



Comportamiento térmico de un salón de usos múltiples y una vivienda unifamiliar con la tecnología quincha en la región de montaña.

Thermal Performance of a Multi Purpose Center and Unifamily House with Wattle and Daub Technology in the Mountain Region

Cuitiño, Guadalupe

Universidad Nacional de Cuyo – Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria.

Dirección: Bernardo de Irigoyen 375, M5600 San Rafael, Mendoza

Correo: gcuitino@mendoza-conicet.gob.ar

Esteves, Alfredo

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) – CCT Mendoza - CONICET

v. Ruiz Leal s/n Parque General San Martín. Mendoza - Argentina. CP 5500.

Correo: aesteves@mendoza-conicet.gob.ar

Marín, Laura

Arquitecta independiente.

Correo: laura.marincarrillo@gmail.com

Código del manuscrito: 10_002

Fecha de aceptación: 04/10/2019

Resumen

Cada vez son más las familias que eligen construir sus casas usando tecnologías basadas en la tierra. El objetivo de este trabajo es evaluar el comportamiento térmico de un Salón de Usos Múltiples y una Vivienda Unifamiliar construidos con la tecnología de quincha en la Eco Villa Tudunqueral en Uspallata - Mendoza. Se registraron medidas de temperatura interior y todas las variables externas del clima para las temporadas de finales del invierno inicio de primavera y la temporada de verano. La aplicación de estrategias de conservación de la energía junto con el uso de la quincha como tecnología constructiva permitieron obtener excelentes resultados térmicos ante el riguroso clima de montaña. Se ha comprobado que a pesar de un registro de bajas temperaturas exteriores de -6°C , al mismo tiempo las temperaturas interiores se acercaron a los 8.8°C en el Salón de Usos Múltiples y en la Vivienda Unifamiliar, lo que supone una diferencia de temperatura (interior-exterior) de alrededor de 14.8°C . Asimismo, mientras que la amplitud térmica exterior alcanzó los 26°C , con la optimización del Salón de Usos Múltiples la amplitud térmica interior fue de 6.25°C . Y el costo monetario de la optimización fue de US\$3200 que es aceptable para los beneficios térmicos. En el caso de la Vivienda Unifamiliar, se realizó un balance energético, y como resultado se observó que las mayores pérdidas de calor son producidas por las paredes norte y el techo, y la demanda de calefacción auxiliar que corresponde a 10938 Kcal/h , la cual puede ser cubierta por una estufa de leña, con un costo de US\$ 463 anual para la compra de leña.

Palabras claves: Bioconstrucción, Quincha, Comportamiento térmico.

Abstract

Increasingly, families are choosing to build their homes using earth-based technologies. This paper aims to evaluate the thermal performance of the eco village's Multi-Purpose Centre and a Unifamily house which are a wattle and daub constructions. Indoor temperature measurements and all external variables of climate has been registered for winter and summer seasons. Implementing



energy conservation strategies coupled with the use of wattle and daub as constructive technology allow for excellent results in the face of the rigorous climate of the mountain environment. It has proven that although low outdoor temperatures of -6°C were recorded, at the same time indoor temperatures was near $8,8^{\circ}\text{C}$ in the Multi-Purpose Centre and the Unifamily house, that means a temperature difference (in-out) of around $14,8^{\circ}\text{C}$. As well, while outdoor thermal amplitude reached 26°C , with the optimization of the Multi-Purpose Centre the thermal range indoors was $6,25^{\circ}\text{C}$. And the monetary cost for the optimization is US\$3200 which is acceptable for the thermal benefits. In the case of the Unifamily house a energy balance was carried out, and result that the greatest heat losses are produced by the North walls and the roof, and the demand for auxiliary heating which corresponds to 10938 Kcal / h , which can be covered pot bellied stove, with a cost of US\$ 463 for the purchase of firewood

Keywords: Bio construction, Wattle and daub, Thermal performance

Introducción

En la arquitectura vernácula, la tierra es uno de los materiales de construcción más importantes debido a su gran abundancia en todas las regiones del mundo, lo que lleva a muchos países en desarrollo a utilizarla en diferentes técnicas de construcción natural como son el adobe, cob, tapial y quincha, entre otros, para construir sus viviendas. Según Houben y Guillard, el 50% de la población de los países en desarrollo, donde al menos el 20% habita en áreas urbanas o urbanas marginales, vive en viviendas de tierra (Houben y Guillard, 1994). Según Pacheco (Pacheco et al, 2012), la mayoría de las construcciones de tierra se ubican en países menos desarrollados, sin embargo, este tipo de construcción también se puede encontrar en países desarrollados como Alemania, Francia o incluso el Reino Unido que tiene un exceso de 500,000 Viviendas a base de tierra. La construcción con tierra también ha aumentado sustancialmente en los Estados Unidos, Brasil y Australia, en gran parte debido a la agenda de construcción sostenible, en la que la construcción de la tierra asume un papel clave.

Los avances tecnológicos en la construcción durante el último siglo han significado el descenso de edificios que utilizan materiales naturales. Sin embargo, en muchas partes del mundo se utilizan recursos arquitectónicos naturales para la construcción, como es el caso en dos de los países más poblados, India y China (Heathcote, 2011). Una de las propiedades más importantes de una vivienda de tierra es su rendimiento térmico debido a que la inercia térmica de las paredes ayuda a mantener los niveles de confort térmico interior sin la necesidad de calentamiento o enfriamiento mecánico, con el consiguiente ahorro en el consumo de energía (Cuitiño et al, 2010; Esteves et al, 2017). Normalmente, la eficiencia térmica se ve relegada cuando se trata de construir, ya que otros asuntos, como los costos monetarios y el contexto sociocultural, tienen prioridad. Sin embargo, el rendimiento térmico de un edificio influye directamente en las personas que viven en él, por lo tanto, es importante que las condiciones de habitabilidad de los espacios interiores se traduzcan en comodidad de la vivienda y en una mejor calidad de vida.

De acuerdo con Cunha (Cunha et al; 2014) en su investigación con tabiques que tienen mejoras térmicas, utilizó una pared de tabique recubierta con láminas de metal corrugado y poliestireno extruido, que obtuvo como resultado una reducción del coeficiente de transmitancia térmica del 61%, respecto del tabique sin mejoras, de $0,56 \text{ W/m}^2\text{C}$. En el caso desarrollado por Briga Sá (Briga Sá et al, 2016), se trabajó con tabique revestido con baldosas de pizarra y con poliestireno extruido. En el estudio térmico, se puede verificar que el diagrama de temperatura tiene las pendientes correctas y que conduce a una reducción del 71% del coeficiente de transmitancia térmica respecto del que no tiene aislamiento, lo que da un valor de $0,46 \text{ W/m}^2\text{C}$. De acuerdo con el trabajo de Hegediš (Hegediš et al, 2017), un edificio de construcción con tierra apisonada de $77,61 \text{ m}^2$ tiene una conductancia térmica de $0,30 \text{ W/m}^2\text{C}$.

Shea (Shea et al, 2010), muestra que la Hemcrete (mezcla de los tallos de la planta de cañamo picado con un aglomerante con adiciones de cal puzolánica) se puede usar como un reemplazo para la quincha, y obtuvo que la conductividad fue de $0,08 \text{ W/m}^2\text{K}$ para una densidad de 310 kg/m^3 con una amplitud térmica interior de $0,9^{\circ}\text{C}$ respecto de los $6,5^{\circ}\text{C}$ de amplitud exterior.

En la investigación realizada por Whitman (Whitman; 2014) (Whitman et al; 2016), se obtuvo que las propiedades higrotérmicas de la construcción de adobe dependen de la condición del suelo local y que la proporción en la mezcla no estaba estandarizada, por lo que puede ser difícil de fijar un coeficiente de conductancia térmica. Sin embargo, los estudios muestran que existe una fuerte correlación entre la conductancia térmica de la tierra en función de su

densidad y se obtuvo un valor térmico de 0.64-0.79 W/mK con una densidad de 1580 kg/m³. Además, en el monitoreo de un edificio con marcos de madera in situ donde el 18% son de paredes de construcción mixta del estilo constructivo de la quincha, el resultado fue una transmitancia térmica de 3.25W/m²K que es equivalente a una pared de concreto de 25 cm de espesor. Osvaldo Chiappero afirma en su libro *Arquitectura en Tierra Cruda*: “La arquitectura de la tierra cruda es una manifestación tecnológica y cultural que nos identifica con nuestro entorno natural y desarrollo histórico; dentro de ella, satisfacer la necesidad de refugio en los seres humanos va de la mano con las respuestas tecnológicas relacionadas con el lugar. Adobe, tapia, quincha, son extraordinarios reguladores de calor, que ofrecen protección contra el sol y el calor durante el día y liberan el calor acumulado en el fresco de la noche. Estas son ventajas que fueron reconocidas y apreciadas por los habitantes de nuestra región hace varias generaciones” (Chiappero et al, 2003).

Hoy en día, las personas que construyen sus casas exigen edificios cada vez más eficientes económica y energéticamente, prestando atención al clima interior dentro del rango de confort (Minke, 2013). Por otro lado, es indudable que el consumo de energía fósil nos está conduciendo hacia el cambio global y para continuar con esta tasa de consumo, tendremos que diseñar y trabajar para vivir con las consecuencias que se derivan de las sequías, las inundaciones, el aumento del nivel del mar y la contaminación excesiva (IPCC, 2007). Es necesario integrar el conocimiento formal e informal, las disciplinas variadas y todos los actores sociales (Penque, 2012). El estilo de vida también tiene un claro impacto, en el caso de en una situación de vida prospera hay un mayor consumo, causando el aumento en el uso de recursos, la generación de residuos y la producción de más CO₂ (Edwards, 2006).

Es necesario contar con tecnologías compatibles con el medio ambiente utilizando recursos renovables, que permitan construir edificios de energía cero, que reduzcan o eliminen la dependencia de los combustibles fósiles y por lo tanto el impacto ambiental del edificio (Guzowski, 2010). Para evitar los efectos adversos de dicho cambio climático en los recursos hídricos, los ecosistemas, la seguridad alimentaria, la salud y otros efectos perjudiciales, se decidió limitar el aumento de la temperatura media global a un valor inferior a los 2°C por encima de los valores de la era preindustrial, lo que implica estabilizar las emisiones de CO₂ EQ en la atmósfera en el rango de 445 a 490 ppm (IPCC, 2014).

A pesar de los prejuicios que rodean la arquitectura natural con respecto a su resistencia estructural, rendimiento térmico, durabilidad, etc., hay un número creciente de personas que optan por este sistema constructivo. Las nuevas técnicas de construcción de tierra desarrolladas demuestran el valor del suelo no solo para la autoconstrucción sino también para la construcción industrializada (Minke, 2013). Este es el caso de un grupo de personas que eligieron construir sus casas a 110 km de la ciudad de Mendoza en el departamento de Las Heras en el Valle de Uspallata, en la región montañosa andina. El emprendimiento se denomina EcoVilla Tudunqueral correspondiente con una aldea ecológica que incluye instalaciones para el ocio y parcelas para granjas orgánicas y en las viviendas el material predominante para realizar los cerramientos opacos es la tierra. De acuerdo con las normas pautadas dentro de la Ecovilla, las casas deben cumplir con un código de construcción que respete el medio ambiente y que utilice los recursos naturales, con preferencia por aquellos materiales con determinadas propiedades térmicas como madera, piedra, tierra y caña. La quincha es un sistema de construcción mixta que utiliza caña para formar soporte interno del muro y que luego se rellena con tierra. El sistema constructivo de quincha se utiliza con frecuencia en la bioconstrucción de zonas sísmicas debido a su resistencia, bajo peso y flexibilidad (Cuitiño et al, 2014). Aprovechar e integrar los recursos naturales renovables del medio ambiente, es coherente, es respetuoso y amigable con el planeta y con la humanidad (Martínez Martínez, 2015).

El objetivo de este trabajo es evaluar la respuesta térmica del Centro de Usos Múltiples (SUM) y de una Vivienda Unifamiliar (VU) emplazados en la EcoVilla Tunduqueral. En ambos casos, las lecturas se realizaron in situ durante un período de siete días. En el primer caso, la simulación se ajustó utilizando el motor de cálculo Energy Plus y, en función de los resultados, se realizaron mejoras térmicas en el edificio y en el rendimiento energético. En el segundo caso, se realizó un balance térmico y se evaluaron las pérdidas de calor por muros, techos y ventanas, el ahorro por calentamiento solar y el calor auxiliar anual necesario para lograr el confort. A partir de estos dos estudios, será posible evaluar algunos aspectos de la eficiencia térmica de las paredes de quincha en las zonas frías de montaña.

Descripción del Sitio

Ubicación geográfica y clima

Las coordenadas geográficas de Uspallata en el departamento de Las Heras, Mendoza son: latitud 32°5' S; longitud 69°33' O y altitud 1891 m.s.n.m. Se encuentra a 110 kms. de la ciudad de Mendoza, capital de la provincia del mismo nombre. Según el IRAM 11.603 (IRAM 11603, 2002) pertenece a la zona bioclimática V con características de clima frío. La necesidad anual de calefacción en días-grados (para una temperatura de base de 18°C) es de 2648 °C día/año (Esteves et al; 2008). La Figura 1 muestra las temperaturas máximas mensuales absolutas (TMAXA), las temperaturas medias (TM) y las mínimas absolutas (TMIA), siendo julio el mes más frío con temperaturas mínimas absolutas que alcanzan los -15°C y enero el más caluroso con una temperatura máxima absoluta de 36.4°C. Así mismo, se puede observar el grado-día de calentamiento para la temperatura basal de 18°C (GD18), el valor medio diario de la irradiación global sobre una superficie horizontal (HGLO) en el mes de julio es de 8.6[MJ/m2.día] y en enero de 25.7[MJ/m2.día] e irradiación difusa sobre una superficie horizontal (HDIF).

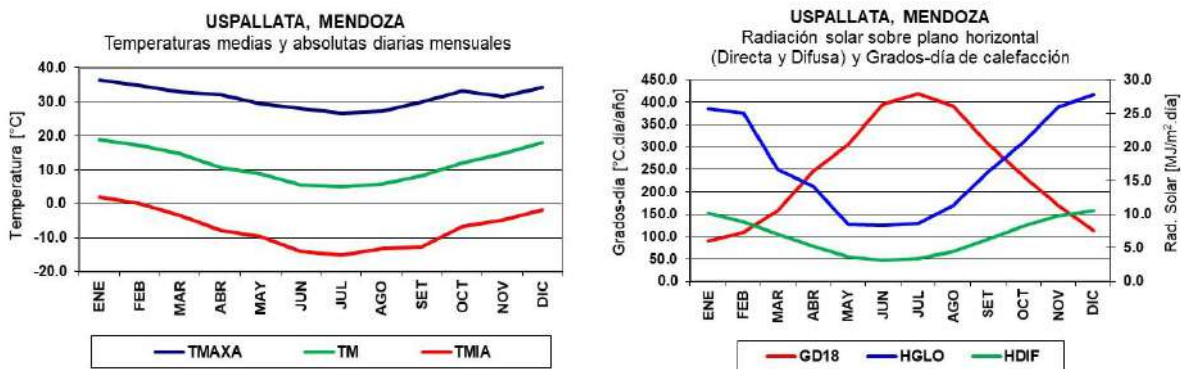


Figura 1: Temperaturas media y absoluta y radiación solar en una superficie horizontal para el Valle de Uspallata.

La Tabla 1 muestra las variaciones de temperatura mensuales en el Valle de Uspallata de acuerdo a la hora del día. De abril a octubre, entre las 12.00 y las 18.00 horas, la temperatura oscila entre los 10°C y los 20°C; entre las 20.00 y las 8.00 horas oscila entre los 0°C y los 10°C. En el lapso de noviembre y marzo la variación es de 20°C a 30°C.

Tabla 1: Variaciones de temperatura horarias y mensuales en el Valle de Uspallata.

Mes	Horario	Temperatura
Abril a Octubre	12 to 6 pm	10°C - 20°C
	8 pm to 8 am	0°C - 10°C
Noviembre a Marzo	10 am to 6 pm	20°C - 30°C
	6 pm to 8 am	0°C - 20°C



Descripción del Salón de Usos Múltiples y de la Vivienda Unifamiliar.

El SUM del complejo del Tudunqueral tiene una superficie de 220.32 metros cuadrados y está compuesto por una Salón Multipropósito (SM) de 156 m², una cocina de 33.52 m² y 30.8 m² para baños y vestidores (ver Figura 2). Tiene un techo a cuatro aguas y ventanas que dan al Este y al Oeste con vistas espectaculares. En el lado Norte tiene un muro Trombe-Michel con rejillas de ventilación que permiten el calentamiento del SM por convección. La Figura 3, muestra una vista del Noroeste del SUM, que permite apreciar el muro acumulador de calor donde se instalaron caños de PVC de 110 mm de diámetro para permitir la circulación del aire, aún falta incorporar el cierre con el doble vidrio hermético y de pintar la superficie del muro exterior con pintura de color oscuro para que funcione completamente como muro Trombe.

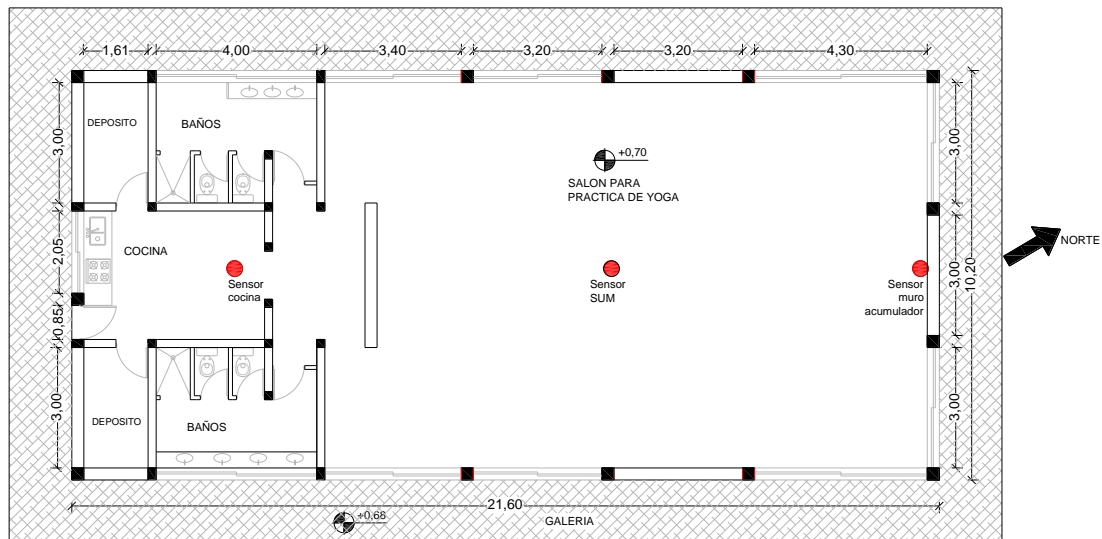


Figura 2: Plano del Salón de Usos Múltiples construido con quincha.



Figura 3: Vista lateral Noroeste del SUM.

En el caso de la vivienda unifamiliar, la planta baja tiene un dormitorio principal de 18.5m^2 , uno secundario de 11.9m^2 , un estar-comedor de 36.2m^2 , una cocina de 16.2m^2 y un baño de 8.4m^2 , lo que hace una superficie total de 116m^2 incluyendo pasillos y escaleras. En la planta superior hay un solarium de 28m^2 , Figura 4. En la figura 5 se puede ver la fachada norte y el solarium en la planta superior. Al Norte tiene grandes ventanales que permiten la entrada de la radiación solar y al Sur las ventanas son más pequeñas para evitar pérdidas de calor, en ambos casos son de doble vidrio hermético. El solarium, en la planta superior, tiene ventanas en todo el perímetro, excepto en el sur.

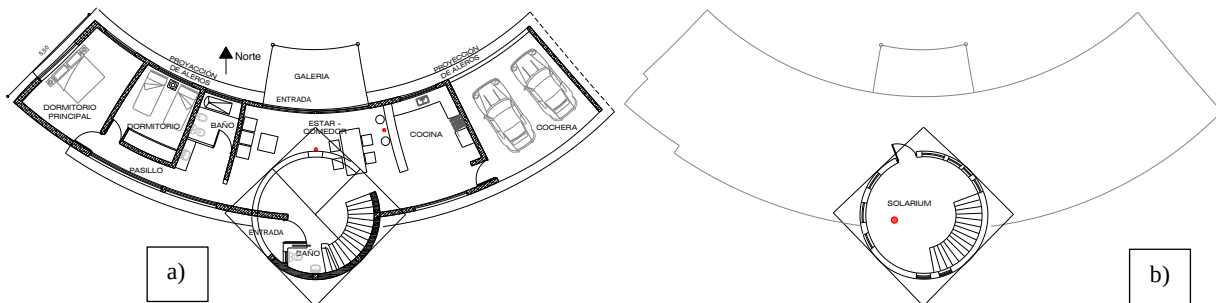


Figure 4: a) Planta baja de la vivienda unifamiliar, b) Planta alta solarium.



Figure 5: Frente Norte de la vivienda unifamiliar.

Características térmicas de la envolvente del edificio.

Todos los muros opacos se realizan con la técnica de quincha, en la que se colocan cañas o listones de madera en forma horizontal y/o diagonal formando enrejado en la parte interna del muro. En ambos casos la estructura portante es de rollizos de madera de eucaliptus. A continuación, se rellenan los espacios entre las cañas con una mezcla de arcilla, arena y paja de ambos lados del muro, hasta que la pared tenga un espesor entre 0.30m a 0.35m. En la vivienda el muro Sur bajo el solárium, se construyó con hormigón y se revistió con piedra en el área exterior. En el SUM, los marcos de las ventanas y puertas son de aluminio y conforman un doble vidrio hermético (DVH), Figura 6a. En la vivienda, los marcos de las ventanas son de madera y las ventanas son con DVH, Figura 6b. Los materiales de cubierta consisten en dos capas de machihembrado, aislación impermeable con una membrana similar a la de Tyvek, aislación térmica con lana de vidrio de 50 mm de espesor y un acabado de geotextil de color. Los aleros tienen 0.60 m de ancho para proteger de la lluvia a los muros de quincha.



Figura 6: a- Ventanas de aluminio SUM. b- Ventanas de madera vivienda.

La Tabla 2 muestra la conductividad térmica, densidad y calor específico de los muros de quincha, ventanas y techos; las propiedades aislantes de los muros se obtuvieron a partir de datos de investigaciones anteriores (Cuitiño et al; 2015) y las de las ventanas y techos a partir de la Norma IRAM 11.601/02 (IRAM 11.601; 2002).

Tabla 2: Propiedades térmicas de los sistemas constructivos del SUM.

Especificación	Unidad	Quincha	Ventanas	Techo
Espesor	m	0.30	0.10	0.075
Conductancia térmica	W/m^2K	0.83	3.20	0.67
Densidad	kg/m^3	1180		
Calor específico	J/kgK	1090		

Sistema Solar Pasivo en el SUM

El muro orientado al norte (fachada ecuatorial) fue diseñado como un sistema solar pasivo del muro de almacenamiento Tombe-Michel. También está construido con el sistema de quincha y es de 0.30 m de espesor y con tubos de PVC de 110 mm de diámetro que permiten la entrada de aire caliente por el nivel superior y la salida de aire frío por el nivel inferior (Figura 7). En la imagen de la Figura 7 aún no se ha instalado el cierre con la ventana con el sistema de DVH.



Figura 7: Muro Trombe-Michel sin el DVH exterior y con tubos de PVC.

Análisis Térmico

La situación térmica se determinó, en primer lugar, midiendo las variables más representativas: temperaturas y humedad relativa en interiores, temperaturas y humedad relativa en exteriores, radiación solar sobre una superficie horizontal y vientos (velocidad y dirección), para ambos casos. En segundo lugar, en el SUM se realizó una simulación térmica que fue ajustada con las mediciones realizadas en el lugar. Por último, se realizó una simulación para otras épocas del año.

Medición de variables representativas

Se utilizaron sensores Hobo U12-001 para medir los parámetros representativos como la temperatura y la humedad relativa interior. Estos se colocaron en áreas estratégicas (ver Figura 4 y Figura 6), en el SUM; a) en la cocina b) en el centro del salón c) en el muro Trombe: para las mediciones se introdujo desde el exterior en la parte inferior del muro de quincha una termocupla Hobo U12 Data Logger tipo T. En la vivienda los sensores se pusieron: a) en el estar-comedor y b) en el centro del solárium en la segunda planta. Para medir las condiciones exteriores como la temperatura, la humedad relativa, la radiación solar y la velocidad del viento, se instaló una estación meteorológica de la marca Pegasus. La duración del periodo de medición fue de una semana en primavera entre el 24 y el 30 de septiembre, con un intervalo de registro de 15 minutos.

Análisis de los datos registrados en el SUM

La Figura 8 muestra las temperaturas registradas durante el periodo de estudio en el Salón Multipropósito y en la cocina, las temperaturas exteriores y la radiación solar en una superficie horizontal. Se observa que durante el registro semanal los primeros tres días estuvieron parcialmente nublados, seguidos de cuatro días claros en los que la radiación solar sobre una superficie horizontal al mediodía alcanzó los 860 W/m^2 . Los resultados son típicos de los climas de Valles que se caracterizan por una gran amplitud térmica, en este caso las temperaturas exteriores máximas han oscilado entre 17.3°C y 27.4°C y las mínimas entre 9.2°C y -6.3°C , lo que representa una amplitud térmica entre 13.9°C y 26.2°C (ver Tabla 3 para las lecturas diarias). Los tres primeros días hubo heladas, mientras que el cuarto día el mínimo fue considerablemente más cálido debido a los vientos del norte. A partir del sexto día la amplitud de las altas temperaturas se hizo evidente de nuevo con temperaturas muy bajas registradas en la madrugada (cerca de 0°C). La Tabla 3 detalla los valores de temperatura máximos, mínimos y la amplitud térmica registrada diariamente durante el periodo de estudio. El SM y la cocina, fueron sometidos a las mismas condiciones climáticas y durante el mismo periodo de tiempo y se comportaron de manera similar. El SM registró temperaturas máximas de entre 20.1°C y 27.8°C y mínimas de entre 8.8°C y 14.2°C , mientras que la cocina registró temperaturas máximas de entre 17.3°C y 24°C y mínimas de entre 9.5°C y 14.4°C , con una amplitud térmica de entre 5.5°C y 10.1°C . Ninguna de las habitaciones disponía de calefacción auxiliar durante el periodo de medición, sino que dependía exclusivamente de la

energía solar acumulada. Los resultados muestran que el día 25 las diferencias entre la temperatura mínima interior y exterior de 15.1°C, siendo el peor de los casos.

Debido a la inercia térmica de las paredes de la vivienda, la temperatura interior disminuye lentamente durante la noche, permitiendo que la temperatura se recupere rápidamente durante el día siguiente. La diferencia entre la temperatura máxima del SM y la de la cocina se debe a que el primero tiene el muro Trombe que absorbe la mayor parte de su energía por la tarde cuando las temperaturas interiores alcanzan su punto máximo. Sin embargo, el valor mínimo de temperatura para las dos habitaciones sigue siendo el mismo, lo que indica que todo el interior del edificio se enfría de la misma forma.

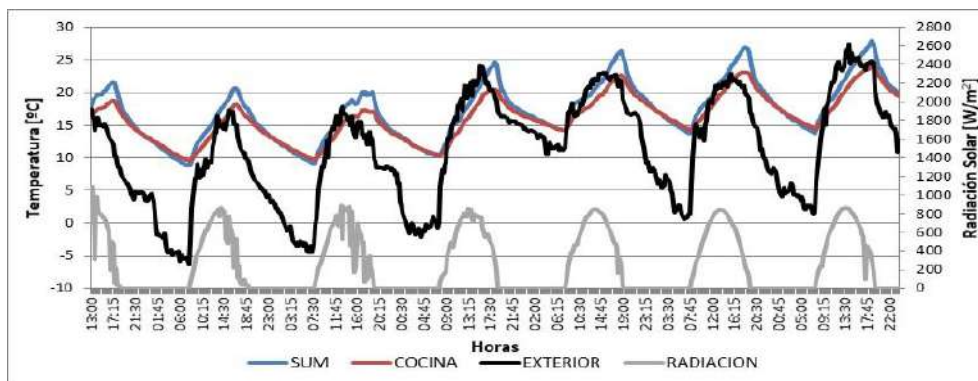


Figura 8: Curvas de temperatura comparativas para el SM, la cocina, el exterior y la radiación solar.

Tabla 3: Datos de temperatura registrados en el MPC durante la semana

Fecha	Salón Multipropósito		Cocina		Exterior				
	Temperatura Max & Min	Amplitud	Temperatura Max & Min	Amplitud	Temperatura Max & Min	Amplitud			
24-9	21.5	13.1	8.4	18.7	13.2	5.5	17.5	3.3	14.2
25-9	20.7	8.8	11.9	18.2	9.5	8.7	17.3	-6.3	23.6
26-9	20.1	9.1	11.0	17.3	9.7	7.6	17.9	-4.4	22.3
27-9	24.6	10.2	14.4	20.5	10.4	10.1	24.1	-2.1	26.2
28-9	26.4	14.2	12.2	22.6	14.2	8.4	23.1	9.2	13.9
29-9	26.9	13.7	13.2	23.1	14.3	8.8	22.9	0.6	22.3
30-9	27.8	13.8	14.0	24.0	14.4	9.6	27.4	1.4	26.0

Las temperaturas registradas en el exterior del muro Trombe, a una profundidad de 1cm, están entre 44°C y 49.7°C, mientras que las temperaturas registradas en el área interior del muro se aproximan a las registradas en el interior del SM. Por la noche, la superficie del muro de Trombe se enfría y registra las temperaturas intermedias entre el SM y el exterior, ver Figura 9. Para la medición del muro acumulador de calor de quincha, se utilizó un sensor Hobo U12 para termocupla Tipo T, la termocupla se introdujo 1cm en el interior del muro y el sensor se dispuso en la parte interior del ambiente cerca del muro y se tomaron datos cada 15min. En la Figura 9 se observan picos de temperatura en las mediciones registradas por el sensor en la cara interna del muro, esto es debido a que durante la semana de medición el sensor quedó en un sector donde le ingresó radiación solar y produjo que midiera picos de temperaturas, en los días sucesivos se acomodó el sensor y dejó de medir con dicho error.

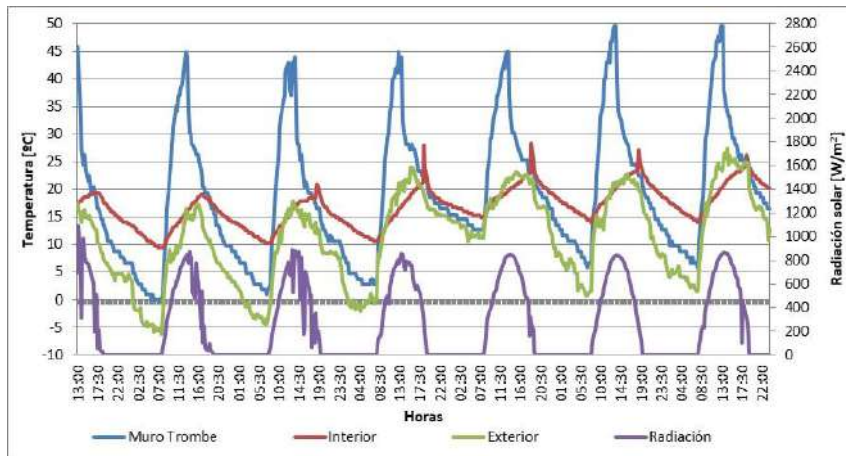


Figura 9: Temperaturas registradas en el muro Trombe del SUM.

Las imágenes termográficas tomadas del techo a las 11 a.m. (Figura 10) muestran claramente los puentes térmicos que causan la pérdida de calor. La temperatura superficial fue de 25.3°C y en las zonas sin puentes térmicos la temperatura fue de 17.2°C, lo que indica una pérdida de calor de aproximadamente 8.1°C. Si se aísla esta la zona, se eliminarían todos los puentes térmicos y reduciría la amplitud térmica interior.

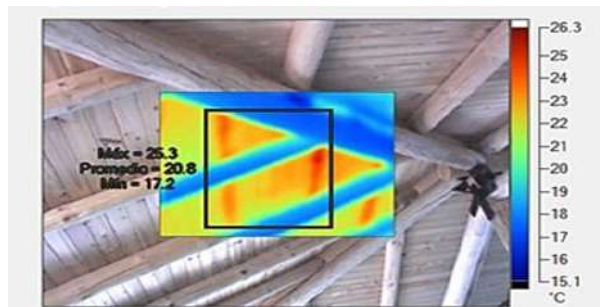


Figura 10: Imagen termográfica del techo del SUM a las 11 de la mañana.

Análisis de los datos registrados en la vivienda unifamiliar.

En la Figura 11, se observan las temperaturas registradas en el estar-comedor, el solárium, las temperaturas exteriores y la radiación solar sobre superficie horizontal, que es la misma que la registrada para el SUM. En este caso, se puede ver la respuesta de una vivienda habitada por una sola persona y en la que, a pesar de las bajas temperaturas exteriores, no se utilizó calefacción auxiliar. Si comparamos el rango de variación de la temperatura exterior, que oscila entre 13.9°C y 26.2°C (ver Tabla 4), con las temperaturas del estar-comedor y del solárium, se observa que la amplitud térmica en el estar-comedor se sitúa entre 3.7°C y 7.4°C; con temperaturas máximas entre 19.6°C y 15.7°C y mínimas entre 8.7°C y 13.6°C. En el caso del solárium, las temperaturas máximas se sitúan entre 20.7°C y 28.1°C y las mínimas entre 6.2°C y 13.5°C, con amplitudes entre 10.8°C y 17.9°C, en este caso a pesar de tener altos valores de amplitud térmica, es importante destacar que las diferencias respecto al ambiente externo son de aproximadamente 10°C.

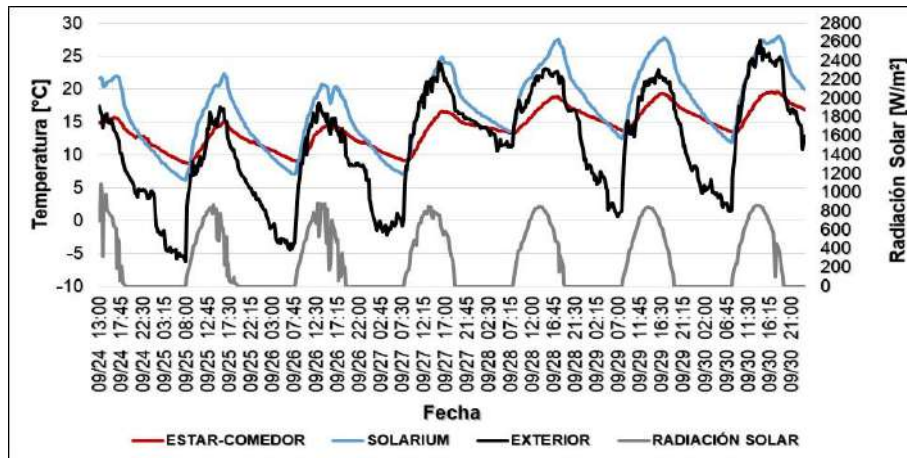


Figura 11: Curvas de temperatura comparativas para vivienda, temperatura del estar-comedor, el solárium, la exterior y la radiación solar.

Tabla 4: Datos de temperatura registrados en la vivienda durante la semana

Fecha	Estar-comedor			Solarium			Exterior		
	Temperatura Max & Min	Amplitud		Temperatura Max & Min	Amplitud		Temperatura Max & Min	Amplitud	
24-9	15.7	12.0	3.7	22.1	11.3	10.8	17.5	3.3	14.2
25-9	15.1	8.7	6.4	22.3	6.2	16.1	17.3	-6.3	23.6
26-9	14.5	9.1	5.4	20.7	7.0	13.7	17.9	-4.4	22.3
27-9	16.6	9.2	7.4	24.9	7.0	17.9	24.1	-2.1	26.2
28-9	18.8	13.3	5.5	27.6	13.5	14.1	23.1	9.2	13.9
29-9	19.3	13.6	5.7	27.8	12.5	15.3	22.9	0.6	22.3
30-9	19.6	13.4	6.2	28.1	11.9	16.2	27.4	1.4	26.0

Simulación Térmica Salón de Usos Múltiples

La simulación térmica se llevó a cabo para ajustar los valores de respuesta térmica interior del SUM durante el período de medición. Con la simulación ajustada se procedió a simular mejoras térmicas y en última instancia, se simuló que ocurrirá en el edificio en otras épocas del año. Para la simulación se utilizó el programa Energy Plus versión 8.4.0, desarrollado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos en 2011, para permitir el análisis de la energía de los edificios y de la carga térmica. Emplea un régimen dinámico que permite que los sistemas energéticos se interrelacionen con las características de la envolvente del edificio. La representación geométrica del SUM se realizó con el plugin Open Studio, diseñado para ser compatible con Google SketchUp y que permite la representación gráfica en 3D y la diferenciación de la geometría de paredes, ventanas, suelos, techos y aleros, ver Figura 12. También permite crear diferentes zonas térmicas, este caso se dividió en dos zonas térmicas, una correspondiente a la cocina y otra al SM.

Los muros de quincha tienen un espesor de 0.30m y una conductividad térmica de 0.25W/mK, estos datos fueron tomados de ensayos experimentales realizados en muros de quincha por Cuitiño (Cuitiño et al; 2015). En el caso del piso, se utilizó un subsuelo de hormigón y machimbre en la parte superior, ambos separados por una cámara de aire, donde las características térmicas del concreto fueron tomadas del IRAM 11.601 (IRAM 11.601; 2002), el espesor del piso de concreto es de 0.30m y la conductividad térmica de 1.89W/mK y en el caso de la madera de machimbre el espesor de la madera es de 0.01m y la conductividad térmica de 0.143W/mK, y la resistencia térmica de la cámara de aire es de 0.14W/mK. Las aberturas son de doble vidrio hermético con vidrio de 13 mm de espesor y una conductividad de 0.58 W/mK. La cubierta se construyó con las propiedades de machimbre, el aislamiento de fibra de vidrio con un espesor de 0.05 m y 0.037 W/mK de conductividad y está acabada con madera machimbre.

Tabla 5: Propiedades térmicas empleadas en la simulación Energy Plus.

Descripción	Quincha	Hormigón	Machimbre	Lana de vidrio
Espesor[m]	0.30	0.30	0.01	0.05
Conductividad Térmica [W/mK]	0.25	1.09	0.143	0.037
Densidad [Kg/m ³]	1180	1900	650	30
Calor específico [J/KgK]	1090	837	1340	670

Se utilizaron tres modelos para simular la ventilación, como se muestra en la Tabla 6, todos fueron utilizados para poder ajustar el modelo matemático a las mediciones registradas. La primera corresponde a las infiltraciones de aire llamadas ZoneInfiltration: DesignFlowRate, donde se considera para el salón multipropósito el cambio de aire por hora (Airchanges per hour) es de 3.80. En segundo lugar, se introdujo la variable de ventilación de la zona SUM, ZoneVentilation: DesignFlowRate donde el método de cálculo utilizado es el de cambios de aire por hora igual a 3, con el tipo de ventilación natural y una velocidad máxima del viento de 40m/s. Finalmente, la variable fue introducida para intercambiar el aire entre las dos zonas térmicas uniformemente, se llama ZoneCrossMixing y corresponde a un valor de 0.5 AirChanges per hour.

Tabla 6: Datos de modelado de la ventilación.

Descripción	Unidades	Valor
ZoneInfiltration: DesignFlowRate	Cambios de aire por hora	3.8
ZoneVentilation: DesignFlowRate	Cambios de aire por hora	3
	Tipo de ventilación	Natural
	Máxima velocidad de viento m/s	40
ZoneCrossMixing	Cambios de aire por hora	0.5

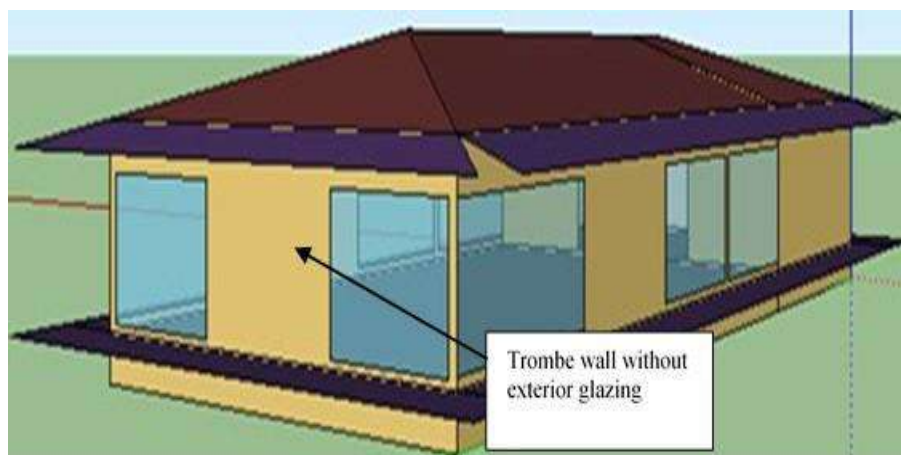


Figure 12: Modelo en SketchUp del SUM

A partir de la simulación térmica se realizó el ajuste entre los datos registrados in situ y los datos simulados, Figura 13. La correlación entre los valores de temperatura medidos y simulados presentan un coeficiente de correlación $R^2=0.9482$, dando como resultado un modelo fiable para simulaciones futuras del SUM.

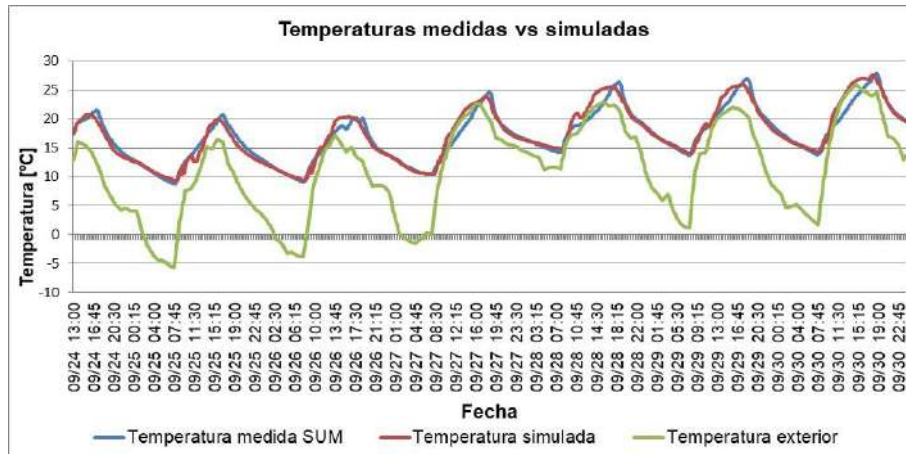


Figura 13: Temperaturas registradas y simuladas en el SUM y temperaturas exteriores registradas.

Mejoras simuladas en el SUM

En una segunda instancia se realizó la simulación del SUM con el cerramiento de DVH exterior en el muro de Trombe. El muro de Trombe fue construido de quincha con 0,30m de espesor, para los fines de la simulación se lo consideró la superficie exterior del muro Norte con un coeficiente de absorción térmica de 0.9, correspondiente con un color oscuro, ver Figura 14. En este caso para observar la respuesta del muro Trombe la simulación se realizó para el mes de Julio, con este fin se utilizaron los datos del Servicio Meteorológico Nacional correspondiente a Uspallata (estadísticas meteorológicas del período 2000-2010) y con el programa Energy Plus Weather Formatted Data, se creó un archivo climático con la extensión .epw. En la Figura 16 se puede observar que al incorporar el DVH exterior en el muro de Trombe, la simulación indica un aumento de la temperatura durante las horas de luz diurna, con un pico de alrededor de 2°C cerca del mediodía.



Figure 14: Modelo en SketchUp del SUM con DVH en muro Trombe.

En la tercera instancia al modelo ajustado del SUM se incorporaron mejoras relacionadas al diseño arquitectónico y térmico del edificio. Con este objetivo se redujeron las superficies de las ventanas y se aumentó la superficie de los muros, reduciendo así la pérdida de calor por los vidrios. A continuación se detallan las variables que fueron cambiadas:

- La superficie de ventanas se redujo en un 50% en las fachadas Este y Oeste (Figura 15) y se incorporaron cortinas durante toda la noche hasta las 8 de la mañana.

- Se agregaron burletes en ventanas y puertas para reducir las pérdidas por infiltración.

- Se instaló un techo suspendido de poliestireno expandido de 0,05 m de espesor para mejorar la resistencia térmica, con una conductividad térmica de 0.035W/mK, una densidad de 20Kg/m³ y un calor específico de 1200J/KgK.
- Para el muro Trombe se simuló una ventana de DVH con las mismas características térmicas que el resto de las ventanas SUM, y en el exterior se simuló una superficie con un coeficiente de absorción térmica de 0.9 y un coeficiente de absorción solar de 0.7.

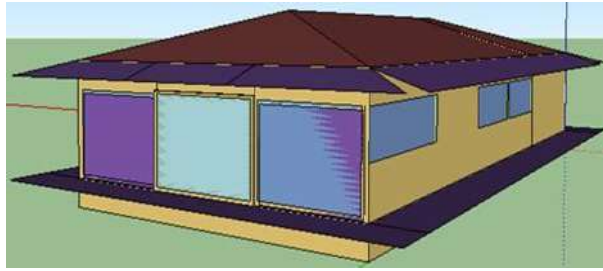


Figura 15: Esquema en SketchUp con reducción de ventanas, incorporación de cortinas y DVH en muro Trombe

En la Figura 16, se observan las curvas correspondientes con las mejoras térmicas y respecto de la condición original y la temperatura exterior. Se aprecia que las temperaturas interiores mínimas han aumentado y las temperaturas interiores máximas han permanecido iguales. Por la noche, la curva descendente es más lenta, lo que permite una rápida recuperación térmica durante el día siguiente. De acuerdo con la Tabla 7, en el caso del SUM con el muro Trombe la amplitud térmica es de 15°C con mínimos de 10.3°C y máximos de 25.3°C, superiores a los registrados en el exterior. Finalmente, la amplitud térmica máxima obtenida por el SUM es de 9.7°C, no sólo disminuyendo la variación de temperatura entre el día y la noche, sino también elevando los mínimos a 15,8°C y los máximos a 25.4°C.

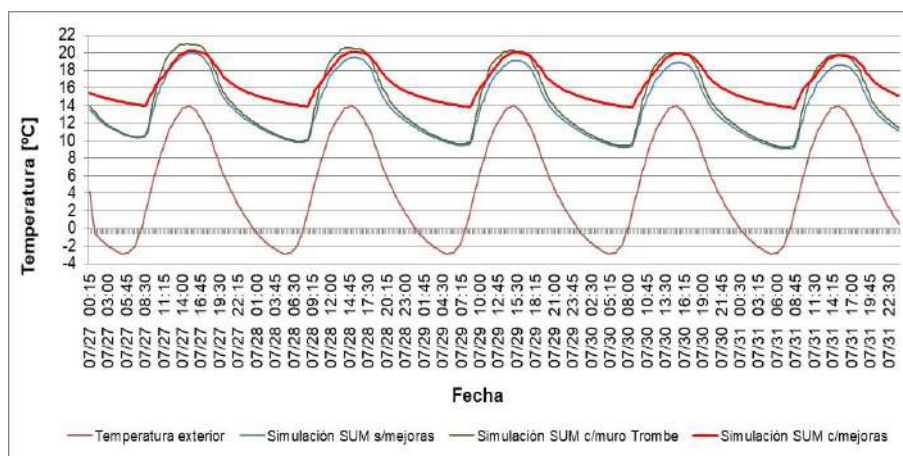


Figura 16: Respuesta térmica del SUM con la incorporación del muro Trombe y mejoras térmicas

Tabla 7: Datos de temperatura simulados

Fecha	SUM con muro Trombe			SUM con mejoras térmicas		
	Temperatura Max & Min	Amplitud		Temperatura Max & Min	Amplitud	
24-9	21.5 11.6	9.8		20.2 13.5	6.7	
25-9	20.7 8.9	11.8		19.9 11.7	8.2	
26-9	21.0 9.1	11.9		19.9 11.8	8.1	
27-9	25.3 10.3	15.0		22.1 12.5	9.6	
28-9	26.7 15.0	11.7		24.0 15.8	8.3	
29-9	27.0 13.6	13.4		24.5 15.4	9.1	
30-9	28.7 13.9	14.8		25.4 15.8	9.7	

Finalmente se simuló el comportamiento del SUM para verano en el mes de enero, con los datos climáticos del Servicio Meteorológico Nacional de Argentina, tales como temperaturas máximas, medias y mínimas, radiación global en superficie horizontal, radiación difusa en superficie horizontal y humedad relativa, correspondiente con el mes de enero, y con el programa Energy Plus Weather Formatted Data, se creó un archivo climático con la extensión .epw, correspondiente a un día de diseño típico de enero. Los resultados fueron estables con poca variación de temperatura, ver Figura 17, mientras que en el exterior la amplitud térmica fue de 18°C y adentro del SUM la amplitud fue de 8.1°C, validándose que las mejoras térmicas propuestas para la temporada de invierno-primavera son beneficiosas en verano, sin embargo, es importante simular el SUM durante más días del año para corroborar el buen comportamiento térmico, al igual que se pretende evaluar la ventilación nocturna para el enfriamiento del ambiente en verano.

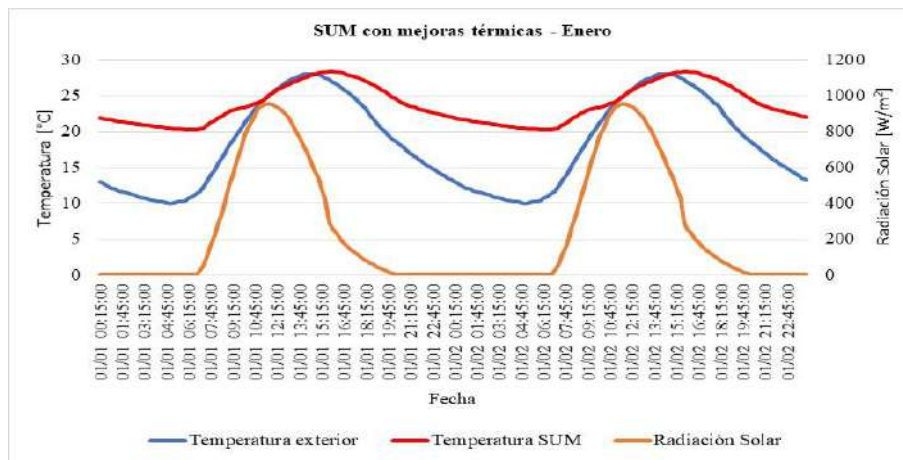


Figura 17: Simulación de SUM con mejoras térmica para un día de diseño de enero.

Por último, el costo de inversión de las mejoras propuestas para el SUM es de US\$ 3200, este costo incluye materiales y mano de obra. Aunque el costo puede considerarse alto, los beneficios térmicos serían positivos y la temperatura interior permanecerá estable en el tiempo durante el verano y el invierno.

Análisis térmico de la vivienda Unifamiliar.

En este caso, se realizó una evaluación energética de la vivienda construida con quincha, utilizando un programa computacional de balance térmico desarrollado en la tesis doctoral de Alfredo Esteves (Esteves, 2017), que permite determinar el Coeficiente de Neto de Pérdida (CNP) a través de los elementos constructivos y el Coeficiente Global de Pérdidas (CGP), a la vez que se incorporan estrategias bioclimáticas para lograr un eficiente comportamiento térmico final de la vivienda construida con quincha. El programa utiliza el método de relación carga térmica/colector y lo combina con el método Quadri para calcular la potencia calorífica (Esteves, 2017).

Cómputo de superficies y volúmenes							
	Muros				Total	Percentage	
	Tipo 1	Tipo 2	Puertas	Ventanas			
Norte	46.77	0.00	0	33.3	80.07	m ²	26.6 %
Noreste	0.00	0	0	0	0.00	m ²	0.0 %
Este	13.50	0	2.1	0	15.60	m ²	5.2 %
Sureste	0.00	0	0	0	0.00	m ²	0.0 %
Sur	48.35	25.92	0	4.39	78.66	m ²	26.2 %
Suroeste	0.00	0	0	0	0.00	m ²	0.0 %
Oeste	15.60	0	0	0	15.60	m ²	5.2 %
Noroeste	0.00	0	0	0	0.00	m ²	0.0 %
Subtotal - Superficies verticales	124.22	25.92	2.10	37.69	189.93	m ²	
Techo	110.7	0	m²		110.70	m ²	36.8 %
Total superficie de envoltente					300.63	m ²	100.0 %
Perimetro expuesto	54.47 m.lineales						
Volumen	332.1 m ³				332.10	m ³	
Pisos	110.7 m ²				110.70	m ²	
FAEP					2.72	m ² /m ²	

Figura 18: Cálculo de superficies y volúmenes de la vivienda.

Para el análisis se tuvieron en cuenta las características del lugar, tales como los grados días de calentamiento en base a 18°C, que para el Valle de Uspallata es de 2648°Cdía/año, la latitud 32.6°S y longitud 69.33°O. Luego, como se ve en la Figura 18, es necesario ingresar los datos de la superficie de cada tipo de pared, en este caso las paredes de tipo 1 son de quincha y las de tipo 2 son de hormigón. Los valores de las superficies se incorporan respecto a cada orientación, al Norte los muros de quincha tienen una superficie de 46.77m², al Este los muros de quincha tienen una superficie de 13.5m², al Sur los muros de quincha tienen una superficie de 48.35m² y los de hormigón tienen una superficie de 25.92m², finalmente al Oeste los muros de quincha tienen 15.6m² de superficie. Se continúa con las superficies de ventanas, puertas y piso. En las ventanas de orientación Norte la superficie es de 33.3m², y en las ventanas de orientación Sur de 4.39m². A partir de estos datos, se puede determinar el Factor de Área Envoltente Piso (FAEP), que en este caso se calcula como la relación entre el área de la envoltente[m²] y la superficie cubierta del edificio[m²], se considera que un valor de FAEP de 2 m²/m² (Esteves, 2017) es el valor óptimo y en este caso el valor es de 2.72m²/m², para mejorar este valor sería necesario reducir la superficie de la envoltente vertical expuesta. En este análisis no se tuvieron en cuenta las cargas internas debido a que la vivienda estaba habitada por una sola persona y la carga térmica era mínima como para influir en el balance térmico. En el siguiente punto se obtienen los coeficientes netos de pérdida disgregado en función del elemento constructivo en porcentaje de incidencia sobre el total de superficie construida, así se tienen los valores correspondientes a muros, cubiertas, cimentaciones, aberturas e infiltraciones. El CNP representa la cantidad de calor que el edificio perderá por cada °C de diferencia entre el interior y el exterior, este valor se determina a partir de la multiplicación de la superficie del elemento constructivo, Figura 18, por la conductividad térmica del material utilizado en cada caso respectivamente. En la Tabla 8 se observa que la mayor pérdida de calor se produce a través de los muros perimetrales (40,6%), en segunda instancia se observan las pérdidas por el techo (20,7%) y le siguen las pérdidas por fundaciones (18,9%) e infiltraciones (14,6%). Las pérdidas por las ventanas Sur (3,6%) y puertas (1,6%) es comparativamente bajo, dando como resultado un coeficiente neto de pérdidas totales de 357.7 W/°C. Así mismo, de acuerdo al diseño arquitectónico de la casa, la mayor superficie de aventanamiento está al Norte otorgando la ventaja de poder utilizar la radiación solar para contribuir a la calefacción interna de la vivienda, de esta forma se observa que la fracción de ahorro solar es de 46,8%, esto significa que el 46,8% de la energía anual necesaria para calefaccionar el

ambiente interior será cubierto con la ganancia directa de la energía solar. El resto de la energía necesaria para calefaccionar el ambiente, es decir 53.2%, debe ser cubierto por un sistema de calefacción auxiliar, que en este caso el usuario de la vivienda optó por hacer uso de una estufa a leña de alto rendimiento. La energía anual necesaria para mantener una temperatura de 21°C es de 9905kWh/año, lo que se traduce en 2846 kg/año de leña que representa US\$463 al año para la compra de leña. A esta demanda de energía corresponde una potencia de calefacción de 10938 Kcal/hr, la cual puede ser cubierta por una salamandra Ñuke Maitén (15.000 kcal/hr).

Tabla 8: Resultados del balance energético de la vivienda unifamiliar en Uspallata.

Descripción	Valor
Coefficiente Neto de Pérdidas en muros (150.10m ²) [%]	40.60
Coefficiente Neto de Pérdidas en techo (110.70m ²) [%]	20.70
Coefficiente Neto de Pérdidas en fundaciones (54.50m ²) [%]	18.90
Coefficiente Neto de Pérdidas en infiltraciones (332.1m ³) [%]	14.60
Coefficiente Neto de Pérdidas en ventanas Sur (4.39m ²) [%]	3.60
Coefficiente Neto de Pérdidas en puertas (2.10m ²) [%]	1.60
Coefficiente Neto de Pérdidas en Total [W/°C]	357.70
Factor de Ahorro Solar [%]	46.80
Calor auxiliar anual [Kwh/m ² año]	208.60
Consumo anual de leña [Kg]	6954.70
Potencia necesaria de la estufa de leña [W]	19081

Conclusiones

En este trabajo se ha estudiado el desempeño de dos edificios que cuentan con tecnología de quincha y están situados en la misma región montañosa, el Valle de Uspallata en la Provincia de Mendoza, Argentina. Se ha comprobado que a pesar del registro de bajas temperaturas exteriores de -6°C , al mismo tiempo las temperaturas interiores se acercaron a los 10°C , lo que supone una diferencia de temperatura interior-externo de alrededor de 16°C . Asimismo, se observó que gracias a la inercia térmica inherente a los muros de tierra y a las ventanas de doble vidrio hermético, la temperatura del ambiente interior descende lentamente permitiendo una rápida recuperación durante las horas de sol. Es importante señalar que mientras que la amplitud térmica exterior alcanzó los 26.2°C , la interior fue de 14°C como máximo para el SUM y para la vivienda fue de $7,4^{\circ}\text{C}$ para el estar-comedor y de $17,9^{\circ}\text{C}$ para el solarium. La simulación de Energy Plus pudo confirmar que con una reducción en el área de vidrio de las ventanas y con poliestireno expandido en el techo, que tienen un costo de inversión de US\$ 3200, incluyendo materiales y mano de obra, la amplitud térmica en el interior se redujo significativamente, hasta los 9.7°C . Posteriormente, en verano se registró una respuesta favorable a las mejoras, con un rango de temperatura interior de 8.1°C en comparación con los 18°C del exterior. En el caso de la vivienda, las mayores pérdidas de calor son producidas por los muros Norte y el techo, pero gracias a las aberturas en la orientación Norte la Fracción de Ahorro Solar es del 46.8%, reduciendo la demanda de calefacción auxiliar que corresponde a 10938 Kcal/hr, la cual puede ser cubierta con salamandra Ñuke Maitén (15.000 kcal/hr), y con un costo de US\$ 463 al año para la compra de leña. Tanto en la simulación del SUM como en el balance térmico de la vivienda unifamiliar, no se tuvieron en cuenta las cargas térmicas internas, tales como artefactos de iluminación, equipos mecánicos y personas, estas variables se tendrán en cuenta en una segunda instancia de medición durante la etapa de uso de ambos ambientes. Se puede decir que debido a que ambas construcciones utilizan la técnica de quincha para los cierres y que ambas están ubicadas en la misma zona, en el primer caso fue necesario realizar una mejora térmica para lograr el confort interior sin instalar un sistema de calefacción auxiliar y en el segundo caso se pudo resolver el problema utilizando una estufa de leña sin la necesidad de incorporar mejoras. Debido a la escasa bibliografía referida al tema de las simulaciones térmicas en construcciones con paredes de quincha, esta es una primera instancia para lograr la incorporación de este sistema constructivo sostenible en otros sistemas bioclimáticos.

Agradecimientos

Se agradece a Renato Bertini, dueño de la Ecovilla Tudunqueral y a la Arq. Laura Marín, por su buena predisposición para realizar el presente trabajo. Así mismo, se agradece la colaboración de Gustavo Barea por su ayuda en la etapa de simulación térmica.

Referencias

- ASTM Standard E 1933-99a. (2006). Standard Test Methods for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers.
- Houben, H; Guillaud, H. (1994). Earth construction: a comprehensive guide. Intermediate Technology Publications.
- Briga Sá, Ana; Sandra, Pereira; Nuno Soares; Jorge Pinto; Joao, Carlos Lanzinha and Analbela Paiva. (2016). An approach on the thermal behaviour assessment of tabique walls coated with schist tiles: Experimental analysis. Energy and Buildings 117. Pp. 11-19.
- Chiappero, Rubén y Supisiche, María. (2003). Arquitectura en tierra cruda. Editorial Nobuko. ISBN: 987-20641-5-6.
- Cuitiño G; Esteves A; Maldonado G, Rotondaro R. (2010). Análisis y reflexiones sobre el comportamiento higrotérmico de construcciones con quincha. Estudio del caso de un taller experimental en Mendoza. Revista ÁREA. 0328-1337.
- Cuitiño G., Esteves A., Maldonado G., Rotondaro R.. (2015). Análisis de la transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de quincha. Informes de la Construcción. Vol. 67, 537, e063. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.12.082>
- Cuitiño G; Maldonado G; Esteves A. (2014). Analysis of the Mechanical Behavior of Prefabricated Wattle and Daub Walls. International Journal of Architecture, Engineering and Construction. Vol 3, Nº 4. Pp. 235-246. ISSN 1911-1118.
- Cunha, Sandra; Jorge, Pinto; Anabela, Paiva; Briga-Sá, Ana; Nuno, Soares; Humberto, Varum and Débora Ferreira. (2014). A contribution for the improvement in thermal insulation of tabique walls coated with metal corrugated sheets. Buildings Services Engineering. Research & Technology. DOI: 10.1177/0143624414558720.
- Edwards B. 2006. Rough guide to sustainability (Spanish edition). Ed. G. Gili. Barcelona.



- Esteves A. (2017). *Arquitectura bioclimática y sustentable. Teoría y práctica de la conservación de la energía, sistemas solares pasivos y enfriamiento natural de edificios*. ISBN 978-987-42-5102-2
- Esteves, A; Gelardi, D. (2008). Método para el cálculo de grados día de cualquier temperatura base y cualquier localidad. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 12*. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184. Pp. 153-158.
- Esteves, A. (2017). *Arquitectura Bioclimática y sustentable*. Universidad de Mendoza. ISBN: 978-987-42-5102-2.
- Guzowski M. (2010). *Energía Cero. Arquitectura Contemporánea. Estética y Tecnología con Estrategias y dispositivos de ahorro y generación de energía alternativa*. Ed. Blume. 1ª Ed. Barcelona.
- Heathcote, K. (2011). The thermal performance of earth buildings. *Informes de la Construcción*, 63(523): 117-126 doi: 10.3989/ic.10.024
- Hegediš, Ivan1; Karaman, Golub1; Čeh, Arpad1; Đurić Neđo1; Kukaras, Danijel1 and Vunjak Danilo. (2017). Energy sustainability of rammed earth buildings. *Archives for Technical Sciences*. DOI: 10.7251/afts.2017.0917.039H. Pp. 39-48.
- IPCC, 2007. *Cambio Climático 2007 – Informe de Síntesis*. Panel Intergubernamental para el Cambio Climático. OMM – PNUMA. 2007.
- IPCC. 2014. *Renewable Energy and Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- IRAM 11.603. (1996). *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*. Buenos Aires.
- IRAM 11.601. (2002). *Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo*. Argentina. Buenos Aires.
- Martínez Martínez A. (2015). *Bioconstrucción*. Ediciones i (Silversalud, S.L.). Madrid.
- Minke G. (2013) *Manual de construcción con tierra: la tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*. 4° Ed. BRC Ediciones. Bariloche. Argentina.
- Penque W. 2012. *Los desafíos de la economía verde*. 1° Ed. Ediciones Kaicron, Buenos Aires.
- Shea, Andy; Mike, Lawrence and Pete, Walker. (2012). Hygrothermal performance of an experimental hemp–lime building. *Construction and Building Materials* 36. Pp. 270-275.
- Whitman, Christopher J. (2014). Heritage earth construction and hygrothermal comfort: The challenge of rebuilding in Central Chile. *Key Engineering Materials Vol 600*. Pp 186-195. doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.600.186.
- Whitman, Christopher J and Oriel Prizeman. (2016). U-value Monitoring of Infill Panels of a Fifteenth-century Dwelling in Herefordshire, UK. *Association for Preservation Technology*. ISSN: 0044-9466.