

ESTUDIO TÉRMICO EN MODULOS DE VIVIENDAS UBICADAS EN ALTURAS MAYORES A 3500 msnm EN LA PROVINCIA DE CASTROVIRREYNA, REGION HUANCVELICA

Alvaro Gómez Castro – alvarogomez14@gmail.com.

Gonzalo Saavedra Salazar – ggsaavedra@gmail.com.

Rafael Espinoza Paredes - respinoza@uni.edu.pe

Centro de Energías Renovables y Uso Racional de la Energía (CER-UNI)
Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), apartado 31-139 Lima-Perú

Resumen. El presente trabajo muestra el monitoreo realizado en viviendas ubicadas en las localidades de Castrovirreyna y Pacococha, provincia de Castrovirreyna, departamento de Huancavelica, ubicadas entre los 4000 y 4500 m.s.n.m. lugares donde CARE-PERÚ¹ ha realizado diferentes modificaciones en las construcciones que buscan mejorar el confort térmico de las mismas, las mediciones se realizaron desde el 20 de mayo hasta el 25 de agosto del 2010 para los cuales se instaló sensores de temperatura en cada uno de los ambientes de la vivienda; y en el dormitorio de la mejor propuesta realizada por CARE-PERÚ se colocaron sensores superficiales en las paredes, ventana y techo para obtener los flujos de calor existentes en el dormitorio y su efecto correspondiente, tanto favorable como desfavorable, a lo largo de las 24 horas del día. Utilizando el software de simulación térmica Energyplus 5.0 se realizaron diferentes modificaciones constructivas para así obtener la propuesta más adecuada para lograr aumentar la temperatura dentro de las viviendas, logrando aumentar los mínimos de temperatura hasta los 11 °C.

Palabras-clave: Confort térmico, Bioclimática, Energía solar, Simulación térmica, Convección natural.

1. INTRODUCCION

El presente trabajo ha sido realizado dentro del proyecto “CCASAMANTA QARKANAKUSUM” (PREPARÁNDONOS PARA EL FRIAJE) realizado por CARE-PERÚ en la región de Huancavelica, ante la problemática que enfrenta ésta región y toda la sierra peruana causada por la intensa ola de frío que se sufre durante la temporada de invierno causando que los niños y ancianos de la población sufran de enfermedades respiratorias y llegando incluso a la muerte de éstas personas indefensas.

Es por tales motivos que CARE-PERÚ realiza el proyecto de acondicionamiento de viviendas para el confort térmico dirigido a pobladores de las zonas rurales de condición económica de extrema pobreza y altamente vulnerables a los fenómenos naturales como el friaje; y tiene como objetivo fundamental la elevación de la temperatura del interior de la vivienda típica de las zonas de intervención del proyecto Ccasamanta Carqanakusun, para lo cual permitirá a la familia mejorar la salud frente a las inclemencias del tiempo en zonas de altura mayores a 3500 msnm (CARE-PERÚ,2010).

Para evaluar si las modificaciones constructivas realizadas por CARE-PERÚ mejoran el confort térmico de las viviendas, fueron requeridos los servicios del Centro de Energías Renovables de la Universidad Nacional de Ingeniería (CER-UNI), quienes cuentan con la experiencia y la instrumentación necesaria para realizar este tipo de proyectos, lo cual es demostrado con el proyecto “PROPUESTA TÉCNICA DE CONFORT TÉRMICO PARA VIVIENDAS LOCALIZADAS EN COMUNIDADES ENTRE 3000 Y 5000 m.s.n.m.” realizado en las comunidades de San Francisco de Raymina, Ayacucho y Vilcallamas Arriba, Puno.

2. DESCRIPCIÓN DE LAS VIVIENDAS

Las viviendas en estudio se ubican en la región PUNA, tres tipos de viviendas en la localidad del barrio El Molino (13° 16.28' lat. Sur; 75° 18.68' long. Oeste; 4078 m.s.n.m.) y tres tipos de viviendas en la localidad de Pacococha (13° 16.98' lat. Sur; 75° 16.12' long. Oeste; 4463 m.s.n.m.).

2.1. Barrio El Molino, Castrovirreyna

En esta localidad se estudian tres tipos de viviendas, que de acuerdo a las modificaciones realizadas en cada una de ellas se las clasifican como:

Vivienda Tipo 1. (Fig. 1 Izquierda) Esta vivienda tiene un área de 56.21 m² y consta de 4 ambientes de 9.53 m²: dormitorio principal, dormitorio secundario, cocina y una sala. Los muros de las viviendas son de adobe de 45 cm de

¹ Organización No Gubernamental que trabaja en el desarrollo de comunidades pobres y excluidas en el país.

espesor, el techo es a dos aguas y de planchas de fibrocemento y todos los ambientes interiores cuentan con un cielo raso de triplay a 2.4 m del suelo, éste último está aislado térmicamente y consta de una cama de piedras sobre la que se ha colocado listones de madera y sobre los mismos un entablado de madera. Tiene una puerta de madera de 2.1m x 1m en la entrada de la sala y tres ventanas metálicas con vidrio simple en cada uno de los ambientes restantes de la vivienda de 1.2m x 0.8m.

Vivienda Tipo 3. (Fig. 1 Derecha) Esta vivienda tiene un área de 56.21 m² y consta de 4 ambientes de 9.53 m²: dormitorio principal, dormitorio secundario, cocina y una sala. Los muros de las viviendas son de adobe de 45 cm de espesor, el techo es a dos aguas y de planchas de fibrocemento y todos los ambientes interiores cuentan con un cielo raso de triplay a 2.4 m del suelo, éste último está aislado térmicamente y consta de una cama de piedras sobre la que se ha colocado listones de madera y sobre los mismos un entablado de madera. Tiene una puerta de madera de 2.1m x 1m en la entrada de la sala y tres ventanas metálicas con vidrio simple en cada uno de los ambientes restantes de la vivienda de 1.2m x 0.8m. Adicionalmente tiene un invernadero adosado a los dormitorios 2.88m x 5m de área y 2.77 m de alto, también en los techos se ubican 4 claraboyas translúcidas de policarbonato de 1.3m x 0.9m que permiten el ingreso directo de la radiación solar, una para cada ambiente; además en el cielo raso se acondicionaron ductos con puertas corredizas de tal forma que en el día se permita el ingreso directo de la radiación solar y en la noche se cierran las puertas corredizas para evitar pérdidas de calor de los ambientes. La orientación del invernadero es 40° hacia el Oeste desde el Sur (S40O).



Figura 1. Izquierda: Vista exterior de la vivienda Tipo1. Derecha: Vista exterior de la vivienda Tipo 3.

Vivienda Típica. (Fig. 2) Esta vivienda es considerada típica de la localidad a la cual no se le ha hecho ninguna modificación, tiene un área de 48.75 m² y consta de dos ambientes de 17.02 m²: un dormitorio y una sala. Los muros de la vivienda son de 45cm de espesor, el techo es de dos aguas de calamina metálica; ésta vivienda en la sala tiene un cielo raso de plástico y el muro de adobe que divide los ambientes esta inconcluso dejando en la parte superior un vacío.



Figura 2. Vista exterior de la vivienda típica.

2.2. Pacococho

En esta localidad también se estudian tres tipos de viviendas, de las cuales solo se repiten la vivienda tipo 3 y la vivienda tipo 4, adicionalmente una vivienda tipo 5.

Vivienda Tipo 3. Esta vivienda tiene un área de 56.21 m² y consta de 4 ambientes de 9.53 m²: dormitorio principal, dormitorio secundario, cocina y una sala. Los muros de las viviendas son de adobe de 45 cm de espesor, el techo es a dos aguas y de planchas de fibrocemento y todos los ambientes interiores cuentan con un cielo raso de triplay a 2.4 m del suelo, éste último está aislado térmicamente y consta de una cama de piedras sobre la que se ha colocado listones de madera y sobre los mismos un entablado de madera. Tiene una puerta de madera de 2.1m x 1m en la entrada de la sala y tres ventanas metálicas con vidrio simple en cada uno de los ambientes restantes de la vivienda de 1.2m x 0.8m. Adicionalmente tiene un invernadero adosado a los dormitorios 2.88m x 5m de área y 2.77 m de alto, también en los techos se ubican 4 claraboyas translúcidas de policarbonato de 1.3m x 0.9m que permiten el ingreso directo de la radiación solar, una para cada ambiente; además en el cielo raso se acondicionaron ductos con puertas corredizas de tal forma que en el día se permita el ingreso directo de la radiación solar y en la noche se cierran las puertas corredizas para evitar pérdidas de calor de los ambientes. La orientación del invernadero la cual es 45° hacia el Oeste desde el Norte (N45O).

Vivienda Tipo 4. (Fig. 3 Izquierda) Esta vivienda tiene un área de 48.75 m² y consta de dos ambientes de 17.02 m²: un dormitorio, el cual es también utilizado como tienda; y una cocina. Los muros de la vivienda son de 45cm de espesor, el techo es de dos aguas de calamina metálica y tiene una claraboya translúcida de policarbonato transparente en el dormitorio. En la parte externa tienen colocado un muro trombe, el cual siempre para cubierto y la puerta es de calamina metálica.

Vivienda Tipo 5. (Figura 3 Derecha) Esta vivienda es la única de este tipo en ambas localidades la cual consta de tres ambientes: dormitorio, depósito y sala. Los muros de las viviendas son de adobe de 45 cm de espesor, el techo es a dos aguas y de planchas de calamina metálica y todos los ambientes interiores cuentan con un cielo raso de tela tratada. Tiene una puerta de madera en la entrada de la sala, una ventana de madera en la parte externa del depósito y un muro trombe en la pared del dormitorio.



Figura 3. Izquierda: Vista exterior de la vivienda Tipo 4. Derecha: Vista exterior de la vivienda Tipo 5.

3. INSTRUMENTACIÓN INSTALADA

A fin de medir la temperatura del aire en los ambientes interiores de las viviendas se instalaron sensores de temperatura, se consideró dos tipos de sensores para esta medición, los cuales son descritos brevemente a continuación:

3.1. Micro-estaciones meteorológicas.

Estos sensores tienen la capacidad de medir temperaturas del aire, humedad relativa y luminosidad y almacenar los datos en una memoria no volátil. Cada micro-estación tiene una capacidad de registro de 50 días tomando datos cada 10 minutos.

El rango de operación de temperatura es de -20°C a 70°C con una exactitud de $\pm 0.35^\circ\text{C}$, la humedad relativa se mide en el rango de 25%-95% con una exactitud de $\pm 5\%$. La iluminación interior se detecta con un sensor cuya respuesta es similar a la sensibilidad de la visión humana y opera en un rango de 2 a 20000 lúmenes/m².



Figura 4. Izquierda: Micro-estación meteorológica HOBO. Derecha: Sensor de temperatura ubicado dentro de una caja de protección ventilada.

3.2. Sensores de temperatura en protectores ventilados

En estos casos la medición de la temperatura del aire se realizó usando un sensor de temperatura colocado dentro de una caja de protección. La caja de protección posee agujeros que permiten una ventilación adecuada de forma tal que el sensor registra la temperatura del aire del ambiente en el que se ubique exento de la influencia de la radiación solar. Los sensores de temperatura son del tipo de resistencia variable, con un rango de medición de -40°C a 100°C y una exactitud de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ a 20°C . El elemento sensor tiene una cubierta de acero inoxidable de forma cilíndrica que facilita el contacto térmico con superficies sólidas o con el medio en el que se ubique (en este caso aire). Las temperaturas medidas por los sensores se almacenarán en registradores portables con capacidad de almacenamiento de 32520 mediciones en memoria no volátil. Esto es equivalente al almacenamiento de datos de 4 sensores de temperatura cada 10 minutos durante 50 días.

4. DIAGNOSTICO

Se realizaron mediciones externas en ambas localidades acondicionando las micro-estaciones para registrar la temperatura y la humedad relativa como se muestra en la Fig. 5 (Izquierda). En cada una de las viviendas en estudio se instalo un sensor en cada uno de los ambientes y en la vivienda tipo 3 del Barrio El Molino se colocaron sensores superficiales en el dormitorio, el esquema de la de la ubicación de los sensores es mostrado en la Fig. 5 (Derecha).

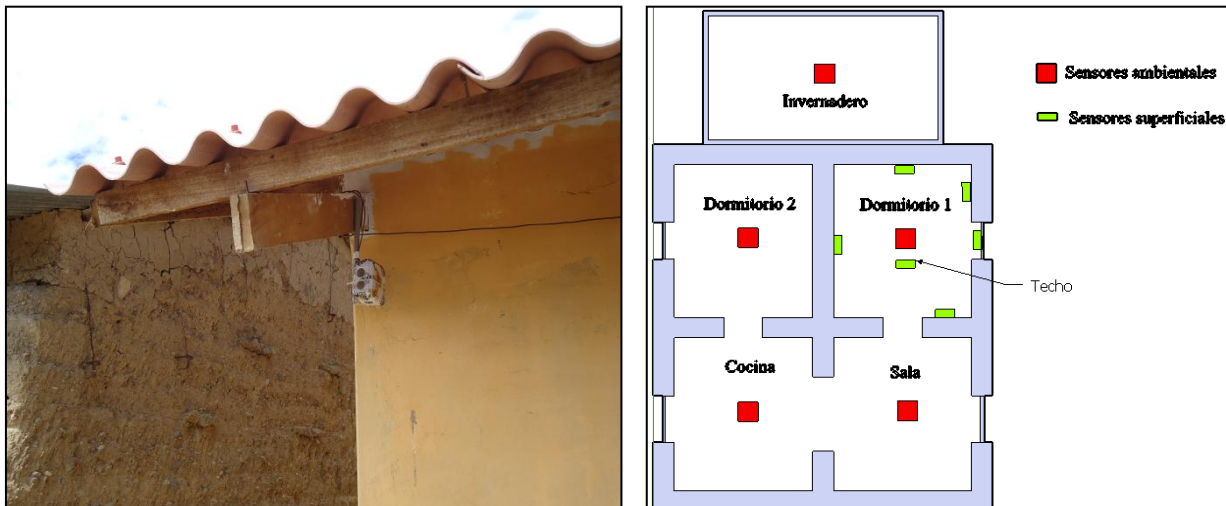


Figura 5. Izquierda: Sensor externo. Derecha: Distribución de los sensores en la vivienda tipo 3.

4.1. Resultados

A continuación se muestran tablas y datos de las mediciones de temperatura externa en ambas localidades, así como también comparaciones entre los valores obtenidos en las diferentes viviendas de la localidad del Barrio El Molino.

Mediciones externas

Tabla 1. Condiciones climáticas medias mensuales medidas en Castrovirreyna, Huancavelica en el 2010.

Mes	Temperatura Promedio Mensual-Castrovirreyna (°C)	Temperatura Mínima Mensual-Castrovirreyna (°C)	Temperatura Máxima Mensual-Castrovirreyna (°C)
Mayo	7.24	0.75	16.90
Junio	6.93	0.62	16.95
Julio	6.34	-0.43	17.21
Agosto	7.23	-0.28	18.90

Tabla 2. Condiciones climáticas medias mensuales medidas en Pacococha, Huancavelica en el 2010.

Mes	Temperatura Promedio Mensual-Pacococha (°C)	Temperatura Mínima Mensual-Pacococha (°C)	Temperatura Máxima Mensual-Pacococha (°C)
Mayo	6.94	0.43	17.96
Junio	6.19	-0.56	16.58
Julio	6.11	-1.73	17.84
Agosto	6.32	-1.93	17.81

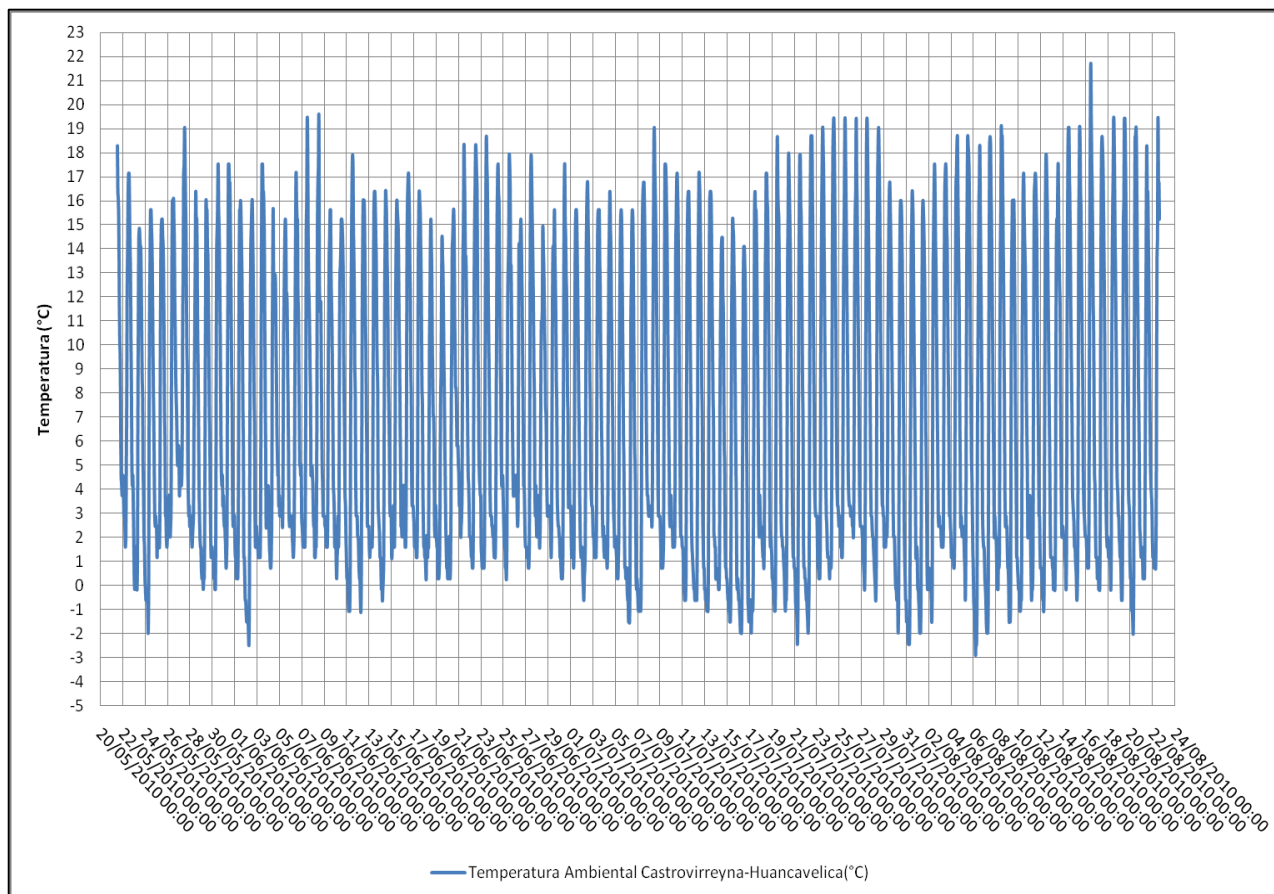


Figura 5. Temperatura externa del Barrio El Molino, Castrovirreyna del 20/05/10 hasta el 23/08/10.

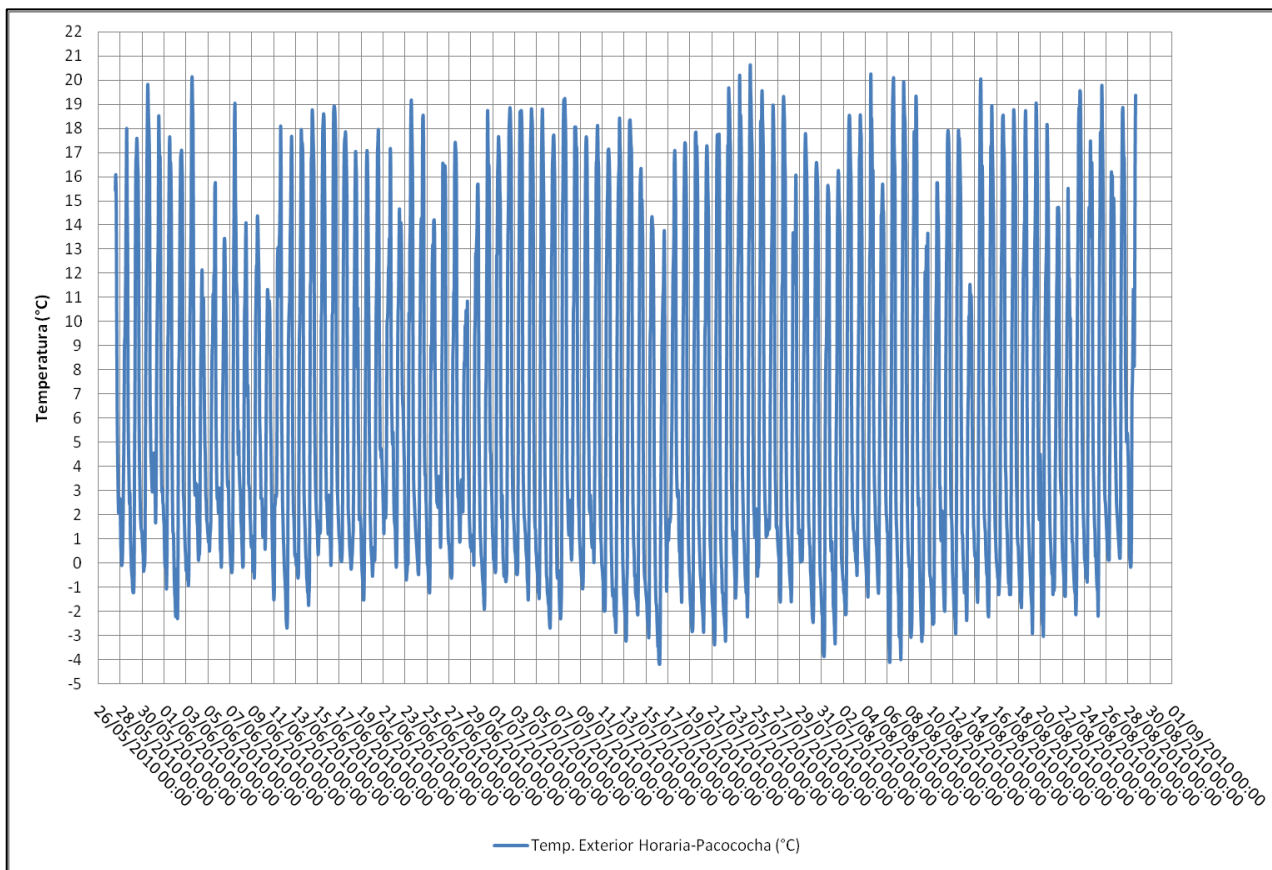


Figura 6. Temperatura externa de Pacococha del 27/05/10 hasta el 29/08/10.

Mediciones internas.

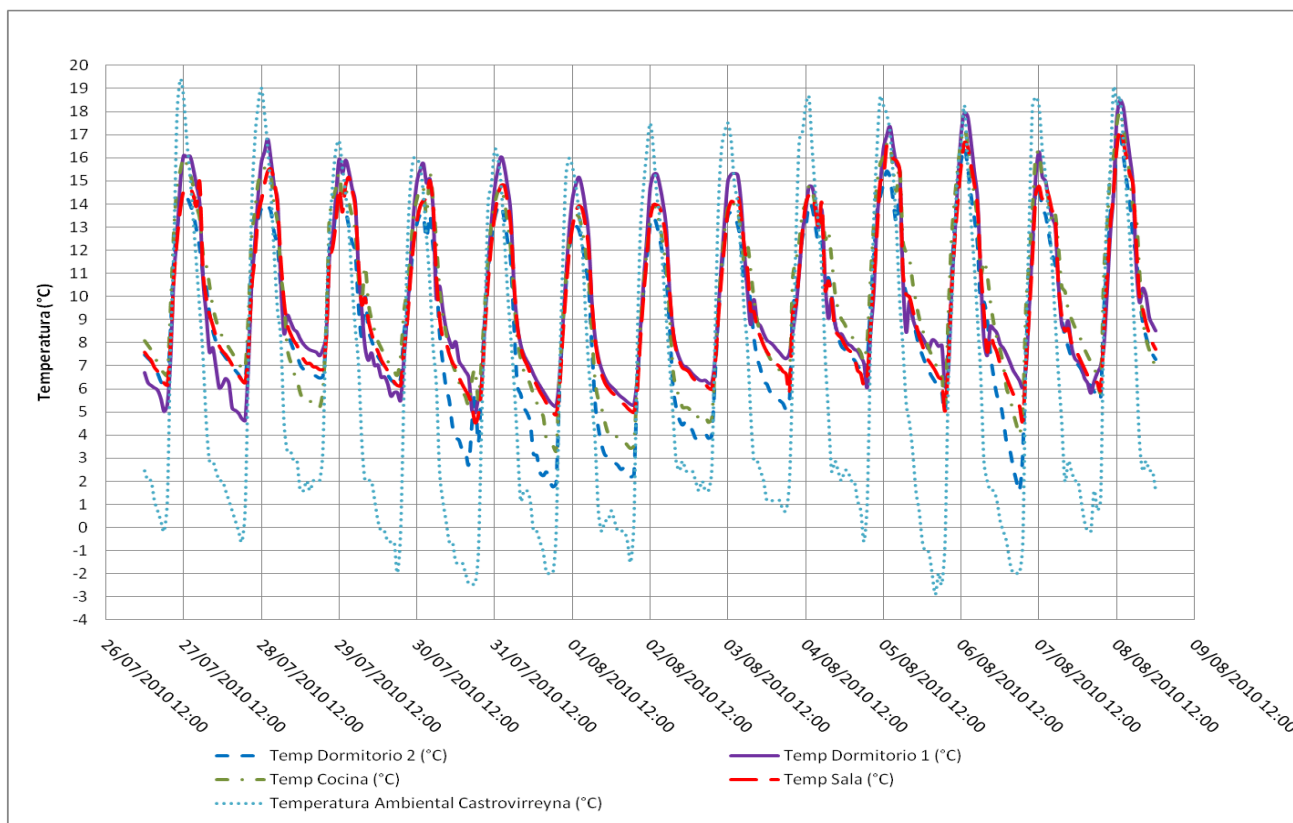


Figura 7. Condiciones térmicas en el exterior y en el interior de la vivienda monitoreada en los días más fríos en todos los ambientes de la vivienda tipo 3 de Castrovirreyna.

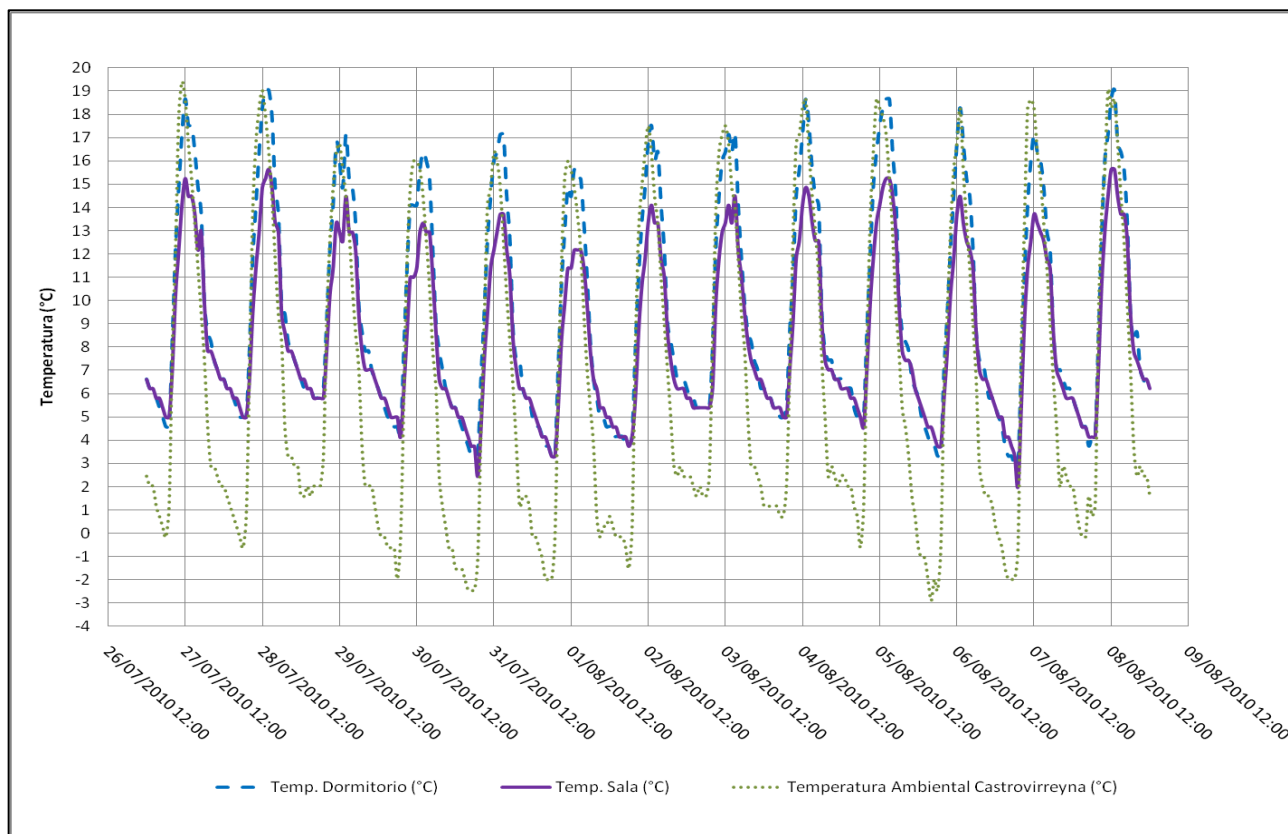


Figura 8. Condiciones térmicas en el exterior y en el interior de la vivienda monitoreada en los días más fríos en todos los ambientes de la vivienda típica de Castrovirreyna.

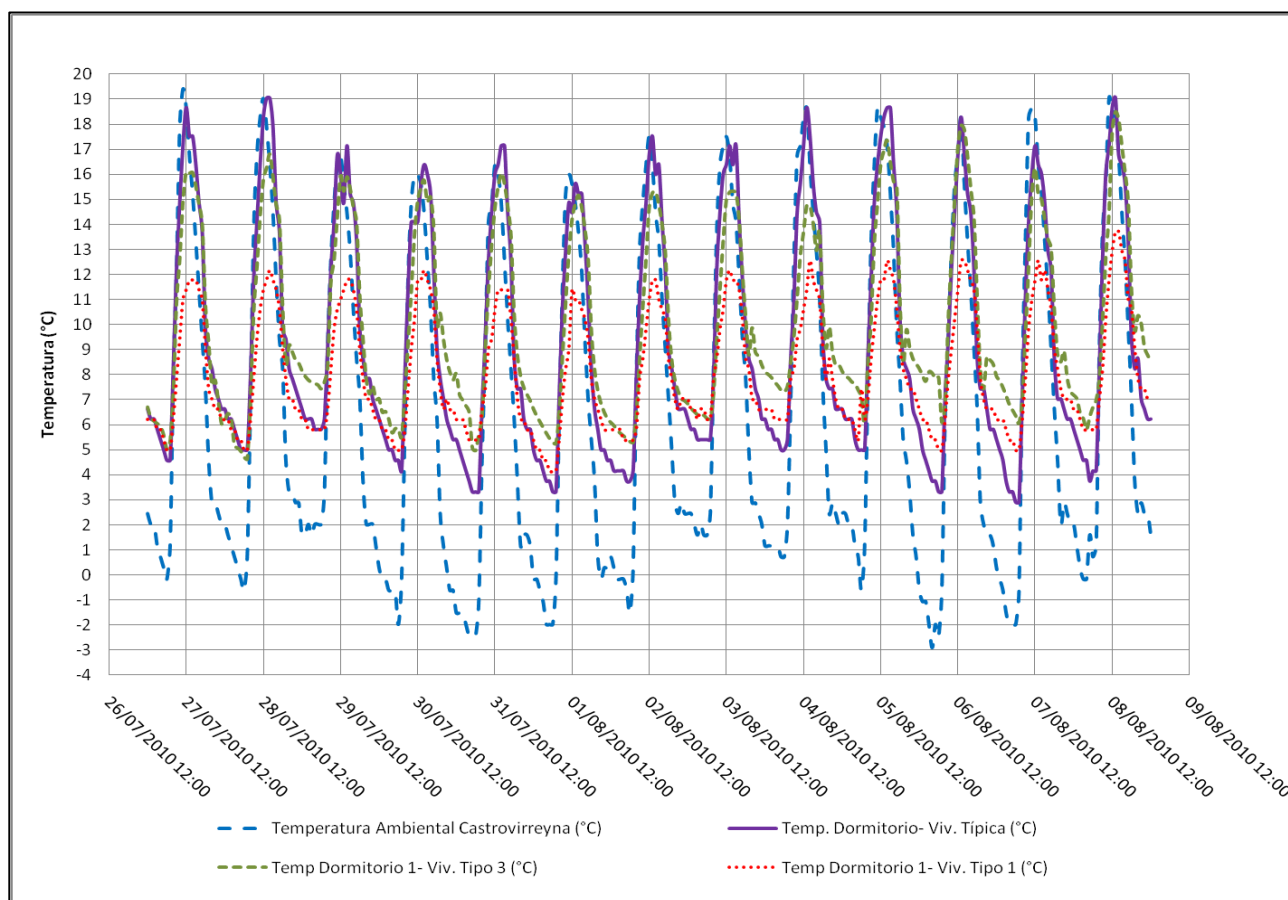


Figura 9. Condiciones térmicas en el exterior y en el interior de los dormitorios de las viviendas monitoreadas en Castrovirreyna en los días más fríos.

Flujos de calor por convección calculados. Para el dormitorio principal de la vivienda tipo 3 del Barrio El Molino, Castrovirreyna se realizó el cálculo de los flujos de calor por convección natural entre las superficies interiores y el aire ambiente de dicha zona. 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; 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 la zona térmica la velocidad del viento es pequeña. Los flujos de calor calculados se muestran en las Fig 10,11. La ecuación de flujo de calor que nos permitió realizar estos cálculos fue:

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

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]

A continuación se muestra una tabla de la del intercambio de energía al ambiente desde cada superficie.

Tabla 3. Energía que entra al ambiente desde las superficies desde el 28/07/10 hasta el 08/08/10

Ventana (kWh)	Pared colindante con la sala (kWh)	Pared cilindante con el invernadero (kWh)	Pared colindante con el dormitorio secundario (kWh)	Pared colindante con el exterior (kWh)	Techo (kWh)	TOTAL (kWh)
-0.52994	-0.90256	0.00477	-3.16627	-3.41020	-2.04047	-10.04469

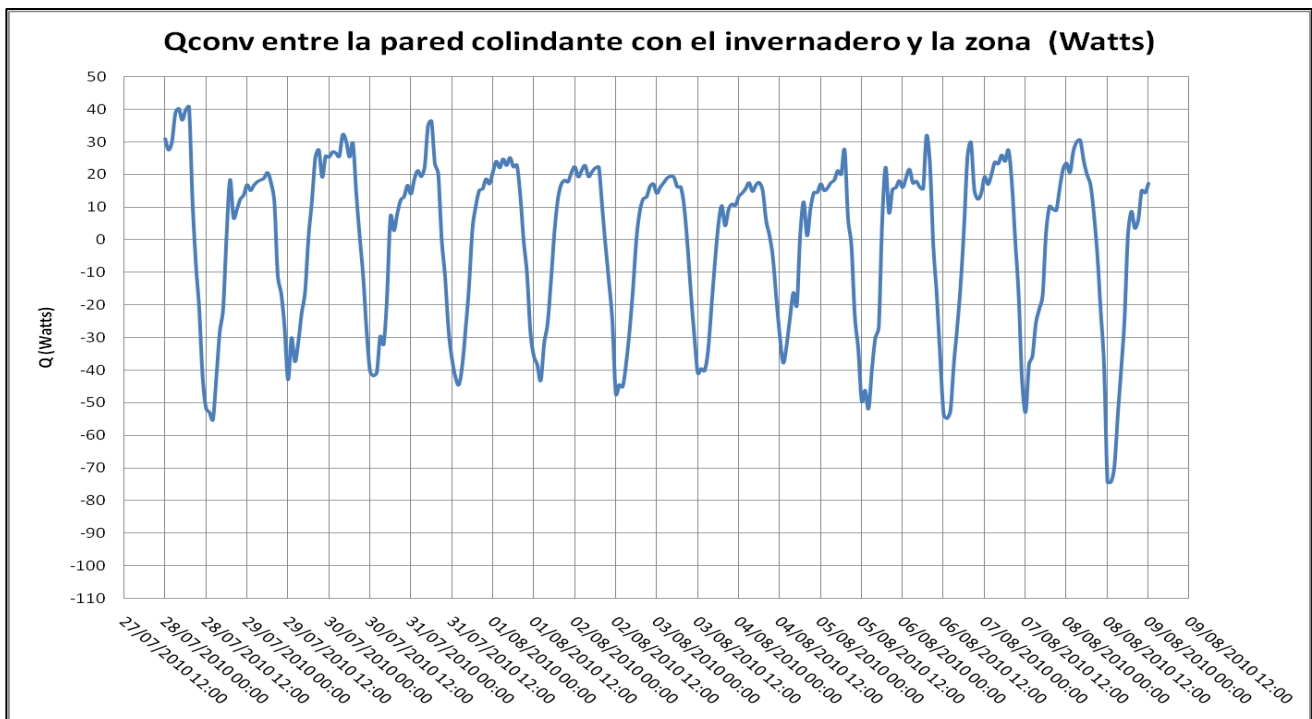


Figura 10. Flujo de calor convectivo en la zona obtenido entre la pared colindante el invernadero y la zona.

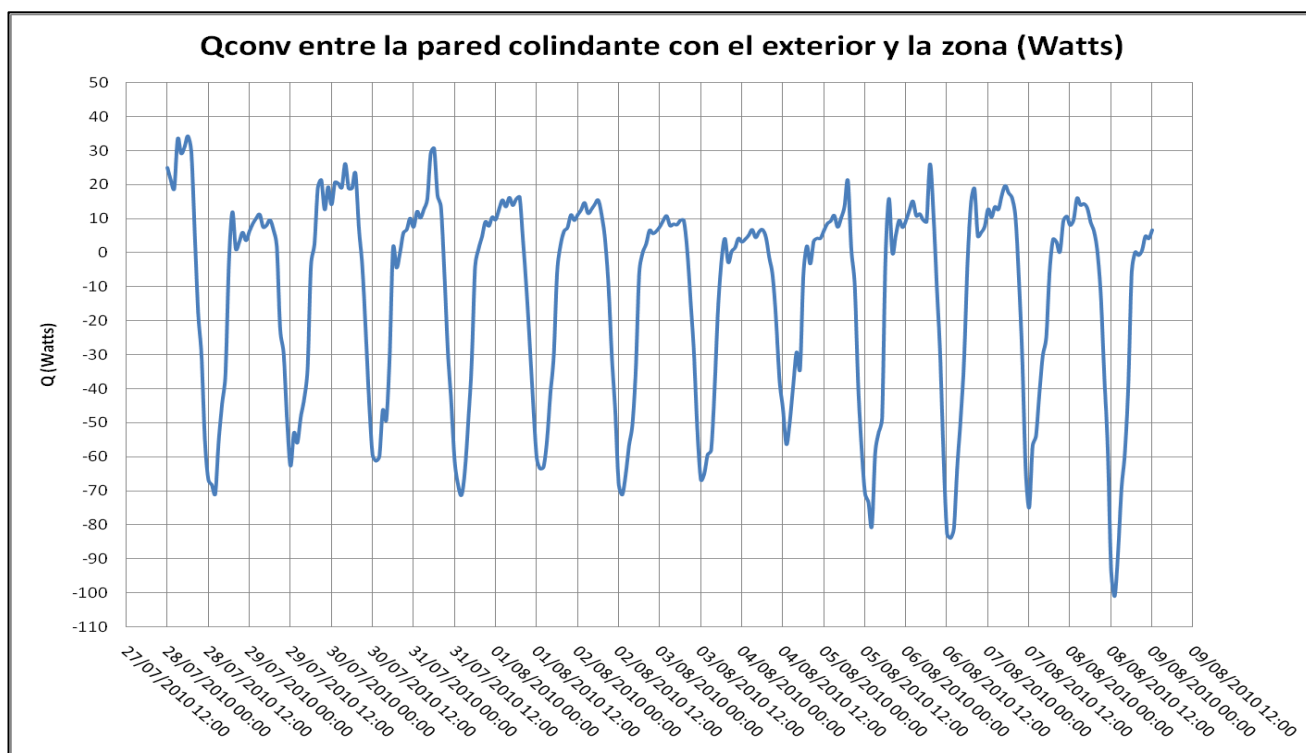


Figura 11. Flujo de calor convectivo en la zona entre la pared colindante al exterior y la zona.

4.2. Propuesta Técnica

Se realizaron distintas modificaciones para poder aumentar la temperatura utilizando el software de simulación térmica de edificaciones EnergyPlus 5.0, para lo cual se analizó distintas configuraciones en los aislamientos de los techos, pisos y ventanas.

Para la propuesta se considero la siguiente configuración:

Techo: Plancha de fibrocemento, una cama de paja de 3" entre las correas y plástico debajo de éstas.

Ventanas: ventana de madera con vidrio simple y cobertura de triplay a 5 cm.

Suelo: consiste en una cama de adobe de 15 cm, una cama de piedra de 15 cm, listones de madera de 3"x2" y tablas de madera de 1" de espesor.

Aparte de las modificaciones se modifico la orientación de la vivienda respecto a la construida por CARE-PERÚ ubicando el invernadero hacia el norte y realizando un buen manejo de las compuertas de las claraboyas y los ductos de comunicación del invernadero con los dormitorios. El modelo finalizado se muestra en la Fig. 12.

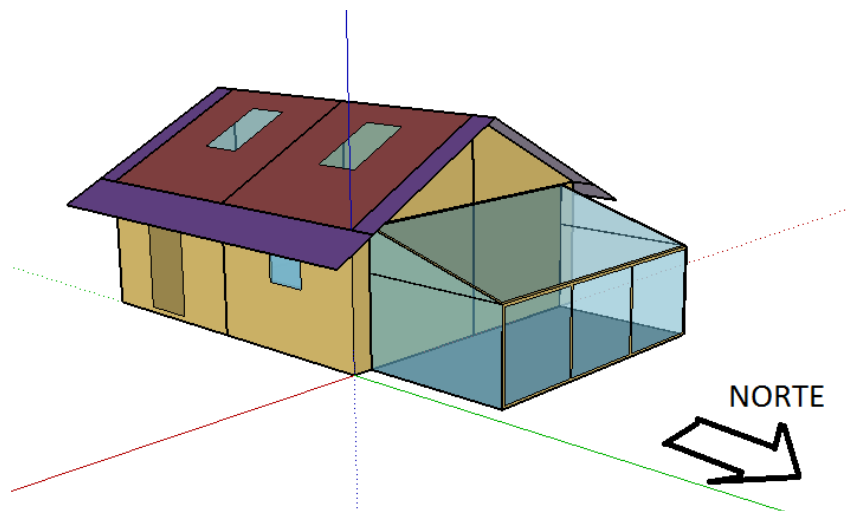


Figura 12. Modelo de simulación finalizado realizado en SketchUp 7.0 enlazado al EnergyPlus 5.0.

Con esta modificación lo que se busca es aumentar la temperatura en los ambientes de la vivienda, realizando una comparación con la mejor propuesta realizada por CARE-PERÚ en la Fig. 13 del comportamiento del dormitorio principal observamos que hay un aumento en los mínimos de temperatura, durante el periodo más frío de medición, en promedio de 5°C donde con las modificaciones la temperatura mínima que se obtendría sería de aproximadamente 11°C. Cabe recalcar que para estas simulaciones se utilizó como archivo de clima los datos meteorológicos de la comunidad de San Francisco de Raymina, Ayacucho debido a la similitud en el comportamiento de la temperatura externa entre ambas localidades, por lo tanto se considera una buena aproximación el comportamiento térmico de las viviendas.

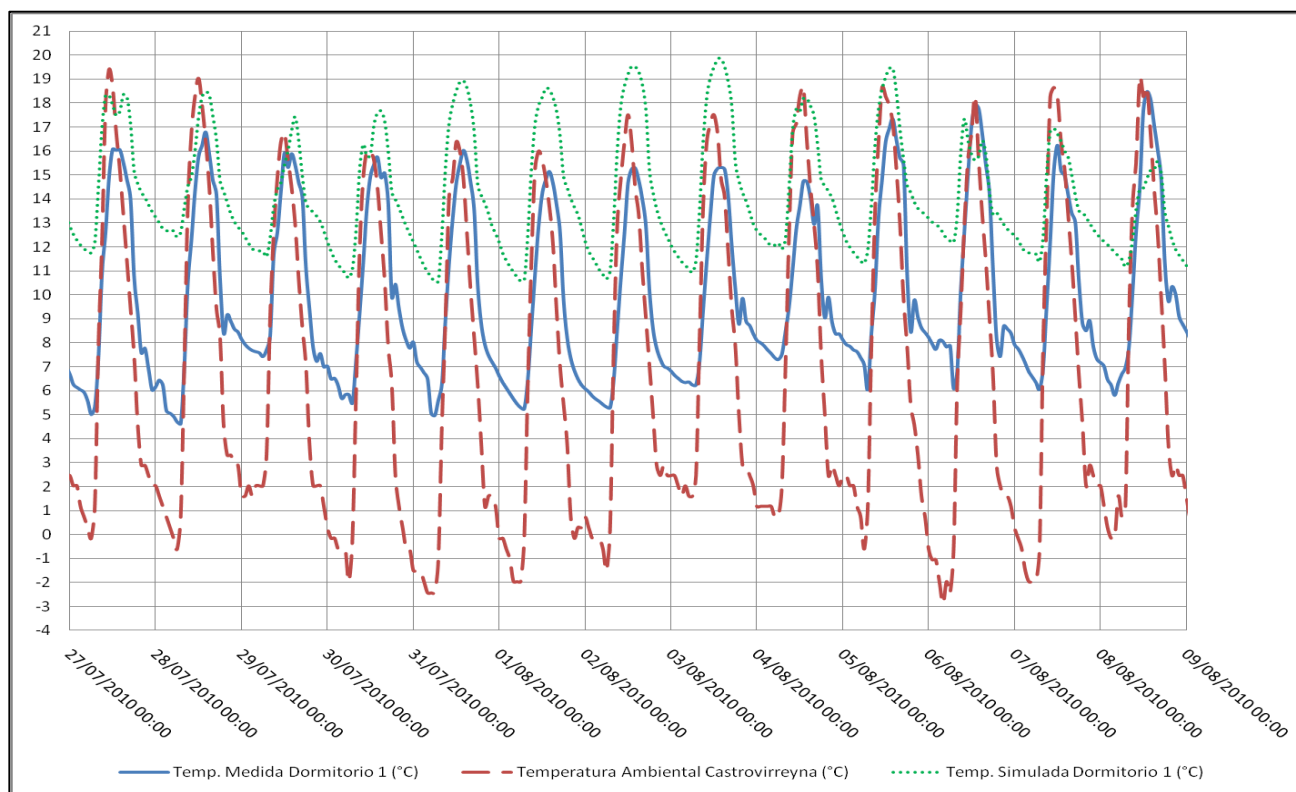


Figura 13. Comparación del comportamiento térmico de la propuesta simulada con respecto a la temperatura medida en el dormitorio principal de la vivienda tipo 3.

5. CONCLUSIONES

Con las modificaciones realizadas por CARE-PERÚ en la vivienda tipo 3 se obtiene un aumento en los mínimos de temperatura con respecto a la vivienda típica de la zona de 2 °C en promedio, donde en la vivienda típica se alcanzó un mínimo de 3°C y en la vivienda tipo 3 un mínimo de 5 °C.

Las mayores pérdidas de calor por convección en el dormitorio se da por la pared que da hacia el exterior y a través del cielo raso, por la pared que colinda con el invernadero se tuvo una ganancia mínima de 0.00477 kWh pero en general durante los días de mayor intensidad de frío se tuvo una pérdida total a través de todas las superficies del dormitorio de 10.04469 kWh.

Es posible realizar un aumento significativo de temperatura en los ambientes de la vivienda aprovechando al máximo la radiación solar y realizando un uso adecuado de las modificaciones realizadas para este fin, lo cual es demostrado mediante las simulaciones que logran un aumento en promedio de 5 °C con respecto a la vivienda tipo 3, llegando a obtenerse un mínimo de 11 °C durante la temporada de mayor frío en la localidad.

6. AUTORIZACIONES Y RECONOCIMIENTOS

Este trabajo es realizado contando con la autorización de la ONG CARE-PERÚ que desarrolla el proyecto “CCASAMANTA QARKANAKUSUM” (PREPARÁNDONOS PARA EL FRIAJE).

7. BIBLIOGRAFIA

CARE-PERÚ (2010). Expediente Técnico: Acondicionamiento de confort térmico para viviendas del proyecto CCASAMANTA QARKANAKUSUN

Espinoza R. (2009). Evaluación experimental de cambios constructivos para lograr confort térmico en una vivienda altoandina del Perú. XXXII reunión de la Asociación Argentina de Energía solar y ambiente, ASADES 2009

Gómez A. y Huaylla F. (2010). Informe de estudio teórico sobre comportamiento térmico del modulo de vivienda propuesto por CARE-PERÚ para zonas de altura.

Incropera F. P. y DeWitt D. P. (1999). Fundamentos de transferencia de calor, 4^{ta} edición, Pág.481 -505. Prentice Hall, México.

ABSTRACT: This work shows the monitoring carried out at homes located in the towns of Castrovirreyna and Pacococha, Castrovirreyna Province, Huancavelica Department, located between 4000 and 4500 m.s.n.m. sites where CARE-PERU has made various changes to the buildings that seek to improve the thermal comfort of the same, the measurements were performed from May 20 until August 25, 2010 for which the temperature sensors placed in each housing environments, and in the bedroom of the best proposal by CARE-PERÚ, surface sensors were placed on the walls, window and roof to get the heat fluxes in the bedroom and its corresponding effect, both favorable and unfavorable , over 24 hours a day. Using thermal simulation software EnergyPlus 5.0 different structural modifications were made to obtain the most suitable proposal to make the temperature increase inside the home, rieving the minimum temperature increased to 11 °C.

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