

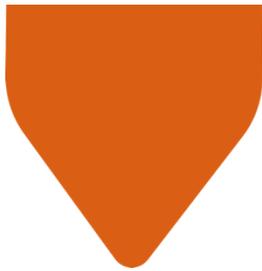
Interreg



Sudoe

ADDITool

European Regional Development Fund



ESTUDIO DE OPORTUNIDADES PARA
TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN ADITIVA
METÁLICA (FAM) EN EL SECTOR
UTILLAJE

www.additool.eu

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. OFERTA TECNOLÓGICA AM	4
2.1. Motivación y potencial.....	4
2.2. Perspectivas	7
2.3. Impacto & oportunidades	11
2.4. Oportunidades del mercado	13
2.5. Tendencias de la industria del utillaje en FAM	14
2.5.1. Mecanizado híbrido.....	14
2.5.2. Aplicaciones de procesos aditivos e híbridos para utillaje.....	18
2.5.3. Optimización del material - Optimización topológica.....	18
2.5.4. Refrigeración	20
3. DEMANDA AM EN EL SECTOR UTILLIAJE	23
4. IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDADES	25
4.1. Desglose de resultados por país.....	25
4.1.1. Sectores industriales por país	25
4.1.2. Campo de aplicación de las tecnologías FAM	26
4.1.3. Materiales y tecnologías FAM.....	27
4.2. Identificación de oportunidades	27
4.2.1. España	27
4.2.2. Francia.....	28
4.2.3. Portugal	28
4.3. Selección de los casos de estudio	29
5. REFERENCIAS.....	30

1. INTRODUCCIÓN

Tras los resultados obtenidos en la actividad 1.1, este documento pretende analizar diferentes aplicaciones potenciales en el sector utillaje siendo parte de la actividad 1.2 (“Estudio de Oportunidades para tecnologías FAM en el sector utillaje”).

Se identificará un conjunto de oportunidades para el desarrollo y mejora de las tecnologías actuales de Fabricación Aditiva Metálica (FAM) en los sectores industriales, así como indicaciones para posibles nuevas aplicaciones. Esta actividad es clave para la futura definición de casos de estudio.

Como se indica en la descripción del paquete de trabajo 1, cada socio trabajará en estrecha colaboración con los socios locales para definir los retos y oportunidades tecnológicas más relevantes en el ámbito del sector de moldes y utillajes.

Esta colaboración supondrá:

1. El contacto directo con las entidades identificadas durante la actividad 1.1, mediante reuniones técnicas y visitas a las instalaciones, para así poder valorar las necesidades particulares de cada empresa.
2. Niveles representativos de información e identificación de tecnologías aditivas metálicas de mayor impacto para el sector utillaje, en el futuro.

Estas tendencias serán la base para definir los casos de estudio en la actividad 1.3.

2. OFERTA TECNOLÓGICA AM

2.1. Motivación y potencial

La fabricación aditiva (FA), también conocida como impresión 3D, permite la fabricación de geometrías complejas, producción remota, reducción de peso, tiempos de entrega reducidos y libertad en el diseño. El aprovechamiento de la materia prima se optimiza de forma muy general gracias a la impresión 3D, que utiliza los métodos de construcción denominados "capa a capa" y que permite adaptarse a una amplia variedad de necesidades. La FA en muchos casos reduce los costes, al tiempo que reduce significativamente el tiempo de fabricación.

Características interesantes como la capacidad de fabricar piezas cada vez más ligeras, utilizar la materia prima en la cantidad adecuada, aumentar las propiedades mecánicas, reducir los tiempos de fabricación y producción, e incluso la libertad de personalización son algunos de los factores que animan a las empresas a invertir en estas nuevas tecnologías. Muchas pequeñas y medianas organizaciones se están moviendo cada vez más hacia la impresión 3D para el desarrollo de productos personalizados [01].

Los metales se utilizan generalmente en la fabricación aditiva de productos que requieren alta resistencia mecánica, estabilidad, resistencia química y / o térmica. La impresión 3D utiliza diferentes materiales metálicos para fabricar diversos prototipos, repuestos y / o piezas funcionales, etc. para diversas industrias como la aeroespacial, automotriz, defensa, médica e industrial en general.

Además, la FA aporta nuevas metodologías y capacidades de producción en comparación con los procesos de producción convencionales denominados "sustractivos", abriendo nuevas perspectivas sobre el ciclo de vida de los equipos y componentes. Esto permite alargar la vida útil de las piezas en servicio mediante nuevas metodologías de reparación o mediante la producción de piezas de recambio.

Gracias a la combinación de todos los medios de diseño digital (incluido el método de elementos finitos - FEM, o cualquier otra herramienta de análisis digital), ahora es posible explorar el verdadero potencial de la Fabricación Aditiva.

En este contexto, las principales ventajas de la fabricación aditiva sobre la fabricación sustractiva son las siguientes [02]:

- No se requieren herramientas, reduciendo el tiempo y los costes de producción;
- Los “lotes pequeños” de producción son factibles y económicamente viables;
- Los cambios de diseño son rápidos y fáciles de implementar;
- La optimización del producto se centra en las funciones (por ejemplo: refrigeración, canales optimizados, etc.);
- La capacidad de producir piezas con geometrías complejas;
- Gran potencial para simplificar la Cadena de Suministro, reduciendo tiempos de aprovisionamiento, tiempos de entrega, reducción de stocks, etc.

A medida que las tecnologías mejoran y los procesos se refinan, la FAM se vuelve más popular y accesible. Sin embargo, incluso cuando los precios de las máquinas bajan y se descubren nuevas aplicaciones para la fabricación aditiva, persisten desafíos que impiden que muchas empresas utilicen esta tecnología innovadora en todo su potencial. En la encuesta, "Informe de tendencias de impresión 3D", Dimensional Research descubrió que el 96% de los encuestados encuentran diferentes desafíos que afrontar al utilizar la impresión 3D (Figura 1).

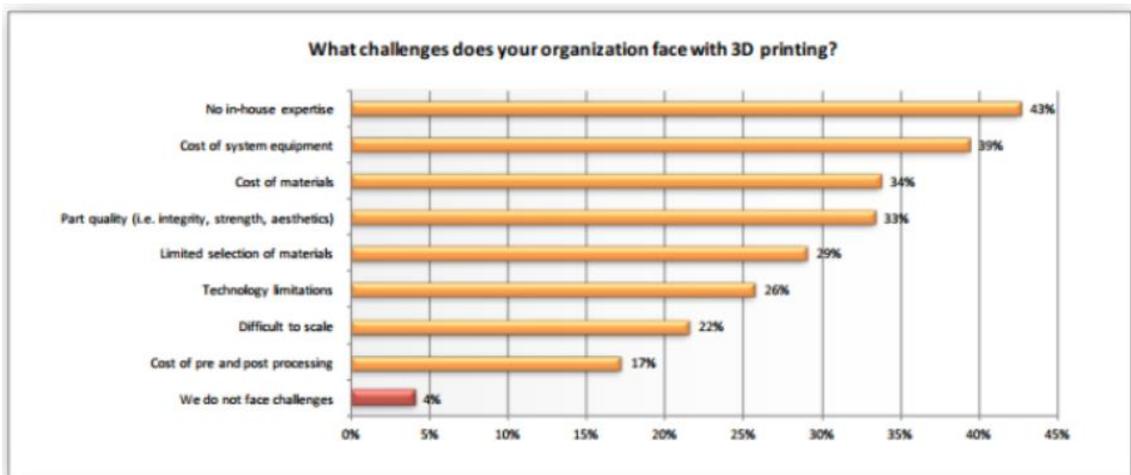


Figura 1. Desafíos de la Fabricación Aditiva [03]

Los cuatro principales desafíos citados por los encuestados son: falta de experiencia interna, el coste de los diversos equipos, el coste del material y la calidad de las piezas producidas:

Falta de experiencia interna: Una de las mayores barreras para la fabricación aditiva en los negocios podría ser la tecnología en sí. Si bien pocas empresas cuestionan los méritos y el valor de la fabricación aditiva de metales, muchas carecen de personal con la amplia gama de habilidades y capacitación necesarias para fabricar piezas internamente con éxito.

Coste de equipamiento: Aunque las tecnologías FAM han avanzado significativamente en los últimos años y aunque el mercado se está acelerando con los costes de los equipos cayendo hasta un 30% en algunos casos, el coste de los equipos aún no es asequible (mínimo 100.000 €). La fabricación aditiva solo está dimensionada para la producción de series pequeñas y medianas, con volúmenes bajos, y por tanto es necesaria la compra de varias máquinas para incrementar las tasas de producción. Esto tiene la consecuencia directa de que el coste total es un obstáculo importante para quienes buscan una solución de fabricación económica.

Coste del material: Los materiales suelen ser una línea importante en el presupuesto de un fabricante. Según Dimensional Research, los fabricantes de herramientas se ven particularmente afectados por el coste de los materiales y es más probable que se enfrenten a problemas al seleccionar los materiales disponibles.

Calidad de las piezas: No todos los proveedores de repuestos y servicios de impresión 3D de metal son iguales; por esta razón, la calidad de las piezas sigue siendo una de las principales preocupaciones de los fabricantes. La repetibilidad de una pieza a otra y de una máquina a otra es extremadamente difícil con los procesos DED o PBF.

En este contexto, las actividades de investigación europeas se centran actualmente en el estudio del efecto de la materia prima, los parámetros de los procesos y postratamientos sobre las propiedades resultantes de las piezas. Otro objetivo importante es definir procedimientos y estándares para la calificación de procesos y proveedores para la fabricación de componentes en FAM.

2.2. Perspectivas

Se espera que la fabricación aditiva en 2050 sea completamente diferente a la actual, ya que pasa de la producción en masa barata a la producción personalizada, adaptándose a los mercados globales cambiantes [04] [05]. Estas tecnologías permiten una producción limpia, mediante la eficiencia energética y de materiales. En los últimos años, la industria de fabricación aditiva ha pasado de la creación de prototipos a la producción, donde las exigencias de calidad y complejidad son mucho mayores. Posteriormente, se realizaron inversiones muy importantes en investigación y comercialización. Muchos fabricantes de equipos han aparecido desde 2015 y este sector seguirá creciendo exponencialmente en los próximos años [06].

La escasez de materias primas, la disponibilidad de bases de Big Data [05] y la tendencia a personalizar los productos hacen de la FA una alternativa perfecta a la fabricación convencional. La perspectiva de AM está atenta a diferentes puntos para mejorar esta tecnología en términos de viabilidad, a escala industrial:

- Productividad y flexibilidad
- Recopilación de información
- Estandarización de la calidad
- Disponibilidad de materiales
- Equipos multidisciplinares y programas de formación

Recientemente, Polaris Market Research [01] llevó a cabo un análisis del tamaño del mercado de la impresión 3D metálica que muestra el potencial de FAM en los próximos años dependiendo de la región (Figura 2).

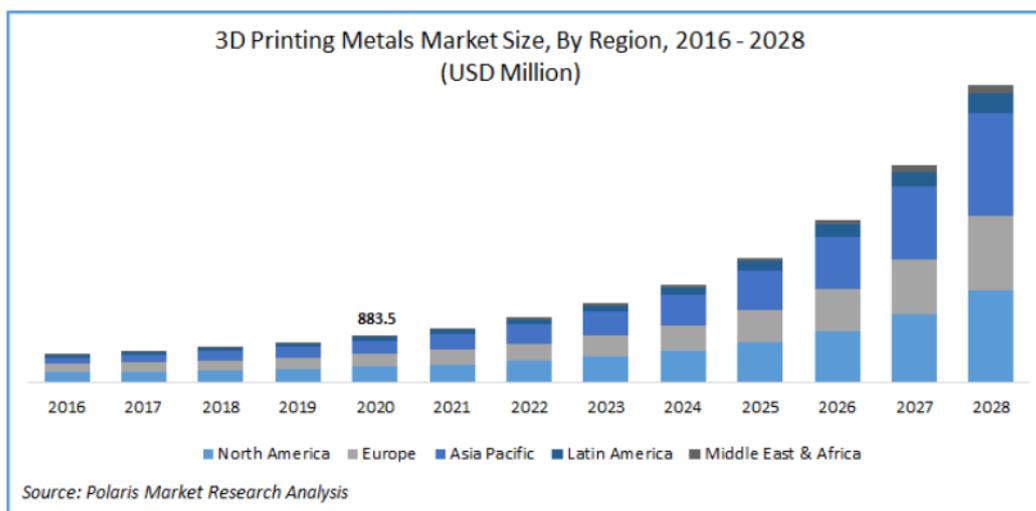


Figura 2. Tamaño de mercado para FA [01]

Los altos costes de los equipos FAM pueden justificarse por una mayor velocidad de fabricación, mayores volúmenes de fabricación y facilidad de carga o descarga de piezas, entre otros. Para aumentar la tasa de deposición y la productividad, las principales soluciones se centran en diferentes puntos clave. Como por ejemplo, se implementan láseres de mayor potencia, con multi-láseres para trabajar en paralelo o para seguir diferentes estrategias (ejemplo: estrategias skin-core que usan un láser de alta potencia para construir el núcleo y otro con menor potencia para construir piel con mejor precisión). Los sistemas multipunto con eliminación local de humo y gas protector también se utilizan por las ventajas resultantes (alta velocidad de producción, sin limitaciones de tamaño de la cámara, etc.). Además, el concepto de iluminación de lecho de polvo o fusión de chorros múltiples se encuentra en sus etapas finales de desarrollo. Estos sistemas utilizan agentes químicos para reducir o mejorar la fusión mientras logran una alta precisión de superficie y máscaras para controlar la radiación láser. Otra opción para reducir el tiempo de fabricación es el uso de nuevos sistemas que permiten una mayor tasa de deposición del polvo y una fusión más rápida.

La rugosidad y la precisión dimensional en la superficie se pueden optimizar mediante post-procesados, como el fresado, pulido y / o mecanizado. Para ello, las máquinas híbridas integran directamente las dos tecnologías (FA y Mecanizado) en una sola máquina para aumentar la productividad y reducir los tiempos de espera.

Además, los conceptos de modularidad e integración brindan flexibilidad en la combinación de diversos subsistemas, como cámaras de fabricación más grandes, postratamientos, estaciones de manipulación o descarga automatizadas, con el objetivo de reducir drásticamente los costes de producción.

Es muy difícil obtener una buena calidad en piezas muy complejas. Para ello, es importante crear y seguir metodologías precisas para seleccionar los parámetros y estrategias adecuadas para diferentes materiales. La integración y comunicación entre máquinas, la recopilación de datos y los programas de análisis para la gestión de máquinas son de gran importancia. Además, la simulación es una herramienta casi imprescindible para predecir y controlar distorsiones, tensiones residuales y microestructuras, limitando así el número de pruebas.

En el campo de los sistemas de control y monitorización, se han desarrollado diferentes metodologías para asegurar un proceso de fabricación robusto y repetible sin diferencias en cuanto a calidad y dimensiones entre lotes. El control del proceso permite monitorizar cualquier irregularidad durante la deposición de la capa, pero también los

parámetros físicos del láser, el nivel de oxígeno y la presión de la atmósfera. El control del lecho fundido permite monitorizar la temperatura y la forma del baño en tiempo real utilizando sensores de alta resolución. Esto mejora la trazabilidad, la calidad, la confiabilidad, la repetibilidad y la eficiencia. También hay un software de simulación que predice el lecho fundido y el comportamiento del polvo metálico.

Por otro lado, los ensayos no destructivos (END) aseguran la calidad de los componentes fabricados. En este contexto, la tomografía computarizada es una herramienta muy útil para detectar la porosidad en geometrías complejas. Debido a la juventud de la FA para piezas metálicas, las especificaciones de inspección aún se están desarrollando y muchos fabricantes de métodos de inspección han desarrollado recientemente nuevas metodologías adecuadas para FAM [06].

La optimización topológica de las piezas debe realizarse mediante software especializados. Los diseñadores cambian la forma en que diseñan para adoptar un método de fabricación más funcional, lo que les da más libertad en las opciones de diseño. El software de optimización topológica permite diseños altamente optimizados y eficientes con estructuras de tipo reticular y / o biónico mediante la aplicación de algoritmos matemáticos. En las estructuras reticulares, el material se agrega solo a las áreas útiles, creando estructuras rígidas mientras se minimiza la masa, al mismo tiempo que se reduce el consumo de polvo metálico y el tiempo de fabricación.

Aunque la cantidad de materiales disponibles continúa creciendo, el catálogo de selección aún debe aumentar para satisfacer todas las demandas. Se están realizando desarrollos en la procesabilidad de nuevos materiales metálicos como superaleaciones de Ni, aleaciones de Al, metales refractarios y aceros martensíticos, entre otros. La generación de bases de datos sobre las propiedades de los materiales específicos para los diversos procesos de AM (DED Wire Laser, DED Wire Arc, DED Powder Laser, PBF Laser, etc.) puede proporcionar información para el diseño de nuevas aleaciones adecuadas para la FA.

EXMET ha desarrollado un proceso de fabricación de piezas metálicas amorfas por FA. Los metales amorfos combinan de forma única propiedades como alta resistencia, elasticidad, dureza, resistencia a la corrosión, conductividad y biocompatibilidad, todas muy útiles para futuras aplicaciones de alto valor añadido en electrónica, ingeniería aeroespacial y mecánica [68].

También está surgiendo un nuevo proceso de fabricación para la construcción de piezas con múltiples materiales y funciones específicas. Se basan en el gradiente del material de una pieza durante el proceso de fabricación y debiendo mostrar compatibilidad. Estas piezas se pueden hacer en dos cámaras diferentes o cambiando directamente la fuente de alimentación de 3 materiales diferentes, modificando a su vez las diferentes proporciones.

En el campo de la fabricación de polvos, la tendencia natural es reducir el precio y aumentar el volumen de producción. METALYSIS es un nuevo proceso para la fabricación de polvos por electrólisis: sus ventajas son la “limpieza”, el bajo consumo de energía y la reducción de costes cercano al 75% [07]. Sin embargo, se necesita una metodología para validar el polvo elaborado por las nuevas tecnologías. Asimismo, es necesario un estudio en profundidad sobre la influencia del reciclaje o reutilización del polvo manteniendo buenas propiedades de las piezas producidas.

En el futuro próximo, los requisitos incluirán programas de educación y formación como puntos clave para formar a trabajadores cualificados y equipos multidisciplinares para desarrollar productos complejos de FAM [04]. Para lograrlo, la formación pedagógica enfocada en tecnologías FAM (de colegio a universidad, incorporando también la formación profesional) es de gran importancia. Tendrá como objetivo incluir diferentes perfiles y un gran número de profesionales cualificados en este campo [06].

Si tenemos en cuenta los frenos y palancas para el desarrollo de la FA, conviene tener en cuenta los siguientes puntos:

- Calificación, estandarización y repetibilidad de procesos
 - Falta de repetibilidad y confianza en la fabricación de piezas: hay muchos parámetros que influyen en la producción y tenerlos en cuenta es una tarea compleja. Asimismo, aparecen fenómenos mecánicos, térmicos y termomecánicos y anticiparlos es muy difícil.
 - Además, se deben tener en cuenta los problemas de repetibilidad de las especificaciones técnicas de un lote de material a otro.
 - En términos de normalización, se están elaborando normas. Algunas ya son accesibles, principalmente en las llamadas tecnologías de lecho de polvo; por otro lado, los procesos DED sufren un cierto retraso.

- Mejora de velocidad de producción / coste de producción
 - El coste de fabricación de piezas sigue siendo demasiado elevado para ser competitivo en la producción en masa en la actualidad.
 - La adopción de tecnologías de fabricación aditiva solo es posible si se logra un equilibrio entre la velocidad de fabricación, el coste de producción y la calidad del producto terminado.
 - Estado superficial y postratamiento: La fabricación aditiva hoy en día no permite producir piezas con un buen acabado superficial, en particular para los procesos DED (Laser Wire, Arc Wire, Laser Powder, etc.), las superficies funcionales siempre deben reelaborarse.

2.3. Impacto & oportunidades

El uso de la fabricación aditiva puede cambiar profundamente las cadenas de suministro y fabricación, históricamente subcontratadas y centralizadas. Incluso si, para muchos productos estandarizados, la producción en masa tradicional sigue siendo y seguirá siendo la opción más ventajosa (al menos a corto y medio plazo), las tecnologías de fabricación aditiva representan una gran oportunidad y se aplican en particular:

- A las piezas afectadas por cortes en el suministro
- Piezas con necesidad limitada, pero para las que el volumen mínimo de pedidos de los proveedores es alto
- Pequeñas cantidades de piezas que requieren un molde y cuya fabricación es lenta y costosa
- Reparación y mantenimiento de repuestos y subsistemas.

Además, la adecuada identificación de las competencias y los recursos disponibles en los diferentes territorios es esencial para establecer una mayor cooperación entre los diferentes actores. Esto reduce considerablemente el coste de acceso a estas tecnologías.

La aparición de tecnologías de fabricación aditiva invita a nuevas iniciativas de colaboración. Estos últimos conciernen al mundo empresarial y regional, en particular al compartir metodologías y habilidades de diseño dentro del ecosistema industrial.

Para asegurar el mantenimiento y sostenibilidad de estos diferentes ecosistemas, la definición de una política nacional y regional debe ser una prioridad para asegurar que se tengan en cuenta los desafíos e iniciativas de cada ecosistema industrial.

Por otro lado, algunas oportunidades generales se resumen a continuación:

Prototipos y experimentación: la tecnología se ha desarrollado principalmente durante los últimos treinta años. El prototipado rápido, el utillaje rápido (reducción del coste y el tiempo de producción de un prototipo sin una geometría necesariamente compleja) o la validación de la pre-serie (gracias al utillaje rápido en particular) han hecho posible reducir los tiempos de desarrollo, aumentar la calidad del producto y reducir los costes de los productos existentes sin cambiar la cadena de suministro.

Industrialización de la personalización: los procesos FAM abren el camino a una mayor flexibilidad en la configuración de los utillajes de producción. Por lo tanto, es concebible integrar parámetros fácilmente personalizables en una línea de producción industrial, lo que permite satisfacer necesidades específicas. La implementación industrial del proceso trae consigo nuevas interacciones entre el usuario final y la cadena de producción, con el fin de ofrecer la respuesta más adecuada a cada necesidad.

Producción en masa y rendimiento mejorado: la fabricación aditiva tiene la ventaja de poder producir formas complejas (que no sería posible fabricar con un proceso convencional a un coste razonable), o de integrar funcionalidades adicionales para reducir los pasos de ensamblaje. Este eje estratégico es sin duda el más importante en la actualidad para muchos actores que desean aumentar su capacidad de innovación de productos. Las tecnologías permiten, por ejemplo, producir utillaje complejo para aumentar las tasas de producción o integrar la electrónica en la fabricación sin transformar la cadena logística.

Evolución de la cadena de valor: La fabricación aditiva tiene un impacto potencialmente duradero en el suministro de materiales o en la gestión de las unidades de almacenamiento, especialmente en lo que respecta a las piezas de repuesto. El interés de la fabricación aditiva no está vinculado aquí a una mejora del producto sino a un aumento de la calidad del servicio, combinado con una nueva movilidad de las herramientas de producción. Abriendo el camino a nuevos modelos económicos, este eje de desarrollo puede concebirse en un período más largo que los demás, pero tiene varias ventajas. Ofrece la posibilidad de ganar competitividad, de un mejor

posicionamiento competitivo, al tiempo que permite la creación de modelos económicos innovadores para la producción lo más cerca posible de la demanda.

El segmento más prometedor en el horizonte de 5-8 años parece ser la fabricación de utillaje, en la medida en que el nivel actual de madurez de la tecnología permite incrementar el rendimiento de las líneas de producción en un proceso de mejora continua.

2.4. Oportunidades del mercado

Aunque en la actualidad la mayoría de las actividades de Fabricación Aditiva se basan en materiales poliméricos, la Fabricación Aditiva Metálica está despertando cierto interés y actualmente se están desarrollando muchas actividades. FAM permite fabricar directamente componentes "Near-Net-Shape", y en algunos casos componentes finales, sin necesidad de herramientas o mecanizado. Ha habido un interés particular en la industria aeroespacial, la industria automotriz y las industrias biomédicas debido a la posibilidad de producir componentes de alto rendimiento con un coste total de producción reducido. Los investigadores y los líderes de la industria de la Unión Europea (UE) han identificado la AM como una tecnología emergente clave.

Diferentes países fuera de la UE han estado aumentando su conocimiento de las tecnologías FA durante muchos años y, en este momento, América del Norte está a la vanguardia en la adopción de estos nuevos procesos. Sin embargo, la importancia otorgada a estos sistemas y tecnologías tiende a extenderse rápidamente a otros países, colocando a la FA en el centro del desarrollo de su jurisdicción nacional. Sin embargo, la situación en los distintos países europeos aún no es homogénea.

La selección y el uso de ciertos materiales se definen fundamentalmente por los requisitos de uso final, pero también están influenciados por las tecnologías aditivas utilizadas.

Las diferentes tecnologías de producción aditivas presentan posibilidades de uso similares en la mayoría de los materiales. De hecho, las superaleaciones con base de titanio y níquel (por ejemplo, Inconel) y los aceros inoxidable de alta resistencia son los principales materiales que se utilizan. El objetivo es aprovechar la fabricación aditiva para procesar materiales costosos, difíciles de mecanizar, buscando aumentar los beneficios económicos, reduciendo el coste de las materias primas o el tiempo de fabricación de los componentes.

Las tecnologías basadas en láser, haz de electrones y arco eléctrico probablemente puedan procesar la mayoría de los metales, pero aún requieren de cierta investigación para asegurar una completa comprensión y dominio de cada uno de estos procesos. Para cada material, la industria debe enfocarse en procesar el material e implementar el proceso para hacer que las tecnologías FAM sean más atractivas económicamente que los procesos convencionales. Los procesos de deposición de polvo también tienen un gran potencial ya que es posible multiplicar las boquillas de deposición y así permitir modificar la composición química del material depositado, dentro de la misma pieza, además de las relaciones de deposición y precisiones según el tamaño y uso de la pieza [08].

2.5. Tendencias de la industria del utillaje en FAM

La industria del utillaje utiliza principalmente procesos sustractivos (mecanizado) para producir los utillajes, independientemente de su tipo y aplicación. Éstos garantizan precisión dimensional y un muy buen acabado superficial.

Las tecnologías de fabricación aditiva, y en particular la fabricación aditiva de metales, pueden desempeñar un papel importante en la optimización de varios aspectos de este sector. Sin embargo, todavía existen limitaciones tales como acabados superficiales deficientes o propiedades mecánicas heterogéneas. Por otro lado, la combinación de procesos de fabricación aditiva con procesos sustractivos ha sido objeto de varios estudios académicos y de investigación, mostrando un incremento significativo en su uso en un contexto industrial. Esta combinación se llama mecanizado híbrido.

2.5.1. Mecanizado híbrido

La compatibilidad y complementariedad de la fabricación aditiva y la fabricación sustractiva significa que no necesitan ni deben ser mutuamente excluyentes. Para aprovechar todas las sinergias potenciales de las tecnologías de fabricación aditiva y sustractiva, las máquinas híbridas permiten utilizar ambas en las proporciones ideales necesarias para cada caso.

A pesar de los avances en la fabricación aditiva, la productividad sigue siendo mucho menor que la del mecanizado CNC. Este hecho provoca un aumento en la productividad de esta tecnología, lo que implica el siguiente dilema: inherente a todos los métodos de fabricación aditiva capa por capa, existe el compromiso entre el deseo de un acabado superficial de calidad sin sacrificar la productividad y viceversa, como se muestra en la

Figura 3. Este dilema puede resultar de la elección entre “alta velocidad” (alta productividad) y “baja velocidad” (acabado superficial de alta calidad), pero, por el momento, nunca ambos al mismo tiempo.

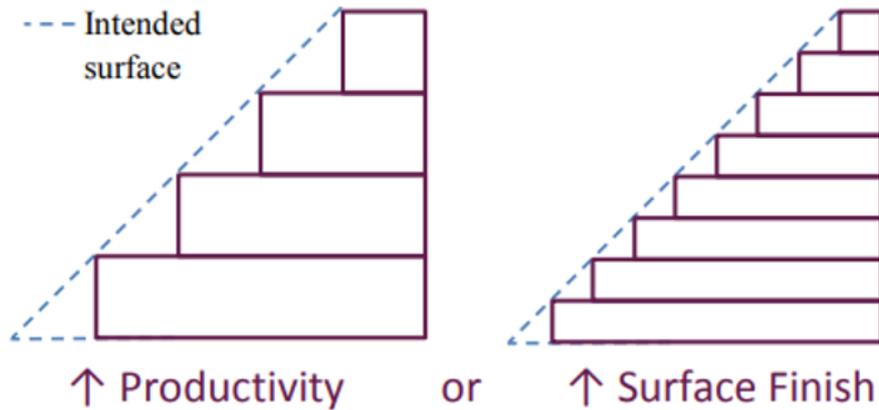


Figura 3. Dilema de la productividad en la Fabricación aditiva: es mejor incrementar la productividad o mejorar el acabado superficial [01]

La opción de hibridación de la máquina proporciona una respuesta al dilema presentado, combinando una construcción FAM y un mecanizado posterior, controlando así de forma independiente las variables de productividad y acabado superficial, como se muestra en la Figura 4.

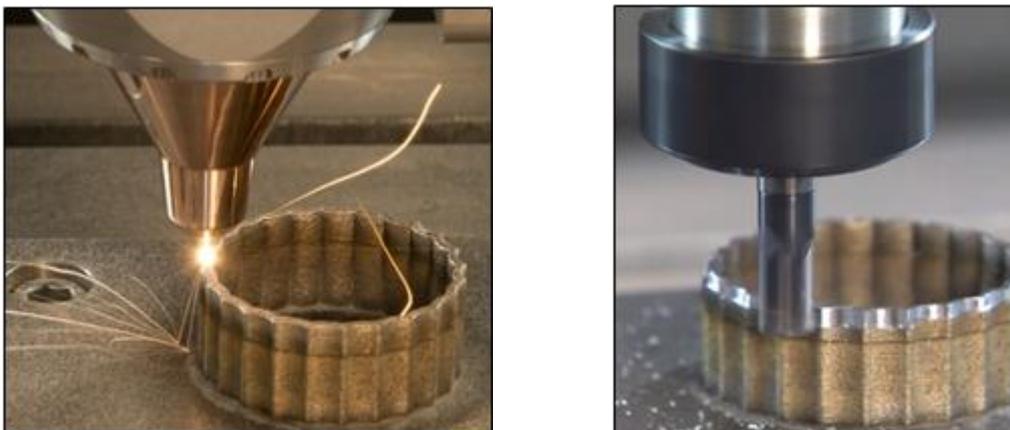


Figura 4. Sinergia entre proceso aditivo y sustractivo [10]

El uso de AM junto con los procesos de mecanizado es actualmente una práctica estándar para la mayoría de las piezas metálicas producidas mediante fabricación aditiva para lograr el acabado de superficie deseado.

Sin embargo, para responder al dilema anterior, esto requiere inversiones muy sustanciales en máquinas y operadores, aunque han sido objeto de investigación y desarrollo medios adicionales para fortalecer las sinergias entre las dos tecnologías.

Para asegurar la transferencia entre las tecnologías involucradas, la solución ideal es entonces integrar un sistema de depósito directamente en la máquina CNC, combinando así productividad y calidad de superficie en una sola máquina.

Varios fabricantes de herramientas ya operan en el mercado de fabricación aditiva, utilizando tecnologías DED y PBF. Sin embargo, cuando se trata de sistemas de mecanizado híbridos, la disponibilidad de máquinas basadas en tecnología DED es considerablemente mayor que las basadas en tecnología PBF. La razón de esta mayor disponibilidad se debe a la mayor tasa de deposición que ofrece la tecnología DED combinada con la capacidad de agregar material / recargar piezas existentes. Asimismo, dada la viabilidad de la deposición de material gracias a las interpolaciones de todos los ejes de la máquina (5 ejes o más), se pueden construir geometrías complejas sin necesidad de estructuras de soporte. Por tanto, los sistemas híbridos representan una solución viable para reducir el tiempo de fabricación de piezas complejas en comparación con las técnicas convencionales, como se muestra en la Figura 5.

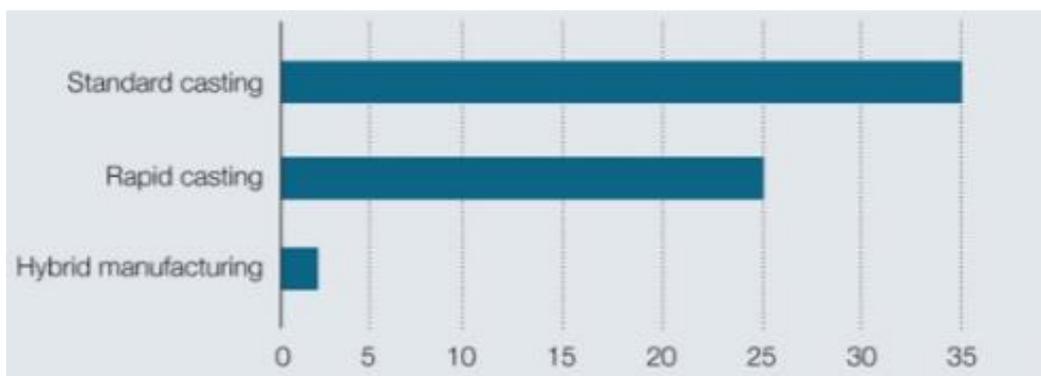


Figura 5. Comparativa en tiempos de producción (en días) de turbinas utilizando diferentes métodos de fabricación [11]

La combinación de procesos AM y sustractivos en una sola máquina híbrida se recomienda especialmente cuando se trata de materiales con baja maquinabilidad, como aleaciones resistentes al calor o materiales de alta resistencia, que son ampliamente utilizados en las industrias aeroespacial, automotriz o médica.

Los procesos de mecanizado híbridos se han utilizado para el re-mecanizado (reparación, modificación y reformado) de componentes existentes de alto valor añadido, como en el caso de moldes, boquillas o álabes de turbina. La Figura 6 muestra las posibles interacciones entre los procesos aditivos y sustractivos. La hibridación del proceso de mecanizado también permite geometrías únicas que no se podrían lograr utilizando cada proceso de forma independiente, como se muestra en la Figura 7.

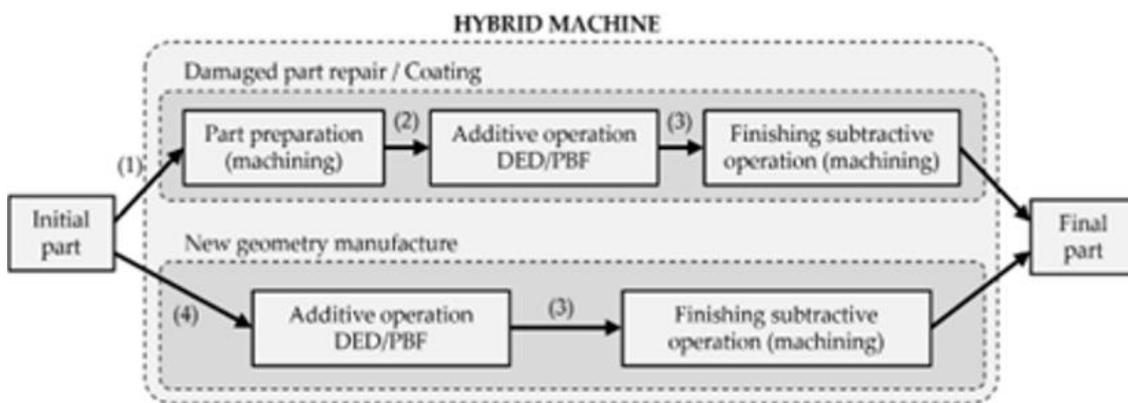


Figura 6. Interacciones en procesos de mecanizado híbrido.[11]

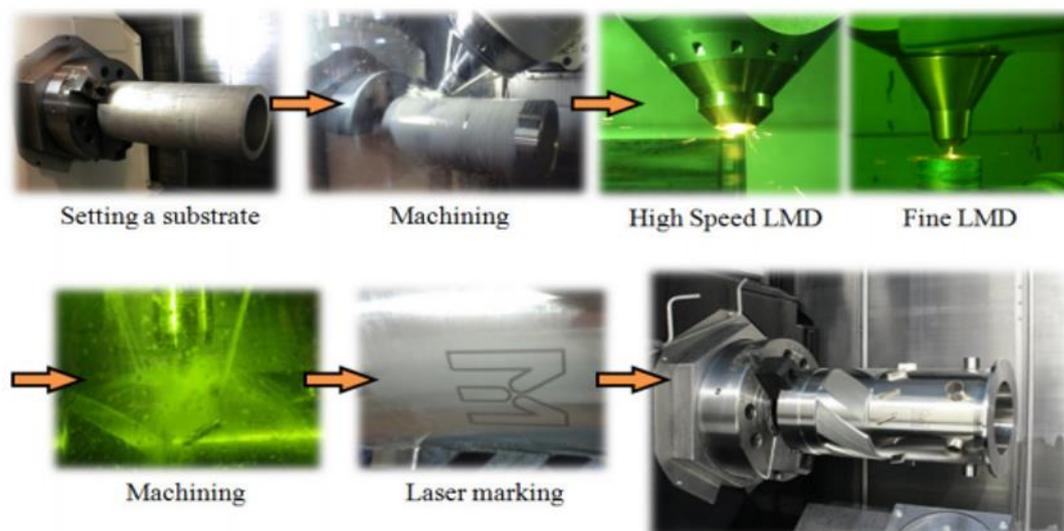


Figura 7. Ejemplo de secuencia en fabricación híbrida [12]

2.5.2. Aplicaciones de procesos aditivos e híbridos para utillaje

Los tipos de utillaje que combinan las ventajas de la FA y los procesos híbridos son:

- Moldes de inyección de plástico, moldes de fundición a presión, moldes para fabricar vidrio y moldes para fabricar piezas compuestas;
- Matrices de estampación en caliente y en frío y matrices de extrusión;

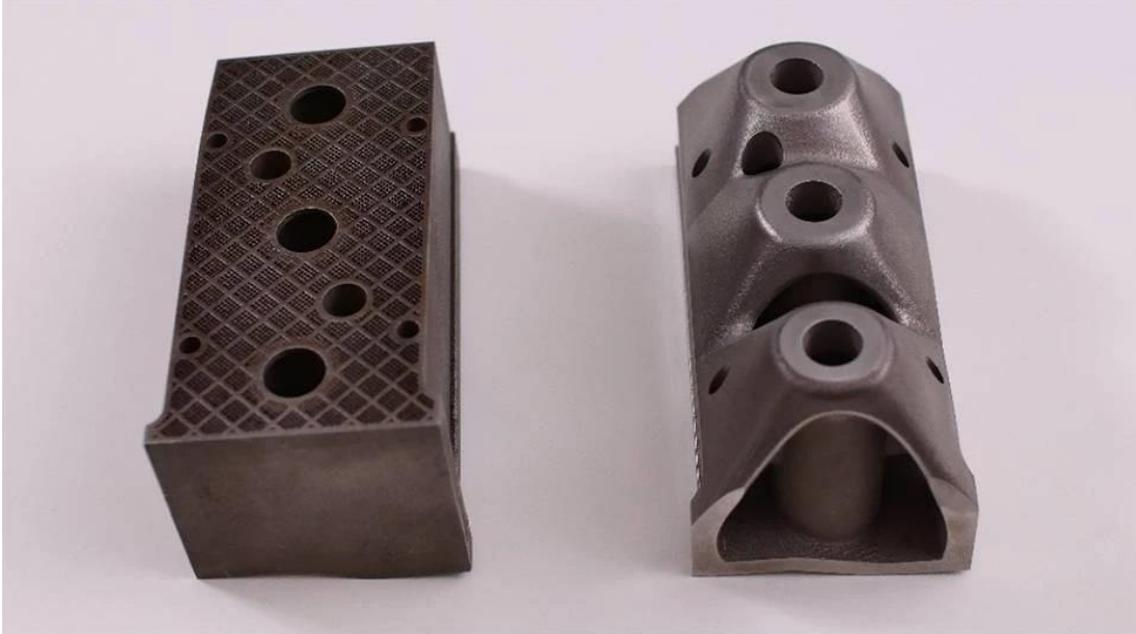
Estas aplicaciones se benefician del uso de procesos híbridos o FA principalmente debido a:

- La capacidad de reducir la cantidad de material depositado en el utillaje, usando técnicas de optimización, principalmente usando diseño generativo para obtener estructuras de celosía y optimización topológica.
- La posibilidad de optimizar las funciones de enfriamiento que es parte integral de muchas de los utillajes mencionadas, como moldes y matrices de estampación en caliente (principalmente mediante la implementación de canales de enfriamiento, pero también mediante la implementación de estructuras internas).

A continuación, se presentan algunos ejemplos de lo mencionado anteriormente, basados en la literatura disponible.

2.5.3. Optimización del material - Optimización topológica

Los casos de optimización topológica se pueden encontrar en moldes de inyección de plástico, matrices de estampación, etc. Asnafi et al [13] presentan ejemplos de utillajes de producción para los dos casos anteriores. Para los utillajes de estampado, se muestran ejemplos de matrices y punzones en forma de U. Para la geometría del punzón estudiada - Figura 8 - los autores muestran, por métodos experimentales y numéricos, que hubo una reducción de peso del 34% para el diseño convencional del punzón con estructura de celosía y del 45% en el caso del punzón topológicamente optimizado.



*Figura 8. Punzón industrial: diseñado convencionalmente e impreso en 3D con una estructura interna rectilínea (izquierda) e impreso en 3D después de la optimización topológica (derecha).
Material = DIN 1.2709 en ambos casos [14]*

Asnafi et al [15] también presentaron una combinación extractor / punzón para un utillaje de estampado de automóviles. La pieza se imprimió en 3D para tener una estructura de celosía interna y así minimizar la masa. Las piezas debían cumplir requisitos específicos lo que implica la necesidad de una comparación sobre la respuesta a estas condiciones cuando se utilizan diferentes tecnologías (Figura 9). Los resultados de las piezas impresas en 3D se muestran en la Figura 10. El tiempo total de fabricación se redujo de 8 a 3,7 días utilizando la pieza de estructura optimizada.

CONVENTIONAL PROCESS

Punch

Requirements:

- Hardness (after hardening) = 55 HRC
- Surface roughness in the working area = $R_a = 0.8 \mu\text{m}$

Material = SS2263 (tempered)

Process:

- 1: Milling
- 2: Hardening
- 3: Wire EDM

Puller

Requirements:

- Hardness (after hardening) = No requirement
- Surface roughness in the working area = $R_a = 2-3 \mu\text{m}$

Material = SS2172

Process:

- 1: Milling
- 2: Wire EDM

3D METAL PRINTING

Punch

Requirements:

- Hardness (after hardening) = 55 HRC
- Surface roughness in the working area = $R_a = 0.8 \mu\text{m}$

Material = Maraging steel (1.2709)

Puller

Requirements:

- Hardness (after hardening) = No requirement
- Surface roughness in the working area = $R_a = 2-3 \mu\text{m}$

Material = Maraging steel (1.2709)

Process:

- 1: 3D printing of punch and puller
- 2: Post-processing
- 3: Hardening of the punch
- 4: Machining of the working area

Figura 9. Los requisitos establecidos y los materiales y procesos de fabricación para las versiones convencional e impresa en 3D del extractor y punzón para el troquel progresivo C Bow Lower en la Fig. 10. EDM = Mecanizado por descarga eléctrica. SS = estándar sueco. [15]



Figura 10. El extractor y el punzón impreso en 3D en la matriz progresiva. Material = DIN 1.2709. La estructura interna tiene un espesor capa exterior de 1,5 mm. [15]

2.5.4. Refrigeración

Los mismos autores presentan casos de moldes de inyección [14]. Se modificaron un núcleo e inserto para un molde de inyección de plástico para que sus canales de enfriamiento se ajustaran a la geometría de la pieza - Figura 11. Los resultados

mostraron una disminución en el tiempo del ciclo de moldeo, resultando en un coste menor por pieza. Esta reducción es suficiente para compensar el aumento de los costes de fabricación de herramientas.

Otro ejemplo de refrigeración se puede encontrar en matrices para estampado en caliente. El proceso de estampación en caliente se utiliza para el conformado de aceros de ultra alta resistencia y algunas aleaciones de aluminio, donde la fase de deformación plástica se realiza a alta temperatura y una fase de templado después del conformado, con el fin de garantizar las propiedades deseadas en las chapas. Se requiere una velocidad de enfriamiento crítica para lograr la estructura correcta en el material, lo que implica la necesidad de canales de enfriamiento en las matrices.

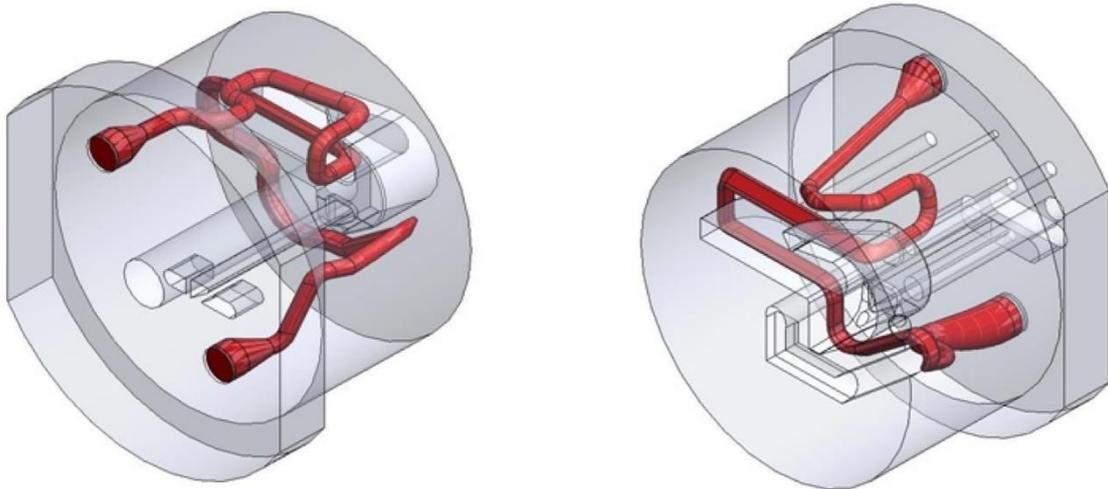


Figura 1 : Núcleo e inserto para moldeo por inyección, optimizados mediante simulaciones. Color rojo = canales de enfriamiento después de la optimización [15].

Se pueden encontrar varios ejemplos de optimización del enfriamiento en estos utillajes en una revisión de Chantzis et al. [16]. Un ejemplo presentado es el trabajo de Cortina et.al [17], donde se produjo un enfriamiento en una matriz de estampado en caliente mediante un proceso híbrido que involucra un bloque de acero premeconizado para producir parte del canal cerrado por tecnología láser DED - Figura 12.

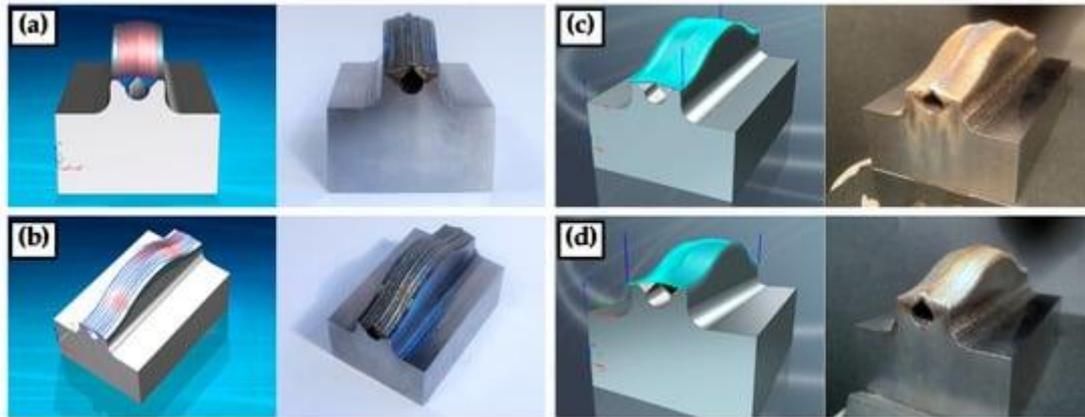


Figura 11. (a) Frente; (b) vistas laterales de la pieza resultante después de LMD; (c) LMD transversal; (d) LMD longitudinal. De [17].

Los resultados muestran una disminución en la temperatura máxima en la matriz, una mejor distribución de temperatura en la herramienta, lo que contribuyó a mejores propiedades de la pieza y tiempos de ciclo más cortos - Figura 13.

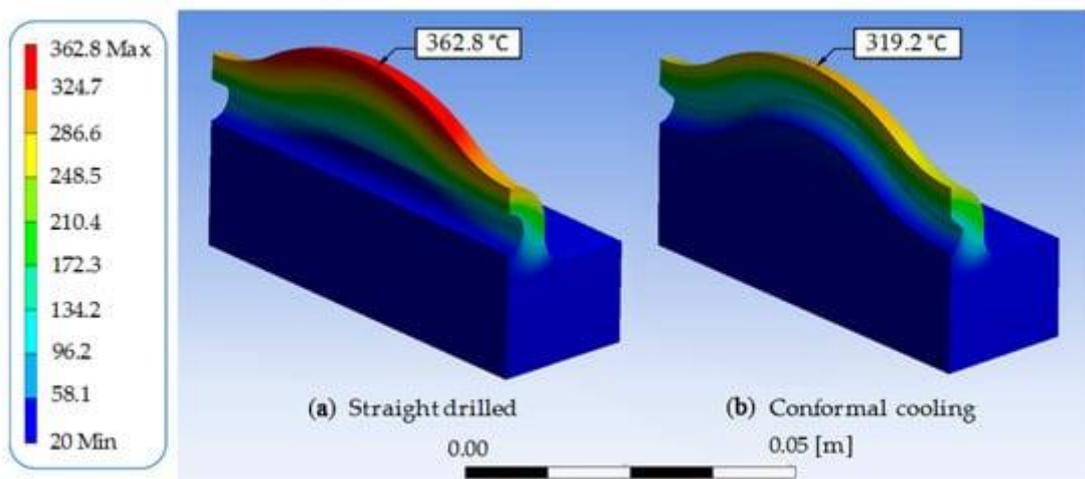


Figura 12. Resultados de la simulación térmica de enfriamiento convencional perforado (a) vs. conformal (b) [17].

3. DEMANDA AM EN EL SECTOR UTILLAJE

Tras un análisis en profundidad del sector, el consorcio del proyecto ADDITOOL llevó a cabo un estudio a corto, medio y largo plazo de Fabricación Aditiva Metálica (FAM) determinando, con la mayor precisión posible, las necesidades de la industria del utillaje teniendo en cuenta la madurez de todas las tecnologías disponibles.

Para ello, se realizó una encuesta como primer paso del WP1 “Identificación de necesidades y definición de casos de aplicación”. Los resultados se pueden encontrar en el entregable “D1.1.1 Informe_de_diagnosis_de_FAM_en_el_sector_Utillaje” donde el objetivo principal era identificar las necesidades de los actores en el campo de la Fabricación Aditiva Metálica (FAM) dentro del sector del utillaje.

La encuesta se dirigió tanto a los fabricantes como a los usuarios finales de utillaje. Se obtuvieron un total de 85 respuestas entre Portugal, Francia y España. Se constató una mayor participación en la encuesta en sectores como la aeronáutica, la automoción y defensa. Además, también participaron una gran diversidad de sectores, como el médico, naval, educación, juguetes, sector de la construcción, sector minero y muchos otros.

En cuanto a la aplicación de la FAM, pero también al uso del utillaje en cada empresa, se observó un mayor interés en la subcontratación del servicio de fabricación que en la adquisición de equipos. Además, es mayor la necesidad de fabricar una pieza específica en lugar de reparar o agregar una nueva funcionalidad a un utillaje. De acuerdo con los resultados de la encuesta, los tipos más comunes de utillajes fabricados (proveedor) o utilizadas (usuario final) fueron el ensamblaje, los moldes para plástico y las herramientas de mecanizado.

En relación con las tecnologías de fabricación aditiva, la extrusión de materiales y la fusión en lecho de polvo se presentaron como las tecnologías más solicitadas.

No obstante, existe una FUERTE CREENCIA en estos nuevos procesos de fabricación, ya que más del 96% de los encuestados recomiendan que LA INDUSTRIA DEL UTILLAJE DEBE INVERTIR en estas tecnologías.

En cuanto a los obstáculos que impiden un despliegue más amplio de la FAM, se seleccionó como primer obstáculo la inversión inicial, seguida de los costes de las piezas producidas.

En comparación con las tecnologías convencionales, el alto coste de los equipos y las materias primas se eligieron como los factores más débiles en el uso de FAM.

Cuando se trata de los desafíos del uso de la FAM para utillaje, la certificación y la reducción de costes se consideraron más difíciles que el diseño o la fabricación. Por otro lado, se seleccionó la libertad de diseño como la mayor ventaja de utilizar FAM sobre las tecnologías convencionales.

En términos del desarrollo de conocimientos, la colaboración con un socio externo se consideró la formación más adecuada para desarrollar habilidades, seguida de cursos cortos y específicos.

La mayoría de las empresas encuestadas no tienen planes de contratar personal de FAM (o actualmente no tienen visibilidad).

4. IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDADES

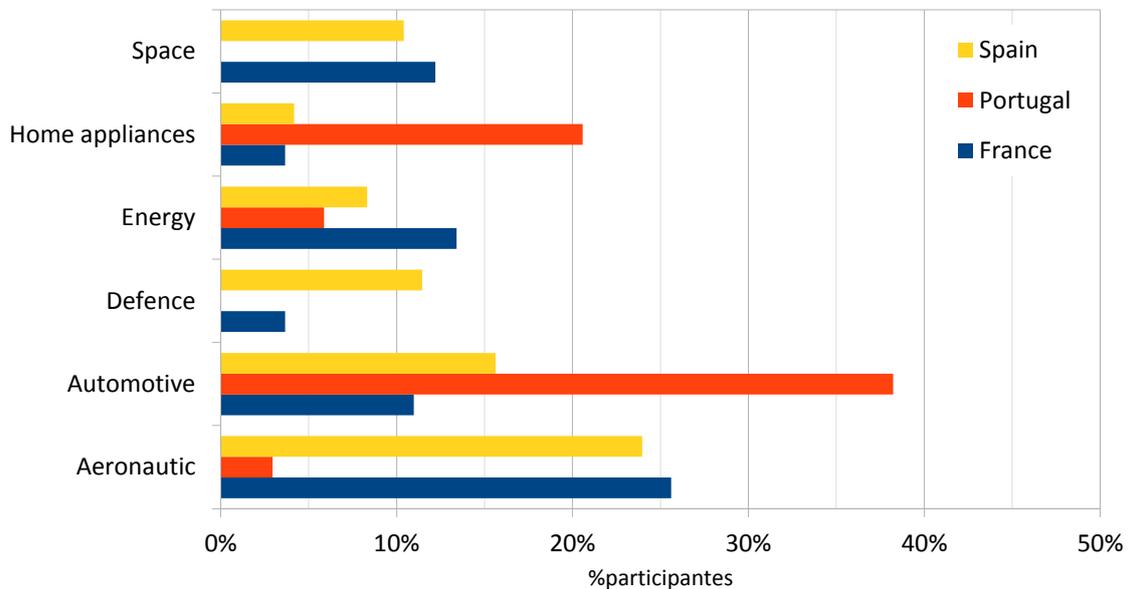
El objetivo de este capítulo es identificar oportunidades para el desarrollo futuro de tecnologías FAM en el sector de utillaje siguiendo los resultados de la encuesta. Para proporcionar una base para la selección de los casos de estudio, es necesario recopilar información sobre las necesidades industriales específicas de cada uno de los países, Francia, España y Portugal.

4.1. Desglose de resultados por país

4.1.1. Sectores industriales por país

En cuanto a los sectores industriales por países, la encuesta mostró una buena diversidad con una mayor participación de la industria aeronáutica y espacial en Francia y España, y del automóvil y electrodomésticos en Portugal.

Encuesta ADDITOOL - Sectores industriales por país



Al detallar los tipos de utillaje para los sectores anteriores, se encontró que el ensamblaje, los moldes para plástico y los utillajes de mecanizado se seleccionaron

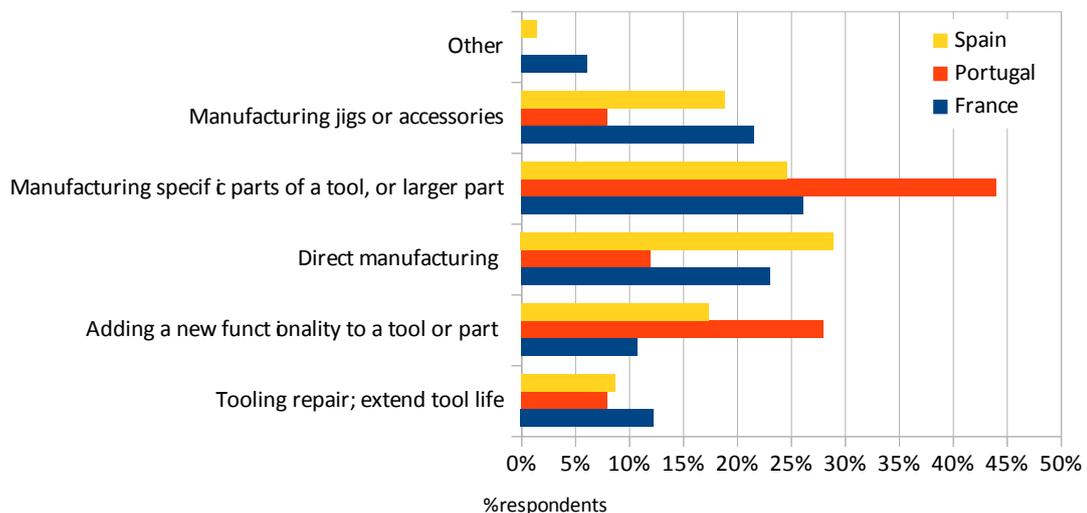
como los tipos de utillaje más comunes en los tres países. Si consideramos los resultados de este parámetro por país, podemos observar que:

- Los moldes para plásticos representan la gran mayoría de los tipos de utillaje que utilizan / fabrican los encuestados portugueses;
- Para los encuestados españoles y franceses, los utillajes para taladrado y matrices para conformado de chapa también recibieron un alto porcentaje de respuestas.

4.1.2. Campo de aplicación de las tecnologías FAM

En cuanto al alcance de las tecnologías FAM, los tres países consultados eligieron "Fabricar una parte específica de un utillaje, o una parte completa en sí" como principal objetivo.

ADDITool survey - Application scope



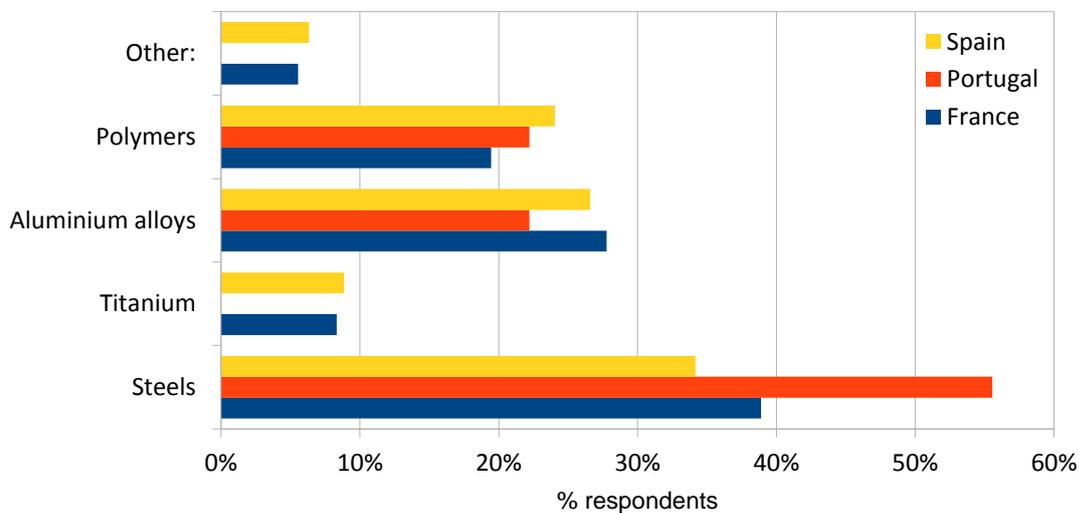
Si consideramos los resultados de este parámetro por país, podemos observar que:

- Los encuestados españoles y franceses también mencionaron "plantillas o accesorios de fabricación" como aplicaciones relevantes,
- Los encuestados portugueses también seleccionaron "Agregar nueva funcionalidad a un utillaje o pieza" como una aplicación importante.

4.1.3. Materiales y tecnologías FAM

Con respecto a los materiales y tecnologías AM actualmente en uso, los encuestados indicaron que el acero es el material más común, seguido del aluminio. Las tecnologías AM actualmente utilizadas son principalmente FDM (Extrusión de materiales) (30%) y Powder Bed Fusion (15%).

ADDITool survey - Materials used



4.2. Identificación de oportunidades

El análisis detallado de los resultados de la encuesta para cada país sienta las bases para proponer oportunidades específicas para el desarrollo de las tecnologías FAM en cada país. Estos se proponen a continuación.

4.2.1. España

Los fabricantes españoles de utillaje industrial producen actualmente utillaje de mecanizado, utillaje de montaje, utillaje de perforación y moldes para plásticos para la industria aeronáutica, automoción y espacial. Actualmente, estas industrias están interesadas en el uso de tecnologías de fabricación aditiva para la fabricación de una parte específica de un utillaje o de una parte completa en sí, y a la fabricación de plantillas o accesorios.

Para las empresas españolas, las oportunidades pueden estar relacionadas con:

- El desarrollo de reparación de utillaje (utilizando tecnologías AM a gran escala y/o tecnologías híbridas)
- Optimización de tecnologías ya implementadas
- La expansión de sectores menos representados - Moldes de fundición a presión, matriz de forja, etc.

4.2.2. Francia

Los fabricantes de utillajes industrial en Francia producen actualmente utillaje de mecanizado, utillaje de montaje, utillaje de perforación, moldes para plástico y matrices para conformado de chapa, destinadas a las industrias aeronáutica, automotriz, energética y espacial. Actualmente, estas industrias están interesadas en el uso de tecnologías de fabricación aditiva para la fabricación de una parte específica de un utillaje o de una parte completa en sí, y la fabricación de plantillas o accesorios.

Para las empresas francesas, las oportunidades pueden estar relacionadas con:

- El desarrollo de reparación de utillaje (utilizando tecnologías AM a gran escala y/o tecnologías híbridas)
- Optimización de tecnologías ya implementadas
- La expansión de sectores menos representados - Moldes de fundición a presión, matriz de forja, etc

4.2.3. Portugal

Los fabricantes portugueses de utillaje industriales producen en la actualidad principalmente moldes para plásticos, destinados tanto a la industria del automóvil como a los electrodomésticos. Actualmente, estas industrias están interesadas en utilizar tecnologías FAM utilizadas para insertos de moldes o agregar funcionalidad a los moldes.

Para las empresas portuguesas, las oportunidades pueden estar relacionadas con:

- El desarrollo de reparación de utillaje (utilizando tecnologías AM a gran escala y/o tecnologías híbridas) o la fabricación de plantillas y accesorios
- Optimización de tecnologías ya implementadas
- La expansión de sectores menos representados – Utillaje de ensamblado y/o utillaje de mecanizado

4.3. Selección de los casos de estudio

Se propone una estrategia para seleccionar todos los casos de estudio a analizar en el WP2. Cada socio del proyecto ofrece casos de estudio basados en los resultados de la encuesta; y las áreas potencialmente clave presentadas anteriormente, como por ejemplo:

- Al menos un caso de estudio aborda una de las principales áreas / tecnologías / escalas (tamaño de la herramienta / funcionalidad) identificadas. Idealmente 3 pilotos en esta categoría.
- Los casos de estudio adicionales pueden abordar aplicaciones secundarias / menos exploradas / menos desarrolladas identificadas anteriormente

La propuesta del cuarto caso de estudio se selecciona teniendo en cuenta la gama completa de tecnologías / áreas de aplicación / escalas cubiertas por todos los casos de estudio y que ofrezca el mayor potencial de impacto en los resultados del proyecto.

Posteriormente, se propone una tabla de puntuación, para ayudar en la selección de la mejor solución para todos los casos de estudio:

Case study	Materials	Score	Technologies	Score	Scale	Sector	TRL
PT1 – mould inserts	Steels	1	SLM, Milling	2	S	Auto, HA	5 to 6
PT2 – moulds for glass	Steels, Nickel	2	SLM, DED, Milling	3	S	Food	3 to 4
ES1							
ES2							
ES3							
FR1							
FR2							
FR3							

KEY: Scale: S – small, M – medium, L – large | TRL – technology readiness level | Sectors: Auto – automotive; HA – home appliances, Food – Food and beverage, Aero – Aeronautic, Sp – Space, O&G – Oil & gas, AgI – Agricultural-industry, EN – Energy, Def – Defence, O – other

Los socios del proyecto pueden ponerse en contacto con socios regionales asociados / empresas locales para sugerir los casos de estudio más relevantes que se incluirán en la lista de selección. Todos los socios del proyecto deben debatir y definir los criterios para seleccionar el conjunto apropiado de casos de estudio. Después de haber reunido todas las propuestas, se puede realizar la selección de los 4 casos de estudio, en base a los criterios definidos anteriormente.

5. REFERENCIAS

[01] Global 3D printing Metal Market Size & Share. Polaris Market Research Report, 2021 (PM1153).

[02] Holmström, J., Partanen, J., Tuomi, J., & Walter, M. (2010). Rapid manufacturing in the spare parts supply chain: Alternative approaches to capacity deployment. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 21(6), 687-697.

[03] Overcoming the top Metal 3D printing Challenge, Metal 3D printing-3DEO, December 2017. <https://www.3deo.co/metal-3d-printing/overcoming-the-top-metal-3d-printing-challenges/>

[04] The government office for science, “The Future of Manufacturing: A new era of opportunity and challenge for the UK,” London, 2013.

[05] European Commission, “Advancing Manufacturing- Advancing Europe-Report of the task force on advanced manufacturing for clean production,” Brussels, 2014.

[06] Wohlers associates, “Wohlers report 2016. 3D printing and manufacturing state of the industry annual worldwide progress report,” 2016.

[07] R. Berger, “Additive Manufacturing – next generation,” 2016

[08] [64] Gibson, I., Rosen, D.W. and Stucker, B. (2010), “Additive Manufacturing Technologies”, Springer, London 59

[09] J. B. Jones, “The synergies of hybridizing CNC and additive manufacturing,” *Tech. Pap. - Soc. Manuf. Eng.*, vol. TP14PUB72, pp. 1–8, 2014.

[10] K. A. Lorenz, J. B. Jones, D. I. Wimpenny, and M. R. Jackson, “A Review of Hybrid Manufacturing,” *Igarss* 2014, no. 1, pp. 1–5, 2014, doi: 10.1007/s13398-014-0173-7.2.

[11] M. Cortina, J. I. Arrizubieta, J. E. Ruiz, E. Ukar, and A. Lamikiz, “Latest developments in industrial hybrid machine tools that combine additive and subtractive operations,” *Materials (Basel)*, vol. 11, no. 12, 2018, doi: 10.3390/ma11122583.

[12] T. Yamazaki, “Development of A Hybrid Multi-tasking Machine Tool: Integration of Additive Manufacturing Technology with CNC Machining,” *Procedia CIRP*, vol. 42, no. Isem Xviii, pp. 81–86, 2016.

- [13] N. Asnafi, J. Rajalampi, D. Aspenberg, e A. Alveflo, «Production Tools Made by Additive Manufacturing Through Laser-based Powder Bed Fusion», *Berg Huettenmaenn Monatsh*, vol. 165, n. 3, pp. 125–136, Mar. 2020, doi: 10.1007/s00501-020-00961-8.
- [14] Asnafi, N.; Alveflo, A.: 3D Metal printing of Stamping Tools & Dies and Injection Molds. Proceedings of at Tooling 2019 Conference and Exhibition, 12–16 May, 2019, Aachen, Germany, 2019
- [15] N. Asnafi, T. Shams, D. Aspenberg, e C. Öberg, «3D Metal Printing from an Industrial Perspective—Product Design, Production, and Business Models», *Berg Huettenmaenn Monatsh*, vol. 164, n. 3, pp. 91–100, Mar. 2019, doi: 10.1007/s00501-019-0827-z.
- [16] Chantzis, D., Liu, X., Politis, D.J. et al. Review on additive manufacturing of tooling for hot stamping. *Int J Adv Manuf Technol* 109, 87–107 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05622-1>
- [17] M. Cortina, J. Arrizubieta, A. Calleja, E. Ukar, and A. Alberdi, “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*, vol. 8, no. 2, p. 102, Feb. 2018.

**Interreg
Sudoe**



EUROPEAN UNION

ADDITOOL

European Regional Development Fund

www.additool.eu