

RESPUESTA DE LOS MUROS DE QUINCHA AL RIESGO DE CONDENSACIÓN¹

RESPONSE OF WATTLE AND DAUB WALLS TO CONDENSATION PROBLEMS

RESPOSTA DAS PAREDES DE QUINCHA AO RISCO DE CONDENSAÇÃO

Maria Guadalupe Cuitiño-Rosales

Doctora en Ciencias Exactas
Investigadora Asistente de CONICET
Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria – UNCuyo, Profesora de Trabajos Prácticos de la Universidad de Mendoza
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), San Rafael, Argentina
<https://orcid.org/0000-0002-0021-5648>
gcuitino@mendoza-conicet.gob.ar

Alfredo Esteves-Miramont

Doctor en Arquitectura
Director de la Diplomatura en Arquitectura Sustentable, Investigador principal del Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía,
Profesor de la carrera de Arquitectura de la Universidad de Mendoza,
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Mendoza, Argentina
<https://orcid.org/0000-0001-5212-9293>
aesteves@mendoza-conicet.gob.ar

Laura Elizabeth Najar

Master en Ingeniería ambiental
Profesora de la carrera de Ingeniería química
Universidad Nacional de Cuyo, San Rafael, Argentina
<https://orcid.org/0000-0003-4049-4503>
lnajar@fcai.uncu.edu.ar

1 Se expresa especial agradecimiento a la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación y al Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica (FONCYT), proyecto joven PICT 04500, por el apoyo recibido para la realización de este artículo de investigación.

RESUMEN

La respuesta de los muros de tierra frente a la humedad es un tema de relevancia al momento de evaluar la condensación superficial e intersticial. Por ello, en el siguiente artículo se analizó el comportamiento frente a la humedad de tres construcciones con muros de quincha, teniendo en cuenta las diferentes capas de revoque de barro y de cañas de Castilla. Primero, se evaluó respecto de la Norma Iram 11.625 y con los datos de temperatura exterior de diseño, la temperatura interior de diseño y las propiedades térmicas de los materiales. Se obtuvieron los valores de temperatura superficial y de rocío para cada caso. Se observó que, en ningún caso, se produjo condensación superficial y que en la capa cercana a la caña exterior existía, en todos los casos, la posibilidad de condensación intersticial, la cual puede ser optimizada mediante el uso de una aislación por la cara exterior o interior según la condición climática. A partir de mediciones in situ con dataloggers hobo, se tomaron registros de temperatura y humedad relativa interior y exterior para invierno. Se trazaron las curvas de temperatura superficial y de rocío y se advirtió que en todos los casos los valores de la temperatura de rocío son menores a la temperatura superficial, verificándose la falta de condensación superficial.

Palabras clave

quincha, humedad relativa, condensación superficial, condensación intersticial.

ABSTRACT

The response of earthen walls to humidity is a relevant issue when evaluating surface and interstitial condensation. This article analyzed the behavior against the humidity of three buildings with wattle and daub walls, taking into account the different layers of mud plaster and Castilla reeds. First, these were evaluated using the Iram 11.625 Standard and with the outdoor design data temperature, the indoor design temperature, and the thermal properties of the materials, obtaining the surface and dew temperature values for each case. It was observed that surface condensation did not occur in any case and for interstitial condensation, in all cases, in the layer close to the exterior reed there was the possibility of condensation, which can be optimized by using insulation on the outer or inner face depending on the climatic conditions. Based on in situ measurements with hobo dataloggers, indoor and outdoor temperature and relative humidity records were taken for winter. Surface and dew temperature curves were plotted and it was observed that in all cases the dew temperature values are lower than the surface temperature, verifying the lack of surface condensation.

Keywords

wattle and daub, relative humidity, surface condensation, interstitial condensation.

RESUMO

A resposta das paredes de terra à umidade é uma questão relevante ao avaliar a condensação superficial e intersticial. Portanto, no artigo seguinte, foi analisado o comportamento de umidade de três edifícios com paredes de quincha, levando em conta as diferentes camadas de gesso de lama e de gesso de cana de Castilla. Primeiro, foi avaliado com relação ao padrão Iram 11.625 e com os dados da temperatura externa de projeto, a temperatura interna de projeto e as propriedades térmicas dos materiais. Para cada caso, foram obtidos valores de temperatura da superfície e de ponto de orvalho. Observou-se que em nenhum caso ocorreu condensação superficial e que na camada próxima à palheta externa havia, em todos os casos, a possibilidade de condensação intersticial, que pode ser otimizada pelo uso de isolamento na face externa ou interna dependendo da condição climática. Medições in situ com registradores de dados hobo foram usadas para registrar a temperatura interna e externa e a umidade relativa no inverno. As curvas de temperatura da superfície e temperatura do orvalho foram traçadas e foi observado que em todos os casos os valores da temperatura do orvalho são inferiores à temperatura da superfície, verificando a ausência de condensação superficial.

Palavras-chave

quincha, umidade relativa, condensação superficial, condensação intersticial.

INTRODUCCIÓN

El comportamiento de los muros de tierra frente a la humedad del ambiente es un cuestionamiento recurrente al momento de considerar tanto los revoques interiores como los exteriores, debido a que existe la suposición de que los muros de tierra respiran, absorbiendo y liberando la humedad del ambiente (Hung Anh y Pásztor, 2021).

La respuesta de los materiales de construcción frente a la humedad es un recurrente tema de estudio, que busca determinar cómo esta puede afectar tanto en forma positiva como negativa (Berger, Guernouti, Woloszyn, & Buhe, 2015) (del Río *et al.*, 2021) ya sea al confort del ambiente interior o a la durabilidad de dichos materiales (Arundel, Sterling, Biggin y Sterling, 1986; Hamdaoui, Benzaama, Mendili y Chateigner, 2021). Diversos autores han analizado a la tierra cruda desde un punto de vista higrotérmico, considerando que se comporta como un regulador térmico (Costa-Carrapiço, Croxford, Raslan y González, 2022; Allassaad, Touati, Levacher y Sebaibi, 2021) e higrométrico que frena y atenúa las olas de calor y estabiliza la humedad relativa interior más rápido que otros materiales de construcción, donde las paredes y el techo de la construcción deben entrar en acción como estabilizadores del ambiente (Giada, Caponetto y Nocera, 2019; Eshoj y Padfield, 1993; Padfield, 1998). Gernot Minke fue uno de los pioneros en investigar sobre la capacidad amortiguadora de los muros de tierra frente a la humedad (Minke, 2005; Colinart *et al.*, 2020). Otros trabajos se enfocan en el análisis higrotérmico de las construcciones con tierra mediante simulaciones con programas como el Energy Plus (McGregor, Heath, Shea y Lawrence, 2014; Rode y Grau, 2008; Abadie y Mendoca, 2009; Ramos y Freitas, 2011). Investigaciones realizadas en ladrillos de tierra cruda muestran la tendencia de la densidad aparente para alcanzar la humedad de equilibrio, donde a mayor densidad aparente del adobe, mayor es el porcentaje del contenido de humedad de equilibrio (Zhang, Sang y Han, 2020; Liuzzi, Hall, Stefanizzi y Casey, 2013). De acuerdo a Hall y Allinson (2009a), los materiales de tierra apisonada estabilizada la densidad seca y la porosidad aparente están inversamente relacionadas y, por lo tanto, una mayor porosidad da como resultado un aumento de la absorción capilar y de la permeabilidad al vapor de agua. Sin embargo, la capacidad total de almacenamiento higroscópico parece variar poco como resultado de los parámetros de mezcla y la granulometría de suelos (Hall y Allinson, 2009b; Hall y Casey, 2012). En el estudio realizado por Labat, Magniont, Oudhof y Aubert, (2016) sobre mezclas de paja y arcilla, se observó que presentan un efecto amortiguador de la humedad relativa. En simulaciones relacionadas a la absorción de la humedad relativa y secado de muros (Labat *et al.*, 2016; Asphaug, Andenas, Geving, Time y Kvande,

2022; Fouchal, Gouny, Maillard, Ulmet y Rossignol, 2015) se evidenció la influencia favorable de los revoques interiores de tierra (Nematchoua, Tchinda, Orosa y Andreasi, 2015).

Es así que la humedad del ambiente interior cumple un rol importante en el confort y la preservación de los materiales. En términos de confort, la humedad relativa interior debe permanecer entre 20% y 80% para cualquier condición de temperatura interior (Miranda, 2007), como también para preservar los materiales de construcción susceptibles de cambios físicos como madera y aglomerados, entre otros (Coscollano Rodríguez, 2002).

Generalmente, se trata de mantener el control sobre la temperatura, siendo esta considerada como el parámetro más importante para establecer el confort, pero es importante apuntar que cuando la humedad absoluta es constante, la humedad relativa del aire varía acorde a la temperatura reinante. De esta forma, es necesario igualmente controlar la humedad relativa de los ambientes, ya que las personas presentan una mejor tolerancia frente a una baja humedad relativa. Ahora bien, cuando la humedad relativa disminuye por debajo del 20%, se secan las mucosas y por debajo del 30% suelen producirse descargas eléctricas debido a la electricidad estática (Gea-Izquierdo, 2022). En cambio, cuando los valores de la humedad relativa de los ambientes interiores son elevados favorecen al desarrollo de organismos como son los mohos y ácaros del polvo, que pueden provocar reacciones alérgicas. Efectivamente, esta es una de las principales causas que producen afecciones de las vías respiratorias, al igual que altera el bienestar y confort de los usuarios (Martínez, Sarmiento y Urquieta, 2005).

Las humedades extremas son, así, muy perjudiciales tanto para la salud de los habitantes como para el confort térmico. En la Figura 1 se aprecia que el rango entre el 30% y el 60% de humedad relativa (para una temperatura del aire de 20°C–22°C) es el que provee las mejores condiciones ambientales, debido a que el crecimiento tanto de las bacterias como de los organismos biológicos y la velocidad a la cual ocurren las interacciones químicas se minimizan. Con una humedad relativa del 50% el promedio de la mortalidad de ciertos microorganismos aumenta; valor que disminuye si ese porcentaje cambia, ya sea hacia arriba o hacia abajo (Cárdenas Llamas y Hernández Mendoza, 2003; Style, 2022).

El efecto que produce la humedad ambiental en la salud de las personas, puede afectar la nariz, la garganta, los ojos y también se ha registrado un aumento de los problemas de asma, todos relacionados, principalmente, con las vías respiratorias, como se aprecia en la Figura 1. Adicionalmente, la humedad favorece la proliferación de las bacterias

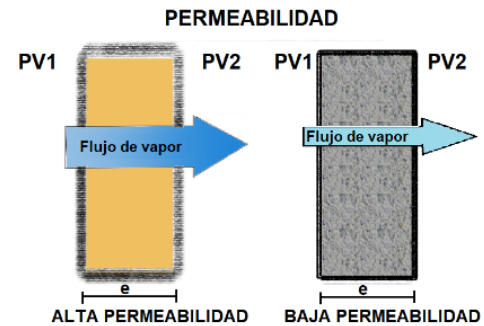
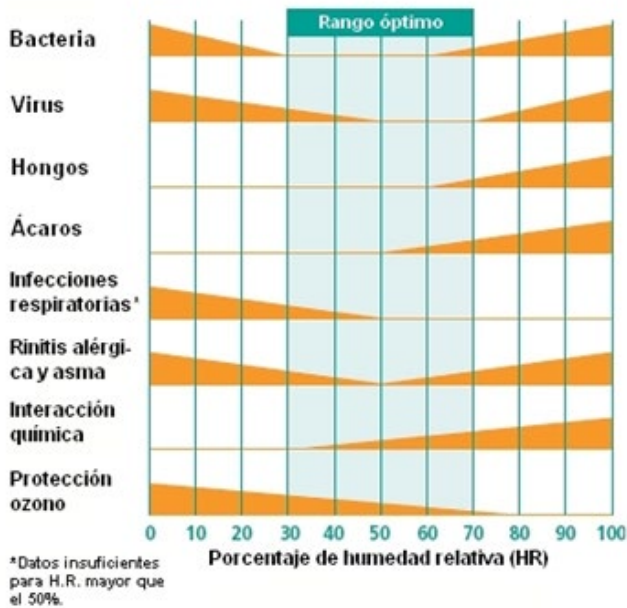


Figura 1. Rango óptimo de la humedad relativa para un ambiente sano. Fuente: Fisair, 2022, p. 2.

Figura 2. Permeabilidad y permeancia de los materiales Fuente: Elaboración de los autores a partir de Fresno (2021).

en el aire, convirtiendo al aire del interior de la vivienda en perjudicial para la salud. La única forma de solucionar estos problemas es por medio de la estabilización de la humedad relativa y la mejora de la calidad del aire del ambiente interior, para lo cual es necesario deshumidificar, en caso de que el aire sea muy húmedo y, en caso de que sea muy seco, se requiere humidificar (Cardoso, Puzhi y Zhinin, 2016). Esta es una de las razones por la que el control de la humedad relativa en el interior de las viviendas se está convirtiendo en una parte importante del análisis de la calidad del aire interior y del confort térmico.

Durante el invierno, se registran temperaturas menores del aire exterior, es decir que el aire es más frío y húmedo. Cuando este aire ingresa al interior de la vivienda, comienza a calentarse, causando la pérdida de humedad. En el interior, el aire seco absorbe humedad para alcanzar su equilibrio, instancia en la que no gana ni pierde humedad, y el aire seco absorbe la humedad de los materiales que se encuentran en el entorno inmediato como es el caso de los materiales empleados en los muros de cerramiento, causando el resecamiento de los muros, razón por la cual no es conveniente que la humedad relativa varíe rápidamente (Cárdenas Llamas y Hernández Mendoza, 2003).

CARACTERÍSTICAS DE LA HUMEDAD

Son numerosas las formas en las que la humedad se puede manifestar en una vivienda según su ubicación y procedencia: puede provenir de la construcción, del suelo, de la atmósfera, y producirse por condensación

y/o accidentalmente (Martínez *et al.*, 2005; Sanfulgencio Tomé, 2017; Romero Alonso, 2022).

En la Figura 2, se relaciona la permeabilidad que considera el diámetro que tienen los poros de los materiales de construcción y la geometría de los huecos, mismos que son responsables de otorgar al material la capacidad de permitir el paso de vapor de agua al momento de producirse una diferencia de presión entre sus caras. Cuando se relaciona la permeabilidad con el espesor del material, se puede obtener el valor de permeancia (Fresno, 2021).

Se considera a la condensación como el fenómeno que permite que el vapor de agua presente en la atmósfera se transforme en agua líquida al enfriarse. Es importante comprender algunas definiciones asociadas a la humedad, tales como la humedad relativa y el punto de rocío. La humedad relativa (HR) es la cantidad de agua que se encuentra en el aire a una determinada temperatura, con respecto a la cantidad máxima de vapor de agua que el aire puede contener a esa temperatura en condiciones de saturación. Si se tiene una cierta cantidad de vapor de agua en el ambiente a una cierta temperatura, el "punto de rocío" viene a ser aquella temperatura mínima a la cual el ambiente se satura de vapor de agua. Por lo tanto, mientras la temperatura del aire se mantenga por sobre la de rocío no habrá condensación, no obstante, si la temperatura del aire baja habrá condensación (Corporación de Desarrollo Tecnológico y Cámara Chilena de la Construcción, 2012).

De acuerdo con Minke (2005), el barro tiene la capacidad de adsorber y liberar humedad más

Nombre del proyecto		
CARACTERISTICAS DEL LUGAR		
Nombre de la localidad:		Mendoza
Altura sobre el nivel del mar:	m	823
Zona bioambiental: (x)		4
Tipo de cerramiento:		M
Temperatura interior de diseño invierno: (x)	°C	18
Temperatura exterior de diseño invierno: (x)	°C	-0.3
Humedad relativa interior de diseño :	%	69
Humedad relativa exterior de diseño:	%	90
Presión de vapor interior:	kPa	1.59
Presión de vapor exterior:	kPa	0.60
CARACTERISTICAS DEL CERRAMIENTO		
Denominación		
Resistencia de cámara de aire invierno:	m ² .K/W	
Resistencia superficial interior invierno:	m ² .K/W	0.17
Resistencia superficial exterior invierno:	m ² .K/W	0.04
Coefficiente absorción (color) sup.exterior:		0.75
Resistencia de cámara de aire verano:	m ² .K/W	
Resistencia superficial interior verano:	m ² .K/W	
Resistencia superficial exterior verano:	m ² .K/W	

Figura 3. Datos generales para la verificación del riesgo de condensación. Fuente: Elaboración de los autores a partir de Gonzalo, Ledesma, Nota y Martínez (2000, p. 2).

rápidamente y en mayor cantidad que los demás materiales de construcción. Según estudios realizados por el Laboratorio de Construcciones experimentales de la Universidad de Kessel, cuando la humedad relativa interior se encuentra entre 50% y 80%, luego de dos días, los bloques de barro son capaces de adsorber 30 veces más de humedad que los ladrillos cocidos en iguales condiciones. Los morteros de arcilla tienen la propiedad de regular la humedad relativa del aire y la temperatura ambiente, como todo producto de tierra cruda, pero la capacidad de absorción de humedad puede variar bastante dependiendo de la técnica y de la composición del material empleado e, incluso, de los aditivos que se incorporen a la masa como estabilizantes (Castilla, 2004). Estos morteros, por estar compuestos básicamente con tierra arcillosa, son vulnerables a la acción directa del agua. Es el caso de los muros revocados con mezclas de arcillas que son propensos a absorber el agua de lluvia por capilaridad. Así también, la humedad absorbida es eliminada como vapor de agua durante el secado. Está comprobado que este producto busca permanentemente el equilibrio con la humedad relativa del aire del ambiente donde se usa como revestimiento y que permite la respirabilidad del muro que recubre, por eso es importante valorar, en términos experimentales, la capacidad de paso de vapor de agua o la permeabilidad que pueden presentar los cerramientos de tierra (González Serrano, 2015)

A partir de la premisa de que los muros de tierra son propensos a ser afectados por la humedad ambiental

y que también tienen la capacidad de absorber y liberar humedad de acuerdo con los requerimientos del ambiente interior hasta lograr un equilibrio higrotérmico, resulta necesario medir *in situ* el comportamiento real de viviendas con muros de tierra. En este trabajo, se presenta la respuesta de los muros de quincha frente a la humedad relativa ambiental y la posibilidad de la condensación intersticial y superficial de acuerdo con la normativa vigente en Argentina y su comparación con registros experimentales de humedades relativas.

METODOLOGÍA

En una primera etapa de estudio, para el análisis de la condensación superficial e intersticial de los muros de quincha, se realizó un análisis teórico en base a datos suministrados por la normativa IRAM 11625 (2000) para la verificación del riesgo de condensación en muros. Los datos utilizados para el análisis fueron: la temperatura de diseño interior para invierno, la temperatura exterior de diseño para invierno, la humedad relativa interior y exterior de diseño y la resistencia superficial interior y exterior para invierno, como se muestra en la Figura 3. Luego, se completaron los datos relativos a las propiedades térmicas de los materiales que componen el muro de cerramiento que, en este caso, corresponde al muro de quincha, compuesto principalmente por barro y cañas. Los datos requeridos fueron: el espesor de cada capa del

PLANILLA PARA LA INCORPORACION DE DATOS PARA CADA CAPA DEL CERRAMIENTO												
		VERIFICA K		SI/NO		VERIFICA QUE NO CONDENSA						
		MINIMO		NO VERIFICA		SUPERFICIAL		SI VERIF.				
		RECOMEN.		NO VERIFICA		INTERSTICIAL		SI VERIF.				
		ECOLOGICO		NO VERIFICA								
Nº Elem.	CAPAS	Espe-sor m	Conduc-tividad W/m.K	Resist. térmica m².K/W	Peso Espec. Kg/m³	Peso Unit. Kg/m²	Permea-bilidad g/m.h.KPa	Per-meancia g/m².h.kPa	Resist. vapor tot. m².h.kPa/g	Presión vapor kN/m²	Temp. real (°C)	Temp. rocío (°C)
	AIRE INTERIOR									1.59	18.00	0.00
	R.S.I.			0.170								
1	Revoque de barro	0.0200	1.200	0.017	1200	24.0	0.157		0.13	1.59	12.48	12.19
2	Cañas	0.0200	0.125	0.160	550	11.0	0.030		0.67	1.51	11.94	11.44
3	Cañas	0.0200	0.125	0.160	550	11.0	0.030		0.67	1.10	6.74	6.60
4	Revoque de barro	0.0200	1.200	0.017	1200	24.0	0.157		0.13	0.68	1.54	-0.21
										0.60	1.00	-1.79
	R.S.E.			0.040						0.60	-0.30	
	AIRE EXTERIOR									0.60	-0.30	
	Esesor Total:	0.080		Res.Ter.1	K=1/Rt	Peso Total			Resis.paso vapor tot.			
				0.563	1.775	70.00			1.588			

Figura 4. Planilla de cálculo de la temperatura superficial y temperatura de rocío. Fuente: Elaboración de los autores a partir de Gonzalo et al., 2000, p. 2.

muro, la conductividad térmica de los materiales y la permeabilidad (Figura 4).

Con los datos de ambas planillas se obtuvo, para cada caso, la verificación del riesgo de condensación superficial y las curvas de condensación intersticial para cada capa del muro.

Los datos de entrada para realizar el cálculo de la condensación son los siguientes: la temperatura exterior de diseño, correspondiente con la temperatura mínima de diseño expresada en la Norma IRAM 11603 (2012) de las localidades analizadas que, en este caso, son las ciudades argentinas de Mendoza capital, Uspallata y Malargüe. Para la humedad relativa exterior, se utilizó un valor del 90%. En los casos de estudios en que el destino de la construcción es para una vivienda, la temperatura interior de diseño es de 18°C, y la humedad relativa interior estará en función de la temperatura exterior de diseño correspondiente a cada localidad. Otro parámetro que se debe tener en cuenta es la resistencia térmica superficial para muros que la IRAM fija en 0.17 m²K/W para el interior y 0.04m²K/W para el exterior (Norma IRAM 11601, 2002).

Dentro de las características térmicas de los materiales involucrados en el cerramiento, influyen la conductividad térmica, la permeabilidad y la permeancia, de cada una de las capas de los muros de quincha. En este trabajo las capas están compuestas de un entramado interno de cañas de Catilla (*Arundo donax*) de diámetros entre 2cm a 3cm, relleno con una mezcla de barro conformado por arena-arcilla y paja,

de lo cual se obtiene muros terminados de un espesor entre 7cm para el primer caso y 30cm dependiendo del caso analizado y la técnica de relleno utilizada.

En segunda instancia, a partir de datos de temperatura y humedad relativa, interior y exterior, registrados con el uso de dataloggers, para las tres construcciones analizadas y las propiedades térmicas superficiales de los materiales de los muros de quincha, se determinó la temperatura superficial del muro y la temperatura de rocío, las que luego se plasmaron en dos curvas, para comparar su respuesta respecto del análisis teórico realizado en base a la Norma IRAM 11.625.

CARACTERÍSTICAS BIOCLIMÁTICAS

Ciudad de Mendoza

Mendoza se presenta como una provincia mediterránea y continental, localizada en una zona templada de clima árido a semiárido, formando parte de la región árida conocida como "Diagonal Árida Sudamericana" (Bernabeu, 2019). La causa de la aridez en Mendoza es la presencia de la Cordillera de los Andes, que actúa como una barrera que no deja pasar la humedad proveniente desde el Océano Pacífico. El efecto de esta condición orográfica es conocido como "Desierto de Sombra" (Secretaría de Medio Ambiente, 2009). Las temperaturas presentan una importante oscilación anual: en verano es cálido y las temperaturas medias están por encima de los 25 °C y, algunos días, la mínima alcanza ese valor. El invierno es frío y seco, con temperaturas medias por debajo de los 10°C, heladas nocturnas ocasionales y escasas precipitaciones. De

acuerdo con los datos recopilados por el Servicio Meteorológico Nacional (2022), para el periodo de 1991 – 2000, se puede observar cuáles son las temperaturas máximas y mínimas para cualquier época del año. La Figura 5 muestra los valores de temperatura registrada durante la década 1991- 2000 en la Estación Meteorológica Mendoza Observatorio. Para la época invernal se registró una temperatura mínima absoluta de -5.5°C y, en la época estival, el registro de la temperatura máxima absoluta fue de $39,4^{\circ}\text{C}$ (Figura 5) (longitud: $68^{\circ}52'47''$ O; latitud: $32^{\circ}53'29''$ S; altitud: 750 msnm).

Ciudad de Malargüe

La ciudad de Malargüe se encuentra a 421 Km al Sur de la ciudad de Mendoza. Corresponde a la zona bioclimática IVb y V templado-frío a frío (Norma IRAM 11.603, 2012). Tiene un clima árido de tipo continental, con precipitaciones medias de 200 mm. Malargüe se caracteriza por tener hacia el Oeste con la Cordillera de los Andes, el centro Este es ocupado por el macizo volcánico de la Payunia y el área central por la zona hundida de la Laguna del Llanquanelo, formando un humedal (EcuRed, 2021). Los veranos son frescos, con temperaturas medias entre los 19°C de $20,6^{\circ}\text{C}$, y los inviernos son fríos, con temperaturas medias de 4°C .

La Figura 6 ilustra los valores de temperatura registrados durante la década 1991- 2000 en la Estación Meteorológica Malargüe Aeropuerto: temperatura mínima absoluta de -17.2°C para la época invernal y, para la época estival, temperaturas máximas absolutas de 36°C (longitud: $69^{\circ}35'$ O; latitud: $32^{\circ}3'$ S; altitud: 1425 msnm).

Ciudad de Uspallata

Se encuentra a 110 kms de la ciudad de Mendoza, según el IRAM 11.603 (Instituto Argentino de Normalización y Certificación) pertenece a la zona bioclimática V con características de clima frío. Al igual que Malargüe, Uspallata es zona de montaña con veranos frescos y temperaturas medias de 19°C , y con inviernos fríos y temperaturas medias de 4°C . La Figura 7 exhibe los valores de temperatura registrada durante la década 1991- 2000 en la Estación Meteorológica Uspallata: temperatura mínima absoluta de -15°C para la época invernal y, para la época estival, temperaturas máximas absolutas de $36,4^{\circ}\text{C}$ (longitud: $69^{\circ}33'$ O; latitud: $32^{\circ}6'$ S; altitud: 1891 msnm).

RESULTADOS

A partir de los datos teóricos obtenidos anteriormente, se completó la planilla del programa CEEMACON.xls (Gonzalo et al., 2000) y se determinaron las curvas de la

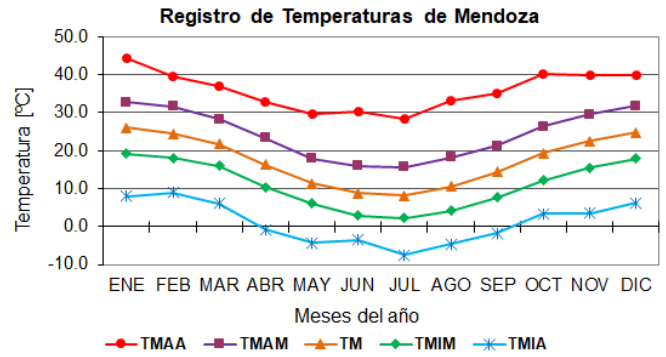


Figura 5. Temperaturas máximas y mínimas absolutas y medias mensuales para Mendoza. Fuente: (Esteves Miramont, 2017). TMAA = Temperatura máxima absoluta ($^{\circ}\text{C}$). TMAM = Temperatura máxima media ($^{\circ}\text{C}$). TM = Temperatura media ($^{\circ}\text{C}$). TMIM = Temperatura mínima media ($^{\circ}\text{C}$). TMIA = Temperatura mínima absoluta ($^{\circ}\text{C}$). Fuente: Esteves Miramont (2017, p. 185).

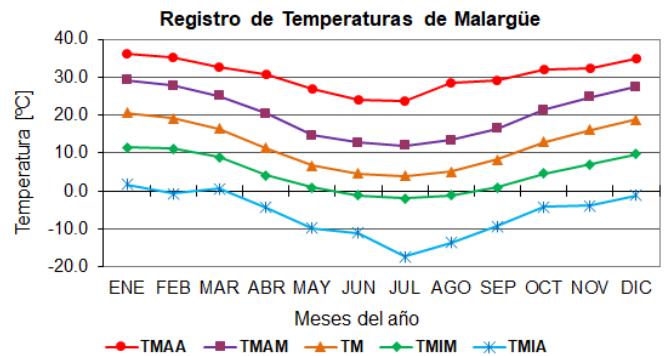


Figura 6. Temperaturas máximas y mínimas absolutas y medias mensuales para Malargüe. Fuente: Esteves Miramont (2017, p. 185).

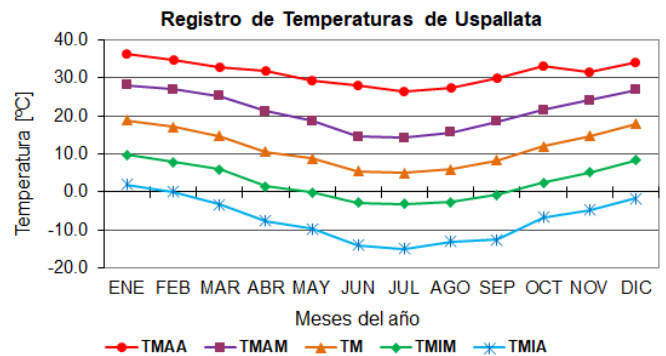


Figura 7. Temperaturas máximas y mínimas absolutas y medias mensuales para Uspallata. Fuente: Esteves Miramont (2017, p. 185).

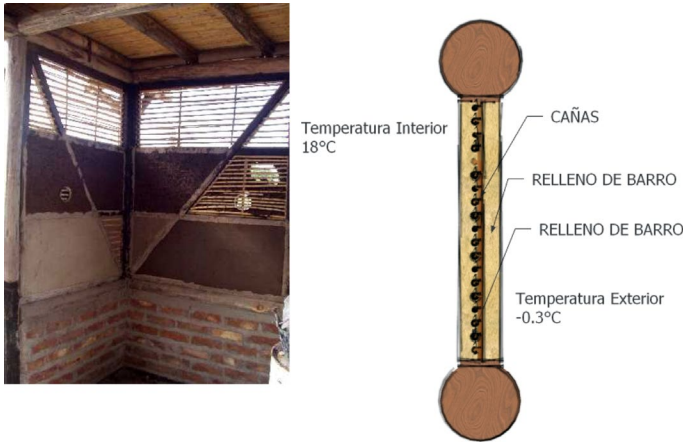


Figura 8. Taller experimental en etapa de construcción. Detalle de armado del muro de quincha. Fuente: Elaboración de los autores.

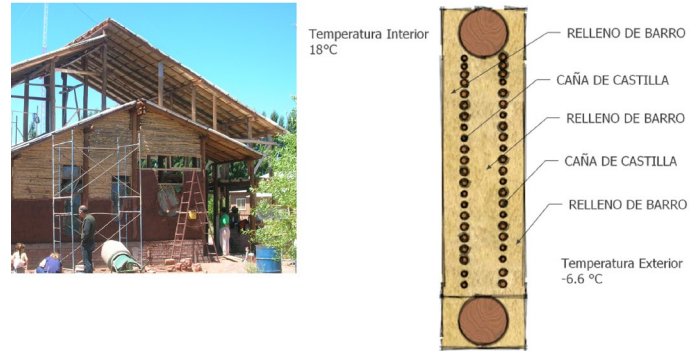


Figura 10. Eco Hostel Internacional de Malargüe, en la etapa de construcción. Fuente: Elaboración de los autores.

VERIFICACION CONDENSACION SUPERFICIAL TALLER

CONDICIONES SUP. INT.	UNIDAD	VALOR	VERIFICACION
Presión de vapor interior	kPa	1.59	
Presión de vapor exterior	kPa	0.60	
Diferencia de temperatura (Ti-Te)	°C	18.30	
Resistencia superficial interior	m ² .K/W	0.17	
Caída de temperatura en la sup. int.	°C	5.52	
Temperatura de la superficie interna	°C	12.48	
Temperatura de rocío sup. int.	°C	12.19	NO CONDENSA

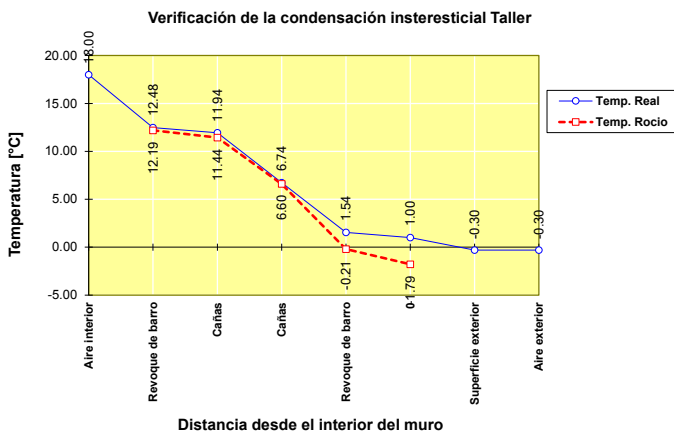


Figura 9. Verificación de condensación superficial y de condensación intersticial del taller experimental. Fuente: Elaboración de los autores.

temperatura de rocío y la temperatura real de cada capa, definiéndose así la presencia de riesgo de condensación superficial y/o intersticial.

ANÁLISIS TEÓRICO: VERIFICACIÓN DE LA CONDENSACIÓN SUPERFICIAL E INTERSTICIAL

Caso 1: Taller experimental (T.E)

Para el caso del Taller experimental construido con quincha y emplazado en la ciudad de Mendoza, se observa el muro de quincha analizado, que está constituido por

un entramado de cañas de Castilla en el medio del muro, y luego se rellena con una mezcla de barro, compuesto por arena – arcilla y paja, para obtener un muro de 0,075m de espesor (Figura 8).

Con los datos de las propiedades del aire interior, del aire exterior y de los materiales del muro, se obtuvo la verificación del riesgo de la condensación superficial y las curvas de condensación intersticial (Figura 9). Se verificó que no se producía condensación superficial, debido a que la temperatura superficial del muro es siempre mayor a la temperatura de rocío. Asimismo, no hay condensación intersticial en ninguna de las capas del muro, sin embargo, se advierte que, en la zona cercana a la caña cercana al exterior, la temperatura real es muy cercana a la temperatura de rocío, con el riesgo que conlleva si llegara a condensar. Por lo tanto, para evitar que se produzca alguna condensación intersticial, se podría pensar en mejorar el comportamiento del muro por medio de la incorporación de un material aislante o elemento que trabaje como barrera de vapor sobre la cara interior (Fernández y Esteves, 2004; Beinhauer, 2009).

Caso 2: Eco Hostel Internacional de Malargüe

El segundo ejemplo corresponde al Eco Hostel Internacional, en el Departamento de Malargüe, al Sur de la provincia de Mendoza. Para la construcción del mismo, se emplearon materiales de la zona, entre ellos, arcilla, cañas, madera y paja. Los muros de quincha están conformados con un entramado de cañas de Castilla a modo de encofrado. Después, se relleno con barro entre las cañas y como terminación de los muros, se cubrieron con la misma mezcla de barro (Figura 10), para alcanzar un espesor de muros entre 0.20m y 0.30m de espesor. Para este análisis se consideró un espesor medio de 0,25m de espesor.

VERIFICACION CONDENSACION SUPERFICIAL HOSTEL

CONDICIONES SUP. INT.	UNIDAD	VALOR	VERIFICACION
Presión de vapor interior	kPa	1.47	
Presión de vapor exterior	kPa	0.38	
Diferencia de temperatura (Ti-Te)	°C	24.60	
Resistencia superficial interior	m ² .K/W	0.17	
Caída de temperatura en la sup	°C	5.38	
Temperatura de la superficie int	°C	12.62	
Temperatura de rocío sup. int.	°C	10.15	NO CONDENSA

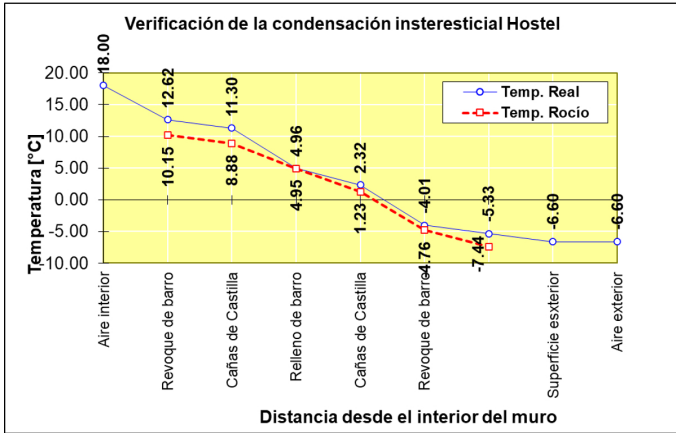


Figura 11. Verificación de condensación superficial e intersticial del Eco Hostel Internacional de Malargüe. Fuente: de los autores.

A partir de los datos climáticos del lugar, según la Norma IRAM 11603 y las propiedades térmicas de los materiales que constituyen el cerramiento, se obtuvo el comportamiento frente a la condensación del muro de quincha para la zona fría de Malargüe y se verificó que, en teoría, no se produce condensación superficial y tampoco condensación intersticial (Figura 11). Sin embargo, en la capa cercana a relleno de barro se aprecia la posibilidad de que exista condensación. En tal situación es necesario recurrir al agregado de una barrera de vapor. Es recomendable aislar los muros por la cara exterior para disminuir el riesgo de condensación intersticial, debido que el muro estará a una temperatura más cercana a la temperatura interior, lo que contribuye a que no se alcance la temperatura de rocío en la parte interior. Si se toma la opción de aislar por la cara interior, el muro será más frío y el riesgo de condensación intersticial aumentará, por lo que se requerirá emplear una barrera de vapor por el lado interno de la vivienda para eliminar la posibilidad de condensación intersticial (Corporación de Desarrollo Tecnológico y Cámara Chilena de la Construcción, 2012).

Caso 3: Salón de Usos Múltiples (SUM)-Uspallata

El tercer análisis que se presenta corresponde a un Salón de Usos Múltiples (SUM) en la localidad de Uspallata al Norte de la provincia de Mendoza. Aquí los muros utilizados son de 0.30m de espesor, casi tres veces más ancho que los empleados en T.E. Los muros de quincha están conformados por cañas de 2,5cm o 3cm en forma horizontal, y se dispusieron separadamente en dirección vertical cada 10cm, clavados de columna a columna, tanto en la cara exterior como en la interior del muro (Figura 1). Luego, se

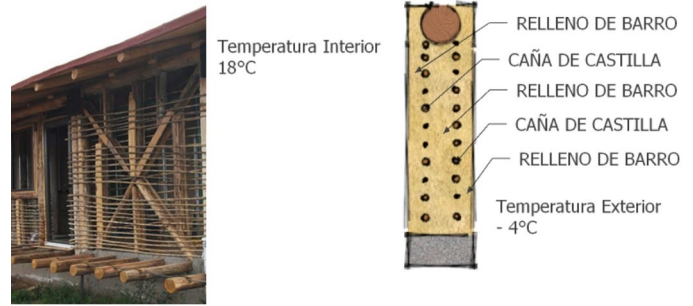


Figura 12. Salón de Usos Múltiples en etapa de construcción. Detalle de armado del muro de quincha. Fuente: Elaboración de los autores.

VERIFICACION CONDENSACION SUPERFICIAL HOSTEL

CONDICIONES SUP. INT.	UNIDAD	VALOR	VERIFICACION
Presión de vapor interior	kPa	1.47	
Presión de vapor exterior	kPa	0.38	
Diferencia de temperatura (Ti-Te)	°C	24.60	
Resistencia superficial interior	m ² .K/W	0.17	
Caída de temperatura en la sup	°C	5.38	
Temperatura de la superficie int	°C	12.62	
Temperatura de rocío sup. int.	°C	10.15	NO CONDENSA

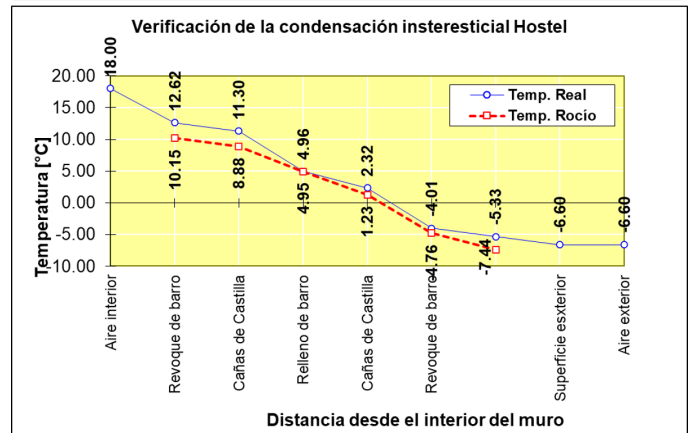


Figura 13. Verificación de condensación superficial y de condensación intersticial del Salón de Usos Múltiples. Fuente: Elaboración de los autores.

procedió al llenado del muro con la misma mezcla de barro del caso anterior, arena – arcilla y paja, hasta cubrir toda la estructura de madera y lograr el espesor de 30cm.

Se verificó que no existe riesgo de condensación superficial y tampoco de condensación intersticial, como se ve en la Figura 13. Sin embargo, al igual que en los casos anteriores, existe la posibilidad de condensación superficial y, como se indicó, es necesario recurrir al agregado de una barrera de vapor que deberá colocarse siempre en el lado más cálido del cerramiento: aquí debería ser en la parte interior del muro.

DISCUSIÓN

Para corroborar el comportamiento de los muros de quincha de las tres construcciones analizadas en el punto

anterior, frente a la condensación superficial y poder comprar los resultados teóricos obtenidos a partir de la Norma IRAM, con los valores de mediciones *in situ* se dispusieron dataloggers tipo Hobo modelo H08-003-02 -que tiene un rango de medición de la humedad relativa del 25% al 95% (Onset, 2022)- para la medición de la temperatura y humedad del Taller experimental y, para el Ecohostel Internacional de Malargüe y el Salón de Usos Múltiples se emplearon dataloggers tipo Hobo U12, que registran datos de temperatura y humedad relativa exterior e interior, con una frecuencia de 15 minutos. La experiencia se realizó en los meses de invierno. Como se vio previamente, la humedad producida por la condensación es causada cuando el aire saturado de vapor se pone en contacto con superficies frías, como ocurre con los muros interiores de la vivienda, provocando que descienda la temperatura hasta llegar al punto de rocío. Para calcular el punto de rocío, es preciso relacionar la temperatura del aire interior con la presión de vapor y la presión de saturación. Estas tres variables están relacionadas por la ecuación 1, ecuación 2, ecuación 3 y ecuación 4 (Martínez et al., 2005).

$$T_{PR} = [6,54 + 14,526 * a + 0,7389 * a^2 + 0,09486 * a^3 + 0,4569 * (P_{v_i})^{0,1984}] \quad (1)$$

Donde:

T_{PR} : Temperatura del punto de rocío [°C]

a: Logaritmo natural de la presión de vapor.

P_{v_i} : Presión de vapor [KPa]

Los datos con los que se cuenta para determinar la temperatura de rocío son las mediciones *in situ* de la temperatura y humedad relativa del ambiente interior y exterior, con los cuales se pueden obtener las variables de presión de vapor y de saturación.

$$a = \ln(P_v) \quad (2)$$

$$P_v = H_R * P_s \quad (3)$$

$$P_s = a(b + T_i / 100)^n \quad (4)$$

Donde:

H_R [%]: Humedad relativa interior medida *in situ*

P_s [KPa]: Presión de saturación

T_i [°C]: Temperatura del aire interior medida *in situ*

a, b, n: Constantes.

Para $0^\circ\text{C} \leq T_i \leq 30^\circ\text{C}$ (a = 288,68 Pa - b = 1,098 - n = 8,02)

Para $-20^\circ\text{C} \leq T_i \leq 0^\circ\text{C}$ (a = 4,689 Pa - b = 1,486 - n = 12,30)

En la figura 14, figura 15 y figura 16 se pueden distinguir los datos de temperatura tanto exterior como interior registrados, para el estudio del Taller Experimental, del Eco Hostel de Malargüe y del Salón de Usos Múltiples.

La Figura 14 expone la respuesta higrotérmica del Taller experimental, cuyo comportamiento está asociado al uso

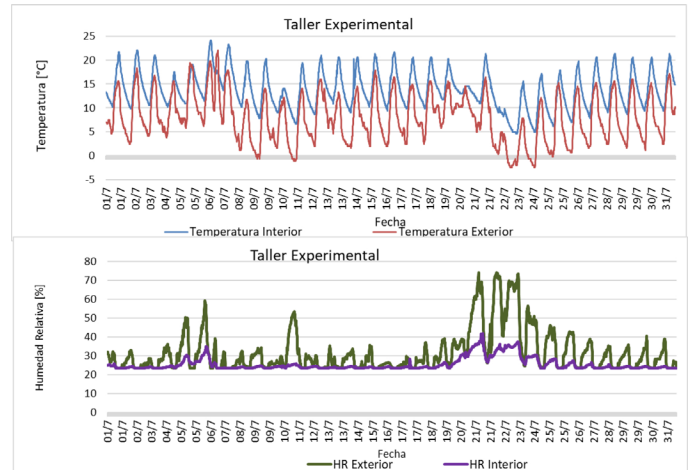


Figura 14. Medición *in situ* de temperatura y humedad relativa interior y exterior del Taller Experimental. Fuente: Elaboración de los autores.

específico del mismo, diurno exclusivamente, y relativo a tareas de armado de hornos solares, biodigestores, destiladores solares y otras propias de un taller. Durante la mañana, hay una apertura casi permanente de la puerta de ingreso, que favorece la renovación del aire interior; como consecuencia, al medio día, las temperaturas en el interior del taller se asemejan a las temperaturas en el exterior. A partir de las 16h, se concluyen las actividades y se cierra el taller, para permanecer vacío hasta la próxima jornada laboral, y es en esta instancia donde se puede observar la capacidad de aislamiento térmico de los muros de quincha.

El estudio de la respuesta higrotérmica del taller, evidenció que el datalogger empleado en la medición presentaba un valor base de partida del 25%. En el examen de las amplitudes térmicas, se pudo apreciar que la variación diaria fue entre 0,3% y 15,5%, donde la humedad relativa máxima registrada en el interior fue de 42% y respecto de la máxima exterior para el mismo instante fue de 74%. Se pudo apreciar, de esta manera, que en el interior la humedad relativa está dentro del rango óptimo de humedad. En el análisis de la temperatura interior la máxima amplitud térmica diaria fue de 12,8°C y respecto de la amplitud térmica exterior tomado en el mismo momento fue de 15°C. Para el periodo registrado se midió en el interior del taller una temperatura mínima y máxima de 4,5°C y 24°C y, en el mismo instante, los valores en el exterior fueron de -1.9°C y 19°C, respectivamente.

El Eco Hostel de Malargüe está emplazado en una región de muy bajas temperaturas donde se debe contar con inercia térmica en los muros para mejorar su comportamiento. El sensor interior se ubicó en la sala de estar, que corresponde a un área de uso compartido y dentro de la distribución arquitectónica está localizada en una zona media. La Figura 15 muestra las curvas de temperatura y humedad relativa interiores y exteriores, de lo que se infiere que en el interior se alcanzan temperaturas con baja amplitud térmica, con variaciones

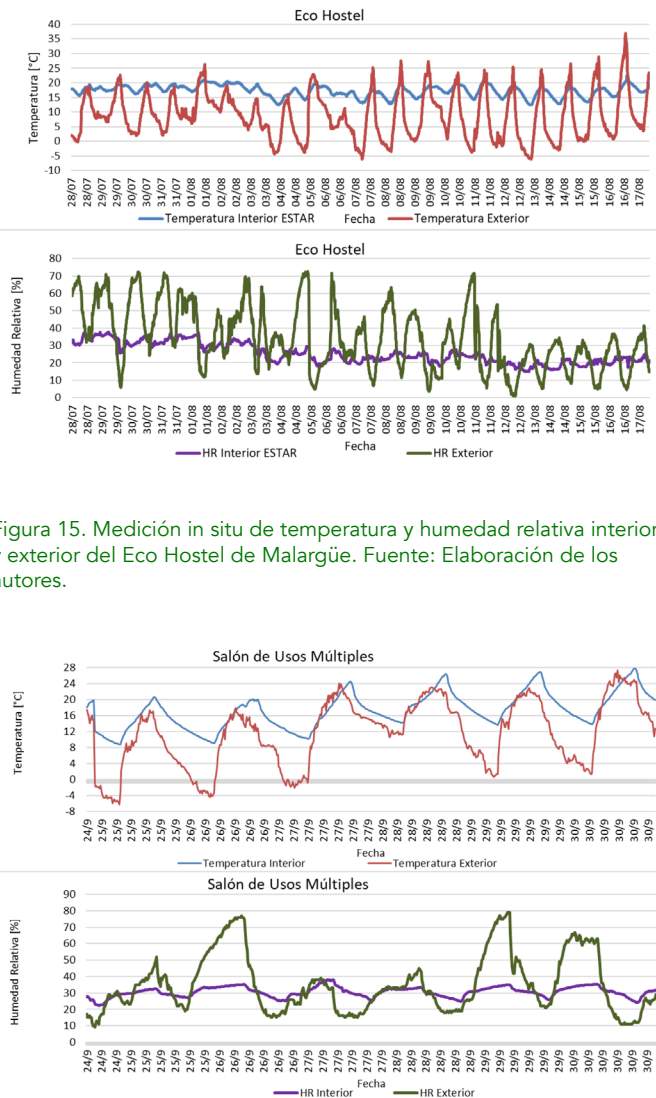


Figura 15. Medición in situ de temperatura y humedad relativa interior y exterior del Eco Hostel de Malargüe. Fuente: Elaboración de los autores.

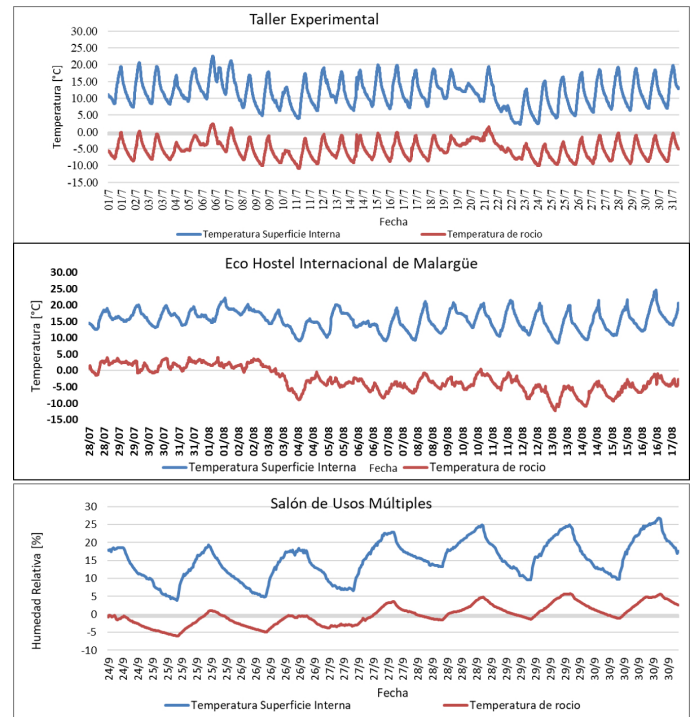


Figura 17. Temperatura de la superficie interior y temperatura de rocío del Taller Experimental, Eco Hostel y Salón de Usos Múltiples. Fuente: Elaboración de los autores.

Figura 16. Medición in situ de temperatura y humedad relativa interior y exterior del Salón de Usos Múltiples. Fuente: Elaboración de los autores.

de entre 2,5 y 5°C, respecto de las amplitudes térmicas exteriores que varían en un rango diario entre 19°C y 30°C, con una mínima interior registrada en todo el período de 12°C, para una exterior en ese mismo momento de -5.8°C aproximadamente, y una máxima registrada en todo el período de 22°C, para una exterior simultánea de 33°C; esto producido seguramente por un viento zonda ocasional. Respecto de la humedad relativa también se aprecia una estabilidad higroscópica. Así, la amplitud diaria promedio de la humedad relativa tiene una variación entre 4,5% a 13,2%, respecto del exterior que muestra una variación diaria de la amplitud entre 28% y 56%, respectivamente. Se advierten valores máximos y mínimos interiores para todo el periodo medido de 37,9% y 14,8%, respectivamente, y para el mismo instante en el exterior se registraron 66,8% y 24%.

En el último caso, la construcción del Salón de Usos Múltiples, los sensores fueron puestos en el área de

uso común del salón, el cual es utilizado para realizar actividades de reuniones, de yoga, y también todas actividades diurnas. En cuanto a la temperatura exterior (Figura 16), se registró una mínima de -6,3°C y máximas de 17,3°C, de lo cual resulta una amplitud térmica diaria de 23,6°C, mientras que en el interior, simultáneamente, se registró una temperatura mínima y máxima de 8,8°C y 19°C, respectivamente, y una amplitud diaria de 10,2°C (dicha amplitud diaria es estable en 13°C durante el periodo de medición). Se debe aclarar que, durante la medición, no se estaba haciendo uso del lugar y este no contaba con ningún sistema de calefacción. Respecto de la humedad relativa exterior, se registró un valor mínimo y máxima diaria del 19% y 60%, respectivamente, y en el mismo instante en el interior del Salón se apuntaron valores de 27,4% y 33,2%, con oscilaciones de entre 6,7% y 12,7%, respecto del exterior cuyas oscilaciones fueron de entre el 24% y el 62%.

Para cada uno de los datos medidos in situ de temperatura y humedad relativa y con el uso de las ecuaciones 1 a 4 (Martínez *et al.*, 2005), se obtuvo la temperatura superficial interior (Aria Jiménez y Bobadilla Moreno, 2017) de los muros de quincha y el de la temperatura de rocío, que se ve graficada en las curvas de la Figura 17.

En todos los casos se aprecia que la temperatura de rocío se mantuvo por debajo de la temperatura superficial, corroborando la falta de la condensación superficial (Fabbri y Morel, 2016). A pesar de que los resultados teóricos basados en los datos de la Norma IRAM 11.625,

los valores de temperatura superficial interior y los datos de temperatura de rocío son casi iguales, al compararlos con los obtenidos a partir de mediciones reales, existen diferencias que permiten afirmar que los muros de quincha tienen una buena respuesta frente a la humedad relativa, al absorber humedad cuando la humedad ambiental es elevada y liberándola cuando el ambiente es más seco, logrando de esta forma una estabilidad ambiental (Bruno, Gallipoli, Perlot y Kallel, 2020) (Lee, Ozaki y Cho, 2018).

CONCLUSIONES

Los muros de quincha se caracterizan por su entramado interior de caña o de listones de madera y su relleno de barro, que otorga espesores variables de acuerdo con la técnica empleada y a la zona de emplazamiento. El comportamiento de los muros de quincha respecto de la humedad del ambiente siempre había presentado una incógnita (Indekeu, Feng, Janssen y Woloszyn, 2021). A partir de este estudio se pudo verificar, tanto en forma teórica como experimental, que los muros tienen una respuesta favorable frente a condensación superficial o intersticial (Vereecken, Gelder, Janssen y Roels, 2015). En concreto, se abordó tres casos de estudio: el Taller experimental para trabajo diurno, el Hostel con uso habitacional permanente y el SUM, medido sin ser ocupado por personas.

Los tres casos analizados están emplazados en la provincia de Mendoza, Argentina. En capital el clima es templado frío y Malargüe y Uspallata es zona fría de montaña. En la zona de montaña fue necesario trabajar con espesores de muros de 30cm, y en la zona templada fría, se pudo trabajar con un espesor de muro de 7,5cm, debido a que el destino de la obra como taller de trabajo no requería de espesores mayores. El análisis mostró que existe estabilidad de la humedad relativa interior, con un rango promedio de valores entre el 15% y el 40% (Hall y Allinson, 2009a), que favorece al confort higrotérmico y se mantiene alejado del rango que favorece la proliferación de mohos, ácaros e infecciones respiratorias (Sedlbauer, 2002).

En términos del comportamiento de los muros frente a la condensación intersticial, se aprecia que, en todos los casos, en la capa cercana a la caña exterior se presenta la posibilidad de la condensación intersticial (Janssen y Roels, 2009). Comúnmente, en una construcción tradicional la solución, ante lo anterior, sería incorporar en la cara externa del muro un material aislante con baja conductividad térmica (Romero Alonso, 2022; Colinart, y otros, 2020; Hung Anh y Pásztor, 2021), debido a que esto aleja el riesgo de condensación intersticial. El material a utilizar puede ser una placa de poliestireno expandido (conductividad térmica 0.035 W/mK) sujeta con una malla metálica y revocada con una mezcla cementicia o también. La aislación se puede realizar con espuma de poliuretano proyectado (conductividad térmica 0.027 W/mK) sobre la fachada exterior y la terminación, con placas de yeso.

En el caso de que se optara por disponer la aislación en el medio del muro, sería necesario la incorporación de una barrera de vapor con la finalidad de disminuir el riesgo de condensación intersticial; proceso que debería ser estudiado en detalle para incorporar materiales que fueran compatibles con la tecnología natural y sustentable planteada aquí.

Efectivamente, se promueve el uso de materiales de origen natural (Lee *et al.*, 2018) en la construcción de los muros, donde la tierra, la paja y la caña o listones de madera son los principales materiales que conforman los muros de quincha, y una de las principales características que se pretende preservar es la capacidad del muro de absorber y "desorber" la humedad ambiental (Hendry, 2001), para trabajar como el "pulmón natural" de la vivienda. Con esta premisa establecida, a fin de optimizar el cerramiento de los muros, ya sea que estén construidos o en etapa de proyecto, la opción más recomendable sería incorporar un material aislante lo más cercana a la cara exterior del muro. Como solución, se optó por una capa de mezcla de barro aligerado en la cara externa para que trabajara como aislante natural. De acuerdo al trabajo desarrollado por Minke (2005), el barro alivianado (densidad de 750 Kg/m³) presenta un valor de conductividad de referencia de 0,20W/mK y la permeabilidad es de 0,225 g/m h KPa, la cual se puede incorporar en forma sencilla humedeciendo la base de tierra del muro existente para que se produzca la fusión entre el barro existente y el que se aplicará con el propósito de mejorar la aislación térmica del muro. La terminación del muro debe efectuarse con un revoque de cal.

A futuro, sería interesante medir la capacidad que tienen los distintos materiales de los muros de absorber humedad del aire y entregarla posteriormente, frente a condiciones propicias, al aire interior.

AGRADECIMIENTOS

Se expresa agradecimiento especial a la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación y al Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica (FONCYT), proyecto joven PICT 04500, por el apoyo recibido para la realización de este artículo de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abadie, M. y Mendoca, K. (2009). Moisture performance of building materials: from material characterization to building simulation using the moisture buffer value concept. *Building Environment*, 44(2), 388-401.
- Alssaad, F., Touati, K., Levacher, D. y Sebaibi, N. (2021). Impact of phase change materials on lightened earth hygroscopic, thermal and mechanical properties. *Journal of Building Engineering*, 41, 1-11.

- Aria Jiménez, N. y Bobadilla Moreno, A. (2017). Evaluación experimental y análisis de la mejora con aislamiento para el caso del puente térmico en el frente de forjado. *Informes de la Construcción*, 69(546), 1-14.
- Arundel, A., Sterling, E., Biggin, J. y Sterling, T. (1986). Indirect health effects of relative humidity in indoor environments. *Environmental Health Perspectives*, 65, 351-361.
- Asphaug, S., Andenas, E., Geving, S., Time, B. y Kvande, T. (2022). Moisture-resilient performance of concrete basement walls – Numerical simulations of the effect of outward drying. *Building and Environment*, 222, 1-20.
- Beinhauer, P. (2009). *Atlas de detalles constructivos. Rehabilitación*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Berger, J., Guernouti, S., Woloszyn, M. y Buhe, C. (2015). Factors governing the development of moisture disorders for integration into building performance simulation. *Journal of Building Engineering*, 3, 1-15.
- Bernabeu, M. (2019). La urbanización del agua en el Área Metropolitana de Mendoza. *Estudios Sociales Contemporáneos*, (21), 176-197.
- Bruno, A., Gallipoli, D., Perlot, C. y Kallel, H. (2020). Thermal performance of fired and unfired earth bricks walls. *Journal of Building Engineering*, 28, 1-17.
- Cárdenas Llamas, R. y Hernández Mendoza, C. (2003). *Construcción de un prototipo de humidificación adiabática de aire para ensayos en el laboratorio de refrigeración y aire acondicionado de tecnológica de Bolívar*. Cartagena de Indias: Facultad de ingeniería mecánica - Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar. Recuperado de: <http://repositorio.utb.edu.co/bitstream/handle/20.500.12585/1969/0018980.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cardoso, G., Puzhi, M. y Zhinin, S. (2016). Simulación de los Procesos Psicrométricos. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, (15), 25-39. Recuperado de: <https://publicaciones.ucaenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/1613/1266>
- Castilla Pascual, F. (2004). *Estabilización de morteros de barro para la protección de muros de tierra*. Tesis doctoral. Madrid: E.T.S. Arquitectura (UPM). Recuperado de: <https://oa.upm.es/8826/>
- Colinart, T., Vincelas, T., Lenormand, H., Hellouin De Menibus, A., Hamard, E., y Lecompte, T. (2020). Hygrothermal properties of light-earth building materials. *Journal of Building Engineering*, 29, 101-134.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico - Cámara Chilena de la Construcción. (2012). *Humedad por Condensación en Viviendas. Prevención y Soluciones*. Chile: Área Comunicaciones, CDT.
- Coscollano Rodríguez, J. (2002). *Ahorro energético en la Construcción y Rehabilitación de Edificio*. Madrid: Thomson - Paraninfo.
- Costa-Carrapiço, I., Croxford, B., Raslan, R., y González, J. (2022). Hygrothermal calibration and validation of vernacular dwellings: A genetic algorithm-based optimisation methodology. *Journal of Building Engineering*, 55, 1-19.
- Del Río, J., Canivell, J., Torres-González, M., Albea, E., Hernández, R., Ochoa, J. y Sánchez, F. (2021). Analysis of the materials and state of conservation of the medieval rammed earth walls of Seville (Spain). *Journal of Building Engineering*, 44, 1-15.
- EcuRed (18 agosto 2021). *Malargüe (Argentina)*. Recuperado de: [https://www.ecured.cu/index.php?title=Malarg%C3%BCe_\(Argentina\)&oldid=4001273](https://www.ecured.cu/index.php?title=Malarg%C3%BCe_(Argentina)&oldid=4001273)
- Eshoj, B. y Padfield, T. (1993). The use of porous building materials to provide a stable relative humidity. En *ICOM-CC Conference* (pp. 605-609), Washington DC. Recuperado de: <https://www.icom-cc-publications-online.org/2817/The-Use-of-Porous-Building-Materials-to-Provide-a-Stable-Relative-Humidity>
- Esteves Miramont, A. (2017). *Arquitectura Bioclimática y Sustentable. Teoría y Práctica de la conservación de la energía, sistemas solares pasivos y enfriamiento natural de edificios*. Mendoza: Esteves Alfredo.
- Fabbri, A. y Morel, J. (2016). Earthen materials and constructions. En Kent, H. y Bhavna, S. (Eds.), *Nonconventional and Vernacular Construction Materials* (pp. 273-299). Elsevier.
- Fernández, E. y Esteves, A. (2004). Conservación de energía en sistemas autoconstruidos. El caso de la Quincha mejorada. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 8(1), 121-125.
- Fisair (2022). *Fisair*. Recuperado de: <https://fisair.com/es/control-de-humedad-en-hospitales/>
- Fouchal, F., Gouny, F., Maillard, P., Ulmet, L. y Rossignol, S. (2015). Experimental evaluation of hydric performances of masonry walls made of earth bricks, geopolymer and wooden frame. *Building and Environment*, 87, 234-243.
- Fresno, M. (2021). *Arquiteutu Tecnico Na Rede*. Recuperado de: <https://arquiteututechnico.com/2015/02/23/gestion-del-vapor-de-agua-en-muros-de-paja/>
- Gea-Izquierdo, E. (2022). *Ambiente térmico en la investigación y docencia universitaria. Pensar, vivir y hacer la educación: Visiones compartidas. Vol. 3*. Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Giada, G., Caponetto, R. y Nocera, F. (2019). Hygrothermal Properties of Raw Earth Materials: A Literature Review. *Sustainability*, 11(19), 1-21.
- González Serrano, A. (2015). *Revocos de tierra cruda: Especificaciones técnicas para el empleo de morteros preparados de arcillas en construcción*. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla. Recuperado de: <https://idus.us.es/handle/11441/38210>
- Gonzalo, G., Ledesma, S., Nota, V. y Martínez, C. (2000). Rediseño y actualización del programa computacional para verificación del riesgo de condensación en cerramientos exteriores. *Avances en Energías Revables y Medio Ambiente*, 4(1).
- Hall, M. y Allinson, D. (2009a). Assessing the effects of soil grading on the moisture content-dependent thermal conductivity of stabilised rammed earth materials. *Applied Thermal Engineering*, 29(4), 740-747.

- Hall, M. y Allinson, D. (2009b). Analysis of the hygrothermal functional properties of stabilised rammed earth materials. *Building and Environment*, 44(9), 1935-1932.
- Hall, M. y Casey, S. (2012). Hygrothermal behaviour and occupant comfort in modern earth buildings. En M. Hall, R. Lindsay y M. Krayenhoff (Eds.), *Modern earth buildings. Materials, engineering, construction and applications* (pp. 17-40). Cambridge: Woodhead Publishing.
- Hamdaoui, M. A., Benzaama, M. H., Mendili, Y. y Chateigner, D. (2021). A review on physical and data-driven modeling of buildings hygrothermal behavior: Models, approaches and simulation tools. *Energy and Buildings*, 251, 3-11.
- Hendry, E. (2001). Masonry walls: materials and construction. *Construction and Building Materials*, 15(8), 323-330.
- Hung Anh, L. y Pásztor, Z. (2021). An overview of factors influencing thermal conductivity of building insulation materials. *Journal of Building Engineering*, 44, 1-12.
- Indekeu, M., Feng, C., Janssen, H. y Woloszyn, M. (2021). Experimental study on the capillary absorption characteristics of rammed earth. *Construction and Building Materials*, 283, 1-13.
- Janssen, H. Roels, S. (2009). Qualitative and quantitative assessment of interior moisture buffering by enclosures. *Energy and Buildings*, 41(4), 382-394.
- Labat, M., Magniont, C., Oudhof, N. y Aubert, J. E. (2016). From the experimental characterization of the hygrothermal properties of straw-clay mixtures to the numerical assessment of their buffering potential. *Building and Environment*, 97, 69-81.
- Lee, H., Ozaki, A. y Cho, W. (2018). Evaluation of Anti-condensation Performance of External Walls with Fibrous Insulation. *Earth and Environmental Science*, 238(1), 1-9.
- Liuzzi, S., Hall, M., Stefanizzi, P. y Casey, S. (2013). Hygrothermal behaviour and relative humidity buffering of unfired and hydrated lime-stabilised clay composites in a Mediterranean climate. *Building and Environment*, 61, 82-92.
- Martínez, P., Sarmiento, P. y Urquieta, W. (2005). Evaluación de la humedad por condensación al interior de las viviendas sociales. *Revista INVI*, 20(055), 154-165.
- McGregor, F., Heath, A., Shea, A. y Lawrence, M. (2014). The moisture buffering capacity of unfired clay masonry. *Building and Environment*, 82, 599-607.
- Minke, G. (2005). *Manual de construcción con tierra. La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*. Kassel: Fin de Siglo.
- Miranda, A. (2007). *Técnicas de climatización*. Barcelona. México: Alfaomega-Marcombo.
- Nematchoua, M., Tchinda, R., Orosa, J. y Andreasi, W. (2015). Effect of wall construction materials over indoor air quality in humid and hot climate. *Journal of Building Engineering*, 3, 16-23.
- Norma IRAM 11.625 (2000). *Aislamiento térmico de edificios – Verificación de sus condiciones higrotérmicas*. 41. Buenos Aires, Argentina.
- Norma IRAM 11.601 (2002). *Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo*. 52. Buenos Aires, Argentina.
- Norma IRAM 11.603 (2012). *Condicionamiento térmico de edificios Clasificación bioambiental de la República Argentina*. 43. Buenos Aires, Argentina.
- Onset (9 junio 2022). Onset. Recuperado de: <https://www.onsetcomp.com/datasheet/H08-003-02>
- Padfield, T. (1998). *El papel de los materiales de construcción absorbentes en la moderación de los cambios de la humedad relativa*. Dinamarca: Universidad Técnica de Dinamarca - Departamento de Ingeniería de Estructuras y Materiales.
- Ramos, N. y Freitas, V. (2011). The evaluation of hygroscopic inertia and its importance to the hygrothermal performance of buildings. *Heat Mass Transfer Porous Media*, 13, 25-45.
- Rode, C. y Grau, K. (2008). Moisture buffering and its consequence in whole building hygrothermal modeling. *Building Physics*, 31(4), 333-360.
- Romero Alonso, J. (23 mayo 2022). *¿Cuál es la mejor forma de aislar tu vivienda? Los 8 mejores aislantes térmicos*. Arrevol. Recuperado de: <https://www.arrevol.com/blog/cual-es-la-mejor-forma-de-aislar-tu-vivienda-casa-los-8-mejores-aislantes-termicos>
- Sanfulgencio Tomé, J. (16 mayo 2017). Tipos de humedades, cómo identificarlas y solucionarlas. Arrevol. Recuperado de: <https://www.arrevol.com/blog/tipos-de-humedades-como-identificarlas-y-solucionarlas>
- Secretaría de Medio Ambiente (2009). *Cartilla de contenidos mínimos ambientales para aprobar el examen de Conservación del Medio Ambiente*. Mendoza: Gobierno de Mendoza.
- Sedlbauer, K. (2002). Prediction of mould growth by hygrothermal calculation. *Journal of Thermal Envelope and Building Science*, 25(4), 321-336.
- Servicio Meteorológico Nacional Argentina. (2022). Recuperado de: <https://www.smn.gob.ar/>
- Style, O. (febrero 2022). *caloryfrio.com*. Recuperado de: <https://www.caloryfrio.com/construccion-sostenible/ventilacion-y-calidad-aire-interior/humedad-y-calidad-del-aire-cual-es-nivel-optimo-como-medirla.html>
- Vereecken, E., Gelder, L., Janssen, H. y Roels, S. (2015). Interior insulation for wall retrofitting – A probabilistic analysis of energy savings and hygrothermal risks. *Energy and Buildings*, 89, 231-244.
- Zhang, L., Sang, G. y Han, W. (2020). Effect of hygrothermal behaviour of earth brick on indoor environment in a desert climate. *Sustainable Cities and Society*, 55, 1-9.