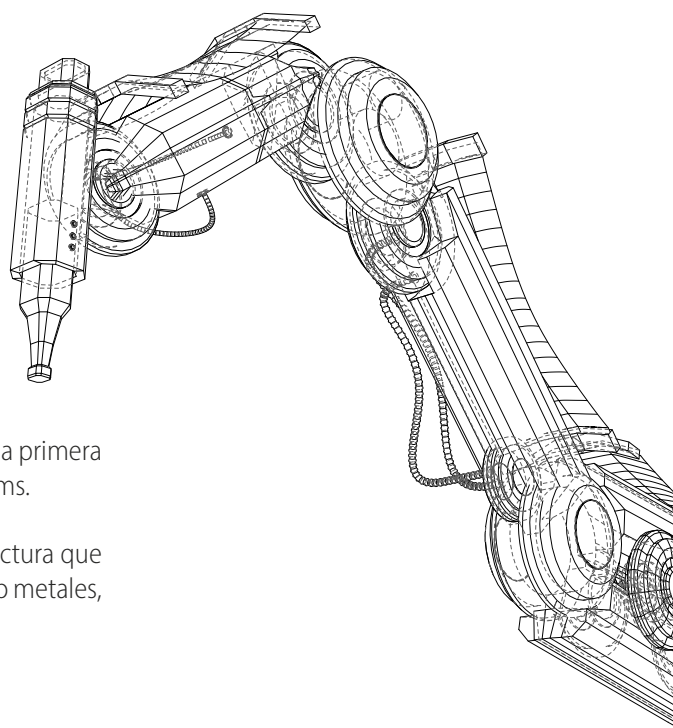


Técnica

FABRICACIÓN ADITIVA Y ACERO INOXIDABLE: INNOVACIÓN EN LA INDUSTRIA METÁLICA

La fabricación aditiva (FA), también conocida como impresión 3D, ha revolucionado la manera de producir piezas metálicas. A diferencia de los métodos tradicionales, donde se elimina material (mecanizado) o se utiliza un molde (fundición), la FA construye objetos capa por capa a partir de un modelo digital, permitiendo geometrías complejas, reducción de desperdicio y personalización.



Hitos clave:

1984

Charles Hull patenta la estereolitografía (SLA), la primera tecnología de impresión 3D, y funda 3D Systems.

1987

Carl Deckard introduce un proceso de manufactura que consiste en calentar polvos de materiales, como metales, llamado sinterización selectiva por láser (SLS).

1992

Aparece la primera máquina SLA comercial.

2005

Nace el proyecto RepRap, con el objetivo de crear impresoras 3D autorreplicables y de bajo coste.

2013

NASA prueba piezas metálicas impresas en 3D para cohetes.

2020

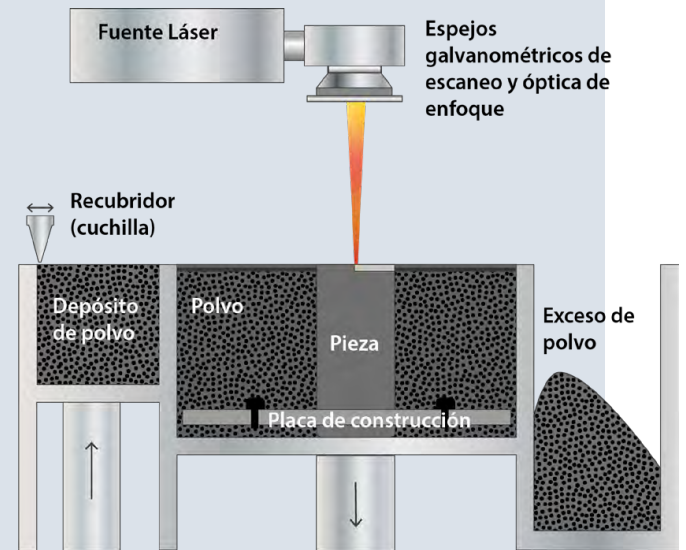
Se consolida la industrialización de la FA, con aplicaciones en sectores como la salud, el aeroespacial y la construcción.

Fabricación aditiva metálica

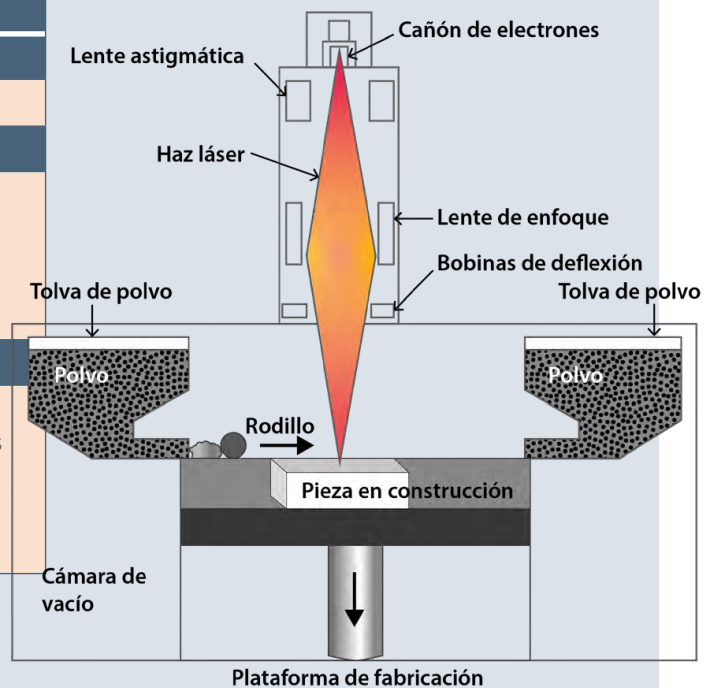
Aunque la fabricación aditiva inicialmente se desarrolló con polímeros, la tecnología se adaptó posteriormente a metales, abriendo un abanico de aplicaciones industriales de alto valor. Tiene aplicaciones críticas en aeronáutica, automoción, medicina, energía y bienes de consumo, gracias a su precisión y robustez.

Las tecnologías de FA metálica se dividen según el material de entrada (polvo o hilo metálico) y la fuente de energía, por ello explicaremos algunas de las tecnologías más utilizadas:

Tecnología: LASER POWDER BED FUSION (LPBF)	
Material de entrada	Fuente de energía
Polvo metálico	Láser de alta potencia (fibra o CO ₂)
Funcionamiento	Aplicaciones
Un láser funde selectivamente capas finas de polvo metálico depositadas en una cama, siguiendo un modelo digital. Cada capa se solidifica antes de depositar la siguiente.	• Aeronáutica • Implantes médicos • Piezas de precisión • Herramientas • Joyería
Ventajas	Limitaciones
• Alta precisión dimensional • Densidad >99 % • Excelente acabado superficial • Geometrías complejas	• Coste elevado del equipo y del polvo • Tamaño limitado de piezas • Necesidad de atmósfera inerte • Tensiones residuales

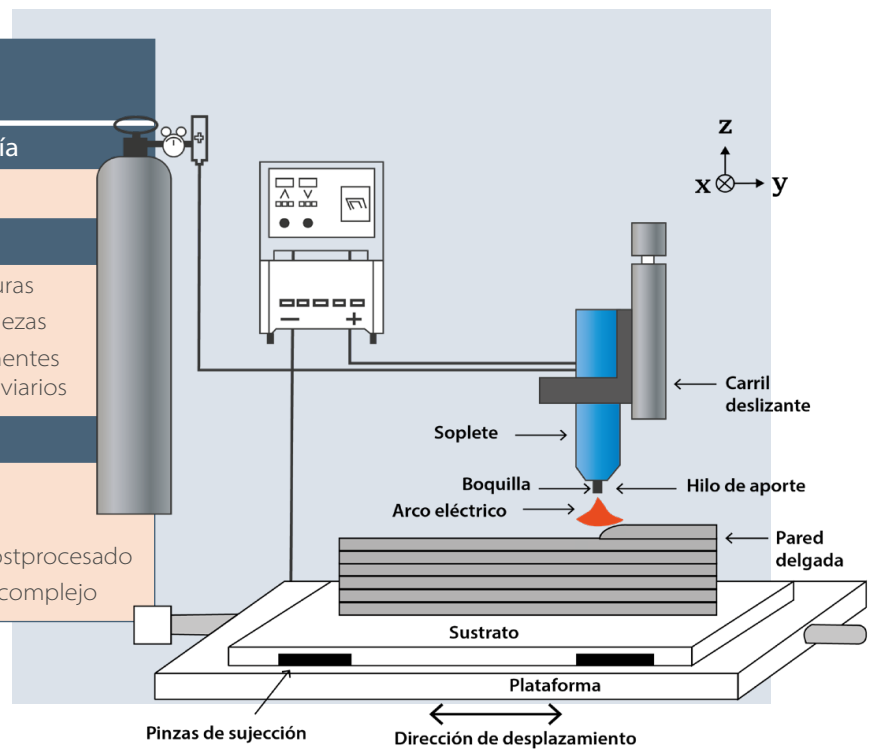


Tecnología: ELECTRON BEAM MELTING	
Material de entrada	Fuente de energía
Polvo metálico	Haz de electrones
Funcionamiento	Aplicaciones
El haz funde el polvo en una cámara de vacío, capa por capa. Permite controlar la microestructura mediante la velocidad de escaneo.	• Aeroespacial • Biomédica (implantes) • Turbinas
Ventajas	Limitaciones
• Alta velocidad de fusión • Excelente control térmico • Menor distorsión • Piezas densas	• Requiere vacío • Acabado superficial más rugoso • Precisión inferior al LPBF • Coste alto



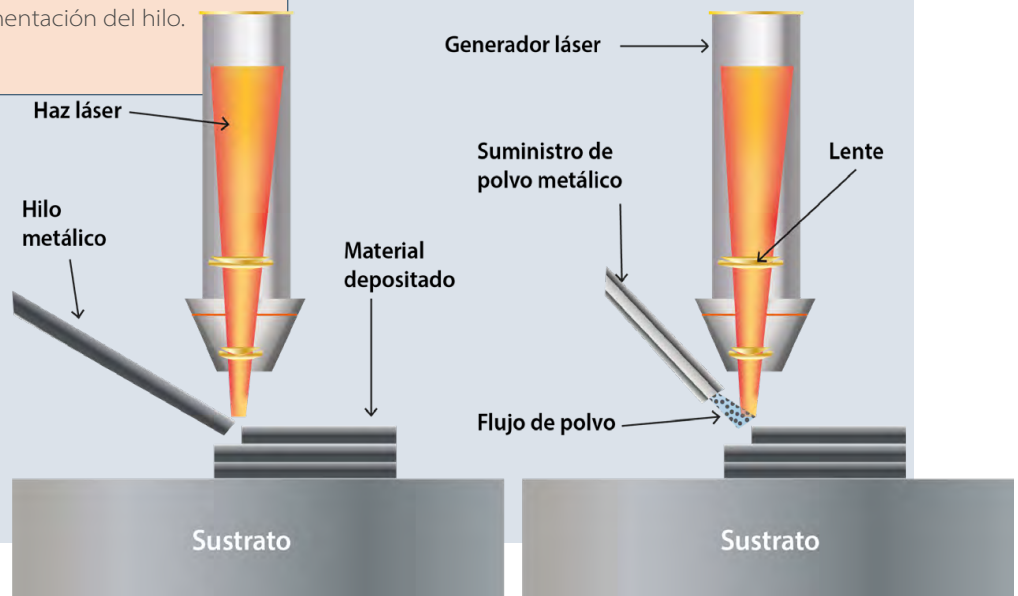
Tecnología: WIRE ARC ADDITIVE MANUFACTURING (WAAM)

Material de entrada	Fuente de energía
Hilo metálico	Arco eléctrico
Funcionamiento	Aplicaciones
Un arco eléctrico funde el hilo metálico depositando capa por capa sobre un sustrato.	- Grandes estructuras - Reparación de piezas - Moldes, componentes navales o ferroviarios
Ventajas	Limitaciones
- Alta velocidad de deposición - Bajo coste del material - Permite piezas grandes	- Baja resolución - Acabado rugoso - Necesidad de postprocesado - Control térmico complejo



Tecnología: LASER METAL DEPOSITION

Material de entrada	Fuente de energía
Hilo metálico o polvo metálico	Láser
Funcionamiento	Aplicaciones
Un láser crea un baño de fusión en el sustrato, donde se introduce hilo metálico para construir la pieza capa por capa.	- Reparación de componentes - Recubrimientos - Piezas medianas o grandes.
Ventajas	Limitaciones
- Alta calidad metalúrgica - Baja porosidad - Permite reparación y recubrimientos	- Precisión media - Requiere control fino del láser - Alimentación del hilo.



El acero inoxidable y la fabricación aditiva

La fabricación aditiva metálica con acero inoxidable permite fabricar piezas complejas, personalizadas y funcionales, manteniendo propiedades comparables a métodos tradicionales. Es uno de los materiales más utilizado en la FA metálica, gracias a su resistencia mecánica y a la corrosión, soldabilidad, estabilidad dimensional y biocompatibilidad.

Los tipos de acero inoxidable más utilizados son:

316L: austenítico, resistente a medios marinos y químicos, usado en biomedicina.

17-4PH: martensítico endurecible por precipitación, alta resistencia mecánica.

304L: económico y versátil, adecuado para aplicaciones estructurales no críticas.

Aunque la FA metálica ofrece grandes oportunidades, el proceso de impresión de acero inoxidable sigue siendo complejo. Las propiedades finales de la pieza dependen de múltiples factores: el tipo de acero, la forma del material (polvo o hilo), la fuente de energía utilizada y los parámetros de deposición. Por ello, es interesante conocer los principales desafíos:

- 1 Tensiones residuales y distorsión térmica:** las altas tasas de calentamiento y enfriamiento generan gradientes térmicos intensos, provocando tensiones internas que pueden deformar la pieza durante o después de la impresión. Estas tensiones afectan la resistencia a la fatiga y pueden favorecer la aparición de grietas por corrosión bajo tensión.
- 2 Microestructura indeseada y anisotropía:** la solidificación capa por capa puede generar texturas cristalinas que varían según la dirección de deposición, resultando en propiedades mecánicas diferentes en distintas orientaciones. La formación de inclusiones, dendritas o segregaciones puede alterar dureza, ductilidad y resistencia a la corrosión.
- 3 Porosidad y defectos internos:** porosidad y defectos internos: Inclusión de poros o falta de fusión ("lack-of-fusion") que afectan la integridad mecánica y la durabilidad de las piezas. Aunque no siempre visibles externamente, estos defectos pueden ser críticos para aplicaciones exigentes.

Los avances recientes buscan afrontar estos desafíos mediante optimización de parámetros, nuevos materiales y postprocesado avanzado. Algunos ejemplos son: la aplicación de ultrasonidos durante la deposición para refinar la microestructura, las

estrategias de escaneo que minimizan gradientes térmicos o el desarrollo de aleaciones de acero inoxidable más compatibles con FA. Sin embargo, cada innovación introduce nuevos retos, como la necesidad de comprender cómo los cambios en la microestructura afectan a la resistencia, la durabilidad y el comportamiento frente a la corrosión.

Más allá de los desafíos, la FA con acero inoxidable abre nuevas oportunidades industriales y de diseño:

- 1 Nuevas aleaciones y gradientes de materiales:** la impresión 3D permite combinar capas de diferentes composiciones, generando aceros inoxidables híbridos o recubrimientos que mejoran la resistencia mecánica y química
- 2 Componentes multimateriales (cladding):** se están desarrollando discos de freno con capas externas de acero inoxidable que mejoran la resistencia a la corrosión y reducen emisiones de partículas, mientras mantienen núcleos de materiales más económicos.
- 3 Aplicaciones biomédicas personalizadas:** el 316L impreso en 3D se usa para fabricar implantes y prótesis adaptadas al paciente, con geometrías porosas que favorecen la osteointegración.
- 4 Piezas de alto valor en energía y química:** la resistencia del inoxidable a ambientes agresivos lo hace ideal para fabricar intercambiadores de calor, turbinas o reactores químicos optimizados con geometrías internas complejas imposibles de obtener por métodos convencionales.
- 5 Producción descentralizada y bajo demanda:** la FA reduce tiempos de suministro y permite fabricar piezas inoxidables personalizadas cerca del punto de uso, con ventajas en sectores como la aeronáutica u oil & gas.
- 6 Fabricación de repuestos:** la FA permite producir componentes de acero inoxidable descatalogados o difíciles de obtener, asegurando el mantenimiento de equipos industriales, ferroviarios o energéticos sin necesidad de grandes inventarios.

En definitiva, aunque la fabricación aditiva de acero inoxidable ha alcanzado niveles impresionantes de precisión y funcionalidad, el proceso sigue siendo un delicado equilibrio entre innovación, control del proceso y comprensión de los materiales, lo que hace que la investigación y desarrollo continúe siendo crucial para su expansión industrial.