

02-028

ANALYSIS OF THE BEHAVIOUR OF TIMBER CONSTRUCTION SOLUTIONS TO INTERSTITIAL CONDENSATION IN AREAS OF HIGH RELATIVE HUMIDITY: VALDIVIA, CHILE

Poblete, Benjamin ⁽¹⁾; García-Ruiz, Andrés ⁽¹⁾; Verichev, Konstantin ⁽¹⁾; Carpio, Manuel ⁽²⁾

⁽¹⁾ Institute of Civil Engineering, Faculty of Engineering Sciences, Universidad Austral de Chile,

⁽²⁾ Department of Construction Engineering and Management, School of Engineering, Pontificia Universidad Católica de Chile & Centro Nacional de Excelencia para la Industria de la Madera (CENAMAD)

High relative humidity in the environment leads to moisture condensation inside the walls of buildings, affecting the durability of materials. Chilean regulations are analyzed, which do not incorporate the study of the behaviour of construction solutions within the same geographical area, even when they are close to large bodies of water. This study seeks to analyze the behaviour of construction solutions for walls of houses in Valdivia, whose primary material is timber, close to bodies of water that can generate interstitial condensation. Outdoor temperature and relative humidity data were recorded in seven locations during August, analyzing the behaviour of four construction solutions under these outdoor conditions. The initial performance of a conventional and a proposed vapour barrier against indoor relative humidity changes are compared. The results show that the construction solutions generate interstitial condensation, the indoor relative humidity as a determinant factor; when implementing a conventional vapour barrier, the phenomenon was drastically reduced. In addition, Kraft paper is proposed as an alternative material with less environmental impact and capable of complying with vapor diffusion resistance limit parameters with acceptable performance.

Keywords: interstitial condensation; relative humidity; temperature; envelope; building; construction

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS DE MADERA ANTE CONDENSACIÓN INTERSTICIAL EN ZONAS DE ALTA HUMEDAD RELATIVA: VALDIVIA, CHILE

Una alta humedad relativa en el ambiente conduce a la condensación de humedad al interior de muros de edificaciones, afectando la durabilidad de los materiales. Se analiza la normativa chilena, que no incorpora el estudio del comportamiento de las soluciones constructivas dentro de una misma zona geográfica, aun cuando están cercanas a grandes masas de agua. Este estudio busca realizar un análisis del comportamiento de soluciones constructivas de muros de viviendas de Valdivia cuyo material principal es la madera, cercanas a masas de agua que puedan generar condensación intersticial. Se registraron los datos de temperatura y humedad relativa exterior en siete ubicaciones diferentes durante el mes de agosto, analizando el comportamiento de cuatro soluciones constructivas ante estas condiciones exteriores. Se compara el desempeño inicial de una barrera de vapor convencional y otra propuesta frente a los cambios de la humedad relativa interior. Los resultados muestran que las soluciones constructivas generan condensación intersticial, siendo un factor determinante la humedad relativa interior, al implementar una barrera de vapor convencional el fenómeno se redujo drásticamente. Además, se propone Papel Kraft como material alternativo de menor impacto ambiental capaz de cumplir con parámetros límite de resistencia a la difusión de vapor con desempeño aceptable.

Palabras clave: condensación intersticial; humedad relativa; temperatura; envolvente; edificio; construcción

Agradecimientos: Este trabajo fue financiado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) de Chile a través de los proyectos: ANID BASAL FB210015 CENAMAD and ANID FONDECYT 1201052.



© 2023 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

En la actualidad gran parte de la población mundial pasa la mayor parte del tiempo al interior de alguna construcción. Estudios han demostrado que alrededor del 90% del tiempo, el común de la gente se encuentra al interior de algún establecimiento, ya sean sus hogares, trabajos, escuelas, centros comerciales y de recreación, u otras construcciones (Pereira and Ghisi 2011). Debido a esto es importante el cuidado del desempeño higrotérmico de los recintos, como su durabilidad.

De las variables a controlar, una de las más relevantes, es la humedad relativa al interior de cada establecimiento. Los estudios realizados por Zhang y Yoshino (Zhang and Yoshino 2010) han indicado que la humedad al interior de una edificación está estrechamente relacionada con problemas de salud, consumo de energía y la durabilidad de la envolvente en la construcción. Se afirma que un ambiente con una alta humedad puede afectar a la percepción de la calidad del aire, e incluso favorecer el crecimiento de moho, pudiendo causar problemas respiratorios y alergias (Zhang and Yoshino 2010) en los habitantes de las viviendas con daños por agua, generando el denominado síndrome del edificio enfermo (SBS *en sus siglas en inglés*) (Shoemaker and House 2006).

La envolvente del edificio es el principal determinante del ambiente interior, responsable de regular los flujos de calor y del rendimiento térmico (Manioğlu and Yılmaz 2006), por lo que debe protegerse de la humedad ya que ésta puede generar efectos negativos en los materiales constructivos, acelerando la pudrición causado un mayor daño a las edificaciones. Según estudios realizados dentro del continente europeo (Leonowicz 2020), este daño corresponde al 48.3% del total de los que afectan a la envolvente del edificio. Para asegurar el control de humedad, se debe estudiar el fenómeno físico de la condensación, ya sea al exterior o interior de las soluciones constructivas de los muros. Esta se presenta en forma de condensación intersticial, cuyo riesgo de ocurrencia se relaciona con la zona climática en la que se encuentra la edificación, siendo las con mayor incidencia aquellas que poseen un clima de verano con alta humedad y un clima de invierno con alta humedad (Manioğlu and Yılmaz 2006).

Chile posee una gran variabilidad climática, con zonas en el sur del país tiene promedios de precipitaciones mayores a 2000 mm/año, por lo que hace que estas zonas sean afectadas por la humedad en sus soluciones constructivas de las edificaciones. Las cuales en su mayoría tienen varios componentes derivados de la madera, la cual se ha posicionado como el primer material de construcción en Chile para proyectos de vivienda de hasta dos pisos, con un 33,5% del total (Madera 21 2020), y considerando a este un material altamente sensible a los daños por humedad (Rodríguez, Rivera, and Burgos 2012). Por este motivo se hace necesario analizar el comportamiento de las diferentes soluciones constructivas aplicadas en las zonas con mayor humedad relativa, considerado factores como la humedad y presión de vapor de agua, para el cálculo del comportamiento esperado de la envolvente, como se puede ver en la NCh1973 (INN (Instituto Nacional de Normalización) 2014; Ministerio de Vivienda y Urbanismo 2022), la que corresponde a una traducción de la normativa internacional ISO13788 (Bellia and Minichiello 2003; ISO 2014).

El objetivo de este estudio es analizar las condiciones de temperatura y humedad relativa en las zonas cercanas a grandes masas de agua de la ciudad de Valdivia, durante el mes de agosto (invierno austral), el cual en presenta una mayor ocurrencia de condensación (Lengfeld and Ament 2012; Rodríguez, Rivera, and Burgos 2012). para obtener las condiciones solicitantes de los modelos constructivos de vivienda. Con esto, Se pretende analizar el comportamiento higrotérmico de las diferentes soluciones constructivas típicas, considerando las horas en las que se presentará condensación, y encontrar soluciones constructivas factibles con y sin la implementación de barreras de vapor, tanto convencionales como medioambientalmente amigables.

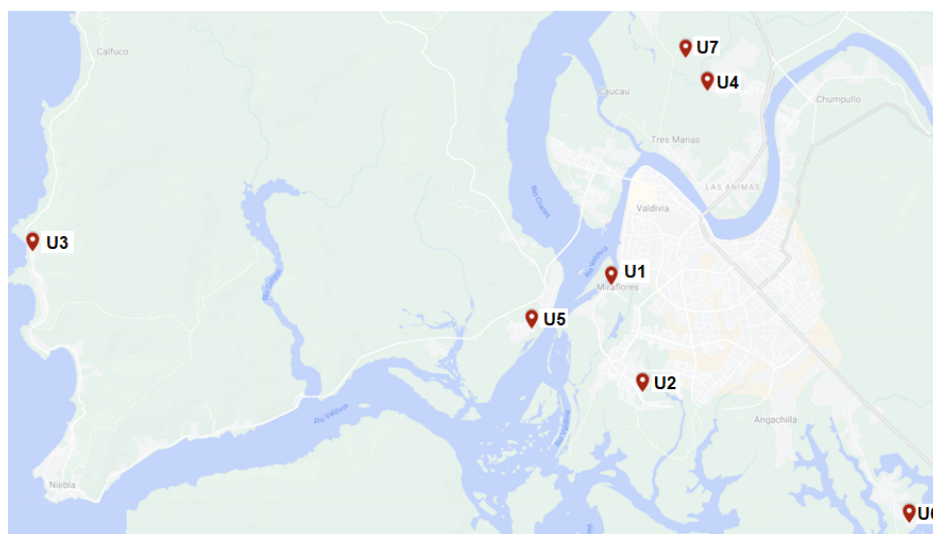
2. Material y métodos

2.1. Área de estudio

La investigación fue realizada en la ciudad de Valdivia, región de Los Ríos, Chile, para obtener las condiciones exteriores de temperatura y humedad relativa en ubicaciones cercanas a grandes masas de agua durante el mes de agosto de 2022.

Se asignaron seis puntos de medición para mediciones *in situ* (U1 – U6), tal y como se observa en la Figura 1. Además de una séptima ubicación (U7) con los datos de estación meteorológica fija AGROMET (Agromet 2023), de la cual se obtuvieron los datos históricos de mayo hasta agosto del mismo año.

Figura 1. Ubicaciones puntos de medición



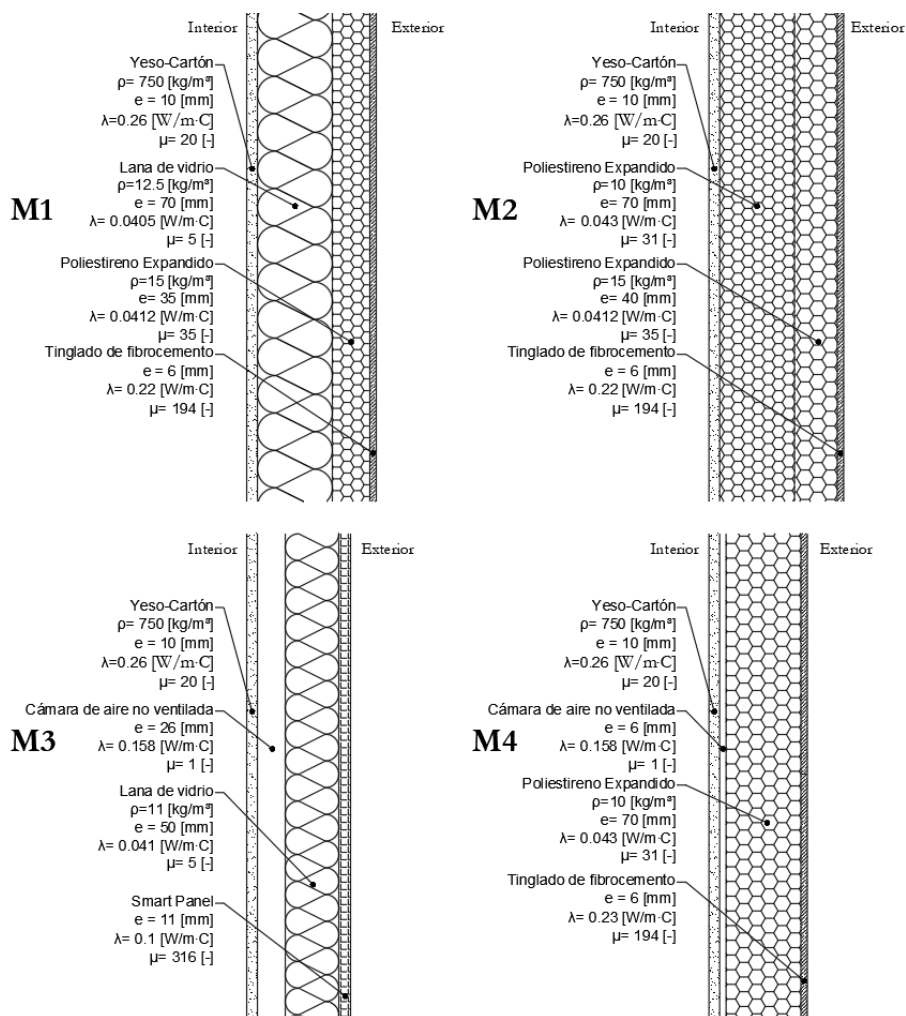
2.2. Metodología de medición

La obtención de los datos fue realizada a partir de sensores HOBO MX2301A, instalados a 3 m de altura. Estos sensores tienen un error de medición de temperatura de 0.02 °C en un rango de -40 a 70 °C. Las mediciones de humedad relativa poseen una resolución de 0.01% en un rango de 0 a 100% dentro de los -40 a 70 °C (HOBO 2016). Los sensores realizaron registros con intervalos de una hora.

2.3. Soluciones constructivas

Las cuatro soluciones constructivas a utilizar en el estudio se presentan en la Figura 2, las que son más utilizadas para viviendas de madera en la ciudad de Valdivia. M1 “Tabiquería de madera con lana de vidrio, poliestireno expandido y revestimiento tinglado de fibrocemento” (MINVU 2016b) y M2 “Tabiquería de madera existente con poliestireno expandido y revestimiento tinglado de fibrocemento” (MINVU 2016a), mientras que M3 y M3, conformadas por un revestimiento de yeso cartón, lana de vidrio y revestimiento exterior de Smart panel y por un revestimiento de yeso cartón, poliestireno expandido y revestimiento exterior de Siding fibrocemento respectivamente. Son recomendadas en el trabajo de titulación Tipología de la vivienda en la región de Los Ríos (Borquez and Cardenas 2022).

Figura 2. Soluciones constructivas bajo estudio: ρ – densidad; e - espesor; λ - conductividad térmica y μ -factor de resistencia a la difusión de vapor.



2.4. BV analizada

Además, en las soluciones constructivas de la zona de estudio se implementará Barrera de vapor (BV) de polietileno con un espesor de 0.0002 m. La ubicación será en la cara interior de la solución (Rodríguez, Rivera, and Burgos 2012), para un mejor desempeño ante el riesgo de condensación intersticial de los mismos. Las características de este material están presentadas en la Tabla 1.

Tabla 1 - Características generales BV

Materiales	e	λn	R_n	μ
	[m]	[W/m·C]	[m ² ·C/W]	[-]
B.V. Polietileno	0.0002	0.43	0.0005	151800.00

Luego, la Tabla 2 describe las características de resistencia al paso de vapor de agua para la determinación de la ocurrencia de condensación intersticial del material utilizado como BV.

Tabla 2 - Características de difusión de vapor de BV

	Materiales	e [m]	μ [-]	rv [MNs/gm]	Rv [MNs/g]	Sd [m]
B.V.	Polietileno	0.0002	100000*	540540.54	108.11	151800

2.5. Métodos de cálculo

Se utilizará el método de la norma internacional ISO13788 (INN (Instituto Nacional de Normalización) 2014; ISO 2014).

2.5.1. Cálculo de ocurrencia de condensación intersticial

Primero, es requerido el cálculo de las temperaturas en las diversas capas de la solución constructiva, lo cual es posible a partir de la Eq. (1):

$$\Delta\theta_n = (\theta_i - \theta_e) \frac{R_n}{R_T} \quad \text{Eq. (1)}$$

Donde: $\Delta\theta_n$: Caída de temperatura en la capa n . θ_i : Temperatura interior. θ_e : Temperatura exterior. R_n : Resistencia térmica de la capa n . R_T : Resistencia térmica total.

Por lo que para realizar el cálculo es necesario obtener la resistencia térmica (R_n) de cada material, la cual es calculada de según la Eq. (2):

$$R_n = \frac{e_n}{\lambda_n} \quad \text{Eq. (2)}$$

Donde: e_n : espesor de cada capa. λ_n : Conductividad térmica de cada capa.

Además, es necesario obtener la resistencia térmica total (R_T), como se observa en la Eq. (3):

$$R_T = \frac{1}{U} = R_{si} + \sum_{n=1}^z R_n + R_{se} \quad \text{Eq. (3)}$$

Donde: R_T : Resistencia térmica total. $\sum_{n=1}^z R_n$: Suma de todas las capas componentes de la solución constructiva. R_{si} : Resistencia térmica de la capa superficial de aire interior. R_{se} : Resistencia térmica de la capa superficial de aire exterior. U : Transmitancia térmica.

De acuerdo a la normativa chilena NCh 853.Of2007(INN (Instituto Nacional de Normalización) 2007)., los valores de las resistencias térmicas de las capas superficiales de aire interior (R_{si}) y exterior (R_{se}), corresponden a 0.12 y 0.5 respectivamente.

Luego, se determinarán las presiones de saturación en la solución constructiva. Estas se pueden obtener directamente a través de las siguientes relaciones del documento técnico Humedad por Condensación en Viviendas Prevención y Soluciones (Rodríguez, Rivera, and Burgos 2012) y la NCh1973 (INN (Instituto Nacional de Normalización) 2014), correspondientes a la presión de vapor de agua saturada:

$$P_{sat}(\theta) = 610.5 \cdot e^{\frac{17.269 \cdot \theta}{237.3 + \theta}}, \text{ para } \theta \geq 0^\circ\text{C} \quad \text{Eq. (4)}$$

$$P_{sat}(\theta) = 610.5 \cdot e^{\frac{21.875 \cdot \theta}{265.5 + \theta}}, \text{ para } \theta < 0^\circ\text{C} \quad \text{Eq. (5)}$$

Donde: $P_{sat}(\theta)$: presión de vapor de saturación a la temperatura θ .

Posteriormente, se determinan las presiones parciales de vapor a través del elemento en sus distintas capas. Utilizando la Eq. (6):

$$\Delta P_{vj} = (P_{vi} - P_{ve}) \frac{R_{vj}}{R_{VT}} \quad \text{Eq. (6)}$$

Donde: ΔP_{vj} : Caída de presión de vapor de agua en la capa j del elemento. P_{vi} : Presión de vapor en la cara interior del elemento, es igual a la presión de vapor interior. P_{ve} : Presión de vapor en la cara exterior del elemento, es igual a la presión de vapor exterior. R_{vj} : Resistencia a la difusión de vapor de la capa j . R_{VT} : Resistencia a la difusión de vapor total del elemento.

Luego se definieron la permeabilidad al vapor de agua (δ), el cual expresa la cantidad de vapor de agua que se transmite a través de un material. De manera que:

$$\delta = 0.185 \cdot \frac{1}{\mu} \quad \text{Eq. (7)}$$

Donde: δ : Permeabilidad al vapor de agua. μ : Factor de resistencia a la difusión de vapor. μ es una característica propia de cada material y es definido a partir de la permeabilidad del aire y la del material mismo, donde, el valor de μ_{Air} = 1. Además, para valores superiores a 100000 se considerará este valor según lo dicho en la NCh 1973.

De esto se obtiene la resistividad al vapor de agua (r_v) Eq.(8):

$$r_v = \frac{1}{\delta} \quad \text{Eq. (8)}$$

Y posteriormente con Eq (8), la resistencia a la difusión de vapor (R_v) de cada material se obtiene la Eq.(9):

$$R_v = \frac{e}{\delta} = r_v \cdot e \quad \text{Eq. (9)}$$

Donde: R_v : Resistencia a la difusión de vapor de agua. e : Espesor del material.

Finalmente, se comparan las presiones parciales de vapor obtenidas, con las presiones de saturación de vapor de agua para determinar el riesgo del sistema constructivo. Aquellos puntos donde la presión parcial supere a la de saturación serán los que presenten riesgo de condensación.

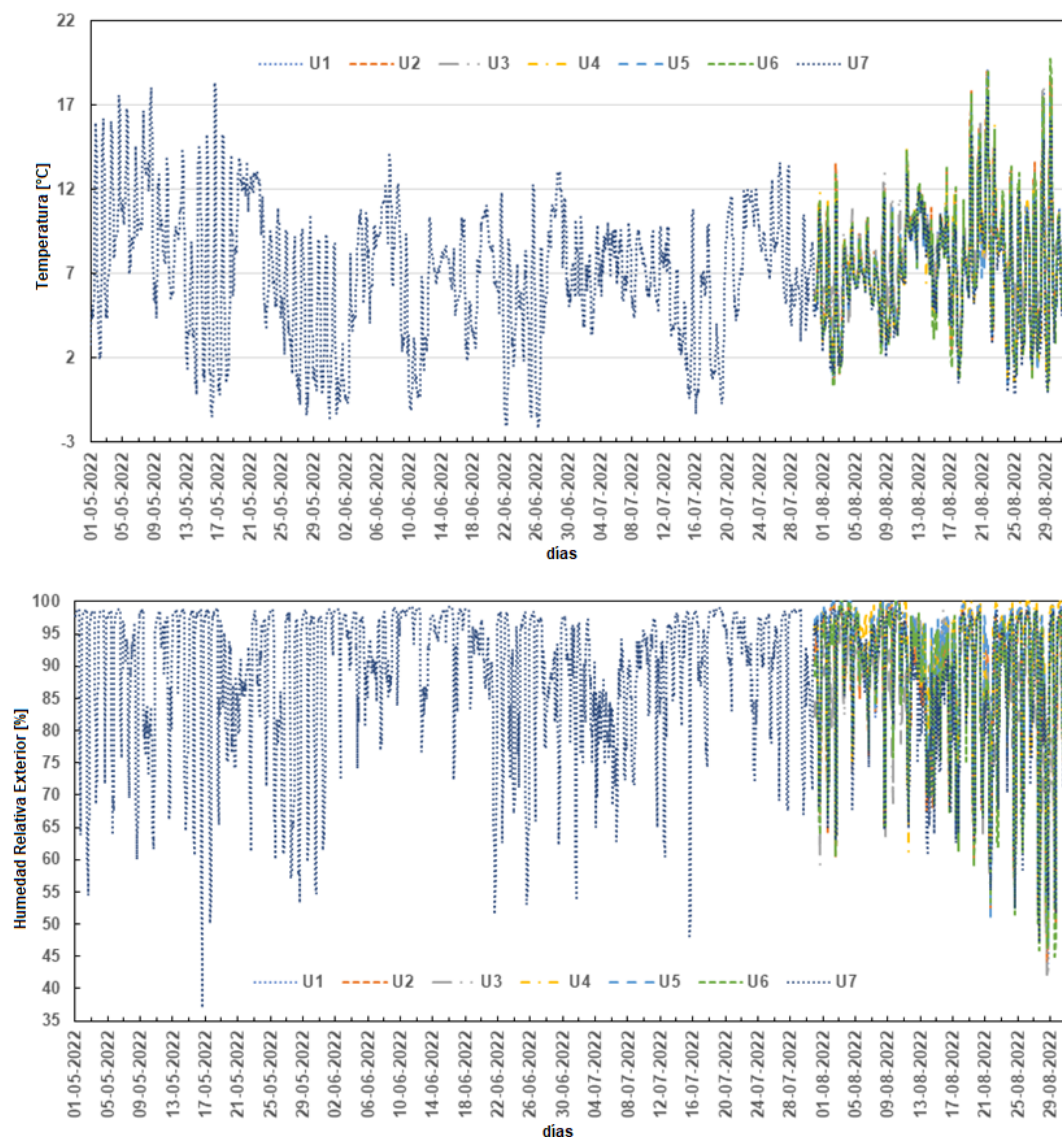
3. Resultados y discusiones

Los resultados son expuestos en los siguientes puntos principales: (i) Temperatura y humedad relativa obtenidos por las mediciones en las siete ubicaciones durante el mes de agosto y en U7 desde el mes de mayo hasta agosto; (ii) Resultados de desempeño de las soluciones constructivas sin BV; (iii) Resultados de desempeño de las soluciones constructivas con BV; y (iv) Discusión de la implementación de BV tradicional y alternativas.

3.1. Temperatura y humedad relativa

En la Figura 3 se presentan los siguientes registros horarios de temperatura y humedad relativa en siete puntos de medición.

Figura 3. Temperatura y Humedad relativa exterior por hora desde mayo hasta agosto



A modo de resumen y referencia se presenta en la Tabla 3 el promedio de temperatura y humedad relativa de las siete estaciones durante el mes de agosto del año 2022.

Tabla 3 - Promedio de temperaturas y humedad relativa mes de agosto 2022

Ubicación	Temperatura [°C]		Humedad Relativa [%]	
	Prom Mensual	St. Dev	Prom Mensual	St. Dev
U1	7.86	3.19	88.40	11.11
U2	7.78	3.43	87.50	11.53
U3	8.24	2.56	85.90	9.88
U4	7.29	3.37	90.84	10.85
U5	7.37	3.24	90.13	10.84
U6	7.56	3.63	87.68	11.73
U7	7.01	3.33	87.32	11.94

Se puede ver en la Tabla 3 como U4 y U7 son las ubicaciones con menor temperatura promedio mensual durante agosto de 2022, acorde con lo esperado al presentarse en una ubicación fuera del entorno urbano y sin construcciones cercanas, mientras que U1, U4 y U5 presentan la mayor humedad relativa al tratarse de los puntos más cercanos a cuerpos de agua como lo son el río Valdivia, pequeños riachuelos y un humedal.

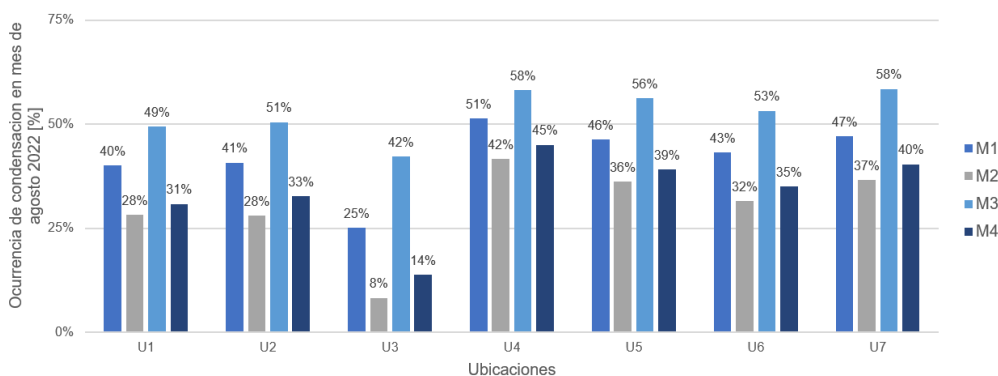
Aun con las diferencias presentadas, es posible apreciar que el comportamiento de temperatura y humedad relativa registrados en las siete ubicaciones resulto sin variaciones significativas al ser puntos principalmente perimetrales y no totalmente centrales en el entorno urbano.

3.2. Resultados soluciones sin BV

3.2.1. Porcentaje de condensación intersticial

Con unas condiciones internas de temperatura de 20 °C, y una humedad relativa de 50%. se obtuvo el porcentaje de horas con la presencia de la condensación intersticial (Figura 4) para cada una de las soluciones constructivas en las diferentes ubicaciones geográficas.

Figura 4. Porcentaje de condensación intersticial durante mes de agosto 2022.

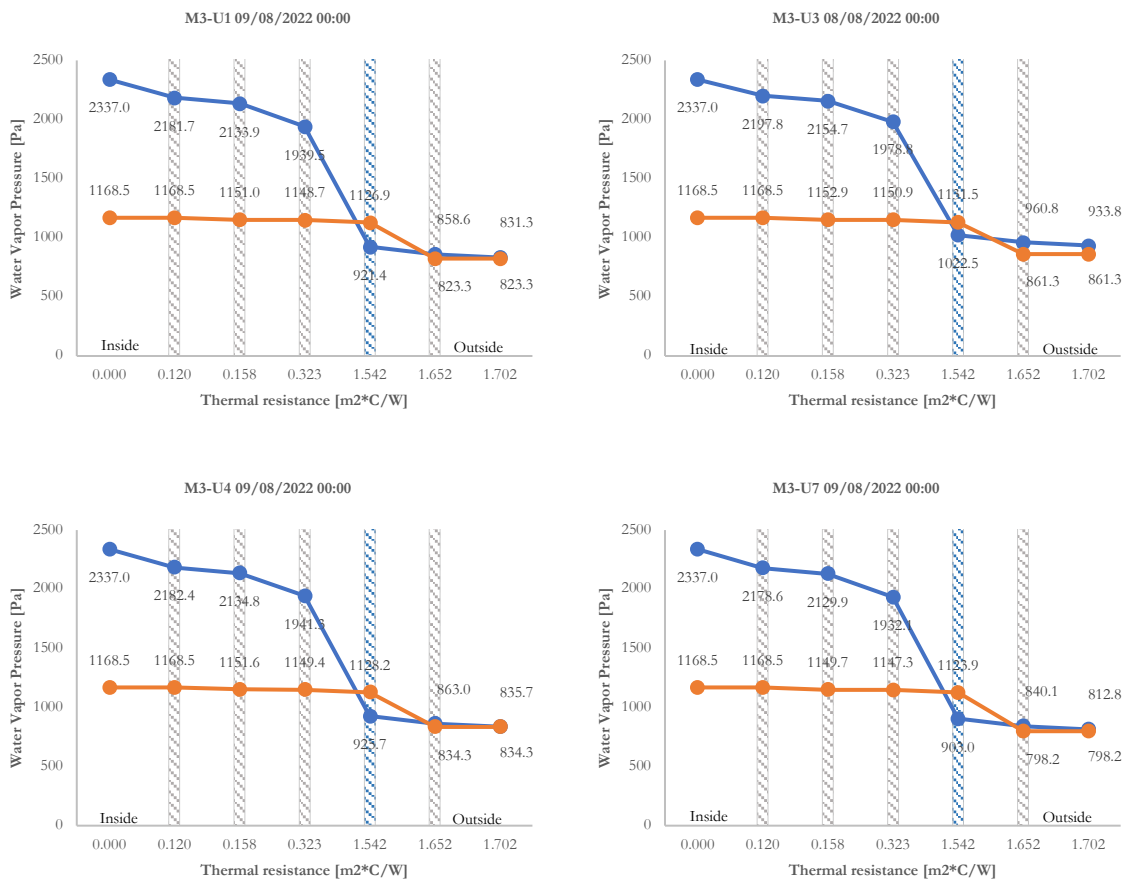


Donde se puede ver como en todas las ubicaciones los comportamientos ante la ocurrencia de la condensación intersticial son similares, a excepción de la U3 presente en la costa oceánica donde se presentó el menor efecto al ser la ubicación con mayor temperatura promedio mensual y menor humedad relativa durante el periodo analizado. Por lo demás, la ubicación con mayor porcentaje de horas generando condensación intersticial fue la registrada en la U4, un punto muy cercano a un río pequeño en un entorno bastante rural.

Además, el muro con mayor incidencia en el fenómeno en todas las ubicaciones resulto ser M3, obteniendo de un 42% a un 58% de horas en las que se generó condensación intersticial en las diferentes ubicaciones.

De M3 se presentan en la Figura 5 el comportamiento ante las condiciones externas las ubicaciones U1, U3, U4 y U7 en el día 9 de agosto a las 00:00 horas, siendo estas ubicaciones escogidas al ser las dos de menor ocurrencia de condensación intersticial, U1 y U3, y las dos de mayor ocurrencia de este, U4 y U7.

Figura 5. Perfil de presión de vapor de agua interior de M3 en U1, U3, U4 y U7 el día 9 de agosto a las 00:00 horas



Se puede apreciar como en la interfaz descrita entre el límite exterior del material aislante y la cubierta externa presenta una mayor presión interna que la presión de saturación en la interfaz, generando de esta manera condensación intersticial en dicha hora.

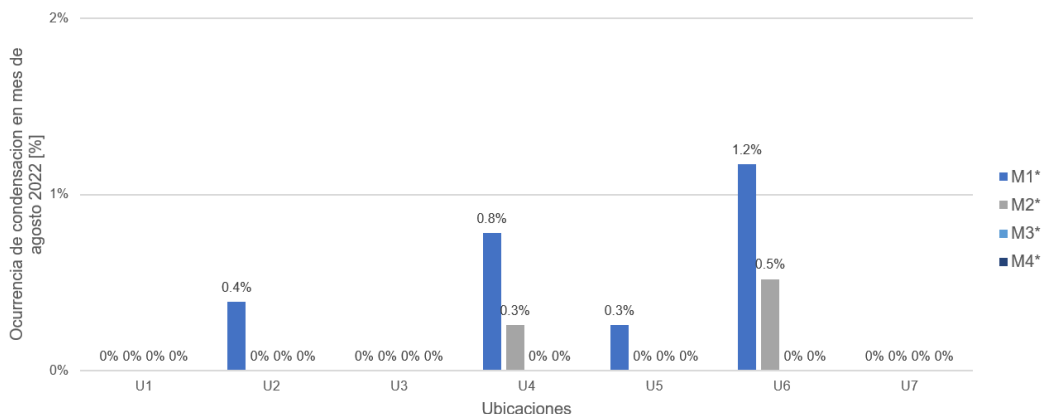
Además, es posible ver cómo, aunque en las cuatro ubicaciones se presenta condensación para esta hora en particular, la menor diferencia de presiones se encuentra en U3, donde tanto la temperatura fue mayor como la humedad relativa exterior menor para dicha hora en comparación con el resto de las ubicaciones.

3.3. Resultados soluciones con BV

3.3.1. Porcentaje de condensación intersticial

A continuación, se describe el comportamiento para los muros modificados con una BV de polietileno de 0.0002 [m], con unas condiciones internas de temperatura de 20 °C y una humedad relativa de 50%, para las diferentes ubicaciones.

Figura 6. Porcentaje de condensación intersticial durante mes de agosto 2022 con BV



Es notable el efecto de dicho material de BV en todas las ubicaciones, disminuyendo la ocurrencia de condensación intersticial a niveles mínimos en las diferentes soluciones constructivas (Figura 6).

3.4. Discusión implementación BV y alternativas

3.4.1. BV hipotética y propuesta

En vista del gran impacto medioambiental que presenta el polietileno en la construcción, principalmente al no tener capacidad de reutilización, lenta degradación y solo generar más desechos para el ambiente y considerando el excelente desempeño de una BV en la disminución de condensación intersticial registrada, se propone determinar una BV hipotética, con la finalidad de definir los límites objetivos necesarios que debe presentar un material para lograr un buen comportamiento ante la condensación intersticial de las soluciones constructivas en la zona de estudio.

Como BV hipotética se establece un espesor límite de 0.001 m, aceptable dentro del sistema constructivo, y se busca asignar un valor objetivo para el factor de resistencia a la difusión de vapor (μ), para posteriormente proponer materiales menos contaminantes capaces de cumplir el valor μ solicitado.

El material de polietileno utilizado con anterioridad, con su espesor y factor de resistencia a la difusión de vapor, presentaba un espesor de capa de aire equivalente (s_d) de 20 m, por lo que para el material objetivo se solicitara una $s_d = 16$ m inicialmente.

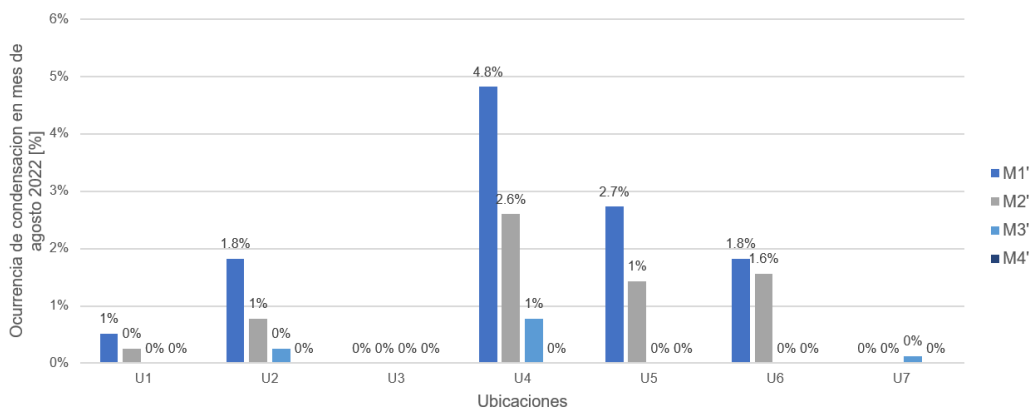
Considerando lo anterior, esta BV tendrá las características presentadas en la Tabla 4. Resultando en los parámetros de resistencia a la difusión de vapor presentados en la Tabla 4 fueron calculados de acuerdo con la Eq. 7-9 y Eq. 11.

Tabla 4 - Características difusión de vapor BV hipotética

Materiales		e [m]	μ [-]	r_v [MNs/gm]	Rv [MNs/g]	Sd [m]
B.V.	Hipotética	0.001	16000	86486.49	86.49	16.00

Con este material hipotético, el desempeño durante el mes de agosto 2022 ante la condensación intersticial fue el presentado en la Figura 14. Donde se nota que, para cada solución constructiva del mes, la formación de la condensación intersticial es menor de 5% de horas del mes.

Figura 7. Porcentaje de condensación intersticial durante mes de agosto 2022 con 50% de humedad relativa interna y BV hipotética



De lo anterior se presenta como propuesta la utilización de Papel Kraft con un espesor de 0.0007 m, donde sus características propias en aspecto de resistencia de la difusión de vapor del agua son descritas en las Tabla 5.

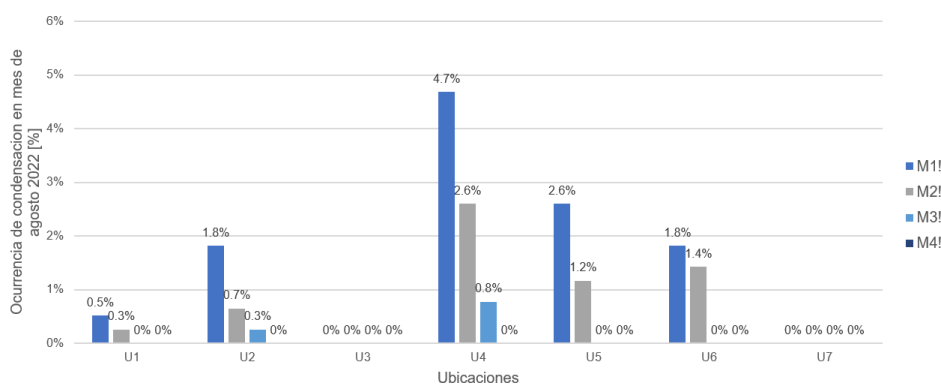
Tabla 5 - Características difusión de vapor BV Papel Kraft

Materiales	e [m]	μ [-]	rv [MNs/gm]	Rv [MNs/g]	Sd [m]
B.V. Papel Kraft	0.0007	23012	124389.19	87.072	16.108

De aquí se puede apreciar como con el espesor analizado, correspondiente a dos hojas comerciales de espesor 0.00035 m, es posible superar el límite inferior propuesto de $s_d = 16$ m.

Considerando 20 °C de temperatura y 50% de humedad relativa interior, ante las condiciones externas obtenidas para las siete ubicaciones medidas durante el mes de agosto de 2022. Se presenta en la Figura 8 el desempeño obtenido ante la incidencia de generar condensación intersticial.

Figura 8. Porcentaje de condensación intersticial durante mes de agosto 2022 con 50% de humedad relativa interna y BV Papel Kraft



Es posible apreciar como el desempeño de este es ligeramente mejor que el presentado en el apartado hipotético, y como en la peor de las condiciones el fenómeno solo se generó un 4.7% del tiempo, lo cual es equivalente a 36 horas de 768 analizadas.

En vista de lo presentado, una posible BV para las condiciones analizadas es la aplicación de Papel Kraft con un espesor mínimo de 0.0007 m, obteniendo resultados satisfactorios en su

desempeño en vista de su resistencia a la difusión de vapor. De esta forma se obtendrían los beneficios de utilizar un material con una carga ambiental menor que la del polietileno y un desempeño similar como BV.

4. Conclusiones

Durante presente estudio se observó que independiente de la ubicación analizada en la ciudad de Valdivia, Chile, existe una variación muy baja de temperatura y humedad relativa, siendo los principales factores determinantes para su aumento o disminución la cantidad de construcciones cercanas para la variación de temperatura y la cercanía a grandes masas de agua para la variación de la humedad relativa registrada. De esta manera, una ubicación emplazada fuera del entorno urbano y en cercanía con grandes masas de agua como ríos o humedales, presentara una menor temperatura y una mayor humedad relativa.

Las cuatro soluciones constructivas analizadas presentaron un desempeño desfavorable, generando una peligrosa cantidad de condensación a lo largo de los periodos analizados independientemente de la ubicación en la que se encuentren. Obteniendo en el análisis, periodos de tiempo prolongados en los que las diversas soluciones constructivas se encontraron con agua en estado líquido en su interior.

De las cuatro soluciones constructivas, las más alarmantes resultaron ser M1 y M3, siendo esta última incapaz de secarse en el periodo analizado para cuatro de las ubicaciones, además de que considerando que con un pequeño aumento de la humedad interior de las viviendas ambas soluciones no serían capaces de secarse en ninguna de las ubicaciones.

Una BV, instalada en la cara interior de la solución constructiva, presenta un desempeño totalmente favorable, disminuyendo drásticamente la incidencia del fenómeno en todas las ubicaciones analizadas.

Al ser el polietileno el material mayormente utilizado como BV y presentar un impacto medioambiental tan desfavorable, es posible proponer la implementación de un material no convencional que asuma el rol de BV. El Papel Kraft obtuvo un desempeño favorable en el análisis preliminar para su implementación como BV considerando su factor de difusión de vapor y la disponibilidad de este, siendo requeridas investigaciones sobre su implementación y durabilidad como material aislante en función de BV.

Finalmente, es relevante enfatizar que investigaciones futuras sobre diversos materiales capaces de actuar como BV sin tener una carga ambiental tan elevada y, favorecerán a prolongar la durabilidad de los materiales aislantes y favorecer el desempeño energético de las viviendas.

Referencias

- Agromet. 2023. "Informe de Temperaturas de La Red Agroclimática Nacional." : 1. <https://www.agromet.cl/> (February 28, 2023).
- Bellia, Laura, and Francesco Minichiello. 2003. "A Simple Evaluator of Building Envelope Moisture Condensation According to an European Standard." *Building and Environment* 38(3): 457–68. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132302000604>.
- Borquez, M, and N Cardenas. 2022. "TIPOLOGÍA DE LA VIVIENDA EN LA REGIÓN DE LOS RÍOS." Universidad Austral de Chile.
- HOBO. 2016. *Manual HOBO MX2300*. 1st ed. ed. Onset Computer Corporation. Canada. <https://assets.omega.com/manuals/HOBO MX2300 Manual.pdf> .
- INN (Instituto Nacional de Normalización). 2007. "NCH853.Of2007 Acondicionamiento Térmico – Envoltente Térmica de Edificios – Calculo de Resistencias y Transmitancias Térmicas." : 51.

- INN. 2014. "NCH1973.Of2014 Comportamiento Higrotérmico de Elementos y Componentes de Construcción - Temperatura Superficial Interior Para Evitar La Humedad Superficial Crítica y La Condensación Intersticial - Métodos de Cálculo." : 49.
- ISO, International Organization for Standardization. 2014. "ISO13788 Hygrothermal Performance of Building Components and Building Elements-Internal Surface Temperature to Avoid Critical Surface Humidity and Interstitial Condensation-Calculation Methods." : 40.
- Lengfeld, Katharina, and Felix Ament. 2012. "Observing Local-Scale Variability of Near-Surface Temperature and Humidity Using a Wireless Sensor Network." *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 51: 30–41.
- Leonowicz, Z. 2020. "2020 IEEE International Conference Environment and Electrical Engineering and 2020 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I & CPS Europe)." In *Thermal Insulation of Existing Buildings and Interstitial Condensation: Comparative Assessment in Different European Climate Contexts*, ed. Institute of Electrical and Electronics Engineers. Madrid, 9–12.
- Madera 21. 2020. "¿Por Qué La Madera?" : 2. <https://www.madera21.cl/2757-2/> (February 5, 2023).
- Manioğlu, Gülten, and Zerrin Yılmaz. 2006. "Economic Evaluation of the Building Envelope and Operation Period of Heating System in Terms of Thermal Comfort." *Energy and Buildings* 38(3): 266–72. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S037877880500099X>.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. 2022. "Listado de Normas Técnicas Obligatorias." : 12. <http://normastecnicas.minvu.cl/>.
- MINVU. 2016a. "M10 SOLUCION CONSTRUCTIVA DE ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO PDA VALDIVIA." : 7. <https://www.calificacionenergetica.cl/media/Ficha-M10-PDA-Valdivia.pdf> (February 20, 2023).
- MINVU. 2016b. "M9 SOLUCION CONSTRUCTIVA DE ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO PDA VALDIVIA." : 7. <https://www.calificacionenergetica.cl/media/Ficha-M9-PDA-Valdivia.pdf>.
- Pereira, Cláudia Donald, and EneDir Ghisi. 2011. "The Influence of the Envelope on the Thermal Performance of Ventilated and Occupied Houses." *Energy and Buildings* 43(12): 3391–99. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778811003884>.
- Rodríguez, G, L Rivera, and D Burgos. 2012. *Humedad Por Condensación En Viviendas Prevención y Soluciones*. 1ra ed. ed. Corporación de Desarrollo Tecnológico CDT. Santiago, Chile.
- Shoemaker, Ritchie C., and Dennis E. House. 2006. "Sick Building Syndrome (SBS) and Exposure to Water-Damaged Buildings: Time Series Study, Clinical Trial and Mechanisms." *Neurotoxicology and Teratology* 28(5): 573–88. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0892036206000857>.
- Zhang, Huibo, and Hiroshi Yoshino. 2010. "Analysis of Indoor Humidity Environment in Chinese Residential Buildings." *Building and Environment* 45(10): 2132–40. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132310000909>.

