

2021 ENTREGABLE



Proyectos

“TITAN”

DESARROLLO DE UN PROCESO DE ALTA PRODUCTIVIDAD PARA
TITANIO CON TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN ADITIVA
MULTILÁSER

Entregable: Informe de resultados del proyecto

Número de proyecto: 22100053

Expediente: IMDEEA/2021/8

Duración: Del 01/06/2021 al 30/06/2022

Coordinado en AIDIMME por: JORDA FERRANDO ,OLGA

Línea de I+D: FABRICACIÓN ADITIVA



GENERALITAT
VALENCIANA

IVACE
INSTITUTO VALENCIANO DE
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



Cofinanciado por
la Unión Europea

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

ÍNDICE

1	<i>Introducción, objetivos del proyecto.</i>	3
2	<i>Resultados obtenidos</i>	4
3	<i>Actividades realizadas, desarrollo del proyecto.</i>	4
4	<i>Conclusiones</i>	39



**GENERALITAT
VALENCIANA**

iVACE
INSTITUTO VALENCIANO DE
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



**Cofinanciado por
la Unión Europea**

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

1 Introducción, objetivos del proyecto.

La fabricación aditiva aporta grandes ventajas como proceso de fabricación entre los que destacan la posibilidad de fabricación de geometrías muy complejas, producción sin necesidad de inversión en utillajes, los plazos de entrega cortos, incluso el bajo nivel de residuos que se generan, muy inferiores a procesos como el mecanizado.

Actualmente y tal y como es mostrado en las últimas ferias del sector, foros de fabricación aditiva e incluso en los cursos de formación ofertados por AIDIMME, el rediseño para fabricación aditiva es uno de los factores clave para conseguir que estas tecnologías entren de lleno en las empresas en los próximos años ya que es posible reducir volumen de material mejorar el comportamiento de las piezas.

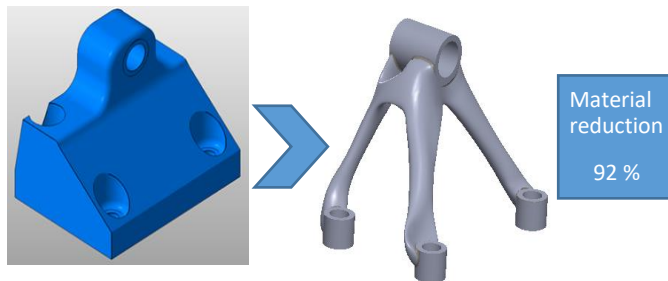


Ilustración 1. Ejemplo de rediseño de un soporte para ser fabricado con FA (Proyecto SKIN - 2018)

En este proyecto se va a un paso más allá y además de utilizar geometrías optimizadas y adaptadas a los procesos aditivos se han analizado un conjunto de estrategias con las tecnologías aditivas multiláser que permiten el aumento de la productividad con el fin de reducir el coste de las piezas de titanio. Para ello en el proyecto TITAN se han identificado y evaluado estrategias que permitan el aumento de la productividad mediante la evaluación de las características del polvo de partida, así como de los parámetros de proceso.

El objetivo general del proyecto TITAN es la obtención de una estrategia de fabricación de alta productividad para la obtención de piezas de titanio competitivas mediante tecnologías aditivas multiláser. Para la consecución del objetivo principal del proyecto, es necesario alcanzar los siguientes objetivos específicos:

1. Identificación y evaluación de estrategias que permitan la obtención de piezas de titanio de un modo más productivo y por lo tanto más competitivo a nivel experimental.
2. Caracterización superficial y mecánica del titanio obtenido con las nuevas estrategias.
3. Evaluación de la mejora del procesado del titanio de alta productividad con respecto al titanio estándar a nivel experimental.
4. Análisis de la mejora de la productividad de la nueva estrategia de fabricación en piezas reales.

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

2 Resultados obtenidos

- Identificación y evaluación de dos estrategias que permiten la obtención de piezas de titanio de un modo más productivo. Seleccionando la estrategia de aumento de espesor de capa.
- Caracterización mecánica del titanio obtenido con la nueva estrategia de parámetros de proceso cumpliendo con las propiedades establecidas en la norma de referencia del titanio (ASTM F3001).
- Comparación del titanio con los parámetros estándar y los nuevos parámetros desarrollados cumpliendo en ambos casos con las especificaciones de la norma de referencia (ASTM F3001).
- Fabricación de 4 casos demo con ambas condiciones de parámetros de proceso (estándar y más productivas) y se ha comprobado su densificación y su desviación dimensional.
- Se ha analizado la mejora de la productividad cuando se utilizan los nuevos parámetros de proceso obteniendo valores entre un 32.5% en el caso más desfavorable y un 76% en el caso más favorable, dependiendo este valor de las dimensiones y la forma de las piezas a fabricar.

3 Actividades realizadas, desarrollo del proyecto.

El proyecto consta de 5 paquetes de trabajo, un paquete de trabajo de gestión y coordinación, otro de difusión, otro de transferencia y dos paquetes de trabajo técnico. A continuación, se muestra un esquema del plan de trabajo.

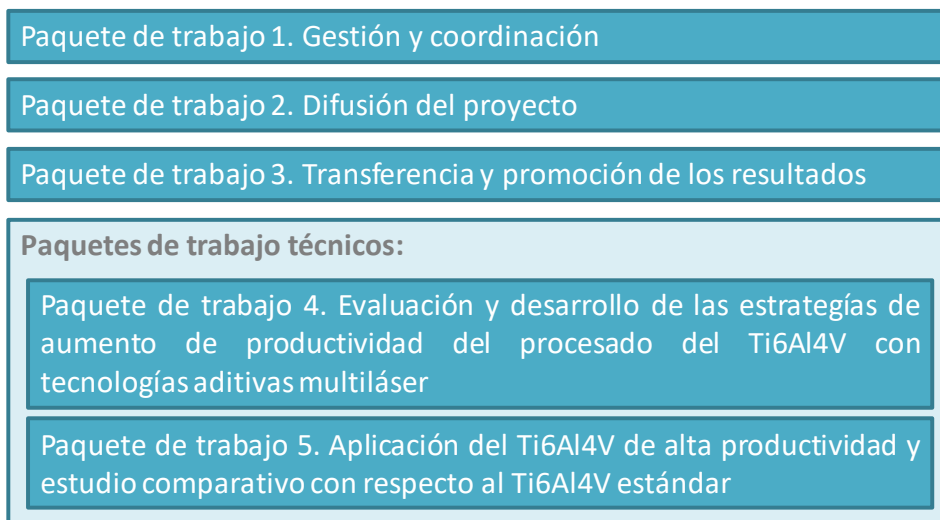


Ilustración 2. Plan de trabajo del proyecto TITAN

A continuación, se muestran las actividades realizadas en los paquetes de trabajo del proyecto.

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

PAQUETE DE TRABAJO 1. GESTION Y COORDINACION

En este paquete de trabajo se han realizado todas las actividades relacionadas con la gestión y la coordinación del proyecto. Los objetivos de este paquete de trabajo son:

1. Enfocar de forma global la dirección y objetivos del proyecto.
2. Coordinar y gestionar, de forma integrada, las actividades del proyecto.
3. Asegurar un adecuado nivel de cooperación, comunicación, difusión de conocimientos y consenso entre los miembros del proyecto, velando por el cumplimiento de los diferentes hitos, coordinando en el tiempo las actuaciones de cada uno de los participantes y resolviendo posibles solapes entre paquetes de trabajo y/o participantes.
4. Organizar y participar en las reuniones del proyecto, tanto en las realizadas con los distintos técnicos participantes en el proyecto, como las realizadas con las empresas que colaboran en el proyecto.
5. Revisar y controlar la calidad del trabajo realizado en el proyecto, concentrándose en los entregables procedentes de cada paquete de trabajo, para conformar una documentación de proyecto única y coherente.
6. Proporcionar los procedimientos y medios adecuados para acelerar la explotación de los resultados del proyecto y la difusión de los mismos protegiendo, la propiedad intelectual de modo adecuado.

PAQUETE DE TRABAJO 2. DIFUSIÓN DEL PROYECTO

El objetivo de este paquete de trabajo es dar a conocer los resultados del proyecto y los nuevos procesos de él derivados. Principalmente el público objetivo han sido los potenciales usuarios de la tecnología, así como los principales actores del sector, incluyendo tecnólogos e investigadores. Se incluye también a la opinión pública y a la sociedad en general entre el público objetivo. A continuación se presenta una muestra de la difusión realizada.

The image shows a screenshot of the project website. The top navigation bar includes 'AIDIMME', 'F+D', 'CARACTERÍSTICAS', 'LABORATORIO', 'FINANCIACIÓN', 'SECTORES', 'OPINIÓN PÚBLICA', 'ASOCIADOS', and 'CONTACTO'. The main content area features a header for 'TITAN' and a section titled 'Evalué nuestro proyecto' with a star rating. Below this, there are sections for 'MENCIONES PUBLICADAS' and 'DESCRIPCIÓN'. The 'DESCRIPCIÓN' section contains a detailed technical description of the project. At the bottom, there is a table with three columns: 'EMPRESAS PRINCIPALES', 'EMPRESAS EN SUIÓN PROYECTOS P+D', and 'EMPRESAS TRANSFERENCIA CONOCIMIENTO'. To the right of the screenshot, there is a long list of CNC codes and their corresponding descriptions, such as 'CNC# 3072 - Fabricación de cerradores y herrajes', 'CNC# 3068 - Fabricación de alambres y tornillos de titanio', etc.

Ilustración 3. Ficha técnica



**GENERALITAT
VALENCIANA**

IVACE
INSTITUTO VALENCIANO DE
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



**Cofinanciado por
la Unión Europea**

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser



Ilustración 4. Estand de AIDIMME en Addit3D

PAQUETE DE TRABAJO 3. TRANSFERENCIA Y PROMOCIÓN DE LOS RESULTADOS

El objetivo de este paquete de trabajo es la evaluación de la mejora alcanzada con los resultados obtenidos, considerando factores técnicos, temporales y económicos con respecto a la situación inicial antes de ejecutar el proyecto. En este paquete de trabajo se han realizado las siguientes actividades:

TAREA 3.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS RESULTADOS ALCANZADOS

Se ha recopilado y analizado los resultados técnicos obtenidos en el proyecto, que han sido los siguientes.

- Se han Identificado y evaluado dos estrategias que permiten la obtención de piezas de titanio de un modo más productivo y por lo tanto más competitivo a nivel experimental. Seleccionando la estrategia de aumento de espesor de capa.
- Se ha caracterizado mecánicamente el titanio obtenido con la nueva estrategia de parámetros de proceso cumpliendo tanto en tensión como en deformación con las especificaciones de la norma.
- Se ha comparado el titanio con los parámetros estándar y los nuevos parámetros desarrollados cumpliendo en ambos casos con las especificaciones de la norma de referencia.
- Se han fabricado 4 casos demo con ambas condiciones de parámetros de proceso y se ha comprobado su densificación y su desviación dimensional.

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

- Se ha analizado la mejora de la productividad cuando se utilizan los nuevos parámetros de proceso obteniendo valores entre un 32.5% en el caso más desfavorable y un 76% en el caso más favorable, dependiendo este valor de las dimensiones y la forma de las piezas a fabricar.

TAREA 3.2. TRANSFERENCIA Y PROMOCIÓN DE LOS RESULTADOS

Se ha definido una hoja de ruta donde se establece la estrategia para la transferencia y promoción de los resultados que se ha considerado más adecuada tras la ejecución del proyecto y se ha realizado un análisis DAFO del mercado potencial.

TAREA 3.3. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL PROYECTO

Para la evaluación del impacto del proyecto, se ha llevado a cabo reuniones periódicas con las empresas colaboradoras con objeto de poder medir el grado de implantación de los resultados que se han ido obteniendo, así como se ha difundido información del proyecto a través de diferentes medios.

Además, las empresas han participado aportando casos propios a través de los que se comprueba los beneficios de los resultados del proyecto.

El análisis de toda la información ha servido para refinar el plan de promoción y transferencia de resultados con objeto de ampliar el impacto al resto de potenciales usuarios identificados.

PAQUETE DE TRABAJO 4. EVALUACIÓN, DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN PARA PROCESADO DE Ti6Al4V DE ALTA PRODUCTIVIDAD.

Los objetivos del paquete de trabajo 4 son los siguientes:

- Identificar estrategias de aumento de productividad
- Desarrollo de experimentos
- Caracterización parámetros estándar vs parámetros alta productividad
- Estudio comparativo del procesado alta productividad vs estándar con probetas y artefactos (densificación, rugosidad, productividad, deformaciones, mecánicas...)

Para el desarrollo de las tareas incluidas en este paquete de trabajo ha sido necesario poner en marcha la celda multiláser para el procesado de titanio puesto que nunca se había procesado este material en ninguna de las máquinas que forman la celda Multiláser.

Para la puesta a punto de las máquinas se han realizado las siguientes actividades.

- Desarrollo de un procedimiento de limpieza y de cambio de material para garantizar el correcto procesado del material.
- Evaluación del contenido de oxígeno del material para conocer las posibilidades de reutilización de material.
- Fabricación de probetas y artefactos con los parámetros estándar en ambas máquinas.
- Evaluación del tratamiento térmico más adecuado para el alivio de tensiones del titanio obtenido con estas tecnologías.



**GENERALITAT
VALENCIANA**

IVACE
INSTITUTO VALENCIANO DE
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



**Cofinanciado por
la Unión Europea**

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

TAREA 4.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS PARA EL AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DEL TI6AL4V

Tal y como se ha mencionado anteriormente antes de iniciar los experimentales para el desarrollo de los nuevos parámetros de proceso, ha sido necesario realizar una puesta a punto de las máquinas que forman la celda multiláser.

El desarrollo del proyecto se ha realizado mediante el uso de las máquinas de lecho de polvo por láser que conforman la celda multiláser disponible en AIDIMME. Esta celda multiláser se compone de dos máquinas diferentes la máquina PG150 y la máquina PG250, ambas del proveedor Prima Additive. Estas máquinas no han sido utilizadas previamente para el procesamiento de titanio por lo tanto se ha de evaluar la idoneidad de esta máquina para el procesamiento de este material estableciendo unos procedimientos de actuación.

Para el desarrollo de un procedimiento de puesta a punto de las máquinas es necesario conocer las condiciones o requisitos del material que se deben cumplir y a partir de ahí todo procedimiento o evaluación que se realice del material debe cumplir estos requisitos. La norma de referencia es la ASTM F3001-14 (Reapproved 2021) Standard Specification for Additive Manufacturing Titanium-6 Aluminum-4 Vanadium ELI (Extra Low Interstitial) with Powder Bed Fusion.

El proceso de fusión mediante láser de lecho de polvo se realiza con la cámara de construcción inertizada con gas argón y a una temperatura ambiental. Se calienta un poco la plataforma de fabricación alcanzando menos de 100 grados. Esto provoca un gran salto térmico puesto que el polvo está frío y la fusión del mismo se realiza a temperaturas superiores a 1500°C. Este salto térmico provoca tensiones internas en las piezas que se fabrican y obliga a realizar un proceso de alivio de tensiones para evitar futuras deformaciones. Además, se conoce que si además del alivio de tensiones se le aplica un proceso térmico adicional mejoran las prestaciones mecánicas del material sobretodo mejora el alargamiento y la estricción del material. Se ha realizado un estudio de normativa y bibliografía para conocer los posibles tratamientos térmicos para mejorar las prestaciones del material resultante.

Además, se ha realizado una revisión bibliográfica para conocer las posibilidades de reutilización del polvo de partida. Por experiencias previas se conoce que el material en polvo tiende a captar oxígeno cuando es procesado con estas tecnologías aditivas por las condiciones de la cámara de fabricación de la máquina y la temperatura a la que se somete el polvo durante el proceso de fusión. Este hecho puede provocar que se limite la cantidad de veces que se puede reutilizar un polvo lo que afecta económicamente al proceso.

Fabricaciones con la celda multiláser: Máquina PG250

Antes del desarrollo de este proyecto no se había procesado titanio en la máquina PG250 por lo tanto para la validación de esta máquina se ha realizado teniendo en cuenta los parámetros estándar con

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

capas de 30 micras suministrados por el proveedor de la tecnología.

La primera actividad fue el desarrollo de un procedimiento de limpieza que garantizara la calidad de las piezas obtenidas. Las tecnologías de fabricación aditiva pueden procesar numerosos materiales, pero es crítico garantizar que cuando se cambia de material no aparecen trazas del material procesado previamente para ello se ha establecido un método de limpieza exhaustivo de todas aquellas zonas de la máquina sobre las que se deposita material en polvo.

1. Limpiar con papel y con palillos de algodón impregnadas de alcohol todas las partes de la cámara de construcción con especial cuidado las ranuras.



Ilustración 5. Procedimiento de limpieza

2. La zona más crítica de la zona de construcción son los huecos donde está el cilindro que provee de polvo a la fabricación y el cilindro sobre el que se monta la placa de fabricación. Estos cilindros se encuentran en una camisa estanca lo que no permite el acceso a esa zona y no se aconseja su desmontaje. Por lo tanto, el procedimiento de limpieza implica ir bajando poco a poco el cilindro e ir limpiándolo. Una vez llega a la parte final subirlo y vuelve a salir el polvo que queda atrapado, bajar nuevamente el cilindro poco a poco y proceder como antes. Este proceso de limpieza de los cilindros tendrá que repetirse hasta que el papel salga limpio, en torno a 20 veces.



Ilustración 6. Cámara de construcción de la máquina

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser



Ilustración 7. Detalle del polvo que queda en la camisa del cilindro

3. Limpieza de las válvulas y conductos para eliminar polvo de otra naturaleza.
4. Identificación de todos los materiales procesados en cada una de las máquinas antes de introducir titanio, para identificar las posibles impurezas a detectar.
5. Análisis químico del material procesado con especial atención a las posibles impurezas detectadas.

Para validar que el procedimiento de limpieza es correcto se analizó la composición química del material después de ser procesado por las tecnologías y se compara con el límite establecido en la norma ASTM F3001, donde se permite que además de los elementos propios de la aleación, haya otros elementos, cada uno de estos elementos debe estar presente como máximo en 0.1 de porcentaje de peso y la suma de todos estos otros elementos debe ser como máximo 0.4 de porcentaje de peso.

TABLE 1 Composition

Element	min	max
Aluminum	5.50	6.50
Vanadium	3.50	4.50
Iron	...	0.25
Oxygen	...	0.13
Carbon	...	0.08
Nitrogen	...	0.05
Hydrogen	...	0.012
Yttrium	...	0.005
Other elements, each	...	0.10
Other elements, total	...	0.40
Titanium	remainder	

Ilustración 8. Detalle de impurezas permitidas en el norma de referencia ASTM F3001

Antes de incluir el titanio en la máquina se procesó una aleación de Níquel y una aleación de Aluminio. Las posibles impurezas identificadas han sido Cu, Mg, Mn ,Ni ,Zn ,Pb, Sn, Si. Se han obtenido los siguientes valores.

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

Tipo muestra	REFERENCIA FABRICACION	ASTM F3001 Otros elementos Max 0,1								Total Max 0,40
		Si (%)	Ni (%)	Mn (%)	Pb(%)	Sn(%)	Mg(%)	Zn(%)	Cu(%)	Sumatorio otros elementos
Polvo	PG250-001	0,0067	0,003	0	0,006	0,001	0,0086	0,002	0,003	0,0312
		0,0075	0,003	0	0,107	0,0079	0,0086	0,002	0,003	0,1389
		0,007	0,003	0,000	0,056	0,004	0,009	0,002	0,003	0,08505
Sólido	PG250-001	0,012	0,003	0,006		0,016				0,0365
Polvo	PG250-002	0,0073	0,004	0	0,007	0,0005	0,0093	0,004	0,003	0,0343
		0,0083	0,004	0	0,005	0,0023	0,0058	0,002	3E-04	0,0276
		0,008	0,004	0,000	0,006	0,001	0,008	0,003	0,002	0,03095
Sólido	PG250-002	0,010	0,009	0,006		0,021		0,008		0,0535
Polvo	PG250-003	0,0064	0,004	0,000	0,006	0,0024	0,0056	0,002	0,003	0,0285
		0,008	0,004	0,000	0,005	0,0017	0,0101	0,003	0,003	0,0344
		0,007	0,004	0,000	0,005	0,002	0,008	0,002	0,003	0,03145
Sólido	PG250-003	0,007	0,008	0,006		0,023		0,007		0,0505
Sólido	PG250-004	0,009	0,008	0,0055		0,021		0,007		0,0505

Ilustración 9. Análisis químico para detección de las posibles impurezas

Como se observa en las anteriores tablas, las impurezas que puedan existir en las máquinas por el hecho de no ser una máquina dedicada son alrededor de un 85% más bajas que el límite establecido por la norma de referencia.

Se ha fabricado numerosas bandejas con parámetros estándar para la puesta a punto de la máquina cuando procesa titanio. Además, ha servido para validar la uniformidad y repetitividad de los resultados, así como el establecimiento de los procedimientos de actuación adecuados cuando en estas máquinas se procesa titanio. Además, en todas las bandejas se han fabricado testigos para el análisis químico de las muestras.



Ilustración 10. Muestra de una de las fabricaciones de la máquina PG250 para la caracterización del material con parámetros estándar

Tras el análisis del contenido de oxígeno en diferentes fabricaciones se observa que el contenido del oxígeno está dentro de los límites establecidos a lo largo de las fabricaciones.

Caracterización mecánica del material procesado con material estándar:

Las propiedades mecánicas que se obtienen en las piezas fabricadas con la tecnología aditiva por láser y en este caso con la máquina PG250, dependen del tratamiento térmico al que se someten las piezas

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

para aliviar tensiones, así como para mejorar sus prestaciones mecánicas.

Se sometió tanto las bandejas de fabricación como las probetas a diferentes tratamientos térmicos en un Horno Linn High Therm, FRV-450/500/1000-Vac, en vacío (7×10^{-4} Pa), alcanzándose la temperatura deseada con una velocidad de calentamiento de $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$, dicha temperatura se mantuvo durante 2 horas y luego se dejaron enfriar las piezas/placa dentro del horno, con la atmósfera en vacío hasta la temperatura ambiente. Los tratamientos térmicos aplicados han sido los siguientes:

- Alivio de tensiones a 550°C
- Alivio de tensiones (550°C) más un tratamiento térmico a 800°C
- Alivio de tensiones (550°C) más un tratamiento térmico a 900°C
- Alivio de tensiones (550°C) más un tratamiento térmico a 830°C

En todos los tratamientos térmicos desarrollados, las prestaciones del material están por encima del límite establecido por la normativa. Pero bien es cierto que a menores temperaturas las tensiones que soporta el material son mayores pero el alargamiento y la estricción se encuentran más cercanos al límite. El objetivo de este análisis es determinar una temperatura de compromiso, que aumente sustancialmente el alargamiento y la estricción, pero sin que se reduzca el límite elástico y la tensión de rotura. Con los tratamientos a 800°C y 900°C se cumple este compromiso, pero se ha buscado una temperatura intermedia que permita disponer de un rango de seguridad por arriba y abajo, por ese motivo se ha seleccionado el tratamiento térmico de 830°C con el que se han obtenido las siguientes propiedades:

ASTM F3001-14 (2021)	795	860	10	25	
Referencia/zona	Límite elástico R _{0,2} (MPa)- Yield Strength	Tensión de rotura R _m (MPa)-Tensile Strength	Alargamiento (%)	Reducción de área-estricción (%)	Modulo elástico (GPa)
PG250_Ti XY 550°C-HT830	883,17	976,25	18,42	51,75	108,92
PG250_Ti Z 550°C-HT830	883,00	979,00	19,33	49,33	104,99

Ilustración 11. Resultados de los ensayos de tracción en probetas en direcciones XY, Z tras tratamiento térmico a 830°C

Es posible concluir que las prestaciones del material son independientes de la orientación de fabricación y por lo tanto existe **uniformidad** de las propiedades mecánicas del material en función de la orientación de las piezas.

La máquina PG250 tiene dos láseres de 500 W y cada uno de ellos afecta a una zona determinada de la bandeja de fabricación. Tras el análisis de los resultados de los ensayos de tracción en diferentes zonas de la bandeja afectadas por los distintos láseres. Es posible concluir que las prestaciones del material son independientes de la posición de las piezas en la bandeja de fabricación. Por lo tanto, existe una uniformidad de las propiedades mecánicas en una misma bandeja de fabricación.



**GENERALITAT
VALENCIANA**



**Cofinanciado por
la Unión Europea**

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

Tras la comprobación de la uniformidad de las propiedades mecánicas, se ha analizado la repetitividad de las propiedades mecánicas a lo largo de varias fabricaciones. Se han realizado muchas bandejas de fabricación, pero se ha seleccionado aquellas bandejas de fabricación y probetas que tienen el mismo tratamiento térmico para que sean comparativas.

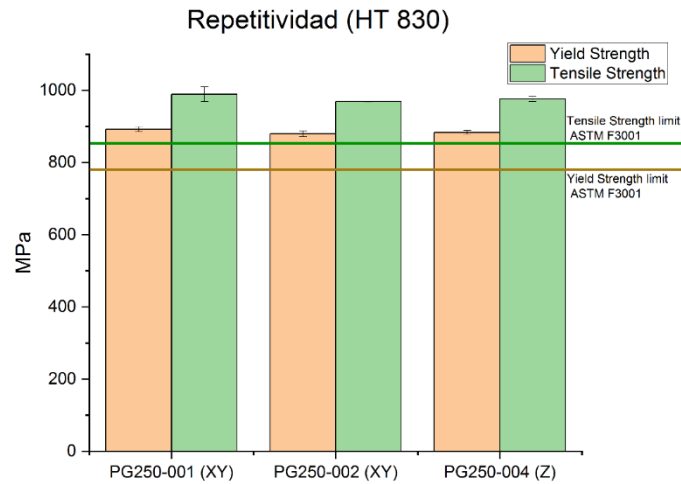


Ilustración 12. Repetitividad de los datos en tres bandejas de fabricación con el mismo tratamiento térmico

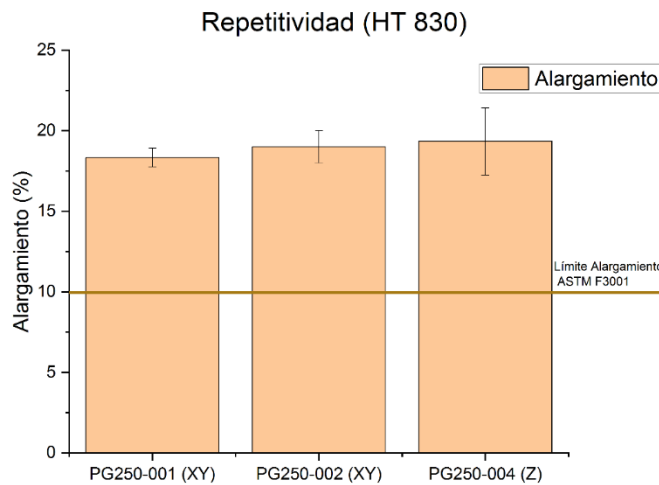


Ilustración 13. Repetitividad de los datos en tres bandejas de fabricación con el mismo tratamiento térmico

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

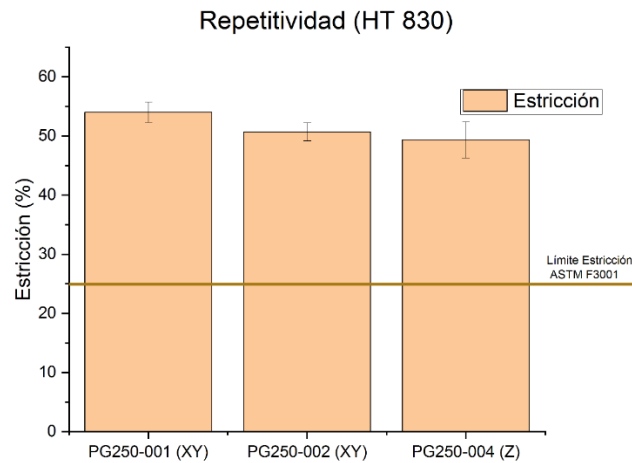


Ilustración 14. Repetitividad de los datos en tres bandejas de fabricación con el mismo tratamiento térmico

Tras el análisis de las anteriores ilustraciones se concluye que el proceso es uniforme y repetitivo y como se observa los datos obtenidos están muy lejos de lo límites establecidos en la norma de referencia (ASTM F3001).

Identificación de las estrategias para aumento de la productividad

Se ha realizado una revisión bibliográfica para conocer distintos modos de aumentar la productividad y se han establecido las condiciones para el desarrollo de los experimentales tras el análisis de otras investigaciones. La siguiente tabla contiene un resumen de otras experiencias.

- Brika et al 2020, estudiaron la influencia de la morfología y la distribución del tamaño de partículas de tres lotes de polvo diferentes, en la fluidez y densidad aparente, luego en las propiedades mecánicas, densidad y acabado superficial de las piezas fabricadas con la tecnología LPBF. Utilizan 3 lotes de polvo obtenidos por atomización de gas y por plasma, los caracterizan y fabrican con dos espesores de capa 30 y 60 μm . Como conclusión obtienen que el polvo más esférico da como resultados piezas más densas con mejores propiedades mecánicas, presencia de partículas muy finas no es recomendable. La morfología de las partículas afecta principalmente la fluidez del polvo y el acabado superficial de las piezas finales, no tanto así las propiedades mecánicas.
- Lykov et al, 2020 estudiaron la influencia del espesor de capa durante la fabricación por SLM de piezas de Ti6Al4V en la microestructura, utilizaron cinco espesores de capa entre 40 y 60 μm obteniendo una microestructura similar, pero con aumento de la longitud de los granos β , por lo cual se espera una mayor anisotropía a mayor espesor de capa.
- X. Shi et al, 2020. Evaluaron el Efecto de un alto espesor de capa en la calidad de superficie y comportamiento defectuoso de Ti6Al4V por SLM. Utilizaron dos espesores de capa 100 y 200 μm , 400W, diferentes velocidades 40-180 mm/s, 0.25-0.35 mm hatch distance. Evaluaron acabado superficial, densidad, microestructura, propiedades mecánicas. Obtuvieron piezas en Ti6Al4V por SLM, utilizando dos altos espesores de capa:100 y 200 μm , concluyeron que para 100 μm lo obtenido es aceptable cuando se compara con los espesores de capa normalmente utilizados de 20-60 μm en cuanto a microestructura, propiedades mecánicas y densificación,



**GENERALITAT
VALENCIANA**

IVACE
INSTITUTO VALENCIANO DE
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



**Cofinanciado por
la Unión Europea**

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

pero con una rugosidad superficial considerada alta ($Ra > 45\mu\text{m}$), la cual reducen con refusión hasta las $13\mu\text{m}$. Por otro lado, para espesores de capa de $200\mu\text{m}$, la microestructura presenta heterogeneidades debido a velocidades de enfriamiento diferentes por zonas, la densidad obtenida es inferior (98.90%) y la resistencia mecánica disminuye, todo esto debido a la mayor presencia de poros, fusión incompleta e inclusiones de escoria.

- De Formanoir et al 2020, estudiaron el incremento de la productividad de LPBF: influencia e la estrategia hull-bulk en acabado superficial, microestructura y propiedades mecánicas. Utilizaron tres tipos de muestras: con $30\mu\text{m}$ de espesor de capa, con $90\mu\text{m}$ y una combinación de ellas en centro $90\mu\text{m}$ +zona de borde de las piezas $30\mu\text{m}$. Obtuvieron propiedades mecánicas, densidad, acabado superficial, microestructura y estudio de la productividad en piezas con diferentes geometrías. Concluyeron que utilizando esta estrategia se logra un incremento en la productividad con una microestructura similar en centro y borde de las piezas, densidad, acabado superficial y propiedades mecánicas aceptables.
- Shipley et al 2018, identifican el estado del arte en la optimización de parámetros de proceso para el Ti6Al4v obtenido por SLM, plantean tres retos en la fabricación que deben controlarse: microestructura martensítica, porosidades y esfuerzos residuales. En cuanto al espesor de capa mencionan que un aumento produce disminución de los esfuerzos residuales, atribuido esto a una disminución en la velocidad de enfriamiento que ocurre como resultado de un mayor aporte de energía

Tras la revisión bibliográfica y con la experiencia de AIDIMME en procesos de fabricación aditiva por lecho de polvo, se consideró como vía principal el aumento del espesor de capa, sabiendo que espesores muy elevados aumentan considerablemente la porosidad del material. Además, se valoró el uso de material de mayor tamaño de partículas (45-106micras) del recomendado para las tecnologías láser (entre 15 y 53 micras), puesto que dicho material es 50% más económico que el polvo fino

- Aumento del espesor de capa de 30 a 60 micras, lo que supone un cambio de los parámetros de proceso como son la potencia y velocidad entre otros.
- Incluir material con una granulometría mayor.

TAREA 4.2. DESARROLLO DE PARÁMETROS DE ALTA PRODUCTIVIDAD PARA EL PROCESADO DEL Ti6Al4V

Todo el desarrollo se ha realizado con la celda multiláser, en concreto en la máquina PG250. Los parámetros de proceso utilizados para el procesado de un determinado material dependen de la tecnología y la máquina con la que se procesan. En el caso de la máquina PG250 estos son los parámetros de proceso disponibles. El hecho de cambiar el espesor de capa o el tipo de material (que son las estrategias seleccionadas) implica la modificación de más parámetros y por ese motivo es necesario el desarrollo de diferentes experimentales para establecer el conjunto de parámetros adecuado.

Parámetros de proceso:

- Perfil. Fichero .ini que contiene todos los parámetros de proceso específicos para el procesado de un determinado material en unas determinadas condiciones.

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

- Espesor de capa. Parámetro fundamental en todas las tecnologías de fabricación aditiva, porque es el tamaño de las capas o lonchas en las que se divide un determinado volumen. Cuánto mayor es el espesor de capa, menor es el número de capas necesarias para fabricar una pieza y menor es el tiempo de producción obteniendo de este modo mayor productividad. La modificación del espesor de capa implica la modificación de otros parámetros para asegurar una correcta fusión de las capas y que se construya una pieza densificada.
- Basic settings. Estos parámetros son los parámetros básicos que afectan a toda la fabricación y son los siguientes: Point reduction, Calculation Type, Tolerance, length Limit, Skip Layers, Keep First Layer, Skip Layers Num, Compensation (mm), Sharp Edge, harpEdge Factor, SharpEdge Distance, Thin Walls. Cabe destacar el Skip layers que permite combinar diferentes espesores de capa en una misma fabricación, de hecho, hay piezas a las que se les asigna todas las capas y otras piezas se les puede asignar que la fusión se realice cada 2 o 3 capas.
- Contour: Parámetros que rigen el contorno de las piezas y por tanto la definición final de las piezas fabricadas. Estos parámetros son los siguientes; Keep Outer Contour, Keep Extra Contour, Keep Internal Borders, Split UpSkin Border, Split DownSkin Border, Random StartPoint, Outer & Inner Space, Inner Contour Num, Inner Contour Space, Inner Contour Order Type, Outer & Hatch Border Space, Fill Border Num, Fill Border Space.
- Laser parameters. Parámetros que rigen la fusión del material a través de los láseres. Estos parámetros son los siguientes: SharpEdge Speed, Sharpedge Power, Outer Speed, Outer Power, Inner Speed, Inner Power, Extra Speed, Extra Power, InSkin Speed, InSkin Power, UpSkin Speed, UpSkin Power, DownSkin Speed, DownSkin Power. De entre todos estos parámetros los mas importantes y son más influyentes en el proceso de fusión son Inskin Speed (mm/s) que es la velocidad de avance del láser dentro de la pieza en una capa y el InSkin Power (W) potencia del láser dentro de la pieza en una capa.
- Otros parámetros importantes: Hatch distance (mm) que se define como la distancia entre diferentes pasadas de laser cuando está fundiendo el interior de una determinada pieza. Cuanto mayor es el Hatch distance menor es el tiempo que tarda en fundir una capa.

A partir de los parámetros estándar para el procesado de Ti6Al4V con espesor de capa de 30 micras se han desarrollado los experimentales mediante la modificación de parámetros clave en la fusión del material, buscando un compromiso entre la modificación de dichos materiales y la correcta fabricación de piezas in la obtención de defectos y poros llegando a la máxima densificación posible llegando a valores similares a los obtenidos con los parámetros estándar que es del **99.994%**.

Se han desarrollado tres experimentales diferentes en los que se fabricaron geometrías sencillas cada una de ellas con los parámetros establecidos para dicha muestra. La geometría más sencilla seleccionada para el desarrollo experimental son unos pequeños cubos de 20 x 20 x 20 mm que tienen la masa suficiente para poder medir su densidad.

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

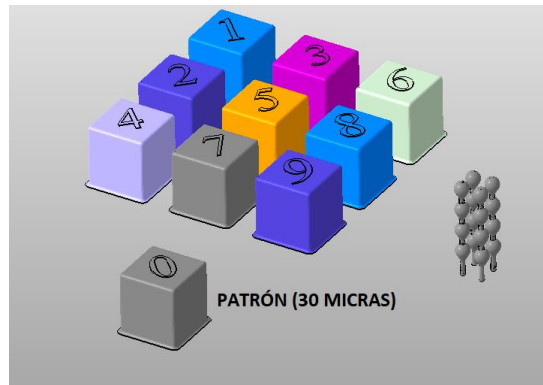


Ilustración 15. Diseño de los experimentales

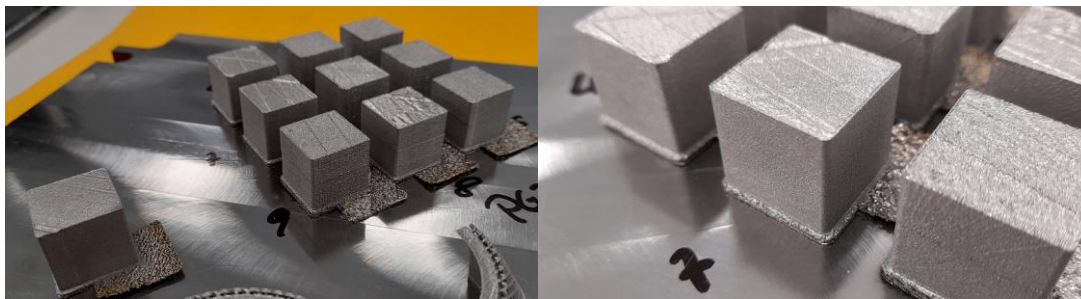


Ilustración 16. Experimental 01 (espesor de capa de 60 micras)



Ilustración 17. Experimental 02 (espesor de capa de 60 micras)

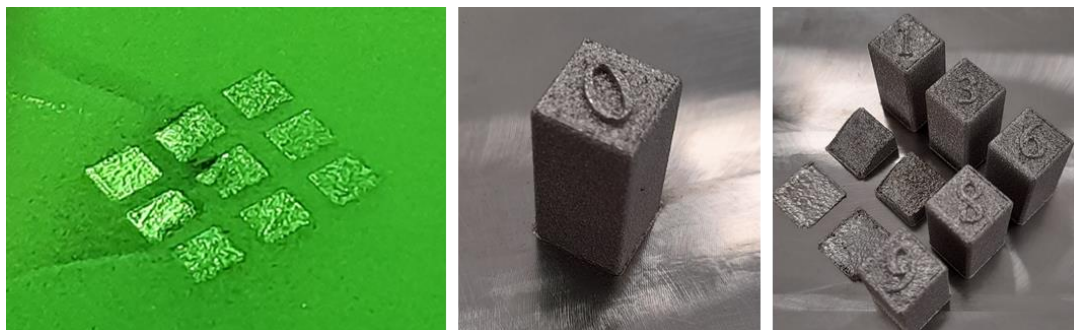


Ilustración 18. Experimental 03 (Polvo de mayor tamaño de grano)

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

Se ha realizado de cada uno de los experimentales una tomografía computarizada para conocer la densificación de las muestras.

e0 – PATRÓN	e1	e2	e3	e4
100%	99,98%	99,92%	99,88%	100%
e5	e6	e7	e8	e9
99,98%	99,96%	99,97%	100%	99,95%

Ilustración 19. Evaluación mediante CT Scan de las muestras del experimental 01

e0 – PATRÓN	e1	e2	e3	e4
99,999%	99,95%	99,68%	99,74%	99,99%
e5	e6	e7	e8	e9
99,98%	99,95%	99,97%	100%	99,99%

Ilustración 20. Evaluación mediante CT Scan de las muestras del experimental 02

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

e0 – PATRÓN	e1	e2	e3	e4
99,93%	99,58%	-	99,02%	-
e5	e6	e7	e8	e9
-	99,58%	-	99,96%	99,87%

Ilustración 21. Evaluación mediante CT Scan de las muestras del experimental 03

Tras la evaluación de todos los resultados se seleccionan los parámetros de la muestra 8 desarrollados en el experimental 02, utilizando una energía de fusión similar, con un espesor de capa mayor y en la mitad de tiempo.

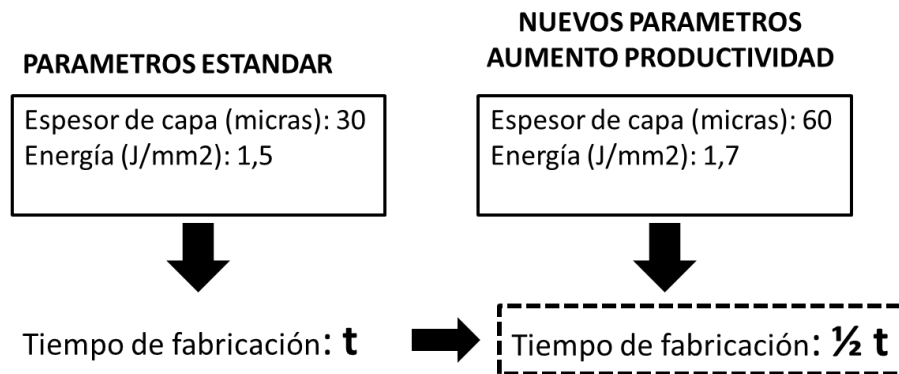


Ilustración 22. Nuevos parámetros de proceso más productivos

TAREA 4.3. CARACTERIZACIÓN DEL Ti6Al4V DE ALTA PRODUCTIVIDAD

Tras la selección de los nuevos parámetros de fabricación más productivos se fabricaron probetas de tracción y



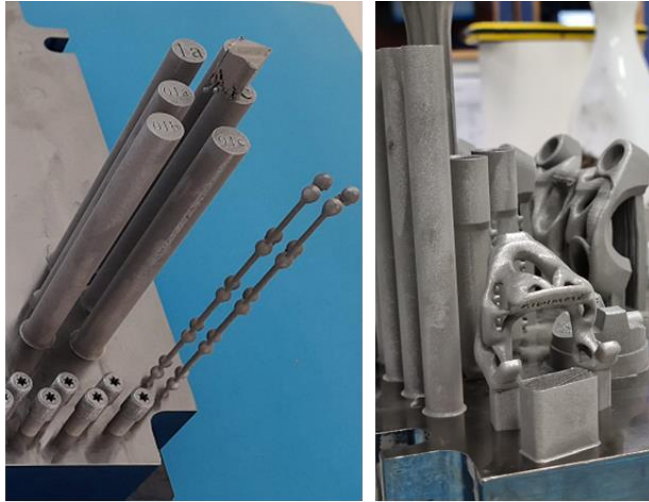
**GENERALITAT
VALENCIANA**



**Cofinanciado por
la Unión Europea**

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

artefactos para comparar los resultados con los obtenidos con parámetros estándar y con la norma de referencia del titanio.



Parámetros estándar
espesor de capa 30µm
(PG250-007Ti)

Nuevos parámetros
espesor de capa 60µm
(PG250-010Ti)

Ilustración 23. Probetas fabricadas con parámetros estándar a 30 micras y nuevos parámetros de alta productividad a 60 micras

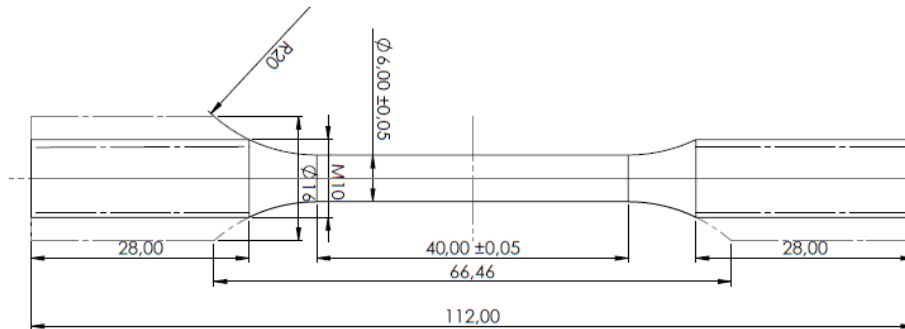


Ilustración 24. Dimensiones probeta de tracción

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser



Ilustración 25. Mecanizado de probetas para el ensayo de tracción y ensayo de tracción

Se mecanizaron las probetas y algunas de ellas se trataron térmicamente a una temperatura de 830°C. A continuación, se muestran los resultados mecánicos con los nuevos parámetros de proceso de alta productividad.

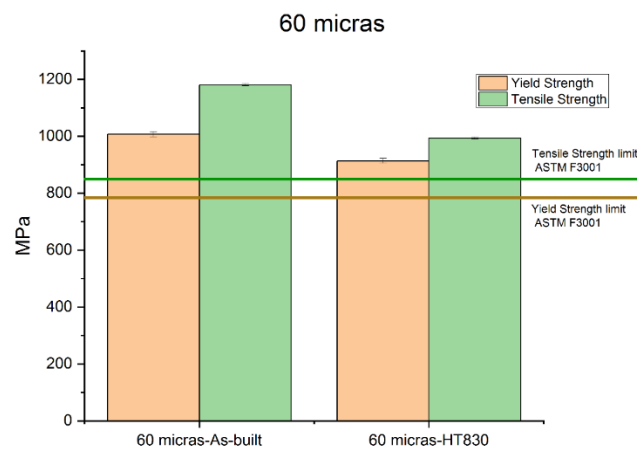


Ilustración 26. Propiedades mecánicas obtenidas con los nuevos parámetros de proceso desarrollados

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

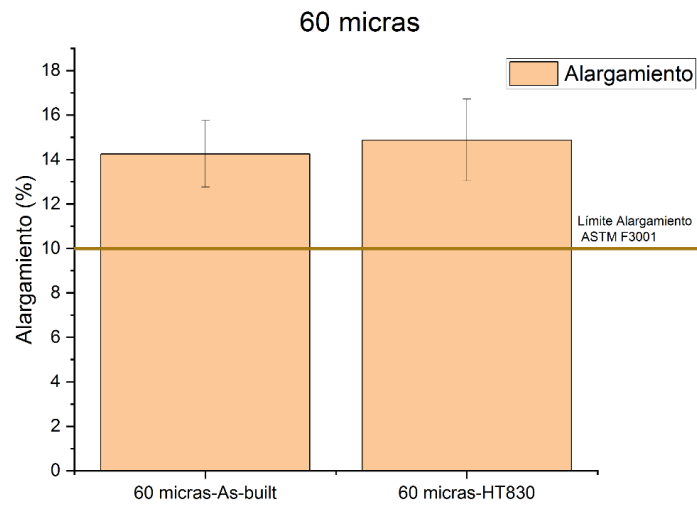


Ilustración 27. Propiedades mecánicas obtenidas con los nuevos parámetros de proceso desarrollados

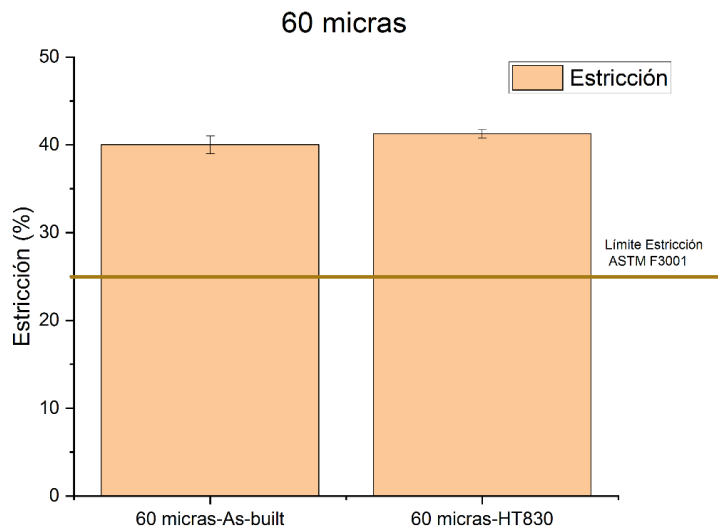


Ilustración 28. Propiedades mecánicas obtenidas con los nuevos parámetros de proceso desarrollados

Además, se ha realizado una comparativa entre los resultados del ensayo de tracción con parámetros estándar con un espesor de capa de 30 micras y los nuevos parámetros de proceso desarrollados. La comparativa se ha realizado en la misma condición final tras un tratamiento térmico de alivio de tensiones a una temperatura de 830°C.

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

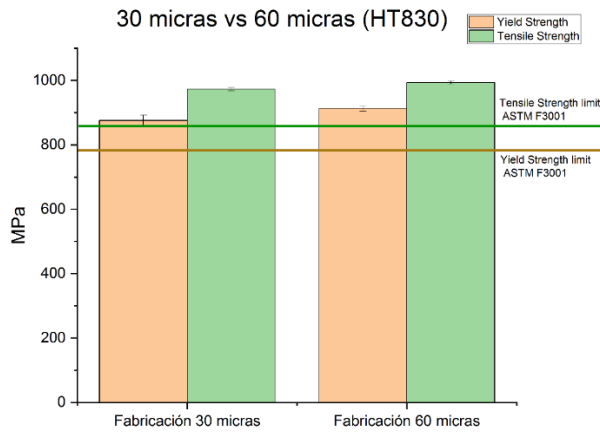


Ilustración 29. Comparativa propiedades mecánicas 30 micras vs 60 micras con tratamiento térmico a 830°C

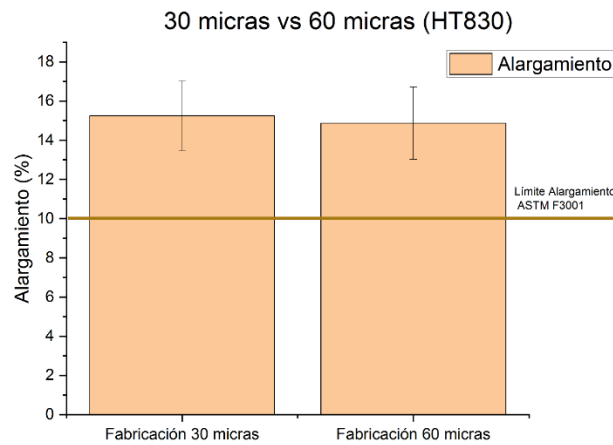


Ilustración 30. Comparativa propiedades mecánicas 30 micras vs 60 micras con tratamiento térmico a 830°C

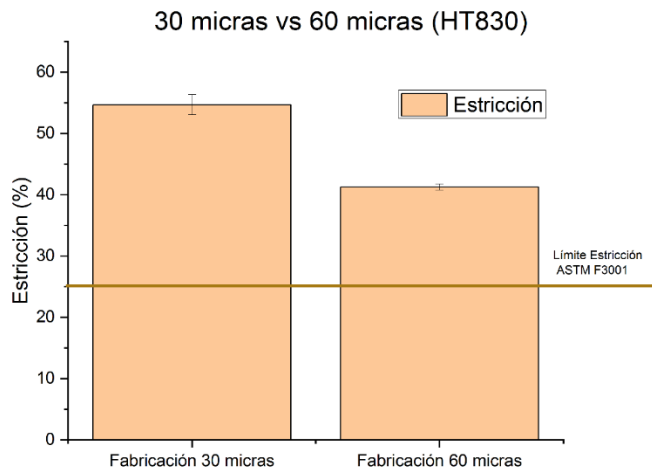


Ilustración 31. Comparativa propiedades mecánicas 30 micras vs 60 micras con tratamiento térmico a 830°C



GENERALITAT
VALENCIANA

IVACE
INSTITUTO VALENCIANO DE
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



Cofinanciado por
la Unión Europea

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

Además de la caracterización mecánica, se han fabricado artefactos para conocer las posibilidades de construir geometría sin necesidad de soportes. Para ello se diseñaron los siguientes artefactos donde hay puentes de distinto tamaño, voladizos y planos inclinados. Todos ellos se fabricaron en ambas condiciones y sin soportes para conocer los límites de la tecnología que dependen de la máquina, el material y de los parámetros de proceso.

Los nuevos parámetros de fabricación son más permisivos y permiten geometrías con menos soporte. Por lo tanto, con el nuevo conjunto de parámetros también se ha mejorado en este aspecto.

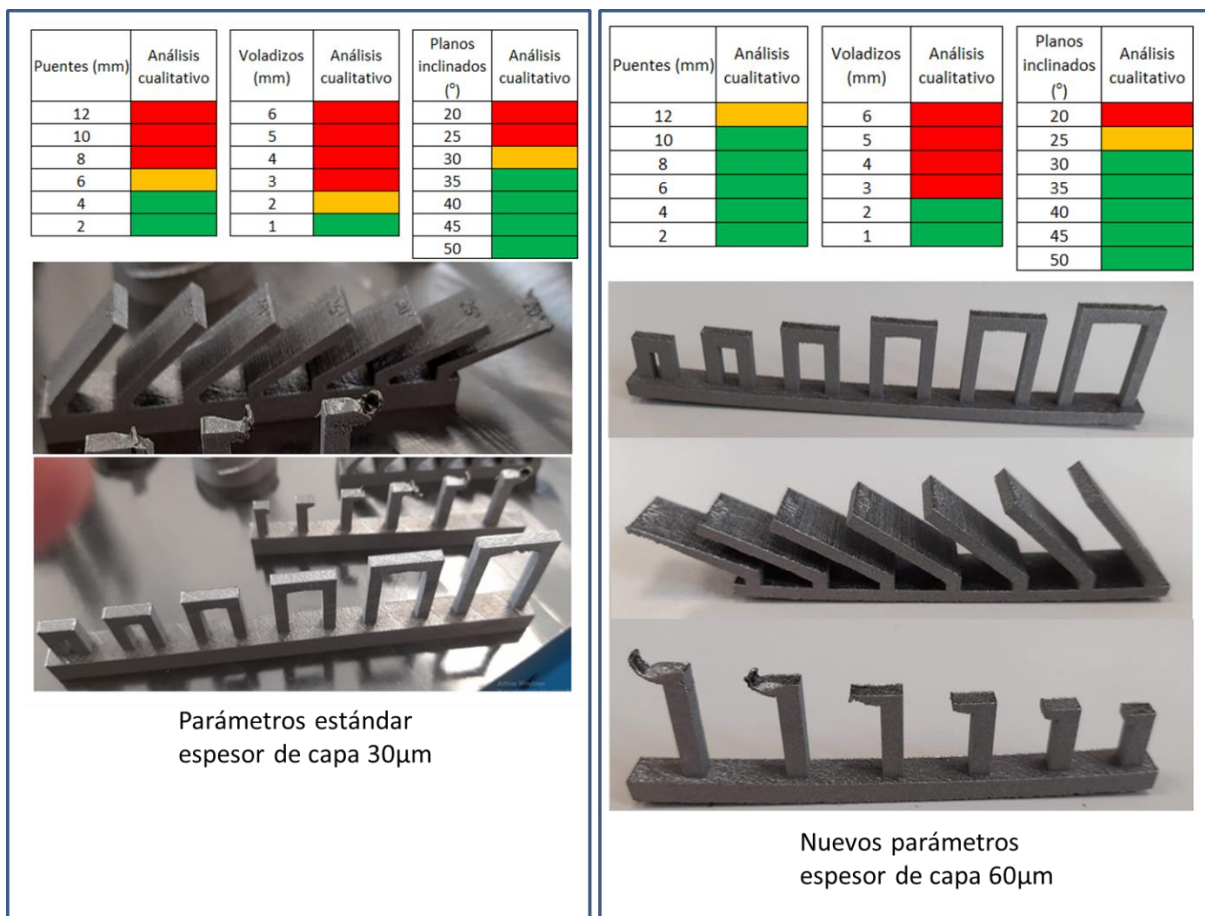


Ilustración 32. Comparativa en la fabricación de artefactos

PAQUETE DE TRABAJO 5. APLICACIÓN DEL Ti6AL4V DE ALTA PRODUCTIVIDAD Y ESTUDIO COMPARATIVO CON RESPECTO AL Ti6Al4V ESTÁNDAR

El objetivo de este paquete de trabajo es desarrollar un demostrador con los parámetros de alta productividad establecidos anteriormente, así como con los parámetros estándar del titanio. Tras la fabricación de ambos demostradores se realizará un estudio técnico-económico con el fin de

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

cuantificar la mejora alcanzada con el nuevo conjunto de parámetros de alta productividad. Las actividades desarrolladas han sido:

- Identificación, selección y diseño de un demostrador sobre el que realizar el estudio comparativo.
- Fabricación del demostrador en Ti6Al4V estándar y Ti6Al4V de alta productividad.
- Estudio comparativo técnico y económico entre el demostrador fabricado con proceso estándar y el proceso de alta productividad.

TAREA 5.1. IDENTIFICACIÓN, SELECCIÓN Y DISEÑO DE UN DEMOSTRADOR SOBRE EL QUE HACER UN ESTUDIO COMPARATIVO

En esta tarea se ha identificado varios demostradores, uno de ellos desarrollado por AIDIMME que se ha optimizado topológicamente mediante el uso del software Altair y los demás han sido propuestos por las empresas participantes y han sido revisados y preparados por los técnicos de AIDIMME para que su fabricación por fabricación aditiva no tuviera ningún problema.

Optimización topológica de la potencia o soporte de una moto

Se ha seleccionado una pieza real, en concreto la potencia o soporte de una moto y sobre dicha pieza se ha realizado la optimización topológica. A continuación, se describe las actividades realizadas para el diseño de la potencia.

Una vez desmontada la pieza, se realiza el escaneado de la misma con el equipo handyscan black. Se coloca la pieza sobre una mesa con targets con la intención de no colocar targets adicionales sobre la superficie de la misma:



Ilustración 33. Escaneado de la potencia de una moto

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

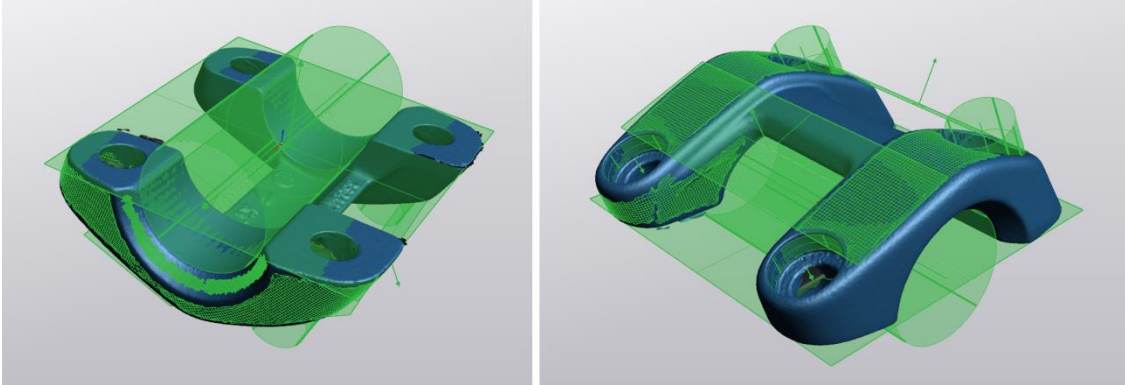


Ilustración 34. Alineación de ambos escaneados

Se generan en software de modelado paramétrico las partes de la pieza que no se tratarán como volumen de diseño en el software de optimización. En este caso el alojamiento de los tornillos y la zona de contacto entre el manillar y la potencia:

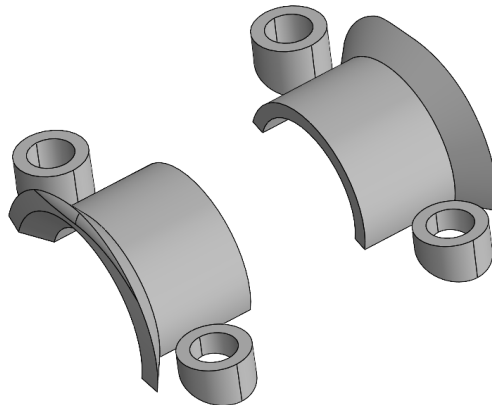


Ilustración 35. Diseño de las zonas fijas que no forman el volumen de diseño de la pieza.

Se determina un volumen de diseño amplio para dar margen al software de optimización a que coloque el material donde realmente va a trabajar;



“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

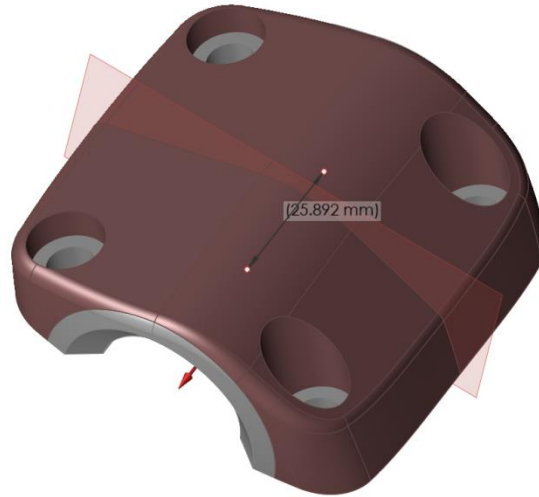


Ilustración 36. Identificación del volumen de diseño

Colocación de las condiciones de contorno de la pieza

- Sujetadores en la zona de los tornillos; de la misma forma que va montado en la moto:

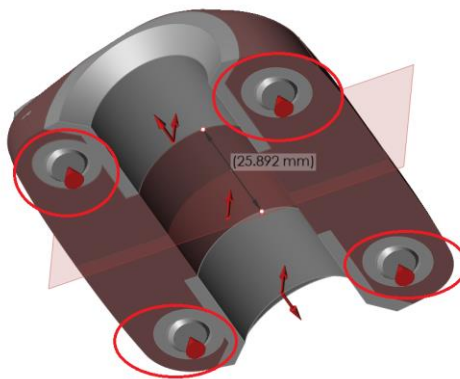


Ilustración 37. Definición de las condiciones de contorno

- Se estima una fuerza de 60kg en Z y de 30kg lateral en las caras indicadas:

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

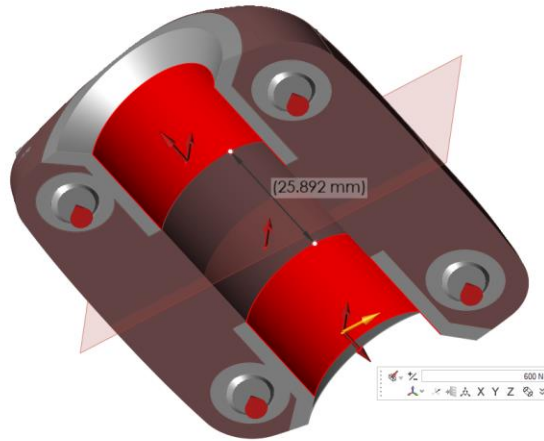


Ilustración 38.. Definición de las condiciones de contorno

- Control de forma (simetría en plano medio)

Resultado de la optimización:

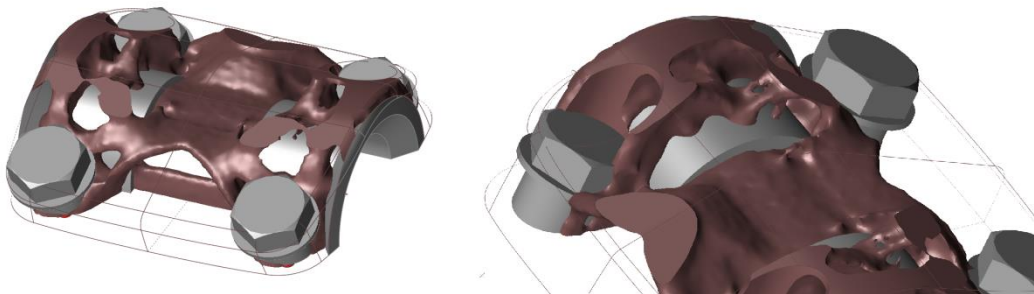


Ilustración 39. Resultado inicial de la optimización

Se realiza un análisis FEM de la sugerencia obtenida de la optimización con el objetivo de comprobar que mecánicamente cumple.

- Los desplazamientos se mantienen por debajo de 0,003mm

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

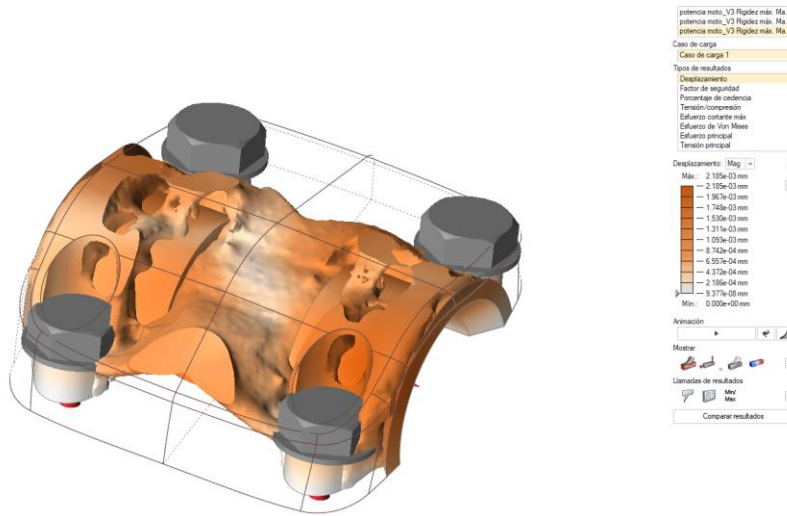


Ilustración 40. Resultado FEM (desplazamientos)

- La tensión máxima de von mises se encuentra en 56MPa, lo cual está muy por debajo del límite de rotura del titanio 64 procesado por tecnología PBF-LBM (860MPa)

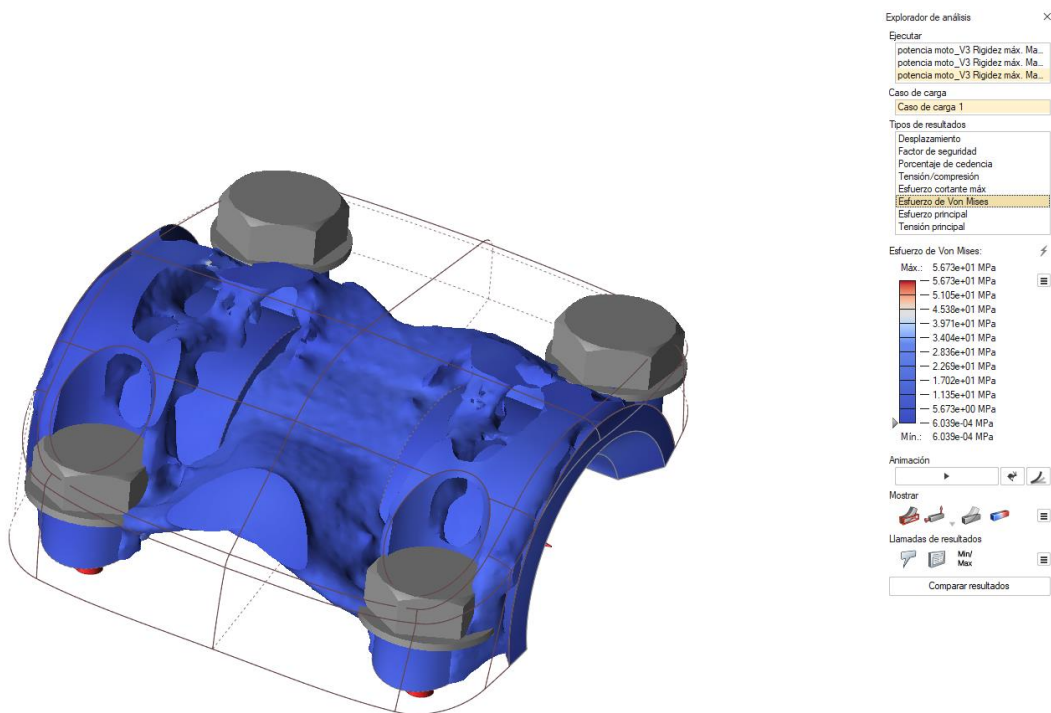


Ilustración 41. Resultado FEM (tensión)

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

Optimización de forma mediante la herramienta polinurbs:

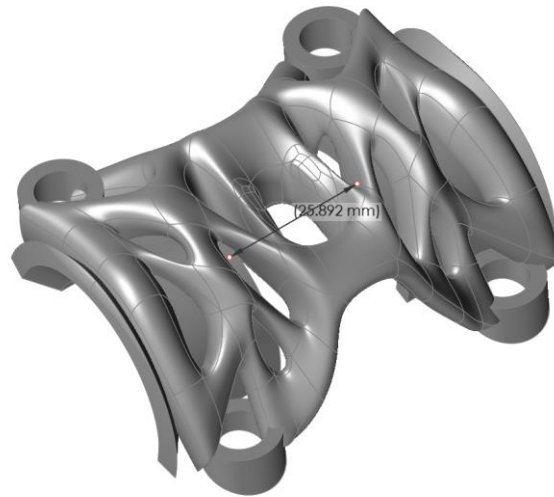


Ilustración 42. Optimización de la forma

Tras la definición de la geometría se estableció su orientación de fabricación y el diseño de los soportes.

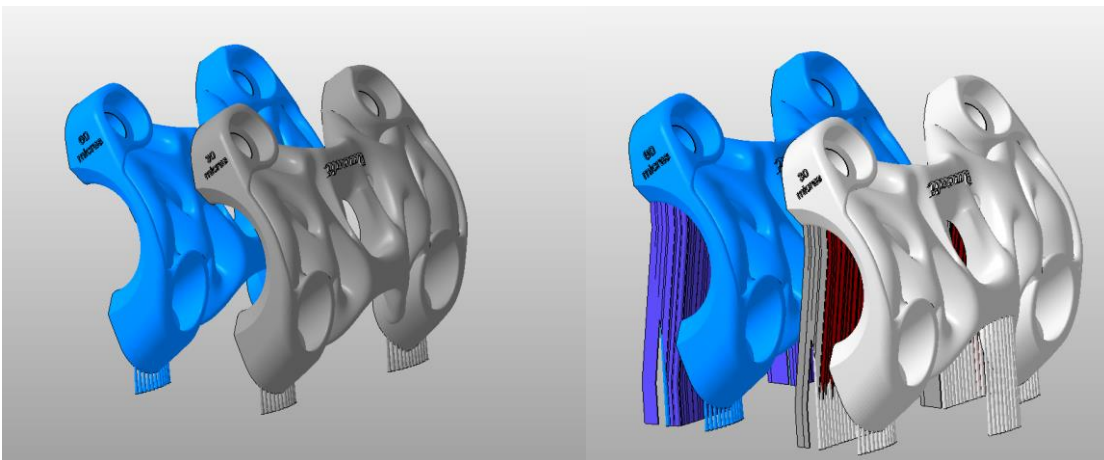


Ilustración 43. Orientación de fabricación de la potencia y diseño de soportes opción 1 y opción 2

Selección de otros casos de estudio

Se contactó con las empresas participantes en el proyecto que seleccionaron un producto como caso de estudio. Tras la identificación de los casos se evaluó si era factible la fabricación con estas tecnologías y se cambiaron detalles para su correcta fabricación. Así como, se evaluó su orientación y posición en la bandeja de fabricación para su correcta fabricación.

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

Se prepararon los ficheros para diferenciarlos con una etiqueta de 30 y 60 micras. A continuación, se muestran los ficheros preparados con sus soportes.

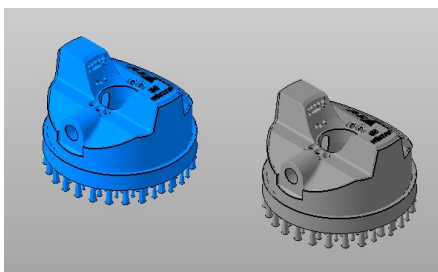


Ilustración 44. Caso demo boquilla de la empresa VALVER SPEED AIR

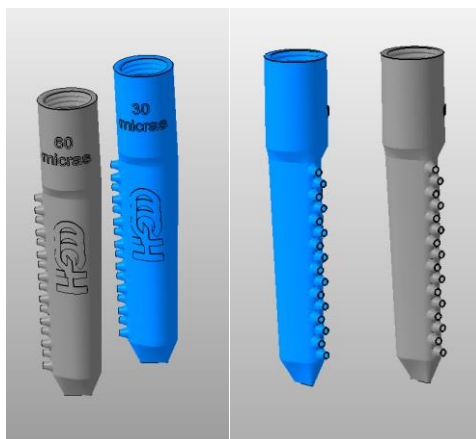


Ilustración 45. Caso demo ducha de la empresa GH ELECTROTERMIA

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

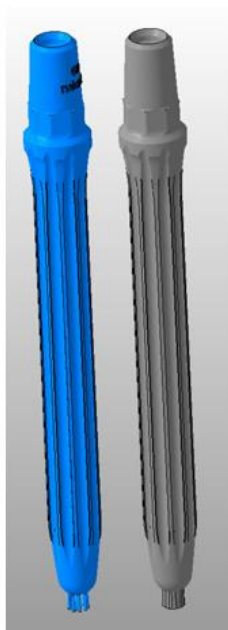


Ilustración 46. Caso demo vástago de la empresa TEQUIR



**GENERALITAT
VALENCIANA**

IVACE
INSTITUTO VALENCIANO DE
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



**Cofinanciado por
la Unión Europea**

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

TAREA 5.2. Fabricación del demostrador en Ti6Al4V estándar y Ti6Al4V de alta productividad

Una vez definidos todos los ficheros que se van a fabricar en un mismo ciclo de fabricación se deben seguir los siguientes pasos para la preparación, ejecución y la extracción de las piezas:

1. Preparación de datos. Existen diferentes softwares por los que hay que pasar para la preparación de los ficheros y la asignación de los parámetros de proceso a cada una de las piezas.
2. Preparación de la máquina. En este paso se prepara el polvo, que debe secarse en el horno en atmosfera inerte durante más de 4 horas para eliminar la posible humedad que pueda tener. Se limpia toda la cámara de construcción, se coloca correctamente la placa de fabricación, se carga el polvo en los tanques y se inertiza la cámara. Una vez se alcanza dicha inertización se inicia la fabricación.
3. Fabricación. Lo más importante es controlar las primeras capas de la fabricación para asegurarse de la correcta fusión del material con la placa de fabricación.
4. Extracción de la placa de fabricación que contiene las piezas. Limpieza y eliminación del polvo suelto que queda entre las piezas.
5. Post procesos, que incluye el tratamiento térmico, la separación de las piezas de la placa, la eliminación de los soportes y el acabado de las piezas.

A continuación, se muestran imágenes de las piezas fabricadas con ambas estrategias, parámetros estándar con espesor de capa 30 micras y nuevos parámetros con espesor de capa de 60 micras.



Ilustración 47. Boquilla fabricada con parámetros estándar (30 μm) y nuevos parámetros (60 μm)

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

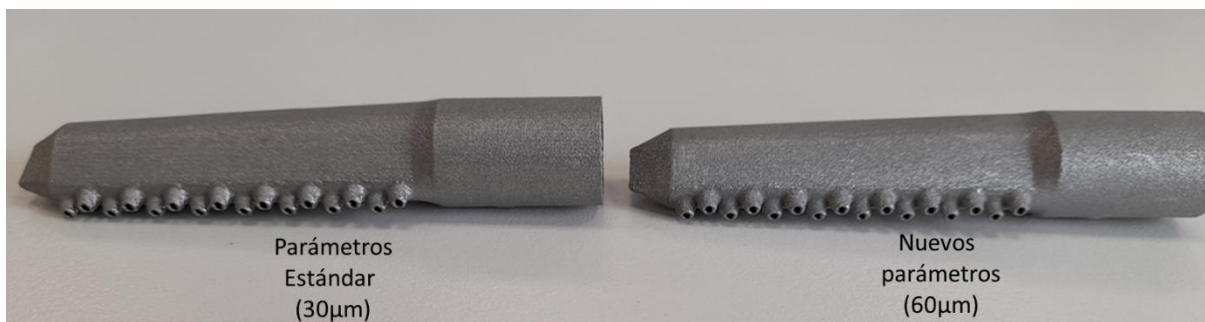


Ilustración 48. Ducha fabricada con parámetros estándar (30 µm) y nuevos parámetros (60 µm)



Ilustración 49. Vástago fabricado con parámetros estándar (30 µm) y nuevos parámetros (60 µm)

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser



Ilustración 50. Potencia fabricada con parámetros estándar (30 µm) y nuevos parámetros (60 µm)



Ilustración 51. Montaje de la potencia optimizada topológicamente



**GENERALITAT
VALENCIANA**

iVACE
INSTITUTO VALENCIANO DE
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



**Cofinanciado por
la Unión Europea**

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

TAREA 5.3 Estudio comparativo técnico y económico entre el demostrador fabricado con proceso estándar y el procedo de alta productividad

Para la comparativa técnica de las piezas fabricadas con ambas estrategias de fabricación se realizó una tomografía computarizada de cada una de las piezas mediante la colaboración de la empresa CARL ZEISS IBERIA S.L donde se realizó una inspección de la porosidad en 3D y la desviación dimensional mediante la comparativa entre la geometría nominal y la geometría real. A continuación, se muestran alguno de los resultados obtenidos de las tomografías computarizadas por ejemplo en la pieza potencia o soporte y en concreto la porosidad detectada en las piezas.

- Potencia a 30 micras

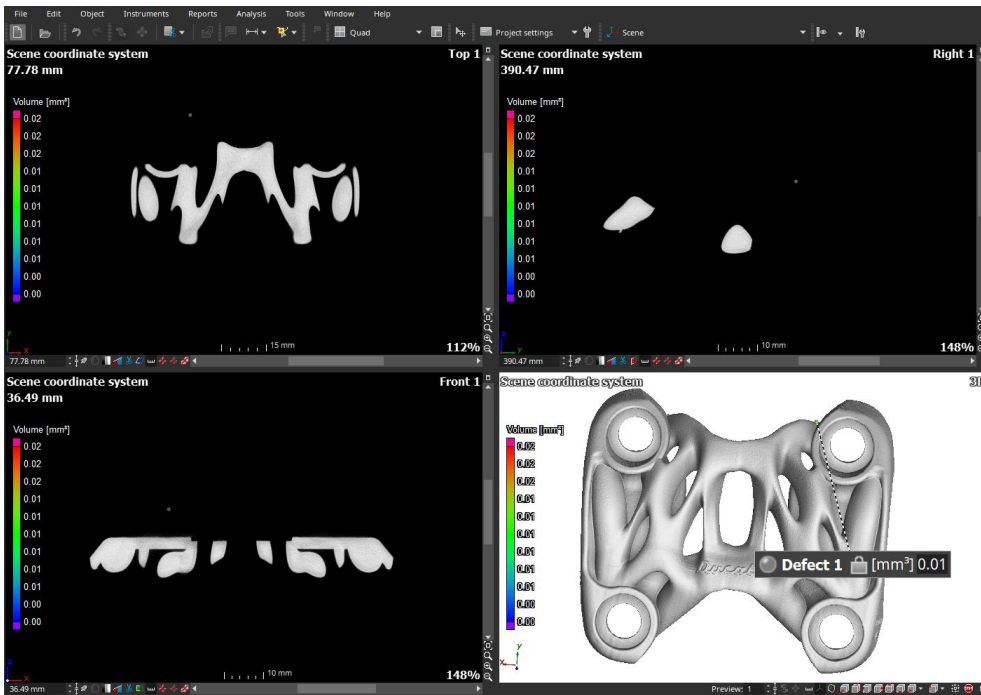


Ilustración 52 Porosidad potencia a 30 micras

- Potencia a 60 micras

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

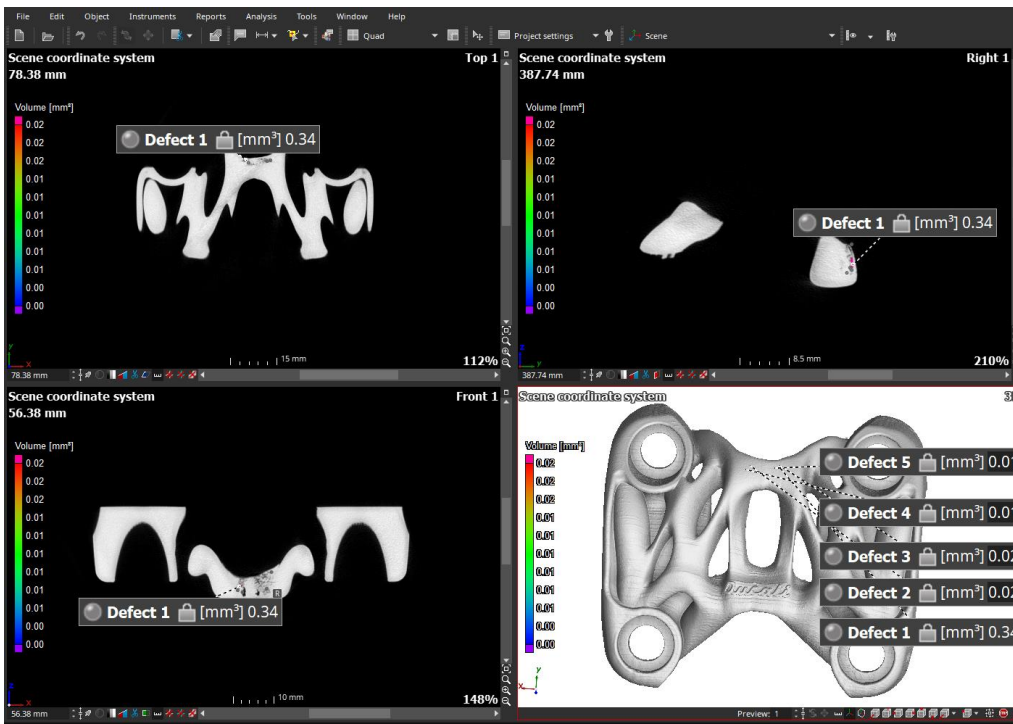


Ilustración 53 Porosidad potencia a 60 micras

Los defectos que aparecen en la potencia principalmente se deben al diseño de los soportes que no era suficiente en algunas zonas, lo mismo ocurre con la desviación dimensional que es mayor como consecuencia de algunos defectos producidos por un soporte no eficiente.

Tras el análisis de la porosidad y de la desviación dimensional se puede concluir que no hay porosidad en las piezas independientemente de los parámetros que se han utilizado (parámetros estándar a 30 micras y los nuevos parámetros más productivos a 60 micras). Con respecto a la desviación dimensional ocurre lo mismo, está en torno a $\pm 0.15-0.2$ mm lo que es un valor habitual para piezas de fabricación aditiva independientemente de los parámetros que se han utilizado (parámetros estándar a 30 micras y los nuevos parámetros más productivos a 60 micras). Con excepción de la potencia donde la desviación dimensional es mayor como consecuencia de un fallo de diseño en los soportes.

Para el desarrollo del estudio de productividad entre la fabricación de piezas con los parámetros estándar o los nuevos parámetros de proceso más productivos se ha evaluado el número máximo de piezas que es posible fabricar en una semana en ambas estrategias de fabricación. Para el desarrollo de este estudio se ha tenido en cuenta las siguientes premisas.

- NÚMERO DE PIEZAS QUE CABEN EN UN CICLO DE FABRICACIÓN. Se establece el número máximo de piezas que es posible fabricar en un mismo ciclo de fabricación. El número de piezas máximo depende del tamaño de la pieza, la forma de esta y de la orientación para su correcta fabricación.
- NÚMERO DE HORAS/SEMANA
- TIEMPOS: Esta estimación se realiza teniendo en cuenta las siguientes actividades:

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

- Tiempo de preparación de la máquina PG250
- Tiempo de preparación de los ficheros
- Tiempo de inertización de la máquina para alcanzar las condiciones en la cámara de fabricación.
- Tiempo de fabricación que depende de los parámetros de proceso establecidos, así como de la altura máxima de la fabricación y del volumen total de ocupación de piezas en la placa de fabricación.
- Tiempo de mecanizado, separación de las piezas de la placa y eliminación de los soportes.

Para cada una de las bandejas se hizo una simulación del tiempo de fabricación.

Tras la valoración del tiempo de fabricación de una bandeja completa para cada modelo de pieza con un determinado conjunto de parámetros de proceso, se ha valorado el número de bandejas que es posible fabricar por semana. Con el dato del número de bandejas por semana se ha obtenido el número de piezas que es posible fabricar por semana. Obteniendo de este modo un valor de productividad para cada una de las piezas y para cada una de las estrategias de fabricación.

Modelo	Parámetros de proceso	Nº Unidades por bandeja	Altura máx. (mm)	Volumen total Placa (cm3)	Horas de fabricación	Horas inertización +enfriamiento	Horas preparación ficheros	Horas preparación equipo	Horas preparación tratamiento térmico	Horas mecanizados	HORAS TOTALES	NºBandejas por semana	NºTotal piezas por semana	AUMENTO PRODUCTIVIDAD
POTENCIA	Estándar 30 micras	15	78,69	550,58	40,87	20	1	2,5	0,5	0,5	65,37	2,51	38	100,00%
POTENCIA	Nuevos 60 micras	15	78,72	550,58	20,77	20	1	2,5	0,5	0,5	45,27	3,62	54	144,40%
DUCHA	Estándar 30 micras	148	80,01	1.292,88	62,13	20	1	2,5	0,5	0,5	86,63	1,89	280	100,00%
DUCHA	Nuevos 60 micras	148	79,98	1.292,88	31,33	20	1	2,5	0,5	0,5	55,83	2,94	435	155,17%
VASTAGO	Estándar 30 micras	109	164,1	2.013,38	158,28	20	1	2,5	0,5	0,5	182,8	0,90	98	100,00%
VASTAGO	Nuevos 60 micras	109	164,1	2.013,38	79,15	20	1	2,5	0,5	0,5	103,7	1,58	172	176,34%
BOQUILLA	Estándar 30 micras	34	24,5	121,93	24,28	20	1	2,5	0,5	0,5	48,78	3,36	114	100,00%
BOQUILLA	Nuevos 60 micras	34	24,5	121,93	12,33	20	1	2,5	0,5	0,5	36,83	4,45	151	132,45%

Ilustración 54. Resultado comparativo de productividad.

Analizando los resultados de la anterior tabla se concluye que la fabricación con los nuevos parámetros de proceso a 60 micras produce un aumento del número de piezas fabricadas, entre un 32.5% en el caso más desfavorable y un 76% en el caso más favorable, dependiendo este valor de las dimensiones y la forma de las piezas a fabricar.

“TITAN” - Desarrollo de un proceso de alta productividad para titanio con tecnologías de fabricación aditiva multiláser

4 Conclusiones.

- Se han Identificado y evaluado dos estrategias que permiten la obtención de piezas de titanio de un modo más productivo y por lo tanto más competitivo a nivel experimental. Seleccionando la estrategia de aumento de espesor de capa.
- Se ha caracterizado mecánicamente el titanio obtenido con la nueva estrategia de parámetros de proceso cumpliendo tanto en tensión como en deformación con las especificaciones de la norma.
- Se ha comparado el titanio con los parámetros estándar y los nuevos parámetros desarrollados cumpliendo en ambos casos con las especificaciones de la norma de referencia.
- Se han fabricado 4 casos demo con ambas condiciones de parámetros de proceso y se ha comprobado su densificación y su desviación dimensional.
- Se ha analizado la mejora de la productividad cuando se utilizan los nuevos parámetros de proceso obteniendo valores entre un 32.5% en el caso más desfavorable y un 76% en el caso más favorable, dependiendo este valor de las dimensiones y la forma de las piezas a fabricar.



GENERALITAT
VALENCIANA

IVACE
INSTITUTO VALENCIANO DE
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



Cofinanciado por
la Unión Europea