2021
INFORME

Proyectos

“IMPULSO 2021”

TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN ADITIVA PARA LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS Y UTILLAJES

Entregable: Resultados del proyecto IMPULSO 2021

Número de proyecto: 22100003
Expediente: IMAMCC/2021/1
Duración: Del 01/01/2021 al 31/12/2021
Coordinado en AIDIMME por: BLASCO PUCHADES,JOSE RAMON
Línea de I+D: FABRICACIÓN ADITIVA

GENERALITAT VALENCIANA

IVACE
INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL

ÍNDICE

1 Introducción, objetivos del proyecto. 3

2 Resultados obtenidos 3

3 Actividades realizadas, desarrollo del proyecto. 4

3.1 Mejora de la capacitación en el área de la Fabricación Aditiva para materiales metálicos y poliméricos, evaluando nuevos materiales, mejorando técnicas de procesado, implantando nuevas técnicas y alternativas. 4

3.1.1. Materiales metálicos 4

3.1.2. Materiales poliméricos 17

3.2 Identificación de una plataforma colaborativa en fabricación Aditiva 18

3.3 Potenciar la participación del centro y de las empresas en proyectos europeos e internacionales 21

3.4 Identificación y análisis de líneas de I+D del centro, mediante el análisis de información y la participación en diferentes comités, plataformas y grupos de trabajo. 21

4 Impacto en empresas. 24

5 Acciones de difusión y transferencia. 25

1 Introducción, objetivos del proyecto.

El objetivo principal del proyecto es **potenciar el uso de las nuevas tecnologías de fabricación aditiva para que la industria las utilice en nuevos productos** como alternativa a procesos convencionales principalmente en metal. Para ello, será necesario evaluar todos los pasos de la cadena de valor desde el diseño de la piezas, diseño de las bandeja de fabricación, pasando por el proceso de fabricación, procesos de acabado y validación de las piezas.

2 Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos en el proyecto son los siguientes:

- Mejora de la capacitación en el área de la Fabricación Aditiva para materiales metálicos, evaluando nuevas aleaciones. Se ha procesado la aleación AlSi10Mg en la celda multiláser, se han caracterizado las propiedades mecánicas y se ha evaluado la uniformidad y repetitividad del proceso demostrándose altamente estable y confiable.

- Mejora de la capacitación en el área de la Fabricación Aditiva para materiales poliméricos. Impulso del uso de la tecnología Multi Jet Fusion de HP.

- Identificación y comparación de plataformas colaborativas adecuadas para la gestión de procesos de fabricación aditiva.

- Se ha potenciado la participación de AIDIMME y empresas en proyectos europeos e internacionales con las tecnologías de fabricación aditiva.

- Identificación y análisis de líneas de I+D del centro, mediante el análisis de información y la participación en diferentes comités, plataformas y grupos de trabajo.

3 Actividades realizadas, desarrollo del proyecto.

Las actividades realizadas en el proyecto han sido las siguientes:

3.1 Mejora de la capacitación en el área de la Fabricación Aditiva para materiales metálicos y poliméricos, evaluando nuevos materiales, mejorando técnicas de procesado, implantando nuevas técnicas y alternativas.

3.1.1. Materiales metálicos

Se ha procesado la aleación **AlSi10Mg** en la celda multiláser, se ha caracterizado las propiedades mecánicas y se ha evaluado la uniformidad y repetitividad del proceso.

Se ha establecido un procedimiento de experimentación con el fin de conocer como se comporta la máquina cuando se incluye un nuevo material. Se parte de un conjunto de parámetros de proceso suministrados por el fabricante pero, por la experiencia adquirida en estas tecnologías por parte de AIDIMME, estos parámetros son genéricos y en ocasiones los resultados que aparecen en las fichas de los materiales son muy optimistas y no siempre se cumplen.

AIDIMME ha desarrollado un procedimiento de experimentación a repetir cada vez que se incluya un nuevo material con el fin de establecer un conjunto de parámetros de proceso robustos que permitan la uniformidad y la repetitividad del proceso. Estos son los criterios que se ha comprobado:

- Repetitividad en las propiedades mecánicas
- Uniformidad de las propiedades (densificación, propiedades mecánicas) en función del láser
- Uniformidad de las propiedades en función de la orientación de fabricación de las piezas
- Evaluación de las propiedades químicas del material tras las fabricaciones
- Evaluación de las limitaciones geométricas, identificación de la geometría autosoportada
- Evaluación de la capacidad de fabricar estructuras
- Influencia del tratamiento térmico en las propiedades mecánicas y en la desviación dimensional

Pasos en la experimentación:

Paso 1. Establecimiento de los **parámetros de proceso** y de las condiciones del tratamiento térmico.

Paso 2. Evaluación de la **geometría autosoportada** con los parámetros anteriores y establecimiento de una guía de diseño.

Paso 3. Evaluación de las **propiedades mecánicas** obtenidas.

Paso 4. Evaluación del comportamiento en la **zona afectada por los dos láseres**.

Paso 5. Evaluación **dimensional.**

"IMPULSO 2021" - Tecnologías de fabricación aditiva para la fabricación de productos y utillajes

Paso 6. Evaluación del **comportamiento al fabricar estructuras**

Para el desarrollo de esta experimentación se utiliza siempre **los mismos parámetros de proceso**, se establece el **espesor de capa recomendado, de 30 micras** y se realiza **el tratamiento térmico recomendado.**

Para ello se han fabricado varias bandejas donde se incluyen testigos, artefactos y probetas con el fin de evaluar todas las características anteriormente descritas. Estas fabricaciones se realizan fijando los parámetros de proceso tal y como se ha mencionado antes.

Es importante destacar que todas las bandejas de fabricación tienen como mínimo cilindros verticales y horizontales con los que se mecanizó probetas de tracción para comprobar el comportamiento del material a lo largo de varias fabricaciones.

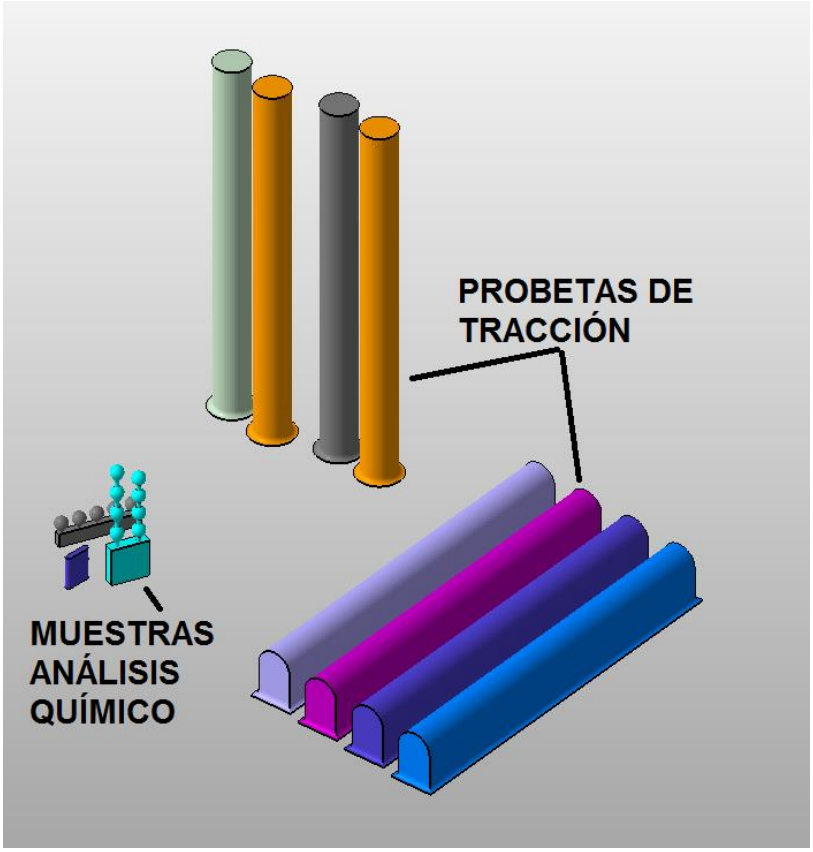


Ilustración 1. Elementos mínimos que se fabrican en las tres bandejas de fabricación

"IMPULSO 2021" - Tecnologías de fabricación aditiva para la fabricación de productos y utillajes

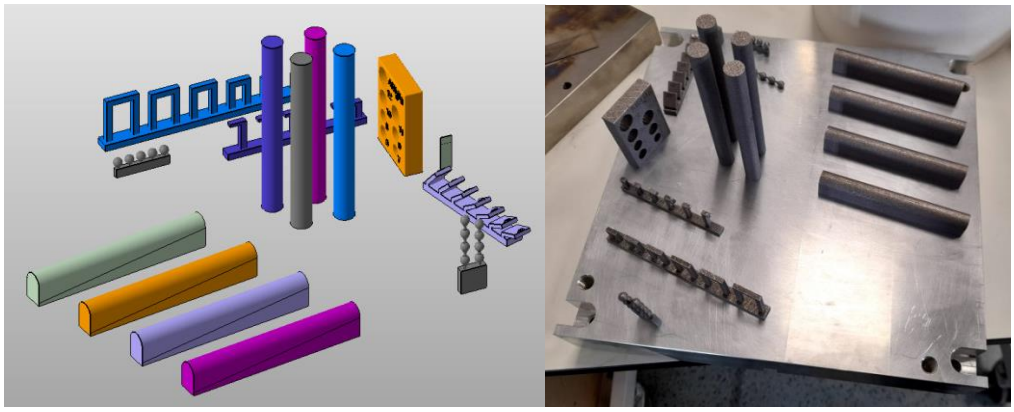


Ilustración 2. Diseño y fabricación de la bandeja 1 de AlSi10Mg

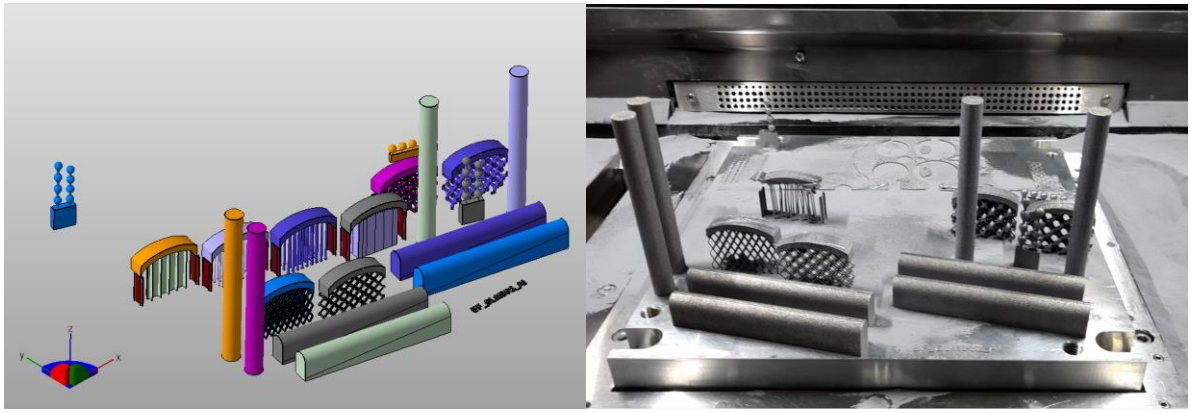


Ilustración 3. Diseño y fabricación de la bandeja 2 de AlSi10Mg

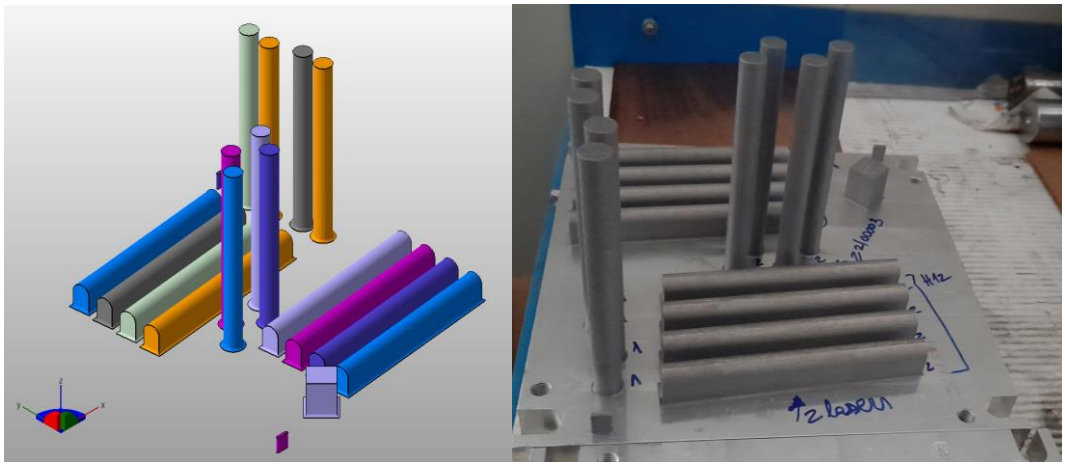


Ilustración 4. Diseño y fabricación de la bandeja 19 de AlSi10Mg

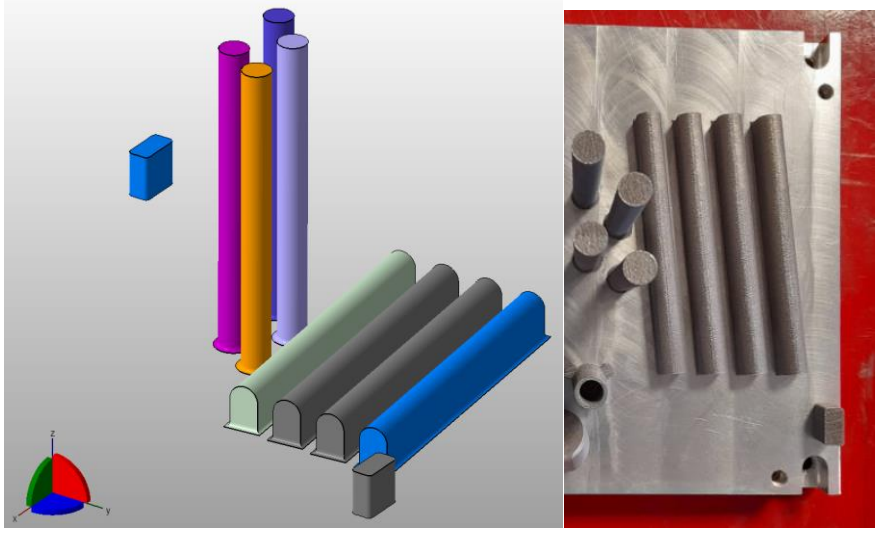


Ilustración 5. Diseño y fabricación de la bandeja 23 de AlSi10Mg

Tras la fabricación, la mayoría de ellas fueron tratadas térmicamente cuando estaban en la placa para el alivio de tensiones y algunas de ellas se dejaron sin tratar térmicamente para comprobar como le afecta dicho tratamiento.

Como referencia para conocer si las propiedades mecánicas obtenidas son las adecuadas se toma como referencia los datos de la norma *ASTM F3318-18. Standard for Additive Manufacturing – Finished Part Properties – Specification for AlSi10Mg with Powder Bed Fusion- Laser Beam*.

En esta norma se especifica la composición química que debe tener el material así como las propiedades mecánicas mínimas requeridas que dependen del tratamiento térmico que se realiza.

El tratamiento realizado a las probetas y recomendado por el proveedor de la tecnología es similar al SR1 establecido en la norma, por lo tanto se considerará los valores del tratamiento SR1 como los valores mínimos que deben cumplir las probetas analizadas. También se ha hecho un ensayo sin tratamiento térmico (NHT).

<u>PROPIEDADES QUÍMICAS</u>

Con respecto a los resultados de los análisis químicos, en la tabla siguiente se muestran los datos recopilados de las bandejas de fabricación de AlSi10Mg realizados:

	Elementos de aleación	% Si	% Mg	% Fe	% Cu	%Mn	%Ni	%Zn	%Ti	%Pb	%Sn
	ASTM F3318-18	9-11	0,2-0,45	≤ 0,55	≤ 0,05	≤ 0,45	≤ 0,05	≤ 0,1	≤ 0,15	≤ 0,05	≤ 0,05
BANDEJAS DE FABRICACIÓN	SLM001 Al	10,6	0,27	0,13	0,002	0,0016	0,0039	<0.001	0,005	0,0065	<0.001
	SLM002 Al	10,5	0,26	0,13	0,001	0,00175	0,0041	<0.001	0,005	0,0065	<0.001
	SLM004 Al	10,6	0,31	0,12	0,002	0,0015	0,0066	<0.001	0,005	0,0071	0,0013
	SLM005 Al	10,4	0,31	0,13	0,001	0,0016	0,0063	<0.001	0,005	0,0058	<0.001
	SLM006 Al	10,5	0,2	0,13	0,002	0,0017	0,0045	<0.001	0,005	0,0069	<0.001
	SLM007 Al	10,5	0,31	0,13	0,002	0,0015	0,0071	<0.001	0,004	0,0067	<0.001
	SLM009 Al	10,01	0,3	0,13	0,002	0,0017	0,0037	0,017	0,004	0,0051	<0,001
	SLM010 Al	10,2	0,32	0,12	0,002	0,0016	0,0039	<0,001	0,005	0,0055	<0,001
	SLM012 Al	10,8	0,2	0,13	0,002	0,0017	0,0055	<0,001	0,004	0,0053	<0,001
	SLM013 Al	10,7	0,22	0,13	0,001	0,0016	0,0051	<0,001	0,005	0,0049	<0,001
	SLM015 Al	10,7	0,31	0,13	0,002	0,0016	0,0098	0,012	0,005	0,0052	<0,001
	SLM016 Al	10,7	0,26	0,13	0,002	0,0015	0,0075	0,024	0,005	0,0051	<0,001
	SLM017 Al	10,6	0,3	0,13	0,002	0,0015	0,0036	0,004	0,004	0,0051	<0,001
	SLM018 Al	10,7	0,22	0,13	0,002	0,0015	0,0071	0,008	0,005	0,0052	<0,001

Ilustración 6. Composición química del material procesado de la aleación AlSi10Mg (ASTM F3318-18) a lo largo de numerosas fabricaciones

En la anterior imagen se muestra que tras 18 fabricaciones la composición química del material sigue estando dentro de los límites admitidos por la norma ASTM F3318-18 y por lo tanto la composición química del material es estable tanto en el proceso de fusión del polvo de material como en el proceso de manipulación del polvo que incluye desde el secado del polvo, introducción y extracción de la máquina y tamizado para su preparación para las siguientes fabricaciones.

PROPIEDADES MECÁNICAS

A continuación se muestran los resultados de los ensayos de tracción realizados, en la tabla se incluye información de la zona de la placa de fabricación donde estaban las probetas así como si se le ha realizado algún tratamiento térmico. Los ensayos de tracción se han realizado en la máquina - Dartec 9500 - MA030027000, siguiendo la norma UNE-EN ISO 6892-1 en el laboratorio de ensayos mecánicos de AIDIMME.

BANDEJA DE FABRICACION	FABRICACIÓN	LAYER THICKNESS (µm)	ORIENTATION	LASER	MATERIAL CONDITION	YIELD STRENGTH (Mpa)			TENSILE STRENGHT (Mpa)			ELONGATION (%)		
REFERENCE	**ASTM F3318-18**				**SR1**	**138**			**241**			**10**		
					NHT	**220**			**413**			**4**		
ALSI0001	1	30	XY	2	HT-SR1	250,3	±	3	381,3	±	5	6,125	±	0,5
ALSI0001	1	30	Z	2	HT-SR1	232,1	±	3	406,1	±	5	7,25	±	0,5
ALSI0002	2	30	XY	2	HT-SR1	236	±	3	378,5	±	5	11	±	0,5
ALSI0002	2	30	Z	2	HT-SR1	222,5	±	3	405,5	±	5	7	±	0,5
ALSI0002	2	30	XY	1	HT-SR1	242,5	±	3	380,5	±	5	11	±	0,5
ALSI0002	2	30	Z	1	HT-SR1	232	±	3	389	±	5	7	±	0,5
ALSI0019	3	30	XY	2	HT-SR1	217,7	±	3	334	±	5	10,88	±	0,5
ALSI0019	3	30	Z	2	HT-SR1	210,8	±	3	341,5	±	5	8,5	±	0,5
ALSI0019	3	30	XY	Ambos	HT-SR1	219,8	±	3	335,6	±	5	7,875	±	0,5
ALSI0019	3	30	Z	Ambos	HT-SR1	211,1	±	3	342,7	±	5	8,25	±	0,5
AlSI0023	4	30	XY	Ambos	NHT	282,7	±	3	446,7	±	5	14,5	±	0,5
AlSI0023	4	30	Z	Ambos	NHT	258,8	±	3	456,8	±	5	8,5	±	0,5

- Condition SR1. Parts shall be stress relieved or partially annealed in accordance with AMS2771 except that the temperature shall be 285ºC held for 120 min and cooled at a rate equal to air cooling or faster.
- NHT. No heat treated

Ilustración 7. Resultados de los ensayos de tracción de la aleación AlSi10Mg

Con los resultados anteriores es posible obtener numerosos resultados como una evaluación de la repetitividad en las propiedades mecánicas y uniformidad de las propiedades en función de la orientación de fabricación de las piezas:

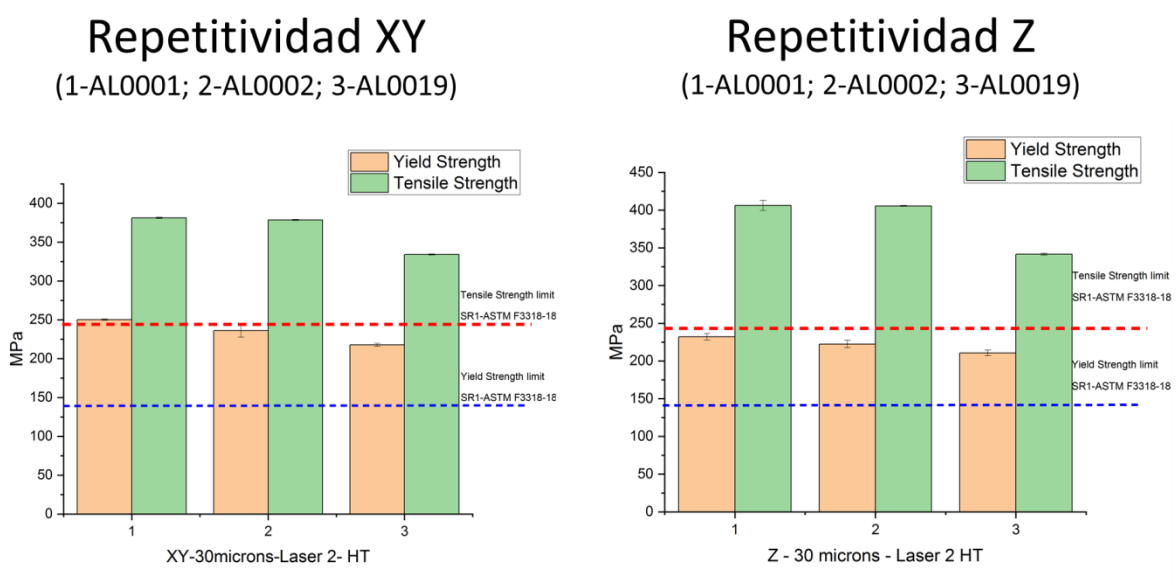


Ilustración 8. Repetitividad en las propiedades mecánicas en XY y Z. Procesadas con un espesor de capa de 30 micras y probetas en la zona del laser 2. A todas las probetas se les ha realizado un tratamiento térmico de alivio de tensiones.

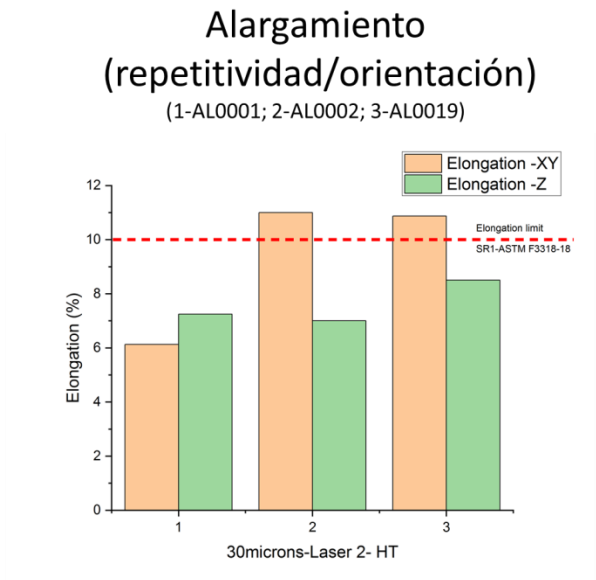


Ilustración 9. Repetitividad en el alargamiento en función de la orientación de fabricación. Procesadas con un espesor de capa de 30 micras y probetas en la zona del laser 2. A todas las probetas se les ha realizado un tratamiento térmico de alivio de tensiones (SR1)

Como se puede observar tanto en la resistencia dúctil (Yield Strength) como en la carga de rotura (Tensile Strenght) los valores son similares en las diferentes fabricaciones y siempre muy por encima del límite inferior que exige la norma y por lo tanto se puede concluir que el sistema es repetitivo.

Con respecto a la resistencia dúctil y a la carga de rotura se pueden observar que los valores también pueden considerarse uniformes independientemente de la orientación de fabricación. Sin embargo, si que se observa una diferencia cuando se evalúa el alargamiento. El alargamiento en las probetas en orientación Z es menor del límite establecido, aunque este comportamiento es repetitivo a lo largo de diferentes fabricaciones. En el caso de la orientación en XY habría que continuar haciendo ensayos ya que en varias de las fabricaciones sí que se cumple con el requisito de alargamiento establecido por la norma.

Evaluando las propiedades de las fabricaciones con y sin tratamiento térmico se observa que las que no han sido tratadas térmicamente mantienen un alargamiento adecuado más alto que las tratadas térmicamente además el límite de alargamiento establecido en la norma para muestras no tratadas es mucho menor.

En función de los requerimientos establecidos por el material será necesario establecer un tratamiento térmico adecuado.

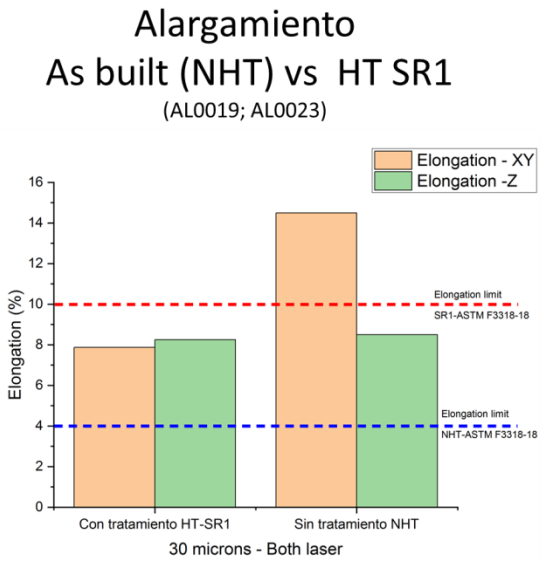


Ilustración 10. Diferencias entre el alargamiento en función si tiene tratamiento térmico vs no tratamiento térmico. Todas las muestras han sido procesadas en las mismas condiciones (espesor de capa de 30 micras y probetas en la zona donde actúan ambos láser)

Entre las muestras tratadas térmicamente y la no tratadas (As built) también se aprecia una diferencia importante en la carga de rotura y en la resistencia dúctil como se observa en la siguiente imagen, en ambos casos las tensiones están por encima de los límites mínimos establecidos por la norma.

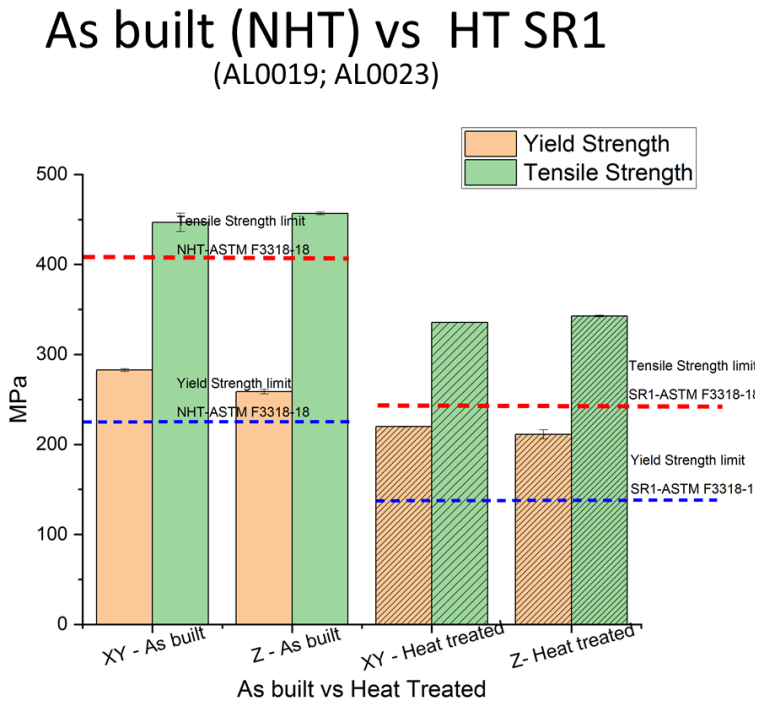


Ilustración 11. Diferencias en la carga de rotura y resistencia dúctil si la muestra tiene tratamiento térmico vs no tratamiento térmico. Todas las muestras han sido procesadas en las mismas condiciones (espesor de capa de 30 micras y probetas en la zona donde actúan ambos láser)

Además de los ensayos de tracción, se han realizado ensayos de dureza para conocer como le afecta el tratamiento térmico a la dureza del material. Como se observa en la siguiente tabla el tratamiento térmico reduce la dureza del material medida en Rockwell B.

MUESTRA	DUREZA MEDIA (HRB)	DESVIACIÓN TIPICA (Sc)	INCERTIDUMBRE DE LA MEDIDA
ALM0019- HT-SR1	51,26	1,74	1,50
ALM0023- NHT-As built	68,37	0,14	0,20

Ilustración 12.Dureza Rockwell B en función de la condición final (con y sin tratamiento)

Dado que esta tecnología de fabricación aditiva es nueva también se ha estudiado las diferencias existentes que se podrían dar por el hecho de que cada zona de la placa de fabricación se ve afectada por un determinado laser. Para ello se fabricaron unos pequeños cubos a los que se le hizo una microestructura y se evaluó la densificación de cada una de ellas, obteniendo valores similares pero no iguales, tal y como se observa en la siguiente imagen

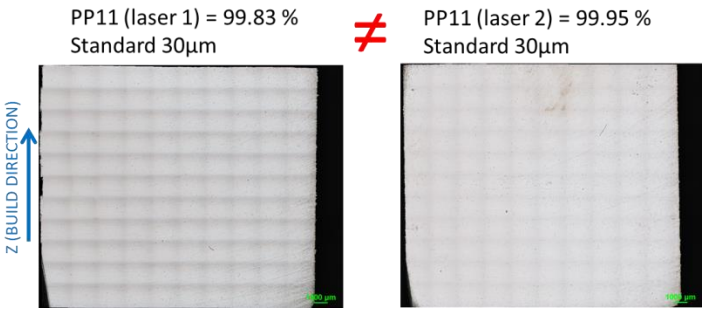


Ilustración 13. Diferencias en la densificación entre la fusión en función del láser

Para conocer exactamente si hay o no diferencias entre los láseres se realizó un ensayo de tracción. Mediante el ensayo de tracción se concluye que hay uniformidad entre los resultados de las diferentes zonas de la placa, por lo tanto es posible colocar piezas en cualquier localización de la placa.

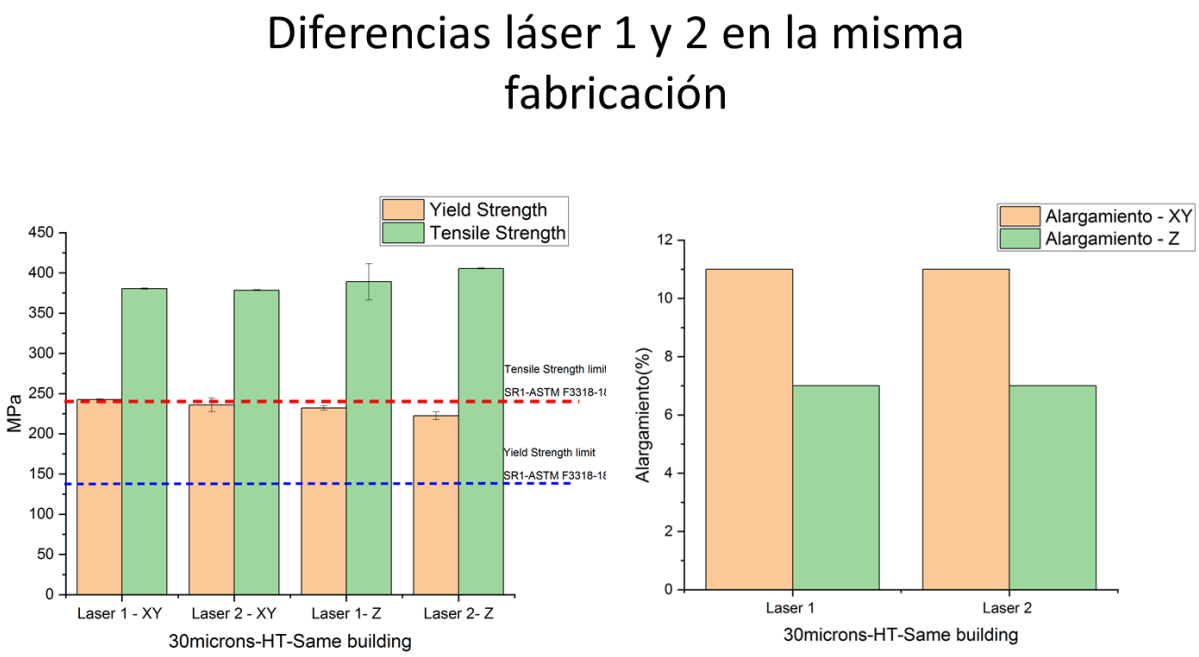
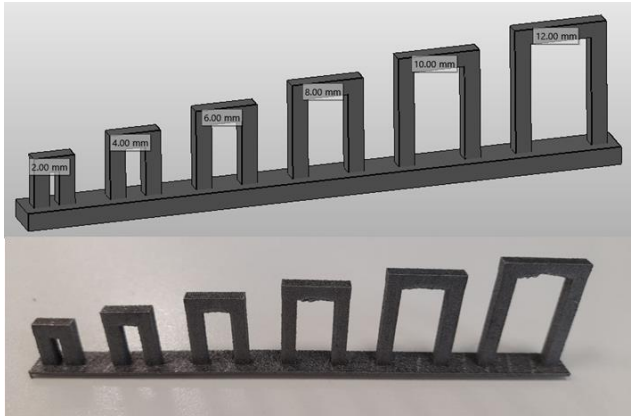


Ilustración 14. Diferencias entre las propiedades mecánicas en función de la localización de las piezas en una misma placa

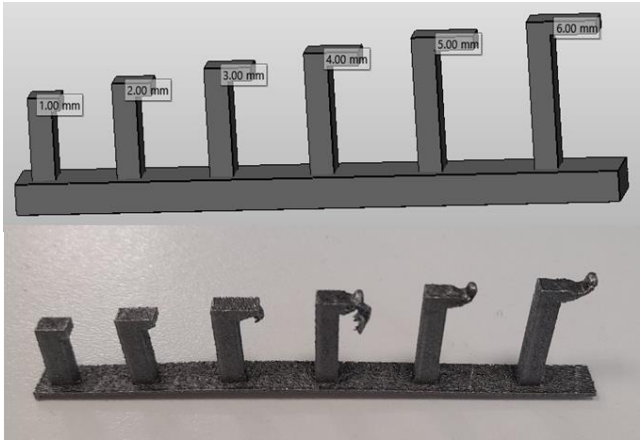
<u>REGLAS DE DISEÑO Y DESVIACIÓN DIMENSIONAL</u>

Con respecto a las reglas de diseño básicas para el procesado de la aleación AlSi10Mg se han fabricado y caracterizado unos artefactos para conocer los datos críticos necesarios para el diseño de los soportes de un producto con esta tecnología y con esta maquina. Cuanto menos soportes lleven las piezas, más competitiva será su fabricación.

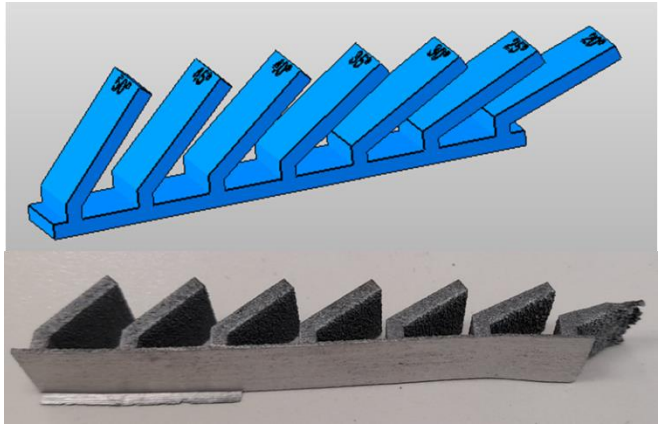
"IMPULSO 2021" - Tecnologías de fabricación aditiva para la fabricación de productos y utillajes



Puente (mm)	Análisis cualitativo
12	
10	
8	
6	
4	
2	



Voladizo (mm)	Análisis cualitativo
6	
5	
4	
3	
2	
1	



Planos inclinados (º)	Análisis cualitativo
20	
25	
30	
35	
40	
45	
50	

Ilustración 15. Reglas de diseño (puentes, voladizos y planos inclinados) para el material AlSi10Mg procesado con la Print Genius PG250

Con respecto a los agujeros se observa que los agujeros fabricados son menores del diámetro teórico. Los agujeros fabricados están como achatados. La medida XY de los agujeros tiene una desviación de 0.2 mm en cambio en eje Z (dirección de fabricación) la desviación es mayor de 0.30 mm llegando a valores mayores. Para evitar esas desviaciones sería necesario incluir soportes en los agujeros.

"IMPULSO 2021" - Tecnologías de fabricación aditiva para la fabricación de productos y utillajes

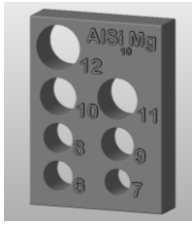
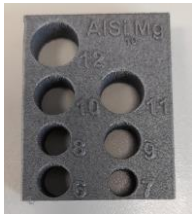
Agujeros	Diámetro teórico del agujero (mm)	Orientación de la medida (XY / Z)	Medias reales de los agujeros (mm)				
			Medida 1 (mm)	Medida 2 (mm)	Medida 3 (mm)	Valor medio ± error	Desviación Real (Real - Teórico)
 	7	XY	6,83	6,87	6,86	6,85 ± 0,02	-0,15
	7	Z	6,53	6,56	6,53	6,54 ± 0,02	-0,46
	8	XY	7,75	7,79	7,79	7,78 ± 0,02	-0,22
	8	Z	7,39	7,35	7,3	7,35 ± 0,05	-0,65
	9	XY	8,8	8,75	8,78	8,78 ± 0,03	-0,22
	9	Z	8,61	8,64	8,61	8,62 ± 0,02	-0,38
	10	XY	9,78	9,76	9,8	9,78 ± 0,02	-0,22
	10	Z	9,52	9,48	9,51	9,50 ± 0,02	-0,50
	11	XY	10,84	10,87	10,82	10,84 ± 0,03	-0,16
	11	Z	10,41	10,43	10,44	10,43 ± 0,02	-0,57
	12	XY	11,8	11,83	11,8	11,81 ± 0,02	-0,19
	12	Z	11,4	11,38	11,38	11,39 ± 0,01	-0,61

Ilustración 16. Reglas de diseño (agujeros fabricados en Z) para el material AlSi10Mg procesado con la Print Genius PG250

Además se ha valorado la influencia del tratamiento térmico en la desviación dimensional, para ello se han medido unas probetas en la placa de fabricación antes del tratamiento térmico y después para ver su influencia. Como se puede observar en la siguiente tabla el tratamiento térmico reduce la desviación dimensional en las muestras analizadas.

			ANTES DEL TRATAMIENTO TERMICO								TRAS EL TRATAMIENTO TERMICO							
		Nominal	Medida 1 (mm)	Medida 2 (mm)	Medida 3 (mm)	Medida 4 (mm)	Medida 5 (mm)	Promedio (mm)	Error (mm)	Desviación (Real - nominal) mm	Medida 1 (mm)	Medida 2 (mm)	Medida 3 (mm)	Medida 4 (mm)	Medida 5 (mm)	Promedio (mm)	Error (mm)	Desviación (Real - nominal) mm
Diámetro probeta de tracción (Z)	1	11	11,04	11,01	11,05	11,03	11	11,026	0,021	0,026	11,04	10,99	11,06	11,01	11,05	11,030	0,011	0,030
	2	11	11,02	11,02	11,05	11,05	11,02	11,032	0,016	0,032	11	11,03	11,03	10,96	10,97	10,998	0,033	-0,002
	3	11	11,03	11,03	11	11,01		11,018	0,015	0,018	11,02	11	11	11,07	11,07	11,032	0,036	0,032
	4	11	11,04	11,01	11,04	11,03	11,03	11,030	0,012	0,030	11	11,05	11,02	10,97	11,01	11,010	0,029	0,010
										0,026								**0,018**
Altura probeta de tracción (Z)	1	102	101,85	101,92	101,95			101,907	0,051	-0,093	102,03	102,01	102,01	102,03	102,03	102,022	0,011	0,022
	2	102	101,9	101,86	101,76			101,840	0,072	-0,160	102,02	102,05	102	102,02	101,97	102,012	0,029	0,012
	3	102	101,86	101,85	101,84			101,850	0,010	-0,150	101,99	102,01	101,97	101,97	101,95	101,978	0,023	-0,022
	4	102	101,79	101,78	101,74			101,770	0,026	-0,230	101,92	101,96	101,97	101,94	101,99	101,956	0,027	-0,044
										-0,158								**-0,008**
Artefacto agujeros (medida general)	Profundo	10	10,05	10,07	10,18	10,1	10,1	10,100	0,049	0,100	10,09	10,16	10,12	10,16	10,15	10,090	10,170	0,090
	Ancho	37	37,15	37,06	37,01	37,05	37,03	37,060	0,054	0,060	36,09	37,1	36,99	37,08	37,08	36,930	0,437	-0,070
										0,080								**0,010**

Ilustración 17. Desviación dimensional en función de la condición final del material (con o sin tratamiento térmico)

"IMPULSO 2021" - Tecnologías de fabricación aditiva para la fabricación de productos y utillajes

ESTRUCTURAS ESPACIALES

En una de las bandejas de fabricación se incluyó un conjunto de piezas con estructura y soportes. De todas las muestras salieron aquellas que se diseño una estructura espacial, otras fueron diseñadas con soportes abajo que no salieron por un problema con los parámetros de fabricación de los soportes. Lo importante de esta experiencia es que sí se fabricaron las estructuras con un gran detalle tal y como se observa en las siguientes imágenes.

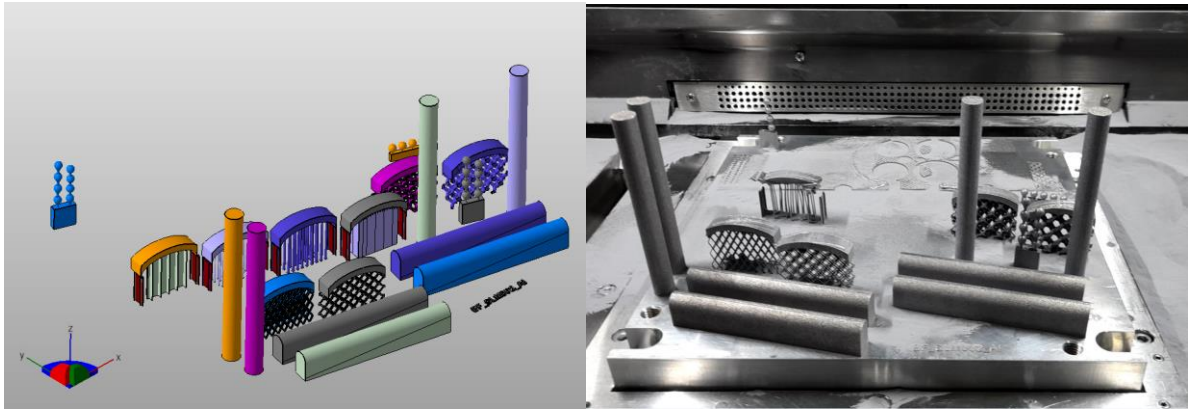


Ilustración 18. Diseño y fabricación de estructuras espaciales

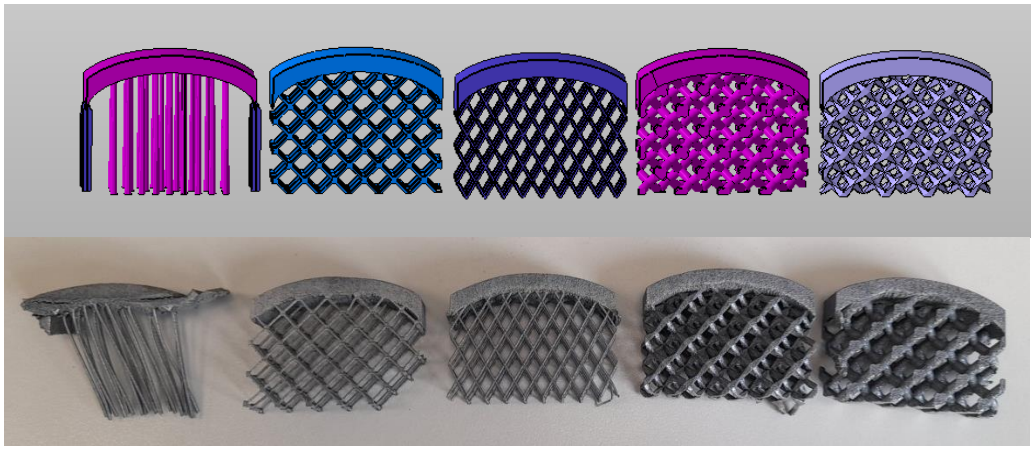


Ilustración 19. Fabricación de estructuras espaciales

De las estructuras fabricadas se puede concluir que las barras mas finas correctamente fabricadas tienen un valor teórico de 0.5 mm y en la realidad su valor está en torno a 0.52 mm. Deben de ser diseñadas para autosoportarse durante su fabricación para evitar su deformación y que se puedan fabricar correctamente.

Se obtienen las siguientes conclusiones.

- *Con respecto a las propiedades químicas del material se ha comprobado tras 18 fabricaciones la composición química del material sigue estando dentro de los límites admitidos por la norma ASTM F3318-18 y por lo tanto la composición química del material es estable tanto en el proceso de fusión del polvo de material como en el proceso de manipulación del mismo.*
- *Se ha comprobado en tres fabricaciones que se repiten las propiedades mecánicas, en concreto se observan valores similares en la resistencia dúctil como la carga de rotura y valores muy similares independientemente de la orientación de la fabricación.*
- *Con respecto al alargamiento, sin tratamiento térmico hay mayor alargamiento en XY respecto a Z y con tratamiento térmico se iguala el alargamiento entre XY y Z.*
- *Influencia del tratamientos térmicos. Evaluando las propiedades de las fabricaciones con y sin tratamiento térmico se observa que las que no han sido tratadas térmicamente mantienen un alargamiento adecuado más alto que las tratadas térmicamente además el límite de alargamiento establecido en la norma para muestras no tratadas es mucho menor. Entre las muestras tratadas térmicamente y las no tratadas (As built) también se aprecia una diferencia importante en la carga de rotura y en la resistencia dúctil, en ambos casos las tensiones están por encima de los límites mínimos establecidos por la norma.*
- *No existen diferencias relevantes entre el laser 1 y el laser 2 en una misma fabricación. Por lo tanto existe uniformidad en una misma fabricación independientemente de la posición de las piezas en la bandeja.*
- *Con respecto a las reglas de diseño y desviación dimensional, se han establecido los valores máximos sin soportes que es capaz de fabricar de un modo correcto siendo para puentes (biapoyados) valores de 4 mm y para voladizos de 1 mm.. En el caso de los ángulos hasta 30 grados es posible la fabricación de las muestras autosoportadas.*
- *Es capaz de fabricar estructuras espaciales finas con mucha definición.*

3.1.2. Materiales poliméricos

En esta etapa se mejora la capacitación en el área de la Fabricación Aditiva para materiales poliméricos, en concreto las actividades se han centrado en la mejora e impulso de la tecnología Multi Jet Fusion de HP, mediante el desarrollo de diferentes casos estudio y muestras para empresas.

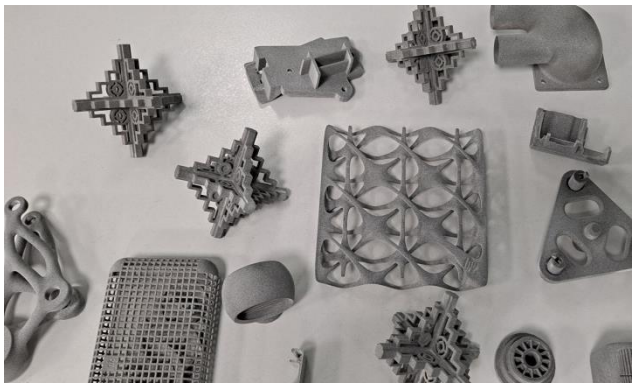


Ilustración 20. Mejora de la capacitación en el diseño de piezas poliméricas

Además de todas las actividades de mejora en el proceso de diseño para materiales poliméricos se ha detectado la necesidad de controlar las propiedades mecánicas de la tecnología de procesado por lecho de polvo polimérico, en concreto con la tecnología Multi Jet Fusion de HP. Mediante esta tecnología se obtienen piezas finales e incluso utillajes, por eso la importancia de realizar un control de las propiedades mecánicas que se obtienen. De este modo en todas las bandejas de fabricación se han incluido probetas de tracción; 5 unidades de la probeta vertical y 5 unidades en horizontal. Estas probetas se fabrican en todas las bandejas de fabricación siempre en la misma ubicación y se identifican perfectamente para que no hayan problemas a la hora de su caracterización.

Ilustración 21. Probetas de tracción para caracterización de poliamida 12 de MJF

Además de las probetas de tracción, se han fabricado diferentes artefactos para la evaluación de diferentes post procesos de acabado. Es clave la obtención de unas piezas finales de calidad con los acabados establecidos. Además estos artefactos tienen canales internos que dificultan la limpieza de las piezas. Se han fabricado tres tipos de piezas con diferentes particularidades.

Ilustración 22. Fabricación de las piezas artefacto tal y como salen de máquina

Es posible concluir que es necesario un mejora continua en estas tecnologías y acciones de difusión para que las empresas conozcan las ventajas que les ofrecen.

3.2 Identificación de una plataforma colaborativa en fabricación Aditiva

Los procesos de fabricación aditiva están introduciéndose poco a poco como un método de fabricación alternativo a los procesos de fabricación convencionales. No es un proceso de fabricación que vaya a sustituir a un convencional sino que es una alternativa económicamente viable para un tipo determinado de piezas o productos. La fabricación aditiva en metales y polímeros tiene sentido para productos finales únicos o para series cortas. Para su inclusión en el mercado industrial es necesario disponer de software de gestión que esté especializado en este tipo de procesos

productivos. La gran diferencia con respecto a procesos de producción convencionales es que se dispone de una gran variedad de referencias de piezas y una o pocas copias de dichas referencias por lo tanto la automatización, gestión de la producción y la documentación se complica puesto que cada referencia tiene sus propios pasos de cadena de valor que contemplan la preparación de los ficheros, la propia fabricación y los procesos de acabado así como empaquetado y envío.

Existen desde hace pocos años softwares de gestión que se adaptan a la realidad de estos procesos de fabricación. De manera que se gestiona todo el flujo de trabajo y la documentación asignada a cada operación por la que debe pasar la pieza. Incluso, a priori se puede comunicar con el ERP genérico de la empresa para que todos los datos estén integrados.

Se ha identificado diferentes softwares específicos y se han realizado reuniones telemáticas para conocer el alcance de alguna de ellas y otras se han identificado visitando la feria ADDIT3D y FormNext.

- AMFG software AMFG ofrece una solución de automatización de flujo de trabajo completa e integral para sus operaciones de AM. Desde la gestión de las solicitudes hasta el control total de la planificación de la producción y completa trazabilidad de todo el proceso. https://amfg.ai/

  El flujo de trabajo a través de esta plataforma se basa en TICKETS que son órdenes de trabajo. En cada uno de los pasos hay ciertos permisos que se deben ir validando para continuar con el paso siguiente, quedándose registrado todos los pasos y actuaciones realizadas con respecto a un ticket. Además dispone de un interface donde es posible subir ficheros y hacer cotizaciones automáticas.

  Además es posible establecer una comunicación entre el sistema de gestión de una empresa con esta plataforma para que toda la información este integrada.

- 3YOURMIND. Fabricación automatizada y con capacidad de respuesta. Proporciona las bases para un proceso integral sin interrupciones y para mantener el mayor nivel de eficiencia posible. https://www.3yourmind.com/

  Este software dispone de varios módulos, los específicos para fabricación aditiva serian el Agile ERP y Agile MES.

  El modulo Agile ERP es disponer de una zona donde automáticamente se sube un fichero y seleccionando el material y la tecnología te indica un precio y un tiempo para la fabricación de esta pieza para ello hay que configurar el sistema con la formulas pertinentes. Cuando se acepta este trabajo se genera una ORDEN y entonces aparece una línea en el Modulo de Agile MES. También es posible crear una nueva ORDEN directamente en el Agile MES.

  En el software, en el modulo Agile MES, aparecen todos los pasos de una determinada orden y el estado de cada una de ellas. Además para cada orden es posible obtener una hoja resumen para conocer el estado en cada instante de este modo todas las personas que intervienen. Como es posible vincular algunas de las máquinas es posible conocer el estado real de las fabricaciones y conocer en que estado esta cada una de las piezas. Es posible vincular este software con el ERP

de AIDIMME así como te abre desde su propio entorno el software que se usa para la preparación de las fabricaciones.

- DNAam. Este sistema gestiona la planificación de fabricación AM y proporciona una trazabilidad completa del polvo, con división de lotes, control de la mezcla y gestión de la recuperación del polvo. https://dna.am/

  Se visitó el stand en la feria de FormNext donde se habló con detalle de la potencia del software y las principales ventajas que ofrece:

  - Gestión de los ficheros de fabricación
  - Análisis químico
  - Separación del lote de polvo y mezclado
  - Gestión de almacenes
  - Documentación de posibles inclusiones y contaminantes
  - Control de calidad
  - Trazabilidad del polvo
  - Gestión de las herramientas y equipamiento
  - Estado del polvo
  - Gestión de stock de polvo y evaluación de la tolerancia del polvo

Ilustración 23. Visita al stand de DNAam en la feria FormNext 2021

Inicialmente parece un software muy enfocado a la gestión de procesos de fabricación aditiva de lecho de polvo metálico. Aunque ya anuncian la incorporación de otras tecnologías aditivas incluso de fabricación aditiva de resinas. Una de las grandes ventajas con respecto a otros softwares es la trazabilidad del polvo de partida de una determinada fabricación aunque también es posible la gestión de todo el proceso desde la propia cotización hasta el envío de la pieza final.

- Entornos colaborativos genéricos: Existen en el mercado soluciones genéricas que requerirían una adaptación e integración a medida, no disponen de solución especifica.

Del estudio de diferentes plataformas colaborativas es posible concluir que existen en el mercado herramientas pero requiere de un desarrollo extra para integrarse en el ERP de cada empresa,

3.3 Potenciar la participación del centro y de las empresas en proyectos europeos e internacionales

Preparación de varias propuestas de Proyectos Europeos y un proyecto Misiones relacionados con las tecnologías de fabricación aditiva metálica entre las que destacan:

- SKYROCC. Solution-kit pathway for high yield resilient emotor making use of additively manufactured carbon fiber and copper
- BLUEFLEX. Flexible and sustainable robotized laser based cell with blue laser technology
- TECMADIVA. Tecnologías de aporte de material digitalizadas para la fabricación y reparación automatizada de piezas de alto valor añadido.
- OSCAR. Optical SCAn-and-Repair solution for machine tools.
- TITAN. Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser.

3.4 Identificación y análisis de líneas de I+D del centro, mediante el análisis de información y la participación en diferentes comités, plataformas y grupos de trabajo.

- Participación en PTEC . Plataforma Tecnológica Española de la Construcción
- Ecosistema MELTIO
- Participación en la feria ADDIT3D
- Jornadas de diferentes sectores:
    - ADDITIV 2021
    - Metal Madrid_Digital Tech Congress sobre Automoción
    - Junto A CIEMAT y CEIT, entrada en Eurofusión
    - Asistencia a congreso ESA Harmonisation roadmap 2021
    - EUROPM 2021
    - Seminario Técnico "Revoluciona la Automoción con HP 3D Printing"
    - Smart mobility Valencia

"IMPULSO 2021" - Tecnologías de fabricación aditiva para la fabricación de productos y utillajes

- …

A continuación se muestran imágenes de alguno de estos eventos

Ilustración 24. Participación en la feria ADDIT 3D

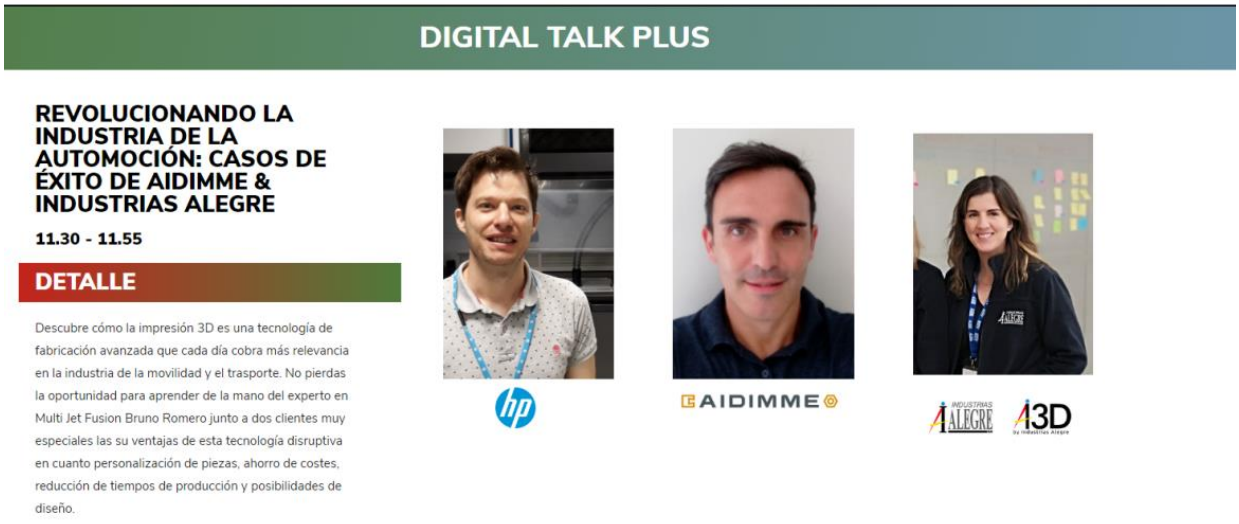


Ilustración 25. Participación en Digital Tech Congress, eMotion Trends – Automotive Engineering

"IMPULSO 2021" - Tecnologías de fabricación aditiva para la fabricación de productos y utillajes

Ilustración 26. Participación en ADDITIV MOVILIDAD. El encuentro virtual de la industria 3D en la movilidad

Ilustración 27. Participación en Smart Mobility Valencia

4 Impacto en empresas.

A continuación se resumen los resultados y su impacto en las empresas:

- El AlSi10Mg en fabricación aditiva se ha demostrado confiable cumpliendo normas del material ASTM F3318-18.
- Respecto a la MJF en plástico: Como mejora continúa, se ha difundido en empresas mediante muestras, en AIDIMME con visitas, en ferias y conferencias.
- Respecto a plataformas colaborativas/gestión de la producción en fabricación aditiva es algo inminente y necesario, requiere desarrollo a medida para cada empresa.
- Participación en Múltiples foros para potenciar la actividad de AIDIMME y las empresas en proyectos de I+D incluso en nuevos mercados.

    - Meltio Tecnología híbrida: Piezas grandes y más económicas

Ilustración 28. Meltio Tecnología híbrida

    - Bemore3D: Proyectos para construcción y habitat.

Ilustración 29. Tecnología Bemore3D

5 Acciones de difusión y transferencia.

Entre las acciones de difusión destaca la presencia en el web de AIDIMME de la ficha del proyecto donde está toda la información del mismo.

https://www.aidimme.es/serviciosOnline/difusion_proyectos/detalles.asp?id=30707

Noticias publicadas en Actualidad Aidimme:

https://actualidad.aidimme.es/2021/06/14/especial-difusion-de-proyectos-2021/

https://actualidad.aidimme.es/2021/11/16/especial-difusion-de-proyectos-2021-2/

https://actualidad.aidimme.es/2021/11/10/impulso-productos-utillajes/

https://actualidad.aidimme.es/2021/11/30/aidimme-promueve-mas-de-un-centenar-de-proyectos-anuales-para-impulsar-la-innovacion-estrategica-en-las-empresas/

https://actualidad.aidimme.es/2021/12/17/aidimme-resultados-de-investigacion-2021/

https://actualidad.aidimme.es/2022/01/10/finalizan-los-proyectos-de-id-actividad-no-economica-de-la-anualidad-2021-apoyados-por-ivace/

https://actualidad.aidimme.es/2022/02/01/fin-del-proyecto-impulso-2021/

Ilustración 30. Imagen de una de las noticias publicadas