

EVALUACIÓN DE UN PROCESO DE AM METÁLICA COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE EN LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS

EVALUATION OF A METALLIC AM PROCESS AS A SUSTAINABLE ALTERNATIVE IN THE CONSTRUCTION OF STRUCTURES

Steven Alexander Ascanio Ocampo ^{1*}

¹ Instituto Superior Tecnológico Tsáchila, Tecnología Superior en Mecánica Industrial. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6827-8887>. Correo: stevenascanioocampo@tsachila.edu.ec

Joshua Danny Dender Cedeño ²

² Instituto Superior Tecnológico Tsáchila, Tecnología Superior en Mecánica Industrial. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2378-4469>. Correo: joshuadendercedeno@tsachila.edu.ec

Kleber Xavier Barba Barba ³

³ Instituto Superior Tecnológico Tsáchila, Tecnología Superior en Mecánica Industrial. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2068-1955>. Correo: kleberbarba@tsachila.edu.ec

* Autor para correspondencia: stevenascanioocampo@tsachila.edu.ec

Resumen

La manufactura aditiva metálica surge como una tecnología innovadora, que permite la creación de geometrías complejas y el diseño de piezas sin límite. Con el objetivo de comparar la manufactura aditiva metálica con los métodos tradicionales de construcción de estructuras, a partir de criterios de sostenibilidad, eficiencia y viabilidad técnica, se realizó el presente trabajo. La metodología aplicada se basó en un enfoque mixto y descriptivo, apoyado en una revisión bibliográfica de artículos científicos e investigaciones académicas, complementada con el análisis comparativo de aspectos como consumo energético, aprovechamiento del material, generación de residuos, costos y flexibilidad de diseño. La manufactura aditiva metálica permitió la optimización del uso del material, reducción considerable de residuos y mayor independencia de diseño de componentes estructurales, sin embargo, presentó limitaciones relacionadas con la inversión inicial y el consumo energético en ciertos procesos. La manufactura aditiva metálica representa una alternativa viable, sostenible para la construcción de estructuras y orientada al desarrollo de procesos constructivos más eficientes y responsables.

Palabras clave: Impresión 3D; Manufactura aditiva metálica; estructuras metálicas; construcción sostenible; procesos tradicionales

Abstract

Metal additive manufacturing has emerged as an innovative technology, enabling the creation of complex geometries and the design of virtually limitless parts. This study aimed to compare metal additive manufacturing with traditional structural construction methods, based on criteria of sustainability, efficiency, and technical feasibility. The methodology employed was a mixed-methods, descriptive approach, supported by a literature review of scientific articles and academic research, complemented by a comparative analysis of aspects such as energy consumption, material utilization, waste generation, costs, and design flexibility. Metal additive manufacturing allowed for the optimization of material use, a considerable reduction in waste, and greater independence in the design of structural components. However, it presented limitations related to initial investment and energy consumption in certain processes. Metal additive manufacturing represents a viable and sustainable alternative for structural construction, geared towards the development of more efficient and responsible construction processes.

Keywords: 3D printing; metal additive manufacturing; metal structures; Sustainable construction; traditional processes

Fecha de recibido: 23/09/2025

Fecha de aceptado: 19/12/2025

Fecha de publicado: 26/01/2026

Introducción

La presente investigación surgió de la necesidad de evaluar el proceso de manufactura aditiva metálica como una alternativa sostenible en la construcción de estructuras considerando aspectos clave como la eficiencia energética, la optimización del uso de materiales y el impacto ambiental en comparación con fabricación tradicional. En este contexto, métodos convencionales como la fundición, el mecanizado y otros procesos sustractivos suelen implicar extensas jornadas de trabajo, un elevado consumo de recursos y un considerable impacto ambiental, mientras que la automatización asociada a tecnologías emergentes permite el aumento de la productividad, reducción de costos operativos y optimización de los procesos de fabricación.

En este contexto, se planteó la incorporación de procesos de manufactura aditiva metálica como una opción de mayor eficiencia y sostenibilidad en comparación con métodos constructivos tradicionales. De acuerdo con García (2025), las tecnologías de fabricación aditiva han supuesto una transformación significativa en los métodos de producción industrial, al introducir un nuevo paradigma basado en la construcción de piezas capa por capa depositando únicamente el material necesario, a diferencia de los procesos sustractivos tradicionales que depende de la eliminación progresiva del material a partir de un bloque inicial.

Asimismo, Pérez (2024) afirma que el interés por parte de la industria por este tipo de fabricación ha favorecido su integración tanto en grandes empresas productivas como en aplicaciones a menor escala, impulsando su adopción en diversos sectores. La fabricación aditiva viene definida por la norma UNE-EN ISO/ASTM 52900:2022, en la que se mencionan los conceptos básicos y los principales tipos de esta tecnología. El uso de este tipo de normas ayuda a estandarizar los procesos mejorando la calidad final y promoviendo el uso rentable y sostenible de los recursos.

Materiales y métodos

Enfoque descriptivo

Según Stewart, “La investigación descriptiva se define como un método de investigación que observa y describe las características de un determinado grupo, situación o fenómeno; su objetivo no es establecer relaciones causa-efecto, sino ofrecer una descripción detallada de la situación.”(Stewart, 2018).

El presente estudio se apoyó en diversos enfoques de investigación con el propósito de comprender los procesos de manufactura aditiva metálica y métodos tradicionales de fabricación. Con este objetivo se optó por un enfoque descriptivo que permitió comparar las diferentes características de ambas tecnologías; esta metodología permitió describir cómo son y cómo funcionan los procesos analizados.

Alcance de la investigación- enfoque evaluativo

La investigación evaluativa se define como un método de investigación que evalúa el diseño, la aplicación y los resultados de programas, políticas o productos. Su objetivo principal es determinar la eficacia, eficiencia y relevancia de estas entidades en la consecución de los objetivos previstos. Mediante la recopilación y el análisis de datos, la investigación evaluativa ayuda a las partes interesadas a comprender si un programa o intervención está funcionando según lo previsto y dónde pueden introducirse mejoras. (Trymata, 2025)

Con el objetivo de obtener mejores resultados, se incorporó el enfoque evaluativo para analizar la manufactura aditiva metálica bajo criterios de sostenibilidad ambiental, eficiencia del uso de materiales, consumo energético, viabilidad técnica y económica; comparando estos resultados con métodos tradicionales.

Diseño de la investigación- metodología mixta

El análisis comparativo es un enfoque sistemático que se utiliza para evaluar y comparar dos o más entidades, variables u opciones con el fin de identificar similitudes, diferencias y patrones. Implica evaluar las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas asociadas a cada entidad u opción para tomar decisiones informadas (Appinio Research, 2023).

La investigación cuantitativa se usa para comprender frecuencias, patrones, promedios y correlaciones, entender relaciones de causa y efecto, hacer generalizaciones y probar o confirmar teorías, hipótesis o suposiciones mediante un análisis estadístico. De esta manera, los resultados se expresan en números o gráficos, mientras que la investigación cualitativa implica recopilar y analizar datos no numéricos para comprender conceptos, opiniones o experiencias (Santander Universidades, 2021).

El planteamiento metodológico del trabajo investigativo se basó en un enfoque mixto de carácter comparativo, cualitativo y cuantitativo. En este sentido se realizó la comparación entre manufactura aditiva metálica vs

método tradicional, ciclo de vida de los procesos, costos, consumo energético, generación de residuos y el desempeño de sostenibilidad.

Desde el enfoque cualitativo, la investigación se enfocó en la descripción detallada de los procesos y etapas de la manufactura aditiva metálica, también en el análisis de los materiales y su relación con los principios de sostenibilidad en ámbitos industriales. Esto nos permitió entender las características técnicas y operativas del proceso, además de su impacto en el sector de la construcción metalmecánica.

De manera complementaria, el enfoque cuantitativo se aplicó mediante la comparación de las variables como el consumo energético, tiempos de producción, cantidad de material utilizado y eliminación de residuos. Estos parámetros permitieron la comparación de eficiencia de la manufactura aditiva metálica frente a la manufactura tradicional.

En concordancia con este enfoque, la investigación adoptó un carácter descriptivo, fundamentado en la investigación bibliográfica por lo que el alcance se centró en la investigación, recopilación, revisión y análisis de la información técnica relacionada con el tema, objeto de estudio. Además, se realizó la recolección, organización y clasificación de información académica, normativa y científica de fuentes confiables como libros, artículos científicos, informes académicos y normas técnicas.

Procedimiento

Parte del procedimiento que se realizó en la investigación para garantizar la validez, confiabilidad y objetividad de la información obtenida, fueron los siguientes puntos:

- En primera instancia se realizó la investigación, recolección y clasificación de la información relevante.
- Luego se definieron los parámetros de análisis, indicadores de comparación como eficiencia, energética, tiempos de producción, consumo de material, costos y emisiones generadas.
- A continuación, se desarrolló el análisis de procesos, equipos y materiales intervinientes tanto en la manufactura aditiva metálica como en los métodos convencionales. A partir de este análisis se pudo identificar similitudes, diferencias, ventajas y limitaciones de cada método productivo.
- Luego se desarrolló la discusión de los resultados obtenidos, en comparación con estudios previos y fundamentos teóricos que se relacionan con la sostenibilidad e innovación tecnológica en sectores industriales.

Ya que se trata de una investigación bibliográfica, el proceso investigativo se estructuró en varias fases metodológicas que permitieron garantizar la validez y confiabilidad de la información recopilada. Con relación a las técnicas de recolección de información, su enfoque principal fue artículos científicos, tesis y reportes técnicos.

Resultados y discusión

Los sistemas convencionales, que ya están consolidados y regulados, tienen como principales características su fiabilidad, costos predecibles y una cadena de suministros ya establecida. Mientras que los métodos modernos como la impresión 3D, introducen nuevas pautas constructivas basadas en la automatización,

digitalización y optimización de los recursos, sin embargo, enfrentan limitaciones asociadas a su nivel de desarrollo tecnológico (De la Fuente, 2024).

Desde un enfoque integral de la sostenibilidad, es importante evaluar estas alternativas tomando en cuenta varios criterios, ya que el desempeño de cada sistema varía según el requisito analizado. Mientras que los métodos tradicionales se destacan en términos de viabilidad económica rápida, las nuevas tecnologías van más allá, mostrando un alto potencial de mejora a mediano y largo plazo, en aspectos importantes como la eficiencia de material, innovación y flexibilidad constructiva (De la Fuente, 2024).

Fabricación aditiva vs. fabricación sustractiva

La fabricación aditiva es un proceso que construye piezas desde la base añadiendo capas sucesivas para fabricar un producto. La impresión 3D es la tecnología más asociada a la fabricación aditiva. Mientras que la fabricación sustractiva elimina material para fabricar una pieza. Este proceso tradicionalmente utiliza el mecanizado por control numérico computarizado (CNC).

Ambas tecnologías pueden utilizar modelos de software de diseño asistido por computadora (CAD) para producir productos. Estas tecnologías de fabricación han tenido un impacto enorme en los prototipos y la producción, y siguen avanzando (Segovia; Guerrero, MDPI, 2025). Las tecnologías aditivas que incluyen se muestran en la tabla 1:

Tabla 1. Tecnologías aditivas

Tipo	Descripción
Inyección de aglutinante	Utiliza agentes aglutinantes líquidos depositados selectivamente para unir materiales en polvo. Los materiales incluyen metal, plástico, cerámica y arena.
Deposición de Energía Dirigida (DED)	Utiliza energía térmica concentrada para fusionar materiales durante su deposición. Los materiales incluyen alambre y polvo.
Extrusión de materiales	La extrusión dispensa selectivamente el material en capas a través de una boquilla u orificio. Los materiales incluyen plásticos, nailón, FDM, FF y arena.
Inyección de material	Las gotas se depositan selectivamente para formar productos. El material incluye fotopolímeros, cera, arena y material de inyección de polietileno.
Fusión de lecho de polvo	La energía térmica fusiona selectivamente regiones de un lecho de polvo. Los materiales incluyen metales, polímeros y fibras.
Laminación de láminas	Se unen láminas de material para formar un objeto. Entre los materiales se incluyen metal, papel, madera y plástico.
Fotopolimerización en cuba	El fotopolímero predepositado se cura selectivamente mediante la reticulación fotoactivada de las cadenas de polímero adyacentes. Los materiales incluyen fotopolímeros.

Nota: Impresión 3D en metales para la industria aeroespacial. Tomado de 3D, 2025.

Fabricación sustractiva

La fabricación sustractiva implica la eliminación de material mediante torneado, fresado, taladrado, rectificado, corte y mandrinado. El material suele ser metal o plástico, y el producto final presenta un acabado liso con tolerancias dimensionales ajustadas. Los cambios de formato son más largos, pero los cambiadores automáticos de herramientas ayudan a reducir los retrasos que suelen llevar mucho tiempo. Los procesos pueden automatizarse por completo, aunque un operario puede supervisar dos o más máquinas (3DS, 2025).

Los costos de los equipos son más altos y suelen requerir plantillas, accesorios y herramientas adicionales. Son ideales para grandes producciones con tiempos de fabricación razonablemente rápidos, pero con cambios de formato prolongados. Los equipos de manipulación de materiales facilitan ambos procesos, incluyendo la carga y la extracción de material. Las geometrías no son tan complejas como en los procesos de fabricación aditiva (3DS, 2025). Las tecnologías de fabricación sustractiva que incluyen, se muestran en la tabla 2:

Tabla 2. Tecnologías Sustractivas.

Tipo	Descripción
Abrasión	Utiliza la fricción para desgastar la superficie del material mediante el esmerilado y pulido de los productos.
Centros de Mecanizado CNC	Proceso de fabricación computarizado que controla maquinaria compleja mediante software preprogramado para regular el equipo de mecanizado y cortar y dar forma a las piezas.
Mecanizado por descarga eléctrica (EDM)	Es un proceso de mecanizado no tradicional que utiliza descargas eléctricas que varían de 80,00 °C a 12 000 °C para eliminar material de una pieza de trabajo colocada en un líquido dieléctrico.
Corte por láser	Este método de fabricación utiliza un láser de gas, generalmente de CO ₂ , como fuente de energía. El haz láser se guía mediante espejos y se dirige hacia la pieza de trabajo para eliminar material. .
Corte por chorro de agua	Es un proceso de erosión acelerada que utiliza un chorro de agua a alta presión. Este método CNC para cortar objetos utiliza la energía del agua a alta presión, que se vuelve hipersónica a velocidades de hasta 4000 km/h (Mach 3).

Nota: Impresión 3D en metales para la industria aeroespacial. Tomado de 3D, 2025.

Principales diferencias

1. La fabricación aditiva, a menudo denominada impresión 3D, añade capas sucesivas de material para crear un objeto.
2. La fabricación sustractiva elimina material para crear un objeto.
3. Ambas tecnologías utilizan dibujos CAD para crear piezas; la fabricación aditiva funde o fusiona polvo o cura materiales poliméricos líquidos para formar piezas basándose en los dibujos CAD. Los procesos aditivos son más lentos de fabricar, y varias tecnologías requieren métodos de posfabricación para curar, limpiar o acabar el producto.
4. El acabado superficial no es tan uniforme como en la fabricación sustractiva, y las tolerancias no son tan precisas.

5. Estos procesos son ideales para piezas más ligeras, eficiencia de materiales, prototipado rápido y fabricación de lotes pequeños y medianos (3DEXPERIENCE, 2025).

Tabla 3. Principales aspectos que determina la sostenibilidad de los métodos constructivos.

Aspectos principales	
Requisitos económicos	Las opciones tradicionales, como las estructuras de acero y las construcciones, han demostrado ser económicamente más eficientes. Sin embargo, las tecnologías emergentes, como la impresión 3D, prometen revolucionar la industria, pero actualmente presentan costos iniciales elevados debido a la inversión inicial requerida.
Requisitos ambientales	La impresión 3D presenta tanto desafíos como oportunidades en términos de sostenibilidad ambiental, lo que la sitúa entre un 20 % y un 25 % por debajo de la mayoría de las alternativas, excepto una alternativa prefabricada, que la supera en un 12 %. Si bien puede generar importantes emisiones de gases de efecto invernadero y requerir un consumo energético considerable, su potencial para reducir el desperdicio de material y optimizar su uso podría ser un paso hacia la mejora de su rendimiento ambiental en el futuro.
Requisitos sociales	La alternativa de impresión 3D destaca por su capacidad para generar empleo cualificado y mejorar la reputación de la empresa constructora gracias a su innovación tecnológica. Si bien no presenta ventajas claras en cuanto a riesgos laborales y creación de empleo en comparación con otras alternativas, su potencial para impulsar el empleo especializado y la imagen de marca la posiciona en una posición competitiva desde la perspectiva social. En general, la alternativa de impresión 3D se posiciona positivamente por encima de todas las alternativas, con un valor superior al 80 % en relación con los indicadores sociales (excepto la solución de mampostería, que presenta un valor equivalente).
Requisitos tecnológicos	En cuanto a los requisitos tecnológicos, la impresión 3D demostró ser la mejor alternativa en cuanto a flexibilidad y facilidad de construcción. Gracias a su flexibilidad y capacidad para producir geometrías complejas, permite diseños innovadores y personalizados. Además, su facilidad de construcción la convierte en una de las alternativas más favorables, gracias a su automatización y precisión en el proceso. Sin embargo, la disponibilidad de proveedores y la normativa aún son deficientes para esta alternativa, lo que lleva a que la impresión 3D se encuentre, en promedio, un 4,5 % por debajo del resto de alternativas. Cabe destacar que la falta de proveedores y normativa es común en las tecnologías emergentes, y se espera que la situación mejore en los próximos años.

Nota: Métodos de construcción tradicionales y modernos: Estudio comparativo de la sostenibilidad de las viviendas unifamiliares. Tomado de: De la Fuente, 2024.

Conclusiones

A partir de la revisión bibliográfica, análisis de ciclo de vida y estudios comparativos, se determinó que la manufactura aditiva metálica presenta un alto potencial de sostenibilidad, con mayor importancia en términos de optimización del personal, reducción de residuos y flexibilidad de diseño, posicionándose como una alternativa viable dentro del contexto de la industria metalmecánica y de la construcción.

Los resultados sobre el análisis del impacto ambiental de los procesos tradicionales de fabricación de estructuras metálicas, evidencian un elevado consumo energético, una significativa generación de residuos y un bajo aprovechamiento del material, debido a su naturaleza sustractiva. Si bien estos procesos se encuentran ampliamente consolidados y regulados, su eficiencia ambiental es limitada, lo que incrementa los costos económicos y el impacto negativo sobre el entorno.

El análisis permitió describir el proceso de manufactura aditiva metálica considerando su funcionamiento, tecnologías, materiales y parámetros técnicos, esto permitió comprender que procesos como SLM, WAAM y LENS posibilitan la fabricación de componentes estructurales mediante la deposición controlada de material capa por capa, logrando microestructuras específicas y propiedades mecánicas competitivas.

Se demostró que la AMM ofrece ventajas significativas en el aprovechamiento del material y la reducción de desperdicios, alcanzando disminuciones de impacto ambiental cercanas al 49% en diferentes categorías evaluadas en estudios de ciclos de vida. Sin embargo, también se identificó un mayor consumo energético y una inversión inicial elevada en algunos procesos aditivos, aspectos que pueden mitigarse mediante la optimización de parámetros operativos y el uso de fuentes energéticas renovables.

Referencias

- 3DEXPERIENCE. (2025). 3DS. Obtenido de <https://www.3ds.com/make/solutions/blog/additive-vs-subtractive-manufacturing>
- Appinio Research . (30 de octubre de 2023). What is Comparative Analysis and How to Conduct It? Obtenido de <https://www.appinio.com/en/blog/market-research/comparative-analysis#:~:text=Identificaci%C3%B3n%20de%20tendencias%20y%20patrones,e%20implementar%20estrategias%20de%20crecimiento>
- Baena Pérez, L., Tamayo Sepúlveda, J. A., & Benítez Lozano, A. J. (2022). Manufactura y gestión del ciclo de vida del producto PLM. Medellín, Colombia: Fondo Editorial ITM. Obtenido de <https://surl.li/ialmjf>
- Bedmar, J. (2023). Fabricación aditiva con láser de materiales metálicos: evaluación y mejora de sus propiedades.
- Berce, P., & Păcurar, R. (2025). Challenges and Trends in Additive Manufacturing for Metallic Applications: Toward Optimized Processes and Performance. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/met15050525>
- Bernal-Plaza, J. D.-M.-P.-P. (2025). Boloetin de Inovacion, Logistica y Operaciones. En Transformando la Manufactura Global.Ventajas y Retos de la Impresión 3D Frente a Métodos Tradicionales (págs. 24-35). Barranquilla, Colombia: BILO. Obtenido de <https://goo.su/pgbe>

- Centro 3D. (15 de Noviembre de 2023). Impresión 3D en metales. Obtenido de https://www.centroimpresion3d.com/impresion-3d-en-metales/?srsltid=AfmBOopGtunj_B1KRdcDtyk7OZgwnyClxgPdjtKAg_1i175MZ5ScXmr2p
- Cortéz, W. (2021). Evaluación de capacidades de innovación para la implementación de la Manufactura Aditiva con Metales - AMM en un Centro de Productividad. Un Estudio de Caso. Medellín, Antioquia, Colombia.
- Hernández, M. (2023). Estudio y caracterización de factores que determinen los costes y la sostenibilidad ambiental del proceso de fabricación aditiva por deposición fundida.
- Josa, I., & De la Fuente, A. (11 de Noviembre de 2024). Biblioteca en línea de Wiley. Obtenido de Métodos de construcción tradicionales y modernos: Estudio comparativo de la sostenibilidad de las viviendas unifamiliares: <https://onlinelibrary.wiley.com/share/BQV4BAGHSSYPTQSTXQWK?target=10.1002/suco.202400802>
- Ortiz Sánchez, Y., Cañas Mendoza, L. A., & Marulanda Arévalo, J. L. (2024). *Introducción a los procesos de manufactura*. Universidad Tecnológica de Pereira. Editorial UTP. Obtenido de <https://surl.li/ialmjf>
- Santander Universidades Open Academy. (10 de Diciembre de 2021). Obtenido de Santander Universidades : <https://www.santanderopenacademy.com/es/blog/cualitativa-y-cuantitativa.html#:~:text=La%20investigaci%C3%B3n%20cuantitativa%20se%20usa,recuento%20de%20apariciones%20de%20palabras>
- Segovia-Guerrero, L. B.-G.-M. (2025). Fabricación aditiva vs. sustractiva: Análisis comparativo del ciclo de vida y costes de repuestos de acerías.
- Segovia-Guerrero, L. B.-G.-M. (19 de ABRIL de 2025). MDPI. Obtenido de Fabricación aditiva vs. sustractiva: Análisis comparativo del ciclo de vida y costes de repuestos de acerías. : <https://doi.org/10.3390/jmmp9040138>
- Stewart, L. (2018). ¿Qué es la investigación descriptiva y cómo se utiliza? Obtenido de <https://atlasti.com/es/research-hub/investigacion-descriptiva#:~:text=Definici%C3%B3n%20de%20investigaci%C3%B3n%20descriptiva,descripci%C3%B3n%20detallada%20de%20la%20situaci%C3%B3n>
- Taborda Rios, J. A. (2024). Efecto de los parámetros de proceso sobre reducción de porosidad, la microestructura y el comportamiento mecánico de la aleación de AlSi10Mg utilizando manufactura aditiva. Obtenido de <https://shre.ink/qsUp>
- Trymata. (2025). ¿Qué es la investigación evaluativa? Definición, método y ejemplos. Obtenido de <https://trymata.com/es/blog/que-es-la-investigacion-evaluativa-definicion-metodo-y-ejemplos/>