

SIMULACIÓN PRELIMINAR DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UNA VIVIENDA ANDINA DEL PERÚ

R. Espinoza¹, G. Saavedra²

Centro de Energías Renovables y Uso racional de la Energía (CER-UNI)
Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)
Telfax 00511-3821058 e-mail: respinoza@uni.edu.pe

RESUMEN: En este trabajo se expone el enfoque utilizado para analizar aspectos térmicos de una vivienda andina y su entorno natural inmediato, con miras a precisar su comportamiento térmico diario en relación con la radiación solar que incide sobre ella.

Se presenta resultados preliminares obtenidos usando el programa ENERGYPLUS, mediciones de temperatura ambiental y radiación solar del entorno cercano a la vivienda y datos de la temperatura y la humedad relativa, medias máximas y mínimas, correspondientes a una región geográfica vecina y de altitud similar.

Se demuestra que la radiación solar del lugar, en términos de energía, con viabilidad técnica de ser capturada y mantenida por la vivienda a través del empleo de materiales y formas adecuadas para aquellas condiciones, es suficiente para tener confort térmico en su interior.

Palabras clave: energía solar, confort térmico.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se inscribe en un estudio técnico mucho más amplio así como en las actividades que el grupo del Perú tiene comprometidas con La Red CYTED: “**RED IBEROAMERICANA DE USO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN VIVIENDAS Y EDIFICIOS DE INTERÉS SOCIAL**” cuyos objetivos abren espacios y crean condiciones propicias para el análisis, estudio, experimentación y propuestas de confort térmico, y su objetivo es demostrar la viabilidad técnica para lograr esa calidad de ambiente interior en viviendas andinas del Perú.

En este contexto, el CER-UNI se ha propuesto desarrollar un estudio técnico de confort térmico para viviendas rurales andinas ubicadas entre los 3000 y 5000 msnm del Perú. Para este estudio se plantean los siguientes objetivos principales.

1. Desarrollar un diagnóstico térmico de dos viviendas rurales del Perú tomadas como representativas de las regiones naturales SUNI (3500 – 4000 msnm) y PUNA (4000 – 4800 msnm), sobre la base de un diseño experimental sostenido por mediciones sistemáticas de condiciones ambientales, de clima, térmicas y de propiedades de materiales locales durante 12 meses continuados. En la región SUNI: vivienda de la Comunidad San Francisco de Raymina (3700 msnm), distrito Huambalpa, provincia Vilcashuamán, región Ayacucho. En la región PUNA: vivienda de la Comunidad Vilcallamas Arriba (4500 msnm), distrito Pisacoma, provincia Chuchito, Región Puno
2. Desarrollar un programa de mejoras técnicas en cada una de las dos viviendas sobre la base de los resultados del diagnóstico térmico del primer objetivo, que no altere las características constructivas de las viviendas originales, que utilice recursos humanos y materiales locales y que haga uso intensivo de las fuentes renovables de energía (FRE), particularmente la energía solar. Con el compromiso de lograr el confort térmico en cada vivienda.
3. Desarrollar una propuesta de VIVIENDAS RURALES BIO-COMFORTABLES para cada una de las dos regiones que considere las recomendaciones técnicas bioclimáticas establecidas con el objetivo anterior y considere la posibilidad de un nuevo diseño bioclimático rural aplicable en cada una de las dos regiones, SUNI y PUNA.

Se cita las siguientes justificaciones como las de mayor relevancia.

- 1 Inclemencias de clima adverso y extremadamente adverso padecidos por los habitantes de estos lugares (Ver Fig. 1 como ejemplo) que disminuyen las posibilidades de interacción social y por consecuencia debilitan los procesos de desarrollo individual y comunal, así como las opciones de progreso y mejoramiento cultural.
- 2 El uso intensivo de FRE como la energía solar evitará la posibilidad de contaminar el ambiente como producto del uso de combustibles fósiles, o biomasa (leña, bosta, yareta, otros) y los ambientes naturales propios de comunidades alto andinas recuperarán su atractivo y riqueza natural.

¹ Investigador principal y Director CER-UNI

² Investigador auxiliar CER-UNI

- 3 Se generará una cultura ambiental amigable con la naturaleza y atractiva para el turismo.
- 4 Empleo de mano de obra local para la adecuación de las viviendas y construcción de las nuevas.
- 5 Actividades comerciales locales e intercomunitarias se mejorarían por efecto del incremento de las comodidades personales que redundarían en mayor productividad individual y comunal.
- 6 El uso intensivo de recursos humanos, materiales y naturales locales, en forma orgánica y sistemática, genera tecnología que podrá ser apropiada por la comunidad respectiva con potencialidad de ser replicada en otros espacios aledaños.

En este escenario, se ha hecho mediciones, cálculos y simulaciones iniciales con el fin de tener suficiente base tecnológica para asegurar la viabilidad técnica del pretendido estudio.

Para este efecto, se ha considerado una vivienda de la comunidad San Francisco de Raymina, distrito Huambalpa, provincia Vilcashuamán y región Ayacucho del Perú por el hecho de reunir condiciones de habitabilidad severas, ser accesible y pertenecer a una región peruana preferencial para emprendimientos que contribuyan con su desarrollo.

BASES TECNOLÓGICAS IDENTIFICADAS

Descripción del ambiente La comunidad Campesina de San Francisco de Raymina se encuentra ubicada bajo las siguientes coordenadas: latitud sur 13° 45' 40", longitud oeste: 73° 51' 26" y altitud 3,700 msnm. Está conformada por 70 familias con una media de 5 hijos por familia, lo que equivale a casi 350 habitantes de los cuales el 51% son hombres y 49% son mujeres, entre adultos y niños. Tiene tasa de crecimiento anual de 2.5%.

Por su ubicación geográfica cuenta con un clima típicamente frío, soleado la mayor parte del año y lluvioso durante la temporada de verano. Su actividad productiva se basa principalmente en la agricultura y ganadería; luego en menor grado practican la pesca y la minería no metálica. Para acceder a ella existe servicio de transporte público durante toda la semana.

Estimaciones preliminares En esta primera parte del estudio se ha hecho mediciones en el lugar para efectos de realizar cálculos que permitan ubicar las condiciones térmicas extremas de la vivienda en el contexto del confort térmico y a partir de este resultado proyectar la viabilidad de lograrlo con el uso sistemático de tecnologías para el aprovechamiento de la radiación solar y otras fuentes renovables de energía del lugar.

Con relación a la radiación solar, es preciso mencionar que contamos con el respaldo del Atlas de Energía solar del Perú (SENAMHI, 2003), Mapas de radiación solar (Kadono, 1972), y las Estimaciones de Radiación solar (Vásquez y Lloyd, 1967). Con lo que tenemos suficientemente respaldada la tarea de cálculo de la oferta energética solar.

No obstante este respaldo, presentamos una curva diaria de radiación solar de un día de abril del presente año medida en el mismo lugar del estudio, que permite observar el comportamiento típico para la época lluviosa.

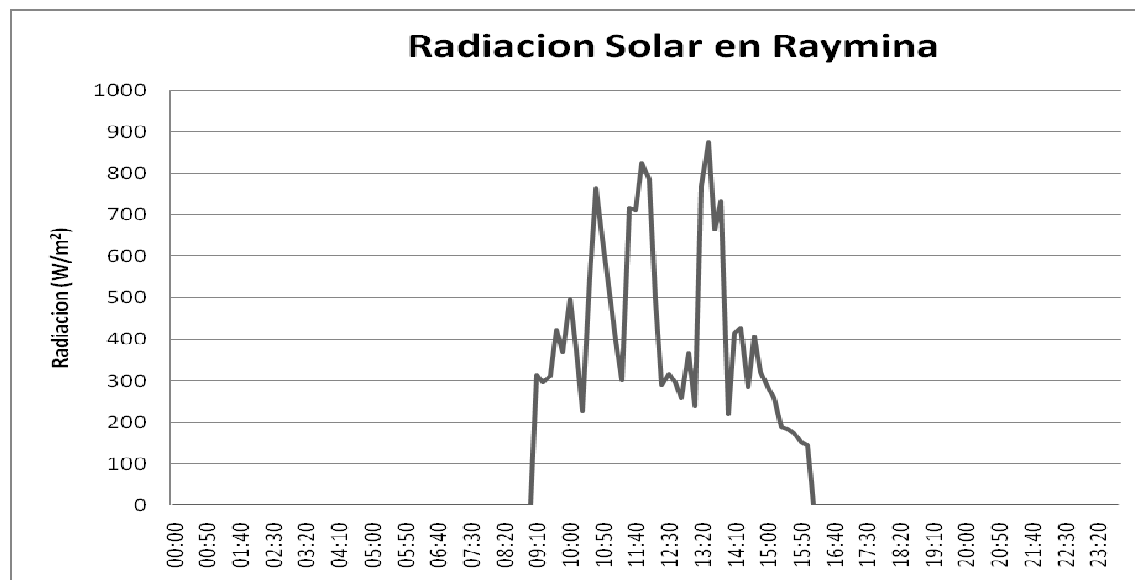


Figura 1 Curva diaria de radiación solar correspondiente al día 19 de abril de 2007, resultado de medir la radiación solar instantánea entre las 0900 y las 1600h con el radiómetro HAENNI-solar 130.

Para el tema de temperaturas y humedades relativas hemos recurrido al servicio meteorológico nacional (SENAMHI) solicitándole nos proporcione valores de la temperatura y la humedad relativa del ambiente en valores medios mensuales, máximos y mínimos, para la región Ayacucho. Naturalmente este respaldo al no ser el preciso resta algo de representatividad a los resultados.

En este contexto, la figura 2 muestra el resultado gráfico del registro de la temperatura del ambiente interior y exterior de una vivienda de San Francisco de Raymina correspondiente a una de las épocas de mayor frío en la región andina del Perú. Las

curvas que representan las temperaturas referidas muestran que las condiciones ambientales del lugar son muy severas, tanto en el exterior como en el interior de la vivienda, espacio en el que la temperatura llega a 15°C al medio día, más, solo por tiempo corto. La mayor parte de día es frío.

Temperatura en una de las viviendas de la comunidad de San Francisco de Raymina (Ayacucho)

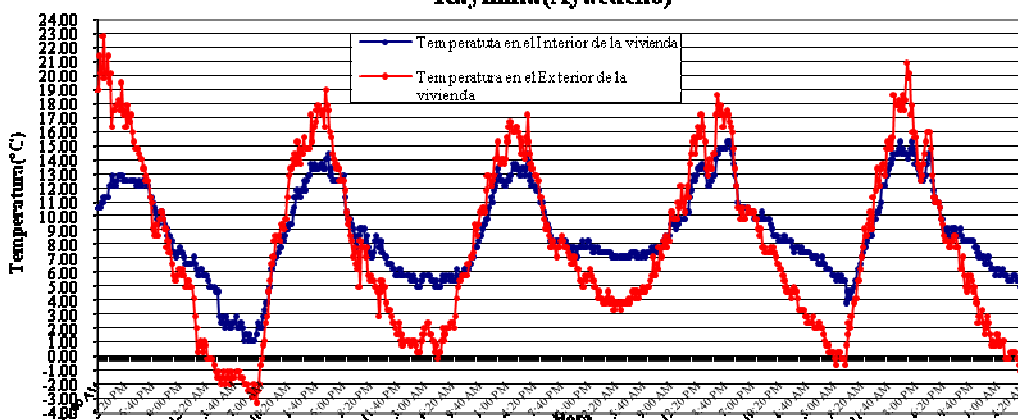


Figura 2 Registro de la temperatura del ambiente interior y exterior de una vivienda de San Francisco de Raymina entre el 21 y 25 de mayo del 2007 correspondiente a una de las épocas de mayor frío en la región andina del Perú medido con termoclas conectadas a una unidad registradora HOBO H08-006-04.

Completando la información del medio ambiente, citamos los valores obtenidos del SENAMHI correspondientes al año 2002, tanto para la temperatura del ambiente cuanto para la humedad relativa del mismo. Las tablas que siguen a continuación contienen esta información.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2002	85,0	85,0	84,0	80,0	80,0	79,0	80,0	78,0	80,0	79,0	82,0	79,0

Pasco	Temperatura máxima media normal	Temperatura mínima media normal
VERANO	12	4
INVIERNO	12	1

Tabla 1: Valores medios de la temperatura del ambiente y de la humedad relativa para la región Pasco, de características similares a la región Ayacucho en sus zonas de altitud superior a 3500 msnm.

Esta información referida al lugar de estudio la contrastamos con la que señala las condiciones de habitabilidad diversas calificadas por el SENAMHI la cual señala las condiciones de confort térmico en el rango de 21 y 27°C y 20% y 80% HR.

La información anterior la hemos ubicado sobre una carta psicrométrica correspondiente a la altura geodésica de Raymina para, a partir de este resultado, calcular el requerimiento térmico necesario para ubicar a Raymina dentro del polígono de confort térmico. Así, de los datos medidos en Raymina y tomando 60% de HR como un promedio de referencia de la zona, construimos la línea en la tabla psicrométrica “Condiciones Medidas”, como se aprecia en la figura siguiente. (Threlkeld, J. L., 1973)

Psychrometric Chart
Barometric Pressure: 63.70 kPa
© Psycho-Tool 106

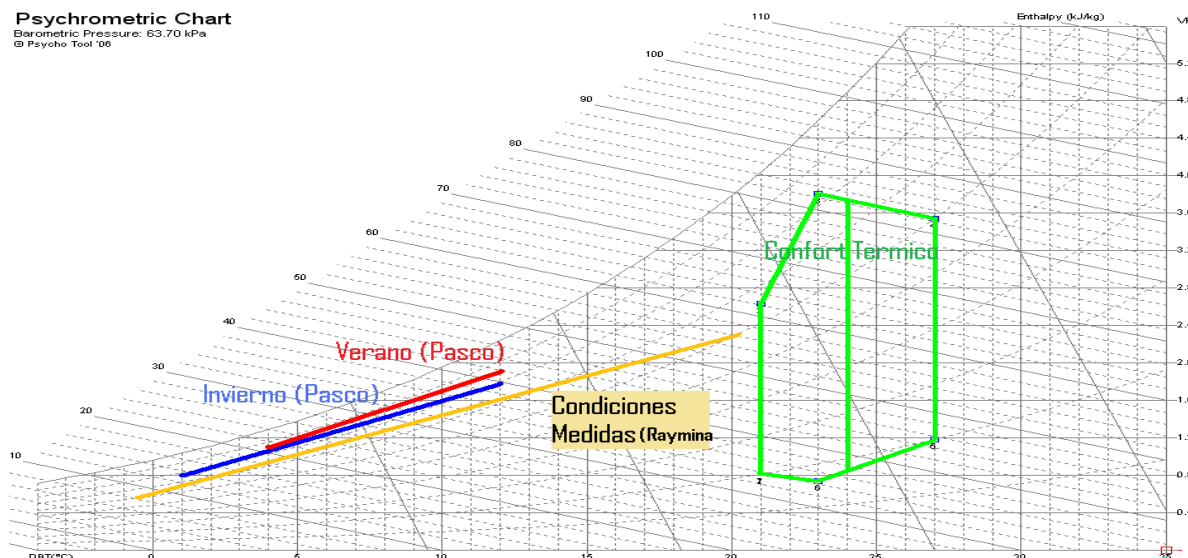


Figura 3: Diagrama psicrométrico que revela las condiciones climáticas de Raymina en contraste con las condiciones climáticas consideradas como de confort térmico, tomadas de la tabla de SENAMHI.

Se realizaron cálculos de coeficientes globales de transferencia de calor (Incropera y DeWitt, 1999) para estimar solo las pérdidas considerando conducción y convección en las 4 paredes y solo conducción a través de ventanas y techo, sin considerar la transferencia por el suelo de la vivienda para 3 modelos diferentes. La tabla 2 caso a muestra los resultado para las condiciones actuales de la vivienda, en el caso b se considero un cambio de techo con características de aislante y en el caso c considera además del cambio de techo, ventanas aislantes con cámara de aire de 5cm, el espesor del vidrio en estos dos últimos casos es de 5mm, señalando que en condiciones actuales la vivienda cuenta con vidrio de 2 mm.

modelo	U (W/K)	%
a	2084705.371	100.000%
b	567.897	0.027%
c	280.805	0.013%

Tabla 2: Resultados del calculo de coeficientes globales de transferencia de calor de modelos basados en una vivienda de la comunidad de San Francisco de Raymina

De otro lado, se introdujo en el programa ENERGYPLUS la información medida de la radiación solar, la ubicación geográfica de la casa modelo considerada y sus dimensiones. Con esta información, el programa calculó el área expuesta a la radiación solar, combinando esta información con los datos de radiación del lugar, estimó la energía que incide sobre todas y cada una de las superficies (paredes) de la vivienda.

Los datos para la simulación fueron aéreas efectivas y la radiación solar la medición del 19/04 en Raymina, esta información se muestra en la tabla 3 que se incluye más abajo.

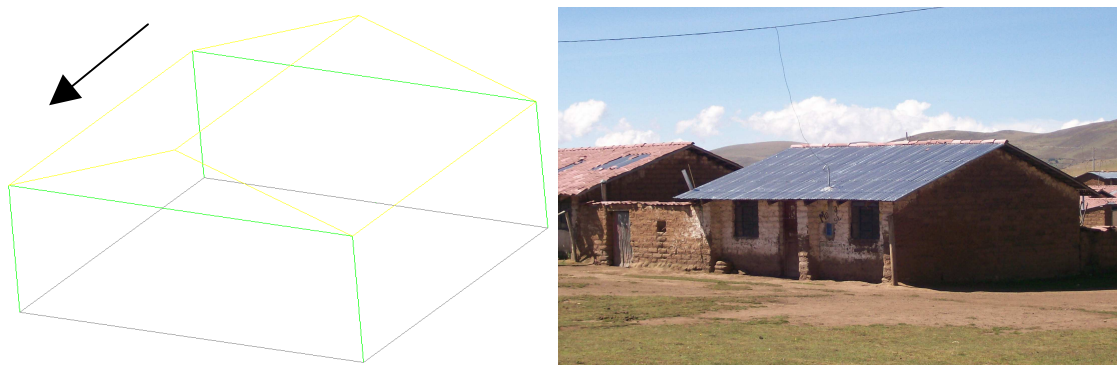


Figura 4: La fotografía de la derecha muestra la casa modelo de la comunidad de SAN FRANCISCO de Raymina tomada como referencia para el estudio. Las paredes son de adobe y el techo de calamina a dos aguas, hacia el este y el oeste (la que se ve en la foto). El esquema de la izquierda ilustra la orientación relativa de la vivienda y la identificación de las paredes y techo en relación con los puntos cardinales.

PARED OESTE	PARED SUR	PARED ESTE
11 060,9,11	0	5 608,07844
PARED NORTE	TECHO OESTE	TECHO ESTE
22 556,6729	49 394,0834	44 188,465

Tabla 3: Resultados del cálculo hecho con el programa ENERGYPLUS para obtener la cantidad de energía solar que incide en un día sobre cada pared y techo de la vivienda. Los valores están en Wh.

Psychrometric Chart
Barometric Pressure: 63.70 kPa
© Psycho Tool 06

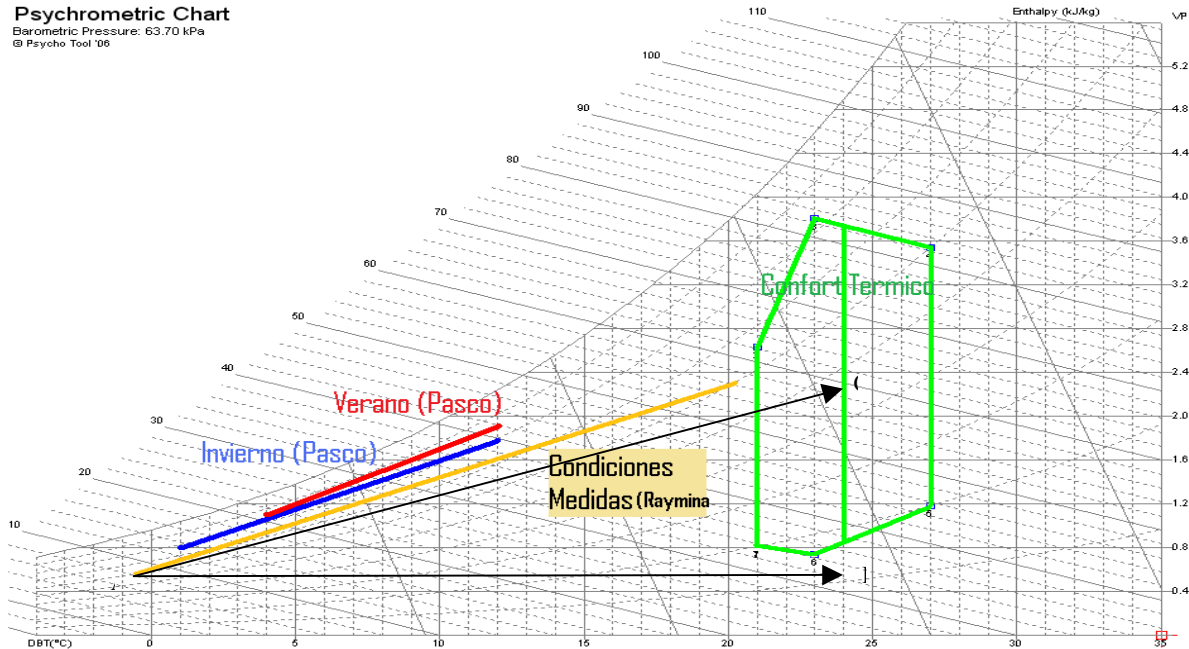


Figura 5: Diagrama psicrométrico considerando las condiciones extremas del clima de Raymina (punto A) que deberían ser mejoradas hasta las condiciones correspondientes al punto C.

	T (°C)	HR (%)	HA(g/Kg)	h (kJ/Kg)
Situación Mínima Actual				
A	-0.56	60.0	3.46	8.167
B	24.00	11.3	3.46	32.737
C	24.00	50.0	15.28	62.591

Tabla 4: Muestra los valores de temperatura, humedad relativa y entalpía correspondientes a los puntos A, B y C marcados en la carta de la figura 5.

Sobre esta base se hace la siguiente aproximación de cálculos de confort térmico:

Se tiene que para alcanzar el rango medio de temperatura de confort calentando el ambiente sin agregarle agua basando los cálculos en el diagrama psicrométrico, el cambio de entalpía (ΔH) será de:

$$H_A = 8.167 \text{ kJ/Kg}$$

$$H_B = 32.737 \text{ kJ/Kg}$$

Diferencia de entalpía:
 $\Delta H = H_B - H_A = 24.57 \text{ kJ/Kg}$

Entonces la energía necesaria será:
 $24.57 \text{ kJ/Kg} * 126.8 \text{ Kg} = 3.12 \text{ MJ} = 0.87 \text{ kWh}$

Donde 126,8 kg es la masa de aire contenida en el volumen interior de la vivienda modelo.

Para alcanzar el rango medio de confort térmico (en temperatura y humedad) calentando el ambiente agregando el agua necesaria requerimos de cierta cantidad de energía la cual se calcula a continuación:

$$H_A = 8.167 \text{ kJ/Kg}$$

$$H_C = 62.591 \text{ kJ/Kg}$$

$$H_{A_A} = 3.46 \text{ g/Kg}$$

$$H_{A_C} = 15.28 \text{ g/Kg}$$

Diferencia de entalpía:
 $\Delta H = H_C - H_A = 54.424 \text{ kJ/Kg}$

Diferencia de contenido de agua
 $\Delta H_A = H_{A_C} - H_{A_A} = 11.82 \text{ g/Kg}$

Entonces la energía necesaria será:
 $54.424 \text{ kJ/Kg} * 126.8 \text{ Kg} = 6.9 \text{ MJ} = 1.92 \text{ kWh}$
 $11.82 \text{ g/Kg} * 126.8 \text{ Kg} = 1.5 \text{ Kg}$ de agua (necesaria para alcanzar 50% de HR)

Es decir, la transformación de las condiciones térmicas naturales de la masa de aire en el interior de la vivienda en condiciones de confort térmico demandaría alrededor de 3 kWh por ciclo de calentamiento sin considerar efecto equivalente a la fracción de aire de renovación en el contexto de la climatización ambiental con medios mecánicos. De cualquier forma, esta cantidad de energía está muy por debajo de la cantidad total de energía solar que incide en un día sobre la vivienda, que resulta igual a 132,8 kWh (suma de valores mostrados en la tabla 3).

Consideraciones supuestas sobre la base del resultado global obtenido que, en principio, respalda el supuesto técnico de conseguir condiciones confortables utilizando mayormente o exclusivamente el calor solar, se comenta seguidamente resultados de supuestos y análisis simulados con el programa ENERGYPLUS.

El primero de estos resultados corresponde a la opción de reorientar la vivienda haciéndola girar sobre el plano horizontal o lo que es lo mismo, haciendo variar su ángulo azimutal desde 0° hasta 360° y para cada posición simulada se ha calculado la energía solar que incide sobre cada pared y sobre el techo (ambas aguas). El resultado se muestra en forma gráfica en la figura que sigue a continuación. (Duffie y Beckman, 1991)

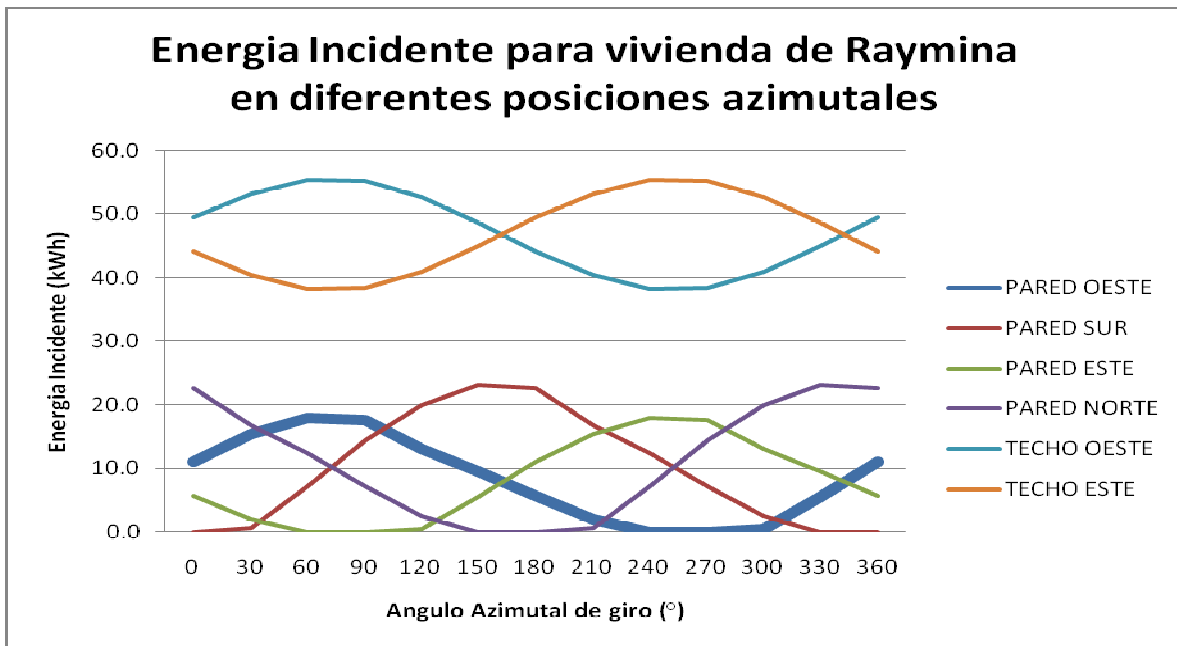


Figura 6: Las curvas de la figura muestran cómo varía la energía incidente sobre las paredes y el techo de la vivienda modelo de Raymina. Las dos curvas superiores corresponde a las dos aguas del techo y las de abajo a las cuatro oaredes. Se destaca la pared oeste que cuenta con ventanas.

Si se observa con detenimiento las curvas de la figura 6 se ve que el rango de variación de la energía incidente no es precisamente amplio y, como era de esperarse, para diversas orientaciones no hay incidencia solar sobre alguna de las paredes. En contraste, las dos aguas del techo siempre recibirán energía solar.

Más, si se suma las incidencias parciales sobre cada una de las seis superficies consideradas para cada ángulo azimutal, comprobaremos que el total de energía incidente no es muy diferente, el rango absoluto está entre 128,3 y 132,8 kWh al día

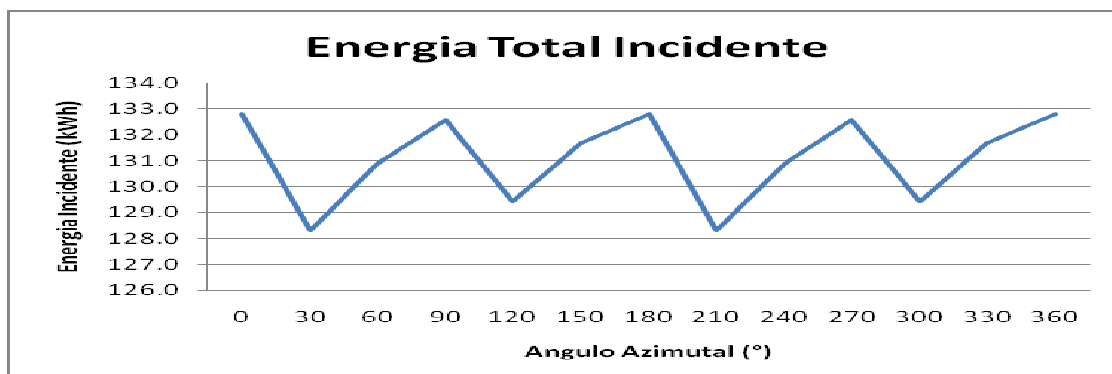


Figura 7: Suma de las curvas de energía incidente sobre el modelo de vivienda de Raymina mostrada en la fig. 6

Otro resultado importante de la simulación es el correspondiente a la temperatura superficial de las paredes y techo de la vivienda, interior y exterior, así como la temperatura del ambiente interior y el ambiente exterior de la misma. Se ha simulado la variación diaria de estas temperaturas para las condiciones globales de radiación solar incidente sobre la vivienda y su posición actual.

Este resultado sugiere profundizar el análisis de la transferencia de calor a través de muros y techos a lo largo del día con el fin de obtener gradientes térmicos favorables para el confort ansiado en la vivienda.

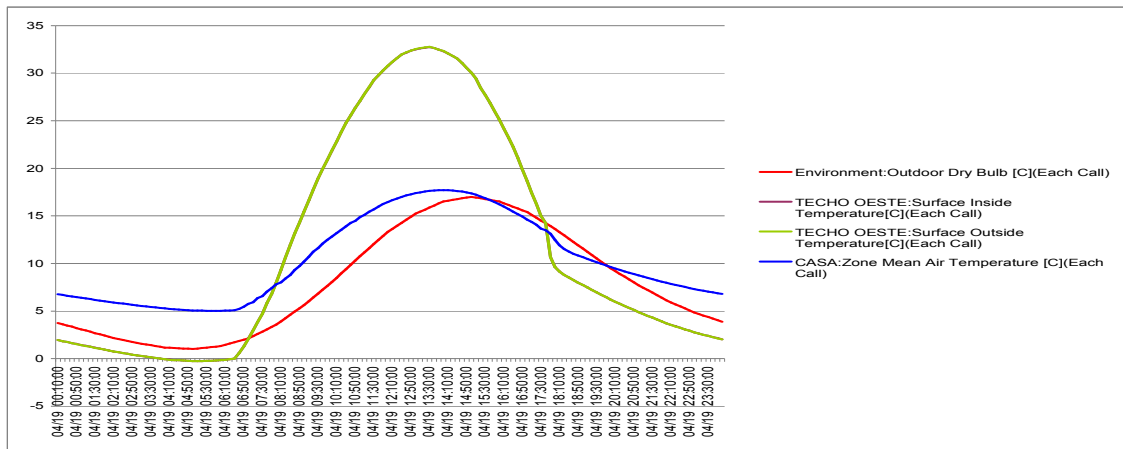


Figura 8: Variación diaria de las temperaturas superficiales del techo y de los ambientes interior y exterior.

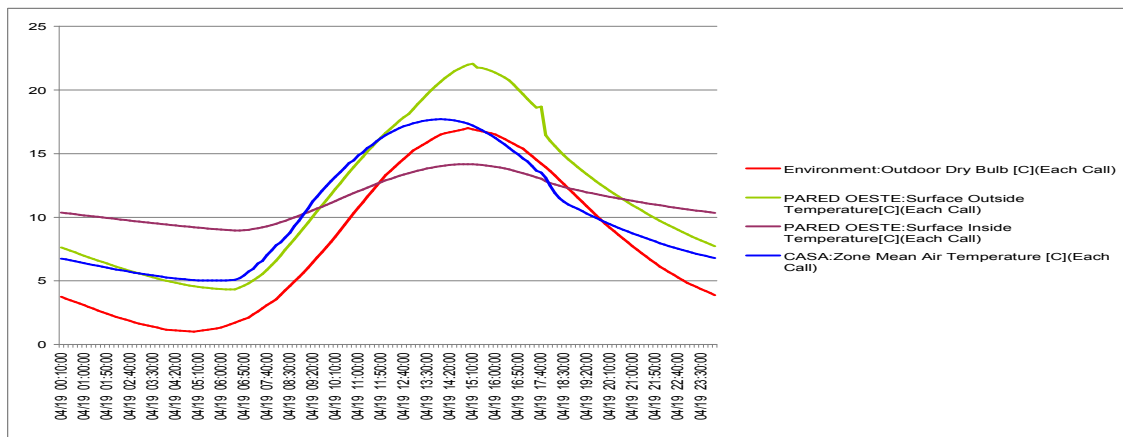


Figura 9: Variación diaria de las temperaturas superficiales, interior y exterior, de la pared oeste. Así mismo, la variación de las temperaturas de los ambientes interior y exterior de la vivienda (las mismas de la figura 8)

De primera observación de las curvas contenidas en las figuras 8 y 9, es evidente la heterogeneidad del movimiento de energía a través de los muros que primero la acumulan como se espera, pero después la transfieren más rápidamente al ambiente exterior enfriando la vivienda, fenómeno que puede interpretarse observando las curvas de las figuras 10 y 11 que han sido construidas a partir de las de la figura 9, haciendo “cortes en el tiempo” a lo largo del día, antes y después de las 12m.

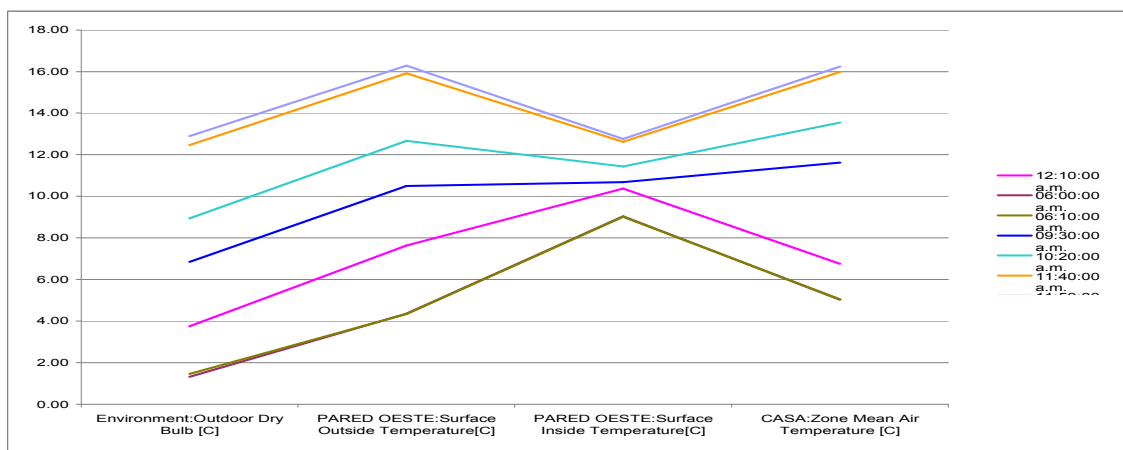


Figura 10: Cortes horarios de las temperaturas de la pared y de los ambientes en estudio para las horas de la mañana.

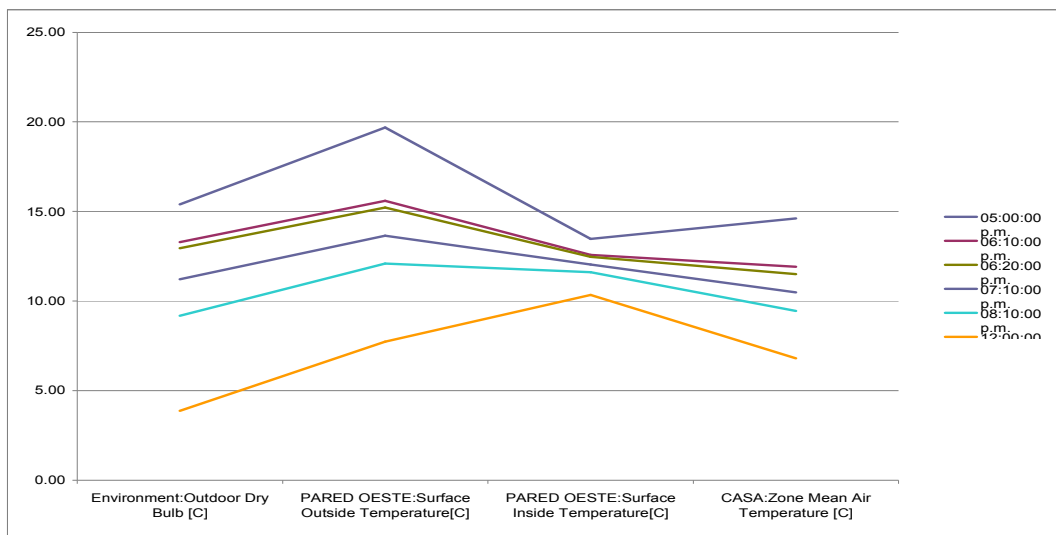


Figura 11: Cortes transversales de las temperaturas de la pared y ambientes en estudio para las horas vespertinas.

CONCLUSIONES

1. Las fugas de calor por el techo de la vivienda, hecha de un material conductor permite alta fuga de calor, lo que convierte a la vivienda en un hábitat totalmente ineficiente.
2. Disponemos de suficiente calor solar para mejorar el ambiente interior de la vivienda modelo, hasta alcanzar condiciones de confort térmico.
3. En primera aproximación, la orientación de la vivienda no sería un parámetro relevante entre los que se pueda identificar como muy influyentes.
4. El adobe como material de construcción de la vivienda tiene buen comportamiento térmico como acumulador de calor, más, el diseño del muro no le permite transferirlo preferentemente al interior de la vivienda.
5. Sin duda alguna, hace falta estudiar con mayor detalle el fenómeno térmico en la vivienda en forma más integral, considerando ocupaciones y actividades en su interior.
6. Continuaremos con este estudio dentro del contexto del proyecto madre reseñado en la introducción de este trabajo.

REFERENCIAS

- Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes, 2ª edición, pp.13-31. Wiley Interscience, New York.
- Incropera F. P. y DeWitt D. P. (1999). Fundamentos de transferencia de calor, 4ª edición, pp.74 - 89. Prentice Hall, México
- Kadono N. César "La Radiación Solar en el Perú", Tesis de competencia profesional, PAIME – DEM – UNI; Lima Perú 1972.
- Threlkeld, J. L. (1973). Ingeniería del Ámbito Térmico, 1ª edición, pp. 180-186, Prentice Hall Internacional, Madrid.
- SENAMHI (2003), Atlas de Energía Solar del Perú; PROYECTO PER/98/G31; DEP – MEM, Lima Perú.
- Vásquez, J. W y Lloyd, P; Estimación de la energía solar en el Perú; en revista Energética, año 11 – Nº 1 – abril 1967; Pág. 43 – 66 Publicación de OLADE

ABSTRACT

The present work exposes the approach used to analyse thermal aspects of an Andean dwelling and its immediate natural surroundings, with the objective of specifying its daily thermal behaviour in relation to the sun radiation falling on it.

This work presents preliminary results using ENERGYPLUS programme, assessing the environment temperature and sun radiation of the immediate surroundings of the dwelling and data of temperature and relative humidity, maximum and minimum average corresponding to a neighbouring geographical region and of similar altitude.

Proves that sun radiation at the place –with technical feasibility of being captured and kept by the dwelling using adequate materials and designs for those conditions– is enough to, energetically, have thermal comfort inside such dwelling.

Keywords: solar energy, thermal comfort