



# INFORME PROYECTOS— 2022-2023

DESARROLLO DE PROCESO DE ALTO NIVEL DE PROTECCIÓN PARA  
FABRICACIÓN DE MATERIALES METÁLICOS REACTIVOS CON  
TECNOLOGÍA HÍBRIDA LMD-CNC  
“PROTECTOR”

Informe: “Final de Resultados”

Programa: Proyectos de I+D en colaboración con empresas

Número de proyecto: 22200083

Expediente: IMDEEA/2022/65

Duración: Del 01/06/2022 al 30/09/2023

Coordinado en AIDIMME por: Carlos Alberto Bloem Irazabal



GENERALITAT  
VALENCIANA



Financiado por  
la Unión Europea

**AIDIMME**  
INSTITUTO TECNOLÓGICO



## ÍNDICE

<b>ÍNDICE.....</b>	<b>1</b>
<b>A. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>B. OBJETIVOS MARCADOS.....</b>	<b>2</b>
<b>C. ACTIVIDADES REALIZADAS Y RESULTADOS OBTENIDOS.....</b>	<b>3</b>
<b>1. ESTUDIO Y DESARROLLO DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA LA OXIDACIÓN EN TECNOLOGÍA HÍBRIDA LMD-CNC .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. ESTUDIO DE PARÁMETROS DE PROCESO PARA LA FABRICACIÓN HÍBRIDA DED LB/M- CNC 3</b>	
<b>1.2. DESARROLLO DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA LA OXIDACIÓN.....</b>	<b>15</b>
<b>1.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA, QUÍMICO Y MICROESTRUCTURAL. ....</b>	<b>18</b>
<b>2. DESARROLLO DE DEMOSTRADORES.....</b>	<b>32</b>
<b>2.1. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE REGLAS DE DISEÑO CON TECNOLOGÍA HÍBRIDA DED LB/M- CNC 32</b>	
<b>2.2. DESARROLLO DE LOS DEMOSTRADORES PARA EMPRESAS.....</b>	<b>35</b>
<b>2.3. EVALUACIÓN DEL RESULTADO RESPECTO A MÉTODOS CONVENCIONALES.....</b>	<b>40</b>
<b>D. RESUMEN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>43</b>



## A. Introducción

La fabricación aditiva (FA) es una tecnología de manufactura relativamente nueva, la cual ha tenido un elevadísimo crecimiento y desarrollo en la última década. Se han desarrollado técnicas para la fabricación básicamente para todos los materiales, en los últimos tiempos, empieza incluso a aparecer tecnologías de FA que combinan procesos hecho que promueve nuevas ventajas competitivas.

Actualmente los procesos de fabricación híbridos más importantes, son los que integran procesos aditivos y sustractivos (mecanizados CNC) (A/SM CNC). Que fundamentalmente se emplean para la deposición de capas especiales y producir piezas multimetal y/o reparación/recuperación de piezas de alto valor desgastadas o dañadas.

Las plataformas de fabricación híbridas actuales, consisten en máquinas herramienta CNC multieje a las que se les ha incorporado un módulo o cabezal de FA bajo diferentes técnicas de deposición que pueden ser polvo, soldadura por arco o laser entre otros. Una de las aplicaciones más prácticas de los procesos CNC AM/SM es la reparación de grandes y piezas complejas principalmente de la industria aeroespacial.

Con esta tecnología híbrida se están procesando diferentes materiales metálicos como algunos aceros, y aleaciones base níquel, pero existe una limitación importante en el procesado de dichos materiales u otros más reactivos como ciertos aceros, aleaciones de aluminio o titanio que precisan respetar niveles bajos de oxidación para poder ser utilizados en aplicaciones de alta compromiso.

El proyecto PROTECTOR se centra en la mejora del proceso de fabricación híbrida LMD-CNC para poder procesar metales con mayor protección contra la oxidación. Para ello se pretende diseñar e instalar un sistema de protección de la zona de fabricación para minimizar la oxidación de las piezas fabricadas durante el enfriamiento, y con dicha mejora, poder desarrollar parámetros de proceso y caracterizar el resultado desde un punto de vista mecánico, químico y microestructural. Las empresas podrán valorar las bondades del proceso con la realización de casos reales de interés para las empresas

## B. Objetivos marcados

Los objetivos fundamentales del proyecto son:

- La definición, caracterización y evaluación de las variables que involucra el proceso híbrido de fabricación LMD-CNC en materiales de uso industrial.
- El desarrollo de un sistema de protección en el sistema híbrido LMD-CNC, para minimizar la oxidación durante la fabricación cuando se emplean materiales de uso industrial, pero que son sensibles a la oxidación.

### C. Actividades realizadas y resultados obtenidos

Las actividades realizadas en el proyecto han sido las siguientes:

## 1. Estudio y desarrollo de sistema de protección contra la oxidación en tecnología híbrida LMD-CNC

### 1.1. Estudio de parámetros de proceso para la fabricación híbrida DED LB/M-CNC

Como primer punto se definió con cuales materiales se va a trabajar, para ello se estudió e identificó cuales son las materias primas compatible con el sistema.

El centro hibrido de fabricación DED LB/M-CNC es una tecnología en fase de desarrollo, aunque ya existen algunos equipos en el ámbito industrial, sin embargo, el proceso está poco estudiado y desarrollado.

La materia prima compatible con el sistema DED LB/M es básicamente cualquier metal en forma de hilo con un diámetro de 1 mm que pueda ser fundido mediante un haz de láser, a este requerimiento hay que sumarle otros factores como lo son la sensibilidad al agrietamiento, la mojabilidad y fluidez del propio metal fundido, la avidez del metal por el oxígeno entre otros.

A continuación, se presenta una tabla con los materiales susceptibles a ser empleados en la tecnología DED LB/M.

Tabla 1 Materiales disponibles para DED LB/M

	Diámetro	Temperatura de fusión	Densidad	Límite de fluencia
Acero al carbono ER70S	1	1425°~1485°C	7.8	400 ~484 MPa
Acero Inoxidable 316 L	1	1398°C	8.0	350~430 MPa
Acero inoxidable 17- 4 PH	1	1404°~1440°C	7.75	815~1240 MPa
Acero de Herramientas H11	1	1480°C	7.81	1170~1735 MPa
INVAR 36	1	1340°C	8.1	337 MPa
Titanio Ti6Al4V	1	1674°C	4.4	690 ~730 MPa
INCONEL 718	1	1371~1427°C	8.2	537~631 MPa
INCONEL 625	1	1290~1350°C	8.2	570 MPa

De los diferentes materiales disponibles se seleccionaron tres materiales para ser desarrollados en el proyecto, el criterio de selección se fundamentó en el interés

industrial, sus características físico-químicas y su sensibilidad a la oxidación.

Los materiales seleccionados son:

- 1- Ti6Al4V por su avidez por el oxígeno y su aplicabilidad industrial (clínica, aeronáutica, espacial).
  - 2- Acero AISI 316 por su baja sensibilidad a la corrosión y su elevado empleo en la industria química, criogénica, alimentaria y sanitaria.
  - 3- Acero H11 como un representante de los aceros de herramientas que tienen gran empleo industrial, (matricería y automotriz entre otros)
- Caracterizar y ajustar los parámetros involucrados en la FA con este centro de mecanizado en al menos dos aleaciones base hierro.

Los parámetros básicos de fabricación están directamente relacionados con el tipo de materia prima, la morfología de la pieza, y la estrategia de fabricación (capeado).

Las diferentes variables se sintetizan en la siguiente tabla

Tabla 2 Variables del sistema DED LB/M

	Descripción	Rango
Potencia del Láser	Es la cantidad de energía calórica que se le suministra al metal para lograr la fusión	0 ~ 1200 Watts
Velocidad del Láser	Es la velocidad con la que se desplaza el cabezal depositando el material fundido	0 ~ 1200 mm/min
Velocidad de extrusión	Es la velocidad con la que se extruye el material a fundir (hilo)	0 ~ 50 mm/s
Salto entre líneas	Es la separación entre cada uno de los cordones depositados en una misma capa	0 ~ 5 mm
Salto entre capas	Es la altura que tiene cada capa en la que se ha seccionado el elemento a fabricar	0 ~ 5 mm
Flujo del gas de protección	Es la cantidad de gas de protección que se suministra durante la fabricación aditiva	0 ~ 20 l/s
Tiempos de espera	Son los tiempos que se requieren para enfriar las fibras del láser, generalmente se realizan entre capas	0 ~ 120 s



Temperatura de la pieza	Es la temperatura general de la pieza, se debe tener especial cuidado en materiales susceptiblemente frágiles.	0 ~ 120 s
-------------------------	--	-----------

Para determinar los parámetros de fabricación se deben realizar varios pasos:

El primero de ellos es el análisis de los parámetros de fusión básicos:

- Potencia del haz
- Velocidad de extrusión
- Velocidad el haz

Una vez establecidos estos parámetros ha sido necesario el análisis de parámetros más complejos como son:

- Parámetros de fabricación vertical
- Superposición de capas
- Salto entre líneas

Para obtener los parámetros básicos se realizó un DOE para obtener un cordón simple del material fundido.

Tal como puede observarse en la figura 1

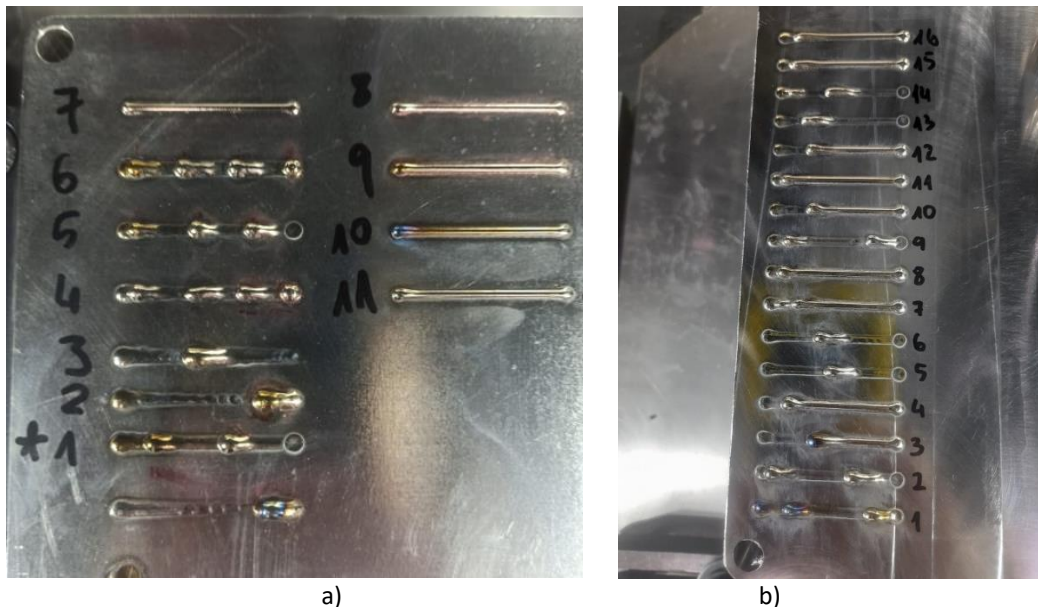


Figura 1 Estudio de la influencia de la potencia del láser y la velocidad del cabezal  
a) Ti6Al4V b) Acero H11.

Como se puede apreciar en la figura 1 a) las líneas 7 a 9 y la figura 1 b) líneas 11 y 15, poseen la potencia necesaria para obtener un cordón homogéneo. A partir de esos

valores, y considerando la altura del cordón se considera un valor más conservador de energía y se realiza en DOE para obtener los valores de las variables de velocidad de extrusión, velocidad del cabezal y salto entre líneas, esta y toda demás experimentación se ha realizado tanto para el Ti6Al4V, como los aceros 316 y H11, en la figura 2 se presenta un experimental donde se evalúa la velocidad de extrusión en líneas básicas y en elementos másicos.

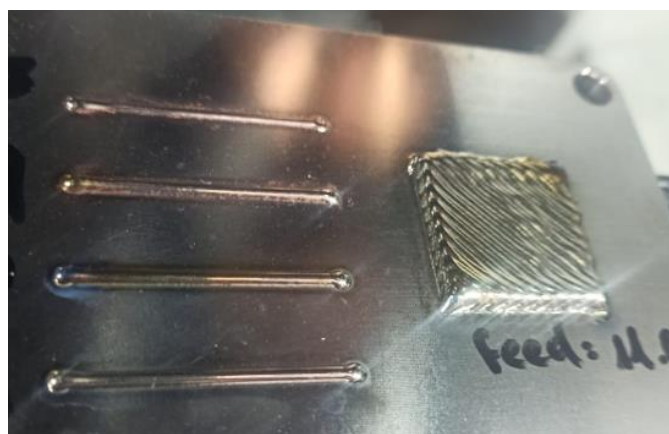


Figura 2 DOE en parámetros de extrusión

Paralelamente se evaluaba el flujo de gas de protección, como se puede observar en la figura 3 la estrategia de deposición y el nivel de gas de protección juegan un papel importante tanto en el acabado superficial (A) como en el nivel de oxidación (B).

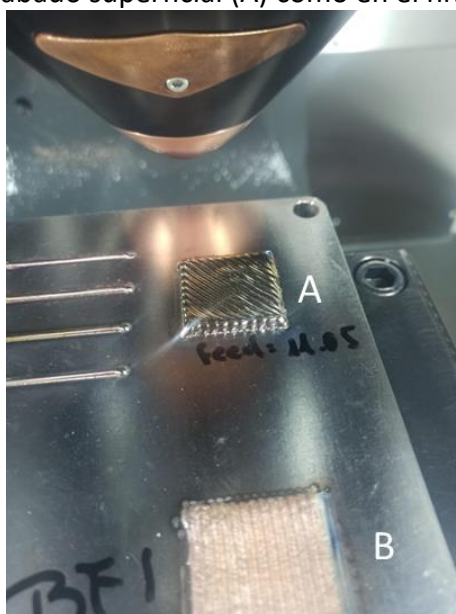


Figura 3 Fabricación con diferentes estrategias y niveles de gas de protección.

La figura 4 muestra un defecto que apareció durante uno de los ensayos, este defecto nos fue imposible de diagnosticar, para lo que gracias a la experiencia de TECNOCLAD

quien nos ha apoyado a lo largo del proyecto, ha sido de crucial ayuda para la detección de este defecto, determinamos que entre otros aspectos la calidad del haz del laser juega un papel primordial en la deposición, para ajustar la calidad de los 6 láseres se requirió de la adquisición de un dispositivo que permita ajustar el correcto posicionamiento de los mismos.



Figura 4 Diferencia en la oxidación.

La figura 5 a) muestra el equipo para el calibrado de los haces, la figura 5 b) refleja el proceso del calibrado de los haces, es importante el correcto posicionamiento de los haces para que haya una fusión correcta tanto del material de aporte como del metal base sobre el que se va fabricando.



Figura 5 Calibrado de los diferentes haces

La figura 6 muestra la realización de diversas experiencias para obtener los parámetros de fabricación en vertical, al fondo se ven los parámetros que no funcionaron y el frente,

los parámetros que prometen ser viables.

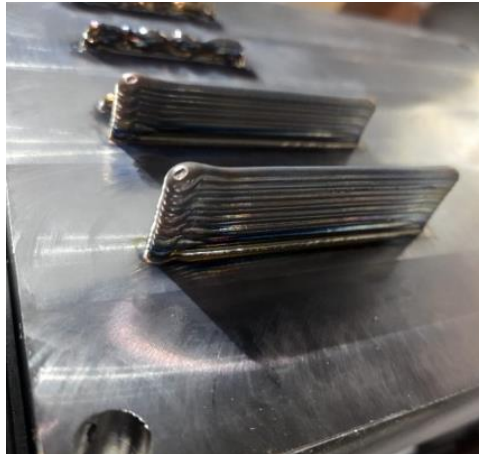


Figura 6 DOE para fabricar en altura

La figura 7 muestra defectos de descolgamiento durante la fabricación en vertical, este defecto se debe fundamentalmente a la pérdida del foco del haz de laser sobre la pieza producto de la diferencia entre los incrementos en el capeado (salto de capa) y el valor real de relleno durante la fabricación. Requiere de un ajuste mas preciso de la velocidad de extrusion del hilo.

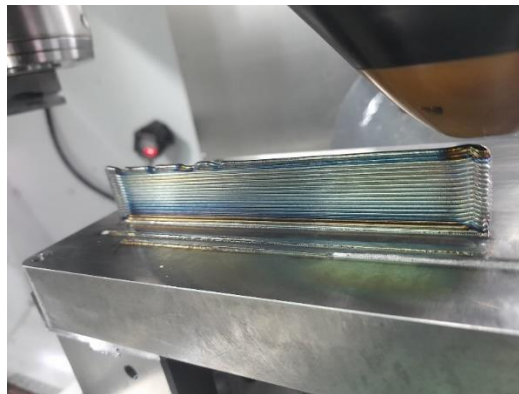


Figura 7 defectología en pared vertical

La figura 8 revela un defecto de fusión producido por un desplazamiento de la placa producido por las dilataciones y contracciones térmicas durante la fabricación.

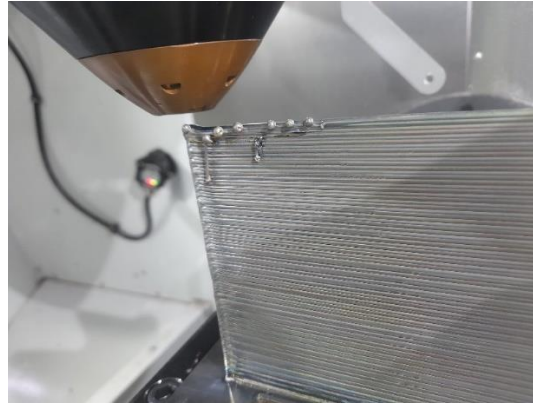


Figura 8 defecto en pared vertical H11

La figura 9 muestra la fabricación de una pared vertical realizada en acero inoxidable 316

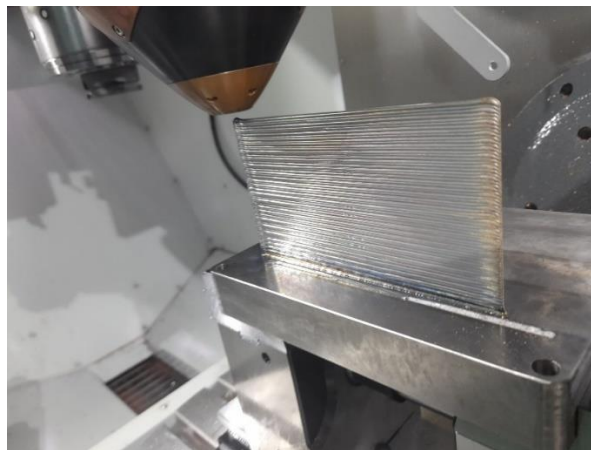
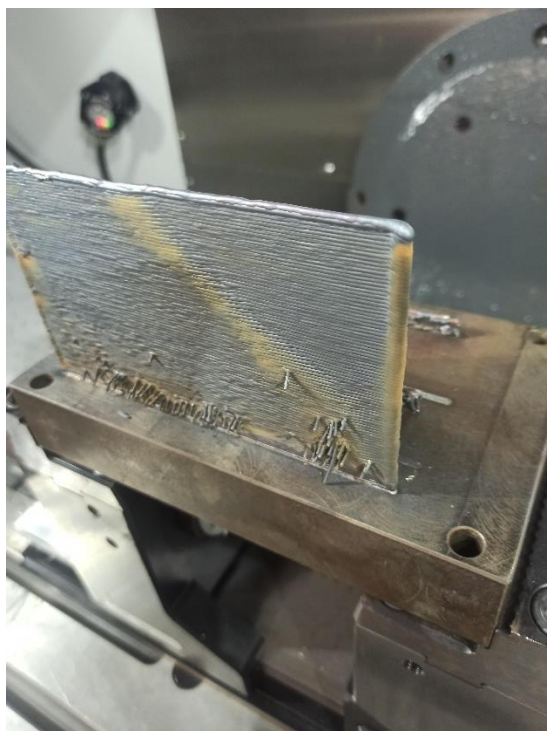


Figura 9 fabricación de pared en acero inoxidable 316

Como se puede apreciar en la figura 10 en las primeras capas de fabricación aparece un defecto de aparente sobre extrusión producto de una desviación entre lo que se deposita y lo que realmente se requiere. Para corregir este defecto se analizaron los datos recopilados hasta el momento y se cambió la tasa de extrusión mejorando la fabricación, evitando que se produzca ese defecto, como se ve en las subsecuentes capas de fabricación.





La figura 10 defectología durante la fabricación en H11

Se evaluaron diferentes estrategias de superposición de capas para disminuir los efectos que se producen en los bordes y centro de la fabricación, tal como se aprecia en la figura 11.



Figura 11 DOE de diferentes estrategias de superposición de capas

La figura 12 muestra una de las bandejas de fabricación de las pruebas realizadas para determinar el salto entre líneas y el salto entre capas.

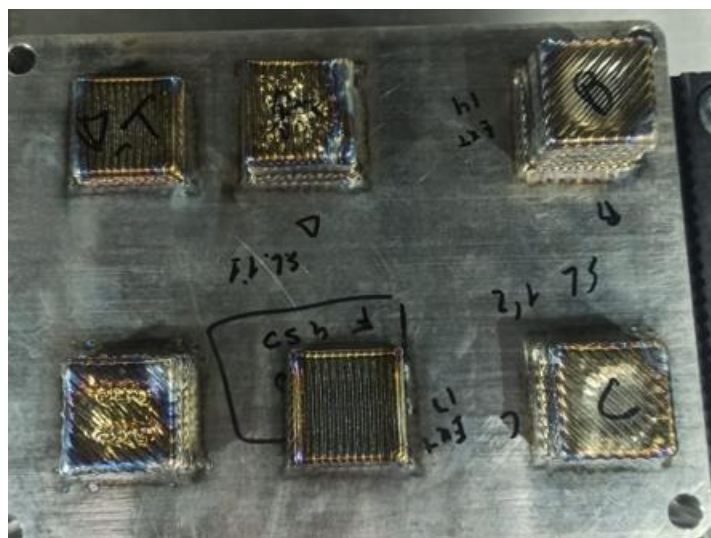


Figura 12 DOE salto entre líneas

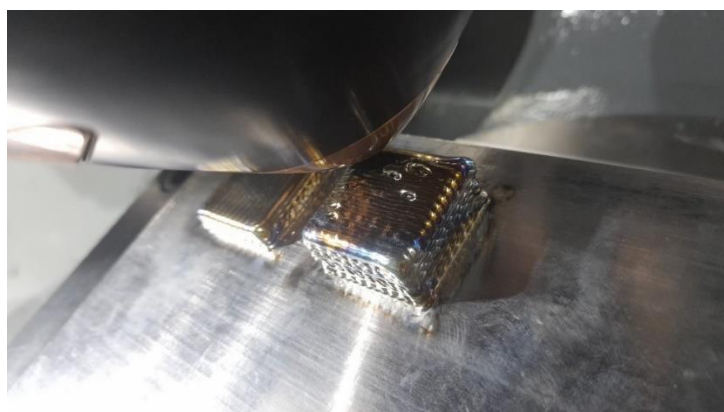


Figura 13 defectos en la deposición de capas

La acumulación de pequeñas deficiencias en la deposición de capas genera diversos defectos como el que se puede apreciar en la figura 13 y 14.

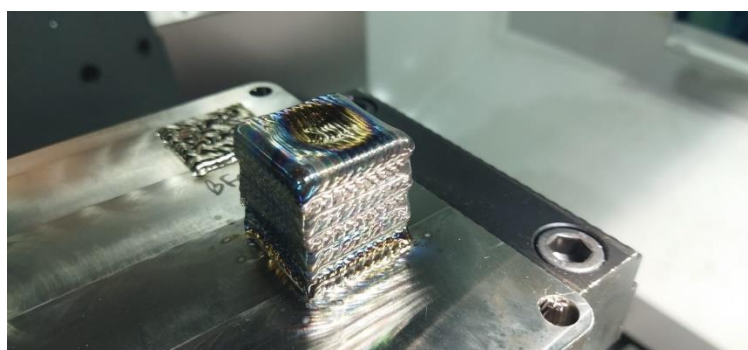


Figura 14 sobreextrusión perimetral.

Como se aprecia en la figura 14 la sobreextrusión perimetral es un defecto que se puede

minimizar, sin embargo, no se ha podido eliminar del todo. Sería conveniente poder incluir una macro en la integración CNC-DED LB/M para lograr disminuir la velocidad de extrusión en zonas perimetrales o incrementar la velocidad del cabezal.

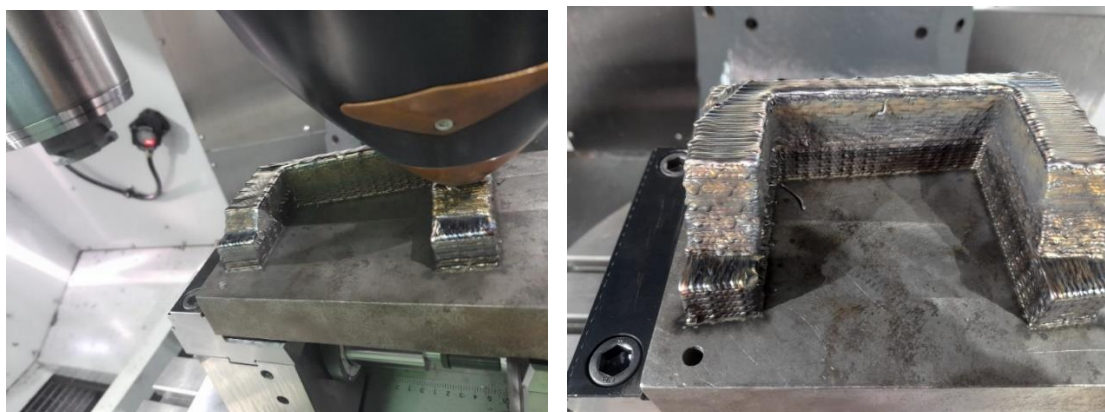


Figura 15 Dos etapas de la fabricación de un demostrador en H11

Durante la fabricación del demostrador en acero inoxidable tuvimos un fallo durante a fabricación, tal como se observa en la figura 16. Este fallo se atribuyó a una deficiencia en la potencia del láser, para comprobar que la potencia del láser es la adecuada se requirió de a adquisición de un equipo para medir la potencia real del láser como el que se muestra en la figura 17.



Figura 16 defecto durante la fabricación por deficiencia en la potencia.

Para garantizar la calidad de las fabricaciones se debe monitorizar con frecuencia la potencia del láser, así como su correcta calibración, para ello se requiere de un equipo de medición de potencia como el que se muestra en la figura 17, este equipo se adquirió para monitorizar la potencia y tener la certeza que la potencia solicitada es la que esta entregando el láser.



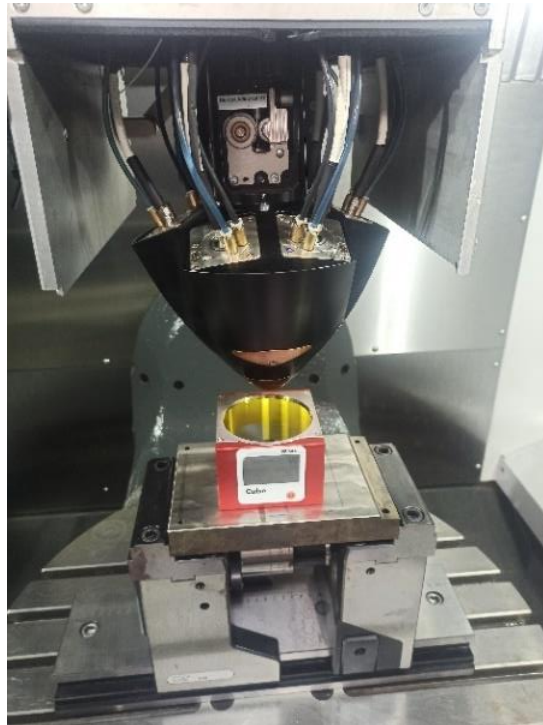


Figura 17 Medidor de potencia del laser

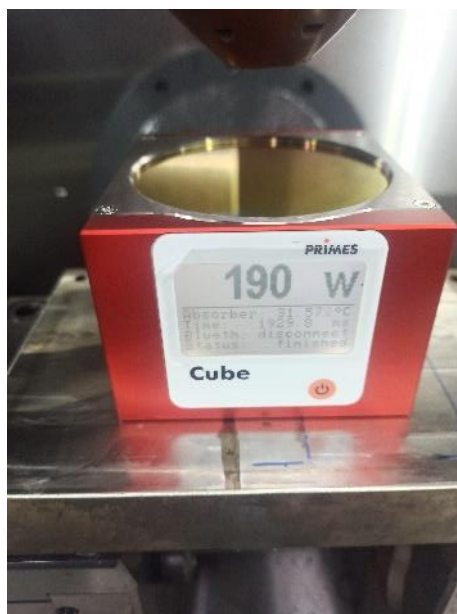


Figura 18 Medición de potencia del láser con 250W

En la figura 18 se determina que hay una variación en la potencia entregada que debería ser de 250W y realmente está entregando 190w, a realizar la comprobación del sistema, se descubrió que había dos fibras dañadas.

Como se puede apreciar en la figura 18 esta era la causa del descenso de potencia que

presentó la falla que se mostró en la figura 16. Este descenso de potencia fue por la falla de dos fibras.

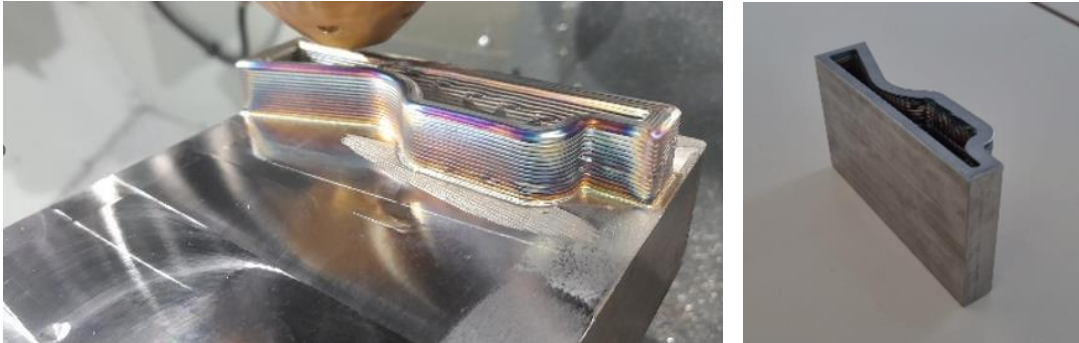


Figura 19 Dos etapas de la fabricación de un demostrador en acero inoxidable.

La figura 19 a) representa la etapa de fabricación aditiva del demostrador, la figura 16 b) pone en evidencia el demostrador acabado

### TRATAMIENTOS TERMICOS

Como se puede apreciar en la figura 20 a) las piezas fabricadas en Ti6Al4V presentan una gran tensión residual por los cambios térmicos sufridos durante la fabricación, para ello fue necesario realizarles un tratamiento térmico de alivio de tensiones a 530°C por dos horas en un ambiente de alto vacío ( $8 \cdot 10^{-4}$  mBar) en el horno de alto vacío LINN FRV 450-500-1000 Figura 20 b).

La razón de emplear un horno de alto vacío es el de garantizar que durante el tratamiento térmico no haya un incremento en el nivel de oxígeno de las piezas.



Figura 20 a) pieza tensionada de Ti64 b) horno de alto vacío Linn

Para poder tener un control sobre el proceso, fue necesario instalar una cámara termográfica que permitiera tener un control y registro de los efectos térmicos que suceden durante la fabricación. En la figura 21 a), se puede apreciar la instalación de la cámara termográfica refrigerada en la base diseñada para fijarse al cabezal del equipo

DED-LB/M-CNC y en la figura 21 b) el montaje de la cámara en el equipo DED LB/M-CNC.

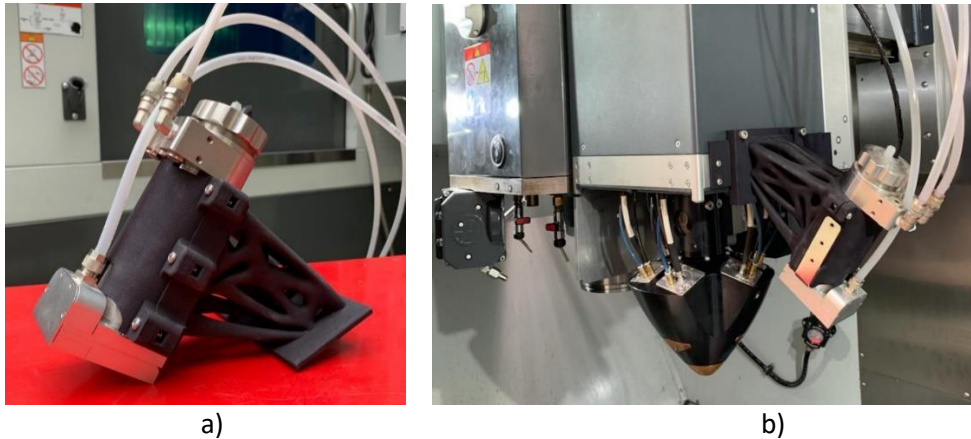


Figura 21 a) base de la cámara termográfica, b) Cámara termográfica instalada en el cabezal.

## 1.2. Desarrollo de sistema de protección contra la oxidación

Para el diseño del sistema de protección se estudiaron diversas ideas, una cámara elástica que recubra la zona de fabricación, una cuba que sirva como aislante externo, un mejor cerramiento del cuarto de fabricación, entre otras, pero cada una de estas ideas tenía bien deficiencias o imposibilidad de instalarla por la configuración y el funcionamiento del cabezal.

Por esta razón se decidió evaluar la posibilidad de instalar un sistema que gas que acompañase al cabezal durante la fabricación.

Tras recoger los datos termográficos, microestructurales y químicos durante las pruebas desarrolladas en la anterior tarea, se optó por diseñar un dispositivo toroidal acoplado al cabezal que permita generar una mayor cobertura de la zona protegida.

Este proceso contó con diversas configuraciones que se simularon, con la finalidad de conseguir una mayor protección con un menor volumen de gas.

A continuación, se describe la simulación por elementos finitos del comportamiento del prototipo escogido, para el análisis se empleó el software ANSYS 2023 R1. Para la simulación fue necesario:

- Generar un mallado de los volúmenes
- Definición de las características del fluido
- Determinación de las ecuaciones de la mecánica de fluidos
- Definición de las condiciones de contorno, áreas de entrada y salida, rugosidades, velocidades del fluido entre otros.

Se estipularon las siguientes condiciones para la realización de la simulación:

- Flujo de gas: 20 l/s (10 l/s por entrada)
- Fluido: Argón
- Velocidad del fluido en la entrada: 3.32 m/s
- Diámetro de la entrada 8 mm

Tras el desarrollo de la simulación y teniendo en cuenta los resultados del mismo, se diseñó y fabricó el dispositivo

Adicionalmente a la instalación del suministro de gas de protección (Argón) fue necesario acoplar un sistema de control que permita el flujo de gas durante la fabricación y que corte dicho suministro cuando finalice la fabricación.

#### Análisis termográficos

A lo largo del proyecto se realizaron más de 40 grabaciones del proceso con la cámara termográfica, los cuales fueron analizados para poder definir estrategias de fabricación, y posteriormente, para evaluar el comportamiento térmico durante la fabricación, así como para evaluar la capacidad de enfriamiento del sistema protector.

En las figuras 22 a), b) c) d) se recoge una secuencia de un ciclo de fabricación.

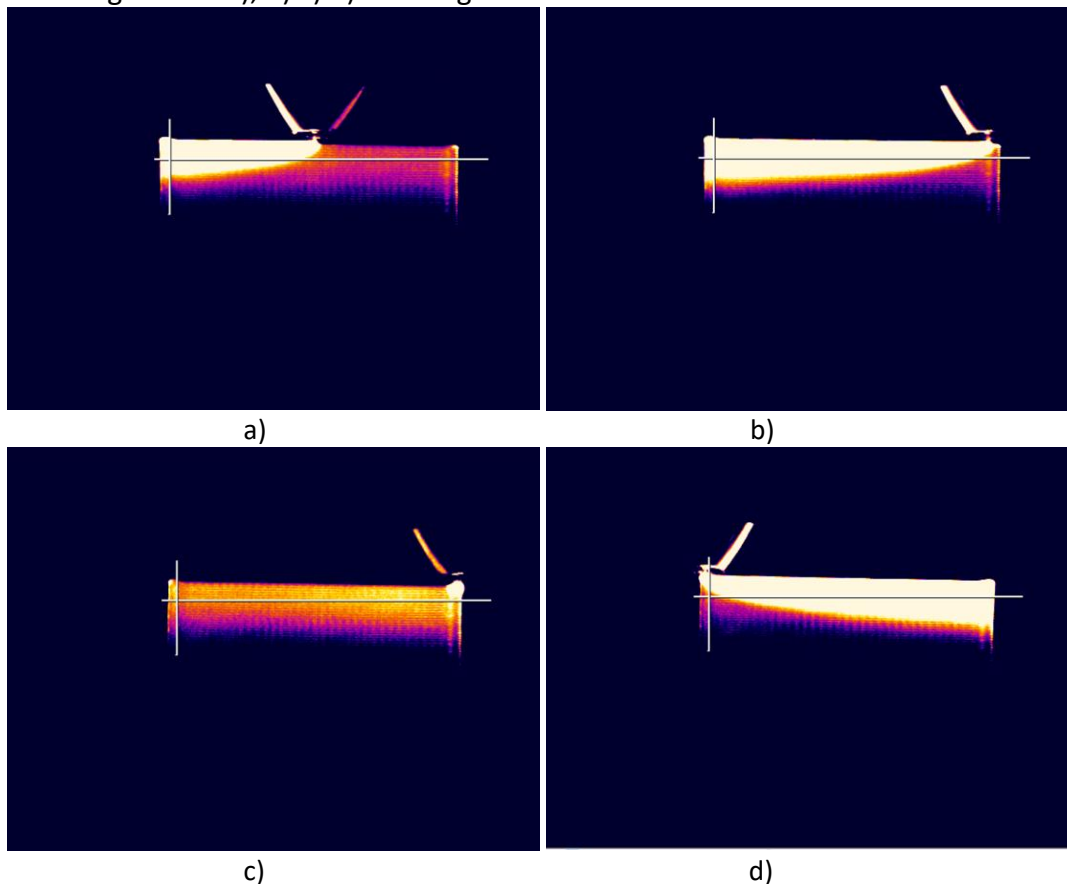


Figura 22 etapas del proceso de impresión de una capa

Como se puede observar a lo largo de los diferentes instantes hay zonas que están más calientes (zonas amarillas) y zonas mucho más frías (zonas azules).

Un aspecto que se consideró de gran importancia es determinar los tiempos en los que la pieza se encuentra por encima de los 500° C se toma esta temperatura, ya que en la bibliografía se reporta que el incremento del oxígeno dentro de la aleación, en el caso del titanio ese sucede a temperaturas mayores a los 500° C.

A continuación, en la figura 23 se recoge una recopilación de los tiempos en la que la placa, en este caso de titanio, se mantiene por encima de 500° C.

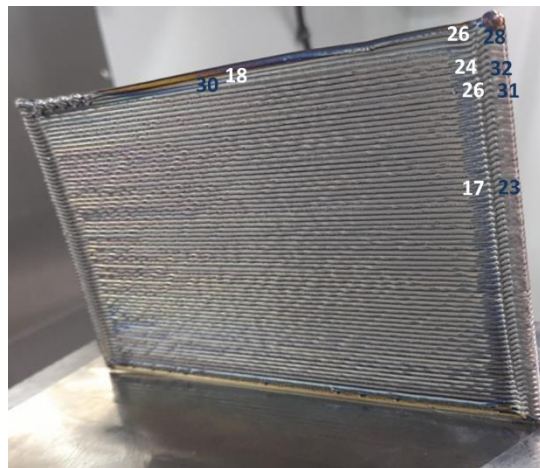


Figura 23 tiempo de permanencia por encima de 500°C

Como se puede observar, en la figura 23, los tiempos denotados con letras azules son los tiempos en los que esa región de la placa estuvo por encima de 500° C en el caso de fabricaciones sin sistema de protección y los señalados con letras blancas se refieren a los tiempos por encima de 500°C durante la fabricación con el sistema de protección.

Tal como se aprecia hay una disminución de los tiempos en los que la placa se encuentra por encima de los 500° C, en la zona central se disminuye hasta 40% mientras que en el lateral la disminución de tiempos oscila entre un 8 y un 27%.

En las siguientes figuras 24 a) y b) se representan el instante del fin de la deposición de la capa 60, en el caso de la figura 24 a) sin el dispositivo de protección y en la 24 b) con el dispositivo de protección. Se puede notar la influencia del dispositivo en la disminución de la temperatura general del proceso, al observarse una mayor área amarilla (alta temperatura) así como el ancho (altura de la zona) de alta temperatura.

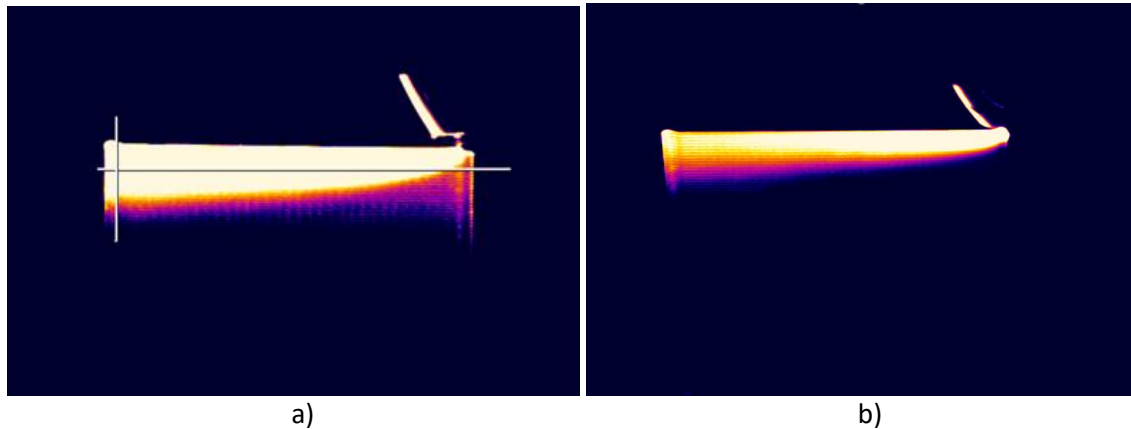


Figura 24 Final de la capa 60 en Ti6Al4V, a) sin sistema protector, b) con el dispositivo protector.

Una conclusión clara que se puede obtener de estos resultados es que además de servir de sistema de protección es un dispositivo que disminuye sustancialmente los tiempos de enfriamiento durante la fabricación.

### 1.3. Caracterización mecánica, químico y microestructural.

#### Caracterización químico-microestructural

Se realizaron múltiples análisis por EDX sobre diferentes muestras fabricadas con y sin el dispositivo de protección.

Inicialmente se empezó con un acero inoxidable 316 por su baja sensibilidad a la corrosión y su elevado empleo en la industria química, criogénica, alimentaria y sanitaria.

Posteriormente se empleó una aleación de Titanio, Ti6Al4V por su elevada avidez por el oxígeno y por su excelente aplicabilidad industrial (clínica, aeronáutica, espacial).

Por último, se empleó un acero especial, un acero de herramientas por su aplicabilidad directa en la posibilidad de fabricar piezas, moldes, herramientas con esta tecnología, que con la tecnología tradicional es mucho más laboriosa.

A continuación, los resultados obtenidos de diferentes análisis por DRX de un 316 fabricado sin el sistema de protección.

Si	0,93
Cr	18,91
Mn	1,82
Fe	64,02
Ni	11,74



Mo	2,58
Total:	100

El análisis composicional, no refleja contenido de oxígeno en la muestra másica.  
Se realiza un Linescan para determinar si hay presencia de oxígeno en la muestra.

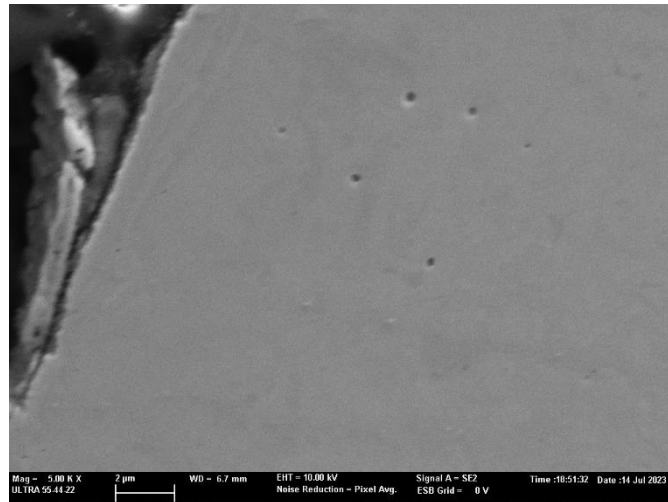


Figura 25. Zona de la muestra sobre la que se realizó el análisis

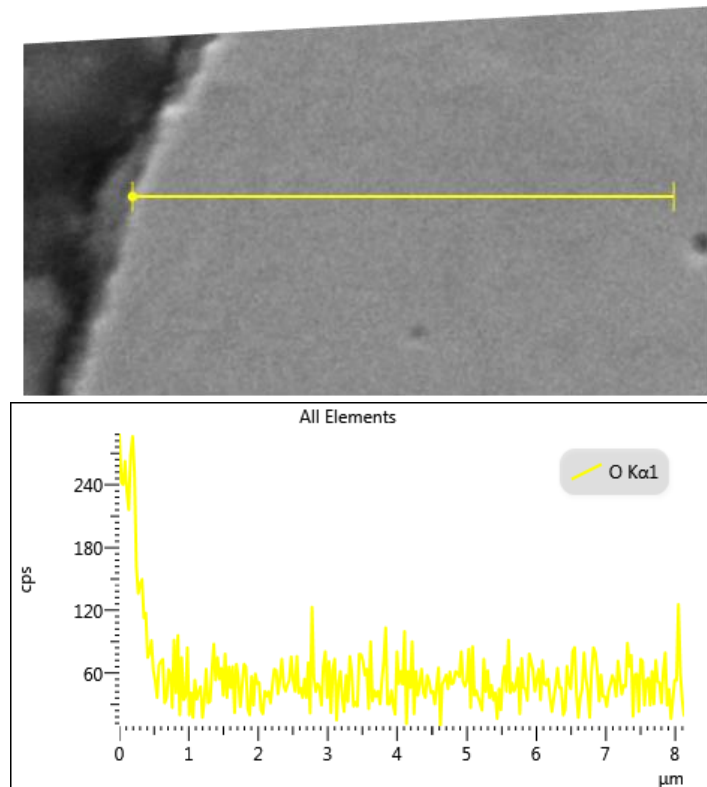


Figura 26. Resultados análisis

Como se puede observar existe una pequeña película con mayor contenido en oxígeno,

pero que escasamente tiene un espesor de 0,5 mm.

Para corroborar se realizaron otros análisis en diferentes zonas y se obtienen resultados similares.

Se descarta el acero inoxidable para ser empleado como patrón de evaluación y se decide emplear como metal patrón el Ti6Al4V que posee una gran afinidad por el oxígeno y tiene una elevada aplicabilidad industrial.

Para el caso del Ti6Al4V

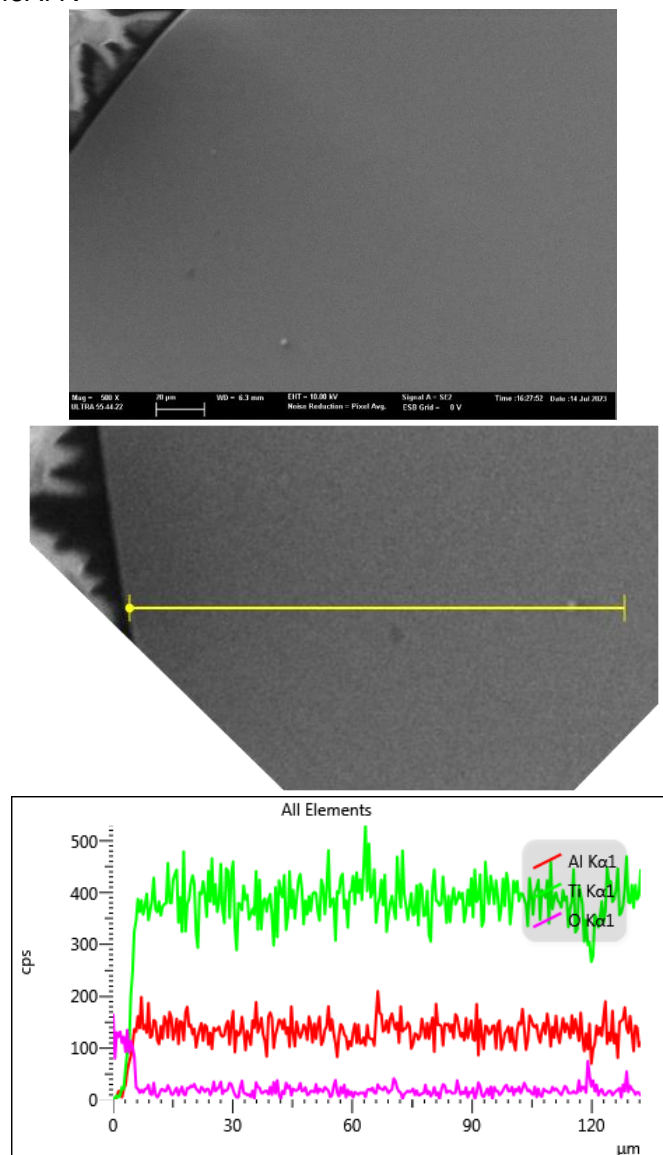


Figura 27. Resultados análisis

Se realizó un line scan para determinar la evolución del oxígeno dentro de la probeta y



se intuye una zona estrecha con un ligero incremento en el nivel de oxígeno.

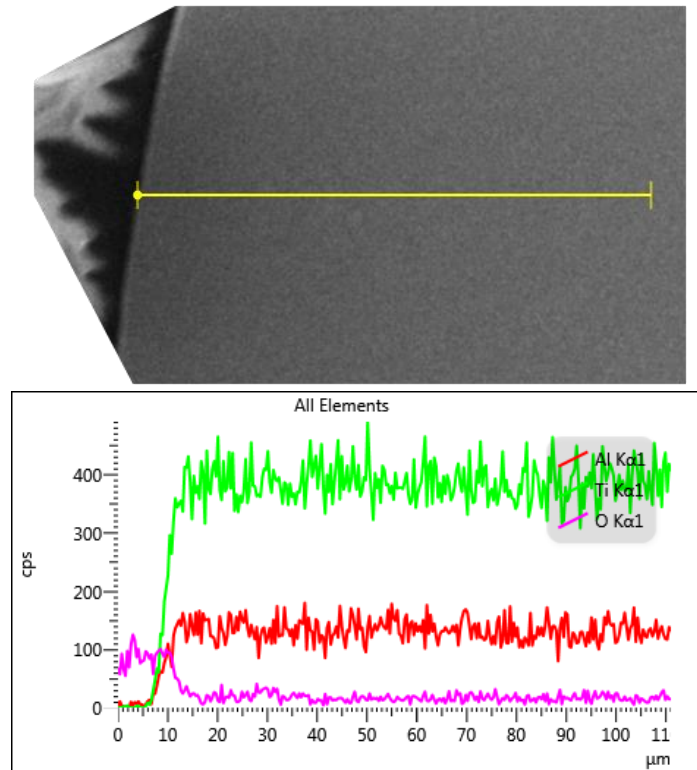
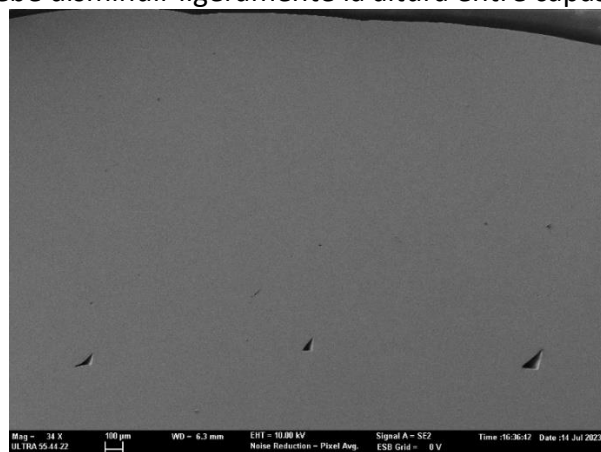


Figura 28. Resultados análisis

En este caso se advierte que es a partir de las 10 mm donde aparecen los metales y es a partir de ese punto que el contenido de oxígeno va disminuyendo, se puede concluir que el espesor de la capa con un mayor contenido de oxígeno es de escasas 5 mm.

Se realizó un mapping de concentración de elementos sobre el corte transversal de una probeta, donde además se observa una falta de fusión-relleno entre capas, este defecto, nos indicó que se debe disminuir ligeramente la altura entre capas.



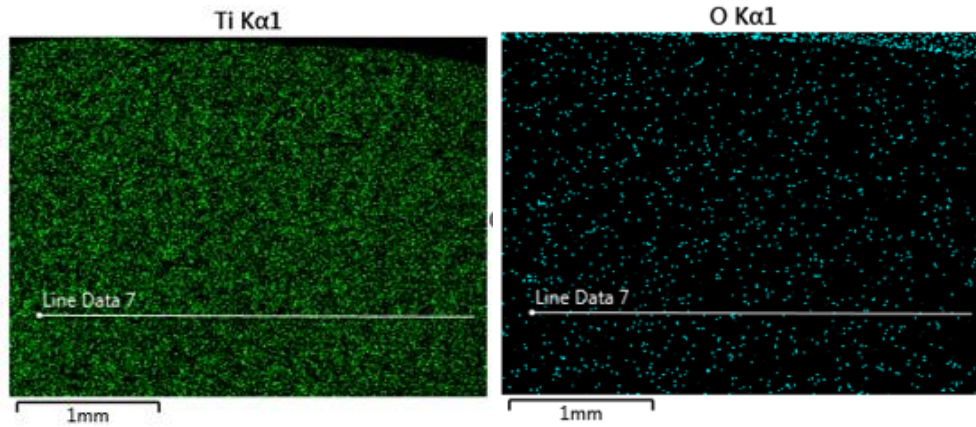


Figura 29. Resultados análisis

Se puede apreciar que la distribución de oxígeno a lo largo de la probeta metálica es homogénea.

Después de corregir el salto entre capas se realizó una fabricación de un testigo másico de 40\*40\*50 mm para corroborar la estabilidad de los parámetros. El cubo se cortó por corte por hilo realizado por LEMARLEBEN en el plano X-Z como se muestra en la siguiente figura



Figura 30. Muestras

Se realizaron diferentes observaciones en diferentes cortes a lo largo de la placa de 1,5\*40\*50 mm y se observó como se puede advertir en la siguiente figura que existe una zona de “alpha case” de unas 140 μm.

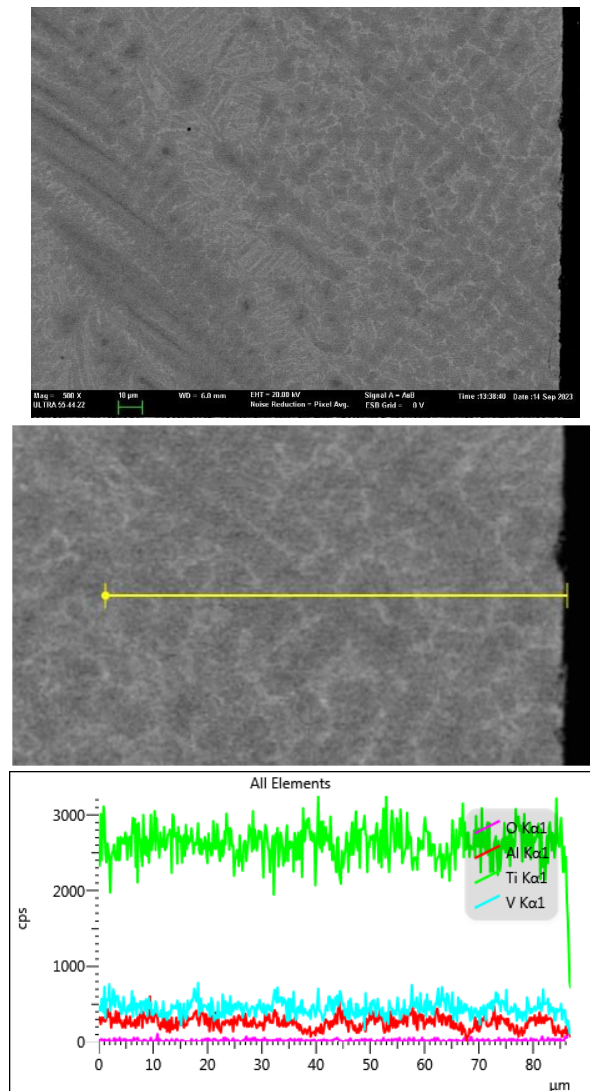
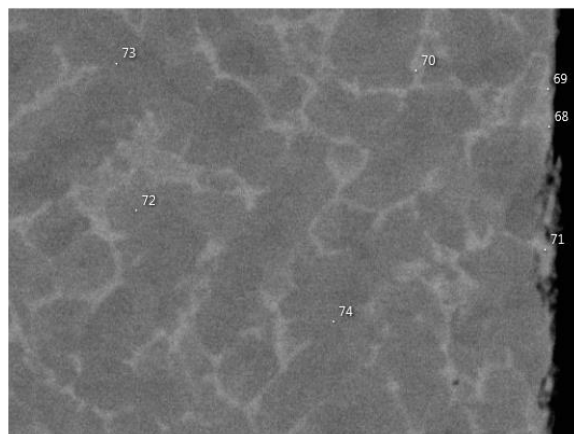


Figura 31. Resultados análisis

Como se puede apreciar, el nivel de oxígeno es estable a lo largo de la zona, se realizó un análisis de espectro puntual

Electron Image 27



	68	69	70	71	72	73	74
O	14,71	8,21	2,55	2,64	4,83	4,1	4,35
Al	5,94	6,86	7,28	7,17	5,11	4,78	4,55
Ti	74,83	79,45	82,35	82,28	87,86	88,72	88,65
V	4,52	5,48	7,83	7,91	2,21	2,41	2,45

Figura 32. Resultados análisis

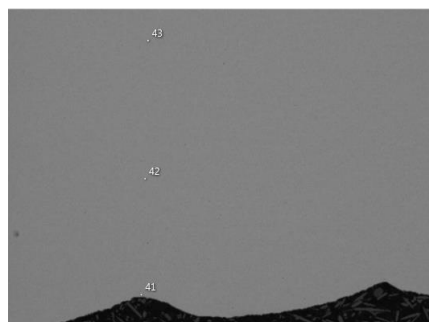
El análisis puntual por EDX revela contenidos de oxígeno muy superiores a los esperados, el software de análisis tiene una compensación para elementos de bajo peso molecular, los coeficientes de confiabilidad son aceptables, sin embargo estos valores están muy por encima de los valores que pueden existir.

Sin embargo, si se puede considerarse como valores cualitativos, y se advierte que las zonas blancas, tienen un menor contenido de oxígeno, así como la zona superficial contiene un mayor nivel de este.

En el caso del acero H11 tras el proceso para determinar los parámetros de fabricación se realizaron diversas caracterizaciones a las probetas y también se incluyó la microscopía electrónica de barrido.

Para cuantificar el contenido de oxígeno se realizaron diferentes análisis puntuales sobre la muestra.

Electron Image 17



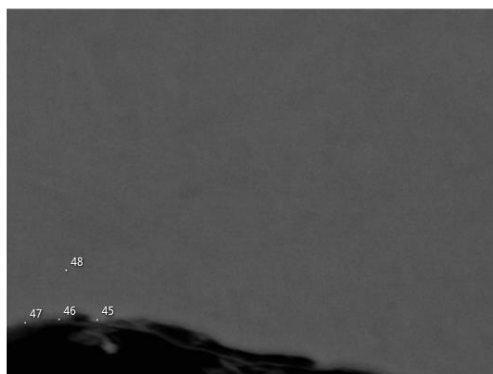
	41	42	43
C	7,14	6,36	7,96
O	0,14	0,1	0,18
Si	0,98	1,01	0,96
V	0,48	0,57	0,4
Cr	6,11	4,71	5,45
Mn	0,52	0,47	0,58
Fe	83,72	86,46	82,97
Mo	0,91	0,31	1,51

Figura 33. Resultados análisis

Como se puede apreciar en la zona másica del material la concentración de oxígeno está por debajo del 0,2 % que parte de ese oxígeno puede ser contaminación y exposición de la muestra al ambiente.

Se realiza un análisis a mayores aumentos sobre la zona del borde.

Electron Image 19



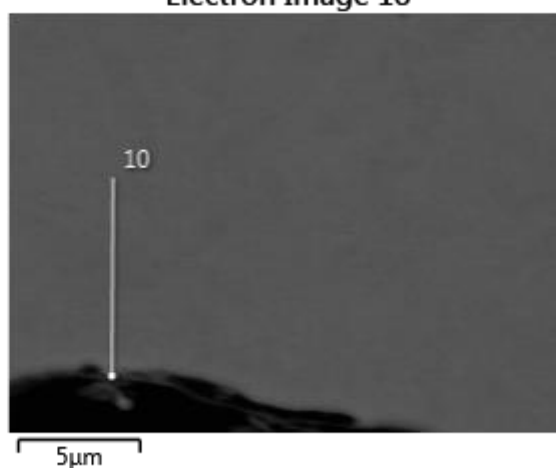
5µm

	45	46	47	48
O	8,31	5,8	3,85	0,09
Cr	7,41	5,49	6,63	5,99
Fe	84,28	88,7	89,52	93,92

Figura 34. Resultados análisis

Para verificar estos valores se realiza un linescan sobre la muestra, en las siguientes figuras se muestran los resultados.

Electron Image 18



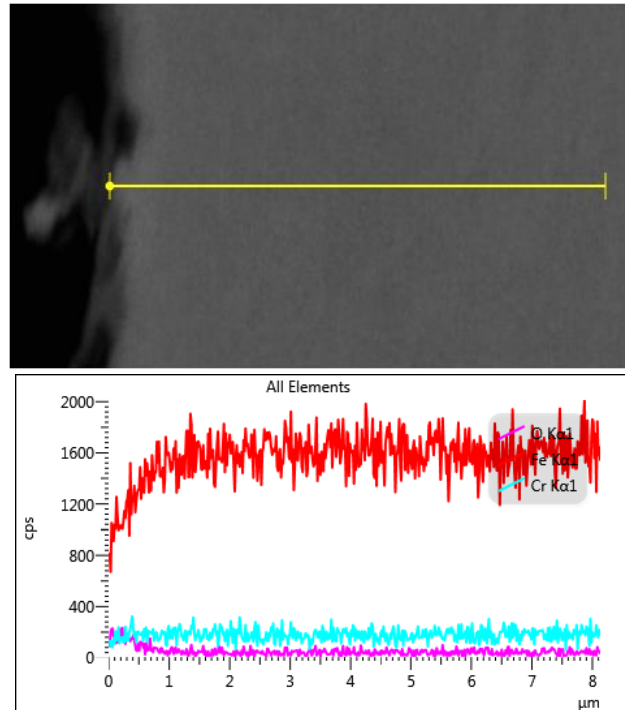


Figura 35. Resultados análisis

Se determina que efectivamente la zona con un mayor contenido en oxígeno es la capa superficial y no es superior a media micra y que en la zona másica de la probeta el contenido es constante y bajo.

La protección que brinda el sistema integrado del equipo es en cierto modo suficiente para materiales poco reactivos como el acero y acero inoxidable. En el caso del titanio al ser este mucho más reactivo, se requiere de un sistema de protección adicional. En cuanto al comportamiento de las paredes verticales y los cubos fabricados con el dispositivo de protección, se describe a continuación los ensayos realizados.

Se realizaron estudios sobre paredes verticales y sobre un cubo másico de 40\*40\*52 mm como los de las figuras que se muestran a continuación.

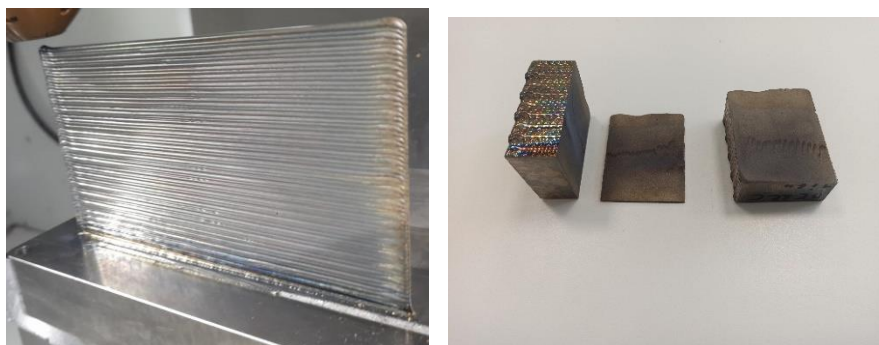
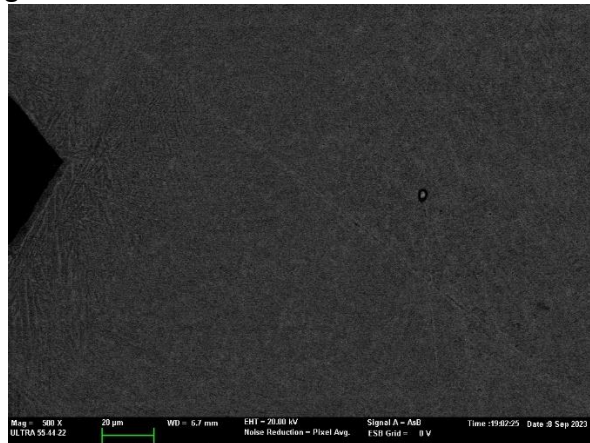


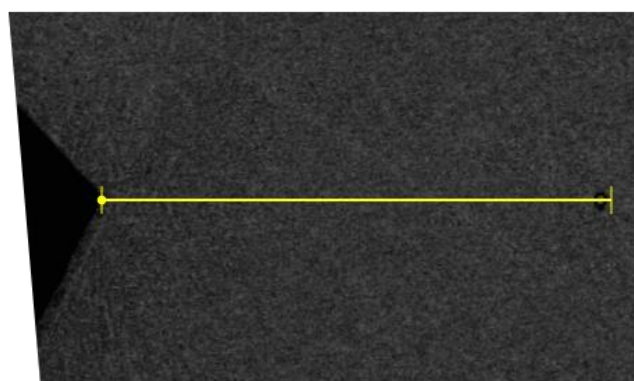
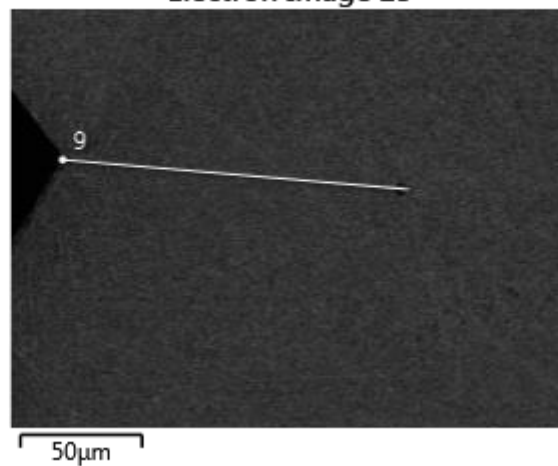
Figura 36. Muestras



En el caso del Ti6Al4V que ha demostrado tener mas avidez por el oxigeno, se le realizaron diversos análisis, a continuación se presenta un par de ellos que resumen el comportamiento en general.



Electron Image 23





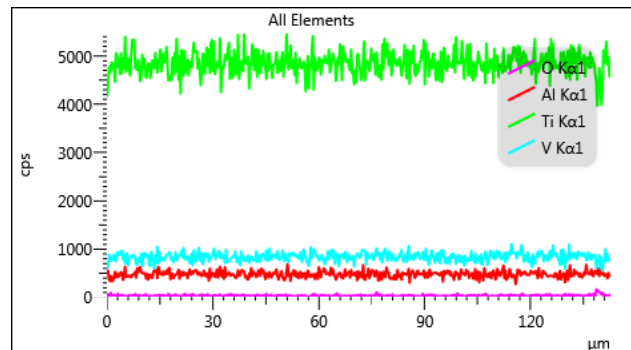


Figura 37. Resultados análisis

A bajos aumentos 500X se vislumbra una estructura tipo acicular en la periferia de la pieza que se corresponde a los enfriamientos bruscos que se soporta durante la fabricación, sin embargo el line scan no revela ningún cambio en la composición de oxígeno a lo largo de las 130 micras, aunque si se vislumbra un pico de oxígeno en la pequeña porosidad presente.

Se realizaron múltiples análisis adicionales, algunos de estos se recogen en el entregable 4.1. de los múltiples análisis se concluye que el comportamiento del nivel de oxígeno a lo largo de la pieza con el sistema de protección es homogéneo y por debajo de los límites permisibles de la norma, corroborando las bondades del sistema de protección.

A continuación, se presenta una imagen donde se recogen los valores del nivel de oxígeno en una pared vertical con y sin sistema de protección, se puede notar que sin el dispositivo de protección valores en negro (los que están por debajo del límite para fabricar piezas de responsabilidad) y en rojo los que están por encima del valor estándar. Y por otro lado en color claro los valores obtenidos tras el empleo del sistema de protección. Se puede notar que en este caso todos los valores cumplen con la normativa para la fabricación de piezas de responsabilidad o incluso piezas para el sector sanitario, este valor se sitúa en 0,13 y se aprecia que con el dispositivo PROTECTOR todos los valores se encuentran por debajo del estándar.

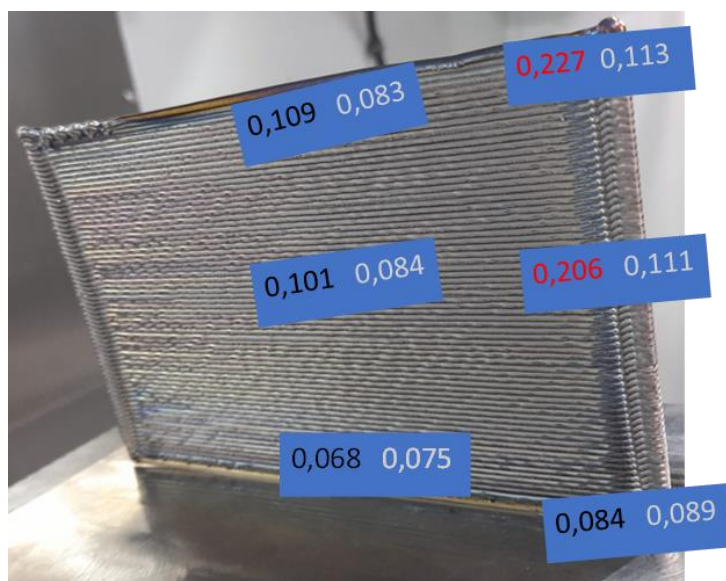


Figura 38. Comparativa de los niveles de oxígeno con y sin protector

Con los resultados obtenidos y viendo el potencial que este dispositivo genera, se plantea la posibilidad de solicitar una patente o un registro de modelo de utilidad ante la Oficina Española de Patentes y Marcas.

Se realizó una petición ante la OEPM de un informe tecnológico de patentes sobre un dispositivo PROTECTOR, este informe fue evaluado y se decidió realizar la solicitud de registro de modelo de utilidad titulado “DISPOSITIVO PROTECTOR PARA SISTEMAS DE FABRICACIÓN ADITIVA DE METAL POR HILO O POR DEPOSICIÓN DE POLVO METÁLICO”.

### Caracterización Mecánica.

Se realizaron ensayos mecanicos de dureza y traccion que se resumen a continuacion

	Dureza HV	Esf Fluencia MPa	Resistencia máxima MPa
Acero AISI 316	220	362	637
Acero AISI 316 con protector	212	356	633
Acero H11	516	-	-
Acero H11 con protector	566	-	-
Ti6Al4V	315	-	-
Ti6Al4V con protector	312	-	-

Ensayo de tracción sobre probeta de Acero 316



Figura 39 Ensayo de tracción

Se puede apreciar que en cuanto a propiedades mecánicas el empleo del sistema PROTECTOR modifica ligeramente las propiedades mecánicas, en el caso del Ti y del acero inoxidable, la mayor protección implica un ligero descenso en las características mecánicas, se atribuye a que el oxígeno disuelto en la matriz sirve de elemento endurecedor. En el caso del acero H11 se nota un incremento en las propiedades mecánicas y se atribuye a la mayor velocidad de enfriamiento que genera el dispositivo PROTECTOR.

## 2. Desarrollo de demostradores

### 2.1. Estudio y definición de reglas de diseño con tecnología híbrida DED LB/M-CNC

La fabricación aditiva permite crear piezas metálicas complejas, sin embargo, hay pautas de diseño específicas que deben seguirse para garantizar la optimización del proceso. En el desarrollo de esta guía se ha abordado principalmente la construcción de voladizos (Un voladizo es un elemento estructural rígido que se encuentra apoyado sobre otro elemento de un único lado, quedando así una buena parte de su superficie sin punto de apoyo aparente).

Tras el desarrollo de las actividades anteriores es sabido que la tecnología híbrida no soporta ángulos de voladizo elevados debido al alto aporte energético que requiere para depositar el filamento fundido capa a capa. Por ello, se ha planteado un experimental tal como se muestra en la figura 40 donde se han construido paredes de 4mm de espesor, 30mm de ancho y 35mm de altura. Esto nos permite comprobar la flexibilidad del proceso para producir paredes inclinadas respecto a la horizontal.

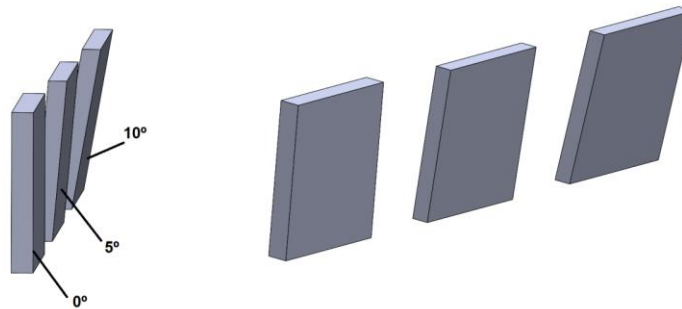


Figura 40 Test de voladizos

Las piezas se han producido en tecnología DED, en material acero inoxidable 316L.  
Resultados:

En la siguiente figura se muestran las paredes construidas en 316L sobre la placa de fabricación.

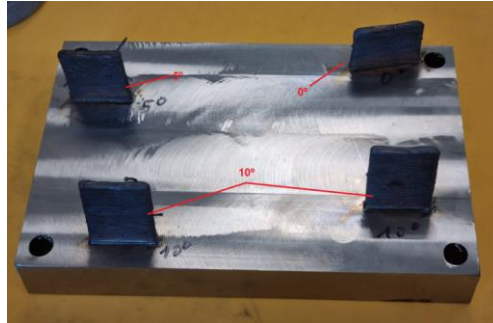


Figura 41. Voladizos fabricados en tecnología DED

Tal como se muestra en la figura 42, la pared de 90 grados se construye sin problemas de descuelgue en las dos caras, sin embargo, a medida que inclinamos la pared se observa una superficie más irregular en la cara negativa (cara de voladizo). A pesar de todo, las piezas se han podido construir sin paradas ni problemas mayores en el proceso, por tanto concluimos que, al menos, la tecnología nos permite crecer paredes ciertamente anguladas, a pesar de que se debería tener en cuenta un repasado o mecanizado de las mismas, en el caso de que la rugosidad o la irregularidad no sea admisible por la pieza.



Figura 42 Test de voladizos en tecnología DED

Estas son las reglas que podemos incorporar para el diseño y la fabricación aditiva en metal con el equipo DED LB/M:

1. Tener en cuenta la orientación de la geometría para favorecer un mejor acabado de las piezas y evitar rebabas.
2. Se debe dejar una sobre altura de 5 mm en la base para permitir el corte de la pieza después de acabada.
3. Paredes con una inclinación inferior a 10°, preferiblemente 5° para evitar descuelgues y más tiempo de postprocesado. Como se aprecia en la ilustración 3
4. Espesor mínimo de pared 2 mm, que corresponde a 1mm efectivo más (0.5 + 0.5) en fabricación.
5. El Espacio mínimo posible entre dos partes o paredes contiguas de 2 mm, para permitir los descuelgues durante la fabricación.

	VALORES
Mínimo de ancho de pared recomendable antes del mecanizado	1 + (0.5 + 0.5) 2 mm
Mínimo de ancho de pared recomendable tras el mecanizado	1 mm
Máxima inclinación para fabricación	10°
Detalles posibles de relieves en la superficie	X: 0.5+0.5 mm, Y: 0.5+0.5 mm Z: 0,8 mm
Espacio mínimo posible entre dos partes.	2 mm

## 2.2. Desarrollo de los demostradores para empresas.

Durante las diversas reuniones establecidas con las empresas asociadas al proyecto, así como con otras empresas de la comunidad se plantearon diversos bosquejos de demostradores.

La gran mayoría de ellos (ejes, pasadores, soportes de diferentes configuraciones) se descartaron porque la morfología de estas fundamentalmente es idónea para la fabricación tradicional, es decir piezas másicas, con configuraciones muy elementales, sólidos de revolución o prismática, elementos que per se, son idóneos para procesos de arranque de viruta (torneado, fresado etc.).

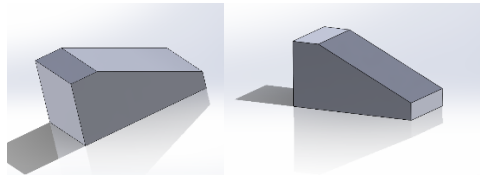


Figura 43 Piezas prismáticas

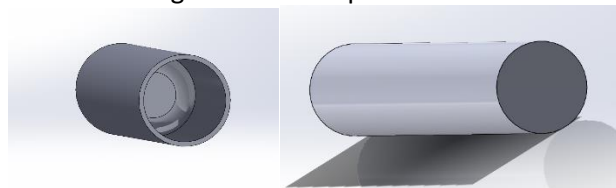


Figura 44 Piezas de revolución

Otro bloque de demostradores se descartó por lo complejo o voluminoso de los demostradores, como son moldes y/o piezas estructurales.

Finalmente se hizo una selección de 4 demostradores de los cuales se realizaron pruebas preliminares de estos sin el dispositivo de protección como se muestra en la figura 46.

Tras la selección de los 4 posibles demostradores lo primero es crear el sólido parametrizado, con la ayuda de solidworks, en esta etapa hay que tener especial atención en cuanto a dimensiones y tolerancias. Modelada la pieza en solidworks se exporta en formato step o stl. Step “STEP es la sigla de Standard for the Exchange of Product Data (Estándar para el intercambio de modelo de datos de producto), también conocido como ISO 10303. Este tipo de archivo, que se emplea con frecuencia para la impresión y el modelado en 3D, es un formato de intercambio estándar ISO.”

Stl “El STL es un formato de archivo que se usa con frecuencia para la impresión en 3D y el diseño asistido por computadora (CAD). Es la sigla de “Stereolithography” (estereolitografía), una conocida tecnológica de impresión en 3D.”

Con la pieza seleccionada, modelada y exportada en un archivo apto para la impresión

3D, se plantea en este caso la estrategia de fabricación con la ayuda del programa SPRIT que es con el que mejor se puede obtener el código con el que la máquina puede realizar el proceso de fabricación. Para generar el código G para la fabricación, es necesario tomar en cuenta que estrategia se va a emplear en la fabricación, es decir las trayectorias que va a seguir el cabezal de fabricación.

En la definición de estrategias hay que seleccionar como punto de partida si se desea imprimir contornos que pueden ser solo contorno externo, contorno externo e interno o sin contorno, adicionalmente cuantos contornos se desea.

En cuanto a el relleno, se puede seleccionar sin relleno, en zigzag, unidireccional, contornos paralelos, y espiral. Adicionalmente se puede seleccionar si es desde afuera hacia adentro o viceversa.

A continuación, se presenta unas líneas del código G de una fabricación aditiva de un demostrador. El código G completo, puede llegar a tener más de un millón de líneas.

```
00001 ( Program )
( ESPRIT TNG BUILD: 20.502.0.21985 )
( MACHINE NAME : Haas_UMC-1000SS )
( MACHINE REVISION: V4.513 )
( POST PROCESSOR : Haas_VerticalSeries_V4.745 DWG G254 )
(07/11/2022 11:11:29)
```

```
(***** TOOL LIST *****)
( T123 | ANCHO 1.2 ALTO 1.2 HILO Ø1 )
(*****)
```

```
G00 G17 G21 G40 G80 G94
G90
```

```
M59 P97 (SAFETY RELAY & ARGON)
N10 T123 M06 (Ancho 1.2 Alto 1.2 Hilo Ø1)
M59 P94 (DEPLOY ENGINE)
G04 P15. (TIMER TO DEPLOY HEAD)
```

```
(Deposición plana)
```

```
G17
G54
G90
M11
M13
G00 B0. C0.
G00 X8.037 Y-48.971
G00 G43 H123 Z2.
G01 G94 Z0. F100.
G04 P15.
```

```
M01 (LAYER 1)
```

```
M29 P96 (LASER ON)
```

```
G01 X8.013 Y-49.93
G01 X7.944 Y-50.806
G01 X7.833 Y-51.672
G01 X7.679 Y-52.531
G01 X7.482 Y-53.381
G01 X7.243 Y-54.22
```

```
M29 P95 (LASER OFF)
```

```
G00 X-43.342 Y-40.228
```

```
M29 P96 (LASER ON)
```

```
G01 X-43.619 Y-41.38 F600.
```

```
G01 X-43.843 Y-42.463
```

```
G01 X-44.032 Y-43.552
```

**Fase de preparación de máquina  
Despliegue de cabezal**

**Arrancada laser**

**vectores de deposición**

**Parada laser**

Figura 45. Código G



Posteriormente tras la generación del código G con las estrategias de deposición escogidas se requiere definir los parámetros de deposición. Los parámetros disponibles y sus rangos se resumen en la siguiente tabla

	Descripción	Rango
Potencia del Láser	Es la cantidad de energía calórica que se le suministra al metal para lograr la fusión	0 ~ 1200 Watts
Velocidad del Láser	Es la velocidad con la que se desplaza el cabezal depositando el material fundido	0 ~ 1200 mm/min
Velocidad de extrusión	Es la velocidad con la que se extruye el material a fundir (hilo)	0 ~ 50 mm/s
Salto entre líneas	Es la separación entre cada uno de los cordones depositados en una misma capa	0 ~ 5 mm
Salto entre capas	Es la altura que tiene cada capa en la que se ha seccionado el elemento a fabricar	0 ~ 5 mm
Flujo del gas de fabricación	Es la cantidad de gas de protección que se suministra durante la fabricación aditiva	0 ~ 20 l/s
Tiempos de espera	Son los tiempos que se requieren para enfriar las fibras del láser, generalmente se realizan entre capas	0 ~ 120 s
Temperatura de la pieza	Es la temperatura general de la pieza, se debe tener especial cuidado en materiales susceptiblemente frágiles.	0 ~ 2000° C

Con la ayuda de la guía de diseño se puede seleccionar los parámetros de fabricación y así proceder a la fabricación de los diferentes demostradores, inicialmente se fabricaron cuatro sin el dispositivo de protección.

Parámetros empleados para la fabricación de los demostradores

	Demo 1 Ti64 (PROTECTOR)	Demo2 Acero 316 (PROTECTOR)
Potencia del Láser	700 W	700 W
Velocidad del Láser	450 mm/min	450 mm/min
Velocidad de extrusión	12.5 mm/s	12.4 mm/s

Salto entre líneas	1 mm	1 mm
Salto entre capas	1.2 mm	1 mm
Flujo del gas de fabricación	20 (12) l/s	8 (6) l/s
Flujo del gas de protección	0 (20) l/s	0 (16) l/s

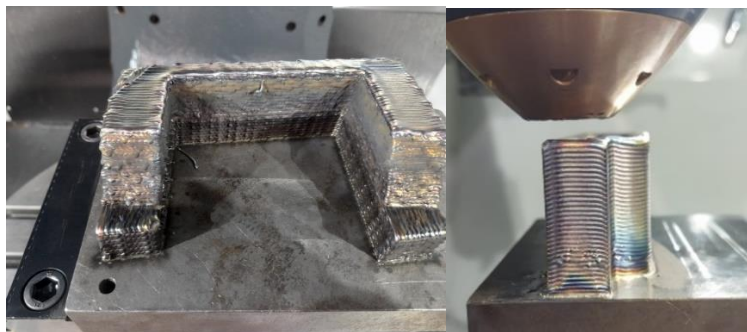


Figura 46 fabricación de los demostradores sin el dispositivo de protección

Finalmente, se escogieron dos demostradores para ser elaborados empleando el dispositivo de protección PROTECTOR.

La decisión de escoger los demostradores se fundamentó en buscar dos opciones que respondan de manera diferente a las características de fabricación aditiva y así nos sirva para cualificar en cierta manera las bondades y rendimientos del proceso DED LB/M en contra del proceso clásico de mecanizado.

Por ello se escogió una pieza de pared cerrada como se aprecia a continuación en la figura 47 y 48, y una pieza másica con diferentes morfologías, características y requerimientos más indicados para un proceso de mecanizado como la que se muestra en la figura 49.

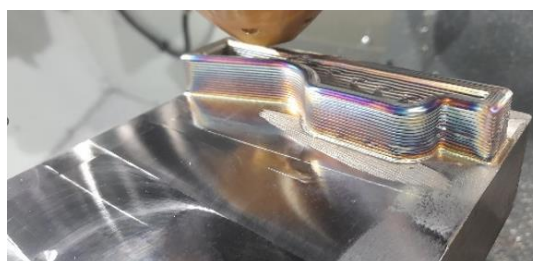


Figura 47 Desarrollo de la fabricación del demostrador 1 durante la etapa de aditiva



Figura 48 Demostrador 1 a) fabricado sin protector, b) demostrador 1 acabado con protector



Figura 49 Demostrador 2 acabado con Protector

El contenido de oxígeno en los demostradores escogidos no supera el 0,13% que es valor límite que indica la norma sanitaria para fabricación aditiva.

Como se puede observar en los demostradores la posibilidad de fabricar piezas másicas, o de perfiles intrincados no es un inconveniente para esta tecnología, siempre que se respete las pautas de la guía de diseño.

Sin embargo, se debe acotar que, la velocidad de fabricación en el caso de la DED LB/M es relativamente baja, en el mejor de los casos puede ser de 0.5 cc/min unos 2.3 gr/min para el titanio o 4.5 gr/m para el acero inoxidable. Por esta razón no se aconseja emplear este procedimiento para piezas másicas de gran tamaño.

Por otro lado, en piezas que por su morfología (huecas, paredes finas, diseños intrincados, compuestas de múltiples materiales) o que requieran solo un pequeño aporte como podría ser reparación de piezas o aporte de un segundo material, este proceso debe ser considerado una gran opción.

En el caso que el material a emplear sea sensible a la oxidación, el empleo del sistema

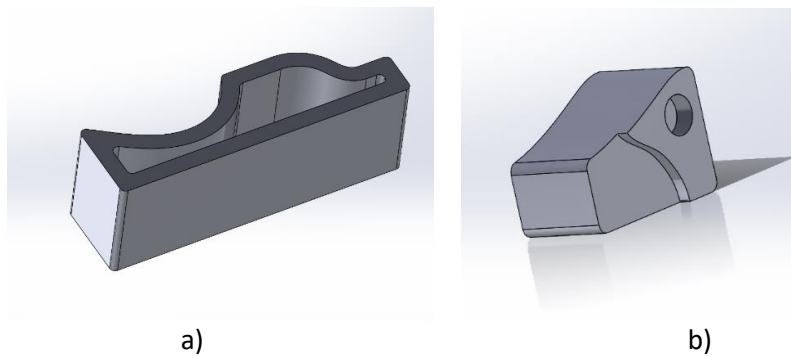
de protección debe ser considerado para poder garantizar la calidad del elemento fabricado.

Como se puede intuir, las posibilidades morfológicas de las piezas que se pueden fabricar mediante DED LB/M-CNC son infinitas, sin embargo, se recomienda un análisis previo de costes.

### 2.3. Evaluación del resultado respecto a métodos convencionales.

La fabricación aditiva es un proceso en desarrollo y relativamente novedoso. El sistema híbrido DED LB/M-CNC tiene la particularidad que engloba el proceso de fabricación aditiva y en el mismo se puede realizar el mecanizado final de requerirse. Este equipo por su concepto tiene una versatilidad casi infinita, sin embargo, quizá, la mayor limitante sea el costo final de la pieza.

Con la finalidad de evaluar la versatilidad, bondad y viabilidad de la fabricación en esta tecnología, se decidió escoger dos demostradores claramente diferenciados, uno con una morfología intuitivamente más idónea para fabricación aditiva, figura 50 a) y otro con una geometría más volumétrica clásica para arranque de viruta, figura 50 b)



a) b)  
Figura 50 a) demostrador 1, b) demostrador 2

Viendo la geometría del demostrador 1 (figura 50 a) se entrevé que efectivamente esta geometría se ajusta más a un proceso de fabricación aditiva, mientras que el demostrador 2 (figura 50 b) posee unas características más idóneas para arranque de viruta.

Lo primero fue realizar el modelado de las piezas tal como se aprecia en la figura 50, luego este modelo se exportó para ser capeado y poder generar el código G para su fabricación.

Se llevó un registro de los tiempos necesarios para la generación del modelado paramétrico, el tiempo para generar el código G los tiempos de fabricación aditiva y los del mecanizado.

Las piezas empleadas para la comparación son los dos demostradores fabricados con el sistema PROTECTOR que se pueden visualizar en la figura 51.

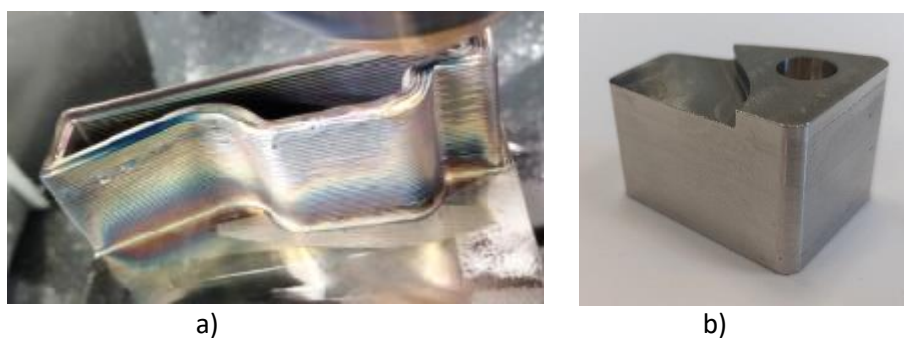


Figura 51 a) demostrador 1, b) demostrador 2

Para el análisis comparativo entre los dos procesos con las dos morfologías se tomó en consideración los siguientes aspectos:

- Costo del equipo, (amortización a 10 años)
- Horas hombre dedicadas al modelado y generación del código G
- Horas hombre-maquina requeridos.
- Coste de materiales, material base, material de aporte, gas protector, herramientas, etc.

En la siguiente tabla se resume el análisis de costos

	Tecnología	Tiempo de de preproceso	Tiempo de máquinas DED-LB/M (CNC)	Horas Hombre	Materiales e insumos	Costo total
Demostrador 1	DED LB/M+CNC	4	4 + (2)	10	100	400+100+180 <b>680</b>
Demostrador 1	CNC	2	(8)	10	280	400+280+88 <b>768</b>
Demostrador 2	DED LB/M+CNC	3	2 + (1)	6	60	240+60+120 <b>420</b>
Demostrador 2	CNC	1	(2)	3	120	120+120+33 <b>273</b>

Como se puede apreciar de la tabla resumen, en dependencia de la morfología de la pieza hay una diferencia tanto en tiempo como en costo para la fabricación de una pieza, que puede significar un ahorro del 12 % en el caso del demostrador 1 fabricado por DED LB/M-CNC, mientras que en el caso del demostrador 2 el ahorro se presenta

fabricándolo por arranque de viruta con un ahorro respecto del DED LB/M del 54%. Por esta razón antes de fabricar una pieza se debe realizar una evaluación para discernir que proceso es más viable para la obtención de esta.

Sin embargo, el proceso de fabricación por DED LB/M-CNC ha demostrado tener una versatilidad para poder fabricar básicamente cualquier pieza.

## D. Resumen y conclusiones

Los resultados obtenidos en el proyecto son principalmente dos:

- La capacidad de procesar por DED LB/M-CNC metales para aplicaciones de alto compromiso empleando el entorno de mayor protección desarrollado.
- Desarrollar los parámetros para una guía de diseño empleando la tecnología híbrida.

Se ha logrado cumplir con los objetivos del proyecto, para ello fue necesario evaluar la influencia de las diferentes variables del proceso, dentro de las variables más críticas esta la potencia y calibración de haz del láser que deben ser monitorizadas con frecuencia. Con este conocimiento se plantearon diferentes alternativas de protección. Se propusieron diferentes modelos y se estudiaron por elementos finitos, de las alternativas se seleccionó la más idónea y esta se optimizó. Del diseño optimizado se fabricó un prototipo de dispositivo de protección y tras las pruebas preliminares, se determinó que era necesario regular el flujo de gas de protección. Posteriormente, se realizaron unas pruebas básicas corroborando la bondad del dispositivo, obteniéndose valores de oxidación muy prometedores.

Se realizaron diferentes probetas para validar el funcionamiento. A lo largo del proyecto se realizaron diversas reuniones y consultas con las empresas involucradas entre otras y se definieron los demostradores a fabricar. Finalmente se fabricaron los demostradores y se evaluó el desempeño del dispositivo de protección.

Se realizó una guía de diseño y por otro lado se realizó una comparación del proceso de fabricación DED LB/M con un método de fabricación tradicional, se determinó que la fabricación mediante DED LB/M tiene ventajas respecto del método tradicional en función de la morfología de la pieza.

De las diferentes experiencias adquiridas a lo largo del proyecto se puede suscribir que:

- Se ha logrado obtener los parámetros de procesamiento para tres diferentes materiales, con y sin sistema de protección.
- Se cuantificó los tiempos en los que el material está expuesto a una mayor sensibilidad a la oxidación.
- Se diseñó y fabricó un dispositivo que mejora la protección ante la oxidación del material mientras que el cabezal DED LB/M está fabricando.
- El dispositivo de protección diseñado genera un campo de protección adicional que permite fabricar piezas sin un incremento sustancial del contenido de

oxígeno, permitiendo cumplir con las normas de fabricación de piezas de uso clínico.

- El proceso de Fabricación aditiva DED LB/M a pesar de que tiene la versatilidad de poder fabricar básicamente cualquier morfología, se debe tener especial cuidado a su tasa de fabricación que es relativamente baja de apenas 0.5 cc/min unos 2.3 gr/min para el titanio o 4.5 gr/m para el acero inoxidable. Si, la morfología no es muy compleja, es preferible emplear un método tradicional por arranque de viruta.
- La mayor inclinación que permite la tecnología para fabricación de paredes en vertical es de 10° o menores.
- Los parámetros de fabricación para los diferentes materiales deben ser ajustados siguiendo los patrones que se plasman en la guía de diseño.
- El mejor control termográfico se consigue desde una perspectiva alejada de la zona de fabricación, estática y con un ángulo entre 90° y 100° respecto del eje Z de la fabricación. De esta manera se puede llevar el registro de la zona de fusión como del comportamiento de la evacuación del calor a lo largo de la pieza.



# **AIDIMME**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO**

Domicilio fiscal —

C/ Benjamín Franklin 13. (Parque Tecnológico)  
46980 Paterna. Valencia (España)  
Tlf. 961 366 070 | Fax 961 366 185

Domicilio social —

Leonardo Da Vinci, 38 (Parque Tecnológico)  
46980 Paterna. Valencia (España)  
Tlf. 961 318 559 - Fax 960 915 446

[aidimme@aidimme.es](mailto:aidimme@aidimme.es)

[www.aidimme.es](http://www.aidimme.es)