

La Manufactura Aditiva: Tecnología e innovación para la aplicación en infraestructuras portuarias sostenibles.

José Angel Hernández Peña, María Dolores Servín Lugo, Etelberto Dionisio Serrano Flores, David Humberto Segura Quiroz

Angel.Pena@imt.mx, dservin@imt.mx, eserrano@imt.mx, dsegura@imt.mx

Introducción

La Manufactura Aditiva mejor conocida como Impresión 3D es una herramienta innovadora que a lo largo de los últimos años ha crecido de manera significativa. Este tipo de tecnología consiste en fabricar piezas capa por capa a partir de modelos diseñados digitalmente por medio de diferentes materiales como plásticos, cerámica, arcilla, cemento e incluso metal, con la finalidad de crear estructuras complejas que contienen geometrías compuestas que significan un alto costo o muy difíciles de lograr con los métodos tradicionales.

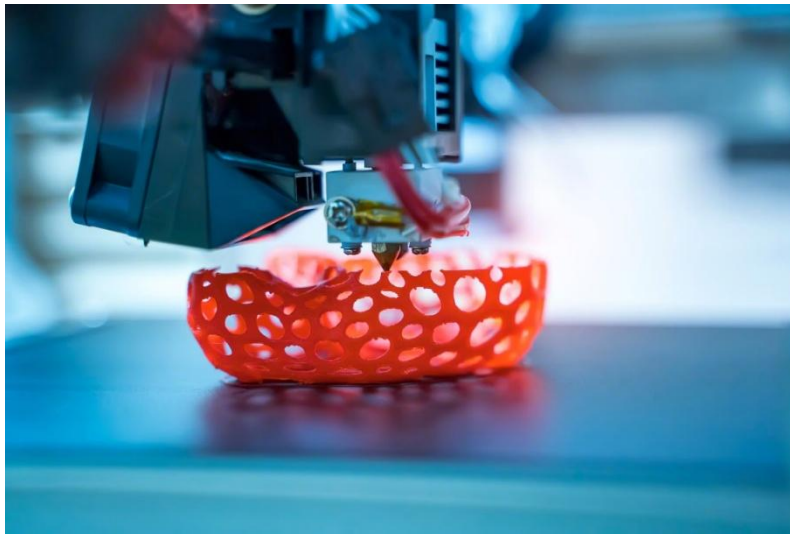


Figura 1. Ejemplo del uso de las impresoras 3D.

Fuente: <https://www.mecalux.com.mx/blog/fabricacion-aditiva>

En los últimos años diversos centros de investigación, universidades y empresas han explorado la posibilidad de adoptar esta tecnología a los procesos de Ingeniería Portuaria y Costera, como por ejemplo en la creación de moldes o elementos para las obras de protección portuaria y en la producción de arrecifes artificiales, con la finalidad de mejorar la eficiencia estructural y el efecto ambiental de las infraestructuras costeras.

Manufactura Aditiva

El concepto de manufactura aditiva alude a la tecnología empleada en el proceso de creación de objetos físicos en 3D a través de la extrusión de material., Enrique Urquizo, docente de la Facultad de Ingeniería y Ciencias del Tec de Monterrey menciona que, a esta tecnología se le llama también proceso de “prototipado rápido” ya que permite modelar un material capa por capa para obtener cualquier forma deseada.

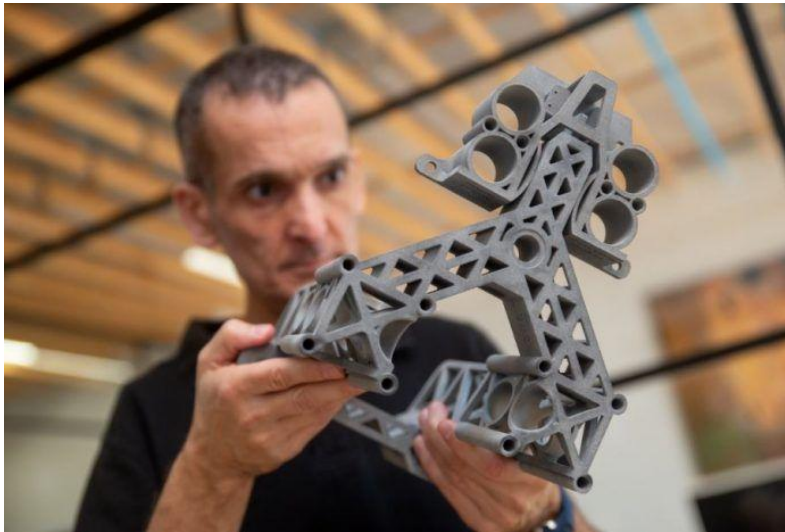


Figura 2. Prototipado con tecnología de manufactura aditiva.

Fuente: <https://www.factoriadelfuturo.com/por-que-es-la-fabricacion-aditiva-una-alternativa-mucho-mas-sostenible/>

En el sector industrial, la fabricación aditiva suele estar asociada con el uso de la impresión 3D para crear herramientas, aparatos, hacer modelos, y realizar pruebas de diseño, prototipado, así como la manufactura de lotes reducidos de componentes finales.

Tecnologías y procedimientos de la manufactura aditiva

Existen varias tecnologías que engloban el proceso de manufactura aditiva con las cuales se consigue el mismo propósito de crear piezas en 3D a partir de modelos CAD mediante la extrusión de material y su colocación capa por capa, pero con diferente procedimiento, a continuación, se describen los procesos y tecnologías de la manufactura aditiva más comunes usados en la industria:

1. Modelado por deposición fundida (FDM)

La deposición de material fundido (FDM) constituye un método de impresión tridimensional que implica la extrusión de polímeros termoplásticos sobre una superficie de fabricación para confeccionar el objeto deseado. Un carrete proporciona el filamento a un extrusor, este lo calienta, lo derrite y lo expulsa mediante una abertura estándar de 0.4 mm. Existen filamentos con diámetros de 1,75 mm o 2,85 mm de diferentes colores y materiales, el PLA (Ácido Poliláctico) es el más común, existen boquillas de diferente tamaño y abertura que son utilizadas para una mejor calidad del producto.

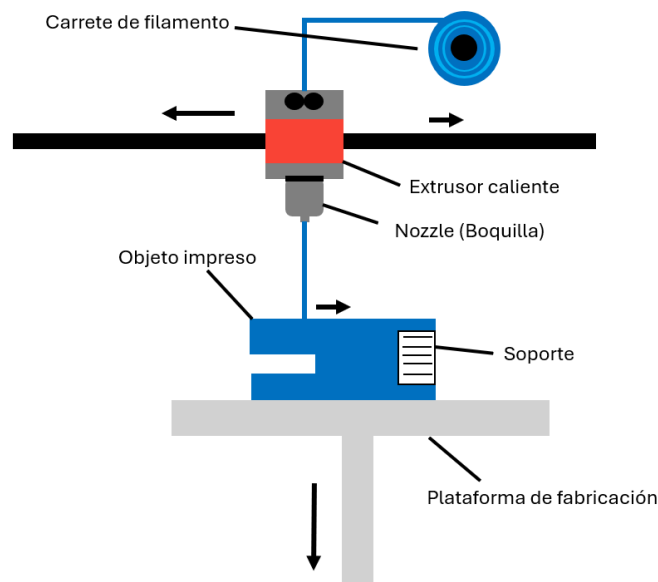


Figura 3. Diagrama de funcionamiento del proceso FDM.

Fuente: Imagen adaptada de <https://ingenia-sm.com/modelado-por-deposicion-fundida-fdm/>

Entre sus beneficios se encuentran la reducción de costos, la fabricación de componentes fuertes, ligeros, con buena estabilidad dimensional y resistencia al calor. Por otro lado, un inconveniente notable es que las piezas pueden ser anisotrópicas, lo que indica que la fuerza en diferentes direcciones puede no ser uniforme.

2. Inyección de aglutinante (Binder Jetting)

La tecnología de inyección de aglutinante, también conocida como Binder Jetting, consiste en la aplicación de un agente aglutinante líquido mediante un sistema de chorro controlado a presión sobre capas sucesivas de material en polvo, con el

objetivo de consolidar selectivamente el material y formar estructuras tridimensionales. Este proceso guarda similitud con la impresión convencional por inyección de tinta, ya que deposita pequeñas gotas sobre una superficie; sin embargo, en lugar de tinta se utiliza un adhesivo, y en vez de papel, se emplea un lecho de polvo. Según Siemens Digital Industries Software, esta tecnología permite una fabricación eficiente y versátil, adecuada para una amplia gama de materiales y aplicaciones industriales complejas (Siemens, 2025).

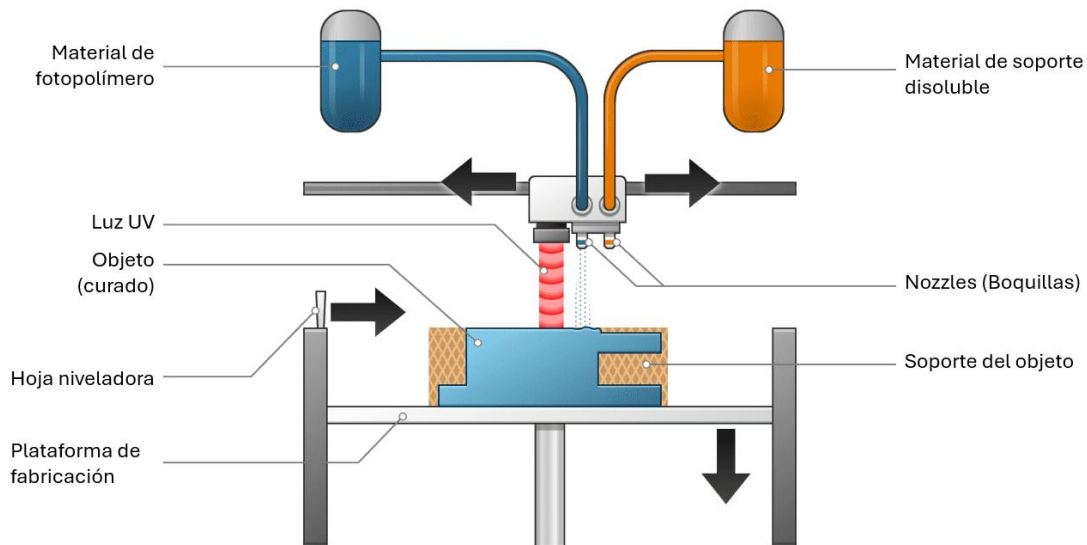


Figura 4. Diagrama de funcionamiento del proceso Biden Jetting.

Fuente: Imagen adaptada de <https://www.3ds.com/es/make/guide/process/3d-printing>

Los beneficios de la inyección son que las impresoras cuentan con múltiples cabezales que inyectan al mismo tiempo el material aglutinante durante el proceso de impresión, por lo que es posible crear decenas o incluso cientos de piezas de manera rápida, con exactitud y a bajo costo.

3. Estereolitografía (SLA)

La estereolitografía (SLA) es un proceso de fabricación aditiva basado en la técnica de “polimerización en recipiente”, en la cual una resina líquida fotosensible es depositada en un contenedor y donde es solidificada de manera controlada mediante radiación ultravioleta. Esta interacción induce una polimerización localizada, que permite la formación precisa de estructuras tridimensionales. De acuerdo con Dassault Systèmes, esta tecnología destaca por su alta resolución y precisión, es ideal para la creación de modelos detallados, moldes y componentes

funcionales con acabados de superficie de calidad superior (Dassault Systèmes, 2025).

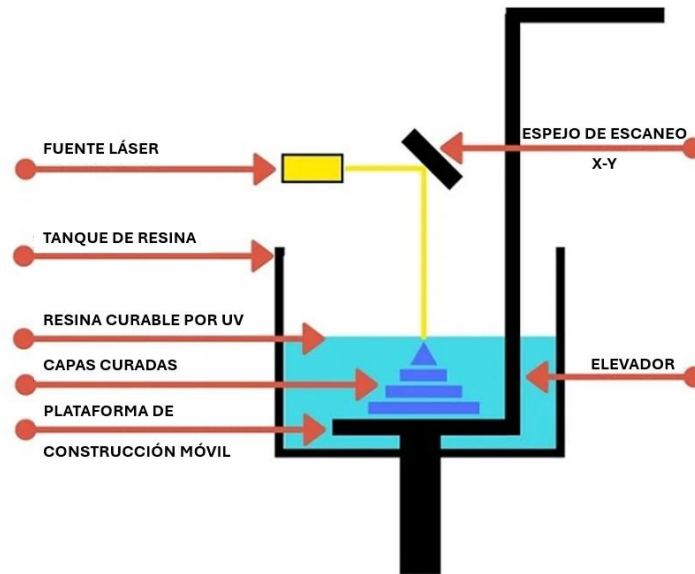


Figura 5. Diagrama de funcionamiento del proceso SLA.

Fuente: Imagen adaptada de <http://es.insta3dm.com/info/stereolithography-sla-3d-printing-simply-e-71999710.html>

La radiación ultravioleta endurece la resina en diversas capas, hasta que se logra la forma final del objeto. El grosor de cada una de estas capas se conoce como altura o espesor de la capa. En el proceso de estereolitografía, la altura de la capa se sitúa en torno a $50\mu\text{m}$ (lo que equivale al grosor de un cabello humano), pero puede disminuir hasta alcanzar apenas $10\mu\text{m}$. En términos generales, capas más delgadas resultan en una mejor calidad de impresión, así como en un aumento del tiempo requerido para el proceso de impresión.

4. Sinterizado selectivo por láser (SLS)

La sinterización selectiva por láser (SLS) es un método de fabricación aditiva que emplea un láser de alta potencia para fusionar partículas de polvo según el contorno de cada capa del modelo 3D. Este proceso permite crear piezas resistentes sin necesidad de soportes (Formlabs, 2025). El procedimiento se lleva a cabo de manera secuencial, capa por capa: tras la solidificación de una capa, la plataforma se desplaza hacia abajo y se deposita una nueva capa de material en polvo sobre la superficie ya procesada. Esta secuencia se repite hasta completar la geometría deseada. Según 3D Systems, esta tecnología permite fabricar piezas robustas y

precisas sin necesidad de estructuras de soporte internas, este método es ideal para prototipos funcionales y producción final en diversos sectores industriales (3D Systems, 2025).

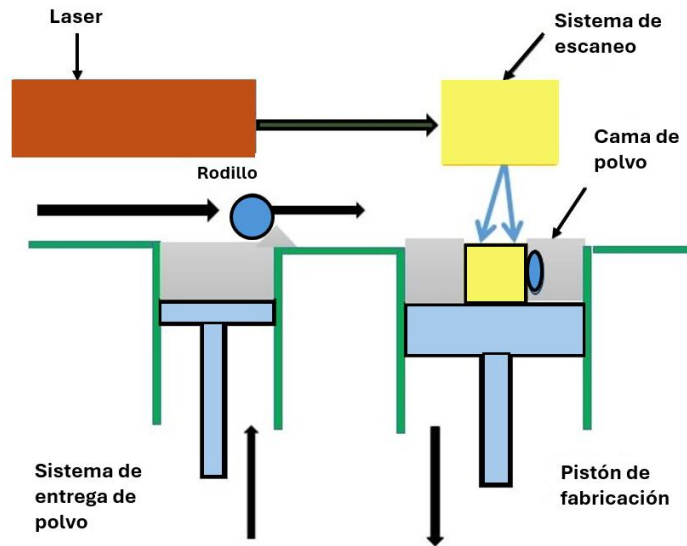


Figura 6. Diagrama de funcionamiento del proceso SLS.

Fuente: <https://manufactur3dmag.com/how-selective-laser-sintering-works/>

Una de las principales ventajas de la sinterización selectiva por láser (SLS) radica en su capacidad para fabricar piezas complejas sin requerir estructuras de soporte externas, ya que el propio lecho de polvo actúa como medio de sustentación durante el proceso de construcción. Esta propiedad intrínseca no solo simplifica la fabricación de geometrías internas intrincadas y ensamblajes integrados, sino que también elimina la necesidad de operaciones posteriores de retiro de soportes. Como resultado, SLS posibilita la creación de diseños que serían inviables mediante otras tecnologías aditivas. Las piezas obtenidas mediante este método se distinguen por su resistencia mecánica y funcionalidad, características que les permiten competir directamente con componentes producidos por técnicas convencionales como el moldeo por inyección. Gracias a estas cualidades, el SLS se ha consolidado como una opción eficaz para aplicaciones finales en sectores exigentes como la industria automotriz y aeroespacial.

5. Fabricación con filamento fundido de metal (FFF en metal)

La técnica de fabricación aditiva utiliza un filamento fundido metálico que inicia con un polvo de metal que se compacta con un polímero, el cual se deposita en capas sucesivas para crear la pieza deseada. Posteriormente, la pieza se somete a un lavado en una solución que elimina el aglomerante y, finalmente, se sinteriza en un horno, proceso que tiene como objetivo la eliminación del aglutinante y la fusión de las partículas del polvo metálico entre ellas.

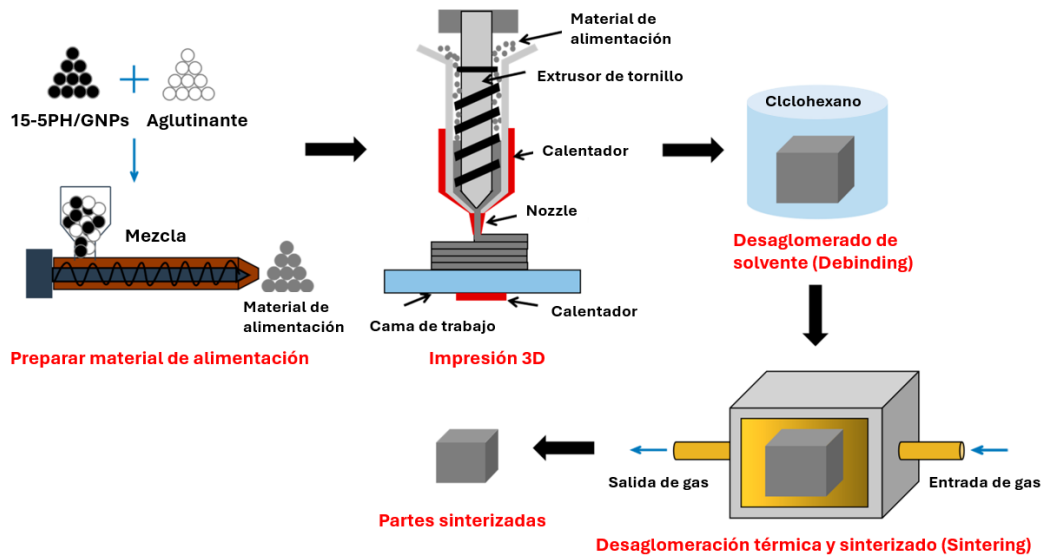


Figura 7. Diagrama de funcionamiento del proceso FFF en metal.

Fuente: Imagen adaptada de <https://www.mdpi.com/1996-1944/16/19/6372>

Las ventajas del proceso de FFF en metal incluyen la alta disponibilidad del material, la reducción de costos y la alta precisión. La principal desventaja de este proceso es que las piezas resultantes no son completamente sólidas, ya que poseen un relleno en forma de triángulo por lo que no alcanzan una densidad total y su peso es notablemente menor. La tecnología de FFF en metal está avanzando rápidamente conforme las máquinas se vuelven más efectivas y confiables. El número de aplicaciones potenciales sigue en aumento gracias a nuevas innovaciones. Actualmente, múltiples industrias muestran apertura para implementar la tecnología FFF en metal en aplicaciones de alto nivel.

Aplicaciones para la innovación en infraestructura portuaria

A partir de estas tecnologías, como el modelado por deposición fundida (FDM), el sinterizado selectivo por láser (SLS) o la estereolitografía (SLA), la manufactura aditiva ha dejado de ser únicamente una herramienta de prototipado para convertirse en una alternativa viable de producción en sectores industriales estratégicos. En específico, la ingeniería portuaria ha empezado a integrar esta tecnología en múltiples niveles, que abarcan desde la creación de modelos físicos a escala en laboratorios de hidráulica marítima, la edificación de arrecifes artificiales sostenibles hasta elementos de protección portuaria. Esta transición abre nuevas posibilidades en términos de eficiencia estructural, sostenibilidad ambiental y reducción de costos constructivos, especialmente en contextos donde las soluciones tradicionales presentan limitaciones logísticas, geométricas o de adaptabilidad.

Modelos físicos impresos en 3D para investigación costera

La manufactura aditiva ha evidenciado su eficacia en entornos de laboratorio dentro del ámbito de la ingeniería marítima y costera. La impresión 3D se emplea como herramienta para replicar infraestructuras marítimas a escala y facilita la validación de diseños mediante simulaciones físicas en canales y tanques generadores de oleaje. Por ejemplo, en la Universidad de Ottawa se imprimieron en 3D unidades tipo Core-Loc de 12 cm de longitud, equipadas con sensores internos para medir las presiones y fuerzas hidrodinámicas sobre bloques sometidos a oleaje. Este enfoque permitió montar circuitos de instrumentación dentro de unidades a escala y luego someterlas a pruebas en un canal de oleaje, donde se obtuvieron datos novedosos sobre el comportamiento de elementos de protección en rompeolas bajo distintas condiciones de oleaje. La capacidad de prototipado rápido mediante impresión 3D acelera la investigación estructural, se pueden reproducir geometrías complejas con alta fidelidad, las cuales pueden variar fácilmente entre ensayos y validar experimentalmente modelos numéricos con medidas precisas en el laboratorio. De hecho, una vez logradas formulaciones de concreto aptas para impresión 3D, instituciones como la Universidad de Ghent han iniciado planes para fabricar modelos a escala de rompeolas con fines de investigación para conocer su eficiencia mecánica, durabilidad y comportamiento hidráulico antes de aplicarlas en campo. Estos estudios pioneros en laboratorio sientan las bases para escalar la tecnología hacia aplicaciones reales, al demostrar en entornos controlados que las piezas impresas cumplen con las funciones estructurales esperadas.

Elementos de rompeolas fabricados con impresión 3D

La manufactura aditiva ha dejado de ser exclusiva para el desarrollo de prototipos en investigación y comienza a aplicarse en la producción de piezas únicas utilizadas en proyectos de ingeniería marítima, especialmente en la construcción de rompeolas. Tradicionalmente, elementos como Tetrápodos, Dolos, Core-Locs, Cubos Ranurados, Baris, entre otros, se fabrican con concreto mediante moldes fijos. La manufactura aditiva permite la creación de estos componentes sin requerir moldes adicionales, lo que facilita la realización de diseños más complejos y eficientes. Un proyecto en conjunto entre la Universidad de Ghent y compañías del sector investigan la implementación de la impresión 3D de manera directa en el lugar de construcción, con la finalidad de reducir significativamente los altos gastos logísticos asociados al transporte y la instalación. Imprimir las unidades en el propio rompeolas (incluso bajo el nivel del agua) sería una gran ventaja, ya que la mayor parte del costo de estas piezas proviene de su manipulación y traslado. Adicionalmente, la libertad geométrica de la tecnología aditiva permitiría crear formas novedosas o personalizadas para cada unidad según su ubicación dentro del rompeolas. En lugar de repetir una pieza estándar, cada pieza podría adaptarse para mejorar la estabilidad local o la disipación de energía en zonas específicas del talud. Incluso, la textura estratificada que deja el proceso de deposición capa a capa podría aprovecharse para aumentar la rugosidad superficial y así absorber más energía del oleaje. Elementos impresos con perforaciones o interconexiones internas también podrían entrelazarse mejor entre sí, al reducir desplazamientos por el oleaje.



Figura 8. Prototipo a escala de elementos de concreto usados para protección en rompeolas.

Fuente: Fotografía tomada por el autor.

No obstante, la impresión 3D de unidades de gran tamaño en concreto conlleva desafíos técnicos que son objeto de investigación. Las mezclas de concreto extruible suelen tener alto contenido de cemento y aditivos para lograr la fluidez y

rápido fraguado necesarios, lo que puede generar fisuración por contracción y calor de hidratación en elementos macizos. Para garantizar la resistencia de las piezas en entornos marinos exige el diseño de materiales específicos, como concretos con baja retracción o estructuras huecas impresas que puedan rellenarse con compuestos sostenibles, con el fin de prevenir fisuras y asegurar su comportamiento frente a la exposición al agua salina. Investigaciones actuales se enfocan en optimizar estas mezclas impresas con la incorporación de agregados reciclados, cementos alternativos y curado mejorado entre capas de modo que las unidades impresas alcancen al menos una buena vida útil y desempeño al igual que las unidades tradicionales. Superar estos desafíos permitirá fabricar rompeolas mediante impresión 3D que puedan colocarse directamente en el sitio que integra la rapidez de los procesos automatizados con la resistencia estructural que demandan las infraestructuras portuarias.

Estructuras costeras impresas en 3D: rompeolas y arrecifes artificiales

A medida que la tecnología evoluciona, surgen iniciativas que buscan construir infraestructuras marítimas completas mediante manufactura aditiva que incluye tanto componentes de concreto para rompeolas como estructuras diseñadas para funcionar como arrecifes artificiales. Un ejemplo destacado es SEAHIVE, un sistema modular de protección costera desarrollado por la Universidad de Miami. Este sistema toma de inspiración la configuración de un panal ya que está formado por piezas individuales en forma hexagonal con perforaciones, los cuales permiten que se conectan entre sí para formar un arrecife artificial.



Figura 9. Simulación del sistema SEAHIVE colocado en las costas de Miami.

Fuente: <https://hormigonaldia.ich.cl/smartconcrete/seahive-un-nuevo-desarrollo-con-hormigon-para-infraestructura-costera-sostenible/>

Estas innovadoras piezas de concreto, mezcladas con coral, se crean al utilizar técnicas avanzadas de impresión 3D en lugar de los métodos de manufactura tradicionales. Esto es posible gracias a la empresa 1Print, que son los únicos encargados de producir el sistema SEAHIVE. La configuración porosa de SEAHIVE ha sido concebida para captar la energía generada por las olas: los orificios en sus muros facilitan el paso del agua a través de la estructura cuando existe actividad en el mar, lo cual contribuye a disminuir tanto la altura como la potencia de las olas que eventualmente alcanzan la orilla. Además, estos canales internos sirven como refugios para la vida marina, lo que añade un valor ecológico extra. En 2023, se completó la impresión 3D de módulos SEAHIVE en Florida (North Bay Village) para crear un arrecife híbrido sustentable que protege la costa, el cual fue implementado en 2024 con el apoyo de ingenieros de la Universidad de Miami. Este proyecto de investigación evidenció que se pueden realizar edificaciones impresas a gran escala en el medio marino, al integrar la conservación de la costa con la restauración de los ecosistemas.



Figura 10. Módulo SEAHIVE de concreto impreso en 3D instalado en aguas de Florida.

Fuente: <https://www.rochesterfirst.com/business/press-releases/ein-presswire/697471389/university-of-miami-and-1print-join-forces-to-commercialize-seahive-technology/>

El módulo SEAHIVE funciona como un rompeolas artificial: absorbe la energía de las olas y al mismo tiempo actúa como arrecifes que proporcionan hábitats para la fauna marina.

Otra aplicación innovadora de la manufactura aditiva es la construcción de arrecifes artificiales impresas en 3D por la empresa D-Shape, instaladas en la bahía de Hong Kong. Al estar compuesta por una mezcla de áridos y aglomerante cementante, su

geometría porosa en forma de anillo reproduce la superficie irregular de los arrecifes naturales, que favorece el asentamiento de especies como algas, esponjas y bivalvos. En este proyecto, galardonado con el premio Design for Asia 2022, se desplegaron 100 módulos impresos mediante tecnología D-Shape para proteger y restaurar el ecosistema marino cerca del nuevo aeropuerto de Hong Kong. Estas unidades fueron instaladas en estructuras de bambú en el lecho marino; se creó un arrecife artificial que reduce la fuerza de las olas y al mismo tiempo proporciona refugio y áreas para el asentamiento de organismos marinos. Este ejemplo destaca la capacidad de la fabricación aditiva para ofrecer soluciones de infraestructura sostenible, al integrar materiales resistentes con diseños que imitan la naturaleza para desarrollar costas más robustas y ambientalmente amigables.

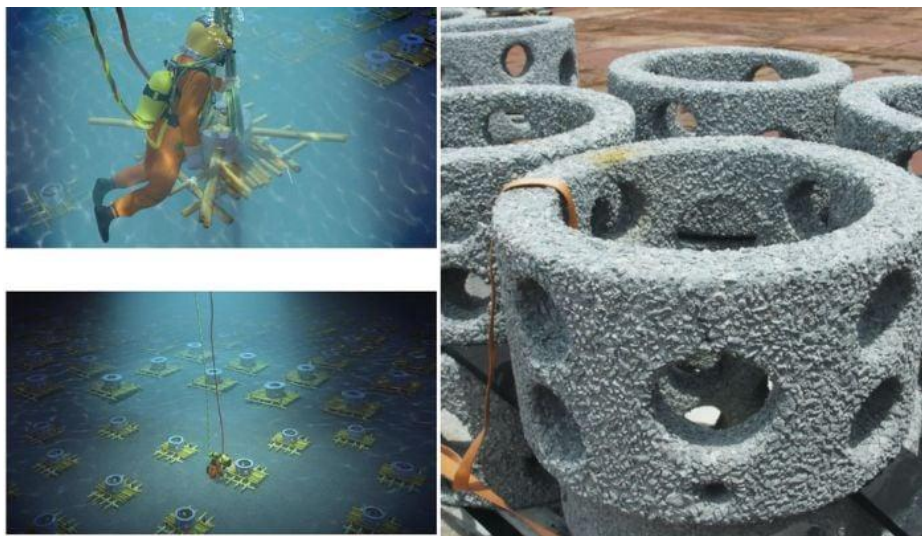


Figura 11. Arrecife artificial impreso en 3D.

Fuente: <https://www.3dnatives.com/en/how-are-3d-printed-coral-reef-projects-revitalizing-marine-biodiversity-10-08234/#:~:text=Italian%20firm%20D,As%20>

Innovación de la manufactura aditiva en equipos oceanográficos

La tecnología de manufactura aditiva, comúnmente conocida como impresión 3D, ha emergido como una herramienta revolucionaria con aplicaciones en múltiples ámbitos industriales. Su capacidad para crear objetos complejos de manera rápida y económica la ha posicionado estratégicamente en el desarrollo de equipos oceanográficos. Estos dispositivos, cruciales para la investigación y vigilancia en los entornos marinos, obtienen importantes beneficios de las características excepcionales proporcionadas por la manufactura aditiva, a continuación, se enlistan las innovaciones aplicadas a los equipos oceanográficos:

- I. **Diseño personalizado y eficiente:** La impresión 3D permite la creación de estructuras geométricas complejas y personalizadas, lo cual es esencial en equipos oceanográficos que deben operar en condiciones extremas y diversas. Por ejemplo, boyas medidoras de oleaje requieren configuraciones específicas para mejorar su estabilidad y precisión en mediciones bajo condiciones variables. La capacidad de personalización de la manufactura aditiva permite optimizar el diseño de estos dispositivos para adaptarse a los requisitos específicos del entorno marino.
- II. **Prototipado rápido y económico:** Una de las aplicaciones más valiosas de la impresión 3D en el ámbito oceanográfico es el prototipado rápido. Este método permite a los ingenieros y científicos desarrollar y testar nuevos diseños de manera rápida y económica antes de proceder a la producción a gran escala.
- III. **Integración de sensores:** La capacidad de imprimir en 3D al utilizar materiales con propiedades diversas permite la integración directa de sensores y componentes electrónicos en el cuerpo del equipo, como en el caso de AUVs (vehículos submarinos autónomos). Esto lleva a un diseño más compacto y robusto que reduce los posibles puntos de fallo y aumenta la fiabilidad del equipo en condiciones desafiantes.



Figura 12. Prototipo de boya medidora de oleaje impresa en 3D.

Fuente: <https://www.instructables.com/Smart-Buoy/>

Beneficios clave de la manufactura aditiva en ingeniería costera

- **Eficiencia estructural mejorada:** Las formas libres y optimizadas con fabricación aditiva permiten incrementar la estabilidad y desempeño hidráulico de las estructuras.
- **Reducción de recursos y tiempos de construcción:** Imprimir los componentes directamente en el lugar de instalación representa una ventaja estratégica, ya que no solo agiliza la ejecución del proyecto, sino que también reduce los recursos destinados a transporte y manipulación, para optimizar la eficiencia global de la construcción. De igual manera, la automatización incrementa la velocidad de producción; se han observado economías de hasta un 95% en el tiempo de edificación y significativas disminuciones de costos en iniciativas relacionadas con muros y rompeolas impresos respecto a métodos prefabricados convencionales, al evitar el uso de moldes para la fabricación de elementos de protección.
- **Sostenibilidad ambiental:** La manufactura aditiva minimiza el desperdicio de materiales (al depositar solo lo necesario) y puede incorporar insumos reciclados (p.ej., plásticos oceánicos) en las mezclas. Las estructuras resultantes, al imitar formas naturales (raíces, corales, etc.), fomentan la biodiversidad local en vez de degradarla. Adicionalmente, el uso de concretos avanzados sin acero reduce la huella ecológica al evitar la corrosión y prolongar la vida útil de las obras.

Validación experimental y seguridad: Para garantizar su fiabilidad, las soluciones desarrolladas mediante impresión 3D han sido sometidas a evaluaciones experimentales tanto en entornos controlados de laboratorio como en aplicaciones piloto, para asegurar su desempeño antes de ser utilizadas a gran escala. Los prototipos impresos permiten verificar su resistencia estructural, durabilidad ante el ambiente marino y eficacia hidráulica bajo oleaje real, que proporcionan datos para refinar diseños y garantizar la confiabilidad de estas nuevas tecnologías. Esta validación experimental progresiva brinda confianza a ingenieros y autoridades para adoptar la impresión 3D en futuros proyectos costeros de mayor envergadura.

Conclusiones

La fabricación aditiva aplicada a la ingeniería portuaria y costera emerge como una herramienta transformadora. Desde maquetas instrumentadas en el laboratorio hasta elementos, rompeolas y arrecifes completos impresos en obra, la impresión 3D ofrece ventajas tangibles en flexibilidad de diseño, eficiencia constructiva, desempeño ambiental y posibilidad de experimentación rápida. Si bien existen desafíos técnicos por superar (materiales especializados, normativas, equipos de

gran escala), los avances logrados por universidades, centros de investigación y empresas pioneras auguran una nueva generación de infraestructuras marítimas más eficientes, económicas y sostenibles. La convergencia entre tecnología aditiva y diseño costero de inspiración natural promete romper paradigmas tradicionales, que dan soluciones a la medida de las amenazas actuales sin dejar de lado la protección y regeneración de los ecosistemas marinos. Los próximos años serán cruciales para escalar estas innovaciones desde prototipos hacia proyectos reales que redefinan la manera de construir en nuestras costas.

Referencias Bibliográficas

- 1Print (2025). Coastal Protection [Consulta en línea]. <https://1print.one/markets/coastal-protection/#:~:text=SEAHIVE%C2%AE%20is%20a%20shoreline.concrete%203D%20printing%20by%201Print>
- 3D Systems (2025). Sinterización selectiva por láser [Consulta en línea]. <https://es.3dsystems.com/selective-laser-sintering>
- Aver, S. (2024). Preserving Our Oceans With 3D Printing: An Overview of Current Projects [Consulta en línea]. <https://www.3dnatives.com/en/how-are-3d-printed-coral-reef-projects-revitalizing-marine-biodiversity-10-08234/#:~:text=Italian%20firm%20D,As%20a>
- Dassault Systèmes (2025). Impresión 3D [Consulta en línea]. <https://www.3ds.com/es/make/guide/process/3d-printing>
- Dassault Systèmes (2025). SLA – estereolitografía [Consulta en línea]. <https://www.3ds.com/es/make/service/3d-printing-service/sla-stereolithography>
- Eden, D. (2019). Forces and pressures on Core-Loc armour units in rubble mound breakwaters (master's thesis, University of Ottawa) [Consulta en línea]. <https://ruor.uottawa.ca/server/api/core/bitstreams/d0e0cccc-7c1e-4d6d-937a-28b3d3151fdf/content>
- EIN Presswire (2024). University of Miami and 1Print Join Forces to Commercialize SEAHIVE® Technology [Consulta en línea]. <https://www.rochesterfirst.com/business/press-releases/ein-presswire/697471389/university-of-miami-and-1print-join-forces-to-commercialize-seahive-technology/>
- Engin, B., Berguzar, O., Gulsen, K. & Selahattin, B. (2017). A new approach to breakwater design – 2B block. [Consulta en línea]. https://www.researchgate.net/publication/345728497_A_NEW_APPROACH_TO_BREAKWATER_DESIGN_-_2B_BLOCK
- Formlabs (2025). Guía de impresión 3D por sinterizado selectivo por láser (SLS) [Consulta en línea]. <https://formlabs.com/latam/blog/que-es-sinterizado-selectivo-laser/>
- Garden, L. (2022). 'Living seawalls' prove eco-engineering's sea legs are strong [Consulta en línea]. <https://www.weforum.org/stories/2022/08/living-seawalls-eco-engineering/#:~:text=,of%20natural%20disasters%20like%20flooding>
- Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2015). Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing [Archivo PDF]. http://repo.darmajaya.ac.id/3831/1/Additive%20Manufacturing%20Technologies_%203D%20Printing%2C%20Rapid%20Prototyping%2C%20and%20Direct%20Digital%20Manufacturing%20%28%20PDFDrive%20%29.pdf
- Javeed Shaikh, M. (2016). Applications of 3D printing technologies in oceanography [Consulta en línea]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211122016300093?via%3Dihub>
- Markforged (2025). ¿Qué es la fabricación aditiva? Nociones sobre la tecnología y su utilidad [Consulta en línea]. <https://markforged.com/es/resources/blog/additive-manufacturing-101-guide-the-basics>
- Portero, A. (2024). Kind Designs uses huge 3D printer to make eco-friendly seawalls [Consulta en línea]. <https://www.bizjournals.com/seattle/bizwomen/news/latest-news/2024/03/viewfindkind-designs-3d-prints-seawalls-miami.html?page=all#:~:text=Building%20codes%20currently%20mandate%20that,approximately%2040%20to%20100%20years>

- Siemens (2025). Inyección aglutinante [Consulta en línea] <https://www.sw.siemens.com/es-ES/technology/binder-jetting/>
- Van Tittelboom, K. (2019). 3D2BGreen: Sustainable Concrete Mixtures for 3D printing of Breakwater Units. [Consulta en línea]. <https://biblio.ugent.be/project/179R00119#:~:text=the%20mixture%20will%20be%20taken,mechanical%2C%20durability%20and%20hydraulic%20performance>