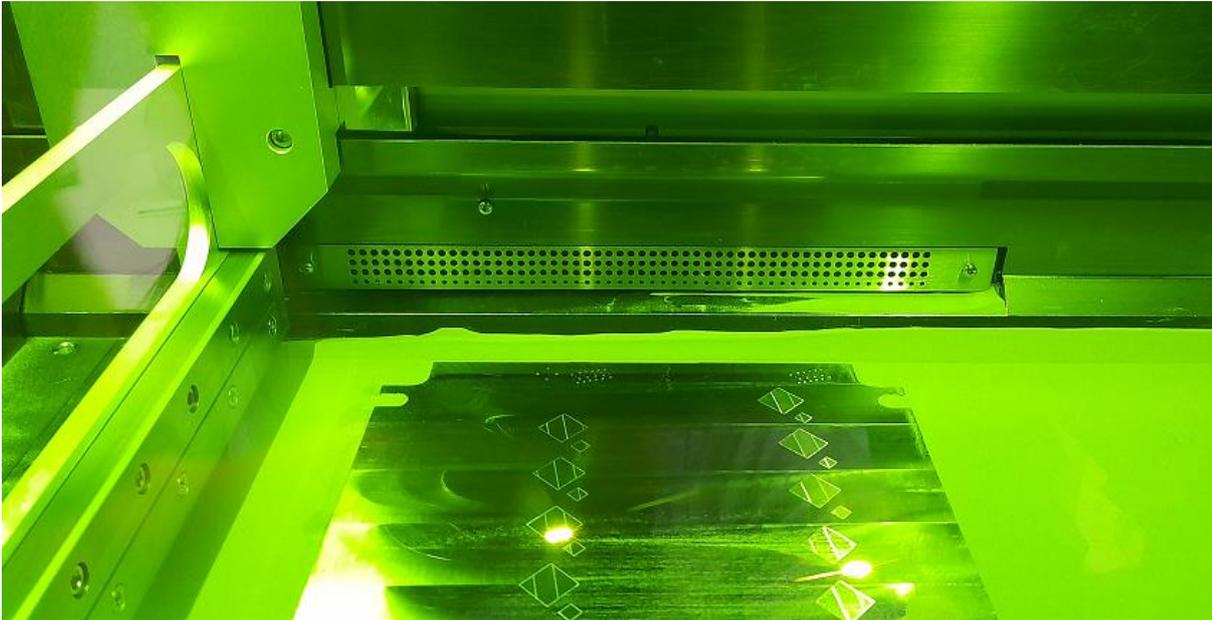


Ilustración 5. Inicio del experimental 1



Ilustración 6. Detalle del proceso de fabricación del experimental 1

“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva

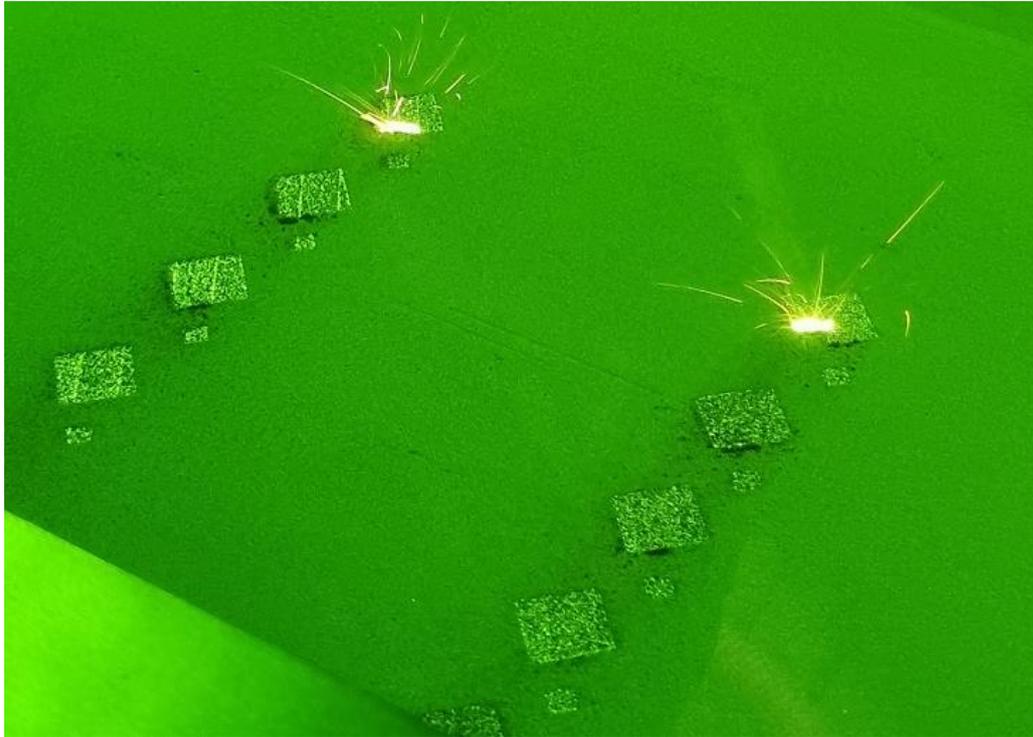


Ilustración 7. Detalle del proceso de fusión del experimental 1

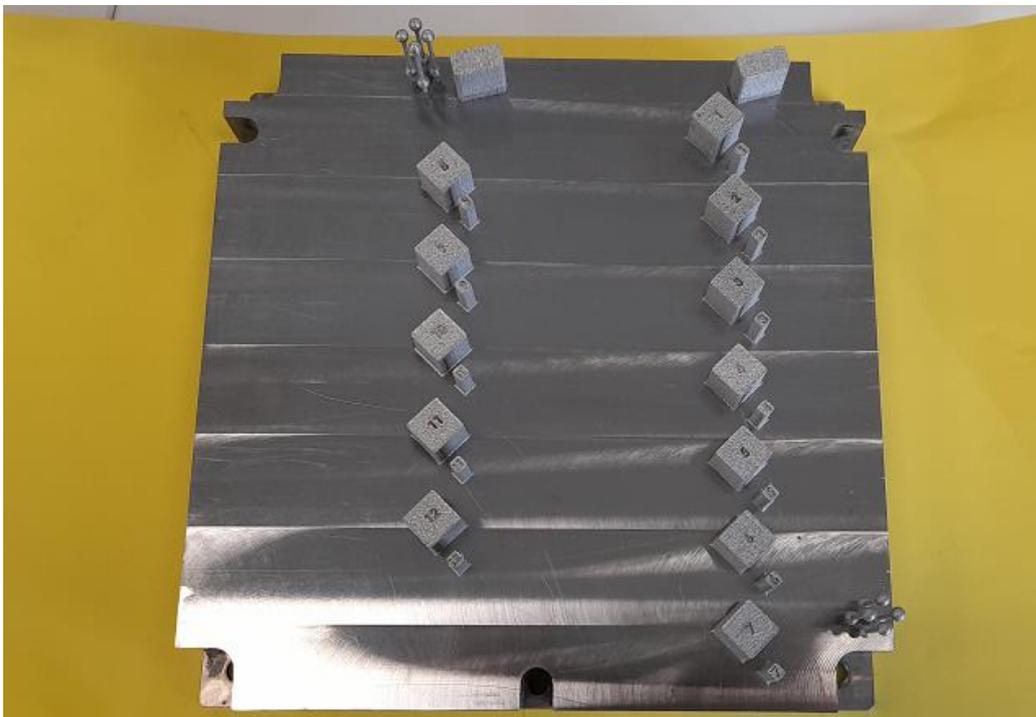


Ilustración 8. Piezas fabricadas en el experimental 1

A continuación se muestra en detalle el análisis visual de la fabricación de las piezas:

“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva

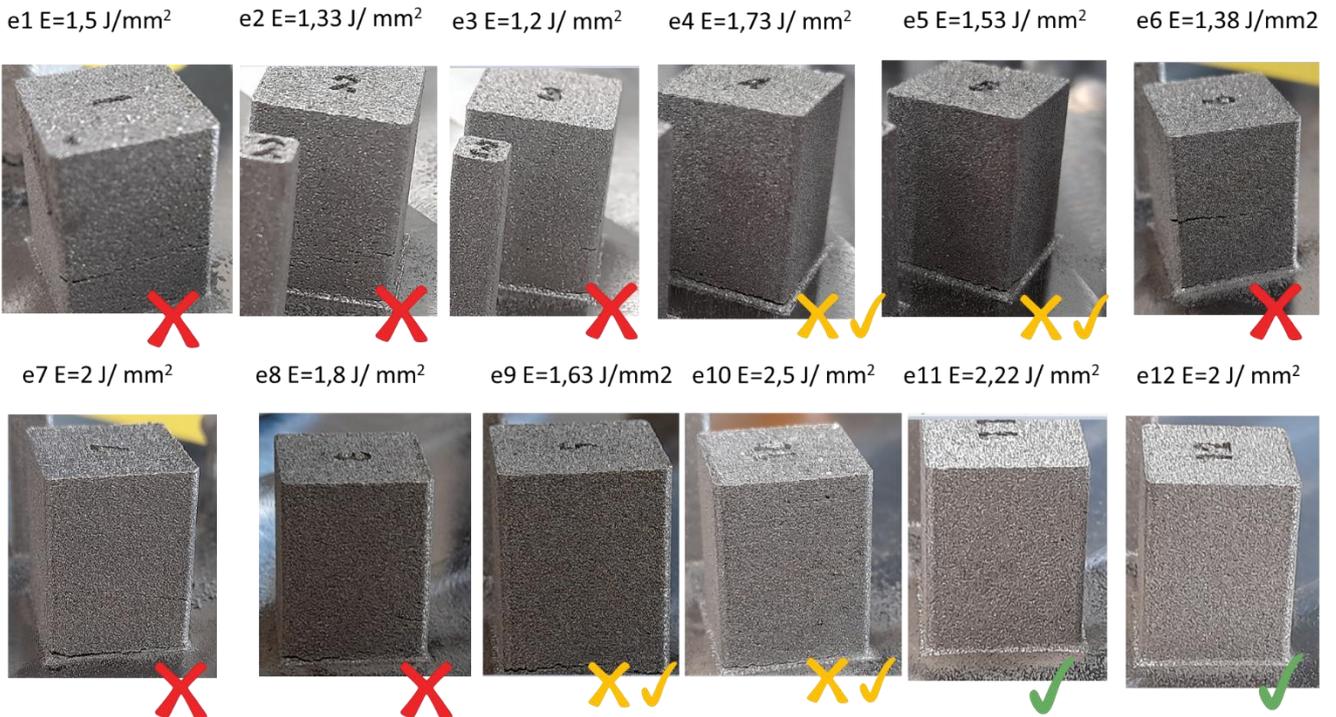


Ilustración 9. Análisis visual del resultado del experimental 1

Además del resultado final se ha evaluado el proceso de fabricación, viendo como funde el material cuando procesan una capa, observando los siguientes resultados:

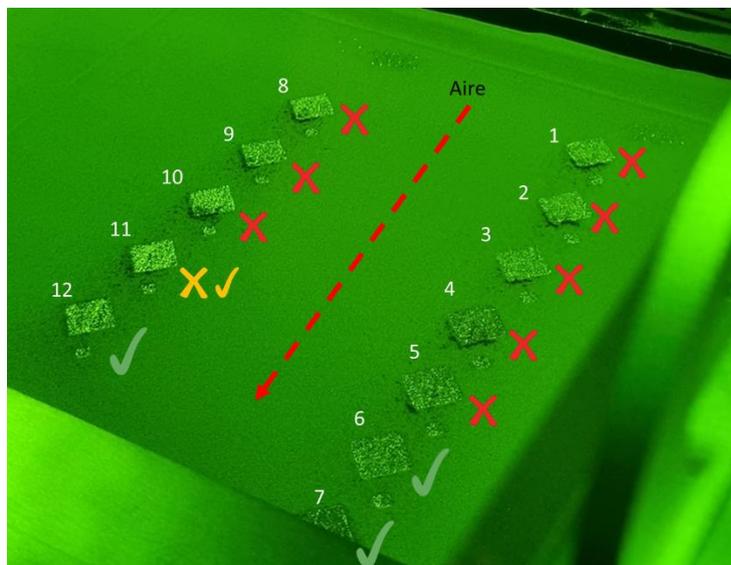


Ilustración 10. Análisis del proceso de fusión

Tras el analisis del proceso de fusión, se ha establecido que las condiciones 11 y 12 son las que mejor resultados se obtienen, con densidades energeticas en torno a 2 J/mm<sup>2</sup>.

“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva

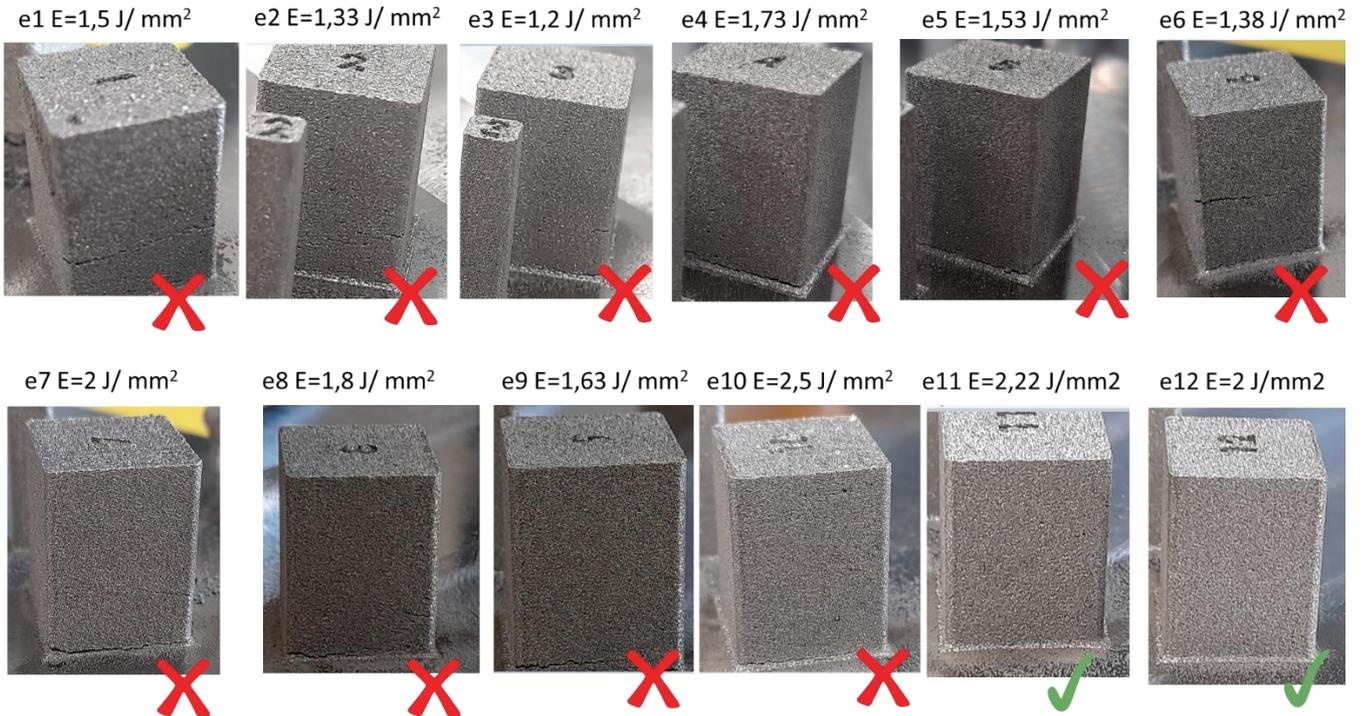


Ilustración 11. Detalle de las condiciones de proceso seleccionadas

Del experimental 1 se concluye que independientemente de las condicione de proceso realizadas, los prismas pequeños no tienen grietas apreciables. Las muestras mejores son las que tienen una densidad energética entre 2 y 2.5 J/mm<sup>2</sup>.

**Experimental 2. Estudio de la influencia de las nanopartículas en la densidad energética variando la potencia y para una distancia entre pasadas de láser constante**

En este segundo experimental, el valor de la potencia es variable y se fija la distancia entre pasadas de láser. Se evalúan diferentes densidades energéticas con el fin de establecer un rango de densidades más ajustado.

EXPERIMENTAL 02- POLVO GRUESO TITANIO NANOMODIFICADO		
	Espesor de capa (micras)	Densidad Energética (J/mm <sup>2</sup> )
e1	60	2,00
e2	60	1,63
e3	60	1,38
e4	60	1,20
e5	60	2,78

“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva

e6	60	2,27
e7	60	1,92
e8	60	1,67
e9	60	3,61
e10	60	2,95
e11	60	2,50
e12	60	2,17
e13	60	4,44
e14	60	3,63
e15	60	3,08
e16	60	2,67
e17	60	5,22
e18	60	4,27
e19	60	3,61
e20	60	3,13

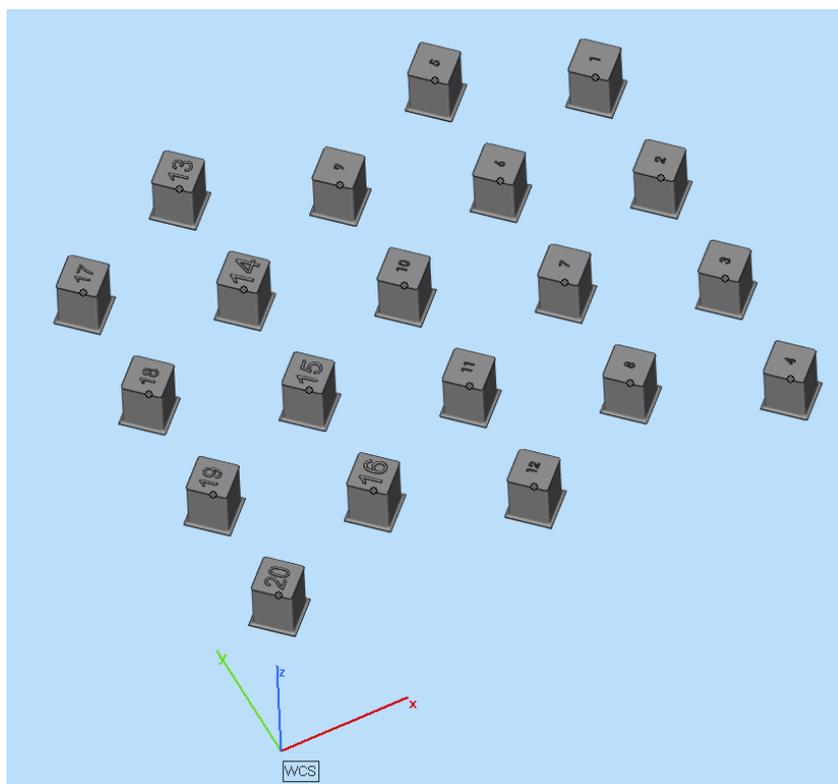


Ilustración 12. Diseño de piezas para el experimental 02

“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva

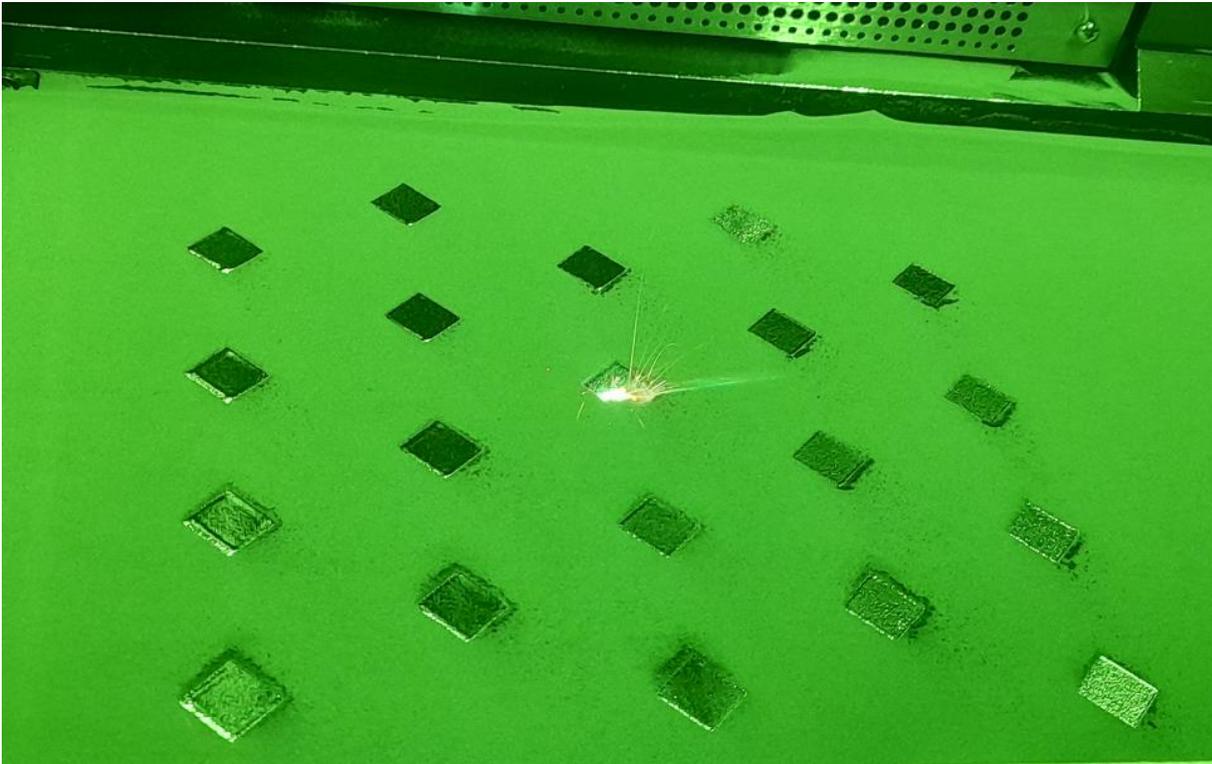


Ilustración 13. Detalle del proceso de fusión del experimental 02

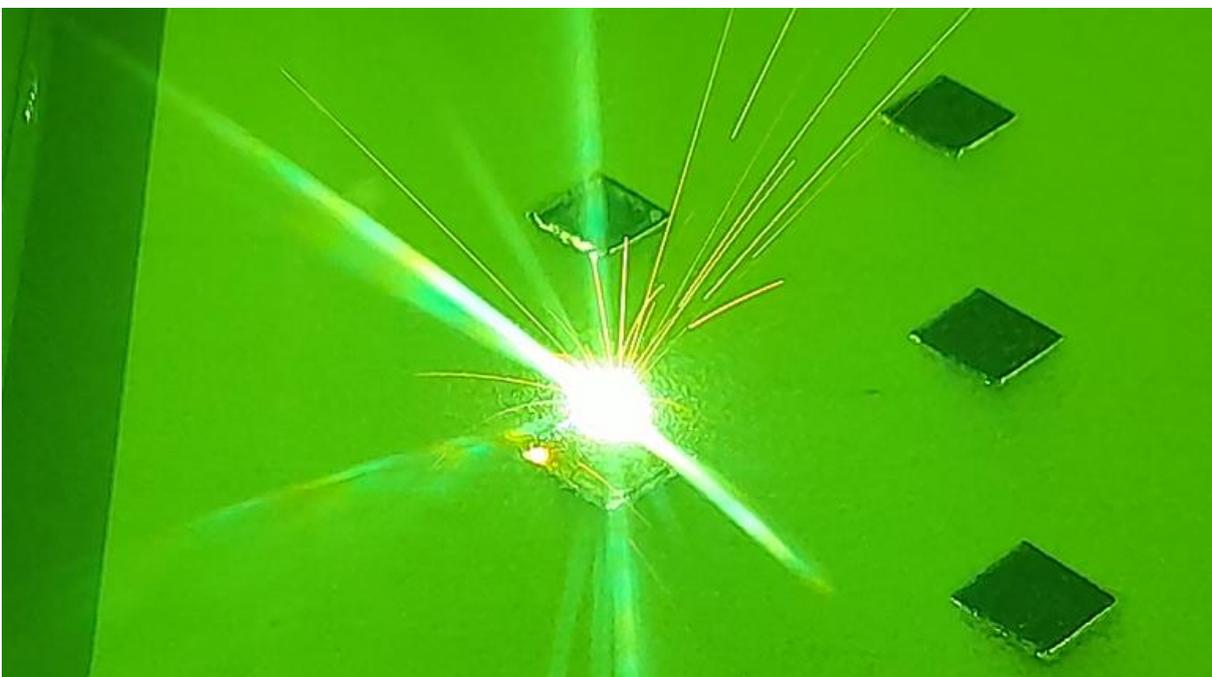


Ilustración 14. Detalle del proceso de fusión del experimental 02

“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva

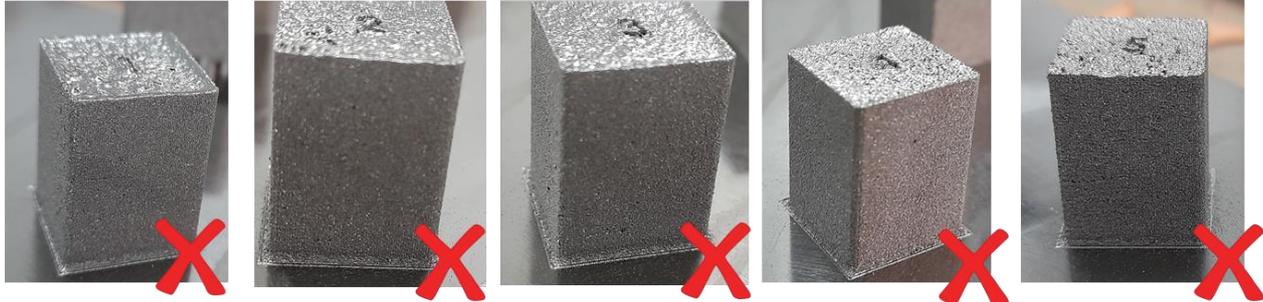


Ilustración 15. Fabricación del experimental 02

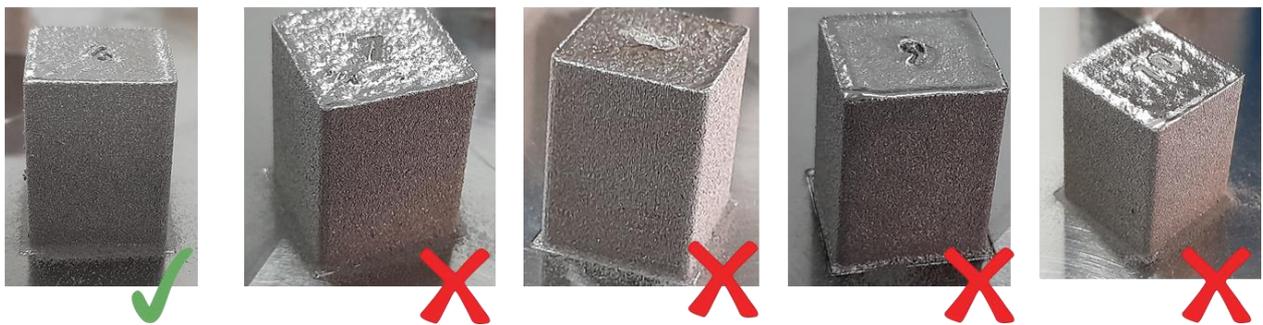
A continuación se muestra el detalle de cada una de las condiciones de fabricación.

“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva

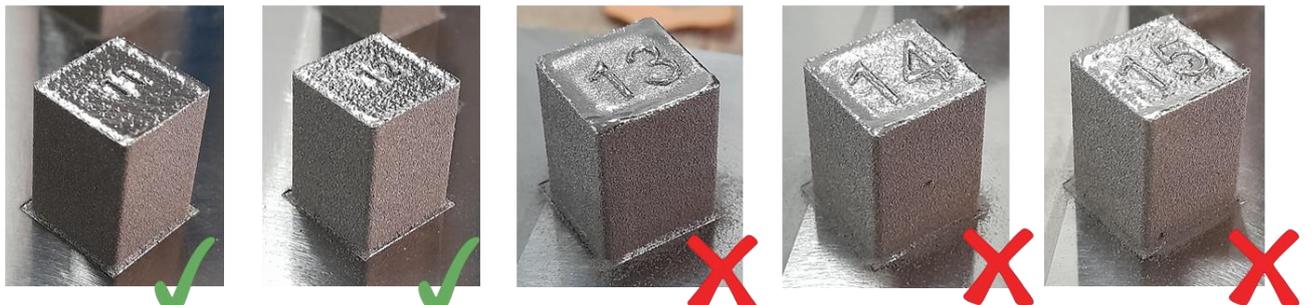
e1 E=2 J/mm<sup>2</sup>    e2 E=1,63 J/mm<sup>2</sup>    e3 E=1,38 J/mm<sup>2</sup>    e4 E=1,2 J/mm<sup>2</sup>    e5 E=2,77 J/mm<sup>2</sup>



e6 E=2,27 J/mm<sup>2</sup>    e7 E=1,92 J/mm<sup>2</sup>    e8 E=1,67 J/mm<sup>2</sup>    e9 E=3,61 J/mm<sup>2</sup>    e10 E=2,95 J/mm<sup>2</sup>



e11 E=2,5 J/mm<sup>2</sup>    e12 E=2,17 J/mm<sup>2</sup>    e13 E=4,44 J/mm<sup>2</sup>    e14 E=3,63 J/mm<sup>2</sup>    e15 E=3 J/mm<sup>2</sup>



e16 E=2,67 J/mm<sup>2</sup>    e17 E=5,2 J/mm<sup>2</sup>    e18 E=4,26 J/mm<sup>2</sup>    e19 E=3,61 J/mm<sup>2</sup>    e20 E=3,13 J/mm<sup>2</sup>



Ilustración 16. Análisis visual del resultado del experimental 02

**“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva**

Algunas de las condiciones anteriores se han descartado porque presentan problemas cuando hay una falta de densidad energética provocando como salpicaduras y defectos cuando hay un aporte excesivo de energía que provoca un abombamiento de los bordes de la probeta.

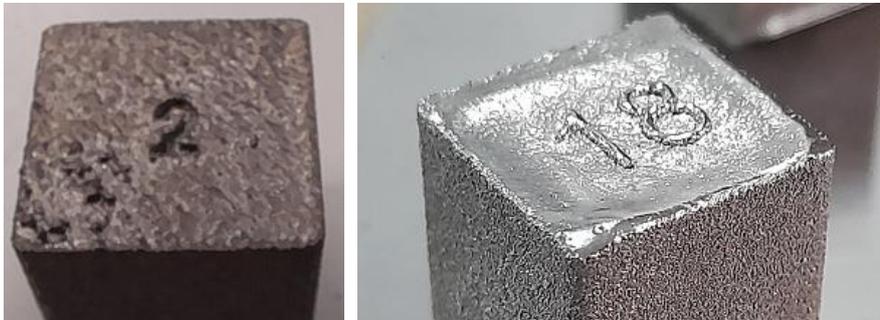


Ilustración 17. Izq: Defecto por falta de energía; Dcha: Defecto por exceso de energía

A continuación se muestra un análisis de las condiciones estudiadas donde se concluye que a potencias bajas y medias se comporta bien el material, la velocidad deberá adaptarse para la obtención de una densidad energética entre 2 J/mm<sup>2</sup> y 2.5 J/mm<sup>2</sup>

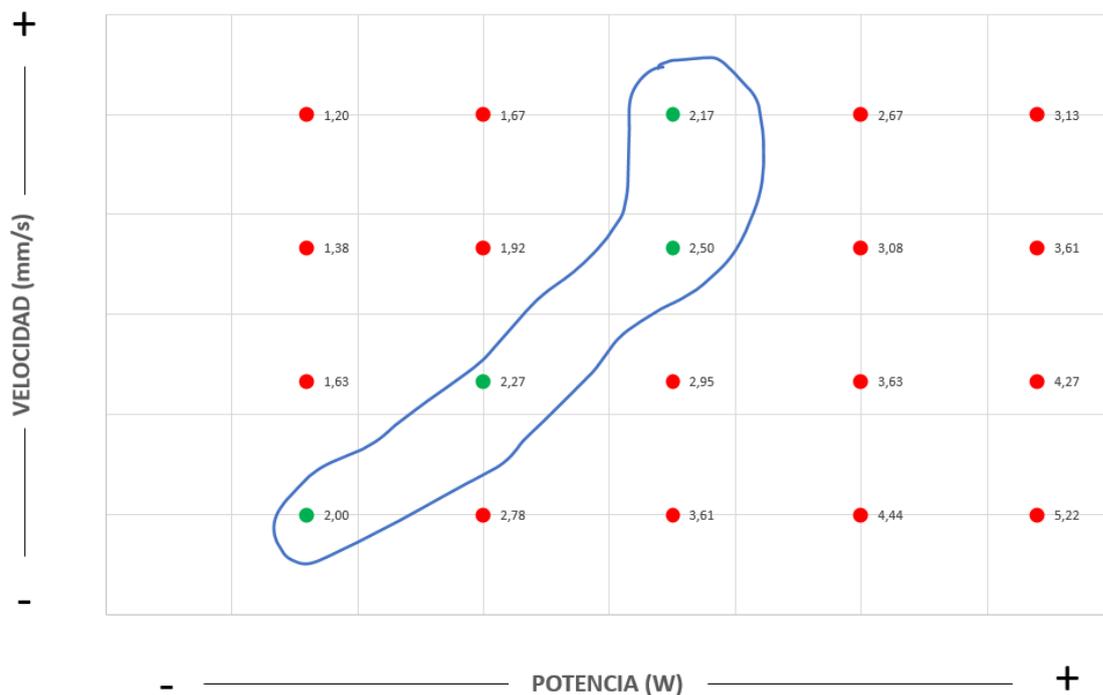


Ilustración 18. Análisis de las densidades energéticas

En este proyecto ALFA se ha obtenido una ventana de procesabilidad del material de titanio nanomodificado, será necesario continuar trabajando en esta línea para conocer las ventajas que aportan las nanopartículas al titanio procesado por fabricación aditiva.

“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva

### 3.2 Soluciones novedosas para el diseño de estructuras complejas

El diseño de una estructura o malla es un desarrollo complejo que depende de muchas variables, entre ellas la más influyente es la geometría sobre la que se debe incluir la estructura. En ocasiones la complejidad de la geometría provoca que no se pueda abordar este diseño mediante el diseño de una celda unitario y posteriormente repetición de dicha celda unitaria.

Por este motivo se ha explorado diferentes herramientas de software que permiten el diseño de estructuras sobre superficies complejas. A continuación, se muestra un cuadro resumen con las herramientas evaluadas, así como una breve explicación de estas.



Software	Principio
Solidworks	CAD 3D Paramétrico
Altair Inspire	Optimización estructural
GEN3D	Mallas trianguladas (.STL)
Materialise magics	Mallas trianguladas (.STL)
nTopology	Modelos implícitos (matemáticos)
Blender	Modelado procedural



Ilustración 19. Softwares de diseño considerados en el estudio

- Softwares de optimización topológica

Tanto inspire como hyperworks generan una estructura lattice en base a una optimización topológica y a la aplicación de cargas y condiciones de contorno. El software permite controlar hasta cierto punto la estructura, pero ésta se genera en base a esas cargas de forma aleatoria. Las celdas generadas tendrán un tamaño y espesor de barra en función de las cargas y esto no es controlable.



“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva

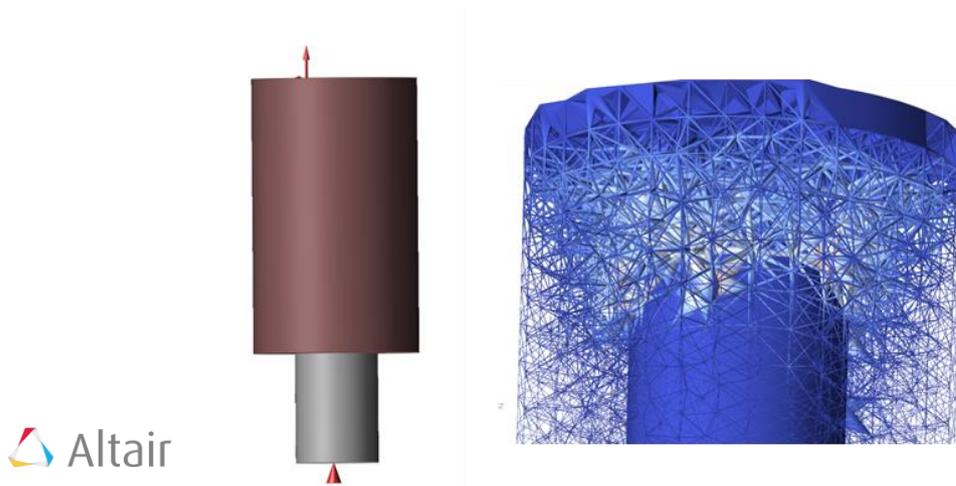


Ilustración 20. Ejemplo de diseño de estructuras con software de optimización

- Softwares de mallado basados en modelos de triángulos
  - Software de Materialise Magics, ampliamente utilizado para la preparación de ficheros stl para ser fabricados con tecnologías aditivas. Este software dispone de un módulo específico para hacer estructuras basado en la repetición de celdas unitarias para abarcar todo un volumen y después se realiza un corte entre el volumen de estructura y la geometría de la zona sólida. Con este modo de actuar no se consigue una estructura adaptada a una determinada geometría sino un corte de una estructura con una cierta geometría, provocando que queden barras sueltas como aparece en la Ilustración 21. Además, no es posible controlar el tamaño de poro ya que depende de cómo sea el corte.

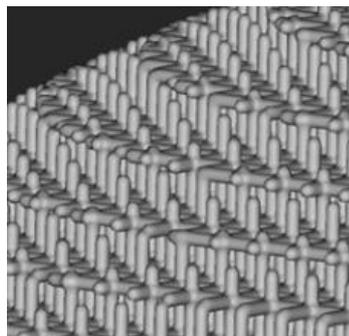


Ilustración 21. Celda tipo cubic

“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva

- Software GEN3D, sencillo de utilizar para la generación de mallas pero no es posible realizar estructuras gradadas, se obtienen estructuras con infinidad de tamaños de poro no controlables.



Ilustración 22. Estructura estocástica/ voronoi

- Softwares basados en modelos matemáticos

Destaca el software Ntopology basado en modelos matemáticos y diferente a los software de diseño CAD más extendidos, donde es posible hacer una estructura adaptada a una geometría ya que hay un comando específico para ello. Es posible implementar nuevas macros para modificar matemáticamente las estructuras, pero esto está al alcance de usuarios muy especializados dada la complejidad matemática que exige. El software N-topology dispone de varios modos para acoplar una estructura a una determinada geometría

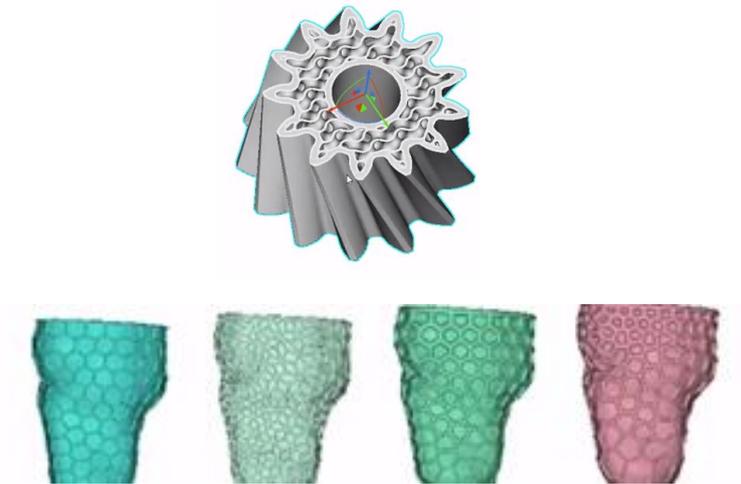


Ilustración 23. Ejemplos de estructura en el software N-topology

- Softwares CAD paramétricos

En los softwares CAD paramétricos, como puede ser el software SOLIDWORKS, las geometrías se construyen a base de condiciones y dimensiones, lo que produce formas y tamaños modificables. El diseño de este tipo de estructuras en software paramétrico implica dividir la geometría en determinado número de celdas y hacer el diseño a mano de las celdas en caso que sea necesario cumplir con ciertas premisas.

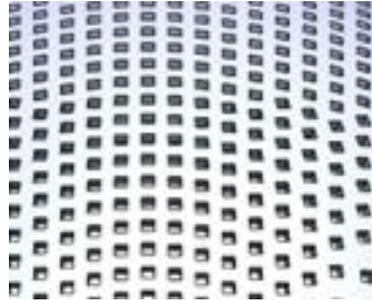
**“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva**


Ilustración 24. Distribución de celdas en una esfera

- Softwares de modelado procedural

Dentro de esta categoría de softwares se ha evaluado el software de código libre llamado Blender. Blender es un programa informático multiplataforma, dedicado especialmente al modelado, iluminación, renderizado, la animación y creación de gráficos tridimensionales. También de composición digital utilizando la técnica procesal de nodos, edición de vídeo, escultura y pintura digital.

De hecho, el módulo procedural de nodos es el que se ha utilizado para la discretización de una geometría compleja. Este software junto con el módulo procedural, no es un software de CAD convencional sino que requiere de una programación específica para resolver un determinado problema. Permite definir la discretización, el espesor de barras y el tamaño de los agujeros mediante la definición de atributos que son modificables.

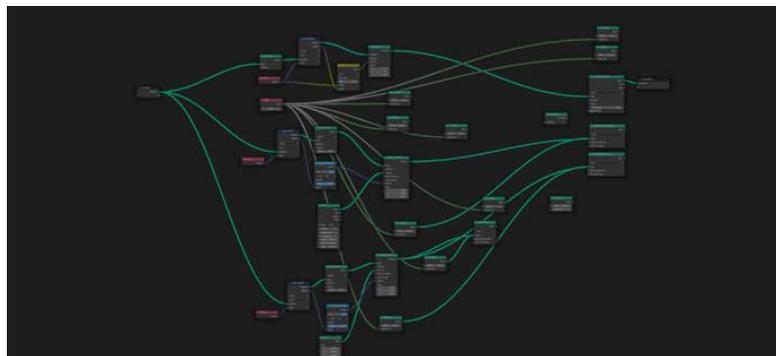
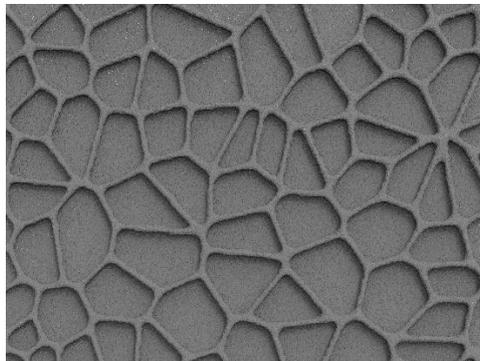
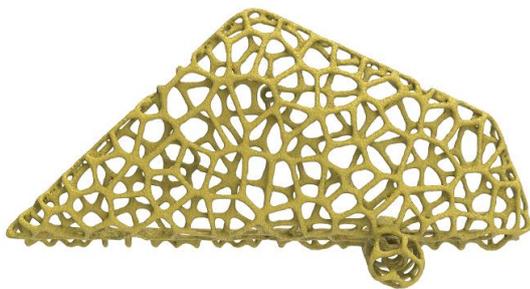
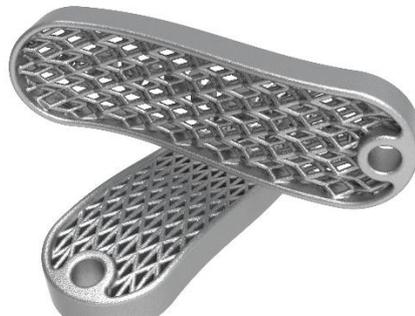


Ilustración 25. Modificación de los atributos de una forma mediante la técnica procedural de nodos mediante el software Blender

En función de la geometría de la pieza en la que se desea incluir una malla o estructura y los requisitos de control de los parámetros de la malla se seleccionara un tipo u otro de software de diseño.

A continuación, se muestran ejemplos de piezas donde se ha incluido una estructura, de este modo se demuestra las posibilidades de estas herramientas a la hora de aligerar piezas así como darle un valor añadido estético difícil de obtener con otros software de CAD convencional.

“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva



“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva

### 3.3 Identificación de nuevas tecnologías de fabricación aditiva de bajo coste

La fabricación aditiva se refiere a toda tecnología de producción de piezas que se lleva a cabo de forma secuencial, habitualmente capa a capa a partir de un fichero tridimensional. Mediante la fabricación aditiva, se pueden producir piezas en diversos materiales, como polímeros termoestables, polímeros termoplásticos, siliconas, biomateriales, metales, cerámicos e incluso hormigones.

La fabricación aditiva aporta numerosas ventajas, dado que no es necesario el uso de moldes o utillajes para la producción de las piezas. Además, permiten una gran libertad de diseño, pudiendo generar geometrías altamente complejas, que no son posibles de alcanzar con métodos tradicionales como el mecanizado, o la inyección.

La fabricación aditiva tiene una larga trayectoria siendo el primer equipo de impresión 3D una máquina de estereolitografía (SLA (VPP-UVL según normativa UNE-EN ISO/ASTM 52900)) inventada por el japonés Hideo Kodama en el año 1981. Desde entonces, la tecnología ha evolucionado a un ritmo importante, ofreciendo al mercado máquinas más rápidas, más precisas, más flexibles, y cada vez más económicas.

Especialmente en los últimos años, se ha observado un crecimiento exponencial y la democratización de la fabricación aditiva, con precios de máquina cada vez más accesible.

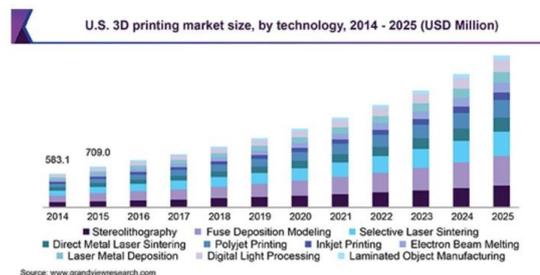


Ilustración 26 evolución del mercado de tecnologías de fabricación aditiva durante los últimos años. Fuente: Tecnica 3D.

Por otro lado, y en términos generales en cuanto a fabricación aditiva, varias fuentes, como la indicada en la Ilustración 27, muestran indicadores de un crecimiento importante en los próximos años.

“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva

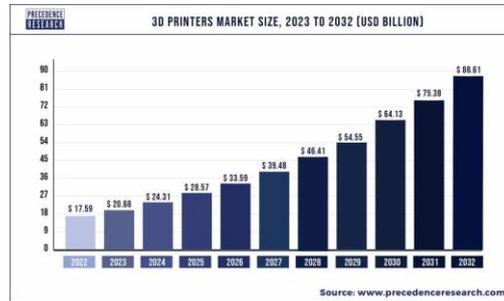


Ilustración 27 volumen de mercado en el mercado de la fabricación aditiva en los próximos años fuente: Precedence research.

Es por ello, que en este proyecto se ha realizado un estudio de tecnologías de bajo/medio coste.

En cuanto a la fabricación aditiva de bajo coste, la impresión por deposición de filamento fundido, más comúnmente conocida como FDM, FFF o MEX-TRB/P según normativa UNE-EN ISO/ASTM 52900, es la referente en la actualidad, ofreciendo numerosas soluciones realmente accesibles, sin embargo, se observa en los últimos años a nivel internacional, un crecimiento importante en tecnologías de curado de resinas termoestables (SLA, DLP, LCD) y en tecnologías de lecho de polvo para el procesado de termoplásticos (SLS (PBF-LB/P según normativa UNE-EN ISO/ASTM 52900,) o MJF (PBF-IrL/P según normativa UNE-EN ISO/ASTM 52900,) con un precio de entrada muy accesible. Históricamente son máquinas que eran caras >100.000€ sin embargo, a día de hoy encontramos soluciones de entre 1.500 – 60.000€ con prestaciones superiores y ratios de producción mucho mayores.

Por otro lado, aunque no es tan evidente como en las máquinas de procesado de polímeros, a día de hoy también se ven tecnologías de procesado de metales con costes de entrada accesibles.

Como en cada tecnología, las tecnologías aditivas plantean ventajas y limitaciones que se deben tener en cuenta de cara a la elección de nuevos equipos, las tecnologías aditivas se caracterizan por tener un volumen de trabajo (XYZ) donde se ubican las piezas, pudiendo apilarlas o anidarlas en ciertas tecnologías. Por otro lado, hay técnicas que requieren el uso de estructuras de soporte para su fabricación, y técnicas donde no son necesarias.

En los últimos años, AIDIMME ha tenido presencia en las ferias de referencia en fabricación aditiva a nivel nacional y europeo tales como ADDIT3D y Formnext, donde se presentan los últimos avances en fabricación aditiva a nivel mundial, y punto de encuentro para expertos en este tipo de técnicas de fabricación.

A continuación, se describen las últimas novedades vistas en la feria Formnext en la edición 2022.

En términos generales, se ve un incremento importante de la fabricación aditiva aplicada al sector construcción y hábitat, con máquinas para el procesado de hormigones, arcillas y máquinas de extrusión de polímeros en formato pellet de alto ratio de deposición.

“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva

- **Máquinas de extrusión de polímeros termoplásticos (MEX-TRB/P) de gran formato y altos ratios de producción.** Tal como se muestra en la **Ilustración 28** hay numerosas soluciones tipo mesa XYZ tradicional, pero hay muchas donde el extrusor va directamente acoplado a un brazo robot, esto permite producir formas de mayor complejidad dado que se puede depositar material en numerosas direcciones, eliminando la problemática que supone la necesidad de colocar estructuras de soporte.



**Ilustración 28** Máquinas de extrusión de polímeros de gran formato. Fuente: FORMNEXT

Como se menciona anteriormente, este tipo de tecnologías están pensadas para piezas de gran tamaño y es de gran aplicación en el sector hábitat.



**Ilustración 29** Piezas de gran tamaño producidas por tecnologías de extrusión de polímeros de gran formato. Fuente: FORMNEXT



**Ilustración 30** Tecnologías de extrusión de polímeros de gran formato. Fuente: FORMNEXT

“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva

- **Tecnologías de extrusión de hormigones (MEX-CRB/ CONCRETE):** Las máquinas de procesamiento de hormigones son principalmente extrusoras acopladas a pórticos que se desplazan en 3 ejes, pero también se ven integraciones sobre brazos robotizados



Ilustración 31 tecnologías de extrusión de hormigones. Fuente: FORMNEXT

Estas tecnologías son muy interesantes para producir elementos arquitectónicos e incluso viviendas, con geometrías singulares, adaptadas al propio proceso de producción y a las limitaciones del mismo. Algunos ejemplos se pueden ver en la Ilustración 32.



Ilustración 32 piezas producidas mediante tecnologías de extrusión de morteros. Fuente: FORMNEXT

- **Tecnologías de extrusión de arcillas:** la principal ventaja de estas tecnologías es utilizar el estado plástico de la materia prima antes del curado para generar geometrías interesantes, principalmente para piezas decorativas o recubrimiento de fachadas, tal como se muestra a continuación.

“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva

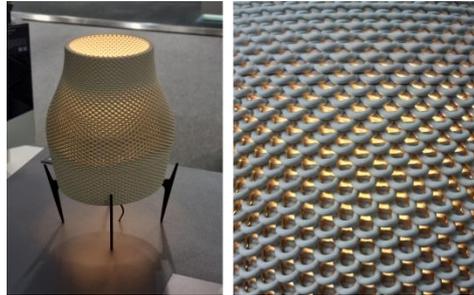


Ilustración 33 extrusión de arcillas mediante fabricación aditiva. Fuente: Feria Formnext

Por otro lado, se observa gran presencia de tecnologías de producción de piezas poliméricas termoplásticas basadas en lecho de polvo (SLS) y piezas poliméricas termoestables basadas en resinas fotosensibles (LCD-SLA).

- **Tecnologías de sinterizado selectivo (PBF-LB/P).** Son máquinas que generalmente equipan un láser que bien puede ser de diodo, infrarrojo o de CO<sub>2</sub> y que sinterizan material termoplástico que de entrada se encuentra en formato polvo muy fino. Se observa en los últimos años una aparición de numerosas soluciones con un precio de entrada bajo y que resultan interesantes porque pueden producir piezas en distintos materiales (PA12, PA11, CF.PA11, TPE, TPU, PP entre otros). Además, presentan un volumen de construcción entre bajo-medio, lo que las hace cómodas en cuanto a operativa de máquina y flexibles.

Principalmente se han identificado las tecnologías mostradas en la tabla siguiente:

Modelo	Volumen de construcción	Tipo de laser	Precio del equipo.
Sintratec “kit”	110x110x110	Diodo	7.500€
Sinterit Lisa	180x130x330	Infrarrojo	55.000€
Formlabs Fuse 1	165x165x300	Infrarrojo	27.000€
Sintratec S3	130x130x360	Infrarrojo	37.000€
Sharebot snowWhite	100x100x100	CO2	38.000€
3D systems wematter	300x300x300	CO2	56.000€
Sinterit Nils 480	200x200x330	Infrarrojo	75.000€
Farsoon eForm	250x250x320	CO2	80.000€

“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva



Ilustración 34 tecnologías de sinterizado de poliamida. Fuente: FORMNEXT



Ilustración 35 Piezas producidas en tecnologías SLS de bajo coste. Fuente: FORMNEXT

Algo interesante en este tipo de técnicas son los materiales, dado que se empiezan a ver materiales aptos para el contacto con alimentos (FDA), o materiales magnéticos. Algo que abre un abanico de oportunidades y aplicaciones.

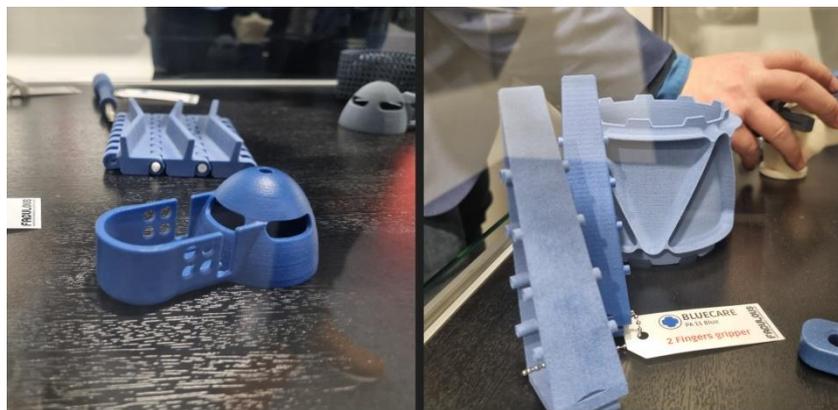


Ilustración 36 Piezas producidas en material FDA en tecnología SLS.

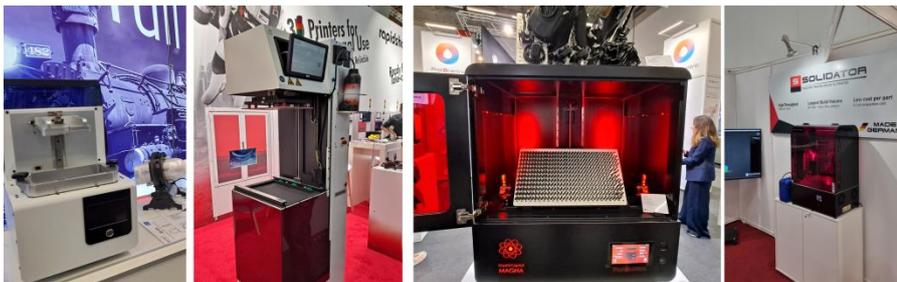
- **Tecnologías curado de resinas fotosensibles (VPP-UVL/ VPP-LED)** Son tecnologías que generalmente usan una fuente emisora de luz ultravioleta del rango 350-450nm que bien puede ser un láser, una matriz de diodos o una pantalla LCD. Durante las últimas ediciones de la feria Formnext, se ha visto un incremento exponencial en el desarrollo y oferta de este tipo de tecnologías. Son muy interesantes porque producen piezas con un nivel de detalle mayor que una tecnología SLS, y además son muy rápidas. Vemos soluciones como la tecnología

**“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva**

LCMagna de photocentric, que además tienen volúmenes de producción elevados (510x280x370mm).

Alguna de las tecnologías de interés observadas se recogen en la tabla siguiente.

Modelo	Volumen de construcción	Precio del equipo.
Formlabs Form 3+	145x145x185	5.200€
Zortrax inspire 2	192x120x280	4.500€
Photocentric LC MAGNA	510x280x350	30.000€ (solo máquina)
Stratasys origin one	192x108x370	55.000€
Asiga PRO 4K80	217x122x200	28.000€
Carbon M3 Max	189x118x326	50.000-150.000€
Nexa3D NXE 400	274x155x400	65.000€
Rapishape I100+	400x335x190	100.000€



**Ilustración 37 Tecnologías de curado de resinas fotosensibles. Fuente: FORMNEXT**



**Ilustración 38 Piezas producidas en tecnologías de curado de resinas. Fuente: FORMNEXT**

Además, vemos un gran potencial en las tecnologías de resinas termoestables, dado que ya se empiezan a ver máquinas que trabajan en continuo (sin el efecto parada de la producción por capas). Hasta el momento este tipo de tecnologías se reducían a la Carbon, pero ya se ven otras marcas como Carima que anuncian velocidades de producción de hasta 60cm de altura por hora, lo cual está muy alejado de los niveles de producción que se veían hasta ahora.

“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva



**Ilustración 39** Piezas obtenidas con tecnología “carima” de muy alta productividad. Fuente: FORMEXT

Por otro lado, no solo avanzan las tecnologías, sino también los materiales que se pueden procesar con ellas. Prueba de ello es el material ofrecido por graphy, con el que se pueden producir férulas de corrección dental directamente sin necesidad de utilizar la pieza de fabricación aditiva como molde como se venía haciendo hasta la fecha. Esto elimina un sobrecoste en producción de moldes y en el termo conformado de estas piezas.



**Ilustración 40** Correctores dentales producidos directamente en tecnología LCD. Fuente: FORMNEXT

Otro ejemplo de material de uso final, son las resinas termoestables con propiedades elastoméricas que utilizan marcas de deporte para la fabricación de medias suelas similares a las mostradas en la [Ilustración 41](#).

“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva



Ilustración 41 Suelas producidas en tecnología aditiva. Fuente: ADIDAS

- Por último, la automatización en fabricación aditiva avanza a pasos agigantados, es cierto que los procesos de producción aditivos son tecnología muy avanzada, sin embargo, todos los postprocesos previos y posteriores a la fabricación suelen ser a día de hoy bastante manuales. Por ello, cada vez se ven más soluciones que trabajan en la automatización de tareas.

Un ejemplo es el mostrado en la [Ilustración 42](#), se trata de una celda robotizada donde los postprocesos aplicados en la pieza se han automatizado, de tal forma que el brazo robot amarra la pieza producida mediante tecnología aditiva, y va realizando postprocesos en diferentes estaciones de lijado, mecanizado, eliminación de soportes.



Ilustración 42 Célula automatizada de postprocesos. Fuente: FORMNEXT

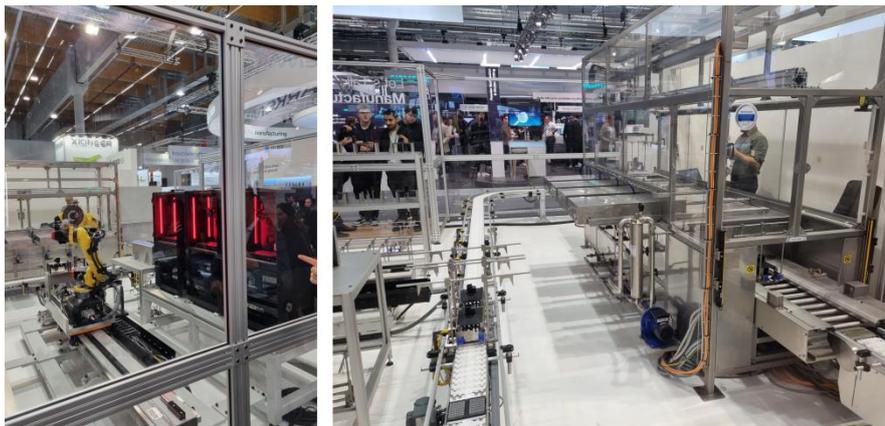
Otro ejemplo es el mostrado en la [Ilustración 43](#). Generalmente en fabricación aditiva hay una problemática que no existe en procesos como la inyección o el mecanizado, y es que se produce un número elevado de piezas con referencias y con formas diferentes a la vez. Este hecho hace que clasificar las piezas por lotes y gestionar tareas como el envío se hacen complejas y requieren de tiempo de recursos humanos. La célula mostrada en la imagen es capaz de, mediante digitalización y reconocimiento tridimensional, es capaz de clasificar las piezas por lotes y gestionar las etiquetas de envío directamente.

“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva



**Ilustración 43** Celda de clasificación de pieza producidas en tecnologías aditivas. Fuente: FORMNEXT

En la **Ilustración 44** se muestra una célula automatizada integrada en una granja de máquinas VPP-LED/P. Como se menciona anteriormente, los postprocesos en fabricación aditiva son críticos porque son muy manuales y consumen mucho tiempo de operario. Este tipo de soluciones están orientadas a mejorar la productividad de este tipo de máquinas, pudiendo automatizar los diferentes posprocesos tales como: recuperación de la bandeja de fabricación una vez se ha terminad la fabricación, enjuague o eliminación de resina, postcurado y eliminación de soportes.



**Ilustración 44** Celda automatizada para realizar posprocesos en tecnologías VPP-LED/P. Fuente: FORMNEXT

Por último, en la **Ilustración 45** se muestra una granja automatizada de impresoras tipo FDM (MEX-TRB/P). Son tecnologías altamente flexibles ya que permiten producir piezas de forma individual en tiempos reducidos, el hecho de plantear una granja de máquinas y que un robot sea capaz de descargar las piezas, permitiría un tipo de fabricación altamente flexible.

**“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva**


**Ilustración 45 granja automatizada de impresoras 3D (MEX-TRB/P). Fuente: FORMNEXT**

Tras el estudio realizado de nuevas tecnologías se adquirió el siguiente equipamiento relacionado con tecnologías de fabricación aditiva de polímero así como fabricación aditiva de morteros dado el potencial de las mismas:

- Máquina de fabricación aditiva Sinterit Lisa X
- Máquina de PHOTOCENTRIC LC Magna
- Cámara termográfica OPTRIS XI 400 REFRIGERADA
- Sistema cartesiano robotizado para la fabricación aditiva de morteros Bemore 3D SMART 2500
- Robot IRB 1200-7

**MÁQUINA DE FABRICACIÓN ADITIVA SINTERIT LISA X**

Se trata de una tecnología de fabricación aditiva de fusión por lecho de polvo por láser de polímero (PBF-LB), comúnmente llamada de sinterización láser selectiva (SLS) bastante compacta. Es una máquina que utiliza un láser de fibra de 30W infrarrojo que es comandado por un módulo de espejos galvo. La máquina ofrece un volumen máximo de impresión de 130x180x330mm en el caso de materiales como la poliamida (PA) y el polipropileno (PP) y un volumen de 130x180x340mm en el caso del TPU o de filamentos flexibles.

El equipo dispone de software libre, por lo que el desarrollo de nuevos materiales experimentales es posible, al poder modificar parámetros y condiciones de proceso.

La solución está compuesta de tres módulos;

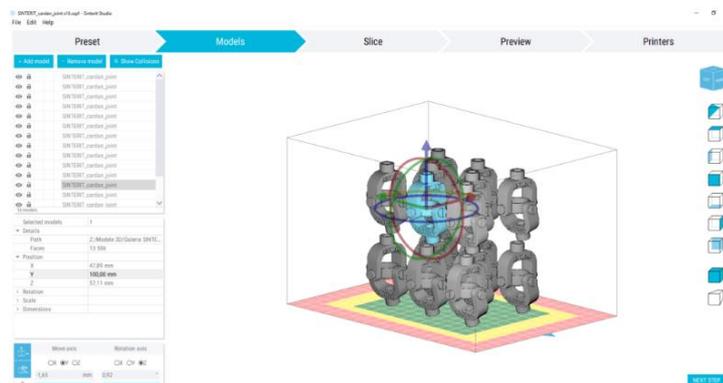
**“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva**

- módulo de fabricación o impresora 3D donde se procesa la materia prima capa a capa.
- módulo de postprocesado, donde se recuperan las piezas y se realiza la gestión del polvo para cargar de nuevo la máquina.
- módulo de arenado, donde se granallan las piezas para eliminar polvo que pueda quedar sinterizado en oquedades o en la piel exterior de la pieza.



**Ilustración 46 Sinterit LISA X**

La máquina utiliza el software Sinterit STUDIO, capaz de procesar archivos en extensiones: STL, 3MF, OBJ, 3DS, FBX y DAE. En este software se realiza la preparación de la bandeja de fabricación y se asignan los parámetros de proceso para cargarlo a máquina. Adicionalmente, dispone del sinterit studio ADVANCED donde se pueden preparar bandejas de construcción de materiales no estándar o en desarrollo.



**Ilustración 47 Sinterit studio**

El equipo tiene la posibilidad de inertizar la cámara de construcción aunque la mayoría de materiales no lo requieren.

**“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva**

El módulo de fabricación o impresora 3D dispone de 4 zonas calefactadas: cámara de construcción, superficie del powder bed, calefacción en cilindro y calefacción en pistón y dispone de 16 elementos de calefacción independientes. Pudiendo calentar hasta 210C.



Ilustración 48 Lisa X con estación de postprocesado



Ilustración 49 Detalle de panel del control de LISA X

**MÁQUINA DE FABRICACIÓN ADITIVA PHOTOCENTRIC LC Magna**

Sistema de fabricación aditiva basada en el curado de resinas termoestables fotosensibles (LCD), es una máquina que utiliza una pantalla que proyecta luz ultravioleta de 3840x2160px en una longitud de onda de 460nm. La longitud de onda de 460nm presenta numerosas ventajas respecto a longitudes de

**“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva**

onda tradicionales en LCD (405nm) dado que tiene ratios de producción mayores, y una precisión dimensional mayor. Cuenta con un volumen de fabricación de 510 x 280 x 350 mm.

De igual modo que el equipo de sinterit, la LC Magna se comanda con un software libre que permite modificar condiciones de proceso, dando la posibilidad de trabajar con materiales no estándar.

La solución está compuesta de tres módulos;

- Módulo de fabricación: o equipo de impresión 3D donde se procesa la materia prima.
- Módulo de limpieza: tras retirar la bandeja de fabricación, esta se introduce en el sistema de enjuagado o lavado, donde un líquido especial retira la resina que haya podido quedar adherida en la pieza.
- Módulo de post curado: tras la limpieza, las piezas requieren un post curado donde básicamente se aplica temperatura (60C) y luz ultravioleta (460nm) para dotar a la pieza de las propiedades físico mecánicas esperadas. Dependiendo del tipo de resina a utilizar, los tiempos de postcurado pueden variar entre 4-10 horas.



Ilustración 50 Photocentric LC Magna

La máquina utiliza el software photocentric studio, donde se preparan las bandejas de fabricación y se coloca el soporte en las piezas.

“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva

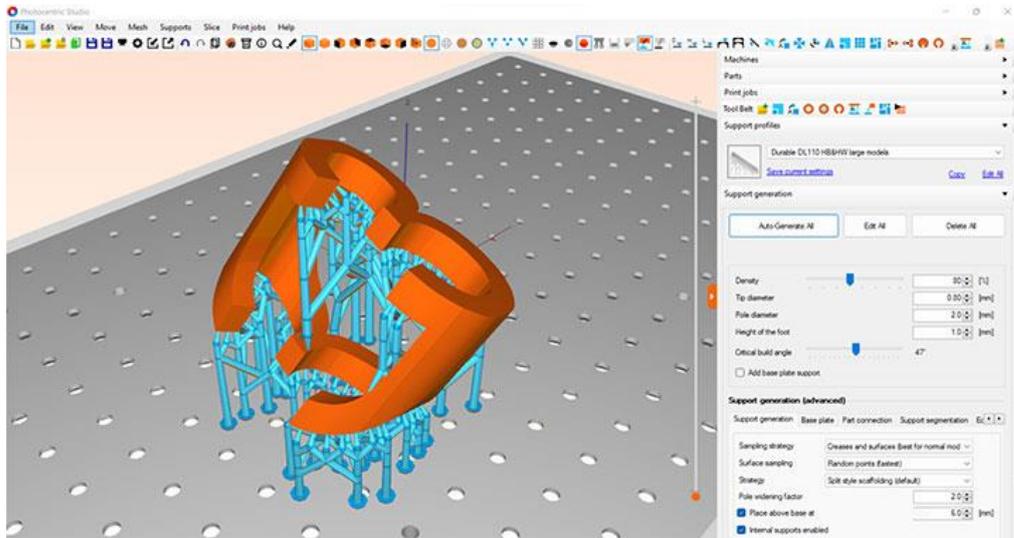


Ilustración 51 Software photocentric studio



Ilustración 52 Detalle Panel de control LC Magna

**CÁMARA TERMOGRÁFICA OPTRIS XI 400 REFRIGERADA**

La cámara termográfica compacta de alta resolución XI 400 combina los beneficios de un pirómetro robusto y una cámara IR compacta avanzada. La velocidad de medición de 80 Hz permite la monitorización rápida de temperatura. Esta cámara industrial, dispone de localizador de puntos calientes y tiene una resolución óptica de 382x288 píxeles. Incluye un software de procesamiento de imágenes fácil de utilizar, y certificado de calibración. La cámara termográfica optris XI 400 mide con

**“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva**

de forma fiable temperaturas entre -20 y 900 °C y su excelente resolución óptica ofrece una relación entre punto de medición y distancia de hasta 390:1.

La cámara termográfica se utiliza para comprobar la uniformidad térmica en el lecho del polvo en las tecnologías de lecho de polvo por láser de polímeros.



Ilustración 53 Cámara termográfica Optris XI 400 refrigerada

**SISTEMA CARTESIANO ROBOTIZADO PARA LA FABRICACIÓN ADITIVA DE MORTEROS BEMORE 3D SMART 2500**

El dispositivo de fabricación aditiva SMART de la empresa BE MORE 3D, es una tecnología de construcción 3D a una escala de laboratorio por lo cual su electrónica está diseñada para ser modificada y poder ser integrada con diversos sistemas externos.



Ilustración 54 Máquina Bemore 3D SMART 2500

**ROBOT IRB 1200-7**

Este robot es miembro de la generación más reciente de ABB Robotics de robots industriales de 6 ejes, con una carga útil de 5 kg y diseñado específicamente para industrias de fabricación que utilizan una automatización flexible. En la siguiente figura se muestra una imagen del modelo de robot

**“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva**

mencionado. Como se ha visto anteriormente cada vez es más habitual la combinación de las tecnologías de fabricación aditiva con los sistemas robotizados.



Ilustración 55. Robot ABB IRB 1200-5/0.9

**3.4 Desarrollo de demostradores para acercar la fabricación aditiva**

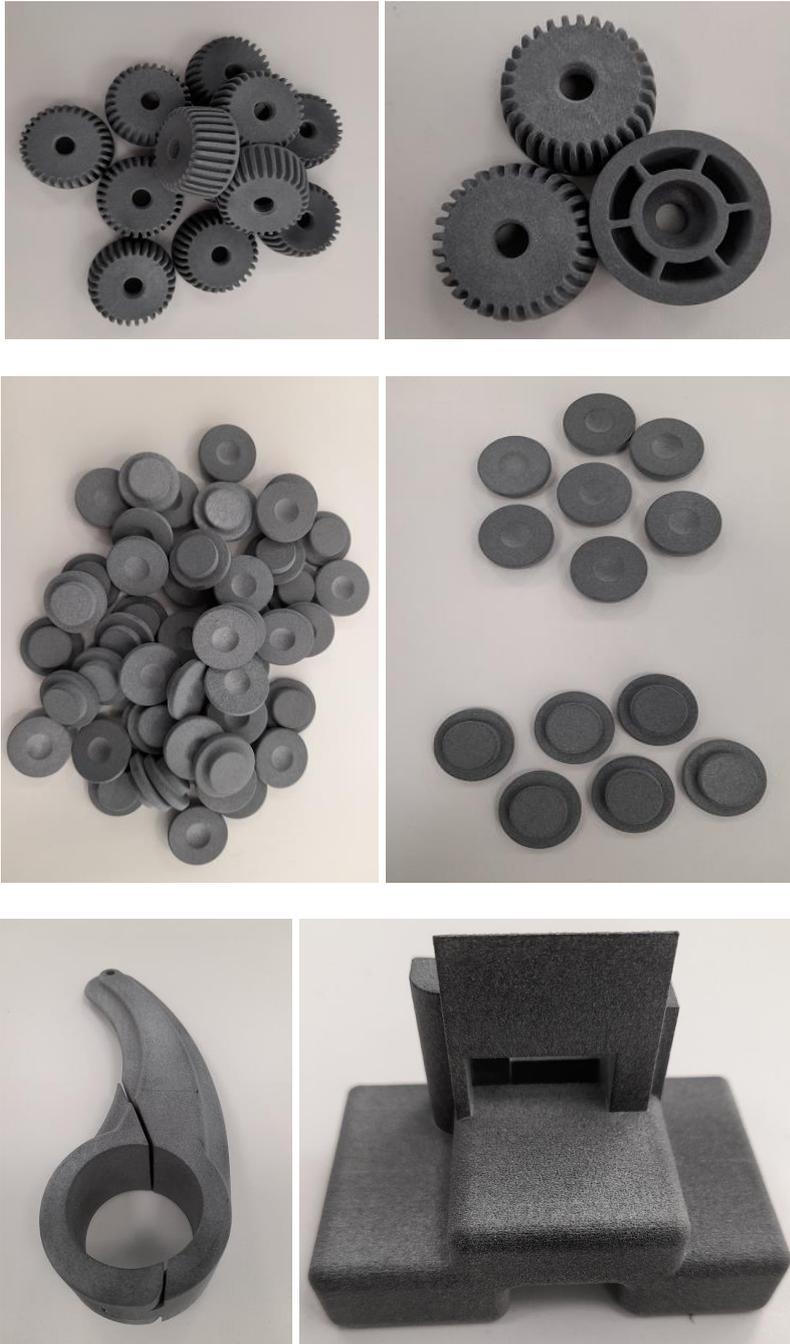
Se han desarrollado demostradores de diferentes sectores como es el de automoción, bienes de consumo, máquina-herramienta, habitat, decoración entre otros. Además se han diseñado y fabricado piezas cuya finalidad ha sido mostrar las bondades de la fabricación aditiva. A continuación se muestran algunos ejemplos de piezas fabricadas que contienen estructuras, texturas, ensamblaje de piezas que se fabrica en conjunto, etc...



“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva



“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva



“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva

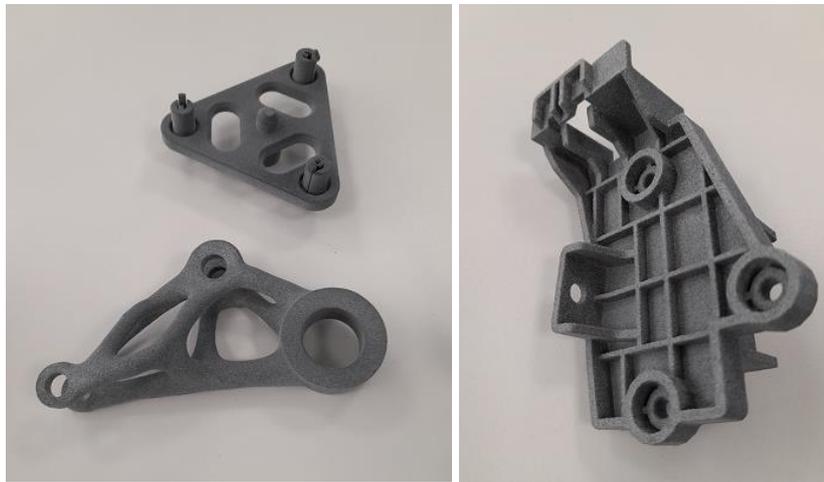


Ilustración 56. Piezas demo

“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva

**3.5 Actividades de promoción**

AIDIMME ha participado en diferentes eventos para promocionar el uso de las tecnologías de fabricación aditiva.

- Participación en la **feria ADDIT 3D** en junio 2022



Ilustración 57. Stand de AIDIMME en Addit3D 2022

- Participación en la sesión CEFA, CEFA, Programa estratégico para la capacitación de Excelencia en la Fabricación aditiva de materiales metálicos, celebrada en **Metal Madrid** (Pab. 4, Sala Tech Talks), el 19 de octubre de 2022



“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva

M R C

Miércoles 19 | SALA TECH TALKS

PROYECTO CEFAM

**11:00h a 11:20h**  
**Bienvenida. Introducción al programa CEFAM y breve introducción de los centros**  
Nerea Ordás Mur, Codirectora del grupo de Fabricación Avanzada en Pulvimetalurgia y Láser, Ceit

**11:20h a 11:35h**  
**Desarrollo de polvo metálico para fabricación aditiva**  
Ernesto Urionabarrenetxea, Investigador del grupo de Fabricación Avanzada en Pulvimetalurgia y Láser, Ceit

**11:35h a 11:50h**  
**Desarrollo de nuevos materiales mediante la tecnología EBM**  
José Ramón Blasco, Responsable Procesos de Fabricación, AIDIMME

**11:50h a 12:05h**  
**L-DED para la reparación de componentes de alto valor añadido. Aplicación al ferrocarril y sector aeronáutico**  
María Florencia Schiopetto, Investigadora y estudiante de doctorado del grupo de Fabricación Avanzada en Pulvimetalurgia y Láser, Ceit & Tecnun (UNAV)

**12:05h a 12:20h**  
**Tecnología WAAM para la fabricación de grandes componentes**  
María San Sebastian Ormazabal, Responsable Tecnologías de Fabricación Aditiva, LORTEK

**12:20h a 12:35h**  
**La fabricación aditiva en el sector aeroespacial. Pasado, presente y futuro.**  
Fernando Lasagni, CTO Materiales y Procesos, CATEC

**12:35h a 12:50h**  
**Tratamientos térmicos de postprocesamiento en componentes aeronáuticos críticos obtenidos por L-PBF**  
Miren Aristizabal, Investigadora del grupo de Fabricación Avanzada en Pulvimetalurgia y Láser, Ceit

**12:50h a 13:05h**  
**Desarrollo de estrategias para abordar la fabricación de materiales de difícil procesabilidad**  
María San Sebastian Ormazabal, Responsable Tecnologías de Fabricación Aditiva, LORTEK

**13:05h a 13:20h**  
**Aplicación de ensayos no destructivos en componentes obtenidos por fabricación aditiva**  
Fernando Lasagni, CTO Materiales y Procesos, CATEC

**13:20h a 13:35h**  
**Actividades de Transferencia y diseminación realizadas en CEFAM**  
José Ramón Blasco, Responsable Departamento de Nuevos Procesos de Fabricación, AIDIMME

**13:35h a 13:45h**  
**Conclusiones y cierre**  
Nerea Ordás Mur, Codirectora del grupo de Fabricación Avanzada en Pulvimetalurgia y Láser, CEIT

**15:30h a 16:00h**  
**In Mold Microstructuration, functional surfaces for injection molded plastics**  
Javier Graus, Polymers & nanomaterials consultant, Infnitia

**16:00h a 17:00h | PROYECTO TOUGHSTEEL**

- **Bienvenida e introducción**  
Santiago Oliver, Director de Sostenibilidad, Energía e Innovación, UNESID
- **Presentación del proyecto ToughSteel**  
Isaac Justicia, Desarrollador de Negocio-Sector Manufacturing, EURECAT
- **Tenacidad de fractura de chapa metálica: Procedimientos de ensayo y casos prácticos de aplicación industrial**  
Laura Grifé, investigadora de la unidad de Materiales Metálicos y Cerámicos, EURECAT
- **Turno abierto de preguntas**  
Roberto Castelo, Experto Técnico y de Innovación, UNESID

Ilustración 58. Participación en Metal Madrid octubre 2022

“ALFA” - Estudio de nuevas soluciones para la industria de la fabricación aditiva

### **3.6 Potenciar la participación del centro y de las empresas en proyectos europeos e internacionales**

Se han preparado varias propuestas de Proyectos de I+D donde la fabricación aditiva está presente:

- InnDIH. Valencia Region Digital Innovation Hub.
- FUTURIST. Functional multi-material to lighten industry
- Baterías. Convocatoria Cross-sectoral solutions for the climate transition (HORIZON-CL5-2022-D2-01)
- ATILA Estudio y desarrollo de un proceso de fabricación Aditiva de alta protección basado en la deposición directa mediante Multi LAser/wire (LMD-WIRE) para el procesado de materiales de alta reactividad. Aplicación a implantes en Ti64-ELI.
- Protector. Desarrollo de proceso de alto nivel de protección para fabricación de materiales metálicos reactivos con tecnología híbrida LMD-CNC