

ACONDICIONAMIENTO TERMICO PARA EDIFICACIONES RURALES ALTOANDINAS

Eduardo Ramos Martínez - e.j.ramos88@gmail.com

Daniel Ocupa Florián - docupaf@gmail.com

Juan Molina Fuertes - jomarmf5@gmail.com

Juan Natividad Alvarado - jjnatividad@uni.edu.pe

Rafael Espinoza Paredes - cer@uni.edu.pe

Centro de Energías Renovables y Uso Racional de la Energía, Universidad Nacional de Ingeniería

Roberto Prieto Sánchez - rprieto@vivienda.gob.pe

Dirección Nacional de Construcción del Viceministerio de Construcción del Ministerio de Vivienda

Resumen.- En el presente artículo se presenta los resultados del estudio piloto de acondicionamiento térmico, encargado por la Dirección Nacional de Construcción del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y desarrollado por el CER-UNI. El objetivo fundamental es proveer a los pobladores de comunidades ubicadas entre 3000 y 5000 msnm de distintas alternativas que solucionen arquitectónicamente el problema térmico presente en edificaciones que sufren bajas temperaturas con el propósito de que las familias habiten sus viviendas en situación de confort. La metodología empleada fue seleccionar tres viviendas existentes construidas con los mismos materiales en muros, piso y techo, las cuales fueron monitoreadas por un periodo de 3 meses. Las dos viviendas más críticas térmicamente se modificaron. En una solo se modificaron la composición del envoltente para reducir las pérdidas de calor con el exterior, mientras que en la otra se incluirá también sistemas pasivos de climatización como claraboyas en el techo e invernaderos adosados. La tercera vivienda que no se modificó se le denomina vivienda patrón respecto a la cual se comparan los resultados obtenidos. Paralelamente se construyó un prototipo de vivienda nueva bio-confortable. Las estrategias de confort térmico concebidas fueron analizadas una a una simulando resultados de su aplicación, haciendo uso del programa EnergyPlus¹. Estos resultados fueron evaluados considerando, además de su proyección, aspectos relativos a materiales, economía y contexto social de destino. Este estudio se realizó en las comunidades San Felipe (4500 m.s.n.m.; Text [-3,16] °C) y Santa Rosa de Tambo (3200 m.s.n.m.; Text [5,20] °C) ubicadas en la provincia de Huaytara, departamento de Huancavelica. En la viviendas intervenidas se logra un incremento de temperatura interior (respecto al exterior) de 6.5°C hasta 8°C entre las 5h y 6h, mientras que entre las 13h y 14h el incremento logrado alcanza los 11°C.

Palabras-clave: Confort térmico, Energía Solar, Simulación Térmica.

1. INTRODUCCIÓN

En marzo del 2012 se suscribió el *CONVENIO ESPECÍFICO DE COOPERACION INTERINSTITUCIONAL ENTRE EL MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO Y LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA* para la elaboración de un Estudio Piloto, denominado “Acondicionamiento Térmico para Edificaciones Rurales Alto Andinas” por parte de LA UNI que, a través del CER-UNI, se comprometió a elaborar dos (02) expedientes técnicos (uno (01) por cada centro poblado) y metodologías de cálculo (ambos documentos sustentados de manera técnica y con mediciones ambientales), que solucionen arquitectónicamente el problema térmico de las edificaciones que sufren bajas temperaturas con el propósito que las familias habiten sus viviendas en situación de confort.

Las viviendas del estudio están ubicadas en los siguientes poblados:

- Centro Poblado de San Felipe, Distrito de Pilpichaca, Provincia de Huaytará, Departamento de Huancavelica.
- Centro Poblado de Santa Rosa de Tambo, Distrito de Tambo, Provincia de Huaytará, Departamento de Huancavelica.

Ambos Centros Poblados se encuentran en el ámbito de la Resolución Ministerial 007-2012-VIVIENDA y de acuerdo al Mapa de Zonas Climáticas del Perú para uso arquitectónico.

¹ EnergyPlus, es software libre desarrollado por el Departamento de Energía de Los Estados Unidos.

2. EL PROBLEMA

Entre los meses de junio y setiembre (invierno), pobladores de la zona alto andina del Perú, tienen que sobrevivir a una ola de frío extremo, la temperatura ambiental puede alcanzar los 10°C bajo cero en algunas regiones del País, en estos lugares las viviendas se construyen utilizando materiales inapropiados térmicamente, como es el caso de la calamina utilizado como cobertura en el techo y las puertas, la calamina facilita la transferencia de calor ya se del exterior al interior (en el día) o viceversa (en la noche); sumado a esto, los pisos son de tierra apisonada, el piso se comporta con un gran sumidero de calor y permite el ingreso de humedad al interior de la vivienda; finalmente, las deficiencias constructivas generan la existencia de aberturas que permiten filtraciones de aire perjudiciales en las noches de invierno, estas aberturas se encuentran, principalmente, entre el muro y el marco de ventanas y puertas, así como también en el encuentro entre muro y techo. La combinación de todos estos factores da como resultado temperaturas interiores demasiado bajas cercanas a la temperatura exterior.



Figura 1- Imagen real que muestra las condiciones climáticas adversas que afrontan los pobladores de las zonas alto andinas.

A esto debemos agregar la situación de pobreza extrema en la que viven los pobladores de estos lugares, lo que lleva a tener altos grados de desnutrición infantil y los vuelve más vulnerables a contraer enfermedades respiratorias crónicas, llegando, en algunos casos, a producir la muerte de niños y ancianos principalmente.

3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION DEL PROYECTO

Para el desarrollo y cumplimiento de las metas trazadas se estableció una metodología de investigación que detalla los pasos seguidos desde la elaboración de la Línea base (Diagnostico Térmico y Socioeconómico) hasta el reporte de resultados finales como parte del informe técnico final, para mayor detalle ver la Fig. 2.

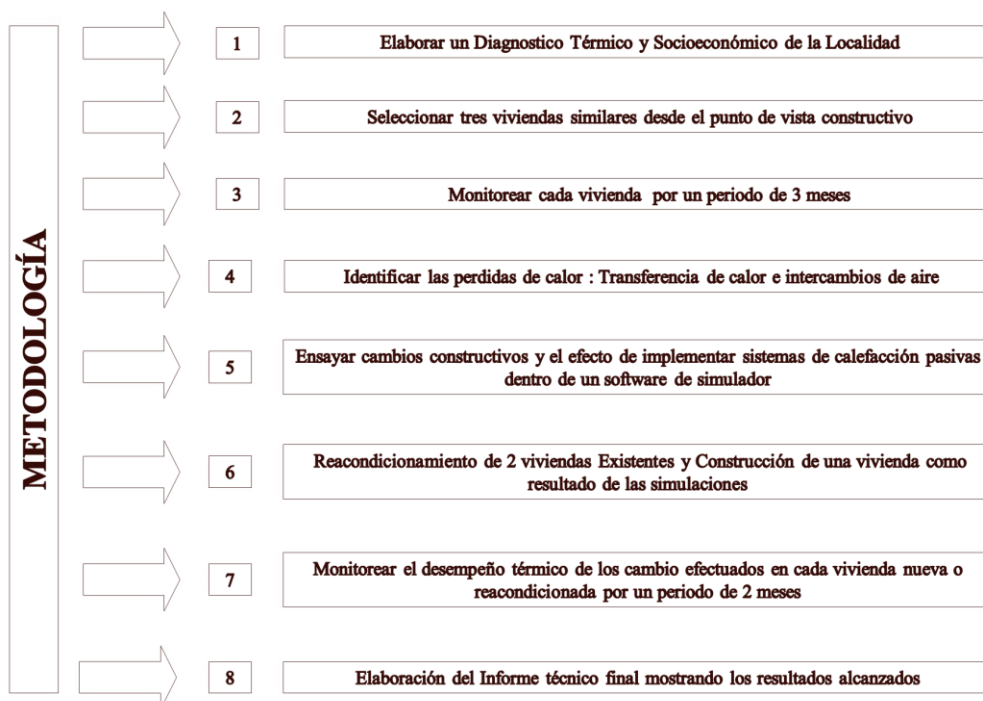


Figura 2- Esquema de la Metodología empleada en el desarrollo del proyecto para cada centro poblado.

El Proyecto también incluye una Sensibilización constante a la población, lo que se hizo desarrollando talleres en cada uno de los centros poblados brindando información complementaria e ilustrativa de las actividades del proyecto. Dando como resultado el acuerdo con cada una de tres familias de cada localidad en cuyas viviendas se intervendría con intensidad diferente, así mismo, el acuerdo con las autoridades respectivas para disponer de un terreno apropiado para la construcción de una vivienda en cada localidad.

La descripción de las viviendas intervenidas tienen las siguientes características:

- Vivienda 1: sin acondicionamiento térmico.
- Vivienda 2: solo con Reducción de Infiltraciones (en muros, techos, puertas, ventanas) + Eliminación de Puentes Térmicos (techo, piso, puertas, ventanas).
- Vivienda 3: con Calefactor Solar (invernadero+ Claraboya) + Eliminación de Puentes Térmicos (techo, piso, puertas, ventanas) + Eliminación de Infiltraciones (en muros, techos, puertas, ventanas)).
- Vivienda 4: Vivienda Nueva, térmicamente diseñada según módulo de la DNC, sobre la base de mediciones iniciales y simulación computarizada.

4. CONDICIONES CLIMATICAS EXTERIORES

El proyecto se desarrolló en dos comunidades; San Felipe ubicada a 4480 msnm (región PUNA), distrito Pilpichaca; y Santa Rosa de Tambo ubicada a 3200 msnm (región QUECHUA), distrito Tambo, ambas comunidades están ubicadas en la provincia Huaytará, Región Huancavelica.

En Santa Rosa de Tambo; los valores registrados de temperatura exterior oscilan entre 5°C y 20°C con una temperatura promedio de 12 °C; la humedad relativa oscila entre 4 % y 84 % con una humedad relativa promedio de 44%; y la radiación solar máxima esta alrededor de los 800 W/m² con una energía solar promedio al día es de 4,8 kWh/m² al día.

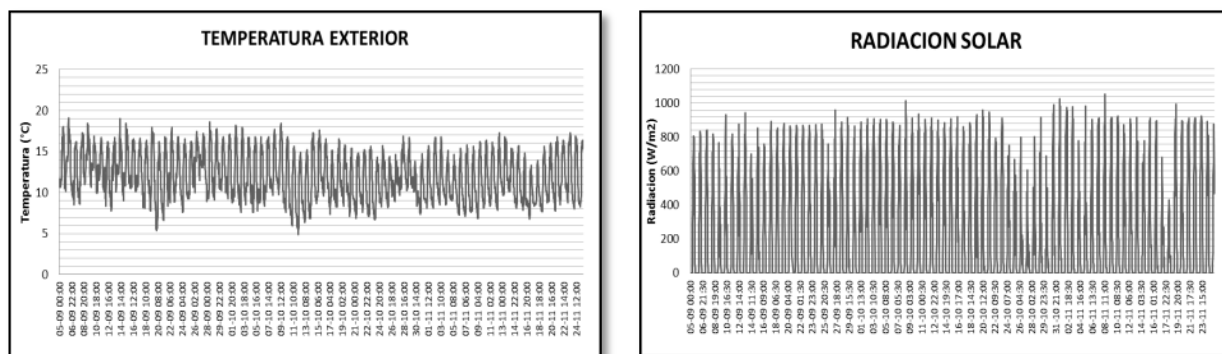


Figura 3- Grafica de parámetros climáticos en Santa Rosa de Tambo, a la izquierda, la temperatura exterior; a la derecha, la radiación solar.

En San Felipe; Los valores registrados de temperatura exterior oscilan entre -3°C y 16°C con una temperatura promedio de 5 °C; La humedad relativa oscila entre 20 % y 95 % con una humedad relativa promedio de 64%; y La radiación solar máxima esta alrededor de los 1200 W/m² con una energía solar promedio al día es de 6.5 kWh/m² al día.

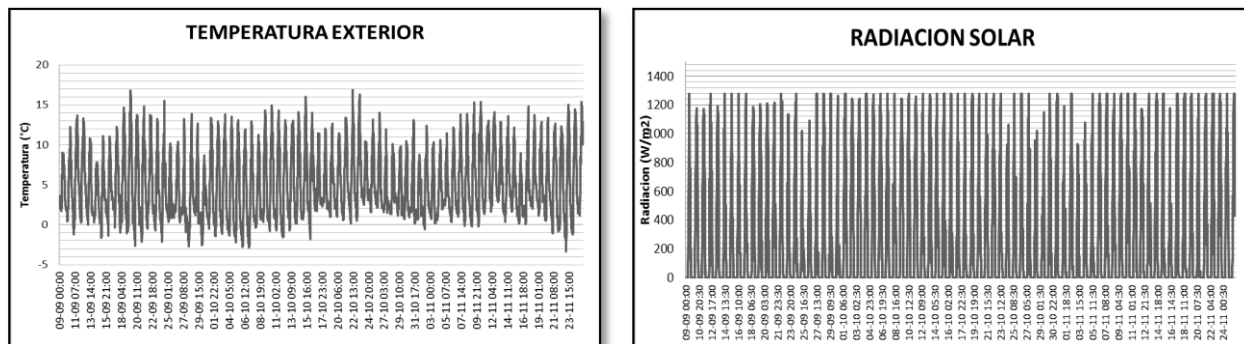


Figura 4- Grafica de parámetros climáticos en San Felipe, a la izquierda, la temperatura exterior; a la derecha, la radiación solar.

5. MEJORAS CONSTRUCTIVAS IMPLEMENTADAS

Este proyecto propone implementar distintas variantes constructivas para cada componente de una edificación, es decir para muros, techos, pisos, ventas y puertas, así como la implementación de sistemas pasivos de climatización. Estas variaciones buscan reducir las pérdidas de calor desde el interior de la vivienda al exterior empleando, en la mayoría de los casos, materiales propios de la zona como es el caso del adobe, paja, piedras, etc. A continuación describiremos a detalle cada mejora constructiva implementada.

5.1 MUROS

Los muros conforman el componente de mayor área de transferencia de calor de la vivienda, tradicionalmente el material utilizado en las construcciones es el Adobe o el tapial, elaborados a partir de tierra, paja y agua. El espesor de los muros varían desde 0.40m hasta 0.60m, sumando a esto la baja conductividad térmica del Adobe (0.95 W/m-K), la capacidad de almacenar energía durante el día para emitirla durante la noche y el bajo costo de fabricación, hacen del muro de adobe una buena alternativa en la búsqueda del obtener condiciones confortables dentro de la vivienda a bajo costo.



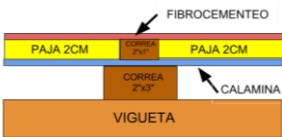
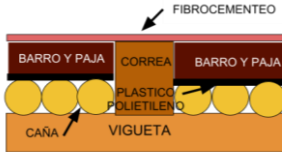
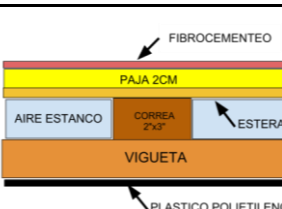
Figura 5 - A la izquierda, imagen de los adobes elaborados; a la derecha, imagen de los muros de adobe contruidos

5.2 TECHOS

El techo es el componente con mayor incidencia de radiación solar durante el día, lo que origina que el flujo de calor a través de él sea mayor en comparación que los muros. Tradicionalmente se utilizan tejas o calaminas como cobertura, siendo esta ultima la más utilizada debido a su bajo costo y liviano peso; sin embargo al ser esta calamina de metal da facilidades al flujo de calor ya sea desde el exterior al interior (en el día) o viceversa (en la noche), lo que ocasiona altas temperaturas en el día y bajas en la noche al interior de la vivienda. Con el objetivo de obtener distintas coberturas alternativas ensayamos cinco combinaciones caracterizadas por emplear la paja como aislante natural y el fibrocemento como cobertura exterior.

Tabla 1 - Tipos de Techos estudiados y sus propiedades térmicas.

Nombre	Materiales	Propiedades de los Materiales		Transmitancia Térmica (U) [W/m2K]	Costo (S/.) por m2	Imagen
		Espesor (m)	Conductividad (W/m K)			
Techo común	Calamina Metálica	0.001	115	7.14	26.255	
Techo 1	Plancha de Fibrocemento	0.004	0.18	1.66	163.11	
	Plástico Polietileno	0.002	0.33			
	Paja	0.02	0.09			
	Tela Gruesa	0.001	0.06			
	Aire estanco	Rt = 0.18 m2K/W				
	Tela Gruesa	0.001	0.06			
Techo 2	Calamina Metálica	0.001	115	3.12	108.15	
	Aire estanco	Rt = 0.18 m2K/W				
	Calamina Metálica	0.001	115			

Techo 3	Plancha de Fibrocemento	0.004	0.18	2.60	169.37	
	Paja	0.02	0.09			
	Calamina Metálica	0.001	115			
techo 4	Plancha de Fibrocemento	0.004	0.18	4.84	114.08	
	Barro con Paja	0.02	0.52			
	Plástico Polietileno	0.002	0.33			
	Caña bambú	Soporte Estructural				
Techo 5	Plancha de Fibrocemento	0.004	0.18	1.75	93.30	
	Paja	0.02	0.09			
	Estera	Soporte Estructural				
	Aire estanco	Rt = 0.18 m2K/W				
	Plástico Polietileno	0.002	0.33			

En la Tabla 1 se muestran los tipos de techos implementados en el proyecto, a cada tipo de techo está asociado un valor de transmitancia térmica (U), es así que para el techo común de calamina el U es igual a 7.14 W/m2K, mientras que para el Techo 2 es 1.66 W/m2K, este valor de U muestra la facilidad que presenta la combinación al paso del calor, es decir a menor valor de U el material es más aislante, de la tabla podemos apreciar que todos los techos implementados son mejores aislantes que la calamina, siendo unos mejores que otros. Por otro lado, se muestra el costo por m2 de cada tipo de techo, destacando la calamina por su bajo costo, razón por la cual es elegido por los pobladores.

5.3 MARCO DE PUERTAS Y VENTANAS

El material utilizado en el marco de ventanas y puertas es la madera, también se utilizan en algunos casos marcos de aluminio o fierro, estos marcos metálicos conforman un puente térmico a través del cual fluye el calor del exterior al interior o viceversa ya que su transmitancia térmica es 5.87 W/m2K, mientras que para el marco de madera es 2.64 W/m2K, es decir el marco de madera reducen las pérdidas en más de un 50 %, razón por la cual recomendamos el uso de marcos de madera.

Tabla 2 - Tipos de marcos estudiados y sus propiedades térmicas.

Nombre	Materiales	Propiedades de los Materiales		Transmitancia Térmica (U) [W/m2K]
		Espesor (m)	Conductividad (W/m K)	
Marco 1	Madera	0.025	0.12	2.64
Marco 2	Aluminio	0.02	45	5.87

5.4 PUERTAS

Las puertas instaladas son de calamina con marco de madera o bien de fierro con marco de fierro, existen algunos casos en los que se instalan puertas de madera aunque en un menor porcentaje, las puertas de calamina y de fierro, al igual que la calamina en el techo, facilita el flujo de calor desde el exterior al interior o viceversa al ser su transmitancia térmica igual a 5.88 W/m2K, para contrarrestar este efecto se propone utilizar puertas de madera cuya transmitancia es 1.70 W/m2K logrando una reducción de más de 50 % de las pérdidas de calor.

Tabla 3 - Tipos de puertas estudiadas y sus propiedades térmicas.

Nombre	Materiales	Propiedades de los Materiales		Transmitancia Térmica (U) [W/m2K]	Costo (S/.) por m2
		Espesor (m)	Conductividad (W/m K)		
Puerta de Madera	Madera	0.05	0.12	1.70	326.57
Puerta de Calamina	Calamina Metálica	0.001	115	5.88	26.255

5.5 VENTANAS

Las ventanas son las superficies transparentes de la vivienda que permiten en ingreso de luz natural y la radiación solar al interior de la vivienda, el material utilizado como cobertura es el vidrio que posee una transmitancia térmica de 5.78 W/m²K una forma de reducir este valor de transmitancia térmica es agregar una contra ventana de madera, que durante el día este abierta y por las noches se cierre, de forma tal que durante el día no impida en ingreso de luz natural ni de radiación a la vivienda, la propuesta final se denomina ventana con cobertura y su transmitancia térmica es de 1.88 W/m²K.

Tabla 4 - Tipos de ventanas estudiadas y sus propiedades térmicas.

Nombre	Materiales	Propiedades de los Materiales		Transmitancia Térmica (U) [W/m2K]	Transmitancia Luminosa	Costo (\$.) por m2
		Espesor (m)	Conductividad (W/m K)			
Ventada 1	Vidrio simple	0.003	1.00	5.78	0.83	36.00
Ventana con Cobertura	Vidrio simple	0.003	1.00	1.88	0.83	171.00
	aire estanco	Rt = 0.15 m2K/W				
	Madera	0.025	0.12			



Figura 6 - A la izquierda, vista exterior de las puertas y ventanas; a la derecha, vista interior de la ventana con cobertura.

5.6 PISOS

El piso típico de las viviendas estudiadas es el de tierra apisonada, este tipo de piso se comporta como un gran sumidero de calor y a su vez permite el ingreso de humedad al interior del ambiente, razón por la cual se proponen dos piso alternativos uno aislado para los dormitorio y un piso de cemento pulido para los ambientes donde se ubique la cocina.

Tabla 5 - Tipos de pisos estudiados y sus propiedades térmicas.

Nombre	Materiales	Propiedades de los Materiales		Transmitancia Térmica (U) [W/m2K]	Costo (S/.) por m2	Imagen
		Espesor (m)	Conductividad (W/m K)			
Piso Común	Tierra Común	-	1.28	4.83	-	-
Piso de Cemento	Concreto	0.05	1.5	8.11	60.44	-
Piso Aislado	Madera	0.05	0.25	2.01	95.97	
	Aire estanco	Rt = 0.18 m2K/W				
	Cama de Piedras	0.1	3.5			

En la Tab 5 se muestran los tipos de piso estudiados, podemos ver la transmitancia térmica del piso común es 4.83 W/m²K, mientras que para el piso aislado es 2.01 W/m²K es decir el piso aislado reducen las pérdidas de calor por el piso en más del 50 % que el piso común. Por otro lado, el piso de cemento pulido no reduce las pérdidas de calor ya que su transmitancia térmica es 8.11 W/m²K casi el doble que el piso común, sin embargo, se implementó en la cocina de las viviendas estudiadas por un tema de seguridad y como forma de contrarrestar el ingreso de la humedad a la vivienda.



Figura 7 - A la izquierda, vista del contrapiso de piedra; a la derecha, vista del entablado sobre el contrapiso de piedra.

5.7 CONTROL DE INTERCAMBIOS DE AIRE O INFILTRACIONES

La gran masa de aire que rodea la vivienda interactúa fuertemente con ella, intercambia con la vivienda aire, y calor, por filtraciones. Ahora si esta masa de aire esta en movimiento, originado por el viento, tenemos aumento en el flujo de calor entre la vivienda y el entorno. Un valor representativo de las filtraciones son los intercambios de volumen de aire por hora (ACH). Las viviendas rurales presentan valores de hasta 6ACH debido a la existencia de aberturas ubicadas entre el muro tanto con el marco de las puertas o ventanas y en el encuentro de muro y techo. El valor recomendado para ambientes es de 2ACH, para lo cual se propone sellar todos los orificios existentes.

5.8 SISTEMAS PASIVOS DE CLIMATIZACION

En este proyecto se implementó dos sistemas pasivos de climatización uno directo, claraboyas, y otro indirecto, Invernadero adosado. La claraboya o ventana en el techo, funciona dejando pasar radiación solar al interior de la vivienda de manera que caliente la masa interior (muros u otros) de tal forma que esta masa devuelva el calor al ambiente interior durante la noche. Por otro lado, el invernadero adosado funciona calentando el aire frío que recibe de la vivienda a través de los orificios practicados en la parte inferior del muro al que se adosa, para devolverlo más caliente a través de los orificios practicados en la parte superior del mismo muro.

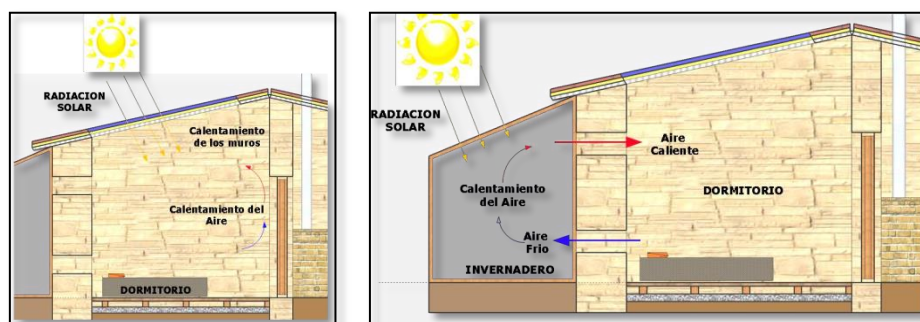


Figura 8 – Imagen del funcionamiento de los sistemas pasivos de climatización, a la izquierda, de la claraboya; a la derecha, del invernadero adosado.

Para el caso de la claraboya, la superficie traslucida es una plancha policarbonato transparente ondulado que tiene una buena transmitancia luminosa, pero una transmitancia térmica igual a $3.24 \text{ W/m}^2\text{K}$, con el objetivo de reducir las pérdidas de calor sin afectar la transmitancia luminosa, al igual que las ventanas, se instaló coberturas de madera logrando reducir el valor de la Transmitancia térmica a $1.84 \text{ W/m}^2\text{K}$. Para que esto sistema sea efectivo deben cubrirse las claraboyas durante la noche.

Tabla 6 - Tipos de claraboyas estudiadas y sus propiedades térmicas.

Nombre	Materiales	Propiedades de los Materiales		Transmitancia Térmica (U) [W/m2K]	Transmitancia Luminosa	Costo (S/.) por m2
		Espesor (m)	Conductividad (W/m K)			
Claraboya	Policarbonato ondulado	0.0175	0.126	3.24	0.80	59.00
Claraboya con Cobertura	Policarbonato ondulado	0.0175	0.126	1.84	0.80	225.62
	aire estanco	Rt = 0.18 m2K/W				
	cobertura de madera	0.01	0.12			

Para el caso de los invernaderos, están conformados por muros opacos de adobe que se comportan como masa térmica de almacenamiento de energía, el techo es de policarbonato transparente ondulado, los ductos de intercambio de aire entre los dormitorios y el invernadero cuentan con una cobertura de madera, estas coberturas de madera permanecerán abiertas durante el día y en las noches se cerraran para evitar las pérdidas de calor a través de ellos.



Figura 9 – Imagen de la vivienda nueva, a la izquierda, la claraboya con cobertura; al centro, el invernadero adosado; a la derecha, ductos para el intercambio de aire entre el dormitorio y el invernadero.

6. RESULTADOS OBTENIDOS

Con el objetivo de evaluar el desempeño térmico de los distintos tipos de techos estudiados, se implementó un tipo de techo en cada vivienda nueva o reacondicionada, el piso es de tipo aislado, las puertas son de madera y las ventanas son de vidrio con manco de madera y algunas con cobertura. Además, evaluamos el efecto generado por la inclusión de sistemas pasivos de climatización, para lo cual una de las viviendas modificadas, en cada comunidad, está equipada con claraboyas y con un invernadero adosado.

6.1 Resultados de Temperatura Interior

Los resultados alcanzados tanto en las viviendas modificadas como en las nuevas se evalúan de acuerdo a la temperatura en el dormitorio de cada vivienda, estos valores se plasman en la siguiente tabla

Tabla 7 – Detalle del tipo componentes que conforman el envolvente de las viviendas estudiadas y los valores de temperatura alcanzados al interior de cada vivienda.

	SAN FELIPE				SANTA ROSA DE TAMBO			
	Vivienda patrón	Vivienda 1	Vivienda 2	Vivienda nueva	Vivienda patrón	Vivienda 1	Vivienda 2	Vivienda nueva
TECHO	Calamina	Techo 2	Techo 3	Techo 1	Calamina	Techo 4	Techo 5	Techo 1
PISO	Tierra Común	Piso Aislado	Piso Aislado	Piso Aislado	Tierra Común	Piso Aislado	Piso Aislado	Piso Aislado
PUERTA	Calamina	Madera	Madera	Madera	Calamina	Madera	Madera	Madera
VENTANA	-	-	-	Ventana con Cobertura	-	Ventana de vidrio	Ventana de vidrio	Ventana con Cobertura
CLARABOYA	-	-	Claraboya con Cobertura	Claraboya con Cobertura	-	-	Claraboya con Cobertura	Claraboya con Cobertura
INVERNADERO	-	-	Invernadero Adosado	Invernadero Adosado	-	-	Invernadero Adosado	Invernadero Adosado
Text-min	0 °C				8 °C			
Text-max	13 °C				15 °C			
ΔT de los Tmin (5-6 horas)	4 °C	6.5 °C	8 °C	8 °C	2.5 °C	6 °C	7 °C	7 °C
ΔT de los Tmax (13-14 horas)	11 °C	1 °C	6 °C	7.6 °C	7 °C	3 °C	9 °C	11 °C
Costo (S/.) por m2	-	238.39	310.91	686.66	-	223.25	299.32	763.23

Los resultados de temperatura mostrados en la tabla 7, muestran el **resultado total de la combinación de aislamiento de envolvente, reducción de infiltraciones e inclusión de sistema pasivo de climatización**. Podemos observar que se logra un incremento de temperatura interior (respecto al exterior), de 6.5°C hasta 8°C entre las 5h y 6h, mientras que entre las 13h y 14h el incremento va desde 1 °C hasta 11°C.

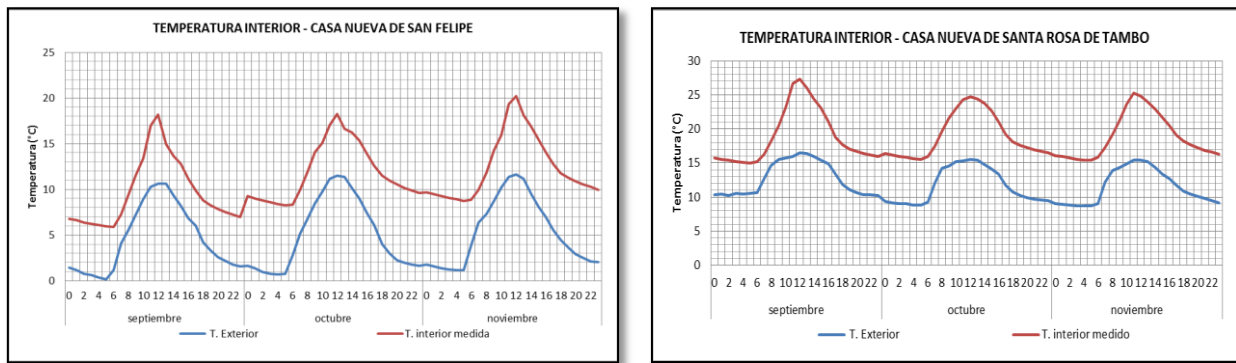


Figura 10 – Grafica comparativa de la temperatura al interior de las viviendas nuevas con la temperatura exterior y la temperatura simulada; a la izquierda, para Santa rosa de Tambo; a la derecha, para San Felipe.

Resulta evidente la diferencia de usar o no sistemas pasivos de climatización ya que las viviendas que no cuentan con estos sistemas solo logran un incremento de 1°C y 3°C durante el mediodía, mientras que las viviendas equipadas con estos sistemas logran un incremento de entre 6°C y 11°C. Esta diferencia se hace más representativa en la Figura 11.

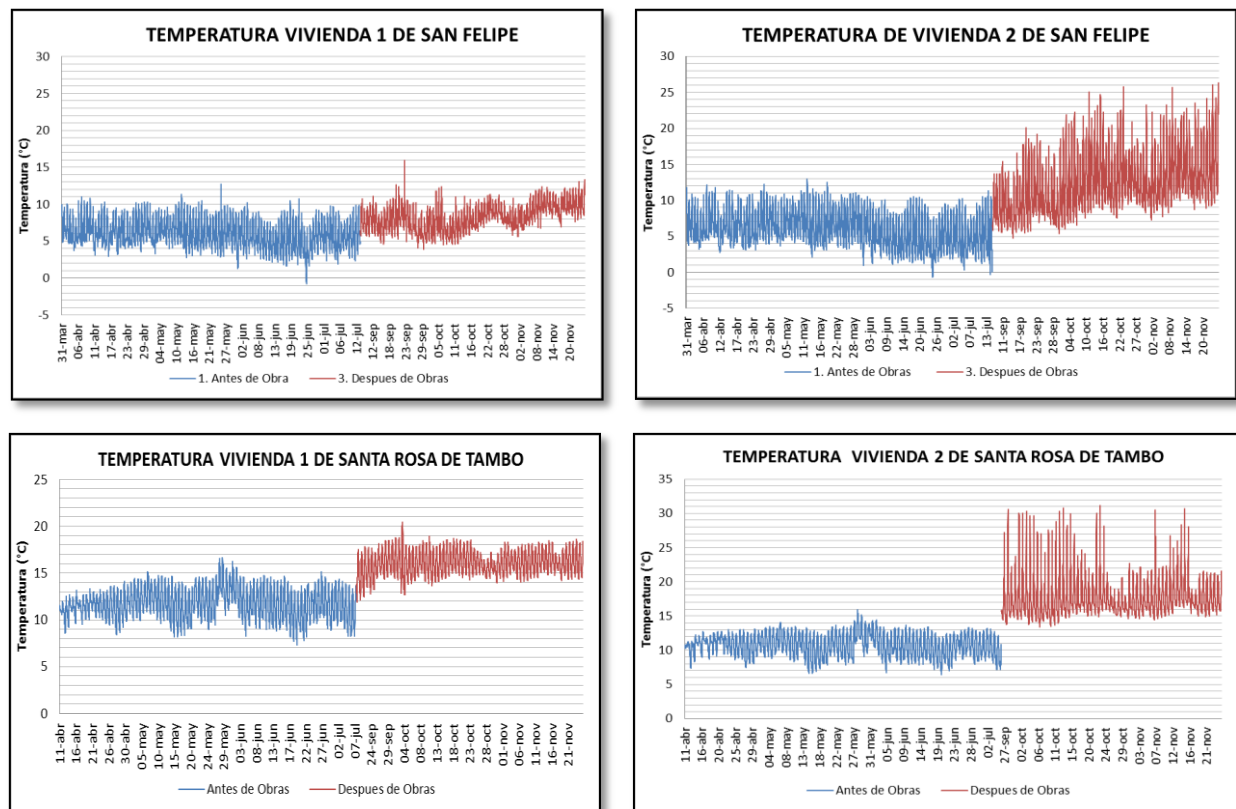


Figura 11 – Grafica de la temperatura interior de las viviendas reacondicionadas antes y después de obras; arriba, para la comunidad de San Felipe; abajo, para la comunidad de Santa Rosa de Tambo.

6.2 Confort Térmico

A efectos de interpretar con objetividad los resultados de confort térmico obtenidos en las viviendas nuevas y modificadas que se vienen refiriendo con la temperatura medida en el interior de los ambientes de dormitorios, se ha hecho cálculos de la energía específica expresada en kJ/m^3 (kilo Joule por metro cúbico de aire), contenida en dichos ambientes. Estos cálculos se han hecho para las 06:00 horas del día considerando que a esta hora se produce la menor temperatura del periodo diario.

Como patrón de referencia se ha utilizado una correlación empírica para calcular una temperatura llamada *neutra* (T_n) que correspondería a la sensación térmica de la persona dentro de un ambiente que no le hace sentir ni calor ni frío, de allí la denominación de *neutra*. La correlación utilizada es la que se muestra a continuación.

$$T_n = 12,1 + 0,534 \cdot T_m \text{ (Griffits 1990),}$$

Dónde: T_m es la temperatura media anual del ambiente exterior.

El valor resultante para la temperatura neutra (T_n) ha sido comparado con los valores medidos a las 18:00 horas y a las 06:00 horas, periodo horario durante el cual se necesita el ambiente con confort térmico.

Tabla 8 – Rangos de Confort Térmico y Energía captada en la vivienda nueva de San Felipe

RANGOS DE CONFORT TÉRMICO Y ENERGÍA CAPTADA EN LA VIVIENDA NUEVA DE SAN FELIPE					
REFERENCIA	T (°C)	HR (%)	T (°C)	HR (%)	ENERGÍA (kJ/m ³)
	18:00h		06:00h		18:00h 06:00h
GRIFFITS	14,77	60	12,27	70	30,52 27,06
VIVIENDA	11,58	80,18	8,47	85,55	28,45 23,86
COMPARADA	78,40 %		57,35 %		93,21% 97,90%

Tabla 9 – Rangos de Confort Térmico y Energía captada en la vivienda nueva de Santa Rosa de Tambo

RANGOS DE CONFORT TÉRMICO Y ENERGÍA CAPTADA EN LA VIVIENDA NUEVA DE SANTA ROSA DE TAMBO					
REFERENCIA	T (°C)	HR (%)	T (°C)	HR (%)	ENERGÍA (kJ/m ³)
	18:00h		06:00h		18:00h 06:00h
GRIFFITS	18,51	60	16,01	70	38,71 36,92
VIVIENDA	18,40	58,50	15,36	60,54	38,04 32,80
COMPARADA	99,41%		95,94%		98,27% 88,95%

Para las Tablas 8 y 9, los valores referenciales de confort estimados por Griffiths se muestran en la fila “GRIFFITS”, los valores medidos al interior de la vivienda figuran en la fila “VIVIENDA” y la fila “COMPARADA” reproduce el resultado de comparar “valor VIVIENDA” con “valor GRIFFITS” expresado en porcentaje, %.

Para San Felipe, el referente de confort térmico Griffiths se ha considerado para las 18:00h y las 06:00h con el rango 14,77°C a 12,27°C en términos de temperatura y 30,52 kJ/m³ a 27,06 kJ/m³ respectivamente en términos de la energía contenida en cada m³ del ambiente de referencia. Mientras que la vivienda alcanza valores de 11,58°C y 8,47°C en términos de temperatura y en términos de energía alcanza 28,45 kJ/m³ y 23,86 kJ/m³. **Los niveles de temperatura logrados son 70% respecto a la de confort y 95% con relación al contenido de energía.**

Para Santa Rosa de Tambo, el referente de confort térmico Griffiths se ha considerado para las 18:00h y las 06:00h con el rango 18,51°C a 16,01°C en términos de temperatura y 38,71 kJ/m³ a 36,92 kJ/m³ respectivamente en términos de la energía contenida en cada m³ del ambiente de referencia. Mientras que la vivienda alcanza valores de 18,40°C y 15,36°C en términos de temperatura y en términos de energía alcanza 38,04 kJ/m³ y 32,80 kJ/m³. **Los niveles de temperatura logrados son 97% respecto a la de confort y 93% con relación al contenido de energía.**

Creemos que es un resultado suficientemente efectivo considerando que las viviendas están deshabitadas y que la sensación de confort es un tema pendiente de precisarse para todo ambiente ubicado arriba de 3 000msnm. Esta interpretación de resultados es referencial y lo que va a mandar en el futuro es la sensación de las personas que habiten esos ambientes bajo las costumbres Y condiciones de vida que les corresponda, más, es un excelente punto de partida.

6.3 Impacto Energético - Económico

El proyecto tiene un impacto energético y económico que está ligado al ahorro de energía que se produce al construir una vivienda con las características antes mencionadas, ya que se necesita cierta cantidad de energía para calentar la masa de aire al interior de la vivienda, esta energía puede provenir de distintas fuentes como la electricidad, la biomasa o en nuestro caso el energía solar, a cada tipo de energía está ligado un costo y al ser la energía solar gratis existe un ahorro económico.

Tabla 10 – Valores de energía por m³ para condiciones exteriores e interiores en San Felipe

REFERENCIA	ENERGÍA (kJ/m ³)	
	18:00h	06:00h
EXTERIOR	12,92	10,14
VIVIENDA	28,45	23,86
DIFERENCIA	15,53	13,72

Tabla 11 - Valores de energía por m³ para condiciones exteriores e interiores en Santa Rosa de Tambo

REFERENCIA	ENERGÍA (kJ/m ³)	
	18:00h	06:00h
EXTERIOR	13,30	12,49
VIVIENDA	38,04	32,80
DIFERENCIA	24,74	20,31

Para las Tablas 10 y 11, la cantidad de energía contenida en 1 m³ de aire bajo las condiciones exteriores se muestra en la fila “EXTERIOR”, la fila “VIVIENDA” muestra la energía bajo las condiciones interiores y la fila “DIFERENCIA” muestra la diferencia de los dos anteriores. Los datos de la fila DIFERENCIA, para las condiciones de las 18 horas, y el volumen de aire calentado al interior de la vivienda (incluido el efecto de las infiltraciones), nos arrojan los siguientes resultados.

- Para el caso de la vivienda en San Felipe la energía necesaria para mantener las condiciones obtenidas a las 18 horas es 16772.4kJ.
- Para el caso de la vivienda en Santa Rosa de Tambo la energía necesaria para mantener las condiciones obtenidas a las 18 horas es 22399.2 kJ.

Si hacemos una comparación con la supuesta opción de quemar leña para alcanzar los mismos niveles de energía alcanzados con las estrategias bioclimáticas aplicadas tendríamos el panorama mostrado en el cuadro que sigue a continuación.

Tabla 12- Parámetros para el cálculo de la cantidad de leña diaria para alcanzar la energía necesaria para calentar la vivienda

PARÁMETRO	SF	SRT	UNIDAD	ESPECIFICACION
INTERCAMBIO DE AIRE	2.0	2.0	VOL/hr	La ventilación diurna y nocturna equivale a cambiar el volumen de aire 2,2 veces cada hora durante 12 horas.
HORAS DE ACTIVIDAD	12	12	horas	
ENERGÍA DE LA LEÑA	15000	15000	kJ/kg	Valor de la capacidad calórica de la leña seca.
EFICIENCIA DE QUEMADO TIPICA	0.05	0.05		Eficiencia típica del quemado de leña sin protección
EFICIENCIA DE QUEMADO INDUSTRIAL	0.15	0.15		Eficiencia típica del quemado de leña en estufa
AIRE CALENTADO EN LA VIVIENDA	45	45	m ³ /VIV	Volumen interior de la vivienda que fue calentado
CALOR-REQUERIDO	16	25	kJ/m3	Calor ganado en la vivienda a las 18:00 horas
AIRE_NECESARIO	1080	1080	m ³	Volumen equivalente de aire a calentar en 12 horas
CALOR-REQUERIDO	17280	27000	kJ	Energía necesaria para calentar aire en 12 horas
CALOR_DE_LEÑA_RURAL	750	750	KJ/kg	Calor útil de la leña según eficiencia sin protección
CALOR_DE_LEÑA_INDUS	2250	2250	kJ/kg	Calor útil de la leña según eficiencia con protección
KG_LEÑA_RURAL_NECES	23	36	kg	Leña diaria necesaria para quemado sin protección
KG_LEÑA_INDUS_NECES	8	12	kg	Leña diaria necesaria para quemado con protección

La tabla 12, contiene los parámetros con los que se ha calculado la cantidad de leña que tendría que quemarse en un fogón tradicional (**LEÑA_RURAL**) y en una estufa construida especialmente para quemar leña (**LEÑA_INDUS**) tanto para San Felipe (**SF**) cuanto para Santa Rosa de Tambo (**SRT**) resultando los valores que se destaca a continuación:

- **San Felipe:** 23 kg/día en fogón tradicional y 8 kg/día en estufa industrial.
- **Santa Rosa de Tambo:** 36 kg/día en fogón tradicional y 12 kg/día en estufa industrial.

Como quiera que la leña no es una energía comercial, es decir, no tiene un precio de mercado oficial, no es adecuado citar cifras económicas para este caso. Pero tendríamos que quemar entre 23 y 36 kg de leña al día en un fogón tradicional.

De otro lado si hacemos la comparación con el uso de calefactores eléctricos (resistencias eléctricas) para lo mismo, haría falta instalar dos kW de resistencia eléctrica en cada dormitorio y mantenerla encendida por, al menos, 6 horas cada noche, resultando un consumo eléctrico equivalente a:

$$2\text{kW} \times 6\text{h} = 12\text{kWh/día-vivienda} = 12\text{ kWh/día} \times 30\text{ días/mes} = 360\text{ kWh/mes}$$

1kWh cuesta S/. 0,35; 360 kWh costarían S/ 126,00; es decir que cada propietario de vivienda tendría que pagar esa cantidad cada mes.

6.4 Aporte Térmico de cada Alternativa Implementada

Con el objetivo de conocer el incremento generado por cada tipo de techo, espesor de muro y sistema pasivo de climatización, a continuación se presenta los resultados de las simulaciones térmicas para una edificación con 10m² de área construida (área promedio de un dormitorio), acondicionada con un piso higrotérmicamente aislado y cada tipo de techo estudiado (Ver Tab 13)

Para evaluar el desempeño térmico se toma como referencia el ΔT_{min} que representa el incremento de temperatura generado, en el interior, por cada combinación respecto a la temperatura mínima exterior (Para este caso $T_{\text{ext-min}} = 1^\circ\text{C}$)

Tabla 13 – Resultados térmicos simulados del efecto de generado en la temperatura interior por cada tipo de techo, espesor de muro y/o aplicación de una sistema pasivo de climatización.

Tipo de Muro	Tipo de Techo	Aislamiento del Envoltente		Aislamiento del Envoltente + claraboya		Aislamiento del Envoltente + invernadero		Aislamiento del Envoltente + claraboya+ invernadero	
		T min(°C)	ΔT min(°C)	T min(°C)	ΔT min(°C)	T min(°C)	ΔT min(°C)	T min(°C)	ΔT min(°C)
Muro 40cm	C. Típica *	3.3	2.3	4.2	3.2	4.3	3.3	5.1	4.1
	Techo 1	7.2	6.2	9.4	8.4	9.6	8.6	11.4	10.4
	Techo 2	5.9	4.9	7.5	6.5	7.6	6.6	8.7	7.7
	Techo 3	5.1	4.1	6.6	5.6	6.4	5.4	7.8	6.8
	Techo 4	5.7	4.7	7.2	6.2	7.4	6.4	8.7	7.7
	Techo 5	5.9	4.9	7.3	6.3	7.3	6.3	8.5	7.5
Muro 60cm	C. Típica *	3.9	2.9	5.0	4.0	4.8	3.8	5.8	4.8
	Techo 1	8.6	7.6	11.1	10.1	11.1	10.1	12.5	11.5
	Techo 2	7.0	6.0	8.5	7.5	8.3	7.3	9.6	8.6
	Techo 3	5.8	4.8	7.6	6.6	7.3	6.3	8.7	7.7
	Techo 4	6.7	5.7	8.2	7.2	8.1	7.1	9.6	8.6
	Techo 5	6.6	5.6	8.3	7.3	8.2	7.2	9.4	8.4

(*) C. Típica: Construcción con techo de calamina y piso de tierra,

De la Tab 13, podemos ver que el Tmin para una vivienda típica, con muros de adobe de 40 cm de espesor, techo de calamina y piso de tierra es de 3.3°C, mientras que la misma vivienda reacondicionada con un piso aislado y el Techo 1 la Tmin es 7.2° C, 3.9°C más caliente que la vivienda típica. Cuando instalamos una claraboya de 2 m2 el Tmin se incrementa la en 2.2°C más, y cuando adosamos un invernadero de 6m2 el Tmin se incrementa en 2.4°C, pero cuando instalamos la claraboya+invernadero el Tmin se incrementa en 4.2°C, es decir 10.4°C más que la temperatura mínima exterior. Este incremento es considerable, tomando en cuenta el tipo de materiales utilizados. Por otro lado vemos que el incremento de temperatura generado por los sistemas pasivos de climatización no son muy apreciables dentro de una vivienda típica, lo que nos muestra la importancia de aislar la vivienda.

7. CONCLUSIONES

- Esta iniciativa beneficiara a pobladores de las zonas rurales ubicadas a más de 3,500 msnm, con una vivienda duradera y replicable, que utilizan energía solar para mejorar la calidad de vida de la población.
- La vivienda construida o reacondicionada utiliza tanto materiales propios de la zona como materiales industrializados combinados de tal forma que cada componente del envoltente reduzca las pérdidas de calor,
- La propuesta impulsa el uso de la energía solar para climatizar el ambiente interior, la captación solar se da a través de claraboyas y ventanas equipadas con una cobertura de madera para reducir las pérdidas de calor por la noche y de forma indirecta a través de un invernadero adosado a los dormitorios.
- Con esta propuesta se reducen las pérdidas de calor y lo que origina un incremento de la temperatura interior de hasta 8°C (a las 6 am) y de 11°C (a las 2 pm) respecto a la temperatura exterior.
- Para que esta propuesta funcione de forma adecuada a partir de las 9 horas se debe abrir las coberturas de madera de las ventanas, claraboyas y la de ductos de intercambio de aire entre el invernadero y la vivienda y minutos antes de las 18 horas todas las coberturas se deben cerrar. Además las ventanas de vidrio y puertas deberán permanecer cerradas la mayor parte del día para evitar las fugas de calor.

Agradecimientos

Agradezco el apoyo de los profesionales de la Dirección Nacional de Construcción del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, así como a los lugareños de las comunidades intervenida y a todos nuestros colegas del Centro de Energías Renovables y Uso Racional de Energía, por su apoyo para concretar este trabajo de investigación.

REFERENCIAS

Centro de Energías Renovables y Uso Racional de Energía, 2012, Diagnostico Térmico, Mediciones Ambientales Finales y Resumen Ejecutivo, Entregables 3,7, y 8 elaborados para la Dirección Nacional de Construcción

THERMAL CONDITIONING FOR RURAL HIGH ANDES BUILDINGS

Summary. - This paper presents the results of the research THERMAL CONDITIONING FOR RURAL HIGH ANDES BUILDINGS, commissioned by the National Construction Direction of Department of Housing, Construction and Sanitation of Peru and developed by the CER-UNI. The main objective is to provide to residents of communities located between 3000 and 5000 meters with architectural alternatives that solve the thermal problem present in buildings, which suffering low temperatures, with the purpose of occupiers live in a comfort situation. The methodology used was to select three existing houses built with the same materials in walls, floor and ceiling, which were monitored for a period of three months. The two most thermally critical housing were modified. In one of them, the envelope composition was modified to reduce heat losses, while the other one, also included passive heating systems as skylights in the roof and greenhouses. The third house was not changed and is called housing pattern for which the results are compared. In parallel we built new bio-comfortable prototype housing. Thermal comfort strategies applied were tested, one to one, simulating the results of its application using EnergyPlus² software. These results were evaluated considering also material, economic and social context of destination aspects. This study was developed in the communities of San Felipe (4500 masl, Text [-3.16] ° C) and Santa Rosa de Tambo (3200masl, Text [5.20] ° C) located in the province of Huaytara, department of Huancavelica. Intervened houses achieved an inside temperature increase (from the outside) of 6.5 ° C to 8 ° C between 5hr and 6hr, while between 13hr and 14hr the increase achieved reaches 11 ° C.

Key words: Thermal Comfort, Solar Energy, EnergyPlus.

² EnergyPlus is free software developed by the Department of Energy of the United States