



## MONITORIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA ESTRATEGIA EN EL PROCESO LASER DED

IKER VILLARÓN OSORNO, ANDER CANALES MARTÍNEZ, MIKEL ASKASIBAR DÍEZ, JOSÉ EXEQUIEL RUIZ SALAS, ENEKO UKAR ARRIEN, AITZOL LAMIKIZ MENTXAKA

Universidad del País Vasco, UPV/EHU  
Departamento de Ingeniería Mecánica, Escuela de Ingeniería de Bilbao  
Plaza Ingeniero Torres Quevedo 1, 48013, Bilbao, España

(Recibido 15 de septiembre de 2020, para publicación 7 de enero de 2021)

**Resumen** – La tecnología de fabricación aditiva L-DED (Laser Direct Energy Deposition) se ha convertido en una solución industrial de gran importancia para la fabricación y reparación de geometrías complejas y de alto valor añadido. El proceso despierta un especial interés en la industria aeronáutica, donde las características especiales de sus componentes exigen este tipo de soluciones alternativas. A su vez, este tipo de tecnología aditiva es capaz de abordar otros campos como la generación de recubrimientos de alto rendimiento, donde existe un amplio abanico de posibilidades gracias al empleo de diferentes materiales. Sin embargo, uno de los grandes retos aún por superar de esta tecnología, es la monitorización y control del proceso. La capacidad de determinar con precisión la magnitud de las variables principales del proceso resulta fundamental para poder mejorar su estabilidad. En este trabajo se aborda la monitorización del proceso Laser-DED mediante la implementación de sensores específicos para poder captar las señales correspondientes a cada parámetro. Se pretende así sentar las bases para identificar y evaluar ventanas de parámetros de proceso, así como zonas críticas, donde se detecten discontinuidades o inestabilidades de los valores de las variables principales.

**Palabras clave** – Laser DED, Fabricación Aditiva, monitorización, *melt pool*, pirómetro.

### 1. INTRODUCCIÓN

El proceso de aporte por láser o *Laser Direct Energy Deposition* (L-DED) es una tecnología de fabricación aditiva actualmente en auge en la industria. De todas las variantes existentes, la más empleada es la que emplea un láser como fuente de energía y aporta material en polvo a través de un cabezal o boquilla. Este proceso se denomina comúnmente *Laser Material Deposition* o LMD. Su principal aplicación es la generación de recubrimientos en componentes de alta complejidad geométrica y en un amplio rango de materiales. Otras aplicaciones importantes son las reparaciones de componentes de alto valor añadido [1], o la generación de estructuras mediante la superposición de capas. El proceso despierta gran interés en el campo de la aeronáutica/aeroespacial, donde la reparación de piezas supone grandes beneficios, debido a los altos costes de fabricación. Sin embargo, el proceso DED aún se considera un proceso en lazo abierto, ya que los sistemas de control específicos para este proceso aún se encuentran en una fase temprana de desarrollo [2-3].

De todos los parámetros que intervienen en el proceso, los principales son la potencia del láser, la velocidad de avance de la máquina y el flujo másico de polvo. De estos parámetros derivan características importantes del proceso como son la temperatura y el tamaño del *melt-pool*. Sin embargo, son pocas las soluciones capaces de monitorizar estas variables del proceso [4] y, en menor medida aún se recogen datos de todas ellas. Es habitual monitorizar únicamente determinados valores, como el tamaño del *melt-pool* o la temperatura en puntos discretos, pero no se combina con otros datos como el flujo de polvo o la altura de capa generada, por lo que la información recogida es parcial y únicamente contempla un conjunto limitado de parámetros.

La bibliografía aborda esta sensorización y plantea la pirometría como un sistema sencillo y de relativo bajo coste para capturar datos de temperatura. Sin embargo, esta presenta problemas de sombras generadas por el polvo, además, en que algunos casos, la ventana de radiación IR medida puede incluir la longitud de onda del propio láser, afectando a la medida. Como alternativa, se han empleado cámaras CCD para medir y controlar de forma indirecta el tamaño y temperatura del *melt-pool*. Dentro de este grupo de trabajos, destacan los que analizan la correlación existente entre los parámetros del proceso LMD y el tamaño del baño fundido [5]. A pesar de las limitaciones previamente mencionadas, existen trabajos que se centran en el empleo de un pirómetro de dos colores [6], que permite un ajuste de la emisividad basado en la medición de la radiación IR en dos longitudes de onda diferentes. No obstante, muchos de estos trabajos muestran los valores obtenidos con un pirómetro colocado de forma oblicua al *melt-pool*, no coaxial al láser, siendo necesario compensar este efecto mediante la consideración del ángulo que forma el pirómetro con el plano de trabajo del láser. Los resultados de dichas investigaciones evidencian la gran influencia que poseen la temperatura y tamaño del baño fundido en el tamaño del cordón aportado y la calidad del mismo.

Por otro lado, el análisis del flujo másico de polvo alimentado a través de la boquilla es mucho más complejo y el desarrollo de sensores capaces de dar esta información es mucho más limitado. En este sentido, recientemente se han desarrollado sensores basados en la proyección de un haz láser y la medición de las sombras generada por el flujo de polvo. El resultado es la posibilidad de obtener el flujo másico de polvo alimentado en la boquilla en tiempo real, permitiendo así, alimentar un control del proceso con este parámetro.

Por último, cabe señalar los estudios centrados en la medida del cordón de aporte depositado, para poder recalcular la siguiente trayectoria de aporte. Una aproximación es la presentada por Rodríguez-Araujo *et al.* [7] quienes implementan un sistema de medición mediante triangularización para crear una nube de puntos del sólido que se está fabricando. Estos datos podrían utilizarse en el cálculo de la posición a la que se debería depositar el siguiente cordón.

Así, la propuesta de este trabajo es abordar la monitorización integral del proceso LMD mediante la combinación de las medidas proporcionadas por un pirómetro de dos colores colocado de forma coaxial al propio láser, junto a un sistema de medida de flujo másico de polvo. En el presente trabajo se han realizado una serie de ensayos de validación experimental para garantizar la correcta medida de los sensores instalados, posteriormente, se ha validado la metodología en una pieza test con geometría compleja con el objeto de determinar los factores más influyentes en la evolución de la temperatura y la geometría durante el proceso LMD para así, corregir estos parámetros en función de las medidas obtenidas.

## 2. MATERIALES Y METODOLOGÍA

Los experimentos que se describen en el trabajo se han realizado en una célula de aporte con un volumen de trabajo de  $700 \times 360 \times 380 \text{ mm}^3$  y 3 ejes, ampliables a 5 mediante un plato divisor. Para el proceso de aporte se ha empleado un láser de fibra ROFIN de Yb:YAG (FL010) y 1 kW de potencia máxima de salida, con una longitud de onda de 1070 nm y un rango de frecuencia de pulso de hasta 5 kHz. El láser es guiado hasta la zona de trabajo mediante fibra óptica y enfoca en un área circular de 2 mm. El polvo es suministrado a través de un alimentador Sulzer Metco Twin 10-C y concentrado mediante una boquilla coaxial de diseño y fabricación propia denominada EHU/Coax 2015 [8]. Por último, se emplea gas argón para la inyección del polvo, así como la protección de la atmósfera en la que se realiza el aporte.

Para la monitorización de la temperatura se ha empleado un pirómetro digital de dos colores IGAR 12-LO enfocado de forma coaxial en el mismo punto que el láser. El rango de temperatura del pirómetro abarca desde los  $500 \text{ }^\circ\text{C}$  hasta los  $2500 \text{ }^\circ\text{C}$ . Para la monitorización del flujo de polvo se ha empleado el sistema FlowWatch<sup>®</sup> comercializado por MediCoat<sup>®</sup>. Dicho sensor se basa en la captación de sombras proyectadas por el flujo de polvo al pasar por un sensor óptico, de modo que se genera una tensión de salida entre 0 y 10 V, proporcional al flujo másico medido en g/min.

En la Fig. 1 se muestra un esquema del montaje coaxial del pirómetro, así como una vista general del equipo experimental empleado.

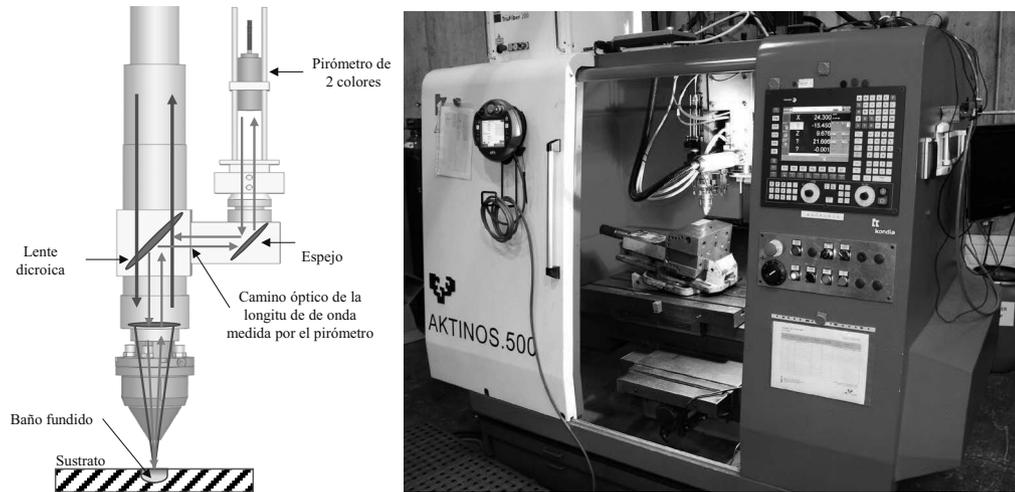


Fig. 1. Izda.) Configuración coaxial del pirómetro de dos colores. Dcha.) Célula de aporte empleada para la ejecución de los ensayos experimentales.

Tabla 1. Composición química del MetcoClad 718, [9].

Cr	Mo	Nb	Fe	Ti	Si	Mn	C	B	Ni
19,00	3,00	5,00	18,00	1,000	0,20	0,08	0,05	0,004	BAL

Para la realización de los ensayos se ha empleado una aleación base níquel, tipo Inconel 718, ampliamente utilizada en la industria aeronáutica para las zonas de alta temperatura de los motores. La composición química de dicha aleación comercial se detalla en la Tabla 1, y se corresponde con la comercializada por la empresa Oerlikon Metco, MetcoClad 718.

Para la programación de trayectorias complejas, se ha empleado el software de CAD/CAM/CAE Siemens NX12. Como demostrador para probar la viabilidad de las tecnologías de monitorización se ha optado por una geometría representativa tipo álabe de turbina. La elección de este tipo de geometrías se basa en el interés suscitado en la reparación de componentes aeronáuticos, y así ofrecer una alternativa viable a la fabricación completa de un disco de turbina, debido a su elevado coste. La selección de los parámetros de aporte óptimos se ha realizado mediante una batería inicial de ensayos que se resumen en la Tabla 2. Dicha colección de ensayos se propone en base al estudio bibliográfico sobre el material y el proceso, así como también se sustenta en la experiencia previa adquirida en ensayos anteriores. En la propuesta, se ha

Tabla 2. Parámetros de proceso ensayados.

Nº	Potencia (W)	Avance (mm/min)	Flujo másico (g/min)	Altura (mm)	Ancho (mm)	Angulo de mojado (°)	Relación Altura/Ancho
1	500	525	4,5	0,35	1,41	57	0,248
2	550	525	4,5	0,37	1,49	48	0,248
3	600	525	4,5	0,36	1,39	65	0,258
4	500	525	5,0	0,42	1,38	52	0,304
5	550	525	5,0	0,46	1,49	63	0,308
6	600	525	5,0	0,47	1,52	63	0,309
7	500	525	5,5	0,4	1,41	49	0,283
8	550	525	5,5	0,42	1,49	47	0,281
9	600	525	5,5	0,42	1,64	55	0,256

mantenido fija la velocidad de avance y se ha variado la potencia entre 500 y 600 W con un flujo másico que oscila entre 4,5 y 5,5 g/min. De cara al solape posterior de trayectorias, se plantea como objetivo un cordón de aporte con un ángulo de mojado inferior a  $45^\circ$  y una relación entre alto y ancho próxima a  $1/3$ . Para el análisis de los ensayos, se realiza el aporte de una batería de cordones según los diferentes parámetros arriba mencionados. Posteriormente se practican al menos tres cortes transversales de cada cordón y se procede al estudio de cada uno de ellos. Se analiza principalmente la presencia o ausencia de defectos y posteriormente las características geométricas, hasta encontrar un candidato que cumpla los requisitos especificados. En caso de no encontrar ningún cordón que satisfaga las condiciones idóneas para continuar, se emplean los resultados obtenidos para una nueva propuesta de ensayos.

Las superficies se preparan metalográficamente, con un pulido de la sección a analizar y posterior tratamiento con reactivo químico, Kalling 2. En cuanto a defectos se refiere, se descarta cualquier candidato que presente grietas o poros que superen los  $20\ \mu\text{m}$ . La evaluación geométrica se realiza midiendo, ancho, alto y ángulo de mojado de la sección transversal del cordón con respecto a la superficie del sustrato, así como también se mide la penetración del material adherido a este último. La metodología busca en primer lugar, ángulos de mojado inferiores a  $45^\circ$ ; en segundo lugar, relaciones de aspecto que muestren un ancho de cordón de al menos tres veces su altura. Y, por último, que la penetración del material adherido sea de al menos un tercio del valor de la altura del cordón.

En vista de los resultados, se opta por emplear el conjunto de parámetros número 8 de la tabla 2 como referencia, ya que se obtiene un cordón con un ángulo de mojado y tamaño dentro de los rangos óptimos de proceso. A su vez, en caso de necesitar aportar cordones sucesivos en el plano, se optará por un solape del 50 % entre cordones. La Fig. 2 muestra una metalografía del cordón de aporte llevado a cabo con los parámetros seleccionados.

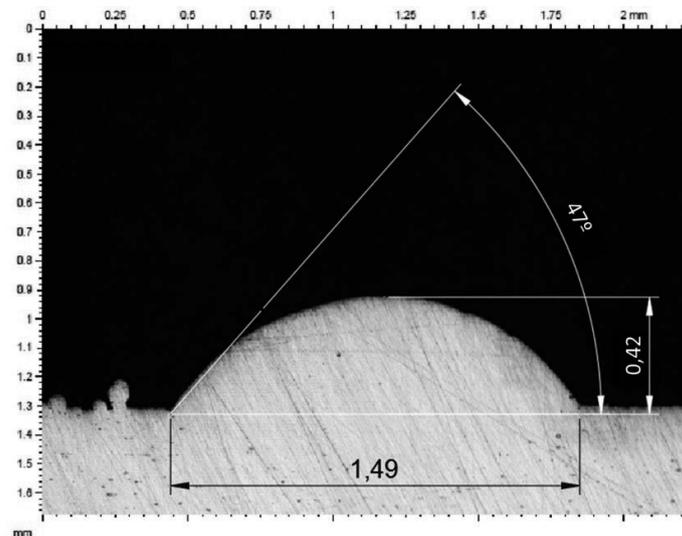


Fig. 2. Sección transversal del cordón de aporte N°8 de la Tabla 2.

En lo referente al flujo másico de polvo para el aporte, el FlowWatch<sup>®</sup> proporciona una señal analógica en forma de tensión con un rango de 0 a 10 V. Con el fin de conocer el flujo másico en gramos por minuto, se han realizado una serie de ensayos para calibrar el sensor. Dicha calibración consiste en realizar una correlación entre los valores de tensión proporcionados por el sensor con los valores reales de flujo másico.

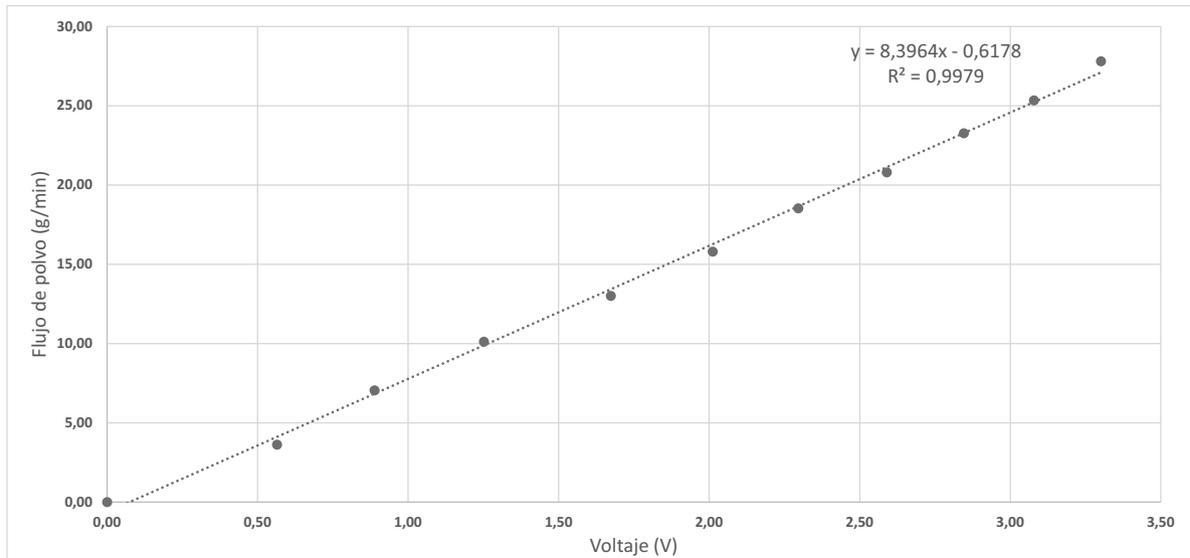


Fig. 3. Curva de calibración del sensor de flujo de polvo.

Para realizar el ajuste anteriormente mencionado, se ha empleado una balanza de precisión Cobos Compact Complet para medir la cantidad de polvo suministrado por minuto. Del mismo modo, y de manera simultánea, se ha adquirido el valor de tensión de salida que proporciona el sensor de flujo de polvo. Posteriormente, se ha procedido a calcular el valor medio de la tensión proporcionada por el sensor en función del flujo másico, y de este modo, obtener una relación entre tensión y gramos por minuto. En la Fig. 3, se muestra la gráfica de dicha curva con su correspondiente ecuación de ajuste. Cabe señalar que empleando una función lineal se obtiene un ajuste adecuado con una función de error  $R^2 = 0,9979$ .

Con el fin de capturar los datos procedentes de los sensores de una manera integral, se ha empleado un dispositivo Arduino Uno Rev. 3 a modo de tarjeta de adquisición de datos, siendo su rango de tensión de entrada de 0 a 5 V con una frecuencia de muestreo de 8,9 kHz. Se ha optado por este tipo de solución debido a la sencillez que presentan, tanto en su instalación, como en el desarrollo del código necesario para la adquisición de señales analógicas. Además, al ser un dispositivo de uso general y código abierto, existe un gran número de instrumentos electrónicos que junto al Arduino ofrecen soluciones sencillas para la captación de diferentes tipos de señales. Por otro lado, al contrario de lo que sucede en otros procesos como el mecanizado o la estampación de chapa, el proceso DED no presenta grandes variaciones en los parámetros, ni altas velocidades de proceso, por lo que la frecuencia de muestreo de este sistema es lo suficientemente rápida para adaptar los parámetros del proceso DED. Cabe señalar que a pesar de que el rango de salida del sensor de polvo es de 0 a 10 V, los rangos de flujo másico empleados en los ensayos han obtenido una señal máxima de 4 V, por lo que no ha sido necesario acondicionar esta señal para adaptarla a los límites del Arduino.

Con el fin de crear una interfaz gráfica que facilite la lectura y la adquisición de las señales que provienen de los sensores, se ha desarrollado una interfaz gráfica en el entorno MatLab<sup>®</sup>, dentro de su módulo de diseño de aplicaciones. Esta interfaz permite integrar las lecturas de tensión obtenidas desde el Arduino en un único entorno. Del mismo modo, permite representar los datos obtenidos y exportarlos a otros programas de cálculo.

Como puede observarse en la Fig. 4, la aplicación permite seleccionar la frecuencia de muestreo e incluye la opción de realizar un filtrado digital de la señal de entrada. Dicho filtro consiste en un filtro de respuesta infinita al impulso IIR (de sus siglas en inglés *Infinite Impulse Response*) de tipo Butterworth. El filtro permite suavizar las señales captadas por los sensores, las cuales pueden presentar ruido de alta frecuencia debido a sombras del polvo en el pirómetro o ruido de fondo en el sensor óptico de flujo de polvo. Dentro de las opciones de las que dispone el filtro, se puede elegir el orden y la frecuencia de corte del mismo.

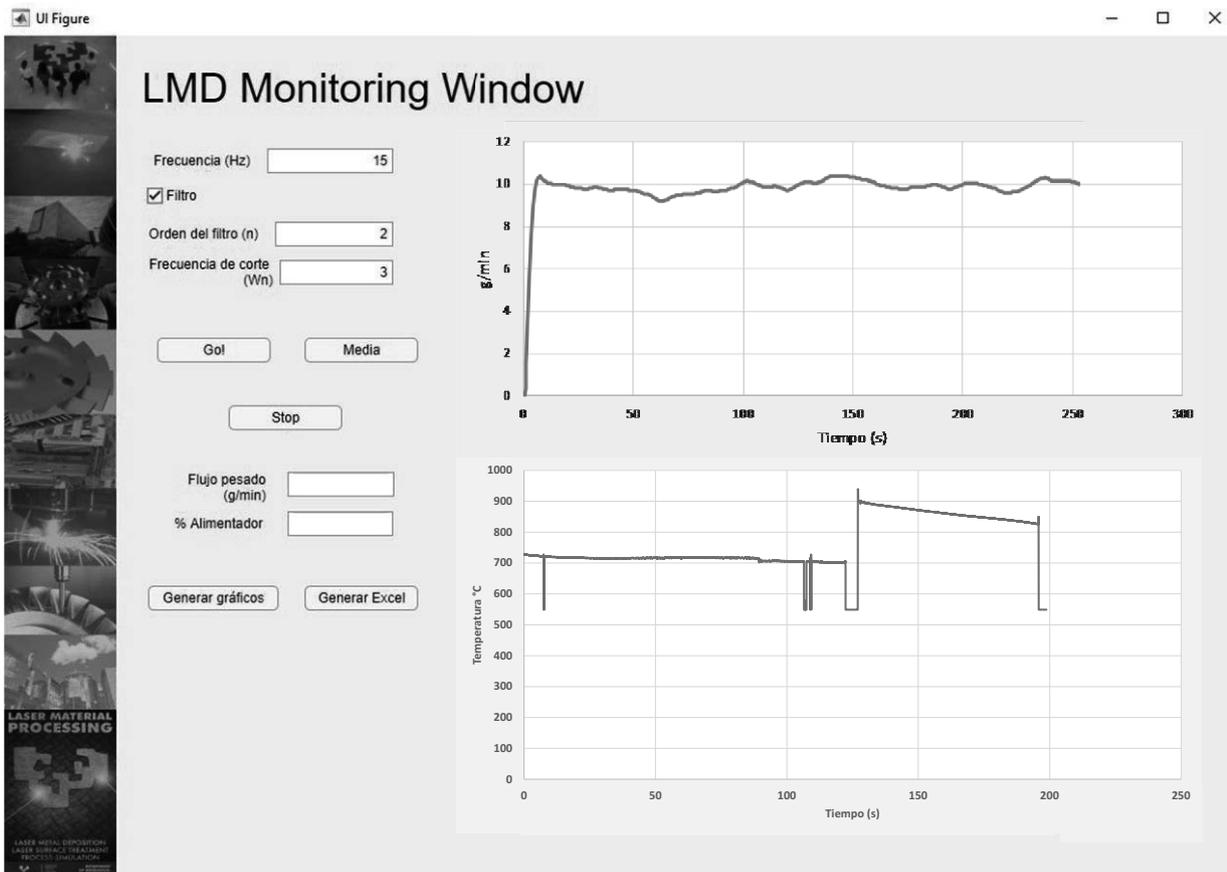


Fig. 4. Interfaz gráfica desarrollada en MatLab® para la monitorización del proceso.

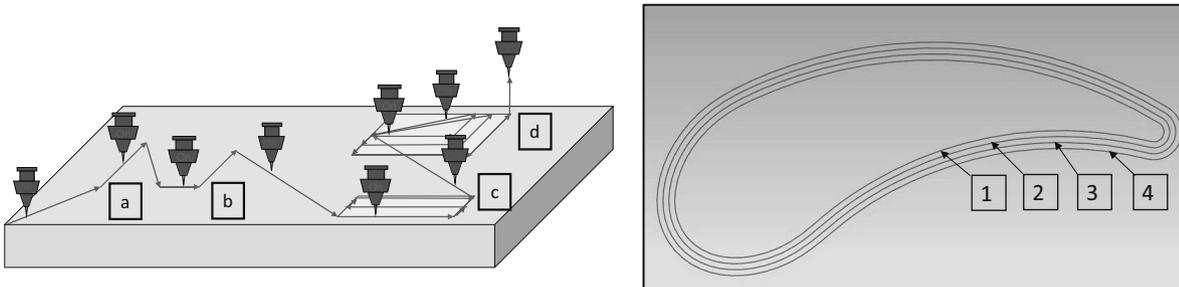


Fig. 5. Trayectorias empleadas para llevar a cabo la monitorización del proceso, izda.) sencillas, dcha.) complejas.

Para la validación inicial se han realizado dos tipos de ensayos. En primer lugar, se han realizado una serie de trayectorias rectilíneas sencillas clasificadas en cuatro grupos y representadas en la Fig. 5: a) rectilínea sencilla, b) rectilínea con esquina (ángulo de 90°), c) rectilíneas con solape, d) rectilíneas con solape y esquina. Para comprobar el comportamiento de las señales en una trayectoria compleja, se propone la geometría tipo álabes de la Fig. 5 dcha.) la cual combinará el movimiento X e Y de la máquina y permitirá estudiar la evolución de la temperatura durante dicha trayectoria compleja.

### 3. RESULTADOS

Para la obtención de los resultados, se ha monitorizado el flujo de polvo y la temperatura en el baño fundido durante el proceso, y de manera simultánea. En la Fig. 6, donde se observa la evolución del flujo másico de polvo, la señal recogida muestra un comportamiento estable y uniforme, teniendo en cuenta que el sensor de medida presenta un ruido inherente debido al método de medición basado en sombras. Finalmente, se observa que la medida presenta un valor medio cercano al establecido en el apartado de caracterización del cordón, de 5,5 g/min.

Como puede observarse, la señal obtenida experimentalmente es clara y permite cuantificar el flujo másico. Esta señal ofrece la capacidad de analizar en tiempo real uno de los parámetros más relevantes del proceso, ya que la estabilidad del flujo másico es de suma importancia a la hora de evitar defectos internos como poros o grietas, y fundamental para poder mantener un crecimiento constante del cordón apor-

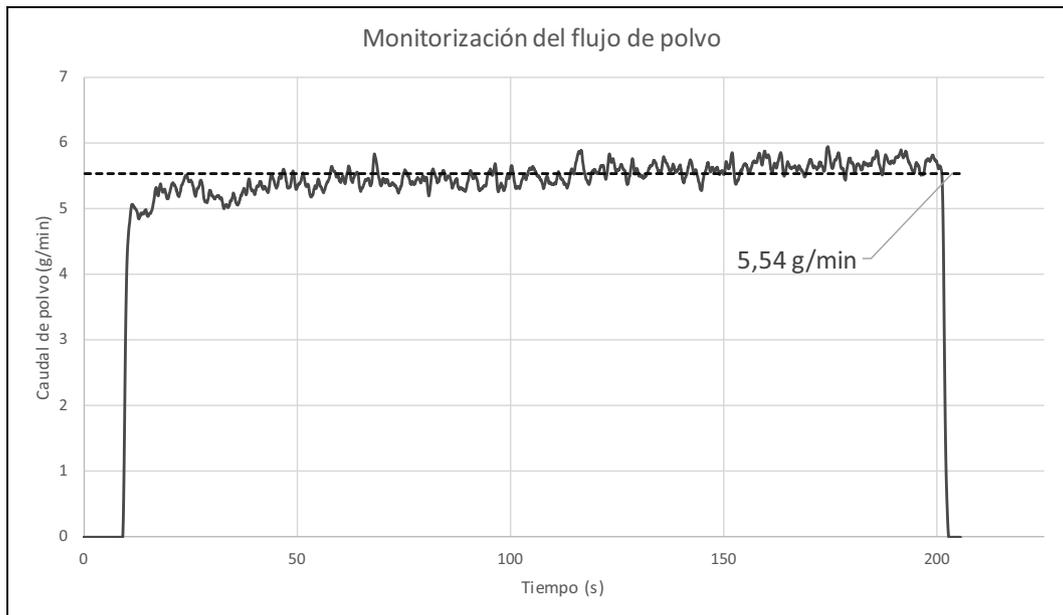


Fig. 6. Monitorización del flujo másico de polvo.

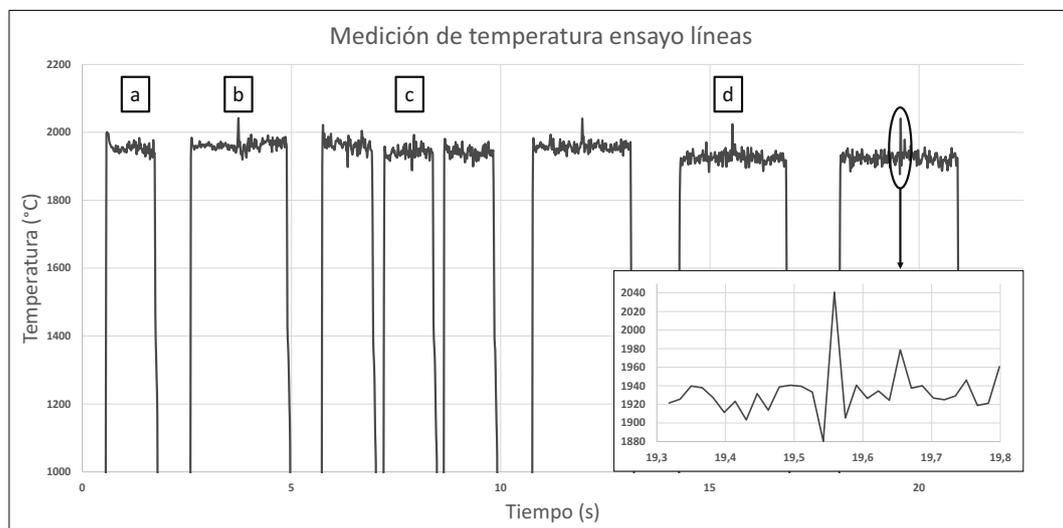


Fig. 7. Monitorización de la temperatura de las trayectorias rectilíneas.

tado. Siendo esto último, de vital importancia para la estabilidad del proceso, ya que contribuye a conservar, tanto la distancia focal del haz láser, como la concentración de polvo.

Para la monitorización de la temperatura se ejecutan las trayectorias propuestas en el apartado anterior con el fin de determinar la influencia de éstas en la estabilidad del proceso desde el punto de vista térmico. Como se puede observar en la Fig. 7, existe un pico de temperatura en aquellas trayectorias que incluyen un cambio de dirección brusco, en este caso, un ángulo de  $90^\circ$  correspondientes a las trayectorias b) y d). Esto es debido a la dinámica de la máquina, ya que, para realizar este cambio de dirección, es necesaria una deceleración para detener el avance en uno de los ejes y comenzar un proceso de aceleración en la dirección perpendicular en este caso. Este efecto de deceleración supone un mayor tiempo de interacción entre láser y pieza, provocando el aumento de la temperatura.

A continuación, analizando los resultados de las trayectorias complejas de aporte, en la pieza test de tipo álabe, se muestran los valores en la Fig. 8. Al no existir ningún ángulo pronunciado en la trayectoria, no se generan picos elevados de temperatura debido paradas de la máquina, corroborando la medida tomada en las trayectorias rectilíneas. Se aprecia, además, un descenso de la temperatura, que se atribuye al efecto de desalineamiento del pirómetro con respecto al baño fundido cuando se realiza la trayectoria. Al ser necesaria la interpolación de los ejes X e Y de forma simultánea el frente de temperaturas cambia de orientación con mayor frecuencia que en las trayectorias rectilíneas.

En la Fig. 7 y la Fig. 8 se puede observar un descenso sistemático de la temperatura al existir un solape en la estrategia de aporte. En efecto, cuando esto ocurre, como es el caso del conjunto de trayectorias c) y d) de la Fig. 7, compuestas a su vez por tres trayectorias, puede observarse cómo la primera de las tres presenta un valor de temperatura superior a las demás. Este fenómeno es debido al funcionamiento interno del pirómetro, el cual se basa en el cálculo de la media de todas las lecturas de temperatura realizadas en la zona de medición. Como en el conjunto de trayectorias c) y d) de la Fig. 7 no se contempla un solape completo de las trayectorias, en la zona de medida del pirómetro coexisten áreas con mayor temperatura que otras; ya que, el cordón adyacente al que está siendo aportado tiene una altura distinta a la de referencia. Por tanto, se crea una zona “ciega” en la que el pirómetro no capta la temperatura del baño fundido, sino la temperatura de parte del cordón adyacente, que es de menor valor; haciendo la media de las temperaturas que se obtiene del pirómetro sea ligeramente inferior.

Este fenómeno de solape se corrobora al realizar la monitorización de la temperatura en las trayectorias complejas de la Fig. 8. En dicha figura, el orden de aporte es el especificado con los números referidos a cada trayectoria, así la primera trayectoria en realizarse fue la 4, la correspondiente a la más externa, después la 1 la más interna, no existiendo solape en ninguna de las dos. No obstante, al realizar el aporte de

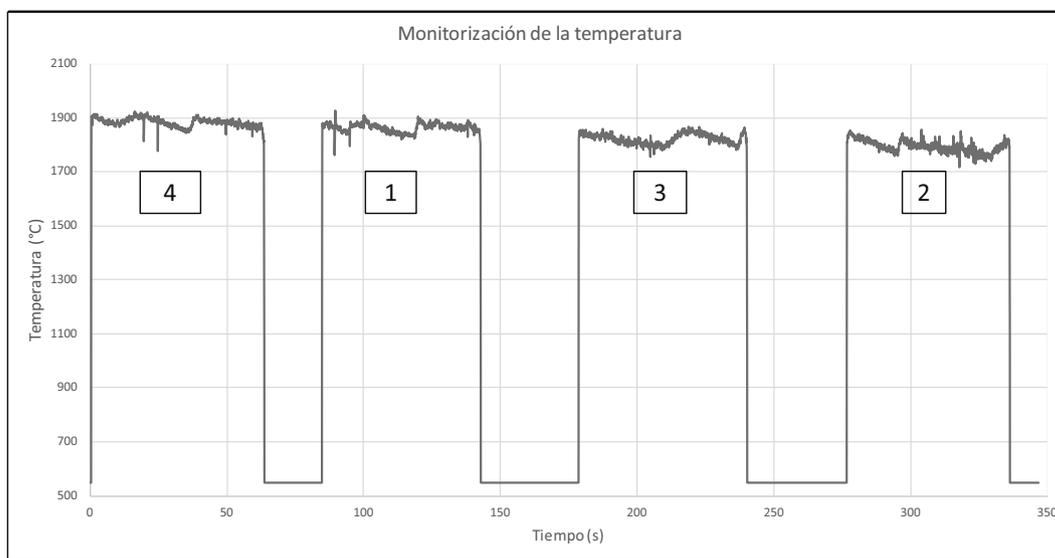


Fig. 8. Monitorización de trayectorias complejas tipo álabe.

las trayectorias 3 y 2, se observa de nuevo un ligero descenso del valor medio de la temperatura, al igual que ocurría con las trayectorias rectilíneas simples del párrafo anterior.

Cabe destacar que el hecho de que el pirómetro detecte una temperatura inferior, no quiere decir que la temperatura del baño fundido se haya reducido. Este hecho es importante, ya que si se quiere tomar este valor de temperatura como referencia para poder controlar la temperatura mediante la modificación de la potencia del láser sería necesaria una compensación mediante software que tuviera en cuenta la existencia de los sopales y su valor para poder obtener de forma fiable el valor de la temperatura del baño fundido.

#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado un conjunto de sensores y su integración y puesta en marcha de los mismos en una célula de aporte láser por LMD.

En cuanto a la monitorización del flujo de polvo, se ha demostrado el potencial del sensor FlowWatch<sup>®</sup> para la monitorización del caudal en tiempo real de forma rápida y precisa, habiéndose realizado una calibración y una validación de su funcionamiento durante el proceso de aporte.

En lo referente a la monitorización de la temperatura, se ha demostrado que el tipo de estrategia seleccionada para el aporte y el funcionamiento del propio pirómetro tienen un papel relevante. Los ensayos realizados han puesto de manifiesto el efecto de la estrategia de aporte sobre la estabilidad del proceso desde el punto de vista térmico. Los ángulos vivos generan una respuesta dinámica en la máquina que, si no es debidamente controlada, pueden generar picos de elevada temperatura; siendo estos perjudiciales, tanto para la microestructura del material, como para la posible generación de defectos internos, como grietas o poros.

Del mismo modo varios efectos han podido ser identificados a la hora de monitorizar la temperatura, tales como el solape de trayectorias, el desalineamiento del pirómetro y la dinámica del frente de temperaturas. El error de alineamiento se hace menos perceptible en trayectorias rectilíneas debido a que el frente de temperaturas permanece constante a lo largo de las dos direcciones posibles. Sin embargo, cuando se interpolan de forma simultánea varios ejes, la orientación del campo de temperaturas amplifica el error de medida, ya que el pirómetro capta zonas de mayor y menor temperatura, obteniéndose una resultante de valor inferior al esperado.

Se ha observado, también durante la monitorización de la temperatura, el efecto que tiene el solape entre cordones. Al existir una diferencia de altura entre cordones adyacentes, una parte del baño fundido no puede ser captada por el pirómetro de manera correcta, haciendo que éste arroje un valor de temperatura ligeramente inferior. Esto se debe a que su principio de operación consiste en realizar una media de todos los valores de temperatura recogidos. Este fenómeno puede inducir a un error y ha de tenerse en cuenta si se desea realizar un control de temperatura en lazo cerrado, ya que la temperatura del baño fundido no tiene por qué haber cambiado de forma significativa.

#### AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido financiado por el proyecto SUSIE Ref. KK-2020/00054 en el marco de los proyectos Elkartek del Gobierno Vasco.

#### REFERENCIAS

- [1] Cortina, M., Arrizubieta, J.I., Calleja, A., Ukar, E., Alberdi, A., “Case Study to Illustrate the Potential of Conformal Cooling Channels for Hot Stamping Dies Manufactured Using Hybrid Process of Laser Metal Deposition (LMD) and Milling”, *Metals*, 8, 102 (2018)
- [2] Hofman, J.T., Pathiraj, B., van Dijk, J., de Lange, D.F., Meijer, J., “A camera-based feedback control strategy for the laser cladding process”, *Journal of Materials Processing Technology*, 212, 2455-2462 (2012)
- [3] Everton, S., Hirsch, M., Stravroulakis, P.K., Leach, R.T., Clare, A., “Review of in-situ process monitoring and in-situ metrology for metal additive manufacturing”, *Materials and Design*, 95, 431-445 (2016)

- [4] DMG MORI CO., LTD. Lasertech 65 Hybrid *datasheet*. Ultimo acceso; 23/10/2019.
- [5] Ocylok, S., Alexeev, E., Mann, S., Weisheit, A., Wissenbach, K., Kelbassa, I., “Correlations of melt pool geometry and process parameters during laser metal deposition by coaxial process monitoring”, *Physics Procedia*, 56, 228-238 (2014)
- [6] Bi, G., Gasser, A., Wissenbach, K., Drenker, A., Poprawe, R., “Identification and qualification of temperature signal for monitoring and control in laser cladding”, *Optics and Laser Engineering*, 44, 1348-1359 (2006)
- [7] Rodríguez-Araujo, J., Rodríguez-Andina, J.J., “ROS-based on-line monitoring of LMD robotized cells”, IEEE 13th International Conference on Industrial Informatics (INDIN) (2015)
- [8] Arrizubieta, J.I., Taberero, I., Ruiz, J.E., Lamikiz, A., Martínez, S., Ukar, E., “Continuous coaxial nozzle design for LMD based on numerical simulation”, *Phys. Procedia*, 56, 429–438 (2014)
- [9] Oerlikon Metco, *MetcoClad 718 Material Product Data Sheet*; Ultimo acceso 23/10/2019

## **MONITORING AND EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE STRATEGY IN THE LASER DED PROCESS**

**Abstract** – Laser DED, Additive Manufacturing, Monitoring, Melt pool, Pyrometer.

**Keywords** – Laser Direct Energy Deposition (Laser-DED) is one of the Additive Manufacturing process that has become more important for the manufacture and repair of complex and high added value-metal parts. The process is of particular interest in the aeronautical industry, where the characteristics of its components require reliable solutions for the repair and scrap reduction. At the same time, this type of additive manufacturing technology is capable of approaching other fields such as the generation of high-performance coatings, where there is a wide range of possible applications thanks to the use of different materials. However, one of the great challenges of this technology is the lack of robustness since there are not reliable monitoring and control systems of the process yet. The ability to accurately determine the magnitude of the main variables of the process is essential in order to improve its stability.