

FABRICACIÓN ADITIVA DE FACHADAS VERDES SOSTENIBLES PARA EDIFICIOS

Ignacio Díaz Vigil¹, Alejandro García Reguera², Miguel Ángel Viñuela Marey³, Luis Ignacio Suárez Ríos⁴, Paula Queipo Rodríguez⁵

¹ Idonial Centro Tecnológico, Gijón, España, Ignacio.Diaz@idonial.com

² Idonial Centro Tecnológico, Gijón, España, Alejandro.Reguera@idonial.com

³ Idonial Centro Tecnológico, Gijón, España, Miguelangel.Vinuela @idonial.com

⁴ Idonial Centro Tecnológico, Gijón, España, Luisignacio.Suarez@idonial.com

⁵ Idonial Centro Tecnológico, Gijón, España, Paula.Queipo@idonial.com

Resumen

Este trabajo presenta el desarrollo de paneles para fachadas verdes (green walls) mediante fabricación aditiva, en el marco del proyecto MetabuildingLabs (Horizonte 2020, n.º 953193). El objetivo fue diseñar paneles poliméricos capaces de integrar vegetación y sistemas pasivos de captación y distribución de agua de lluvia, priorizando la escalabilidad industrial y la sostenibilidad.

Inicialmente se desarrollaron paneles en Acrilonitrilo Estireno Acrilato (ASA) mediante tecnología FDM, con geometrías circulares captadoras de agua y canales internos para su distribución. Aunque el material mostró buena resistencia UV e intemperie, las pruebas revelaron una captación de agua insuficiente debido al concepto de diseño asociado a esta tecnología. Además, el elevado detalle geométrico implicaba tiempos de fabricación cercanos a cuatro días por panel, limitando la viabilidad industrial y la escalabilidad del sistema.

Para superar estas limitaciones, se rediseñó el sistema adaptándolo a la tecnología BAAM desarrollada en IDONIAL, caracterizada por altas tasas de deposición y capacidad para fabricar piezas de gran volumen. El nuevo diseño, basado en geometrías de deposición continua, junto con el uso de ASA reforzado con fibra de carbono, permitió reducir el tiempo de fabricación hasta 2,5 horas por panel, mejorando simultáneamente la rigidez y estabilidad dimensional simultáneamente la rigidez estructural y la estabilidad dimensional del sistema.

La monitorización en un prototipo real de habitáculo habitacional (living lab) confirmó una mejora significativa en la captación de agua, alcanzando hasta 1.500 ml durante episodios de lluvia. El carácter termoplástico del material garantiza la reciclabilidad al final de la vida útil, alineándose con los principios de economía circular.

Palabras clave: Fabricación aditiva, BAAM, fachada verde, diseño sostenible, economía circular

1 Introducción

El sector de la construcción afronta en la actualidad un doble desafío: reducir su impacto ambiental y mejorar la integración de la naturaleza en los entornos urbanos. Las fachadas verdes o green walls constituyen una solución con probadas ventajas en términos de aislamiento térmico, calidad del aire, gestión del agua de lluvia y bienestar de los usuarios [1, 2, 3]. Sin embargo, su implantación a escala industrial se ve limitada por los costes de fabricación de los sistemas de soporte, la complejidad de los procesos de instalación y el mantenimiento requerido.

En este contexto, la fabricación aditiva (FA) emerge como una tecnología disruptiva que permite producir geometrías complejas con gran flexibilidad de diseño, reducción de residuos materiales y tiempos de entrega competitivos [4]. Su aplicación en arquitectura y construcción ha experimentado un crecimiento notable en la última década, aunque sigue enfrentando barreras técnicas y normativas, especialmente en el uso de materiales termoplásticos en exteriores [5, 6].

El presente trabajo se enmarca en el proyecto europeo MetabuildingLabs (Horizonte 2020, acuerdo de subvención n.º 953193), cuyo objetivo es desarrollar soluciones constructivas innovadoras, sostenibles y escalables para edificios del futuro. En concreto, se aborda el diseño, fabricación y validación de paneles para fachadas verdes mediante dos aproximaciones de fabricación aditiva: la tecnología FDM (Fused Deposition Modeling) convencional y la tecnología BAAM (Big Area Additive Manufacturing), evaluando su viabilidad funcional y productiva a través de su instalación en una fachada real.

2 Estado del arte

2.1 Fabricación aditiva en construcción

La fabricación aditiva ha evolucionado desde sus aplicaciones en prototipado rápido hasta convertirse en una herramienta con potencial para la producción de componentes constructivos a escala real. Los primeros desarrollos en construcción se centraron en la extrusión de hormigón (Contour Crafting, D-Shape), aunque su adopción masiva ha quedado limitada por las restricciones normativas sobre las propiedades mecánicas del hormigón impreso, especialmente en lo relativo a resistencia a cargas laterales y de tracción [7]. En países como España, la normativa vigente establece requisitos muy estrictos respecto al uso de hormigón estampado o impreso, condicionando su aplicación a usos no estructurales.

Como alternativa, la industria ha evolucionado hacia el empleo de materiales termoplásticos de ingeniería, que ofrecen ventajas como la reciclabilidad, la resistencia a la intemperie y la posibilidad de producir geometrías complejas sin utillajes especiales [4, 6]. Dentro de esta línea, la tecnología FDM ha demostrado su utilidad para la fabricación de moldes, elementos de fachada y componentes de precisión, aunque sus limitadas tasas de deposición dificultan la fabricación de piezas de gran formato.

2.2 Tecnología BAAM (Big Area Additive Manufacturing)

La tecnología BAAM surge como respuesta a la necesidad de escalar la fabricación aditiva a dimensiones de uso real en construcción e industria pesada. A diferencia de los sistemas FDM convencionales, que trabajan con filamento, los equipos BAAM utilizan pellets de material polimérico técnico, lo que permite caudales de deposición de entre 10 y 100 veces superiores [8]. Esto reduce drásticamente los tiempos de fabricación para piezas de gran formato, haciéndolos competitivos frente a procesos tradicionales de moldeo.

Los sistemas BAAM han sido explorados por organismos como Oak Ridge National Laboratory (ORNL) en Estados Unidos para la fabricación de viviendas, vehículos y estructuras industriales [9]. En Europa, su aplicación al sector de la construcción está en fase de investigación y validación, siendo IDONIAL uno de los centros pioneros en disponer de un equipo BAAM de desarrollo propio con volumen de trabajo de $1.200 \times 1.200 \times 1.500$ mm.

2.3 Materiales poliméricos para exteriores: ASA y composites

El Acrilonitrilo Estireno Acrilato (ASA) es un termoplástico de ingeniería ampliamente utilizado en aplicaciones exteriores gracias a su excelente resistencia a la radiación ultravioleta (UV), a la humedad y a la intemperie, superando a otros materiales habituales en fabricación aditiva como el PLA (Ácido Poliláctico) o el ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) [10]. Estudios realizados siguiendo la norma UNE-EN ISO 4892-3:2006 han confirmado que el ASA, especialmente en tonalidades oscuras, mantiene su integridad estructural y estética tras exposiciones prolongadas a radiación solar simulada, sin presentar grietas, amarilleamiento ni deformaciones significativas [11].

La incorporación de fibra de carbono como refuerzo en matrices poliméricas procesadas por fabricación aditiva ha demostrado mejoras sustanciales en rigidez, resistencia específica y estabilidad dimensional, con escaso impacto sobre la densidad del compuesto [12, 13]. El material compuesto ASA+FC (fibra de carbono) combina las ventajas ambientales del ASA con un incremento notable de las propiedades mecánicas, siendo especialmente adecuado para aplicaciones en fachada donde se requiere resistencia a cargas de viento y variaciones térmicas.

2.4 Fachadas verdes: sistemas de soporte y gestión del agua

Las fachadas verdes o green walls son sistemas que integran vegetación en la envolvente vertical de los edificios, ya sea mediante plantas trepadoras sobre estructuras de soporte (fachadas verdes indirectas) o mediante módulos prefabricados con sustrato integrado (jardines verticales o muros vivos) [1]. Sus beneficios documentados incluyen la reducción del efecto isla de calor urbano, la mejora de la eficiencia energética del edificio, la absorción de contaminantes y la mejora del bienestar psicológico de los usuarios [2].

Uno de los principales retos técnicos de estos sistemas es la gestión eficiente del agua de riego. Los sistemas de riego por goteo automatizado son los más utilizados, pero presentan problemas de mantenimiento y consumo energético. La captación pasiva de agua de lluvia mediante geometrías capilares integradas en los paneles de soporte constituye una línea de investigación con gran potencial para reducir la dependencia de fuentes externas de agua [14].

3 Diseño y fabricación del panel en tecnología FDM

Inicialmente se optó por la tecnología FDM utilizando el termoplástico ASA. La principal ventaja del ASA para este entorno es su excelente resistencia a la degradación por rayos UV y su baja absorción de humedad. Pruebas de laboratorio conforme a la norma UNE-EN ISO 4892-3:2006 confirmaron que el ASA, especialmente en color negro, mantiene su integridad estética y estructural tras la exposición solar simulada, sin presentar grietas ni deformaciones.

El diseño del prototipo tiene como objetivo principal la recogida de agua de lluvia para el riego eficiente de plantas integradas en la fachada verde. Tras comparar distintos tipos de captadores, circulares frente a diseños en cuenco (bowl), se seleccionó el diseño circular, ya que permitía fabricar la superficie directamente sobre la plataforma de impresión, optimizando la resistencia mecánica y el acabado superficial. Adicionalmente, el diseño circular permite orientar el panel en cualquier posición durante la instalación, dotando al sistema de total personalización. La parte posterior del panel incorpora una geometría de tipo malla que favorece la caída controlada del agua entre niveles y su comunicación con los módulos de vegetación.

El panel final es de forma cuadrada (470 × 470 mm) e integra canales funcionales: pequeños orificios distribuidos uniformemente para el paso del agua y aberturas de diámetros variables para el crecimiento de la vegetación. El sistema se instala mediante rieles en forma de «T» situados en la parte posterior. Gracias al corto tiempo de entrega que caracteriza a la fabricación aditiva, fue posible obtener prototipos y realizar iteraciones de optimización en periodos inferiores a dos semanas.

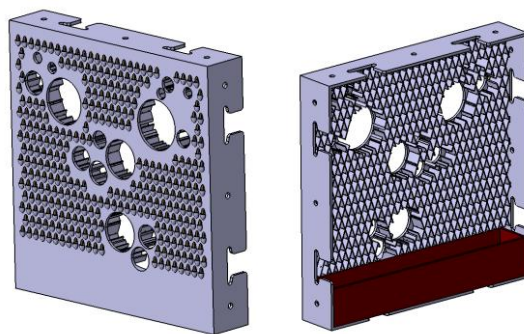


Figura 1. Diseño del panel polimérico en tecnología FDM

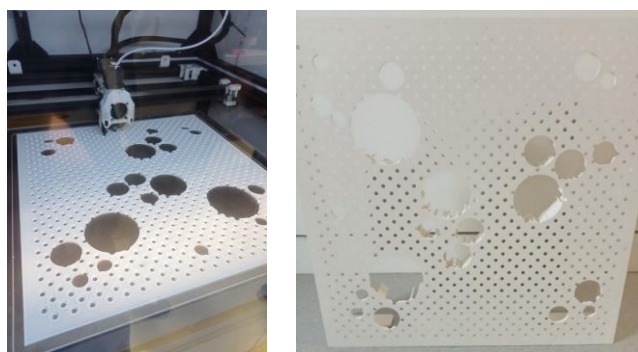


Figura 2. Fabricación del panel en material ASA mediante tecnología FDM

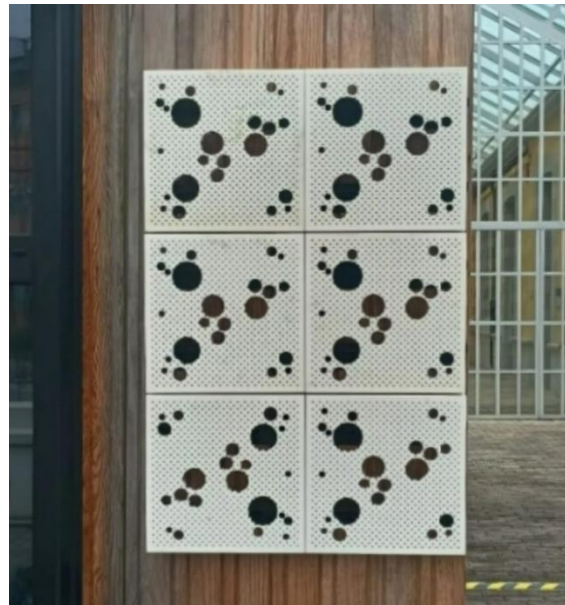


Figura 3. Instalación de los paneles FDM en el living lab de la empresa ROOM2030 (Aviles, Asturias), socio del proyecto “ Open Innovation Test Beds for European Construction SMEs METABUILDING LABS”

En la Tabla 1 se recogen los datos de monitorización registrados durante las pruebas de instalación de los paneles FDM en el prototipo ROOM2030.

Tabla 1. Datos de monitorización de paneles FDM en ROOM2030

Fecha	Duración (h)	Precipitaciones acumuladas (mm)	Agua recogida (ml)
04/07/2025	8	0	0
20/10/2025	8	1	0

Los registros obtenidos evidenciaron una captación de agua insuficiente, lo que motivó una revisión integral del diseño del sistema.

4 Rediseño del panel para tecnología BAAM

A partir del análisis de los resultados obtenidos con la tecnología FDM, se identificaron dos limitaciones principales: la escasa eficiencia del sistema de captación de agua y los elevados tiempos de fabricación, aproximadamente cuatro días por panel, derivados del alto nivel de detalle geométrico. Estas limitaciones comprometían la viabilidad industrial y la escalabilidad del sistema.

4.1 El equipo BAAM de IDONIAL

Para superar las limitaciones identificadas, se planteó una modificación integral del diseño orientada a adaptarlo a la tecnología BAAM disponible en las instalaciones de IDONIAL. El equipo BAAM empleado es una máquina cartesiana de tres ejes de desarrollo propio, con volumen de trabajo de $1.200 \times 1.200 \times 1.500$ mm y boquilla de 5 mm de diámetro, que permite imprimir materiales poliméricos técnicos directamente desde pellets, eliminando el proceso intermedio de extrusión de filamento. El husillo de diseño propio, accionado por motor paso a paso y con tres resistencias térmicas distribuidas a lo largo de su camisa, funde el polímero progresivamente y habilita tasas de deposición muy superiores a los sistemas FDM.

Sin embargo, el control del caudal mediante husillo implica mayor inercia en arranques y paradas frente al sistema de doble rueda dentada de las impresoras FDM, reduciendo la precisión en transiciones bruscas. Asimismo, la boquilla de 5 mm, frente a los 0,4-0,8 mm habituales en FDM, penaliza la resolución geométrica, aunque es precisamente lo que habilita las altas tasas de producción. Estas restricciones exigían un rediseño del panel que minimizara interrupciones del flujo y adaptara la geometría a trayectorias de deposición continua.

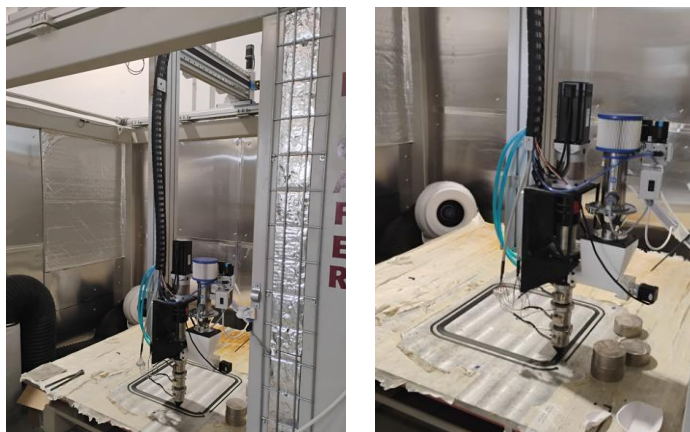


Figura 4. Equipo BAAM desarrollado por IDONIAL en- sus instalaciones

4.2 Nuevo diseño de panel

El nuevo diseño incorpora dos cordones perimetrales continuos, perímetro estructural que permite iniciar y finalizar la deposición sin interrupciones, y un núcleo de geometría tipo vaso (paredes inclinadas, fondo redondeado) que facilita la deposición en espiral continua, eliminando paradas que comprometían la calidad en el diseño anterior.

Funcionalmente, la cavidad tridimensional tipo vaso retiene el agua de lluvia con mayor eficiencia que los elementos circulares planos, aumentando el volumen de captación por unidad de superficie de fachada. Los canales de comunicación entre paneles se rediseñaron para adaptarse a la menor resolución de la boquilla BAAM, manteniendo la funcionalidad hidráulica del sistema.

Se seleccionó ASA reforzado con fibra de carbono corta (ASA+FC) en proporción optimizada para extrusión de pellets. Este compuesto combina la resistencia UV e intemperie del ASA, contrastada en ensayos previos, con las ventajas mecánicas de la fibra: mayor módulo de elasticidad, mejor estabilidad dimensional ante variaciones térmicas y menor coeficiente de

expansión térmica. El proceso fue parametrizado ajustando temperatura de extrusión, velocidad de cabezal y perfil de deposición a las propiedades reológicas del compuesto. La reducción de 4 días a 2,5 horas por panel se logró por la combinación del alto caudal del husillo BAAM y la simplificación geométrica, que minimiza movimientos en vacío y transiciones complejas entre capas.

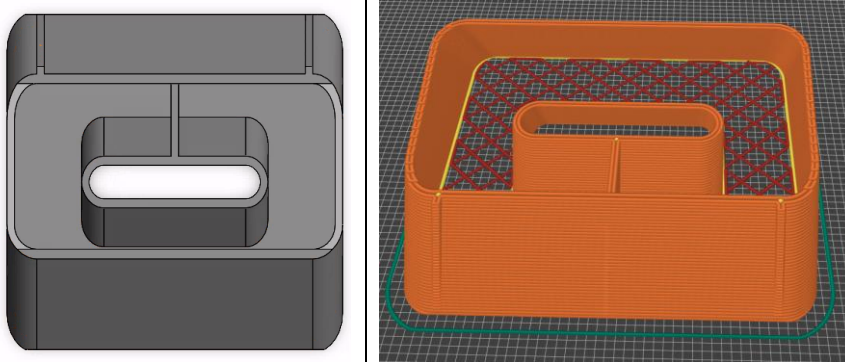


Figura 5. Diseño del panel adaptado a la tecnología BAAM

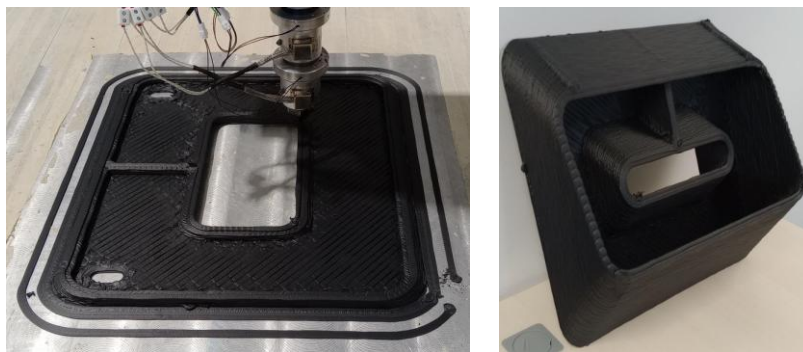


Figura 6. Fabricación de uno de los paneles en ASA+FC con tecnología BAAM



Figura 7. Instalación de los paneles BAAM en el living lab de la empresa ROOM2030

5 Resultados y validación

La validación del sistema se llevó a cabo a través del prototipo ROOM2030, instalación experimental ubicada en las instalaciones de IDONIAL en Gijón, que reproduce las condiciones reales de una fachada verde en un entorno urbano del norte de España. Los resultados se organizan en tres áreas de análisis: eficiencia de captación de agua de lluvia, rendimiento productivo y comportamiento del material compuesto ASA+FC en condiciones de exposición real.

5.1 Eficiencia de captación de agua de lluvia

La Tabla 2 recoge los datos de monitorización registrados durante los ensayos de instalación de los paneles BAAM en el prototipo ROOM2030. Para cada sesión de medición se registró la duración de la exposición, las precipitaciones acumuladas según estación meteorológica de referencia y el volumen de agua efectivamente recogido por el sistema de paneles.

Tabla 2. Datos de monitorización de paneles BAAM en ROOM2030

Fecha	Duración (h)	Precipitaciones acumuladas (mm)	Agua recogida (ml)
27/02/2026	8	3,15	625
05-10/03/2026	120	39,5	1.500
25/03/2026	8	Sin datos	10

El primer ensayo, realizado el 27 de febrero de 2026 con una duración de 8 horas y precipitaciones acumuladas de 3,15 mm, arrojó una recogida de 625 ml de agua. Este resultado pone de manifiesto la sensibilidad del sistema ante eventos de lluvia de baja intensidad: con apenas 3,15 mm de precipitación, la geometría de tipo vaso fue capaz de captar y retener un volumen significativo, lo que sugiere que el diseño aprovecha eficazmente la escorrentía superficial del panel y los fenómenos de capilaridad.

El ensayo más representativo corresponde al periodo del 5 al 10 de marzo de 2026, con 120 horas de exposición continua y precipitaciones acumuladas de 39,5 mm. En estas condiciones, el sistema registró una captación total de 1.500 ml, confirmando la robustez del comportamiento hidráulico en eventos de lluvia prolongados. El análisis de la relación entre precipitación acumulada y agua recogida en este periodo arroja una eficiencia de captación aproximada de 38 ml por mm de precipitación, valor que refleja tanto el rendimiento de la geometría captadora como las pérdidas por evaporación, salpicadura y redistribución lateral entre paneles.

El ensayo del 25 de marzo de 2026 presentó una recogida de tan solo 10 ml, sin datos meteorológicos de referencia disponibles para ese día. Aunque no es posible calcular la eficiencia de captación en este caso, el resultado podría estar condicionado por una precipitación muy reducida o por condiciones de viento que limitaran la incidencia del agua sobre los paneles. Este ensayo pone de manifiesto la necesidad de completar la instrumentación del prototipo con pluviómetros propios en la zona de instalación de los paneles, de cara a futuras campañas de medición.

En conjunto, los datos de monitorización de los paneles BAAM contrastan de forma clara con los obtenidos con la tecnología FDM previa, en cuyos ensayos (julio y octubre de 2025) no se registró captación de agua alguna a pesar de haber precipitación. Esta diferencia cualitativa confirma que el rediseño geométrico, especialmente la sustitución de los elementos circulares planos por la geometría de tipo vaso, resolvió de forma efectiva la principal limitación funcional del sistema original.

5.2 Rendimiento productivo: comparativa FDM vs BAAM

Además de los resultados funcionales, el cambio tecnológico de FDM a BAAM supuso una transformación radical en los parámetros productivos del sistema. La Tabla 3 resume la comparativa de los indicadores clave de fabricación entre ambas tecnologías para un panel de dimensiones equivalentes.

Tabla 3. Comparativa de rendimiento productivo FDM vs BAAM

Parámetro	Tecnología FDM	Tecnología BAAM
Tiempo de fabricación por panel	~96 horas (4 días)	~2,5 horas
Diámetro de boquilla	0,4 – 0,8 mm	5 mm
Formato de material	Filamento	Pellet
Resolución geométrica	Alta	Media
Captación de agua (ensayos)	0 ml registrados	Hasta 1.500 ml
Reciclabilidad del material	Sí (ASA)	Sí (ASA+FC)

La reducción del tiempo de fabricación, de aproximadamente 96 horas a 2,5 horas por panel, representa un factor de mejora superior a 38 y constituye el resultado productivo más relevante del trabajo. Este dato transforma la viabilidad industrial del sistema: mientras que con la tecnología FDM la producción de un conjunto de 10 paneles requería más de un mes de fabricación continua, con la tecnología BAAM ese mismo lote puede completarse en una jornada laboral. Esta escala de producción es coherente con los volúmenes de demanda habituales en proyectos de edificación de tamaño medio.

Es importante señalar que la reducción de tiempo no implica una degradación de las propiedades del panel, sino que es consecuencia directa de la adaptación geométrica al proceso BAAM y del mayor caudal de deposición del husillo. La pérdida de resolución superficial asociada al aumento del diámetro de boquilla (de 0,4-0,8 mm a 5 mm) no compromete la funcionalidad del sistema, dado que las tolerancias dimensionales críticas del panel, los canales de agua y las aberturas para vegetación, fueron redimensionadas en el proceso de rediseño para ser compatibles con la resolución BAAM.

5.3 Comportamiento del material ASA+FC en condiciones de exposición

Tras los periodos de instalación en fachada, se realizó una inspección visual de los paneles fabricados en ASA+FC para evaluar su estado superficial y dimensional. Los paneles no presentaron signos de degradación superficial, amarilleamiento, fisuras ni deformaciones apreciables, lo que confirma la adecuada resistencia del material a la radiación UV y a los ciclos de humedad-secado propios del clima atlántico de la región.

Desde el punto de vista dimensional, no se detectaron deformaciones por fluencia térmica ni desajustes en los sistemas de anclaje a los rieles, lo que valida la estabilidad dimensional del compuesto ASA+FC frente a los gradientes de temperatura registrados en el periodo de ensayo (febrero-marzo 2026). Este resultado es coherente con las mejores propiedades térmicas del compuesto respecto al ASA sin refuerzo, derivadas de la presencia de fibra de carbono, que actúa como barrera a la deformación viscoplástica a temperaturas moderadas.

En términos de comportamiento estructural, los paneles soportaron sin incidencias las cargas de viento registradas en el periodo de ensayo, así como el peso del agua acumulada en las cavidades tipo vaso durante los eventos de lluvia más intensos. Estos resultados, aunque preliminares, avalan la idoneidad del material y del diseño para su uso en aplicaciones de fachada en condiciones climáticas atlánticas.

6 Conclusiones

El trabajo demuestra la viabilidad técnica e industrial de la tecnología BAAM para la producción de paneles de fachada verde funcionales, sostenibles y escalables. Las principales conclusiones son:

- **Reducción drástica del tiempo de fabricación:** de 4 días a 2,5 horas por unidad (factor >38), determinante para la viabilidad industrial y la producción en serie escalable.
- **Mejora sustancial de la captación de agua:** la geometría tipo vaso incrementó la eficiencia del sistema pasivo, registrando hasta 1.500 ml en 5 días con 39,5 mm de precipitación, frente a los 0 ml del diseño FDM original.
- **Incremento de prestaciones mecánicas:** el ASA+FC aportó mayor rigidez, estabilidad dimensional y resistencia a ciclos térmicos, sin comprometer la resistencia UV e intemperie, crítica para la durabilidad en fachada.
- **Sostenibilidad y economía circular:** el carácter termoplástico del ASA+FC garantiza la reciclabilidad al final de la vida útil, coherente con los principios del programa Horizonte 2020 y MetabuildingLabs.
- **Transferibilidad y escalabilidad:** la disponibilidad de tecnología BAAM en centros como IDONIAL y el uso de pellets de bajo coste relativo posicionan al sistema para su transferencia al sector, con personalización geométrica adaptable a cada proyecto arquitectónico.

En conjunto, la combinación de diseño paramétrico optimizado, tecnología BAAM y material compuesto ASA+FC constituye una respuesta eficiente, escalable, técnicamente robusta y con potencial para su transferencia al mercado de la construcción sostenible.

7 Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto MetabuildingLabs, financiado por el programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención n.º 953193. Los autores agradecen al equipo técnico de IDONIAL su apoyo en las actividades de fabricación y monitorización en el prototipo ROOM2030.

8 Referencias

- [1] Blanco, I., & Convertino, F. (2023). Thermal performance of green façades: Research trends analysis using a science mapping approach. *Sustainability*, 15(13), 9981. <https://doi.org/10.3390/su15139981>
- [2] Assem, S., Nasser, R., Saad, A., & Chehab, G. (2024). Comprehensive assessment of the impact of green roofs and walls on building energy performance: A scientific review. *Energies*, 17(20), 5160. <https://doi.org/10.3390/en17205160>
- [3] Azkorra-Larrinaga, Z., Erkoreka-González, A., & Martín-Escudero, K. (2023). Thermal characterization of a modular living wall for improved energy performance in buildings. *Building and Environment*, 234, 110102. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110102>
- [4] Mastronardo, E., et al. (2025). Advances in sustainable additive manufacturing: A systematic review for construction industry to mitigate greenhouse gas emissions. *Frontiers in Built Environment*, 11, 1535626. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2025.1535626>
- [5] Baigarina, A., Shehab, E., & Ali, M. H. (2023). Construction 3D printing: A critical review and future research directions. *Progress in Additive Manufacturing*, 8, 1393-1421. <https://doi.org/10.1007/s40964-023-00428-x>
- [6] Pajonk, A., Luna Navarro, A., Knaack, U., & Blum, U. (2024). AM Envelope: The potential of additive manufacturing for facade constructions. *Progress in Additive Manufacturing*, 9, 1051-1068. <https://doi.org/10.1007/s40964-024-00589-9>
- [7] Khoshnevis, B. (2004). Automated construction by contour crafting—related robotics and information technologies. *Automation in Construction*, 13(1), 5-19. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2003.08.012>
- [8] Bock, C., Ellis, B. D., & Rais-Rohani, M. (2024). Process-informed simulation of Big-Area Additive Manufacturing (BAAM) of polymers. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C*, 238(24), 10501-10518. <https://doi.org/10.1177/09544062241260718>
- [9] Burgos Pintos, P., Moreno Sánchez, D., Delgado, F. J., Sanz de León, A., & Molina, S. I. (2023). Influence of the carbon fiber length distribution in polymer matrix composites for large format additive manufacturing via fused granular fabrication. *Polymers*, 16(1), 60. <https://doi.org/10.3390/polym16010060>
- [10] Martin, K. A., Riveros, G. A., Thornell, T. L., McClelland, Z. B., Freeman, E. L., & Stinson, J. T. (2024). Thermomechanical material characterization of polyethylene terephthalate glycol with 30% carbon fiber for large-format additive manufacturing. *Polymers*, 16(13), 1913. <https://doi.org/10.3390/polym16131913>

[11] ISO 4892-3:2013. (2013). *Plastics — Methods of exposure to laboratory light sources — Part 3: Fluorescent UV lamps*. International Organization for Standardization.

[12] Maqsood, N., Rimašauskas, M., Ghobakhloo, M., et al. (2024). Additive manufacturing of continuous carbon fiber reinforced polymer composites: Mechanical properties, process parameters, fracture analysis. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 7, 202. <https://doi.org/10.1007/s42114-024-01035-w>

[13] Lazoglu, I. (2023). A review on additive manufacturing of carbon fibre-reinforced polymers: Current methods, materials, mechanical properties, applications and challenges. *Journal of Applied Polymer Science*, 140(7), e53476. <https://doi.org/10.1002/app.53476>

[14] Barrón Fernández, M., Olivieri, F., & Bedoya, C. (2023). Feasibility of rainwater harvesting systems in buildings with green roofs: A case study based on the Köppen climate classification. *Sustainability*, 15(24), 16859. <https://doi.org/10.3390/su15241685>