



XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído

## COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE VIVIENDA ECONÓMICA EN EL ALTIPLANO ANDINO – POTENCIAL DE ADAPTACIÓN CLIMÁTICA

**Alvaro Arciénega (1); Arturo Maristany (2)**

(1) Arquitecto, Tesista Especialización en Tecnología Arquitectónica, Escuela de Graduados, FAUD, UNC.

(2) PhD, Director Centro de Investigaciones Acústicas y Luminotécnicas, FAUD, UNC.

Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Arquitectura, Centro de Investigaciones Acústicas y Luminotécnicas CIAL, FAUD, UNC. Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina. Te +543514333037.

### RESUMEN

La envolvente de una edificación constituye el componente constructivo regulador de las condiciones interiores de temperatura y humedad respecto a las condiciones climáticas exteriores existentes, por lo tanto se hace necesario conocer el desempeño higrotérmico de las tipologías constructivas de las envolventes en viviendas en regiones donde el clima presenta características particulares, como es el caso de la región andina del departamento de La Paz – Bolivia, a fin de determinar qué tipologías ofrecen una mayor proximidad a las condiciones mínimas de habitabilidad y si requiriese, conocer qué mejoras se debería realizar para alcanzarlas. En el presente trabajo se exponen los resultados preliminares del estudio de rendimiento térmico y posibles mejoras de las tipologías de envolventes en viviendas económicas de la región andina. Se desarrollaron mediciones y simulaciones para analizar el rendimiento térmico de las tipologías en condiciones iniciales y en alternativas mejoradas con el objetivo de evaluar la influencia de la incorporación de sistemas pasivos de ganancia térmica y conseguir mejores niveles de confort al interior de las viviendas. Se concluye que con pequeñas mejoras en el aislamiento térmico, para minimizar las pérdidas, y la incorporación de recursos simples de aprovechamiento de la radiación, como el muro Trombe, se pueden conseguir niveles adecuados de confort y mejorar las condiciones mínimas de habitabilidad en las viviendas.

Palabras clave: envolventes, vivienda, comportamiento térmico

### ABSTRACT

The building envelope is the regulator constructive component of the internal conditions of temperature and humidity over existing outside weather conditions, therefore it is necessary to know the hygrothermal performance of building typologies of the envelopes in homes in regions where the climate has specific characteristics, such as the Andean region of the department of La Paz - Bolivia, to determine what typologies offer greater proximity to the minimum habitability conditions and if it requested, knowing what improvements should be made to achieve them. This paper exposed the preliminary results of the thermal performance and possible improvements of the typologies of envelopes in affordable housing in the Andean region. Measurements and simulations were developed to analyze the thermal performance of typologies in initial conditions and refinements in order to evaluate the influence of the incorporation of passive systems of thermal gain and achieve better levels of comfort inside the housing. It is concluded that small improvements in thermal insulation, to minimize losses, and the incorporation of simple solar heat gain, such as Trombe wall, they can achieve adequate levels of comfort and improve minimum living conditions in homes.

Keywords: envelopes, housing, thermal performance

## 1. INTRODUCCION

La vivienda constituye un bien social que define la calidad de vida de las personas y está destinado a satisfacer las necesidades básicas. Por lo tanto, una vivienda que permita vivir dignamente debe cumplir condiciones mínimas de habitabilidad, relacionadas principalmente con la calidad en los elementos constructivos, espacios funcionales proporcionales al número de habitantes y al acceso a servicios básicos.

La envolvente es uno de los componentes más expuestos del edificio, por lo tanto, es necesario lograr bases de diseño adecuado que permitan integrar todos los aspectos que condicionan su materialización: ambientales, tecnológicos, socio culturales, funcionales, económicos y formales. Alcanzar el conocimiento necesario para considerar la relación entre la conformación de la envolvente, las condiciones ambientales exteriores y las condiciones de confort interior es un factor fundamental en el logro de edificios sustentables de bajo impacto ambiental, que al reducir la demanda de energía proporcionen ventajas, tanto ambientales, en relación al confort, como económicas, en relación al consumo y los costos de las técnicas de construcción.

La envolvente de la vivienda es uno de los componentes de mayor influencia en el proceso de regulación de las condiciones interiores de temperatura y humedad necesarias para alcanzar condiciones de habitabilidad respecto a un entorno climático adverso. Si bien, para conseguir las condiciones de confort intervienen otros factores como la iluminación, calidad del aire, niveles de ruido, entre otros (CABRERIZO, 2012), el estudio se centra en el confort térmico en viviendas.

Para la construcción de las envolventes en viviendas económicas en el área andina del departamento de La Paz, figura 1, se utilizan tipologías constructivas diversas, basadas en distintos materiales tales como adobe, ladrillo hueco y bloque de cemento, entre otros. Tipologías que ofrecen distintas posibilidades de cerramiento y, por lo tanto, distintas maneras de adecuación a las condiciones climáticas existentes en la región. El área andina presenta un clima de tipo árido-frío, con importantes oscilaciones en la temperatura diaria, alcanzando un máximo valor medio de  $15,0^{\circ}\text{C}$  al medio día en época invernal y un valor de  $-5,7^{\circ}\text{C}$  en horario nocturno durante el mismo mes, registrándose inclusive temperaturas mínimas extremas de  $-10,0^{\circ}\text{C}$ . La temperatura media es de  $4,6^{\circ}\text{C}$  en el mes de julio, siendo éste el periodo más frío del año. Es destacable también la presencia de una intensa radiación solar durante el día, alcanzando valores superiores a los  $18 \text{ MJ/m}^2$ .

En trabajos similares se ha verificado la utilidad de incorporar a las tipologías de viviendas económicas un aislamiento adicional, principalmente en cubiertas y aumento de la capacidad térmica de los cerramientos verticales. En este sentido se destaca la necesidad de incorporar niveles mínimos de aislamiento en los sistemas constructivos bajo el criterio de resistencia térmica y al mismo tiempo evaluar la necesidad de utilizar materiales que incrementen la capacidad térmica de los cerramientos (CZAJKOWSKI et al., 2008) (DOMÍNGUEZ, 2013).

Considerando que la envolvente, entendida como la “piel de una edificación”, constituye un elemento que sirve como regulador de las condiciones interiores de la vivienda respecto a las condiciones climáticas exteriores existentes en la zona, se hace necesario conocer el desempeño higrotérmico de las principales tipologías que constituyen las envolventes de las viviendas populares mencionadas, a fin de determinar qué tipologías ofrecen una mayor proximidad a las condiciones mínimas de habitabilidad y si requiriese, conocer qué mejoras se debería realizar para alcanzarlas.

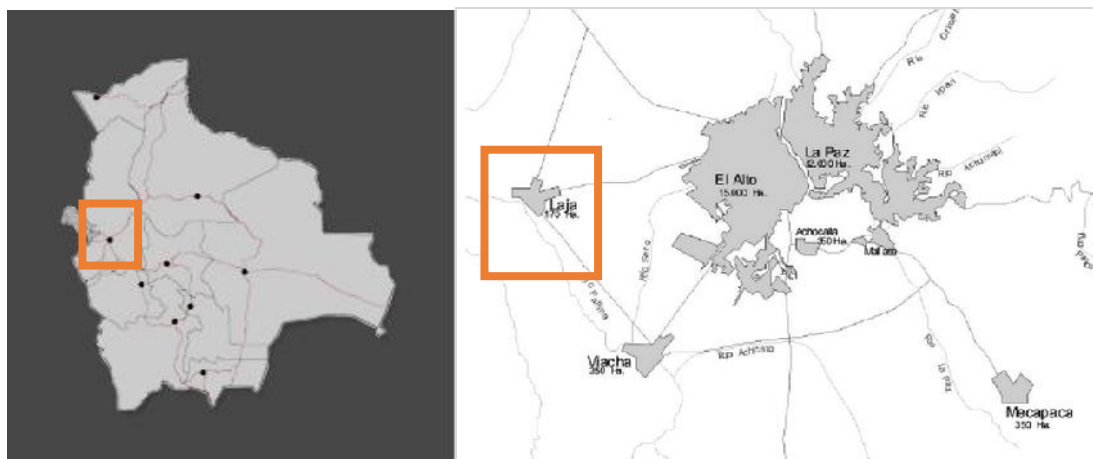


Figura 1 – Ubicación geográfica

## 2. OBJETIVO

Analizar el comportamiento higrotérmico de un prototipo de vivienda social en la región del altiplano para, posteriormente, proponer modificaciones tipológicas en la envolvente a fin de adecuarse a las condiciones de la región andina del departamento de La Paz – Bolivia. Los resultados comparativos permiten definir recomendaciones para su diseño adecuado al clima.

## 3. METODOLOGIA

Para cumplir con los objetivos del presente trabajo se ha organizado el mismo en tres etapas:

1. Monitoreo mediante mediciones de temperatura del comportamiento térmico de una vivienda económica ubicada en la localidad de Laja en el área andina del departamento de La Paz.
2. Construcción y validación de un modelo de simulación térmica de la vivienda para su posterior aplicación.
3. Evaluación, mediante el modelo construido, de alternativas constructivas o de diseño para optimizar el rendimiento térmico.

### 3.1. Monitoreo de la vivienda

#### 3.1.1. Presentación de caso de estudio

El caso en estudio es una vivienda promovida por la Agencia Estatal de Vivienda (AEVIVIENDA, 2013), perteneciente al Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda – MOPSV, en el marco de Plan Plurianual de Reducción del Déficit Habitacional– PPRDH.

La vivienda constituye uno de los prototipos planteados para el área andina de Bolivia, se trata de una vivienda unifamiliar aislada de una sola planta, figuras 2, 3, 4 y 5, con un área total de 55,36 m<sup>2</sup>, compuesta por un estar-comedor, dos habitaciones, una cocina y un baño.

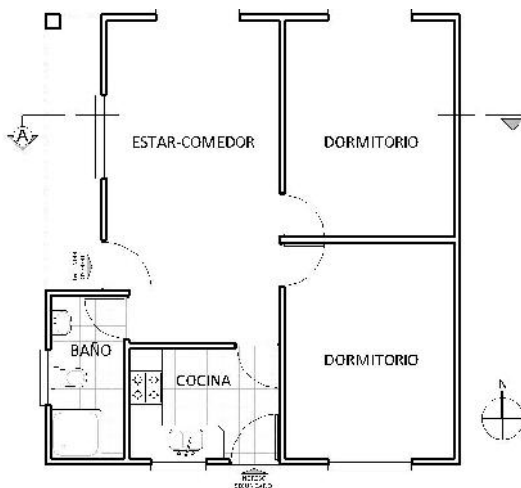


Figura 2 – Planta de la vivienda

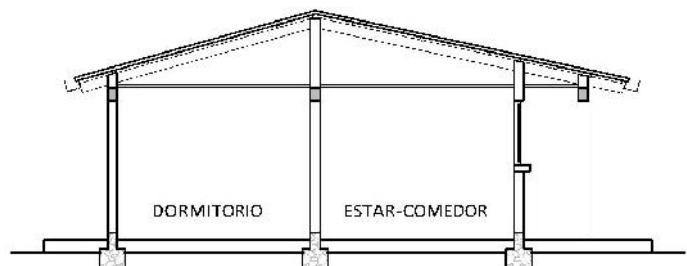


Figura 3 – Corte de la vivienda



Figura 4 – Vista NO



Figura 5 – Vista SE

### 3.1.1. Configuración de la Envolvente

La envolvente de la vivienda está construida en base a lo estipulado en las especificaciones técnicas del Programa de Vivienda Social y Solidaria de la AEVIVIENDA y en las Normas Técnicas de Vivienda (VDUB, 2003), donde se indica que una de las tipologías constructivas previstas para muros en viviendas sociales constituye el muro de ladrillo cerámico hueco con revoque exterior de cemento y revoque interior de estuco, mientras que para cubiertas una de las alternativas corresponde al sistema compuesto por chapa metálica sobre una estructura de madera y un cielo raso de yeso, que en el caso de la vivienda en estudio, fue reemplazado por un cielo falso suspendido realizado con placas prefabricadas de yeso. Figura 6.

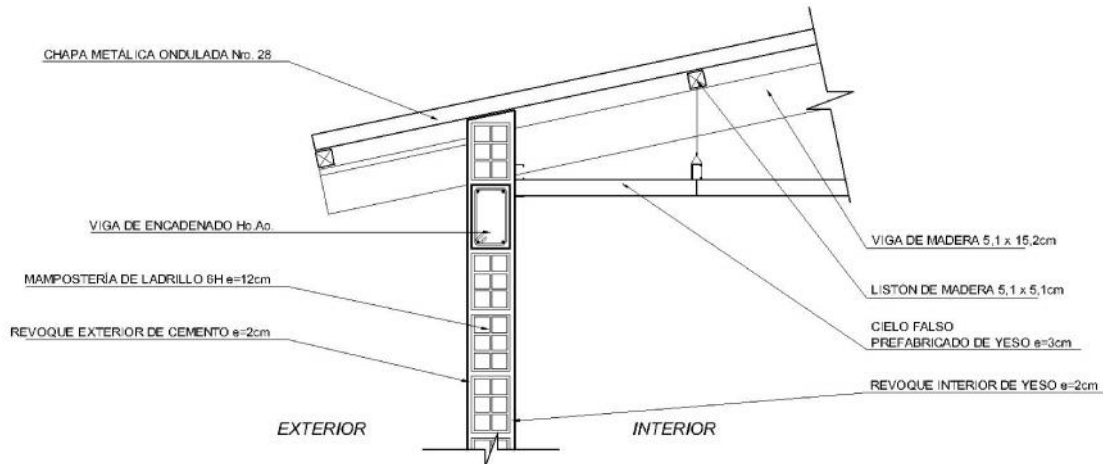


Figura 6 – Detalle constructivo

Los muros de la vivienda están constituidos por mampostería de ladrillo cerámico hueco de 12 cm de espesor, con revoque exterior de cemento y revoque interior de estuco, ambos con 2,5 cm de espesor, alcanzando un espesor total de 17 cm aproximadamente. Con estas características, el muro de ladrillo cerámico hueco logra una transmitancia térmica de  $1,76 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

La cubierta está conformada por chapa metálica ondulada sobre listones de madera de 5,1 x 5,1 cm, vigas de madera de 5,1 x 15,2 cm y el cielo falso suspendido, hecho con placas de yeso de 3 cm de espesor. Este tipo de cubierta alcanza una transmitancia térmica de  $3,08 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

### 3.1.2. Mediciones térmicas

Se realizaron mediciones de temperatura exterior, temperatura interior y humedad relativa en la vivienda en estudio, para lo cual se utilizaron sensores data-logger de pequeño formato tipo HOBO ubicados en distintos espacios interiores y en el exterior de la vivienda. Las mediciones se efectuaron siguiendo las recomendaciones y el protocolo de mediciones de temperatura en espacios interiores (DE SCHILLER ET AL., 2004). La instalación de los sensores respondió a los siguientes criterios:

- Programación de sensores para el registro automático de datos a intervalos de 15 minutos durante un periodo continuo de siete días para obtener la curva típica de temperatura.
- Ubicación de sensores en distintas habitaciones interiores y en el exterior a fin de establecer una comparación entre temperaturas interiores y exteriores.
- Ubicación de sensores en habitaciones con distintas orientaciones para detectar las horas donde se producen los picos, máximos y mínimos, de temperatura.
- Ubicación de sensores alejados de elementos que puedan generar o retener calor, especialmente muros exteriores.
- Ubicación de sensores alejados de puertas y ventanas abatibles, de tal manera de evitar corrientes de aire.

Fueron utilizados 5 sensores, uno exterior y cuatro distribuidos en los locales de la vivienda. Las mediciones fueron realizadas entre los días 23 y 30 de septiembre de 2014. En la gráfica de la figura 7 se muestran los resultados obtenidos durante la medición.

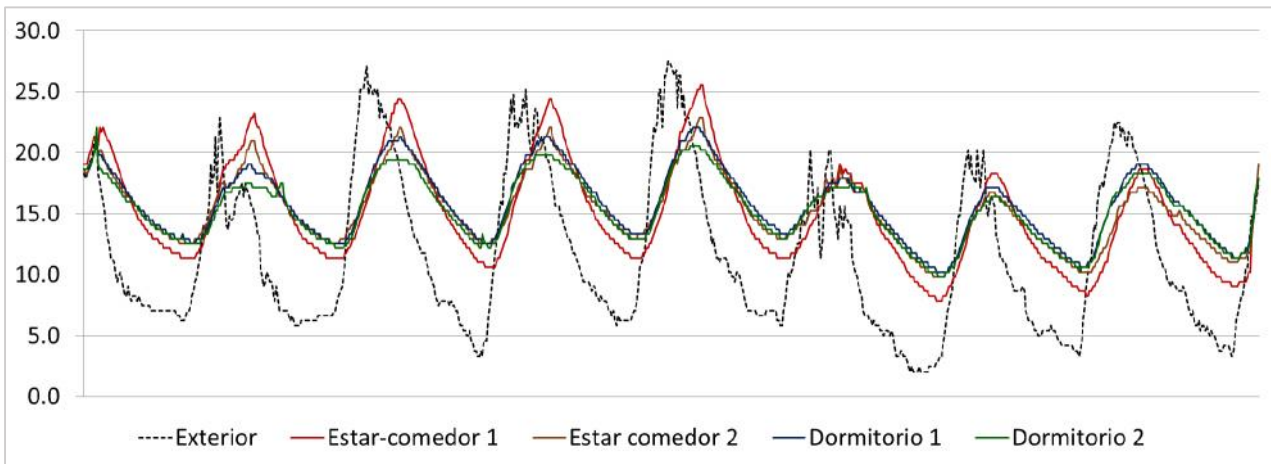


Figura 7 – Valores de temperaturas medidos en la vivienda

En el estar comedor se instalaron dos sensores, uno en el muro norte y el otro en un tabique interior. La diferencia entre ambos registros muestra la influencia de la radiación solar sobre el muro norte, incrementando los picos de temperaturas máximas y mínimas, por tanto se registra una mayor amplitud térmica en este sensor.

La figura 8 muestra una síntesis de los resultados obtenidos con valores de temperaturas medias interiores que oscilan entre los de 15,1°C y 15,8°C, respecto al promedio de 11,9°C del exterior. La amplitud térmica interior oscila entre los 6,5°C y los 11,4°C., en comparación con los 17,1°C del exterior.

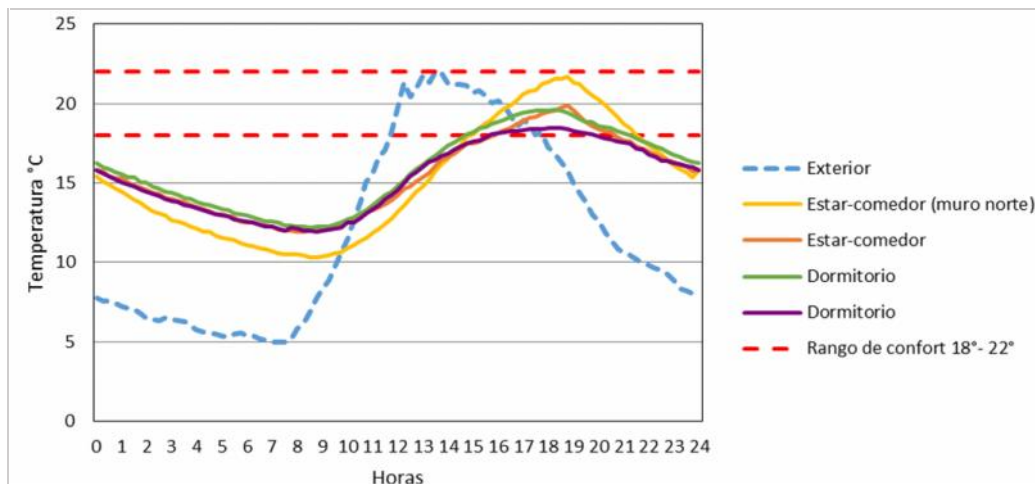


Figura 8 – Valores de temperaturas medias medidos en la vivienda

### 3.2. Simulación

Con el objetivo de disponer de un modelo de simulación que permita evaluar la vivienda bajo escenarios diferentes, se realizó un modelo térmico de simulación en SIMEDIF, tomando como temperatura exterior la obtenida durante el periodo de medición, con una secuencia total de cálculo de treinta y cinco días, lo cual permitió estabilizar los valores de la simulación. Se utilizó la versión de SIMEDIF para Windows. Programa de simulación desarrollado en el INENCO para la evaluación térmica de edificios (FLORES LARSEN; LESINO, 2000) (FLORES LARSEN; LESINO, 2001).

Los datos y variables de cálculo utilizados para la simulación se corresponden con el sistema constructivo y los materiales descritos anteriormente. En las graficas de las figuras 9 a 12 se muestran los resultados de la simulación en comparación con las mediciones por local. Se observa el ajuste alcanzado con un bajo nivel de error lo cual permite disponer de un modelo apto para simular otros escenarios diferentes a la condición analizada.

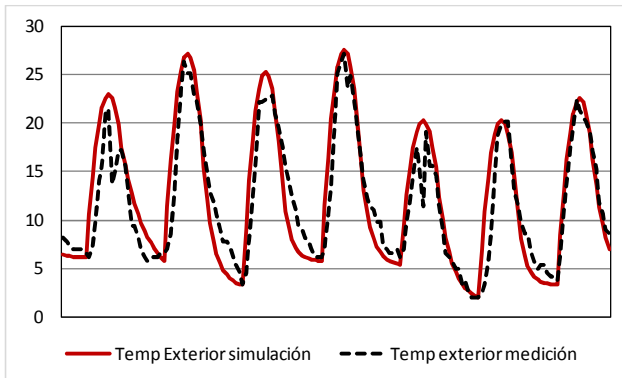


Figura 9 – temperaturas medidas y simuladas – exteriores

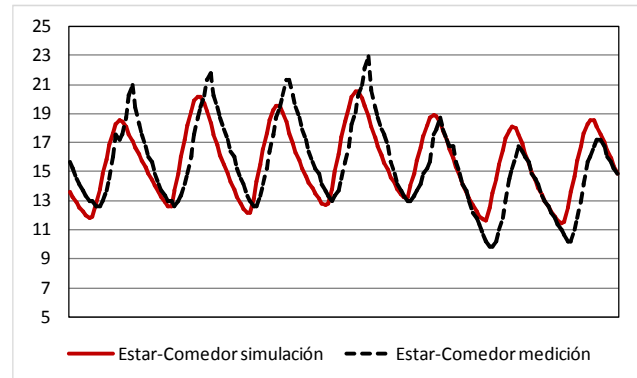


Figura 10 – temperaturas medidas y simuladas - estar

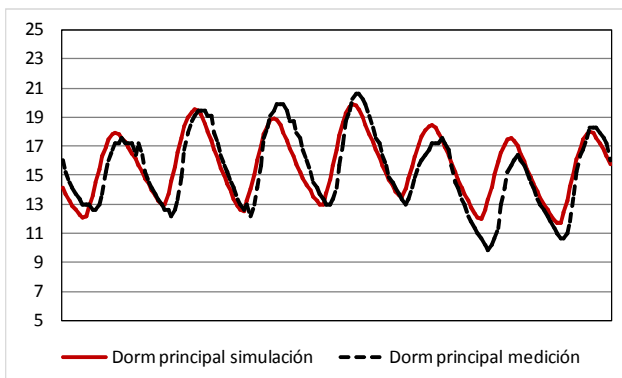


Figura 11 – temperaturas medidas y simuladas – dormitorio 1

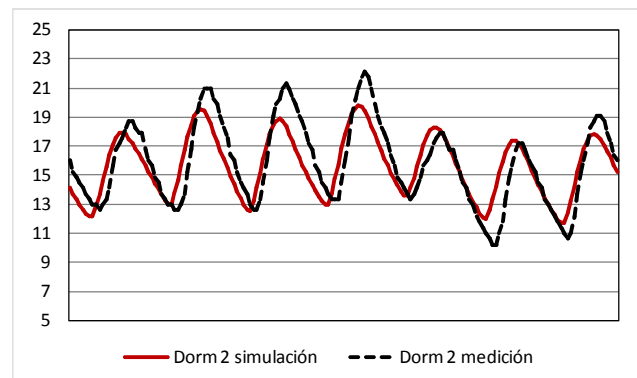
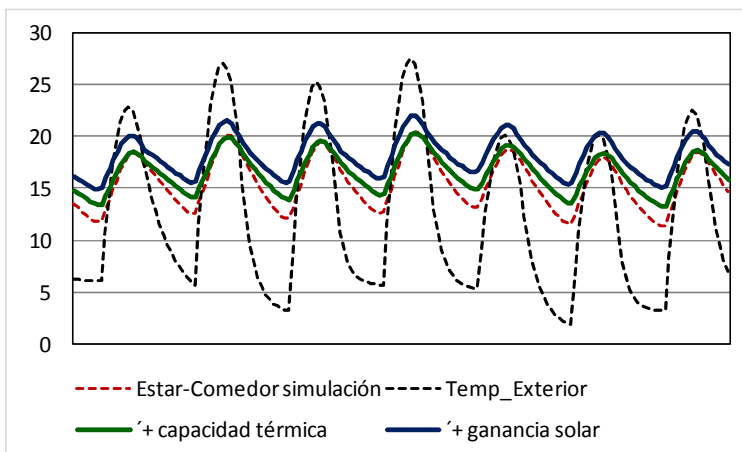


Figura 12 – temperaturas medidas y simuladas – dormitorio 2

#### 4. ALTERNATIVA PROPUESTA

A partir del modelo construido se realizan una serie de alternativas de mejoras constructivas destinadas a analizar las posibilidades de optimizar del rendimiento térmico de la vivienda. En una primera etapa se ha evaluado la posibilidad de modificar la capacidad térmica del cerramiento vertical, originalmente propuesto de ladrillo cerámico hueco, y aumentar el aislamiento térmico de la cubierta. Ambas alternativas se basan en resultados anteriores donde se comparó el rendimiento térmico de las tres principales opciones constructivas usuales en el altiplano: ladrillo cerámico, bloque de cemento y adobe. (ARCIÉNEGA; MARISTANY, 2014) en donde se concluyó que el muro de ladrillo cerámico es el que presentaba mayor amplitud diaria de temperatura. La falta de aislamiento de la cubierta produce sobrecalentamiento en horas cercanas al mediodía y produce también mayores pérdidas en horario nocturno con temperaturas superficiales muy bajas en ese horario provocando riesgos de condensación superficial e intersticial.



TM Exterior = 12,7°C

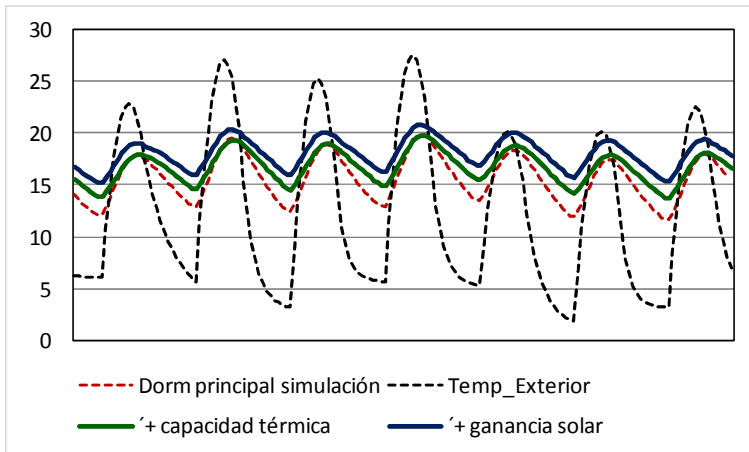
TM Interior = 15,6°C

TM Interior con +CT = 16,6°C

TM Interior con + CT + Ganancia = 18,2°C

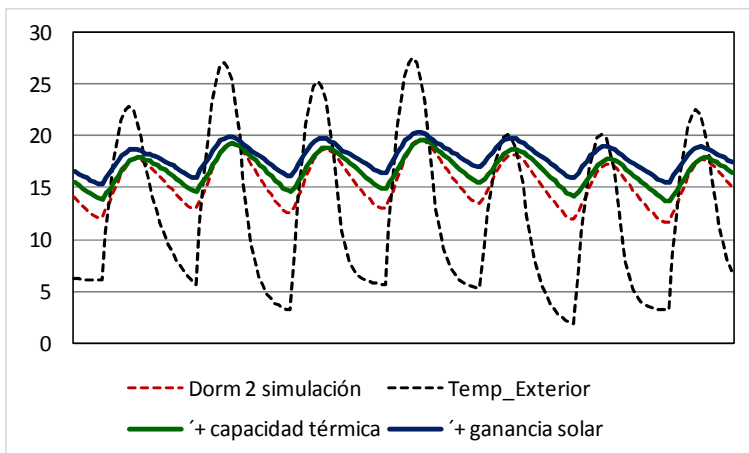
Figura 13 – temperaturas simuladas – estar comedor

Se verifica que la incorporación del aislamiento en la cubierta y el aumento de la capacidad térmica de los muros a un valor similar al del adobe permite una sustancial mejora en el comportamiento de la vivienda, en los tres locales simulados, figuras 13 a 15 se observa un incremento de la temperatura media de aproximadamente 1°C y principalmente un aumento de las temperaturas mínimas. Alternativamente se propone aumentar la ganancia de radiación solar al interior de los locales por aumento, en un 50%, y control de la superficie de ventanas. En este caso la diferencia de temperatura media es de 3°C, con un valor medio de aproximadamente 18°C lo cual ubica los locales dentro de la zona de confort.



TM Exterior = 12,7°C  
 TM Interior = 15,6°C  
 TM Interior con +CT = 16,8°C  
 TM Interior con + CT + Ganancia = 18,1°C

Figura 14 – temperaturas simuladas – dormitorio 1 principal

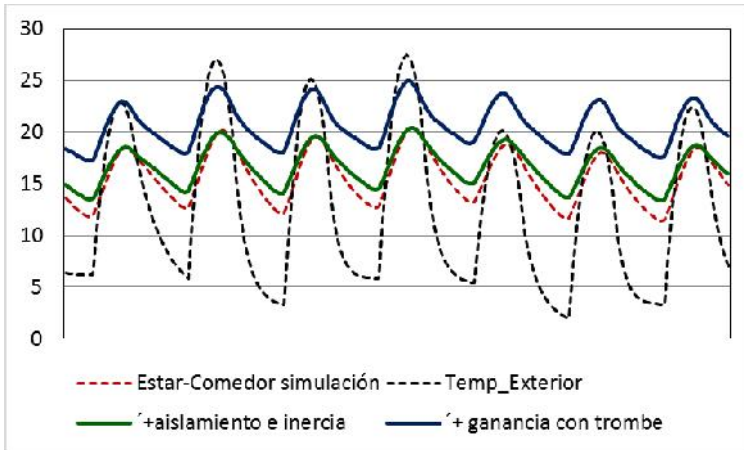


TM Exterior = 12,7°C  
 TM Interior = 15,6°C  
 TM Interior con +CT = 16,7°C  
 TM Interior con + CT + Ganancia = 17,9°C

Figura 15 – temperaturas simuladas – dormitorio 2

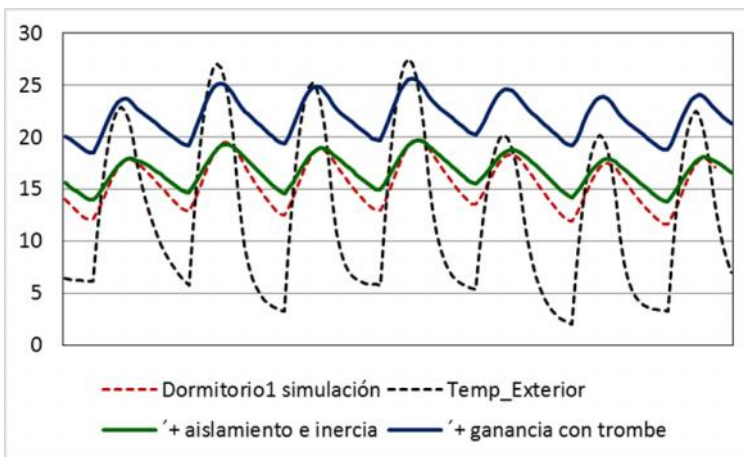
Se propone, de manera complementaria, el incremento de la ganancia de radiación solar a través de la incorporación de un muro trombe en habitaciones que tienen orientación norte a fin de elevar las temperaturas medias interiores. El muro trombe propuesto consta de una pared acumuladora de mampostería de piedra con un espesor de 0.40m y una densidad de 2400 kg/m<sup>3</sup>, una cámara de aire de 0,15m y una terminación con vidrio (K = 5 W/m<sup>2</sup>°C). La superficie total del muro trombe es de 10 m<sup>2</sup>, de los cuales 6 m<sup>2</sup> corresponden al estar-comedor y 4 m<sup>2</sup> al dormitorio 1.

Con la incorporación del muro trombe se logra incrementar las temperaturas medias interiores alcanzando valores óptimos de confort para la región. En las figuras 16 y 17 se observa que, en el estar-comedor, la temperatura media interior es de 20°C aproximadamente, mientras que en el dormitorio la temperatura media alcanza un valor aproximado de 21°C.



TM Exterior = 12,7°C  
 TM Interior = 15,6°C  
 TM Interior con +CT = 16,6°C  
 TM Interior con + CT + Ganancia = 18,2°C  
 TM Interior con CT + Ganancia +Trombe= 20,6°C

Figura 16 – temperaturas simuladas – estar comedor



TM Exterior = 12,7°C  
 TM Interior = 15,6°C  
 TM Interior con +CT = 16,8°C  
 TM Interior con CT + Ganancia +Trombe= 21,8°C

Figura 17 – temperaturas simuladas – dormitorio 1 principal

En las figuras 18 y 19 se observa la incorporación del muro trombe ubicado en el muro norte de la vivienda, correspondiente al estar-comedor y al dormitorio 1.



Figura 18 – Planta de la vivienda

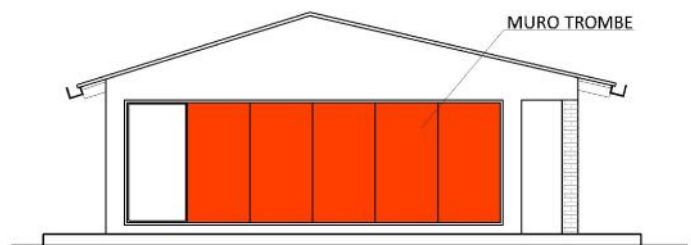


Figura 19 – Elevación muro norte



## 5. CONCLUSIONES

El análisis realizado permite algunas conclusiones parciales del proceso de investigación en curso. La vivienda económica del altiplano andino en Bolivia tiene, por sus características constructivas usuales y por las condiciones climáticas en las cuales se halla inserta, requerimientos de mejora del control higrotérmico similares a muchos otros casos de estudio.

- Se coincide con la necesidad de aumento de la capacidad térmica de los muros. Se observa que el comportamiento térmico de las técnicas locales, como el adobe, tiene una mayor adaptación climática por su alta capacidad de acumulación de calor. Esta es una característica importante de rescatar, quedando pendiente la propuesta tecnológica alternativa al adobe, pero que conserve estas propiedades relacionadas con la capacidad térmica.
- Se destaca también la necesidad de aumento del aislamiento en las cubiertas para optimizar el intercambio energético en el cerramiento de mayor exposición.
- Es necesario el complemento de estas técnicas constructivas con un diseño tipológico adecuado a los efectos de controlar y mejorar la ganancia solar en las estaciones que se requiera como alternativa.

Se propone continuar esta línea de trabajo a partir del estudio de técnicas constructivas modernas, como alternativa a los cerramientos de ladrillo cerámico y cemento usados de manera exclusiva, adaptadas a las condiciones tecnológicas, culturas y sociales de la región y que respondan adecuadamente a las solicitaciones ambientales y su adecuación climática.

En este marco se destaca la necesidad de revisar las tipologías con el objetivo de incorporar sistemas pasivos de aprovechamiento de la energía solar como recurso, minimizar las pérdidas térmicas en el interior de las edificaciones, con el fin de optimizar el uso de energía y mejorar las condiciones mínimas de habitabilidad en las viviendas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AEVIVIENDA (2013). Construcción de viviendas en el municipio de Laja. Sistema de Contrataciones Estatales – SICOES. Recuperado de <http://www.sicoes.gob.bo/paginicio/inicio.php>
- ARCIENEGA A., MARISTANY A. (2014). Aproximación a la importancia del control higrotérmico en viviendas económicas en la región metropolitana La Paz – El Alto, Bolivia. Congreso ARQUISUR. Universidad Mayor de San Andrés UMSA, La Paz.
- CABRERIZO, B. (2012). Evaluación del confort térmico en viviendas con cerramientos de mampostería de ladrillo cerámico. Centro de Investigaciones en Arquitectura y Urbanismo – CIAU, Universidad Privada Boliviana, Cochabamba.
- CZAJKOWSKI J. D.; GÓMEZ A. Y BIANCIOTTO. M. Comportamiento térmico de viviendas sociales mediante incorporación de mejoras de diseño en la envolvente. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 12, 2008.
- DE SCHILLER, S., EVANS, J. M., PATRONE, J. C., COMPAGNONI, A. M., DONZELLI, L., (2007). Auditorías bioclimáticas en vivienda de interés social, Estrategias Bioclimáticas y Sustentabilidad, Red Latinoamericana para el Uso de Energ Renov y Diseño Bioclimático en Viviendas y Edificios de Interés Social, Programa CYTED 2007, pp 151-160, INETI, Lisboa.
- DOMÍNGUEZ M., GARCÍA C., GONZÁLEZ F.& ARIAS, J. (2013). Importancia de la capacidad térmica en la resistencia al paso del calor en los cerramientos. Conarquitectura. ca09, 65-72.
- FLORES LARSEN, S., LESINO, G., SARAVIDA, L & ALIA, D. (2001). SIMEDIF Programa de diseño y cálculo del comportamiento térmico de edificios. INENCO - UNSa – CONICET. Salta. Argentina.
- FLORES LARSEN S. Y LESINO G. (2000). SIMEDIF 2000: Nueva versión del programa de diseño y cálculo de edificios. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 4, 2, pp. 8.53-8.58. 2000.
- VICEMINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO DE BOLIVIA - VDUB (2003). Manual de Autoconstrucción. Dirección general de vivienda y urbanismo, Unidad de políticas de vivienda y Construcciones. La Paz.