

## **EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE CAMBIOS CONSTRUCTIVOS PARA LOGRAR CONFORT TÉRMICO EN UNA VIVIENDA ALTOANDINA DEL PERÚ**

R. Espinoza<sup>1</sup>, G. Saavedra<sup>2</sup>, F. Huaylla<sup>3</sup>, A. Gutarra<sup>4</sup>, J. Molina, R. Barrionuevo, L. Lau  
Centro de Energías Renovables y Uso Racional de la Energía (CER-UNI)  
Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), apartado 31-139 Lima-Perú  
<http://cer.uni.edu.pe>, Telfax 00511-3821058, e-mail: [cer@uni.edu.pe](mailto:cer@uni.edu.pe)

**RESUMEN:** El presente artículo reporta el trabajo realizado en una vivienda de una comunidad rural altoandina peruana y las acciones llevadas a cabo para brindar alternativas de solución a la problemática que genera el frío intenso (friaje) dentro de la vivienda. Se midieron desde junio del 2008 y por un periodo de 14 meses las condiciones climáticas en la comunidad rural (3700 m.s.n.m.). Así también se registraron temperaturas de aire y humedad relativa (H.R.) en los ambientes de la vivienda seleccionada de dicha comunidad; midiéndose además, temperaturas superficiales en: paredes, suelo, techos, ventanas, etc. Se hicieron modelos de simulación térmica de la vivienda usando el software de simulación térmica en edificios: EnergyPlus 3.0; obteniéndose la propuesta de modificación constructiva más adecuada para lograr incrementar la temperatura dentro de la vivienda. Se realizaron las modificaciones constructivas seleccionadas y nuevamente se monitoreó las condiciones térmicas al interior y exterior de la vivienda modificada.

**Palabras clave:** confort térmico, bioclimática, energía solar, simulación térmica, convección natural.

### **INTRODUCCIÓN**

El tema del confort térmico en el contexto bioclimático actual no ha sido una preocupación que haya marcado una ruta de acción en el Perú en los 10 ó 20 últimos años. Tal vez sea porque tanto la ciudad capital, Lima, como otras ciudades costeras que le siguen en importancia no sufren de climas muy extremos. No obstante, el Perú tiene otras ciudades que con el correr de los años han cobrado mayor importancia y en su población se han hecho más visibles los efectos de los cambios económicos, culturales y cambios en el clima mundial, esto último ha acentuado realidades climáticas de frío extremo que han llamado la atención y han merecido enfoques técnicos de importancia (Barrionuevo y Espinoza, 2005).

Por otro lado, en el Perú no se ha tocado con profundidad el tema de eficiencia energética en edificaciones, así como tampoco el tema de bioclimatización de viviendas en zonas rurales andinas. Así pues, bajo el marco de desarrollo de la “Red Iberoamericana para el uso de las Energías Renovables y diseño bioclimático en viviendas y edificios de interés social” del CYTED, coordinada por el Dr. Helder Goncalvez del INETI de Portugal, vigente entre 2005 y 2008, se comprobó que en el Perú no se ha tratado sistemáticamente la problemática del clima extremadamente adverso en altitudes mayores a 3000 m.s.n.m. (Barrionuevo y Espinoza, 2005).

Así pues, se hace notoria la gran carencia de estudios adecuados y de información real de las condiciones climáticas en las que las poblaciones rurales andinas viven; esto implica, incluso, información acerca de las condiciones de confort térmico asociadas al poblador andino, el cual está sujeto a condiciones de clima frío durante casi toda su vida. Algunos de los muchos problemas que genera vivir en ambientes extremadamente fríos son: mortandad por enfermedades respiratorias, restricción de actividades nocturnas, depresión, etc. No obstante, se ha localizado dos experiencias puntuales prácticas en las provincias Juli, Puno y Espinar, Cusco, ambas a 4 000 m.s.n.m. aproximadamente, impulsadas por la Misión Belén de Immensee (ONG Suiza), que han devenido en la construcción de una vivienda confortable en cada lugar utilizando prácticas y materiales constructivos de la región y aportes tecnológicos actuales.

Respecto al estado del arte a nivel internacional; puesto que las viviendas altoandinas se encuentran sobre los 3000 m.s.n.m. y están expuestas a condiciones de frío extremo, localizar estudios internacionales en ambientes similares al altoandino es, probablemente, restringirse a zonas particulares en el mundo.

Se identificó un caso práctico en las afueras de la ciudad de San Carlos de Bariloche, Río Negro, Argentina; ubicada a 900 m.s.n.m. y en la cual la zona climática es caracterizada como muy fría (presentándose frecuentemente nieve en terrenos). Esta vivienda unifamiliar es resultado de una iniciativa privada. Algunas características de la vivienda son que posee techos aislantes, muros acumuladores, invernadero, aberturas para ganancia directa, paneles fotovoltaicos y colectores solares planos. Esta vivienda fue desarrollada en el marco del Programa de Asistencia Técnica en Arquitectura Bioambiental del Centro de Investigación Hábitat y Energía (De Schiller S. et al., 2005). Otro caso observado es el mostrado por el Grupo de Investigación del Instituto de Estudios del Habitat (IDEHAB) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). El cual muestra 10 trabajos que ejemplifican edificaciones bioclimáticas. Son de principal interés (por estar en climas fríos) los casos de la Casa Solar en Santa Rosa, provincia de La Pampa; Centro comunal Río Turbio, provincia de Santa Cruz y la Escuela municipal “El Molino” de Trévelin, provincia de Chubut (Rosenfeld E. et al., 2005).

<sup>1</sup> Director del CER - UNI, [respinoza@uni.edu.pe](mailto:respinoza@uni.edu.pe)

<sup>2</sup> Investigador del CER - UNI, [ggsaavedra@gmail.com](mailto:ggsaavedra@gmail.com)

<sup>3</sup> Investigador del CER - UNI, [fredyhuayllar@gmail.com](mailto:fredyhuayllar@gmail.com)

<sup>4</sup> Profesor principal de la UNI, [agutarra@uni.edu.pe](mailto:agutarra@uni.edu.pe)

## LA PROBLEMÁTICA

En el Perú, un total de 3 millones 713 mil habitantes, que habitan en más de 931 mil viviendas rurales de adobe (según censo nacional 2007), son sometidos a condiciones climáticas extremas en los departamentos de Arequipa, Ayacucho, Cajamarca, Ancash, Apurímac, Cusco, Huancavelica, Huánuco, Junín, La Libertad, Moquegua, Pasco, Puno y Tacna (todos sobre los 3000 m.s.n.m.). En lo que va de enero a octubre del año 2009 ya han fallecido 665 personas, entre niños menores de 5 años y ancianos, a consecuencia de enfermedades respiratorias agudas (neumonía), según el ministerio nacional de salud.

Las causas asociadas a estas terribles estadísticas son básicamente tres. La primera, una mala alimentación de la gente, principalmente niños, los cuales debido a su carencia económica y desconocimiento consumen usualmente alimentos poco nutritivos (fideos, etc.). La segunda, debido al tipo de ropa que usan; siendo más barato y “más moderno” usar ropa sintética la cual es inadecuada para estas condiciones de frío extremo. La tercera es que, con el correr de los años, las técnicas constructivas de las viviendas han devenido a menos, siendo estas menos aisladas térmicamente debido al uso de elementos como: techos y puertas de lamina metálica, así como también una mala orientación y diseño de las viviendas.

El Centro de Energías Renovables de la Universidad Nacional de Ingeniería (CER-UNI) viene desarrollando desde marzo del 2008 el proyecto “Propuesta técnica de confort térmico para viviendas ubicadas en comunidades entre los 3000 y 5000 m.s.n.m.”, en dos comunidades rurales altoandinas, una en el departamento de Ayacucho (a 3700 m.s.n.m.) y la otra en el departamento de Puno (a 4500 m.s.n.m.). Este proyecto busca llenar los vacíos existentes en el área de bioclimatización de viviendas rurales, así como presentar soluciones y lineamientos técnicos para aplicarse a estas viviendas en el ámbito altoandino, con la finalidad de obtener temperaturas confortables en el interior de ellas; este proyecto es financiado por el BID y por el estado peruano a través un programa nacional de ciencia y tecnología. El presente artículo muestra el desarrollo y los resultados del proyecto en una vivienda de la comunidad de San Francisco de Raymina, distrito de Huambalpa, provincia Vilcashuamán, región Ayacucho.

## DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA

Las vivienda elegidas para el estudio se ubica en la región SUNI, en la Comunidad San Francisco de Raymina (13° 45' 26" lat. sur; 73° 51' 26" long. Oeste; 3700 m.s.n.m.), distrito Huambalpa, provincia Vilcashuamán, región Ayacucho (Figura 1).

La vivienda a ser evaluada se ubica en la plaza de la comunidad formando una manzana con otras 10 viviendas más. Se levanta sobre un terreno de 360 m<sup>2</sup>, ocupa 65m<sup>2</sup> y se encuentra cercada por muros de un metro de altura, hechos de adobe. Consta de dos habitaciones, una sala comedor y una cocina que comparte un muro con una de las habitaciones. Los muros, de 2,4m, son hechos con bloques de adobe de 0.38m x 0.38m x 0.13m y barro entre ellos. La vivienda cuenta con puertas de madera y plancha metálica sin marco. En el muro frontal se ubica la puerta de ingreso (1.00m x 2.15m) y dos ventanas (1.04 m x 1,00m) con vidrio simple (3mm espesor). Existen 2 ventanas adicionales en la parte posterior de la vivienda, una para cada habitación. Ventanas y puertas permiten filtraciones de aire. La mayor parte del techo de la vivienda es de plancha metálica y solo una habitación lo tiene de tejas, muchas de ellas rotas por efecto del granizo. Es del tipo dos aguas.

En la casa se crían gallinas, chanchos y cuyes, todos para consumo propio. Cocinan 3 veces al día con leña y la falta de ventilación en la cocina provoca que todo el lugar se llene de humo, afectando considerablemente la salud de estas personas, y cubriendo de hollín las paredes y techo de la cocina. Sólo una de las habitaciones es usada como dormitorio por tener techo de tejas y una pared compartida con la cocina. La otra habitación es usada de almacén, y la sala comedor para consumir sus alimentos y mantener un negocio doméstico.

Las fuentes de calor con las que cuenta son la radiación solar, el fogón de la cocina y el calor disipado por las personas y animales. Como sumideros identificamos el ambiente circundante (cielo) y, probablemente, el suelo, las puertas, techos y marcos metálicos de las ventanas, constituyen puentes térmicos.

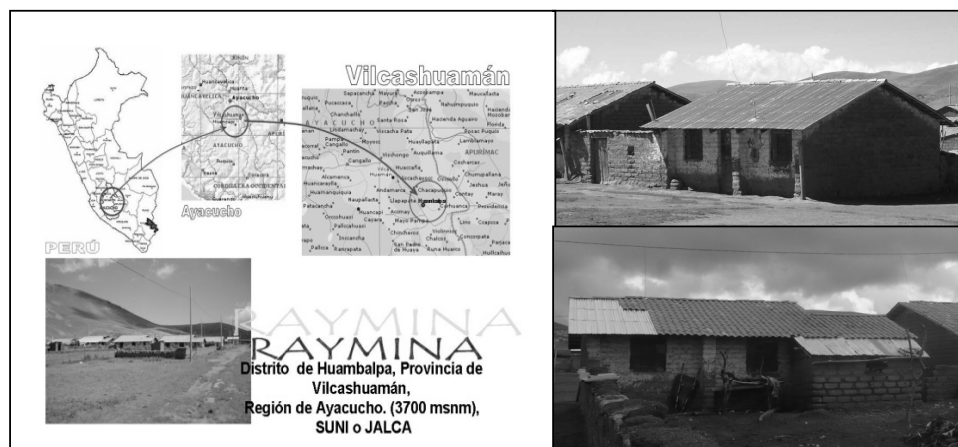


Figura 1: Esquema ilustrativo de la ubicación relativa de la comunidad de estudio dentro del territorio peruano, en la región altitudinal SUNI. Imágenes de la vivienda seleccionada para la evaluación térmica.

## EL DIAGNÓSTICO

Se instalaron sensores de temperatura en muros, techos, puertas, ventanas y suelo de la vivienda, así como un dispositivo de forma esférica para el cálculo de la temperatura radiante (Kvisgaard, 2000). También se previó sensores para la temperatura, humedad relativa del aire interior y la iluminación. Los sensores de temperatura fueron del tipo de resistencia variable, con un rango de medición de  $-40^{\circ}$  a  $100^{\circ}\text{C}$  y una exactitud de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  a  $20^{\circ}\text{C}$ . La temperatura de globo al interior de la vivienda se midió con esferas de 15 cm de diámetro con recubrimiento de emisividad superficial 0,9. La humedad relativa dentro de la vivienda se midió en el rango de 25%-95% con una exactitud de  $\pm 5\%$ . La iluminación interior se detectó con un sensor cuya respuesta es similar a la sensibilidad de la visión humana y opera en un rango de 2 a 20000 lúmenes/m<sup>2</sup>.

En el exterior se instaló una mini-estación meteorológica con sensores de temperatura seca, humedad relativa, radiación solar y velocidad y dirección del viento. (Fig. 2). Para ello se utilizó una mini-estación meteorológica que almacena los datos en un registrador con capacidad de almacenamiento de 512K en memoria no volátil. La información acumulada en los registradores ubicados en el interior de la vivienda y los almacenados en la mini-estación meteorológica se descargaron periódicamente en sistemas de almacenamiento portátil para ser analizados en la PC.

Todos los valores medidos al interior de la vivienda han sido registrados a intervalos de 30 minutos y los valores medidos al exterior cada minuto, a partir del día 13 de junio de 2008, así que se cubrió la temporada de frío más intenso y la información acumulada permitió obtener resultados representativos de esta situación extrema.

Se identificaron cuatro zonas térmicas: zona I y II compuestas por los dormitorios 1 y 2 respectivamente, zona III compuesta por la sala y la zona IV compuesta por la cocina. En la figura 2 se muestra la distribución de estos ambientes.

Se elaboró un PLAN DE MEDICIONES térmicas y ambientales (diseño experimental) en concordancia y armonía técnica y científica con los requerimientos de base de cálculo para el confort térmico de ambientes.

Se eligió los “puntos térmicos” de importancia, es decir, los lugares de ubicación de los sensores, Por ejemplo, centro del techo, parte superior de una puerta, centro de un muro, etc. El resultado de este diseño es mostrado en la Figura 2, en términos de ubicación.

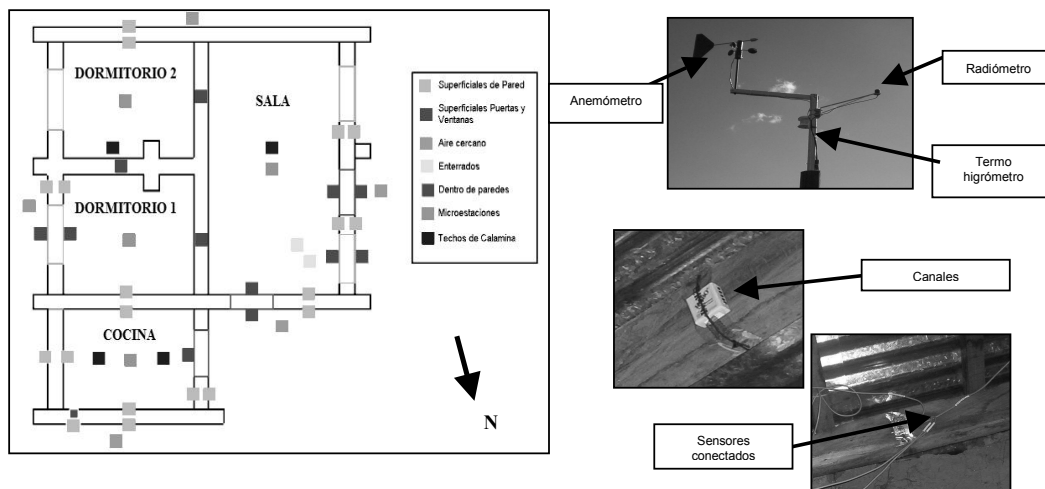


Figura 2: A la izquierda, distribución de sensores de temperatura en la vivienda. A la derecha abajo registradores y sensores térmicos; a la derecha arriba, la mini-estación meteorológica autónoma.

### Resultados

A continuación, se muestra los datos medidos tanto al interior como al exterior de la vivienda en los periodos más fríos de invierno del 2008.

Mes	Temperatura exterior promedio [°C]	Temperatura exterior máxima promedio [°C]	Temperatura exterior mínima promedio [°C]	H.R. exterior promedio [°C]	H.R. exterior máxima promedio [°C]	H.R. exterior mínima promedio [°C]	Irradiación solar promedio [kWh/(m <sup>2</sup> -día)]	Rapidez promedio de viento [m/s]
Junio	6.5	15.8	-1.7	60.7	84.5	32.1	5.2	1.1
Julio	5.8	15.7	-3.1	56.4	82.9	28.1	5.4	1.1
Agosto	7.3	17.3	-1.7	53.3	83.3	24.6	5.9	1.2

Tabla 1: Condiciones climáticas medias mensuales en el 2008, medidas en la comunidad de San Francisco de Raymina

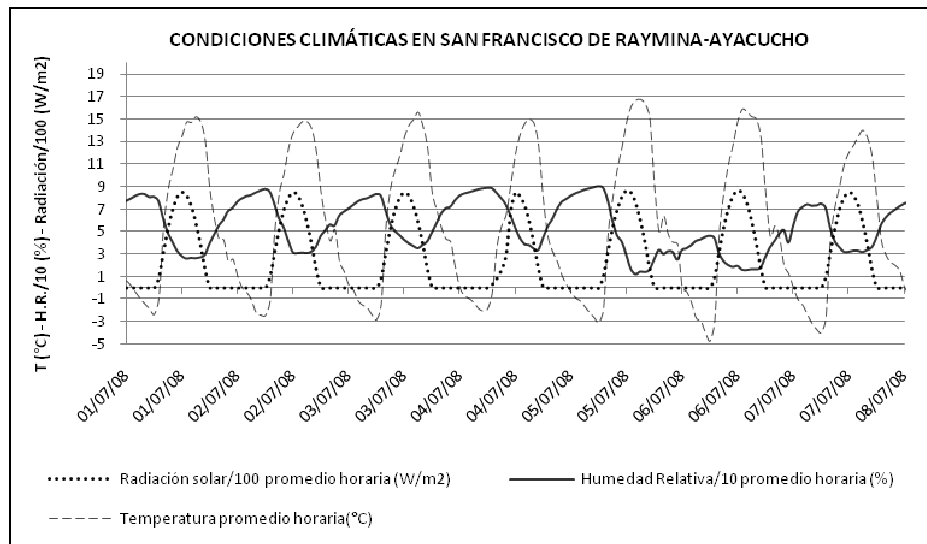


Figura 3. Condiciones climáticas en la comunidad de San Francisco de Raymina (3700 m.s.n.m.). Se observan: temperatura de aire exterior, humedad relativa (valores divididos entre 10) e irradiancia (valores divididos entre 100).

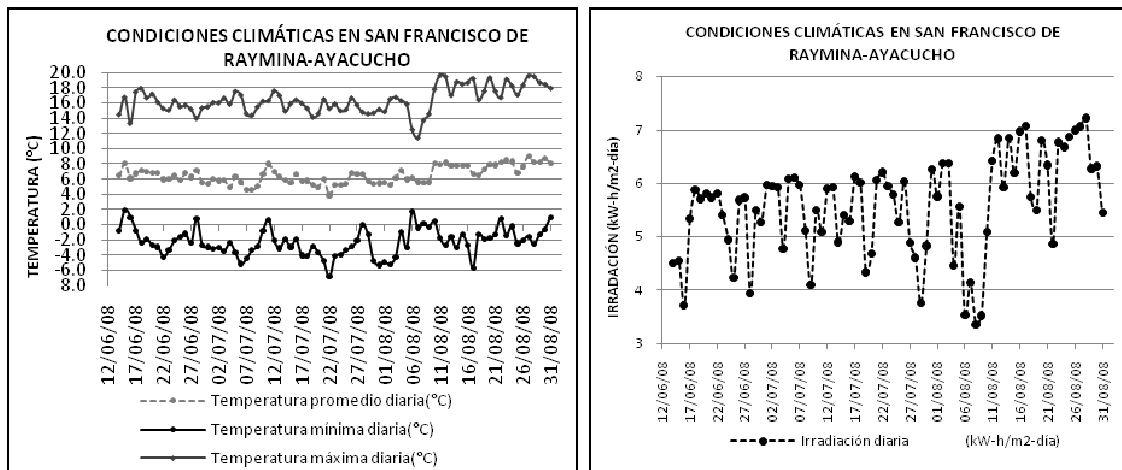


Figura 4: Condiciones climáticas en la comunidad de San Francisco de Raymina (3700 m.s.n.m.) en los meses de junio, julio y agosto del 2008. A la izquierda, registro de temperatura promedio, mínima y máxima. Ala derecha, valores de irradianción diaria.

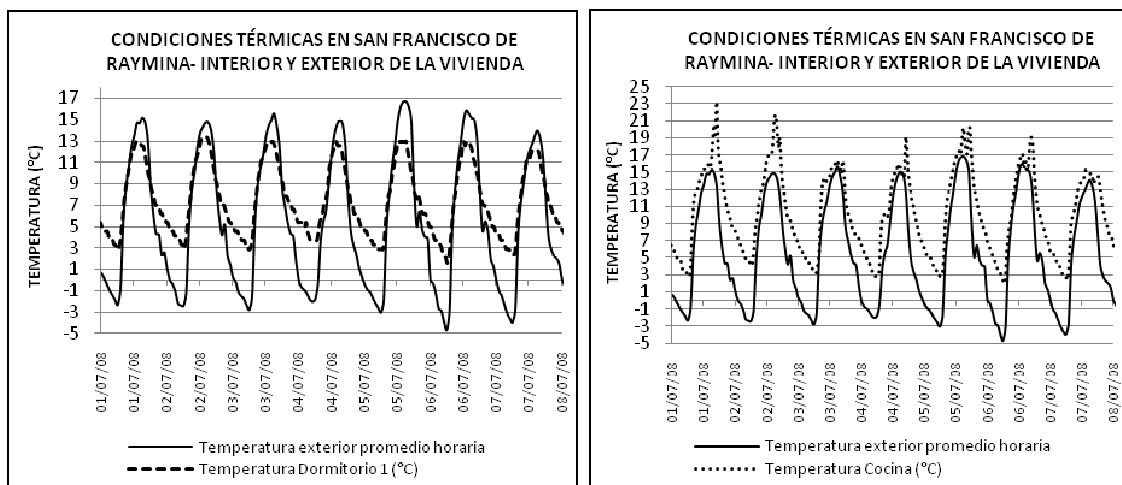


Figura 5: Condiciones térmicas en el exterior y en el interior de la vivienda monitoreada en los días más fríos (invierno). A la izquierda, temperaturas de aire en el dormitorio 1. A la derecha, temperaturas de aire en la cocina.

### Flujos de calor por convección calculados

Para las zonas térmicas definidas se realizó el cálculo de los flujos de calor por convección natural entre las superficies interiores y el aire ambiente de dichas zonas. Este cálculo permitió identificar a los componentes de la vivienda que más influyen en la temperatura del aire de las zonas térmicas, así mismo permitió identificar la influencia de las infiltraciones de aire sobre las temperaturas en las zonas. Los resultados obtenidos fueron tomados en cuenta al momento de plantear las modificaciones constructivas.

Puesto que las superficies interiores se caracterizan por ser: paredes planas verticales, superficies planas horizontales, superficies planas con cierta inclinación; y puesto que la transferencia de calor entre dichas superficies interiores y el aire ambiente interior es por convección natural (se consideró que el intercambio de energía por radiación es sólo entre superficies y dicho efecto se ve en las temperaturas superficiales registradas), se pudo utilizar relaciones empíricas (asociadas a dichas geometrías) para determinar el coeficiente de convección pelicular. (Churchill, 1975)

Consideramos un flujo de calor por convección natural ya que dentro de las zonas térmicas la velocidad del viento es pequeña. Los flujos de calor calculados se muestran en la fig. 6. La ecuación de flujo de calor que nos permitió realizar estos cálculos fue:

$$Q_{conv} = h \times A_s \times (T_s - T_{ZONA}) [W] \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

$Q_{conv}$  = es el flujo de calor por convección natural [W]

$h$  = es el coeficiente pelicular  $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$

$A_s$  = es el área de la superficie plana  $[m^2]$

$T_s$  = es la temperatura de la superficie [K]

$T_{ZONA}$  = es la temperatura del aire de la zona térmica [K]

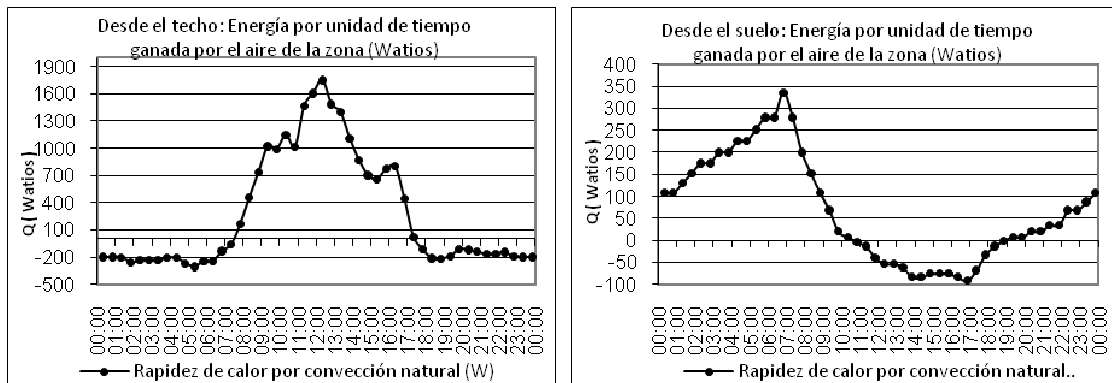


Figura 6. Rapidez de calor transferido por convección natural desde superficies interiores hacia el aire de la zona térmica (Sala) en uno de los días más fríos (06-07-08). Se observa los componentes de la vivienda que más influyen en el enfriamiento del aire durante las noches. A la izquierda, asociado al techo de calamina metálica. A la derecha, asociado al suelo de tierra.

### PROPUESTA TÉCNICA

Como resultado del diagnóstico térmico realizado se comprobó que era necesario elevar las temperaturas de aire dentro de la vivienda, ello implicaba hacer modificaciones constructivas. Las modificaciones realizadas tuvieron sustento en resultados de simulaciones computacionales usando el programa de simulación térmica en viviendas y edificios Energy Plus 3.0.

El proceso consistió en realizar simulaciones considerando distintas configuraciones de modificación, esto es: claraboyas en el techo (clara), pisos aislados (piso), invernaderos adosados (inv), techos aislados (techo) y disminución de los intercambios de aire (inf) de los cuartos. Las simulaciones se llevaron a cabo para el periodo más frío; esto es, en los meses de junio, julio y agosto (estación invierno), usándose para ello los datos de la estación meteorológica instalada a 5 metros de la vivienda y contando con propiedades termofísicas de los materiales de construcción. Las modificaciones simuladas (fig. 7) en las distintas configuraciones fueron:

- Disminución de intercambios de aire de los ambientes con el exterior: 1 ACH desde las 6 a.m. hasta las 5 p.m. y 0.3 ACH en el resto del día
- Invernadero adosado a las paredes de los dormitorios.
- Invernadero adosado a las paredes de la cocina y la sala.
- Aislamiento de pisos de ambientes: cama de piedra (15 cm) – aire (6 cm) – tablas de madera (2 cm).
- Aislamiento de techos con una configuración tipo sándwich: calamina metálica – paja – planchas de fibrocemento.
- Claraboyas translúcidas en los techos, siendo el área ocupada aproximadamente 25% del área del techo y simulándose cubiertas por un manto de lana de 2 cm de espesor desde las 5 p.m. hasta las 6 a.m.

- Intercambios de aire durante las horas de luz entre ambientes e invernaderos adosados: 1 ACH desde las 6 a.m. hasta las 5 p.m. y 0.3 ACH en el resto del día.
- En las configuraciones donde se simula un invernadero adosado a los dormitorios, estos últimos sólo intercambian masa de aire con el invernadero.

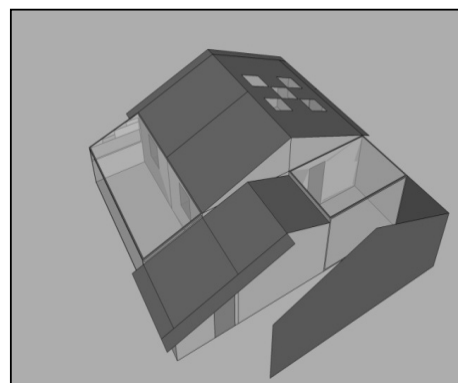
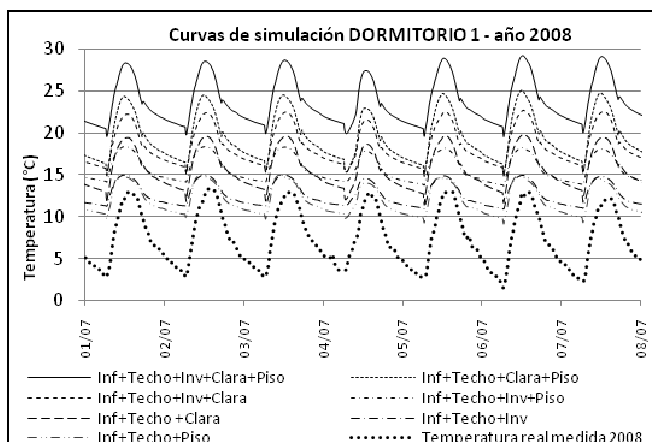


Figura 7. Izquierda, temperaturas de aire en el dormitorio 1 resultado de la simulación térmica de las configuraciones señaladas. Derecha, modelo por computadora de la vivienda modificada en su configuración final, programa SketchUp vinculado al EnergyPlus.

Como se observa, hay algunas configuraciones de modificación que elevan la temperatura de los ambientes por sobre 18 °C. Debido a que la población de estas zonas rurales altoandinas ha estado sujeta a condiciones de frío durante toda su vida, no sería adecuado tomar como referencia los indicadores de confort convencionales (Temperatura ambiente 22 °C y HR 50%); es por ello que la temperatura de referencia para el diseño ha sido de 15°C. Las modificaciones constructivas finales fueron las siguientes:

- Todos los ambientes tienen el techo aislante.
- En la sala: 5 claraboyas de policarbonato, cada una de 1.2 m x 1 m, las cuales se cubren de noche según lo detallado arriba, no se aísla el piso.
- En los dormitorios: pisos aislados según la configuración mencionada, no se consideran claraboyas.
- Invernaderos: uno adosado a los dormitorios y otro adosado a la sala y la cocina.
- En la cocina: se construyó un fogón mejorado que tiene una mayor eficiencia en el consumo de leña y casi no humea.

Componente constructivo	Durabilidad (según fabricante) [años]	Previo a la modificación			Posterior a la modificación		
		Espesor [m]	Conductividad térmica [W/(m*K)]	Resistencia térmica equivalente [(m²*K)/W]	Espesor [m]	Conductividad térmica [W/(m*K)]	Resistencia térmica equivalente [(m²*K)/W]
<b>Muros</b>				<b>0.447</b>			<b>0.447</b>
Adobe	-	0.38	0.85		0.38	0.85	
<b>Techos</b>				<b>0.000002</b>			<b>1.648</b>
Fibrocemento	15	-	-		0.004	0.18	
Aire	-	-	-		0.04	0.0246	
Calamina metálica	-	0.0005	237		0.0005	237	
<b>Suelos</b>				<b>0.385</b>			<b>3.440</b>
Madera	5	-	-		0.02	0.12	
Aire	-	-	-		0.07	0.0246	
Piedra	-	-	-		0.15	3.5	
Tierra	-	0.2	0.52		0.2	0.52	
<b>Ventanas</b>				<b>0.003</b>			<b>1.371</b>
Cubierta de lana	-	-	-		0.02	0.036	
Aire	-	-	-		0.02	0.0246	
Vidrio	-	0.003	1.028		0.003	1.028	

Tabla 2: Resumen de configuración de aislamientos considerados para la simulación térmica de la vivienda modificada

## RESULTADOS

Una vez decididas las modificaciones constructivas finales a la vivienda (resultado de la propuesta técnica), se procedió a realizarlas. Las obras de modificación iniciaron el 20 de abril del 2009 y concluyeron casi en su totalidad 40 días después (Fig. 8). El 30 de mayo del 2009 se reinstalaron los sensores de temperatura de aire y H.R dentro de los ambientes de la vivienda modificada, así también los sensores de temperatura en las superficies (paredes, techo, etc.). En la figura 9 se muestran las temperaturas de aire medidas dentro de la vivienda posterior a la modificación; así también se comparan con las temperaturas registradas en el 2008 (en los mismos días) y con la temperaturas simuladas con el EnergyPlus 3.0.

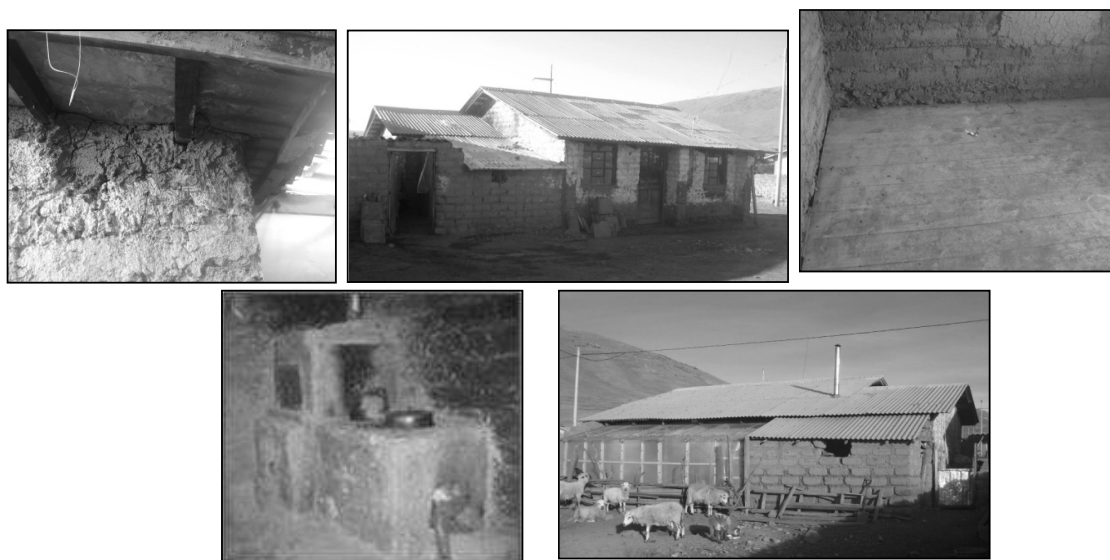


Figura 8. Imágenes de las modificaciones constructivas hechas en la vivienda. Arriba: sellado de las grietas para evitar infiltraciones de aire, techo aislado con claraboyas e invernadero adosado, piso aislado. Abajo: cocina mejorada e invernadero adosado a dormitorios.

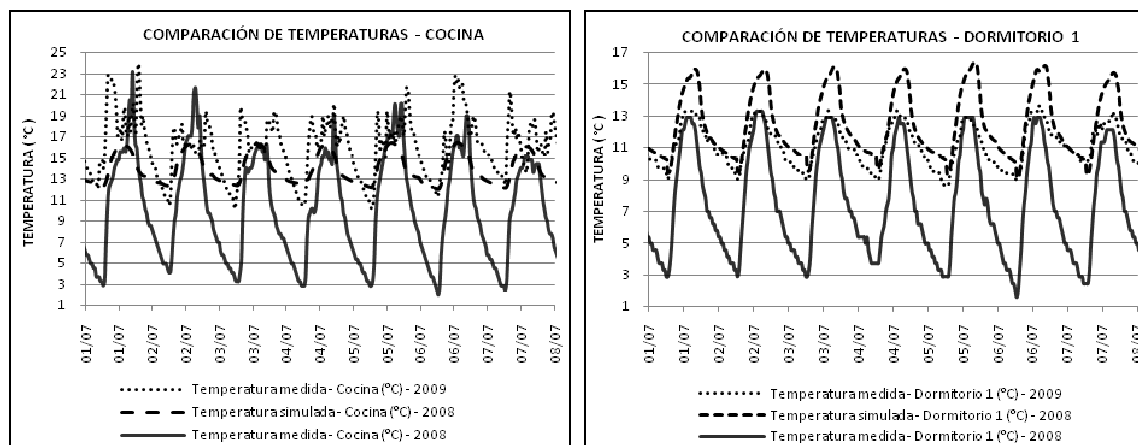


Figura 9. Comparación de los resultados obtenidos a partir de las modificaciones constructivas, se observa la temperatura medida en julio del 2008 y la medida en julio del 2009, así como los valores de temperatura del modelo final de simulación.

2008						
Mes	Temperatura promedio - Dormitorio 1 [°C]	Temperatura máxima promedio - Dormitorio 1 [°C]	Temperatura mínima promedio - Dormitorio 1 [°C]	Temperatura promedio - Cocina [°C]	Temperatura máxima promedio - Cocina [°C]	Temperatura mínima promedio - Cocina [°C]
Junio	8.8	13.3	5.0	10.7	20.5	5.1
Julio	7.6	12.8	3.1	9.6	17.1	3.1
Agosto	9.4	14.7	4.8	11.1	18.8	4.7

Tabla 3: Condiciones térmicas medias mensuales medidas en el interior de la vivienda en el 2008, previo a las modificaciones constructivas

2009						
Mes	Temperatura promedio - Dormitorio 1 [°C]	Temperatura máxima promedio - Dormitorio 1 [°C]	Temperatura mínima promedio - Dormitorio 1 [°C]	Temperatura promedio - Cocina [°C]	Temperatura máxima promedio - Cocina [°C]	Temperatura mínima promedio - Cocina [°C]
Junio	11.0	13.5	8.9	16.0	21.8	11.2
Julio	10.2	12.3	8.4	15.7	20.9	11.2
Agosto	10.3	12.9	8.1	15.9	21.1	11.4

Tabla 4: Condiciones térmicas medias mensuales medidas en el interior de la vivienda en el 2009, posterior a las modificaciones constructivas

Área total de la vivienda original (m <sup>2</sup> )	68.63
Área total de la vivienda modificada (m <sup>2</sup> )	92.47
Costo total de modificación, incluida mano de obra (dólares)	3028.28
Costo mano de obra (dólares)	336.21
Duración	21 días trabajando 3 hombres

Tabla 5: Costos asociados a las modificaciones constructivas en la vivienda. No incluyen gastos de dirección técnica

## CONCLUSIONES

En la vivienda original, el suelo de tierra tuvo una contribución energética por convección natural neta diaria (para el día analizado) de 3.5 kW-h/día. El techo de calamina metálica tuvo una contribución energética por convección natural neta diaria de 13.2 kW-h/día.

Se comprobó, en la vivienda original, la existencia de un fuerte problema de infiltración de aire durante todo el día y una fuerte ventilación voluntaria durante las horas de sol.

En la vivienda modificada, los mínimos de temperatura del aire en el dormitorio 1 y en la cocina fueron, en promedio, 9 °C y 11 °C respectivamente; esto implicó una elevación de las temperaturas mínimas (respecto al 2008) de 6 °C (para el dormitorio 1) y 8 °C (para la cocina) aproximadamente.

Se concluye que es posible elevar la temperatura del aire al interior de la vivienda rural altoandina desde condiciones infrahumanas (mínimos de 3 °C) hasta condiciones adecuadas para el medio (mínimos de 11 °C); usando para ello elementos constructivos adecuados y la energía solar como fuente de calentamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- Espinoza R. et al. (2008). Análisis y diagnóstico térmico en viviendas altoandinas del Perú. XXXI reunión de la Asociación Argentina de Energía solar y ambiente, ASADES 2008.
- Barrionuevo R. y Espinoza R., (2005). Edificaciones bioclimáticas en el Perú, en Los Edificios Bioclimáticos en los Países de Ibero América. Libro de ponencias, Programa CYTED 2005, Pág. 57-66
- Gonçalves H. et al., (2008). Os edificio bioclimáticos a ingraço das energias renváveis e os sistemas energético. Libro de ponencias, Programa CYTED 2008
- Brack A. y Mendiola C. (2000). Ecología del Perú, Asociación Editorial Bruño, Lima – Perú, Pág. 166 – 187.
- Kvisgaard B. (2000). La Comodidad Térmica (Termal Comfort, Copyright © 1997 INNOVA Air Tech Instruments A/S, Denmark [Brüel & Kjær], traducción de Manuel Martín Monroy © 2000, Pág. 6-11.
- Churchill S. W. y H.H.S.Chu (1975). Correlating Equations for Laminar and Turbulent Free Convection from a Vertical Plate, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 18, 1323
- Incropera F. y DeWitt D. (1999). Fundamentos de transferencia de calor, 4<sup>ta</sup> edición. Prentice Hall, México. Pág.74 – 89
- De Schiller S., Evans J. et al. (2005). Proyectos de bajo impacto y alta eficiencia energética, en Los Edificios Bioclimáticos en los Países de Ibero América. Libro de ponencias, Programa CYTED 2005, Pág. 85,91-93
- Rosenfeld E., San Juan G., Discolí C. (2005). De lo solar a lo bioclimático. Una trayectoria de investigación y transferencia, en Los Edificios Bioclimáticos en los Países de Ibero América. Libro de ponencias, Programa CYTED 2005, Pág. 131-142

**ABSTRACT:** The present article reports work made on a dwelling from a Peruvian highland rural community, detailing means activities developed with the goal of finding solution alternatives to the problematic generated for the intense cold (frijaje) inside the dwelling. It was measured since June 2008 and for a 14 months period the climatic conditions in the rural community (3700 m.s.n.m.). It was also measured the air temperature and relative humidity (R.H.) in the selected dwelling rooms of the mentioned community; it was measured superficial temperatures in: walls, ground, ceilings, windows, etc. Some thermal simulation models of the dwelling were developed; for this, it was used the building thermal simulation software: EnergyPlus 3.0; it was obtained the most adequate constructive modification propose for reaching temperature increase inside the dwelling. Constructive selected modifications were made, after that interior and exterior thermal conditions were registered once again.

**Keywords:** thermal comfort, bioclimatic, solar energy, thermal simulation, natural convection.