

## ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO TÉRMICO EN VIVIENDAS ALTOANDINAS DEL PERÚ

**R. Espinoza, G. Saavedra, O. Galarreta**

Centro de Energías Renovables y Uso Racional de la Energía (CER-UNI)  
Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), apartado 31-139 Lima-Perú  
Telfax 00511-3821058 e-mail: [cer@uni.edu.pe](mailto:cer@uni.edu.pe); [respinoza@uni.edu.pe](mailto:respinoza@uni.edu.pe)

**A. Gutarra, F. Huaylla**

Facultad de Ciencias – Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), apartado 31-139 Lima-Perú  
Telfax 005114811424 e-mail: [agutarra@uni.edu.pe](mailto:agutarra@uni.edu.pe)

### RESUMEN:

El objeto de la investigación que genera este trabajo es diagnosticar la situación térmica actual de cada una de dos viviendas alto andinas del Perú, identificar flujos de calor producidos en ellas y proyectar el mejoramiento térmico correspondiente.

Se ha seguido una metodología experimental y analítica apoyada con simulaciones aplicadas a partes específicas de la vivienda. La base de datos experimentales la constituye mediciones y registros automáticos hechos durante 40 a 50 días continuos a partir del 11 de junio de 2008, cuyo procesamiento permite afirmar que las condiciones del ambiente interior de ambas viviendas es severamente frío la mayor parte del día, en el mejor de los casos, se registra 15°C al medio día y -5°C en horas de la madrugada.

En aparente contradicción se obtienen potenciales de energía solar ganable por cada vivienda, que podrían ser suficientes para conseguir en ellas las condiciones de confort requeridas, mas paralelamente, se comprueba la existencia de filtraciones de aire elevadas que juegan un papel contrario.

En suma, la percepción concluyente es que ambas viviendas requieren de mayor protección contra el enfriamiento que agregados diversos que incrementen su calentamiento

**Palabras clave:** confort térmico, bioclimática, energía solar

### 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 en las que se han acentuado realidades climáticas extremas que han llamado la atención y han merecido enfoques técnicos de importancia (Barrionuevo y Espinoza, 2005).

Recientemente, 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, inclusive, se ha comprobando que en el Perú no se ha tratado sistemáticamente la problemática del clima extremadamente adverso en altitudes mayores a 3 000 msnm (Barrionuevo y Espinoza, 2005). Así mismo, una primera aproximación de cálculo demostró que la energía solar incidente sobre una vivienda localizada en la comunidad de San Francisco de Raymina, Ayacucho sería suficiente para elevar su temperatura hasta el rango de confort. (Espinoza y Saavedra, 2007).

Hemos localizado también dos experiencias prácticas en las provincias Juli, Puno y Espinar, Cusco, ambas a 4 000 msnm 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.

El mejoramiento de las condiciones de habitabilidad térmicas de viviendas alto andinas del Perú permitirá mayores y mejores actividades sociales, culturales, recreacionales y económicas en su localidad. Además, se contribuirá para mejorar el conocimiento del diseño y construcción de las viviendas alto andinas rurales y aumentar significativamente el escaso conocimiento tecnológico de aprovechamiento de fuentes de energía renovable para mejorar ambientes habitables.

### ESPACIO CLIMÁTICO PERUANO

Perú es un país con un territorio de características climáticas y ecológicas distintas en toda su extensión, con ocurrencia frecuente de desastres naturales. Tiene también diferentes culturas, así como graves problemas sociales y económicos y la tarea de construir en el Perú y las tecnologías apropiadas a utilizar están íntimamente ligadas a esa realidad.

La franja estrecha de la costa representa el 11% de la superficie total del país y en ella está asentada la mayor parte de su población urbana y ahí se encuentra Lima, capital del Perú. Su temperatura fluctúa entre 14°C en invierno y 32°C en verano.

La sierra está formada por la Cordillera de los Andes, que recorre el país a lo largo, formando laderas y valles interandinos. Cubre un 26% del territorio nacional, con altitudes entre 1 200 a 6 600 msnm, su clima es variable, con temperaturas medias que varían de -10°C a 16°C.

La selva, que ocupa una significativa área del territorio (63%), tiene ríos caudalosos, lluvias intensas y frecuentes, con una intensidad entre 2 000 mm a 4 000 mm por año, en las zonas altas llega hasta 7 000 mm. El clima es caluroso y húmedo.

### *Regiones Suni y Puna*

La región Suni o Jalca está entre los 3 500 y 4 000 msnm, es la región más accidentada del Perú, de escasos valles y más bien de terrenos escarpados y fuertes pendientes, es decir, de orografía compleja con suelos predominantemente pedregosos y ríos de aguas rápidas y torrentosas. En estas alturas se encuentra gramíneas y arbustos diversos. La fauna está muy influenciada por la puna, se encuentra en ella a la taruca, el cóndor, el zorrino y el huanaco. Los peces están casi ausentes por el ambiente adverso de las aguas torrentosas, y solo algunas especies han logrado adaptarse a estas condiciones.

La región Puna se eleva desde los 4 000 hasta los 4 800 msnm, es una gran llanura extremadamente fría y con poca vegetación que se ubica antes de las nieves perpetuas. Los veranos son lluviosos y nubosos y los inviernos secos y con continuas heladas. Aquí se encuentran bosques de keñua, el ichu, la tola, rodales de ccaara y formaciones de plantas almohadilladas. Los camélidos sudamericanos son representativos de estas altitudes y fuente de desarrollo para la región. (Brack, A. y Mendiola, C. , 2 000)

## **AMBIENTE DE LAS VIVIENDAS EN ESTUDIO**

Las viviendas elegidas para el estudio se ubican, una en la región SUNI, en la Comunidad San Francisco de Raymina (13° 45' 26" lat. sur; 73° 51' 26" long. Oeste; 3 700 msnm), distrito Huambalpa, provincia Vilcashuamán, región Ayacucho; otra en la región PUNA, en la Comunidad Vilcallamas Arriba (17° 00' 58" lat. sur; 69° 30' 59" long. Oeste; 4 500 msnm), distrito Pisacoma, provincia Chucuito, Región Puno.

### *Comunidad de San Francisco de Raymina*

Cuenta con una plaza principal y cerca de 60 viviendas construidas con muros de adobe y techos de tejas y calamina, un colegio y un local comunal, construidos con bloques de concreto, tijerales de madera y techo de calamina con teja cerámica, por lo que son ambientes muy fríos. Suma 300 habitantes aproximadamente.

Las familias poseen ovejas, chanchos y vacas como recurso alimentario y, en algunos casos, caballos como medio de transporte. El total de sus cosechas es para su propio consumo.

### *Comunidad de Vilcallamas Arriba*

Esta comunidad asentada aproximadamente en 6 000 hectáreas, tiene 300 habitantes que conforman 50 familias, cada una de las cuales es propietaria de una parcela de 5 a 100 ha. La ubicación de sus viviendas es muy dispersa; la distancia entre viviendas o pequeños agrupamientos de ellas es, en la mayoría de casos, mayor a un kilómetro.

Poseen alpacas, carneros y llamas, recursos que constituyen toda la base de sustentación para su existencia y sobre vivencia. Cuenta con una escuela para niños, 13 cobertizos y un salón comunal empleado, también, como ambiente de trabajo.

## **LÍNEA BASE DE CONFORT (DESCRIPCIÓN DE LAS VIVIENDAS)**

### *San Francisco de Raymina*

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 0,38x0,38x0,13m 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 (1,00x2,15m) y dos ventanas (1,04x1,00 m) con vidrio simple (2mm 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 esta vivienda habitan 3 personas, y su vestimenta es típica de la sierra, polleras, blusa y chompa abierta, calzan sandalias de jebe y en algunas ocasiones zapatos, la protección en los pies es mínima, no usan medias que los abrigue. Usan sombrero para protegerse de la radiación solar y por costumbre ancestral.

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. Como sumideros identificamos el ambiente circundante (cielo) y, probablemente, el suelo, las puertas, techos y marcos metálicos de las ventanas, constituyen puentes térmicos.

### *Vilcallamas Arriba*

Ubicada sobre un ladera en la dirección noroeste, forma parte de una agrupación de viviendas pertenecientes a una familia. Cada vivienda está constituida por dos ambientes, independientes el uno del otro. Uno es dedicado a tareas de cocción, almacén de utensilios y alimentos y refugio contra el frío. El otro hace las veces de dormitorio.

El ambiente dedicado para cocinar tiene su fogón como empotrado en la pared y hacia el exterior aparece sobresaliente con respecto a la superficie del muro. Cuenta con tres ventanas y una chimenea de corta altura, para evacuar los humos de la combustión de leña. Aproximadamente un tercio (1/3) del espacio interior de este ambiente está ocupado por una tarima que utilizan para dormir en tiempo de frío.

El área construida de la vivienda es igual a 45,7 m<sup>2</sup>, ubicada sobre un terreno de 83,5m<sup>2</sup> aproximadamente; no existe una demarcación de terreno de la vivienda. Sus muros son hechos con adobes de 0,4m de ancho, y descansan sobre un cimiento de piedra que tiene una profundidad de 0,6m y un ancho de 0,5m. El techo es del tipo “dos aguas” hecho con tijerales de eucalipto y amarras de pellejo de alpaca, sobre el que colocan una “tumbada” que es una cubierta de unos 5mm de espesor, hecha mezclando barro, paja y arcilla; es prefabricada en el piso y luego enrollada y elevada así sobre el tijeral para desenvolverla sobre éste.

Encima de esta tumbada instalan un “colchón” de “paja brava” (iru, ichu) que los protege del frío y la lluvia. El piso de la vivienda es de tierra y tiene un nivel más elevado que el piso exterior. Las puertas de ambos ambientes son típicamente pequeñas (1,6x0,9m y 1,3x0,7m), hechas con plancha metálica y marcos de madera eucalipto. Cada ambiente cuenta, igualmente, con una pequeña ventana ubicada en la parte alta de uno de sus muros.

La vestimenta es abrigadora aunque no de aspecto típico, las mujeres polleras, blusa y chompa abierta. Los varones pantalones gruesos, camisas variadas y sacos o chompas gruesas. Calzan zapatos y ojotas, y sombrero para protegerse de la radiación solar. En esta vivienda habitan 6 personas, dos padres y cuatro hijos menores. Esta afirmación resulta ser nominal, pues, en la práctica, no es posible establecer un número de personas de pasar constante dentro de la vivienda, por sus actividades y el clima frío.

Las fuentes de calor con las que cuenta son la radiación solar y el fogón de la cocina. Como sumideros identificamos el ambiente circundante (cielo) y, probablemente, el suelo. Las puertas, metálicas constituyen puentes térmicos.

### **MODELO TÉRMICO DE ANÁLISIS**

Para los efectos del análisis térmico basado en las apreciaciones que venimos exponiendo y alcanzar el objetivo planteado, hace falta precisar partes dentro de la vivienda identificadas como “similarmente o igualmente” térmicas, es decir, con temperatura, humedad relativa y movimiento de aire prácticamente iguales. Cada parte de una vivienda con estas características, se le denomina “zona térmica”. Así, se han instalado 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 ha previsto sensores para la temperatura, humedad relativa del aire interior y la iluminación. En el exterior se instaló una mini estación meteorológica con sensores de temperatura seca, humedad relativa, radiación solar y velocidad y dirección del viento.

Todos los valores medidos han sido registrados a intervalos de 30 minutos a partir del día 13 de junio de 2008, así que hemos cubierto la temporada de frío más intenso y la información acumulada permitirá obtener resultados representativos de esta situación extrema.

En lo que sigue se describe y precisa el planteamiento y procedimiento experimental aplicado a las viviendas.

En la vivienda de Vilcallamas Arriba, se ha identificado dos zonas térmicas: una el dormitorio, y otra la cocina, con una fuente de calor en su interior. Mientras que en la de San Francisco de Raymina, se ha identificado tres zonas térmicas: zona I compuesta por la habitación 1 y la sala – comedor, debido a que, ambos ambientes, tienen techo de calamina, y 3 de sus 4 paredes colindan con el exterior. Zona II compuesta por la habitación 2, debido a que una de sus paredes colinda con el exterior, otra colinda con la cocina y, tiene techo de tejas. Zona III compuesta por la cocina en cuyo interior hay un fogón de leña, no cuenta con ventanas y tiene techo de tejas. La Zona III no está incluida en el análisis actual.

#### *Flujos de calor identificados*

Transferidos por conducción a través de paredes y techos hacia el exterior; transferidos por convección desde las superficies interiores al ambiente interior; transferidos por convección desde las superficies exteriores al ambiente exterior.

Similarmente, los flujos producidos en los muros interiores de la vivienda de San Francisco de Raymina, a través de ellos por conducción y desde sus superficies al ambiente interior, por convección.

Por el suelo; transferencia convectiva desde el aire cercano a la superficie del suelo y conductiva hacia el interior del mismo.

En todos los casos, el sentido de los flujos dependerá del de la gradiente de temperatura.

Por filtraciones; transferencia por intercambio de masa de aire interno/externo con aire externo/interno a diferente temperatura.

Desde la cocina; fuente directa de calor radiante, e indirecta por efectos convectivo y conductivo de las paredes del fogón, bajo las mismas consideraciones fundamentales de paredes.

De las personas; fuente directa de calor radiante y convectivo (temperatura superficial, emisividad superficial, conductividad a través de vestimenta, convectividad desde su superficie)

#### *Temperaturas y otros parámetros identificados*

Temperatura del aire exterior, del aire interior por zona térmica, de superficies interiores y exteriores de muros y techos, del aire cercano a las superficies (5 cm aprox.), de suelo (profundidad de 20 - 70cm). Humedad relativa ambiental y de cada zona térmica, velocidad y dirección de viento, y radiación solar global sobre superficie horizontal.

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

### Instrumentación empleada

Al interior de las viviendas se midieron temperaturas y humedad relativa. 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  $20^{\circ}\text{C}$ . El elemento sensor tiene una cubierta de acero inoxidable de forma cilíndrica que facilita el contacto térmico con superficies sólidas. En cada vivienda se usaron 44 sensores de temperatura. La temperatura de globo, al interior de las viviendas, se midió con esferas de 15 cm de diámetro con recubrimiento de emisividad superficial de 0,9. Los datos de temperatura se almacenaron en registradores portables de cuatro canales, con capacidad de almacenamiento de 32 520 mediciones en memoria no volátil. 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 20 000 lúmenes/m<sup>2</sup>.

En el exterior de las viviendas se midieron la irradiancia solar, humedad relativa, velocidad y dirección de viento y temperatura. 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 descarga periódicamente en sistemas de almacenamiento portátil para ser analizados en la PC.

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

Se han elegido 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 y utilizando una codificación que identifica cada sensor. Por razones de espacio, solo incluimos la distribución correspondiente a la casa de San Francisco de Raymina.

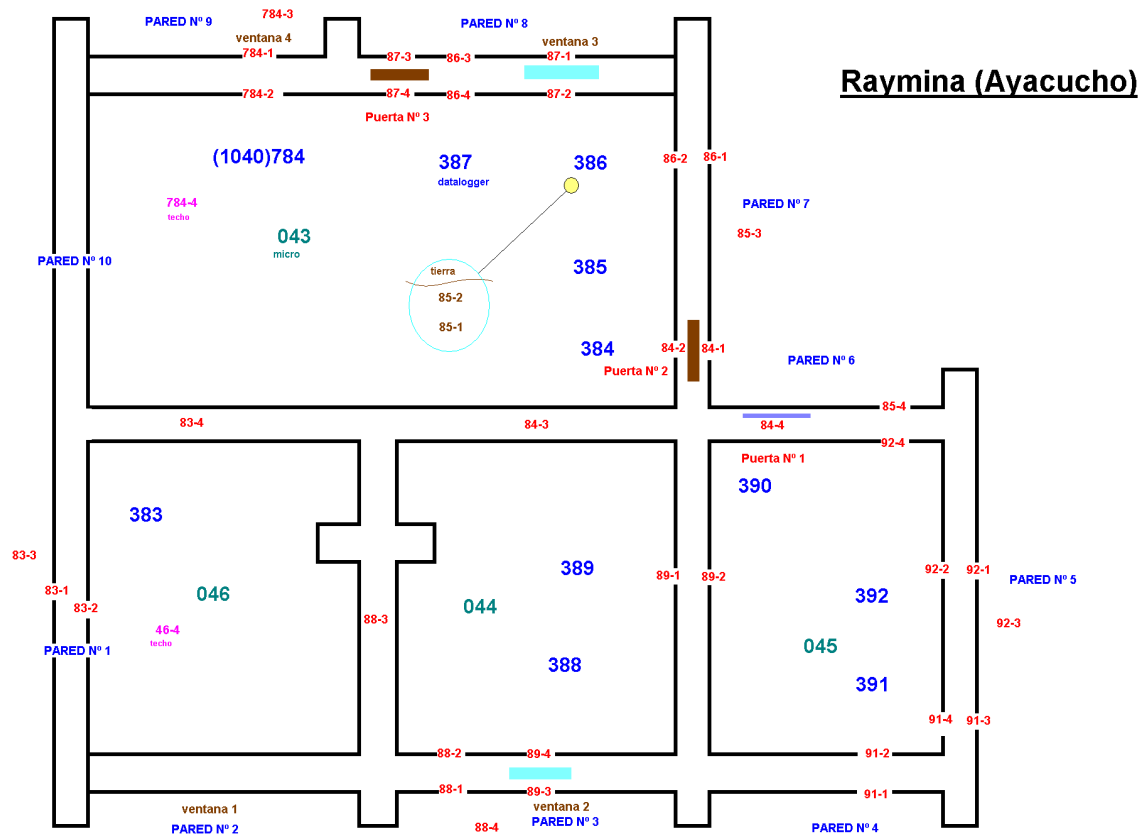


Figura 2 Distribución de sensores de temperatura en la vivienda de San Francisco de Raymina, representados por códigos numéricos cuyos 2 primeros dígitos distinguen a las micro estaciones (04x de los acumuladores de datos (38x, 39x); el último dígito identifica a un sensor.)

## RESULTADOS Y DIAGNÓSTICO TÉRMICO

Con el fin de establecer una primera aproximación de magnitudes de energía requeridas para aproximar los ambientes interiores de las viviendas en estudio a condiciones de confort térmico, exploraremos sobre la carta psicrométrica la información ambiental correspondiente a 38 días de monitoreo en San Francisco de Raymina, del 15 de junio al 22 de julio del 2008 y 11 en Vilcallamas Arriba, del 14 de junio al 24 de junio del 2008; la Tabla 1 y figura 3 contienen estos resultados.

San Francisco de Raymina				Vilcallamas arriba			
Tmax (°C)	Tmin (°C)	H% máx.	H% min.	Tmax (°C)	Tmin (°C)	H% máx.	H% min.
14,0	4,6	66	36	9,4	5,1	37	27

Tabla 1 Valores medidos, máximos y mínimos, de la temperatura y humedad relativa de los ambientes interiores de cada una de las dos viviendas en estudio, de los periodos de monitoreo respectivamente indicados. Estos datos han sido ubicados sobre las cartas psicrométricas de la figura 3. (Threlkeld, J. L., 1973)

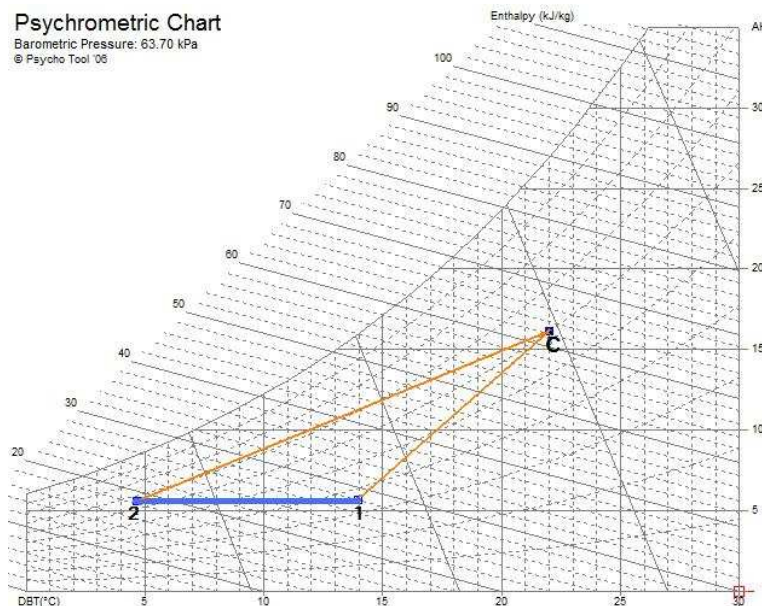


Figura 3 La línea azul sobre la carta psicrométrica revela el estado del clima para la comunidad San Francisco de Raymina durante el periodo del monitoreo. El punto C, representa un estado de confort. A partir de estas posiciones y los valores de entalpía que les corresponden, se calcula la cantidad de calor sensible y calor latente requeridos para alcanzar el estado "C".

San Francisco de Raymina					Vilcallamas Arriba				
	T(°C)	H%	E(kJ/kg)	HA(g/kg)		T(°C)	H%	E(kJ/kg)	HA(g/kg)
2	4,6	66	18,7	5,57	2	5,1	37	14,0	3,55
1	14,0	35	28,2	5,66	1	9,4	27	18,3	3,52
C	22,0	60	62,8	16,16	C	22,0	60	67,8	18,15

Tabla 2 Valores de temperatura, HR, entalpía (E) y humedad absoluta (HA) de los extremos del clima en cada comunidad (puntos 1 y 2) y los correspondientes al estado de confort.

De otro lado, los volúmenes interiores de las viviendas de S. F. de Raymina y Vilcallamas Arriba son 120 m<sup>3</sup> y 76 m<sup>3</sup> respectivamente, la densidad del aire es 0.6 kg/m<sup>3</sup>, con esta información calculamos la masa de aire contenida en cada volumen, resultando 72 kg de aire para la vivienda de S.F. de Raymina y 45,6 kg para la de Vilcallamas Arriba. Con estos valores, a su vez, se calcula el calor sensible y el calor latente requeridos para alcanzar el estado de confort representado en cada diagrama por el punto "C". Estos resultados se muestran en la tabla 3.

San Francisco de Raymina			Vilcallamas Arriba		
	Energía (kWh)	kg de agua		Energía (kWh)	kg de agua
C-1	0,882	0,762	C-1	0,687	0,672
C-2	0,691	0,756	C-2	0,633	0,673

Tabla 3 Cantidades de calor sensible y calor latente que se requerirían en cada vivienda para alcanzar las condiciones de confort representadas por el punto "C".

La variación de las temperaturas (°C) de los ambientes interior y exterior correspondientes a la vivienda de la comunidad Vilcallamas Arriba es mostrada en las figuras 4 y 5 que siguen a continuación.

### Temperaturas Medias, Mínimas y Máximas Exteriores en la comunidad de Vilcallamas Arriba

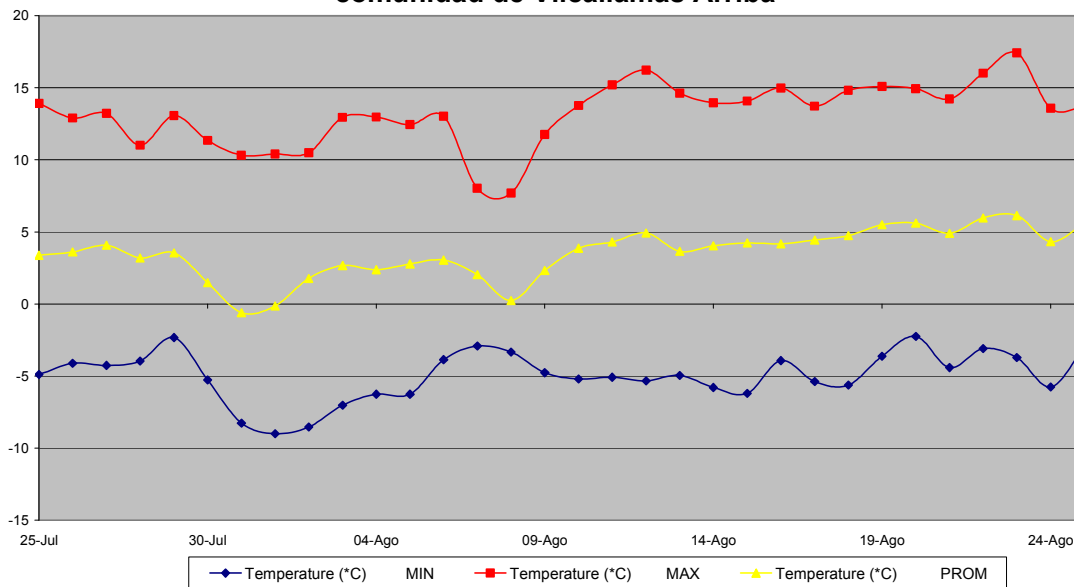


Figura 4 Temperaturas medias, mínimas y máximas del interior de la vivienda en estudio de San Francisco de Raymina.

### Temperaturas Medias, Mínimas y Máximas Interiores en la comunidad de Vilcallamas Arriba [ Casa ]

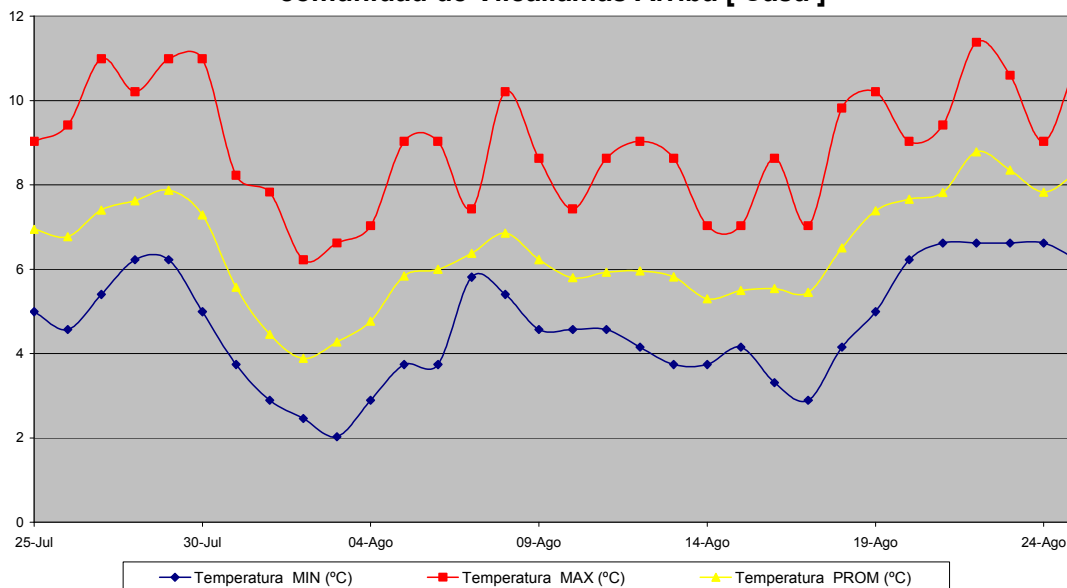


Figura 5 Temperaturas medias, mínimas y máximas del interior de la vivienda de Vilcallamas Arriba.

El periodo de mediciones representado en las figuras 4 y 5, pertenece a la estación invernal y los valores de las temperaturas correspondientes, confirman la severidad del clima en Vilcallamas Arriba. Las 24 horas del día la temperatura mínima en el interior de la vivienda oscila entre 2 y 6°C, cuando en el exterior lo hace entre -8 a -2°C, mientras que la temperatura máxima interior varía entre 6 y 11 °C y la correspondiente exterior lo hace entre 7 y 16 °C.

Esta realidad nos muestra un escenario térmico comprendido en un rango de temperaturas que, nos parece, algo extremo y poco común en el espectro de ambientes habitables típicamente fríos.

De otro lado, nos hace pensar en la necesidad de profundizar el estudio del comportamiento humano en estos ambientes, involucrando las actividades que practican sus moradores, tanto en el interior de sus viviendas, cuanto fuera de ellas, por el eventual efecto de cambios climáticos bruscos, sobre el organismo humano.

La curva de la figura 6 que sigue a continuación, nos revela excelentes niveles de energía solar acumulada diariamente sobre superficie horizontal. Para el periodo de ejemplo, oscila entre 6 y 7 kWh/m<sup>2</sup>.

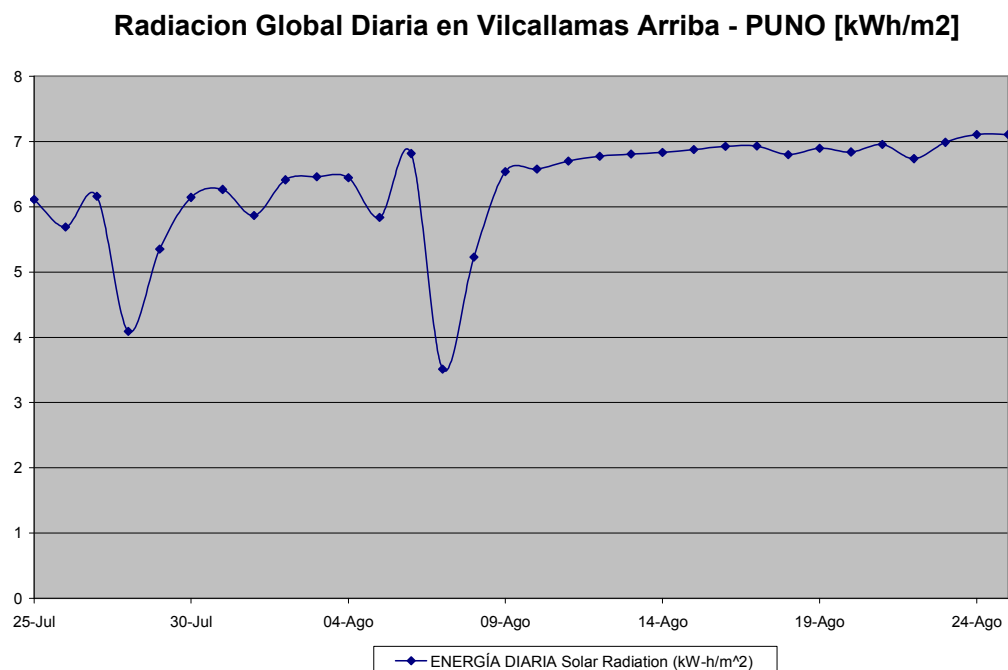


Figura 6 Performance de la energía solar, global diaria, acumulada sobre superficie horizontal calculada a partir de la irradiancia medida en el periodo 25 de julio – 24 de agosto en Vilcallamas Arriba

En este contexto y con el fin de conocer la magnitud de la energía total que incide en un día sobre todas las superficies de la vivienda, considerando efectos de sombra de objetos cercanos y, naturalmente, inclinaciones y orientaciones de muros y techos, hemos hecho el cálculo usando datos de radiación solar global horizontal medidos y registrados con la mini estación meteorológica y herramienta de cálculo del programa Energy Plus.

Así, obtuvimos 420 kWh para el día 06 de julio y 432 kWh para el día 22 de julio en la comunidad de Raymina. Equivalentemente, en Vilcallamas Arriba se obtuvo 356.9 kWh para el día 14 de junio y 355.1 kWh para el día 22 de junio.

En términos medios y relacionando estos valores de energía con los volúmenes de cada vivienda, obtenemos 3,6 kWh/m<sup>3</sup> de aire para Raymina y 4,7 kWh/m<sup>3</sup> de aire para Vilcallamas Arriba. Aún cuando referenciales y preliminares, son resultados expectantes.

## Conclusiones

Las curvas de variación diaria de temperatura interior y exterior de la vivienda de la comunidad de Vilcallamas, dejan apreciar un desfase de aproximadamente 2 horas entre las temperaturas mencionadas, lo que hace suponer la existencia de filtración de aire no muy intensa, efecto que se corrobora en la inspección física de la vivienda. El caso de la vivienda de San Francisco de Raymina es contrario. Este resultado no se muestra por razones de espacio.

Los rangos de temperatura interior de las viviendas están fuera de condiciones de confort durante las 24 horas del día, con el extremo mínimo cercano a 0°C.

En concordancia con este resultado, considerando las costumbres vivenciales del poblador andino del Perú y los efectos extremos de la temperatura durante la noche, estudiaremos la opción técnica de reorientar esta investigación para generar, preferencialmente, condiciones de confort nocturnas.

Esta realidad y la singular particularidad del sistema conformado por el clima, la vivienda y las costumbres del hombre alto andino del Perú, sugieren, inclusive, considerar la opción de generar indicadores de confort de aplicación congruente con las características de este sistema.

Los resultados preliminares de la cantidad de irradiancia sobre la vivienda y la requerida para mejorar el nivel térmico interior, son atractivos y de mucha expectativa en dirección del objetivo de lograr las condiciones de confort requeridas, solamente aprovechando el calor solar.

En suma, la percepción concluyente es que ambas viviendas requieren de mayor protección contra el enfriamiento que agregados diversos que incrementen su calentamiento.

## REFERENCIAS

- 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, Editor Helder Gonçalves INETI, Lisboa – Portugal.
- Brack, A. y Mendiola, C. (2000), Ecología del Perú, Pág. 166 – 187, Asociación Editorial Bruño, Lima – Perú.
- Espinoza, R. y Saavedra, G. (2007) Simulación preliminar del comportamiento térmico de una vivienda andina del Perú, en Los Edificios en el Futuro, Estrategias Bioclimáticas y sustentabilidad, Libro de Ponencias, Programa CYTED 2007, Pág. 95 – 104, Editores Helder Gonçalves y Susana Camelo INETI, Lisboa – Portugal.
- Kvisgaard, B. (2000) La Comodidad Térmica (Thermal Comfort, Copyright © 1997 *INNOVA* Air Tech Instruments A/S, Denmark [Brüel & Kjær], traducción de Manuel Martín Monroy © 2000, Pág. 6-11.
- Threlkeld, J. L. (1973). Ingeniería del Ámbito Térmico, 1ª edición, pp. 180-186, Prentice Hall Internacional, Madrid.

## ABSTRACT

The purpose of the research that stems from this work is to diagnose the current thermal situation of each and every dwelling in the highlands of Peru, to identify heat flows produced inside them and to forecast their thermal improvement.

An experimental and analytical methodology has been used, supported by simulations applied to specific parts of the house. The experimental database is constituted by automatic measurements and records taken during 40 to 50 days in a row as from June 11, 2008, and its processing allows to affirm that the conditions of the indoor environment in both houses is severely cold most of the day, being the highest temperatures 15 C at noon and -5 C in the early morning.

In apparent contradiction, enough values on net energy entering to the house for thermal comfort were found. But at the same time the existence of elevated air filtrations that play an opposed role is proved.

To sum up, the conclusion is that both houses require more protection against cooling instead of diverse mechanisms that increase its warming.

**Keywords:** solar energy, thermal comfort, bioclimatic