Revista Hábitat Sustentable Vol. 16, N°. 1. ISSN 0719 - 0700 / Págs. 24 - 41
https://doi.org/10.22320/07190700.2026.16.01.02

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PASIVO DE DESHUMIDIFICACIÓN BASADO EN LA TECNOLOGÍA DEL ATRAPANIEBLAS EN VILLA MARÍA DEL TRIUNFO – LIMA, PERÚ

Recibido 08/12/2025
Aceptado 19/05/2026

IMPLEMENTATION OF A PASSIVE DEHUMIDIFICATION SYSTEM BASED ON FOG CATCHER TECHNOLOGY IN VILLA MARÍA DEL TRIUNFO – LIMA, PERÚ

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA PASSIVO DE DESUMIDIFICAÇÃO BASEADO EM TECNOLOGIA DE CAPTURA DE NÉVOA EM VILLA MARÍA DEL TRIUNFO – LIMA, PERÚ

Milagros Delgado-Peña
Arquitecta
Egresada Carrera de Arquitectura, Facultad de Ingeniería
Universidad Tecnológica del Perú
Lima, Perú
https://orcid.org/0009-0004-4678-0919
U17205052@utp.edu.pe

Alonzo Cardenas-Vera-Pinto (Autor de Correspondencia)
Arquitecto
Egresado Carrera de Arquitectura, Facultad de Ingeniería
Universidad Tecnológica del Perú
Lima, Perú
https://orcid.org/0009-0006-5707-4475
U17102967@utp.edu.pe

Richard Valdivia-Sisniegas
Magíster de Estudios Avanzados en Arquitectura y Desarrollo Sostenible
Docente y Asesor del programa de Titulación, Carrera de Arquitectura
Universidad Tecnológica del Perú
Lima, Perú
https://orcid.org/0000-0003-0783-6831
C19165@utp.edu.pe

CC BY SA

Revista Hábitat Sustentable Vol. 16, N°. 1. ISSN 0719 - 0700 / Págs. 24 - 41
https://doi.org/10.22320/07190700.2026.16.01.02

RESUMEN

En Lima (Perú), las viviendas ubicadas en entornos de alta humedad relativa enfrentan condiciones desfavorables para la habitabilidad, lo que favorece la condensación superficial y el deterioro constructivo cuando la HR interior supera el 65%. En este contexto, la investigación evalúa la eficiencia del prototipo de deshumidificación pasiva DESHUME en un entorno de alta saturación hídrica, como las lomas de Villa María del Triunfo (692 m.s.n.m.), registrando condiciones de 14,04 °C y 100% de HR. La metodología cuasiexperimental in situ partió del análisis de precedentes meteorológicos (2020-2024) y de las características técnicas de los materiales. La validación se realizó mediante el monitoreo de variables higrotérmicas interiores y exteriores durante 72 h, en módulos a escala 1:2 y 1:1, incorporando en su diseño la tecnología del atrapanieblas y el efecto Venturi para la remoción de masa de agua. Lo que resulta en la reducción promedio de 0,20 g/m³ de HR interior en invierno respecto al módulo referencial, lo que demuestra al sistema como un regulador higrotérmico viable para sectores vulnerables de alta humedad.

Palabras clave
humedad, niebla, ventilación, vivienda en la costa

ABSTRACT

In Lima (Peru), homes in high-relative-humidity environments face unfavorable living conditions, with surface condensation and structural deterioration when indoor RH exceeds 65%. In this context, this research evaluates the efficiency of the DESHUME passive dehumidification prototype in a highly saturated environment, such as the hills of Villa María del Triunfo (692 meters above sea level), where temperatures reached 14.04°C, and RH was 100%. The quasi-experimental, in situ methodology was based on the analysis of meteorological records (2020-2024) and the materials' technical characteristics. Validation was carried out by monitoring indoor and outdoor hygrothermal variables for 72 hours in 1:2 and 1:1-scale modules, incorporating fog-collecting technology and the Venturi effect in their design to remove water mass. This resulted in an average reduction of 0.20g/m³ in indoor RH in winter compared to the reference module, demonstrating the system's viability as a hygrothermal regulator for vulnerable high-humidity sectors.

Keywords
humidity, fog, ventilation, coastal housing

RESUMO

Em Lima (Peru), as habitações em ambientes com alta umidade relativa enfrentam condições desfavoráveis à habitabilidade, o que favorece a condensação superficial e a deterioração estrutural quando a umidade relativa interna é superior a 65%. Neste contexto, esta pesquisa avalia a eficiência do protótipo de desumidificação passiva DESHUME em um ambiente de alta saturação hídrica: as colinas de Villa María del Triunfo (692 m acima do nível do mar), onde foram registradas temperaturas de 14,04 °C e umidade relativa de 100%. A metodologia quase experimental in situ baseou-se na análise de dados meteorológicos anteriores (2020-2024) e nas características técnicas dos materiais. A validação foi realizada por meio do monitoramento de variáveis higrotérmicas internas e externas durante 72 horas, em módulos nas escalas 1:2 e 1:1, incorporando-se ao projeto a tecnologia de coletores de névoa e o efeito Venturi para a remoção da massa de água. O resultado foi uma redução média de 0,20 g/m³ na umidade relativa do ar interna no inverno em comparação com o módulo de referência, o que demonstra que o sistema é um regulador higrotérmico viável para áreas vulneráveis com alta umidade.

Palavras-chave
umidade, névoa, ventilação, habitação em áreas costeiras

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Lima Metropolitana (Perú) se ubica en el desierto costero del oeste sudamericano, escenario donde la intersección del océano Pacífico y la Cordillera de los Andes favorece la formación del ecosistema de Lomas, debido a los bancos de nieblas que se forman en las áreas costeras. La presencia de neblina desde los 400 a 1000m.s.n.m en este entorno es responsable de la alta humedad relativa (HR) de hasta el 100% (Moat et al., 2021). Durante el invierno, de junio a septiembre, esta saturación afecta a los asentamientos urbanos consolidados en estas zonas periféricas, cuya expansión alcanzó las 1,408.32 ha entre los años 2005 y 2017 (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2021). Esta situación climática se manifiesta en el A.H. Ficus del Pedregal, Sector de José Carlos Mariátegui, Villa María del Triunfo (VMT); ubicado próximo al límite georreferenciado como punto 10 (N 8659517, E 290903) (MINAM, 2019), donde se registra una HR del 100% (SENAMHI, s.f. a). Al superar el estándar recomendado del 65% de humedad relativa en los espacios ocupados de una vivienda (American National Standards Institute [ANSI] / American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers [ASHRAE]. 62.1, 2025), se propicia la proliferación de moho y bacterias, así como la degradación de la calidad del aire, lo que representa un riesgo para la salud de los habitantes al aumentar la prevalencia de afecciones respiratorias crónicas (Campos-Vásquez et al., 2025). Esta problemática del entorno, no solo afecta la habitabilidad de población debido a las condiciones meteorológicas, sino que se ve acentuada por la vulnerabilidad de la autoconstrucción, evidenciada por un predominio de materiales de baja durabilidad en las viviendas, como techos de fibra de cemento o planchas de calamina, pisos de tierra y muros de OSB o triplay (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, [MVC], s.f.). Materiales altamente higroscópicos que tienden a absorber excesivamente la humedad del ambiente. Por ende, este entorno desfavorable representa un riesgo inminente para la durabilidad de los materiales; y no garantiza un adecuado aislamiento ni confort higrotérmico (Tejeda Martínez, 2018). Frente a esta problemática, investigaciones recientes han propuesto estrategias para el control de la humedad interior mediante sistemas pasivos o híbridos; como la integración de componentes arquitectónicos innovadores como baldosas impresas en 3D (Posani et al., 2025). Asimismo, otros enfoques plantean sistemas híbridos de ventilación con recuperación de energía para la deshumidificación (Chen et al., 2023). Sin embargo, estos sistemas requieren configuraciones constructivas avanzadas, que dificultan su implementación práctica en las viviendas. En paralelo, como alternativa sustentable, la captación de agua atmosférica mediante la tecnología del atrapanieblas ha sido ampliamente estudiada en la literatura. Los modelos bidimensionales convencionales (fog nets), mediante las mallas Raschel en laderas, han demostrado altas eficiencias de recolección en ecosistemas áridos (Ismail & Go, 2021; Qadir et al., 2018). Recientemente se han explorado innovaciones geométricas, como los cilindros atrapanieblas para mayor resistencia al viento (Kanooni & Kohan, 2024) y los fog harps de hilos verticales que mejoran el drenaje (Shi et al., 2018). No obstante, pese a los avances comprobados en su rendimiento, estos dispositivos se instalan predominantemente como infraestructuras autónomas y externas al espacio habitable. Persiste, por tanto, una ausencia en la literatura respecto a la integración de esta tecnología directamente a la edificación. En consecuencia, la investigación evalúa la regulación de la humedad absoluta (HA) expresada en (g/m^3) mediante un sistema pasivo de deshumidificación que integra la tecnología del atrapanieblas y el efecto Venturi, aplicado a un módulo de vivienda típica emplazada en la zona de estudio.

METODOLOGÍA

La investigación adoptó un enfoque cuantitativo experimental, con un diseño cuasi-experimental y método de evaluación comparativa in situ, orientado a un alcance descriptivo y comparativo. El objetivo del proyecto es reducir la humedad interna en una vivienda mediante la implementación de un sistema pasivo de deshumidificación. Primero se identificaron las áreas con mayor concentración de niebla, para definir la zona de estudio. Posteriormente, una vez emplazados, se utilizaron fichas de registro fotográfico para determinar las características de las viviendas. Además, se efectuó un análisis de los datos meteorológicos del periodo invernal de los últimos cinco años, así como un estudio del desempeño térmico de los materiales. De este modo, se emplearon principios de ventilación y captación, como el efecto Venturi, los captadores de viento y la tecnología del atrapanieblas. Asimismo, para determinar el rango de habitabilidad y evaluar el impacto del prototipo, los parámetros de confort higrotérmico se establecieron de acuerdo con el estándar internacional ANSI/ASHRAE 62.1-2025, al ser el instrumento normativo para la evaluación de espacios acondicionados de manera natural. En el se establece el límite de aceptabilidad de la humedad relativa interior, en 65%. De manera complementaria, el desempeño térmico de la envolvente constructiva se analizó de acuerdo con los lineamientos de la Norma Técnica Peruana EM.110. Con ello, se diseñó el modelado en AutoCAD (2D), y SketchUp (3D). Consecutivamente, la efectividad del prototipo se evaluó mediante la comparación de dos maquetas a escala 1:2, una referencial y otra intervenida con el prototipo en 1:1. La escala de los módulos se justificó por razones de viabilidad logística y rigor metodológico, estas proporciones permitieron el traslado manual, el ensamblaje en campo y un mejor control en la experimentación. Por otra parte, se mantuvo el prototipo en escala 1:1 estrictamente por las características físicas

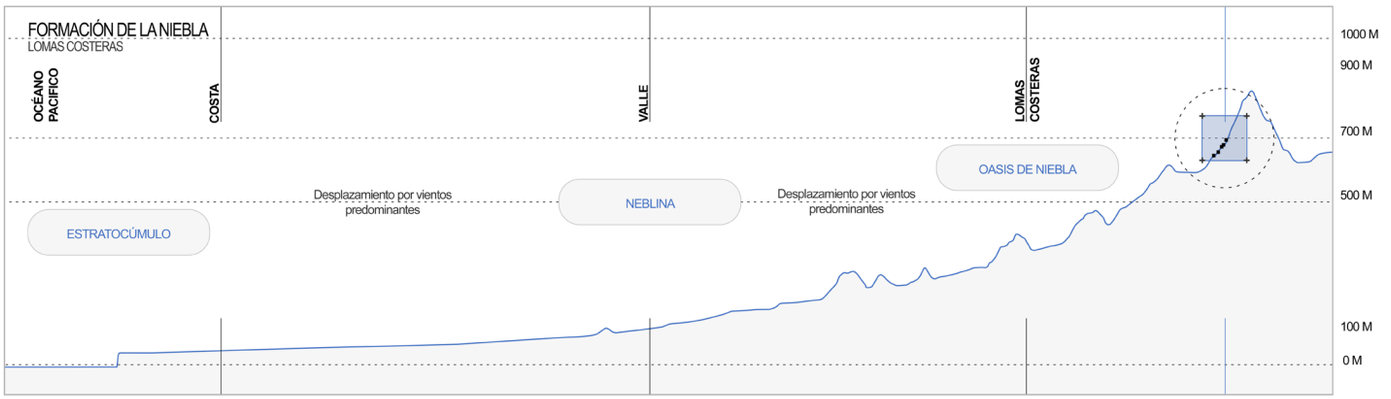


Figura 1. Formación de niebla costera. Fuente: PNUD (2018).

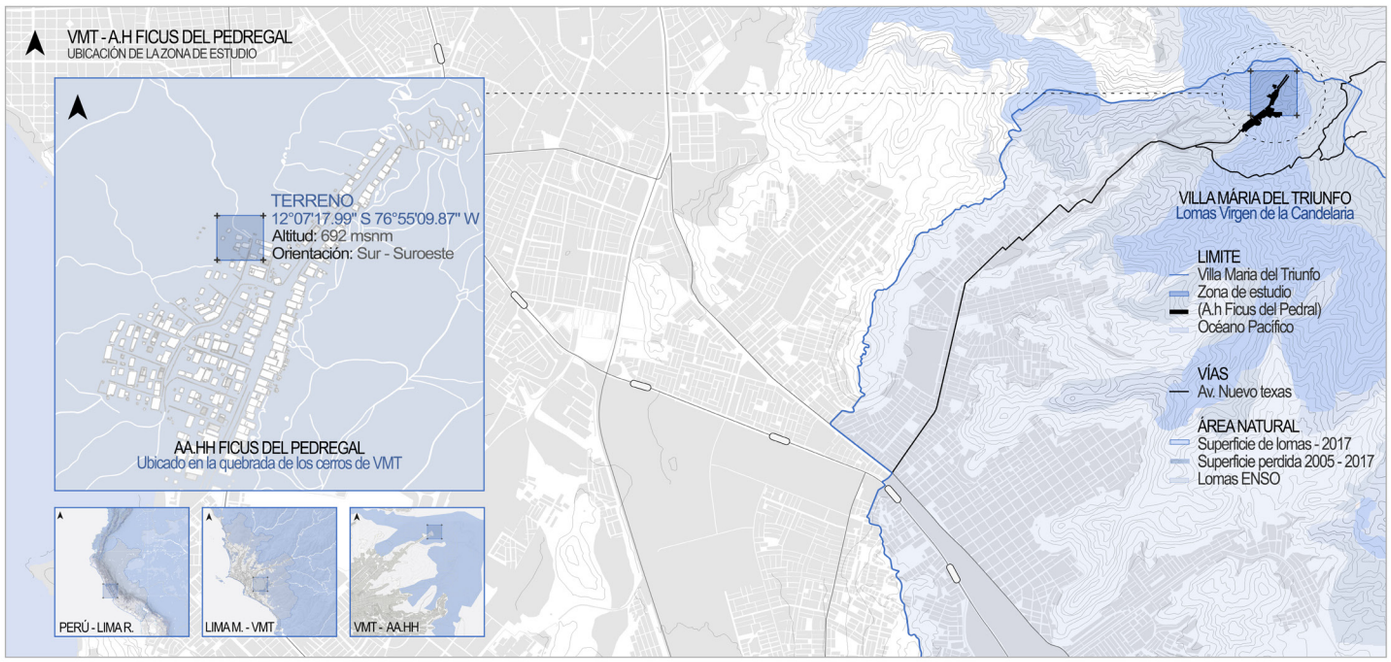


Figura 2. Ubicación de la zona de estudio - A.H. Ficus del Pedregal, VMT. Fuente: Elaboración de los Autores.

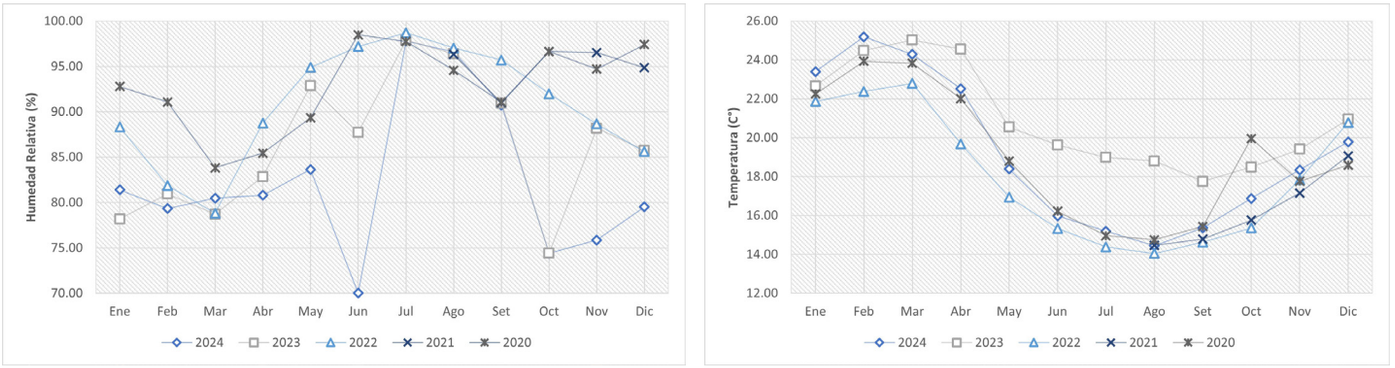
y constructivas de la malla Raschel. Posteriormente, se emplearon instrumentos de medición digitales, como higrómetros y anemómetros; para recopilar archivos CSV con los datos de HR (%), temperatura (°C) y velocidad de viento (m/s), que incidieron en las condiciones interiores de ambas maquetas. Finalmente, se aplicaron ecuaciones de cálculo higrotérmico para obtener los valores de HA (g/m^3), y determinar la eficiencia del prototipo.

FORMACIÓN DE NIEBLA COSTERA

La Corriente de Humboldt y el afloramiento de las aguas frías del océano Pacífico por la radiación, influyen en la condensación y formación de la niebla costera (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2018). Al ser transportado por los vientos del sur y suroeste hacia las estribaciones de los Andes a altitudes de 400 a 1000 msnm, que crean bancos u oasis de niebla (Moat et al., 2021) y registran porcentajes del 100% HR (SENAMHI, s.f. a) (Figura 1). La humedad entendida como la cantidad de vapor de agua presente en el aire, puede condensarse en gotas cuando alcanza la saturación (Tejeda Martínez, 2018), se expresa en humedad relativa o absoluta.

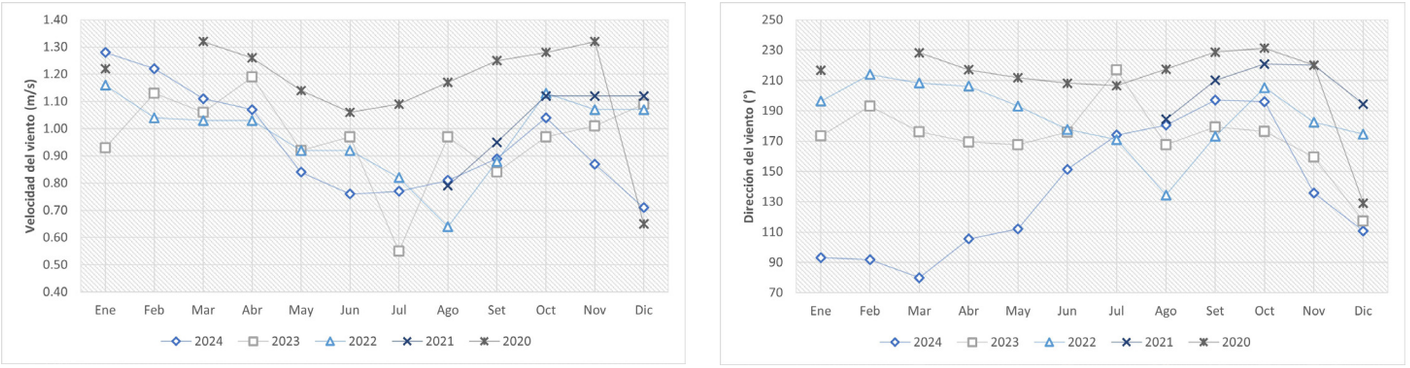
IDENTIFICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La investigación consideró cuatro criterios para el emplazamiento del proyecto DESHUME: 1) Proximidad a una loma costera, 2) Humedad presente en la atmósfera, 3) Altitud oscilante de 400 a 1000m.s.n.m, y 4) Orientación perpendicular respecto a los vientos predominantes. Por ello, la zona urbana seleccionada corresponde al A.H. Ficus del Pedregal, Sector de



a) b)

Figura 3. (a) Humedad relativa promedio; (b) Temperatura promedio – (2020-2024). Fuente: SENAMHI (s.f. b)



a) b)

Figura 4. (a) Velocidad del viento promedio; (b) Dirección del viento promedio – (2020-2024). Fuente: SENAMHI (s.f. b).

José Carlos Mariátegui, próximo a las Lomas Virgen de la Candelaria, en el distrito de VMT (MINAM, 2019) (Figura 2). El área de estudio, ubicada a 692m.s.n.m. (12°07'17.99" S; 76°55'09.87" W), se orienta hacia los vientos predominantes y presenta bancos de niebla que alcanzan una HR del 100% durante el invierno.

PRECEDENTES DE DATOS METEOROLÓGICOS

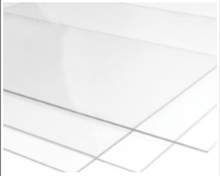
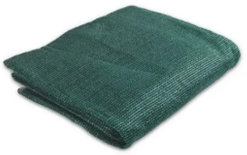
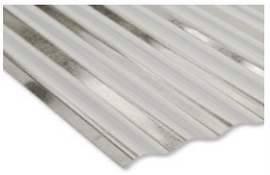
Para determinar las características que influyen en la formación de la niebla y la humedad, se recopilaron datos meteorológicos de 5 años (2020-2024). Obtenidos de la Estación Meteorológica Automática de VMT, 112233; emplazada a 292m.s.n.m, en las coordenadas 12°9'59"S y 76°55'12"W (SENAMHI, s.f. b). La estación realizó un monitoreo continuo de las variables de humedad relativa (%), temperatura del aire (°C), velocidad del viento (m/s) y dirección del viento (°); y se anotaron los datos con una frecuencia horaria continua en archivos CSV. Los registros obtenidos fueron procesados en valores promedios mensuales, que posteriormente se contrastaron interanualmente, obteniéndose un valor promedio final.

HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA

Los datos de HR (%) registrados durante el invierno del 2020 al 2024, indican que los valores en el ambiente superan los estándares, que alcanzan hasta 100% (Figura 3, a). Asimismo, en estos meses de junio a septiembre, el registro de temperaturas promedio mensual en los cinco años evaluados, evidencia que las temperaturas más bajas, corresponden al mes de agosto, con un valor de 14,04°C (Figura 3, b).

VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO

En los meses de invierno del periodo analizado, se registró un crecimiento progresivo en los valores de velocidad promedio, que alcanzaron máximos de 5.5m/s y mínimos de 0.00m/s, con un promedio de 0.89m/s (Figura 4, a). La dirección del viento es medida en grados respecto al norte verdadero (0°). En este sentido, la dirección predominante durante el invierno del 2020 al 2024, fue del sur - suroeste, con un promedio de (≈186.25°) (Figura 4, b).

Propiedades	Triplay	Acrílico	Malla Raschel	Calamina metálica
Materiales empleados				
Sistema constructivo	Muro	Vano	-	Cubierta
Dimensión (m)	2.44x1.221[1]	1.83x1.221[1]	4.20 x 1.001[1]	3.60x0.801
Conductividad Térmica (λ)	0.14 W/°Cm2[2]	0.200 W/° Cm2[2]	-	0.14 W/°Cm2[2]
Resistencia Térmica (R)	0.28 m²°C/W	0.17 m²°C/W	-	0.21 m²°C/W
Transmitancia Térmica (U)	3.57 W/m°C	5.88 W/m°C	-	4.76 W/m°C
Contiene Humedad (%)	5-8	-	-	-
Composición del Film	Papel kraft+resina fenólica	-	HPPE-UV	Acero galvanizado+Zinc
Cobertura de superficie (%)	100	100	50	-
Permanencia al vapor de agua (μ)	50	-	-	-
Impermeabilidad al agua (Aprobado / Rechazado)	Baja	Aprobado	-	Aprobado

1 Formato comercial estándar, 2 Obtenido de la Norma Técnica EM. 110
Tabla 1. Características técnicas de los materiales. Fuente: Elaboración de los Autores.

PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS MATERIALES

Mediante fichas de registro fotográfico se recopilaron las propiedades constructivas de las viviendas. Posteriormente, se realizó un análisis de las características térmicas de los materiales (Tabla 1) para determinar su capacidad aislante y considerar estas condicionantes en los módulos (1:2), y garantizar una mayor eficiencia del prototipo (1:1). Por ello, se evaluó el desempeño (Ecuación 1) y capacidad de aislamiento (Ecuación 2) frente a los aspectos climáticos predominantes de la zona de estudio. Se identificó a la ciudad de Lima en la Zona Bioclimática 1: Desértico Costero. Después, se clasificaron los materiales por sistema constructivo y se evaluó su cumplimiento respecto a los valores máximos permitidos de transmitancia térmica, según la Norma Técnica EM.110 (MVCS, 2016).

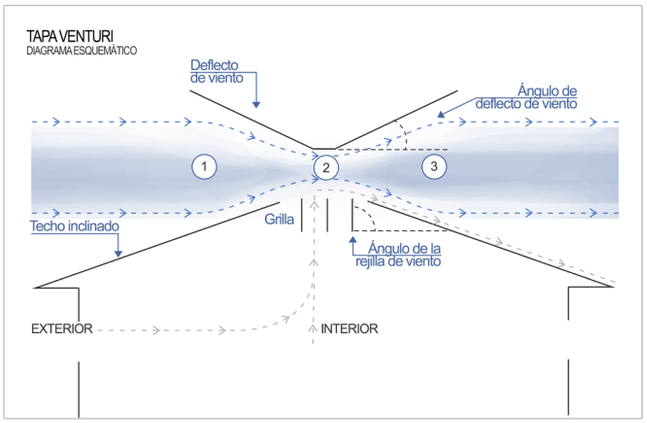
$$U = 1 / Rt. \quad \text{(Ecuación 1)}$$

$$Rt = e / \lambda \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Las propiedades higrotérmicas del triplay evidencian una baja resistencia al paso del vapor (μ≈30-50), facilitan la difusión de humedad hacia el interior de sus fibras. Está permeabilidad, combinada con una HR superior al 65%, genera condiciones críticas para patologías como el hinchamiento por absorción y la proliferación de colonias fúngicas. Por tanto, esta envolvente requiere un recubrimiento de barniz, para contrarrestar la capacidad absorbente del tablero de madera. Asimismo, la calamina metálica, pese a su resistente a la corrosión por su revestimiento de zinc (90g/m²), posee una alta transmitancia y conductividad térmica, permitiendo pasar el frio o calor al interior sin capacidad de generar un colchón térmico. Esto evidencia que la materialidad predominante en las viviendas presenta un desempeño deficiente como aislantes ante las condicionantes del entorno, que influye en los niveles de humedad interior.

CONFIGURACIÓN DEL PROTOTIPO

La ventilación natural o pasiva se sustenta en dos principios que movilizan el aire mediante fuerzas naturales dentro de un ambiente (Saber et al., 2021). Siendo uno de ellos, la ventilación cruzada generada por el viento (Al-Shamkhee et al., 2022). Por ello, en el diseño de sistemas pasivos de ventilación, el efecto Venturi posibilita generar el movimiento del aire, sin recurrir a mecanismos mecánicos (Venturi, 1797). Adicionalmente, el principio de Bernoulli, informa que la presión de un fluido disminuye a medida que su velocidad aumenta (Suárez et al., 2021). Según este fundamento, diversos estudios demuestran que, para garantizar la continuidad del flujo del aire, la reducción en la sección transversal en un conducto (efecto Venturi), es capaz de acelerar el viento local lo suficiente para generar una zona de presión negativa que induce la succión continua del aire (Zhang et al., 2021), maximizándose las tasas de ventilación



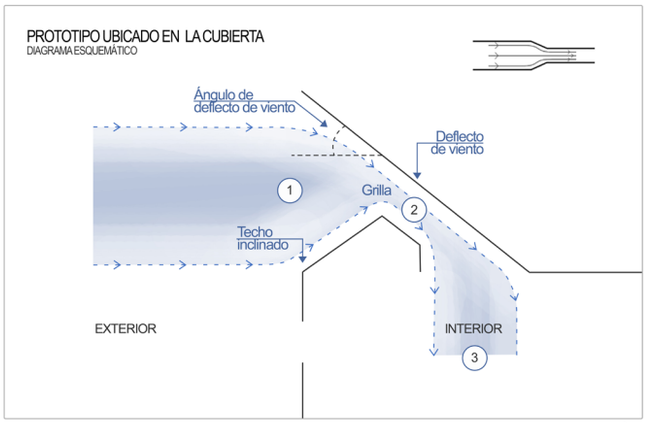
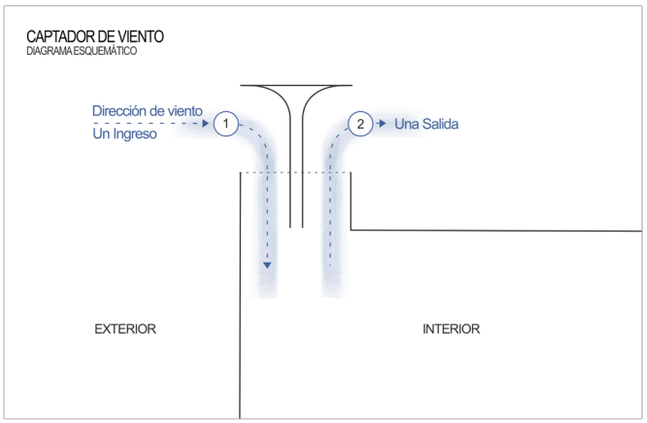


Figura 5. (a) Diagrama esquemático del efecto Venturi. Fuente: Zhang et al., 2021; (b) Diagrama esquemático del prototipo. Fuente: Elaboración de los Autores.



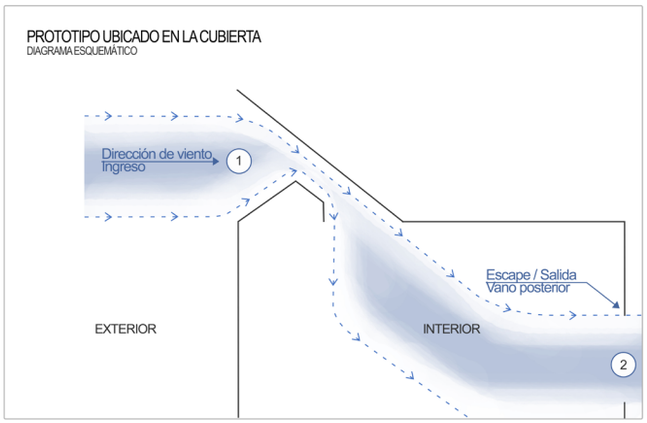


Figura 6. (a) Diagrama esquemático captador de viento. Fuente: Ortego Fernández (2020); (b) Diagrama esquemático del prototipo. Fuente: Elaboración de los Autores.

natural (Blocken et al., 2011) (Figura 5, a). Este principio se adaptó al diseño, para favorecer el ingreso del aire externo, incentivando la circulación interna. De este modo, el conducto del prototipo comprende tres secciones sucesivas, (i) una sección de entrada, con un ángulo de convergencia de 73° donde el aire ingresa a alta presión; (ii) una sección de garganta o núcleo, donde la reducción de dimensiones concentra el flujo y generando una zona de baja presión; y (iii) una sección de salida con un ángulo de divergencia de 52°, donde el conducto recupera sus dimensiones y el flujo retorna a condiciones de alta presión (Figura 5, b). La relación entre los ángulos de convergencia y divergencia, así como entre la altura y el ancho del ducto, resultó crucial para optimizar el movimiento natural del aire.

El emplazamiento del prototipo se determinó en función del aprovechamiento de la dirección de los vientos predominantes. Por lo que, se adaptaron los fundamentos del captador de viento (Figura 6, a) (Ortego Fernández, 2020), teniendo un diseño que busca la captura y redireccionamiento de corrientes de aire exterior dentro del módulo de vivienda, mediante un conducto que facilita su ingreso y distribución. De esta manera, la configuración del prototipo permite capturar e introducir a la vivienda el flujo de aire exterior para incentivar una circulación interna y generar una ventilación cruzada, que promueva la remoción de la humedad interior (Figura 6, b).

El diseño del prototipo no solo pretende evitar la acumulación de humedad mediante la ventilación, sino

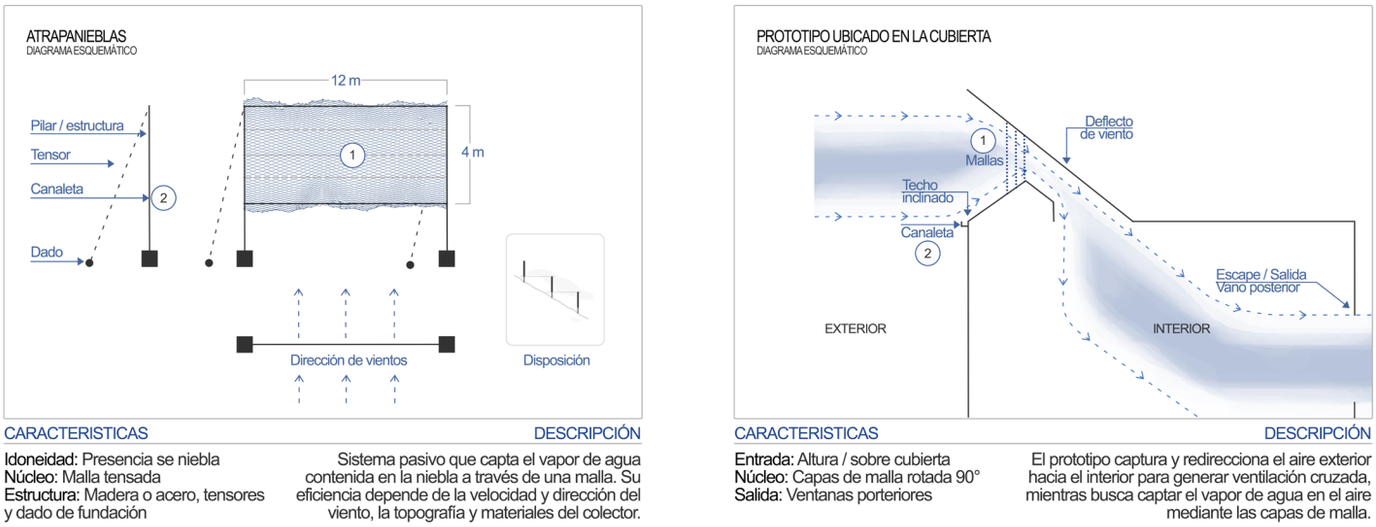


Figura 7. (a) Diagrama esquemático del atrapanieblas. Fuente: Di Bitonto (2019); (b) Diagrama esquemático del prototipo. Fuente: Elaboración de los Autores.

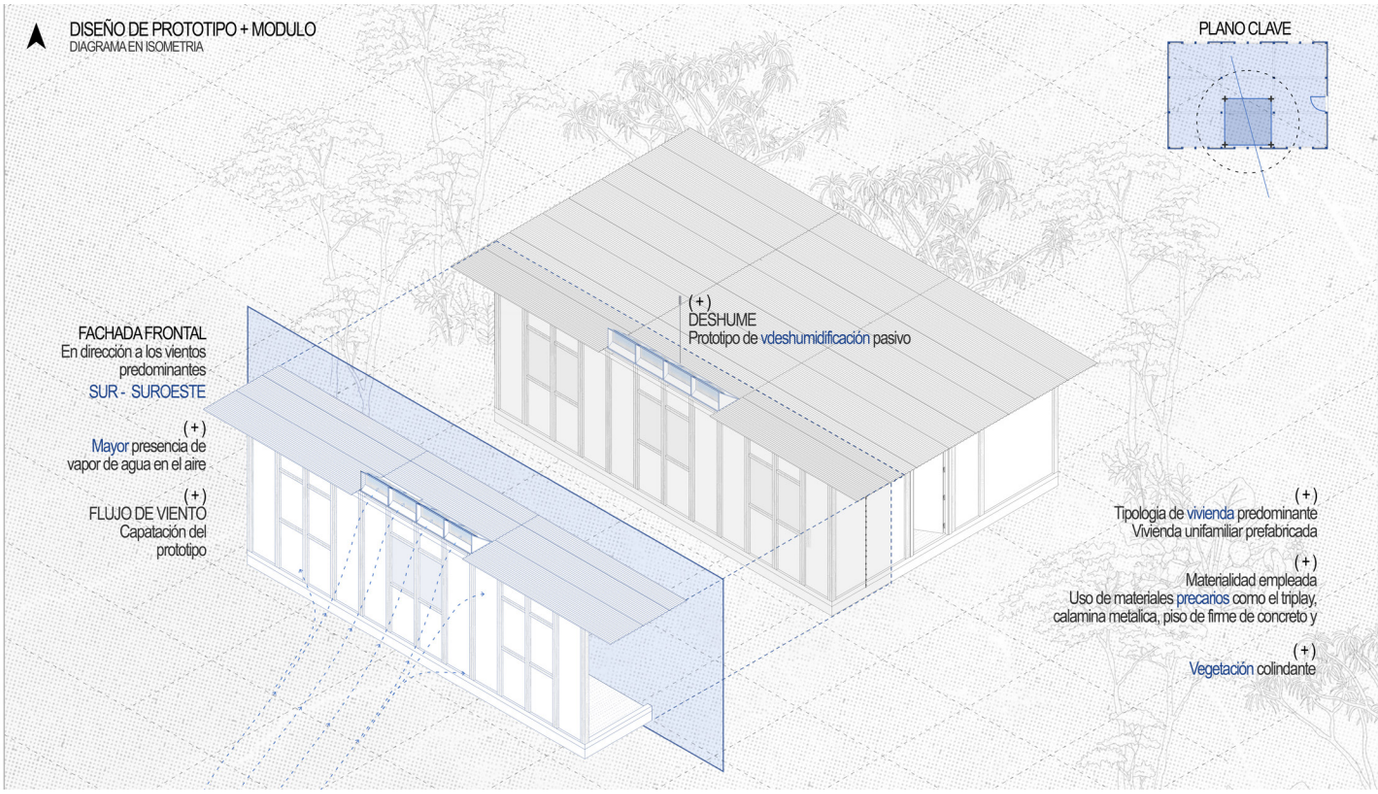


Figura 8. Implementación de prototipo en una vivienda. Fuente: Elaboración de los Autores.

que también busca capturar el aire proveniente del exterior, con una HR cercana al 100%, introduciéndolo con niveles reducidos, tras ser filtrado mecánicamente por las mallas, obteniendo así un sistema deshumidificador pasivo (Tejeda Martínez, 2018). Por lo tanto, se incorpora la tecnología del atrapanieblas bidimensional (Qadir et al., 2018), reconocida como una solución pasiva eficaz para la captación hídrica en ecosistemas áridos y lomas costeras. El principio físico se basa en la intercepción directa de la niebla que está compuesta por microscópicas gotas de agua en suspensión, con diámetros de 1 a 30 micrones (Márquez Robles, 1993).

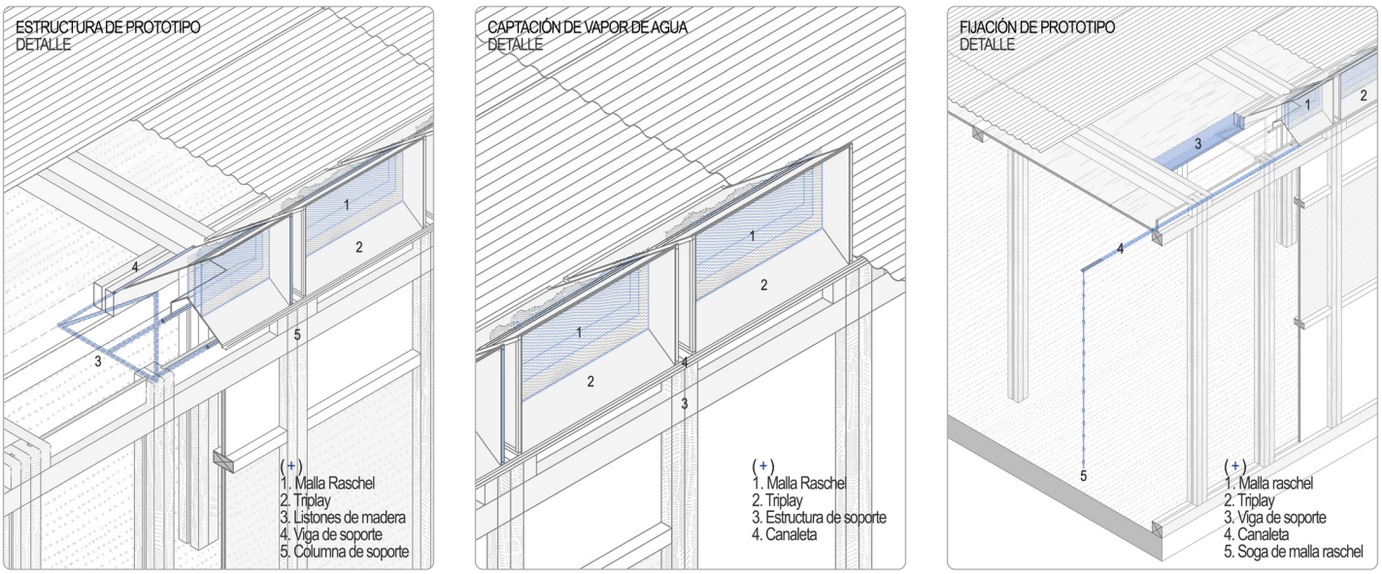


Figura 9. (a) Detalle de fijación; (b) Detalle de captación; (c) Detalle de redireccionamiento del agua captada. Fuente: Elaboración de los Autores.

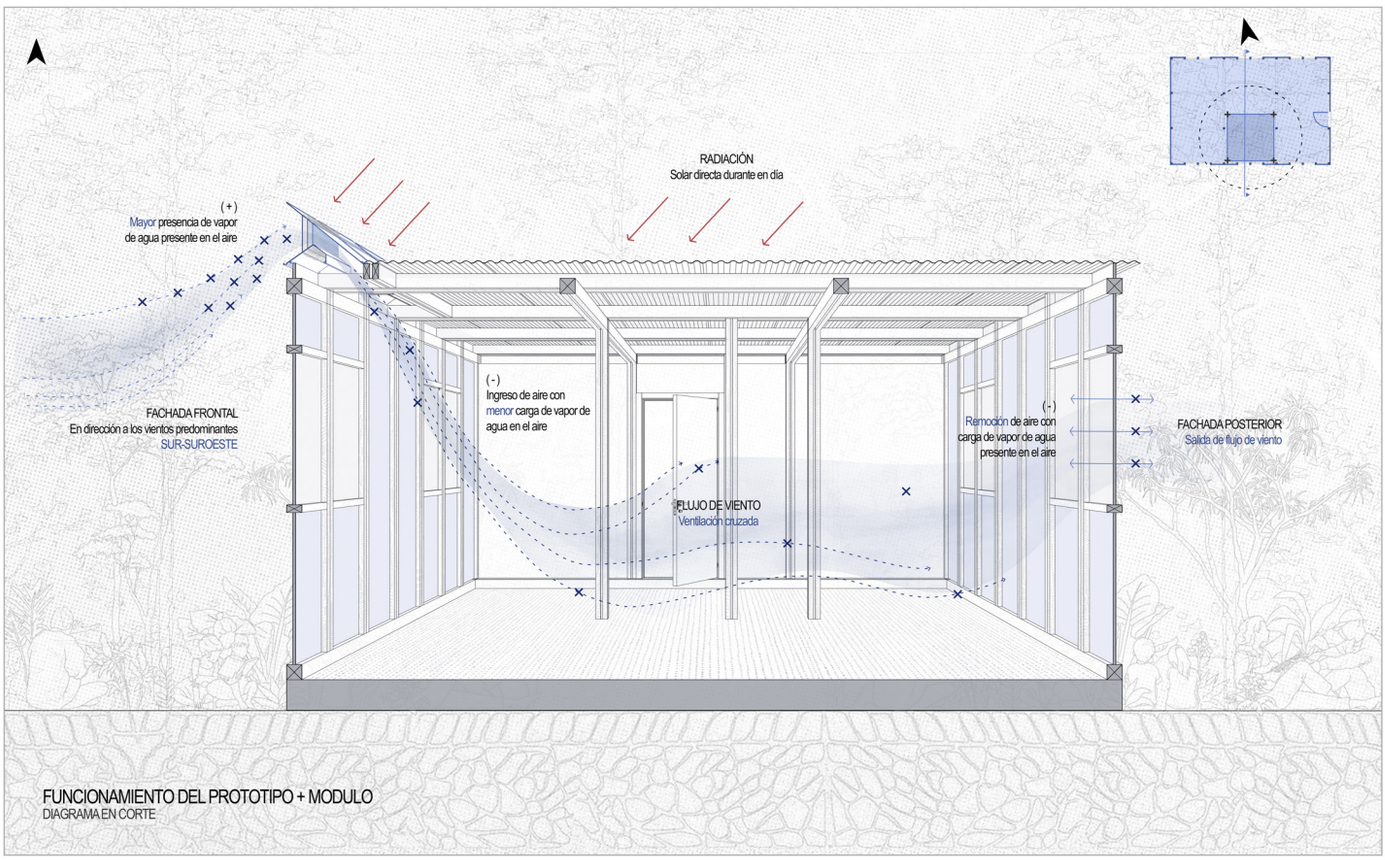


Figura 10. Funcionamiento de prototipo DESHUME en una vivienda. Fuente: Elaboración de los Autores.

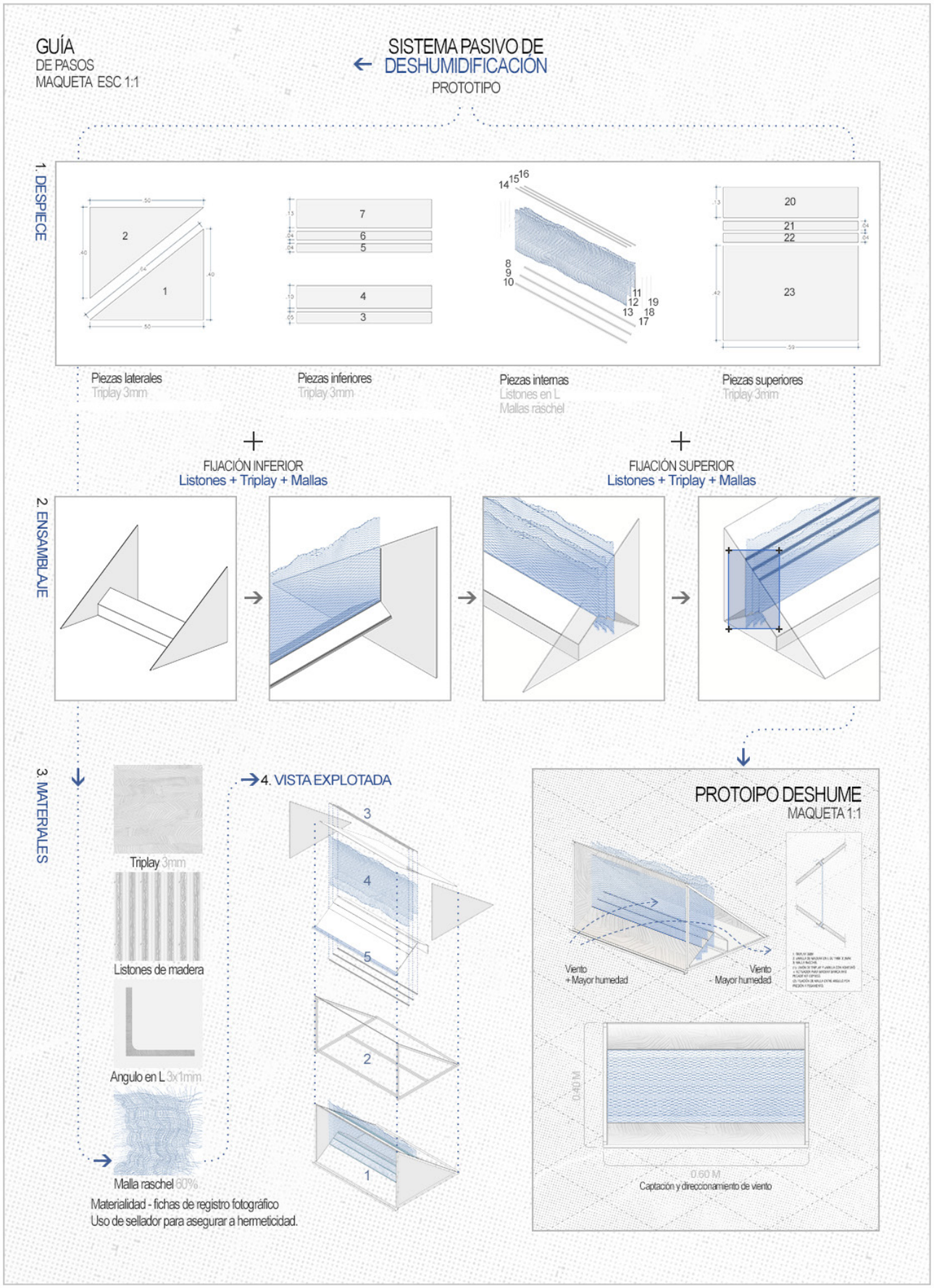


Figura 11. Ensamblado del prototipo. Fuente: Elaboración de los Autores.



Figura 12. Registro fotográfico de ensamblado del Prototipo. Fuente: Elaboración de los Autores.

Cuando el viento empuja esta masa saturada contra una superficie porosa instalada perpendicularmente, las gotas impactan en los filamentos, coalesciendo y cayendo por gravedad (Ismail & Go, 2021) (Figura 7, a). Así, la malla actúa como un filtro físico que extrae la masa de agua líquida del flujo de aire antes de su ingreso, reduciendo activamente su humedad absoluta. La eficiencia de esta remoción hídrica es directamente proporcional al tamaño de la superficie captadora, evaluándose en litros recolectados por metro cuadrado al día (L/m2/día) (Ghiasi, Aslani & Alisoltani, 2025). Lo que hace posible captar como mínimo 1 L/m2/día de malla instalada. (Vásquez-Ramírez, Cieza-León & Cieza-León, 2020). En este sentido, para maximizar el impacto del flujo de aire ante la menor área de abertura frontal en el prototipo (0.24m²), y deshumidificar un volumen interior de 1.82m³; el diseño compensa esta limitación al densificar el área neta de captación. El núcleo consta de tres capas de malla Raschel de polietileno en paralelo, separadas cada 4cm, y alternadas en sentido horizontal y vertical para evitar traslapes (Figura 7, b). Esta configuración densifica la superficie captadora de humedad en un área reducida, considerando la orientación a los vientos, la sombra óptima de 50%-60% (Regalado & Ritter, 2016), y reduce su desgaste ante factores como la radiación. Finalmente, el agua captada se redirecciona en caída por gravedad por medio de una canaleta externa. De esta manera, se aprovecha y potencia la tecnología del atrapanieblas para desarrollar un prototipo que integra de forma eficiente las variables de viento, área de superficie y humedad.

DISEÑO DE PROTOTIPO + MÓDULO

Se proyectó un módulo de vivienda de 5.50×8.80 m en la que se replicaron las características de las tipologías de la zona de estudio (Figura 8). El prototipo se instaló en la fachada perpendicular a los vientos predominantes, sobre las estructuras de madera (Figura 9, a), las que actúan como soporte para garantizar su correcta instalación y funcionamiento. Esta disposición permite que las tres capas de malla intercepten el vapor de agua en el flujo del viento (Figura 9, b); redireccionando en agua captada hacia una canaleta (Figura 9, c) y a su vez la presión generada por el efecto Venturi permite que el flujo de aire ingrese al interior de la vivienda. De este modo, el prototipo facilita la ventilación natural y reduce la acumulación de humedad interior, permitiendo finalmente su salida a través de los vanos posteriores (Figura 10).

ENSAMBLADO DEL PROTOTIPO

El ensamblado del prototipo en escala 1:1 (Figura 11) comprendió el despiece de sus componentes, según los materiales seleccionados y la lógica constructiva del

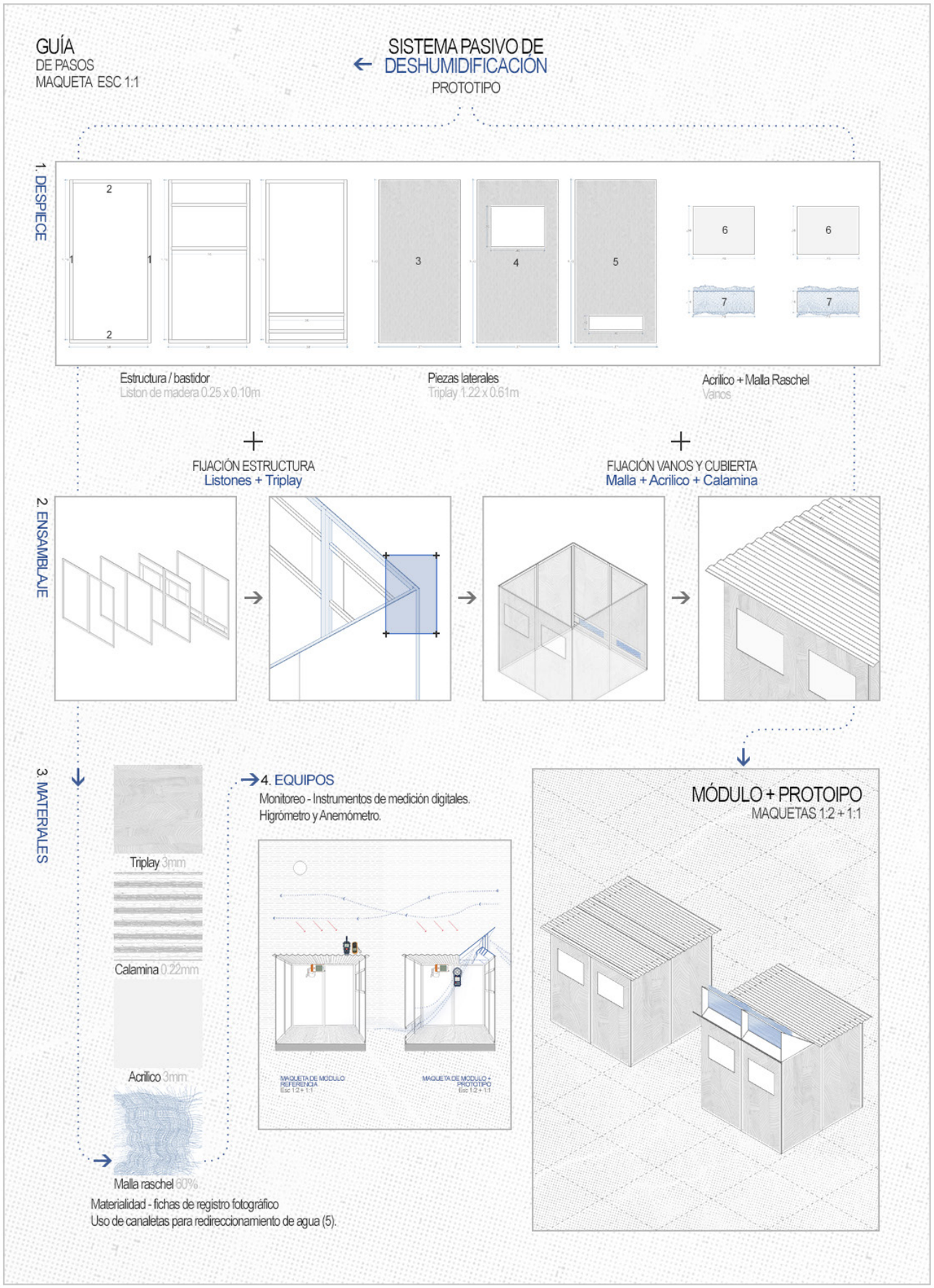


Figura 13. Ensamblado del módulo. Fuente: Elaboración de los Autores.



Figura 14. Registro fotográfico de ensamblado del módulo. Fuente: Elaboración de los Autores.

sistema. Para este proceso se empleó un kit de adhesivo y activador para madera, que permitió una fijación rápida y eficiente. Se inicio, uniendo las piezas laterales (1) y (2) con las inferiores (3) y (4). Posteriormente, se fijaron los tres pares de ángulos inferiores en L (8, 9 y 10) en un extremo de las piezas (4) y (7), y en ambos extremos de las piezas (5) y (6). Luego, se colocaron las mallas de forma sucesiva: (11) entre (4–5), (12) entre (5–6) y (13) entre (6–7). Las piezas que ejercen presión sobre cada malla se adhirieron simultáneamente a los laterales (1) y (2), que garantizan su fijación. En la siguiente etapa se tensaron y fijaron las mallas Raschel (11, 12 y 13) en los laterales (1) y (2), mediante varillas de 3×1mm, (17, 18 y 19) en ambos lados, quedando prensadas entre éstas y las piezas laterales. Seguidamente, se adhirieron los tres pares de ángulos superiores en L (14, 15 y 16) en los extremos de las piezas (20) y (23), y en ambos extremos de las piezas (21) y (22). A continuación, se dispusieron las mallas en secuencia: (13) entre (20–21), (12) entre (21–22) y (11) entre (22–23), y se aseguró a los laterales (1) y (2). Finalmente, las uniones se sellaron con adhesivo Sikaflex-11FC, que aseguraron la hermeticidad del prototipo (Figura 12).

ENSAMBLADO DEL MÓDULO

Posteriormente, a partir de una sección de la fachada frontal de la vivienda, se elaboraron dos maquetas a escala 1:2; optimizando el control experimental en términos de recursos, dimensiones y factibilidad constructiva, garantizando la representatividad de los módulos ante las condiciones climáticas del área de estudio. El ensamblaje inició con la disposición de 16 listones de madera (1) y (2), conformando 8 bastidores de 1.22×0.61m, cada uno estructurado por dos listones de ambas tipologías. A continuación, planchas de triplay de 1.22×0.61m (3)(4)(5) fueron fijadas sobre los 8 bastidores: dos piezas completas conformaron un muro lateral. En el muro frontal se hizo un vano de 0.30×0.40m en cada pieza (4); y finalmente, en el muro posterior, un vano inferior de 0.10×0.40m (5) en una sola pieza. Los vanos frontales se recubrieron con planchas de acrílico de 3mm (6), y el posterior con una capa de malla Raschel (7). Después, se unieron los muros, sellando posibles aberturas con adhesivo Sikaflex-11FC, para garantizar mayor hermeticidad. Para la cubierta se empleó calamina metálica de 0.22mm, fijada a la estructura mediante clavos; adicionalmente, las aberturas restantes fueron selladas para evitar filtraciones. De esta manera se completa el ensamblado del módulo y prototipo (Figura 13) (Figura 14).

MONITOREO Y RECOPILACIÓN DE DATOS

Durante el monitoreo, los módulos a escala 1:2 permanecieron sin ocupación humana para prescindir de variables como la fuente de humedad por actividades internas. Esta

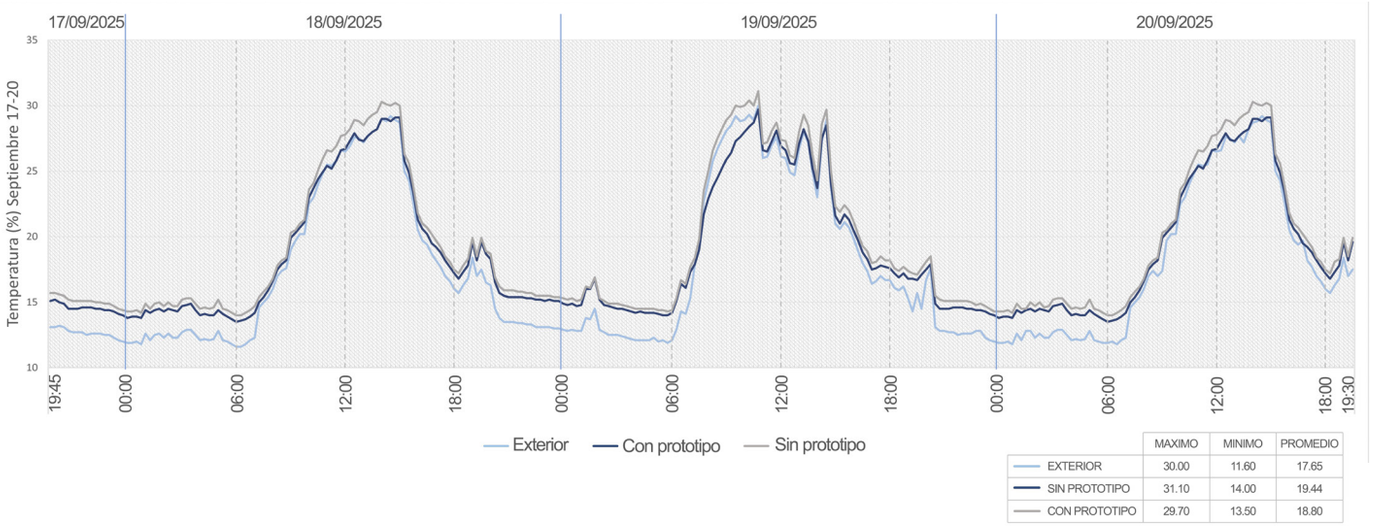


Figura 15. Registro de temperatura - VMT, 2025. Fuente: Elaboración de los Autores.

delimitación permitió aislar el desempeño del sistema DESHUME frente a las condiciones climáticas externas, y su interacción con los materiales de la envolvente, sin interferencias antropogénicas. Asimismo, la recopilación de datos se dio después de instalar en campo las maquetas a escala 1:2, en la que solo una incorporó el prototipo en 1:1. Se instalaron equipos de medición en el interior y exterior, registrándose datos de HR, temperatura y velocidad del viento en intervalos de 15 minutos, durante un periodo continuo de 3 días. La temperatura y HR fueron registradas mediante un higrómetro Elitech GSP-6 en el interior, y un Benetech GT1368 en el exterior. Así mismo, la velocidad del viento se registró con un anemómetro Wintact WT87B en el interior a 1m de altura y a 0.50m del muro frontal, y con un Benetech GM816 en el exterior. Los instrumentos operaron bajo su respectiva calibración de fábrica, presentándose márgenes de error técnicos muy reducidos: el higrómetro interior posee una exactitud de ±0.5°C y ±3% de HR; el higrómetro exterior presenta un margen de ±1.5°C y ±5.0% de HR; y ambos anemómetros registran un margen de error de velocidad operativa de ±5%. Para garantizar la representatividad de las condiciones higrotérmicas, el anemómetro interior se ubicó a 1.00m de altura, considerando criterios de confort y ventilación (Zhai et al., 2015), que determinan un rango de 1.00m a 1.10m como idóneo para evaluar el flujo de aire en la zona de ocupación humana (nivel del torso o cabeza). Asimismo, el instrumento se distanció a 0.50m del muro frontal para evitar el sesgo de medición que pudiera generar la transferencia térmica y la capa límite de la envolvente. Finalmente, la medición exterior se realizó a 1.20m SNPT, en una zona despejada para registrar el flujo de aire ambiental sin obstrucciones.

ANALISIS DE DATOS

Posteriormente, se realizó un cálculo higrotérmico, mediante la aproximación de Magnus-Tetens (Vaisala, 2013) a partir de la temperatura (°C) y la humedad relativa (%), para obtener la humedad absoluta (g/m³). Primero se calculó la presión de vapor de saturación Pws en hPa (Ecuación 3) y después la presión de vapor real Pw en hPa (Ecuación 4).

$$P_{ws}(T) = A \cdot 10^{\frac{m \cdot T}{T + T_n}} \quad (\text{hPa}) \qquad \text{(Ecuación 3)}$$

$$P_w = P_{ws} \cdot \frac{RH}{100} \quad (\text{en hPa}) \qquad \text{(Ecuación 4)}$$

Asimismo, para determinar la HA (Ecuación 5) se requirió convertir la temperatura de °C a K (Ecuación 6) y la presión de vapor real Pw de hPa a Pa (Ecuación 7) obteniendo valores en g/m³. Esta información permitió comparar los datos recogidos del módulo referencial frente al intervenido y, a su vez, validar la efectividad del sistema DESHUME.

$$\boxed{A = C \cdot \frac{P_w}{T}} \quad (\text{g/m}^3) \qquad \text{(Ecuación 5)}$$

$$T_K = T(^\circ\text{C}) + 273.15 \qquad \text{(Ecuación 6)}$$

$$1\ \text{hPa} \times 100\ \text{Pa} \qquad \text{(Ecuación 7)}$$

Después, con los datos de temperatura, velocidad de viento y HA, se elaboraron tablas comparativas entre las 3 instancias de medición.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La temperatura exterior presentó una variación amplia entre 12°C y 30°C, con promedio de 17.7°C, mientras que la temperatura interna del módulo intervenido registró un promedio de 18.8°C, ligeramente menor que en el

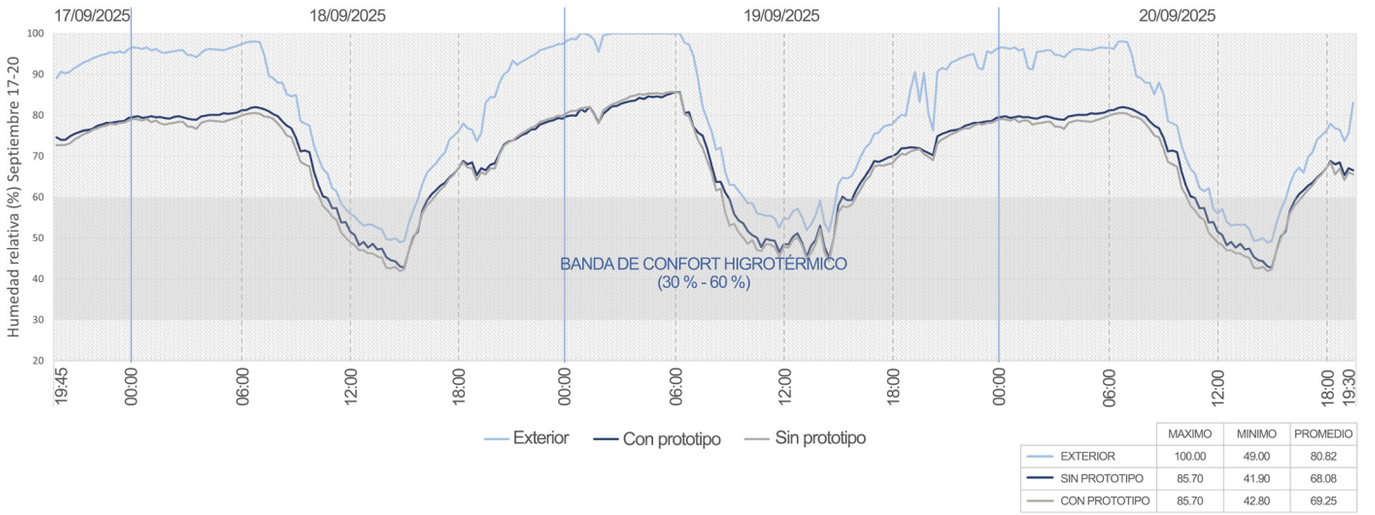


Figura 16. Registro de Humedad relativa - VMT, 2025. Fuente: Elaboración de los Autores.

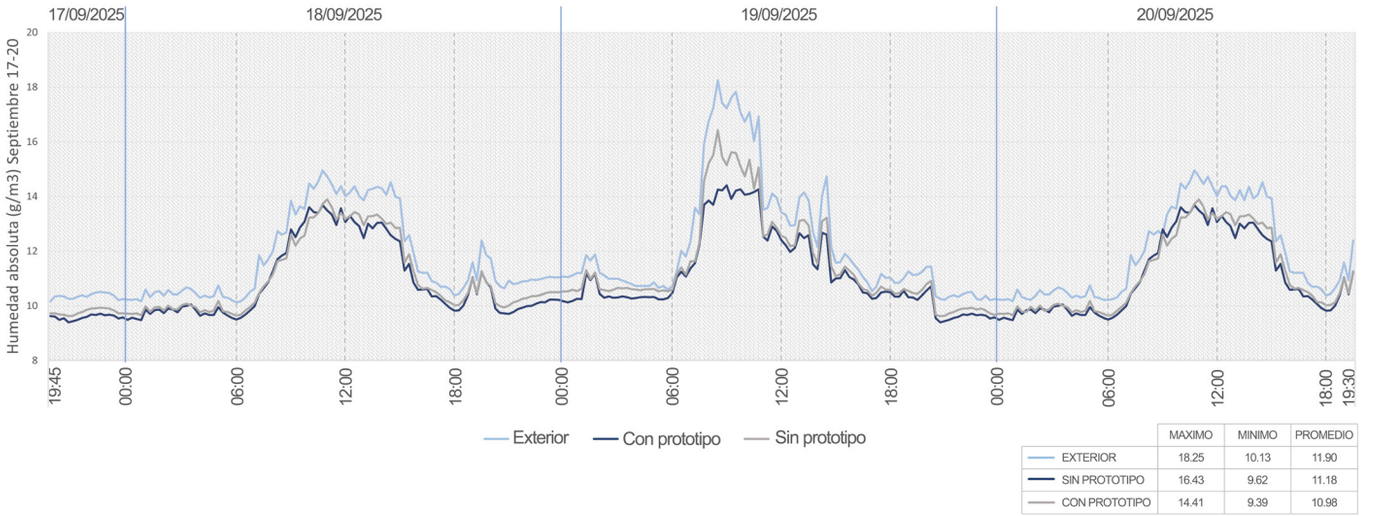


Figura 17. Registro de Humedad absoluta - VMT, 2025. Fuente: Elaboración de los Autores.

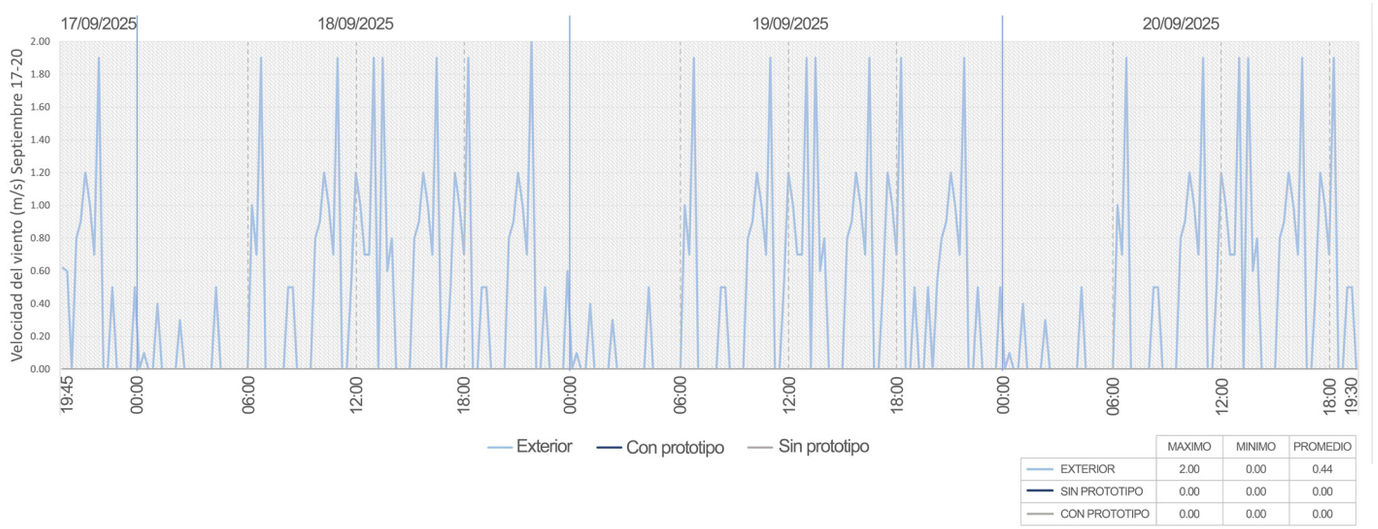
referencial, con 19.4°C, evidenciando un leve efecto de amortiguamiento térmico. Las temperaturas nocturnas oscilaron entre 13.5°C y 15.2°C en el prototipo, y entre 14.2°C y 15.7°C en el referencial (Figura 15).

Al comparar la banda de confort higrotérmico (30%-60%) basa en la norma ANSI/ASHRAE 62.1-2025 y el RNE EM.110, se observan intervalos donde los ambientes interiores logran condiciones cómodas (Figura 16). El tiempo de permanencia en el rango de confort durante el control fue de 3 días: Exterior (13.5h), Sin prototipo (19.75h) y Con prototipo (18.5h).

La HA en el exterior mostró valores superiores a los estándares, con un promedio de 12g/m³. El módulo intervenido con el prototipo DESHUME presentó una reducción leve a 10.98g/m³; mientras que el módulo referencial indicó 11.18g/m³. La variación más notoria se observó en las mañanas, con 14.41g/m³ con el prototipo, frente a 16.43g/m³ del módulo referencial, evidenciándose una reducción de 2.02g/m³ (Figura 17).

La velocidad del viento exterior promedio fue de 0.44m/s con picos de 2.1m/s, contrariamente al interior, en el que el anemómetro no registró un ingreso de flujo de aire (Figura 18).

Se evidenciaron variaciones entre las variables de humedad absoluta (g/m³), velocidad del viento (m/s) y temperatura (°C), que reflejan diferencias internas en ambos módulos. El prototipo registró un promedio de 10.98g/m³ de HA interior durante los días de estudio, que representan una reducción del 0.20g/m³ frente al módulo referencial



	MAXIMO	MINIMO	PROMEDIO
EXTERIOR	2.00	0.00	0.44
SIN PROTOTIPO	0.00	0.00	0.00
CON PROTOTIPO	0.00	0.00	0.00

Figura 18. Registro de velocidad de viento - VMT, 2025. Fuente: Elaboración de los Autores.

(11.18g/m³); presentan picos de captación de 2.02g/m³ (12.3%) en las horas diurnas y 0.23 g/m³ (2.4%) en las horas nocturnas. Aunque el anemómetro no registró viento interno medible, estas variaciones indican que el sistema funciona como un regulador pasivo de la carga de vapor, por condensación e intercepción en las mallas Raschel. La disminución de temperatura en el módulo con prototipo sugiere un leve intercambio con aire exterior más frío o una menor retención térmica. En conjunto, el prototipo demuestra eficacia parcial bajo condiciones de viento débil, momento en el cual destaca su potencial como dispositivo pasivo de control higrotérmico por captación, dependiendo de la geometría y de la disponibilidad del flujo de aire ambiental.

CONCLUSIONES

El prototipo respondió al objetivo principal, como estrategia pasiva de deshumidificación, a través de un sistema modular y de fácil ensamblaje; el cual ha sido concebido para su aplicación en viviendas sin requerir intervenciones importantes, en zonas con humedad elevada. Aunque la reducción de la HA fue mínima, (1.79%), el prototipo demostró una mejoría higrotérmica como un sistema pasivo, evidenciando su potencial como alternativa sostenible. Si bien se registró un leve aumento en la HR por el descenso de temperatura interior, el logro en la deshumidificación no se invalida, ya que se eliminó masa de agua. Se evidenció una reducción promedio del 0.20g/m3 de HA respecto al módulo referencial.

El rendimiento del sistema se valida al compararlo con la literatura relacionada: a diferencia del mecanismo de almacenamiento reactivo de otros sistemas pasivos que atenúan hasta 12% de HR a 23°C, en los que se reduce 2.47g/m3 de HA (Zhang, Yoshino & Hasegawa, 2012), DESHUME logra una remoción activa de HA (0.20g/m3) bajo temperaturas mínimas y condiciones de saturación crítica (100%HR), al superar la dependencia de la capacidad de amortiguamiento de los materiales de construcción. En adición, al compararlo con soluciones complejas, como el sistema híbrido (Chen et al., 2023), que reporta reducciones de 5g/m³, DESHUME logra una remoción consistente de HA con un sistema totalmente pasivo estableciéndose como una estrategia apropiada para la autoconstrucción. No obstante, su desempeño requiere futuros estudios sobre la durabilidad de la malla frente a la exposición de la radiación UV y la presión mecánica del viento, así como la variabilidad del rendimiento respecto a su orientación a los vientos predominantes.

Por otra parte, el efecto Venturi no contribuyó en la reducción de la HA, sino que predominó la retención de humedad establecida por las tres capas de malla. Esta estrategia fue una solución a la reducción de área de captación del atrapanieblas, y provocó una desaceleración del flujo de aire.

Entre las limitaciones se puede indicar que, los componentes del sistema no fueron evaluados de forma independiente (el captador geométrico sin la presencia de las mallas), por lo que no se puede desglosar la contribución específica de la forma aerodinámica frente a la retención mecánica del tejido. Asimismo, al no haber realizado simulaciones de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD), no es posible estimar con precisión la aportación de la geometría en el incremento de la presión dinámica.

Finalmente, se recomienda analizar la relación entre el volumen del módulo 1:2 (1.82m3) y las dimensiones de la abertura del prototipo 1:1, cuyo diseño geométrico permite manipular la presión y velocidad del aire que ingresa a la vivienda, así como la aceleración del paso del

viento. También, se sugiere evaluar el comportamiento del prototipo 1:1 en una vivienda real, durante un periodo más prolongado y en distintas estaciones, mediante sensores de presión diferencial o anemómetros más sensibles, además de considerar factores da carga higrotérmica antropogénica (respiración y cocción), para evaluar el desempeño del sistema ante fuentes internas de vapor.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES CRediT

Conceptualización, M.N.D.P.; Curación de datos, M.N.D.P. y A.L.C.V.P.; Análisis formal, M.N.D.P. y A.L.C.V.P.; Adquisición de financiación M.N.D.P. y A.L.C.V.P.; Investigación, M.N.D.P. y A.L.C.V.P.; Metodología, M.N.D.P. y A.L.C.V.P.; Administración de proyecto, M.N.D.P. y A.L.C.V.P.; Recursos, M.N.D.P. y A.L.C.V.P.; Software. M.N.D.P. y A.L.C.V.P.; Supervisión, R.H.V.S.; Validación, M.N.D.P. y A.L.C.V.P.; Visualización, M.N.D.P. y A.L.C.V.P; Escritura – borrador original, M.N.D.P. y A.L.C.V.P.; Escritura – revisión y edición, M.N.D.P. y A.L.C.V.P.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a las personas involucradas durante el proceso de experimentación por su participación, valiosa colaboración y apoyo desinteresado en el desarrollo de la investigación. Asimismo, extienden un sincero reconocimiento a la Universidad Tecnológica del Perú por el respaldo institucional brindado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al-Shamkhee, D., Al-Aasam, A. B., Al-Waeli, A. H. A., Abusaibaa, G. Y., & Moria, H. (2022). Passive cooling techniques for ventilation: an updated review. *Renewable Energy and Environmental Sustainability*, *7*(23), 1-16. https://doi.org/10.1051/rees/2022011

American National Standards Institute [ANSI] / American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers [ASHRAE]. (2025). *ANSI/ASHRAE 62.1-2025: Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality (Includes ANSI/ASHRAE addenda listed in Appendix Q).* ANISI Webstore. https://webstore.ansi.org/standards/ashrae/ansiashrae622025-2598518?source=blog

Blocken, B., van Hooff, T., Aanen, L., & Bronsema, B. (2011). Computational analysis of the performance of a venturi-shaped roof for natural ventilation: Venturi-effect versus wind-blocking effect. *Computers & Fluids*, *48*(1), 202–213. https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2011.04.012

Campos-Vásquez, N., Manturano-Chipana, R. K., & Rabanal-Chávez, E. H. (2025). Causas e Influencia de la humedad en la infraestructura de las edificaciones. *Ciencia y Tecnología*, *24*(2), 27-33. https://doi.org/10.70414/cyt.v24i2.126

Chen, Y., Ozaki, A., Lee, H., Choi, Y., & Arima, Y. (2023). Development of an intelligent envelope system with energy recovery ventilation for passive dehumidification in summer and solar collection in winter. *E3S Web of Conferences*, *396*, 03025. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339603025

Di Bitonto, M. G. (2019). *Oasis productivo: infraestructura de acceso al Parque Pan de Azúcar para la preservación del sector a través de agua de niebla* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica de Chile]. Repositorio. https://repositorio.uc.cl/handle/11534/26488

Ghiasi, B., Aslani, Z. H., & Alisoltani, T. (2025). Assessing the feasibility and sustainability of fog water harvesting as an alternative water resource. *Scientific reports*, *15*(1), 19254. https://doi.org/10.1038/s41598-025-03919-3

Ismail, Z., & Go, Y. I. (2021). Fog-to-Water for Water Scarcity in Climate Change Hazards Hotspots: Pilot Study in Southeast Asia. *Global Challenges*, 5(5), 2000036. https://doi.org/10.1002/gch2.202000036

Kanooni, A., & Kohan, M. R. (2024). Fog water harvesting with cylindrical brush. *Scientific Report*s, *14*(1),19679. https://doi.org/10.1038/s41598-024-70637-7

Márquez Robles, J. (1993). Atrapanieblas: una tecnología para la reforestación de las lomas costeras del Perú. *Ingeniería Industrial*, 7(007), 88–98. https://doi.org/10.26439/ing.ind1993.n007.3073

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (7 de diciembre de 2019). Decreto Supremo N.° 011-2019-MINAM: Establece el Área de Conservación Regional Sistema de Lomas de Lima. *Diario Oficial del Bicentenario El Peruano. Normas Legales, 5-11*. https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1834838-3

Ministerio del Ambiente[MINAM]. (15 de agosto de 2021). *Mapa de lomas costeras de Lima Metropolitana*. Sistema Nacional de Información Ambiental [SINIA]. https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-lomas-costeras-lima-metropolitana-2021

Moat, J., Orellana-García, A., Tovar, C., Arakaki, M., Arana, C., Cano, A., Faundez, L., Gardner, M., Hechenleitner, P., Hepp, J., Lewis, G., Mamani, J.-M., Miyasiro, M., & Whaley, O. Q. (2021). Seeing through the clouds – Mapping desert fog oasis ecosystems using 20 years of MODIS imagery over Peru and Chile. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *103*, 102468. https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102468

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, [MVCS]. (s.f.). GeoVivienda. Plataforma GIS del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. https://geo.vivienda.gob.pe/

Norma Técnica EM.110 (2016) [Ministerial Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento - MVCS]. Por la cual se establecen los parámetros técnicos de Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética. 27 de julio del 2016. https://www.gob.pe/es/i/2619729

Ortego Fernández, I. (2020). Torres de viento. Relectura contemporánea de sistemas energéticos pasivos [Trabajo Fin de Grado, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio UPM. https://oa.upm.es/57995/

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (16 de mayo de 2018). *Proyecto EbA Lomas: Retos y oportunidades en la conservación de las lomas de Lima Metropolitana*. https://www.undp.org/es/peru/publications/eba-lomas

Posani, M., Voney, V., Odaglia, P., Du, Y., Komkova, A., Brumaud, C., Dillenburger, B., & Habert, G. (2025). Low-carbon indoor humidity regulation via 3D-printed superhygroscopic building components. *Nature Communications*, *16*, 425. https://doi.org/10.1038/s41467-024-54944-1

Qadir, M., Jiménez, G. C., Farnum, R. L., Dodson, L. L., & Smakhtin, V. (2018). Fog water collection: Challenges beyond technology. *Water*, *10*(4), 372. https://doi.org/10.3390/w10040372

Regalado, C. M., & Ritter, A. (2016). The design of an optimal fog water collector: A theoretical analysis. Atmospheric *Research*, *178–179*, 45–54. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.03.006

Saber, E. M., Chaer, I., Gillich, A., & Ekpeti, B. G. (2021). Review of intelligent control systems for natural ventilation as passive cooling strategy for UK buildings and similar climatic conditions. *Energies, 14*(15), 4388. https://doi.org/10.3390/en14154388

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI]. (s.f. a). *Estaciones meteorológicas*. Datos/Datos Hidrometeorológicos. https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI]. (s.f. b). *Estadística de la calidad del aire: Estacion 112233.* https://www.senamhi.gob.pe/?p=calidad_del_aire-estadistica&e=112233

Shi, W., Anderson, M. J., Tulkoff, J. B., Kennedy, B. S., & Boreyko, J. B. (2018). Fog harvesting with vertical harps. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 10(14), 11979–11986. https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsami.7b17488

Suárez, Á., Dutra, M., Monteiro, M., & Martí, A. C. (2021). El embrollo de Bernoulli: una investigación sobre las concepciones alternativas de los estudiantes en dinámica de fluidos. *Modelling in Science Education and Learning, 14* (2), 17–30. https://doi.org/10.4995/msel.2021.14835

Tejeda Martínez, A. (2018). *La humedad en la atmósfera. Bases físicas, instrumentos y aplicaciones*. Universidad de Colima. http://ww.ucol.mx/publicacionesenlinea/promocion.php?docto=466

Vaisala, O. (2013). Humidity Conversion Formulas*: Calculation formulas for humidity*. (Technical Reference B210973EN-F). https://www.hatchability.com/Vaisala.pdf

Venturi, J. B. (1797). *Recherches expérimentales sur le principe de la communication latérale du mouvement dans les fluides. Houel et Ducros*. Théophile Barrois. https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k9611865z.textelmage

Vásquez-Ramírez, L., Cieza-León, L., & Cieza-León, D. (2020). Eficiencia de captación de agua con tres tipos de malla atrapanieblas en zonas rurales altoandinas de la sierra norte del Perú. *Revista Ingeniería UC*, 27(3), 319-327. https://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/

Zhai, Y., Zhang, Y., Zhang, H., Pasut, W., Arens, E., & Meng, Q. (2015). Human comfort and perceived air quality in warm and humid environments with ceiling fans. *Building and Environment*, 90, 178-185. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.04.00

Zhang, H., Yoshino, H., & Hasegawa, K. (2012). Assessing the moisture buffering performance of hygroscopic material by using experimental method. *Building and Environment*, 48, 27-34. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.08.012

Zhang, L., Tian, L., Shen, Q., Liu, F., Li, H., Dong, Z., Cheng, J., Liu, H., & Wan, J. (2021). Study on the influence and optimization of the Venturi effect on the natural ventilation of buildings in the Xichang Area. *Energies*, *14*(16), 5053. https://doi.org/10.3390/en14165053