

## CONSTRUCCIÓN DE UNA VIVIENDA SOLAR EN BASE A LAS PROPIEDADES TERMOFISICAS Y EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE SU CONFORT TÉRMICO EN ILAVE

Arturo Flores Condori

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Sistemas - Facultad de Ingenierías y Arquitectura Universidad Peruana Unión – Juliaca - Puno - Perú  
[flores.fis@gmail.com](mailto:flores.fis@gmail.com)

### INFORMACIÓN DEL ARTICULO

Art. Recibido 20 de abril 2014  
 Art. Aceptado 02 de junio 2014  
 Publicado: 30 Junio del 2014

### PALABRAS CLAVE:

\* confort térmico  
 \* energía solar  
 \* propiedades termofísica  
 \* simulación térmica

### ARTICLE INFO

Article Received April 20, 2014  
 Article Accepted June 2, 2014  
 Published: June 30, 2014

### KEY WORDS:

\* thermal comfort  
 \* solar energy  
 \* thermophysical properties  
 \* thermal simulation

### RESUMEN

El presente artículo consistió en la construcción de una vivienda solar pasivo a base de propiedades termofísicas (Conductividad térmica, calor específico, difusividad térmica e inercia térmica) y desarrollar una evaluación experimental del rendimiento térmico aportado por los elementos constructivos, en una comunidad rural Colloco - Ilave, provisto de adecuado aislamiento térmico en la envolvente (doble pared de adobe, en el cielo raso: paja-carrizo-yeso y en el piso: tierra apisonada-cama de piedra-plástico-paja y totora), ubicación, la orientación y un sistema de acumulación de energía adecuadamente diseñada a base de encapsulado de piedras andesitas porosas y de totora. La distribución de energía calorífica almacenada fue primordial al ambiente dormitorio que esto permite el aprovechamiento de la energía solar para lograr que la temperatura al interior de la vivienda sea más confortable. Se realizó el análisis del comportamiento térmico de la vivienda construida y la vivienda rural típica, para lo cual se tomaron los datos meteorológicos de la zona (temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar), también se registraron la temperatura y humedad relativa del aire en el ambiente interior y exterior de las viviendas desde 19 de junio al 02 de julio del 2013. Obteniéndose en la vivienda construida las temperaturas máximas y mínimas de 15.85°C y 11.88°C respectivamente. Según la evaluación de la vivienda construida se aprecia un incremento de temperatura mínimo de 6.26°C, respecto a la vivienda típica. Para validar estos resultados experimentales, se ha utilizado el programa de simulación térmica EnergyPlus para los datos meteorológicos de la zona (3868 msnm), comprobándose por el método correlativo, el factor de correlación fue  $r=0.92575$ . Este incremento de la temperatura en el interior de la vivienda construida contribuye alcanzar un confort térmico, permitiendo una condición de vida saludable para el poblador rural.

### CONSTRUCTION OF A SOLAR DWELLING BASED ON THERMOPHYSICAL PROPERTIES AND EXPERIMENTAL EVALUATION OF THERMAL COMFORT - ILAVE, PUNO - PERU »

### ABSTRACT

The present article consists in the construction of a passive solar house based on the study of thermophysical properties (thermal conductivity, specific heat, thermal diffusivity and thermal inertia). We developed an experimental evaluation of the thermal efficiency contributed by different constructive materials, in the rural community of Colloco - Ilave. Once adequate thermal insulation was provided in the enveloping surface (double wall construction of sun-dried adobe brick, a false ceiling with: straw, bamboo and plaster. In the floor: tamped soil, stone bed, plastic, straw and totora reed). Location and position of the solar home in coordination with an energy accumulation system adequately designed with an encapsulation of porous Andesitic stones and Totora reed. Distribution of the stored thermal energy was directed primarily to the main bedroom, this enabled adequate use of solar energy in order to achieve a comfortable temperature within the dwelling. We analyzed the thermal behavior of both this experimental structure and that of a common rural dwelling; taking the interior and exterior meteorological readings found in the two dwelling types. (temperature, relative humidity, wind velocity and solar radiation). Between June 19<sup>th</sup> and July 2<sup>nd</sup>, the temperature and relative humidity of the interior of the experimental structure measured a max. of 15.85°C (60.53°F) and 11.88°C (53.384°F) respectively. According to a general evaluation of the experimental structure, there was a temperature increment of 6.26°C (=11.27°F) compared to the average temperature of a normal dwelling. In order to confirm these experimental results we used the thermic simulation software EnergyPlus, entering the meteorological data of the area (3,868 meters above sea level=12690.3 ft.) using the correlative method and a correlative factor of  $r=0.92575$ . This higher temperature inside of the experimental structure contributes to attaining a thermic comfort allowing for a healthy living condition for the rural inhabitant.

## INTRODUCCIÓN

La región altoandina peruana (Puno) cuenta con una clima frígida (muy frío en la temporada de invierno) esto ocasiona problemas de falta de confort térmico al interior de las viviendas; además toma especiales dimensiones al considerar que si diseña sin distinguir criterios, utilizando materiales de construcción y apropiado para clima local, afectando no solo las condiciones de habitabilidad en millones de viviendas ya construidas sino también las que se edificarán en la próximas décadas de no tomar en cuenta criterios bioclimáticos (ubicación, orientación, distribución y geometría) [Espinoza; Huaylla, 2009]. La causa asociada es básicamente las técnicas constructivas de las viviendas han devenido a menos, siendo estas menos aisladas térmicamente y no siempre se construye las viviendas de acuerdo al clima de la región, que los materiales constructivos juegan un papel determinante en el comportamiento térmico de las viviendas [GAN, 1998]. Las mayores ganancias de calor interior de las viviendas son por la combinación de los efectos del clima con las características termofísicas de los materiales que componen la envolvente [García].

En el Perú, un total de 2 millones 481 mil 740 habitantes, son sometidos o afectados a condiciones climáticas frías extremas en la zona sur, centro y oriente del país (durante el periodo 2003 al 2011); específicamente, Puno es el departamento que presentó la mayor cantidad de afectados, damnificados y con viviendas inhabilitadas (82 029 personas afectadas, 2394 personas damnificadas y con 1 220 viviendas inhabilitadas en este año 2013, seguido de Apurímac, Cusco, Huancavelica y Arequipa respectivamente, (todos sobre los 3 000 m.s.n.m.) [INDECI].

Es claro que las consecuencias de las condiciones climáticas de frío intenso sobre el poblador alto andino son muy perjudiciales y en el peor de los casos pueden llegar a ser mortales. Según el análisis obtenida de las condiciones climáticas en la zona de estudio: -12°C temperatura del ambiente en las horas de madrugadas, velocidad del viento media mensual de 5.6 m/s, periodos mayo a julio, [Senamhi-Puno, 2 012] y la radiación solar 500-900 W/m<sup>2</sup> lo que significa 6.8 kW/m<sup>2</sup> de energía diario acumulado [Espinoza; Huaylla, 2009], por las cuales las viviendas no la aprovechan acumulándola en su interior, porque: los muros de la envolvente son aislantes, hay fuerte ventilación e infiltraciones y la orientaciones de las viviendas no son adecuadas. Por tales motivos es necesario construir una vivienda solar pasivo usando elementos constructivos termofísicas y la energía solar como fuente de calentamiento, para lograr las condiciones de confort térmico en el interior de la vivienda, fundamentadas en las leyes que rigen la transferencia de calor y la termodinámica. El aporte que hace a la sostenibilidad la vivienda solar pasiva también es importante, ya que la calefacción o el refrescamiento que aporta al confort térmico del ser humano, no generan externalidades negativas en su periodo de funcionamiento [Grupo PUCP]. Además pretende contribuir al conocimiento científico en el área de Energías Renovables, que representa un aporte y la alternativa de solución a la problemática de friaje en la zona del altiplano y sierra peruana, garantizando el uso eficiente de la energía solar para lograr incrementar la temperatura dentro de la vivienda y así mejorar el bienestar habitacional de la zona altoandina.

La predicción de la unidad funcional en el ciclo de vida de un producto es básico para la administración de su ciclo de vida y para

la unidad funcional «*confort térmico*», que ofrece una vivienda solar pasivo, que ha sido difícil de manejar en su etapa de diseño, porque es finalmente la suma del rendimiento térmico que ofrece un conjunto de materiales y elementos constructivos dentro de dicha vivienda. Los problemas de incorporar una evaluación de comportamiento térmico y relacionarlo con su análisis de ciclo de vida en el caso de una vivienda solar pasivo, se presenta frente a la necesidad de combinar materiales y componentes de manera flexible, y que finalmente nos permita tener como resultado esta unidad funcional, tan importante para el bienestar y salud del ser humano, como es su confort térmico [Nacif, 2011].

El comportamiento térmico al interior de una vivienda solar pasivo dependerá de la incidencia de factores como [Bastide, 2006]:

- Variables relacionadas con el clima de la región (sistemas convectivos, vientos, temperatura ambiente, temperatura interior, radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento).
- Variables relacionadas con las características de los materiales de construcción (conductividad, capacidad térmica, densidad, calor específico).
- Variables relacionadas a constantes de cálculo (Stefan-Boltzmann, Factores de Conversión, Coeficiente de Convección).
- Variables relacionadas con la pérdida de calor en la construcción, infiltración, renovación de aire.

Se consideró un flujo de calor por convección natural ya que dentro de los puntos térmicos la velocidad del viento es pequeña. La ecuación de flujo de calor que nos permitió realizar estos cálculos de transmitancia y resistividad fue [Welty, 1963]:

$$\frac{Q_c}{A} = h_c \Delta T = h_c (T_{\text{superficie}} - T_{\text{amb}})$$

Donde:

$q_c$  = es la rapidez de transferencia de calor convectivo, [W]

$A$  = es el área normal a la dirección de flujo de calor, [m<sup>2</sup>]

$h_c$  = es el coeficiente pelicular, [W/m<sup>2</sup>K]

« $T = T_{\text{superficie}} - T_{\text{amb}}$ » es la diferencia de temperatura que existe entre superficie y el fluido, [K].

Puesto que la envolvente de la vivienda solar pasivo se caracterizan por ser paredes compuestas verticales, superficies compuestas horizontales, superficies planas compuestas con cierta inclinación, se consideró la siguiente ecuación para determinar la rapidez de transferencia de calor para situaciones en las que aparezca un material compuesto [Welty, 1963]:

$$q = U \Delta T$$

Donde:  $U$  = es el coeficiente total de transferencia de calor, [W/m<sup>2</sup>K].

## METODOLOGÍA

El proceso de investigación de la vivienda solar construida fue netamente *Experimental, Descriptivo e Interpretativo*. Por lo que se hace un estudio con el fin de establecer el comportamiento térmico de la vivienda solar construida y que garantice el confort térmico, y los resultados permitirán conocer el eficiente aprovechamiento de la energía solar para asegurar el confort térmico en las viviendas

**CONSTRUCCIÓN DE UNA VIVIENDA SOLAR EN BASE A LAS PROPIEDADES TERMOFÍSICAS Y EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE SU CONFORT TÉRMO EN ILAVE**

que se ubican en las zonas altoandinas de la provincia de El Collao y de la de la región de Puno.

**Diseño y construcción de la vivienda térmica solar pasivo.**

**Ubicación.** La construcción de la vivienda solar pasivo se ubica en la comunidad rural altoandina localizada en la región de Puno, en la provincia de El Collao, distrito de llave, en la comunidad rural Colloco (latitud 19°9'; longitud 69° 31'; 3 868 msnm); una de las condiciones fue que el lugar seleccionado tenga un clima muy frío en comparación con las demás zonas (a nivel de zona circunlacustre), según la evaluar realiza de las condiciones climáticas registradas en la zona, luego se seleccionó la dicha comunidad, por la que se presentó las condiciones ambientales más hostiles (se registraron los mínimos de temperatura más bajos, (Cuadro 03).

La construcción de la vivienda solar pasivo en base a materiales de propiedades termofísicas se construyó con una propuesta técnica y un diseño arquitectónico que se incorporan técnicas de orientación, ubicación, fuente de energía a través del recinto acumulador de calor aprovechando la energía solar y distribución de energía calorífica al dormitorio. Para que una vivienda esté bien ejecutado, debe contar con un adecuado aislamiento térmico, una buena orientación, protección de ventanas y estar dotado de una eficiente iluminación. En una región como Puno, con fuerte componente poblacional que vive en el área rural, que usan procedimientos constructivos tradicionales, es importante incluir sistemas de confort térmico en las viviendas para que mejoren la temperatura interna, especialmente en los meses de friaje: mayo, junio y julio. A continuación se muestra el plano de la vivienda solar pasivo propuesta para lograr que los ambientes interiores tengan a condiciones mínimas de confort en los meses de frío.

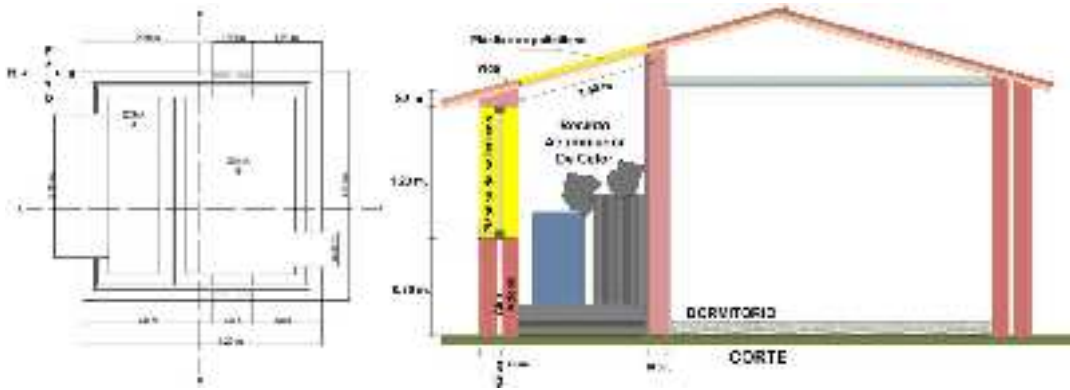


Figura 01. Diseño arquitectónico de la vivienda térmica solar pasivo.

**Sistema de aislamiento térmico de la envolvente de la vivienda solar.**

En el diseño de la vivienda solar pasiva se consideran las siguientes características de aislamiento térmico para: techumbre, muros,

ventanas, puerta y piso, y se detallan en seguida, en la Figura 02 y Cuadro 01.

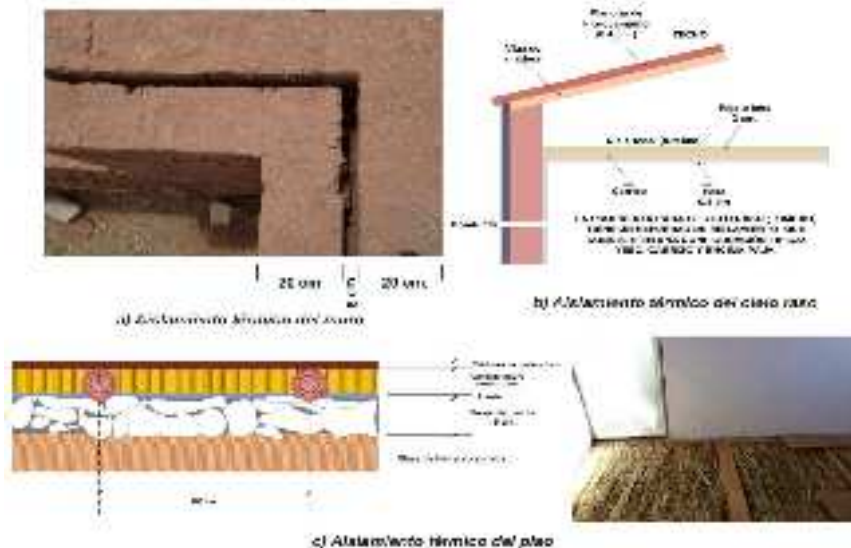


Figura 02. Aislamiento térmico de la envolvente de la vivienda solar.

Material de construcción	Espesor m	Conductividad térmica $\lambda$ [W/mK]	Transmitancia térmica U' equivalente [W/m <sup>2</sup> K]	Resistencia térmica R equivalente [(m <sup>2</sup> K)/W]
Muros			1.22	0.89
Adobe	0.20	0.38		
Aire	0.06	0.024		
Adobe	0.20	0.35		
Yaso	0.007	0.23		
Techos (sólo caso)			2.2	0.45
Carrizo leño	0.32	0.39		
Yaso	0.007	0.23		
Fibra- cemento	0.004	0.18		
Suelos			3.87	1.12
Madera	0.015	0.11		
Plástico poliisobu- tileno	0.002	0.33		
Piedra seca partida	0.20	3.50		
Tierra	0.15	0.52		
Yacuzuma			3.87	1.08
Vidrio	0.008	1.028		
Aire	0.06	0.024		
Vidrio	0.008	1.028		

Cuadro 01. Resumen de configuración de aislamiento térmico considerados para la simulación térmica de la vivienda construida.

Material	Densidad $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Conductividad térmica $\lambda$ [W/mK]	Calor espe- cífico $C_p$ [J/kgK]
Adobe	1800	0.35	920
Zocas compactas	2800	3.50	1000
Yaso común	800	0.24	1060
Plancha-fibrrocemento	1380	0.18	1530
Madera	510	0.14	1380
Carrizo leño	270	0.29	900
Tierra seca	-	0.52	-
Plástico polietileno	925	0.33	2500
Aire	1.28	0.027	1005

Cuadro 02. Conductividad térmica, la densidad y Calor específico de los materiales más usados en la construcción [Espinoza; Huaylla, 2009], [Welty, 1963], [Incropera, 1999].

**RESULTADOS**

La construcción de la vivienda solar se realizó el inicio de actividades en base a un análisis de condiciones climáticas de la zona; según

los datos proporcionados promedios mensuales (temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento), en la época de friaje, invierno del 2012 [Senamhi-Puno], tal como se muestra en el Cuadro 03.

Mes	T. media máxima [°C]	T. media mínima [°C]	T. media [°C]	H.R. media máxima [%]	H.R. media mínima [%]	H.R. media [%]	Irradiación solar media [kWh/(m <sup>2</sup> día)]	Rapidez media de viento [m/s]
Mayo	12.8	-2.0	5.4	60.86	49.07	71.60	5.4	5.3
Junio	12.2	-4.3	4.0	61.76	36.53	59.93	6.2	5.3
Julio	12.9	-5.0	3.9	61.76	34.67	74.70	5.7	6.3
Agosto	13.3	-4.7	4.3	59.70	45.90	75.63	5.9	5.7

Cuadro 03. Condiciones climáticas exteriores promedio mensuales en el 2012, registradas en llave 3871 m.s.n.m. [Senamhi].

A continuación se muestran las condiciones climáticas medidos en el lugar en situ, el registro de temperaturas, humedad relativa, velocidad del viento, dirección del viento promedios mínima, máxima diario en los días más fríos de invierno del 2013, desde 19 de junio al 02 de julio del 2013, tal como se observa la temperatura exterior y la humedad relativa exterior en el Cuadro 04, cuya gráfica corres-

pondiente se muestra en la figura 02. La instrumentación empleada para medir los parámetros de condiciones climáticas se utilizó específicamente el **Anemómetro digital, tarjeta de adquisición de datos (DAQ) y los sensores de medida de temperatura** ubicados en puntos térmicos tanto en el exterior y en el interior de la vivienda solar pasivo.

Días	Temperatura máxima media exterior [°C]	Temperatura mínima media exterior [°C]	Temperatura media exterior [°C]	Humedad relativa máxima media [0-100 %]	Humedad relativa mínima media [0-100 %]	Humedad relativa media [0-100 %]
19/06/2013	12.43	2.99	7.71	4.1	3.4	3.8
20/06/2013	11.21	2.62	5.92	4.0	2.9	3.5
21/06/2013	12.03	2.63	7.33	3.5	2.5	3.0
22/06/2013	11.31	2.21	5.76	3.5	2.0	3.2
23/06/2013	10.61	3.35	6.58	4.3	3.5	3.9
24/06/2013	11.21	3.19	7.20	5.0	3.2	4.1
25/06/2013	11.49	2.72	7.11	4.4	2.9	3.7
26/06/2013	11.79	2.11	6.85	3.9	1.3	2.2
27/06/2013	8.64	0.56	4.50	2.4	2.3	2.4
28/06/2013	10.31	1.47	5.89	2.6	2.5	2.6
29/06/2013	10.36	1.73	6.05	3.7	2.7	3.2
30/06/2013	10.11	2.79	6.70	4.2	3.5	3.9
01/07/2013	9.34	2.76	5.80	5.0	3.8	4.7
02/07/2013	11.31	3.05	6.20	6.1	5.0	6.0
PROMEDIO	10.87	2.51	6.70	4.4	3.1	3.5

Cuadro 04. Registro de temperatura y humedad relativa media diario monitoreada en el ámbito de estudio, los días 19 de junio hasta 02 de julio del 2013.

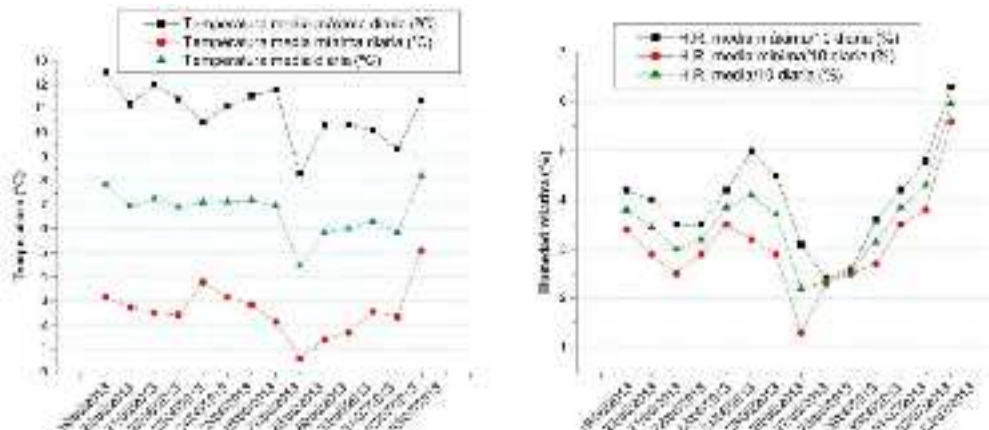


Figura 02. Temperatura y humedad relativa media, mínima y máxima monitoreada desde 19 de junio hasta 02 de julio del 2013, en la comunidad de Colloco.

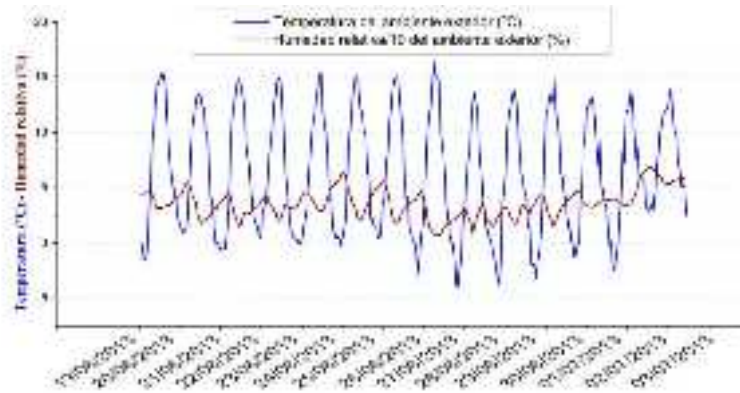


Figura 03. Temperatura y la humedad relativa del ambiente exterior de la vivienda en la comunidad Colloco, registradas desde 19 de junio hasta 02 de julio del 2013.

**El comportamiento térmico posterior de la construcción de la vivienda solar pasivo**

Posterior a la construcción de la vivienda solar se procedió con la evaluación térmica en el interior y exterior de la vivienda solar pasivo;

a continuación se muestran las curvas de temperatura, humedad relativa medidos registradas desde 19 de junio al 02 de julio del año del 2013, tal como se muestran los resultados en las figuras: 04 y 05.

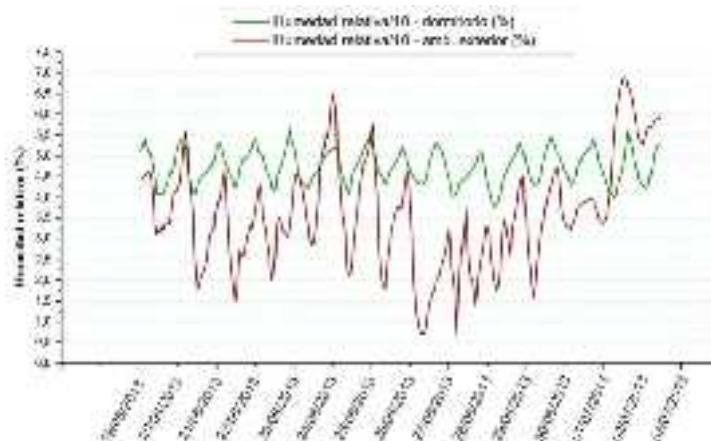


Figura 04. Humedad relativa promedio horaria en el exterior y en el interior de la vivienda construida en los días 19 de junio hasta 02 de julio, 2013.

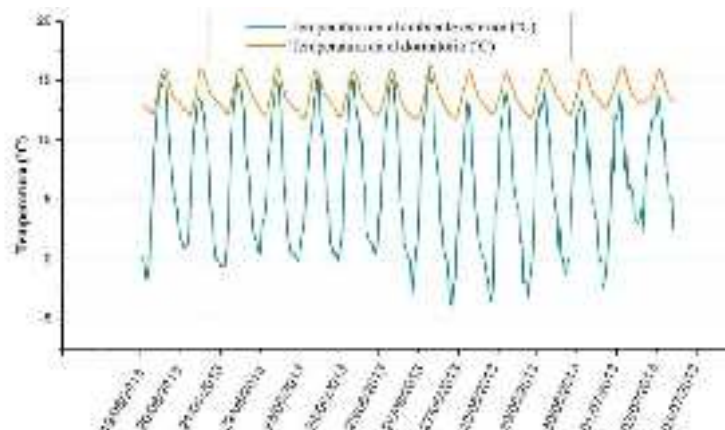


Figura 05. Comportamiento térmico de temperaturas de aire medido en el interior de la vivienda solar y en el exterior después de la construcción, desde 19 de junio al 02 de julio del 2013.

CONSTRUCCIÓN DE UNA VIVENDA SOLAR EN BASE A LAS PROPIEDADES TERMOFISICAS Y EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE SU CONFORT TÉRMICO EN ILAVE

CONDICIONES TERMOFISICAS EN EL INTERIOR Y EXTERIOR DE LA VIVENDA SOLAR PASIVA												
Nox	Temperatura máxima media interior [°C]	Temperatura mínima media interior [°C]	Temperatura máxima media exterior [°C]	Temperatura mínima media exterior [°C]	Temperatura máxima media exterior [°C]	Temperatura mínima media exterior [°C]	HR máxima media [ % ]	HR mínima media [ % ]	HR máxima media [ % ]	HR mínima media [ % ]	HR máxima media [ % ]	HR mínima media [ % ]
19-jun	14,22	13,19	12,87	12,87	2,69	7,25	4,8	4,3	4,6	4,1	5,4	5,8
20-jun	14,45	13,2	12,85	11,21	2,62	6,72	5,8	4,5	4,7	4,9	2,9	5,8
21-jun	14,6	13,76	12,65	12,65	2,65	7,35	5,1	4,5	4,5	3,5	2,8	5,3
22-jun	14,46	12,83	12,65	11,31	2,21	6,75	5,1	4,5	4,6	3,5	2,9	5,2
23-jun	14,22	13,68	12,65	16,61	2,25	6,55	5,8	4,4	4,7	4,2	3,8	5,9
24-jun	14,22	12,99	11,71	11,21	3,14	7,29	5,8	4,5	4,5	3,9	3,1	4,1
25-jun	14,27	12,74	12,65	11,49	2,72	7,11	5,1	4,5	4,9	4,4	2,9	2,7
26-jun	14,28	12,99	12,65	11,79	2,1	6,95	5,8	4,4	4,7	3,9	1,7	2,2
27-jun	14,28	13,61	12,65	8,54	1,25	4,59	4,8	4,3	4,5	2,6	2,2	2,4
28-jun	14,46	13,64	12,75	16,21	1,47	2,99	4,8	4,9	4,4	2,6	2,5	2,3
29-jun	14,23	13,25	12,84	16,35	1,73	6,35	5,8	4,5	4,5	3,7	2,7	3,2
30-jun	14,22	13,78	12,85	16,11	2,14	6,99	5,1	4,5	4,3	4,2	3,8	3,4
01-jul	14,27	13,54	12,25	8,54	2,45	5,59	4,8	4,4	4,6	2,9	2,8	4,4
02-jul	14,4	13,71	12,67	11,44	2,65	6,94	5,2	4,4	4,8	4,3	3,9	4,3
PROM.	14,56	13,18	12,62	16,67	2,52	6,79	5,6	4,4	4,7	4,3	3,1	3,8

Cuadro 05. Temperaturas de aire y humedad relativa media máximos y mínimos diario, registradas en el ambiente interior y exterior de la vivienda solar pasiva desde 19 de junio al 02 de julio 2013.

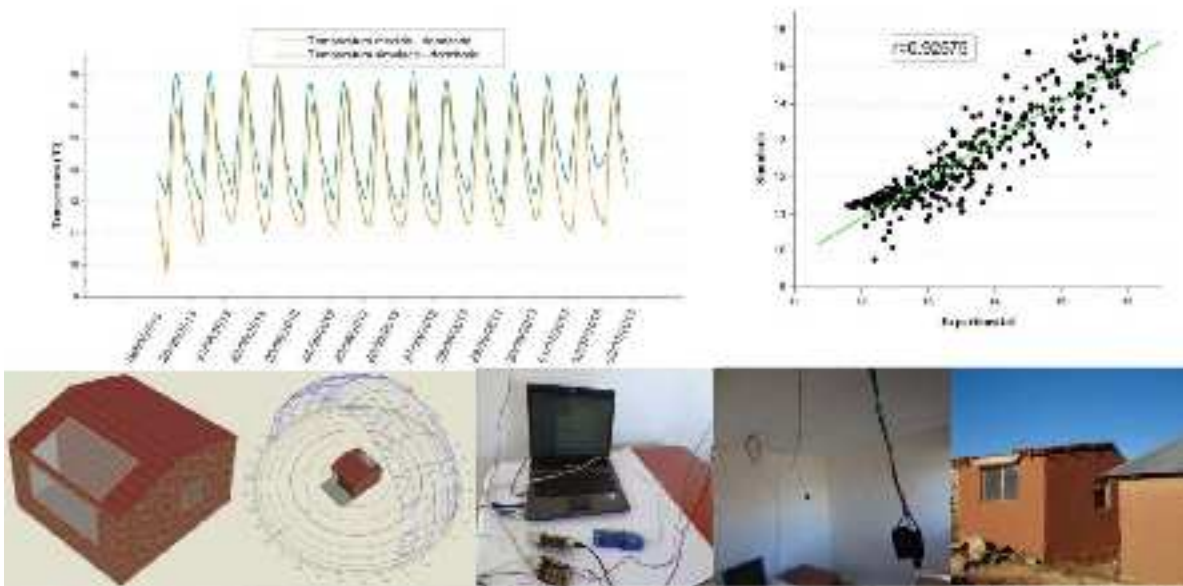


Figura 06. En la parte superior se aprecia la comparación de resultados de temperatura medido, obtenidos a partir del diseño constructivo y los valores de temperatura simulado. Además se aprecia la correlación de datos medidos y datos simulados. En la parte inferior se observa el modelo final de la vivienda construida, los instrumentos de medición y la vivienda solar construida.

DISCUSIÓN

Según los resultados de la evaluación térmica en el interior de la vivienda solar pasivo construido fue un trabajo valioso ya que se logró incrementar las temperatura mínima promedio a 13.15°C; en comparación del trabajo realizado (CER UNI; [Espinoza, 2009]) con la propuesta técnica de confort térmico para las viviendas en comunidades localizadas sobre 3700 msnm., obteniéndose la propuesta de modificación constructiva, llegando a la siguiente conclusión, los mínimos de temperatura del aire en el dormitorio en promedio de 9°C.

En la figura 03, se observa que en el transcurso del día en que la temperatura del aire exterior es máxima; la humedad relativa del aire es mínima y durante la noche sucede lo inverso. Esto tiene su

explicación de la siguiente forma: el aire almacena cierta cantidad de vapor de agua, durante el día al calentarse el aire este se expande haciendo que un mayor volumen de aire contenga la misma cantidad de vapor de agua (humedad relativa disminuye), durante la noche el aire se enfría contrayéndose y haciendo que un menor volumen de aire contenga cierta cantidad de vapor de agua (humedad relativa aumenta). En promedio, la evaluación de temperatura durante los días de friaje, la temperatura media mínima del aire exterior es de 2.53°C y la temperatura media máxima es de 10.87°C (Cuadro 04).

La evaluación realizada en el interior de la vivienda rural típica se apreció que la humedad relativa del aire tiene sus mínimos en las horas en que la temperatura del ambiente interior tiene sus máximos (13:00 a 16:30 horas) y viceversa. Cabe mencionar que los mínimos de temperatura del aire en el ambiente interior se dan

aproximadamente a las 3:00 a 5:00 horas, esto implica que desde la media noche hasta las 5:00 a.m. las personas tienen que dormir en ambientes en condiciones críticas; es decir, en temperaturas bajas.

Después de la construcción de la vivienda solar pasivo, se llevó a cabo la medición térmica (específicamente temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento) en el interior y exterior de la vivienda solar, para los días más desfavorables de época de invierno (19 de junio a 02 de julio de 2013), los mínimos promedio de temperatura registrados después de la construcción oscilaron entre 12.74°C a 14.87°C. Al comparar el comportamiento térmico de la vivienda construida con respecto a la vivienda típica rural seleccionada, se observó un incremento de mínimos promedio de temperatura registrados desde 7.73°C a 13.15°C (*Cuadro 04 y la figura 05*), estos resultados indican una ganancia térmica de 6.26°C (mínimos de temperatura para los días 19 de junio hasta 02 de julio de 2013, considerando que el monitoreo de temperatura y la humedad relativa se realizó en paralelo tanto en la vivienda típica y la vivienda construida).

Por otro lado, cabe mencionar, se abrió 4 ductos de intercambio de flujo de aire caliente y aire frío de 2 cm. de diámetro, entre el recinto de acumulador de calor y el dormitorio lo cual han sido muy importantes, 2 de ellos se instaló para distribuir el flujo de calor en el piso del dormitorio que se instaló una cama de paja de avena y con la tintera; con lo cual se pudo distribuir y almacenar una gran cantidad de calor y que permitió apreciar la temperatura en el ambiente interior del dormitorio se mantiene casi constante, llegando a una temperatura máxima media 14.50°C y una temperatura media mínima 13.15°C según el registro de datos del *Cuadro 05*.

Dentro de las consideraciones hechas en el modelo de simulación [EnergyPlus, 2013], se optó por establecer las infiltraciones e intercambios de aire entre ambiente y recinto acumulador de calor como 1 ACH (intercambio de aire por cada hora) desde las 6:00 horas hasta las 17:00 horas y 0.3 ACH en el resto del día; además cuando operan las puertas o ventanas, lo que ocasiona un incremento de los intercambios de volumen de aire por hora ACH, se consideró 2 ACH desde 6:00 horas hasta 17 horas y 0.2 ACH para el resto del día. Para el período nocturno se plantea una disminución de las infiltraciones a un valor de 0.3 ACH bajo la asunción de que las personas cierran ventanas y puertas [Refrigerating; Ashrae, 2013]. Para lograr las condiciones de confort térmico en el interior de la vivienda, es muy importante conocer la envoltura y la estructura de la construcción inmersa en un clima dado. Donde se estima que en las épocas de friaje, en la estación de invierno ahí es donde se presenta las condiciones climáticas críticas (frío intenso) que genera ciertos problemas dentro de la vivienda.

El comportamiento térmico para la vivienda solar pasivo, las temperaturas medidas y simuladas para el dormitorio en los días más críticos de la época del invierno se observa que los mínimos de temperatura media están alrededor de los 14°C. Al realizar las comparaciones de los valores calculados o simulados y medidos el factor de correlación fue  $r=0.92575$  para los días de evaluación.

## CONCLUSIONES

La vivienda solar construida en la comunidad rural de Colloco en base a materiales con propiedades termofísicas, provisto de adecuado aislamiento térmico y acumulación de energía solar; se logró elevar la temperatura mínima en el interior de la vivienda de 5.54°C a 11.8°C; durante el período de evaluación en el mes de junio del 2013.

El sistema de acumulación de energía adecuadamente diseñado y construido a base de encapsulado de piedras porosas y tintera, logró almacenar energía durante las horas de radiación solar y distribuyó por convección hacia el interior de la vivienda en horas de la noche.

Las viviendas rurales en la Comunidad de Colloco y circundante deben ser construidas con sistema de aislamiento térmico (doble pared lateral, impermeabilización adiabática en el piso y techo) y sistema de almacenamiento de calor para obtener un confort térmico en el interior de la vivienda, traduciéndose en una satisfacción y mejor calidad de vida de los habitantes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANÉSIA BARROS FROTA, SUELI RAMOS SCHIFFER (2001): *Manual de confort térmico*. Quinta edición. São Paulo: Studio Nobel.
- BASTIDE A, LAURET P, GARDE F, BOYER H. 2006. *Building energy efficiency and thermal comfort in tropical climates - Presentation of a numerical approach for predicting the percentage of well-ventilated living spaces in buildings using natural ventilation*. *Energy and Buildings*.
- CHURCHILL, S. Y CHU, H. (1975): *Correlating Equations for Laminar and Turbulent Free Convection from a Vertical Plate*, USA.
- ENERGYPLUS ENGINEERING REFERENCE, (2013) *The Reference to EnergyPlus Calculations*.
- ENERGYPLUS, ENERGY SIMULATION SOFTWARE v.8.0, (2013), Department of Energy EE.UU. <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>
- ESPINOZA, R.; HUAYLLA, F. (2009). *Evaluación Experimental de cambios constructivos para lograr confort Térmico en viviendas altoandinas del Perú*. Artículo. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 13*, Impreso en la Argentina, ASADES 2009.
- DUFFIE, J. A.; AND BECKMAN, W. A. (1991). *Solar engineering of thermal processes*. 2da Edición New York USA.
- GAN G., RIFFAT (1998): *A numerical study of solar chimney for natural ventilation of buildings with heat recovery*. *Applied Thermal Engineering*.
- GARCÍA, D., *Arquitectura bioclimática*, <http://abioclimatica.blogspot.com/> [consulta: marzo del 2013].
- GRUPO PUCP (2009): *Tecnologías apropiadas contra el friaje en las zonas altoandinas*, <http://www.pucp.edu.pe/grupo/Friaje.htm> [consulta: Noviembre del 2012].
- GERES (2009): *The association; India - Himalaya, Energy efficiency and bioclimatic architect*; <http://www.geres.eu/>; <http://www.geres.eu/en/top-aout-us> [consulta: marzo 2013].
- INCROPERA F. y DeWitt D. (1999), *Fundamentos de transferencia de calor*, Cuarta edición. Prentice Hall, México.



**CONSTRUCCIÓN DE UNA VIVIENDA SOLAR EN BASE A LAS PROPIEDADES TERMOFÍSICAS Y EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE SU CONFORT TÉRMICO EN ILAVE**

- JAMES R. WELTY (1963), *Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa*. Segunda edición, Universidad Estatal de Oregón. LIMUSA.
- J.A. NACIF HARTLEY, (2011): *Acumulación térmica para un sistema solar de calefacción activo*. Tesis. Facultad de Ciencias Físicas Matemáticas de la Universidad de Chile.
- MISSIONE BETLEMME IMMENSEE (2008), *Sei anni lavorando con la energie rinnovabili sulle Ande Peruviane*; <http://www.tallerwww.taller-inti.org/inti.org>; [consulta: Julio del 2013].
- SENAMHI Puno - Perú (2013), <http://www.senamhipuno.org/>
- SINPAD - INDECI (2013): <http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/mapa/listadoEmergencias.asp> [consulta: Octubre del 2013].
- REFRIGERATING, ASHRAE (1993): *Handbook of fundamentals*, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, USA.

