



Received: 10/07/2023

Accepted: 12/10/2023

Anales de Edificación

Vol. 9, Nº2, 43-55 (2024)

ISSN: 2444-1309

DOI: 10.20868/ade.2024.5368

“Aqualigmun”, caracterización experimental de sistemas higromórficos.

"Aqualigmun", experimental characterisation of hygromorphic systems.

Sergio González Rodríguez ^a

^a Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.

Resumen-- Este trabajo de investigación experimental se ha centrado en las láminas de madera y en su capacidad higromórfica. Se ha desarrollado un sistema de medición de fachadas basado en láminas de madera y en su capacidad de curvatura de tres especies (haya, roble y caoba) ante la exposición a idénticos ciclos higrotérmicos. Bajo la hipótesis de una posible regulación de curvatura, la definición del muestreo ha evidenciado que los parámetros ‘Tipo de madera’, ‘grosor’ e ‘Incidencia de vapor de agua’ son las variables responsables de la diferenciación responsiva de las diferentes muestras, así como presencia o no de revestimientos protectores. A continuación, en base a los resultados obtenidos se ha concluido que existen respuestas que permiten destacar el buen comportamiento de la lámina de madera de haya frente a las otras especies, así como la ineficacia de aplicar revestimientos.

Palabras clave— higromórfica; caracterización; responsiva; integración; humedad.

Abstract— This experimental research work has focused on wooden veneers and their hygroscopic capacity. A facade measurement system has been developed based on wooden veneers and their bending ability across three species (beech, oak, and mahogany) when exposed to identical hygrothermal cycles. Under the hypothesis of potential curvature regulation, the sampling definition has revealed that the parameters 'Wood type,' 'thickness,' and 'Water vapor incidence' are the variables responsible for the responsive differentiation of the different samples, as well as the presence or absence of protective coatings. Subsequently, based on the results obtained, it has been concluded that there are responses that allow highlighting the good behavior of the beech wood veneer compared to the other species, as well as the ineffectiveness of applying coatings.

Index Terms— hygromorphic; characterization; responsive; integration; moisture.

I. INTRODUCCIÓN

La madera ha sido tratada como material constructivo desde la antigüedad debido a su composición, la cual le otorga resistencia y ligereza en su dirección longitudinal. Sus componentes anatómicos (vasos, radios, etc.) constituyen un material con diferentes valores de porosidad (normalmente comprendida entre el 10% y el 90%) y densidad según sea la especie considerada. Y su naturaleza leñosa le otorga por otra parte una gran sensibilidad frente a las variaciones higrotérmicas y frente al ataque biológico causado por hongos e insectos. Se ha de tener en cuenta es que usualmente la madera es tratada por productos químicos o diseños arquitectónicos que favorezcan su durabilidad y optimicen su mantenimiento (Peraza Oramas, s.f.); (García Esteban *et al.* s.f.).

El sector de la edificación, consciente de la crisis de materias primas, busca desde hace años la reutilización de componentes y materiales en base a su versatilidad de uso (Cardoso-Hernández *et al.*, 2022). Se trata de una declaración ambiental y una llamada a la reinención de los materiales llamados “tradicionales” con la intención de dotarles de una nueva identidad y funcionalidad.

Una de estas nuevas funcionalidades es el aprovechamiento de la capacidad higromórfica de la madera y los materiales leñosos para la adsorción y desorción del vapor del agua y, por lo tanto, para hinchar o encoger se basa en la composición química y la microestructura. Básicamente el agua (o vapor de agua) que circula por los vasos de los tejidos vegetales o retenida en la superficie es la que genera la variación de humedad provocando cambios dimensionales.

Basándose en las diferentes propiedades de hinchamiento y contracción de estos tejidos, se investiga la incorporación, a mayor escala, de sistemas que contengan estas respuestas ante cambios de humedad. Actualmente no se registran una gran cantidad de avances sobre el sistema de fachada higromórfica. Los principales estudios e investigaciones centran sus esfuerzos en el entendimiento del comportamiento de las láminas de madera y no en su integración arquitectónica.

En este campo, destacan estudios como los de Luis García Esteban, Joseph Grill, Paloma de Palacios y Antonio Guindeo. Estos basaron su investigación en la experimentación sobre diferentes muestras, con el objetivo de clarificar la capacidad higroexpansiva de recuperación de las láminas (García Esteban, *et al.*, 2004). Sin embargo, el que más información ha dotado en este campo hasta la fecha es Artem Holstov (Holstov *et al.*, 2016). Su entendimiento del sistema se concentra en la búsqueda de parametrización de los factores condicionantes de las láminas de madera. Actualmente no existen documentos que expliquen con tanta nitidez el funcionamiento higrotérmico de la madera como Holstov, inspirando inevitablemente el desarrollo de este trabajo. Holstov demuestra que estos sistemas alcanzan un comportamiento óptimo cuando se conforman por dos composites bicapa, los cuales según la combinación y relación que posean entre ellos (ya sea el material, corte, espesores y orientación y unión) responderán de una manera o de otra.

Por su complicado proceso de elaboración y preconfiguración,

este sistema aún no es rentable para el sector de la construcción. Por lo que el desarrollo del trabajo se basará en la premisa de que la capa pasiva, propuesta por Holstov (Holstov *et al.*, 2016); es un gran apoyo para el sistema, pero no necesario para el funcionamiento del mismo. Esto reduciría tiempo y costes de fabricación, planteando un aprovechamiento de la madera sobrante en industrias y aserraderos.

II. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

A. Pruebas sobre láminas de madera no protegidas

La fase de experimentación se centra en un entendimiento del comportamiento de los materiales seleccionados con el objetivo de establecer una medición geométrica sobre su deformación y recuperación sobre una lámina activa sin tratamiento previo. Siguiendo el ejemplo de ejecución y medición de ensayos higrotérmicos, realizados por David Sebastián Pérez Cabrera y Jorge Enrique Lozano Peña (Pérez Cabrera and Lozano Peña, 2019); se asignan los siguientes parámetros generales para la fase de experimentación:

-Dirección de la fibra: Como un factor clave ante la deformación y respuesta de las muestras de ensayo se establece el corte de fibra longitudinal como parámetro común en todas las muestras debido a que es el que mejor reacciona a los cambios de humedad relativa.

-Grosor de láminas: La configuración de las láminas bicapa determinará su capacidad y su modo de respuesta. Sin embargo, estos ensayos se realizarán en base a la capa activa, estableciendo dos grosores comunes para las muestras: monocapa (muestra única) y bicapa (dos muestras idénticas unidas por encolado) con el fin de establecer una comparación entre ambas.

-Elección de la madera: Según su permeabilidad y su facilidad de obtención en el mercado digital, se encargan por Amazon tres especies de madera de diferentes propiedades:

·Haya europea «Fagus Sylvática»: Madera frondosa

·Roble «Quercus Robur»: Madera frondosa

·Caoba «Swietenia macrophylla King»: Madera tropical

-Tiempos de humidificación/deshumidificación: Cada una de las muestras contarán con los mismos tiempos de humificación y de secado para su posterior análisis comparativo.

-Tipos de exposición: A los parámetros anteriores les añadiremos uno más: la incidencia sobre la muestra. Este último surge ante la irregularidad hipotética que sufrirá el sistema ante la variación higroscópica, tanto natural como mecánica. Teniendo en cuenta que la homogeneidad de saturación es un condicionante difícilmente logable en un campo de aplicación arquitectónico real, se disponen diferentes dimensiones para irregularizar el impacto de vapor de agua.

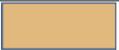
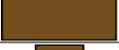
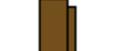
Se dispone así de 18 muestras diferentes con:

-Tres especies: Haya (A), Roble (B), Caoba (C)

-Tres tipos de exposición: Exposición 1 = 220 x 120mm (1)
Exposición 2 = 110x120mm (2) Exposición 3 = 55x120mm (3)

-Dos grosores: Monocapa = 0,6mm+/-1 (X)

TABLA I
 TABLA DE ENSAYOS (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

Muestra	Material	Dimensiones (mm)	Espesor	Forma	Representación
A1	Haya	220 x 120	0,6 +/-1 mm	Rectángulo horizontal	
A2	Haya	110 x 120	0,6 +/-1 mm	Cuadrado	
A3	Haya	55 x 120	0,6 +/-1 mm	Rectángulo vertical	
B1	Pino	220 x 120	0,6 +/-1 mm	Rectángulo horizontal	
B2	Pino	110 x 120	0,6 +/-1 mm	Cuadrado	
B3	Pino	55 x 120	0,6 +/-1 mm	Rectángulo vertical	
C1	Caoba	220 x 120	0,6 +/-1 mm	Rectángulo horizontal	
C2	Caoba	110 x 120	0,6 +/-1 mm	Cuadrado	
C3	Caoba	55 x 120	0,6 +/-1 mm	Rectángulo vertical	
2A1	Haya	220 x 120	1,2+/-2 mm	Rectángulo horizontal	
2A2	Haya	110 x 120	1,2+/-2 mm	Cuadrado	
2A3	Haya	55 x 120	1,2+/-2 mm	Rectángulo vertical	
2B1	Pino	220 x 120	1,2+/-2 mm	Rectángulo horizontal	
2B2	Pino	110 x 120	1,2+/-2 mm	Cuadrado	
2B3	Pino	55 x 120	1,2+/-2 mm	Rectángulo vertical	
2C1	Caoba	220 x 120	1,2+/-2 mm	Rectángulo horizontal	
2C2	Caoba	110 x 120	1,2+/-2 mm	Cuadrado	
2C3	Caoba	55 x 120	1,2+/-2 mm	Rectángulo vertical	

Bicapa = 1,2mm+/-2mm (2X)

Siendo la dirección de la fibra y los tiempos de ensayo idénticos para todas las muestras obtenemos la tabla I de muestras: Este proceso se realiza en el momento de tratado de la madera a una humedad interior relativa de 40%, estableciendo un punto de inicio en la experimentación común para todas las muestras.

Cada una de las muestras se le someterá a una fase de humidificación y otra fase de deshumidificación en periodos de tiempo idénticos, completando así un ciclo de ensayo que se repetirá hasta 3 veces.

Los tiempos de humidificación y deshumidificación que completan el ciclo estarán determinados por las humedades relativas límite establecidas.

Estas irán de un 40% de humedad relativa a un 90% (período de humidificación) logrado mediante un humidificador y el cerramiento del espacio de exposición para acelerar el proceso;

y, al contrario: de un 90% al 40% (período de deshumidificación) desactivando el humidificador y liberando una de las paredes del espacio de exposición, rebajando la humedad de manera natural. La temperatura se verá inalterada en todos ellos estableciéndose entre 24 y 26°C. Se tiene en cuenta que el espacio destinado para la experimentación conservará la humedad en sus paredes, acelerando el incremento de humedad relativa en cada ciclo y aumentando el tiempo de deshumidificación, reflejándose así en los resultados.

Para la medición de las láminas se realizará a partir de la grabación de cada ensayo desde un trípode a una altura de 8 cm del suelo y una distancia de 50 cm. Para ello se revisará cada grabación de cada ensayo y se exportará el fotograma en cada instante en el que la humedad relativa aumente o disminuya su valor en un 10%. A partir de cada fotograma se establecerá un valor de deformación medido en curvatura que en su conjunto

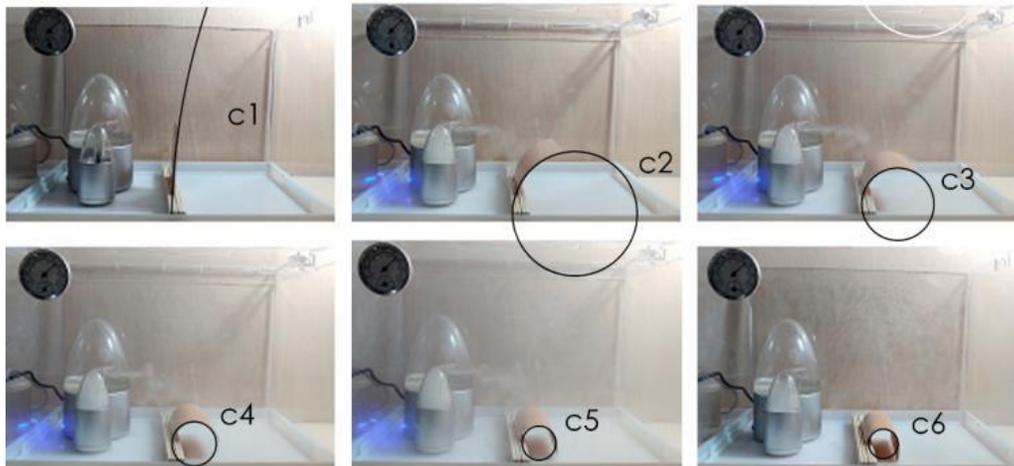


Fig. 1. Secuencia de medición de curvatura (Fuente: Elaboración propia).

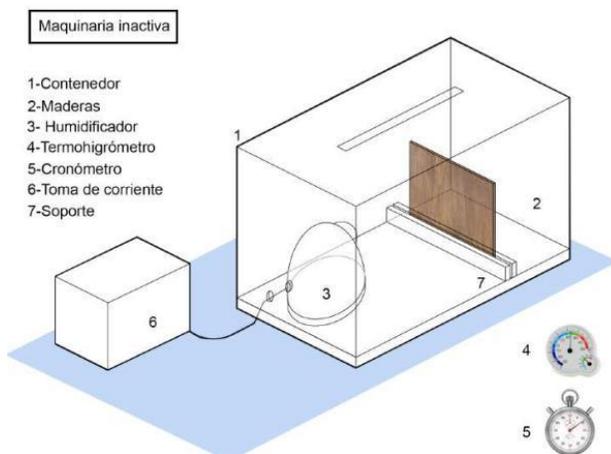


Fig. 2.1. Componentes del sistema de ensayo (Fuente: Elaboración propia).

creará una gráfica de evolución de la muestra a lo largo de los 3 ciclos.

Se controlan en todo momento los límites de humedad que marcarán los tiempos de los ciclos. Este ensayo se realiza bajo la premisa de una posible instalación en una obra edificatoria en la cual se aproveche la emisión del edificio la cual es medible y manipulable, (emisión mecánica) y el exterior, siendo el disipador del vapor generado (regulación natural).

B. Pruebas sobre láminas de madera protegidas

Más adelante, en los resultados reflejados en la experimentación, podremos apreciar una pérdida de funcional en todas las muestras por el exceso de humedad, manifestándose en su aumento progresivo de la curvatura en cada ciclo. Se establece de esta manera un carácter efímero en este sistema de envoltorio que, pese a su gran eficacia en las primeras respuestas, disminuye su capacidad de reacción. Dándole una vida útil corta para una implantación prolongada en un edificio de uso no fugaz (Peraza Sánchez, s.f.).

En la búsqueda de una mayor vida útil se plantea el recubrimiento de las láminas con protectores de madera fácilmente encontrados en el mercado, también solicitados en el mercado digital:

-Lasur, marca comercial REOXYL: Lasur Mate al Agua. (375 Mililitros, Incoloro). Adquirido por Amazon:

Siendo un recubrimiento de acción impregnante cuyo acabado deja a la madera sobre la que se aplica el “poro abierto” dejando a la madera respirar y regular la humedad. Su acción es protectora, respetando la apariencia propia de la madera y aplicado en exteriores.

-Barniz, marca comercial del barniz: BARNIZ CHALK PAINT MERAKI, al agua BRILLO (750ML). Adquirido por Amazon:

Recubrimiento protector de la madera que crea una película en la superficie aplicada aislando ante agentes físicos y químicos y dotándole un valor estético adicional. Para el ensayo se utilizó barniz acrílico, utilizado en exteriores.

Se plantean así pues dos ensayos:

Primero: En las muestras de cada tipo de madera con forma cuadrada (A2, B2, C2) se les aplica un recubrimiento de lasur de manera uniforme en las dos caras de manera inmediata para evitar en todo lo posible deformaciones tras su aplicación debido a la saturación que le suponen a la madera y se recrea el primer ciclo de la prueba del 3.1.

Segundo: En las muestras de cada tipo de madera con forma cuadrada (A2, B2, C2) se les aplica un recubrimiento de barniz de manera uniforme en las dos caras (0,5mm de espesor) de manera inmediata para evitar en todo lo posible deformaciones tras su aplicación debido a la saturación que le suponen a la madera.

Sin embargo, el tratamiento previo y la preprogramación de las muestras, como se evidenciará más adelante, si no se realiza de manera precisa en base al punto de saturación de la fibra y homogeneidad en su tratado puede irrumpir en malformaciones de la muestra o en una mal funcionalidad del mismo.

C. Pruebas sobre láminas ante ciclos higrótérmicos

Los ensayos realizados sobre las láminas sin tratar confirman un comportamiento medible ante la variación de la humedad en tres ciclos consecutivos mostrando una progresiva saturación de la muestra cada vez más acentuada. Ante esto surge la pregunta ¿cuántos ciclos serían capaz de soportar las láminas de ensayo y cuál sería su estado final tras un aumento definitivo de ciclos?

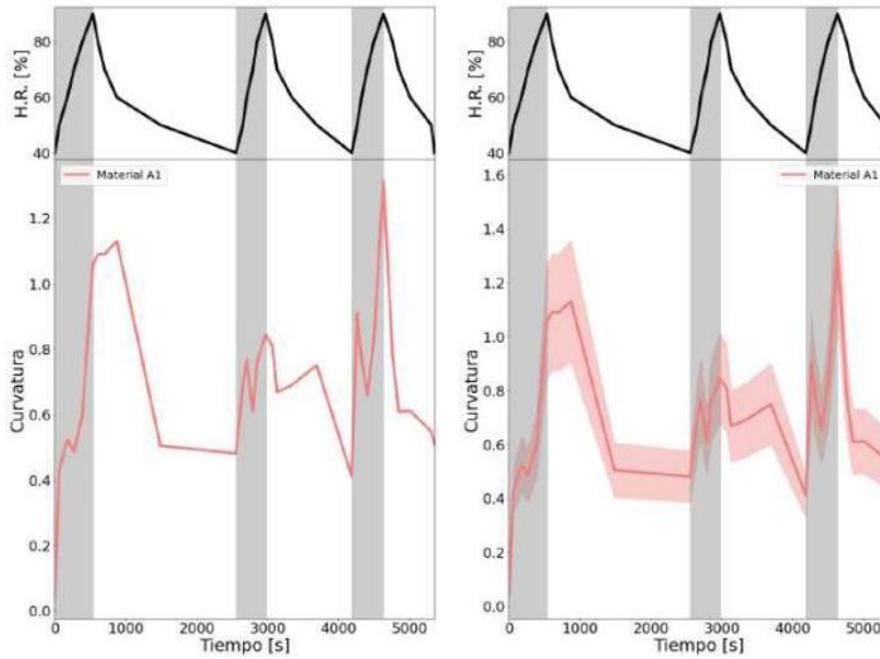


Fig. 2.2. Representación de rango de dispersión de la experimentación (20%) (Elaboración propia).

Gracias al acceso de la maquina higrotérmica facilitada por el Instituto Eduardo Torroja de las Ciencias de la Construcción este ensayo pudo realizarse.

Se programó la maquinaria a una temperatura estable de 25°C en la cual se programaron 25 ciclos de humidificación y deshumidificación con una variación de humedad relativa del 40% al 90% y del 90% al 40% respectivamente para completar un ciclo; estableciendo una duración de 40 minutos por ciclo, durando el proceso global tres días aproximadamente.

Las muestras de ensayo escogidas fueron las que mejor

resultado han dado en las fases previas (A2, B2, C2) y para esta experimentación más duradera se combinó estos tres materiales con 3 formas de recubrimiento:

- Ninguno
- Lasur
- Barniz

Tras el fin de ciclos se mantuvieron en reposo las muestras con una temperatura de 26°C y una humedad del 90% para comprobar su capacidad de recuperación de forma una vez extraído de las máquinas. Se esperaba una deformación generalizada incorregible en todas las muestras.

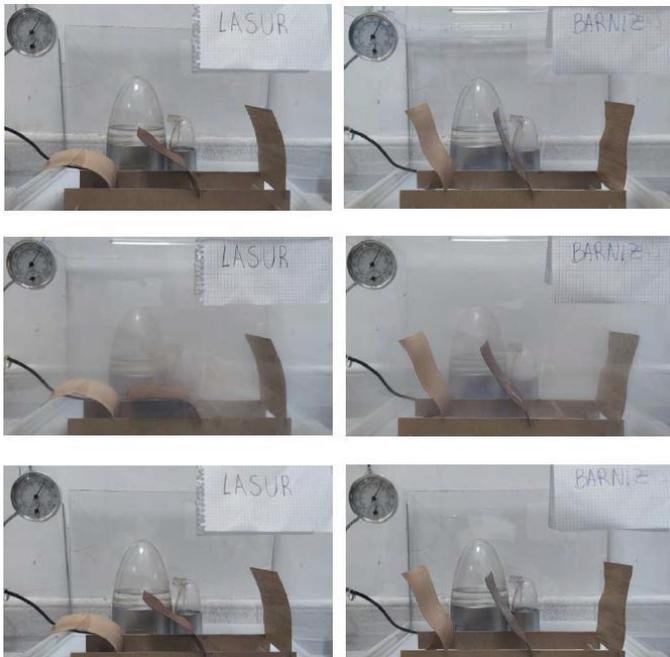


Fig. 3.1. Secuencia de humidificación/deshumidificación en láminas con recubrimiento de lasur (Fuente: Elaboración propia).

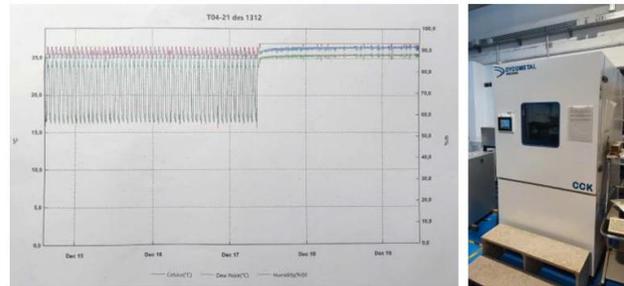


Fig. 4. Gráfica de ensayo ante exposición de 25 ciclos higrotérmicos.



Fig. 5. Estado inicial de las muestras de ensayo.



Fig. 6. Estado inicial de las muestras de ensayo.

III. RESULTADOS

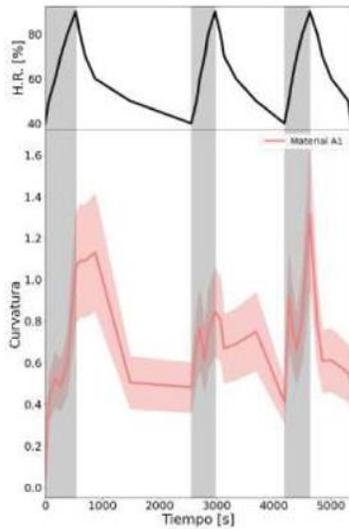


Fig. 7. Gráfica de muestra A1.

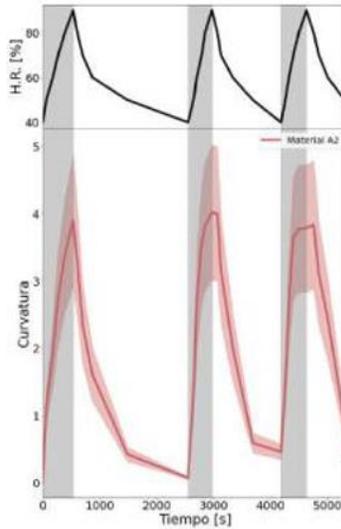


Fig. 8. Gráfica de muestra A2.

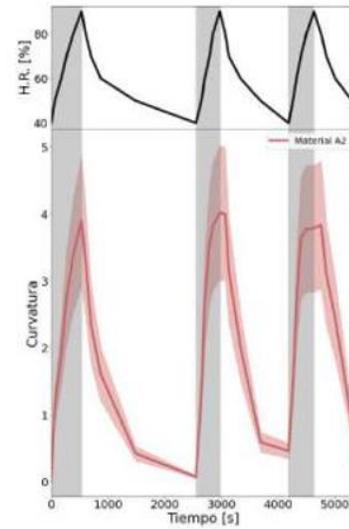


Fig. 9. Gráfica de muestra A3.

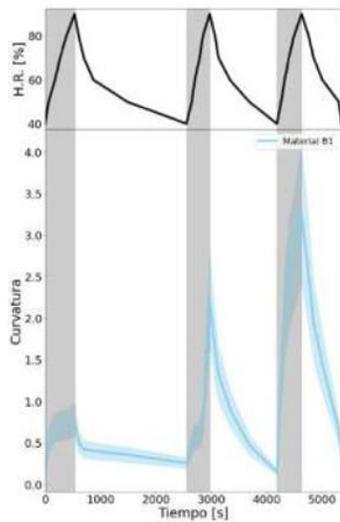


Fig. 10. Gráfica de muestra B1.

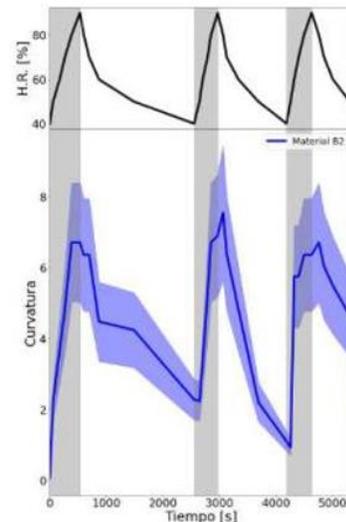


Fig. 11. Gráfica de muestra B2.

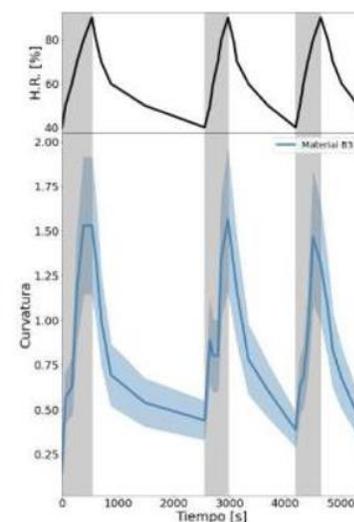


Fig. 12. Gráfica de muestra B3.

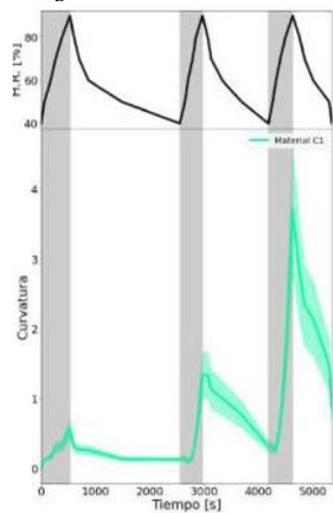


Fig. 13. Gráfica de muestra C1.

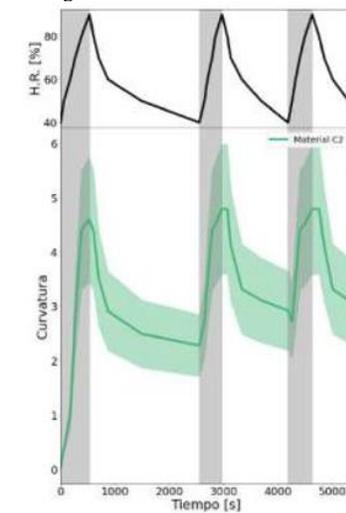


Fig. 14. Gráfica de muestra C2.

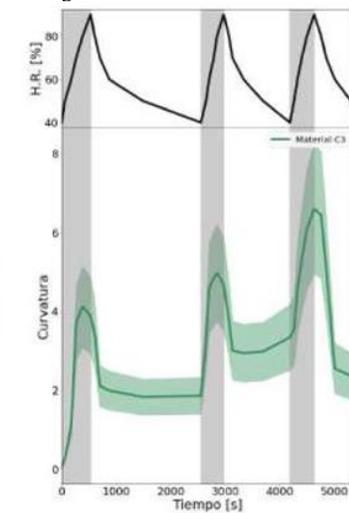


Fig. 15. Gráfica de muestra C3.

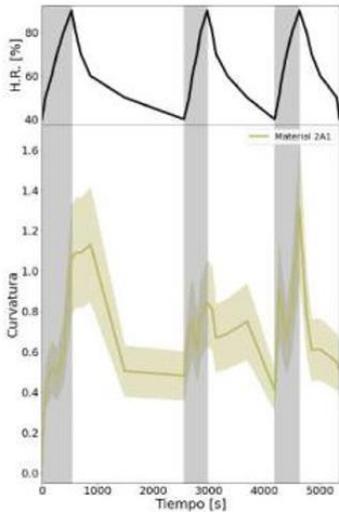


Fig. 16. Gráfica de muestra 2A1.

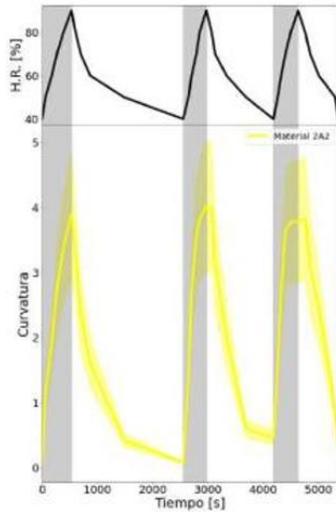


Fig. 17. Gráfica de muestra 2A2.

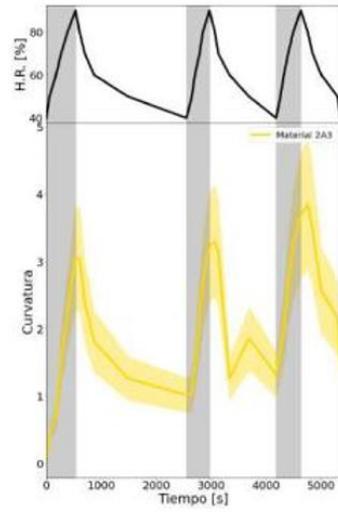


Fig. 18. Gráfica de muestra 2A3.

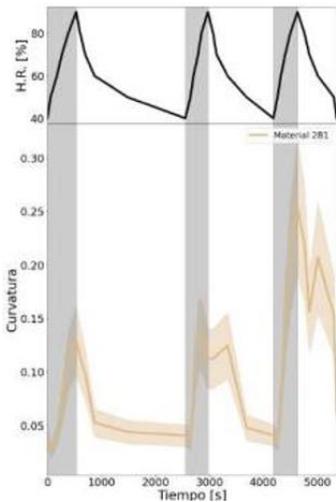


Fig. 19. Gráfica de muestra 2B1.

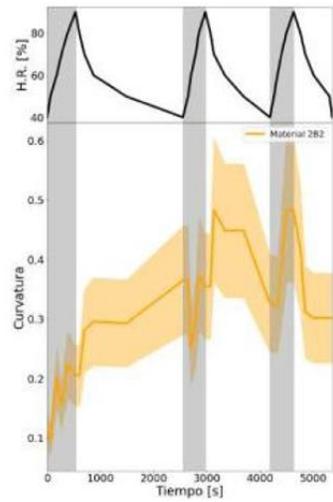


Fig. 20. Gráfica de muestra 2B2.

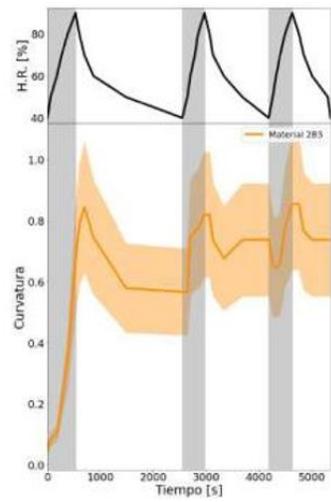


Fig. 21. Gráfica de muestra 2B3.

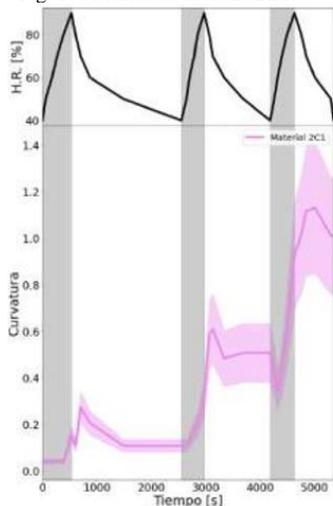


Fig. 22. Gráfica de muestra 2C1.

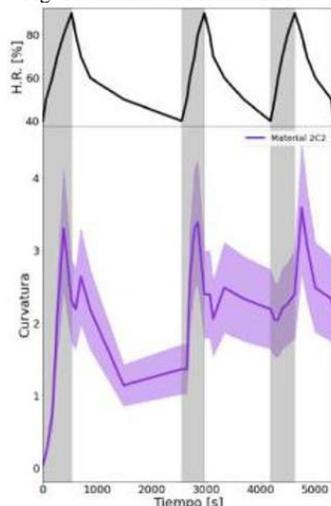


Fig. 23. Gráfica de muestra 2C2.

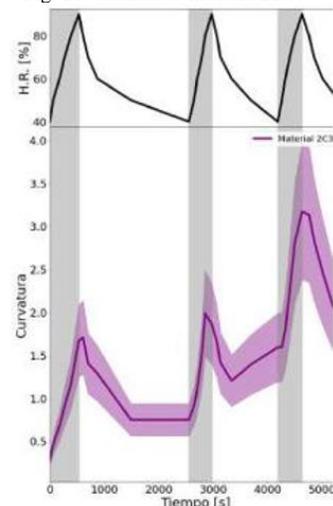


Fig. 24. Gráfica de muestra 2C3.

A. Tablas comparativas entre muestras

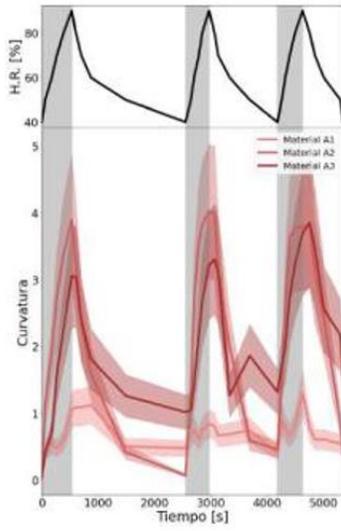


Fig. 25. Gráfica comparativa A.

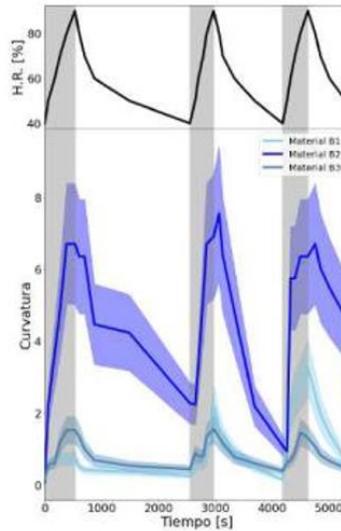


Fig. 26. Gráfica comparativa B.

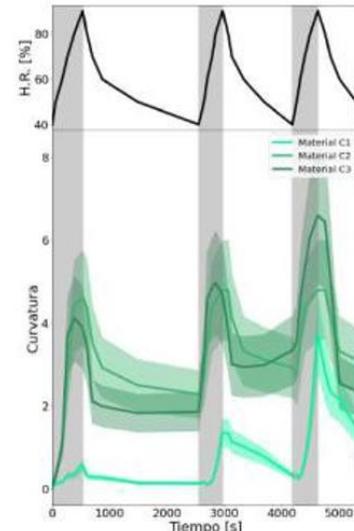


Fig. 27. Gráfica comparativa C.

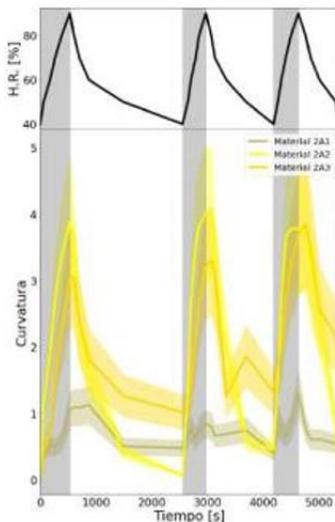


Fig. 28. Gráfica C 2A.

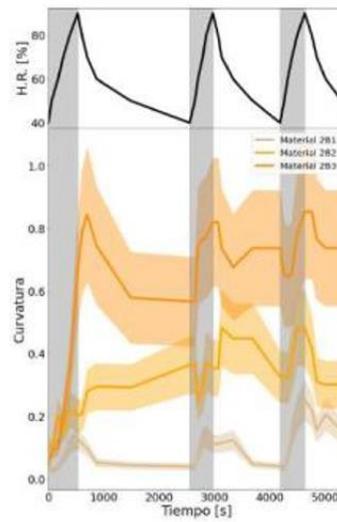


Fig. 29. Gráfica C 2B.

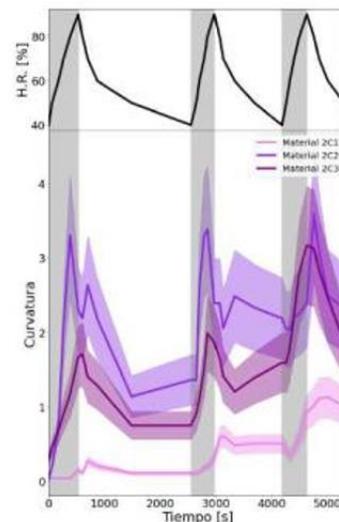


Fig. 30. Gráfica C 2C.

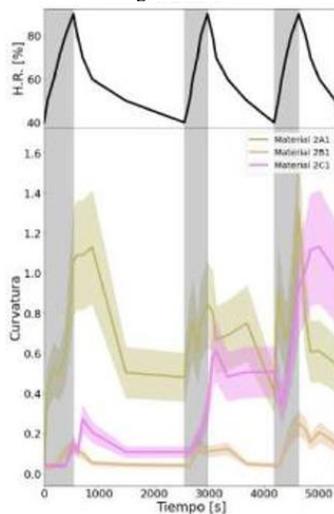


Fig. 31. Gráfica C 2-1.

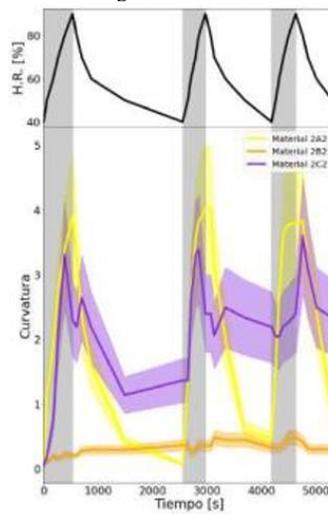


Fig. 32. Gráfica C 2-2.

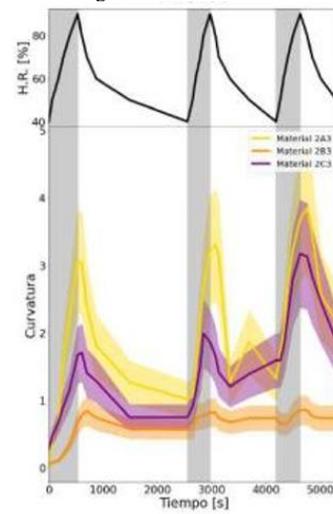


Fig. 33. Gráfica C 2-3.

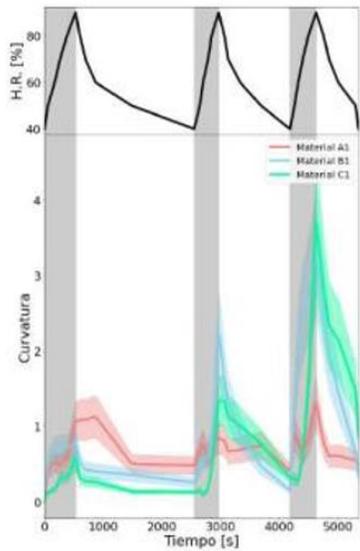


Fig. 34. Gráfica comparativa 1.

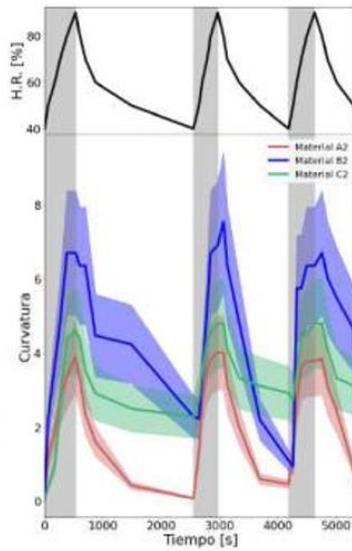


Fig. 35. Gráfica comparativa 2.

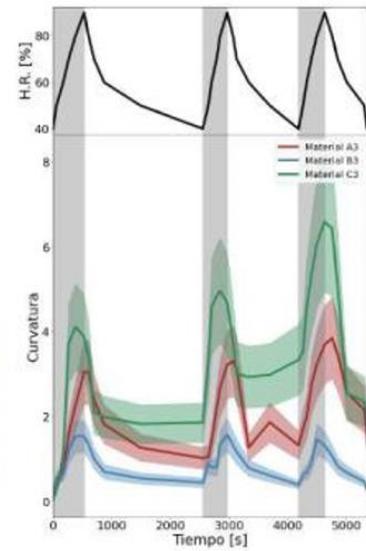


Fig. 36. Gráfica comparativa 3.

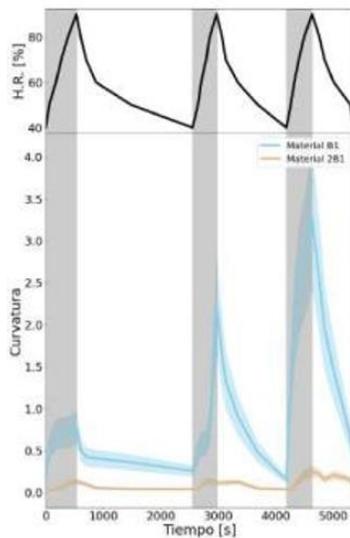


Fig. 37. Gráfica C 2-B1.

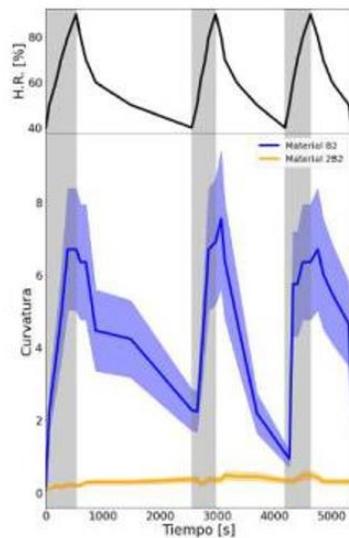


Fig. 38. Gráfica C 2-2B.

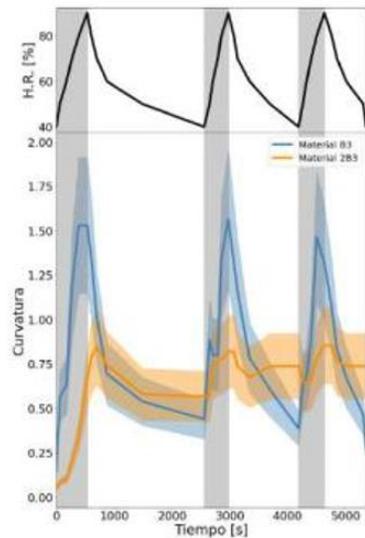


Fig. 39. Gráfica C 2-B3.

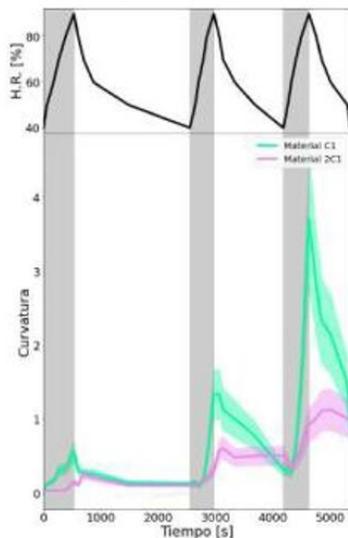


Fig. 40. Gráfica C 2-C1.

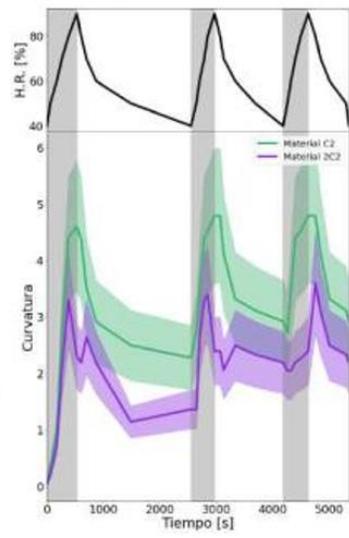


Fig. 41. Gráfica C 2-C2.

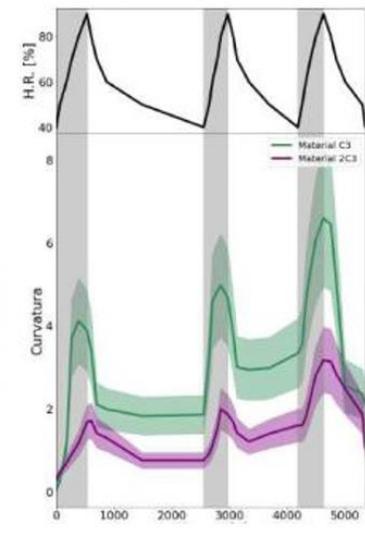


Fig. 42. Gráfica C 2-C3.

B. Discusión de los resultados “Láminas no protegidas”

En el primer apartado de experimentación ‘Ensayos en láminas sin tratar’ podemos observar algunos comportamientos comunes en todas las muestras:

Primeramente, se observa que todas las muestras evidencian una tendencia ascendente en la curvatura en cada ciclo al que son expuestas. Esto se debe retención de humedad en las paredes celulares de las muestras. Al no respetar su tiempo completo de secado, a la hora de repetir ciclo estas no se habrán recuperado totalmente.

Se evidencia que, a mayor incidencia de vapor sobre la muestra, mayor curvatura. Este recoge el concepto del primer punto: retención de humedad en sus paredes. A mayor superficie, menos incidencia del generador de vapor y cuanta menos superficie, más incidencia en su conjunto. Por ello se procura que la relación del área de incidencia con la superficie implicada sea lo más homogénea posible. Si no fuera así daría lugar irregularidades. Las muestras configuradas con grosor doble presentan mayores recuperaciones de curvatura a lo largo de la experimentación. Este fenómeno puede deberse a la configuración de las mismas muestras. Al estar dos láminas, de características teóricamente idénticas, unidas mediante encolado, solo una estará expuesta al humificador. Por lo tanto, la capa expuesta será la que someta de tensión de giro a la no involucrada, la cual se opone al esfuerzo de la primera.

De la misma manera, en el periodo de deshumificación, la segunda capa ejercitará una tensión favorecedora a la recuperación geométrica de la primera, explicando su reducida variación de curvatura en ensayos similares. Por lo tanto, su nomenclatura basada en el grosor único del conjunto ha sido un error. El adhesivo de cola establece una capa impermeabilizante entre ambas láminas, debiendo nombrar estas muestras como ‘bicapa’.

Al ser muestras de dimensiones muy reducidas, la velocidad de reacción ha sido prácticamente idéntica en cada ensayo. Ante prototipos de mayores dimensiones y mayor sofisticación la velocidad de la respuesta y los tiempos del ciclo deberán

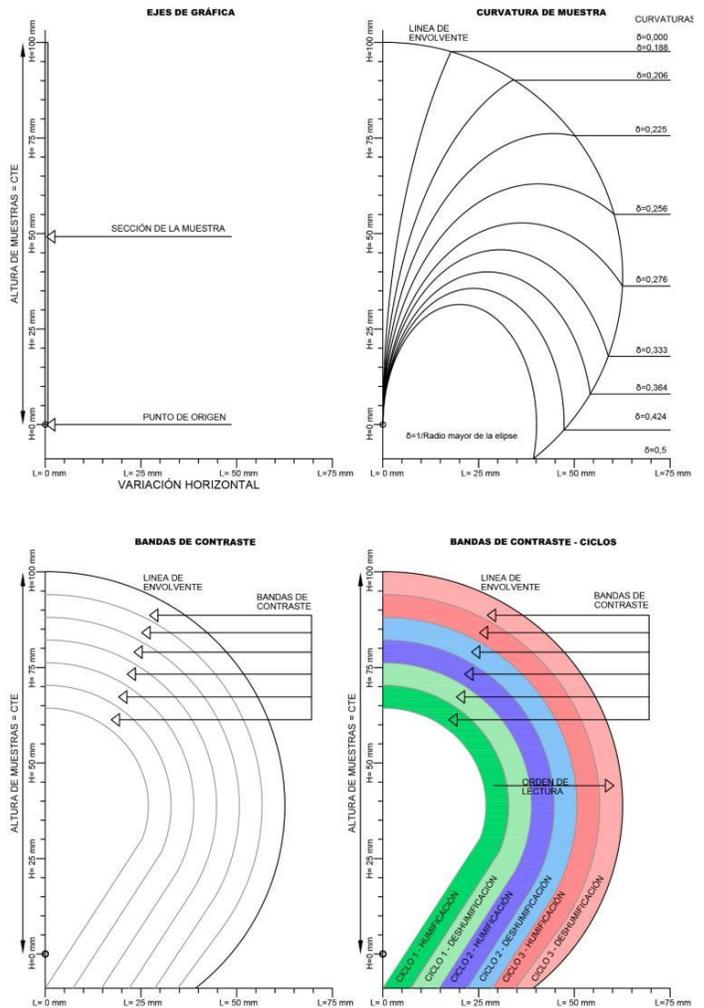


Fig. 44. Representación de parámetros de medición para las láminas planteadas (Fuente: Elaboración propia).

configurar un parámetro más en su análisis.

Con respecto a la materialidad de las muestras se comprueba una mayor respuesta, reflejada en curvatura, en las de tipo haya cuando se trata de muestras bicapa, seguidas por las de tipo caoba. En las láminas simples responde mucho mejor la caoba ante la incidencia de vapor, seguida por el roble. Sin embargo, la capacidad de recuperación se ve dominada por las muestras de tipo haya, seguidas por el roble. Se estas observaciones se puede extraer las siguientes conclusiones: El haya es el material que mejor equilibrio tiene de deformación-recuperación. La caoba es el material más deformable, sin embargo, su capacidad de recuperación es mínima con respecto a los otros dos. El roble presenta características similares al haya, sin embargo, su capacidad de deformación-recuperación es inferior.

C. Discusión de los resultados “Láminas protegidas”

La aplicación de un recubrimiento condicionará el funcionamiento del sistema. Las propiedades que le otorgará el recubrimiento a la lámina también pueden erradicar su funcionalidad inicial. El barniz pese a dotar de facultades resistentes a las maderas, crea una película impermeable que impide la absorción de vapor. En lo que respecta al recubrimiento de lasur, esta conserva parte de las propiedades

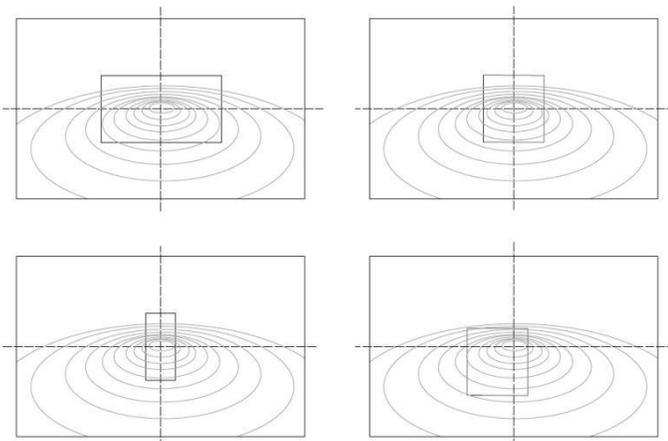


Fig. 43. Incidencia sobre las tablas del vapor de agua. En los tres primeros esquemas podemos divisar suministro homogéneo de vapor dando lugar a unos resultados satisfactorios. En el último esquema, por un incorrecto posicionamiento de la muestra, el proceso tuvo que ser interrumpido y repetido (Fuente: Elaboración propia).

higromórficas, sin embargo, su variación geométrica no es medible por su irregularidad.

El modo de aplicación del recubrimiento condicionará la estructura inicial de la madera. Esto refleja lo comentado en apartado de uniones de madera. La homogeneidad de aplicación es imprescindible a la hora de mantener la configuración inicial de la muestra. Esto se puede observar en el recubrimiento de lasur, que, pese al esfuerzo por aplicarlo homogéneamente, las tensiones internas generadas al saturar el material por el recubrimiento han concluido en su deformación, reflejada en su sección imitando una onda.

D. Discusión de los resultados “Láminas ante ciclos “higrotérmicos”

Se verifica que la ininterrumpida exposición a ciclos de humificación-deshumificación culmina en un agotamiento sobre las láminas incapacitando su recuperación. Entre las muestras expuestas a esta experimentación se observa que las

“Aqualigmun”, caracterización experimental de sistemas higromórficos. "Aqualigmun", experimental characterisation of hygromorphic systems.

recubiertas por barniz se conservan inalteradas al final del ensayo; las recubiertas por lasur igual, exceptuando la madera de haya, que presenta una ligera curvatura, y las maderas sin tratamiento se presentan deformadas sin capacidad de recuperación con una curvatura aproximada de $C=0,225$.

E. Medición geométrica experimental de los ensayos realizados en láminas no protegidas

Para el registro geométrico de la variación comprobada en los ensayos anteriores se plantea el desarrollo de una tabla gráfica de curvaturas de los ciclos realizados en el ensayo de láminas sin tratar. Esta tabla reflejará en alzado la curvatura de la madera y su deformación en milímetros en cada ciclo en cada periodo, reflejando la contracción y las posibilidades de diseño de cada muestra.

Este reflejo pretende reflejar la caracterización geométrica de los resultados obtenidos ante las condiciones expuestas. Así pues, las posibilidades de integración se ven claramente

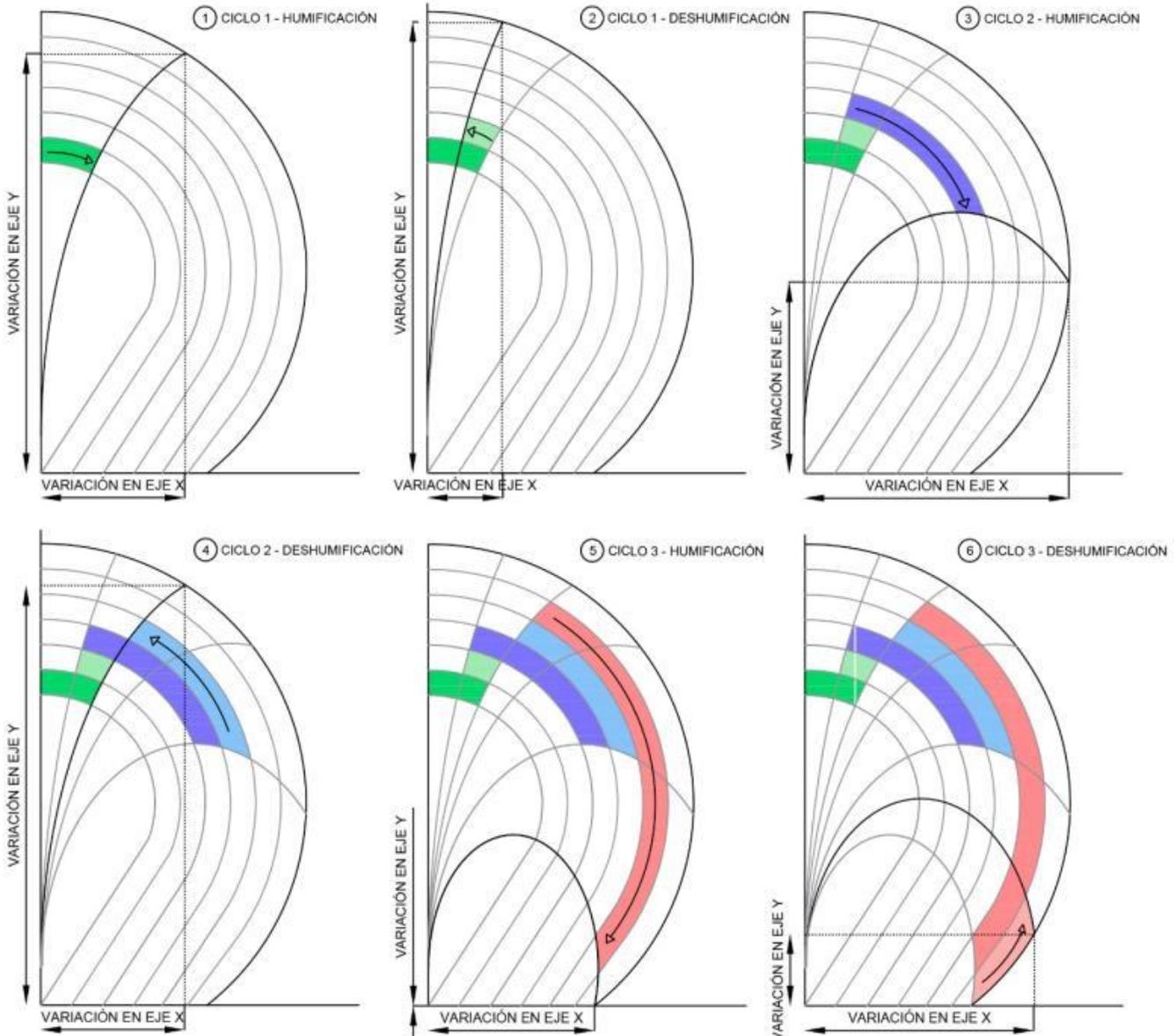


Fig. 45. Orden de lectura de las gráficas de medición (Elaboración propia).

reforzadas al entender que cada madera responde de una manera particular a los mismos estímulos. Esto da lugar a un sinfín de combinaciones que permiten la medición de salida de vapores, entradas de luz, incidencia solar, programación y respuesta preconfigurada ante espectáculos o eventos.

Las representaciones tienen un carácter fuertemente experimental, estando regidos en todo momento por los parámetros básicos de deformación. Y, por lo tanto, los planteados sólo podrán ser usados en estos casos particulares. Sin embargo, la estrategia de representación puede ser perfectamente ajustable para futuras investigaciones y ensayos, dotando al sistema de moldeabilidad para la implantación científica futura.

El funcionamiento de la misma es el siguiente: Sobre la base planteada que recoge los parámetros constantes (altura de muestra, variación geométrica, tiempos, temperatura, ciclos) y variables de las muestras (curvatura), mostrando la evolución y el contraste de recuperación entre el periodo de saturación y recuperación que componen un ciclo, llegando hasta tres. Se establece el límite de deformación en la curvatura 0,5, siendo la deformación límite comprobada en los ensayos antes de que el sistema se girase sobre sí mismo.

F. Método de lectura

CICLO 1

- Periodo de humidificación sobre lámina en posición vertical. Sobre la primera banda de contraste se marca por coloreado la variación en su curvatura, la cual se medirá desde la línea de envolvente, ya que es el recorrido de deformación por curvatura del extremo de la muestra.

- Periodo de deshumidificación sobre lámina. Tras el primer periodo de variación geométrica, inicia el de recuperación de forma. Se toma el valor anterior como punto de origen y se traza en la siguiente banda de contraste la curvatura final recuperada al final de periodo, completando así un ciclo. Se vuelve a medir la variación geométrica por el punto extremo de la lámina contenido en la línea de envolvente.

CICLO 2 (3 y 4) y CICLO 3 (5 y 6) serán repeticiones del proceso de medición “CICLO 1”.

En lo que respecta a la hipótesis acerca de la posible caracterización geométrica de láminas activas que componen las fachadas higrotérmicas, se confirma que es posible. Y no solo es posible, además establece una nueva mirada a los ensayos higrotérmicos. Reflejando gráficamente la evolución de la curvatura en sección a lo largo de los ciclos se consigue comprimir diferentes deformaciones geométricas en una única representación.

Esto facilitaría enormemente la comparativa entre diferentes prototipos ante mismos ensayos. Estableciendo una previsión de comportamiento, se podría hablar de ficha experimental de producto. Una de las ventajas que aporta este modelo es su adaptabilidad con cualquier prototipo, independientemente de sus parámetros o dimensiones, convirtiéndolo en un sistema altamente eficaz. También plantea algunos inconvenientes. El principal es la limitación que supone la curvatura máxima. En los ensayos realizados las muestras lograban girar sobre sí mismas, dato que no se ha reflejado en las tablas, limitando su

curvatura a su encuentro con la superficie horizontal. Una posible vía de investigación futura sería la optimización de este modelo de representación, incluyendo rangos de variabilidad (índice de error), incluir variable del tiempo y la incorporación de un modelo de medición de giro más allá del límite establecido o, en su defecto, una gráfica complementaria.

V.CONCLUSIONES

- La integración de los sistemas higromórficos en fachadas aún se encuentra en estado de desarrollo. Los ensayos recientes evidencian una clara evolución en la parametrización de las láminas utilizadas. Pese a ello, las preconfiguraciones necesarias para personalizar la deformación de la madera entorpecen el camino de la investigación debido a su alta complejidad de realización. Este ensayo demuestra que las láminas de madera sin ningún tipo de tratamiento, y con la dirección de fibra adecuada, responden ante estímulos externos determinados de manera efectiva y medible. Esto facilitaría el aprovechamiento de residuos de aserraderos y fábricas de contrachapados. Destinando un pequeño porcentaje de los residuos, cumplidores de unos requisitos mínimos, se contribuiría a la gestión eficiente de recursos naturales y a la reducción de impacto ambiental, no solo mediante su funcionamiento y materialidad, también por su proceso fabricación.

- De manera adicional, se evidencia que el comportamiento higromórfico de según qué tipos de madera es superior o inferior en ensayos idénticos. La geometrización de la curvatura facilita esta conclusión. Como desventaja ante el objetivo de parametrizar el comportamiento de las muestras, con

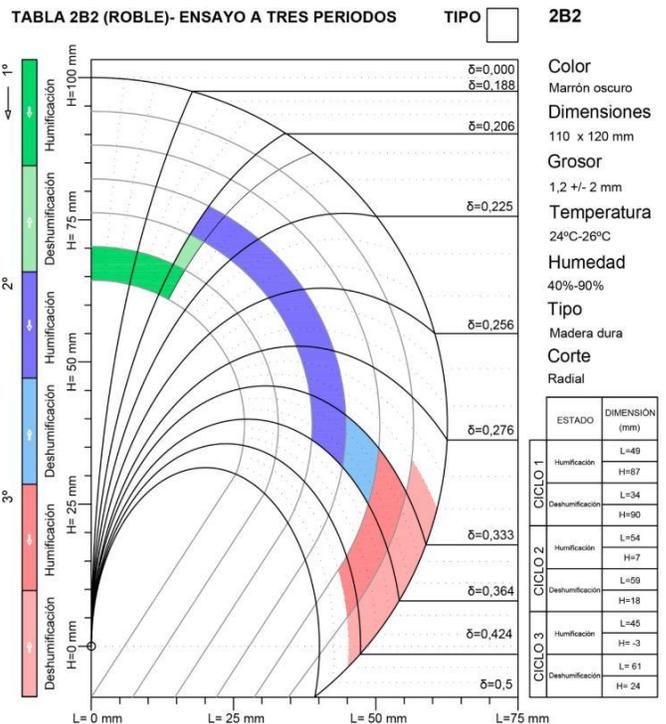


Fig. 46. Ejemplo de Tabla del gráfico 2B2 de medición experimental (Fuente: Elaboración propia).

favorecedores resultados, se concluye que éstas solo serán replicables en condiciones idénticas a las planteadas, condicionando su implantación. Así pues, la tesis facilita el entendimiento de la metodología a aplicar para regular el comportamiento de futuros prototipos, abriendo futuros campos de investigación.

- La implantación exterior de los sistemas dotaría a los espacios públicos una mejora estética y conceptual del entorno. Su funcionamiento cambiante favorecería la experiencia del individuo. Sin embargo, la deformación medible en la curvatura de las muestras está incuestionablemente marcada por su condición de ensayo. Los parámetros de incidencia en un sistema implantado arquitectónicamente contarán con periodos de irregularidad que modificarán la capacidad responsiva de la muestra ante los ciclos. Esta irregularidad prevista será originada por variaciones climáticas y variaciones en fuentes de emisión de vapor. Por lo tanto, el entendimiento del entorno de implantación jugará un papel condicionante en la implantación del sistema; previendo un mejor comportamiento de unas láminas sobre otras según el uso que se le destine. Por ejemplo, las láminas de haya se aplicarían en sistemas de emisiones de vapor controladas; las de roble para exteriores, debido a su capacidad resistente sobre el resto; y las de caoba para entornos de poca variación de humedad relativa.

- Esto no eximiría al sistema de peligros de rotura ante la presión del viento o de la carcoma provocado por los xilófagos. Es por el ello, que los diferentes recubrimientos aplicados en la madera garantizan una conservación íntegra del material ante periodos repetidos, alargando su vida útil. En contraparte al punto anterior, perjudicarían la funcionalidad al comprometer su superficie de absorción, incluso llegando a impermeabilizarlo completamente en el caso del barniz. Las láminas recubiertas por lasur sí manifestaban su respuesta ante la exposición de vapor. Lamentablemente, las tensiones interiores generadas en los poros por el producto, tras su proceso de secado, condicionaron su forma origen y la línea de envolvente que este debía seguir. La siguiente fase que continuaría el trabajo actual sería la propuesta de estandarización de métodos de recubrimiento efectivo en las láminas de madera componentes de sistemas higromórficos. Lo cual ampliaría exponencialmente los usos y aplicaciones del sistema según el recubrimiento suministrado.

REFERENCIAS

Cardoso-Hernández, I.; Luna-Nemecio, J. M.; Gouttefanjat, F. 2022. Sustentabilidad y crisis climática global: tecnologías ambientalmente regenerativas como fuerzas productivas de la humanidad”. Religación. Revista de ciencias sociales y humanidades.

García Esteban, L.; Guindeo Casasús, A.; de Palacios de Palacios, P. “Maderas de Coníferas. Anatomía de géneros. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes.

“Aqualigmun”, caracterización experimental de sistemas higromórficos. "Aqualigmun", experimental characterisation of hygromorphic systems.

García Esteban, L.; Gril, J.; de Palacios de Palacios, P.; Guindeo Casasús, A., 2004. Reduction of wood hygroscopicity and associated dimensional response by repeated humidity cycles. Cátedra de Tecnología de la Madera, Departamento de Ingeniería Forestal, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid, Laboratoire de Mécanique et Génie Civil, Université Montpellier, France.

Holstov, A.; Farmer, G.; Bridgens, B.; Morris, P. 2015. Towards sustainable adaptive building skins with embedded hygromorphic responsiveness. Advanced building skins. ResearchGate.

Holstov A.; Farmer, G.; Bridgens, B., 2016. Implementing hygromorphic wood composites into responsive building skins. ResearchGate.

Peraza Oramas, C. “La madera y sus propiedades”. A.I.T.I.M

Peraza Sánchez, F. “Protección preventiva de la madera”

Pérez Cabrera, D. S.; Lozano Peña, J. E., 2019. Caracterización del comportamiento higromórfico de unA doble capa en madera bajo las características climáticas de la ciudad de Bogotá. CLEM.



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.