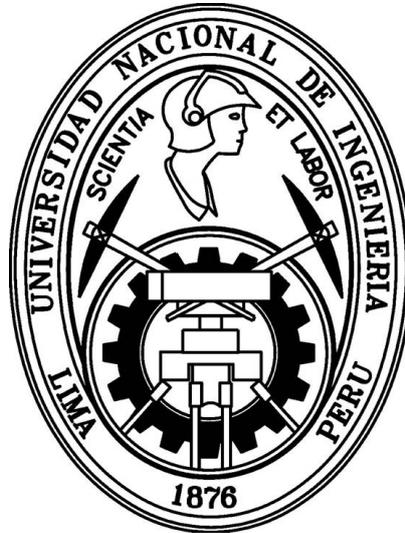


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS



TESIS

**“EVALUACIÓN BIOCLIMÁTICA DE UNA VIVIENDA  
RURAL ALTO ANDINA DE LA COMUNIDAD DE SAN  
FRANCISCO DE RAYMINA DE AYACUCHO”**

PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN  
CIENCIAS CON MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES Y  
EFICIENCIA ENERGÉTICA

ELABORADO POR:

**JESSICA ROXANA MOLINA CASTILLO**

**ASESOR:**

Mg. RAFAEL LEONARDO ESPINOZA PAREDES

LIMA – PERÚ

2016

A la memoria de mis padres Martha y Antonio que siempre iluminan mi camino.

A María, Marino, Carolina, Edina, Rubén, Delina, Pilar y Lisset por brindarme su apoyo incondicional durante todos mis años.

*“Sólo una cosa vuelve un sueño imposible: el miedo a fracasar.”*

*Paulo Coelho*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) por otorgarme una beca de estudios de la cátedra de Energías Renovables y Eficiencia Energética dentro de la que se realizó el presente trabajo.

Al Mg. Rafael Espinoza responsable de la línea de investigación “Confort Térmico para Viviendas Rurales” de la cátedra, quién con sus conocimientos y su experiencia fue mi guía para el desarrollo de este trabajo.

A Víctor, por su constante apoyo durante estos años, siempre estuvo a mí lado con su comprensión y buen humor. Gracias por todas esas horas compartidas con conversaciones tratando de comprender los fenómenos físicos.

## **RESUMEN**

En el presente trabajo se analiza la energía asociada a la utilización de técnicas bioclimáticas aplicadas en la construcción de una vivienda alto andina, ubicada en la comunidad de San Francisco de Raymina (SFR) en Ayacucho. Se establece la forma de interactuar de las personas, que habitan la vivienda, y las técnicas con el fin de recomendar procedimientos operativos adecuados de la vivienda para aumentar la temperatura interior.

Se estudia el comportamiento térmico de una “vivienda nueva”, construida en el 2010 por el CER-UNI en SFR. Se hace uso de sensores de temperatura y humedad relativa ubicadas estratégicamente en la vivienda, además de una estación meteorológica para obtener los registros de temperatura del aire, radiación solar, humedad relativa, velocidad y dirección del viento del ambiente exterior de la localidad (instalada en Octubre del 2012). Además, con un programa de simulación EnergyPlus se analiza la temperatura al interior de la vivienda, dichos resultados son contrastados con las mediciones experimentales.

En adición al estudio, se incorpora una segunda vivienda, vivienda tradicional que fue acondicionada térmicamente por el CER-UNI en el 2010. En esta vivienda se mide la temperatura interior de cada ambiente y se consideran las opiniones de las personas que la habitan para distinguir los efectos que las modificaciones han tenido sobre ellos y como ellos interactúan con las técnicas implementadas.

Finalmente se evalúa la primera vivienda con un procedimiento analítico, experimental y computacional para calificarla como vivienda bioclimática.

## INDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>III</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>IV</b>
<b>INDICE</b> .....	<b>V</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	<b>XII</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Objetivo.....	3
1.3. Hipótesis .....	4
1.4. Metodología .....	4
1.5. Estado del arte del confort térmico andino en el Perú.....	5
1.5.1. Experiencia peruana en confort térmico .....	6
1.5.2. Edificaciones con características bioclimáticas .....	8
1.5.2.1. Arquitectura moderna.....	13
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
2.1. Transferencia de calor.....	14
2.1.1. La conducción.....	14
2.1.2. La convección.....	15
2.1.3. La radiación .....	16
2.2. Propiedades térmicas de materiales.....	17
2.3. Pérdidas y ganancias de calor en una vivienda .....	19
2.3.1. Ganancias internas ( <b>Q<sub>internas</sub></b> ).....	19
2.3.2. Pérdidas o ganancias por conducción y convección ( <b>Q<sub>c</sub></b> ).....	19
2.3.3. Pérdidas o ganancias por renovación de aire ( <b>Q<sub>renovación</sub></b> ).....	20
2.3.4. Calor a través de grandes aberturas intencionales ( <b>Q<sub>V</sub></b> ).....	20
2.3.4.1. Flujo causado sólo por diferencia de temperaturas: El efecto Stack ....	21
2.3.4.2. Flujo causado sólo por el viento.....	22
2.3.5. Ganancias solares ( <b>Q<sub>S</sub></b> ).....	23
2.3.5.1. Transmisión de calor a través del acristalamiento .....	23

2.3.5.2.	Temperatura sol-aire .....	25
2.3.6.	Balance de energía .....	26
2.4.	Confort térmico .....	27
2.4.1.	Parámetros de confort térmico .....	28
2.4.2.	Parámetros personales .....	29
2.4.2.1.	La tasa metabólica .....	29
2.4.2.2.	Estimación del nivel de ropa Clo .....	30
2.4.3.	Parámetros ambientales .....	31
2.5.	Zona de confort.....	31
2.5.1.	Modelos adaptativos de la temperatura de confort .....	31
2.6.	Estrategias bioclimáticas.....	32
2.6.1.	Técnicas bioclimáticas.....	33
<b>III.</b>	<b>LA COMUNIDAD DE SFR .....</b>	<b>35</b>
3.1.	Proyectos desarrollados en SFR .....	35
3.2.	Descripción general de la comunidad .....	36
3.2.1.	Descripción de las viviendas .....	36
3.2.2.	Potencial tecnológico de SFR .....	37
3.3.	Componentes bioclimáticos instalados en SFR .....	37
3.3.1.	Vivienda 1 .....	37
3.3.2.	Vivienda 2 .....	42
<b>IV.</b>	<b>DESARROLLO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>44</b>
4.1.	Experimentos realizados en SFR.....	44
4.2.	Sensores utilizados .....	44
4.3.	Mediciones.....	45
4.3.1.	Vivienda 1 .....	45
4.3.2.	Vivienda 2 .....	46
<b>V.</b>	<b>RESULTADOS EXPERIMENTALES .....</b>	<b>47</b>
5.1.	Análisis e interpretación del clima de SFR .....	47
5.2.	Análisis de los datos obtenidos .....	54
5.2.1.	Vivienda 1 .....	57
5.2.1.1.	Compuertas abiertas y cerradas .....	57
5.2.1.2.	Puertas de ingreso de la vivienda abiertas .....	74
5.2.1.3.	Ventanas abiertas y cerradas.....	81

5.2.2.	Vivienda 2 .....	90
5.2.3.	Comparación de temperaturas de las viviendas.....	93
5.2.4.	Cálculo de la temperatura utilizando EnergyPlus .....	94
<b>VI.</b>	<b>PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS DE LA VIVIENDA .....</b>	<b>99</b>
<b>VII.</b>	<b>PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN DE UNA VIVIENDA RURAL ALTO ANDINA .....</b>	<b>103</b>
7.1.	Evaluación computacional.....	104
7.2.	Evaluación analítica.....	105
7.3.	Evaluación experimental .....	107
7.4.	Evaluación con norma EM.110 .....	108
<b>VIII.</b>	<b>DISCUSIONES Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>110</b>
8.1.	Discusiones .....	110
8.2.	Conclusión general.....	114
<b>IX.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>116</b>
	<b>GLOSARIO.....</b>	<b>122</b>
	<b>ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....</b>	<b>124</b>
	<b>ANEXO A. INDICADORES BIOCLIMÁTICOS .....</b>	<b>125</b>
	<b>ANEXO B. CLIMA.....</b>	<b>131</b>
	<b>ANEXO C. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DEL PERÚ.....</b>	<b>134</b>
	<b>ANEXO D. ENCUESTA A POBLADORES DE LA VIVIENDA 2 .....</b>	<b>138</b>
	<b>ANEXO E. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INSTRUMENTOS .....</b>	<b>142</b>
	<b>ANEXO F. INFORMACIÓN DIGITAL .....</b>	<b>145</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Albergue rural Suasi. ....	9
<b>Figura 2.</b> Estructura de dos plantas del centro de salud virtual Qotowincho.....	9
<b>Figura 3.</b> Vivienda construida en la comunidad Vilcallamas Arriba, Puno. ....	11
<b>Figura 4.</b> Vivienda construida por el CER-UNI en las localidades de (a) San Felipe y (b) Santa Rosa de Tambo. ....	12
<b>Figura 5.</b> Proyectos bioclimáticos en Puno del Arq. Hugo Zea. Biblioteca de la Universidad Nacional del Altiplano.....	13
<b>Figura 6.</b> Modos de transmisión de calor en los edificios. ....	14
<b>Figura 7.</b> Conducción de calor a través de una pared plana de espesor $e$ y área $A$ ..	15
<b>Figura 8.</b> Distribución de la diferencia de presiones Stack $\Delta p$ y posición del NPL para diferentes configuraciones de aberturas en ausencia del viento. ....	21
<b>Figura 9.</b> Factor de transmisión para un vidrio simple y doble vidrio respecto al ángulo de incidencia de los rayos solares. ....	24
<b>Figura 10.</b> Flujos de calor en un local para régimen estacionario. ....	27
<b>Figura 11.</b> Ambientes con diferentes condiciones térmicas.....	28
<b>Figura 12.</b> Esquema de los parámetros personales y climáticos que determinan la comodidad térmica. ....	28
<b>Figura 13.</b> Estrategias bioclimáticas para un clima frío.....	33
<b>Figura 14.</b> Ubicación geográfica de la comunidad SFR.....	35
<b>Figura 15.</b> Vivienda característica de SFR. ....	36
<b>Figura 16.</b> Vivienda 1 construida en SFR, vista frontal. ....	37
<b>Figura 17.</b> Vivienda 1 construida en SFR, vista posterior. ....	38
<b>Figura 18.</b> Plano de la vivienda 1 construida en SFR. ....	38
<b>Figura 19.</b> Techo de la vivienda 1 (vista exterior). ....	38
<b>Figura 20.</b> Techo interior de la vivienda 1. ....	39
<b>Figura 21.</b> (a) Cama de piedra para evitar el ascenso de la humedad y (b) piso entablado con madera de pino machihembrado. ....	39
<b>Figura 22.</b> Esquema ilustrativo de aislamiento higrotérmico de pisos.....	39
<b>Figura 23.</b> (a) Ventanas con marco de madera, (b) contraventanas de maderas, (c) puerta de madera y (d) entrada principal a la vivienda. ....	40
<b>Figura 24.</b> Fogón mejorado de la vivienda 1 de SFR.....	40
<b>Figura 25.</b> Ductos para el intercambio de aire de una habitación con el invernadero. ....	41
<b>Figura 26.</b> Terma solar instalada en el techo. ....	41
<b>Figura 27.</b> Regulador de carga y batería de 12V utilizados en la vivienda 1. ....	41
<b>Figura 28.</b> Vivienda 2 de SFR, vista frontal y vista posterior. ....	42

<b>Figura 29.</b> Plano vivienda 2 de SFR.....	42
<b>Figura 30.</b> Claraboyas en techo de la vivienda 2 (a) vista exterior y (b) vista interior con compuertas de protección nocturna.....	43
<b>Figura 31.</b> Contraventana de la sala-comedor de la vivienda 2.....	43
<b>Figura 32.</b> Sensor de temperatura Hobo TMC20-HD.....	44
<b>Figura 33.</b> Adquisidor de datos Hobo U12-006 y H08-006-04 y U12-012.....	45
<b>Figura 34.</b> (a) Estación meteorológica y (b) adquisidor de datos de la estación meteorológica ubicada en SFR.....	45
<b>Figura 35.</b> Distribución de sensores de temperatura en la vivienda 1.....	46
<b>Figura 36.</b> Distribución de sensores de temperatura en la vivienda 2.....	46
<b>Figura 37.</b> Gráfica de temperaturas en SFR, 2014.....	48
<b>Figura 38.</b> Carta solar estereográfica de SFR, latitud 13°45'40"S y longitud 73°51'26"O.....	51
<b>Figura 39.</b> Asoleamiento para SFR, el 21 de diciembre, 4:00PM.....	52
<b>Figura 40.</b> Asoleamiento para SFR, el 21 de marzo, 4:00PM.....	52
<b>Figura 41.</b> Asoleamiento para SFR, el 21 de junio, 4:00PM.....	52
<b>Figura 42.</b> Rosa del viento para SFR, febrero a julio 2014.....	53
<b>Figura 43.</b> Ductos para el intercambio de aire de la vivienda 1 entre los dos dormitorios y el invernadero.....	57
<b>Figura 44.</b> Temperaturas del dormitorio norte de la vivienda 1 durante los días de medición.....	58
<b>Figura 45.</b> Temperaturas exterior y temperatura del dormitorio norte de la vivienda 1, del 24 al 27 de mayo 2014.....	59
<b>Figura 46.</b> Calor transferido a través de muros, puertas y ventanas, ganancias por el invernadero del dormitorio norte.....	60
<b>Figura 47.</b> Rapidez de transferencia de calor a través de una pared.....	62
<b>Figura 48.</b> Rapidez de transferencia de calor del dormitorio norte, calculado con temperaturas interiores.....	62
<b>Figura 49.</b> Rapidez de transferencia de calor del dormitorio norte, calculado con temperaturas superficiales interiores y exteriores de su envolvente.....	63
<b>Figura 50.</b> Rapidez de transferencia de calor desde de invernadero hacia el dormitorio norte por conductos.....	65
<b>Figura 51.</b> Temperatura al interior del dormitorio sur de la vivienda 1 durante los días de medición.....	67
<b>Figura 52.</b> Temperatura exterior y temperaturas de dormitorio sur, del 24 al 27 de mayo 2014.....	68

<b>Figura 53.</b> Pérdidas por conducción en muros, puertas y ventanas, ganancias por el invernadero del dormitorio sur.....	68
<b>Figura 54.</b> Pérdidas por conducción en muros, puertas y ventanas, ganancias por el ventana sur del dormitorio sur. ....	69
<b>Figura 55.</b> Rapidez de transferencia calor del dormitorio sur, del 24 al 27 de mayo 2014. Calculado con temperaturas interiores. ....	70
<b>Figura 56.</b> Rapidez de transferencia calor del dormitorio sur, del 24 al 27 de mayo 2014. Cálculo con temperaturas superficiales. ....	72
<b>Figura 57.</b> Rapidez de transferencia de calor de invernadero hacia el dormitorio sur por los conductos. ....	73
<b>Figura 58.</b> Temperatura de la sala y cocina durante los días de medición. ....	74
<b>Figura 59.</b> Pérdidas por conducción en muros, piso, techos y ventanas, ganancias por superficies traslucidas de la sala-cocina. ....	75
<b>Figura 60.</b> Pérdidas por conducción en muros, piso, techo y ventanas, ganancias por superficies traslucidas de la sala-cocina. ....	76
<b>Figura 61.</b> Rapidez de transferencia de calor en la zona térmica sala-cocina durante el 28, 29 y 30 de mayo 2014.....	78
<b>Figura 62.</b> Rapidez de transferencia de calor por ventilación de la sala-cocina a través de las puertas abiertas y cerradas durante el 28, 29 y 30 de mayo 2014. ....	80
<b>Figura 63.</b> Temperatura de dormitorios norte y sur de la vivienda 1 durante los cinco días de medición. ....	82
<b>Figura 64.</b> Ganancia y pérdidas de calor de dormitorios con ventanas norte y sur abiertas. ....	83
<b>Figura 65.</b> Ganancia y pérdidas de calor del dormitorio norte con ventana este abierta. ....	83
<b>Figura 66.</b> Ganancia y pérdidas de calor de dormitorio sur con ventana este abierta. ....	83
<b>Figura 67.</b> Rapidez de transferencia de calor del dormitorio norte con ventanas abiertas o cerradas, 01, 02, 06, 07 y 08 junio de 2014. ....	84
<b>Figura 68.</b> Rapidez de transferencia de calor del dormitorio sur con ventanas abiertas o cerradas, 01, 02, 06, 07 y 08 junio de 2014. ....	87
<b>Figura 69.</b> Rapidez de transferencia de calor por las ventanas (abiertas y cerradas) del dormitorio norte durante el 01, 02, 06, 07 y 08 de junio de 2014.....	88

<b>Figura 70.</b> Rapidez de transferencia de calor por las ventanas (abiertas y cerradas) del dormitorio sur durante el 01, 02, 06, 07 y 08 de junio de 2014. ....	88
<b>Figura 71.</b> Temperatura medida al interior de la vivienda 2, del 19 al 24 de mayo de 2015. ....	90
<b>Figura 72.</b> Temperatura medida al interior de la vivienda 2, del 25 al 30 de mayo de 2015. ....	90
<b>Figura 73.</b> Temperatura medida en ambientes de vivienda 2, 25 de mayo 2015. ....	91
<b>Figura 74.</b> Temperatura medida en ambientes de la vivienda 2, 25 de mayo 2015. ..	92
<b>Figura 75.</b> Temperatura al interior de dormitorios de la vivienda 1, la vivienda 2 y la vivienda 3 (vivienda característica). ....	93
<b>Figura 76.</b> Vivienda 1 de SFR dibujado en Sketchup.....	95
<b>Figura 77.</b> Temperaturas al interior del dormitorio norte medidas y simuladas con EnergyPlus, del 24 al 27 de mayo de 2014. ....	96
<b>Figura 78.</b> Temperaturas al interior del dormitorio sur medido y simuladas con EnergyPlus, del 24 al 27 de mayo de 2014. ....	96
<b>Figura 79.</b> Temperaturas al interior de la sala-cocina medidas y simuladas, del 28 al 31 de mayo de 2014. ....	97
<b>Figura 80.</b> Temperaturas al interior del dormitorio norte medidas y simuladas con EnergyPlus para el 01, 02, 06, 07 y 08 de junio 2014. ....	98
<b>Figura 81.</b> Temperaturas al interior del dormitorio sur medidas y simuladas con EnergyPlus los días 01, 02, 06, 07 y 08 de junio 2014. ....	98

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Propiedades térmicas para una pared de adobe de 40cm. ....	18
<b>Tabla 2.</b> Resistencias térmicas superficiales $1/h_i+1/h_e$ [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ].....	20
<b>Tabla 3.</b> Niveles metabólicos – Met. (Fuente: Kvisgaard B., 1997) .....	29
<b>Tabla 4.</b> Niveles de ropa – Clo. (Fuente: Kvisgaard B., 1997) .....	30
<b>Tabla 5.</b> Modelos de temperatura adaptativa. ....	32
<b>Tabla 6.</b> Temperaturas características en SFR 2014.....	47
<b>Tabla 7.</b> Temperaturas horarias (en $^\circ C$ ) características en SFR, 2014.....	49
<b>Tabla 8.</b> Humedad relativa (HR) característica en SFR, 2014. ....	49
<b>Tabla 9.</b> Humedad relativa horaria [%] en SFR, 2014.....	50
<b>Tabla 10.</b> Irradiancia solar horaria y energía solar diaria registrada en SFR 2014. ...	51
<b>Tabla 11.</b> Velocidad del viento en SFR. Medición desde febrero a julio 2014.....	53
<b>Tabla 12.</b> Parámetros climáticos de una zona alto.....	54
<b>Tabla 13.</b> Coeficiente global de transferencia de calor U para el techo.....	55
<b>Tabla 14.</b> Coeficiente global de transferencia de calor U para el piso. ....	55
<b>Tabla 15.</b> Coeficiente global de transferencia de calor U de componentes de la vivienda 1.....	56
<b>Tabla 16.</b> Velocidad de aire a través de ductos del invernadero y dormitorio norte....	57
<b>Tabla 17.</b> Programación de actividades con las compuertas del dormitorio norte, vivienda 1.....	58
<b>Tabla 18.</b> Temperaturas al interior de la vivienda 1 del 24 al 27 de mayo de 2014. ...	59
<b>Tabla 19.</b> Áreas A y el coeficiente global de transferencia de calor U de la envolvente del dormitorio norte.....	61
<b>Tabla 20.</b> Rapidez de transferencia de calor (en Watts) calculado para el dormitorio norte de la vivienda 1. ....	64
<b>Tabla 21.</b> Rapidez transferencia de calor (en Watts) por las compuertas abiertas y cerradas del dormitorio norte. ....	65
<b>Tabla 22.</b> Energía ganada y perdida a través de compuertas abiertas y cerradas del dormitorio norte.....	66
<b>Tabla 23.</b> Programación de actividades con las compuertas del dormitorio sur.....	66
<b>Tabla 24.</b> Áreas (A) y coeficiente global de transferencia de calor (U) de las superficies del dormitorio sur. ....	67
<b>Tabla 25.</b> Temperaturas al interior de la vivienda.....	68
<b>Tabla 26.</b> Rapidez de transferencia de calor (en Watts) calculado para el dormitorio sur.....	71

<b>Tabla 27.</b> Rapidez de transferencia calor del dormitorio sur (en Watts) por las compuertas abiertas y cerradas del dormitorio sur.....	72
<b>Tabla 28.</b> Energía ganada o perdida por las compuertas abiertas y cerradas del dormitorio sur.....	73
<b>Tabla 29.</b> Programación de actividades con puertas de la vivienda 1.....	74
<b>Tabla 30.</b> Temperaturas al interior de la vivienda 1.....	75
<b>Tabla 31.</b> Áreas (A) y coeficiente global de transferencia de calor (U) de los componentes de la sala-cocina.....	76
<b>Tabla 32.</b> Rapidez de transferencia de calor (en watts) calculado cada 30 minutos en la sala-cocina.....	79
<b>Tabla 33.</b> Energía diaria de la zona térmica sala-cocina.....	79
<b>Tabla 34.</b> Rapidez de transferencia de calor (en Watts) por puertas abiertas y cerradas de la sala-cocina.....	80
<b>Tabla 35.</b> Programación de actividades con ventanas dormitorio norte.....	81
<b>Tabla 36.</b> Programación de actividades con ventanas dormitorio sur.....	81
<b>Tabla 37.</b> Temperaturas medidas al interior de la vivienda 1.....	82
<b>Tabla 38.</b> Rapidez de transferencia de calor (en watts) calculado cada 30 minutos en el dormitorio norte.....	85
<b>Tabla 39.</b> Rapidez de transferencia de calor (en watts) calculado cada 30 minutos en el dormitorio sur.....	86
<b>Tabla 40.</b> Energía diaria del dormitorio norte.....	87
<b>Tabla 41.</b> Energía diaria del dormitorio sur.....	88
<b>Tabla 42.</b> Rapidez de transferencia de calor (en watts) a través de las ventanas de los dormitorios, calculado cada 30 minutos.....	89
<b>Tabla 43.</b> Temperaturas medidas al interior de la vivienda 2.....	91
<b>Tabla 44.</b> Valores límites máximos de transmitancia térmica (U).....	108
<b>Tabla 45.</b> Porcentaje (%) de velocidad de transferencia de calor de cada componente de la vivienda.....	112

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad un gran número de personas que habitan las zonas rurales alto andinas son asoladas por las heladas y friajes que se repiten en forma periódica cada año e impactan en la salud de las personas, así como en la ganadería y en la agricultura. En adición a esto, la población posee viviendas no confortables que utilizan materiales inadecuados para aislar, captar o almacenar el calor, lo que ocasiona pérdidas de calor por conducción de las superficies de la envolvente, infiltraciones de aire a través de agujeros entre las superficies de contacto de las envolventes o por una operatividad inadecuada de la vivienda.

Es preciso mencionar que cada año durante los meses de heladas se realizan campañas de solidaridad a nivel nacional para llevar abrigo, medicinas, cobertizos u otros implementos que requieren las poblaciones afectadas. Lo cual no es incorrecto, sin embargo lo indicado sería realizar programas que ayuden a construir viviendas con un confort térmico adecuado.

Frente a esta situación, de población rural con viviendas no confortables, instituciones o grupos de investigación, como el Centro de Energías renovables (CER-UNI), Grupo de apoyo al sector rural de la Universidad Pontificia Católica del Perú (Grupo-PUCP), Centro de Capacitación para el Desarrollo (CECADE), Centro de Energías Renovables de Tacna (CERT), entre otros, realizan estudios para mejorar este escenario con la intención de lograr ambientes interiores confortables y la utilización de materiales adecuados en la construcción de las viviendas. “Si bien los resultados obtenidos por estos grupos son considerados buenos su alcance es reducido y se debe fortalecer sus resultados de modo tal que puedan ser calificados y proyectados” (Espinoza, 2014).

Es necesario un fortalecimiento de grupos de investigación universitaria, en particular de las principales universidades de regiones cuya población cada año sufre las inclemencias del frío, para que se involucren en una solución ante las heladas, y a su vez estos se asocien con otros grupos de investigación con experiencia en la temática. Un ejemplo de estos grupos es el CER-UNI, centro que apoya a la Maestría en Energías Renovables y Eficiencia Energética de la Facultad de Ciencias (FC) de la

Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), con su apoyo brinda un punto de inicio para la evaluación de viviendas rurales alto andinas y así lograr un aporte académico a grupos interesados y aportes para lograr condiciones térmicas de ambientes interiores más cálidos.

Por otro lado, en viajes sucesivos a diversas comunidades rurales alto andinas se observó que las personas realizan un inadecuado manejo de la vivienda al dejar puertas y ventanas abiertas durante largos periodos de tiempo en viviendas que adoptaron alguna técnicas bioclimática en su construcción permitiendo que el calor ganado se pierda. Un uso incorrecto de las contraventanas durante la mañana al dejarlas cerradas evitando que la energía solar ingrese o durante las noches al dejarlas abiertas permitiendo pérdidas de calor. Las compuertas que unen los ductos de los invernaderos con los dormitorios también permanecen cerradas durante el día. Todo esto es por la falta de costumbre de las personas que habitan estas viviendas.

Es así que esta tesis destaca la importancia de analizar la dinámica de manejo de la vivienda y la manera que los pobladores interactúan con las técnicas utilizadas con la finalidad de lograr el confort térmico deseado en el albergue de San Francisco de Raymina (SFR), Ayacucho. Con lo que quiere establecer relaciones entre las actividades que ejecutan las personas dentro de la vivienda y el confort térmico, para calificar los efectos correspondientes y recomendar procedimientos operativos de la vivienda.

### **1.1. Planteamiento del problema**

La mayoría de los pobladores que habitan las zonas alto andinas del Perú viven en condiciones no confortables expuestos a bajas temperaturas, heladas y nevadas que son recurrentes y cíclicas cada año durante los meses de junio y julio. Esta situación condiciona negativamente la salud de las personas (especialmente niños y ancianos), el funcionamiento de los servicios de salud y además origina graves problemas en el sector agropecuario.

A pesar de la necesidad de calentar las viviendas en estas zonas y de disponer de la energía solar para satisfacer esta demanda, existe un desconocimiento de aplicar estrategias bioclimáticas en la construcción de viviendas para elevar las temperaturas al interior de sus viviendas y sentirse más abrigados.

Un caso particularmente importante se materializa para las casas rurales alto andinas en el sur y centro de país, que en el invierno soportan temperaturas bajas, resultando cada año muchos niños enfermos e inclusive muertos. Para mitigar esta desventaja, cada temporada se realizan campañas de colectas de ropa y frazadas para la gente necesitada. Sin embargo, lo correcto sería apoyarlos en mejorar sus casas para evitar las bajas temperaturas dentro de ellas (Horn, 2010).

Se desea resolver las siguientes interrogantes en presente trabajo:

- ¿Cómo es el clima de una comunidad alto andina?
- ¿Qué técnicas bioclimáticas se pueden aplicar en viviendas de zonas alto andinas para calentar el interior de las viviendas?

Si hay experiencia en confort térmico alto andino por parte de algunas instituciones.

- ¿Existe alguna norma para evaluar viviendas alto andinas para calificarlas como viviendas bioclimáticas?
- ¿Existe modelos matemáticos para estimar la zona de confort alto andina?
- ¿Cómo evaluar térmicamente viviendas rurales alto andinas?

Todas estas preguntas definen el problema de la siguiente forma:

La evaluación bioclimática de una vivienda rural alto andina se efectúa con procedimientos conocidos por la académica pero que aún no tienen un uso generalizado. Los resultados de simulación computacional y/o análisis analítico son validados con mediciones experimentales para determinar en qué proporción se ajustan a la realidad, procedimiento que se aplica a cada vivienda independientemente de otra(s).

## **1.2. Objetivo**

Los objetivos son los siguientes:

- Estudiar las características cualitativas de viviendas de SFR y establecer que técnicas bioclimáticas son adecuadas para esa comunidad.
- Estudiar el clima de SFR.
- Analizar la tasa de transferencia de calor asociado a la operatividad de elementos constructivos de la vivienda.
- Elaborar procedimientos operativos de una vivienda bioclimática para el uso eficiente de la energía involucrada.

- Elaborar un procedimiento de evaluación integral de una vivienda rural alto andina para calificarla como vivienda bioclimática.

### **1.3. Hipótesis**

La hipótesis planteada es la siguiente:

Mediante un proceso de evaluación la vivienda construida en SFR reúne características técnicas y de funcionalidad que le atribuyen la calidad de vivienda bioclimática rural alto andina.

### **1.4. Metodología**

El desarrollo de la investigación propuesta es de carácter experimental, analítico y computacional. Se estudia el comportamiento térmico de la vivienda nueva o albergue (vivienda 1) de SFR al analizar las técnicas bioclimáticas aplicadas en su construcción. Para esto se utiliza sensores de temperatura marca HOBO (ubicados estratégicamente en la vivienda, conectados a adquisidores de datos para obtener temperaturas superficiales), las microestaciones (ubicados al interior de la vivienda para la medición de temperaturas interiores y humedad relativa) y una estación meteorológica (para obtener los registros de temperatura del aire, radiación solar, humedad relativa y velocidad y dirección del viento) ubicada en la localidad desde Octubre del 2012.

Se realiza un plan de mediciones que simula el manejo de los usuarios de la vivienda nueva de SFR y los resultados experimentales a obtener se contrastan con resultados computacionales.

Por otro lado, se estudia las temperaturas al interior de la vivienda modificada (vivienda 2) de SFR, la cual es una vivienda que fue acondicionada térmicamente en el 2010, incorporando a esta metodología la utilización de opiniones de las personas que habitan la vivienda 2, para distinguir que efectos han tenido sobre ellos las técnicas bioclimáticas instaladas en su vivienda como prácticas operativas.

## 1.5. Estado del arte del confort térmico andino en el Perú

Los hábitos en la construcción generan que se apliquen diseños de otras realidades en nuestro país, no se cumplen las normas establecidas, no se exige iluminación y ventilación natural, lo que ocasiona entre otros problemas un discomfort térmico y lumínico. “Los que cuentan con medios económicos, tratan de solucionar su discomfort con la compra de aparatos eléctricos como estufas, ventiladores, luminarias, entre otros, aumentando su consumo energético. Los que no cuentan con medios siguen con el discomfort o ven mermada su salud en el futuro” (Prieto, 2011).

Según el INEI-ENAH0<sup>1</sup>, las viviendas en la zona urbana y rural representaban el 70,67% y 29,33% respectivamente del total de viviendas censadas. Además se precisó que la construcción tradicional en la zona urbana utilizaba ladrillo o bloque de cemento (61,1%), adobe o tapia (23,5%), madera (8,2%), quincha (2,2%), entre otros (estera, piedra con barro, etc.) como material en los muros de las viviendas. En los pisos se utilizaban cemento (48,4%), tierra (29,2%), losetas o terrazos (12,4%), parquet o madera pulida (6,0%), la madera o entablados (2,6%), entre otros (INEI, 2007).

En la zona rural se utilizaban en los muros de las viviendas adobe o tapia (68,5%), ladrillo o bloque de cemento (4,0%), madera (14,0%), quincha (4,8%), piedra con barro (5,3%), entre otros. Los materiales utilizados en los pisos de las viviendas era la tierra (85,8%), cemento (7,8%), la madera o entablados (5,8%), parquet o madera pulida (0,2%), entre otros.

Se deduce que en la zona rural existe un predominio del uso del adobe y tierra en los muros y suelo de las viviendas, respectivamente. El uso del adobe es bueno si no fuera por un inadecuado manejo del material, debido al mal cierre con otras componentes de la envolvente de la vivienda que ocasionan pequeñas grietas o agujeros por donde se pierde calor por infiltraciones. Es así que una gran cantidad de pobladores se encuentran en un estado no confortable al interior de sus viviendas.

Por otra parte, los grupos de investigación, instituciones y ONGs que durante varios años vienen desarrollando acciones de preparación ante los efectos de las

---

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Estadística e Informática: Encuesta Nacional de Hogares sobre Condiciones de Vida y Pobreza

temperaturas extremas para las zonas alto andinas. Como resultado se ha aplicado las técnicas bioclimáticas tanto a construcciones nuevas, como a viviendas existentes.

Las técnicas estudiadas para mejorar el confort térmico de una vivienda con mejores resultados son: ductos solares, cielos rasos, pisos aislantes, invernaderos adosados, cocinas mejoradas, superficies radiantes, entre otras. Como resultado de estas experiencias realizadas, se han propuesto mejoras en los materiales, procesos, acabados y fortalecimiento de capacidades en las familias a fin de incrementar aún más el confort térmico en las futuras construcciones y viviendas existentes.

Entre las instituciones o grupos vinculados con las universidades que abarcan un interés por el confort térmico, se encuentran el CER-UNI, el Grupo-PUCP, el Centro Tierra-INTE(CT) de la PUCP , la ONG CARE, la Cooperación Alemana al Desarrollo (GIZ), programas y proyectos desarrollados por el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS) como el Programa de Apoyo al Hábitat Rural (PAHR) y el Programa Nacional de Vivienda Rural (PNVR), la Dirección Nacional de Construcción (DNC), entre otros. Además se puede mencionar programas de estudio como el diplomado en Arquitectura Bioclimática de la Universidad Peruana Ricardo Palma y la Maestría en Ciencias con Mención en Energías Renovables y Eficiencia Energética de la Facultad de Ciencias de la UNI que cuenta con una línea de investigación en Confort Térmico Andino. Por último se cita al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica, CONCYTEC, por la convocatoria nacional hecha en setiembre 2012 para la ejecución de diez proyectos de transferencia tecnológica de “Tecnologías para Enfrentar Eventos Climáticos Extremos en las Zonas Alto Andinas”.

### **1.5.1. Experiencia peruana en confort térmico**

El inicio del estudio de arquitectura bioclimática en Perú comenzó en la UNI. Siendo el más destacado precursor el Arq. Tito Pesce Schreier, quien se dedicó desde muy joven a trabajar el tema del ambiente y la arquitectura, siendo uno de los más grandes promotores en el país, incentivó a sus alumnos a desarrollar una arquitectura resuelta con consideraciones ambientales: iluminación y ventilación natural, análisis solar, confort térmico, condiciones acústicas, fomentó el uso de energías limpias. Desarrolló investigaciones y propuestas de arquitectura bioclimática, creando los Campamentos de Experimentación Solar (Gómez, 2012).

Continuando lo académico, se identificó algunos artículos, tesis de bachiller y maestría que abordan el tema de confort térmico, todos desarrollados en la UNI. Los cuales se comentan en los siguientes párrafos.

En la revista *Tecnia* de la UNI se encuentra una publicación de Liliana Beltrán, “Patios solares para las ciudades Andinas”. Basada en una investigación realizada en Puno por Beltrán (1985), en la que se efectuó balances energéticos de tres viviendas solares pasivas (compacta, de patio abierto y de patio cubierto). Se concluyó que la que tiene mejor performance térmico es la de patio cubierto (a manera de invernadero) y demostró su alta eficiencia térmica (Beltrán, 1987).

La primera tesis en citar corresponde a “Evaluación experimental de cambios constructivos para lograr confort térmico en una Vivienda Alto andina del Perú” por el Ing. Huaylla Roque Fredy en el 2010. La investigación consistió en un diagnóstico térmico de una vivienda típica de la comunidad de SFR, Ayacucho. Registraron las temperaturas y humedades relativas al interior de la vivienda y temperaturas superficiales en paredes, techos, ventanas y suelos. Posteriormente, utilizando un software de simulación térmica (EnergyPlus 3.0), se formularon modificaciones constructivas que permitan el aprovechamiento de la energía solar para elevar la temperatura de los ambientes. Después de realizadas las modificaciones, se registró las condiciones térmicas de la vivienda. Obteniendo al final un incremento de al menos 6°C respecto a los mínimos de temperatura de aire registrados al inicio (Huaylla, 2010).

La segunda tesis es “Sistema solar pasivo más eficaz para calentar viviendas de densidad media en Huaraz”, por el Mg. Arq. Miguel R. Corrales Picardo. Su investigación determinó el sistema solar pasivo más eficaz para calentar viviendas de densidad media adaptada a las condiciones ambientales y a los aspectos culturales de la ciudad de Huaraz (ubicada a una latitud 9,5° Sur y a 3100 msnm). El método consistió en diseñar 5 viviendas solares pasivas similares de densidad media, pero con diferente sistema de calentamiento solar pasivo y relacionarlas con una construcción típica existente. Para evaluarlas energéticamente, se utilizó métodos de análisis de simulación correlativa. La vivienda que tuvo el mejor comportamiento térmico, en relación a los aspectos ambientales y culturales de los habitantes de Huaraz, fue la vivienda con sistema solar pasivo directo (Corrales, 2012a).

La tercera tesis es del Mg. Ing. Espinoza con el título “Evaluación experimental de la performance de dos componentes bioclimáticas de calentamiento aplicadas en un módulo de vivienda de SFR-Ayacucho con el propósito de validarlas como técnicas de estrategias bioclimáticas para viviendas rurales alto andinas”, tesis para optar el grado de magister de la Facultad de Ciencias, (Espinoza, 2014).

Además de las investigaciones mencionadas en párrafos anteriores, se desarrollan proyectos pilotos por grupos de estudio o instituciones con la finalidad de mejorar las viviendas alto andinas y evitar temperaturas bajas dentro de ellas.

SENCICO<sup>2</sup> como parte de sus funciones de investigación y capacitación, llevó a cabo un Plan Piloto en el departamento de Puno de aplicación de la tecnología alternativa de calefacción “Sistema pasivo de recolección de energía solar de forma indirecta” denominado “Muro Trombe”. El decreto de urgencia N° 019-2008, autorizó al MVCS implementar el sistema denominado “Muro Trombe” en las viviendas ubicadas en las zonas alto andinas por encima de los 3500 metros sobre el nivel del mar. La tecnología alternativa de calefacción fue puesta en funcionamiento en los departamentos de Ayacucho, Apurímac, Arequipa, Pasco, Cusco, Huancavelica, Huánuco, Junín, Moquegua, Puno y Tacna.

“Posteriormente se generaron dudas y críticas a este proyecto, se manifestaron fallas en los sistemas construidos debido a diferentes factores, en particular, se observó una no adecuada ubicación del muro, materiales ineficientes para almacenar el calor y poca radiación solar incidente sobre el muro” (Natividad, 2010).

### **1.5.2. Edificaciones con características bioclimáticas**

Se lista algunos proyectos bioclimáticos desarrollados en el Perú, los cuales se realizan en forma dispersa por falta de difusión o publicaciones sólo se mencionan las que resaltan.

**Albergue rural Suasi**, construido en 1998, en la isla Suasi en el Lago Titicaca, utiliza materiales de la zona y está dotado con equipamiento con tecnología solar. Es el primer hospedaje ecológico del Perú, casi toda la demanda energética del albergue es suministrada por energía solar. La figura 1 muestra el albergue donde se aprecia la

---

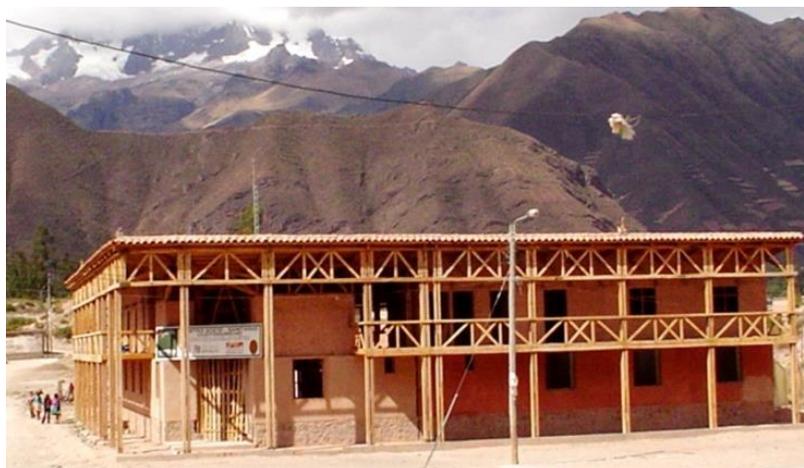
<sup>2</sup> SENCICO: Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción, una institución del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

disposición de ventanas y parasoles que atenúan el calentamiento excesivo por la radiación solar de la zona. (Horn, Giraldo, 2000).



**Figura 1.** Albergue rural Suasi.  
(Fuente: Horn, Giraldo, 2000).

**El centro virtual de salud de Qotowincho**, ubicado en el valle de Urubamba en Cusco. El proyecto incluyó la construcción de un centro de salud virtual (figura 2) y utiliza materiales de la zona como adobe, madera y caña brava, además de tecnología solar para cocinar, hornear y calentar el agua. Involucra a cuatro comunidades alto andinas que acceden a la atención del servicio de salud (Barrionuevo, 2005a).



**Figura 2.** Estructura de dos plantas del centro de salud virtual Qotowincho.  
(Fuente: Barrionuevo, 2005b).

La propuesta arquitectónica se generó en el Proyecto XIV.5 Con Techo del CYTED HABYTED y el desarrollo del diseño arquitectónico y de ingeniería, estuvo a cargo de la ONG KAUSAY. La Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Artes de la UNI (FAUA-UNI), asumió la construcción de los primeros 1000 m<sup>2</sup> del local para el Centro, transfiriendo las tecnologías a un grupo de la comunidad previamente seleccionado (Barrionuevo, 2005b).

**Casa solar Espinar–Cusco**, fomentado por La Misión Belén de Immensee (MBI), quienes comparten sus conocimientos y capacidades con organizaciones locales, adaptándolas en diferentes proyectos al ámbito local. Han construido y evaluado viviendas bioclimatizadas demostrativas en la zona de Espinar, en el departamento de Cusco, a 4000 msnm (MBI, 2010).

La vivienda solar activa adecuada para el medio rural de la sierra peruana construida por la MBI y Taller Inti en el 2006, de 8,40 m x 6,05m, la cual se distribuye en 4 espacios habitables. Posee pisos aislados térmicamente (usando una cama de piedras y tablas de madera machihembrada), el techo de calamina metálica a una sola agua orientado hacia el norte, además tiene un falso techo para procurar el aislamiento térmico. Adicionalmente habilitaron claraboyas traslúcidas en el techo para permitir el ingreso directo de la radiación solar. En la parte central de la vivienda se tiene un fogón mejorado que además de ser más eficiente, es una fuente directa para el calentamiento del aire.

**Casa Caliente Limpia: Koñichuyawasi**, propuesta desarrollada por el GRUPO PUCP, que cuenta con un conjunto de tecnologías apropiadas: pared caliente, cocina mejorada, terma solar y sistema de aislamiento de techos, que permiten, principalmente, contrarrestar el problema del friaje en las zonas alto andinas. Estas tecnologías se han implementado en la provincia de Cusco – Canas a más de 4000msnm. Con este proyecto se han beneficiados a más de 600 pobladores de las zonas rurales de Cusco y Puno, se han implementado en 5 colegios y 2 postas médicas y se ha capacitado a más de 1000 pobladores de las de las zonas rurales de Cusco y Puno (GRUPO PUCP, 2012).

**Casa solar de Santo Tomás**, construida en el año 2009, en la provincia de Chumbivilcas, región Cusco, dentro del marco del proyecto de Energía Solar – Programa de Empleo y Juventud de la prelatura de Sicuani. Algunas características de esta vivienda son: dobles muros aislantes térmicos (adobe – espacio de aire de 5 cm – adobe), techo de calamina metálica a una sola agua, cielo raso de estera, barro y paja (que funciona como aislamiento térmico), también se habilitaron claraboyas traslúcidas en el techo y en el cielo raso para permitir el ingreso directo de la radiación solar; posee un invernadero adosado a un muro de la vivienda y un fogón mejorado ubicado en el centro de la casa, el cual se convierte en una fuente de calor directa (Huaylla, 2010).

**Albergue de SFR y Vilcallamas Arriba**, construido dentro del proyecto de investigación aplicada “Propuesta Técnica de Confort Térmico para Viviendas de Comunidades Ubicadas entre 3000 y 5000 msnm” desarrollado por el CER-UNI desde marzo de 2008 hasta marzo de 2010, reformando dos viviendas rurales y construyendo otras dos en cada comunidad: SFR, Vilcas Huamán, Ayacucho y Vilcallamas Arriba, Chucuito, Puno (figura 3). Las cuatro viviendas de este proyecto adquirieron características bioclimáticas, las reformadas parcialmente y las construidas totalmente utilizando, en su mayoría, materiales locales y como fuente de energía la proveniente del sol. El propósito fue lograr ambientes interiores con características de temperatura y humedad relativa agradables para sus ocupantes, logrando incrementar la temperatura mínima interior entre 8 y 10°C. También se adosó un invernadero de plástico a las viviendas (CER-UNI, 2015).



**Figura 3.** Vivienda construida en la comunidad Vilcallamas Arriba, Puno.

(Fuente: CER-UNI)

**Experiencia de CARE PERÚ en Huancavelica**, desarrollada por el CER-UNI y financiada por CARE PERÚ. Evaluación térmica teórica y experimental de las viviendas, ya construidas, y viviendas originales de la zona de Castrovirreyna, Huancavelica. Se realizó un diagnóstico térmico y energético para adecuar bioclimáticamente prototipos de viviendas CARE y viviendas pre existentes en el ámbito de intervención del Proyecto, es decir en la provincias de Huancavelica (Huachocolpa), provincia de Castrovirreyna (Castrovirreyna y Santa Ana) y provincia de Huaytará (Huaytará y Pilpichaca), considerando condiciones del clima representativas del piso ecológico; todo esto en base a la realización de un estudio in situ y simulaciones computacionales (figura 4).

**Estudio piloto de acondicionamiento térmico para edificaciones rurales alto andinas**, promovido por el DNC-MVCS en el 2012. El CER-UNI se encargó del estudio piloto, el cual propone el uso de las energías renovables y las técnicas de diseño bioclimático en viviendas y edificios del ámbito rural del Perú con el fin de asegurar mejores condiciones de vida a sus usuarios. El primer objetivo fue proponer recomendaciones constructivas, sustentadas de manera técnica y reforzada con mediciones ambientales, que solucionen arquitectónicamente el problema térmico de las edificaciones existentes que sufren bajas temperaturas, con el propósito que las familias habiten sus viviendas en situación de confort, para dos centros poblados ubicados entre 3000 y 5000 msnm. Y el segundo objetivo fue elaborar dos expedientes técnicos (uno por cada centro poblado) que representan la mejor alternativa, con el fin de reproducir este tipo de vivienda rural (Saavedra, *et al.*, 2012).



**Figura 4.** Vivienda construida por el CER-UNI en las localidades de (a) San Felipe y (b) Santa Rosa de Tambo.  
(Fuente: CER-UNI)

Las viviendas se ubican en los centros poblados de San Felipe (Pilpichaca, Huaytará, Huancavelica) y Santa Rosa de Tambo (Tambo, Huaytará, Huancavelica) localizados en la zona 6-Nevado (a 4515 msnm, con temperaturas que promedian anualmente los cero grados Celsius) y en la zona 5 Alto andino (a 3134 msnm), respectivamente. Para su ubicación se ha tomado como referencia el Mapa de las Zonas Climáticas del Perú de la DNC (DNC-MVCS, 2013).

### 1.5.2.1. Arquitectura moderna

En el desarrollo de proyectos construidos con arquitectura bioclimática, se puede citar el Arq. Hugo Zea, oriundo de Puno, quien ha desarrollado proyectos bioclimáticos de gran magnitud en la ciudad de Puno y en zonas aledañas, siendo los principales la Biblioteca de Universidad Nacional del Altiplano (figura 5), el Terminal Terrestre de Puno, el Hotel Qalasaya ubicado en el centro de la ciudad y sus obras de adobe el Centro Comunal y el Wawa Uta realizados en la comunidad Campesina de La Rinconada. El desarrollo de estos proyectos desde 1989 demuestra que se puede manejar la arquitectura para proveer bienestar interior manejando las condiciones ambientales (Gómez, 2012).

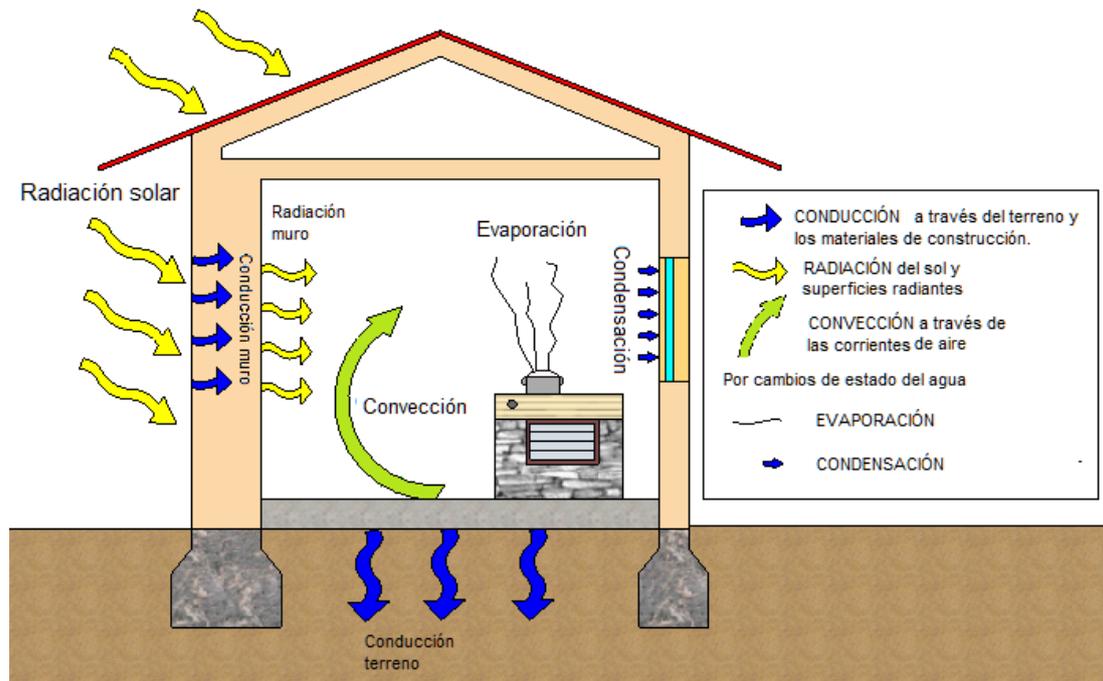


**Figura 5.** Proyectos bioclimáticos en Puno del Arq. Hugo Zea. Biblioteca de la Universidad Nacional del Altiplano.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Transferencia de calor

Existen tres mecanismos de transmisión de calor: la conducción, la convección y la radiación. En la interacción entre edificio, ocupante y exterior entran en juego los tres mecanismos tal y como se indica en la figura 6.



**Figura 6.** Modos de transmisión de calor en los edificios.

(Fuente: García,2008)

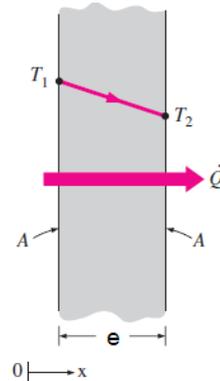
#### 2.1.1. La conducción

La conducción se considera como la transferencia de energía de las partículas más energéticas a las menos energéticas de una sustancia debido a las interacciones entre las mismas (Incropera, 1999).

La rapidez o razón de la conducción  $\dot{Q}_{\text{cond}}$  [W], de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de éste, su espesor y el material de que esté hecho, así como de la diferencia de temperatura a través de él. Considere una conducción de estado estacionario de calor a través de una pared plana grande de espesor  $e$  [m] y área  $A$  [m<sup>2</sup>], como se muestra en la figura 7. La diferencia de temperatura de uno a otro lado de la pared es  $\Delta T = T_2 - T_1$ , la rapidez de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de

temperatura a través de ésta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa, como se expresa en la ecuación 1. La constante de proporcionalidad,  $k$  [W/m·°C], es una propiedad de transporte conocida como conductividad térmica y es una característica del material de la pared. El signo menos es una consecuencia del hecho de que el calor se transfiere en la dirección de la temperatura decreciente (Cengel, 2007).

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = -kA \frac{T_2 - T_1}{e} \quad (1)$$



**Figura 7.** Conducción de calor a través de una pared plana de espesor  $e$  y área  $A$ .

(Fuente: Cengel, 2007)

### 2.1.2. La convección

Es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacentes que están en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección (Cengel, 2007).

La rapidez de la transferencia de calor por convección  $\dot{Q}_{\text{conv}}$  [W], es proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa en forma conveniente por la ley de Newton del enfriamiento como se indica en la ecuación 2, donde  $h_c$  [W/m<sup>2</sup>°C], es una constante de proporcionalidad denominada coeficiente de transferencia de calor por convección,  $A_s$  [m<sup>2</sup>] es el área superficial a través de la cual tiene lugar la transferencia de calor por convección,  $T_s$  [°C] es la temperatura de la superficie y  $T_\infty$  [°C] es la temperatura del fluido suficientemente alejado de esta superficie. El coeficiente de transferencia de calor por convección  $h_c$  no es una propiedad del fluido. Es un parámetro que se determina en forma experimental y cuyo valor depende de todas las variables que influyen sobre la convección como la configuración geométrica de la

superficie, la naturaleza del movimiento del fluido, las propiedades de éste y la velocidad masiva del mismo

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = h_c A_s (T_s - T_\infty) \quad (2)$$

### 2.1.3. La radiación

La radiación térmica es la energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura finita. Sin importar la forma de la materia, la radiación se puede atribuir a cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivos. La energía del campo de radiación es transportada por ondas electromagnéticas (o alternativamente, fotones). Mientras la transferencia de energía por conducción o por convección requiere la presencia de un medio material, la radiación no lo precisa. (Incropera, 1999).

La razón máxima de la radiación  $\dot{Q}_{\text{emitida,máx}}$  que se puede emitir desde una superficie a una temperatura  $T_s$  (en K) es expresada por la ley de Stefan- Boltzmann como se indica en la ecuación 3, donde  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$  es la constante de Stefan Boltzmann,  $T_s$  es la temperatura absoluta [K] de la superficie y  $A_s [\text{m}^2]$  es el área de la superficie.

$$\dot{Q}_{\text{emitida,máx}} = \sigma A_s T_s^4 \quad (3)$$

La superficie idealizada que emite radiación a esta razón máxima se llama cuerpo negro y la radiación emitida por éste es la radiación del cuerpo negro. La radiación emitida por todas las superficies reales es menor que la emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura y se determina con la ecuación 4, donde  $\varepsilon$  es la emisividad de la superficie ( $0 \leq \varepsilon \leq 1$ ), medida de cuán próxima está una superficie de ser un cuerpo negro, para el cual  $\varepsilon = 1$ .

$$\dot{Q}_{\text{emitida}} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (4)$$

Otra importante propiedad relativa a la radiación de una superficie es su absorptividad  $\alpha$ , la cual es la fracción de la energía de radiación incidente sobre una superficie que es absorbida por ésta. Su valor está en el intervalo  $0 \leq \alpha \leq 1$ . Un cuerpo negro absorbe toda la radiación incidente sobre él ( $\alpha = 1$ ).

En general, tanto  $\varepsilon$  como  $\alpha$  de una superficie dependen de la temperatura y de la longitud de onda de la radiación. La ley de Kirchhoff de la radiación afirma que la emisividad y la absorptividad de una superficie a una temperatura y longitud de onda

dadas son iguales. En muchas aplicaciones prácticas, las temperaturas de la superficie y de la fuente de radiación incidente son del mismo orden de magnitud, y la absorptividad promedio de una superficie se considera igual a su emisividad promedio. La razón a la cual una superficie absorbe la radiación se determina a partir de la ecuación 5, donde  $\dot{Q}_{\text{incidente}}$  es la razón a la cual la radiación incide sobre la superficie y  $\alpha$  es la absorptividad de la superficie.

$$\dot{Q}_{\text{absorbida}} = \alpha \dot{Q}_{\text{incidente}} \quad (5)$$

## 2.2. Propiedades térmicas de materiales

Las propiedades relacionadas con la conducción térmica en un material son:

**Conductividad térmica**  $k$  [W/m·°C], cantidad de energía que atraviesa una superficie de 1m<sup>2</sup> y espesor de 1m, cuando las temperaturas a ambos lados difieren en 1°C (Turegano, *et al.*, 2003).

**Resistencia térmica**  $R$  [m<sup>2</sup>·°C/W], es la dificultad que encuentra en un material el calor a la hora de transmitirse por el interior del material. A través de un medio homogéneo la resistencia térmica se relaciona directamente con el grosor del material, ecuación 6, donde  $e$  [m] es el grosor del material y  $k$  [W/m·°C] la conductividad térmica.

$$R = \frac{e}{k} \quad (6)$$

**Difusividad térmica**  $a$  [m<sup>2</sup>/s], expresa la capacidad de un material para transmitir una variación de temperatura. Si sobre una pared muy absorbente, hay gran incidencia de radiación solar, la temperatura de la cara externa de esta pared aumenta significativamente. Si la pared tuviera difusividad térmica grande, rápidamente habrá un aumento de la temperatura en la cara interna (lo que aumentará la temperatura del aire interior). Un bajo valor de  $a$  consigue retardar en muchas horas el aumento de la temperatura de la cara interna de la pared. La ecuación 7 permite determinar el valor de  $a$ , donde  $k$  [W/m·°C] es la conductividad térmica,  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] es la densidad y  $C_e$  [J· kg/°C] es la calor específico del material (Incropera, 1999)

$$a = \frac{k}{\rho \cdot C_e} \quad (7)$$

**Efusividad térmica**  $b$  [W·s<sup>0.5</sup> / (m<sup>2</sup>·K)], expresa la capacidad de un material para absorber o restituir un flujo de calor o potencia térmica. La efusividad térmica de un

material homogéneo se define como la raíz cuadrada del producto de la conductividad térmica  $k$ , la densidad  $\rho$  y el calor específico  $C_e$ . Se calcula con la ecuación 8.

$$b = \sqrt{k \cdot \rho \cdot C_e} \quad (8)$$

**Tiempo de desfase de la onda térmica**  $\Delta t$  [s], es el tiempo que tarda la onda de calor en atravesar una superficie.

**Amortiguamiento térmico**  $\gamma$ , es la relación entre el valor de la amplitud máxima en la superficie interior respecto a la amplitud máxima en la superficie exterior. Durante el lento proceso de conducción del calor a través del muro, las condiciones exteriores cambian, esto provoca que parte del calor que se había acumulado dentro del muro encuentre una salida térmicamente razonable hacia el exterior, produciéndose un rebote de la onda de calor. A esto se le denomina amortiguación de la onda térmica

Una relación para la estimación del desfase y amortiguamiento de la onda de calor a través de paredes, se analiza con la ecuación de transferencia de calor unidimensional por conducción en estado no estacionario. Así, las ecuaciones 9 y 10 permiten determinar el tiempo de desfase térmico  $\Delta t$  [s] y amortiguamiento térmico  $\gamma$  a través de una pared, respectivamente. Donde  $e$  es el espesor de la pared,  $a$  es la difusividad térmica,  $P$  es el periodo ( $P=24h$ ) y  $\omega$  es la frecuencia ( $\omega = 2\pi/P$ ). Los desfases mayores se obtienen para los materiales más densos y con mayor espesor, con el calor específico alto y una baja conductividad térmica (Monroy, 1995).

$$\Delta t = \sqrt{\frac{1}{2\omega a}} e = 0,28 L \sqrt{\frac{P}{a}} = 82,918 e \sqrt{\frac{1}{a}} \quad (9)$$

$$\gamma = \exp\left[-e \sqrt{\frac{\omega}{2a}}\right] = \exp\left[-e \sqrt{\frac{\pi}{P \cdot a}}\right] \quad (10)$$

**Tabla 1.** Propiedades térmicas para una pared de adobe de 40cm.

Propiedad	Pared de adobe de 0,40m
Difusividad térmica	$6,45 \times 10^{-7} m^2/s$
Desfase térmico	11,46h
Amortiguamiento térmico	0,05=5%

Aplicando las ecuaciones 7, 9 y 10, se calcula la difusividad, desfase y amortiguamiento de una pared de adobe de 40cm (valores mostrados en la tabla 1), como resultado después de 11,46h se siente los efectos de la temperatura exterior en

el interior. Para una pared de similar espesor, sólo el 5% de calor logra a travesar la pared, el resto es devuelto al exterior.

### 2.3. Pérdidas y ganancias de calor en una vivienda

En términos generales, las condiciones térmicas de un edificio dependen de la magnitud de las pérdidas y ganancias de calor que está teniendo en un momento dado. La vivienda tenderá a calentarse cuando las ganancias de calor sean mayores que las pérdidas, y a enfriarse en la situación contraria (Sol-arq, s.f.).

Las principales fuentes de ganancias y/o pérdidas de calor de un edificio son internas, solares, conducción y ventilación. En los siguientes párrafos se establece los procedimientos generales para calcular esos valores.

#### 2.3.1. Ganancias internas ( $\dot{Q}_{internas}$ )

Se denominan ganancias internas a la cantidad de calor que se produce al interior de un local emitido por los ocupantes, la iluminación, aparatos diversos, motores, entre otros.

- **Ganancia de calor por los ocupantes.** Los ocupantes del local disipan calor a través de la epidermis. Cuya intensidad es variable según el individuo y la actividad que desarrolla (Díaz, 2005).
- **Ganancias de calor por iluminación.** La iluminación constituye una fuente de calor (Díaz, 2005).
- **Ganancias de calor por otras fuentes.** Es necesario conocer sus características y tiempo de funcionamiento de los aparatos eléctricos emiten calor.

#### 2.3.2. Pérdidas o ganancias por conducción y convección ( $\dot{Q}_c$ )

Cuando existen flujos de calor a través de la envolvente de la vivienda (muros, cubiertas y suelos) dependiendo del sentido de dichos flujos, se tiene pérdidas o ganancias de calor. La ecuación 11 permite cuantificar la rapidez de transferencia de calor a través de una superficie plana como muros, piso, techo, entre otros. Donde  $U$  [ $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ] es el coeficiente global de transferencia de calor,  $A$  [ $m^2$ ] es el área de la superficie y  $\Delta T$  [ $^\circ C$ ] es la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior. El coeficiente  $U$  se calcula con la ecuación 12,  $e_i$  y  $k_i$  representan el espesor y conductividad térmica de los materiales que componen la superficie, respectivamente,  $1/h_e$  es la resistencia superficial exterior y  $1/h_i$  es la resistencia superficial interior. La tabla 2 muestra los valores característicos de los materiales de la pared.

$$\dot{Q}_c = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (11)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_e} + \sum \frac{e_i}{k_i} + \frac{1}{h_i} \quad (12)$$

**Tabla 2.** Resistencias térmicas superficiales  $1/h_i+1/h_e$  [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ].  
(Valores tomados de EM110, 2014<sup>3</sup>)

Posición del cerramiento		Resistencia superficial		
		$R_{si}=1/h_i$	$R_{se}=1/h_e$	$1/h_i+1/h_e$
Cerramiento vertical o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal		0,11	0,06	0,17
Cerramiento horizontales o con pendiente sobre la horizontal $<60^\circ$		0,17* 0,09**	0,05	0,22* 0,14**
Para pisos sin cámara de aire		0,17* 0,09**	0,17* 0,09**	0,34* 0,18**

$R_{si}$  y  $R_{se}$  es la resistencia superficial interior y exterior, respectivamente.

(\*) Para las zonas bioclimáticas 1, 2, 3, 7, 8 y 9.

(\*\*) Para las zonas bioclimáticas 4, 5 y 6.

### 2.3.3. Pérdidas o ganancias por renovación de aire ( $\dot{Q}_{\text{renovación}}$ )

El calor perdido por unidad de tiempo por renovación de aire puede ser estimada por las ecuaciones 13 y 15, donde  $\dot{m}_{\text{renovación}}$  es el flujo de masa de aire (ecuación 14),  $N$  representa el número de cambios de aire por hora ( $N=1$ ),  $V_{\text{aire}}$  es el volumen de la habitación,  $C_{e_{\text{aire}}} = 1006,5 \text{ J/kg} \cdot ^\circ C$  es el calor específico del aire, y  $\rho_{\text{aire}}$  es la densidad del aire, para condiciones de altura (3700msnm)  $\rho_{\text{aire}} = 0,798 \text{ kg/m}^3$ ,  $T_{\text{interior}}$  y  $T_{\text{exterior}}$  son las temperaturas al interior de la vivienda y del ambiente exterior, respectivamente (CER-UNI, 2009).

$$\dot{Q}_{\text{renovación}} = \dot{m}_{\text{renovación}} \cdot C_{e_{\text{aire}}} \cdot (T_{\text{exterior}} - T_{\text{interior}}) \quad (13)$$

$$\dot{m}_{\text{renovación}} = \frac{N \cdot V_{\text{aire}} \cdot \rho_{\text{aire}}}{1 \text{ hora}} \quad (14)$$

$$\dot{Q}_{\text{renovación}} = 0,223 N \cdot V_{\text{aire}} \cdot (T_{\text{exterior}} - T_{\text{interior}}) \quad (15)$$

### 2.3.4. Calor a través de grandes aberturas intencionales ( $\dot{Q}_v$ )

La relación que describe el flujo de aire a través de una grande abertura intencional se basa en la ecuación de Bernoulli, con flujo incompresible estable. La forma general

<sup>3</sup> MVCS, (2014). Norma EM 110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética, Lima. Anexo N° 2 Metodología de cálculo para obtener Confort térmico. p. 523087, 523094.

que incluye Stack, el viento y las presiones de ventilación mecánica a través de la apertura (ASHRAE, 2013) está dada por ecuación 16.

$$\dot{V} = A \cdot C_D \cdot \sqrt{2\Delta p / \rho_{aire}} \quad (16)$$

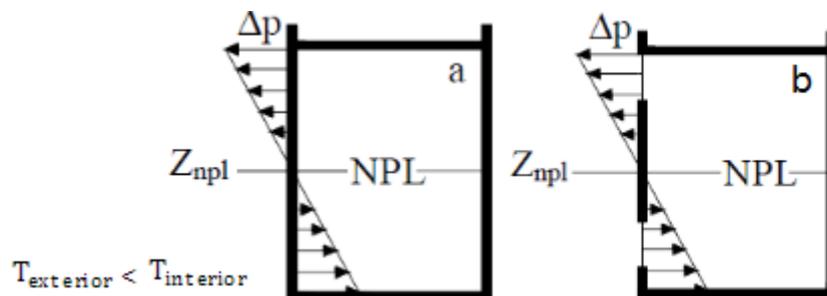
Donde  $\dot{V}$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] es el caudal del flujo de aire,  $A$  [ $\text{m}^2$ ] es el área de la apertura,  $\rho_{aire}$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] es la densidad del aire,  $\Delta p$  [Pa] diferencia de presión a través de la apertura.  $C_D$  es el coeficiente de descarga de la apertura, un número adimensional que depende de la geometría de la apertura y el número de Reynolds (ASHRAE, 2013).

La rapidez de transferencia de calor que ingresa o sale de una habitación a través de las aberturas se calcula utilizando ecuación 17. Donde  $\dot{V}$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] es el caudal de aire que ingresa o sale,  $C_{e_{aire}}$  [ $\text{J}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$ ] es el calor específico del aire,  $\rho_{aire}$  es la densidad del aire,  $T_{interior}$  es la temperatura de la habitación y  $T_{exterior}$  es la temperatura del ambiente exterior (ASHRAE, 2013).

$$\dot{Q}_V = \dot{V} \cdot C_{e_{aire}} \cdot \rho_{aire} \cdot (T_{exterior} - T_{interior}) \quad (17)$$

#### 2.3.4.1. Flujo causado sólo por diferencia de temperaturas: El efecto Stack

El movimiento de aire por efecto Stack ocurre cuando las diferencias de temperaturas causan diferencias de densidad en el aire y provocan diferencias de presión entre el interior y el exterior. Cuando la temperatura interior del edificio es mayor que la externa, la distribución de presiones sobre el edificio puede tomar las formas mostradas en la figura 8 (Yarke, 2005).



**Figura 8.** Distribución de la diferencia de presiones Stack  $\Delta p$  y posición del NPL para diferentes configuraciones de aberturas en ausencia del viento.

(Fuente: Yarke, 2005).

En estos casos el aire fluye hacia dentro a través de las aberturas por debajo del nivel neutral de presión (NPL=neutral pressure level) y hacia fuera por encima de él. El nivel neutral de presión es la altura en la que las presiones interiores y exteriores se igualan.  $Z_{npl}$  es la distancia del NPL al nivel de referencia. En un edificio uniforme, con ausencia de viento el NPL se encuentra cerca de la mitad de la altura del edificio figura

8a. El tamaño y la posición de las aberturas determinan la ubicación del NPL figura 8b (Yarke, 2005).

El caudal de aire debido a la diferencia de temperaturas puede ser calculado por la ecuación 18. Donde  $\dot{V}$  [m<sup>3</sup>/s] es el caudal de aire,  $A$  [m<sup>2</sup>] es el área de la abertura,  $C_D$  es el coeficiente de descarga,  $g=9,8$  m/s<sup>2</sup> es la gravedad,  $\Delta H_{NPL}$  [m] altura del punto medio de abertura inferior a NPL,  $T_{interior}$  y  $T_{exterior}$  temperatura interior y exterior [en kelvin]. La ecuación 18 es válida cuando  $T_{interior} > T_{exterior}$ . Sí  $T_{interior} < T_{exterior}$ , remplazar  $T_{interior}$  en el denominador con  $T_{exterior}$ , y reemplazar  $(T_{exterior} - T_{interior})$  en el numerador (ASHRAE, 2013).

$$\dot{V} = A \cdot C_D \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta H_{NPL} \cdot (T_{interior} - T_{exterior}) / T_{interior}} \quad (18)$$

Estimación de  $\Delta H_{NPL}$  es difícil para los edificios con ventilación natural. Si una ventana o puerta representa una fracción grande (aproximadamente 90%) del área de abertura total en el sobre, entonces la NPL está en la mitad de la altura de dicha abertura, y  $\Delta H_{NPL}$  es igual a la mitad de la altura de la abertura. Para esta condición, el flujo a través de la abertura es bidireccional (es decir, aire desde el lado más caliente fluye a través de la parte superior de la abertura, y aire desde el lado más frío fluye a través de la parte inferior). Según ASHRAE (2013), Kiel y Wilson en 1986 sugieren que el coeficiente de descarga del orificio se puede calcular según la ecuación 19 (temperatura en kelvin).

$$C_D = 0,40 + 0,0045 \times |T_{interior} - T_{exterior}| \quad (19)$$

Uno de los experimentos más serios realizados para el cálculo de  $C_D$  fue el de F.Flourentzou, J. Van der Maas y C.A.Roulet, quienes calcularon  $C_D$  aproximado a 0,6 (Yarke, 2005).

#### **2.3.4.2. Flujo causado sólo por el viento.**

Aspectos de viento que afectan la tasa de ventilación incluyen la velocidad media, dirección predominante, la variación estacional y diaria de la velocidad y dirección, y obstrucciones locales como los edificios cercanos, colinas, árboles y arbustos (ASHRAE, 2013).

La ecuación 20 muestra el caudal de aire  $\dot{V}$  [m<sup>3</sup>/s] que debe ser forzada a ingresar a través de aberturas de entrada por el viento o para determinar el tamaño adecuado de las aberturas para producir caudales de aire. Donde  $A$  [m<sup>2</sup>] es el área de la abertura,  $v$

[m/s] es la velocidad del viento y  $C_V$  [adimensional] es la efectividad de aberturas. Se recomienda que  $C_V$  sea 0,25 para vientos diagonales (ASHRAE, 2013).

$$\dot{V} = A \cdot C_V \cdot v \quad (20)$$

### **2.3.5. Ganancias solares ( $\dot{Q}_S$ )**

La radiación solar que incide sobre el edificio puede generar importantes ganancias de calor. Cuando éstas se dan a través de superficies opacas (muros y cubiertas, por ejemplo) se denominan indirectas, y cuando ocurren a través de superficies transparentes, como el vidrio, se llaman directas. En el método del balance térmico se recomienda calcular las ganancias indirectas por medio del parámetro temperatura sol-aire. Sin embargo en ocasiones puede resultar útil conocer las ganancias solares indirectas independientemente de la temperatura del aire exterior (Sol-arq, s.f.).

#### **2.3.5.1. Transmisión de calor a través del acristalamiento**

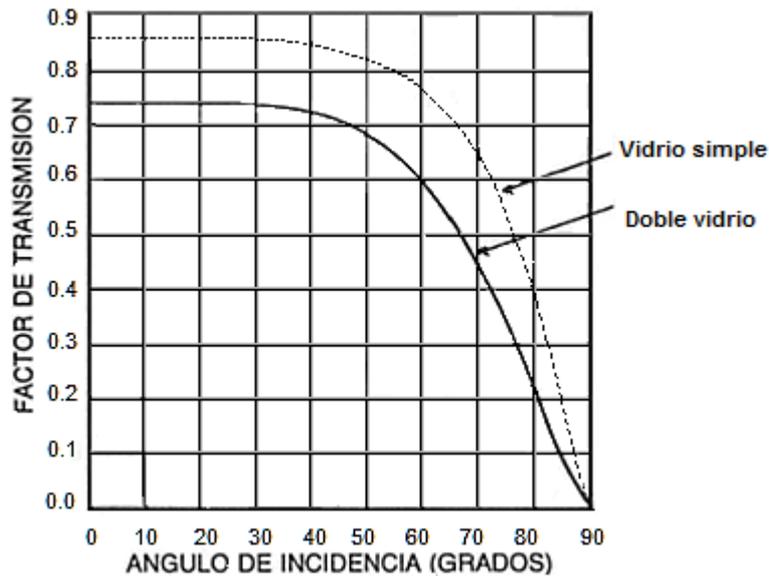
Cuando la radiación solar incide sobre un acristalamiento suceden varios fenómenos característicos. Una parte de la radiación solar es reflejada. Otra parte de la radiación solar penetra el vidrio y es absorbida, propiciando su calentamiento. Finalmente, la parte de la radiación que no es reflejada ni absorbida atraviesa el vidrio y es transmitida directamente al espacio interior (Sol-arq, s.f.).

En la mayoría de los ámbitos de análisis relacionados con los vidrios, la única propiedad térmica considerada es la conductividad ( $k$ ) junto con el espesor del vidrio ( $e$ ), este parámetro se emplea para calcular el coeficiente global de transferencia de calor  $U$  de los sistemas de acristalamiento.

La transmitancia  $\tau$  es un valor entre 0 a 1, es una propiedad óptica y expresa la cantidad de radiación solar que puede atravesar un vidrio, comparada con la radiación solar que incide sobre él.

El valor de la radiación solar unitaria a través del vidrio común depende de la latitud, de la hora del día, día del año y de la orientación del mismo. La componente de radiación directa origina ganancia de calor en el espacio acondicionado sólo cuando la ventana es atravesada por los rayos solares, mientras que la componente de radiación difusa origina ganancia de calor cualquiera que sea la posición de la ventana en relación con el sol (Díaz, 2005).

La magnitud de calor reflejada y transmitida depende del ángulo de incidencia (ángulo formado por la normal al cristal con la dirección de los rayos del sol). Cuando aumenta el ángulo de incidencia aumenta también el calor reflejado y disminuye el transmitido (Mazrai, 1983). La figura 9 muestra el factor de transferencia de un cristal según el ángulo de incidencia de los rayos solares.



**Figura 9.** Factor de transmisión para un vidrio simple y doble vidrio respecto al ángulo de incidencia de los rayos solares.  
(Fuente: Mazrai, 1983)

La rapidez de transferencia de calor a través del acristalamiento  $Q_{cr}$  [W] se determina con la ecuación 21. Donde  $U_{cr}$  [ $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ] es el coeficiente de transmisión de calor del acristalamiento,  $A_{cr}$  [ $m^2$ ] es la superficie del acristalamiento,  $\Delta T$  [ $^\circ C$ ] es la diferencia de temperatura de los ambientes exterior e interior,  $G_D$  [ $W/m^2$ ] y  $G_d$  [ $W/m^2$ ] son el promedio diario de irradiación directa y difusa medias mensuales sobre la superficie acristalada,  $A_{cr-D}$  [ $m^2$ ] y  $A_{cr-d}$  [ $m^2$ ] es la superficie de acristalamiento afectada por la radiación solar directa y difusa, respectivamente,  $\tau_1$  y  $\tau_2$  son las transmitancias del acristalamiento para la radiación solar directa y difusa, respectivamente (Corrales, 2012b).

$$Q_{cr} = A_{cr} \cdot U_{cr} \cdot \Delta T + G_D \cdot A_{cr-D} \cdot \tau_1 + G_d \cdot A_{cr-d} \cdot \tau_2 \quad (21)$$

La transmitancia del acristalamiento para radiación solar directa ( $\tau_1$ ) depende del ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la superficie acristalada y del número de vidrios que conforman dicho acristalamiento. El ángulo de incidencia de los rayos del sol sobre el acristalamiento ( $\theta$ ) se calcula mediante la ecuación 22, donde  $\alpha$  [ $^\circ$ ] es el acimut del Sol,  $\psi$  [ $^\circ$ ] es el acimut de la pared,  $h$  [ $^\circ$ ] es la altura solar y  $\beta$  [ $^\circ$ ] es el ángulo de inclinación del muro respecto al plano horizontal para paredes verticales

( $\beta = 90^\circ$ ). La declinación solar  $\delta$  [°] se calcula con la ecuación 24, donde  $n$  es el número del día del año. De la ecuación 25,  $w$  [°] es el ángulo horario y HS es la hora solar. De la ecuación 26,  $\phi$  [°] es la latitud del lugar (Duffie, 2006).

$$\cos \theta = \cos h \cdot \sin \beta \cdot \cos(a - \psi) + \sin h \cdot \cos \beta \quad (22)$$

$$\theta = \arccos[\cos h \cdot \cos(a - \psi)] \quad (23)$$

$$\delta = 23,45^\circ \times \sin\left(2\pi \frac{n - 81}{365}\right) \quad (24)$$

$$w = 15^\circ(12 - HS) \quad (25)$$

$$h = \arcsen(\sen\phi \cdot \sen\delta + \cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \cos w) \quad (26)$$

$$a = \arcsen\left(\frac{\cos\delta \cdot \sen w}{\cos h}\right) \quad (27)$$

La transmitancia de dicho acristalamiento para la radiación solar difusa ( $\tau_2$ ), depende exclusivamente del número de vidrios que conforman el acristalamiento y que generalmente se considera coincidente con el valor obtenido para  $\tau_1$  correspondiente al ángulo de incidencia de  $58^\circ$ . Entonces  $\tau_2$  es aproximadamente igual a 0,78 y 0,62 para vidrios simples y vidrios dobles, respectivamente (Corrales, 2012b).

### 2.3.5.2. Temperatura sol-aire

La temperatura sol-aire  $T_{sa}$  [°C] es aquella equivalente que combina los efectos de la temperatura caliente del aire y la radiación solar incidente. Tiene un valor más elevado que la temperatura del aire, y puede utilizarse para los cálculos de la rapidez de transferencia de calor cuando se trate de superficies que reciben la radiación solar (ASHRAE, 2013).

Con la ecuación 28 se calcula la temperatura sol-aire, donde  $\alpha$  es la absorptancia de la superficie,  $G$  [ $W/m^2$ ] es la radiación solar incidente sobre la superficie,  $h_{r-c}$  [ $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ] coeficiente de transferencia de calor por radiación de onda larga y de convección a la superficie exterior,  $T_{exterior}$  [°C] es la temperatura exterior,  $\varepsilon$  emitancia de la superficie y  $\Delta R$  [ $W/m^2$ ] es la diferencia entre la radiación incidente de onda larga en la superficie del cielo y sus alrededores la radiación emitida por un cuerpo negro a la temperatura del aire exterior.

$$T_{sa} = T_{exterior} + \frac{\alpha \cdot G}{h_{r-c}} - \frac{\varepsilon \cdot \Delta R}{h_{r-c}} \quad (28)$$

ASHRAE (2013, p. 18.22) cita a Bliss (1961), para superficies horizontales la radiación de onda larga recibida tienen un valor apropiado de  $\Delta R = 63,05 \text{ W/m}^2$ .

Debido a que las superficies verticales reciben la radiación de onda larga de la tierra y los edificios circundantes, así como desde el cielo, los valores  $\Delta R$  son difíciles de determinar. Cuando la intensidad de radiación solar es elevada, superficies de objetos terrestres tienen generalmente una temperatura más alta que el aire exterior; por lo tanto, su radiación de onda larga compensa en cierta medida para baja emitancia del cielo. Por lo tanto, es una práctica común suponer  $\Delta R = 0$  para superficies verticales (ASHRAE, 2013).

La temperatura sol-aire  $T_{sa}$  hora a hora para cualquier día del año para el techo es determinada por la ecuación 29 y para las paredes con la ecuación 30.

$$T_{sa}(\text{techo}) = \frac{1}{h_{r-c}} (\alpha \cdot G + 63,05 \cdot \varepsilon) + T_{\text{exterior}} \quad (29)$$

$$T_{sa}(\text{pared}) = \frac{\alpha \cdot G}{h_{r-c}} + T_{\text{exterior}} \quad (30)$$

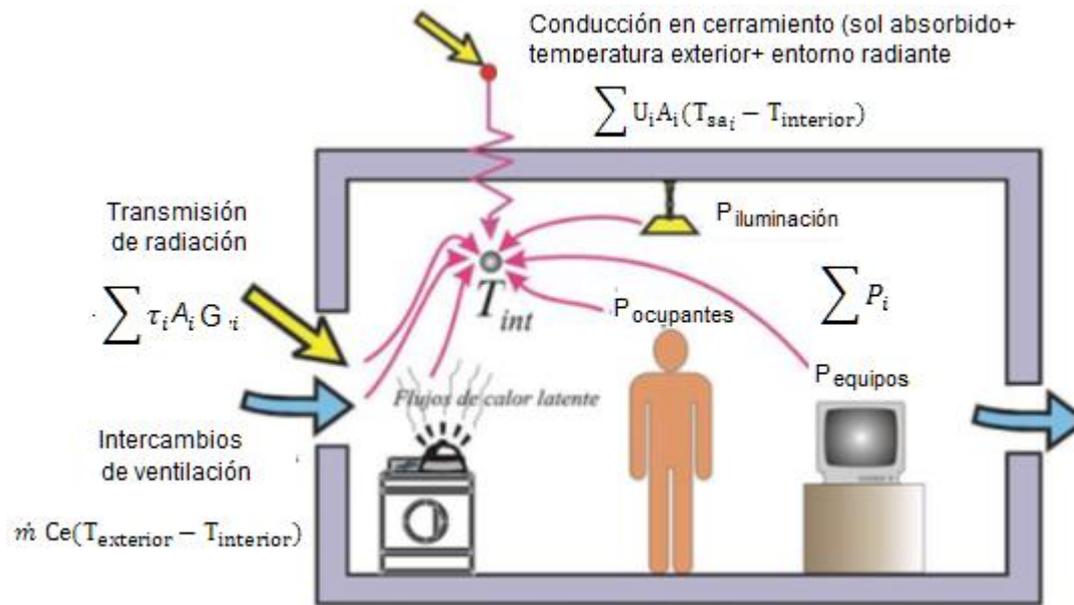
ASHRAE sugiere ciertos valores para el término  $\alpha/h_{r-c}$  (0,15 para colores claros y 0,30 para los colores oscuros).

### 2.3.6. Balance de energía

La rapidez de transferencia de calor resultante de las pérdidas o las ganancias de calor se calcula con la ecuación 31. Reemplazando la rapidez de transferencia de calor por conducción, transmisión, ganancias interiores y ventilación resulta la ecuación 32, donde  $U_i$  [ $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ] es el coeficiente global de transferencia del calor,  $A_i$  [ $\text{m}^2$ ] representa el área perpendicular al flujo de calor,  $T_{sai}$  [ $^\circ\text{C}$ ] es la temperatura sol-aire de cada componente de la vivienda,  $\tau_i$  es la transmitancia térmica del acristalamiento,  $G_i$  [ $\text{W/m}^2$ ] es radiación solar incidente sobre el acristalamiento,  $P_i$  [ $\text{W/m}^2$ ] es el flujo ganado debido a ocupación o dispositivos eléctricos al interior de la vivienda,  $\dot{m}$  es el flujo de masa de aire,  $C_e$  [ $\text{J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ ] es el calor específico del aire,  $T_{\text{interior}}$  es la temperatura al interior de la vivienda y  $T_{\text{exterior}}$  es la temperatura exterior.

$$\dot{Q} = \dot{Q}_c + \dot{Q}_{cr} + \dot{Q}_{\text{internas}} + \dot{Q}_{\text{renovación}} \quad (31)$$

$$\dot{Q} = \sum U_i A_i (T_{sai} - T_{\text{interior}}) + \sum \tau_i A_i G_i + \sum P_i + \dot{m} C_e (T_{\text{exterior}} - T_{\text{interior}}) \quad (32)$$



**Figura 10.** Flujos de calor en un local para régimen estacionario.

(Fuente: Corrales, 2012b).

## 2.4. Confort térmico

El confort está definido como aquello que produce bienestar y comodidades, (RAE, 2001). La sensación de confort térmico está relacionada con un estado de satisfacción o comodidad (el sentirse bien) del ser humano frente a unas condiciones determinadas del ambiente higrotérmico que nos rodea (Wieser, 2011). La Norma ISO 7730 la describe como la "... condición de mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico".

Por su parte, Givoni (1998) define al confort térmico como "la ausencia de irritación o malestar térmico". Este autor define unas zonas de bienestar térmico, cuya delimitación tienen un fundamento fisiológico y están determinadas por un conjunto de condiciones para las que los mecanismos termorreguladores se encuentran en un estado de mínima actividad. A partir de ellas, elabora su conocido diagrama o carta bioclimática para edificios.

"El concepto de confort va más allá de la simple ausencia de notorias disfuncionalidades climáticas; no obstante se puede precisar en el sentido más estrecho, como la sensación subjetiva de calor o frío, la cual depende de la intensidad con que estén funcionando los recursos de termorregulación, los cuales a su vez dependen de un limitado número de variables microclimáticas" (Morillón, *et al.*, 2002).

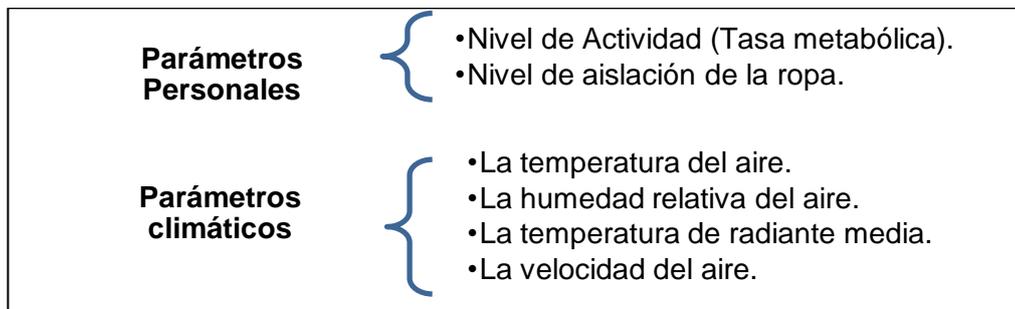
La complejidad de evaluar el confort térmico se ilustra en la figura 11 un día frío, una persona vestida normal puede descansar al costado de una chimenea al interior de su vivienda, al tiempo que otra persona con ropa ligera puede estar haciendo deporte en el exterior. Ambas personas pueden sentirse cómodas aunque se encuentren en ambientes térmicos totalmente diferentes. Esto nos recuerda que el confort térmico es una cuestión de muchos parámetros físicos, y no solo uno (Kvisgaard ,1997).



**Figura 11.** Ambientes con diferentes condiciones térmicas.

#### 2.4.1. Parámetros de confort térmico

La satisfacción con el ambiente térmico es un proceso complejo, y cuya respuesta depende de la interacción de muchas variables. La percepción de la comodidad está influenciada por estas variables, que incluyen no sólo parámetros personales sino también parámetros físicos ambientales. Son 6 los principales factores determinantes del confort térmico: 2 son variables subjetivas (que dependen solo de las personas) y 4 son variables ambientales.



**Figura 12.** Esquema de los parámetros personales y climáticos que determinan la comodidad térmica.

En la figura 12 los dos primeros parámetros son personales y en la mayoría de los casos sólo se pueden estimar. Los otros cuatro se pueden obtener a través de mediciones y representan los parámetros físicos del ambiente, que expresan las

características físicas y ambientales de un espacio habitable, independiente del uso del espacio y de sus ocupantes.

## 2.4.2. Parámetros personales

Los aspectos personales juegan un papel importante a la hora de sentirse cómodo en un lugar. Sólo el metabolismo basal de una persona (que permite que su organismo siga vivo) hace que se generen entre 65 y 80 W, en función de la edad, el sexo y el tamaño de la persona. El calor generado por el cuerpo humano se libera de modo porcentual mediante radiación, convección y evaporación.

### 2.4.2.1. La tasa metabólica

El metabolismo es el motor del cuerpo, y la cantidad de energía producida por el metabolismo depende de la actividad muscular. El metabolismo se suele medir en Met (1Met=58 W/m<sup>2</sup> de superficie corporal), correspondiente al nivel de actividad de una persona sedentaria. Un adulto normal tiene una superficie de piel de 1,7 m<sup>2</sup>, de manera que una persona en reposo pierde aproximadamente 100 W. Cuando se evalúa el nivel metabólico de una persona es importante calcular el valor medio durante la última hora como mínimo, ya que la capacidad térmica del cuerpo hace que éste cambie de temperatura muy lentamente.

**Tabla 3.** Niveles metabólicos – Met. (Fuente: Kvisgaard B., 1997)

Actividad	Producción de energía metabólica	
	W/m <sup>2</sup>	Met
Acostado	46	0,8
Sentado relajado	58	1,0
De pie, relajado	70	1,2
Actividad sedentaria: oficina, vivienda, escuela	70	1,2
Trabajo doméstico: afeitarse, lavarse, vestirse	100	1,7
Caminando en horizontal 2km/h	110	1,9
Construcción: cargando una carretilla con piedras	275	4,7
Deporte: corriendo a 15 km/h	550	9,5

Nota: 1 Met = 58,2 W/ m<sup>2</sup>

El rango de valores que puede alcanzar el metabolismo de una persona es amplio, en función de las actividades que realice. Nuestro metabolismo está al mínimo mientras dormidos (0,8 Met) y se incrementa al máximo durante actividades deportivas, pudiendo superar los 10 Met. Algunos de los valores se muestran en la tabla 3.

### 2.4.2.2. Estimación del nivel de ropa Clo

La ropa reduce la pérdida de calor del cuerpo. Por lo tanto, la ropa se clasifica según su valor de aislamiento. La unidad normalmente usada para medir el aislamiento de ropa es la unidad Clo ( $1\text{Clo} = 0,155\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ ).

La escala Clo se ha diseñado para que una persona desnuda tenga un valor de 0,0 Clo, y alguien vestido con un traje típico de negocio tenga un de valor de 1,0 Clo. El valor Clo se puede calcularse si se conoce la vestimenta de las personas y los valores Clo de cada una de las prendas, sumando simplemente los valores de cada una.

**Tabla 4.** Niveles de ropa – Clo. (Fuente: Kvisgaard B., 1997)

Prendas de vestir	Prendas	Clo	$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$
Ropa interior inferior	Medias	0,02	0,003
	Panty	0,03	0,005
	Bragas y calzoncillos	0,04	0,006
Camisas	Camisa manga corta	0,09	0,029
	Blusa ligera, manga larga	0,15	0,023
	Camisa franela, manga larga	0,3	0,047
Pantalones	Pantalones cortos	0,06	0,009
	Pantalones normales	0,25	0,039
	Pantalones de franela	0,28	0,043
Suéter	Chaleco	0,12	0,019
	Suéter normal	0,28	0,043
Chaqueta Abrigos	De vestido	0,13	0,020
	Chaqueta ligera de verano	0,25	0,039
	Abrigo	0,60	0,093
Calzado	Calcetines	0,02	0,003
	Zapato suela gruesa	0,04	0,006
	Botas	0,10	0,016
Falda, vestido	Falda ligera, 15 cm sobre rodilla	0,10	0,016
	Falda gruesa hasta la rodilla	0,25	0,039
	Vestido de invierno manga larga	0,40	0,062
Asientos	Madera o metal	0,00	0,000
	tapizado, acolchado, con cojín	0,10	0,016
	Sillón	0,20	0,032

Nota:  $1\text{Clo} = 0,155\text{ m}^2\text{ }^\circ\text{C/W}$

El valor Clo obtenido mediante el cálculo suele tener una exactitud suficiente. Si se requieren valores exactos es mejor medir el valor Clo utilizando un maniquí calentado. Cuando se calcula los valores Clo es importante recordar que las butacas tapizadas, los asientos de automóvil y las camas también reducen la pérdida de calor del cuerpo, y por lo tanto, estos deben incluirse en el cálculo total. La tabla 4 muestra algunos valores de Clo para determinadas prendas de vestir.

### **2.4.3. Parámetros ambientales**

Cuando se mide el ambiente térmico de una habitación es importante recordar que el hombre no puede sentir la temperatura del local, sino el calor que pierde su cuerpo. Los parámetros que se deben medir son aquellos que afectan a la pérdida de energía. Además, no es suficiente medir solo uno de ellos. Estos parámetros son:

- ❖ Temperatura del aire que envuelve el cuerpo, que regula la cesión de calor por conducción-convección y por respiración. [°C]
- ❖ Temperatura de radiación, media ponderada de las superficies que envuelven el cuerpo, que influye sobre los intercambios radiantes. [°C]
- ❖ Humedad relativa del aire (porcentaje de vapor de agua que tiene el aire en relación al máximo que puede contener a su temperatura sin saturarse), que modifica las pérdidas por evaporación de transpiración y la humedad cedida con la respiración. [%]
- ❖ Velocidad del aire respecto al cuerpo, influyente en la disipación por convección y en la velocidad de evaporación de la transpiración. [m/s]

### **2.5. Zona de confort**

Las condiciones bajo las cuales el cuerpo humano consigue estar en un punto de equilibrio se definen como zona de confort. El estudio del confort térmico ha permitido el desarrollo de diferentes indicadores bioclimáticos que pretenden identificar el modo de incidencia de los diferentes factores y parámetros sobre el equilibrio térmico, entre ellos se tiene los índices de valoración de Fanger, el diagrama bioclimático de Olgyay, la carta psicométrica de Givoni, triángulos de Evans, entre otros. Para mayor detalle ver el ANEXO A.

#### **2.5.1. Modelos adaptativos de la temperatura de confort**

Los estudios realizados en laboratorio ofrecen condiciones estáticas y controlables para la medición, algo que no es posible en los estudios de campo. En la actualidad es ampliamente aceptado las cámaras climáticas, sin embargo no proporcionaban a los seres humanos lo que se denomina experiencia de realismo en la determinación del confort térmico, ya que las personas viven en ambientes cambiantes, menos controlables, lo que podría ser un problema cuando los estándares basados en estudios de laboratorio son aplicados (De Dear *et al.*, 1998).

“Los modelos adaptativos incluyen en cierta manera las variaciones en el clima exterior para determinar las preferencias térmicas en el interior. Son también conocido como de neutralidad térmica, y se diferencian de los modelos de aproximación

racional fundamentalmente por el hecho de que no tiene una base termo fisiológica sustentada en resultados experimentales de laboratorio. Por el contrario, el modelo de adaptación se basa en resultados de estudios de confort térmico realizados en campo, y bajo una amplia gama de condiciones climáticas “ (Auliciems & Szokolay, 2007).

La temperatura de neutralidad ( $T_n$ ) es asumida generalmente como la temperatura de confort. La tabla 5 muestra las relaciones encontradas por diferentes autores, donde  $T_m$  representa el promedio anual o mensual de la temperatura exterior del lugar.

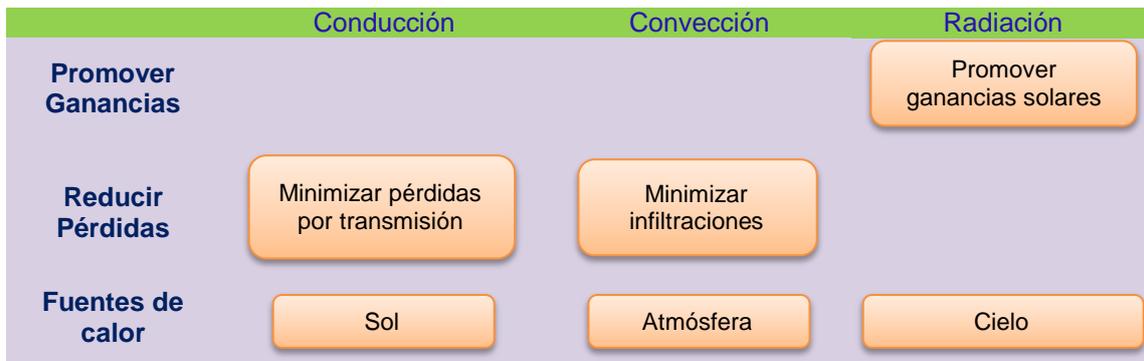
**Tabla 5.** Modelos de temperatura adaptativa.  
(Fuente: Gómez-Azpeitia, *et al.*, 2007)

<b>Autor</b>	<b>Modelo</b>	<b>Coefficiente de correlación</b>
Humphreys (1976)	$T_n = 11,9 + 0,534 T_m$	( $r=0,97$ )
Auliciems (1981)	$T_n = 17,6 + 0,31 T_m$	( $r=0,88$ )
Griffiths (1990)	$T_n = 12,1 + 0,534 T_m$	
Nicol et al. (1993)	$T_n = 17,0 + 0,38 T_m$	( $r=0,975$ )
Brager /de Dear (1998)	$T_n = 17,8 + 0,31 T_m$	
Humphreys / Nicol (2000)	$T_n = 13,5 + 0,54 T_m$	

## 2.6. Estrategias bioclimáticas

Las estrategias que tengan en cuenta las condiciones climáticas del lugar y su interacción con el medio ambiente, proporcionando la adecuación de la vivienda para el clima, por lo general se designarán como Estrategias Bioclimáticas. Ellas son, básicamente, las normas generales que tienen por objeto orientar el diseño de la vivienda que se aprovechan de las condiciones meteorológicas de cada lugar. Estas estrategias pueden acercar a la vivienda al confort y reducir así su consumo energético.

“Las estrategias bioclimáticas son un conjunto de normas o medidas de carácter general para influir en la forma de la construcción, así como sus procesos, sistemas y componentes de construcción. Estrategias para la adopción de un determinado edificio o proyecto deben ser seleccionados; teniendo en cuenta el clima, la función de construcción local específico y por lo tanto el modo de ocupación y funcionamiento de la misma, con el fin de promover un buen rendimiento en términos de adaptación al cambio climático” (Gonçalves & Mariz Graça, 2004). La figura 13 muestra estrategias bioclimáticas para un clima frío.



**Figura 13.** Estrategias bioclimáticas para un clima frío.

(Fuente: Gonçalves & Mariz Graça, 2004)

### 2.6.1. Técnicas bioclimáticas

Espinoza (2014) sostiene que un indicador bioclimático nos dice “*qué hacer*”, no nos dice “*cómo hacerlo*”. El “*cómo hacer*” es la técnica o componente bioclimática que se aplicará para que se cumpla la estrategia. El resultado de la estrategia es calentar el ambiente; la técnica o componente bioclimático será el medio a través del cual se logra ese calentamiento, por ejemplo una ventana en el techo (claraboya) o un invernadero adosado.

Con el empleo de indicadores bioclimáticos para el ambiente interior y para el ambiente exterior, se determinan las estrategias bioclimáticas adecuadas para alcanzar el confort térmico. Luego, interpretando las estrategias bioclimáticas se crearán las respectivas técnicas o componentes bioclimáticos que se instalarán en la edificación con la finalidad de proveer comodidad térmica a sus ocupantes.

Las técnicas bioclimáticas de calentamiento más destacadas son el uso de claraboyas, invernaderos adosados y muros trombe, las cuales utilizan el calentamiento solar pasivo. Otras técnicas son el aislamiento de techos y pisos, utilización del vidrio doble en ventanas, el uso de la madera en puertas, contraventanas y marcos de las ventanas, materiales con alta inercia térmica en muros como el adobe y la implementación de esclusas delante de las puertas exteriores.

El libro *Abrigando Hogares*<sup>4</sup> cita algunas técnicas bioclimáticas más importantes utilizadas en las zonas alto andinas del Perú (GIZ, 2015), así se tiene lo siguiente:

<sup>4</sup> “ABRIGANDO HOGARES Experiencias con medidas de confort térmico en viviendas rurales alto andinas” publicado en el 2015 por GIZ donde se presentan las soluciones constructivas puestas en práctica por varios grupos de investigación o programas del Perú.

- El cielo raso aislante ubicada por debajo del techo que crea una cámara de aire que aísla del frío, utilizando triplay o arpillera, con la colocación de paja o ichu en la cámara de aire. Una variación consiste en una estructura y tejido de carrizo con acabado en enlucido de yeso.
- Aislamiento térmico de techos se realizaron con diferentes materiales: (1) calamina metálica, colchonetas de lana de oveja y planchas de fibrocemento; (2) plancha de fibrocemento, plástico polietileno, paja, tela gruesa y aire estanco; (3) calamina metálica, aire estanco y calamina metálica, (4) plancha de fibrocemento, barro con paja, plástico polietileno y caña bambú; (5) calamina metálica y colchón de totora; (6) calamina metálica, plancha de tecnopor y planchas de triplay.
- Aislamiento térmico de muros: (1) muros de adobe; (2) doble muro de adobe - muro de adobe más capa de aire más muro de adobe; (3) muros de piedra aislados con barro, paja y colchón de totora.
- Aislamiento de pisos: (1) capa de piedra 10cm, aire de 5cm y madera; (2) capa de piedras, mortero de barro, durmientes de madera, tablas de madera, (3) plástico, durmientes de madera, planchas de tecnopor, tablas de madera; (4) capa de concreto de 10 cm y capa de cemento pulido de 2,5cm.
- Captación de calor: (1) claraboya en el techos con protección de triplay para las noches materiales usuales son el policarbonato alveolar y policarbonato ondulado; (2) fitotoldos o invernaderos adosados, con muro de adobe o plástico y cubierta en el techo de plástico polietileno con protección UV o policarbonato.

### III. La comunidad de SFR

Se ubica en el distrito de Huambalpa, provincia de Vilcas Huamán, departamento de Ayacucho. Sus coordenadas geográficas son 13,74265° latitud Sur y 73,88439° longitud Oeste a 3700msnm. El arribo a SFR, desde Lima es por vía terrestre con paso obligado por la ciudad San Cristóbal de Huamanga (capital de Ayacucho), el viaje por tierra desde Lima dura 15 horas, aproximadamente.



Figura 14. Ubicación geográfica de la comunidad SFR.

#### 3.1. Proyectos desarrollados en SFR

El Centro de Energías Renovables y Uso Racional de la Energía (CER-UNI) ha ejecutado en la comunidad de SFR cuatro proyectos de desarrollo rural. Se inició con el proyecto “Energización Sustentable en Comunidades Rurales Aisladas con Fines Productivos”, financiado por la OEA (2004-2007). El segundo proyecto fue con financiamiento del FINCyT. “Propuesta Técnica de Confort Térmico para localidades ubicadas entre 3000 y 5000 msnm”, (2008-2010). El tercer proyecto fue “Implementación de las Bases Tecnológicas para un sistema Multiproductivo y Educativo en la Comunidad de SFR de Ayacucho”, (2010 y 2011) con financiamiento del BID. Desde el 2014 se desarrolla un cuarto proyecto: Transferencia Tecnológica para enfrentar Eventos Climáticos Extremos Transformando una Comunidad Rural Alto andina en un Sistema Productivo Sustentable con Energías Renovables, proyecto financiado por el CONCyTEC.

### 3.2. Descripción general de la comunidad

La comunidad tiene dos áreas bien definidas, la primera, una zona donde se encuentran sus viviendas a 3700 msnm, y la segunda, el área de cultivo situada a 3km hacia el este de la primera aproximadamente a 2800 msnm. Actualmente viven en ella 40 familias. La tercera parte de la población no tiene una permanencia constante en la comunidad. Posee una plaza principal, una cancha deportiva, áreas de circulación consideradas como calles, una iglesia, una escuela y un salón comunal. Este último es utilizado exclusivamente para reuniones y cursos de capacitación.

Tienen una red de agua entubada hace varios años y energía eléctrica desde 2009. Para la eliminación de sus excretas hacen uso de letrinas sanitarias construidas en el 2016.

Todas las familias de SFR practican la agricultura y el pastoreo de ganado como trabajo principal, a estas se agregan actividades periódicas con carácter de faenas comunales, con las cuales mantienen en buen estado su infraestructura de caminos y áreas comunes (iglesia, salón comunal, escuela, áreas recreativas, etc.).

#### 3.2.1. Descripción de las viviendas

Las dimensiones de los terrenos sobre los que se han construido sus viviendas son de 12m x 30m, una pequeña área está construida y el restante de sus terrenos es utilizado como espacio para quehaceres domésticos y estancia nocturna de sus animales, cercado por una pared de adobe de casi un metro de altura. En el área construida se cuenta los ambientes para cocinar, dormir y estar. Para su higiene tienen una poza de lavado y una letrina.



**Figura 15.** Vivienda característica de SFR.

En sus paredes se aprecia el adobe fabricado de forma artesanal con dimensiones aproximadas de 0,38x0,38x0,15m. El acabado no es igual en todas las viviendas, en

algunas es barro, en otras enlucido de yeso, y otras no están revestidas. Las puertas y marcos son de metal o madera que, generalmente, no calza bien en el vano respectivo. Sus dimensiones son de 1,00 x 2,15m y comparte el frontis de la vivienda con dos ventanas, de vidrio común y marco de fierro con dimensiones 1,04x1,00m cada una. La estructura de los techos es de rollizos de eucalipto como vigas y madera aserrada como correas. Las viviendas poseen calamina metálica y/o tejas como cubierta del techo (figura 15).

### **3.2.2. Potencial tecnológico de SFR**

Como resultado de los cuatro proyectos desarrollados en SFR, la comunidad cuenta con infraestructura tecnológica tales como un invernadero comunal, planta quesera, duchas comunales, molino accionado por el viento, 20 invernaderos adosados a paredes de dormitorios de las viviendas, cocinas mejoradas, dormitorios de viviendas con pisos y techos aislados térmicamente.

### **3.3. Componentes bioclimáticos instalados en SFR**

Existen dos edificaciones desde 2009 con características bioclimáticas, la vivienda 1, una vivienda nueva con un diseño y construcción total con características bioclimáticas para lograr condiciones de confort térmico en sus ambientes interiores, esta edificación es utilizada como un albergue para alojar a visitantes, mientras que la otra es la vivienda 2, vivienda original de la comunidad donde se realizó algunos cambios en su infraestructura mejorando la temperatura al interior

#### **3.3.1. Vivienda 1**



**Figura 16.** Vivienda 1 construida en SFR, vista frontal.

La vivienda 1, diseñada con carácter de prototipo experimental, se encuentra sobre un lote de 100m<sup>2</sup>. Presenta características que respetan costumbres del lugar y comprende los siguientes ambientes: sala-comedor, cocina, dos dormitorios, un baño,

un invernadero adosado a las paredes de las habitaciones y un espacio tipo esclusa en la puerta principal (figuras 16, 17 y 18). El adobe utilizado es de aproximadamente 0,40m x 0,40m y 0,12 m de espesor y se fabricó con barro sin cocer, utilizando como estabilizante natural la paja o ichu.



Figura 17. Vivienda 1 construida en SFR, vista posterior.

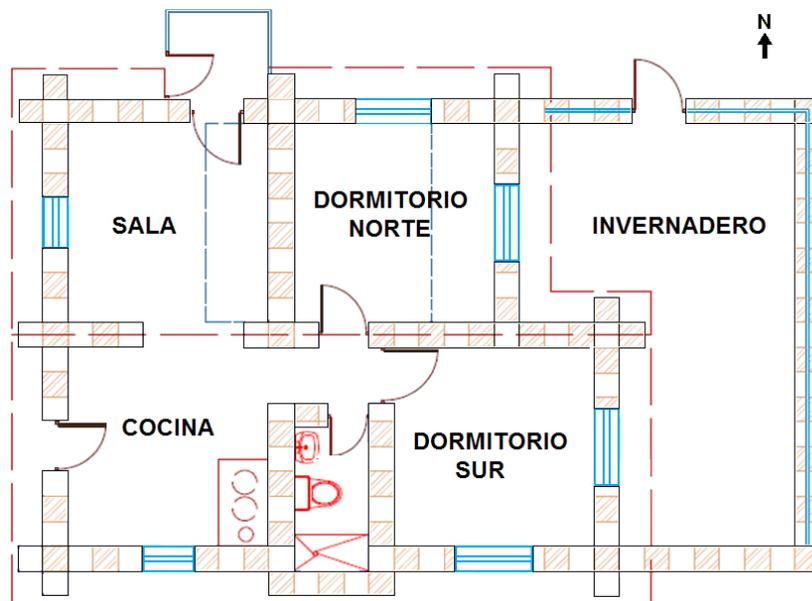


Figura 18. Plano de la vivienda 1 construida en SFR.

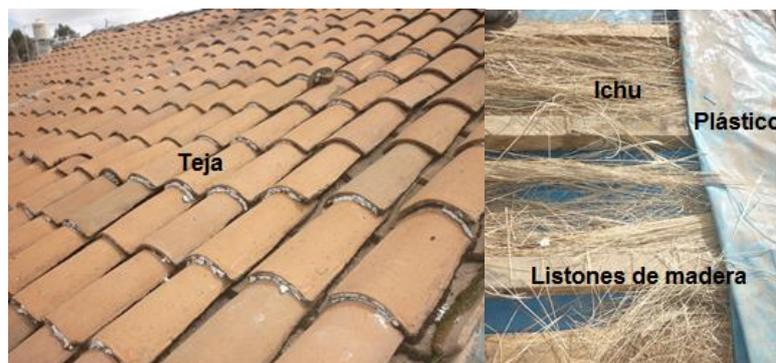


Figura 19. Techo de la vivienda 1 (vista exterior).

El techo es de tejas con aislamiento de ichu (figura 19), se construyó con viguetas de eucalipto seco apoyadas sobre la viga collar, dejando un alero en todos los muros y una pendiente de caída del techo de 20°. Las claraboyas, que se ubican en el dormitorio norte y la sala, están constituidas por una superficie transparente como el policarbonato alveolar (figura 20).



**Figura 20.** Techo interior de la vivienda 1.



**Figura 21.** (a) Cama de piedra para evitar el ascenso de la humedad y (b) piso entablado con madera de pino machihembrado.

(Fuente: CER-UNI)



**Figura 22.** Esquema ilustrativo de aislamiento higrotérmico de pisos.

El piso de los dormitorios están aislados para evitar el ascenso de la humedad y la pérdida de calor, de la siguiente manera: tierra apisonada, cama de piedra de 0,15m, troncos de madera de diámetro 0,07m y un entablado con madera de pino de 0,02m de espesor (figura 21 y 22).



**Figura 23.** (a) Ventanas con marco de madera, (b) contraventanas de maderas, (c) puerta de madera y (d) entrada principal a la vivienda.



**Figura 24.** Fogón mejorado de la vivienda 1 de SFR.

Las puertas son de madera de cedro y las ventanas poseen marcos de madera, las habitaciones tienen ventanas de doble vidrio. La sala y cocina tienen ventanas con vidrio simple con contraventanas de madera distanciadas a 0,05m de las ventanas (ver figura 23). También la vivienda posee un fogón mejorado el cual cuenta con un horno como se ilustra en la figura 24.

El invernadero se encuentra ubicado en el lado este de la vivienda a lo largo de la pared que colinda con los 2 dormitorios, es de 21,28m<sup>2</sup> en el plano. La estructura es

de madera cubierta con polietileno anti UV. Se construyeron ductos entre el invernadero y los dos dormitorios para facilitar el intercambio de calor (figura 25).



**Figura 25.** Ductos para el intercambio de aire de una habitación con el invernadero.

Para la instalación de agua sanitaria se usó la red pública existente, proyectando un baño con lavatorio, inodoro y ducha. También se instaló una terma solar para cubrir las necesidades de agua caliente (figura 26) y un sistema fotovoltaico para dotar de iluminación interior a la vivienda conformado con los siguientes componentes: 1 modulo fotovoltaico policristalino de 75 Wp Suntech, 1 controlador de carga de 10 A y 12V DC, 1 batería solar de 85 Ah y lámparas fluorescentes compactas de luz blanca de 11W a 12V DC (figura 27).



**Figura 26.** Terma solar instalada en el techo.



**Figura 27.** Regulador de carga y batería de 12V utilizados en la vivienda 1.

### 3.3.2. Vivienda 2

Vivienda perteneciente a Mariluz Chate Damiano, se ubica en un terreno de 360m<sup>2</sup> rodeada por un cerco y tiene construida un área de 100 m<sup>2</sup>. Posee una sala-comedor, dos dormitorios, una cocina, un almacén, un patio tipo invernadero, un invernadero adosado a las paredes de los dormitorios y un patio. Fotografías de la vivienda 2 son mostradas en la figura 28. En figura 29 se aprecia el plano de distribución.



Figura 28. Vivienda 2 de SFR, vista frontal y vista posterior.

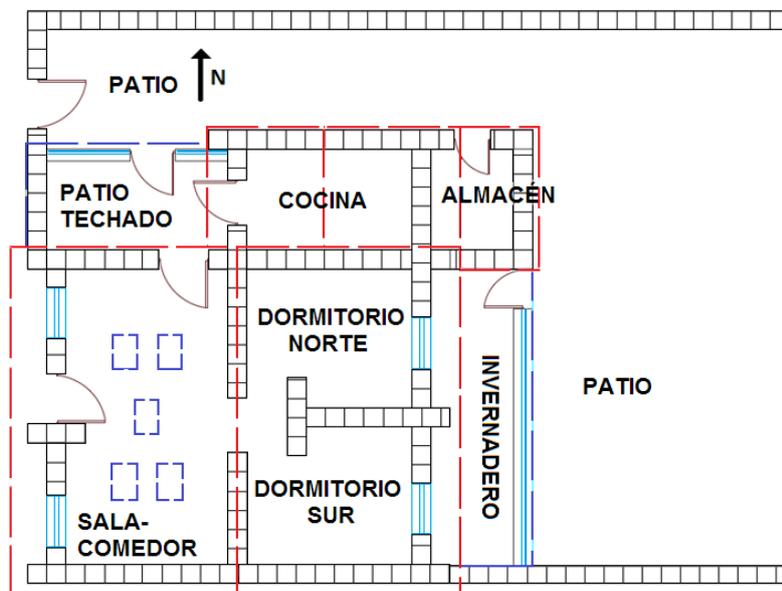


Figura 29. Plano vivienda 2 de SFR.



**Figura 30.** Claraboyas en techo de la vivienda 2 (a) vista exterior y (b) vista interior con compuertas de protección nocturna.

Cuenta con claraboyas instaladas en el techo de la sala comedor y hacia el interior cuenta con hojas de triplay (ver figura 30). Los dormitorios de la vivienda poseen un aislamiento higrotérmico en el piso, utilizando piedras y madera. El resto de los ambiente posee un piso apisonado de tierra. Las ventanas de dormitorios y sala-comedor poseen contraventanas para disminuir perdidas de calor durante la noche (figura 31).



**Figura 31.** Contraventana de la sala-comedor de la vivienda 2.

Se incorporó a la vivienda un invernadero adosado a las paredes de los dormitorios y se habilitó conductos para el ingreso del aire caliente del invernadero hacia los dormitorios durante el día.

## IV. DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 4.1. Experimentos realizados en SFR

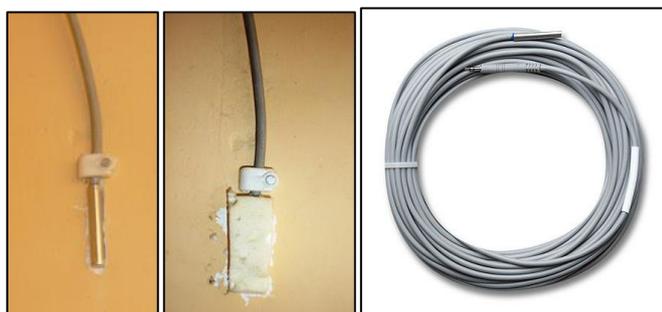
Las actividades realizadas al interior de la vivienda 1 están dirigidas con el objetivo de simular la operatividad que le dan las personas, de esa forma se busca resultados que permitan definir cuáles son los parámetros operacionales adecuados para un uso eficiente de la vivienda.

La parte experimental se inicia con la programación de actividades a realizar, las cuales son:

- Vivienda con puertas abiertas durante todo el día o parte de ella
- Vivienda con ventanas abiertas durante todo el día o parte de ella
- Ductos para el intercambio de aire entre el invernadero y dormitorios, abiertos y cerrados por periodos del día o la noche.

### 4.2. Sensores utilizados

Para la medición se utilizaron sensores de temperatura HOBOTMC20-HD, que se conectan a un adquisidor de datos (DL) Hobo U12-006 y H08-006-04 de cuatro canales cada uno (ver figura 32). Para medir características de los ambientes se utilizó lo adquisidores Hobo U12-012 y H08-004-02 denominados Microestaciones (ME) porque registran temperatura, humedad relativa y luminosidad del recinto (ver figura 33). Sus especificaciones técnicas se muestran en el ANEXO E.



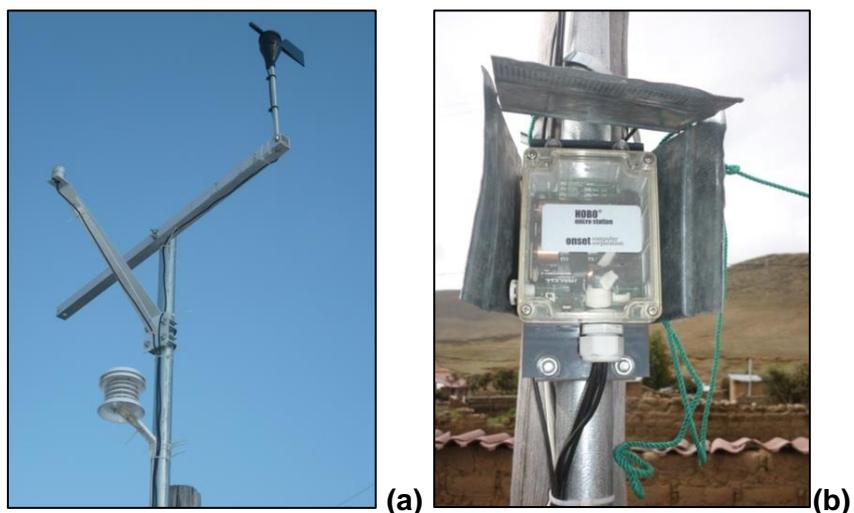
**Figura 32.** Sensor de temperatura Hobo TMC20-HD.

De la figura 32, los sensores están encapsulados en un cilindro metálico de 5 mm de diámetro y 25mm de longitud y un cable de conducción de la señal de 6 metros que se conecta a pequeños acumuladores de datos.



**Figura 33.** Adquisidor de datos Hobo U12-006 y H08-006-04 y U12-012.

Para medición de parámetros del clima exterior se utilizó una estación meteorológica HOBO mostrada en la figura 34, instalada desde octubre 2012. Con ella se pudo medir temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad y dirección del viento. Sus especificaciones técnicas son mostradas en el ANEXO E.



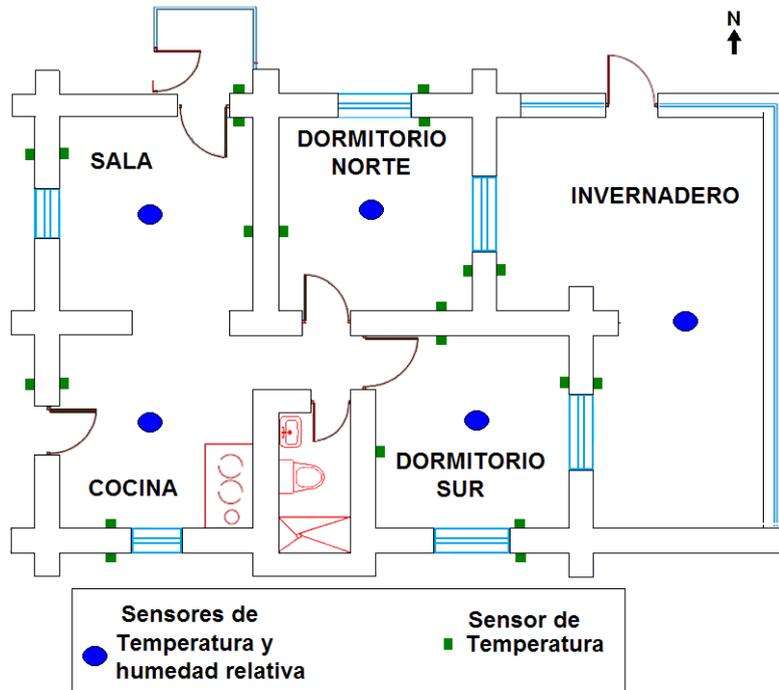
**Figura 34.** (a) Estación meteorológica y (b) adquisidor de datos de la estación meteorológica ubicada en SFR.

### 4.3. Mediciones

De acuerdo con las consideraciones para el diseño experimental enunciadas en el punto 4.1, las mediciones fueron en intervalos de 30 minutos durante las 24 horas del día registrándose automáticamente en los DL a los que se conectaron los sensores de temperatura TMC20-HD.

#### 4.3.1. Vivienda 1

La instalación de sensores se realizó el 20 de agosto de 2013, colocando 44 sensores de temperatura en la vivienda 1, utilizando 5 ME y 11 DL. El esquema de la figura 35 ilustra la ubicación de los sensores instalados en la vivienda 1 de SFR.

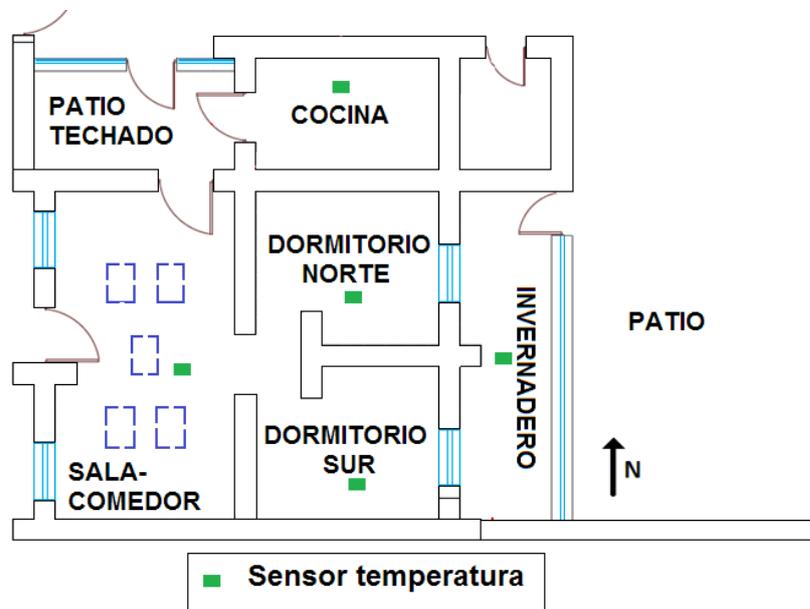


**Figura 35.** Distribución de sensores de temperatura en la vivienda 1.

La data experimental medida y acumulada en la vivienda 1 es extensa y se adjunta en el ANEXO F.

#### 4.3.2. Vivienda 2

La instalación de sensores al interior de la vivienda 2 se realizó el 22 de mayo de 2015, en total se analizan 10 días. Se instaló 5 sensores de temperatura, utilizando 2 ME y 2 DL. El esquema de la figura 36 ilustra la ubicación de los sensores instalados.



**Figura 36.** Distribución de sensores de temperatura en la vivienda 2.

## V. RESULTADOS EXPERIMENTALES

### 5.1. Análisis e interpretación del clima de SFR

Para tener un análisis climático más confiable es necesario datos climáticos por un periodo de 10 años, sin embargo este estudio se realizó con datos de 1 año (2014).

El primer parámetro climático a analizar es la temperatura del ambiente, la tabla 6 muestra el promedio de las temperatura máximas ( $\bar{T}_{max}$ ), el promedio de las temperatura mínimas ( $\bar{T}_{min}$ ), la temperatura Media ( $\bar{T}$ ) y temperaturas extremas mensuales de la localidad de SFR obtenida desde enero hasta diciembre del 2014.

**Tabla 6.** Temperaturas características en SFR 2014.

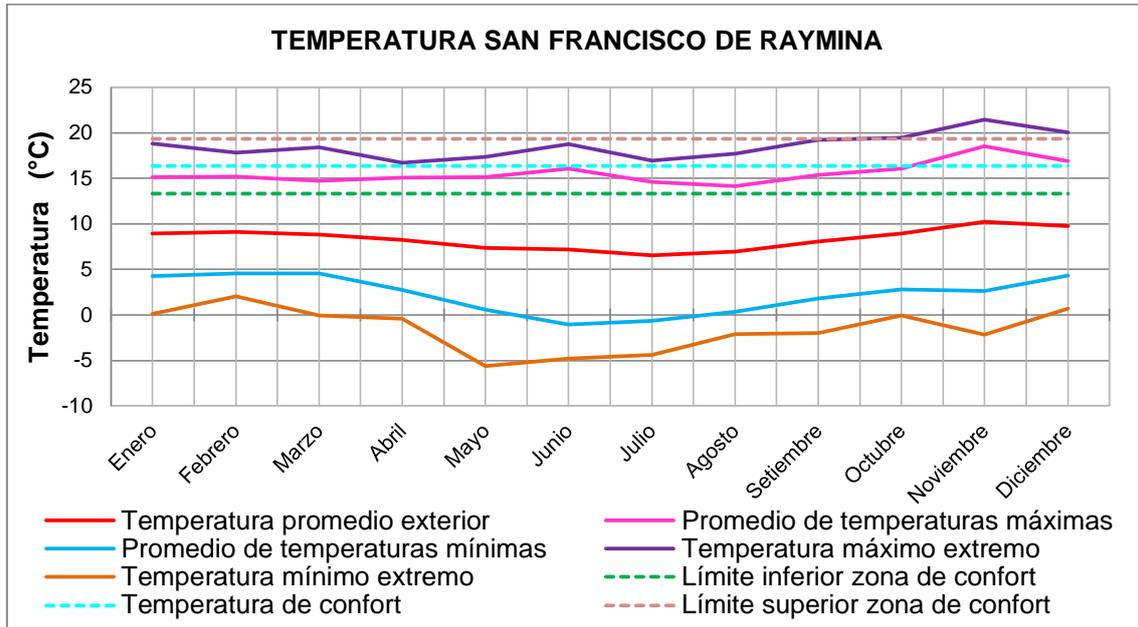
Mes	$\bar{T}$ [°C]	$\bar{T}_{max}$ [°C]	$\bar{T}_{min}$ [°C]	Temp. Máx. Extremo [°C]	Temp. Min. Extremo [°C]	Oscilación Térmica [°C]
Enero	8,9	15,1	4,3	18,8	0,1	10,9
Febrero	9,1	15,2	4,6	17,8	2,0	10,7
Marzo	8,8	14,7	4,6	18,4	-0,1	10,2
Abril	8,2	15,1	2,7	16,7	-0,4	12,3
Mayo	7,4	15,2	0,6	17,4	-5,6	14,6
Junio	7,2	16,1	-1,1	18,8	-4,8	17,2
Julio	6,5	14,6	-0,6	17,0	-4,4	15,3
Agosto	7,0	14,2	0,3	17,7	-2,1	13,8
Setiembre	8,1	15,4	1,8	19,2	-2,0	13,5
Octubre	9,0	16,1	2,8	19,5	-0,1	13,3
Noviembre	10,2	18,5	2,6	21,4	-2,2	15,9
Diciembre	9,7	16,9	4,3	20,0	0,7	12,6
	<b>8,3</b>	<b>15,6</b>	<b>2,2</b>			<b>13,3</b>

De la tabla 6, el mes menos frío es noviembre con una temperatura media de 10,2°C y con temperaturas extremas de 2,6 °C y 21,4 °C. El mes más frío es julio con un promedio de 6,5°C, con extremos de -0,6°C y 17,0°C. La oscilación térmica promedio anual es 13,3 °C. La temperatura media anual de la localidad es 8,3°C.

A partir de la temperatura media anual ( $\bar{T}_a = 8,3^\circ\text{C}$ ), se calculó la temperatura de neutralidad ( $T_n$ ) o temperatura de confort en base a la ecuación de modelo adaptativo de temperatura de confort propuestas por Humphreys en 1976 (tabla 5), con la que se determina los límites máximos y mínimos de la zona de confort térmico.

$$T_n = 0,534 \times \bar{T}_a + 11,9 \quad (33)$$

A fin de atender la variabilidad de las respuestas de las personas y las acciones que éstas emprenden para adaptarse al ambiente, los autores del programa Biosol recomiendan un rango de  $\pm 3,0^\circ\text{C}$  para lugares con una oscilación térmica promedio entre  $13^\circ\text{C}$  y  $15^\circ\text{C}$  (Preciado, 2010). Tomando como referencia lo anterior, el límite de confort térmico mínimo ( $ZC_{\min}$ ) y el límite de confort térmico máximo ( $ZC_{\max}$ ) son calculados adicionando a la temperatura neutra  $-3,0^\circ\text{C}$  y  $+3,0^\circ\text{C}$  respectivamente.



**Figura 37.** Gráfica de temperaturas en SFR, 2014.

De la figura 37, la temperatura promedio se ubica fuera de la zona de confort y los promedios de las temperaturas máximas de todos los meses se localizan en la zona de confort.

De la tabla 7, la temperatura promedio horario de SFR. Las mínimas temperaturas se registraron a las 4, 5 y 6 horas del día (fondo verde) y las máximas temperaturas se obtienen 14 y 15 horas del día (fondo amarillo). El color verde representa las horas del día donde la temperatura se encuentra dentro de la zona de confort (entre  $13,7^\circ\text{C}$  y  $18,7^\circ\text{C}$ ). El resto de temperaturas se ubica por debajo de la zona de confort.

**Tabla 7.** Temperaturas horarias (en °C) características en SFR, 2014.

Temperaturas mínimas (Verde) y temperaturas máximas (amarillo).

HORA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Promedio
0	6,4	6,9	6,4	5,1	3,2	2,5	2,8	3,3	4,7	5,4	6,3	6,6	5,0
1	6,1	6,7	6,2	4,8	2,9	1,7	1,8	2,8	4,3	5,1	5,9	6,3	4,5
2	5,6	6,2	6,0	4,4	2,6	1,1	1,4	2,3	4,0	4,5	5,1	5,8	4,1
3	5,8	5,7	5,6	3,9	2,3	0,6	0,9	1,9	3,6	4,3	4,2	5,5	3,7
4	5,4	5,6	5,3	3,7	2,1	0,0	0,6	1,3	2,9	3,9	3,6	5,0	3,3
5	4,9	5,3	5,1	3,7	1,6	-0,3	0,3	0,9	2,6	3,7	3,0	4,8	3,0
6	4,8	5,0	5,0	3,8	1,5	-0,5	-0,1	1,0	2,5	4,7	5,2	6,2	3,2
7	6,8	6,8	7,0	6,1	4,1	2,4	2,2	2,9	5,1	7,9	9,2	9,0	5,8
8	8,6	8,6	8,6	8,5	8,2	8,5	6,7	7,0	8,3	9,5	10,9	10,5	8,7
9	10,1	10,0	9,7	9,9	9,8	10,5	8,9	8,7	10,1	10,7	12,2	11,6	10,2
10	10,9	11,3	10,6	11,2	10,9	11,6	10,0	9,6	11,0	12,0	13,9	12,6	11,3
11	11,9	11,8	11,5	12,2	12,1	13,1	11,4	11,6	12,0	12,9	14,7	13,6	12,4
12	13,0	12,2	12,5	13,1	12,8	14,1	12,9	11,7	12,9	14,0	15,9	14,9	13,3
13	13,5	13,2	13,1	13,5	13,7	14,8	13,3	12,4	13,7	14,9	17,0	15,2	14,0
14	14,0	13,8	13,7	13,7	14,1	15,4	13,4	13,8	14,1	14,7	17,5	15,7	14,5
15	13,7	14,2	13,2	13,7	14,2	15,2	13,2	13,8	14,1	14,6	17,1	15,0	14,3
16	12,9	13,5	12,6	13,1	13,2	14,3	12,4	13,2	13,5	13,9	15,5	13,7	13,5
17	11,8	12,5	11,5	11,8	11,3	12,6	10,6	11,8	11,6	12,2	13,8	11,7	11,9
18	10,1	10,6	9,7	9,0	8,3	8,6	7,9	8,7	9,2	9,9	11,5	10,0	9,5
19	9,0	9,1	8,6	7,8	7,1	7,0	6,5	7,6	7,9	8,5	10,2	9,1	8,2
20	8,1	8,7	8,0	6,9	6,5	6,6	6,5	6,5	7,1	7,8	9,1	8,5	7,5
21	7,4	8,3	7,6	6,3	5,5	5,3	5,5	5,2	6,3	7,3	8,5	8,0	6,8
22	7,0	7,7	7,3	5,9	4,8	4,4	4,6	4,6	5,8	6,5	7,6	7,6	6,1
23	6,7	7,6	6,9	5,3	4,0	3,5	3,5	3,7	5,4	5,8	7,0	6,9	5,5
T	8,9	9,2	8,8	8,2	7,4	7,2	6,5	6,9	8,0	8,9	10,2	9,7	8,3

**Tabla 8.** Humedad relativa (HR) característica en SFR, 2014.

	$\overline{HR}$ (%)	$\overline{HR}_{\min}$ (%)	$\overline{HR}_{\max}$ (%)	Oscilación (%)	HR mín. extremo (%)	HR máx. extremo (%)
Enero	80,9	94,4	58,7	35,7	25,0	80,9
Febrero	80,2	94,1	59,4	34,7	31,8	80,2
Marzo	83,5	95,7	62,5	33,2	35,0	83,5
Abril	80,7	95,1	55,6	39,5	28,2	80,7
Mayo	72,4	91,4	44,5	46,9	18,0	72,4
Junio	62,8	87,1	34,7	52,4	17,7	62,8
Julio	65,9	88,0	39,3	48,7	21,2	65,9
Agosto	68,8	86,5	46,8	39,7	27,2	68,8
Setiembre	71,5	88,2	48,3	39,9	30,5	71,5
Octubre	71,3	88,8	48,5	40,3	32,3	71,3
Noviembre	63,6	84,2	40,8	43,3	19,6	63,6
Diciembre	75,0	89,7	52,3	37,4	29,3	75,0
<b>Promedio (%)</b>	<b>73,1</b>	<b>90,3</b>	<b>49,3</b>	<b>41,0</b>		

En la tabla 8 se presentan los valores promedio de humedad relativa ( $\overline{HR}$ ) de la localidad, así como los valores mínimos ( $\overline{HR}_{\min}$ ) y máximos ( $\overline{HR}_{\max}$ ). Se observa que

los valores de humedad relativa con promedio máximo corresponde al mes de marzo con 83,5%; la humedad relativa mínima se presentó en el mes de junio con un 62,8% de humedad, seguido por el mes de noviembre con 63,6%, y la humedad relativa media anual es de 73,1%

De la tabla 9, la humedad relativa en SFR alcanza valores máximos a las 4, 5 y 6 horas del día (fondo verde), y valores mínimos son alcanzados a las 14 y 15 horas (fondo amarillo). Se observa que mientras la temperatura aumenta, la humedad relativa disminuye.

**Tabla 9.** Humedad relativa horaria [%] en SFR, 2014.

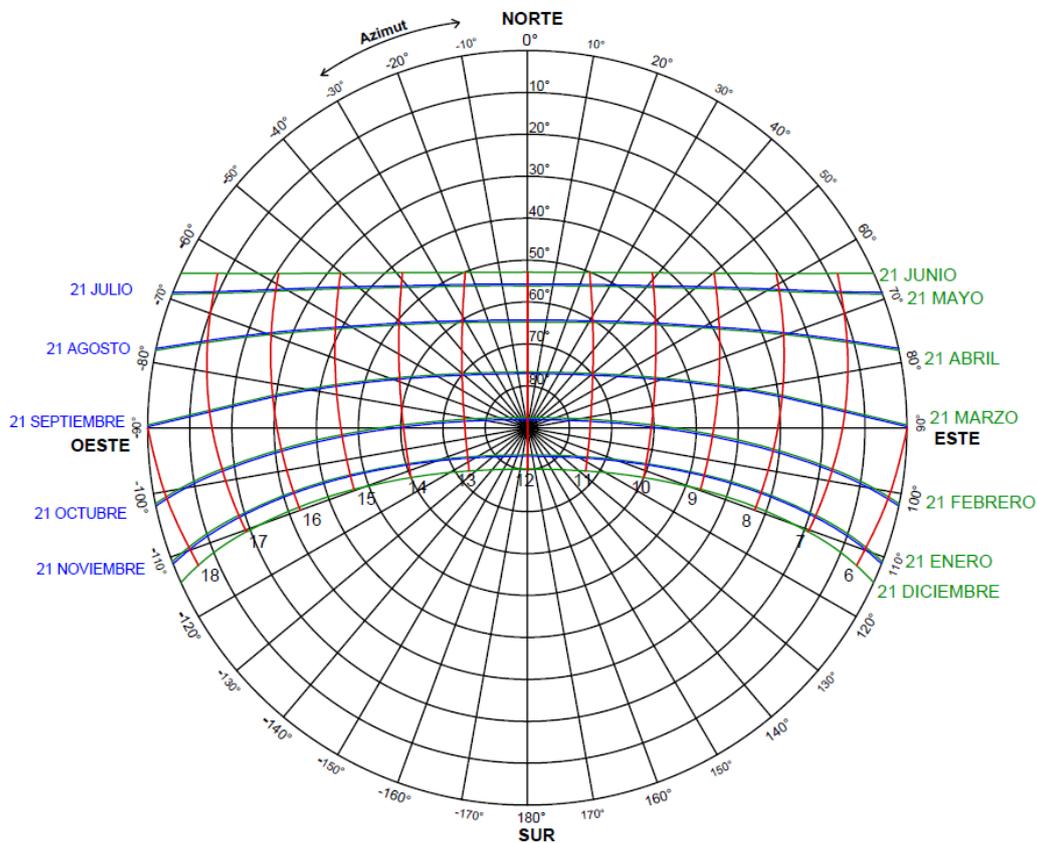
Humedad relativa mínimas (verde) y humedad relativa máxima (amarillo)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	HR
0	89	87	91	90	84	77	75	77	81	81	74	83	82
1	90	87	92	91	86	79	78	80	82	83	74	84	84
2	90	88	92	92	86	81	80	82	83	84	77	85	85
3	89	89	93	92	87	82	81	84	83	85	79	87	86
4	90	90	94	93	88	82	83	86	85	85	80	88	87
5	92	91	94	94	89	83	84	86	86	86	82	88	88
6	93	92	95	94	90	84	86	87	86	84	78	86	88
7	88	90	92	92	86	79	83	85	82	77	68	80	84
8	83	82	86	85	74	65	73	76	74	73	64	75	76
9	78	78	83	80	68	57	65	71	68	70	61	72	71
10	77	75	80	76	65	53	60	66	66	67	55	69	67
11	74	73	78	73	60	48	55	58	63	62	54	66	64
12	70	73	75	69	57	44	48	56	58	58	51	60	60
13	67	69	72	64	53	41	46	52	56	54	46	60	57
14	65	66	69	62	52	39	45	49	54	53	45	57	55
15	64	65	69	61	51	38	45	46	54	53	45	59	54
16	67	67	71	62	52	39	47	48	54	55	48	63	56
17	71	69	74	65	58	45	50	51	58	59	53	68	60
18	76	74	79	75	68	55	59	59	66	66	58	74	67
19	81	80	82	79	73	61	64	63	70	71	61	76	72
20	84	83	84	84	74	63	64	67	75	73	65	78	74
21	86	84	86	86	77	67	67	71	77	75	67	79	77
22	87	85	88	88	78	70	70	72	78	78	69	81	79
23	88	85	89	89	81	73	73	75	79	79	71	83	81
HR	83	86	83	72	70	71	65	69	66	67	64	79	73

La radiación obtenida en la localidad se muestra en la tabla 10. La incidencia de radiación solar es mayor durante las 11h, 12h y 13h. La radiación solar global promedio diaria es 5,2kWh/m<sup>2</sup>.dia. El mes que recibió mayor radiación promedio diario fue el mes de noviembre con 7,0kWh/m<sup>2</sup>.dia y el mes con menor radiación promedio diario fue abril con 4,62kWh/m<sup>2</sup>.dia.

**Tabla 10.** Irradiancia solar horaria y energía solar diaria registrada en SFR 2014.

Mes	Irradiancia solar horaria [W/m <sup>2</sup> ] sobre plano horizontal														Energía Solar diaria [kWh/m <sup>2</sup> ]	
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		19
ENE	0	21	145	323	475	539	691	667	728	548	413	265	120	18	0	5,0
FEB	0	6	127	291	446	603	628	574	607	646	541	282	180	18	0	4,9
MAR	0	1	117	281	437	483	556	680	724	589	379	264	123	6	0	4,6
ABR	0	1	121	255	422	528	586	753	644	501	457	250	105	0	0	4,6
MAY	0	0	119	289	509	511	635	680	587	570	423	254	62	0	0	4,6
JUN	0	0	114	287	467	535	613	627	668	580	426	262	82	0	0	4,7
JUL	0	0	98	245	450	546	663	738	702	546	436	265	73	0	0	4,8
AGO	0	0	78	228	465	488	706	745	738	577	426	264	136	1	0	4,9
SET	0	4	123	327	593	640	740	777	823	573	557	370	102	3	0	5,6
OCT	0	60	236	432	620	694	726	891	763	708	480	298	105	1	0	6,0
NOV	0	99	329	580	748	836	950	890	907	775	454	308	134	9	0	7,0
DIC	0	83	282	477	671	704	865	924	734	656	458	250	78	9	0	6,2
Promedio	<b>0</b>	<b>23</b>	<b>157</b>	<b>335</b>	<b>525</b>	<b>592</b>	<b>697</b>	<b>745</b>	<b>719</b>	<b>606</b>	<b>454</b>	<b>278</b>	<b>108</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>5,2</b>

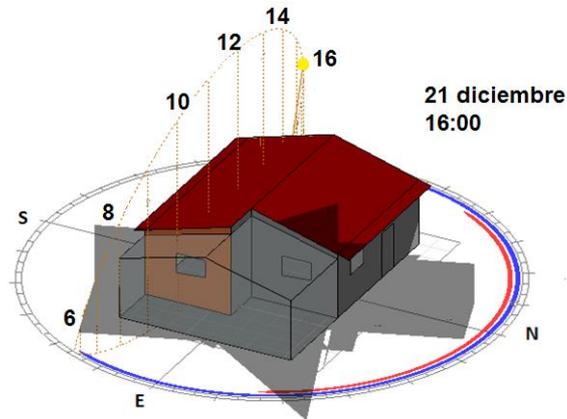


**Figura 38.** Carta solar estereográfica de SFR, latitud 13°45'40''S y longitud 73°51'26''O.

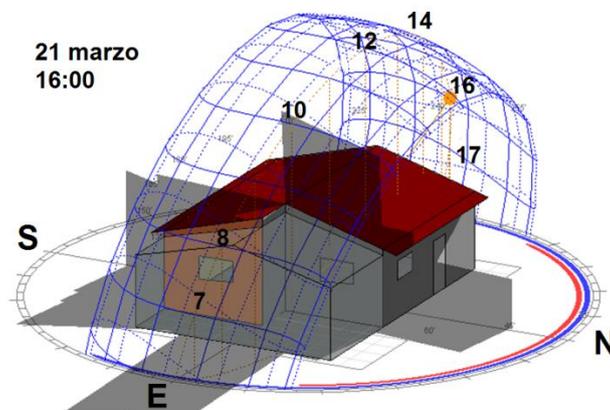
La figura 38, muestra el recorrido aparente del sol sobre SFR durante todo el año, cada línea azul o verde representa 1 día. Para los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto y setiembre el sol se desplaza de este a oeste inclinado hacia el norte de la

comunidad. Los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero el sol se ubica inclinado hacia el sur. Las líneas rojas representan la hora solar.

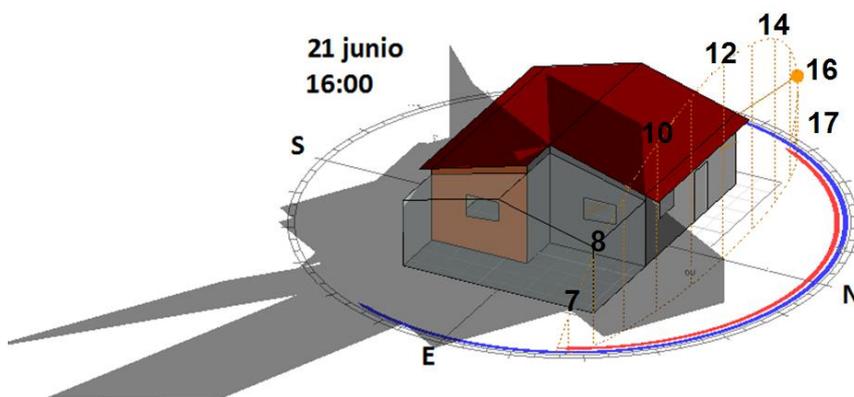
Las figuras 39, 40 y 41 muestran la posición del sol respecto a la latitud de SFR. El 21 de diciembre el sol se ubica hacia el sur de la comunidad, mientras el 21 de marzo y 21 de junio se ubica hacia el norte.



**Figura 39.** Asoleamiento para SFR, el 21 de diciembre, 4:00PM.

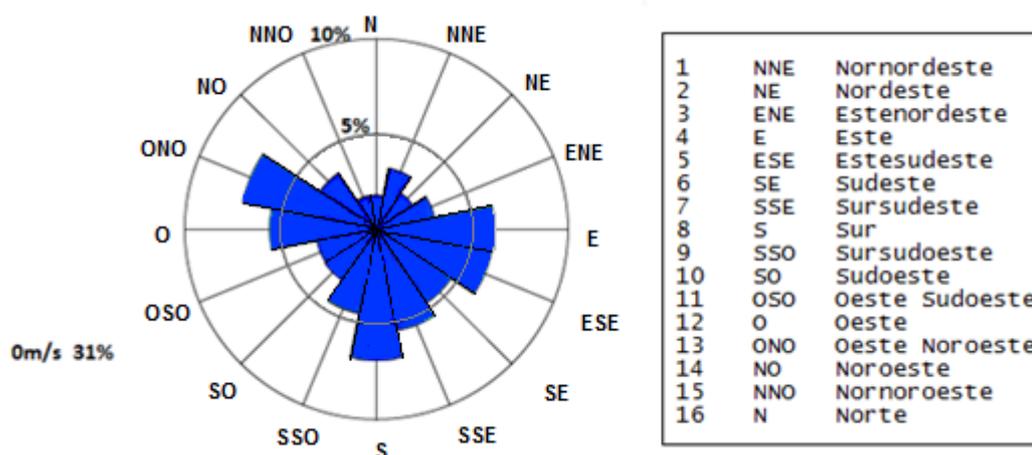


**Figura 40.** Asoleamiento para SFR, el 21 de marzo, 4:00PM.



**Figura 41.** Asoleamiento para SFR, el 21 de junio, 4:00PM.

El análisis de la velocidad del viento se realiza con datos obtenidos, durante 6 meses desde febrero a julio del 2014 se muestra en la figura 42. Para este periodo la dirección predominante es de Noroeste (NO) a sudeste (SE), sin embargo las velocidad de mayor intensidad se registraron en la dirección norte (N) y nornordeste (NNE), como se indica en la tabla 11.



**Figura 42.** Rosa del viento para SFR, febrero a julio 2014.

**Tabla 11.** Velocidad del viento en SFR. Medición desde febrero a julio 2014.

Dirección	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO
<b>Frecuencia (%)</b>	1,8	3,3	2,3	3,1	6,2	6,2	4,7	5,4	6,9	4,5	3,2	3,2	5,6	7,1	3,5	1,8
<b>Velocidad [m/s]</b>	4,4	5,3	2,8	1,7	0,6	0,5	1,1	1,5	2,1	2,0	1,2	1,4	1,5	2,0	2,1	2,9
0 m/s frecuencia: 31,32%																

Según la clasificación bioclimática Norma EM.110, SFR pertenece a ceja de montaña<sup>5</sup>, esto porque la clasificación está dada a nivel provincial tomando como referencia a la capital Vilcas Huamán. Sin embargo esta afirmación es errónea ya que SFR pertenece a la zona alto andina. En la tabla 12, se compara los valores referenciales<sup>6</sup> que proporciona la Norma EM 110 con los obtenidos experimentalmente para SFR.

<sup>5</sup>MVCS, (2014). Norma EM 110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética, Lima. Anexo N° 1(A) Ubicación de provincias por zona climática p. 523080

<sup>6</sup> MVCS, (2014). Norma EM 110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética, Lima. Anexo N° 1(B) Características climáticas de cada zona p. 523082

**Tabla 12.** Parámetros climáticos de una zona alto.

	Según Norma EM 110		Experimental
	Zona Alto Andina	Ceja de Montaña	SFR
Temperatura media anual	6°C	25 a 28°C	8,3°C
Humedad Relativa media	30 – 50%	70-100%	73,1%
Energía solar diaria	5kWh/m <sup>2</sup> .día	3 a 5 kWh/m <sup>2</sup> .día	5,2 kWh/m <sup>2</sup> .día
Altitud	4000-4800msnm	1000-3000msnm	3700msnm

## 5.2. Análisis de los datos obtenidos

Para el análisis de la operatividad de la vivienda se procede a realizar un balance de energía por cada ambiente en estado estacionario. Estos cálculos sólo son indicativos para ver el comportamiento en un instante dado.

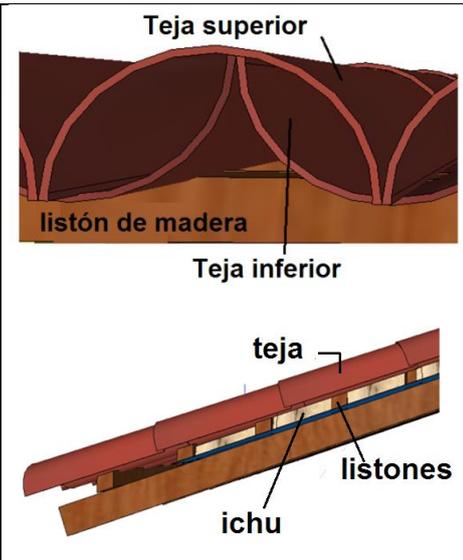
$$\Delta Q = Q_{\text{muro}} + Q_{\text{piso}} + Q_{\text{techo}} + Q_{\text{cr}} + Q_{\text{interna}} + Q_{\text{renovación}}$$

Para determinar el calor que atraviesa una superficie, es necesario determinar el coeficiente global de transferencia de calor  $U$  [W/m<sup>2</sup>.°C] de muros, puertas, techo y pisos.

En las tablas 13, 14 y 15, se muestran los valores de conductividad térmica ( $k$ ), espesor ( $e$ ), resistencia superficial exterior ( $R_{se}$ ) y resistencia superficial interior ( $R_{si}$ ) de los diferentes materiales que conforman la envolvente de la vivienda 1 de SFR. A partir de los valores de  $k$ ,  $e$ ,  $R_{se}$  y  $R_{si}$  (ver tabla 2) se calcula el coeficiente global de transferencia de calor o transmitancia térmica  $U$  de cada componente de la vivienda (muro, piso, techo, puerta, ventanas) utilizando la ecuación 12.

**Tabla 13.** Coeficiente global de transferencia de calor U para el techo.

COMPOSICIÓN TECHO TEJA			
Capas	k [W/m°C]	e [m]	R [m²·°C/W]
R <sub>se</sub>			0,05
Teja	1	0,04	0,04
Cámara de aire 50mm	-	-	0,16
Teja	1	0,04	0,04
Plástico	0,33	0,003	0,01
Ichu	0,045	0,05	0,08
Listones	0,13	0,05	
Plástico	0,33	0,003	0,01
R <sub>si</sub>	-	-	0,17
<b>Coeficiente global de transferencia de calor U</b>			<b>0,79 W/m² °C</b>



**Tabla 14.** Coeficiente global de transferencia de calor U para el piso.

COMPOSICIÓN PISO DORMITORIOS			
Capas	K [W/m.°C]	e [m]	R [m²·°C/W]
R <sub>se</sub>	-	-	0,05
Tierra	0,52	0,2	0,38
Piedra	3,5	0,15	0,04
Cámara de	-	0,05	0,16
Madera	0,12	0,025	0,21
R <sub>si</sub>	-	-	0,17
<b>Coeficiente global de transferencia de calor U</b>			<b>0,98 W/m² °C</b>



**Tabla 15.** Coeficiente global de transferencia de calor U de componentes de la vivienda 1.

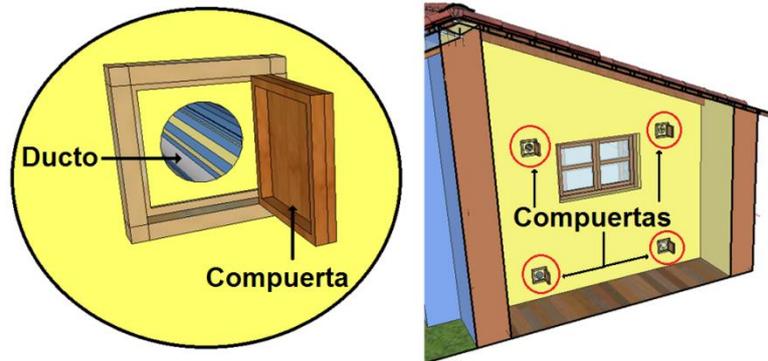
	Capas	k (*) [W/m°C]	e [m]	R [m <sup>2</sup> °C/W]	U [W/m <sup>2</sup> °C]
<b>MURO EXTERIOR</b>	R <sub>se</sub>	-	-	0,11	1,44
	Yeso	0,4	0,02	0,05	
	Adobe	0,9	0,38	0,42	
	Yeso	0,4	0,02	0,05	
	R <sub>si</sub>	-	-	0,06	
<b>MURO INTERIOR</b>	R <sub>se</sub>	-	-	0,06	1,56
	Yeso	0,4	0,02	0,05	
	Adobe	0,9	0,38	0,42	
	Yeso	0,4	0,02	0,05	
	R <sub>si</sub>	-	-	0,06	
<b>POLICARBONATO ALVEOLAR</b>	R <sub>se</sub>			0,05	3,87
	Policarbonato	0,21	0,008	0,00	
	R <sub>si</sub>	-	-	0,17	
<b>PISO CONCRETO</b>	R <sub>se</sub>			0,06	3,62
	Concreto	1,51	0,1	0,66	
	R <sub>si</sub>			0,11	
<b>VIDRIO DOBLE</b>	R <sub>se</sub>			0,11	3,30
	Vidrio	0,8	0,004	0,005	
	Aire	-	0,006	0,13	
	Vidrio	0,8	0,004	0,005	
	R <sub>si</sub>	-	-	0,06	
<b>VIDRIO SIMPLE</b>	R <sub>se</sub>	-	-	0,11	5,7
	Vidrio	0,8	0,004	0,005	
	R <sub>si</sub>	-	-	0,06	
<b>VIDRIO SIMPLE + CONTRAVENTANA</b>		-	-	-	2,55
<b>MARCO VENTANAS</b>	R <sub>se</sub>			0,11	1,58
	Madera	0,13	0,06	0,46	
	R <sub>si</sub>	-	-	0,06	
<b>PUERTAS</b>	R <sub>se</sub>			0,11	1,27
	Madera	0,13	0,08	0,62	
	R <sub>si</sub>	-	-	0,06	

(\*) Valores de conductividad térmica k, tomados de la Norma EM 110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética. Anexo N° 3 Lista de características higrótérmicas de los materiales de construcción

## 5.2.1. Vivienda 1

### 5.2.1.1. Compuertas abiertas y cerradas

Se denomina compuertas a los cierres de madera que bloquean el paso de aire desde el invernadero hacia los dormitorios a través de ductos situados en los muros de los dormitorios orientados hacia el Este, alrededor de las ventanas. Dos se ubican en la parte inferior y otros dos en la parte superior como se indica en la figura 43.



**Figura 43.** Ductos para el intercambio de aire de la vivienda 1 entre los dos dormitorios y el invernadero.

Para determinar el caudal de aire que ingresa y sale del dormitorio por los ductos se logró medir la velocidad de ingreso y/o salida durante 5 horas el día 21 de mayo de 2015, cuyos resultados se muestran en la tabla 16.

**Tabla 16.** Velocidad de aire a través de ductos del invernadero y dormitorio norte.

Velocidad [m/s]					Esquema
Hora	Ducto A	Ducto B	Ducto C	Ducto D	
10:00	0.90	1.20	1.07	0.90	
10:30	0.73	0.42	0.94	0.60	
11:00	0.86	0.94	0.64	0.90	
11:30	0.86	0.81	0.60	0.73	
12:00	0.41	0.41	0.64	0.64	
12:30	0.73	0.81	0.60	1.11	
13:00	0.68	0.41	0.90	0.64	
13:30	0.81	0.27	0.68	0.60	
14:00	0.22	0.27	0.44	0.08	
14:30	0.68	0.81	0.27	0.41	
15:00	0.68	0.22	0.73	0.27	
Media	0.69	0.58	0.68	0.63	
	0,64				

Sólo por tratarse de un día no se puede generalizar para el resto de mediciones, por tal razón para el cálculo del caudal de aire que ingresa o sale de los dormitorios se utilizará fórmulas propuestas por efecto Stack.

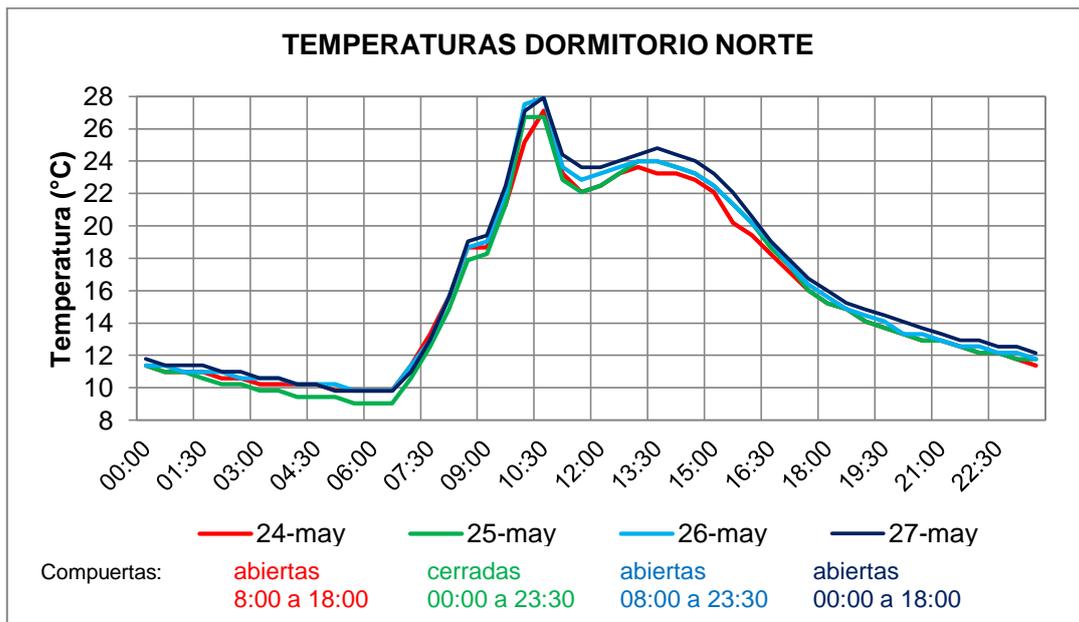
### 5.2.1.1.1. Dormitorio norte

La tabla 17 indica las actividades realizadas en el dormitorio norte de la vivienda 1, con las compuertas abiertas y cerradas.

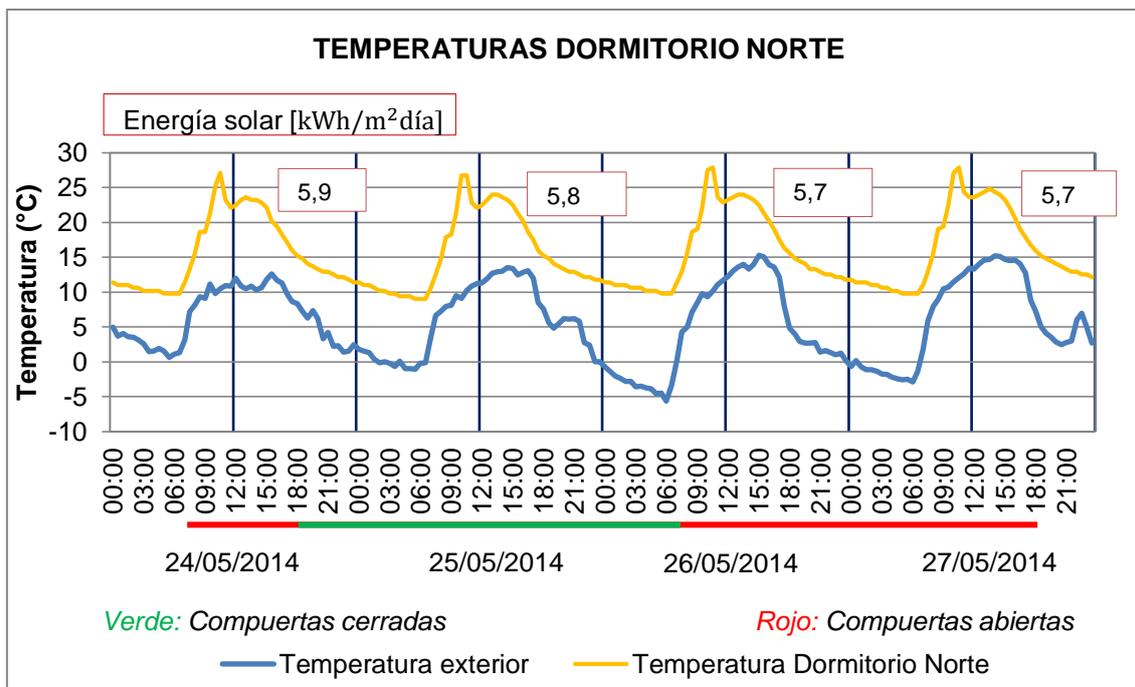
**Tabla 17.** Programación de actividades con las compuertas del dormitorio norte, vivienda 1.

N°	Fecha	Actividad programada
1	24/05/2014	Compuertas <b>abiertas de 8:00 a 18:00</b>
2	25/05/2014	Compuertas <b>cerrados de 00:00 a 23:30</b>
3	26/05/2014	Compuertas <b>abiertas de 8:00 a 23:30</b>
4	27/05/2014	Compuertas <b>abiertas de 00:00 a 18:00</b>

Las temperaturas medidas dentro del dormitorio norte se muestran en la figura 44. Nótese que si bien la temperatura es menor para el 20 mayo, no indica que el aporte de calor del invernadero sea el causante de esa temperatura, esto es debido a que la energía solar para ese día fue menor. Para comparar dichos aportes se debe tener en cuenta que las condiciones del ambiente exterior como temperatura, humedad relativa, radiación solar varían de día a día, no permanecen constantes.



**Figura 44.** Temperaturas del dormitorio norte de la vivienda 1 durante los días de medición.



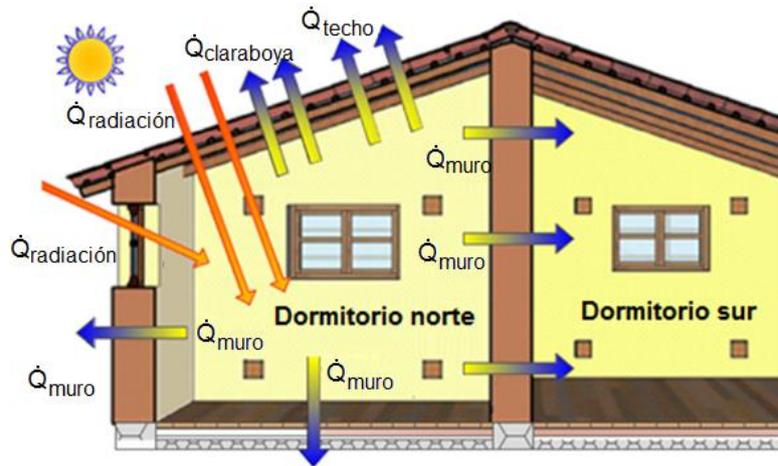
**Figura 45.** Temperaturas exterior y temperatura del dormitorio norte de la vivienda 1, del 24 al 27 de mayo 2014.

Las figuras 46 y 47 muestran el comportamiento de la temperatura durante los 4 días de medición, en ella se observa que la temperatura de 10 a 12 horas tiende a incrementar para luego disminuir, esto es debido a la exposición del sensor a los rayos solares que ingresan por la claraboya. La tabla 18 muestra valores máximos, mínimos y promedios de temperatura al interior de la vivienda 1.

**Tabla 18.** Temperaturas al interior de la vivienda 1 del 24 al 27 de mayo de 2014.

		24/05/2014	25/05/2014	26/05/2014	27/05/2014
<b>Temperatura exterior [°C]</b>	Máximo	13,50	15,27	15,22	16,60
	Mínimo	-1,04	-5,64	-2,86	-2,10
	Promedio	5,96	4,53	6,07	6,95
<b>Temperatura dormitorio norte [°C]</b>	Máximo	27,12	26,73	27,91	27,91
	Mínimo	9,82	9,03	9,82	9,82
	Promedio	15,65	15,57	15,99	15,99
<b>Energía solar</b>	kWh/m <sup>2</sup> .día	5,8	5,8	5,7	5,7

Se realiza un balance de energía para el dormitorio norte en estado estacionario. La figura 46 es una representación gráfica de las ganancias y pérdidas de calor del dormitorio norte.



**Figura 46.** Calor transferido a través de muros, puertas y ventanas, ganancias por el invernadero del dormitorio norte.

Realizando el balance de energía para el dormitorio norte se tiene:

$$\Delta \dot{Q}_{DN} = \dot{Q}_{muros} + \dot{Q}_{techo} + \dot{Q}_{piso} + \dot{Q}_{ventanas} + \dot{Q}_{puerta} + \dot{Q}_{renovación} + \dot{Q}_{agujeros} + \dot{Q}_{ganancia\ solar} + \dot{Q}_{ocupantes} + \dot{Q}_{iluminación}$$

$$\dot{Q}_{muros} = \dot{Q}_{M1} + \dot{Q}_{M2} + \dot{Q}_{M3} + \dot{Q}_{M4} + \dot{Q}_{M5}$$

$$\dot{Q}_{muros} = U_{mu-ext} A_1 (T_{sa} - T_{DN}) + U_{muro} A_2 (T_{inv} - T_{DN}) + U_{muro} A_3 (T_{DS} - T_{DN}) + U_{muro} A_4 (T_{cocina} - T_{DN}) + U_{muro} A_5 (T_{sala} - T_{DN})$$

$$\dot{Q}_{techo} = \dot{Q}_{T1} + \dot{Q}_{T2} = [U_{teja} A_{T1} + U_{claraboya} A_{T2}] \cdot (T_{sa} - T_{D1})$$

$$\dot{Q}_{piso} = U_{piso} A_{piso} (T_{suelo} - T_{DN})$$

$$\dot{Q}_{ventanas} = [U_{VN} A_{VN} + U_{mVN} A_{mVN}] (T_{sa} - T_{DN}) + [U_{VE1} A_{VE1} + U_{mVE1} A_{mVE1}] (T_{inv} - T_{DN})$$

$$\dot{Q}_{puerta} = U_{pu3} A_{pu3} (T_{cocina} - T_{DN})$$

$$\dot{Q}_{renovación} = 0,223 N \times V_{aire} \times (T_{exterior} - T_{DN})$$

$$\dot{Q}_{ganancias\ solares} = \sum \tau_i G A_i$$

$$\dot{Q}_{agujeros} = \dot{V} C_{eaire} \rho_{aire} (T_{inv} - T_{DN})$$

Dónde:

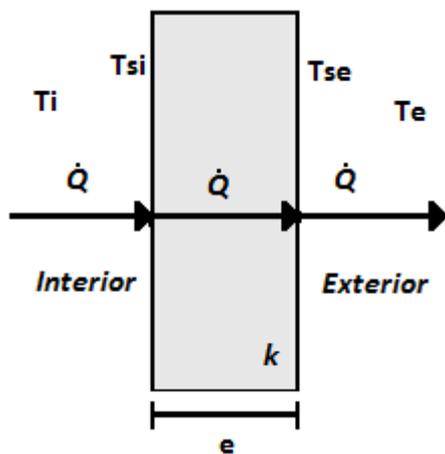
- $\dot{Q}_{M1}$ ,  $\dot{Q}_{M2}$ ,  $\dot{Q}_{M3}$ ,  $\dot{Q}_{M4}$  y  $\dot{Q}_{M5}$  son la rapidez de transferencia de calor que atraviesan los muros del dormitorio norte.
- $U_{muro}$  y  $U_{mu-ext}$  son los coeficientes globales de transferencia de calor de muros interiores y muros exteriores, respectivamente,  $[W/m^2\text{°C}]$ .
- $U_{teja}$ ,  $U_{claraboya}$ ,  $U_{piso}$ ,  $U_{VN}$ ,  $U_{VE1}$ ,  $U_{mV}$  y  $U_{pu3}$  representan el coeficiente global de transferencia de calor del techo, claraboya, piso, vidrio doble, vidrio simple, marco de ventana y puerta de madera, respectivamente,  $[W/m^2\text{°C}]$ .

- $A_i$  representa el área del componente por donde el calor fluye. [ $m^2$ ]
- $T_{DN}$ ,  $T_{DS}$ ,  $T_{inv}$ ,  $T_{sala}$ ,  $T_{cocina}$  y  $T_{suelo}$  son la temperatura del dormitorio norte, dormitorio sur, invernadero, sala, cocina y suelo, respectivamente. Se considera  $T_{suelo} = \bar{T}_{exterior}$ . [ $^{\circ}C$ ]
- $T_{sa}$  es la temperatura sol-aire de la pared norte y techo.
- $N$  es el número de renovaciones de aire dentro del dormitorio norte.
- $V_{aire}$  es el volumen de aire contenido en el dormitorio norte. [ $m^3$ ]
- $\sum \tau_i G A_i$  es la cantidad de irradiancia solar que ingresa por las superficies traslúcidas (vidrios y claraboyas).
- $\dot{V}$  es el caudal de aire que ingresa. [ $m^3/s$ ]
- $C_{e_{aire}} = 1006,5 J/kg \cdot ^{\circ}C$  es el calor específico del aire.
- $\rho_{aire}$  es la densidad del aire a 3700msnm  $\rho_{aire} = 0,798 kg/m^3$ .

**Tabla 19.** Áreas A y el coeficiente global de transferencia de calor U de la envolvente del dormitorio norte.

Componente			A [ $m^2$ ]	U [ $W/m^2 \cdot ^{\circ}C$ ]	Esquema de ubicación
MUROS	Norte	M1	7,2	1,44	
	Este	M2	8,96	1,56	
	Sur	M3	7,30	1,56	
	Sur	M4	3,74	1,56	
	Oeste	M5	9,92	1,56	
TECHO	Teja	T1	8,13	0,79	
	Claraboya	T2	2,23	3,87	
PISO	Madera	P1	10,24	0,98	
VENTANAS	Vidrio	VN	0,54	3,30	
		VE1	0,54	3,30	
	Marco	mVN	0,42	1,58	
		mVE1	0,42	1,58	
PUERTA	pu3	1,60	1,17		

Si bien al instalar sensores de temperatura en la parte central de cada ambiente permite conocer su comportamiento, no significa que cada punto del ambiente esté a la misma temperatura, así se tendrá diferentes temperaturas en espacios cercanos a pisos, muros y techos. Se calcula la rapidez de transferencia de calor, considerando temperaturas superficiales medidas en muros de las viviendas (como se indica en la figura 47) y se comparan la rapidez de transferencia de calor calculados con temperaturas interiores.



$$\dot{Q} = A \cdot U \cdot (T_e - T_i)$$

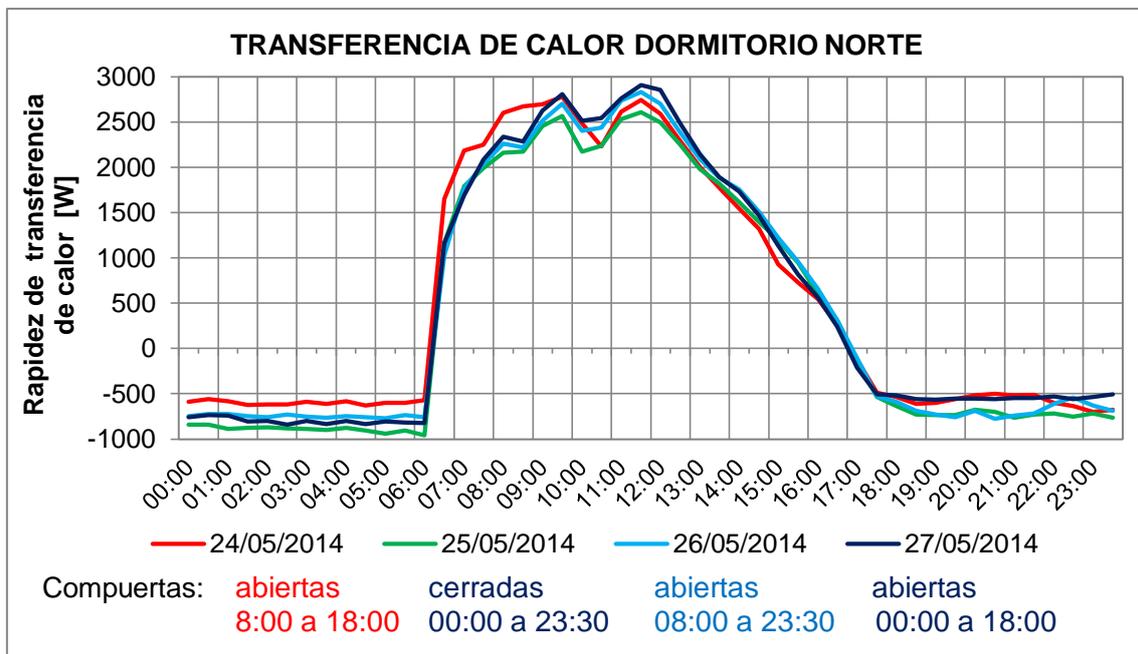
$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_e} + \sum \frac{e_i}{k_i} + \frac{1}{h_i}$$

$$\dot{Q} = A \cdot \frac{k}{e} \cdot (T_{se} - T_{si})$$

k: conductividad térmica  
 e. espesor  
 Tsi: Temperatura superficial interior.  
 Tse: Temperatura superficial exterior.  
 U: Coeficiente global de transferencia de calor

**Figura 47.** Rapidez de transferencia de calor a través de una pared.

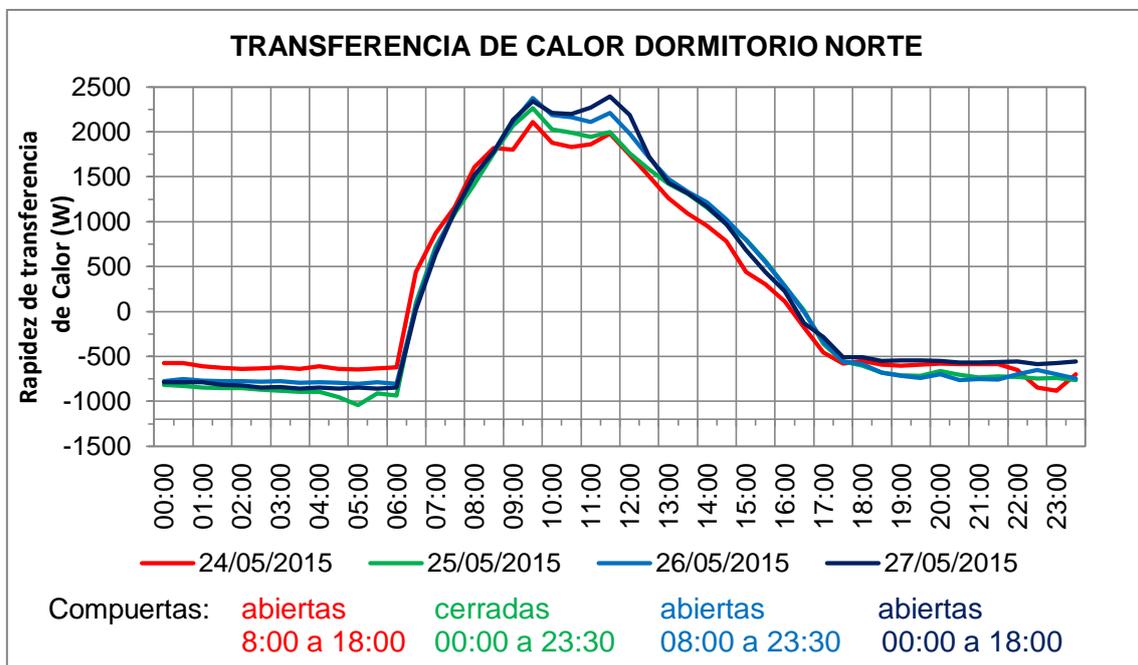
Con los balances de energía se calculó la velocidad de transferencia de calor involucrado en cada uno de los 4 días de medición. Los resultados se muestran en la tabla 20, y el comportamiento del calor ganado a lo largo de los días se muestra en las figuras 48.



**Figura 48.** Rapidez de transferencia de calor del dormitorio norte, calculado con temperaturas interiores.

De la figura 48, los valores de la rapidez de transferencia de calor del dormitorio norte fueron calculados con las temperaturas medidas en el punto central del dormitorio. El signo negativo significa pérdida de calor y el signo positivo es ganancia.

De la figura 48, desde las 0 a 18 horas, el 24 de mayo (línea roja) la compuerta permaneció cerrada evitando que el aire caliente se perdiera hacia el invernadero. El día 25 (línea azul) durante la madrugada las compuertas permanecieron abiertas lo que indica mayor pérdida de calor en comparación del día anterior. Durante la madrugada del 26 de mayo (línea celeste) la transferencia de calor es ligeramente superior al calculado el día anterior, las compuertas permanecieron cerradas. Durante la madrugada del 27 de mayo también se observa pérdidas mayores de calor, recordar que las compuertas para este periodo se encontraban abiertas. Desde las 8 a 18 horas, el 25 de mayo (línea azul), la compuerta permaneció cerrada evitando que el aire caliente ingresara al dormitorio, así la tasa de transferencia de calor es menor a comparación de los otros días. Desde las 18 a 23 horas, el día 27 (línea azul) y 24 (línea roja) de mayo, el calor que pierde el dormitorio es menor. Lo contrario ocurre el 26 de mayo (línea celeste), las compuertas permanecieron abiertas, con eso obtuvieron mayor pérdida de calor.



**Figura 49.** Rapidez de transferencia de calor del dormitorio norte, calculado con temperaturas superficiales interiores y exteriores de su envolvente.

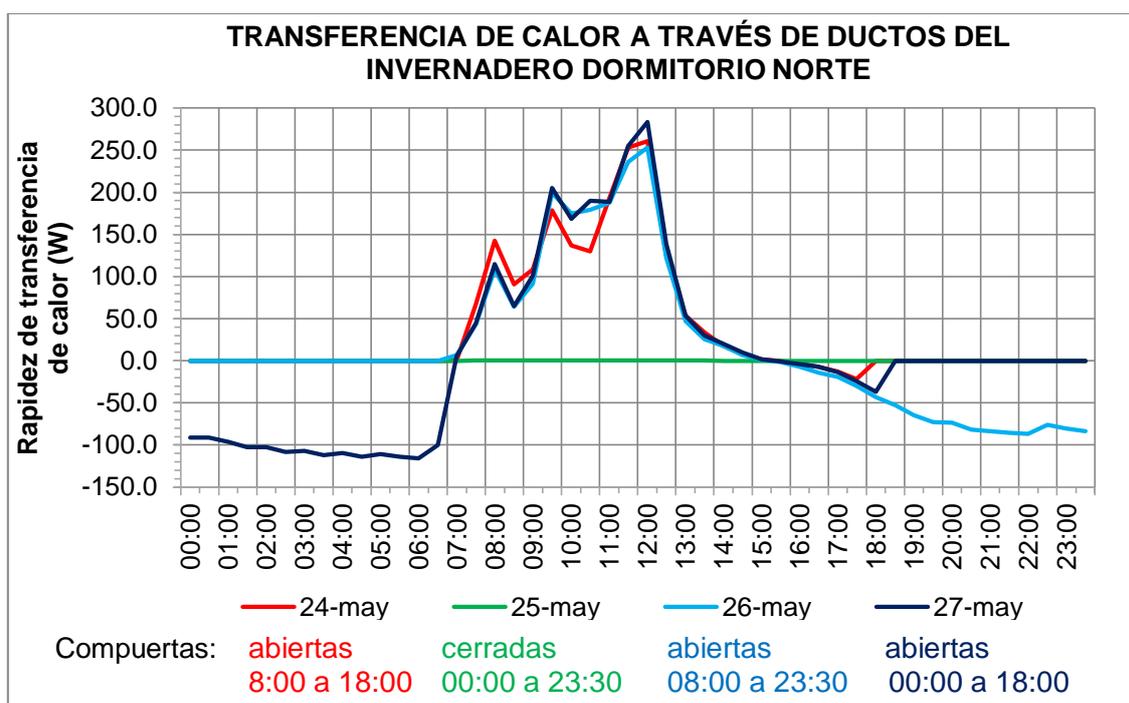
La figura 49, muestra el comportamiento de la transferencia de calor calculado con las temperaturas superficiales medidas en las superficies interiores y exteriores de superficies de muros, techo, puertas, ventanas y piso. En las madrugadas, se perdió menor calor cuando las compuertas permanecieron cerradas (24 y 26 de mayo). En las noches el 24 y 27 permanecieron cerradas, así se evitó pérdidas de calor.

**Tabla 20.** Rapidez de transferencia de calor (en Watts) calculado para el dormitorio norte de la vivienda 1.

Hora	Calculado utilizando temperatura interior				Calculado utilizando temperaturas superficiales interiores y exteriores			
	24-may	25-may	26-may	27-may	24-may	25-may	26-may	27-may
00:00	-592	-848	-752	-765	-574	-816	-778	-787
00:30	-566	-850	-730	-743	-573	-826	-749	-787
01:00	-589	-897	-732	-751	-608	-848	-769	-787
01:30	-632	-884	-754	-811	-625	-853	-778	-815
02:00	-625	-877	-765	-806	-636	-852	-774	-823
02:30	-624	-890	-740	-848	-631	-872	-780	-848
03:00	-595	-896	-760	-808	-622	-883	-778	-843
03:30	-619	-907	-770	-842	-637	-893	-790	-858
04:00	-588	-886	-756	-810	-612	-894	-786	-844
04:30	-636	-912	-770	-845	-638	-956	-791	-861
05:00	-608	-948	-780	-812	-645	-1043	-805	-849
05:30	-609	-911	-745	-823	-630	-911	-786	-859
06:00	-580	-969	-765	-830	-621	-938	-803	-848
06:30	1717	1173	1040	1178	441	95	55	18
07:00	2266	1821	1801	1722	872	721	692	643
07:30	2318	2028	2076	2127	1167	1095	1124	1123
08:00	2675	2214	2310	2390	1606	1419	1508	1520
08:30	2754	2235	2279	2343	1821	1758	1771	1779
09:00	2777	2521	2582	2690	1804	2071	2108	2136
09:30	2849	2642	2775	2887	2110	2267	2376	2342
10:00	2559	2253	2480	2594	1881	2027	2187	2040
10:30	2295	2319	2523	2631	1831	1992	2161	2012
11:00	2677	2621	2824	2851	1861	1942	2111	2081
11:30	2804	2699	2922	2997	1977	1997	2209	2142
12:00	2648	2589	2796	2949	1741	1761	1980	1904
12:30	2339	2336	2470	2575	1505	1584	1712	1588
13:00	2051	2063	2171	2226	1264	1425	1474	1383
13:30	1820	1896	1964	1969	1088	1308	1335	1283
14:00	1584	1686	1828	1805	952	1156	1218	1150
14:30	1359	1462	1573	1533	785	974	1025	962
15:00	961	1252	1277	1189	440	798	795	679
15:30	752	999	1009	861	301	564	549	437
16:00	570	643	696	601	112	285	284	229
16:30	284	341	337	268	-179	12	-3	-119
17:00	-112	-127	-88	-205	-456	-363	-338	-269
17:30	-488	-537	-534	-510	-582	-555	-556	-483
18:00	-542	-644	-591	-521	-552	-602	-588	-472
18:30	-616	-734	-692	-565	-592	-680	-683	-505
19:00	-606	-741	-738	-569	-605	-711	-719	-542
19:30	-563	-743	-765	-560	-594	-717	-741	-543
20:00	-525	-681	-694	-559	-579	-664	-697	-550
20:30	-504	-706	-783	-566	-583	-703	-763	-565
21:00	-522	-774	-749	-554	-586	-731	-753	-566
21:30	-515	-738	-723	-551	-584	-722	-755	-564
22:00	-608	-726	-619	-535	-648	-730	-695	-559
22:30	-642	-761	-545	-563	-847	-743	-651	-585
23:00	-709	-723	-632	-544	-882	-743	-697	-573
23:30	-682	-771	-692	-510	-697	-764	-745	-554

**Tabla 21.** Rapidez transferencia de calor (en Watts) por las compuertas abiertas y cerradas del dormitorio norte.

Hora	24 mayo	25 mayo	26 mayo	27 mayo	Hora	24 mayo	25 mayo	26 mayo	27 mayo
00:00	0,2	-0,3	-0,3	-91,0	12:00	260,9	0,6	253,2	283,6
00:30	0,2	-0,3	-0,3	-91,3	12:30	125,6	0,4	122,4	138,9
01:00	0,3	-0,3	-0,3	-96,6	13:00	53,4	0,2	46,9	53,2
01:30	0,3	-0,3	-0,4	-102,8	13:30	33,7	0,1	25,4	30,3
02:00	0,3	-0,3	-0,4	-102,8	14:00	17,3	0,1	17,5	20,1
02:30	0,3	-0,4	-0,4	-108,4	14:30	7,8	0,0	6,6	10,1
03:00	0,3	-0,4	-0,4	-107,1	15:00	1,4	0,0	1,2	1,9
03:30	0,3	-0,4	-0,4	-112,0	15:30	-0,3	0,0	-1,4	-0,7
04:00	0,3	-0,4	-0,4	-109,8	16:00	-3,3	-0,1	-7,0	-4,3
04:30	0,3	-0,4	-0,4	-113,8	16:30	-7,4	-0,1	-13,8	-7,3
05:00	0,3	-0,4	-0,4	-110,7	17:00	-13,0	-0,1	-19,0	-13,5
05:30	0,3	-0,4	-0,4	-113,9	17:30	-21,4	-0,2	-29,7	-23,9
06:00	0,3	-0,4	-0,4	-115,7	18:00	0,0	-0,2	-43,2	-37,0
06:30	0,3	-0,4	-0,3	-99,8	18:30	-0,2	-0,2	-52,6	-46,4
07:00	-0,1	0,1	6,8	5,7	19:00	-0,2	-0,3	-64,4	-0,2
07:30	67,5	0,2	43,1	44,7	19:30	-0,2	-0,3	-72,7	-0,2
08:00	142,7	0,4	108,6	114,9	20:00	-0,2	-0,3	-73,5	-0,2
08:30	90,9	0,3	64,2	64,9	20:30	-0,2	-0,3	-81,9	-0,3
09:00	108,4	0,4	91,5	101,0	21:00	-0,2	-0,3	-83,8	-0,3
09:30	178,3	0,6	199,7	205,2	21:30	-0,2	-0,3	-85,2	-0,3
10:00	136,7	0,4	174,7	168,5	22:00	-0,3	-0,3	-86,7	-0,3
10:30	129,7	0,5	179,2	189,8	22:30	-0,3	-0,3	-76,3	-0,3
11:00	193,2	0,5	187,2	188,9	23:00	-0,3	-0,3	-80,8	-0,3
11:30	253,2	0,6	236,4	254,7	23:30	-0,3	-0,3	-83,6	-0,3



**Figura 50.** Rapidez de transferencia de calor desde de invernadero hacia el dormitorio norte por conductos.

La tabla 21 se obtiene como resultado de la aplicación de las ecuaciones propuestas por ASHRAE para la rapidez de transferencia de calor ocasionado solo por diferencia de temperaturas, entre dos espacios separados por una pared, a través de agujeros en ella. El fondo plomo indica que las compuertas permanecieron cerradas, en esos instantes sólo se pierde calor por conducción a través de la compuerta. En la figura 50, se grafica los valores de la tabla 21, en ella se aprecia el comportamiento del calor ganado o perdido cada 30 minutos.

La tabla 22 muestra el calor diario en (Wh) ganado o perdido por el dormitorio norte. En él se observa que la mejor performance fue para el día 24 de junio, día que se dejó compuertas abierta durante 7:00 a 18:00 y cerradas de 00:00 a 6:30 y 18:30 a 23:30.

**Tabla 22.** Energía ganada y perdida a través de compuertas abiertas y cerradas del dormitorio norte.

Periodo	24/05/2014	25/05/2014	26/05/2014	27/05/2014
	Energía (Wh)	Energía (Wh)	Energía (Wh)	Energía (Wh)
00:00 a 6:30	-1,8	-2,5	-2,5	-737,8
07:00 a 17:30	877,6	2,3	825,1	894,8
18:00 a 23:00	-1,3	-1,7	-420,8	-24,5
<b>Diario</b>	<b>874,5</b>	<b>-781,5</b>	<b>401,9</b>	<b>132,5</b>

#### 5.2.1.1.2. Dormitorio sur

La tabla 23 indica las actividades realizadas en el dormitorio sur, con las compuertas de los ductos provenientes del invernadero abiertas y cerradas.

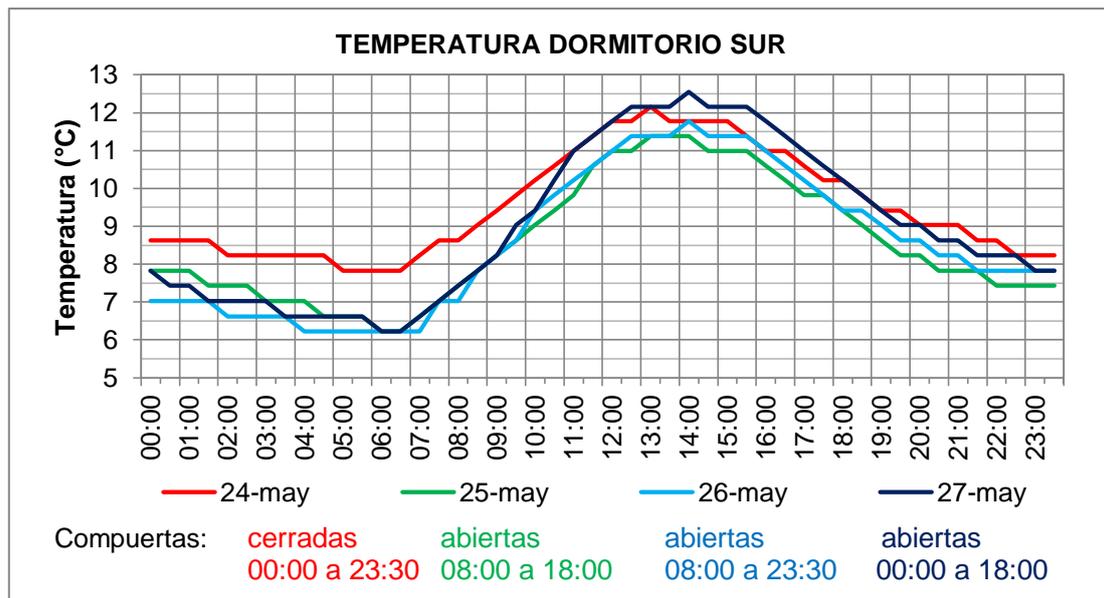
**Tabla 23.** Programación de actividades con las compuertas del dormitorio sur.

N°	Fecha	Actividad programada
1	24/05/2014	Compuertas <b>cerradas todo el día</b>
2	25/05/2014	Compuertas <b>abiertas de 08:00 a 18:00</b>
3	26/05/2014	Compuertas <b>abiertos de 8:00 a 23:30</b>
4	27/05/2015	Compuertas <b>abiertos de 00:00 a 18:00</b>

**Tabla 24.** Áreas (A) y coeficiente global de transferencia de calor (U) de las superficies del dormitorio sur.

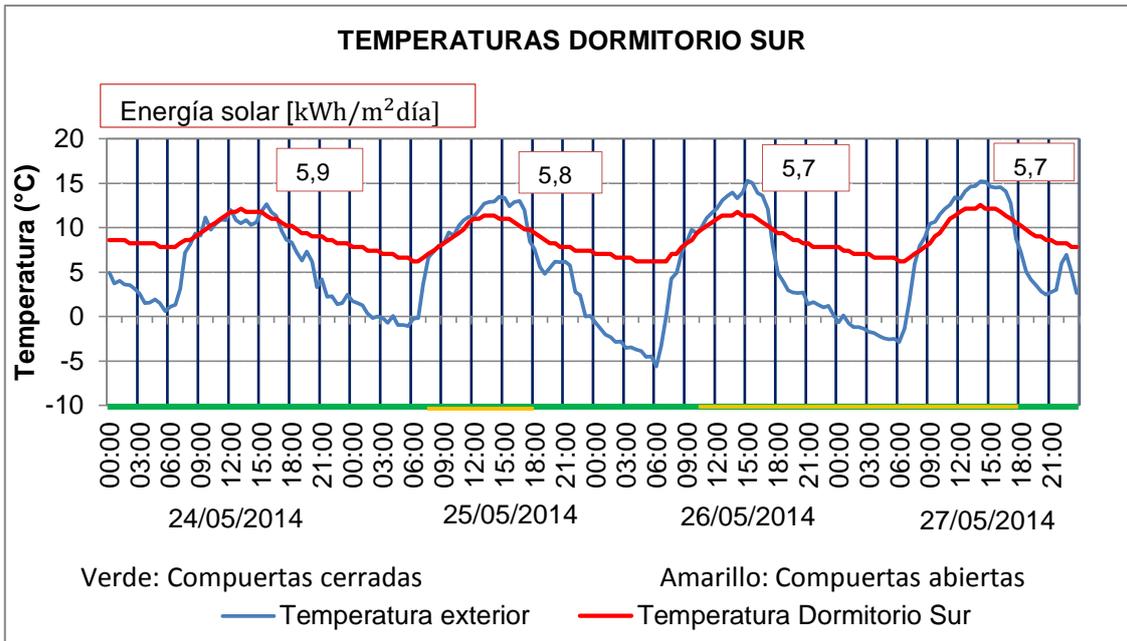
Componente			A [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	Esquema de ubicación
Muros	E	M7	8,96	1,56	
	S	M6	7,20	1,4	
	O	M9	6,79	1,56	
	N	M8	4,40	1,56	
	N	M3	7,30	1,56	
Techo	Teja	T3	10,80	0,79	
Piso	madera	P1	10,20	0,98	
Ventanas	Vidrio	VS1	0,54	3,30	
		VE2	0,54	3,30	
	Marco	mVS1	0,42	1,58	
		mVE2	0,42	1,58	
Puerta	madera	Pu4	1,80	1,27	

Las temperaturas medidas al interior del dormitorio sur se muestran en la figura 51. Para comparar dichos aportes se debe tener en cuenta que las condiciones del ambiente exterior como temperatura, humedad relativa, radiación solar varían de día a día, no permanecen constantes.



**Figura 51.** Temperatura al interior del dormitorio sur de la vivienda 1 durante los días de medición.

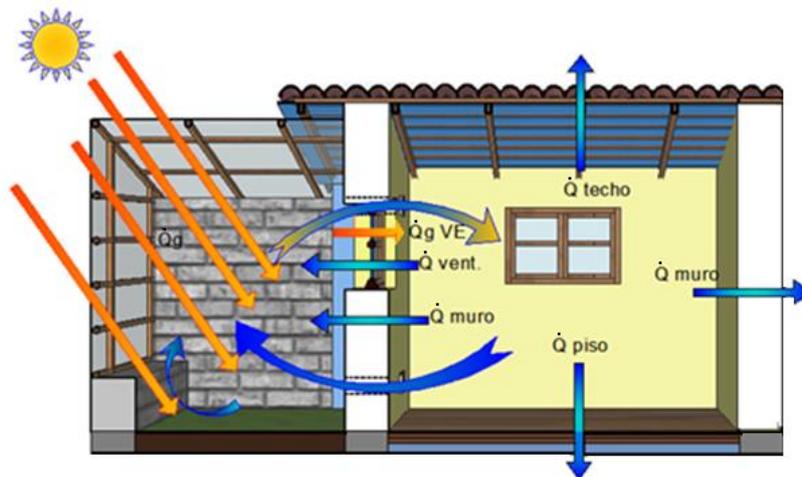
Las figuras 51 y 52 muestran el comportamiento de la temperatura durante los 4 días de medición, y la tabla 25 muestra valores máximos, mínimos y promedios de temperatura al interior del dormitorio sur.



**Figura 52.** Temperatura exterior y temperaturas de dormitorio sur, del 24 al 27 de mayo 2014.

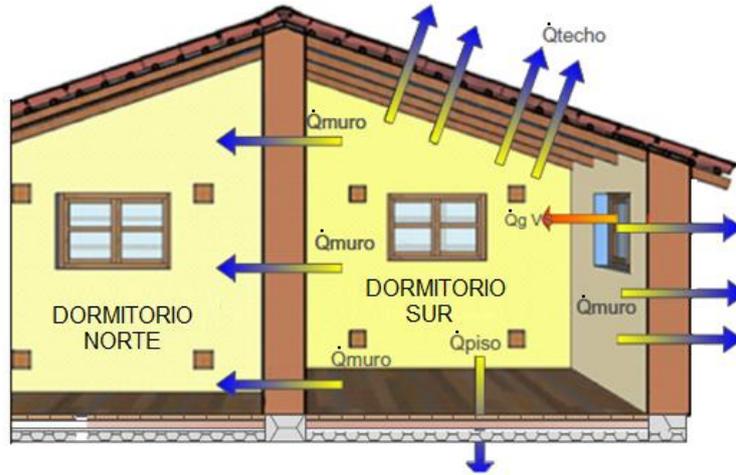
**Tabla 25.** Temperaturas al interior de la vivienda.

		24/05/2014	25/05/2014	26/05/2014	27/05/2014
<b>Temperatura Exterior [°C]</b>	Máximo	13,50	15,27	15,22	16,60
	Mínimo	-1,04	-5,64	-2,86	-2,10
	Promedio	5,96	4,53	6,07	6,95
<b>Temperatura Dormitorio sur [°C]</b>	Máximo	12,16	11,38	11,77	12,65
	Mínimo	7,83	6,22	6,22	6,20
	Promedio	9,52	8,54	8,55	8,99
<b>Energía solar</b>	kWh/m <sup>2</sup> .día	5,8	5,8	5,7	5,7



**Figura 53.** Pérdidas por conducción en muros, puertas y ventanas, ganancias por el invernadero del dormitorio sur.

Las ganancias de calor en el dormitorio sur son proporcionadas a través del aire caliente del invernadero y por las ventanas. Las pérdidas de calor son a través de muros, puertas, techos y pisos. Las figuras 53 y 54 ilustran estas pérdidas y ganancias.



**Figura 54.** Pérdidas por conducción en muros, puertas y ventanas, ganancias por el ventana sur del dormitorio sur.

Realizando el balance térmico para el dormitorio sur se tiene:

$$\Delta \dot{Q}_{DS} = \dot{Q}_{muros} + \dot{Q}_{techo} + \dot{Q}_{piso} + \dot{Q}_{ventanas} + \dot{Q}_{puerta} + \dot{Q}_{renovación\ aire} + \dot{Q}_{ventilación} + \dot{Q}_{ganancia\ solar} + \dot{Q}_{ocupantes} + \dot{Q}_{iluminación}$$

$$\dot{Q}_{muros} = \dot{Q}_{M3} + \dot{Q}_{M6} + \dot{Q}_{M7} + \dot{Q}_{M8} + \dot{Q}_{M9}$$

$$\dot{Q}_{muros} = U_{muro} A_3 (T_{DN} - T_{DS}) + U_{mu-ext} A_6 (T_{sa} - T_{DS}) + U_{muro} A_7 (T_{inv} - T_{DS}) + U_{muro} A_8 (T_{inv} - T_{DS}) + U_{muro} A_9 (T_{baño} - T_{DS})$$

$$\dot{Q}_{techo} = U_{teja} A_{T3} (T_{sa} - T_{DS})$$

$$\dot{Q}_{piso} = U_{piso} A_S (T_{suelo} - T_{DS})$$

$$\dot{Q}_{ventanas} = [U_{VS1} A_{VS1} + U_{mVS1} A_{mVS1}] (T_{sa} - T_{DS}) + [U_{VE2} A_{VE2} + U_{mVE2} A_{mVE2}] (T_{inv} - T_{DS})$$

$$\dot{Q}_{puerta} = U_{puerta} \cdot A_{pu4} \cdot (T_{cocina} - T_{DS})$$

$$\dot{Q}_{renovación\ aire} = 0,223 N \times V_{aire} \times (T_{exterior} - T_{DS})$$

$$\dot{Q}_{ganancias\ solares} = \sum \tau_i \cdot G \cdot A_i$$

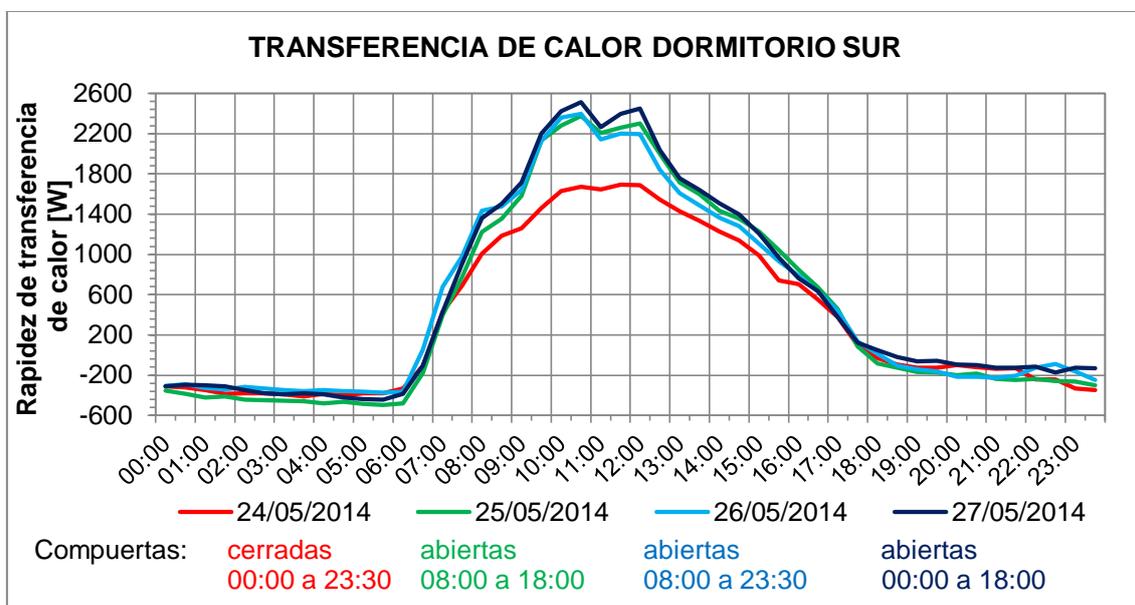
$$\dot{Q}_{agujeros} = \dot{V} C_{eaire} \rho_{aire} (T_{inv} - T_{DS})$$

Siendo:

- $\dot{Q}_{M3}$ ,  $\dot{Q}_{M6}$ ,  $\dot{Q}_{M7}$ ,  $\dot{Q}_{M8}$  y  $\dot{Q}_{M9}$  son la rapidez de transferencia de calor que atraviesan los muros del dormitorio sur. [W]
- $A_i$  representa el área del componente por donde fluye el calor. [m<sup>2</sup>]

- $U_i$  representa los coeficientes global de transferencia de calor de la puerta de madera, el techo, el policarbonato alveolar, el piso de madera, el doble vidrio y el marco de madera, muros interiores y muros exteriores [ $W/m^2\text{°C}$ ].
- $T_{DN}$ ,  $T_{DS}$ ,  $T_{sala}$ ,  $T_{inv}$ ,  $T_{cocina}$ ,  $T_{suelo}$ ,  $T_{baño}$  y  $T_{exterior}$  son las temperaturas del dormitorio norte, dormitorio sur, invernadero, sala, cocina pasillo, suelo, baño y ambiente exterior respectivamente, [ $^{\circ}\text{C}$ ]. Se considera  $T_{cocina} = T_{baño}$  y  $T_{suelo} = \bar{T}_{exterior}$
- $T_{sa}$  es la temperatura sol-aire de la pared norte y techo, [ $^{\circ}\text{C}$ ].
- $N$  es el número de renovaciones de aire dentro del dormitorio.
- $V_{aire}$  es el volumen de aire contenido en el dormitorio sur. [ $m^3$ ]
- $\sum \tau_i G A_i$  es la cantidad de irradiancia solar que ingresa por las superficies translúcidas (vidrios)
- $\dot{V}$  es el caudal de aire que ingresa. [ $m^3/s$ ]
- $C_{e,aire} = 1006,5J/kg \cdot ^{\circ}\text{C}$  es el calor específico del aire
- $\rho_{aire}$  es la densidad del aire igual a  $0,798 \text{ kg/m}^3$ .

Con los balances de energía se calculó la rapidez de transferencia de calor durante los 4 días de medición. Al igual que en el dormitorio norte también se calculó considerando temperaturas superficiales interiores y exteriores de muros. Los resultados se muestran en la tabla 26, y el comportamiento del calor ganado a lo largo de los días se muestra en las figuras 55 y 56.



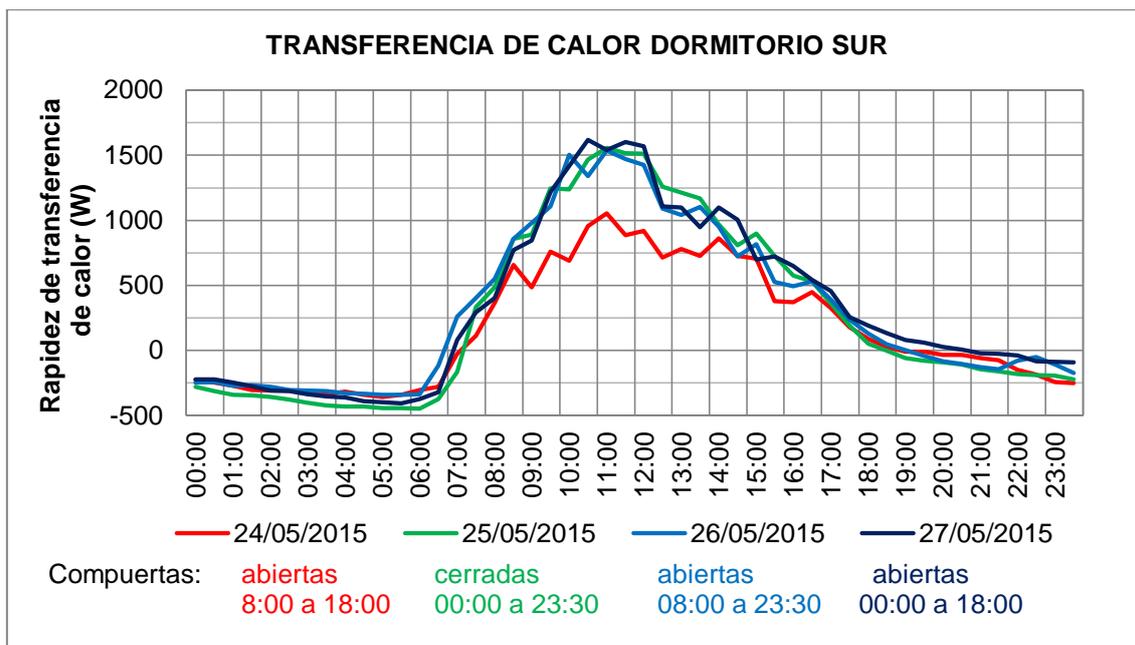
**Figura 55.** Rapidez de transferencia calor del dormitorio sur, del 24 al 27 de mayo 2014. Calculado con temperaturas interiores.

**Tabla 26.** Rapidez de transferencia de calor (en Watts) calculado para el dormitorio sur.

Hora	Calculado utilizando temperaturas interior				Calculado utilizando temperaturas superficiales interior y exteriores			
	24-may	25-may	26-may	27-may	24-may	25-may	26-may	27-may
00:00	-312	-355	-308	-313	-225	-279	-246	-222
00:30	-327	-392	-291	-296	-246	-310	-243	-224
01:00	-351	-425	-329	-303	-273	-341	-271	-247
01:30	-390	-416	-347	-314	-302	-345	-267	-274
02:00	-384	-446	-321	-351	-308	-358	-280	-307
02:30	-383	-454	-336	-386	-308	-378	-303	-314
03:00	-394	-459	-353	-395	-325	-401	-309	-335
03:30	-416	-465	-362	-383	-335	-421	-314	-354
04:00	-387	-487	-351	-397	-318	-431	-329	-362
04:30	-407	-468	-362	-426	-343	-429	-335	-391
05:00	-386	-494	-371	-440	-357	-442	-341	-399
05:30	-385	-503	-378	-449	-340	-441	-342	-406
06:00	-336	-485	-368	-390	-304	-447	-339	-374
06:30	-112	-180	94	-105	-280	-375	-117	-319
07:00	445	411	733	443	-27	-166	261	79
07:30	713	793	1033	931	111	336	402	292
08:00	1041	1254	1490	1393	367	487	552	405
08:30	1231	1397	1532	1545	655	857	856	771
09:00	1312	1628	1694	1764	487	889	978	845
09:30	1517	2189	2181	2258	757	1248	1108	1216
10:00	1693	2342	2413	2485	690	1237	1504	1417
10:30	1736	2441	2445	2578	955	1466	1341	1618
11:00	1713	2271	2186	2330	1052	1555	1537	1542
11:30	1764	2328	2239	2467	888	1517	1472	1604
12:00	1757	2369	2229	2518	917	1511	1427	1569
12:30	1609	2064	1870	2104	714	1259	1089	1106
13:00	1492	1774	1636	1817	782	1213	1042	1099
13:30	1391	1654	1512	1696	727	1169	1102	946
14:00	1282	1486	1391	1560	863	969	950	1097
14:30	1184	1404	1301	1444	726	808	721	1005
15:00	1029	1272	1127	1247	705	897	816	699
15:30	770	1076	946	1001	379	727	528	721
16:00	729	872	800	788	371	577	492	649
16:30	567	692	642	651	449	532	531	541
17:00	383	464	445	382	328	363	390	458
17:30	98	84	136	125	180	190	236	258
18:00	-30	-87	11	50	89	54	129	189
18:30	-96	-129	-105	-20	26	-2	48	134
19:00	-126	-172	-143	-65	-11	-57	3	79
19:30	-128	-177	-163	-60	-8	-81	-42	59
20:00	-101	-202	-221	-96	-33	-90	-82	29
20:30	-120	-188	-217	-104	-34	-107	-105	5
21:00	-138	-242	-230	-130	-60	-144	-127	-20
21:30	-132	-249	-209	-130	-75	-162	-145	-28
22:00	-247	-241	-125	-118	-149	-180	-78	-39
22:30	-244	-260	-91	-177	-187	-191	-49	-84
23:00	-337	-267	-163	-128	-243	-194	-109	-89
23:30	-352	-305	-252	-136	-252	-224	-174	-93

De la figura 56, el 24 de mayo (línea roja) las compuertas del dormitorio sur permanecieron cerradas durante todo el día, lo cual puede reflejarse en una menor

tasa de transferencia de calor entre las 8 y 17 horas. El 25 de mayo (línea azul) permanecieron abiertas de 8:00 a 18:00.

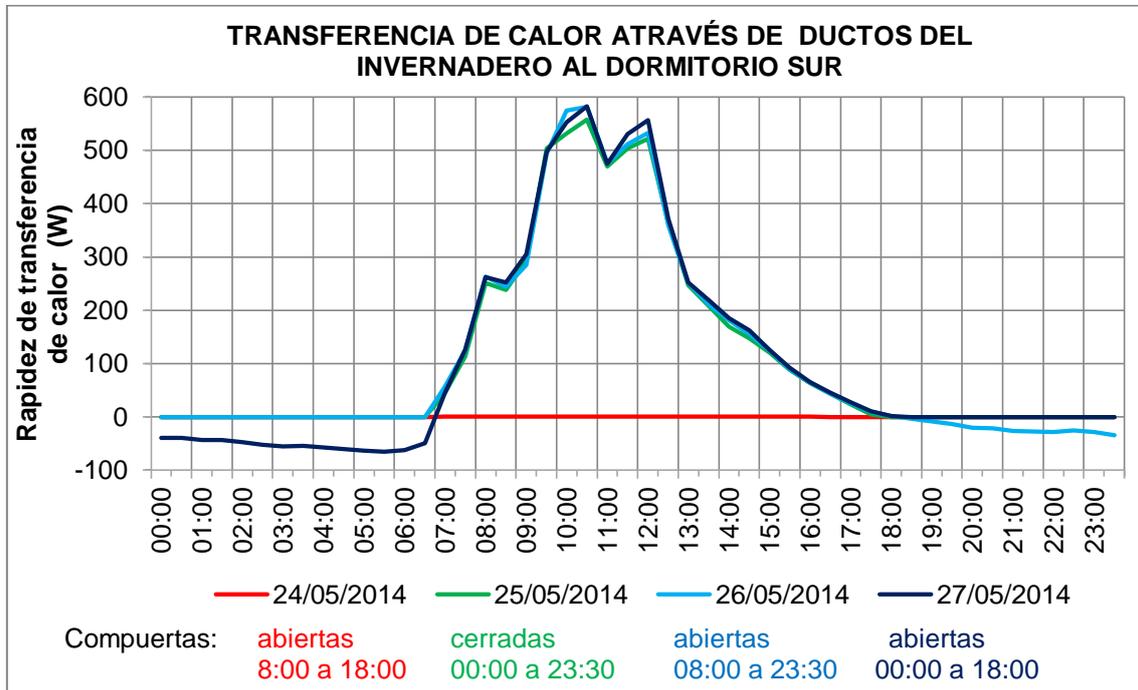


**Figura 56.** Rapidez de transferencia calor del dormitorio sur, del 24 al 27 de mayo 2014. Cálculo con temperaturas superficiales.

**Tabla 27.** Rapidez de transferencia calor del dormitorio sur (en Watts) por las compuertas abiertas y cerradas del dormitorio sur.

Hora	24 mayo	25 mayo	26 mayo	27 mayo	Hora	24 mayo	25 mayo	26 mayo	27 mayo
00:00	-0,2	-0,2	-0,2	-38,9	12:00	1,0	521,3	532,2	556,8
00:30	-0,2	-0,2	-0,2	-39,0	12:30	0,8	362,9	358,8	370,4
01:00	-0,2	-0,2	-0,2	-42,9	13:00	0,6	246,7	251,1	252,4
01:30	-0,2	-0,2	-0,2	-43,0	13:30	0,5	208,2	211,4	219,5
02:00	-0,2	-0,2	-0,2	-47,5	14:00	0,5	169,4	180,9	185,0
02:30	-0,2	-0,3	-0,2	-51,7	14:30	0,4	147,3	154,9	162,8
03:00	-0,2	-0,3	-0,2	-55,4	15:00	0,4	120,2	124,1	125,7
03:30	-0,2	-0,3	-0,2	-54,2	15:30	0,3	88,8	90,0	92,1
04:00	-0,2	-0,3	-0,2	-57,3	16:00	0,2	63,6	64,7	65,2
04:30	-0,2	-0,3	-0,2	-60,5	16:30	0,2	43,9	43,8	45,2
05:00	-0,2	-0,3	-0,2	-63,0	17:00	0,1	23,3	25,5	27,9
05:30	-0,2	-0,3	-0,2	-65,6	17:30	0,1	4,8	9,9	11,2
06:00	-0,2	-0,3	-0,3	-61,9	18:00	0,0	0,0	1,2	1,8
06:30	-0,2	-0,3	-0,2	-49,4	18:30	-0,0	-0,1	-3,3	0,0
07:00	0,2	44,1	56,7	44,7	19:00	-0,0	-0,1	-8,7	0,0
07:30	0,4	113,3	124,8	126,3	19:30	-0,1	-0,1	-12,9	0,1
08:00	0,7	250,6	263,1	261,7	20:00	-0,1	-0,1	-19,8	0,1
08:30	0,6	237,9	244,5	251,7	20:30	-0,1	-0,1	-21,5	0,1
09:00	0,7	292,8	284,7	304,6	21:00	-0,1	-0,2	-26,5	0,1
09:30	0,9	503,8	493,7	497,7	21:30	-0,1	-0,2	-27,2	0,1
10:00	0,9	531,1	574,9	552,4	22:00	-0,1	-0,2	-28,2	0,1
10:30	0,9	557,1	581,0	582,6	22:30	-0,2	-0,2	-24,9	0,2
11:00	0,9	469,6	475,4	474,4	23:00	-0,2	-0,2	-28,0	0,1
11:30	1,0	503,4	511,2	530,9	23:30	-0,2	-0,2	-34,0	0,2

Aplicando las fórmulas propuestas por ASHRAE para la evaluación de la tasa de transferencia de calor perdido por los ductos que conectan invernadero con el dormitorio sur se obtiene la tabla 27, donde el fondo plomo indica que las compuertas se encuentran cerradas, de esa forma existe una transferencia de calor del dormitorio hacia el invernadero sólo por conducción.



**Figura 57.** Rapidez de transferencia de calor de invernadero hacia el dormitorio sur por los conductos.

La tabla 28, muestra los valores calculados de la energía diaria (en Wh), resultando que el día con mayor ganancia de calor es 25 de mayo el cual corresponde al día que las compuertas permanecieron abiertas de 8:00 a 18:00.

**Tabla 28.** Energía ganada o perdida por las compuertas abiertas y cerradas del dormitorio sur.

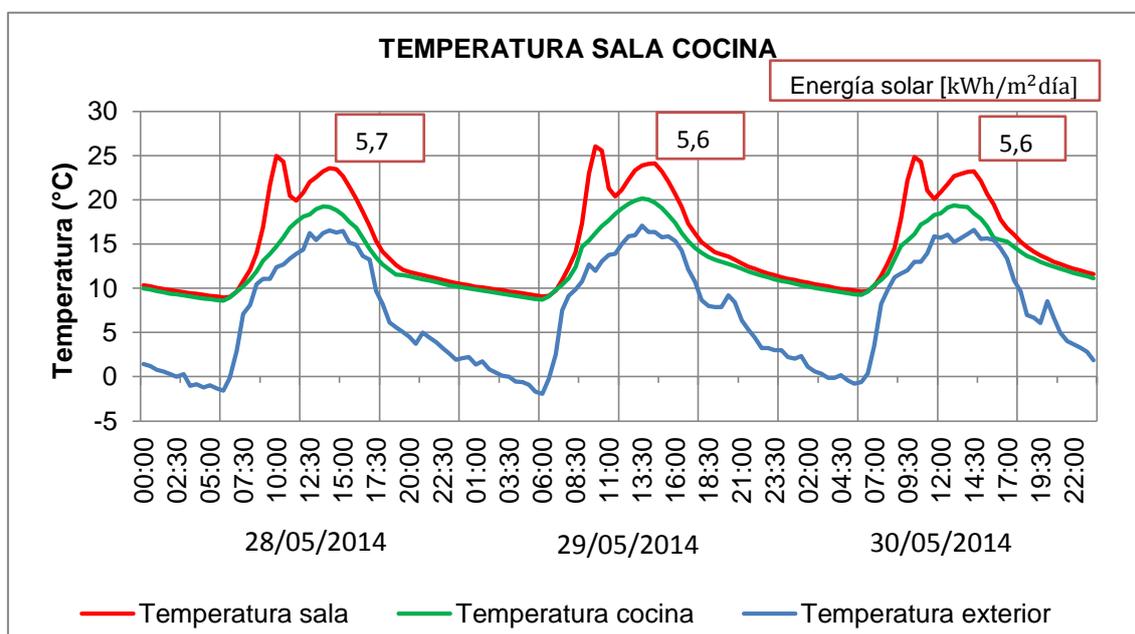
Periodo	24/05/2014	25/05/2014	26/05/2014	27/05/2014
	Energía (Wh)	Energía (Wh)	Energía (Wh)	Energía (Wh)
00:00 a 6:30	-1,3	-1,8	-1,6	-365,2
07:00 a 17:30	6,1	2752,1	2829,2	2871,3
18:00 a 23:00	-0,6	-0,8	-117,5	-0,6
<b>Diario</b>	<b>4,2</b>	<b>2749,5</b>	<b>2710,1</b>	<b>2505,6</b>

### 5.2.1.2. Puertas de ingreso de la vivienda abiertas

Las puertas de ingreso a la vivienda se ubican en la cocina y sala de la vivienda. Debido a que ambos espacios no poseen una pared divisoria se les considera como una zona térmica. La tabla 29 muestra las actividades realizadas en cocina y sala con las puertas abiertas y cerradas los días 28, 29, 30 y 31 de mayo de 2014.

**Tabla 29.** Programación de actividades con puertas de la vivienda 1.

N°	Fecha	Actividad programada
1	28/05/2014	Puerta de la cocina abierta de 8:00 a 18:00.
2	29/05/2014	Puerta de la sala abierta + puerta de la esclusa cerrada <b>de 8:00 a 18:00.</b>
3	30/05/2014	Puerta de la sala abierta + puerta de la cocina abierta + puerta de la esclusa abierta <b>de 8:00 a 18:00</b> (contraventanas abiertas en la mañana y la tarde)



**Figura 58.** Temperatura de la sala y cocina durante los días de medición.

Las temperaturas medidas experimentalmente de la sala y cocina se muestran en la figura 58. Nótese la temperatura de la sala es mayor al de la cocina durante la mañana, en las noches las temperaturas son casi iguales. Es importante mencionar, que la sala y la cocina al no poseer una superficie física que las separe, todo el calor que ingresa por la claraboya de la sala se comparte con la cocina. La tabla 30 muestra valores máximos, mínimos y promedios de temperatura al interior de la vivienda 1 durante los días de análisis.

Tabla 30. Temperaturas al interior de la vivienda 1.

		28/05/14	29/05/14	30/05/14
Temperatura Exterior [°C]	Máximo	17,11	17,11	16,58
	Mínimo	-1,56	-1,90	-0,79
	Promedio	6,95	7,60	7,68
Temperatura Dormitorio norte [°C]	Máximo	28,31	28,31	28,31
	Mínimo	10,21	10,99	11,38
	Promedio	16,65	17,14	16,95
Temperatura Dormitorio 2 [°C]	Máximo	14,47	14,09	14,47
	Mínimo	6,62	7,43	7,83
	Promedio	8,98	10,13	10,73
Temperatura Sala [°C]	Máximo	26,04	26,04	24,85
	Mínimo	8,97	9,09	9,63
	Promedio	14,62	15,24	15,18
Temperatura Cocina [°C]	Máximo	20,15	20,15	19,39
	Mínimo	8,62	8,74	9,29
	Promedio	12,64	13,38	13,42
Temperatura Invernadero [°C]	Máximo	44,91	44,29	44,44
	Mínimo	-0,06	0,36	0,85
	Promedio	15,08	15,99	15,86
Energía solar incidente	kWh/m <sup>2</sup> .día	5,65	5,56	5,56

Es preciso mencionar que la vivienda 1 se encuentra rodeada por obstáculos hacia el norte, este y oeste, lo que no permite que el viento choque en forma perpendicular con puertas y ventanas.

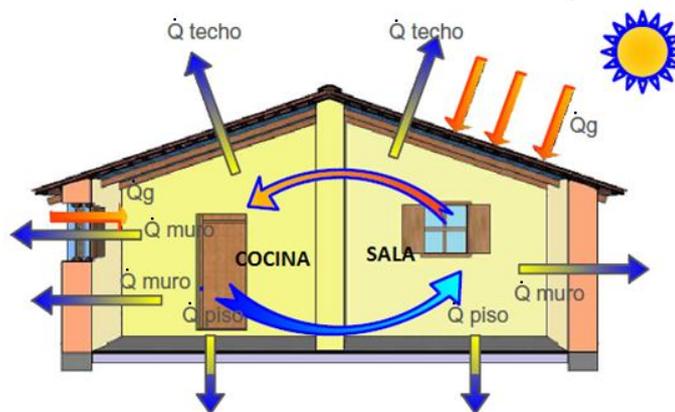


Figura 59. Pérdidas por conducción en muros, piso, techos y ventanas, ganancias por superficies traslucidas de la sala-cocina.

Se realiza un balance de energía para la zona térmica sala-cocina en estado estacionario, considerándose a ambos como una zona. Las figuras 59 y 60 son una

representación gráfica de las ganancias y pérdidas de calor. El aire caliente de la sala debido al calor ganado por la claraboya fluye hacia la cocina, la cual devuelve aire frío a la sala.



**Figura 60.** Pérdidas por conducción en muros, piso, techo y ventanas, ganancias por superficies traslucidas de la sala-cocina.

**Tabla 31.** Áreas (A) y coeficiente global de transferencia de calor (U) de los componentes de la sala-cocina.

Componente		A	U	Esquema de ubicación
		[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> .°C]	
<b>MURO</b>	Sala - dormitorio	M5	9,9	
	Norte sala-ext	M11	4,1	
	Oeste sala-ext	M12	9,2	
	Sala-exclusa	M20	0,4	
	Oeste cocina-ext	M13	8,3	
	Sur cocina-ext	M14	10,0	
Este cocina-	M15	6,8		
<b>TECHO</b>	teja sala	T4	10,8	
	policarbonato	T5	2,2	
	teja cocina	T6	15,1	
<b>PISO</b>	Concreto sala	P3	7,3	
	concreto cocina	P4	12,4	
<b>PUERTA</b>	Madera	pu1	1,6	
	Oeste hacia el	pu2	1,6	
	Hacia D2	pu3	1,8	
	Hacia D1	pu4	1,6	
<b>VENTANAS</b>	Vidrio	VS2	1,0	
	Marco de	mVS2	0,3	
	Vidrio	VO	0,5	
	Marco de	mVO	0,2	
	Vidrio	VB	0,1	
Marco de	mVB	0,1		

Realizando el balance de energía para la sala y cocina se tiene:

$$\Delta \dot{Q}_{\text{sala-cocina}} = \dot{Q}_{\text{muros}} + \dot{Q}_{\text{techo}} + \dot{Q}_{\text{piso}} + \dot{Q}_{\text{ventanas}} + \dot{Q}_{\text{puertas}} + \dot{Q}_{\text{renovación}} \\ + \dot{Q}_{\text{ventilación}} + \dot{Q}_{\text{ganancia solar}} + \dot{Q}_{\text{ocupantes}} + \dot{Q}_{\text{iluminación}}$$

$$\dot{Q}_{\text{muros}} = \dot{Q}_{M5} + \dot{Q}_{M9} + \dot{Q}_{M11} + \dot{Q}_{M12} + \dot{Q}_{M13} + \dot{Q}_{M14} + \dot{Q}_{M20}$$

$$\dot{Q}_{\text{muros}} = U_{\text{muro}} A_5 (T_{DN} - T_{\text{sala}}) + U_{\text{muro}} A_9 (T_{DS} - T_{\text{cocina}}) + U_{\text{muro-e}} A_{11} (T_{\text{sa-N}} - T_{\text{sala}}) \\ + U_{\text{muro-e}} A_{12} (T_{\text{sa-O}} - T_{\text{sala}}) + U_{\text{muro-e}} A_{13} (T_{\text{sa-O}} - T_{\text{cocina}}) \\ + U_{\text{muro-e}} A_{14} (T_{\text{sa-S}} - T_{\text{cocina}}) + U_{\text{muro}} A_{20} (T_{\text{esclusa}} - T_{\text{sala}})$$

$$\dot{Q}_{\text{techo}} = \dot{Q}_{T4} + \dot{Q}_{T5} + \dot{Q}_{T6}$$

$$= U_{\text{teja}} A_{T4} (T_{\text{sa}} - T_{\text{sala}}) + U_{\text{claraboya}} \cdot A_{T5} (T_{\text{sa}} - T_{\text{sala}}) + U_{\text{teja}} A_{T6} (T_{\text{sa}} - T_{\text{cocina}})$$

$$\dot{Q}_{\text{piso}} = U_{\text{piso}} \cdot A_{S3} (T_{\text{suelo}} - T_{\text{sala}}) + U_{\text{suelo}} \cdot A_{S4} (T_{\text{suelo}} - T_{\text{cocina}})$$

$$\dot{Q}_{\text{ventanas}} = [U_{V0} A_{V0} + U_{mV0} A_{mV0}] (T_{\text{sa}} - T_{\text{sala}}) \\ + [U_{VS2} A_{VS2} + U_{mVS2} A_{mVS2}] (T_{\text{sa}} - T_{\text{cocina}})$$

$$\dot{Q}_{\text{puerta}} = U_{\text{puerta}} A_{pu2} (T_{\text{exterior}} - T_{\text{cocina}}) + U_{\text{puerta}} A_{pu1} (T_{\text{esclusa}} - T_{\text{sala}}) \\ + U_{\text{puerta}} A_{pu3} (T_{D1} - T_{\text{cocina}}) + U_{\text{puerta}} A_{pu4} (T_{D2} - T_{\text{cocina}}) +$$

$$\dot{Q}_{\text{renovación aire}} = 0,223 N V_{\text{aire-S}} (T_{\text{exterior}} - T_{\text{sala}}) + 0,223 N V_{\text{aire-C}} (T_{\text{exterior}} - T_{\text{cocina}})$$

$$\dot{Q}_{\text{ganancias solares}} = \sum \tau_i G A_i$$

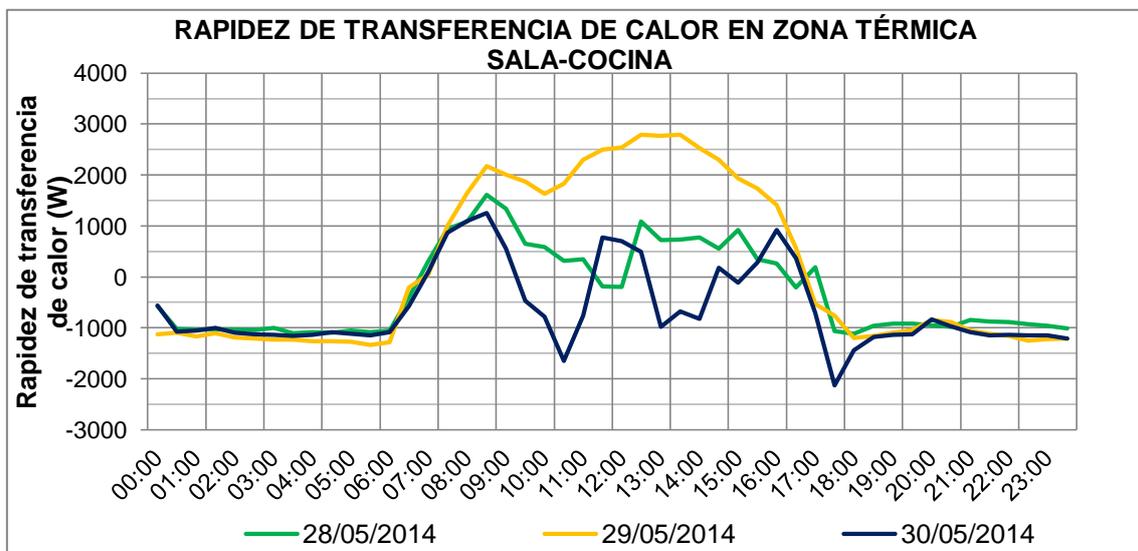
$$\dot{Q}_{\text{ventilación}} = \dot{V}_{p1} C_{e\text{aire}} \rho_{\text{aire}} (T_{\text{exterior}} - T_{\text{cocina}}) + \dot{V}_{p2} C_{e\text{aire}} \rho_{\text{aire}} (T_{\text{exterior}} - T_{\text{sala}})$$

Siendo:

- $\dot{Q}_{M3}$ ,  $\dot{Q}_{M6}$ ,  $\dot{Q}_{M7}$ ,  $\dot{Q}_{M8}$  y  $\dot{Q}_{M9}$  son la rapidez de transferencia de calor que atraviesan los muros del dormitorio sur. [W]
- $A_i$  representa el área del componente por donde fluye el calor. [m<sup>2</sup>]
- $U_i$  representa los coeficientes global de transferencia de calor de la puerta de madera, el techo, el policarbonato alveolar, el piso de madera, el doble vidrio y el marco de madera, muros interiores y muros exteriores [W/m<sup>2</sup>°C].
- $T_{DN}$ ,  $T_{DS}$ ,  $T_{\text{sala}}$ ,  $T_{\text{inv}}$ ,  $T_{\text{cocina}}$ ,  $T_{\text{suelo}}$ ,  $T_{\text{baño}}$  y  $T_{\text{exterior}}$  son las temperaturas del dormitorio norte, dormitorio sur, invernadero, sala, cocina pasillo, suelo, baño y ambiente exterior respectivamente, [°C]. Se considera  $T_{\text{suelo}} = \bar{T}_{\text{exterior}}$
- $T_{\text{sa-i}}$  es la temperatura sol-aire del muro en la dirección i (norte, oeste, sur) o la temperatura sol-aire del techo.
- N es el número de renovaciones de aire, considerándose igual a 1.
- $V_{\text{aire-S}}$  y  $V_{\text{aire-C}}$  son los volúmenes de aire contenidos en la sala y la cocina, respectivamente. [m<sup>3</sup>]
- $\sum \tau_i G A_i$  es la cantidad de irradiancia solar que ingresa por las superficies translúcidas (vidrios y claraboyas).

- $\dot{V}_{p1}$  y  $\dot{V}_{p2}$  es el caudal de aire que ingresa por las puertas de la cocina y sala cuando estás permanecen abiertas, [m<sup>3</sup>/s].
- $C_{e_{aire}} = 1006,5\text{J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$  es el calor específico del aire
- $\rho_{aire}$  es la densidad del aire igual a  $0,798\text{ kg/m}^3$ .

Con el balance de energía se calculó la rapidez de transferencia de calor involucrada en cada uno de los 4 días de medición. Como cálculo previo se determinó el coeficiente global de transferencia de calor de los diferentes componentes de la envolvente de esta zona térmica (tabla 31). Los valores calculados se muestran en la tabla 32, y son graficados en la figura 61. En las noches existe una pérdida de calor del interior hacia el exterior, lo contrario ocurre en las mañanas y tardes, donde existe una ganancia de energía debida esencialmente al aporte de la energía solar.



**Figura 61.** Rapidez de transferencia de calor en la zona térmica sala-cocina durante el 28, 29 y 30 de mayo 2014.

De la figura 61, la rapidez de transferencia es menor para el día 30 de mayo (línea azul), debido a que las puertas se encuentran abiertas, provocando pérdida de calor por ventilación. Cuando se dejó la puerta de la sala abierta con la puerta de la esclusa cerrada la velocidad de transferencia de calor tuvo un incremento.

**Tabla 32.** Rapidez de transferencia de calor (en watts) calculado cada 30 minutos en la sala-cocina.

HORA	28-may	29-may	30-may	HORA	28-may	29-may	30-may
00:00	-571	-1128	-564	12:00	2046	2785	1620
00:30	-1025	-1101	-1075	12:30	2244	3084	1545
01:00	-1036	-1167	-1060	13:00	2247	3115	1288
01:30	-1035	-1110	-1006	13:30	2217	3176	1278
02:00	-1037	-1194	-1099	14:00	2135	2949	1031
02:30	-1046	-1212	-1125	14:30	1992	2741	1178
03:00	-1007	-1229	-1134	15:00	1940	2375	1070
03:30	-1110	-1231	-1154	15:30	1697	2184	1057
04:00	-1084	-1268	-1136	16:00	1510	1845	1074
04:30	-1093	-1260	-1083	16:30	1150	867	931
05:00	-1052	-1269	-1120	17:00	788	-425	214
05:30	-1085	-1335	-1146	17:30	-664	-700	-1208
06:00	-1056	-1286	-1082	18:00	-885	-1205	-1035
06:30	-354	-110	-526	18:30	-958	-1155	-1179
07:00	408	137	193	19:00	-916	-1098	-1142
07:30	1081	1114	986	19:30	-923	-1047	-1132
08:00	1403	1792	1303	20:00	-950	-848	-837
08:30	1872	2330	1528	20:30	-981	-892	-966
09:00	1823	2188	1076	21:00	-843	-1058	-1090
09:30	1534	2069	317	21:30	-876	-1115	-1150
10:00	1450	1854	-26	22:00	-892	-1163	-1138
10:30	1519	2062	-97	22:30	-931	-1255	-1143
11:00	2063	2537	1024	23:00	-957	-1220	-1147
11:30	2150	2741	1605	23:30	-1008	-1209	-1213

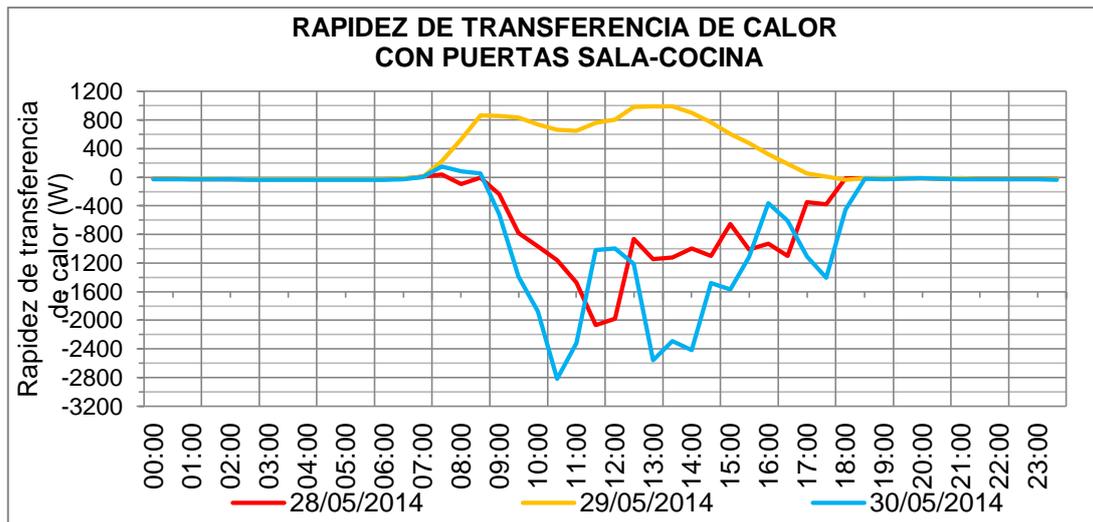
**Tabla 33.** Energía diaria de la zona térmica sala-cocina.

Fecha	Cocina		Sala			Energía cocina - sala [kWh]	Energía solar [kWh/m <sup>2</sup> ]	$\bar{T}_{ext}$ [°C]	$\bar{T}_{sala}$ [°C]	$\bar{T}_{cocina}$ [°C]
	Puerta	ContraV. Sur	Puerta	ContraV. Oeste	Esclusa					
28/05	Ab	C	C	C	C	-7,0	5,64	6,95	14,62	12,64
29/05	C	C	Ab	C	C	3,9	5,56	7,60	15,24	13,38
30/05	Ab	C	Ab	C	Ab	-14,7	5,56	7,68	15,18	13,42

(\*) C: cerrada  
(\*\*) Ab: abierta de 7:00 a 18:00  
(\*\*)ContraV.: contraventana

De la tabla 33, al dejar las puertas abiertas de la sala y cocina se obtiene un balance de energía negativo y menor que los otros casos, lo cual indica una pérdida de calor. Para el día 29 de mayo se dejó la puerta de la sala abierta con la puerta del espacio esclusa cerrada de 7:00 a 18:00, el balance de energía obtenido es mayor que los otros 2 días de pruebas, ya que el aire al interior de la esclusa se calienta por efecto del sol e ingresa al espacio de la sala.

Cuando las puertas de la cocina y de la sala permanecen abiertas se produce una pérdida de energía por ventilación. Considerando que solo las pérdidas se dan por efecto del viento, el caudal de ventilación se calculará con la ecuación 20.



**Figura 62.** Rapidez de transferencia de calor por ventilación de la sala-cocina a través de las puertas abiertas y cerradas durante el 28, 29 y 30 de mayo 2014.

La figura 62 muestra el calor perdido por ventilación, en ella cuando se dejaron abiertas las puertas de la cocina y sala (30 de mayo) se produce mayores pérdidas de calor. Cuando se dejó la puerta de la sala con la puerta de esclusa cerrada (29 mayo) ocurrió una ganancia de calor hacia el ambiente de la sala. Los valores de rapidez de transferencia de calor se ubican en la tabla 34.

**Tabla 34.** Rapidez de transferencia de calor (en Watts) por puertas abiertas y cerradas de la sala-cocina.

HORA	28-may	29-may	30-may	HORA	28-may	29-may	30-may
00:00	-24	-23	-27	12:00	-72	815	-356
00:30	-24	-23	-29	12:30	39	992	-487
01:00	-25	-24	-29	13:00	8	1004	-654
01:30	-26	-24	-27	13:30	3	1008	-731
02:00	-26	-25	-31	14:00	6	922	-979
02:30	-27	-26	-33	14:30	-16	792	-937
03:00	-26	-27	-34	15:00	15	630	-837
03:30	-29	-27	-35	15:30	-36	505	-769
04:00	-28	-28	-35	16:00	-43	348	-623
04:30	-29	-28	-33	16:30	-77	204	-423
05:00	-28	-29	-35	17:00	-20	58	-468
05:30	-29	-30	-36	17:30	-37	11	-546
06:00	-28	-29	-34	18:00	-10	-39	-40
06:30	-18	-15	-27	18:30	-14	-13	-23
07:00	19	-1	11	19:00	-15	-14	-25
07:30	48	227	150	19:30	-16	-14	-24
08:00	50	532	139	20:00	-18	-11	-15
08:30	77	867	144	20:30	-19	-12	-21
09:00	66	865	-196	21:00	-16	-16	-25
09:30	23	838	-827	21:30	-18	-18	-31
10:00	14	746	-1368	22:00	-19	-20	-31
10:30	1	671	-1526	22:30	-20	-22	-32
11:00	-25	656	-804	23:00	-22	-22	-31
11:30	-81	771	-464	23:30	-23	-23	-34

### 5.2.1.3. Ventanas abiertas y cerradas

Cuando las ventanas norte y sur de los dormitorios se encuentran abiertas se produce pérdidas de calor por ventilación a causa del viento. La ecuación 20 permite el cálculo del caudal de aire que ingresa a la vivienda a partir de la velocidad de viento exterior, medido por la estación meteorológica instalada en SFR. Se introduce en nuestros balances de energía el término de calor perdido por ventilación.

Las tabla 35 y 36 explican las actividades realizadas en los dormitorios norte y sur con las ventanas abiertas y cerradas los días 1, 2, 6, 7 y 8 de junio de 2014. Se aseguró que las puertas del dormitorio norte y sur permanecieran cerradas durante estas pruebas.

**Tabla 35.** Programación de actividades con ventanas dormitorio norte.

N°	Fecha	Actividad programada dormitorio norte
1	01/06/2014	Ventana Este abierta de 8:00 a 18:00
2	02/06/2014	Ventanas Este y Norte cerradas todo el día
3	06/06/2014	Ventana Este abierta de 8:00 a 18:00
4	07/06/2014	Ventana Norte abierta 8:00 a 18:00
5	08/06/2014	Ventanas Este y Norte cerradas todo el día

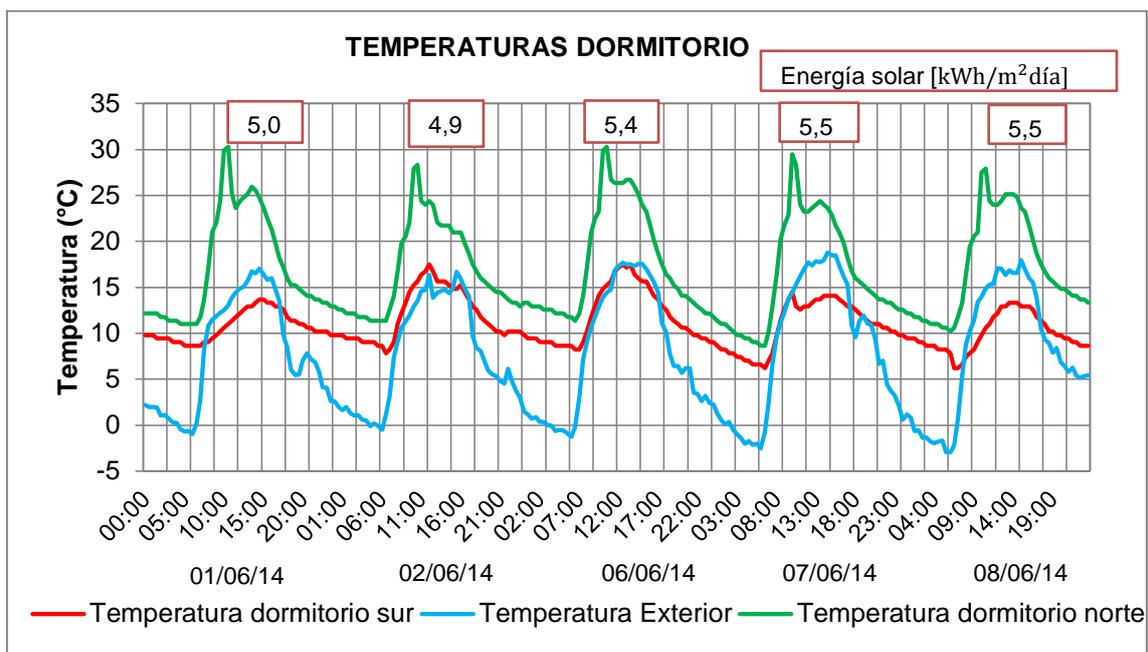
**Tabla 36.** Programación de actividades con ventanas dormitorio sur.

N°	Fecha	Actividad programada dormitorio sur
1	01/06/2014	Ventana Este y Sur cerradas todo el día
2	02/06/2014	Ventana Este abierta de 8:00 a 18:00
3	06/06/2014	Ventana Este abierta de 8:00 a 18:00
4	07/06/2014	Ventanas Este y Sur cerradas todo el día
5	08/06/2014	Ventana Sur abierta de 8:00 a 18:00

La figura 63 muestra las temperaturas medidas al interior de los dormitorios, nótese la temperatura del dormitorio norte siempre es mayor que la del dormitorio sur. Para los días que se dejó la ventana norte (7 de junio) y la ventana sur (8 junio) abiertas la temperatura disminuyó obteniéndose promedios mínimos durante la medición. Cuando se abrieron las ventanas orientadas hacia el Este la temperatura aumentó.

Valores máximos, mínimos y promedios de temperatura al interior de la vivienda 1 durante los días de análisis son mostrados en la tabla 37. No basta comparar temperaturas para determinar la energía involucrada en el balance, para comparar

dichos aportes se debe tener en cuenta que las condiciones del ambiente exterior como temperatura, humedad relativa, radiación solar varían de día a día, no permanecen constantes.



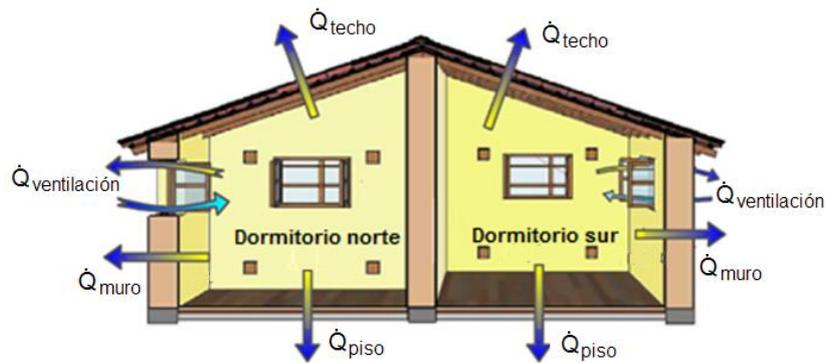
**Figura 63.** Temperatura de dormitorios norte y sur de la vivienda 1 durante los cinco días de medición.

**Tabla 37.** Temperaturas medidas al interior de la vivienda 1.

		01/06/14	02/06/14	06/06/14	07/06/14	08/06/14
Temperatura Exterior [°C]	Máximo	17,06	16,68	17,70	18,77	17,99
	Mínimo	-0,96	-0,51	-1,27	-2,57	-2,98
	Promedio	8,05	8,09	8,22	8,10	7,51
Temperatura dormitorio norte [°C]	Máximo	30,31	28,31	30,31	29,50	30,31
	Mínimo	8,63	11,38	11,38	8,63	10,21
	Promedio	19,47	19,85	20,85	19,07	20,26
Temperatura dormitorio sur [°C]	Máximo	13,70	17,52	17,52	14,47	13,32
	Mínimo	8,63	7,83	8,23	6,22	6,22
	Promedio	11,17	12,68	12,88	10,35	9,77
Temperatura sala [°C]	Máximo	25,60	25,33	25,40	25,67	25,09
	Mínimo	9,90	10,10	9,81	9,63	9,24
	Promedio	17,75	17,72	17,60	17,65	17,16
Temperatura cocina [°C]	Máximo	19,20	18,06	19,67	19,58	18,91
	Mínimo	9,63	9,78	9,44	9,31	8,89
	Promedio	14,42	13,92	14,55	14,45	13,90
Temperatura invernadero [°C]	Máximo	24,27	44,84	43,95	45,53	45,19
	Mínimo	4,56	1,67	0,38	-0,12	-2,57
	Promedio	14,41	23,26	22,17	22,71	21,31
Energía solar	kWh/m <sup>2</sup> .día	5,01	4,85	5,44	5,52	5,50

De la tabla 37, cuando se deja abierta la ventana norte, la temperatura promedio es la más baja en comparación con los otros días. Lo mismo ocurrió cuando se dejó la ventana sur de dormitorio sur, su temperatura promedio disminuye. Cuando las ventanas orientadas al este, permanecieron abiertas el 6 de junio, se observa que las temperaturas promedio son mayores del periodo de medición.

Las figuras 64, 65 y 66 representan la transferencia de calor para los dormitorios norte y sur. El viento no penetra en forma perpendicular con la ventana por obstáculos presentes.



**Figura 64.** Ganancia y pérdidas de calor de dormitorios con ventanas norte y sur abiertas.



**Figura 65.** Ganancia y pérdidas de calor del dormitorio norte con ventana este abierta.



**Figura 66.** Ganancia y pérdidas de calor de dormitorio sur con ventana este abierta.

Realizando el balance térmico para los dormitorios se tiene:

$$\Delta \dot{Q}_{\text{Dormitorio}} = \dot{Q}_{\text{muros}} + \dot{Q}_{\text{techo}} + \dot{Q}_{\text{piso}} + \dot{Q}_{\text{ventanas}} + \dot{Q}_{\text{puerta}} + \dot{Q}_{\text{renovación}} + \dot{Q}_{\text{ventilación}} + \dot{Q}_{\text{ganancia solar}} + \dot{Q}_{\text{ocupantes}} + \dot{Q}_{\text{iluminación}}$$

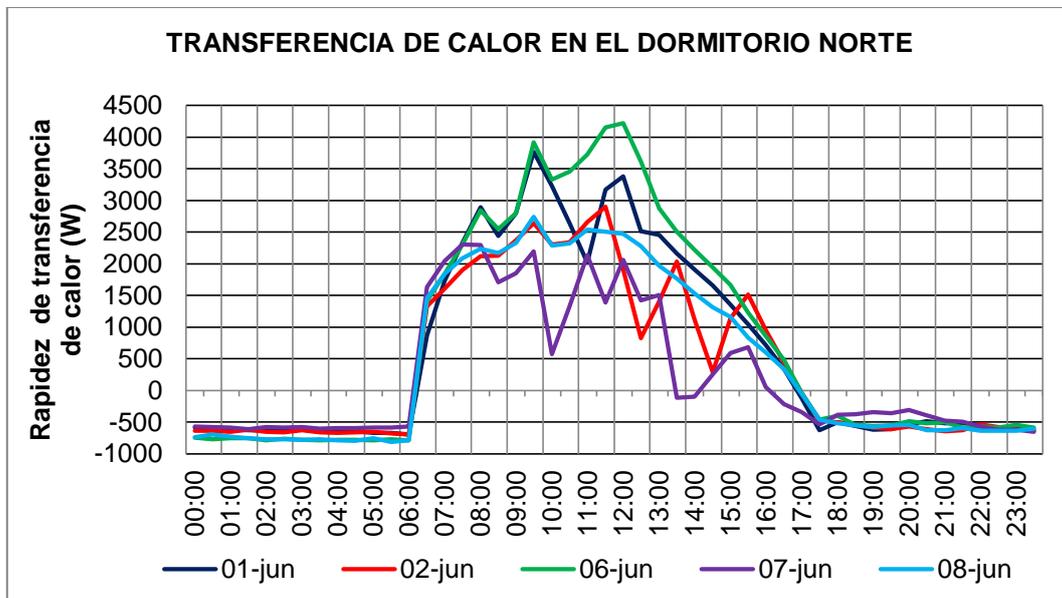
Similar a lo descrito en el punto 5.2.1.1., si embargo aparece  $\dot{Q}_{\text{ventilación}}$

$$\dot{Q}_{\text{ventilación}} = \dot{V} C_{e\text{aire}} \rho_{\text{aire}} (T_{\text{exterior}} - T_{\text{Dormitorio}})$$

Siendo:

- $\dot{V}$  el caudal de aire que ingresa, para el casos de las ventanas orientadas al Este se considera, para simplificar cálculos, intercambio de aire debido sólo por diferencia de temperatura, para las ventanas exteriores el intercambio de aire es debido al viento.
- $C_{e\text{aire}} = 1006,5 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$  es el calor específico del aire.
- $\rho_{\text{aire}}$  es la densidad del aire igual a  $0,798 \text{ kg/m}^3$ .
- $T_{\text{exterior}}$  es la temperatura exterior o del invernadero, según sea el caso [ $^\circ\text{C}$ ].
- $T_{\text{Dormitorio}}$  es la temperatura del dormitorio, [ $^\circ\text{C}$ ].

Con el balance de energía se calculó la velocidad de transferencia de calor involucrada en cada uno de los 6 días de medición. Un cálculo previo es determinar el coeficiente global de transferencia de calor de los diferentes elementos que componen la envolvente de ambos dormitorios (determinadas en el punto 5.5.1.1 en las tablas 19 y 24). Los valores calculados se muestran en las tablas 38 y 39, y son graficados en las figuras 67 y 68.



**Figura 67.** Rapidez de transferencia de calor del dormitorio norte con ventanas abiertas o cerradas, 01, 02, 06, 07 y 08 junio de 2014.

De la figura 69, los días 01 y 06 de junio la ventana del dormitorio norte orientada permaneció abierta lo que ocasionó una ganancia de calor y con una mayor velocidad de transferencia de calor desde el invernadero al dormitorio. El 02 y 08 de junio, es un día típico ya que ambas ventanas permanecieron cerradas. El 07 de junio la ventana orientada hacia el norte permaneció cerrada, originándose menor velocidad de transferencia de calor.

**Tabla 38.** Rapidez de transferencia de calor (en watts) calculado cada 30 minutos en el dormitorio norte.

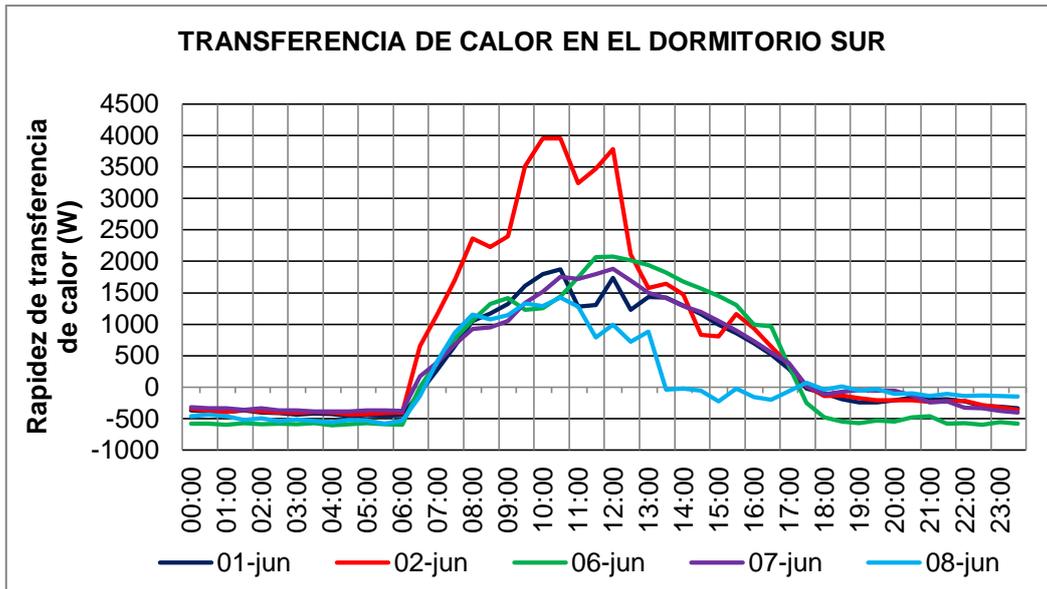
Hora	Ventana Este			Ventana Norte	
	01-jun	02-jun	06-jun	07-jun	08-jun
00:00	-597	-648	-755	-575	-747
00:30	-612	-645	-779	-589	-708
01:00	-619	-665	-767	-592	-736
01:30	-635	-627	-767	-621	-762
02:00	-635	-659	-798	-588	-777
02:30	-641	-673	-768	-591	-779
03:00	-624	-639	-787	-584	-793
03:30	-652	-669	-794	-609	-781
04:00	-661	-677	-789	-604	-796
04:30	-657	-668	-792	-601	-803
05:00	-677	-664	-799	-590	-766
05:30	-682	-684	-781	-591	-825
06:00	-701	-705	-800	-578	-800
06:30	882	1351	1434	1682	1522
07:00	1765	1638	1879	2134	1914
07:30	2380	1939	2351	2391	2160
08:00	2954	2175	2898	2384	2311
08:30	2502	2185	2615	1793	2240
09:00	2881	2441	2879	1940	2398
09:30	3856	2717	4004	2289	2812
10:00	3324	2384	3426	659	2359
10:30	2739	2420	3559	1421	2389
11:00	2070	2743	3829	2222	2603
11:30	3228	2962	4259	1471	2570
12:00	3488	1948	4332	2140	2529
12:30	2576	826	3720	1497	2338
13:00	2561	1448	2982	1574	2017
13:30	2262	2101	2603	-53	1812
14:00	2000	1204	2306	-35	1576
14:30	1739	301	2020	309	1348
15:00	1430	1161	1736	646	1202
15:30	1102	1584	1290	733	867
16:00	768	1003	906	95	627
16:30	373	474	520	-182	363
17:00	-105	-28	-29	-319	-42
17:30	-632	-478	-459	-526	-465
18:00	-510	-511	-410	-390	-523
18:30	-570	-546	-554	-377	-557
19:00	-623	-589	-563	-345	-588
19:30	-616	-619	-556	-364	-558
20:00	-538	-578	-490	-310	-554
20:30	-494	-618	-526	-401	-639
21:00	-528	-648	-510	-486	-638
21:30	-517	-638	-593	-497	-601
22:00	-561	-543	-575	-573	-644
22:30	-599	-585	-596	-630	-641
23:00	-611	-627	-549	-632	-646
23:30	-641	-625	-595	-659	-612

De la tabla 38, el fondo plomo indica que la ventana del dormitorio norte (orientadas hacia el norte o el este) permaneció cerrada durante ese periodo de tiempo.

**Tabla 39.** Rapidez de transferencia de calor (en watts) calculado cada 30 minutos en el dormitorio sur.

Hora	Ventana Este			Ventana Sur	
	01-jun	02-jun	06-jun	07-jun	08-jun
00:00	-372	-348	-583	-324	-466
00:30	-386	-383	-582	-337	-440
01:00	-392	-401	-596	-339	-466
01:30	-368	-367	-572	-365	-529
02:00	-406	-395	-589	-337	-504
02:30	-412	-407	-584	-377	-545
03:00	-435	-416	-588	-371	-520
03:30	-423	-404	-577	-393	-547
04:00	-432	-412	-604	-389	-561
04:30	-465	-442	-587	-388	-529
05:00	-446	-439	-577	-377	-536
05:30	-451	-418	-590	-378	-587
06:00	-443	-412	-595	-381	-541
06:30	-83	733	6	224	-150
07:00	276	1225	399	403	466
07:30	658	1769	774	704	922
08:00	1048	2427	1063	953	1204
08:30	1169	2293	1325	990	1133
09:00	1319	2458	1415	1096	1198
09:30	1612	3571	1232	1390	1388
10:00	1797	4010	1257	1576	1345
10:30	1869	4000	1438	1819	1470
11:00	1282	3283	1746	1789	1324
11:30	1304	3224	2068	1867	827
12:00	1740	3239	2073	1952	1025
12:30	1226	1861	2016	1762	757
13:00	1432	1586	1943	1558	911
13:30	1421	1658	1820	1470	-10
14:00	1296	1493	1682	1339	0
14:30	1160	839	1567	1246	-34
15:00	995	813	1448	1095	-206
15:30	854	1179	1305	936	-6
16:00	696	945	992	759	-147
16:30	518	656	967	570	-193
17:00	291	364	337	393	-58
17:30	-21	6	-249	21	74
18:00	-100	-142	-478	-122	-43
18:30	-193	-137	-545	-75	6
19:00	-244	-179	-569	-46	-60
19:30	-239	-209	-533	-61	-37
20:00	-210	-215	-544	-55	-111
20:30	-171	-209	-484	-132	-105
21:00	-201	-236	-465	-249	-142
21:30	-192	-228	-584	-226	-111
22:00	-230	-221	-574	-332	-148
22:30	-300	-287	-602	-337	-137
23:00	-311	-325	-557	-381	-142
23:30	-338	-363	-578	-408	-150

De la tabla 39, el fondo plomo indica que la ventana del dormitorio sur (orientadas hacia el sur o el este) permaneció cerrada durante ese periodo de tiempo.



**Figura 68.** Rapidez de transferencia de calor del dormitorio sur con ventanas abiertas o cerradas, 01, 02, 06, 07 y 08 junio de 2014.

De la figura 68, los días 02 y 06 de junio la ventana del dormitorio sur orientada permaneció abierta lo que ocasionó una ganancia de calor y con una mayor velocidad de transferencia de calor desde el invernadero al dormitorio. El 01 y 07 de junio, es un día típico ya que ambas ventanas permanecieron cerradas. El 08 de junio la ventana orientada hacia el sur permaneció cerrada, originándose menor velocidad de transferencia de calor.

Las tablas 40 y 41 muestran la energía de cada zona térmica después de realizar el balance de energía. Cuando las ventanas exteriores permanecieron abiertas el balance de energía es 5,74kWh (dormitorio norte) y 8,9 kWh (dormitorio sur).

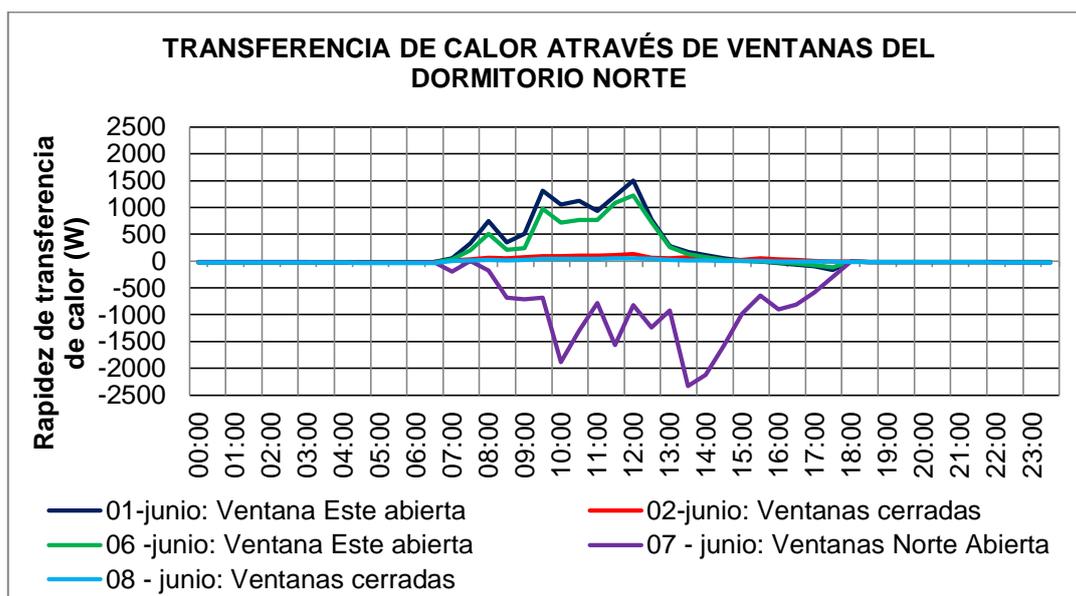
**Tabla 40.** Energía diaria del dormitorio norte.

Fecha	Ventana Este	Ventana Norte	Energía [kWh]	Energía solar [kWh/m <sup>2</sup> ]	Text promedio [°C]	T <sub>D1</sub> promedio [°C]
01/06/2014	Ab	C	15,47	5,00	7,78	19,47
02/06/2014	C	C	10,37	4,85	7,58	19,85
06/06/2014	Ab	C	19,11	5,44	7,83	20,85
07/06/2014	C	Ab	6,44	5,51	8,43	19,07
08/06/2014	C	C	11,09	5,50	7,61	20,26
C:Cerrada						
Ab: abierta de 8:00 a 18:00						

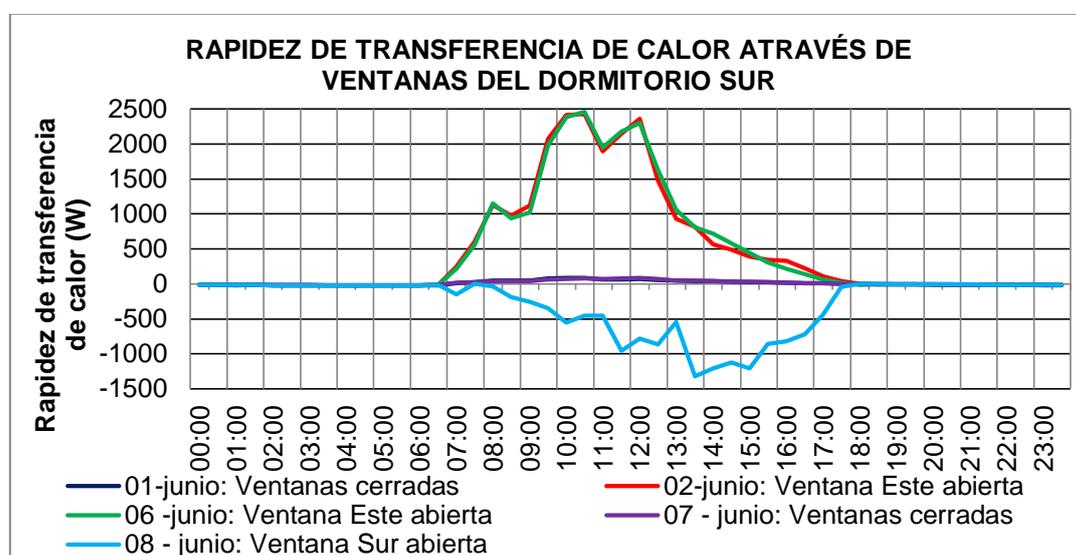
**Tabla 41.** Energía diaria del dormitorio sur.

Fecha	Ventana Este	Ventana Sur	Energía [kWh]	Energía solar [kWh/m <sup>2</sup> ]	Text promedio [°C]	T <sub>D2</sub> promedio [°C]
01/06/2014	C	C	7,8	5,00	7,78	11,47
02/06/2014	Ab	C	17,8	4,85	7,58	12,68
06/06/2014	Ab	C	19,4	5,44	7,83	12,88
07/06/2014	C	C	9,4	5,51	8,43	10,35
08/06/2014	C	Ab	2,5	5,50	7,61	9,77

C:Cerrada  
Ab: abierta de 8:00 a 18:00



**Figura 69.** Rapidez de transferencia de calor por las ventanas (abiertas y cerradas) del dormitorio norte durante el 01, 02, 06, 07 y 08 de junio de 2014.



**Figura 70.** Rapidez de transferencia de calor por las ventanas (abiertas y cerradas) del dormitorio sur durante el 01, 02, 06, 07 y 08 de junio de 2014.

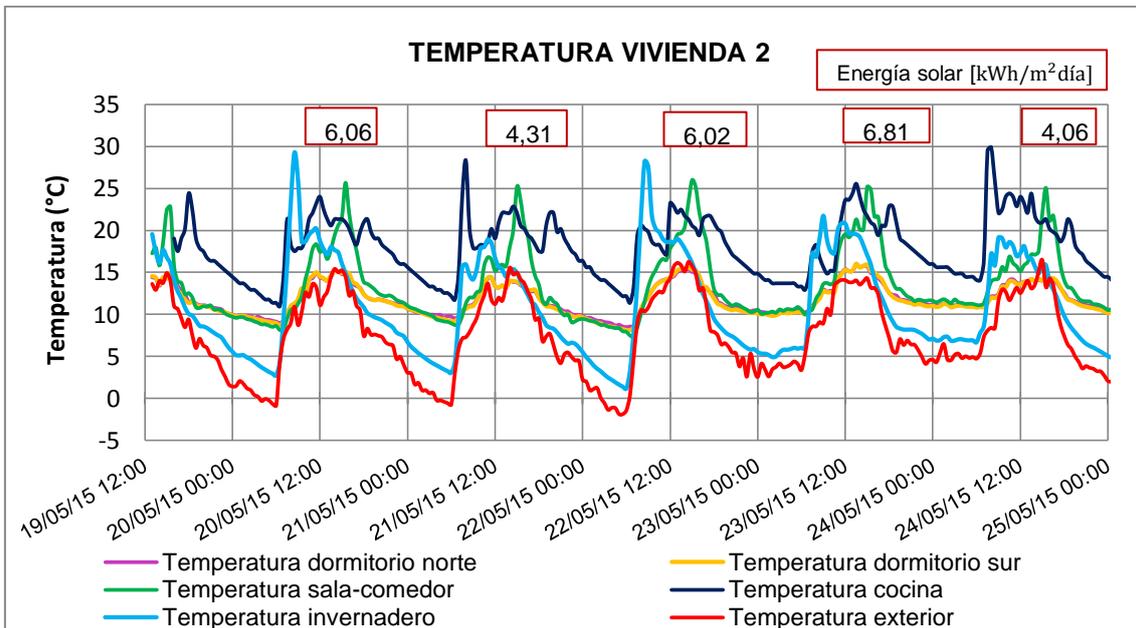
**Tabla 42.** Rapidez de transferencia de calor (en watts) a través de las ventanas de los dormitorios, calculado cada 30 minutos.

Orientación Ventana:	Dormitorio Norte					Dormitorio Sur				
	E	E	E	N	N	E	E	E	S	S
	Abierta	Cerrada	Abierta	Abierta	Cerrada	Cerrada	Abierta	Abierta	Cerrada	Abierta
Hora	01-jun	02-jun	06-jun	07-jun	08-jun	01-jun	02-jun	06-jun	07-jun	08-jun
00:00	-15	-25	-30	-24	-31	-15	-16	-16	-16	-16
00:30	-16	-25	-31	-24	-31	-16	-17	-17	-16	-17
01:00	-16	-26	-30	-24	-33	-16	-18	-18	-16	-18
01:30	-16	-26	-31	-25	-33	-16	-18	-18	-17	-18
02:00	-17	-26	-32	-25	-35	-17	-18	-18	-17	-18
02:30	-17	-27	-31	-25	-35	-17	-19	-19	-18	-19
03:00	-18	-26	-32	-25	-36	-18	-19	-19	-18	-19
03:30	-18	-27	-33	-26	-35	-18	-19	-19	-19	-19
04:00	-18	-28	-32	-25	-36	-18	-20	-20	-18	-20
04:30	-19	-27	-33	-26	-37	-19	-20	-20	-19	-20
05:00	-19	-28	-33	-26	-37	-19	-21	-21	-19	-21
05:30	-19	-28	-33	-26	-38	-19	-20	-20	-19	-20
06:00	-20	-29	-33	-26	-38	-20	-20	-20	-20	-20
06:30	-19	-25	-31	-25	-39	-19	-16	-16	-18	-16
07:00	54	17	28	-196	-2	13	246	214	18	-151
07:30	331	38	197	0	10	27	603	556	32	0
08:00	747	61	511	-172	28	47	1128	1151	49	-38
08:30	351	59	207	-683	18	46	978	938	42	-190
09:00	511	72	238	-713	22	52	1118	1024	45	-257
09:30	1314	103	970	-687	52	76	2075	1983	72	-348
10:00	1049	102	720	-1882	45	84	2416	2382	82	-553
10:30	1124	106	770	-1298	49	85	2434	2458	92	-454
11:00	935	111	763	-777	48	67	1898	1950	82	-455
11:30	1217	116	1086	-1565	57	67	1911	2177	90	-956
12:00	1498	126	1225	-820	62	74	1876	2301	96	-781
12:30	772	58	729	-1242	46	59	1263	1632	78	-868
13:00	276	56	260	-925	27	45	931	1058	58	-546
13:30	175	71	134	-2327	16	44	814	810	52	-1319
14:00	109	72	70	-2124	10	39	570	719	46	-1203
14:30	52	22	25	-1575	5	33	489	578	40	-1124
15:00	12	25	4	-983	3	28	388	444	34	-1207
15:30	-5	49	-11	-642	-2	23	349	309	28	-853
16:00	-37	35	-32	-902	-4	17	331	213	22	-819
16:30	-64	19	-52	-816	-6	13	226	139	16	-718
17:00	-97	3	-74	-580	-8	7	112	62	11	-437
17:30	-167	-8	-121	-295	-12	3	38	16	4	-46
18:00	-13	-12	-13	-12	-16	0	0	-9	-1	1
18:30	-15	-15	-16	-15	-18	-4	-3	-4	-5	-1
19:00	-19	-18	-18	-16	-20	-7	-6	-7	-6	-4
19:30	-21	-20	-19	-17	-21	-8	-7	-8	-6	-5
20:00	-22	-21	-19	-17	-22	-10	-9	-9	-7	-7
20:30	-22	-22	-20	-19	-24	-10	-10	-10	-10	-8
21:00	-23	-23	-21	-21	-24	-11	-11	-10	-13	-9
21:30	-23	-24	-22	-23	-24	-11	-11	-11	-14	-10
22:00	-24	-23	-22	-24	-26	-12	-13	-13	-16	-11
22:30	-24	-23	-22	-26	-26	-13	-14	-13	-17	-11
23:00	-25	-24	-23	-28	-27	-14	-15	-15	-20	-12
23:30	-25	-25	-24	-29	-27	-14	-17	-15	-21	-13

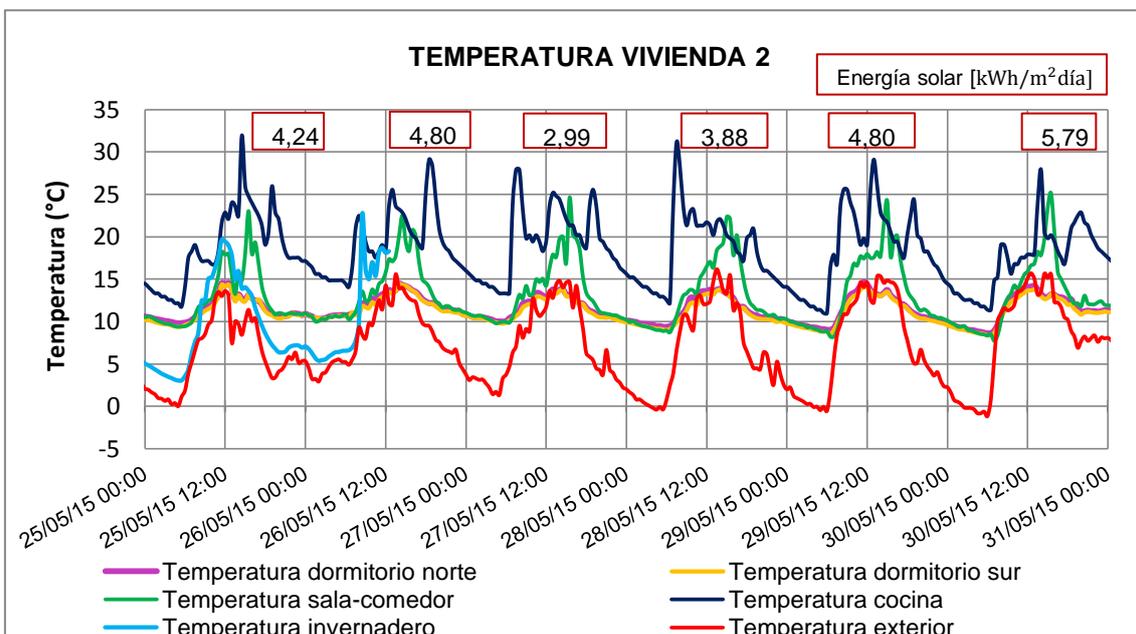
Abierta de 8:00 a 18:00  
Cerrada: todo el día  
E=Este, N= norte, S= Sur

### 5.2.2. Vivienda 2

En esta parte se analiza el comportamiento térmico de la vivienda 2 de SFR, con datos obtenidos durante el mes de mayo de 2015. Se instalaron 5 sensores de temperatura Hobo en los ambientes de la vivienda: dos dormitorios (sur y norte), sala-comedor, cocina e invernadero con la finalidad de estudiar el comportamiento térmico de esta vivienda durante 11 días, los promedios diarios de temperatura son mostrados en la tabla 43. La figura 71 muestra el comportamiento de la temperatura dentro de la vivienda, la línea roja representa la temperatura exterior.



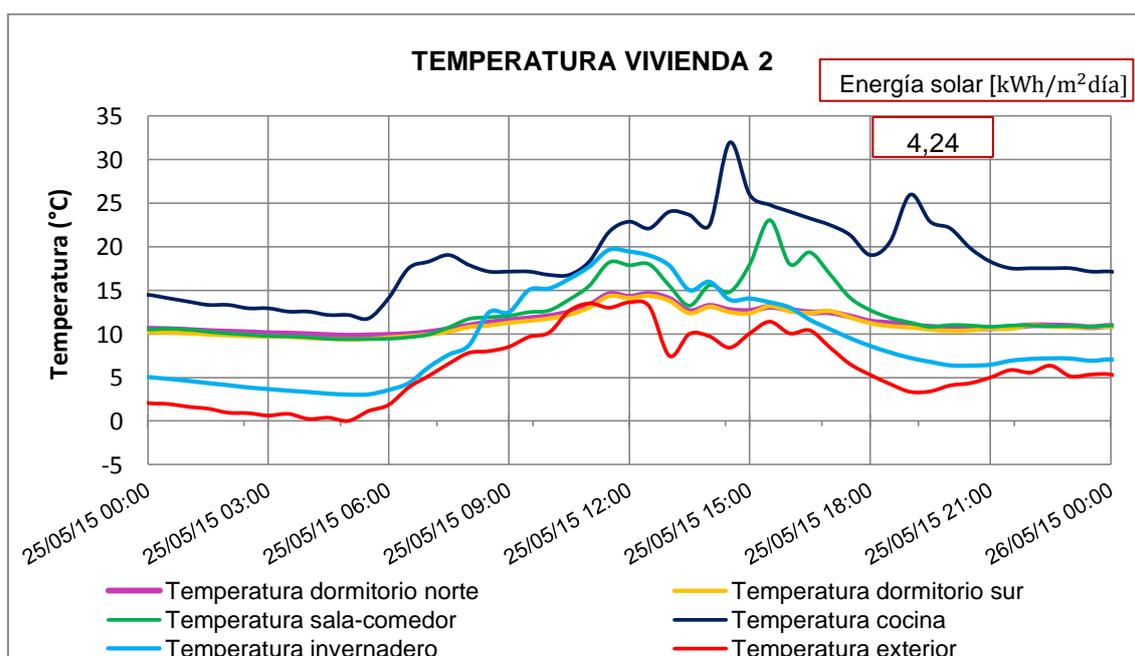
**Figura 71.** Temperatura medida al interior de la vivienda 2, del 19 al 24 de mayo de 2015.



**Figura 72.** Temperatura medida al interior de la vivienda 2, del 25 al 30 de mayo de 2015.

**Tabla 43.** Temperaturas medidas al interior de la vivienda 2.

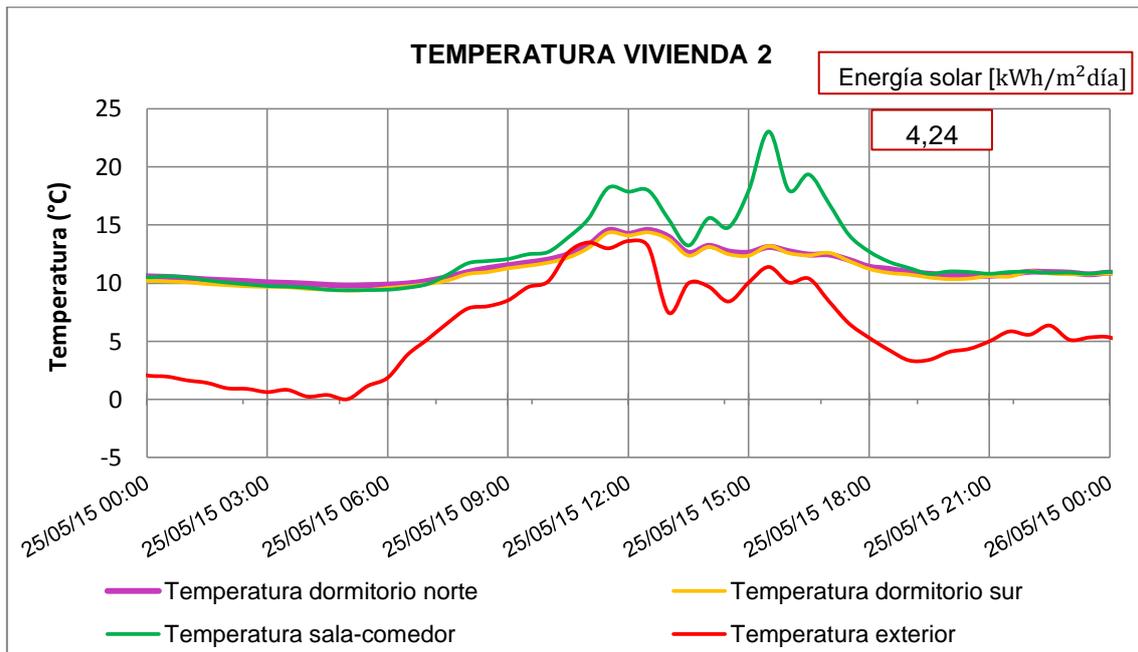
		20/05/15	21/05/15	22/05/15	23/05/15	24/05/15	25/05/15	26/05/15	27/05/15	28/05/15	29/05/15	30/05/15
<b>Temperatura dormitorio Norte (°C)</b>	Máxima	15,2	14,4	15,4	15,9	14,5	14,6	14,5	13,8	13,8	14,6	14,2
	Mínima	9,0	9,5	8,5	10,1	10,7	9,8	10,3	10,0	9,4	9,0	8,6
	Promedio	11,8	11,4	11,5	12,3	12,2	11,4	11,9	11,5	11,2	11,3	11,4
<b>Temperatura dormitorio Sur (°C)</b>	Máxima	15,2	14,4	15,6	16,0	14,6	14,4	14,4	13,8	13,8	14,1	13,8
	Mínima	8,7	9,2	8,1	9,8	10,3	9,4	10,3	9,8	9,0	8,5	8,4
	Promedio	11,8	11,3	11,4	12,2	12,1	11,2	11,8	11,3	10,9	11,0	11,1
<b>Temperatura sala (°C)</b>	Máxima	25,7	25,2	26,0	25,2	25,1	23,0	22,5	24,6	22,3	24,2	25,1
	Mínima	8,1	8,7	7,4	10,0	10,8	9,4	10,0	9,8	8,7	8,2	7,7
	Promedio	13,3	12,8	13,2	14,2	14,0	12,6	13,4	13,2	12,9	13,2	12,8
<b>Temperatura cocina (°C)</b>	Máxima	24,0	28,3	23,2	25,6	29,9	31,9	29,1	27,9	31,1	29,1	27,9
	Mínima	11,0	11,8	11,4	12,9	14,1	11,8	14,1	13,3	12,2	11,0	11,4
	Promedio	17,5	18,0	17,6	17,8	19,1	18,6	19,1	19,2	18,2	18,3	17,3
<b>Temperatura exterior (°C)</b>	Máxima	15,4	15,6	16,2	14,3	16,5	13,6	15,6	14,8	16,2	15,3	15,7
	Mínima	-0,8	-0,7	-1,9	2,6	2,7	0,0	2,9	1,3	-0,4	-0,5	-1,2
	Promedio	7,4	7,0	7,1	8,0	8,1	6,0	8,2	7,2	6,6	7,1	7,9
<b>Radiación solar (kWh/m<sup>2</sup>.día)</b>		6,1	4,3	6,2	6,8	4,1	4,2	4,8	3,0	3,9	4,8	5,8



**Figura 73.** Temperatura medida en ambientes de vivienda 2, 25 de mayo 2015.

Se analiza el día más frío (25 de mayo de 2015) del periodo de medición, para ver los efectos que tiene el ambiente exterior sobre el interior de la vivienda. De la figura

73, la habitación que posee mayor temperatura es la cocina (línea azul), debido a que en el interior de este ambiente se ubica un fogón mejorado. Se aprecia que la línea que describe el comportamiento de la temperatura posee 3 picos, estos corresponden a los instantes de funcionamiento del fogón en la cocción de los alimentos del desayuno, almuerzo y cena. Las paredes absorben el calor entregado por el fogón y en periodos de la noche las paredes devuelven la energía al ambiente interior, así incrementa la temperatura del aire. La temperatura de la cocina es superior a la temperatura exterior hasta en 13°C.



**Figura 74.** Temperatura medida en ambientes de la vivienda 2, 25 de mayo 2015.

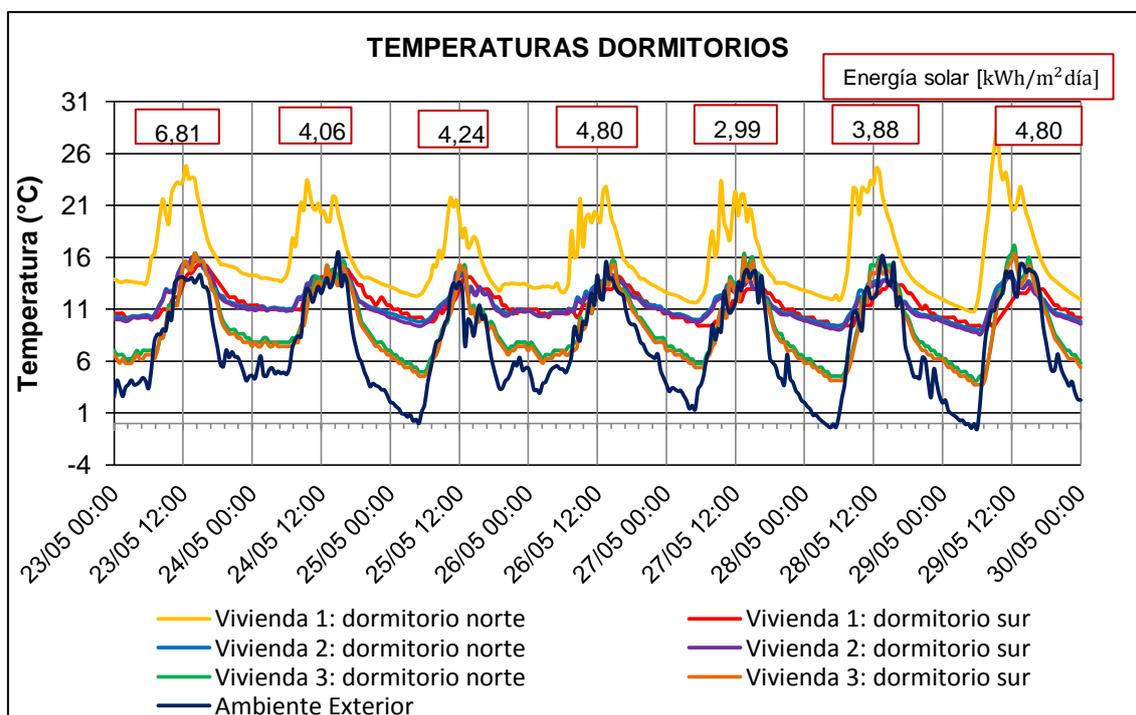
De la figura 74, en periodos de la noche, la temperatura de los dormitorios norte y sur y la sala-comedor son próximas y mayores a la temperatura exterior (línea roja) en más de 5°C. Para periodos del día la sala-comedor (línea verde) aumenta su temperatura, debido al aporte de la energía solar que ingresa a este espacio por las claraboyas.

El comportamiento de las temperaturas de los dormitorios norte (línea fucsia) y sur (línea amarilla) se diferencian aproximadamente en 0,2°C. Durante las horas con temperaturas exteriores mínimas, las temperaturas de los dormitorios poseen hasta 9,5°C de diferencia con la del exterior.

Se levantó una encuesta para conocer apreciaciones de las personas que viven en esta vivienda sobre el manejo de técnicas instaladas, la encuesta forma parte del ANEXO D. En ella los habitantes de esta vivienda informaron que sienten los cambios de temperatura desde que se realizó el acondicionamiento térmico, una vivienda más confortable. Respuestas como: “sí, calentito en las noches se siente”, “hasta las gaseosas están calientes en la noche”, “ya no se siente la humedad” son mencionadas cuando se les consulta sobre su sensación de frío.

### 5.2.3. Comparación de temperaturas de las viviendas

Se instalaron sensores en una vivienda característica de SFR para comparar la temperatura al interior de los dormitorios de la vivienda 1 y la vivienda 2 (figura 75), medidas del 23 al 29 de mayo de 2015. La temperatura del dormitorio norte de la vivienda 1 es mayor a los otros dormitorios. La oscilación térmica al interior de los otros dormitorios no supera los 6°C.



**Figura 75.** Temperatura al interior de dormitorios de la vivienda 1, la vivienda 2 y la vivienda 3 (vivienda característica).

La vivienda característica, no posee ningún tipo de aislamiento, el techo es de teja y el piso es tierra apisonada. Se observa que la temperatura durante el día es similar a la temperatura exterior, mientras en la noche esta desciende alcanzando temperaturas mínimas de 4°C.

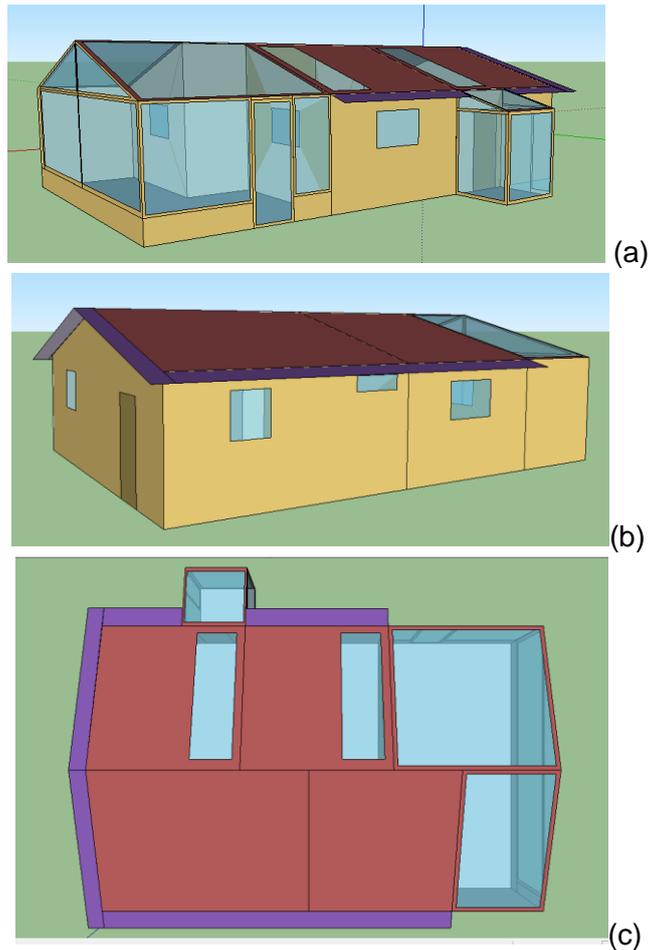
#### 5.2.4. Cálculo de la temperatura utilizando EnergyPlus

EnergyPlus, que es un programa de simulación energética de edificios que permite interrelacionar las prestaciones de los sistemas energéticos con las características de la envolvente del edificio. EnergyPlus carece de una interfaz gráfica, los parámetros de edificios son ingresados a través del bloc de notas o de un editor muy básico que nos proporciona la instalación.

Para un manejo fácil se utiliza el programa Sketchup que permite realizar la parte gráfica de los edificios y se conecta con EnergyPlus con un plugin conocido como Open Studio. Mediante este plugin se aprovecha la capacidad para generar la geometría 3D de Sketchup para definir el modelo térmico del edificio (mediante zonificación y geometría simplificada).

La simulación térmica se realizó mediante el software EnergyPlus (versión 7.0), con las siguientes consideraciones:

- La vivienda se dividió en 4 zonas térmicas: Cocina -sala (que incluye la cocina, sala y el baño), dormitorio norte, dormitorio sur, invernadero adosado.
- Se utilizaron datos meteorológicos monitoreados en la comunidad de SFR tales como temperatura exterior, velocidad y dirección de viento, humedad relativa, radiación global sobre superficie horizontal.
- La radiación directa y la radiación difusa horaria sobre superficie horizontal (datos de ingreso obligatorio en Energy Plus) se calcularon, a partir de la radiación global horaria mediante el método de Liu Jordan y el modelo de Pérez (Duffie, 2006).
- Se supuso una tasa de infiltración constante de 1 renovación de aire por hora para todas las zonas en contacto con el exterior.
- Los valores de las propiedades térmicas (conductividad térmica, densidad, calor específico) de materiales de la envolvente fueron tomados de tablas existentes.
- Se consideró la vivienda cerrada y desocupada, sin ganancias internas.
- El algoritmo utilizado para el cálculo es "Conduction transfer function".
- Los intervalos de simulación son cada hora.



**Figura 76.** Vivienda 1 de SFR dibujado en Sketchup.

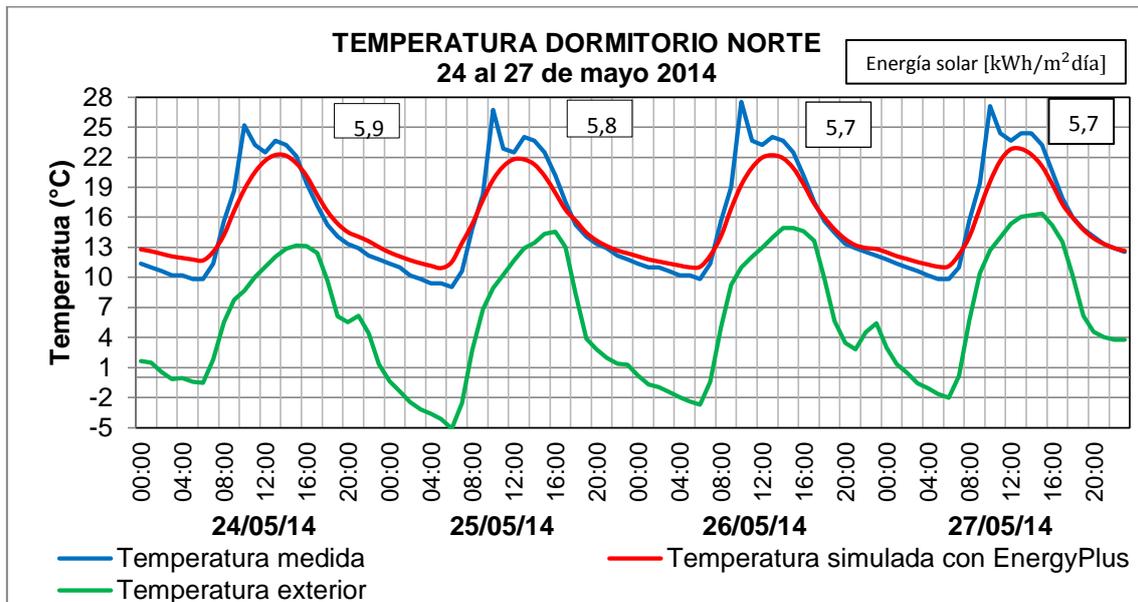
Se realizó la simulación para los días que se realizó las medidas en la sección 5.2.1 de esta tesis.

La diferencia entre la simulación y los resultados del monitoreo se deben a dos razones principales:

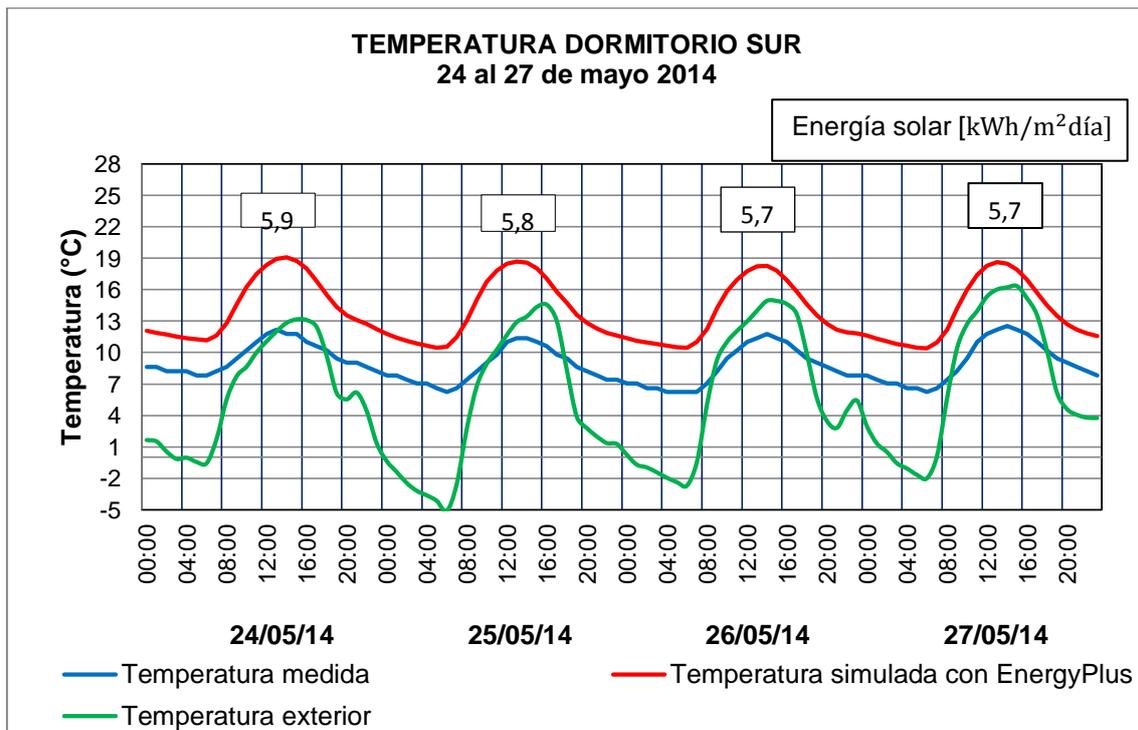
- El hábito de uso de la vivienda por parte de sus ocupantes, dejar puertas abiertas, ventanas abierta, compuertas entre invernadero y dormitorios abiertas, etc.
- Las propiedades térmicas son tomadas de tablas y no son determinadas experimentalmente, lo que conlleva a errores de cálculo.

De la figura 77, para periodos de la noche la temperatura medida experimentalmente es menor a la que se calcula con EnergyPlus, durante el día sucede lo contrario. Las mediciones realizadas experimentalmente (línea azul) muestran un punto máximo entre las 10:00 y 11:00, de la experiencia de otras pruebas realizadas, se puede aseverar que se debe a que los rayos solares atraviesan la

claraboya y recaen directamente sobre el sensor de medición, así aumenta su temperatura. Sólo ocurre esto por las mañanas, el sol se ubica al Este de la vivienda. En las tardes el sensor se encuentra protegido de los rayos solares.



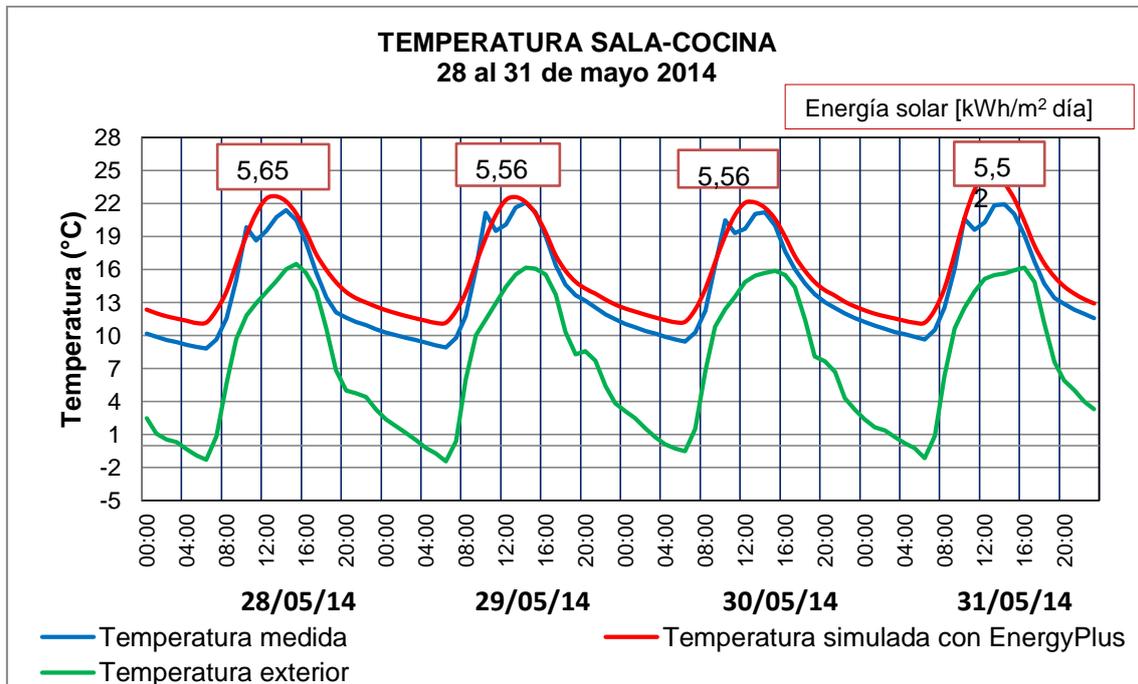
**Figura 77.** Temperaturas al interior del dormitorio norte medidas y simuladas con EnergyPlus, del 24 al 27 de mayo de 2014.



**Figura 78.** Temperaturas al interior del dormitorio sur medido y simuladas con EnergyPlus, del 24 al 27 de mayo de 2014.

De la figura 78, la temperatura simulada con EnergyPlus es siempre mayor a la medida experimentalmente. Durante las noches se diferencian aproximadamente 4°C, en el día esta diferencia aumenta hasta 7°C.

De la figura 79, similar al caso del dormitorio norte, la temperatura medida posee un pico entre las 10:00 y 12:00, debido al calentamiento del sensor de medición. La temperatura calculada con EnergyPlus siempre es menor a la experimental.

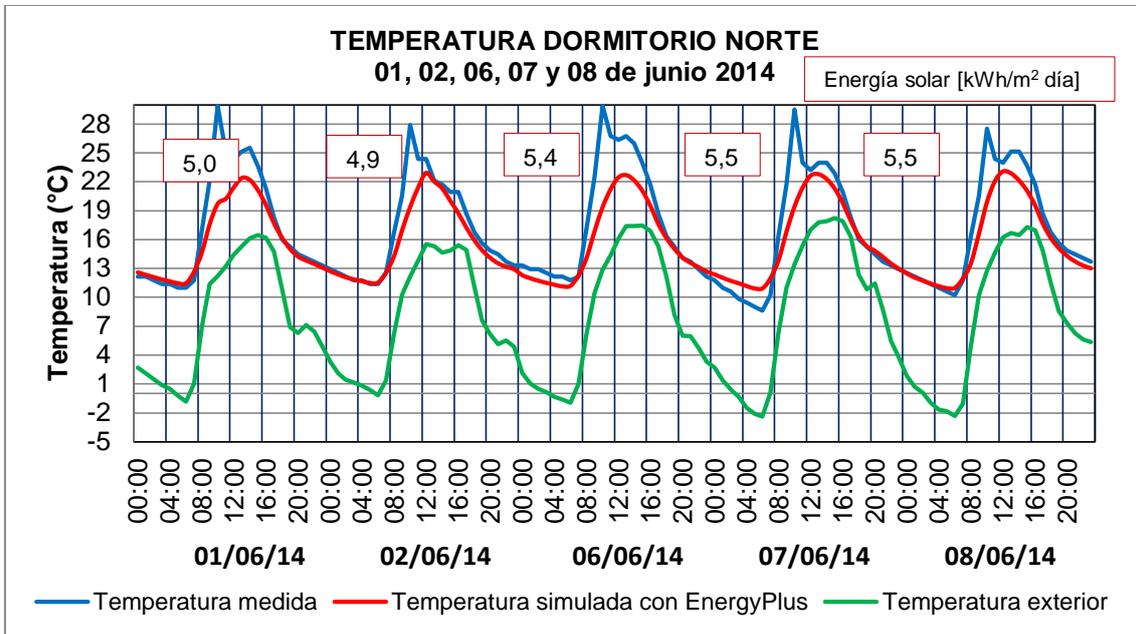


**Figura 79.** Temperaturas al interior de la sala-cocina medidas y simuladas, del 28 al 31 de mayo de 2014.

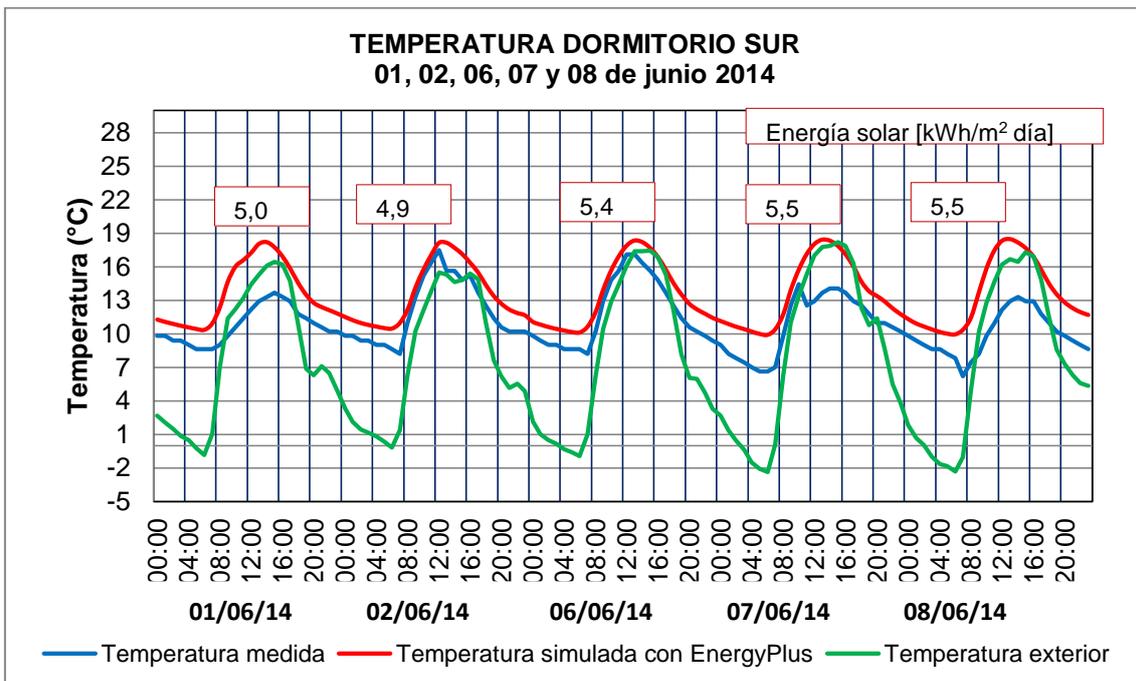
De la figura 80, el 1 de junio la ventana Este permaneció abierta de 8 a 18h, como resultado en este periodo se la temperatura experimental sobrepasa a la calculada con EnergyPlus hasta en 3°C. El 2 y 8 de junio, ambas ventanas permanecieron cerradas las temperaturas no se diferencian mucho a excepción de la mañana que la temperatura se eleva por los rayos que inciden sobre el sensor. El 6 de junio, de nuevo se dejó abierta la ventana orientada al Este y se obtuvo una diferencia de temperaturas de 5°C aproximadamente. El 7 de junio, la ventana orientada al Norte permaneció abierta ocasionando que la temperatura al interior de la habitación no aumente ya que ese día fue uno de los días más soleados, el calor se perdió por ventilación.

De la figura 81, el 1 y 7 de junio las ventanas permanecieron cerradas y la diferencia entre temperaturas medidas y calculadas se diferencia en 5°C. El 2 y 3 de

junio, las ventanas orientadas hacia el Este permanecieron abiertas de 8 a 18h, observándose un incremento de la temperatura experimental, las temperaturas medidas y calculadas se diferencian hasta 2°C aproximadamente. El 8 de junio, la ventana orientada hacia el Sur permaneció abierta ocasionando una disminución de la temperatura.



**Figura 80.** Temperaturas al interior del dormitorio norte medidas y simuladas con EnergyPlus para el 01, 02, 06, 07 y 08 de junio 2014.



**Figura 81.** Temperaturas al interior del dormitorio sur medidas y simuladas con EnergyPlus los días 01, 02, 06, 07 y 08 de junio 2014.

## VI. PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS DE LA VIVIENDA

De los cálculos realizados para el uso de las técnicas bioclimáticas aplicadas en la construcción de la vivienda 1 se resume en los siguientes párrafos.

- ❖ Compuertas abiertas, de los ductos que conectan al invernadero con el dormitorio norte.

Horario	Genera	Energía transferida
00:00 - 06:30	Pérdidas	-0,77kWh $\pm$ 0,05kWh
07:00 - 17:30	Ganancias	0,88 kWh $\pm$ 0,03kWh
18:00 - 23:30	Pérdidas	-0,44 kWh $\pm$ 0,04kWh

- ❖ Compuertas abiertas, de los ductos que conectan al invernadero con el dormitorio sur.

Horario	Genera	Energía transferida
00:00 - 06:30	Pérdidas	-0,32kWh $\pm$ 0,04kWh
07:00 - 17:30	Ganancias	2,79 kWh $\pm$ 0,06kWh
18:00 - 23:30	Pérdidas	-0,14 kWh $\pm$ 0,02kWh

- ❖ El calor diario que atraviesa la claraboya por metro cuadrado, promedio mensual.

Techo	Ganancia por claraboya
Orientación norte, ángulo de inclinación 20°	3,92 kWh/m <sup>2</sup> $\pm$ 0,43 kWh/m <sup>2</sup>

- ❖ Contraventanas cerradas durante periodos de la noche reduce hasta en un 55% las perdidas de calor respecto a las pérdidas de la ventana con vidrio simple.

<b>Ventana</b>	<b>Genera</b>	<b>Energía transferida por unidad de área por día</b>
Vidrio Simple	Pérdidas	-0,63 kWh/m <sup>2</sup> ± 0,06 kWh/m <sup>2</sup>
Vidrio doble	Pérdidas	-0,37 kWh/m <sup>2</sup> ± 0,04 kWh/m <sup>2</sup>
Vidrio simple con contraventana	Pérdidas	-0,28 kWh/m <sup>2</sup> ± 0,03 kWh/m <sup>2</sup>

- ❖ Puertas abiertas ocasionan pérdidas de calor que depende de la velocidad de viento con que esta penetra.

<b>Ventana</b>	<b>Genera</b>	<b>Energía transferida por unidad de área por día</b>
Puerta abierta	Pérdidas	-1,76 kWh/m <sup>2</sup> ± 0,22 kWh/m <sup>2</sup>

- ❖ Ventanas (orientadas al norte o sur) abiertas durante la mañana y tarde originan pérdidas de calor, ya que el viento es introducido al interior enfriando el ambiente.

<b>Ventanas Exteriores</b>	<b>Genera</b>	<b>Energía transferida por unidad de área</b>
Orientadas al norte o sur	Pérdidas	-8,64 kWh/m <sup>2</sup> ± 2,77 kWh/m <sup>2</sup>

- ❖ Ventanas (orientadas hacia el invernadero adosado) abiertas durante la mañana y la tarde originan ganancias de calor. El aire caliente ingresa a los dormitorios.

<b>Ventanas</b>	<b>Genera</b>	<b>Energía transferida por unidad de área por día</b>
Colindantes con invernadero	Ganancia	7,99kWh/m <sup>2</sup> ± 4,15 kWh/m <sup>2</sup>

- ❖ Potencia solar incidente sobre superficies verticales.

<b>Orientación</b>	<b>Ganancia a través de vidrios</b>
Norte	2,56 kWh/m <sup>2</sup> ± 1,30 kWh/m <sup>2</sup>
Sur	1,68 kWh/m <sup>2</sup> ± 0,84 kWh/m <sup>2</sup>
Este y Oeste	3,18 kWh/m <sup>2</sup> ± 0,45 kWh/m <sup>2</sup>

De acuerdo a los resultados del presente trabajo se establece las relaciones de funcionamiento entre los mecanismos asociados a las estrategias bioclimáticas empleadas en la construcción de la vivienda 1.

	<b>Elemento</b>	<b>Situación</b>	<b>Horario</b>
1	Ductos del invernadero	Abierto	7:00 a 18:00
		Cerrado	00:00 a 07:00 18:00 a 23:59
2	Contraventanas	Abierto	7:00 a 18:00
		Cerrado	00:00 a 07:00 18:00 a 23:59
3	Puertas exteriores	Cerradas	Siempre
		Abiertas	Sólo cuando se desea ingresar o salir
4	Puertas interiores	Cerradas	Siempre cerradas
		Abiertas	Sólo cuando se desea ingresar o salir
5	Puerta de la esclusa	Cerrada	Siempre
		Abierta	Sólo cuando se desea ingresar o salir
6	Ventanas hacia invernadero	Abiertas	9:00 a 17:00
		Cerradas	00:00 a 09:00 17:00 a 23:59
7	Ventanas exteriores	Cerradas	Siempre
8	Puerta invernadero adosado	Cerrada	Siempre
		Abierta	Sólo cuando se desee ingresar o salir

Adicional a eso se tiene las siguientes sugerencias para las técnicas bioclimáticas que se desprenden del trabajo en campo.

- ✓ Invernaderos adosados: su construcción debe estar de preferencia orientados hacia el este u oeste de la vivienda. La pared colindante con la vivienda debe ser la de un dormitorio.
- ✓ Materiales para la construcción de invernaderos adosados: muros (adobe o plástico de polietileno de baja densidad con protección UV) y cubierta del

techo (policarbonato translúcido ondulado o plástico de polietileno de baja densidad con protección UV)

- ✓ Claraboyas: su construcción debe ser diseñado, de preferencia, cerca de componentes con masa térmica altas como el adobe de los muros, con la finalidad que los rayos solares incidan sobre estos y después retornen el calor al ambiente.
- ✓ Materiales utilizados como cubierta de claraboyas recomendados son planchas de policarbonato translúcido ondulado o alveolar.
- ✓ Las ventanas y puertas deben ser construidas de modo que calcen con precisión en el vano previamente preparado, para que no queden orificios por las que se pierda aire caliente del interior al exterior de la vivienda.
- ✓ Ventanas: sus marcos deben ser elaborados con material no metálico, de preferencial madera, por su baja conductividad térmica.
- ✓ Las ventanas deben estar compuestas por dos hojas colocadas en un mismo vano. Es importante que las ventanas puedan abrirse para permitir la ventilación de los ambiente. Pueden ser implementados con vidrio simple o doble vidrio (dos vidrios separados por una capa de aire).
- ✓ La instalación de una puerta delante de la puerta de entrada conforma un espacio tipo esclusa que evita que el aire frío del exterior ingrese al interior de la vivienda.
- ✓ Pisos aislados: el aislamiento de pisos con piedras, cámara de aire y tablas de madera es recomendable para dormitorios de la vivienda. El aislamiento no sólo es térmico sino también previene el ascenso de la humedad del terreno.
- ✓ Para no reducir el tiempo de vida de las tablas de la madera del piso se debe evitar usar agua para su limpieza, con el fin de evitar que, con el tiempo, la humedad pudra la madera.

## VII. PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN DE UNA VIVIENDA RURAL ALTO ANDINA

“La arquitectura bioclimática puede definirse como la arquitectura diseñada sabiamente para lograr un máximo confort dentro del edificio con el mínimo gasto energético” (García, 2008). Entonces una vivienda bioclimática considera en su diseño las condiciones climáticas del lugar, aprovechando los recursos disponibles.

Así, una vivienda rural alto andina para ser calificada como “vivienda bioclimática” debe de tener por lo menos alguna técnica bioclimática aplicada en su construcción, ya sea aislamiento de pisos, muros, techos, captación de la energía solar (claraboyas, invernadero adosado), etc. Aunque eso no asegura que al interior de la vivienda exista la comodidad térmica adecuada para las personas. Es así que es necesaria una evaluación térmica de la vivienda.

Para evaluar térmicamente a una vivienda rural alto andino, se debe tener en cuenta diferentes aspectos y que existen diferentes técnicas tales como evaluación computacional, evaluación analítica y una evaluación experimental. Los dos primeros métodos pueden ser utilizados independientemente y ser contrastadas por el tercero.

Cada método debe ser contrastados con modelos de confort térmico, en este caso para la zona alto andina se recomienda utilizar el modelo adaptativo de temperatura<sup>7</sup>, uno de los más sencillos, con el cuál se calcula la temperatura de confort en base a la temperatura del ambiente exterior, con ello se determinada la zona de confort, luego es necesario comparar los valores de temperatura, si se encuentran dentro de la zona, cumple con las temperatura de confort térmico.

Para comparar la humedad relativa se tiene en consideración que el rango adecuado es de 20% a 80%, esto se deriva de que todos los indicadores bioclimáticos gráficos revisados limitan la zona de confort en ese rango.

---

<sup>7</sup> En este estudio se utilizó el modelo adaptativo de Humphreys:  $T_n = 11,9 + 0.534 T_m$ , donde:  $T_n$  es temperatura de confort,  $T_m$  es la temperatura promedio del ambiente exterior. No es un modelo desarrollado para climas alto andino, sin embargo su zona de confort se encuentra con valores menores en comparación a otros.

Si la temperatura y humedad relativa se encuentran dentro de la zona de confort, la vivienda será confortable.

Un método adicional de cálculo fue desarrollado (durante la elaboración de este trabajo) por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, quienes publicaron una norma técnica que permite la construcción de viviendas confortables en lo relacionado con lo térmico y lumínico. Este punto es brevemente comentado en la sección 7.4.

### **7.1. Evaluación computacional**

Con una simulación térmica se trata de estimar el comportamiento térmico de las diferentes zonas que conforman la vivienda, haciendo uso de una computadora. En la actualidad, existen muchos programas de simulación orientados a resolver diferentes problemas reales, sin embargo el interés recae en programas que permitan modelar el comportamiento energético de una vivienda, en este caso, investigar sobre el comportamiento térmico de viviendas rurales alto-andinas para establecer si son confortables. Así mismo estos programas permiten desarrollar diferentes propuestas, antes de la construcción de la vivienda, permitiendo aplicar mejores técnicas bioclimáticas tales como: aislamiento de pisos y techo, uso de tragaluces en los techos, uso del doble vidrio en las ventanas y aumentar la inercia térmica de los muros utilizados en su construcción. El programa seleccionado para la simulación de las viviendas en la presente tesis fue Energy Plus.

Por lo general para la simulación térmica de una vivienda, no sólo en Energy Plus, se debe ejecutar los siguientes pasos: el diseño arquitectónico, la determinación de zonas térmicas, la ubicación y datos meteorológicos, la caracterización de materiales que componen la edificación y definición de variables de salida.

- Definir la geometría de la edificación: el área, distribución de la vivienda, especificaciones de geometría de la construcción (muros interiores y exteriores, techos, pisos, ventanas y puertas), definir aproximadamente el volumen de aire de cada habitación de la edificación (dormitorios, sala, cocina, patios, baños, invernadero, etc.). Generalmente, se elabora un dibujo en 3D en los diferentes programas de dibujo, en este caso se recomienda Sketchup.
- La simulación energética: considerar el concepto de “zona térmica”, que representa a un volumen de aire a temperatura uniforme y que se encuentra

delimitado por superficies de transferencia de calor y almacenamiento de calor. El plugin Open Studio es un software que relaciona la parte gráfica de Sketchup con Energy Plus.

- Ubicar geográficamente la vivienda, conocer la latitud y altitud del lugar. Además evaluar las condiciones de contorno de la vivienda (obstáculos como viviendas aledañas, árboles, cercos).
- Especificar los diferentes materiales que componen muros, techos, pisos, ventanas, puertas, etc.; anotar su espesor, propiedades térmicas (conductividad térmica y calor específico), propiedades ópticas (reflectancia, transmitancia y absortancia), así como su densidad y rugosidad.
- Obtener parámetros del clima como temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad de viento. Adecuarlos al formato de archivo de clima del programa de simulación, para Energy Plus la extensión es “.epw”.
- Definir las variables de salida del programa, este punto es importante para comparar el desempeño de los diferentes tipos de construcciones que se simulan. Algunas de las variables a tener en cuenta son: temperatura de zona, humedad relativa de la zona, ganancia de energía por cada superficie, pérdida de energía por cada superficie, radiación solar directa incidente por superficie, radiación solar difusa incidente por superficie, temperatura exterior y humedad relativa exterior.
- Realizar las gráficas de temperatura humedad relativa, por zona térmica y comparar con la zona de confort. Si cada zona térmica de la vivienda se encuentra dentro de la zona de confort térmico, la vivienda rural alto andina es bioclimática.

## **7.2. Evaluación analítica**

Este tipo de evaluación es un poco difícil de desarrollar por lo complicado que resultan las ecuaciones matemáticas que se deben resolver. Lo común es hacer uso de aproximaciones con respecto al caso real, si bien los resultados no son exactos permiten conocer el comportamiento térmico de la vivienda.

Los cerramientos en situaciones reales se caracterizan por las variaciones de las condiciones del entorno, siendo frecuente la modificación de las características del ambiente interior al variar las condiciones del ambiente exterior.

Para optar por este método se tiene que tener presente las siguientes consideraciones:

- Asumir que la transferencia de calor fluye en una sola dirección y perpendicular a las superficies de las envolventes.
- El modelo más sencillo de cálculo de transferencia de calor es en estado estacionario.
- Los materiales de las viviendas se consideran homogéneos.
- La temperatura de contacto de los materiales es la misma.
- Para facilitar el cálculo se suele recurrir al concepto de temperatura sol-aire, que nos permite conocer la cantidad de calor que entra por conducción desde el exterior, en un instante dado. Esta temperatura exterior del edificio depende de la orientación de la superficie, por lo tanto en un mismo instante, cada muro puede tener diferente temperatura (diferente incidencia de la radiación solar y/o visión del cielo y los alrededores).
- La conductividad térmica de los materiales que componen la vivienda deben ser conocidos (buscar en el Anexo N° 3 de la norma EM.110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética).
- La transferencia de calor es a través de toda la envolvente de la vivienda: muros, techo, pisos, puertas, ventanas, marcos.
- Es necesario conocer la temperatura del ambiente exterior para poder predecir la temperatura al interior de la vivienda.
- Conocer la composición de cada componente de la envolvente de la vivienda.
- Tener cuidado con los signos de las ecuaciones, por lo general un valor positivo indica que el calor se dirige hacia el interior, mientras que un valor negativo indica que sale o lo pierde el local.
- Al considerar la vivienda como una sola zona térmica, cada espacio al interior de ella debe tener la misma temperatura, y si esa temperatura es de confort, todas las ganancias y pérdidas de calor se igualan para alcanzar el equilibrio térmico, así el balance de energía se iguala a cero. Despejando la temperatura interior  $T_{\text{interior}}$  de la ecuación 32 se tiene:

$$T_{\text{interior}} = \frac{\sum U_i A_i T_{\text{sa}_i} + \sum \tau_i A_i G_i + \sum P_i + \dot{m}_{\text{renovación}} C_{\text{aire}} T_{\text{exterior}}}{\sum U_i A_i + \dot{m}_{\text{renovación}} C_{\text{aire}} T_{\text{exterior}}}$$

Siendo:  $U_i$  es el coeficiente de transmisión global de cada componente de la envolvente,  $A_i$  es el área de cada componente,  $\tau_i$  es la transmitancia de superficies acristaladas,  $G_{si}$  es la radiación solar incidente sobre las superficies acristaladas,  $P_i$  es la ganancia interna debido a la ocupación o artefactos,  $\dot{m}$  es el flujo de masa de aire,  $C_e$  es el calor específico del aire y  $T_{\text{exterior}}$  es la temperatura exterior.

Así se puede determinar la temperatura interior para cada intervalo teniendo en cuenta lo mencionado en párrafos anteriores.

Después del cálculo de la temperatura interior se requiere de la comparación con la temperatura de la zona de confort. Si la temperatura interior de la vivienda se encuentra dentro de la zona de confort térmico, la vivienda rural alto andina es bioclimática.

### 7.3. Evaluación experimental

La evaluación experimental de una vivienda consiste en medir los parámetros del clima al interior y exterior de la vivienda para conocer su comportamiento térmico. Con este método se contrasta los otros dos anteriores.

A diferencia de los otros dos métodos, esta evaluación sólo se puede realizar si se cuenta con instrumentos de medición de temperatura y humedad relativa, además es necesario desplazarse hasta el lugar donde se sitúa la vivienda y evaluarla durante un periodo de tiempo.

Para realizar este método se debe considerar lo siguiente:

- Es importante seleccionar los instrumentos de medición adecuados a climas alto andino que sean sensibles a los cambios de temperatura y humedad relativa del ambiente.

- Monitorear las condiciones del clima de la localidad, se requiere datos de una estación meteorológica para obtener valores de temperatura, radiación solar y humedad relativa.
- Identificar la vivienda a estudiar, sus características, técnicas bioclimáticas utilizadas en su construcción y determinar el número de zonas térmicas existentes en la vivienda.
- Instalar sensores en cada zona térmica de la vivienda.
- Instalar en superficies exteriores e interiores los sensores para medir temperatura superficial. Si bien toda la pared no tendrá la misma temperatura superficial mostrará la tendencia.
- Instalar los sensores con protección de los rayos solares. Una buena técnica es colocar un tipo de aislante sobre la superficie del sensor.
- Conectar los sensores a un adquisidor de datos que permita almacenar los valores medidos cada cierto intervalo de tiempo.
- Calcular la temperatura de confort de la comunidad utilizando el modelo de temperaturas adaptativas presentadas en el punto 2.5.1. del presente trabajo.
- Realizar las gráficas de temperaturas y humedad relativa medidas experimentalmente y comparar con la zona de confort. Si el interior de la vivienda se encuentran dentro de la zona de confort térmico, la vivienda rural alto andina es bioclimática.

#### 7.4. Evaluación con norma EM.110

La norma peruana EM.110 Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética, publicada en el año 2014, establece lineamientos o parámetros técnicos de diseño de edificaciones con un adecuado confort térmico y lumínico con eficiencia energética para cada una de las 9 zonas bioclimáticas del Perú definidas en ese documento .

En el caso de la zona bioclimática 5 – Alto andino, la transmitancia térmica de muros, techo y piso de la vivienda no debe sobrepasar los valores de la tabla 44 para afirmar que es una construcción con confort térmico adecuado.

**Tabla 44.** Valores límites máximos de transmitancia térmica (U).  
(Fuente: Norma EM.110, 2014)

N°	Zona bioclimática	Transmitancia térmica máxima		
		Muro ( $U_{\text{muro}}$ ) [W/m <sup>2</sup> °C]	Techo ( $U_{\text{techo}}$ ) [W/m <sup>2</sup> °C]	Piso ( $U_{\text{piso}}$ ) [W/m <sup>2</sup> °C]
5	Alto andino	1,00	0,83	3,26

Para el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor de una vivienda es necesario definir la distribución de la vivienda, especificaciones de los componentes de cada envolvente (muros, piso y techo) capa por capa, considerando su espesor, conductividad térmica y área. En el anexo 2 de la Norma EM. 110 se puede encontrar la metodología del cálculo de los valores del coeficiente global de transferencia de calor con mayor detalle.

La transmitancia térmica  $U^{final}$  está definida por la siguiente expresión:

$$U^{final} = \frac{\sum A_i \cdot U_i}{\sum A_i} = \frac{A_1 \cdot U_1 + A_2 \cdot U_2 + A_3 \cdot U_3 + \dots}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots}$$

Siendo:

$\sum A_i$  suma total de las superficies de cada tipo de elemento de la envolvente.

$\sum A_i \cdot U_i$  suma total de todos los productos “ $A_i \cdot U_i$ ” encontrados:

Este resultado ( $U^{final}$ ) se compara con la transmitancia térmica máxima ( $U_{max}$ ) para techos, muros y pisos de acuerdo a la zona bioclimática respectiva, dada por la Tabla N° 3 de la Norma.

Si  $U^{final}$  es menor o igual a  $U_{max}$  entonces el techo cumple con la Norma.

Si  $U^{final}$  es mayor a  $U_{max}$  entonces el techo no cumple con la Norma. El usuario deberá modificar su solución.

Este tipo de evaluación está siendo utilizada para la construcción de nuevas viviendas.

## VIII. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

### 8.1. Discusiones

#### Clima de SFR

La temperatura del ambiente exterior en esta zona del país tiene oscilaciones de 13,3°C de promedio anual y hasta un máximo de 17,2°C en el mes de junio. Durante el año alcanza temperaturas máximas de hasta 22°C y temperaturas mínimas de hasta -6°C. En adición, la energía solar diaria que incide sobre la comunidad es 4,9kWh/m<sup>2</sup> y la humedad relativa promedio anual es 73,1%. Estas son características generales de las zonas alto andinas, días soleados y noches frías con la disminución de temperaturas hasta por debajo de 0°C, con elevadas oscilaciones térmicas y energía solar incidente cercana a 5kWh/m<sup>2</sup>.

#### Vivienda 1

En el análisis elaborado las temperaturas al interior de la vivienda monitoreada son mayores o igual a la temperatura del ambiente exterior. Como resultado, el promedio de temperatura es de 15,7°C para el dormitorio norte (dormitorio con claraboya), seguido de la sala y la cocina con 14,3°C y 12,4°C, respectivamente. El dormitorio sur es la habitación que posee la temperatura con promedio inferior de 11,2°C.

Las temperaturas al interior de las diferentes habitaciones que conforman la vivienda 1 poseen un comportamiento oscilatorio, producto de la variación de parámetros externos que condicionan su comportamiento siendo estos la temperatura del ambiente exterior y la radiación solar. Estas temperaturas interiores se encuentran muy próximas a la temperatura neutra o temperatura de confort de 16,4°C aproximadamente (temperatura neutra con base en las fórmulas propuestas por Humphreys, 1976) y la zona de confort determinada se ubica entre los 13,4°C y 18,4°C. Lo mismo sucede con los valores de humedad relativa (HR), obtenidos experimentalmente. En el periodo de medición se comprueba que la HR se sitúa dentro de la zona de confort (según diversos autores se encuentra entre 20% y 80%).

El dormitorio norte y la cocina se encuentran dentro de la zona de confort determinada con el modelo de temperatura adaptativa, sin embargo el dormitorio sur y cocina se ubican por debajo.

La técnica bioclimática que mayor aporte brinda al aumento de temperatura al interior de la vivienda es la claraboya. Así lo demuestran las mediciones hechas en el dormitorio norte y sala. Durante el día su temperatura aumenta como resultado del ingreso de la radiación solar al ambiente interior de la vivienda a través de la superficie translúcida como el policarbonato alveolar.

Durante la noche, en la vivienda 1 la temperatura promedio horario del dormitorio norte (dormitorio con claraboya) resulta mayor a la temperatura exterior hasta en 9°C, lo mismo ocurre en el dormitorio sur (dormitorio sin claraboya) su temperatura promedio horario supera a la exterior para esos periodos hasta en 7°C.

## **Vivienda 2**

La cocina es el ambiente que posee mayor temperatura promedio con 18,2°C, esto es por el aporte de del fogón mejorado. Las temperaturas de dormitorios norte y sur poseen un promedio de temperatura de 11,6°C y 11,5°C, respectivamente. La sala-comedor tiene un promedio de 13°C de temperatura, esto gracias al aporte de energía solar que ingresa a la vivienda por las claraboyas, durante el día este ambiente gana calor, pero en las noches desciende su temperatura.

Ambos dormitorios poseen el mismo comportamiento, durante la noche cuando la temperatura exterior desciende hasta sus niveles mínimos (05:00 a 06:00) y las temperaturas de ambos dormitorios son superiores hasta en 8°C a la temperatura exterior. No se visualiza los efectos de aporte de calor que la cocina podría transmitir hacia el dormitorio norte.

## **Transferencia de calor de la vivienda**

La transferencia de calor es la energía de tránsito debido a una diferencia de temperaturas, cada superficie que se encuentre a mayor temperatura que otra le cederá calor. Siguiendo este concepto se deduce que para la vivienda 1 durante el día se produce una transferencia de calor del exterior al interior de la vivienda por el calentamiento de las superficies exteriores como lo son muros, techos, puerta, ventanas, y en periodos de la noche la rapidez de transferencia de calor es desde el interior de la vivienda 1 hacia los exteriores.

Los muros de la vivienda 1 son de adobe con un espesor de 0,40m, un material que posee una baja difusividad térmica  $6,11 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ , que es la capacidad de un material para transmitir una variación de temperatura, no permite que los efectos de la temperatura exterior se sientan en forma inmediata. Además el calor que es entregado a los muros por calentamiento solar es amortiguado y cuando al final logra ingresar a la vivienda los parámetros exteriores e interiores son diferentes.

Es preciso mencionar que un balance de energía en estado estacionario permite conocer valores indicativos en cada instante de medición para determinar la dirección del flujo de calor. Con este método se logró calcular que la velocidad de transferencia de calor de la vivienda 1, durante la noche a través de los muros representa el 36% del total de pérdidas, mientras pérdidas por techos y pisos representan el 18% y 12%, respectivamente. El 7% de pérdidas de calor son a través de puertas, ventanas. Las infiltraciones representan el 15%.

Durante la mañana y tarde el calor que ingresa a la vivienda por superficies translúcidas (ventanas y claraboyas) representan el 68% de calor ganado, otras fuentes de calor son los techos y muros con 6% y 26% respectivamente. Pérdidas de calor durante la mañana se dan a través del piso que representa alrededor del 75%.

**Tabla 45.** Porcentaje (%) de velocidad de transferencia de calor de cada componente de la vivienda.

	Muros	Techo	Piso madera	Piso cemento	Infiltración	claraboyas	ventanas	marcos de ventanas	Puerta esclusa	puerta al exterior	Otras ganancias	Otras Pérdidas
Día	26	6	-16	-57	-15	48	10	2	1	0	2	-5
Noche	-36	-18	-3	-10	-12	-10	-6	-2	-1	-1	0	0

Nota: Signo positivo indica ganancia, la transferencia es del exterior al interior.  
Signo Negativo indica pérdida, transferencia del interior al exterior.

### Sensores de temperatura

Para lograr calcular con mayor exactitud la transferencia de calor en una vivienda es importante contar con sensores de temperatura que tengan respuesta inmediata a los cambios ambiental. Así mismo el instalar sensores al interior de la vivienda permite ver el comportamiento térmico, pero no indica que todo el aire contenido en su interior

se encuentre a la misma temperatura. Los sensores deben ser ubicados con la debida protección, para evitar que los rayos solares influyan en su medición.

### Operatividad de la vivienda

Como resultado del balance de energía realizado y considerando los valores de temperatura medidos, se determinó la energía involucrada en las componentes estudiadas.

**Tabla 48.** Ganancia o pérdida de energía (en Wh) a través de componentes de la vivienda estudiada.

		COMPUERTA DORMITORIO NORTE DUCTOS	COMPUERTA DORMITORIO SUR DUCTOS	PUERTA EXTERIOR	VENTANA ESTE DORMITORIO NORTE	VENTANA ESTE DORMITORIO SUR	VENTANA NORTE	VENTANA SUR
24-may	Día	877,6	6,1	323,8	138,0	333,6	-86,2	22,7
	Noche	-3,2	-1,9	-196,9	-172,2	-105,7	-210,9	-148,4
25-may	Día	25,6	2752,1	337,6	125,1	341,1	-87,8	41,2
	Noche	-807,1	-2,6	-256,2	-226,4	-141,7	-267,2	-186,5
26-may	Día	825,1	2829,2	352,9	127,7	349,4	-71,7	63,3
	Noche	-423,3	-119,1	-215,7	-216,5	-119,8	-237,0	-143,5
27-may	Día	894,8	2871,3	345,9	137,3	354,7	-54,8	77,2
	Noche	-897,8	-2872,5	-213,2	-206,9	-112,1	-229,7	-138,9
28-may	Día	2,5	6,7	-10006,4	124,1	352,1	-71,5	66,1
	Noche	-4,9	3,9	-209,7	-175,7	-83,6	-208,8	-117,0
29-may	Día	2,5	6,7	294,0	140,5	350,1	-73,3	51,5
	Noche	-4,3	2,5	-167,1	-189,9	-99,3	-217,9	-134,4
30-may	Día	2,7	6,1	-11644,9	144,2	333,8	-56,4	46,4
	Noche	-4,4	1,9	-211,8	-190,7	-114,5	-224,6	-152,0
01-jun	Día	2,0	6,0	318,6	5075,5	260,6	-80,3	41,6
	Noche	-4,8	1,4	-212,6	-186,1	-99,2	-215,1	-124,8
02-jun	Día	2,6	5,1	288,2	233,3	11096,3	-68,0	-9,9
	Noche	-4,2	0,9	-211,8	-185,7	-113,9	-220,9	-153,4
06-jun	Día	2,1	5,2	341,2	3820,0	11552,6	-66,0	16,4
	Noche	-3,7	0,9	-227,7	-203,4	-125,9	-236,9	-164,0
07-jun	Día	2,8	6,1	371,7	153,3	329,7	-10608,3	61,3
	Noche	-4,5	0,0	-209,4	-178,2	-116,7	-192,9	-135,8
08-jun	Día	2,5	6,5	354,5	135,3	353,3	-50,5	-6683,0
	Noche	-4,1	-0,4	-221,7	-227,4	-143,3	-229,9	-150,1

(\*) En fondo naranja indica que el componente estuvo abierto durante el día.

(\*\*) El fondo morado indica que estuvo abierto desde las 18:00 hasta media noche.

(\*\*\*) El fondo blanco indica que la componente permaneció cerrada.

- Durante los días cuando las compuertas de los ductos que conectan el invernadero con los dormitorios norte y sur lograron una ganancia de calor de

hasta 2,8 kWh durante las 10 horas que permaneció abierto contribuyendo con el calentamiento de los dormitorios.

- Durante los días que se dejaron abiertas puertas de la sala y cocina las pérdidas de calor aumentaron, con una energía perdida de 11,7kWh cuando todas las puertas se dejaron abiertas simultáneamente.
- Durante el día dejar ventanas que colindan con invernaderos adosados favorece al calentamiento.
- Durante días que se dejaron ventanas exteriores abiertas las temperaturas disminuyeron.
- Al dejar contraventanas cerradas durante el día evita el ingreso de energía solar por los vidrios. Cuando se dejan abiertas durante la noche el calor se pierde con mayor facilidad.

## **8.2. Conclusión general**

En zonas alto andinas, corresponde aprovechar la energía proveniente del sol, ya que es frecuentemente alta, con la finalidad de mejorar la temperatura al interior de las viviendas haciendo uso de diversas técnicas bioclimáticas en su construcción o adecuándolas a viviendas existentes. El método más apropiado es hacer uso del calentamiento solar pasivo.

Es de importancia, en la calefacción solar, prever de materiales que permitan almacenar energía durante el día, y transmitirla al ambiente en la noche. Así mismo, aislar pisos, techos y demás componentes para evitar pérdidas de energía sea por conducción o filtración.

Las técnicas bioclimáticas que se apliquen a viviendas rurales alto andinas deben estar de acuerdo a las costumbres y tradiciones del lugar para que de manera natural las personas se adecuen y realicen las recomendaciones del manejo conveniente de la vivienda, así maximizar las ganancias por calentamiento solar pasivo y evitar pérdida de calor por infiltración del aire exterior en las viviendas.

Como resultado del estudio de la vivienda 1 se seleccionó tres métodos de evaluación térmica, siendo los más adecuados el computacional y experimental, es muy importante contrastar los resultados de temperatura con modelos de confort térmico desarrollados por diferentes autores y verificar si se encuentran dentro de la

zona de confort para poder calificar a la vivienda como vivienda bioclimática.

La evaluación térmica computacional y analítica de viviendas alto andinas demandan de propiedades térmicas de los materiales que componen las viviendas, si bien se utilizan valores establecidos en tablas son valores evaluados en otros lugares, es necesario caracterizar la conductividad térmica, densidad y capacidad calorífica de materiales utilizados en estas zonas como el adobe, tapial, ichu, paja, totora, entre otros, cada uno tiene sus características particulares que dependen del lugar.

Para validar adecuadamente la evaluación de estas viviendas es necesario desarrollar modelos de confort térmico adecuados para la zona alto andina del Perú, todos los modelos encontrados fueron desarrollados para países europeos o norteamericanos con climas muy diferentes a los del Perú. Es un trabajo importante a desarrollar.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE. (2013). *ASHRAE Handbook Fundamentals SI Edition*. Atlanta, pp. 16.1 – 16.29, 18.1-18.25.
- Auliciems, A. y Szokolay, S. (2007). *Thermal comfort. Notes, passive and low energy Architecture International* (Second revised edition). Queensland, pp. 45-48. [Consultado el 14 de abril de 2015]. Disponible en: <http://me.emu.edu.tr/hacisevki/MENG443%20PPT1B.pdf>
- Barrionuevo R. y Espinoza, R. (2005a). Edificaciones bioclimáticas en el Perú. *Los Edificios Bioclimáticos en los Países de Ibero América*. Libro de ponencias, Programa CYTED 2005. Lisboa: Helder Gonçalves, pp. 57-66.
- Barrionuevo, R. (2005b). *Centro virtual de salud Qotowincho*. Waka XXI N°3. Lima: Facultad de Arquitectura Urbanismo y Artes, pp. 49-59.
- Bedoya, C. y Neyla, J. (1985). *Acondicionamiento y energía solar en la arquitectura*. Madrid: Editorial Graficincio, pp. 41-105.
- Beltrán, L. (1987). *Patios solares para las ciudades andinas*. Revista TECNIA Vol 3, N° 2. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú, pp. 13-21
- Bracco M., Angiolini, S., Jerez, L., Pacharoni, A., Sánchez, G. (2010). *Verificación de pautas de diseño sustentable en una vivienda serrana en Córdoba*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 14, pp. 33-40. Argentina: INENCO.
- CARE, (2010). *Confort Térmico en Vivienda Alto andinas. Un enfoque integral*. Lima: Balcarí Editores SAC.
- Cengel Y. (2007). *Transferencia de calor y masa. Un enfoque práctico (3ª Ed.)*. México: McGraw-Hill Interamericana, pp 18-30
- Centro Tierra-PUCP. Grupo del Centro Tierra. [Consultado el 16 de abril de 2016] Disponible en: <http://investigacion.pucp.edu.pe/grupos/ctierra/>
- CECADE. *Centro de capacitación para el desarrollo*. [Consultado 16 de abril de 2016] Disponible en: <http://cuscosolar.org/>
- Centro Peruano de Estudios Sociales (2010). El friaje y la helada de cada día. *La revista Agraria AÑO 11 N° 121.Lima*. [Consultado 16 de abril de 2016] Disponible en: <http://www.larevistaagraria.org/sites/default/files/revista/LRA121/LRA-121.pdf>

- CER-UNI (2009). *Curso Arquitectura bioclimática con énfasis en áreas rurales alto andinas. Capítulo 3. Cálculos y simulaciones para el diseño de viviendas rurales*. XVI Simposio Peruano de Energía Solar. Arequipa. [Consultado 10 de enero de 2014] Disponible en: [http://perusolar.org/16-spes-cursosytalleres/AB\\_CAP3\\_CALCULOS\\_Y\\_SIMULACIONES\\_PARA\\_EL\\_DISENO\\_DE\\_VIVIENDAS\\_RURALES.pdf](http://perusolar.org/16-spes-cursosytalleres/AB_CAP3_CALCULOS_Y_SIMULACIONES_PARA_EL_DISENO_DE_VIVIENDAS_RURALES.pdf)
- CER-UNI (2012a). *Centro de Energías Renovables y Uso Racional de la Energía*. [Consultado el 16 de abril de 2016]. Disponible en: <http://cer.uni.edu.pe/>
- CER-UNI (2012b). *Curso de confort térmico andino: Capítulo 5-Aplicaciones de Arquitectura Bioclimática del Perú*, XIX Simposio de Energía Solar. Puno.
- DNC-MVCS, (2013). *Estudio piloto de acondicionamiento térmico para edificaciones rurales alto andinas*. [Consultado el 16 de abril de 2016]. Disponible en: <http://www.vivienda.gob.pe/dnc/estudios.aspx>
- CONCYTEC. [Consultado 16 de abril de 2016] Disponible en: <https://portal.concytec.gob.pe/>
- Corrales, R. (2012a). *Sistema solar pasivo más eficaz para calentar viviendas de densidad media en Huaraz*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Lima.
- Corrales R. (2012b). *Análisis térmico de edificios*. Curso Arquitectura Bioclimática I. Maestría en Ciencias con Mención en Energías Renovables. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, pp. 34-35.
- De Dear, R., Brager, G., Cooper, D. (1998). *Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference*. ASHRAE Transactions, Vol 104(1a), pp. 145-167.
- Díaz, V. y Barreneche, R. (2005). *Acondicionamiento térmico de edificios*. Buenos Aires: Nobuko.
- Duffie, J., Beckman, W. (2006). *Solar engineering of thermal processes* (3th ed.). Canada: Jhon Wiley and Sons.
- Escalona G. (2007). *Incidencia de la inercia térmica en edificios de uso intermitente*. Master thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, Departament d'Enginyeria de la Construcció, Catalunya.
- Espinoza R., Saavedra, G., Hualla, F., Gutarra, A., Molina, J., Barrionuevo, R., Lau, L. (2009). *Evaluación experimental de cambios constructivos para lograr confort térmico en una vivienda alto andina del Perú*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 13, pp. 203-210. Argentina: INENCO.

- Espinoza, R. (2014). *Evaluación experimental de la performance de dos componentes bioclimáticas de calentamiento aplicadas en un módulo de vivienda de San Francisco de Raymina-Ayacucho con el propósito de validarlas como técnicas de estrategias bioclimáticas para viviendas rurales alto andinas*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ciencias. Lima.
- Fanger, P. (1970). *Thermal comfort: analysis and application in environmental engineering*. Copenhagen, Denmark: Danish technical press.
- Fanger, P. (1973). Assessment of man's thermal comfort in practice. *British Journal of Industrial Medicine*, Vol. 30, N° 4, pp. 313-324. [Consultado el 10 de noviembre de 2015] Disponible en: <http://www.jstor.org/stable/27722846>
- García, D. (2008). *Arquitectura bioclimática*. [Consultado 15 de octubre de 2014]. Disponible en: [http://abioclimatica.blogspot.pe/2008\\_10\\_01\\_archive.html](http://abioclimatica.blogspot.pe/2008_10_01_archive.html)
- GIZ. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH. [Consultado el 16 de abril de 2016] Disponible en: <https://www.giz.de/en/worldwide/25819.html>
- GIZ, (2015). *Abrigando Hogares: Experiencia en la mejora del confort térmico de las viviendas rurales alto andinas*. Lima: C. Kruse, pp. 17-62.
- Givoni, B. (1998). *Climate Considerations in Building and Urban Design*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Godoy, A. (2012). *El confort térmico adaptativo. Aplicación en la edificación de España*. Trabajo final de Master en Sostenibilidad. Universidad politécnica de Cataluña. Cataluña, pp. 5-7. [Consultado 14 de agosto de 2014]. Disponible en: [http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/18763/TFM\\_Alfonso%20Godoy%20Munoz.pdf?sequence=1](http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/18763/TFM_Alfonso%20Godoy%20Munoz.pdf?sequence=1)
- Gómez A. (2012). *La arquitectura bioclimática en el Perú*. Lima. [Consultado el 12 de diciembre de 2014]. Disponible en: <http://www.arquitectoalejandrogomezrios.com/parene2012.pdf>
- Gómez-Azpeitia, G., Bojórquez G. y Ruiz P. (2007). *El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados*. PALAPA, Revista de investigación científica en Arquitectura, Universidad de Colima, Vol. 2, Núm. 1. Colima.
- Gonçalves, H., & Mariz Graça, J. (2004). *Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal*. Lisboa, Portugal: DGGE/IP-3E.
- GRUPO PUCP (2012). *Koñichuyawasi: Casa caliente limpia*. [Revisado 22/07/2013]. Disponible en: [http://gruporural.pucp.edu.pe/nuestros\\_proyectos/konichuyawasi-casa-caliente-limpia/](http://gruporural.pucp.edu.pe/nuestros_proyectos/konichuyawasi-casa-caliente-limpia/)

- Horn, M. (2010). III. Aprovechamiento descentralizado de fuentes renovables de energía. *Matriz energética en el Perú y energías renovables*. Lima: Fundación Friedrich Ebert (FES), pp. 34.
- Horn, M., y Giraldo, M. (2000). *Potenciando el Ecoturismo: Suasi un albergue rural con energía solar en el Lago Titikaka*. Revista del PAE, Eficiencia Energética y Energías Renovables(N° 4), pp. 18-21.
- Huaylla, F. (2010). *Evaluación experimental de cambios constructivos para lograr confort térmico en una vivienda alto andina del Perú*. Tesis para optar el título de ingeniero físico. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ciencias. Lima.
- Huerta, R. (1997). *Diseño construcción y evaluación de una vivienda bioclimática para la ciudad de Colima*. Tesis para obtener el grado de Maestro en diseño bioclimático. Universidad de Colima. Facultad de Arquitectura. Colima.
- Incropera, F. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor* (4a. Ed). México D.F.: Prentice Hall, pp. 21-26.
- INEI (2007). Sistema de consulta de resultados censales. Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda. Lima. [Consultado el 16 de abril de 2016] Disponible en: <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/#>
- Kvisgaard, B. (1997). *Thermal comfort*. Denamark. Traducido por Martín Monroy (2000).
- Mazria, E. (1983). *Energía solar pasiva-tecnología y arquitectura*. México D.F.: G. Gili, pp. 39-40.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. [Consultado el 16 de abril de 2016] Disponible en: <http://www.vivienda.gob.pe/>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2014). *Norma EM 110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética*. Lima, pp. 523070-523082, 523087, 523094, 523108-523110.
- Misión Belén Imminensee, (2010). *Energía solar: Alternativas para las familias campesinas rurales. Experiencia en proyectos de las copartes de la Misión Imminensee en el sur andino del Perú*. Perú.
- Monroy, M. (1995). Capítulo 3. Conducción en régimen transitorio. *Comportamiento térmico de cerramientos asoleados*. Tesis doctoral. Departamento de Construcción Arquitectónica. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Las Palmas de Gran Canaria.

- Morillón, D., Saldaña, F., Castañeda, I., & Miranda, U. (2002). *Atlas bioclimático de la república mexicana*. Avances en energías renovables y medio ambiente, vol. 10, pp. 57-62. Argentina.
- Natividad, J., Ocupa, D., Horn, M. (2010). *¿Los “muros trombe” sirven en el Perú?* IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar y Simposio Peruano de Energía Solar. Cusco, 1 – 5 de noviembre 2010. pp. 6. [Consultado el 12 de junio de 2015] Disponible en: [perusolar.org/17-spes-ponencias/05-Ambiente-Construido/NatividadAlvaradoJuanJose/Natividad\\_Alvarado\\_Juan\\_Jose.pdf](http://perusolar.org/17-spes-ponencias/05-Ambiente-Construido/NatividadAlvaradoJuanJose/Natividad_Alvarado_Juan_Jose.pdf)
- PAHR –MVCS. [Consultado el 16 de abril de 2016]. Disponible en: <http://febe.vivienda.gob.pe/tadimages/Account/index.aspx>
- PNVR – MVCS. [Consultado el 16 de abril de 2016]. Disponible en: <http://www.vivienda.gob.pe/pnvr/>
- Preciado, O., Morillón, D. (2010). Biosol: software para el estudio del bioclima, control solar e iluminación natural. IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar y XVII Simposio Peruano de Energía Solar. Cusco. [Consultado el 16 de abril de 2016]. Disponible en: [http://perusolar.org/17-spes-ponencias/08-Biomasa/PreciadoOlveraOscarUlises/Preciado\\_Olvera\\_Oscar\\_Ulises.pdf](http://perusolar.org/17-spes-ponencias/08-Biomasa/PreciadoOlveraOscarUlises/Preciado_Olvera_Oscar_Ulises.pdf)
- Presidencia del Consejo de Ministros (2015). Plan multisectorial para la atención de heladas y friaje 2015. Lima, pp. 3-4. [Consultado el 16 de abril de 2016]. Disponible en: <http://www.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2015/07/PLAN-MULTISECTORIAL-ANTE-HELADAS-y-FRIAJE-2015-10.06.2015.pdf>
- Prieto, R. (2012). *Seminario – Taller “Promoción de la Normatividad Para el Diseño y Construcción de Edificaciones Seguras”*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. [Consultado el 12 de mayo de 2015] Disponible en: <http://www.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/difusion/eventos/2012/TOTAL/3.%20Apliaci%C3%B3n%20del%20RNE%20para%20la%20construcci%C3%B3n.pdf>
- RAE, (2001). *Diccionario de la Real Académica Española* (22.a ed. ed.). Madrid, España.
- Rozis, J., Guinebault, A. (2007). *Calefacción solar para regiones frías*. Guía tecnológica de aplicaciones para la vivienda y la agricultura en países en desarrollo. Lima: ITDG, pp. 112.
- Saavedra, G.; Molina, J., Chevez, L., Ramos, E., Espinoza, R. (2012). *Estudio Piloto de Acondicionamiento Térmico para Edificaciones Rurales Alto Andinas*. En: XIX Simposio Peruano de Energía Solar. Puno, 14 al 17 de noviembre 2012. [Consultado el 15 de diciembre del 2013]. Disponible en: <http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2013/01/9.pdf>

- Sol-arq: Soluciones arquitectónicas sustentables, (sin fecha). *Método del balance térmico*. [Consultado el 16 de abril de 2016] Disponible en: <http://www.sol-arq.com/index.php/edificios/balance-termico>
- Turegano, J., Hernández, M. y García, F. (2003). *La inercia térmica de los edificios y su incidencia en las condiciones de confort como refuerzo de los aportes solares de carácter pasivo*. Conarquitectura (ca8). España, pp. 70.
- Wieser, M. (2011). *Consideraciones bioclimáticas en el diseño arquitectónico: El caso Peruano. Cuadernos de Arquitectura* (14a Ed.), Lima, pp. 93. [Consultado el 25 de Marzo de 2014] Disponible en:  
<http://departamento.pucp.edu.pe/arquitectura/files/2012/06/CUADERNOS-14-digi.pdf>
- Yarke E., et (2005). *Ventilación natural de edificios: Fundamentos y Métodos de Cálculo para aplicación de Ingenieros y Arquitectos*. Argentina, Buenos Aires: Nobuko, pp. 70-79.

## GLOSARIO

- **ACH:** Intercambio de Aire por Hora
- **Asoleamiento:** necesidad de permitir el ingreso del sol en ambientes interiores o espacios exteriores
- **Calor específico:** Cantidad de calor necesario para elevar 1°C la temperatura de 1kg de un cuerpo. [J/kg.°C]
- **Cerramiento:** son los elementos constructivos que cumplen una función esencial, la de preservar los espacios. Son las superficies envolventes que delimitan y acondicionan los espacios.
- **Compuertas del dormitorio norte:** los cierres de madera que bloquean el paso de aire desde el invernadero hacia el dormitorio norte a través de ductos situados en el muro colindante.
- **Compuertas del dormitorio sur:** cierres de madera que bloquean el paso de aire desde el invernadero hacia el dormitorio sur a través de ductos situados en el muro colindante.
- **Condiciones de estado estacionario:** cuando las características del mismo no varían con el tiempo.
- **Conducción en estado no estacionario:** cuando las características del mismo varían con el tiempo.
- **Conductividad térmica k:** propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor. [W/m<sup>2</sup>.°C]
- **Confort térmico:** la ausencia de "malestar térmico", cuando las personas no experimentan sensación de calor ni de frío.
- **Difusividad térmica a:** expresa la velocidad de cambio, y flujo de temperaturas, en un material hasta que alcanza el equilibrio térmico.
- **Envolvente:** Elemento constructivo de la vivienda que lo separa del ambiente exterior. Pueden ser muros, techos, ventanas, puertas y pisos.
- **Estrategia bioclimática:** Normas general que tiene por objeto orientar el diseño de la vivienda que aprovechan de las condiciones meteorológicas de cada lugar.
- **Friaje:** es un fenómeno climático caracterizado por la caída repentina y brusca de la temperatura, acompañada de fuertes vientos.

- **Helada:** Fenómeno atmosférico que consiste en una bajada de temperatura hasta la congelación del agua.
- **Muro:** Elemento constructivo usualmente vertical, que sirve para delimitar o separar un espacio.
- **Operatividad de la vivienda:** La forma en que los pobladores hacen uso de las técnicas utilizadas en la construcción de la vivienda.
- **Radiación solar difusa:** aquella recibida de la atmósfera como consecuencia de la dispersión de parte de la radiación del sol en la misma
- **Radiación solar directa:** La radiación que proviene directamente del sol.
- **Técnica bioclimática:** Es el “cómo hacer” para aplicar una estrategia bioclimática.
- **Transmisión de calor en régimen estacionario:** Conducción del calor cuando las temperaturas internas y externas permanecen constantes, de tal manera que la transferencia de calor a través del elemento constructivo se considera como estacionario.
- **Vivienda 1:** Vivienda construida en el 2010, también denominada albergue de la comunidad de SFR.
- **Vivienda 2:** Vivienda acondicionada térmicamente en el 2010 para mejorar su confort térmico.
- **Zona bioclimática:** Clasificación climática que define los parámetros ambientales, de grandes áreas geográficas, necesaria para aplicar estrategias de diseño bioclimático de una vivienda y obtener confort térmico.
- **Zona de confort:** El rango de condiciones de confort aceptables donde las personas no sienten ni frío ni calor.

## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- **BID:** Banco Interamericano de Desarrollo
- **CECADE:** Centro de capacitación para el desarrollo "Qosqo Yachay Wasi"
- **CENEPRED:** Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres.
- **CERT:** Centro de Energías Renovables de Tacna.
- **CER-UNI:** Centro de Energías Renovables y usos racional de la energía.
- **CONCYTEC:** El Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica.
- **CYTED:** Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo
- **DL:** Data logger, adquisidores de datos.
- **DNC:** La Dirección Nacional de Construcción.
- **ENAHO:** Encuesta Nacional de Hogares.
- **FAUA-UNI:** Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Artes de la UNI.
- **FC:** Facultad de Ciencias de la UNI
- **FINCyT:** Fondo para la Innovación, la Ciencia y la Tecnología.
- **GIZ:** Cooperación Alemana al Desarrollo.
- **Grupo-PUCP:** Grupo de apoyo al sector rural de la Universidad pontificia católica del Perú.
- **INEI:** Instituto Nacional de Estadística e Informática.
- **INTE (CT):** Instituto de Ciencias de la Naturaleza, Territorio y Energías Renovables – Centro Tierra.
- **MBI:** Misión Belén de Immensee.
- **ME:** Microestación.
- **MVCS:** Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- **OEA:** Organización de los Estados Americanos.
- **ONG KAUSAY:** Asociación para el desarrollo andino
- **ONG:** Organización No Gubernamental\_
- **PAHR:** Programa de Apoyo al Hábitat Rural.
- **PNVR:** Programa Nacional de Vivienda Rural.
- **SENCICO:** Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción.
- **SFR:** San Francisco de Raymina.
- **UNI:** Universidad Nacional de Ingeniería

## ANEXO A. INDICADORES BIOCLIMÁTICOS

El estudio del confort térmico ha permitido el desarrollo de diferentes indicadores bioclimáticos que pretenden identificar el modo de incidencia de los diferentes factores y parámetros sobre el equilibrio térmico, entre ellos se tiene los índices de valoración de Fanger, el diagrama bioclimático de Olgyay, la carta psicométrica de Givoni, triángulos de Evans, entre otros. Se explica en forma breve algunos de ellos.

### A1. Índices de Fanger <sup>8</sup>

Propuesto en 1973 por P.O. Fanger, en la publicación *Thermal Comfort* (New York, McGraw-Hill, 1973).

“A partir de la información relativa a la vestimenta, la tasa metabólica, la temperatura del aire, la temperatura radiante media, la velocidad relativa del aire y la humedad relativa o la presión parcial del vapor de agua, el método calcula dos índices denominados: Voto medio estimado (PMV-predicted mean vote) y Porcentaje de personas insatisfechas (PPD-predicted percentage dissatisfied), ambos valores, que aportan información clara y concisa sobre el ambiente térmico al evaluador”.

“El voto medio estimado es un índice que refleja el valor de los votos emitidos por un grupo numeroso de personas respecto de una escala de sensación térmica de 7 niveles (frío, fresco, ligeramente fresco, neutro, ligeramente caluroso, caluroso, muy caluroso), basado en el equilibrio térmico del cuerpo humano (la producción interna de calor del cuerpo es igual a su pérdida hacia el ambiente)”.

“El voto medio estimado predice el valor medio de la sensación térmica. No obstante, los votos individuales se distribuirán alrededor de dicho valor medio, por lo que resulta útil estimar el porcentaje de personas insatisfechas por notar demasiado frío o calor, es decir aquellas personas que considerarían la sensación térmica provocada por el entorno como desagradable”.

---

<sup>8</sup> Fuente: <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/fanger/fanger-ayuda.php>

## A2. Diagrama bioclimático de Olgay

Presentado por Olgay, delimita gráficamente una zona de confort, tomando como parámetros directos la temperatura (eje x) y la humedad relativa (eje y). Muestra medidas correctivas requeridas en el diseño cuando la combinación de temperatura y humedad relativa del aire quedan fuera de dicha zona: movimiento de aire, radiación, enfriamiento por evaporación y vestimenta adicional.

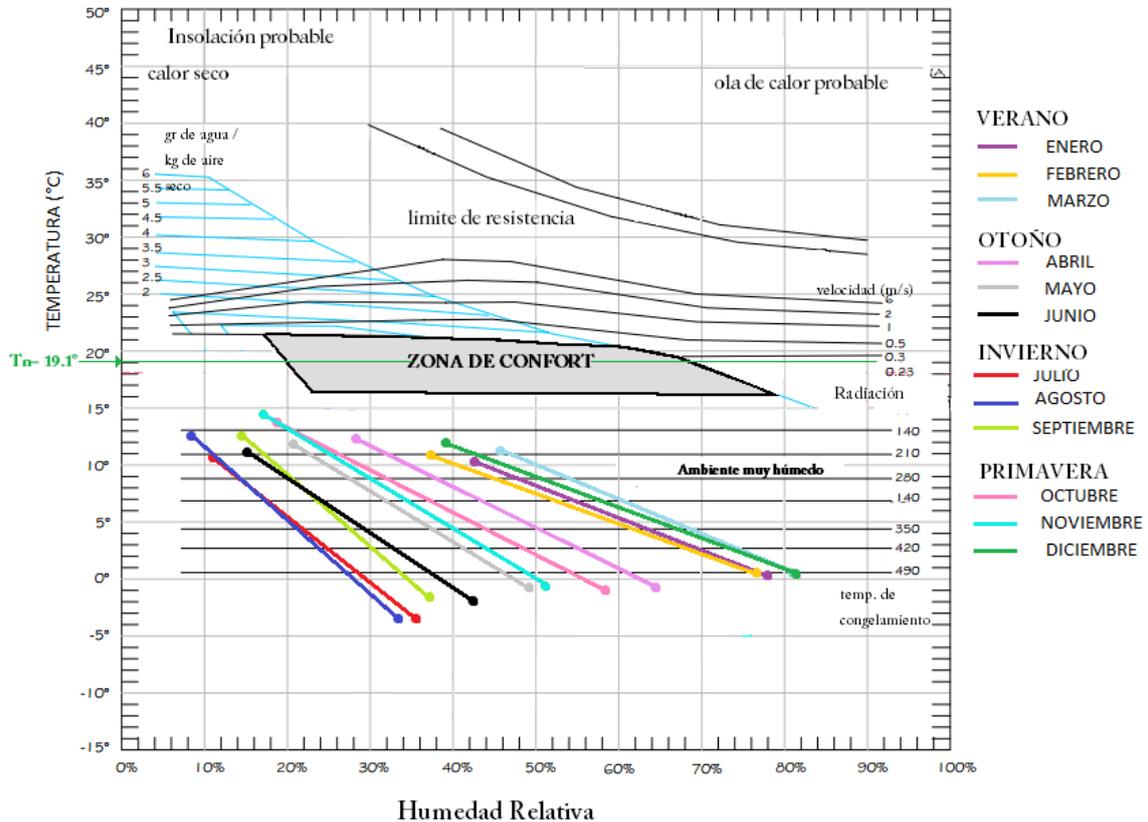


Figura A1. Diagrama Bioclimático de Olgay para SFR.

## A3. Diagrama psicrométrico de Givonni<sup>9</sup>

“La carta muestra las relaciones y parámetros psicrométricos del aire húmedo, que son:

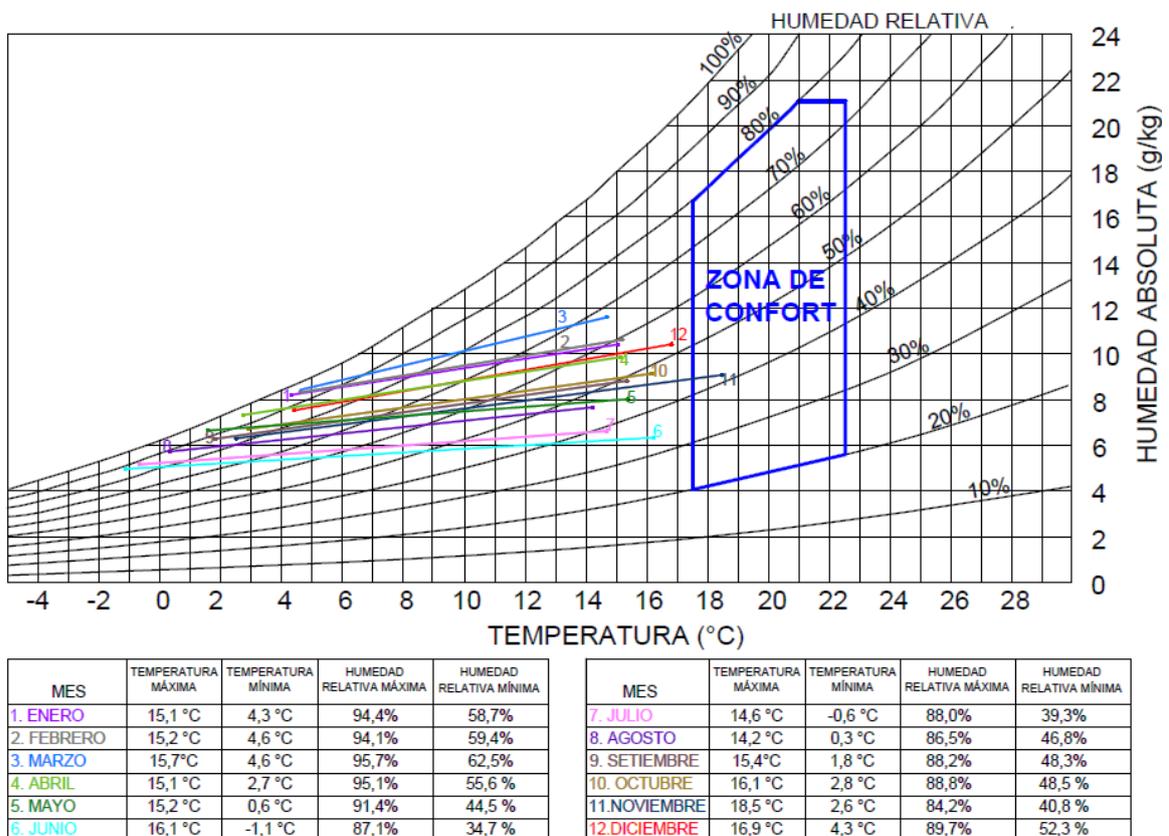
- ❖ Temperatura de bulbo húmedo, que es la temperatura que tiene un bulbo termométrico permanentemente humedecido, la temperatura húmeda es siempre menor a la seca excepto en un ambiente húmedo en la cual serían iguales. En la carta se representa como un conjunto de curvas.
- ❖ Temperatura de bulbo seco, se representa en el eje de las abscisas de la carta.

<sup>9</sup> Fuente: Sol F., 2006. Tesis de Postgrado: Estrategias de Diseño Bioclimático para la Ciudad de Oaxaca y Zona Conurbada. Instituto Politécnico Nacional- Oaxaca. México.

- ❖ Humedad absoluta, se expresa como la presión parcial de vapor de agua (en mm de Hg). Se representa en el eje de las ordenadas.
- ❖ Humedad relativa, expresada como el porcentaje de humedad respecto al máximo que admite la atmósfera y está representada a través de curvas en la carta.”

“Baruch Givoni fue el primero en utilizar la carta con fines arquitectónicos, definiendo una zona de confort y distintas estrategias de diseño entre las que se encuentran el calentamiento, ventilación, humidificación, enfriamiento evaporativo, masa térmica, masa térmica con ventilación nocturna y sistemas activos o convencionales de acondicionamiento de aire” (Alavéz, 2004).

La figura A2 muestra el diagrama psicrométrico para la comunidad de SFR, cada línea de color representa un mes del año, los cuales se encuentran por debajo de la zona de confort, o que indica que es necesario utilizar estrategias bioclimática de calentamiento pasivo para lograr elevar la temperatura al interior de las viviendas, así llegar a la zona de confort.



**Figura A2.** Carta psicrométrica de Givoni.

#### **A4. Triángulos de confort<sup>10</sup>**

Evans y de Schiller (1986) desarrollaron esta técnica gráfica de diseño bioclimático con mayor énfasis en la amplitud térmica. El gráfico presentado en la Figura A3 permite lograr la visualización directa y el análisis comparativo de la variación periódica diaria de temperatura, con el fin de facilitar las siguientes tareas y aplicaciones:

- Presentación y comparación de datos climáticos, tales como temperatura media máxima y mínima mensual, representativos de la variación diaria típica de temperatura durante distintas épocas del año.
- Definición de zonas de confort según el nivel de actividad física (dormir, descansar, sentar, caminar, trabajar, etc.).
- Selección de estrategias de diseño bioclimático con el fin de obtener modificaciones favorables de la variación de la temperatura exterior para lograr condiciones interiores deseables. Se identifican las estrategias apropiadas a través de la comparación entre las condiciones exteriores registradas en la estación meteorológica y las condiciones deseables indicadas en las zonas de confort representadas en el mismo gráfico.
- Evaluación de la variación diaria de las temperaturas interiores utilizando registros de mediciones en proyectos realizados o datos obtenidos de simulaciones numéricas. Dicha evaluación indica la eficacia relativa de estrategias alternativas utilizadas en el proyecto.

“El eje horizontal del gráfico representa la temperatura media del periodo analizado, 24 horas en general, mientras el eje vertical indica la amplitud o diferencia entre temperatura máxima y mínima durante el mismo periodo. La temperatura media corresponde a grados Celsius (°C), mientras la diferencia de temperatura se mide en grados Kelvin (K). Un punto en el gráfico representa la variación de temperatura durante el día con la combinación de temperatura media y rango. “

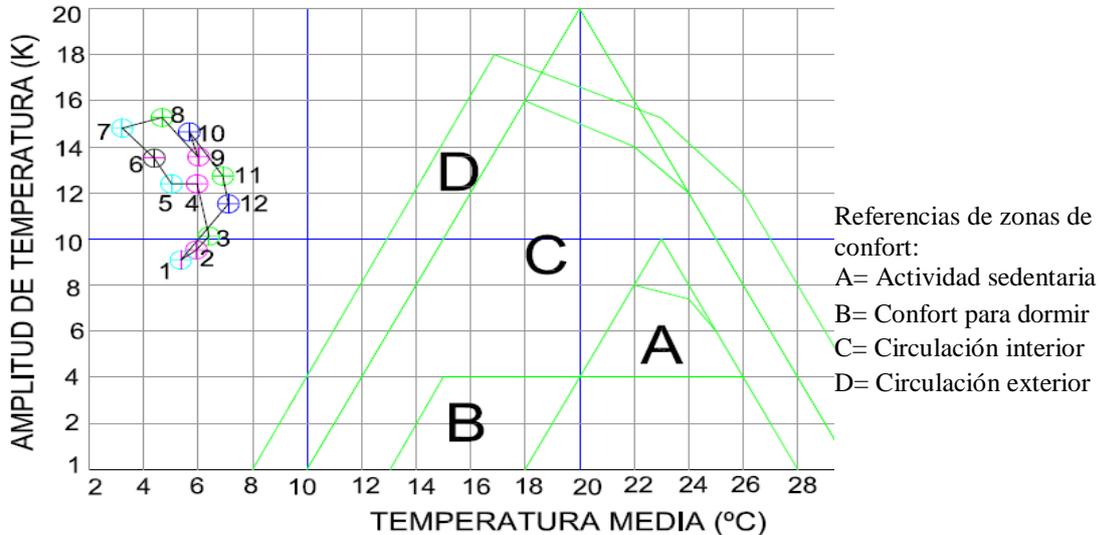
La Figura A3 indica cuatro zonas de confort: actividad sedentaria A, descanso B, circulación interior C y exterior D, formando triángulos.

El triángulo A se configura de la siguiente forma: con 18 °C, las condiciones medias son confortables pero sin variaciones de temperatura. A medida que aumenta la temperatura media se mantiene confort con mayor amplitud térmica hasta los 23 °C aprox.; con mayor temperatura, la amplitud térmica aceptable disminuye hasta llegar a

---

<sup>10</sup> Fuente: Evans J., 2000. Técnicas de Diseño: Las “Tablas De Mahoney” y Los “Triángulos de Confort”.

28 °C aprox. Con baja humedad relativa y/o poblaciones acostumbradas a altas temperaturas, el límite máximo de la zona de confort puede alcanzar hasta 32°C. Sin embargo, una amplitud mayor a 10°C es excesiva para mantener confort aun ajustando la vestimenta, y por esta razón, el triángulo tiene forma truncada.

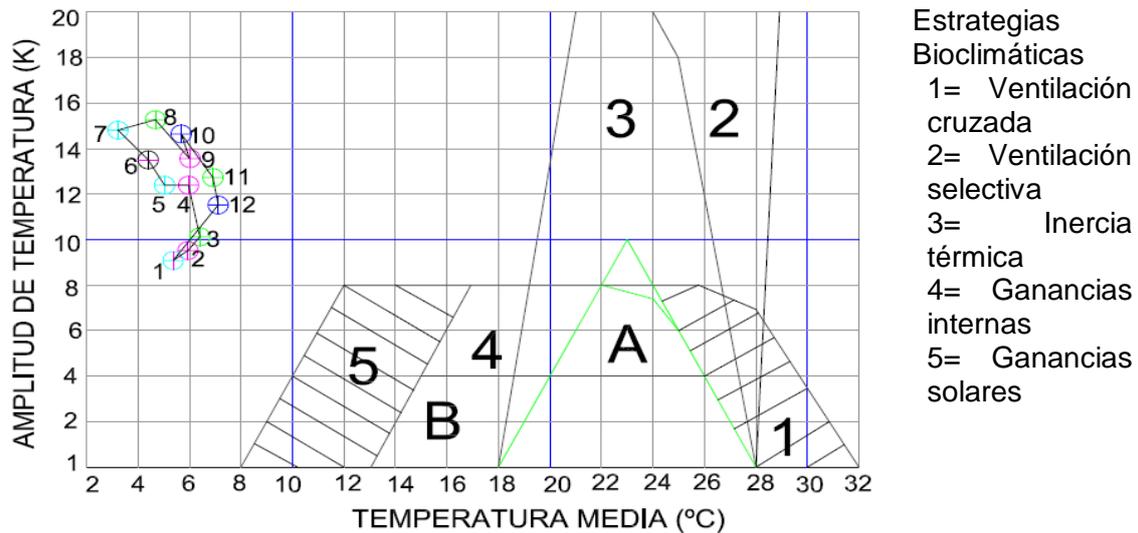


**Figura A3.** Triángulos de confort según Evans sobre los cuales se ha ubicado las condiciones de temperatura en Puno para los doce meses del año. Fuente: Machuca, 2013.

Las estrategias indicadas en la Figura A3 pueden ofrecer los siguientes resultados:

- Ventilación cruzada o movimiento de aire, usando ventiladores de techo, por ej., puede reducir la temperatura aparente en 2 °C, con velocidades aceptables en oficinas, escuelas, etc.
- En espacios de circulación, mayores velocidades y disminuciones de temperatura son posibles.
- Ventilación selectiva, permite reducir la temperatura media en 3 °C, logrando diferencias menores en zonas con menor amplitud.
- Inercia térmica, puede llegar a reducir la amplitud interior en una tercera parte de la amplitud exterior. Por ejemplo, con una amplitud exterior de 15 °C, es posible mantener una amplitud interior de los 5 °C o menor, con un diseño térmico consciente y cuidadoso.
- Ganancias internas, pueden aumentar 3-4 °C o más la temperatura media en edificios bien aislados, mientras las ganancias solares permiten alcanzar valores de hasta 10 °C. Dado que las ganancias internas y solares son

intermitentes, conviene incorporar materiales con adecuada capacidad térmica a fin de controlar la amplitud interior.



**Figura A4.** Estrategias bioclimáticas en relación con las condiciones de confort del triángulo de Evans. Nótese también los puntos de color representativos de las condiciones térmicas de Puno. (Fuente: Machuca, 2012)

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alavéz R. R. (2004). Análisis de materiales vegetales e industrializados aplicados a techumbres, como recurso bioclimático en el Pacífico Sur del estado de Oaxaca. Tesis de maestría. Universidad Metropolitana. D.F., México D.F.

Evans J., (2000). *Técnicas de Diseño: Las "Tablas De Mahoney" y Los "Triángulos de Confort"*.

Sol F., (2006). *Tesis de Postgrado: Estrategias de Diseño Bioclimático para la Ciudad de Oaxaca y Zona Conurbada*. Instituto Politécnico Nacional- Oaxaca. México.

Machuca, L., Molina, J., Espinoza, R. (2012). *Estudio climático de Vilcallamas Arriba y análisis de indicadores bioclimáticos de aplicación potencial*. XIX Simposio Peruano de Energía Solar. Puno.

## **ANEXO B. CLIMA**

El clima en un lugar determinado se puede definir como el valor medio de las variables meteorológicas durante un periodo determinado (30 años es el tiempo fijado por la OMM). Para describir el clima necesitaremos, además de los valores medios, las fluctuaciones estacionales y los valores máximos y mínimos de las variables en aquel lugar.

### **B1. Factores del clima**

Los factores del clima son las condiciones físicas, no variables, de un sitio y que afectan de modo general al clima. Los factores del clima son diversos, aunque generalmente se suele mencionar a la latitud, el relieve, la altitud, la continentalidad, la orografía, las corrientes marinas, los glaciares, la vegetación y fauna, etc. (Simancas, 2003).

### **B2. Parámetros o elementos del clima**

Son elementos del clima entendidos como las condiciones, variables o propiedades físicas de la atmósfera utilizadas para medir y describir el clima en un momento dado, lo cual quiere decir que afectan el tiempo atmosférico. Para establecer las condiciones climáticas de un lugar, los parámetros deben ser medidos cuidadosamente a lo largo de los años, para determinar cuál es la tendencia general del clima, evitando variaciones puntuales que pudieran hacer que los datos obtenidos fueran engañosos. Por ello, se recogen a lo largo de no menos de 30 años en las estaciones meteorológicas.

#### **❖ Radiación solar**

Parámetro que varía constantemente, tanto de forma diaria como mensual, estacional y anual. Su estudio permite determinar la cantidad de energía que llega a una superficie de modo directo, difuso o reflejado, dependiendo de los movimientos relativos de la tierra y el sol. Dicho estudio resulta necesario pues la radiación produce un incremento de la temperatura en las superficies envolventes, que luego desprenden ese calor al interior de las edificaciones y genera movimiento de masas de aire por diferencias de temperatura entre las zonas expuestas al sol y las que están a la sombra.

La incidencia de la radiación solar puede ser determinada en función de la dirección y de la inclinación de los rayos, para lo cual se utilizan ábacos o cartas solares que nos

muestran gráficamente el ángulo de elevación respecto a la horizontal y el azimut solar.

#### ❖ **La Temperatura**

Es probablemente uno de los parámetros fundamentales del clima. Aunque básicamente consiste en el estado relativo de calor o frío.

Formalmente, la temperatura es una magnitud relacionada con la rapidez del movimiento de las partículas que constituyen la materia. Cuanta mayor agitación presenten éstas, mayor será la temperatura. (FECYT, 2004).

#### ❖ **La Humedad**

Es entendida como la cantidad de vapor de agua que contiene el aire, como resultado de la evaporación de las masas de agua producto del calentamiento generado por la radiación solar y la evapotranspiración animal y vegetal. Este valor varía de acuerdo al tiempo y lugar y, junto con la temperatura, es fundamental para determinar el clima de un sitio. Existen diversas escalas para su medición entre ellas la humedad absoluta y la humedad relativa.

Se llama *humedad absoluta* a la masa de agua contenida en la unidad de volumen de aire húmedo ( $\text{g}/\text{m}^3$ ).

La *humedad relativa* es la relación porcentual a una presión y temperaturas dadas entre el peso molecular en gramos del vapor de agua y el peso molecular en gramos que el aire tendría si estuviese saturado de agua a la misma presión y temperatura.

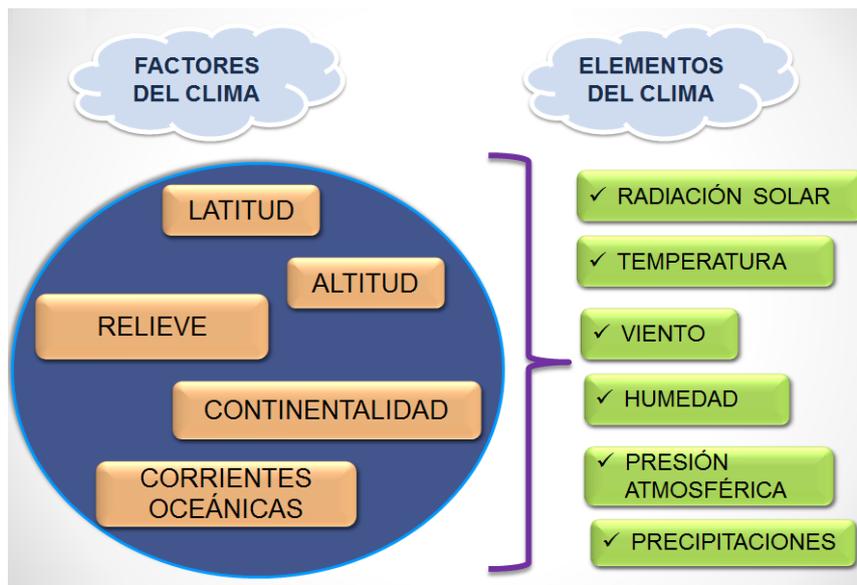
#### ❖ **El Viento**

Es el movimiento del aire generado como consecuencia de la búsqueda del equilibrio de las presiones. Es un fenómeno de convección en el cual el aire, que es calentado por el suelo que previamente ha recibido radiación solar, se mueve de las zonas de altas presiones a las de bajas produciendo el viento.

#### ❖ **La precipitación**

La precipitación se define como el producto líquido o sólido de la condensación del vapor de agua que cae de las nubes o del aire y se deposita en el suelo. Se produce por la condensación del vapor de agua contenido en las masas de aire, que se origina cuando dichas masas de aire son forzadas a elevarse y enfriarse. Para que se produzca la condensación es preciso que el aire se encuentre saturado de humedad y que existan núcleos de condensación. La precipitación pluvial se mide en milímetros

de precipitación (mm), en un periodo determinado, donde un milímetro es un litro por metro cuadrado



**Figura B1.** Factores y elementos del clima.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FECYT, 2004. Unidad Didáctica. Meteorología y climatología. España.

Simancas, K., (2003). *Reacondicionamiento bioclimático de viviendas de segunda residencia en clima mediterráneo*. Anexo 1: El Confort. Tesis Doctoral. Universidad de Cataluña. España. Barcelona. Pág. 31-42.

## ANEXO C. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DEL PERÚ

El Perú presenta por su ubicación geográfica, una variedad de climas, los cuales es el resultado de varias interacciones de las variables mostradas en la tabla A8.

Tabla C1. Principales variables de la variación del clima Peruano.(Fuente: MINEDU, 2007)

Principales variables de modificación climática	Causas-Efectos
Cordillera de los Andes	Debido a su orientación actúa como barrera, aislándonos del sistema eólico de la Amazonía, dividiendo al país en tres regiones fisiográficas.
Anticiclón del pacífico Sur	Neblina en la costa, por inversión térmica.
El Anticiclón del Atlántico Sur	Fuertes fríos en la región Sub Oriental de la Selva
Ciclón Ecuatorial	Fuertes precipitaciones en la Región Nor-Occidental de la Selva.
Corriente de Humboldt	Genera el clima árido de la costa, alternando entre el día y la noche las brisas del mar y las brisas de tierra.
Fenómeno del Niño	Modificación temporal cíclica de condiciones climáticas de la zona norte de la costa. Fuertes precipitaciones.

Los climas pueden clasificarse tomando como referencia varios criterios, entre ellos los más utilizados internacionalmente son:

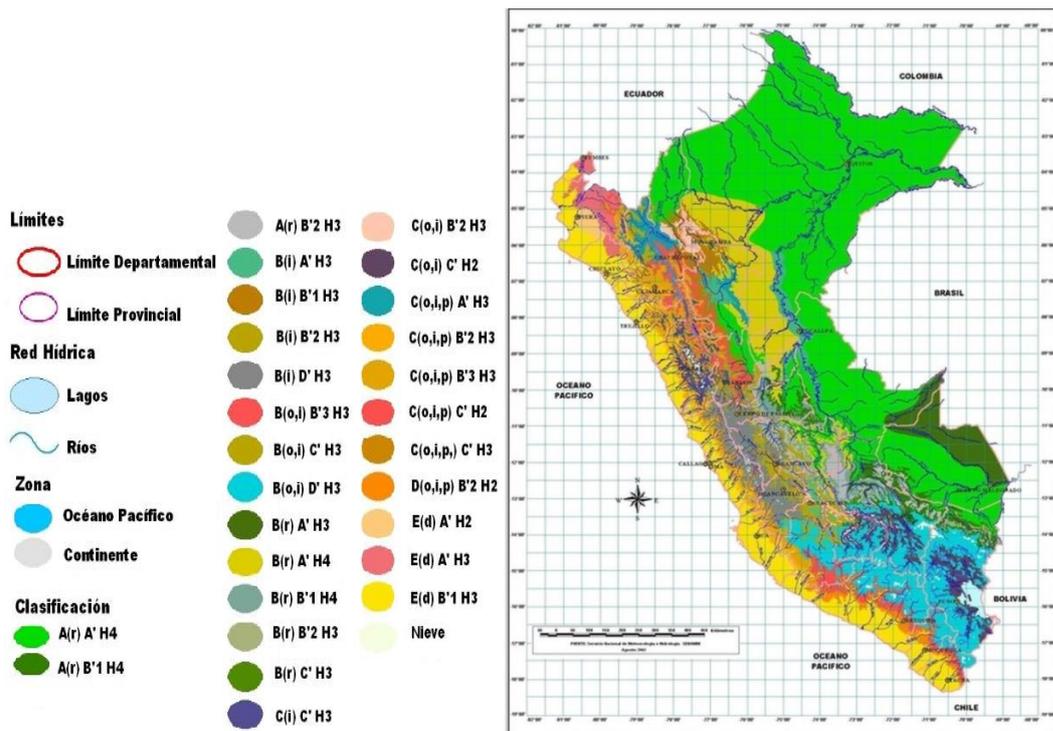
**Thornthwite:** Toma como criterio para su clasificación la “evaporación potencial” lo que genera el balance hídrico. Determinando que el Perú posee 28 de los 32 climas del Mundo (SENAMHI, 1988), elaborado en base a datos meteorológicos de veinte años (1965-1984). Sin Embargo esta clasificación es más apropiada para fines Agrícolas.

**Köppen:** Se basa en la distribución de la Vegetación.

En la Guía de Aplicación de Arquitectura Bioclimática en locales educativos, basados en la clasificación de Köppen se ha incluido parámetros de altura, radiación, inversión térmica, arquitectura tradicional, entre otros factores, que permiten tener una aproximación a pisos de equivalencia arquitectónica.

La Zonificación corresponde a la clasificación primaria realizada por Rayter-Zúñiga en el 2005. A partir de esta clasificación se determina 9 zonas climáticas para el Perú. Su importancia radica en que en base a esta clasificación, se obtuvo las orientaciones

necesarias para el diseño. Cada zona tiene recomendaciones apropiadas a las condiciones medioambientales.



**Figura C1.** Mapa de clasificación climática del Perú según índices de Thornthwaite (1988). Fuente SENAMHI.

La norma EM-110 *Confort térmico y lumínico con eficiencia energética*, publicado en el 2014 (primera norma nacional que trata de mejorar a partir del diseño arquitectónico, las condiciones de confort térmico y lumínico con eficiencia energética de las edificaciones), muestra la zonificación bioclimática del Perú con nueve zonas las cuales son desértico costero, desértico, interandino bajo, mesoandino, alto andino, nevado, ceja de montaña, subtropical húmedo y tropical húmedo. Además, este documento clasifica a cada provincia del Perú dentro de una de las nueve zonas bioclimáticas.

Clasificación de climas para diseño arquitectónico:

Zona 1: Desértico Marino 2,8 %  
 Zona 2: Desértico 6,7%  
 Zona 3: Interandino bajo 3,9%  
 Zona 4: Mesoandino 14,6%  
 Zona 5: Alto andino 9,0%  
 Zona 6: Nevado 1,4%  
 Zona 7: Ceja de Montaña 9,7%  
 Zona 8: Sub Tropical Húmedo 12,2%  
 Zona 9: Tropical Húmedo 39,7%  
 (Se indica el Porcentaje del territorio que comprende cada zona)



**Figura C2.** Mapa de clasificación climática para el diseño arquitectónico según clasificación de Köppen. (Fuente MINEDU, 2007)

**Tabla C2.** Zonificación Bioclimática del Perú (Fuente: EM.110, 2014)

Zona bioclimática	Definición climática
1	Desértico costero
2	Desértico
3	Interandino bajo
4	Mesoandino
5	Alto andino
6	Nevado
7	Ceja de Montaña
8	Subtropical húmedo
9	Tropical húmedo

### Características climáticas de la región andina del Perú

La sierra, que representa el 26% del territorio nacional y está formada por la Cordillera de los Andes a todo lo largo del país. Sus altitudes están entre 1200 a 6600 metros sobre el nivel del mar, su ancho es de 120 km al norte y al sur llega a tener hasta 300 km. Su clima es variable, sobre los 4500 m, la temperatura es glacial. La lluvia es intensa, sobre todo entre los meses de diciembre a abril.

El geógrafo peruano Javier Pulgar Vidal, definió y describió la existencia de ocho regiones naturales en el Perú; de las cuales tres corresponden a la zona peruana

denominada alto andina (Suní, Puna y Janca), regiones con amplios territorios ubicados en altitudes con temperaturas extremadamente bajas en el invierno con un total de 6 millones 511 mil 847 personas (según INDECI, 2008), en la zona sur, centro y oriente del país. Los principales departamentos ubicados en estas zonas son Arequipa, Ayacucho, Cajamarca, Ancash, Apurímac, Cusco, Huancavelica, Huánuco, Junín, La Libertad, Moquegua, Pasco, Puno y Tacna (todos sobre los 3000 m.s.n.m.), la gran mayoría de la población viven en el sector rural y son ellos los que sufren los peores efectos del frío.

**La región Suní o Jalca**, entre los 3500 y 4000 msnm, es la región más accidentada del Perú, de orografía compleja con suelos predominantemente pedregosos y ríos de aguas rápidas y torrentosas. El clima es frío, con gran sequedad ambiental y precipitaciones estacionales de lluvia y granizo.

**La región Puna**, entre los 4000 hasta los 4800 msnm, es una gran llanura extremadamente fría y con poca vegetación. Los veranos son lluviosos y nubosos y los inviernos secos y con continuas heladas.

**La región Janca o Cordillera** sobre los 4800 msnm presenta un relieve abrupto y escarpado, rocoso; cubierto en grandes sectores por nieve y glaciares. Presenta un relieve abrupto y escarpado, rocoso; cubierto en grandes sectores por nieve y glaciares. Son pocos los poblados a esta altitud, dada la inclemencia del clima.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brack, A. y Mendiola, C. (2004). *Ecología del Perú*. Lima: Asociación Editorial Bruño.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2014). Norma EM 110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética. Lima.
- MINEDU (2007). Guía de Aplicación de Arquitectura Bioclimática en Locales Educativos. Lima.
- SENAMHI. Mapa climático del Perú.

## ANEXO D. ENCUESTA A POBLADORES DE LA VIVIENDA 2

### COMENTARIO A LA ENCUESTA

Los habitantes de la vivienda 2 comentan que realizan las actividades recomendadas por los profesionales del CER-UNI, sin embargo se observó que ellos no siempre cumplen dichas recomendaciones, por ejemplo dejan puertas y ventanas abiertas por periodos largos.

La técnica bioclimática de mayor importancia para ellos es el aislamiento higrotérmico de pisos que les permite pasar las noches más abrigados, sin la necesidad de tener que dormir con muchas frazadas.

En general no ingresan a su vivienda por la puerta principal situada en la fachada de la vivienda, esto se observó en la mayoría de los pobladores, hacen su ingreso por una puerta lateral situada en el patio. Sólo utilizan la puerta en días de celebración.

Aprovechan al máximo el invernadero adosado, pero es más importante para ellos su uso productivo que el uso térmico. En el invernadero algunos de los productos que siembran son ají, betarraga, coliflor, espinaca, ají y capulí. Nunca abre los conductos para que el aire caliente del invernadero ingrese a los dormitorios.

De las cinco hojas de triplay de las claraboyas, no siempre las abren solo algunas permanecen abiertas, una se encuentra dañada. Al abrirlas cae un poco de polvo lo que indica presencia de orificios debido a un mal sellado del techo.

Como comentario final se debe construir estas técnicas bioclimáticas teniendo en cuenta las costumbres de la población, además es muy difícil que la población rural maneje en forma correcta dichas técnicas sin la capacitación adecuada.



**Figura 1D.** Vivienda 2 de SFR, Nancy Chate y Jaime Mendoza

## ENCUESTA PROPIETARIO VIVIENDA 2

**Encuestados:** Nancy Damiano Chate y Jaime Mendoza

1. ¿Cómo sentías tu dormitorio en las noches antes del aislamiento de techos?  
 frío                       caliente                       Otro: \_\_\_\_\_

2. ¿Cómo sientes tu dormitorio en las noches después del aislamiento de techos?  
 frío                       caliente                       no siente ningún cambio

Nancy: "Si, calentito en las noches se siente"

Jaime: "Hasta las gaseosas están calientes en la noche."

3. ¿Cómo sentías el resto de tu vivienda durante las mañanas y tardes antes del aislamiento de techos?  
 frío                       caliente                       Otro: \_\_\_\_\_

4. ¿Cómo sientes el resto de tu vivienda durante las mañanas y tardes después del aislamiento de techos?  
 frío                       caliente                       no siente ningún cambio

5. ¿Te informaron sobre es el funcionamiento adecuado de las técnicas instaladas en tu vivienda?  
 si                       no                      ¿Quiénes?: Los del CER

6. ¿Las claraboyas instaladas en tu sala te incomodan?  
 si                       no                      ¿Por qué?: \_\_\_\_\_

7. Durante el día ¿abren las claraboyas?  
 si                      Frecuencia: "Si estamos en la casa tratamos de cumplirlas".  
 no                      ¿Por qué? \_\_\_\_\_

8. Durante las noches ¿cierran las claraboyas?  
 si                      Frecuencia: "Siempre que dormimos aquí"  
 no                      ¿Por qué? \_\_\_\_\_

9. ¿Resulta difícil el manejo (abrir y cerrar) las hojas de madera de la claraboya?  
 no                       si                      ¿Por qué? "Se jalan nada más" \_

10. ¿Cuáles son los problemas comunes con el uso de las claraboyas?

"Hay polvo cuando se abre las compuertas de las claraboyas"

"El seguro de una compuerta se malogró"

11. Cuando se encuentran en la vivienda ¿abren las contraventanas del dormitorio durante la mañana?  
 si                      Frecuencia: Siempre  
 no                      ¿Por qué? \_\_\_\_\_

12. Cuando se encuentran en la vivienda ¿abren las contraventanas de la sala durante la mañana?

si      Frecuencia: Siempre      ¿A qué hora? 6:00am  
 no      ¿Por qué? \_\_\_\_\_

13. ¿En las noches, acostumbran cerrar las contraventanas de los dormitorios?

no       si      ¿A qué hora?: 8:00pm

14. ¿En las noches, acostumbran cerrar las contraventanas de la sala?

no       si      ¿A qué hora?: 8:00pm

15. ¿En el día, abren las ventanas del dormitorio?

no       si      ¿A qué hora?: \_\_\_\_\_

16. ¿A qué hora abren y cierran la ventana de su tienda?

Hora que abre: 6:00am      Hora que cierra: 8:00pm

17. ¿Utilizan el invernadero?

No       si      “Si, es útil para sembrar”.  
“Tenemos nuestras verduras”.

18. ¿Qué tipo de producto siembran en el invernadero?

Ají, betarraga, coliflor, espinaca, ají y capulí.

19. ¿Cuál es el estado del invernadero (plástico)? *(contestado por el encuestador después de la supervisión)*

bueno       malo

20. ¿Creen que el invernadero les ayuda al calentamiento de los dormitorios?

si       no

21. Cuando se encuentran en su vivienda durante las mañanas y tardes ¿abren las compuertas que conectan el invernadero con los dormitorios?

si       no      “No siempre”  
“A las 7:00 am”  
\_\_\_\_\_

22. ¿En las noches, cierran las compuertas que conectan el invernadero con los dormitorios?

si       no      ¿A qué hora? \_\_\_\_\_

23. ¿Tienen algún problema con los orificios que conectan el invernadero con los dormitorios?

si       no      ¿Cuál(es)?      "A veces entran insectos y arañas por los ductos"  
\_\_\_\_\_

24. ¿Es cómodo para Uds. tener el piso de madera en los dormitorios?

si       no      ¿Por qué?      "Ya no se siente la humedad"  
\_\_\_\_\_

25. ¿Riegan el piso de la sala?

no       si      Frecuencia:      "Diario"  
\_\_\_\_\_

26. ¿Le gustaría que la sala también tuviera piso de madera?

si       no      ¿Por qué?      \_\_\_\_\_

27. ¿Utilizan la puerta principal de madera?

si       no      ¿Cuándo?      "Sólo en las fiestas patronales y carnavales"  
"Los otros días entramos por la otra puerta"  
\_\_\_\_\_

28. ¿La cocina mejorada construida es útil?

si       no      ¿Cuándo?      \_\_\_\_\_

29. Considera que la cocina mejorada ayuda al calentamiento de la vivienda.

si       no

"Calienta el dormitorio y la sala"

30. La cocina mejorada genera \_\_\_\_\_ humo que su anterior cocina

más       menos       igual cantidad de

31. Considera que esta bien la altura de la cocina mejorada instalada en su hogar.

si       no       Me da igual

32. ¿Qué sugerencias darían para mejorar su vivienda?

"Cambiar el piso de la sala con un piso de madera"

## ANEXO E. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INSTRUMENTOS

### E1. HOBO Micro Station Data Logger Modelo H21-002, 4 Smart Sensor Inputs

<b>Operating range:</b>	-20° to 50°C with alkaline batteries, -40° to 70°C with lithium batteries	
<b>Sensor inputs:</b>	Up to four smart sensors	
<b>Communication:</b>	3.5 mm serial port	
<b>Dimensions:</b>	8.9 cm H x 11.4 cm D x 5.4 cm W	
<b>Weight:</b>	0.36 kg	
<b>Memory:</b>	512K flash data storage	
<b>Memory modes:</b>	Stop when full, wrap around when full	
<b>Operational indicators:</b>	Seven lights provide logging and sensor network status	
<b>Battery type:</b>	Four standard AA alkaline batteries, AA lithium batteries	
<b>Logger start modes:</b>	Immediate, push-button, or delayed start options	
<b>Mounting:</b>	Mount vertically on flat surface 18 cm or wider; optional mast mounting kit for use on 4.1 cm diameter masts	

### E2. Temperature/Relative Humidity (2m cable) Smart Sensor S-THB-M002

<b>Measurement Range</b>	<b>Temp:</b> -40°C to 75°C <b>RH:</b> 0-100% RH at -40° to 75°C; exposure to conditions below -20°C or above 95% RH may temporarily increase the maximum RH sensor error by an additional 1%	
<b>Accuracy</b>	<b>Temp:</b> +/- 0.21°C from 0° to 50°C <b>RH:</b> +/- 2.5% from 10% to 90% RH (typical), to a maximum of +/- 3.5%.	
<b>Resolution</b>	<b>Temp:</b> 0.02°C at 25°C (0.04°F at 77°F) <b>RH:</b> 0.1% RH at 25°C (77°F)	
<b>Bits Per Sample</b>	<b>Temp:</b> 12 <b>RH:</b> 10	
<b>Drift</b>	<b>Temp:</b> < 0.1°C (0.18°F) per year <b>RH:</b> < 1% per year typical; hysteresis 1%	
<b>Response Time</b>	<b>Temp:</b> 5 minutes in air moving 1 m/s <b>RH:</b> 5 minutes in air moving 1 m/sec with protective cap	

### E3. Solar Radiation (Silicon Pyranometer) Sensor Modelo S-LIB-M003

<b>Measurement range:</b>	0 to 1280 W/m <sup>2</sup>	
<b>Operating temperature range:</b>	-40° to 75°C	
<b>Resolution:</b>	1.25 W/m <sup>2</sup>	
<b>Accuracy:</b>	±10 W/m <sup>2</sup> or ±5%, whichever is greater in sunlight. Additional temperature induced error ±0.38 W/m <sup>2</sup> /°C from 25°C	
<b>Spectral range:</b>	300 to 1100 nm	
<b>Cosine response error:</b>	±5%, 0° to 70°; ±10%, 70° to 80° from vertical	
<b>Azimuth error:</b>	±2% error at 45° from vertical, 360° rotation	
<b>Housing:</b>	anodized aluminum housing with acrylic diffuser and o-ring seal	
<b>Dimensions:</b>	4.1 cm high x 3.2 cm diameter	
<b>Approximate weight:</b>	120 g	
<b>Cable length:</b>	3 m	

#### E4. Wind Speed (with 3m cable) Smart Sensor Modelo S-WSB-M003

<b>Measurement parameters:</b>	average wind speed and highest 3 second gust in logging interval	
<b>Measurement range:</b>	0 to 76 m/s	
<b>Operating temperature range:</b>	-40° to 75°C	
<b>Resolution:</b>	0.5 m/s	
<b>Accuracy:</b>	±1.1 m/s or ±4% of reading whichever is greater	
<b>Housing:</b>	3 cup anemometer with TEFLON® bearings and hardened beryllium shaft	
<b>Dimensions:</b>	190 cm x 51 cm	
<b>Approximate weight:</b>	300 g	
<b>Cable length:</b>	3 meter	

#### E5. Wind Direction Smart Sensor Modelo: S-WDA-M003

<b>Measurement Range</b>	0 to 355 degrees, 5 degree dead band	
<b>Accuracy</b>	± 5 degrees	
<b>Resolution</b>	1.4 degrees	
<b>Starting Threshold</b>	1.0 m/s	
<b>Measurement Definition</b>	Unit vector components of wind direction are accumulated every three seconds for duration of logging interval. Average direction is calculated from the average of these.	
<b>Operating Temperature Range</b>	-40°C to +70°C	
<b>Housing</b>	Injection-molded housing and vane, static dissipating base, lead-free silicon bronze nose, and aluminum mounting rod.	
<b>Turning Radius</b>	Approximately 13.5 cm	
<b>Weight</b>	Approximately 370 g	
<b>Cable Length Available</b>	3.5 m	

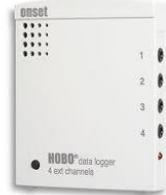
#### E6. HOBO Temperature/Relative Humidity/Light/External Data Logger U12-012

<b>Measurement Range</b>	<b>Temperature:</b> -20° to 70°C, <b>RH:</b> 5% to 95% RH <b>Light intensity:</b> 1 to 3000 footcandles typical; maximum value varies from 1500 to 4500 footcandles	
<b>Accuracy</b>	<b>Temperature:</b> ± 0.35°C from 0° to 50°C, <b>RH:</b> ±2.5% from 10% to 90% RH (typical), to a maximum of ±3.5% <b>Light intensity:</b> Designed for indoor measurement of relative light levels	
<b>Resolution</b>	<b>Temperature:</b> 0.03°C at 25°C, <b>RH:</b> 0.03% RH	
<b>Drift</b>	<b>Temperature:</b> 0.1°C/year <b>RH:</b> <1% per year typical; RH hysteresis 1%	
<b>Response Time in Airflow of 1m/s</b>	<b>Temperature:</b> 6 minutes, typical to 90%, <b>RH:</b> 1 minute, typical to 90% <b>Time accuracy:</b> ± 1 minute per month at 25°C	
<b>Operating Temperature</b>	<b>Logging:</b> -20° to 70°C; 0 to 95% RH (non-condensing) <b>Launch/readout:</b> 0° to 50°C, per USB specification	
<b>Memory:</b>	64K bytes (43,000 12-bit measurements)	
<b>Weight:</b>	46 g	
<b>Dimensions:</b>	58 x 74 x 22 mm	

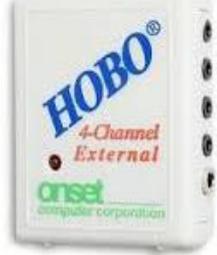
### E6. Air/Water/Soil Temperature (20' cable) Sensor TMC20-HD

<b>Measurement range:</b>	-40° to 50°C in water; -40° to 100°C in air	
<b>Resolution:</b>	w/U12: 0.03° at 20°C	
<b>Drift:</b>	<0.1°C per year	
<b>Response time in air:</b>	2 min. typical to 90% in air moving 1 m/s	
<b>Housing:</b>	Copper-plated sensor tip	
<b>Dimensions:</b>	5.1 x 33 mm	
<b>Weight:</b>	34 g	
<b>Accuracy:</b>	w/U12: ±0.25°C from 0° to 50°C, insert probe 2.3 cm minimum	

### E7. HOBO 4-Channel External Data Logger U12-006

<b>Accuracy (logger only):</b>	± 2 mV ± 2.5% of absolute reading; ± 2 mV ± 1% of reading for logger-powered sensors	
<b>Resolution:</b>	0.6 mV	
<b>Sample Rate:</b>	1 second to 18 hours, user selectable	
<b>Time accuracy:</b>	± 1 minute per month at 25°C	
<b>Operating range:</b>	-20 to 70°C	
<b>Operating temperature:</b>	Logging: -20° to 70°C; 0 to 95% RH (non-condensing) Launch/readout: 0° to 50°C, per USB specification	
<b>Humidity range:</b>	0 to 95% RH, non-condensing	
<b>Memory:</b>	64K bytes (43,000 12-bit measurements)	
<b>Weight:</b>	46 g	
<b>Dimensions:</b>	58 x 74 x 22 mm	

### E8. HOBO 4 External Channel Data Logger Modelo H08-006-04

<b>Operating range (logger):</b>	: -20°C to +70°C, 0 - 95% RH non-condensing	
<b>Time accuracy:</b>	approx. ±1 minute per week (±100 ppm at +68°F or +20°C), full dependance shown in manual	
<b>Measurement capacity:</b>	32,520 measurements total, stored in nonvolatile memory	
<b>Size:</b>	2.4" H x 1.9" W x 0.8" D	
<b>Weight:</b>	Approximately 1 oz.	
<b>Battery:</b>	CR-2032 (lithium), user-replaceable	
<b>Storage temperature:</b>	-40°C to +75°C	

## **ANEXO F. INFORMACIÓN DIGITAL**