

ENTREGABLE PROYECTOS— 2022-2023

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

“PROTECTOR”

Entregable: ENTREGABLE 5.2. Desarrollo y evaluación de demostradores industriales..

Número de proyecto: 22200083

Expediente: IMDEEA/2022/65

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

Coordinado en AIDIMME por: BLOEM IRAZABAL, CARLOS ALBERTO



GENERALITAT
VALENCIANA

ivACE
INSTITUTO VALENCIANO DE
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



Financiado por
la Unión Europea

AIDIMME
INSTITUTO TECNOLÓGICO

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| ÍNDICE..... | 1 |
| A. OBJETIVO DEL ENTREGABLE | 1 |
| B. ACTIVIDADES REALIZADAS | 2 |
| 1. DESARROLLO DE LOS DEMOSTRADORES PARA EMPRESAS | 2 |
| 2. EVALUACIÓN DEL RESULTADO RESPECTO A MÉTODOS CONVENCIONALES..... | 15 |
| C. RESUMEN Y CONCLUSIONES..... | 18 |

A. Objetivo del entregable

Este entregable recopila las actividades realizadas en el **PT 5 – Desarrollo de demostradores**, en concreto todas las actividades relacionadas con las tareas 5.2 y tarea 5.3, con el objetivo de desarrollar demostradores y realizar un análisis para evaluar en qué medida la nueva tecnología aporta un valor añadido al sector industrial.

B. Actividades realizadas

1. 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 que podrían resultar de interés para el proyecto.

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 máxicas, con configuraciones muy elementales, sólidos de revolución o prismática, elementos que per se, son idóneos para procesos de arranque de viruta (torneado, fresado etc.).

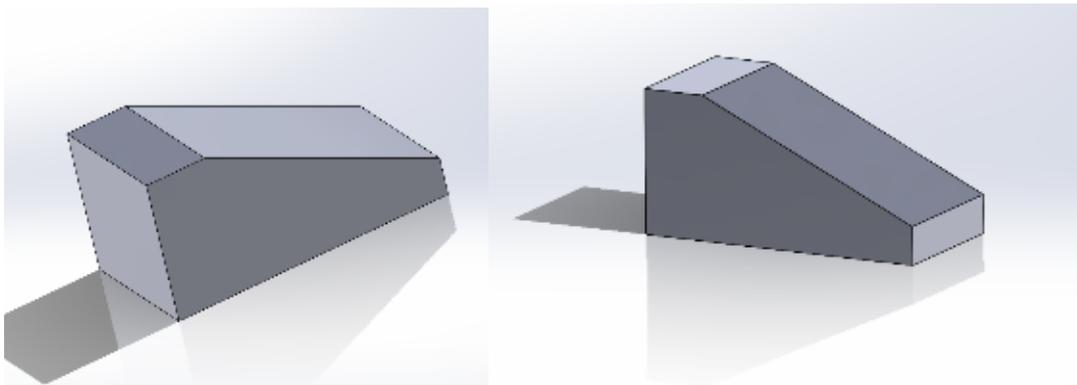


Figura 1 Piezas prismáticas

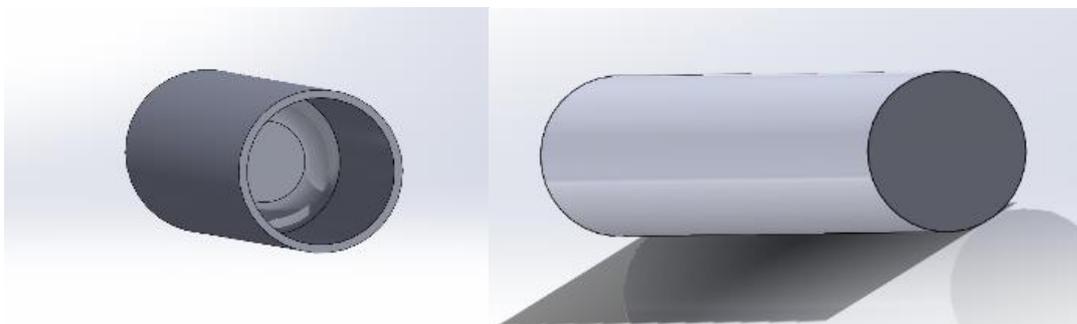


Figura 2 Piezas de revolución

Otro bloque de demostradores se descartó por lo complejo o voluminoso de los demostradores, como moldes y 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 3.

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."

Inicialmente se plantea como primer demostrador la geometría que se muestra en la Figura 3. Es una pieza de extrusión con una geometría ciertamente compleja. La pieza de entrada es bastante másica y presenta un volumen total de 183.364mm^3 .

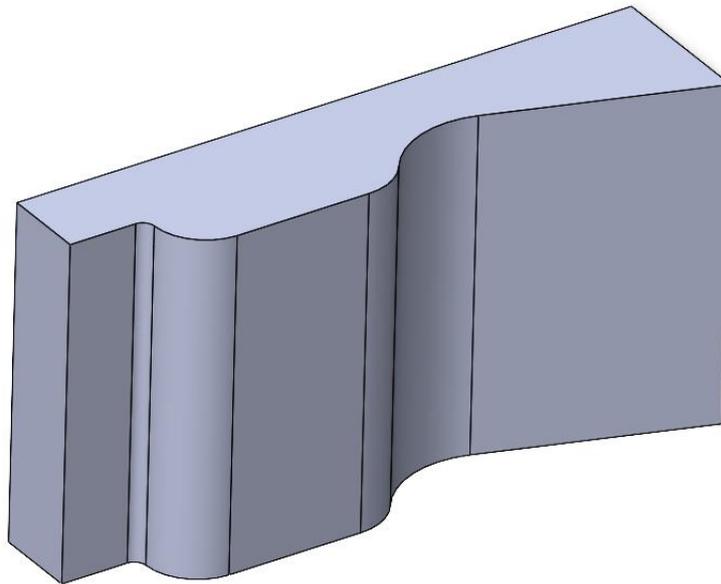


Figura 3 Diseño original de la pieza demostrador.

Dado que la tecnología DED.LB/M permite hacer formas más complejas, y teniendo en cuenta las reglas de diseño obtenidas en el entregable 5.1, se propone realizar un vaciado interior de tal forma que únicamente se produzcan los contornos de la pieza.

En este caso es posible dado que las caras funcionales de la misma son las indicadas en la Figura 4.

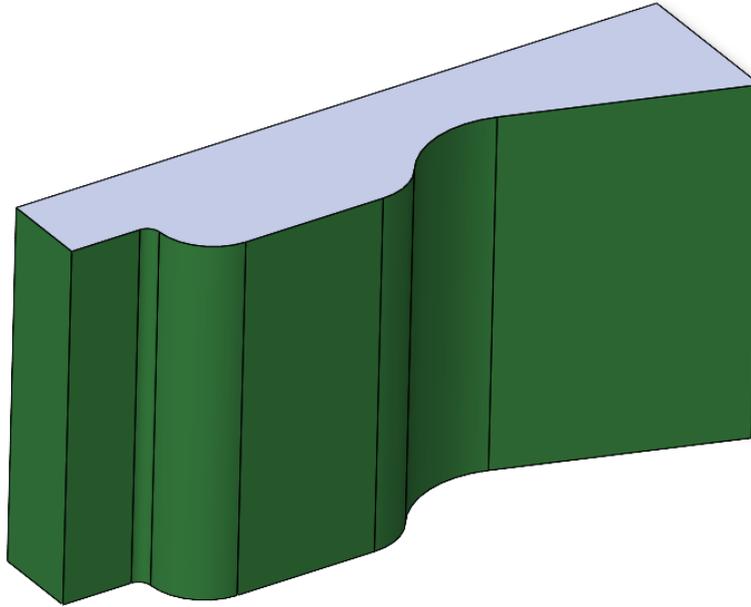


Figura 4 Caras funcionales de la pieza señaladas en verde.

Se plantea un rediseño tal como se muestra en la Figura 5, donde se ha determinado una pared de 6mm que permitirá realizar un mecanizado posterior de las caras funcionales, quedándose a 4mm. Con este planteamiento se reduce el volumen total de pieza a 109.000mm^3 lo que supone una reducción total del 40% de material, acortando los tiempos de producción en gran medida. Esta optimización, no solo mejora el proceso en tiempos, si no en calor acumulado por capa.

Se sabe que el aporte energético de esta tecnología es muy alto, lo que hace que la pieza vaya aumentando de temperatura de forma muy rápida, lo cual no es bueno tanto para la oxidación como para las deformaciones que puedan llegar a haber, y porque además se modifican las condiciones de proceso cada capa.

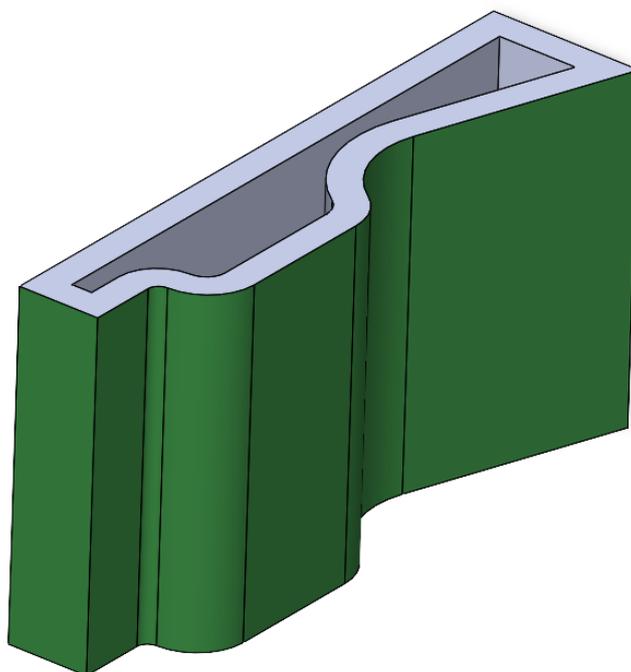


Figura 5 Rediseño propuesto para la pieza.

Una vez se ha modelado la pieza, se exporta a formato STEP, admitido por el software de preparación de construcción de la tecnología DED.LB/M. Se posiciona en la “bancada” de fabricación dentro del programa de ESPRIT como se muestra en la figura 6. En este paso se define la orientación de los ejes en relación a la placa de fabricación sobre la cual se va a construir la pieza.

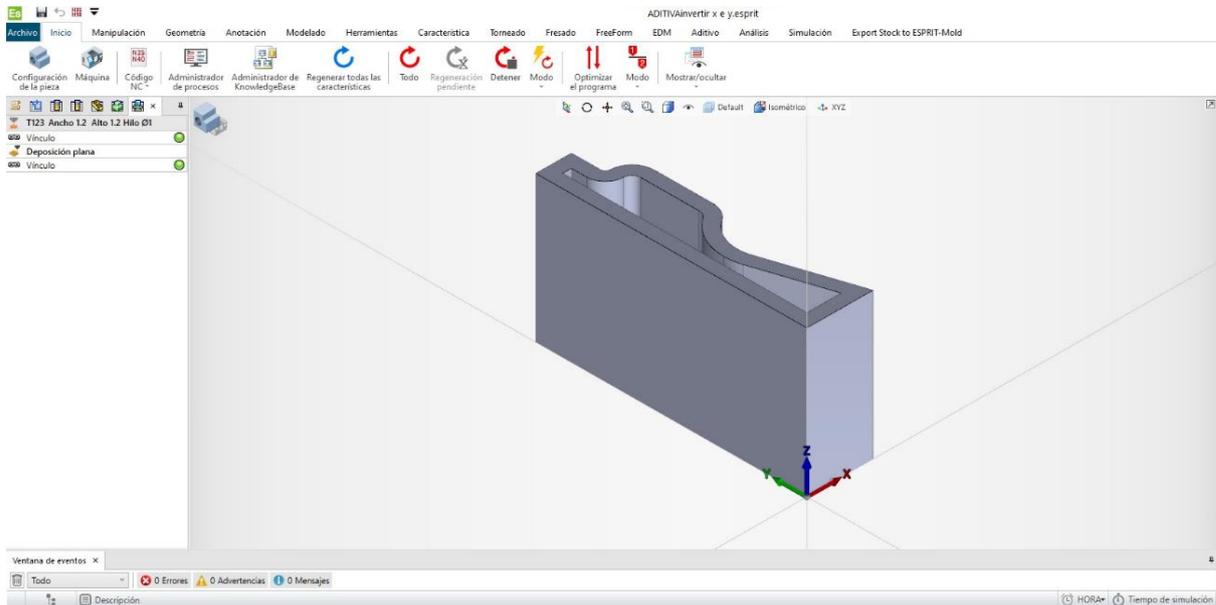


Figura 6 posicionado del solido a fabricar en ESPRIT.

El siguiente paso es la definición de la estrategia de 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.

Tal como se aprecia en la figura 7

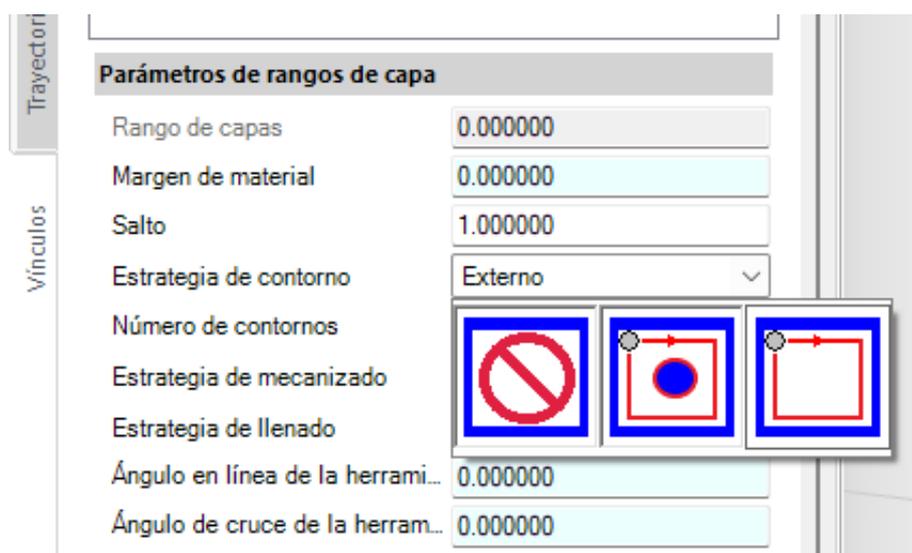


Figura 7 Estrategias de contorno

En cuanto a el relleno, se puede seleccionar sin relleno, en zigzag, unidireccional, contornos paralelos, y espiral como se aprecia en la figura 5. Adicionalmente se puede seleccionar desde afuera hacia adentro o viceversa.

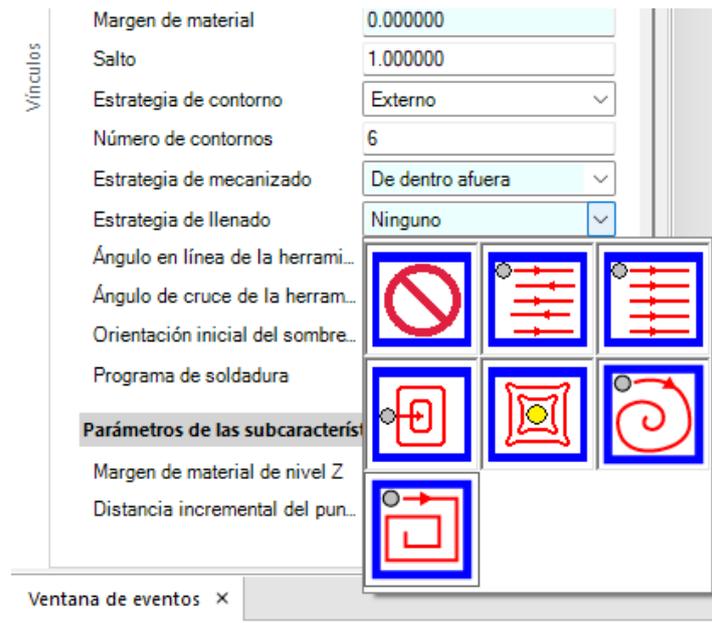


Figura 8 Estrategias de relleno

Se modela en este caso la estrategia de fabricación con la ayuda del programa SPRIT, eliminando relleno y siguiendo una estrategia únicamente de contornos. Este tipo de estrategias es más eficiente para la tecnología DED.LB/M dado que se fabrican las piezas con una línea continua donde casi no hay paradas.

Las paradas en la tecnología DED.LB/M suponen riesgos de fallo de fabricación e irregularidades en la deposición del material. Por tanto una estrategia de contornos es mucho más óptima.

Definidas las variables, se procede al capeado, y se realiza una simulación para ver como se desarrollaría la fabricación, como se aprecia en la figura 9 y figura 10. Es interesante analizar los tracks de deposición antes de lanzar la fabricación, ya que se pueden prever defectos o fallos de proceso antes de que estos sucedan.

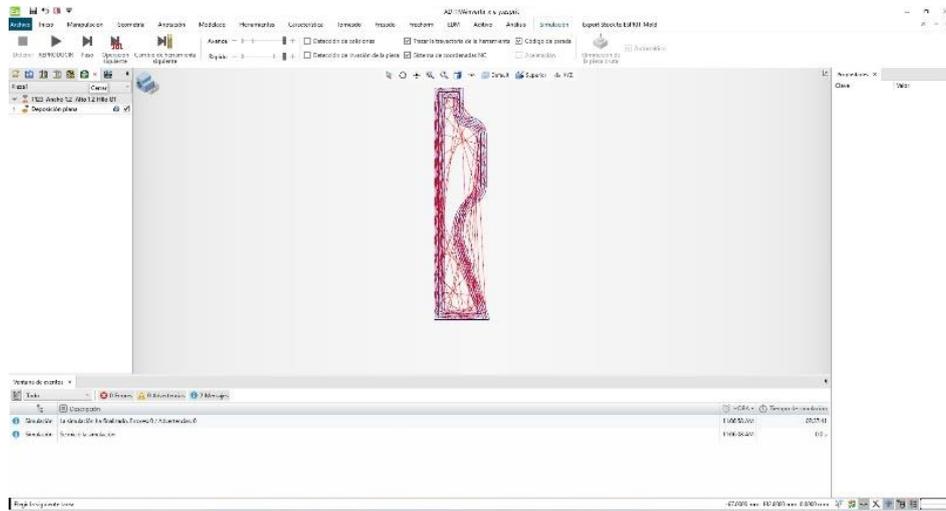


Figura 9 Trayectorias de deposición

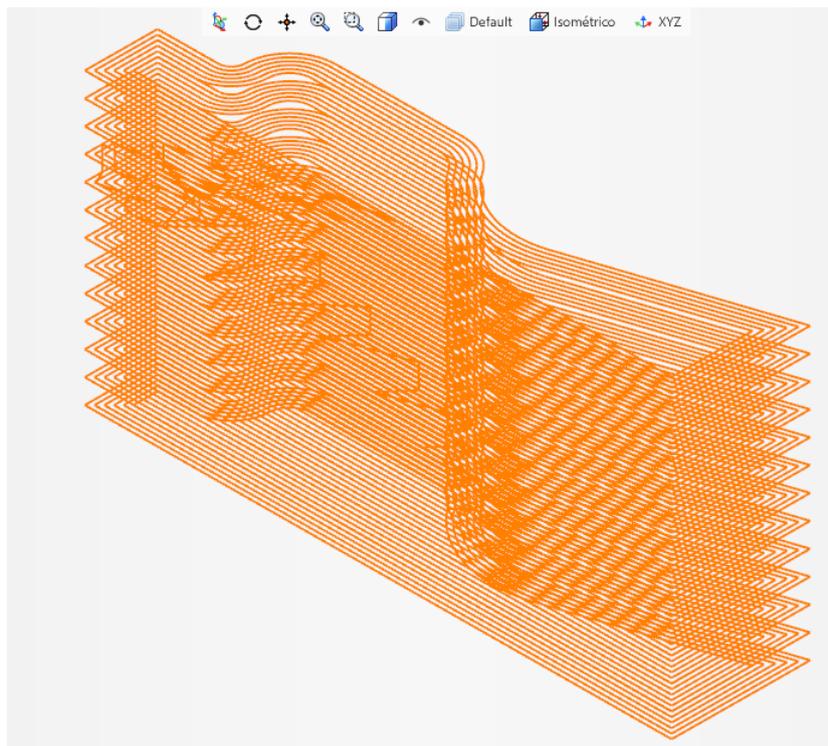


Figura 10 Detalle trayectorias de deposición

Si se considera que la estrategia es la adecuada y cumple los requisitos se procede a exportar el código G.

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

En este demostrador tan solo hay 30700 líneas.

| |
|--|
| % |
| O0001 (Program) |
| (ESPRIT TNG BUILD 20.502.0.21985) |
| (MACHINE NAME Haas_UMC-1000SS) |
| (MACHINE REVISION V4.513) |
| (POST PROCESSOR Haas_VerticalSeries_V4.745 DWO G254) |
| (23/11/2023 11 12 |
| (***** 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 P12 (TIMER TO DEPLOY HEAD) |
| (Deposición plana) |
| G17 |
| G55 |
| G90 |
| M11 |
| M13 |
| G00 B0. CO. |
| G00 X65.379 Y-19.157 |
| G00 G43 H123 Z2. |
| G01 G94 Z0. F600. |
| M01 (LAYER 1) |
| M29 P96 (LASER ON) |
| G01 X66.332 Y-20.445 |
| G01 X66.568 Y-20.719 |
| G01 X66.8 Y-20.957 |
| G01 X67.06 Y-21.192 |
| G01 X67.401 Y-21.461 |
| G01 X67.755 Y-21.694 |
| G01 X68.061 Y-21.866 |
| G01 X68.377 Y-22.02 |
| G01 X68.779 Y-22.182 |
| G01 X69.184 Y-22.306 |

| |
|-----------------------|
| G01 X69.526 Y-22.387 |
| G01 X69.872 Y-22.445 |
| G01 X70.305 Y-22.489 |
| G01 X70.992 Y-22.5 |
| G01 X96.834 Y-22.495 |
| G01 X97.159 Y-22.477 |
| G01 X97.454 Y-22.441 |
| G01 X97.762 Y-22.382 |
| G01 X98.141 Y-22.28 |
| G01 X98.492 Y-22.149 |
| G01 X98.777 Y-22.018 |
| G01 X99.052 Y-21.868 |
| G01 X99.382 Y-21.655 |
| G01 X99.676 Y-21.423 |
| G01 X99.907 Y-21.211 |
| G01 X100.124 Y-20.984 |

Figura 11 Tabla con las primeras líneas del 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 | 0 ~ 5 mm |

| | fabricar | |
|------------------------------|--|-------------|
| 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 como se muestra en la figura 7. Para ello se emplearon los parámetros que se describen en la siguiente tabla. Los parámetros que se encuentran entre paréntesis son los que se emplearon para la fabricación de los demostradores con el dispositivo de protección PROTECTOR.

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 |

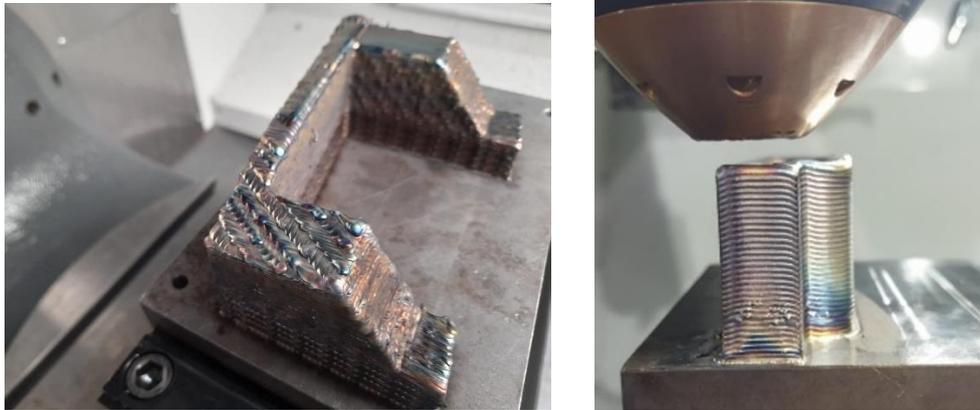


Figura 12 Fabricación de los demostradores sin el dispositivo de protección

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

La decisión de escoger estos dos últimos demostradores se fundamentó en la idea de buscar dos opciones que respondan de manera diferente a las características de fabricación aditiva y así de esta manera, 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 con doble contorno (mostrada anteriormente), como se aprecia a continuación en la figura 13 y 14, y una pieza másica con diferentes morfologías, características y requerimientos más indicados para un proceso de mecanizado.

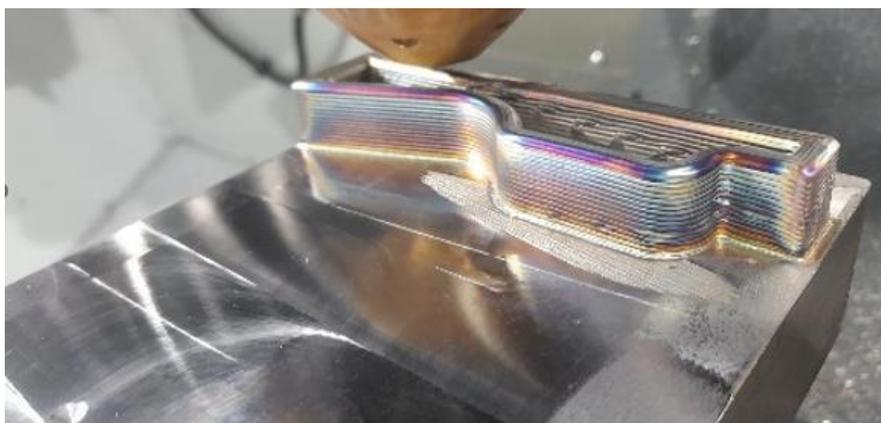


Figura 13 Desarrollo de la fabricación del demostrador 1 durante la etapa de aditiva

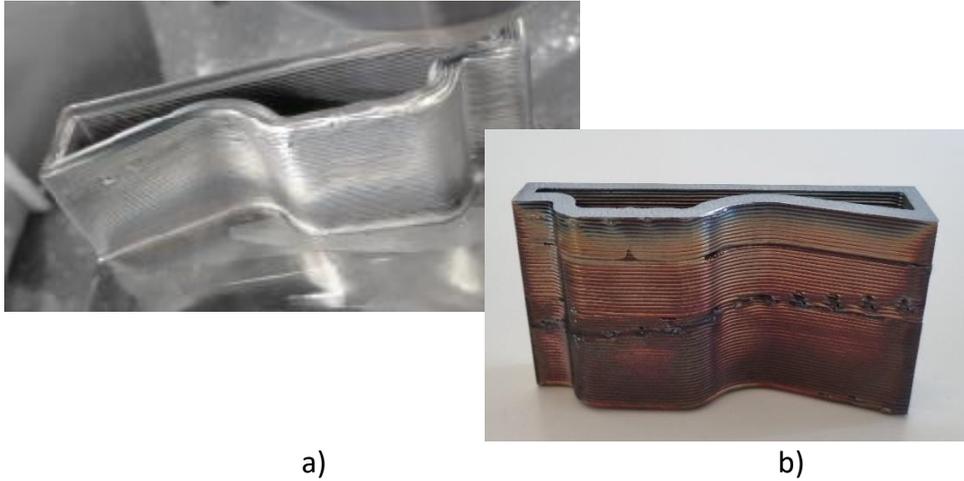


Figura 14 Demostrador 1 a) Etapa aditiva del demostrador 1, b) demostrador 1 as build sin protector.

El segundo demostrador como ya se indicó se corresponde a una pieza másica, más favorable para un proceso de fabricación tradicional de arranque de viruta. En la figura 15 se puede apreciar las estrategias de deposición que se seleccionaron para la fabricación por aditiva.

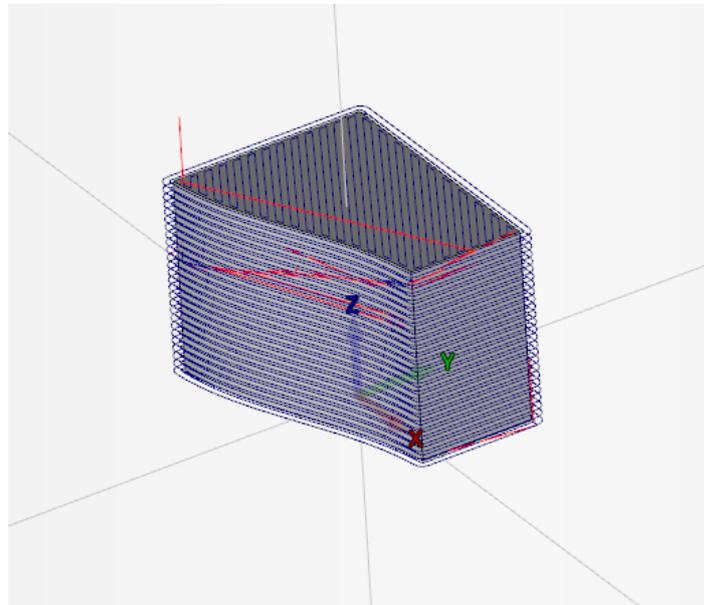


Figura 15 Trayectorias de fabricación

La figura 16 muestra el demostrador finalizado tras el proceso de mecanizado luego de la fabricación aditiva.

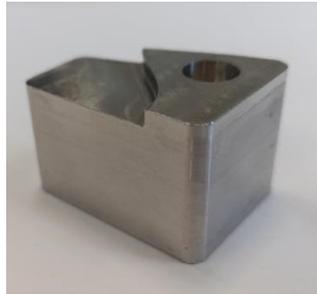


Figura 16 Demostrador 2 acabado con Protector

Después de cada fabricación se realizó un análisis elemental del contenido de oxígeno en las piezas fabricadas, para ello fue necesario en ocasiones fabricar en demasía para poder realizar un corte y de ahí, extraer el testigo para su posterior análisis.

El contenido de oxígeno en los demostradores fabricados con el dispositivo PROTECTOR no es superior al 0,11% valor que está por debajo del valor límite que indica la norma sanitaria para fabricación aditiva que se encuentra en 0,13%.

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.

La posibilidad de explorar esta tecnología para la fabricación de elementos quirúrgicos y sanitarios es muy promisoria sobre todo en piezas que requieran grandes volúmenes donde las tecnologías del tipo PBF bien sea LB/M o EB/M pueden no ser eficientes.

2. 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 17 a) y otro con una geometría más volumétrica clásica para arranque de viruta, figura 17 b)

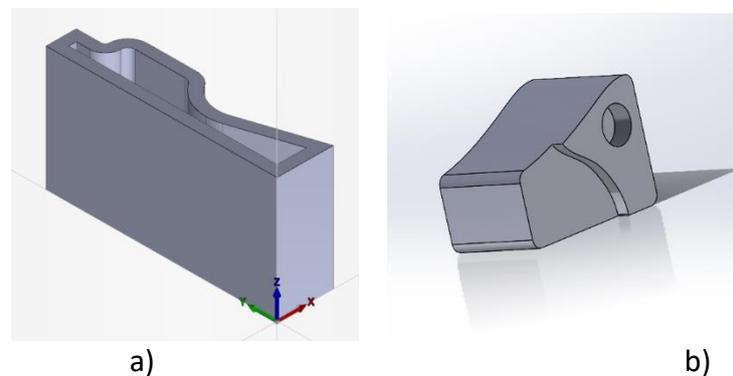


Figura 17 a) demostrador 1, b) demostrador 2

Viendo la geometría del demostrador 1 (figura 17 a) se entrevé que efectivamente esta geometría se ajusta más a un proceso de fabricación aditiva, mientras que el demostrador 2 (figura 17 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 17, luego este modelo se exportó para ser capeado y poder generar el código G para su fabricación como ya se explicó.

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 18.

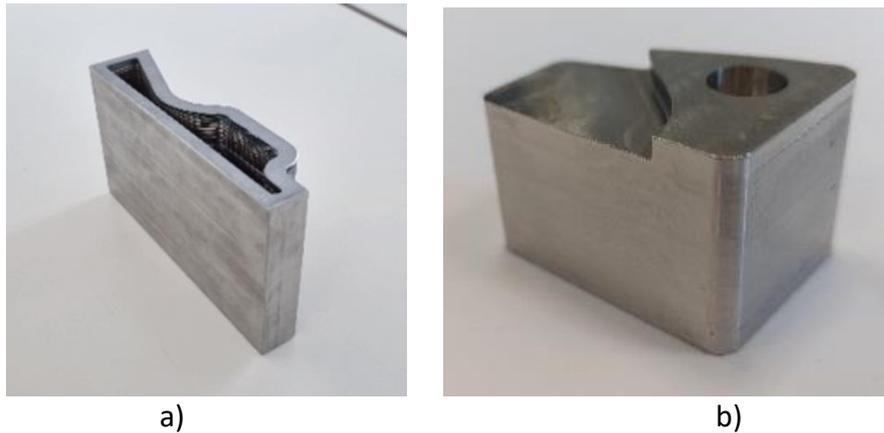


Figura 18 a) demostrador 1, b) demostrador 2

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

- Coste 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 costes

| | Tecnología | Tiempo de de preproceso | Tiempo de máquinas DED-LB/M (CNC) | Horas Hombre | Materiales y otros gastos | Coste total |
|---------------|--------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------|---------------------------|---------------------------|
| Demostrador 1 | DED LB/M+CNC | 4 | 4 + (2) | 10 | 100 | 400+100+180 680 |
| Demostrador 1 | CNC | 2 | (8) | 10 | 280 | 400+280+88 768 |
| Demostrador 2 | DED LB/M+CNC | 3 | 2 + (1) | 6 | 60 | 240+60+120 420 |
| Demostrador 2 | CNC | 1 | (2) | 3 | 120 | 120+120+33 273 |

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.

C. Resumen y conclusiones

Se ha logrado cumplir con los objetivos del proyecto, de las diferentes reuniones y consultas con las empresas participantes se definieron cuatro demostradores para ser desarrollados con la tecnología DED LB/M-CNC, para corroborar la eficiencia y viabilidad del dispositivo de protección diseñado y fabricado se decidió fabricar dos demostradores que adicionalmente nos puedan esclarecer las ventajas y/o bondades económicas y funcionales de este proceso y el dispositivo diseñado.

Para la fabricación de los demostradores se empleó las estrategias recogidas en la guía de diseño que se ha realizado a lo largo del proyecto.

Los demostradores fabricados con el dispositivo de protección, poseen niveles de oxígeno inferiores a los recogidos en la norma sanitaria, generando así una nueva línea de explotación y desarrollo.

Durante la fabricación de los demostradores se llevó un registro de los tiempos empleados en las diferentes etapas de la fabricación, así como del coste de materiales e insumos necesarios para el mismo.

Del proceso de evaluación entre el proceso DED LB/M-CNC versus el proceso CNC se manifestó que en dependencia de la morfología de la pieza hay una diferencia tanto en tiempo como en costo para la fabricación de una pieza, que en los casos donde la morfología sea más favorable para la fabricación aditiva, piezas huecas, de paredes estrechas o intrincadas es proceso DED es mas rentable que el clásico por arranque de viruta.

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

www.aidimme.es