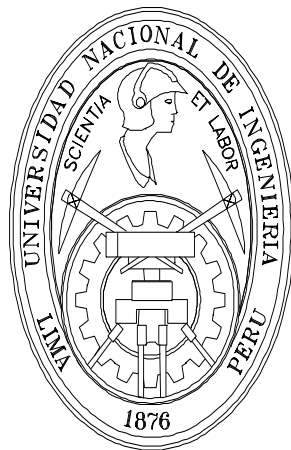


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE CIENCIAS

Sección de Posgrado y Segunda Especialización Profesional



**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

**PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN
ENERGIAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGETICA**

ELABORADO POR:

RAFAEL LEONARDO ESPINOZA PAREDES

ASESOR: MANFRED HORN

COASESOR: GILLES LEFEBVRE

LIMA – PERÚ

2014

INDICE

INTRODUCCIÓN	5
OBJETIVOS	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
HIPÓTESIS.....	6
JUSTIFICACIÓN	6
METODOLOGÍA.....	7
CAPÍTULO I. ESTADO ACTUAL DEL CONFORT TÉRMICO ALTO ANDINO DEL PERÚ	8
1.1. Fundamentos del confort térmico	8
1.1.1. El clima	9
1.1.1.1. Parámetros climáticos.....	9
1.1.2. <i>El clima del Perú</i>	10
1.1.3. Interacciones en el contexto bioclimático.....	11
1.1.4. Índices Climáticos.....	12
1.1.4.1. Diagrama de Givoni.....	18
1.1.4.2. Diagrama de Olgyay	20
1.1.4.3. Triángulos de Evans	20
1.1.4.4. Tablas de Mahoney.....	22
1.2. Características climáticas de la región andina del Perú	27
1.3. Estado del arte del confort térmico andino en el Perú	30
1.3.1. Panorama de la experiencia peruana en confort térmico	30
1.3.2. Muestras de técnicas bioclimáticas ancestrales	32
1.3.3. Edificaciones con características bioclimáticas	34
1.3.4. Viviendas construidas con características bioclimáticas	39
1.4. Prospectiva del confort térmico en el Perú	41
CAPÍTULO II. CONFORT TÉRMICO EN SAN FRANCISCO DE RAYMINA	45
2.1. Descripción del pueblo San Francisco de Raymina.....	45
2.1.1. Descripción general de la comunidad	47
2.1.2. Descripción de sus viviendas	48
2.1.3. Actividades cotidianas	49

2.2.	Potencial Tecnológico de San Francisco de Raymina	49
2.3.	Descripción y análisis técnico de componentes bioclimáticos instalados en SFR	49
2.4.	Prospectiva Tecnológica de componentes bioclimáticos para SFR.....	55
CAPÍTULO III. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO EXPERIMENTAL DE VIVIENDA (MEV) CON CARACTERÍSTICAS BIOCLIMÁTICAS		
	BIOCLIMÁTICAS	59
3.1.	Consideraciones para el diseño del MEV	60
3.2.	Diseño del MEV	61
3.2.1.	Diseño conceptual	61
3.2.1.1.	Piso	65
3.2.1.2.	Techo	65
3.2.1.3.	Puertas	67
3.2.1.4.	Ventanas	68
3.2.1.5.	Sistemas de captación de energía solar y calentamiento de ambientes interiores	69
	A.Componente bioclimático 1	70
	B.Componente bioclimático 2	71
3.3.	Construcción del MEV	74
3.3.1.	Detalles constructivos del MEV	74
3.4.	Descripción técnica del MEV construido	84
CAPÍTULO IV. EXPERIMENTACIÓN DEL MEV		
	89	89
4.1.	Consideraciones para el diseño experimental	89
4.1.1.	<i>Programación experimental</i>	89
4.1.1.1.	Pruebas básicas (PB)	90
4.1.1.2.	Variantes adicionales para alguna de las 4 pruebas básicas	90
4.2.	Desarrollo del proceso experimental	91
4.2.1.	<i>Apreciaciones finales</i>	96
4.2.2.	<i>Especificaciones técnicas de equipos e instrumentos utilizados.</i>	97
4.3.	Resultados experimentales.....	98
4.3.1.	Parámetros meteorológicos	98
4.3.2.	<i>Observaciones sobre el proceso experimental y los resultados obtenidos en su desarrollo.</i>	98
4.4.	Procesamiento de resultados experimentales	100

4.4.1. Calor desde el tubo radiante: Q_T	100
4.4.2. Calor desde el serpentín: Q_S	101
4.4.3. Criterios aplicados en el cálculo de la ganancia térmica.....	105
4.4.4. Performance diaria de parámetros experimentales	109
4.5. Conclusiones del proceso experimental.....	115
4.5.1. Componentes bioclimáticas muro radiante y tubo radiante.	115
4.5.2. <i>Componentes del cerramiento de la edificación.</i>	116
CAPÍTULO V. CARACTERIZACIÓN DE COMPONENTES BIOCLIMÁTICOS	
EXPERIMENTADOS	121
5.1. Configuración y descripción técnica de los componentes experimentados....	121
5.1.1. Componente muro radiante	121
5.1.1.1. Partes componentes.	121
5.1.1.2. Funcionamiento	123
5.1.2. Componente tubo radiante	124
5.1.2.1. Partes componentes	125
5.1.2.2. Funcionamiento	125
5.2. Interpretación matemática del comportamiento térmico	127
5.3. Caracterización técnica	130
5.3.1. Componente bioclimática Muro Radiante	130
5.3.2. Componente bioclimática Tubo Radiante.....	132
5.4. Formulación de una propuesta técnica de calentamiento de ambientes	134
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	137
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	140
GLOSARIO	143
APÉNDICE I	145
APÉNDICE II	152
APÉNDICE III	158
APÉNDICE IV	166

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

1. Definir y configurar técnicamente estrategias bioclimáticas de aplicación general en viviendas y, en particular, las aplicadas en la vivienda de San Francisco de Raymina.
2. Diseñar un módulo de vivienda experimental para evaluar el desempeño térmico de dos componentes bioclimáticas para calentamiento, de aplicación potencial en ambientes interiores de una vivienda rural alto andina.
3. Caracterizar el desempeño térmico de las dos componentes bioclimáticas de calentamiento en armonía con los ambientes del módulo de vivienda experimental.
4. Formular una propuesta técnica de calentamiento de ambientes interiores de viviendas rurales alto andinas utilizando las componentes de calentamiento caracterizadas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años se ha acumulado importante experiencia en el campo de viviendas bioclimáticas para las zonas alto andinas del Perú a través del desarrollo de proyectos de investigación aplicada y de desarrollo ejecutados por el CER-UNI cuyos resultados de mayor relevancia han sido viviendas acondicionadas y construidas en localidades ubicadas entre 3 300 y 4 500 msnm en las regiones de Ayacucho, Puno y Huancavelica. La metodología seguida en todos los casos ha descansado sobre resultados obtenidos por la vía de la simulación matemática y contraste posterior con resultados de mediciones de la temperatura del interior de las viviendas construidas obteniendo aproximación notable entre los resultados simulados y los medidos. Así mismo, en todos los casos el incremento de temperatura de los ambientes interiores ha sido

producto del efecto de tres o cuatro técnicas constructivas ubicadas en partes críticas¹ de la vivienda, tales como pisos, techo, muros, ventanas y puertas.

No obstante esta experiencia, hace falta contar con herramientas que permitan conocer el efecto individual de las técnicas aplicadas u otras que podría aplicarse de manera que la elección de una u otra siga un procedimiento que permita ligar las características físicas y dimensionales de las aplicaciones con el efecto térmico esperado en los volúmenes interiores de la vivienda, lo que puede ser logrado de la forma como es propuesta en el presente proyecto.

HIPÓTESIS

El módulo de vivienda experimental construido en San Francisco de Raymina cuenta con un componente de calentamiento bioclimático en cada uno de sus dos ambientes, cada cual de características técnicas diferentes, cuyo funcionamiento con agua calentada por la energía solar genera ambientes interiores confortablemente térmicos.

JUSTIFICACIÓN

1. Enriquecimiento de la experiencia en el campo del uso de la energía solar para mejorar la condición térmica de ambientes interiores de una vivienda rural alto andina.
2. Desarrollo de nuevas técnicas bioclimáticas con viabilidad de aplicación en ambientes rurales alto andinos de variadas características estructurales y arquitectónicas.
3. Fortalecimiento y consolidación de la línea de investigación universitaria de la maestría en energías renovables y eficiencia energética de la FC-UNI, a través del aporte de información técnica para su uso académico y recursos humanos mejor capacitados.

¹ En el contexto bioclimático se define como *parte crítica de una vivienda* la que resulta relevante para la transferencia de calor en uno u otro sentido y que genera pérdidas térmicas.

4. Fortalecimiento de competencias académicas y profesionales que posibilitarán la transferencia tecnológica de productos, servicios y procesos en el campo de la arquitectura bioclimática.

METODOLOGÍA

La metodología que se seguirá en el desarrollo del presente proyecto será de carácter experimental y contraste con fundamentos teóricos e interpretación matemática para respaldo de los resultados obtenidos por medición de parámetros de comportamiento de las técnicas bioclimáticas propuestas.

La data informativa correspondiente a los ensayos experimentales que se programe será obtenida a través de instrumentación montada en el módulo experimental de vivienda experimentalmente construido para los fines perseguidos. La información de datos climáticos será obtenida a través de una estación meteorológica montada en SFR. Todos los equipos e instrumentos a utilizar cuentan con la capacidad de almacenar información por tiempos determinados de acuerdo con la frecuencia de medición que se establezca.

CAPÍTULO I. ESTADO ACTUAL DEL CONFORT TÉRMICO ALTO ANDINO DEL PERÚ

1.1. Fundamentos del confort térmico

El confort térmico debe entenderse como una situación resultante de la confluencia de varios factores sobre las personas que se encuentran en un ambiente determinado. Cada uno de estos factores tiene sus características propias, algunos de ellos son función de las condiciones del ambiente que rodea a la persona y varios otros dependen de la propia persona, su condición física, de salud, de vestimenta y hasta mental. Esta heterogeneidad de condiciones, medibles y no medibles, determinan la sensación personal de bienestar o estar bien en un ambiente, sentirse bien y sin molestias en el desempeño de las actividades que le compete realizar en ese ambiente.

Este estado personal de estar bien en un ambiente es el llamado *confort térmico* y uno de los factores medibles que lo determinan es la temperatura de dicho ambiente, necesaria para el cálculo de la temperatura radiante interpretada como aquella que el ser humano siente y determina su comodidad.

Para mejor comprender las relaciones existentes que nos conducen al estado de confort térmico, es conveniente hacer una descripción técnica integral empezando con la definición del clima, siguiendo con conceptos del confort térmico y concluyendo con indicadores y estrategias bioclimáticas.

1.1.1. El clima

Es el conjunto de las condiciones meteorológicas que suelen darse en una región más o menos extensa del Globo. Por extensión, condiciones físicas de temperatura, presión y humedad que reinan en un local².

“Si bien el clima es un elemento natural, podría decirse también que su concepción es humana ya que todos los elementos y estadísticas que lo componen son formas que el ser humano establece para conocer con parámetros más o menos accesibles a aquellos fenómenos atmosféricos. La meteorología es la ciencia que estudia y predice el clima de acuerdo a los elementos visibles en numerosos tipos de mapas y sistemas de observación planetaria.

- Los climas zonales determinados por la circulación general de la atmósfera afectan vastas superficies del Globo.
- Los climas regionales que se aprecian en toda una parte de un continente son determinados por factores geográficos.
- Los climas locales resultan también de factores geográficos

Para conocer cómo evoluciona el clima a lo largo del tiempo geológico hay que tener en cuenta la influencia de los aspectos capaces de alterarlo a lo largo de un período más o menos largo. Según la importancia de los factores externos al propio clima, en cada momento el sistema climático será más o menos caótico.

1.1.1.1. Parámetros climáticos

Para el estudio del clima hay que analizar los elementos del tiempo meteorológico: la temperatura, la humedad, la presión, los vientos y las precipitaciones. De ellos, las temperaturas medias mensuales y los montos pluviométricos mensuales a lo largo de una serie bastante larga de años son los datos más importantes que normalmente aparecen en los gráficos climáticos.

Los elementos constituyentes del clima son temperatura, presión, vientos, humedad y precipitaciones. De estos cinco elementos, los más importantes son la temperatura y las

² Definición extraída del diccionario PEQUEÑO LAROUSSE TÉCNICO, por Tomás de Galiana Mingot; 1980

precipitaciones, porque en gran parte, los otros tres elementos o rasgos del clima están estrechamente relacionados con los dos que se han citado.

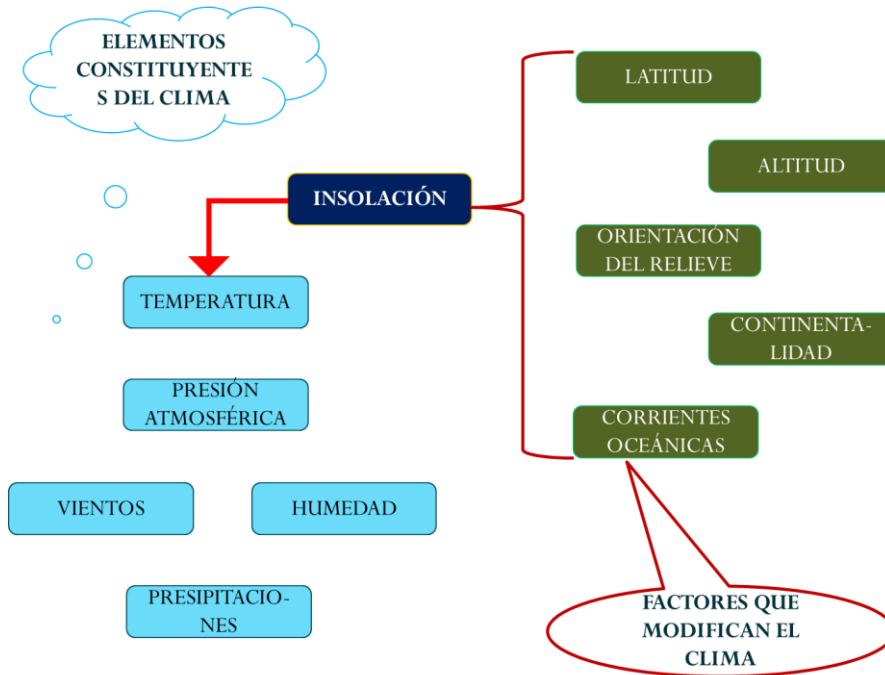


Figura 1.1.1. Representación gráfica de los elementos constituyentes del clima y factores que pueden modificarlo. Elaboración propia a partir del concepto de clima.

1.1.2. El clima del Perú

Por su ubicación geográfica el Perú presenta una gran variedad de climas, los cuales son producto de la interacción de los fenómenos indicados en la figura 1.1.2.



Figura 1.1.2. Factores que determinan el clima en el Perú. Fuente: SENAMHI.

En el APÉNDICE I de esta tesis se incluye información sobre la Clasificación Climática del Perú, así mismo, información referida al SENAMHI como institución rectora del clima en el Perú.

1.1.3. Interacciones en el contexto bioclimático.

Siguiendo un enfoque integrador indicado por el profesor Gilles Lefebvre de la Universidad Paris Est, el autor ha elaborado la concepción gráfica mostrada en la figura 1.1.3 que representa los cuatro aspectos fundamentales que se relacionan entre sí en el contexto bioclimático y se interpretan como se enuncia a continuación.

CLIMA: como su nombre lo indica, este aspecto representa todas las consideraciones, conceptos y características climáticas a tener en cuenta, tanto del clima exterior cuanto del clima interior que se persigue mejorar.

CONFORT: este aspecto engloba las características, conceptos, consideraciones y comportamientos que determinan el confort térmico personal, es decir, el estar bien de una persona en un ambiente determinado.

EDIFICACIÓN: es el aspecto que involucra a los espacios y volúmenes físicos resultantes del diseño arquitectónico y las técnicas constructivas utilizadas para levantar una edificación.

COMPONENTES: se refiere a las partes de la edificación que intervienen activamente determinando el clima interior de la edificación. Pueden ser partes naturalmente pertinentes al diseño de una edificación, como una puerta o un muro, como aquellas que se diseñan e incluyen específicamente para contribuir con el mejoramiento del clima interior de la edificación, por ejemplo una ventana con doble vidrio, o un falso invernadero con lazo convectivo.

La interacción e interrelación armónica de estos cuatro aspectos determinarán las características de confort térmico de una edificación.

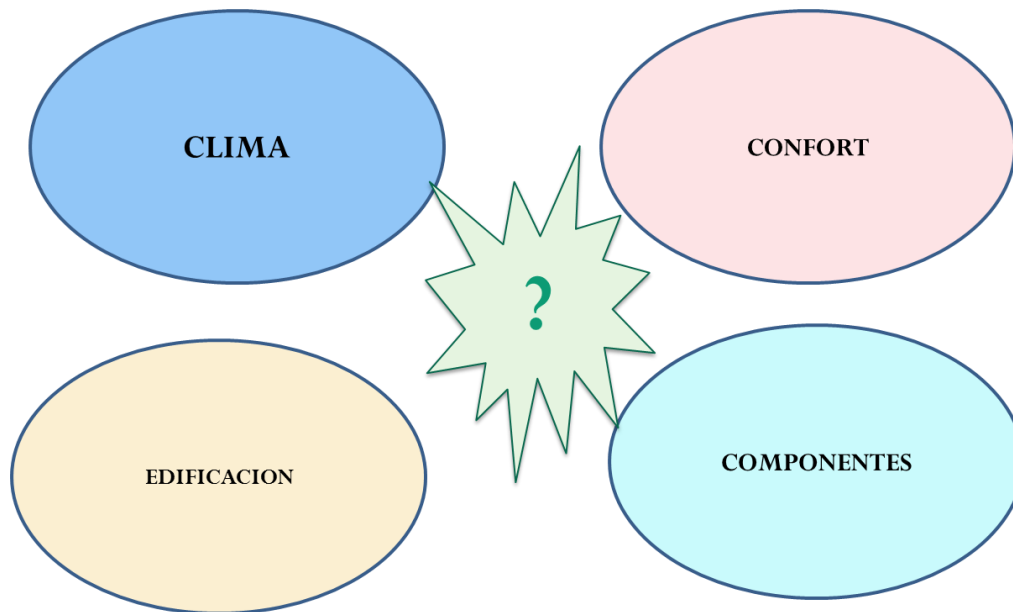


Figura 1.1.3. Representación gráfica de las interacciones que se dan en el contexto bioclimático. Fuente: elaboración propia.

1.1.4. Índices Climáticos

Las personas viven inmersas en un ambiente que está formado por muchos elementos que interactúan y producen determinadas sensaciones en ellas. Los más relevantes son:

- a.* Elementos de carácter climático: Radiación solar, Humedad, Movimiento del aire, Temperatura del aire.
- b.* Elementos de carácter energético o ENERGÍA CALORÍFICA intercambiada por la persona y su entorno: Conducción, Convección, Evaporación, Radiación.

El grado o intensidad de estas interacciones, así como el estado global de la persona determinarán su comodidad térmica. La norma ISO 7730 define la *comodidad térmica* como "aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico".

/16/

La comodidad térmica depende de muchos parámetros físicos, por ejemplo, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, ropa, metabolismo, entre otros.

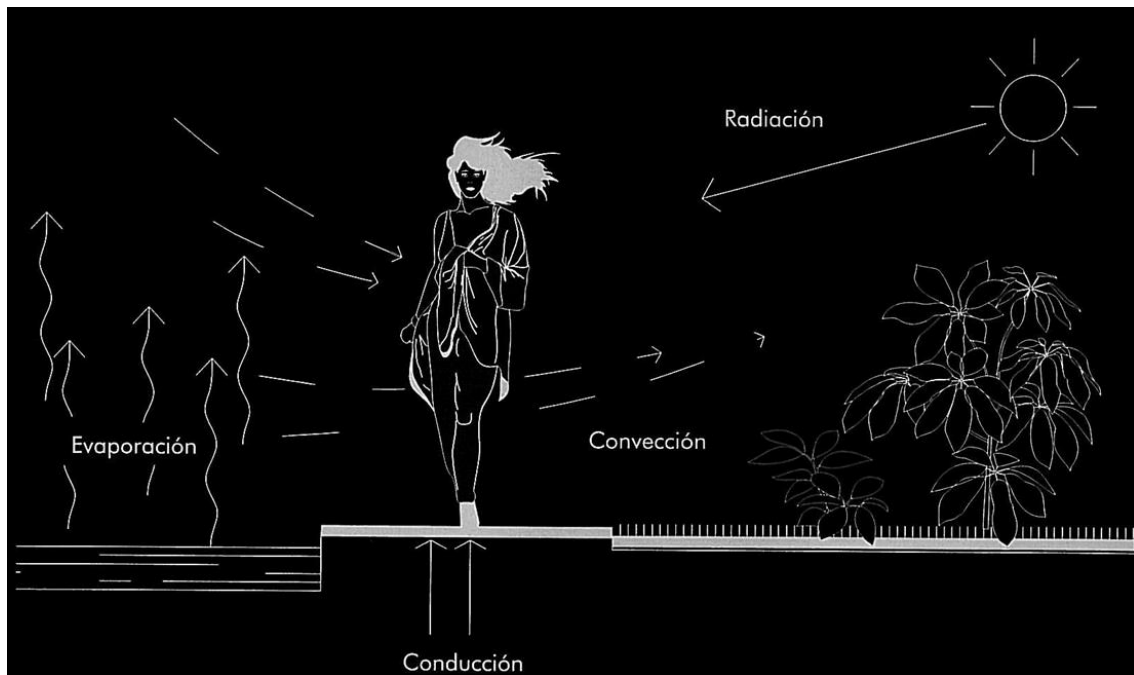


Figura 1.1.4. Representación de las interacciones de la persona con el clima y su entorno cercano. Fuente: Luxan, M. /16/

Así, la persona gana calor por las siguientes vías:

1. Por su metabolismo (M), determinado por su metabolismo basal y la actividad que realice.
2. Por radiación de calor (R), que recibe de los cuerpos de su entorno.
3. Por convección (C), al recibir calor del aire (o agua) que está en contacto con él.
4. Por la respiración (Res), al inspirar aire caliente cuya temperatura esté por encima de su temperatura corporal.
5. Por conducción (K), al recibir calor de los cuerpos sólidos que están en contacto directo con él.

A su vez, la persona pierde calor por las siguientes vías:

1. Por radiación de calor (R), que emite hacia los cuerpos de su entorno.
2. Por convección (C), al entregar calor al aire que está en contacto con él.
3. Por la respiración (Res), al espirar el aire durante la respiración y el jadeo.
4. Por trabajo externo (W), al realizar una actividad con un trabajo externo positivo.
5. Por evaporación del sudor (E), al entregarle calor al sudor para que éste pueda evaporarse.
6. Por conducción (Cd), al entregar calor a los cuerpos sólidos que están en contacto directo con él.

El balance final se expresaría así:

$$M \pm W \pm R \pm C \pm Cd \pm Res - E = A$$

Donde A sería el saldo final, es decir, el calor acumulado (si $A > 0$), o perdido (si $A < 0$), en el organismo como consecuencia de un desequilibrio; y si $A = 0$, significa que existe equilibrio térmico.

En la práctica se pueden despreciar los intercambios por respiración y por conducción y, salvo determinadas situaciones, el trabajo externo, teniendo en cuenta que en la mayor parte de las actividades su valor es bajo o nulo. De manera que la ecuación práctica de balance térmico quedaría:

$$M \pm R \pm C - E = A$$

Por lo tanto, la ecuación de balance térmico puede adoptar una de estas cuatro formas que, según la situación, significan:

- 1) $M \pm R \pm C = 0$; ($E = 0$) equilibrio en condiciones necesarias pero no suficientes para el confort térmico,
- 2) $M \pm R \pm C - E = 0$, equilibrio en condiciones de calor permisibles,
- 3) $M \pm R \pm C - E > 0$, desequilibrio por condiciones críticas por calor,
- 4) $M \pm R \pm C < 0$, desequilibrio por condiciones críticas por frío.

Parámetros que se deben medir

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.

Las seis variables que definen la interrelación entre la persona y el ambiente térmico son las siguientes:

- 1) la temperatura del aire,
- 2) la temperatura radiante,
- 3) la humedad del aire,
- 4) la velocidad del aire,
- 5) la actividad desarrollada,
- 6) la vestimenta,

Las cuatro primeras las aporta el entorno y las dos segundas la persona.

Viéndose la importancia del confort térmico en la vida de las personas, ha habido y hay estudios que tratan de cuantificar esta sensación; esto a través de “*indicadores de confort térmico*”. Esto nos permite saber si probablemente una persona expuesta a cierto rango de temperatura y humedad ambientales (y a otras condiciones térmicas), sienta sensación de confort. En consecuencia se define: **zona de confort**; como el intervalo de temperaturas y humedades en las cuales el humano presenta el *mínimo esfuerzo para disipar el calor que genera*.

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: **1 Met** corresponde al nivel de actividad de una persona sedentaria: **58 W/m²**.

Tabla 1.1.1. Algunos valores del metabolismo de un adulto (Watts). Adaptación propia a partir de /17/.

GRADO METABÓLICO PROMEDIO PARA UN HOMBRE ADULTO (WATTS)			
Actividad	total	basal	muscular
Sueño profundo	70	70	0
Descanso acostado	88	88	0
Descanso sentado	115	92	23
Trabajo ligero sentado	130	92	38
Trabajo ligero de pie	150	92	58
Caminar despacio	160	92	68
Trabajo de escritorio	210	93	117
Trabajo de oficina de pie	235	93	142
Trabajo medio	265	93	172
Trabajo medio pesado	300	93	207
Trabajo pesado	400	94	306
Trabajo pesado durante 8 hrs.	440	94	346
Trabajo muy pesado (max 30 minutos)	1 500	94	1 160

La ropa reduce la pérdida de calor de cuerpo.

La unidad normalmente usada para medir el aislamiento de ropa es el *Clo*

$$1 \text{ Clo} = 0.155 \text{ m}^2\text{C/W}$$

Las condiciones de temperatura y humedad bajo las cuales el humano tendría la sensación de comodidad térmica se representan a través de “indicadores de confort térmico”.

Estos indicadores son representados mediante:

- Ecuaciones.
- Diagramas

Que, en ambos casos, sugieren condiciones de confort referidas con la *temperatura y la humedad relativa del ambiente habitado*

Los indicadores de confort térmico que tiene forma matemática, permiten el cálculo de una temperatura denominada neutra (T_n) e interpretada como aquella con la cual el humano estaría en equilibrio térmico, es decir, no ganaría ni perdería calor.

En la figura 1.1.5 se reúnen seis indicadores de confort con la característica descrita e identificados con el apellido de sus respectivos creadores.

A la izquierda del recuadro de la figura 1.1.5 se incluye una serie de apellidos de estudiosos del confort térmico y que han creado indicadores bioclimáticos para condiciones determinadas de orden global, por ejemplo, para climas húmedos y calurosos en general, u otra característica.

A diferencia de los anteriores, estos indicadores tienen formas gráficas o de tablas o procedimientos engorrosos. Los que se mencionan y citan con mayor frecuencia son los de Givoni, Olgyay, Mahoney y Evans.

• Givoni	$T_n = 2.56 + 0.83 \times T_i$	(Humphreys, 1975)
• Olgay	$T_n = 11.9 + 0.534 \times T_m$	(Humphreys, 1976)
• Mahoney	$T_n = 17.6 + 0.31 \times T_m$	(Auliciems, 1981)
• Evans	$T_n = 9.22 + 0.48 \cdot T_a + 0.14 \times T_m$	(Auliciems)
• Fanger	$T_n = 12.1 + 0.534 \times T_m$	(Griffiths, 1990)
• Mime	$T_n = 17.0 + 0.38 \times T_m$	(Nicol, 1996)
• Otros	<p>T_m: temperatura media exterior anual o mensual. T_i : temperatura media interior . T_n : temperatura neutra o de confort.</p>	

Figura 1.1.5. Indicadores bioclimáticos de uso frecuente. /17/

El diagrama o carta psicrométrica, es un diagrama en el que se relacionan múltiples parámetros referentes a una mezcla de aire húmedo: temperatura, humedad relativa, humedad absoluta, punto de rocío, entalpía específica o calor total, calor sensible, calor latente y volumen específico. Este diagrama es de uso obligatorio en el escenario del confort térmico puesto que representa al aire ambiente en cualquier condición referida por, al menos, dos de los parámetros que se acaba de indicar, por ejemplo y casi en todos los casos: temperatura y humedad relativa.

Así mismo, es un espacio gráfico sobre el cual se agrega información para convertirlo en un indicador bioclimático.

El gráfico de la figura 1.1.6 muestra el concepto de la carta psicrométrica y la ubicación relativa de los parámetros que la integran.

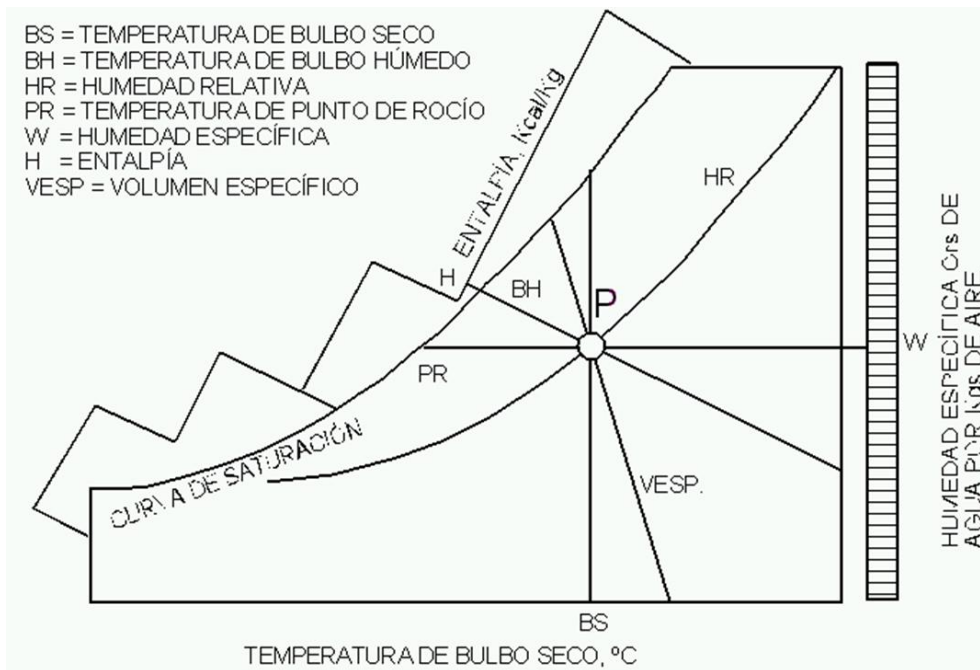


Figura 1.1.6. Esquema de una carta psicrométrica y parámetros involucrados con ella.

Fuente: espacio virtual no identificado.

A continuación se hace referencia somera a los cuatro indicadores de confort térmico de mayor relevancia.

1.1.4.1. Diagrama de Givoni³.

“Baruch Givoni es un arquitecto israelí. En la actualidad uno de los especialistas en Arquitectura bioclimática más reconocidos del mundo. Principalmente a partir de la publicación en 1969 por la prestigiosa editorial Elsevier del libro "Man, Climate and Architecture" (Hombre, clima y arquitectura).

Givoni es arquitecto, magister en Higiene y Ph.D en Salud Pública. Se desempeña como profesor e investigador del Building Research Station en el Technion del Israel Institute of Technology.

La figura 1.1.7 muestra el climograma de B. Givoni aplicado a los climas húmedos de la Argentina. Se indican desde un clima muy cálido a uno muy frío (Posadas, Misiones; La Plata, Buenos Aires y Río Grande, Tierra del Fuego. Del climograma se pueden extraer pautas diseño bioclimático para una arquitectura sustentable.

³ Tomado de Givoni, biografía en la Red Internet

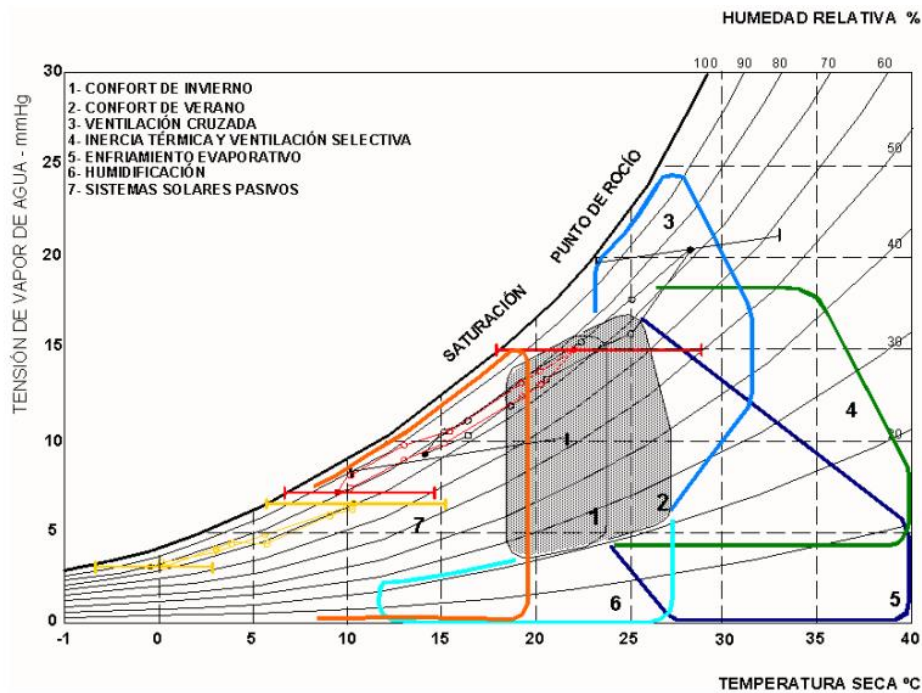


Figura 1.1.7. Carta bioclimática de Givoni en el que se aprecia el polígono de confort (espacio cerrado de color gris) adecuado para determinar las estrategias bioclimáticas aplicables a ambientes interiores. /16/

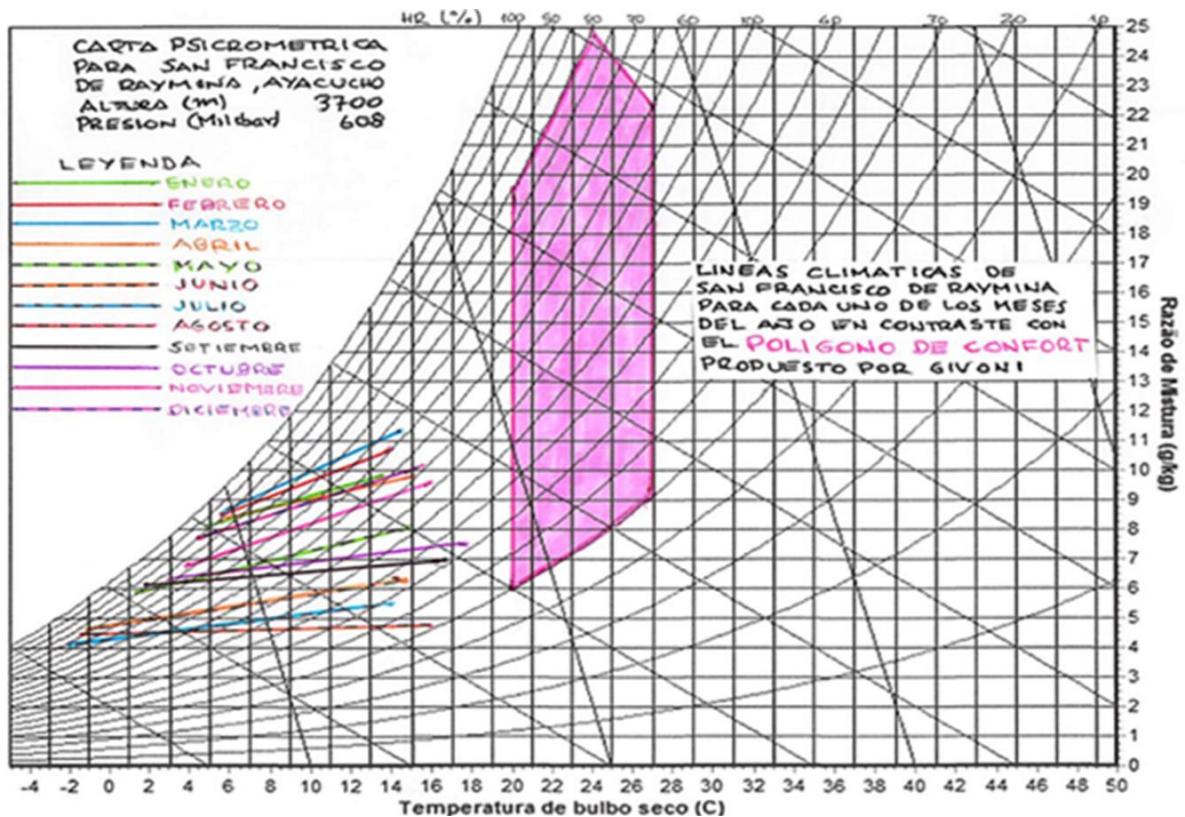


Figura 1.1.8. Ubicación de las líneas bioclimáticas de SFR para cada uno de los doce meses del año sobre la carta psicrométrica, en relación con el polígono de Givoni.

Aceptando el polígono de Givoni como condiciones de confort para SFR, se interpretaría que hace falta calor todo el año para alcanzar esas condiciones de confort.

Fuente: elaboración propia, MER-FC-UNI; 2012-2.

1.1.4.2. Diagrama de Olgay

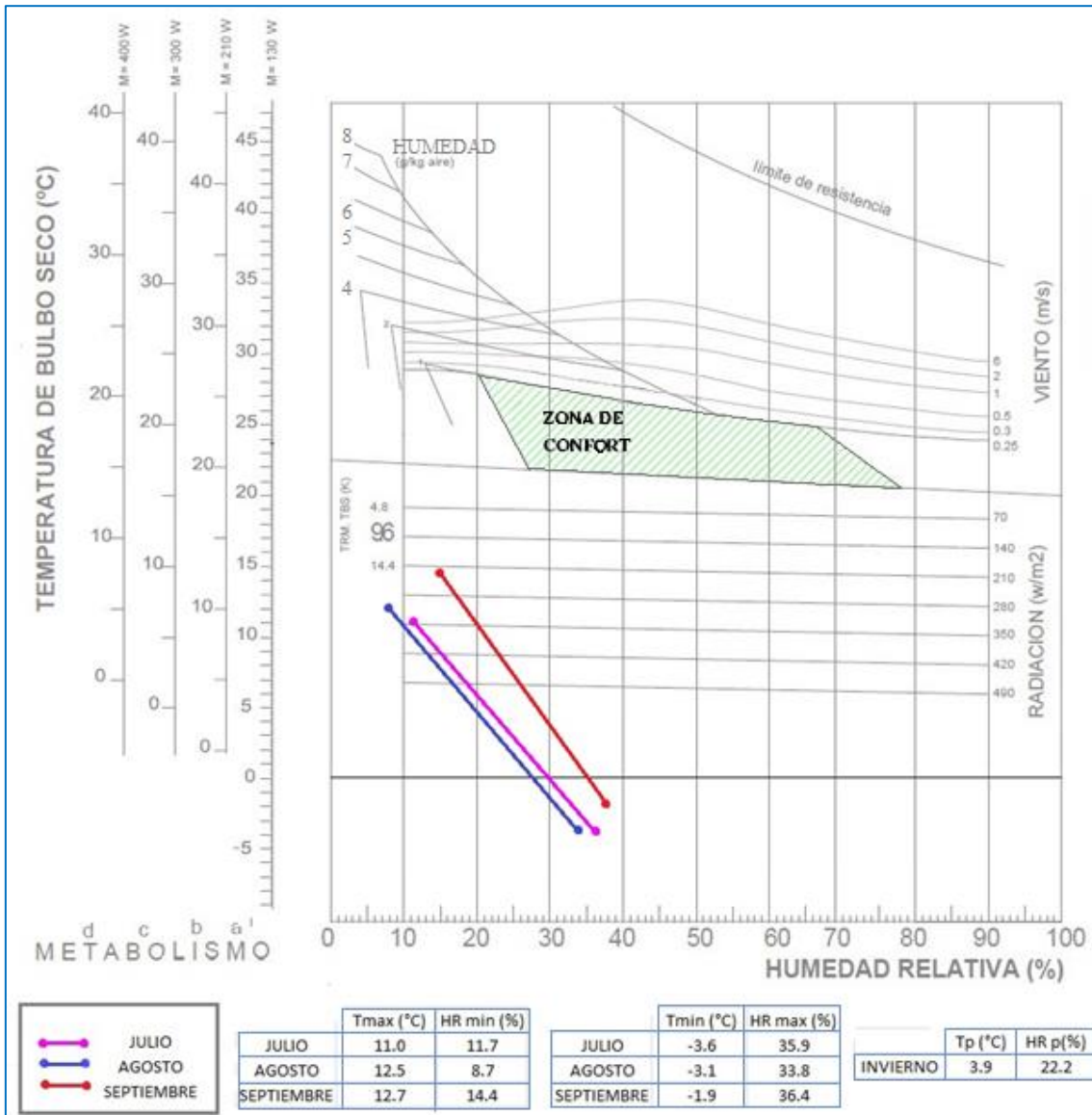


Figura 1.1.9. Diagrama bioclimático de Olgay concebido para determinar las estrategias bioclimáticas de ambientes exteriores. Se aprecia la zona de confort y tres líneas bioclimáticas para tres meses del año en Puno. Fuente: MER-FC-UNI; 2012-2

1.1.4.3. Triángulos de Evans

La técnica EVANS para el análisis del clima (de Puno) en la perspectiva de determinar las condiciones de confort es conocida como los TRIÁNGULOS DE EVANS.

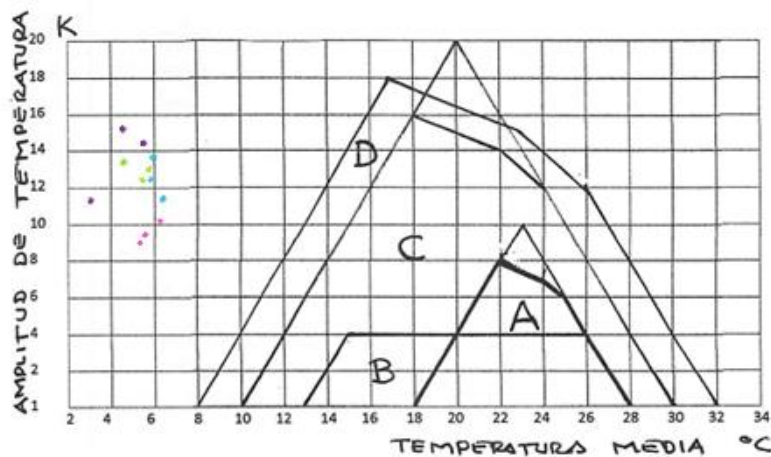
Alternativa de análisis que privilegia la oscilación térmica diaria como parámetro de mayor relevancia en el procedimiento para determinar condiciones de confort.

“Sin embargo hay que acotar que a diferencia de las condiciones típicas fluctuantes experimentadas en la vida diaria, gran parte de los estudios realizados para establecer escalas de confort ponen énfasis en condiciones estables y permanentes, como resultado de los siguientes factores:

Los estudios de confort térmico realizados en laboratorio con cámaras climáticas utilizan temperaturas constantes.

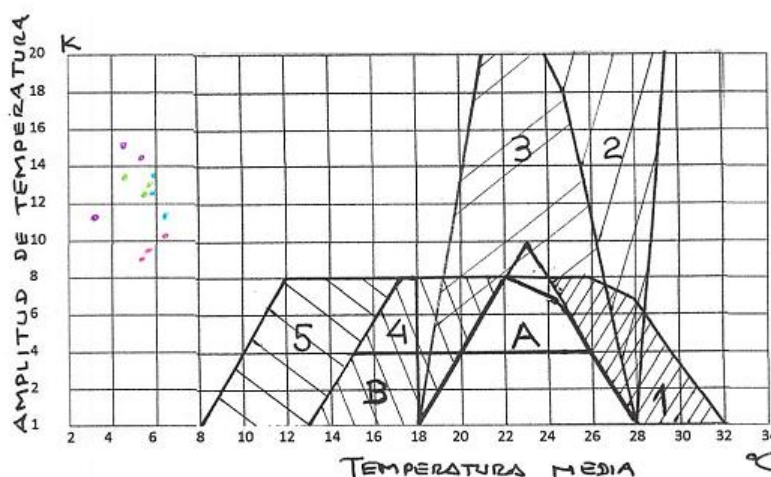
Las respuestas de encuestas de usuarios están normalmente referidas a condiciones en un momento establecido y específico.

Los sistemas de acondicionamiento artificial pretenden establecer condiciones ambientales ideales, fijas y constantes. Normas de confort (por ejemplo, ISO 7730, 1993) responden a este requerimiento.”



Referencias de zonas de confort:

- A = Actividad sedentaria
- B = Confort para dormir
- C = Circulación, interior
- D = Circulación, exterior



Estrategias Bioclimáticas

1. ventilación cruzada
2. Ventilación selectiva
3. Inercia térmica
4. Ganancias internas
5. Ganancias solares

Figura 1.1.10. Uso del triángulo de Evans para datos climáticos de Puno: cada punto de colores pegados a la escala vertical, representan a un mes del año. Fuente: elaboración propia, MER-FC-UNI; 2012-2

1.1.4.4. Tablas de Mahoney

A continuación se presentan las *Tablas de Mahoney* elaboradas por el autor con la data climática de Puno en el contexto del desarrollo de la MER-FC-UNI, en 2012-2. Es un método de diseño bioclimático elaborado por Carl Mahoney para el diseño del hábitat. Tienen la finalidad de comparar los datos climáticos con un límite de confort establecido para un lugar en específico y permiten evaluar las condiciones climáticas para tener referencia del tipo de recurso bioclimático a utilizar. En las tablas se realiza un estudio dividido en cuatro etapas:

1. Análisis de datos meteorológicos mensuales.
2. Comparación de los datos climatológicos contra valores de límites o zonas de confort.
3. Identificación de indicadores.
4. La definición de recomendaciones para el diseño arquitectónico.

Tabla 1.1.2. Temperatura del aire (°C).

Temperatura (°C)	Meses del año												Temperatura EXTREMA	TMA
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Máximas medias mensuales	10,0	11,3	11,6	12,4	11,4	11,4	11,0	12,5	12,7	12,4	13,4	13,4	13,4	4,9 (*)
Mínimas medias mensuales	0,7	-1,0	-1,0	-0,8	-1,0	-2,3	-3,6	-3,1	-1,9	-2,7	-1,0	-1,0	-3,6	17,0 (**)
Variaciones medias mensuales	9,7	10,3	10,6	13,2	13,0	13,7	14,6	15,6	14,6	15,1	14,4	13,4		OMA

TMA: Temperatura media anual; OMA: Oscilación media anual

(*) TMA=4,9°C

(**) OMA=17 °C. Resulta de la diferencia de la temperatura máxima extrema y la temperatura mínima extrema.

Tabla 1.1.3. Humedad Relativa del aire (°C) y dirección predominante del viento.

		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Humedad Relativa (HR) [%]	Máximas medias mensuales	77,7	77,1	80,8	64,4	49,1	42,9	35,9	33,8	36,4	58,1	51,1	81,5
	Mínimas medias mensuales	43	37,7	44,9	27,9	20,6	15,3	11,7	8,7	14,4	18,7	17,2	39,5
	Promedio	61,2	58	64,3	44,9	33,1	27,5	22,9	19,5	24,2	36,5	32,6	61,5
Grupo de HR		3	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	3
Pluviosidad [mm]		90	120	100	60	20	0	0	0	10	60	70	65
Viento (Dirección)	Dominante	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
	Secundario												
													Total de Pluviosidad [mm]

Tabla 1.1.4. Grupo de humedad relativa de Mahoney.

	Promedio de Humedad Relativa (%)			
	<30	30-50	50-70	>70
Grupo de humedad	1	2	3	4

Tabla 1.1.5. Límites de Confort de Mahoney.

GRUPO DE HUMEDAD	TEMPERATURA MEDIA ANUAL (TMA)					
	A		B		C	
	mayor a 20°C		entre 15°C y 20°C		menor a 15°C	
	día	noche	día	noche	día	noche
1	26-33	17-25	23-31	14-23	21-30	12-21
2	25-30	17-24	22-29	14-22	20-27	12-20
3	23-28	17-23	21-27	14-21	19-26	12-19
4	22-27	17-21	20-25	14-20	18-24	12-18

Tabla 1.1.6. Diagnósis del Rigor Térmico.

								TMA: 4.99					
Grupo de humedad		3	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	3
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temperaturas													
Máximas medias mensuales		10,1	11,3	11,6	12,4	11,4	11,4	11	12,5	12,7	12,4	13,4	13,4
Bienestar por el día (*)	Máximo	26	26	26	27	27	30	30	30	30	27	27	26
	Mínimo	19	19	19	20	20	21	21	21	21	20	20	19
Mínimas medias mensuales		0,79	1	1	-0,8	-1	-2,3	-3,6	-3,1	-1,9	-2,7	-1	0
Bienestar por la noche (**)	Máximo	19	19	19	20	20	21	21	21	21	20	20	19
	Mínimo	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Rigor térmico (***)	Día	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
	Noche	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F

(*) y (**) Valores a partir de la tabla 1.1.5. Límites de confort de Mahoney.

(***) Temperatura superior a los límites de confort = C (caluroso). Dentro de los límites de confort = ---- (bienestar). Temperatura inferior a los límites de confort = F (frío).

Tabla 1.1.7. Indicadores.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
HUMEDAD													
VENTILACIÓN INDISPENSABLE	H1												
VENTILACIÓN CONVENIENTE	H2												
PROTECCIÓN CONTRA LA LLUVIA	H3												
ARIDEZ													
ALMACENAMIENTO TÉRMICO	A1												
ESPACIO PARA DORMIR AL AIRE LIBRE	A2												
PROTECCIÓN CONTRA EL FRÍO	A3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	12

La tabla 1.1.7 indica que los 12 meses del año son fríos en Puno y, por lo tanto, hace falta agregar calor.

Como se ha podido apreciar, cualquiera sea el indicador bioclimático (IB) que se utilice en cada caso, el resultado es una “estrategia bioclimática”, es decir, solo nos indica la o las acciones necesarias a realizar para transformar un clima adverso en uno confortable.

Un IB nos dice QUÉ HACER, no nos dice COMO HACER. El COMO HACER es la técnica o componente bioclimática que se aplicará para que se cumpla la estrategia.

Por ejemplo, la estrategia resultante dice que debe calentarse 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, etc.

La figura 1.1.11 es una representación gráfica de las relaciones que se establecen y que determinan el confort térmico en un ambiente.

Es decir, 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 o aplicarán a la edificación con la finalidad de proveer comodidad térmica a sus ocupantes.

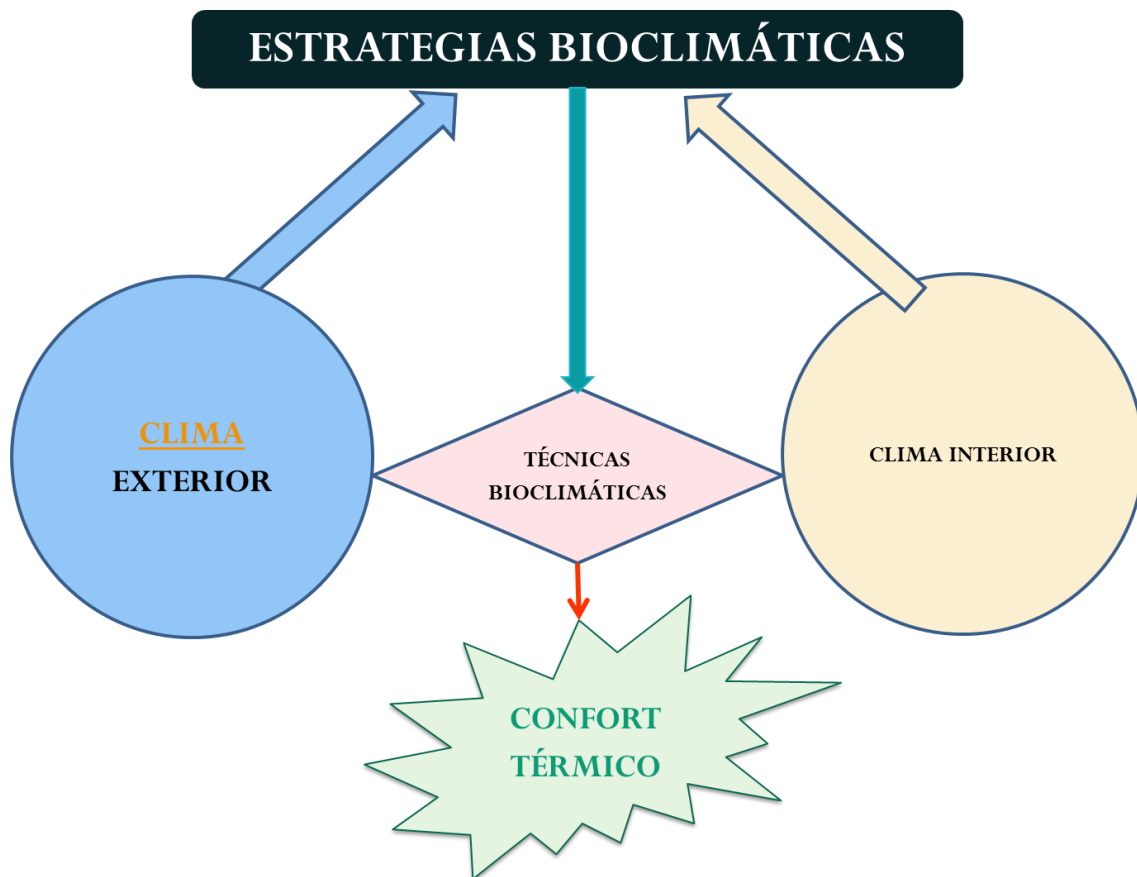


Figura 1.1.11. Representación gráfica del proceso de determinación de estrategias bioclimáticas y su relación con las técnicas bioclimáticas y el confort térmico.

Elaboración propia.

Finalmente se especifican las MEDIDAS influyentes en el confort y la edificación. /16/

1. Temperatura Media mensual: de cada uno de los doce meses. Primero determinar media diaria (cada hora). La media aritmética de las medias diarias de los días de un mes. (°C)
2. Temperatura Máxima media mensual: media aritmética de las máximas diarias correspondientes a todos los días de un mes. (°C)
3. Temperatura Mínima media mensual: media aritmética de las mínimas diarias correspondientes a todos los días de un mes. (°C)
4. Humedad absoluta: cantidad real de vapor de agua, en peso, contenida en la unidad de masa o volumen de aire. (g/Kg de aire seco)

5. Humedad relativa: Forma más habitual. Relación entre el contenido de vapor en un momento determinado y el máximo que podría contener si estuviese saturado. (%)
6. Tensión de vapor: Es la presión parcial ejercida por el vapor de agua contenido en el aire. Milímetros de mercurio (mmHg)
7. Punto de rocío: Indica la temperatura a la que se saturaría la cantidad de vapor existente actualmente en el aire. (°C)

1.2. Características climáticas de la región andina del Perú

Según el balance hídrico del Perú⁴, documento técnico elaborado por la UNESCO, la cordillera de los Andes es el gran fenómeno fisiográfico que ocupa la parte occidental de América del Sur, en la que impera un relieve accidentado, conformado por cordilleras y cadenas de montañas muy altas, numerosos nudos o macizos donde confluyen dos o más cadenas de montañas; mesetas muy altas, llamadas también altiplanos, ubicadas entre las cadenas montañosas: amplios, valles interandinos y numerosas quebradas por donde discurren algunos ríos que vierten sus aguas en el Océano Pacífico y Atlántico, en el río Amazonas o en el lago Titicaca, las que en el curso de millones de años van erosionando los relieves.

Es así que el Perú es un país con un territorio de características climáticas y ecológicas distintas en toda su extensión, con ocurrencia frecuente de desastres naturales: sismos, muchas veces severos, la periódica presencia de El Niño, lluvias torrenciales, aluviones, sequías. Tiene también diferentes culturas, así como graves problemas sociales y económicos. La tarea de construir en el Perú y las tecnologías apropiadas a utilizar están íntimamente ligadas a esa realidad.

La franja estrecha de la costa (va de 50 a 100 km de ancho y 2.560 km de longitud) representa el 11% de la superficie total del país. Es desértica en su mayor parte, tiene lluvias muy finas, salvo la costa norte que, por la presencia de El Niño, tiene épocas de lluvias intensas; además es donde los sismos son más frecuentes e intensos. En la costa está asentada la mayor parte de la población urbana del país y ahí se encuentra Lima, capital del Perú. Su temperatura fluctúa entre 15°C en invierno y 35°C en verano.

⁴ Documento Técnico "Balance hídrico del Perú a nivel multianual". Pag. 19, 26, 27 y 28, UNESCO

La sierra está formada por la Cordillera de los Andes, que va de sur-este a nor-oeste, a todo lo largo del país. Forma en su recorrido laderas y valles interandinos, donde los sismos son de menor intensidad y menos frecuentes. Cubre un 26% del territorio nacional. Sus altitudes están entre 1200 m a 6600 m sobre el nivel del mar, su ancho es de 120 km al norte y al sur llega a tener 300 km. Su clima es variable, con temperaturas que varían de -6°C a 16°C; sobre los 4500 m, la temperatura es glacial. La lluvia es intensa, sobre todo entre los meses de diciembre a abril (verano); sobre los 3000 m cae nieve y granizo.

La selva, que ocupa una significativa área del territorio (63%), tiene ríos caudalosos, lluvias intensas y frecuentes, especialmente los cuatro primeros meses del año, con una intensidad entre 2000 mm a 4000 mm por año, en las zonas altas llega hasta 7000 mm. La temperatura va de 16°C a 35°C, tiene un recurso maderero importante, aún hasta ahora no muy explotado para la construcción. El clima es caluroso y la humedad es alta.

Haciendo un recorrido transversal desde el litoral en el océano pacífico, pasamos por la costa, seguimos por la sierra y llegamos a la selva, entonces habremos recorrido ocho regiones naturales reconocidas en el Perú entre las que se cuentan las regiones Suni y Puna de particular interés en el contexto bioclimático por ser las regiones con amplios territorios ubicados en altitudes con temperaturas extremadamente bajas en el invierno en los que habitan un total de 6 millones 511 mil 847 personas (según INDECI, 2008), en la zona sur, centro y oriente del país; específicamente en los departamentos de 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 estas personas pueblan el sector rural nacional* que sufre los peores efectos del frío causando la muerte de niños y ancianos [15]. Algunas otras características de las regiones Suni y Puna son descritas seguidamente.

Regiones Suni y Puna

La región Suni o Jalca está entre los 3 500 y 4 000 msnm, es la región más accidentada del Perú, de escasos valles y más bien de terrenos escarpados y fuertes pendientes, es decir, de orografía compleja con suelos predominantemente pedregosos y ríos de aguas rápidas y torrentosas. En estas alturas se encuentra gramíneas y arbustos diversos. La fauna está muy influenciada por la puna, se encuentra en ella a la taruca, el cóndor, el

zorriño y el guanaco. Los peces están casi ausentes por el ambiente adverso de las aguas torrentosas, y solo algunas especies han logrado adaptarse a estas condiciones.

La región Puna se eleva desde los 4 000 hasta los 4 800 msnm, es una gran llanura extremadamente fría y con poca vegetación que se ubica antes de las nieves perpetuas. Los veranos son lluviosos y nubosos y los inviernos secos y con continuas heladas. Aquí se encuentran bosques de keñua, el ichu, la tola, rodales de ccara y formaciones de plantas almohadilladas, como la yareta utilizada como combustible para cocinar. Los camélidos sudamericanos son representativos de estas altitudes y fuente de desarrollo para la región. (Brack, A. y Mendiola, C., 2000)



Figura 1.2.1. Gráfica del Relieve Peruano con las 8 Regiones naturales según Javier Pulgar Vidal⁵

En el Perú, la influencia de la Cordillera de los Andes, la Corriente de Humboldt y el anticiclón del Pacífico Sur, principalmente, determinan las características climáticas de sus distintas regiones geográficas y sus climas han sido identificados y clasificados de acuerdo con la **Clasificación climática de Köppen**, también llamada de Köppen-Geiger fue creada en 1900 por el científico ruso de origen alemán Wladimir Peter Köppen y posteriormente modificada en 1918 y 1936. Más detalles se incluyen en el APÉNDICE I.

⁵ Geografía del Perú, las ochos regiones naturales Lamina 2, Javier Pulga Vidal

1.3. Estado del arte del confort térmico andino en el Perú

El *estado del arte* del confort térmico andino en el Perú, puede ser interpretado desde una óptica global de la temática referida al mejoramiento de ambientes habitables buscando que ellos resulten confortables para sus ocupantes, que viene tomando forma y fondo consistentes a través de acciones concretas como proyectos y estudios ejecutados por el CER-UNI, el GRUPO de Apoyo al Sector Rural de la PUCP, la ONG CARE, programas de desarrollo estructurados y proyectados por el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento como el Programa de Apoyo al Hábitat Rural (PAHR), la elaboración y aprobación de la Norma Técnica EM110 CONFORT TÉRMICO Y LUMÍNICO promovida por la Dirección Nacional de Construcción del MINVIV, programas de estudio como el DIPLOMADO en Arquitectura Bioclimática de la Universidad Peruana Ricardo Palma, UPRP, y el de Maestría en EFICIENCIA ENERGÉTICA CON ENERGÍAS RENOVABLES de la Facultad de Ciencias de la UNI que cuenta con una línea de investigación en Confort Térmico Andino, preocupación del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo, CONCYTEC, a través de una convocatoria nacional hecha en setiembre pasado para la ejecución de diez proyectos de transferencia tecnológica de TECNOLOGÍAS PARA ENFRENTAR EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS EN LAS ZONAS ALTO ANDINAS, actividades privadas y públicas en el contexto y concepto de *ciudades saludables* y sostenibles y actividades de la empresa privada en torno al concepto de certificación de edificaciones, y seguramente varias otras acciones que no se alcanza a divisar.

No obstante esta interesante dinámica de desarrollo, creemos carecer aún de referentes, programas o planes envolventes, con alguna dirección predeterminada u orientada en función de problemáticas específicas que promuevan acciones concretas cuyos resultados contribuyan con su solución.

1.3.1. Panorama de la experiencia peruana en confort térmico⁶

El tema del confort térmico en el contexto bioclimático actual, no ha sido una preocupación que haya marcado una ruta de acción en el Perú en los últimos 10 ó 20

⁶ Texto tomado de “Edificaciones Bioclimáticas en el Perú”; Raquel Barrionuevo y Rafael Espinoza; UNI 2006.

años. Tal vez sea porque tanto la ciudad capital, Lima, como otras que le siguen en importancia, no sufren de climas muy extremos.

En cambio, el Perú tiene otras ciudades que, con el correr de los años y el progreso relativo de sus sociedades, han cobrado mayor importancia o sus poblaciones andinas son más visibles o los cambios en el clima mundial generan consecuencias muy severas, que revelan realidades climáticas extremas que merecen un tratamiento técnico apropiado.

Encontramos un primer tratado (Beltrán, 1987) que enfoca la problemática generada por el clima adverso de nuestra región altiplánica y elabora una propuesta de arquitectura bioclimática destinada a mejorar las condiciones de habitabilidad para las poblaciones andinas de esa región.

En años más recientes, (Zea, 2000) y (Horn, 2005) se han ocupado de este tema confirmando que la penetración de esta tecnología en el contexto arquitectónico y constructivo nacional no va más allá de casos puntuales, importantes y destacables, pero aislados.

Tampoco se encuentra alguna actividad académica insertada orgánicamente en las universidades del país que cuentan con facultades de arquitectura, más bien se repite la imagen anterior, esto es, existen loables esfuerzos aislados.

En este escenario surge la RED CYTED⁷ Uso De Energías Renovables y Diseño Bioclimático en Viviendas y Edificios de Interés Social, coordinada por Helder Gonçalves del antiguo INETI de Portugal, a la que se adscribe el Perú bajo la representación de Raquel Barrionuevo y Rafael Espinoza de la FAUA-UNI y el CER-UNI respectivamente, cuya actuación durante la vigencia de dicha Red, 2005-2008, capitalizó experiencias anteriores y generó información (/18/, /19/, /20/) que permitió en el Perú una línea de acción orgánica y sostenida que impulse el desarrollo de la arquitectura bioclimática.

“Nunca antes como ahora, se hace sentir la urgencia de alcanzar niveles superiores en el hábitat de nuestras crecientes poblaciones, especialmente de aquellas que viven en extrema pobreza o que residen en zonas muy alejadas. Se requiere de inversiones muy

⁷ Programa Iberoamericano Ciencia y tecnología para el Desarrollo fomentado y administrado por España

altas para dotarles por lo menos de servicios básicos, utilizando las tecnologías convencionales”. (Horn, 2005)

1.3.2. Muestras de técnicas bioclimáticas ancestrales

Arquitectura antigua

La variedad de climas hace indispensable el diseño bioclimático. Ha sido interesante constatar que, a lo largo de toda la costa peruana, al igual que las antiguas casonas virreinales que tuvieron en cuenta las condiciones de climatización, los pobladores han copiado los elementos (aleros, teatinas y otros similares) que les asegure confort, protegiéndose del soleamiento, la lluvia, los vientos y buscando la ventilación e iluminación naturales.

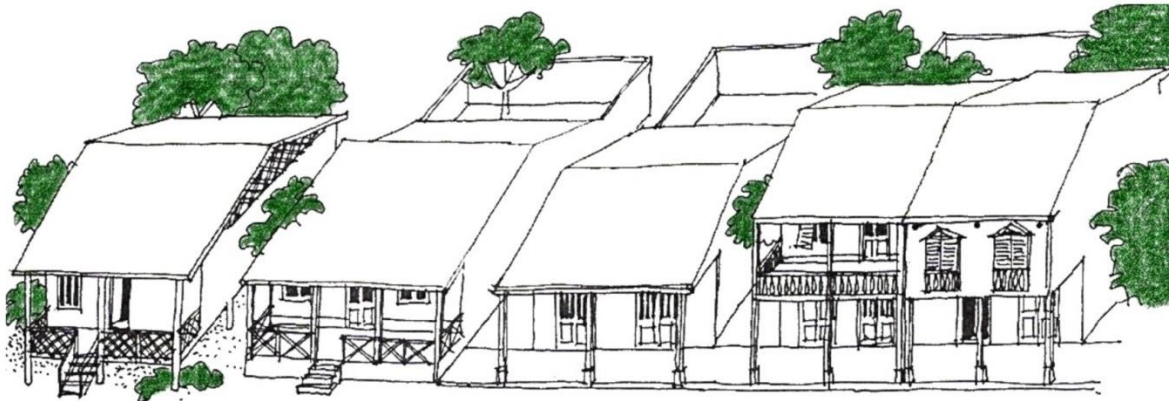


Figura 1.3.1. Cuatro tipos de casas en el departamento de Tumbes, costa norte peruana limítrofe con el Ecuador. En orden de izquierda a derecha aparece la casa campesina seguida por las de playa, luego una casa con portales y, finalmente, otra con variante cerrada y abierta en segundo piso. Las paredes gruesas y el techo a dos aguas de bambú, revestidos con barro, los espacios abiertos en el frente y la vegetación trabajan como amortiguadores térmicos en esta zona calurosa.

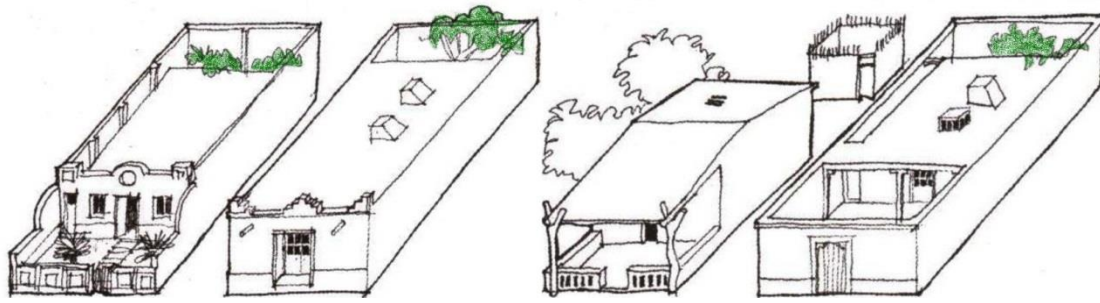


Figura 1.3.2. Casas costeras que poseen elementos arquitectónicos en sus frentes y techos, para iluminación y ventilación. Las imágenes representan, de izquierda a derecha, una casa chalet, una cerrada, una rural y una casa patio.

La figura 1.3.2 corresponde a cuatro casas del departamento de Lambayeque aproximadamente 300 km al sur de Tumbes.

También se encuentra elementos o aplicaciones arquitectónicas tendientes a contrarrestar condiciones climáticas adversas en la región de la sierra del Perú, en lugares en donde la temperatura del ambiente desciende por debajo de la de congelamiento en la estación invernal.

En dichos lugares es característico el uso del adobe para las edificaciones formando muros gruesos y falsos techos interiores que evitan el enfriamiento nocturno excesivo a través de los techos a dos aguas contruidos con planchas metálicas ondeadas conocidas como calaminas.

Además de estas “evidencias bioclimáticas”, en muchas viviendas rurales del Perú, particularmente en el altiplano (4000 msnm) se han instalado sistemas fotovoltaicos domiciliarios (SFD) con el fin de dotar a sus habitantes de electricidad para iluminación, comunicación y distracción, contribuyendo de esa manera con el mejoramiento integral de sus condiciones de vida.



Figura 1.3.3. Fotografías que reproducen detalles de casas rurales de la isla Taquile del lago Titicaca del departamento de Puno (3800msnm). La de la izquierda permite apreciar el grosor de los muros de adobe con que se construyen y ventanas pequeñas; la de la derecha muestra el interior de la casa, el dormitorio, y deja apreciar el falso techo. Muros gruesos, ventanas pequeñas y falso techo, proveen a la vivienda de mejores condiciones de confort respecto a la temperatura. Puede apreciarse también, el módulo fotovoltaico (izquierda) y la lámpara interior (derecha), partes componentes del SFD instalado.

1.3.3. Edificaciones con características bioclimáticas

Arquitectura reciente

En la búsqueda de edificaciones con características bioclimáticas hechas en el Perú, limitada por razones de tiempo, distancia y aparente ausencia de publicaciones que las hayan difundido en algún momento, hemos localizado algunas que contienen elementos, formas y materiales que sugieren ser resultado de un proyecto arquitectónico de tipo bioclimático. Esta impresión no ha podido ser documentada apropiadamente de manera que nos permita descripciones técnicas más precisas que corroboren la intención del proyectista. No obstante, incluimos referencias gráficas de ellas porque representan y

demuestran cierta continuidad cronológica de la actividad arquitectónica bioclimática en el Perú.

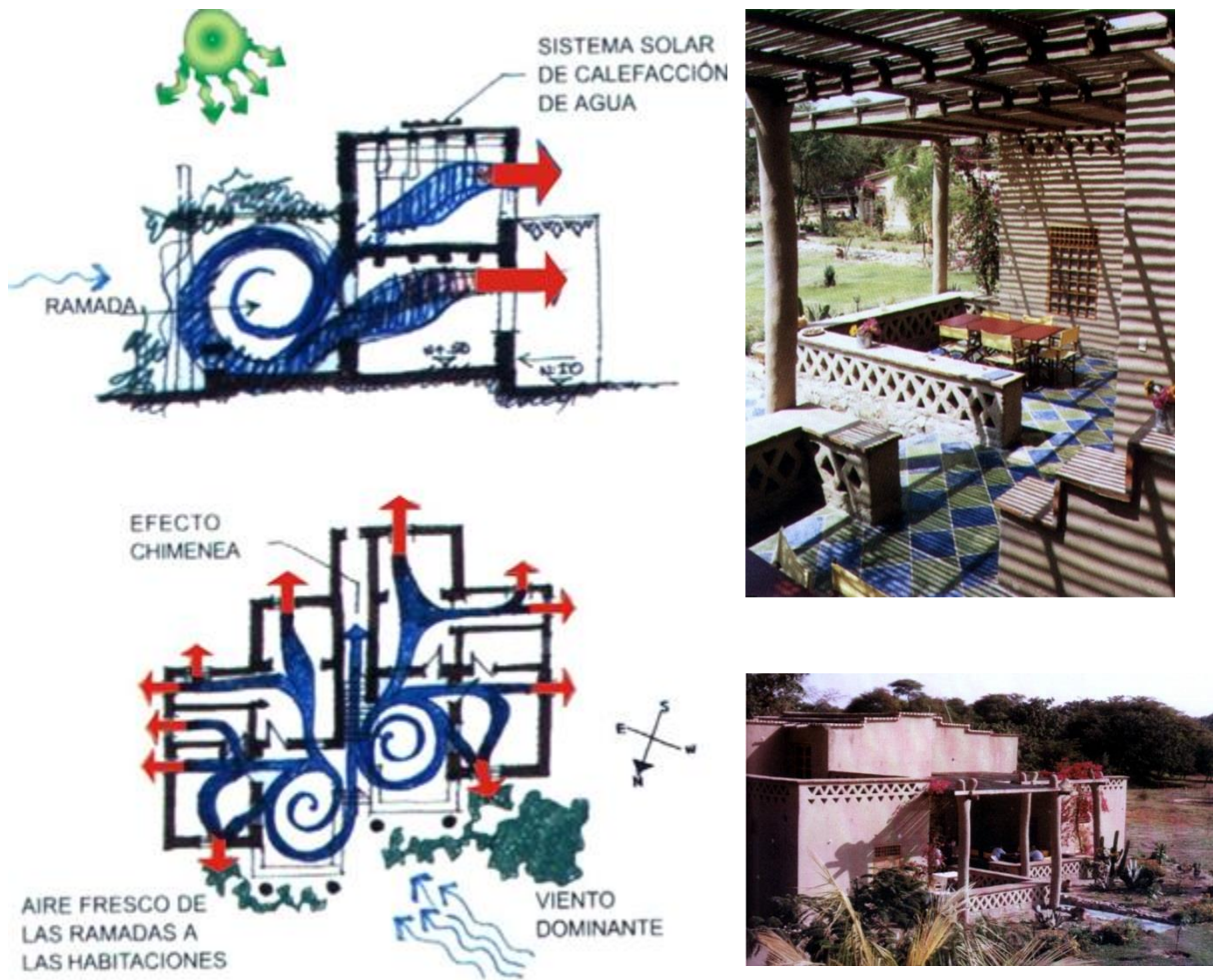


Figura 1.3.4. Hotel “Los Horcones” ubicado en el departamento de Lambayeque, en la costa norte del Perú. Los esquemas de la izquierda detallan algunas características de las técnicas previstas para mejorar el confort térmico de la edificación por efecto del recorrido natural del viento. Las fotografías de la derecha muestran, (arriba) la antesala parcialmente soleada por efecto de la estructura de cubierta prevista para ese efecto. La vista inferior corresponde al frontis del hotel y acceso a la antesala.

Arquitectura moderna

Otras dos edificaciones identificadas son la biblioteca y auditorio de la Universidad Nacional de Puno y el Hotel Atahualpa del Cusco. En el primer caso (Horn, 2005), se perciben características arquitectónicas bioclimáticas en todo el volumen de la edificación, mientras que en el otro, se trata de un acondicionamiento de un ambiente

interior generando efecto invernadero con una cubierta de policarbonato que encierra el espacio abierto de un patio. En ambos casos, se comprueba el efecto térmico favorable que mantiene la temperatura interior en niveles de confort mientras la exterior es típicamente fría para el medio.

Facultad de Derecho

El Campus de la Universidad Privada Antenor Orrego se ubica en la Urb. Monserrate de la ciudad de Trujillo, aproximadamente 800 km al norte de Lima. Allí se construyó en 1996 el edificio que alberga locales administrativos y académicos de la Facultad de Derecho, techando 4 052 m² distribuidos en cuatro (4) niveles.

El edificio ha sido diseñado y construido con características bioclimáticas, el equipo de arquitectos proyectistas fue Alberto Barba, Armando Li, Guillermo Malca y Manuel Namoc quienes desarrollaron una conceptualización arquitectónica con el fin de dotar a cada ambiente, conjunto de ambientes, como salas de lectura por ejemplo y al volumen habitable en su conjunto, de un definido confort termo-lumínico. Algunas de sus características más importantes son las siguientes.

Templo María Auxiliadora

En esta misma ciudad, el Arq. Guillermo Malca Orbegozo, desarrolló un proyecto arquitectónico con el fin de configurar un ambiente apropiado para celebrar oficios religiosos, conjugando los requisitos inherentes a esta función con las características derivadas de la concepción bioclimática.

El área techada fue 425 m² dentro de un área libre (parque) de 4 000 m², la obra quedó concluida en 1998 y la conceptualización arquitectónica permitió lograr confort térmico-acústico-lumínico.

Albergue rural Suasi

En 1998 se construyó un albergue en la isla Suasi en el Lago Titicaca, dotado con equipamiento con tecnología solar; el primer hospedaje verdaderamente ecológico del Perú: no solamente se consideró y respetó las características del medio ambiente para el diseño y su construcción, sino prácticamente toda la demanda energética del albergue fue suministrada por energía solar. La electricidad requerida para iluminación, TV, computación, refrigeración y otros, está cubierta por paneles fotovoltaicos. Para tener

disponible agua caliente se han instalado termas solares y para la cocción de los alimentos se usa mayormente tres cocinas solares tipo concentradores parabólicos. El Perú es uno de los países de mayor potencial solar en nuestro continente, ventaja competitiva que se está aprovechando para impulsar el ecoturismo (Horn y Giraldo, 2000).



Figura 1.3.12. Fotografía frontal del albergue rural Suasi, se aprecia la ubicación de ventanas y parasoles que atenúan el calentamiento excesivo por la excelente radiación solar de la zona. También se aprecia el uso de materiales autóctonos que contribuyen con el equilibrio naturaleza-artifialeza en pro del confort ambiental integral.

El Centro Virtual de Salud de Qotowincho

Qotowincho es un pequeño centro poblado, ubicado en la única zona inhóspita del hermoso valle de Urubamba en Cusco, Perú. Allí se asentaron 500 familias de muy escasos recursos, buscando un lugar donde vivir.

Allí se desarrolló un proyecto que incluyó la construcción de un Centro de Salud Virtual, cultivos hidropónicos, uso de tecnología solar para cocinar, hornear y calentar el agua, tele-educación y tele-medicina; así como la comunicación, que es un tema que involucra a cuatro comunidades alto andinas que podrán acceder a la atención del servicio de salud, a pesar de las distancias a las que se encuentran.



Figura 1.3.6. La vista muestra la estructura de dos plantas del Centro, aún sin acabar, prevista para lograr ventilación interior así como protección de soleamiento excesivo. El uso de materiales (madera, adobe) del lugar es otra característica importante de esta edificación.

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 Universidad Nacional de Ingeniería, FAUA-UNI asumió la construcción de los primeros 1000 m² del local para el Centro, transfiriendo las tecnologías a un grupo de la comunidad previamente seleccionado (Barrionuevo y Espinoza, 2005).

Las tecnologías utilizadas se seleccionaron teniendo en cuenta la existencia de canteras de tierra y que la comunidad de Qotowincho tradicionalmente construye en adobe; que la caña brava y la madera estructural existen en el lugar, especialmente el eucalipto y, el águano, traído de la selva. El primer nivel se construyó con la tecnología del adobe mejorado y el segundo, con la de la quincha prefabricada; el entrepiso, las columnas y la estructura del techo (vigas y viguetas) se construyeron de madera, terminándose éste con caña brava chancada, torta de barro y teja cerámica.

Se dio especial cuidado al diseño bioclimático de la edificación, en especial por su condición del servicio de salud que prestará a la comunidad. Su adecuada orientación, los recursos naturales empleados en su construcción (la tierra, la madera, la caña, el cactus, etc.); los aleros, los corredores, la adecuada ubicación de ventanas garantizan el confort. (Fin del texto tomado de: “Edificaciones Bioclimáticas del Perú”)

1.3.4. Viviendas construidas con características bioclimáticas

Casa solar ubicada en la provincia de Espinar–Cusco

Vivienda solar activa adecuada para el medio rural de la sierra peruana construida por la misión Betlemme Immensee (ONG suiza) y Taller Inti en el 2006, en la provincia de Espinar, región Cusco, 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 es de calamina metálica a una sola agua orientado hacia el norte, además tiene un falso techo para procurar el aislamiento térmico. Adicionalmente se 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.

Trabajo del grupo de apoyo al sector rural de la PUCP en el distrito de Langui, provincia de Canas – Cusco

En el año 2008 el Grupo de Apoyo al Sector Rural de la Universidad Católica del Perú realizó en la comunidad de Langui, ubicada en el distrito del mismo nombre, y en otras comunidades cercanas, una serie de modificaciones constructivas a las viviendas de las comunidades; esto con la finalidad de lograr ambientes más cálidos en el interior de las casas. Dichas modificaciones consistieron principalmente en tres acciones: aislamiento del techo (colocándose un cielo raso de tela), sellado de marcos de puertas y ventanas y renovación de estos, instalación de muros Trombe en las paredes orientadas al norte. Adicionalmente se instaló cocinas mejoradas para evitar problemas de salud generados por los humos emitidos por las cocinas típicas (de tres piedras) [16].

Casa solar en el distrito de Santo Tomás, provincia de Chumbivilcas – Cusco

Recientemente, en el año 2009, se construyó una casa solar en el distrito de Santo Tomás ubicado 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 de las 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.

Proyecto de investigación aplicada Propuesta Técnica de Confort Térmico para Viviendas de Comunidades Ubicadas entre 3 000 y 5 000 msnm.

Desde marzo de 2008 hasta marzo de 2010 el CER-UNI reformó dos viviendas rurales y construyó otras dos en las comunidades de San Francisco de Raymina (3 700 msnm) de Vilcashuaman-Ayacucho y Vilcallamas Arriba (4 500 msnm) de Chucuito-Puno; las cuatro viviendas de este proyecto adquirieron características bioclimáticas, las reformadas parcialmente y las construidas totalmente utilizando mayoritariamente 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 grados Celsius.

Experiencia de CARE PERÚ en Huncavelica: Evaluación térmica teórica y experimental de las viviendas propuestas por la organización, ya construidas, y viviendas originales de la zona de Castrovirreyna, Huancavelica

Realizar 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.

Proyecto UNASAM

Implementación de un Centro Piloto Demostrativo Basado en el uso de Energía Renovable para Promover el Turismo Ecológico Vivencial en la Localidad de Quishuar, Distrito de Lucma Provincia Mcal. Luzuriaga- Ancash. Proyecto de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo de Huaraz planteado para Investigar la factibilidad de aplicación de tecnologías de aprovechamiento de energías renovables, en un albergue turístico vivencial. Se inició en el año 2011 y por problemas institucionales no ha avanzado como se programó inicialmente.

Estudio Piloto de Acondicionamiento térmico para edificaciones rurales alto andinas, promovido por el MVCS/VMCS/DNC

Entre marzo y noviembre de 2012 la Dirección Nacional de Construcción del Vice Ministerio de Construcción y saneamiento del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, desarrolló un estudio de acondicionamiento térmico de viviendas en las comunidades de San Felipe (4 400msnm) y Santa Rosa de Tambo (3 300msnm) del distrito de Huaytará de la región Huancavelica mediante el cual se modificaron dos viviendas y se construyó una nueva con características bioclimáticas en cada comunidad, monitoreando su comportamiento en contraste con una vivienda patrón.

1.4. Prospectiva del confort térmico en el Perú

La competencia global del Perú en materia del confort térmico, representada por el conjunto de experiencias desarrolladas en los últimos 30 años cuya gran mayoría ha sido descrita someramente en el acápite precedente de esta tesis, es altamente consistente y demuestra que nuestro medio no solamente es propicio para desarrollar propuestas bioclimáticas, sino también, se constituye como una base suficiente como para impulsar aquel desarrollo en forma orgánica. Tenemos antecedentes importantes que revelan, más que experiencias, sensibilidad al impacto del clima y respuestas prácticas para mitigar ese impacto por parte de los pobladores que lo sufren (Barrionuevo y Espinoza, 2005)

Los recursos humanos con los que cuenta el Perú actualmente, están preparados para afrontar esta tarea comprometidos con la temática e involucrados en su desarrollo. En este sentido, podemos hablar de la existencia de una cierta masa crítica de profesionales

con sensibilidad y preparación adecuada pero aún desorientados y sin derrotero que articule y potencialice sus capacidades alrededor de propuestas o programas orgánicos. De otro lado, hay dinamismo en diferentes entidades del gobierno, la academia, la empresa privada, además de organizaciones no gubernamentales, como son:

- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
- Ministerio del Ambiente
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC)
- Universidad Nacional de Ingeniería
- Universidad Católica del Perú
- Universidad Peruana Ricardo Palma

Es, sin duda, un conjunto importante de entidades competentes de las que se espera continuidad en sus actividades en el campo del confort térmico y, sobre todo, sinergias de desarrollo armónico en función de las necesidades más urgentes de numerosas poblaciones del Perú expuestas a climas extremos y con poca o ninguna capacidad de protección propia. Así mismo, es importante enfocar también la situación de algunas ciudades del Perú sometidas a climas adversos.

En todo caso, el paradigma de referencia sería la administración eficiente de la energía aplicada desde el origen de una edificación, cualquiera sea su ubicación, alcance y uso futuro, es decir, desarrollar diseños arquitectónicos que consideren el empleo de formas, materiales y componentes que cumplan con requerimientos técnicos individuales y de conjunto surgidos de la aplicación estricta de principios de eficiencia energética a la edificación de modo tal que todos sus espacios resulten saludables para sus futuros ocupantes.

Más, esta aspiración obliga también al estamento académico nacional a elevar su producción científica y técnica en el amplio escenario de la arquitectura bioclimática, para lo cual hará falta reflexionar sobre el alcance actual de los planes de estudio de las carreras profesionales de arquitectura en las universidades del país, muchas de las cuales tiene escaso o nulo contenido de materias afines a la problemática del confort térmico.

De modo similar hace falta reforzar planes de estudio de carreras de ingeniería cuya temática es sustento técnico para el diseño, construcción y aplicación de variadas

estrategias bioclimáticas, muchas de las cuales requerirían de modelarse previamente y someterlas a ensayos de laboratorio o configurarlas sobre la base de la simulación matemática aplicando programas computacionales como el Design Builder y Energy Plus, entre los más conocidos.

Es también imperioso introducir en los planes de estudio de las carreras profesionales de ingeniería y arquitectura la enseñanza de las fuentes de energía renovable y sus tecnologías, con preferencia de la energía solar, recurso abundante en el Perú e indispensable de utilizarse en arquitectura bioclimática, muy particularmente en toda la región andina del Perú.

Otro tema de importancia singular es el climático en lo que se refiere a la capacidad nacional de mediciones de los parámetros climáticos requeridos para desarrollar estudios climáticos de todas las localidades del Perú, muy particularmente de aquellas ubicadas en regiones con climas de temperatura extrema, ya sea baja o elevada. Desafortunadamente, la base de datos climáticos de temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, precipitación pluvial y radiación solar es sumamente escasa, obviamente este es un impedimento para desarrollar aquellos estudios climáticos.

En lo referido a la producción científica y técnica mencionada arriba, es urgente e indispensable generar temperaturas de confort térmico para las diversas regiones geográficas del Perú sobre la base de la aplicación de procedimientos experimentales que involucran la opinión de las personas y que permiten estructurar indicadores bioclimáticos sobre cuya base se desarrollan los estudios bioclimáticos que determinan las estrategias y técnicas o componentes bioclimáticos aplicables al caso en estudio.

Otro factor importante es el formal y normativo, por ahora el Perú cuenta con la primera Norma Técnica en este campo: ***EM110 Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética*** y se trabaja en otros frentes como el de viviendas saludables y sostenibles, conceptos que envuelven al de administración eficiente de la energía en la medida en que es inimaginable un estado personal saludable exento de confort térmico. Más, para que este supuesto sistema pueda ser aplicado indistintamente en cualquier lugar del Perú, haría falta conocer la temperatura de confort térmico para ese lugar y las características que de esta se derivan.

Consecuentemente y de manera prioritaria hace falta un enfrentamiento orgánico y sistémico de estas problemáticas con aquella masa crítica de profesionales comprometidos aludida al inicio de este acápite y lograr de él un programa de desarrollo bioclimático nacional racionalmente factible y viable. Hay que decir también que hay otros factores, además de los técnicos mencionados, que pueden ir en sentido contrario al del ansiado confort térmico. Entre ellos podemos mencionar el cambio producido a lo largo de algunas décadas en el modo de vida de las poblaciones rurales, por efecto del progreso mal asimilado: uso de planchas metálicas como techo (“calaminas”), prendas de vestir modernas en lugar de las autóctonas hechas con lana animal y merma en la calidad alimenticia por la abundancia de alimentos procesados que han reemplazado a los propios. Fenómeno que sugiere la aplicación de políticas de vivienda y alimentarias cuya aplicación tienda a recuperar modos de vida ancestrales que fortalecerían la resistencia humana a condiciones adversas de climas.

CAPÍTULO II. CONFORT TÉRMICO EN SAN FRANCISCO DE RAYMINA

2.1. Descripción del pueblo San Francisco de Raymina.

El Centro de Energías Renovables y uso Racional de la Energía (CER-UNI) ha desarrollado en la comunidad de San Francisco de Raymina tres proyectos de desarrollo rural cuyos resultados han sentado bases sólidas para emprendimientos de mayor envergadura.

Se inició con el proyecto “Energización Sustentable en Comunidades Rurales Aisladas con Fines Productivos”, (2004-2007) con financiamiento de la OEA.

El segundo proyecto que se realizó fue con financiamiento del FINCyT. “Propuesta Técnica de Confort Térmico para localidades ubicadas entre 3000 y 5000 msnm”, (2008-2010). Y el último proyecto fue “Implementación de las Bases Tecnológicas para un sistema Multiproductivo y Educativo en la Comunidad de San Francisco de Raymina de Ayacucho”, (2010 y 2011) con financiamiento del BID.

Es decir y por efecto resultante de estas tres intervenciones sucesivas, San Francisco de Raymina ha devenido en una comunidad a punto de convertirse en un ecosistema autogestionario de su propio destino sobre la base de una gran sinergia de recursos, capacidades y potencialidades propias con tecnologías y procedimientos en fase final de apropiamiento en el contexto representado por la figura 2.1.1.

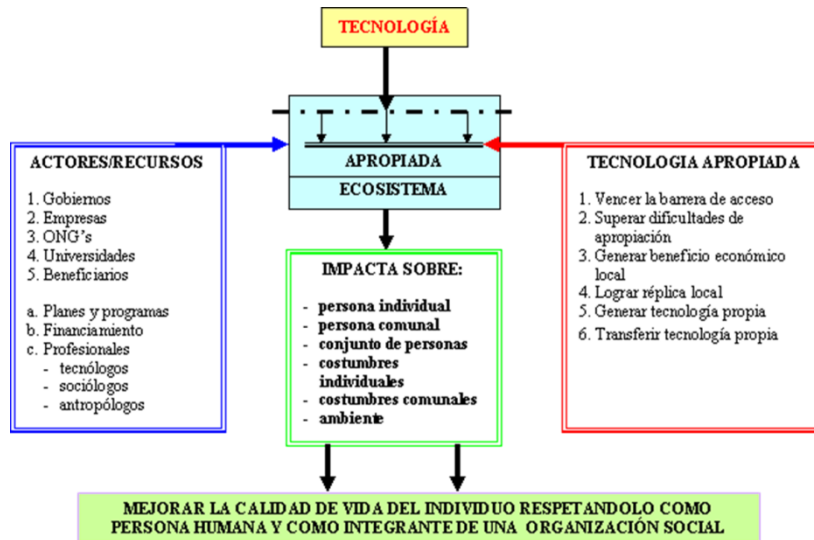


Figura 2.1.1. Esquema de transferencia tecnológica.

La ubicación relativa de esta comunidad puede ser observada en la figura 2.1.2. Se llega a San Francisco de Raymina, desde Lima por vía terrestre o aérea con paso obligado por San Cristóbal de Huamanga (capital de Ayacucho), el viaje por tierra dura 10 horas y por avión 1 hora. Desde Huamanga se va a Vilcashuamán por vía carrozable en viaje de 3 a 4 horas dependiendo del tipo de movilidad (automóvil o combi). Desde Vilcashuamán se puede abordar camionetas vagón de servicio público (no regulares) o automóviles y llegar en 30 ó 40 minutos a la comunidad.



Figura 2.1.2. Ubicación geográfica de la comunidad SAN FRANCISCO DE RAYMINA.

2.1.1. Descripción general de la comunidad

La comunidad de San Francisco de Raymina se encuentra ubicada en el distrito de Huambalpa, provincia de Vilcashuamán departamento de Ayacucho. Tiene dos áreas bien definidas que les pertenece, una es la zona donde se encuentran sus viviendas y la otra es el área de cultivo que se encuentra aproximadamente a 2 800 msnm, a diferencia de los 3 700 de la zona de sus viviendas, y a 3km aproximadamente hacia el este, actualmente viven en ella 40 familias aproximadamente, la tercera parte de ellos no tienen una permanencia constante en la comunidad.

Su clima es lluvioso entre diciembre y abril y harto soleado y frío desde abril hasta noviembre, no son raras las tormentas eléctricas y granizadas. Sus viviendas están sobre terrenos lotizados de, aproximadamente, 350 m² cada uno y tienen una plaza principal, área de recreación pública, áreas de circulación consideradas como calles, colegio y salón comunal, estos últimos de construcción noble. Su equipamiento es mínimo, solo mesas y sillas y por sus características constructivas son fríos generando un malestar e incomodidad en los niños al estudiar. El salón comunal es utilizado única y exclusivamente para reuniones y cursos de capacitación pero en época de extremo frío.

Cada comunero es propietario de un terreno cultivable que varía de media a 2 hectáreas dedicado a la producción de cebada, maíz, cereales, papa, menestras, solo para autoconsumo. Algunos comuneros (2 a 5%) no cuentan con terreno de cultivo y por ello trabajan en terrenos de otros comuneros.

Todas las familias de Raymina crían ovejas, algunas de ellas chanchos, cuyes y vacas; unas pocas tienen caballos, en todos los casos estos animales forman parte de su capital de subsistencia. El íntegro de la cosecha es para consumo propio, ellos no participan de ferias en donde vendan sus productos. Por el acceso al agua en el área de cultivo solo pueden efectuar una sola campaña al año.

Por la altura a la que se encuentra Raymina, no es posible el cultivo de frutas y hortalizas en general lo que ubica a sus niños en situación de riesgo de sufrir malnutrición debilitando su salud. Tienen una red de agua entubada hace varios años y energía eléctrica desde 3 ó 4 años, por este servicio pagan 5 a 8 soles al mes; por el agua pagan 2 soles al mes. En la comunidad hay grupos de mujeres que pertenecen al programa Juntos y Vaso de Leche, también hay una suerte de asociación de productores.

El acceso a San Francisco de Raymina desde Vilcashuamán es a través de una trocha carrozable con alto riesgo de ser intransitable en la época de lluvias intensas. Tienen dos festividades anuales de gran importancia para ellos, una es la fiesta patronal y la otra el carnaval, la primera se celebra en los primeros días de setiembre y la segunda según el calendario religioso católico, en febrero o marzo de cada año. Estas actividades les permiten relacionarse con otras comunidades vecinas, tales como Putacca, San Antonio de Cocha, Curipaco y Pongococha.

2.1.2. Descripción de sus viviendas

Las dimensiones de los terrenos sobre los que se han construido sus viviendas son de 12m de frente x 30m de fondo, utilizando los primeros 10 a 12m para el área construida y los restantes 18 a 20m como espacio para quehaceres domésticos y estancia nocturna de sus ovejas, cercado por una perca 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 protegida.

Los muros de las viviendas son de adobe fabricado de forma artesanal con dimensiones 0,38x0,38x0,13m; la técnica de construcción se les fue impartida cuando los reubicaron, por lo que varias de las viviendas en la comunidad tienen el mismo diseño.

Se aprecia un adobe bien elaborado, de contextura rígida y no se deteriora con el tiempo debido al peso y el clima.

El acabado no es igual en todas las viviendas, en algunas es barro, en otras mezcla de cemento con yeso (diablo), y algunas no están revestidas. Las puertas son de plancha metálica sobre un marco de madera que, generalmente, no calza bien en el vano respectivo. Sus dimensiones son de 1,00x2,15 m. y comparte el frontis de la vivienda con dos ventanas, de vidrio común y marco de madera o fierro con dimensiones 1,04x1,00 m. cada una. La estructura de los techos es de rollizos de eucalipto como vigas y madera aserrada como correas, las cuales se encuentran en buen estado. La mayoría de viviendas tiene calamina metálica como cubierta del techo, algunas pocas conservan las tejas y en otras se encuentran ambos tipos de materiales.

2.1.3. Actividades cotidianas

Todas las familias de Raymina practican la agricultura y el pasteo de ganado como ocupación principal, a estas se agregan actividades periódicas (cada jueves) con carácter de faenas comunales, a través de las cuales mantienen en buen estado su infraestructura de caminos y áreas comunes (iglesia, salón comunal, escuela, áreas recreativas, etc.) y, si les es posible, la mejoran. Las señoras del programa juntos tienen a su cargo el cultivo de hortalizas en un invernadero de propiedad comunal.

También dedican un tiempo al cultivo de almácigos de pino y eucalipto dentro de un programa de forestación de algunas laderas de la comunidad, con el asesoramiento de AGRORURAL.

Los niños van a la escuela de la comunidad y al regresar ayudan en los quehaceres domésticos familiares. La mayoría de los pobladores crían gallinas, chanchos y cuyes, todos para consumo propio, casi siempre su cosecha o cría es para consumo propio, muy poco puede llegar a venderse.

2.2. Potencial Tecnológico de San Francisco de Raymina

Producto de la aplicación de los tres proyectos referidos en el acápite 2.1 la comunidad de San Francisco de Raymina cuenta con importante infraestructura tecnológica prevista para el trabajo productivo comunal, compuesta por las siguientes instalaciones. En el APÉNDICE II de esta tesis se incluye información detallada de este tema.

2.3. Descripción y análisis técnico de componentes bioclimáticos instalados en SFR

En SFR existen dos edificaciones desde 2009 con características bioclimáticas, una es una vivienda original de la comunidad que fue modificada mejorando su condición de confort térmico interior, mientras que la otra fue producto de un diseño y construcción total con características bioclimáticas para lograr condiciones de confort térmico en sus ambientes interiores, particularmente los destinados como dormitorios, esta edificación está siendo utilizada en la actualidad como un albergue para alojar a visitantes.

En el caso de la vivienda modificada la estrategia fue identificar y controlar sumideros de calor, instalar componentes para captación de calor solar directo e indirecto, simular

el comportamiento de la vivienda modificada aplicando el programa Energy Plus, monitoreo experimental de la vivienda modificada para la validación correspondiente.

Las estrategias bioclimáticas específicas que se aplicó fueron las que se relatan seguidamente.

1. Disminución de intercambios de aire de los ambientes con el exterior: 1 ACH (un intercambio de aire cada hora) desde las 6 a.m. hasta las 5 p.m. y 0.3 ACH en el resto del día
2. Invernadero adosado a las paredes de los dormitorios.
3. Invernadero adosado a las paredes de la cocina y la sala.
4. Aislamiento de pisos de ambientes para dormir.
5. Aislamiento de techos con una configuración tipo sándwich: calamina metálica – paja – planchas de fibrocemento al exterior.
6. Claraboyas translúcidas en los techos, siendo el área ocupada aproximadamente 25% del área del techo y simulándose cubiertas por un manto de lana de 2 cm de espesor desde las 5 p.m. hasta las 6 a.m.
7. Intercambios de aire durante las horas de luz entre ambientes e invernaderos adosados: 1 ACH desde las 6 a.m. hasta las 5 p.m.

Para el caso de la vivienda construida, obviamente la estrategia se inició con el diseño bioclimático de la vivienda siguiendo la simulación computarizada y mediciones posteriores que validaron los cambios aplicados. En general, los cambios físicos introducidos en ambas viviendas generan en conjunto el CT buscado; las nuevas temperaturas oscilan entre 12°C y 18°C. En mediciones recientes (Molina, 2013) se ha verificado que a) las temperaturas al interior de los 4 ambientes de la vivienda son mayores a las temperaturas del ambiente exterior y que la habitación con mayor temperatura es el dormitorio con claraboya y la de menor temperaturas el dormitorio sin claraboya, b) La técnica constructiva que mayor aporte brinda al aumento de temperatura al interior de la vivienda es la claraboya. Se obtienen temperaturas máximas de 29°C y temperaturas mínimas de 11°C.

Las técnicas (componentes) bioclimáticas aplicadas en ambas viviendas son las que se relatan a continuación.

1. VENTANAS TÉRMICAS EN TECHOS

2. AISLAMIENTO TÉRMICO EN TECHOS
3. AISLAMIENTO HIGROTÉRMICO EN PISOS
4. AISLAMIENTO EN VENTANAS
5. ELIMINACIÓN DE PUENTES TÉRMICOS
6. MINIMIZACIÓN DE INTERCAMBIOS DE AIRE I/E
7. MUROS DE ALTA MASA TÉRMICA (ADOBE)
8. INVERNADEROS ADOSADOS A MUROS DE ZONAS TÉRMICAS CRÍTICAS

Las imágenes contenidas en las figuras que se muestran a continuación ilustran algunas de las técnicas bioclimáticas empleadas.



Figura 2.3.1. Ventanas térmicas en techo; a la izquierda imagen de la superficie exterior del techo, a la derecha imagen de la superficie interior del techo en la que se observa las puertas de protección nocturna.

Al interior de las viviendas se midieron temperaturas y humedad relativa. Los sensores de temperatura fueron del tipo de resistencia variable, con un rango de medición de -40° a 100°C y una exactitud de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ a 20°C . El elemento sensor tiene una cubierta de acero inoxidable de forma cilíndrica que facilita el contacto térmico con superficies sólidas. En cada vivienda se usaron 44 sensores de temperatura. La temperatura de globo, al interior de las viviendas, se midió con esferas de 15 cm de diámetro con recubrimiento de emisividad superficial de 0,9. Los datos de temperatura se almacenaron en registradores portables de cuatro canales, con capacidad de almacenamiento de 32 520 mediciones en memoria no volátil. La humedad relativa dentro de la vivienda se midió en el rango de 25%-95% con una exactitud de $\pm 5\%$. La iluminación interior se detectó con un sensor cuya respuesta es similar a la sensibilidad de la visión humana y opera en un rango de 2 a 20 000 lúmenes/m².

Cada una de las técnicas aplicadas contribuye con el calentamiento del ambiente interior y en algunos casos es posible detectar la influencia de una sola de ellas como es el caso de uno de los dormitorios del albergue, por consiguiente solo es posible hacer apreciaciones conceptuales alrededor de ellas.

En el caso de las ventanas térmicas en el techo con policarbonato alveolar como material translúcido o con vidrios en las ventanas en paredes, estas transmiten la radiación en función de su transmisividad y debe incidir sobre la superficie de una masa térmica de alta inercia de modo que el calor resultante de tal fenómeno se almacena hasta las horas nocturnas y es devuelto al ambiente por aquella masa térmico. Los fenómenos de transferencia de calor se darán mientras haya diferencia de temperatura entre las masas en contacto.

En el caso del invernadero adosado, se espera que el aire caliente generado al interior del invernadero por el efecto que lleva su nombre, ingrese a la habitación contigua por orificios practicados en la parte superior del muro común de ambos ambientes (invernadero y habitación) y desde la habitación retorne aire frío al invernadero a través de orificios practicados en la parte inferior del mismo muro. A este movimiento de aire se le llama *lazo convectivo* y se ilustra en la figura 2.3.2.

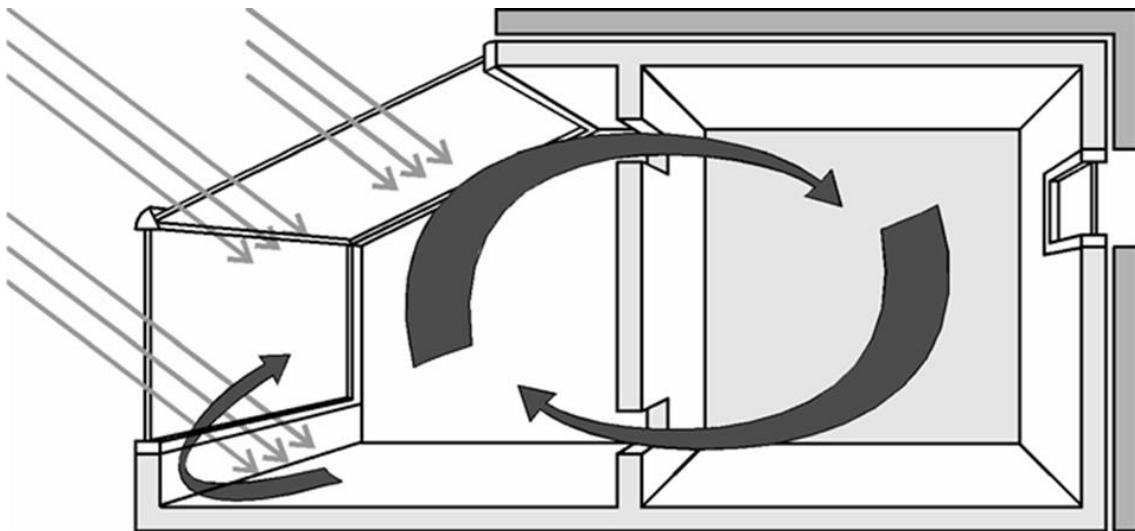


Figura2.3.2. Forma de ganancia indirecta con aporte de masa en lazo convectivo. /13/

Lo que se busca es un cambio drástico en la arquitectura de la vivienda que la convierta en un sistema que gana calor durante el día y lo mantenga mayoritariamente durante la noche, de modo que las personas que la habiten se sientan bien en todo momento,

preferentemente durante la noche. Este cambio es representado por las imágenes de las figuras 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5 y 2.3.6.



Figura2.3.3. Imagen representativa de una vivienda sin protección térmica. Fuente: elaboración propia.

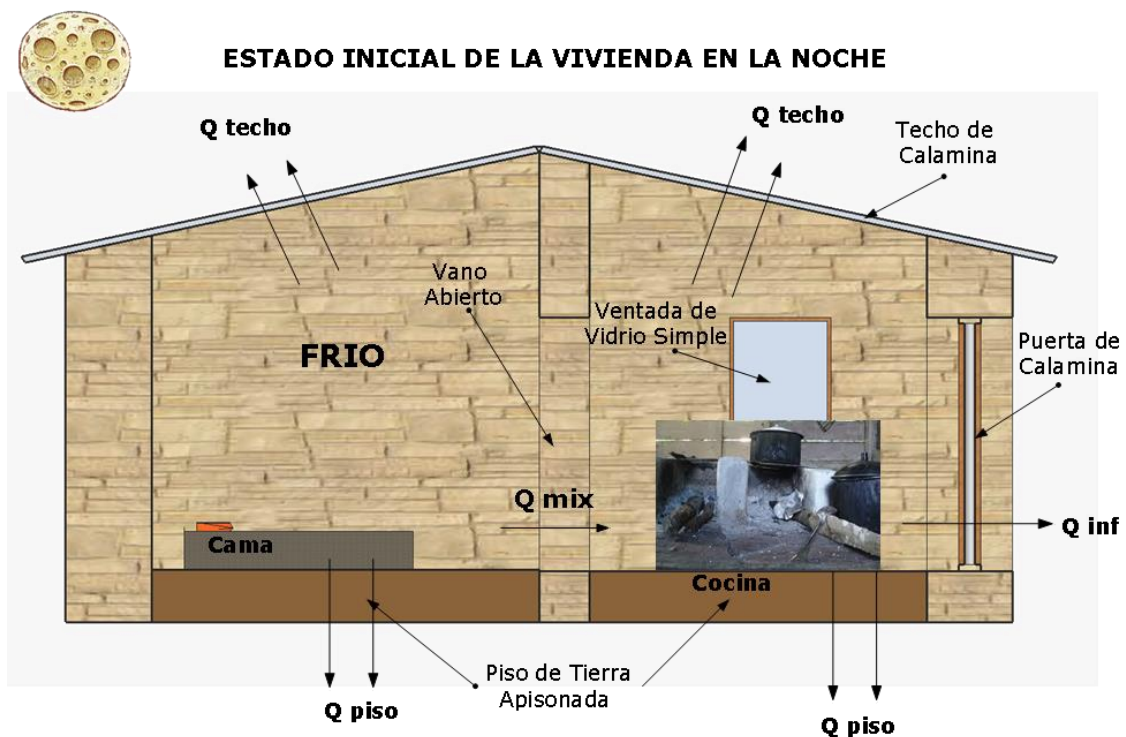


Figura2.3.4. Imagen representativa de una vivienda sin protección térmica. Fuente: elaboración propia.

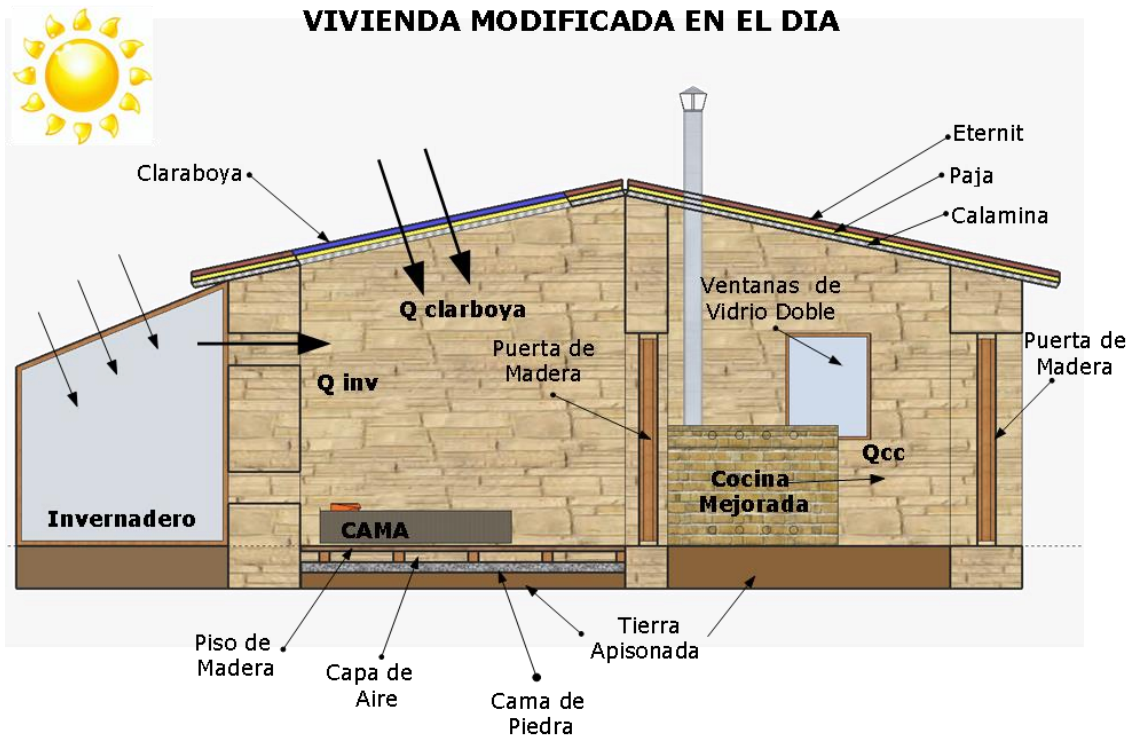


Figura 2.3.5. Imagen representativa de una vivienda con protección térmica. Fuente: elaboración propia.

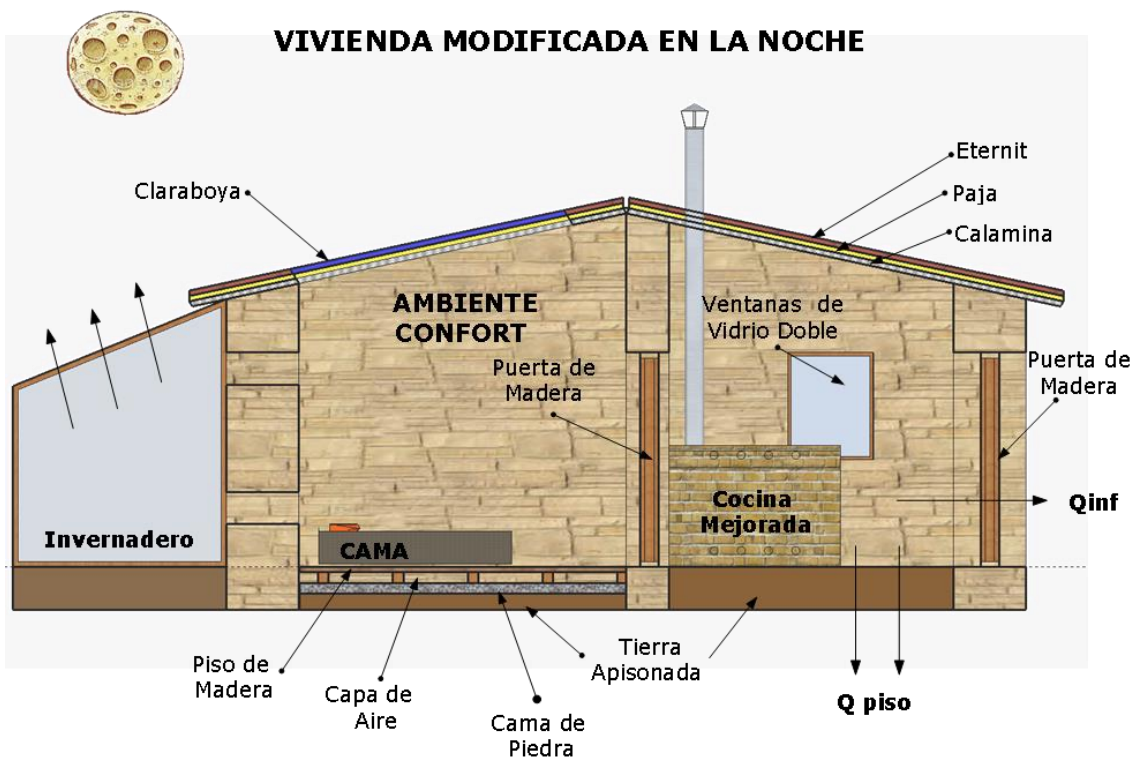


Figura 2.3.6. Imagen representativa de una vivienda con protección térmica. Fuente: elaboración propia.

Estas imágenes son una representación conceptual de una vivienda rural de características actuales y una vivienda rural con características bioclimáticas representadas por componentes tales como la claraboya (ventana en el techo), invernadero adosado, techos y pisos aislados, este último de forma higrotérmica, puertas y ventanas protegidas, exenta de orificios indeseados y una cocina mejorada que, también, aporta calor complementariamente.

El albergue confortable de San Francisco de Raymina cuenta con todas estas características y, además, agua sanitaria calentada con energía solar. Lo que aún sigue siendo incierto en esta edificación es el efecto desagregado de cada uno de los componentes bioclimáticos instalados y en funcionamiento.

2.4. Prospectiva Tecnológica de componentes bioclimáticos para SFR.

San Francisco de Raymina es ahora, además de Comunidad Rural, un centro de experimentación del confort térmico y en el futuro cercano aumentará su capacidad de confortabilidad térmica comunal, por decirlo de alguna manera, en la medida del desarrollo del proyecto de Investigación Aplicada y Transferencia Tecnológica que el CER-UNI viene ejecutando en ella desde el 1 de enero de 2014 y lo hará hasta el 31 de diciembre de 2015. Para esta fecha, todas las viviendas actuales tendrán el techo de sus respectivos dormitorios aislado del intenso frío nocturno, con lo cual se convertirá en un gran escenario natural para desarrollar estudios en el campo de la confortabilidad térmica.

Estas instalaciones futuras se complementarán con las cocinas mejoradas que funcionan en 20 viviendas e invernaderos adosados a uno de sus muros.

También cuenta con un Módulo Experimental de Vivienda (MEV) construido y monitoreado durante 3 meses del año 2013, actividad que motiva la ejecución de la presente tesis.

Y, además de ensayos experimentales vinculados con la vivienda y los componentes bioclimáticos correspondientes, se tendría un escenario técnico adecuado para involucrar a sus habitantes y habitantes de comunidades cercanas en un proceso experimental destinado a reunir información necesaria para construir indicadores bioclimáticos representativos de ambientes andinos de las características de SFR.

Si bien la preocupación actual en esta temática son los ámbitos rurales alto andinos, también será posible desarrollar procesos experimentales cuyos resultados pueden ser extrapolados y aplicados a edificaciones de otras altitudes.

La consideración del sol como elemento climático esencial, lleva asociado el estudio de los efectos del soleamiento, de radiación, de captación y acumulación, de sobrecalentamiento y del estudio de las protecciones, empleándose estrategias derivadas de la inercia térmica de los cerramientos, del efecto invernadero, los lazos convectivos, etc.

Por ejemplo, en las estrategias de la captación solar, la inercia térmica, es el soporte conceptual de los sistemas de captación basados en la emisión energética retardada mostrada en la figura 2.4.1.

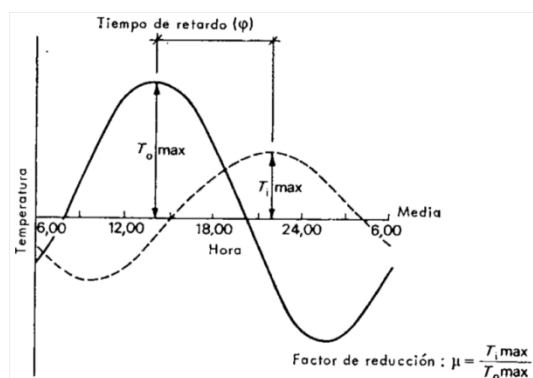


Figura 2.4.1. Diagrama ilustrativo de la inercia y retardo térmico atribuidos a ciertos materiales que, por contar con esta característica, son apreciados para su aplicación en construcciones bioclimáticas. /17/

Una investigación en este tema permitiría conocer mejor el comportamiento del adobe como material de elevada inercia térmica.

Así mismo, en el MEV experimentado el año pasado en lo que se refiere al comportamiento térmico de cada uno de dos sistemas de transformación, transporte y transferencia de calor a ambientes interiores (componentes bioclimáticos), queda por experimentar otros componentes instalados en él, como son las ventanas y contraventanas, puertas y contrapuestas, piso y techo y, en los componentes ensayados, también hay horizonte futuro aconsejado por los resultados obtenidos con la experimentación actual.

Si se toma en cuenta un enfoque integral que considera que los principios bioclimáticos deben aparecer como un hábito en la construcción y no como una rareza o una excepción. Hay que hablar de buenas prácticas y de buena arquitectura y no de arquitectura singular y, entonces, se descubren una serie de aspectos cuyo conocimiento preciso podría obtenerse por la vía de la experimentación.

Estas buenas prácticas deben tener como objetivo la calidad del ambiente interior y la reducción de los efectos negativos sobre el entorno. Calidad del ambiente interior: condiciones adecuadas de temperatura, humedad, movimiento y calidad del aire, etc. Los efectos de las edificaciones sobre el entorno serán función de las sustancias que desprendan, del impacto que produzca el asentamiento y de los consumos que afecten al desarrollo sostenible del lugar.

Estos aspectos anteriores se puede agrupar, por la importancia de sus efectos, en tres grandes grupos:

A. Aspectos energéticos: vinculados a los consumos de materias primas y a la contaminación gaseosa.

a.1. Conservación de la energía.

- Aislamiento térmico en cerramientos.
- Eliminación de puentes térmicos.
- Aislamiento por el exterior.
- Aislamiento por el interior.
- Aislantes térmicos equilibrados higrotérmicamente.
- Ventilación higiénica controlada permanente.
- Sistemas de ventilación natural controlada a través del tiro natural en los cuartos húmedos.
- Sistemas de ventilación regulables.
- Vidrios y carpinterías.
- Vidrios aislantes y bajo emisivos.
- Vidrios coloreados o reflectantes.
- Carpinterías aislantes.
- Carpinterías de alta hermeticidad.

a.2. Captación, acumulación y aprovechamiento de las energías naturales.

- *Acumulación de la energía.*
- Aislamiento térmico por el exterior.
- Empleo de materiales con difusividades térmicas altas (alta velocidad de calentamiento), como piedra, metales, cerámica.
- Empleo de materiales con efusividades altas (alta capacidad de acumulación), como piedra, metales, cerámica.
- *Empleo del agua como acumulador de calor.*
- Orientación de huecos acristalados y fachadas
- Cubiertas.
- Estructura interior que facilite la ventilación cruzada.
- Chimeneas solares de ventilación.
- Dispositivos de recalentamiento.
- *Dispositivos pasivos específicos de captación solar.*
- Falsos invernaderos con lazo convectivo.
- *Dispositivos activos específicos de captación solar.*
- *Colectores planos de agua caliente.*
- *Paneles fotovoltaicos.*

B. Contaminación y medio ambiente: vinculados a las sustancias desprendidas, el impacto del asentamiento y el desarrollo sostenible.

b.1. Ambientes interiores higrotérmicamente sanos y confortables.

- Empleo de materiales de acabado sanos.
- Temperatura, movimiento del aire y humedad interior adecuados.
- Sistema de distribución de energía adecuado.
- *Suelos radiantes.*

C. Contaminación y medio ambiente: vinculados a las sustancias desprendidas, el impacto del asentamiento y el desarrollo sostenible.

En esta relación se ha usado letra cursiva para destacar aspectos que están involucrados en el estudio experimental aplicado al MEV que motiva esta tesis. Estos mismos con variantes sustantivas o algunos otros deben ser materia de estudios futuros.

CAPÍTULO III. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO EXPERIMENTAL DE VIVIENDA (MEV) CON CARACTERÍSTICAS BIOCLIMÁTICAS

Se ha visto al término del capítulo anterior que hay varios frentes de ataque técnico en materia del confort térmico en general y con mayor especificidad si este es dirigido u orientado al ámbito andino nacional y uno de esos frentes, de capital importancia, es aquel que envuelve aspectos ambientales locales, tanto los referidos a las condiciones meteorológicas cuanto los que tienen que ver con las personas y los recursos materiales del lugar.

De otro lado, el objetivo N° 2 de esta tesis dice a la letra *“Diseñar un módulo de vivienda experimental para evaluar el desempeño térmico de dos componentes bioclimáticas para calentamiento, de aplicación potencial en ambientes interiores de una vivienda rural alto andina.”* y en el planteamiento de la problemática planteada se enuncia que *“No obstante esta experiencia, hace falta contar con herramientas que permitan conocer el efecto individual de las técnicas aplicadas u otras que podría aplicarse de manera que la elección de una u otra siga un procedimiento que permita ligar las características físicas y dimensionales de las aplicaciones con el efecto térmico esperado en los volúmenes interiores de la vivienda, lo que puede ser logrado de la forma como es propuesta en el presente proyecto.”*

Sobre esta base queda planteada la hipótesis como “El módulo experimental de vivienda construido en San Francisco de Raymina cuenta con un componente de calentamiento bioclimático en cada uno de sus dos ambientes, cada cual de características técnicas

diferentes, cuyo funcionamiento con agua calentada por la energía solar genera ambientes interiores confortablemente térmicos”

En este marco conceptual global se inscribe el diseño, la construcción, el proceso experimental y el de análisis concluyente del denominado Módulo Experimental de Vivienda (MEV) ubicado en la Comunidad de San Francisco de Raymina, distrito de Huambalpa, provincia de Vilcashuaman, región Ayacucho; ubicada a una altitud de 3 700 msnm, en las coordenadas 13°45'40'' de latitud sur y 73°51'26'' de longitud oeste, cuyo clima es frío, soleado de abril a noviembre y nublado y lluvioso de diciembre a marzo, y su conformación poblacional actual es de 45 familias y 250 habitantes aproximadamente.

3.1. Consideraciones para el diseño del MEV

El desarrollo del MEV responderá a las siguientes especificaciones técnicas básicas.

- a.** Contar con dos ambientes contiguos, cada uno de 3mx3m en su base y 2,4m de altura en sus espacios interiores y que no se comuniquen entre sí.
- b.** Cada ambiente contará con dos vanos para ventana y uno para puerta.
- c.** Los lados con vano para puertas se orientarán al norte y sur, mientras que los lados con vanos para ventanas al este y oeste
- d.** Los muros serán de adobe de 0,4m de espesor, antes del enlucido, y se alzarán encima de cimiento y sobre cimiento de piedra.
- e.** Techo a dos aguas con perfiles estructurales de acero galvanizado y planchas coberturas de acero laminado galvanizado y pintado a rojo, de 0,0005m de espesor.
- f.** Cielo raso interior formado con planchas de poliuretano de 0,05m de espesor emparedado con placas de acero de 0,0005m de espesor.
- g.** Suelo aislador con el mismo material que el cielo raso, apoyado sobre un entramado de listones de madera de 0,02x0,04m de sección, con su mayor longitud en posición vertical; entre el entramado y el suelo de tierra se colocará una manta de polietileno con el fin de aislar el conjunto anterior de la humedad del suelo de tierra.

- h.** Puertas y contrapuestas de madera contra placada protegidas, ambas, contra la humedad con una capa de barniz marino, montadas de tal forma que se genere entre ellas un espacio tapón.
- i.** Ventanas con marco de madera y doble vidrio en cada una de las dos hojas batientes con las que cuente, más, contraventana de madera sólida de 0,02m de espesor.
- j.** Intersticios entre juntas techo-muros, puertas y ventanas con muros, piso de poliuretano con muros, etc., sellados para evitar filtraciones indeseadas de aire.
- k.** Previsiones pertinentes a la instalación posterior de cada uno de los dos sistemas de calentamiento solar de agua, transporte y transferencia de calor a los ambientes interiores.
- l.** Primacía del compromiso de lograr los objetivos planteados en momentos decisorios respecto al uso de materiales, formas y procedimientos en general.

3.2. Diseño del MEV

3.2.1. Diseño conceptual

La figura 3.2.1 plasma la idea o el concepto del MEV como un volumen compuesto de dos habitaciones no comunicadas entre sí, cada una con una puerta y dos ventanas, ubicado sobre el terreno de modo tal que los muros con vanos para ventanas queden orientadas al este y al oeste, y los otros dos muros que contienen los vanos para las puertas miren al norte y sur, consecuentemente, las aguas del techo tendrá esta misma orientación para ubicar colectores solares sobre el agua que mira al norte. Ambas habitaciones son aisladas y con infiltraciones no deseadas reducidas al mínimo.

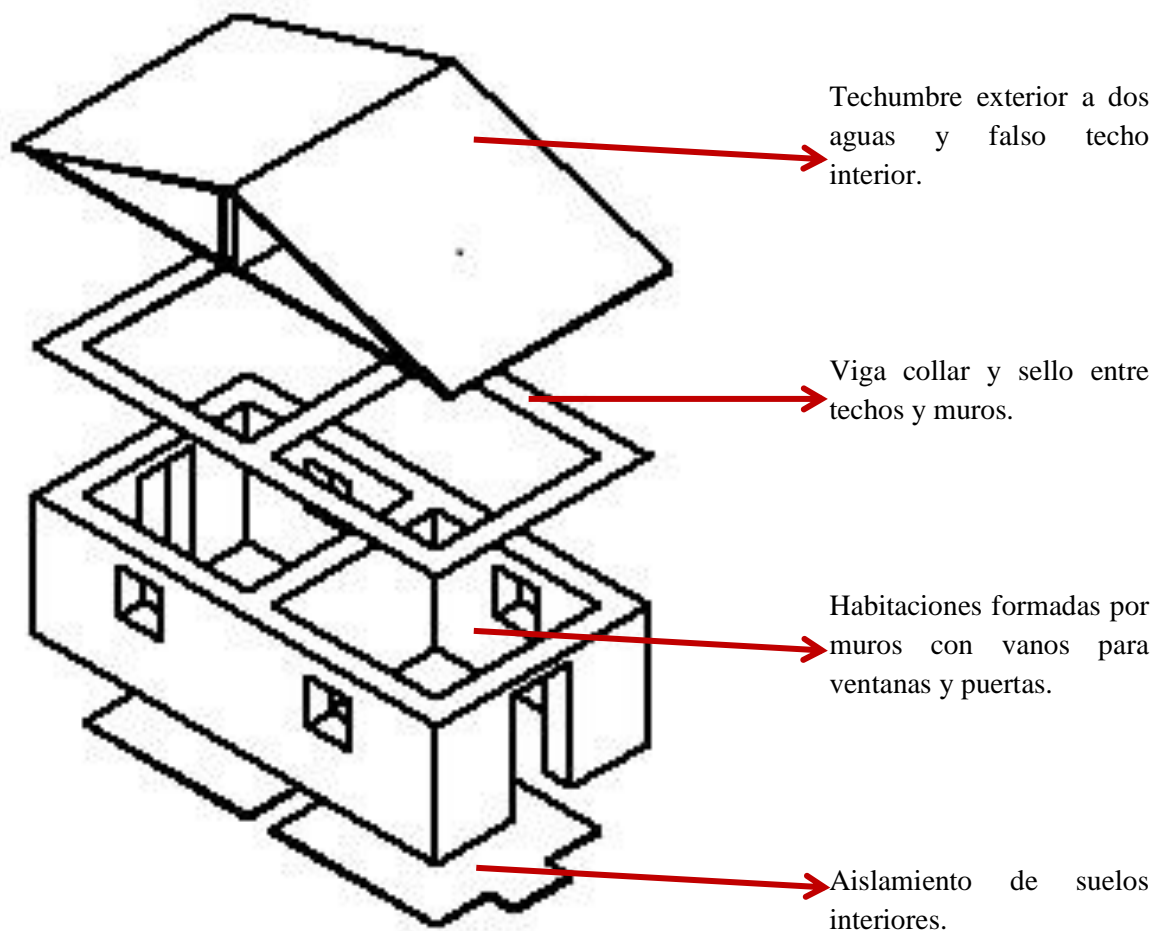


Figura 3.2.1. Desarrollo de los componentes básicos del MEV dentro del concepto espacios habitables de ambiente interior controlables.

Sobre esta base conceptual se proyectó el MEV en lo que se refiere a la obra civil considerando las dimensiones exteriores y forma que se aprecian en la imagen de la figura 3.2.2.

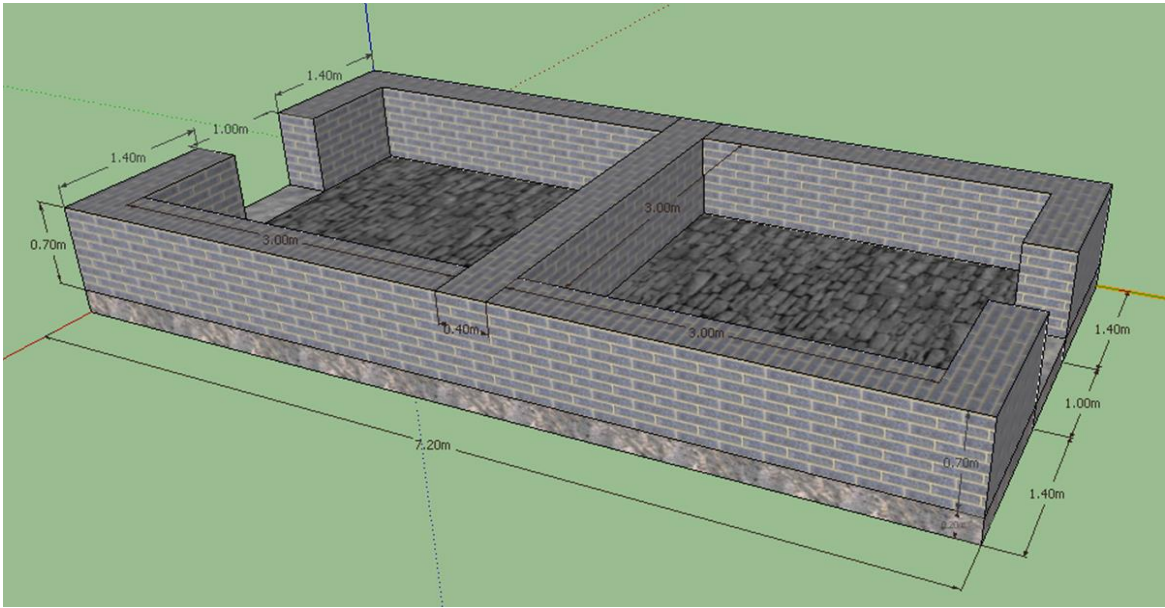


Figura 3.2.2. Dibujo isométrico de la base estructural del MEV y dimensiones previstas con la ubicación de los vanos de puerta para cada habitación.

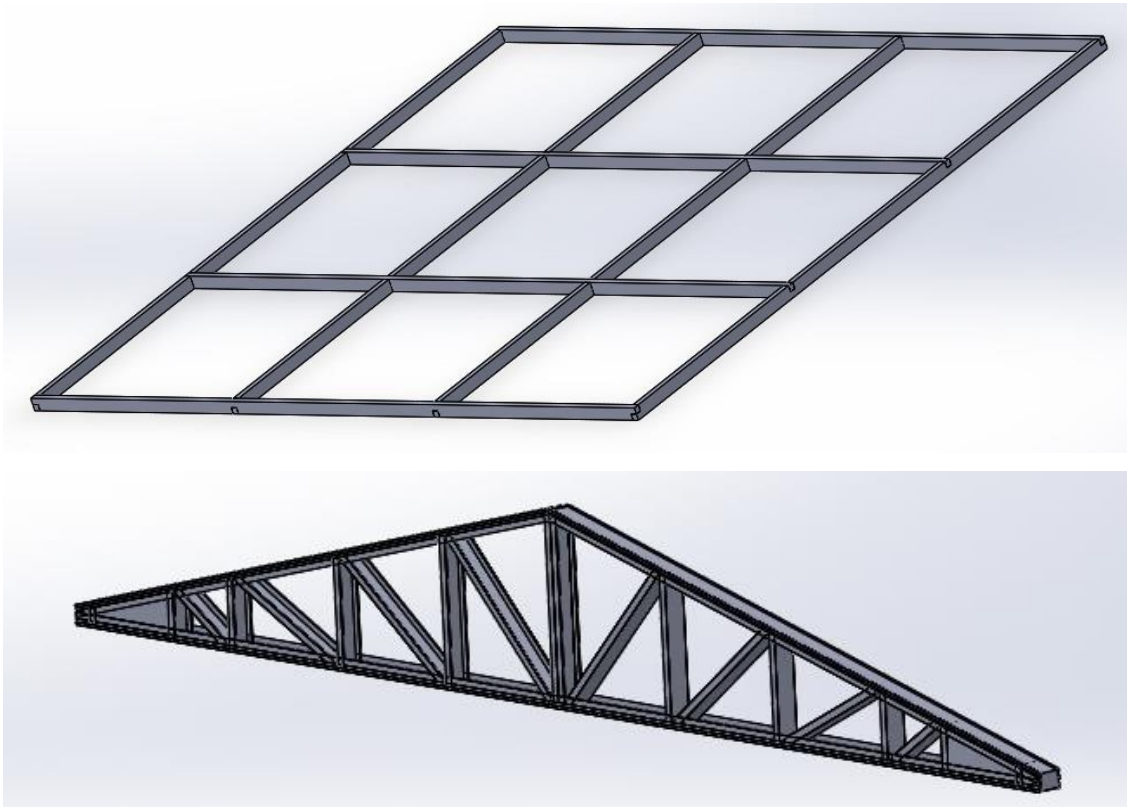


Figura 3.2.3. Dibujos isométricos del entramado de listones de madera ubicado sobre el suelo de cada habitación (arriba) y del tijeral de acero para el soporte de las cubiertas de los techos (abajo).

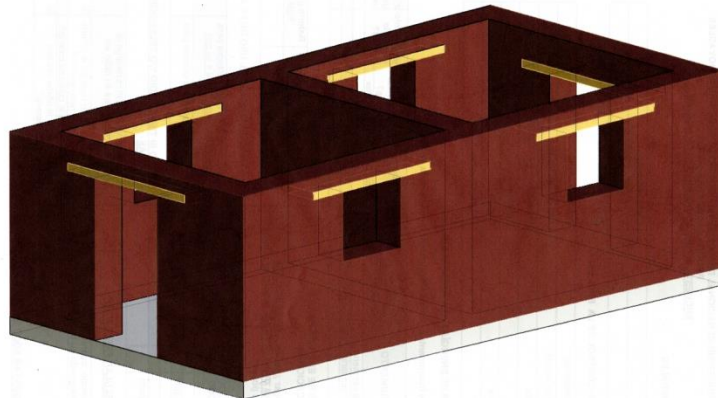


Figura 3.2.4. Imagen volumétrica del concepto del MEV referido a su estructura básica de suelos, muros y vanos para puertas y ventanas con sus respectivos dinteles.

Las imágenes de las figuras 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3 y 3.2.4 muestran en conjunto las formas y componentes básicos del MEV en estricta armonía con las consideraciones para el diseño enunciadas en el acápite 3.1 de esta tesis.

Es pertinente decir que las dimensiones de los vanos para puertas y ventanas se han determinado considerando recomendaciones estructurales, operativas, costumbristas y de armonía global.

Los cimientos se hicieron con piedras del lugar y mezcla de cemento y arena, con profundidad de 0,4m y ancho de 0,6m; el sobre cimiento tiene el mismo ancho de los adobes, es decir 0,4m.

Sobre esta base, se ha definido los detalles pertinentes referidos a materiales, formas, dimensiones, procedimientos, montaje de los sistemas de calentamiento y su operatividad, armonía ambiental, instalación de sensores de temperatura, diseño del piso, techos, puertas y ventanas; así mismo, se definió los elementos de unión y fijación de estos componentes a la estructura del MEV hecha íntegramente con adobes de 0,4x0,4x0,1m, dimensiones acostumbradas en SFR. Seguidamente se explicará estos detalles con el apoyo de dibujos ilustrativos.

3.2.1.1. Piso

Para evitar el ascenso de la humedad de la tierra del suelo, se cubrió íntegramente el área expuesta con una manta de polietileno sobre la que se instaló un entramado de listones de madera de 0,04x0,02m de sección con la forma final que se aprecia en la figura 3.2.5; este entramado tiene dos funciones, la primera es generar espacios huecos entre listones con profundidad de 0,04m y, la segunda, servir de soporte al bloque aislador conformado por un emparedado de poliuretano con planchas de acero de 0,0005m de espesor, el poliuretano tiene 0,05m de espesor.

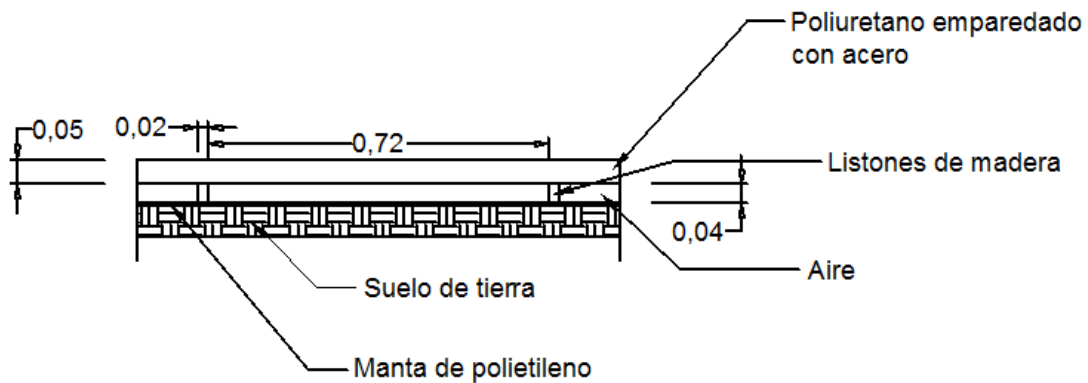


Figura 3.2.5. Esquema en corte transversal de una porción del piso conformado en cada una de las dos habitaciones del MEV

3.2.1.2. Techo

Se tomó la decisión de construir un techo a dos aguas y cielo raso para tener mejor control sobre el cerramiento interior en relación con el riesgo de perder calor o mayores dificultades en la tarea de aislarlo, de esta manera se seleccionó los materiales correspondientes para el techo: perfiles estructurales de acero para formar la estructura de soporte y planchas de acero protegido contra la corrosión para cubrir esta estructura en sus lados superiores (“aguas”) y laterales, esta selección se la hizo mirando lo que el mercado ofrecía y considerando futuras tareas de montaje.

En cuanto al cielo raso, se eligió el mismo material que se empleó en el aislamiento del suelo, es decir, el emparedado de poliuretano con láminas de acero, de modo tal que se forme un volumen cerrado entre el techo y el cielo raso, cuyas planchas, se montarían simplemente apoyadas sobre el tope de los muros de adobe del MEV, traslapando 0,15m en todo el perímetro interior de cada habitación.

El espacio perimetral restante sobre el tope de los muros del MEV de 0,25m de ancho fue utilizado para apoyar sobre él la viga collar conformada por un tablón de madera de 0,15m de ancho y 0,05m de altura. Esta viga cumpliría dos funciones, la principal y que genera su nombre es la de amarrar los muros entre sí para elevar la resistencia estructural del conjunto, y la segunda, servir de apoyo y elemento de unión de la estructura metálica de soporte del techo conformada por dos tijerales montados sobre los muros más largos del MEV, orientados al este y al oeste, con seis correas de amarre de extremo a extremo. Se utilizó tornillos de 0,05m de longitud espaciados cada 0,2m siguiendo el perímetro.

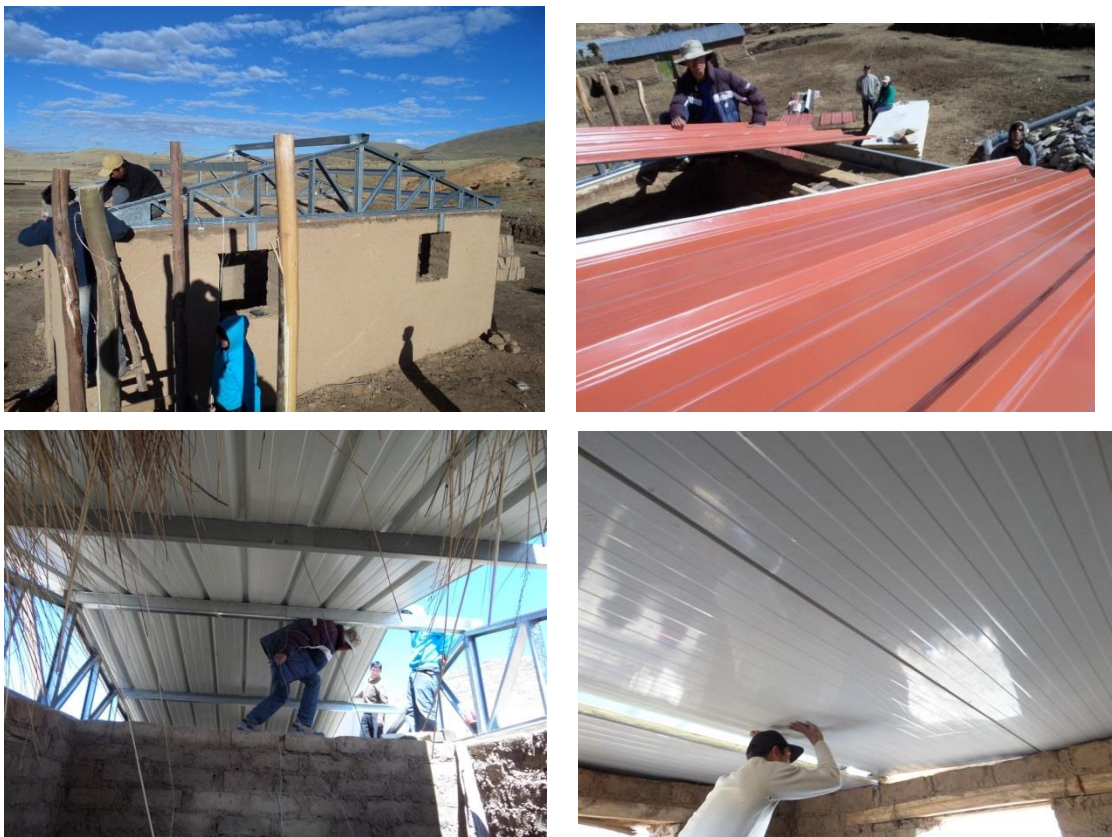


Figura 3.2.6. Las imágenes ilustran el montaje de la estructura, planchas de cubierta y cielo raso del techo.



Figura 3.2.7. Las imágenes ilustran la forma de sujeción de la viga collar a la estructura del MEV haciendo uso del dintel de una puerta atornillando una viga de acero de 0,3m de longitud a la viga y al dintel. Antes se explicó que los tijerales de la estructura del techo se atornillaron a la viga collar, por lo tanto quedaron firmemente unidos el techo con los muros del MEV.

3.2.1.3.Puertas

El MEV tiene dos puertas, una en el muro frente al norte y la otra en el muro frente al sur, dando acceso a cada una de los dos habitaciones, NORTE y SUR, con las que cuenta cuyos ambientes interiores serán calentados y, por lo tanto, se requiere evitar enfriamientos súbitos y rápidos, como sucedería cada vez que se abra una puerta.

Para mitigar este efecto por la acción inevitable de abrir puertas, se suele instalar esclusas en la parte exterior de las puertas formando un volumen protector con una puerta de acceso a él en contacto con el ambiente exterior, a una distancia prudencial de la puerta de la habitación, de forma que la persona que desea ingresar a la habitación quede momentáneamente encerrada dentro de aquel volumen antes de ingresar a la habitación, evitando así que se infiltre aire frío a la habitación.

En el caso actual ese volumen protector ha sido formado desde la puerta de cada habitación hacia el interior de la misma prolongando el paso de acceso formado por los muros de adobe verticales y dintel de la puerta y que tiene una profundidad de 0,4m (ancho del adobe) a través de un pórtico de madera de 0,25m de profundidad, 1,0m de ancho y 2,0m de alto, de modo que rodee al vano de la puerta montándolo firmemente sobre la superficie interior del muro e instalado sobre sus bordes otra puerta, a la que se

le denomina contrapuerta, quedando así formado el volumen protector de aire entre la puerta de la habitación y la contrapuerta interior unida con el pórtico de madera.



Figura 3.2.8. Serie de imagines que ilustran la forma y posición de la esclusa formada entre la puerta de la habitación y la contrapuerta en el pórtico interior.

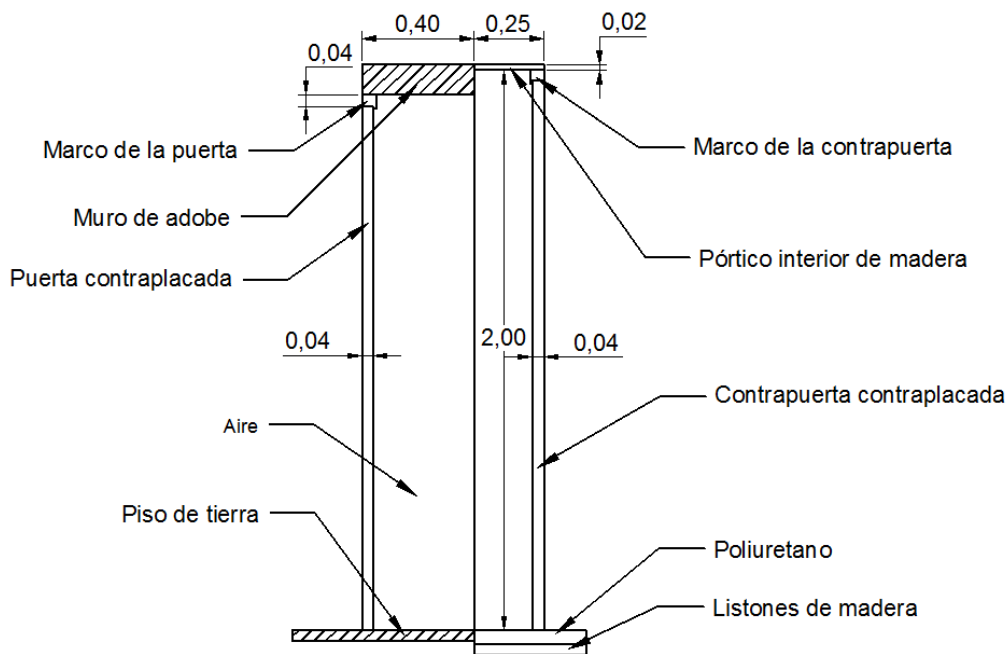


Figura 3.2.9. Corte transversal vertical de la esclusa formada por la puerta de la habitación y la contrapuerta del pórtico interior. Nótese en la parte superior las dimensiones 0,40m y 0,25m correspondientes al ancho de adobe y ancho de pórtico que hacen la medida del espacio de aire tapón.

3.2.1.4. Ventanas

El MEV cuenta con 4 vanos para ventanas, dos sobre el muro que mira al este y dos sobre el muro que mira al oeste, por lo tanto cada habitación tiene dos ventanas en posición relativa enfrentada, este-oeste, definida así para capturar energía solar por la mañana y por la tarde.

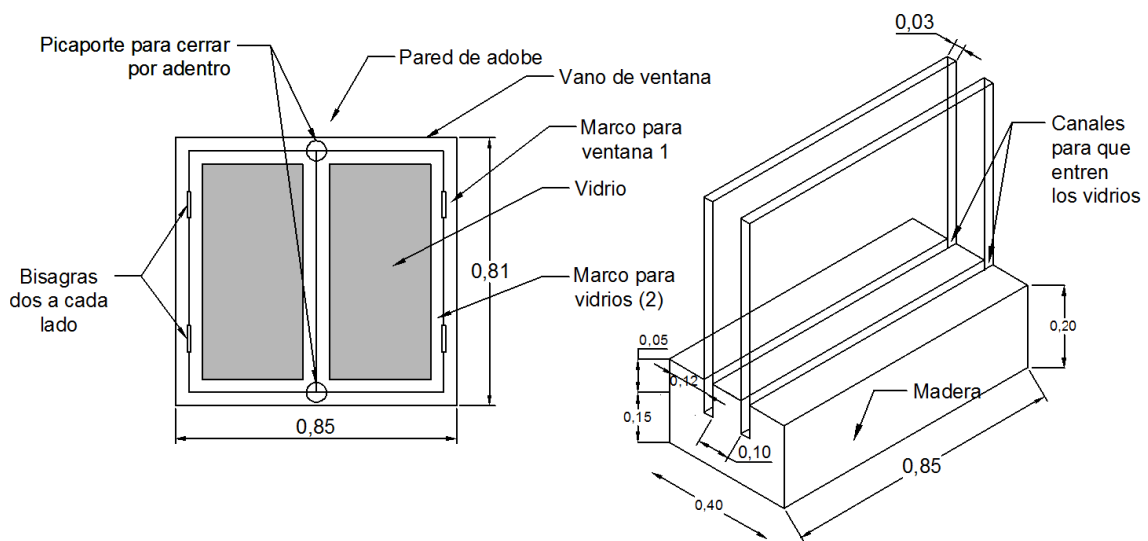


Figura 3.2.10. Detalles del diseño de la ventana con dos vidrios medio dobles separados 0,1m montados sobre un marco de madera pino de 0,5m de espesor, conjunto que forma cada una de dos puertas instaladas sobre un marco de madera pino que sigue el perímetro del vano en posición coplanar con la superficie exterior del muro, fijado a este con clavos de 0,15m de longitud.

Las dos puertas con que cuenta cada ventana están montadas en el marco del vano con dos bisagras cada una, aseguradas en posición de cerradas con picaportes ubicados en sus extremos superior e inferior, así pueden ser abiertas y cerradas a conveniencia de uso.

3.2.1.5. Sistemas de captación de energía solar y calentamiento de ambientes interiores

De acuerdo con las definiciones de estrategias bioclimáticas y técnicas o componentes bioclimáticos, para el caso actual la estrategia recomendada es, obviamente, calentar los ambientes interiores para lo cual se diseñó un componente bioclimático para cada habitación, de modo que se cumpla con el concepto global de calentamiento esquematizado en la figura 3.2.11.

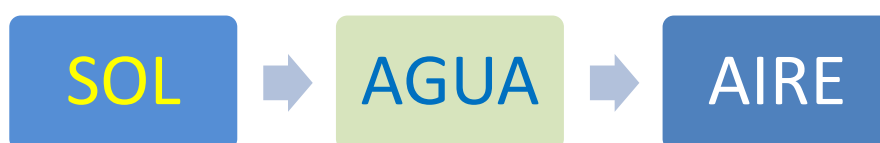


Figura 3.2.11. Concepto global del movimiento de energía (calor) desde el sol hasta el aire interior de cada habitación.

Para este cumplimiento se planteó las siguientes consideraciones de diseño (principales) para cada uno de los dos componentes bioclimáticos.

A. *Componente bioclimático 1*

- a.1.** Calentar el agua con un calentador solar de agua del tipo rejilla utilizado para el temperado del agua de piscinas que pueden calentar el agua hasta 40°C aproximadamente, nivel de calentamiento suficiente para esperar calentamientos moderados en el aire de la habitación por efecto de la transferencia de calor desde el agua hacia el aire.
- a.2.** Hacer circular el agua caliente por una tubería que saliendo del colector sea dirigida a la habitación para formar un serpentín en uno de sus muros sobre los 2/3 inferiores del mismo aproximadamente y cubrirlo con una capa de barro de 2 ó 3 centímetros de modo que quede montado sub superficialmente; al final del serpentín la tubería quede otra vez en contacto con el aire de la habitación y se la dirija hacia el colector cerrando un circuito.
- a.3.** El agua se calentará a su paso a través del colector y transportará este calor por la tubería y se transferirá desde el serpentín al aire de la habitación mayormente por radiación desde la porción de superficie del muro que cubre al serpentín.
- a.4.** Instalar una bomba hidráulica en el circuito para la circulación del agua.
- a.5.** Usar anticongelante mezclado con el agua para evitar congelamiento del agua dentro del colector durante las noches en las que la temperatura del ambiente descienda de cero grados Celsius.

B. *Componente bioclimático 2*

- b.1.** Calentar el agua en un calentador solar de agua del tipo batea (depósito con forma de paralelepípedo) y sin tanque de almacenamiento normalmente usado para instalaciones domiciliarias con el que se puede lograr calentar el agua hasta 40 o 45°C.
- b.2.** Instalar un depósito cerrado en el interior de la habitación de un volumen igual o algo menor al volumen del colector de batea.
- b.3.** Hacer circular el agua desde el colector hasta el depósito instalado en el interior de la habitación, a través de una tubería con válvula de control de paso del flujo.
- b.4.** Instalar un depósito cerrado en el exterior de la habitación de volumen igual o algo mayor que el volumen del depósito interior totalmente enterrado de modo que su superficie superior quede al nivel de la del suelo.
- b.5.** Hacer circular el agua por gravedad desde el depósito en el interior de la habitación hasta el depósito enterrado fuera de la habitación a través de una tubería con válvula de control de paso de flujo.
- b.6.** Instalar un sistema de bombeo FV entre el depósito enterrado y el colector de batea para que eleve el agua desde el depósito hasta el colector cerrando el circuito, utilizando tuberías entre el depósito y la bomba y entre esta y el colector.

Con este marco conceptual se procedió al diseño de cada uno de los dos componentes bioclimáticos resultando los sistemas que se muestran esquemáticamente en las figuras 3.2.12 y 3.2.13 que se explican a continuación.

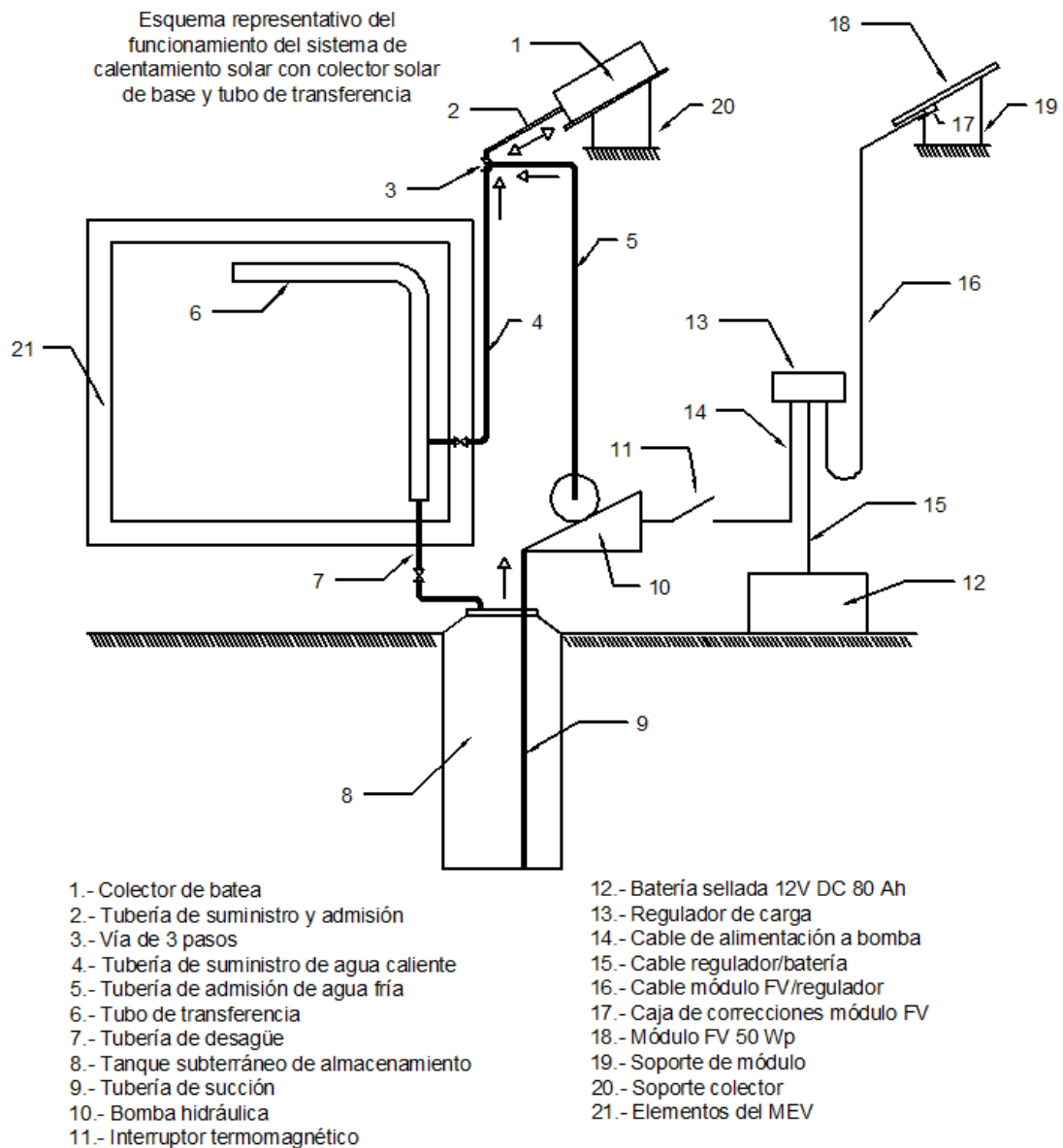


Figura 3.2.12. Representación esquemática del componente bioclimático 2 que en adelante será llamado Componente de Tubo Radiante por el hecho de ser tubular la forma del depósito de agua caliente ubicado en el interior de la habitación.

El componente bioclimático mostrado en la figura 3.2.12 está compuesto de cinco partes principales: a. colector solar (1), b. tubo radiante (6), c. depósito de vaciado (8), d. sistema de bombeo FV (10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18), e. tuberías de conexión (resto).

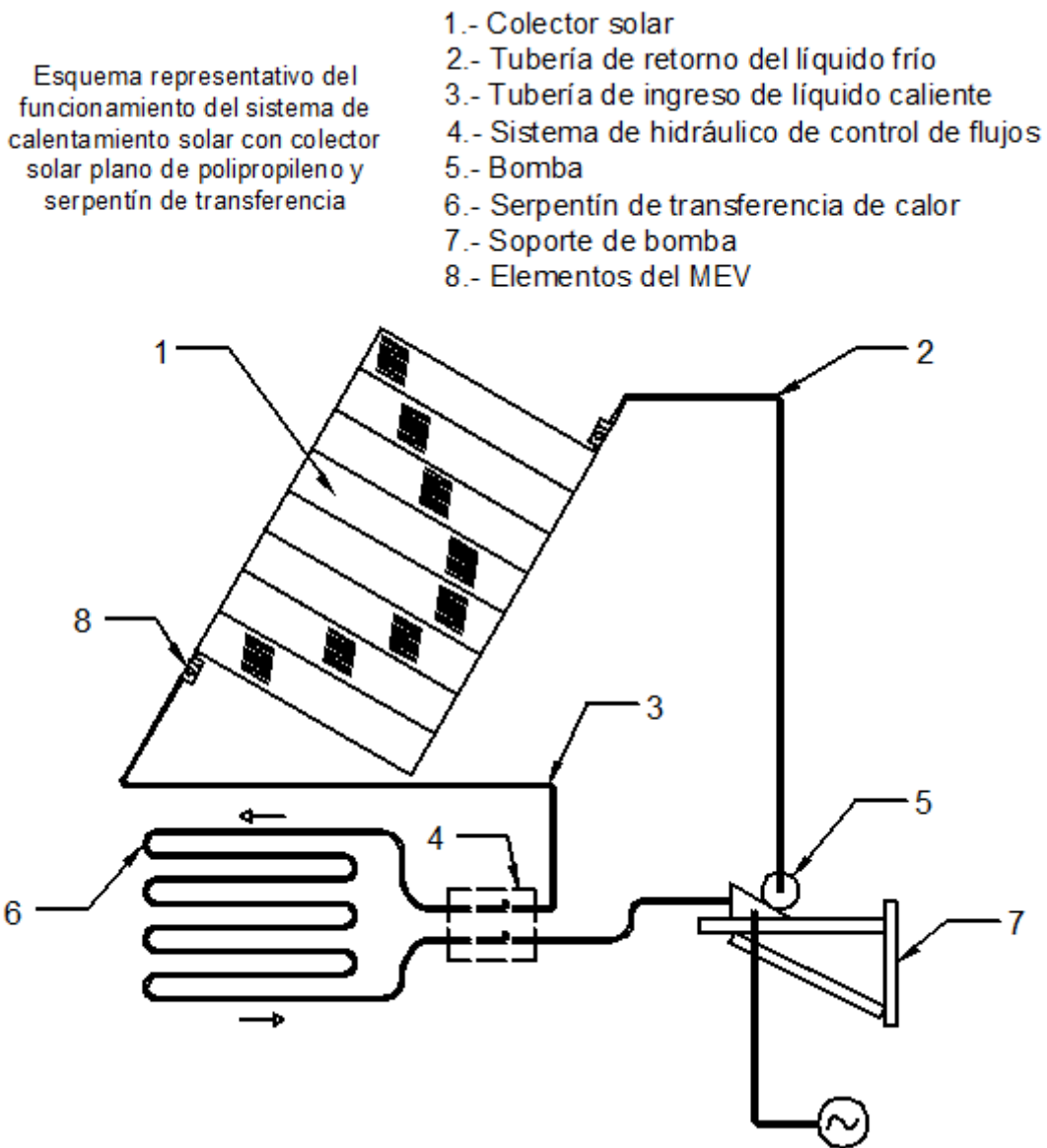


Figura 3.2.13. Representación esquemática del componente bioclimático 2 que en adelante será llamado Componente de Muro Radiante por el hecho de ser la superficie del muro la de transferencia de calor al aire.

El componente bioclimático mostrado en la figura 3.2.13 está compuesto de cinco partes principales; a. colector solar (1), b. serpentín (6), c. tablero de control de flujos (4), d. bomba y control (5), e. tuberías de conexión (resto). Se hace notar que la bomba hidráulica instalada es de 220VCA y cuenta con un dispositivo de control automático para su encendido y apagado en función de la diferencia de temperaturas entre el punto más caliente (salida del colector solar) y la temperatura del aire al interior de la habitación.

Con esta descripción se concluye con el diseño del MEV compuesto de cinco partes principales: a. muros de adobe, b. piso y techo aislados, c. ventanas aisladas, esclusa formada con puertas y contrapueras, d. sistema de calentamiento de tubo radiante, e. sistema de calentamiento de muro radiante.

3.3. Construcción del MEV

3.3.1. Detalles constructivos del MEV

A continuación se explica el desarrollo hecho correspondiente a la etapa constructiva del MEV, para la experimentación de un muro radiante y un tubo radiante en el contexto de edificaciones bioclimáticas alto andinas y los objetivos de la presente tesis se ha construido una edificación en la comunidad de San Francisco de Raymina.

Esta edificación tiene características de un *Módulo Experimental de Vivienda (MEV)* y está constituido por dos ambientes colindantes de 3m de lado en sus bases y 2,4m de altura hasta el tope de sus muros de 0,4m de espesor construidos con adobe, tal como se muestra en la figura 3.3.1. Sus otras dimensiones principales se pueden apreciar en la figura 3.3.2.



Figura 3.3.1. Imagen real de los cerramientos del MEV en la Comunidad de SFR, Vilcashuamán, Ayacucho, a 3 700 msnm.



Figura 3.3.2. Imagen de la concepción de los cerramientos del MEV.

La fotografía mostrada en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** deja ver los cerramientos verticales de adobe que conforman los dos ambientes colindantes; los muros que contienen vanos para puertas se orientan al norte y sur, mientras que los que contienen vanos de ventanas se orientan al este y oeste, así, las ventanas a instalar en sus respectivos vanos se constituirán en componentes de estrategias bioclimáticas de calentamiento (ingreso directo del sol) y también de protección contra el enfriamiento nocturno. A esta estructura de adobe se le ha agregado el piso y techo aislados, las ventanas aisladas, las esclusas formadas con puertas y contrapuestas, el sistema de calentamiento de tubo radiante en la habitación norte, el sistema de calentamiento de muro radiante en la habitación sur.

Para el sellado de intersticios se ha empleado barro y espuma de poliuretano, dependiendo de la magnitud del intersticio y su ubicación.

La construcción de los muros se hizo durante el pasado mes de mayo de 2013 y el montaje de los elementos constructivos complementarios referidos en el párrafo anterior se hizo entre los días 10 y 19 de agosto de 2013.

Los materiales empleados en piso, techo, ventanas, puertas y contrapuestas se han ubicado en el mercado de acuerdo con las características de resistencia, aislamiento, costo y montaje requeridos para el comportamiento esperado del MEV, así mismo, otras que requieren de preparación o elaboración previas se han hecho en talleres de Lima, como las ventanas; las puertas y contrapuestas se adquirieron como tales y el

pórtico para formar la esclusa se hizo elaborar; en cuanto al techo, se lo adquirió prácticamente hecho y desmontado en Lima, es decir, se compró perfiles estructurales galvanizados, planchas de acero aluminizado con pintura protectora, cumbreras galvanizadas y elementos de unión (tornillos) con forma y dimensiones predeterminadas para formar por armado los tijerales, correas y cubiertas. Esta tarea fue hecha en SFR.

De manera similar, las planchas de poliuretano emparedado con delgadas láminas de acero y protegidas con pintura se adquirieron en Lima y solamente quedó la tarea de adecuarlas a las dimensiones interiores del piso y a las del techo, considerando los apoyos previstos para el montaje.

En el caso del componente bioclimático de muro radiante, los elementos principales que lo conforman son de tipo y forma comercial y se adquirieron con las siguientes características:

- ❖ 02 colectores solares de polipropileno de 2mx1,2m y presión de trabajo de 40,8mca.
- ❖ 01 kit de accesorios de polipropileno, interconexión de colectores solares, incluye válvula de venteo.
- ❖ controlador digital de temperaturas, incluye diferenciales, timer y termostato, más dos sensores de temperatura.
- ❖ Manifold de 02 vías, con caja incluida y llaves derivadoras.
- ❖ 01 bomba hidráulica de recirculación de 30W
- ❖ 02 Galones de líquido anticongelante.
- ❖ 50m lineales de tubería Gerpex flexible de triple capa.
- ❖ 01 kit de accesorios y materiales básicos para instalación.
- ❖ 01 Vaso de nivelación.
- ❖ 20 Clips de ajuste de metal.

De acuerdo con la hoja técnica de INMETRO⁸ el colector de polipropileno utilizado tiene las siguientes características.

- ❖ Marca: TRANSEN ACQUAPLUS 20
- ❖ Presión de funcionamiento: 400mmca
- ❖ Área exterior; 2,4m²

⁸ Instituto Nacional de Metrología, Qualidade e Tecnologia, de Brasil

- ❖ Energía producida: 238,3 kWh/mes; 99,3 kWh/m²
- ❖ Eficiencia media: 80,1%
- ❖ $Fr(\tau\alpha)_n = 0,91$
- ❖ $FrU_L = 22,57$
- ❖ Clasificación INMETRO: A

El tubo multicapa se compone de tres capas estructurales, más dos intermedias de adhesivo. La capa interna se fabrica en polietileno resistente a la temperatura; un material flexible y resistente con superficie lisa, idóneo para el contacto directo con el agua. La capa intermedia es de aluminio. La capa externa se fabrica en polietileno de alta densidad y, entre sus cualidades, destaca su resistencia mecánica, que lo convierten en el material adecuado en su contacto con el exterior.

La bomba es marca EMMETI SHARK de potencia variable como muestra la placa sobre ella en la figura 3.3.3. , funcionó en su estado 3 que corresponde a 48W de potencia y el caudal estimado fue 0,1m³/h para aproximadamente 2,0m de altura de presión.

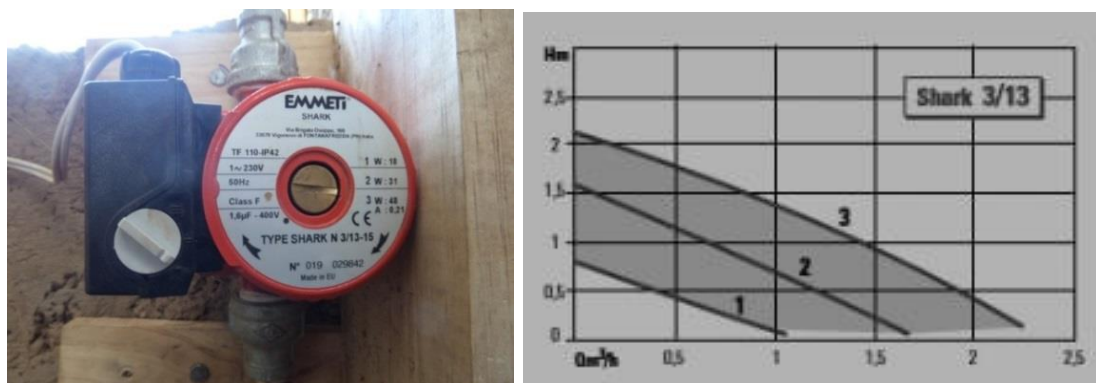


Figura 3.3.3. A la izquierda imagen fotográfica de la bomba EMMETI SHARK que funcionó con 48W de potencia (posición 3); a la derecha el diagrama de prestaciones de la bomba y curva de rendimiento (curva 3) que relaciona el caudal en m³/h con la altura de pérdidas que, para el caso es de 2m aproximadamente, con lo cual el caudal estimado resulta 0,1m³/h.

La fuerza eléctrica requerida para su funcionamiento (220VDC) se la tomó de la instalación del salón comunal de SFR tendiendo una línea de conexión de 50m aproximadamente entre aquel y el MEV.



Figura 3.3.4. A la izquierda, se ve el serpentín sobre el muro antes de ser cubierto con una capa de 2-3 cm de barro; a la derecha, el distribuidor de flujo.

Se empleó 35m de tubería de los cuales 17m formaron el serpentín que se aprecia en la figura 3.3.4, la flexibilidad de la tubería no permitió curvas más reducidas para tener mayor longitud de tubería. El serpentín cubre 2/3 de altura del muro sobre el que se lo instaló, que es el muro común a las dos habitaciones. El distribuidor de flujo está formado por válvulas de control y válvulas de purga para expulsar el aire que, eventualmente, se introduce en el circuito cerrado de circulación del agua que llega caliente por la tubería que ingresa a la habitación por su esquina superior derecha y sigue hasta el distribuidor, de donde sale hacia el serpentín y de este retorna al distribuidor desde el que la bomba succiona el agua para impulsarla hasta el colector por la tubería que sale de la habitación por el mismo orificio por el que entró.

En el caso del componente bioclimático tubo radiante, se empleó un colector solar tipo batea construido en el Centro de Instrucción INTI de Espinar, Cusco. Sus dimensiones son 0,75mx0.50mx0,20m que da como resultado 75 litros de capacidad. Este colector se fabrica en ese tamaño, no en otro y se forra con polietileno anti UV dejando un espacio de 0,15m aproximadamente entre éste y la superficie de la batea que está pintada de negro.



Figura 3.3.5. La imagen de la izquierda deja ver la “batería” del colector en proceso de armado; a la derecha se observa al colector sobre el soporte preparado para su montaje mirando al norte, puede notarse la cubierta de plástico que envuelve a la batería metálica.

En cuanto al tubo radiante, se construyó a partir de un tubo comercial de PVC de 6” de diámetro y 5,0m de longitud comercial y 3,5m de longitud operacional, sobre la base de estimar que un volumen de agua igual al del tubo (65 litros) a la temperatura de 50°C aproximadamente contendría la cantidad de calor que podría elevar la temperatura del aire de la habitación algunos grados Celsius, entre 4 y 8 aproximadamente. La elección del tubo fue por facilidad constructiva y la forma determinada, en “L”, se explica por las dimensiones de la habitación: 3m de longitud para un máximo de 2m de tubo en dos lados contiguos.

Entre el tubo y el colector se instaló un SFV para bombeo de agua con las características que se describen a continuación.

- a. Panel monocristalino, 12VDC, V_{mp} : 17,1V; I_{mp} : 3,02A; V_{oc} : 21V, I_{sc} : 3,36A
- b. Controlador de carga marca Phocos 12/24 VDC, 10A
- c. Batería solar marca RITAR, de 65Ah a 12VDC, libre de mantenimiento
- d. Bomba Superficial Shurflo 12 VDC, 1,3g/min; Código 8000-443-136
- e. Cable Vulcanizado N°12 AWG entre el panel y el controlador, controlador y la batería, batería y la bomba.
- f. Interruptor termo magnético de 10A

Para el tanque de vaciado enterrado se utilizó un depósito comercial para agua, de 80-90 litros de capacidad, de material plástico.

Para las conexiones hidráulicas entre colector y tubo, entre tubo y tanque de vaciado, tanque de vaciado y bomba, bomba y colector se empleó tubería de PVC de ½” de diámetro y manguera de 5/8” de diámetro por su flexibilidad. Se instaló válvulas tipo pasa/no pasa la entrada de agua al tubo, a la salida de este y para control de desaguado total, a la entrada del tanque de vaciado y en el tramo de desagüe antes del tanque enterrado.



Figura 3.3.6. A la izquierda se muestra la imagen del tubo radiante en su posición final de montaje y funcionamiento, a la derecha se observa la tubería de desagüe.

Nótese en la figura 3.3.6 a la izquierda, los tramos de manguera por donde llega el agua del colector (arriba del tubo) y por donde sale del tubo hacia el tanque de vaciado (debajo del tubo), cada tramo tiene una válvula de control de flujo instalada. La manguera de salida del tubo se dirige hacia la puerta de la habitación de donde sale (fotografía de la derecha, figura 3.3.6) hacia el tanque enterrado, y de este sale hacia la bomba FV, nótese en el tramo puerta-tanque una derivación sin destino, es el tramo de desagüe total cuando se quiera cambiar el agua del sistema. Los adobes a uno y otro lado de la manguera y tubería son para protegerlas de choques accidentales con otros cuerpos.



Figura 3.3.7. Las fotografías de arriba muestran, a la izquierda, la imagen de una ventana en posición cerrada vista desde el exterior, a la derecha se observa el colector solar tipo rejilla instalado sobre el ala del techo que mira al norte. Las fotografías de abajo muestran la imagen final del MEV.

La fotografía de abajo a la derecha, permite apreciar la estructura de del colector de batea y módulo FV, en cuya parte inferior se nota una formación de color rojo; esta es un espacio protegido que alberga a los componentes del SFV de bombeo: batería, controlador, bomba e interruptor termo magnético, ubicados así por medidas de seguridad.

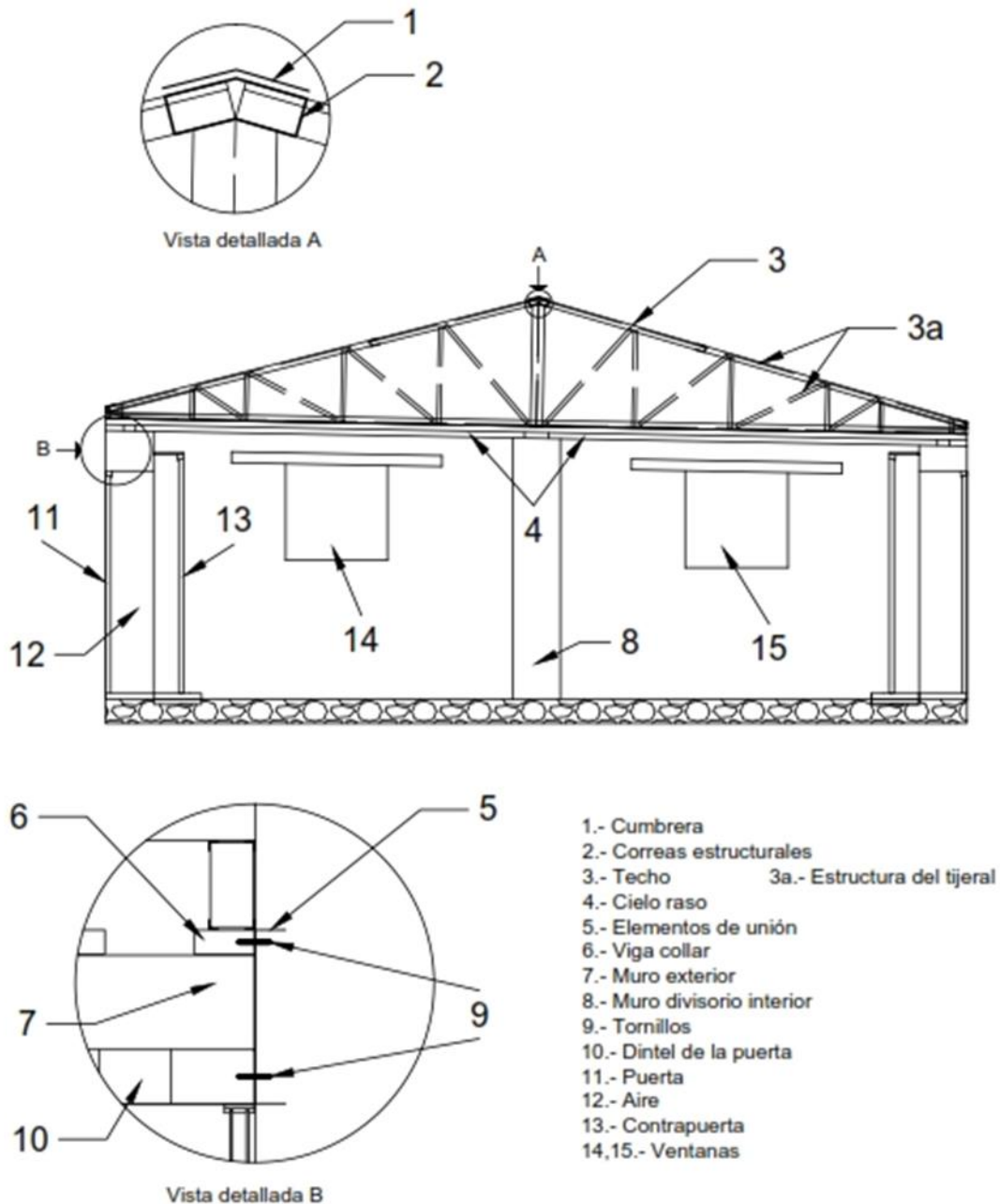


Figura 3.3.8. Imagen global del MEV construido en un corte seccional longitudinal que deja ver las dos habitaciones que lo conforman, la posición de las ventanas, la ubicación de puertas y contrapuestas (esclusas), piso y techo estructural y falso techo. Arriba a la izquierda el detalle preciso de las cumbreiras; abajo a la izquierda se muestra el detalle del ensamble del techo utilizando elementos de unión atornillados en la viga collar y en el dintel de la puerta, en su caso, de la ventana.

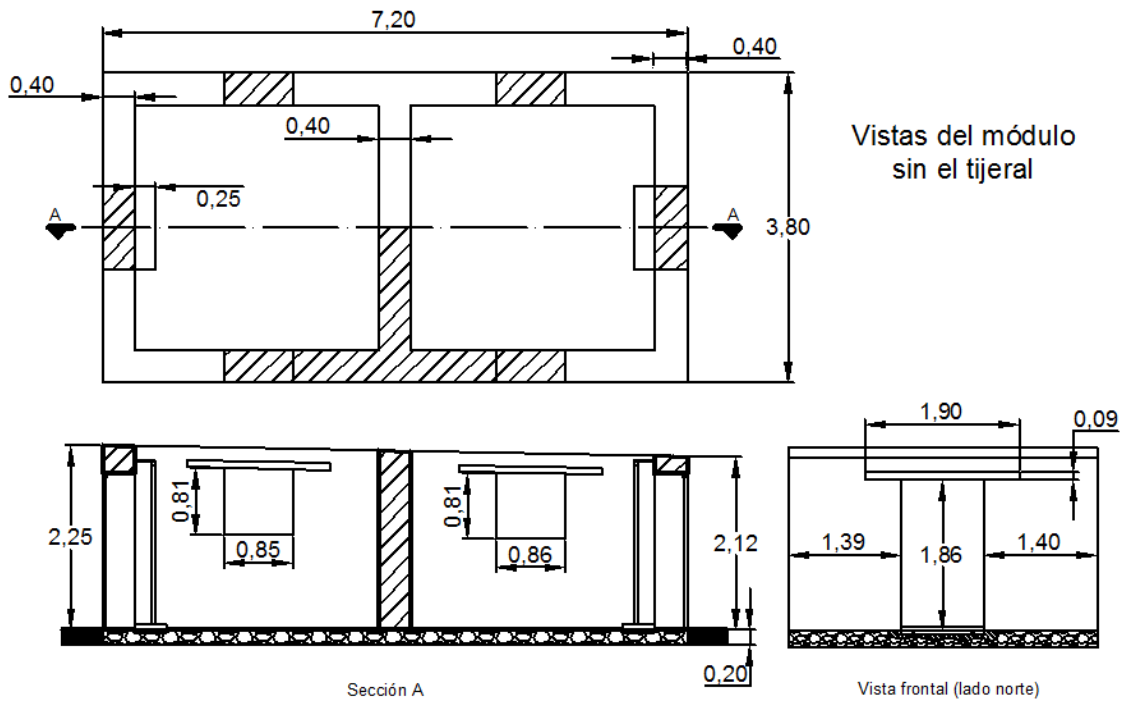


Figura 3.3.9. Imágenes de vistas seccionadas del MEV mostrando las dimensiones totales y las de los principales componentes básicos, es decir, puertas, ventanas y piso.

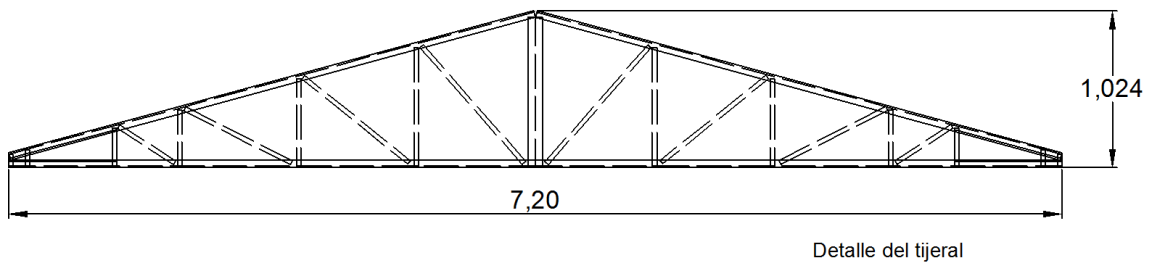


Figura 3.3.10. Imagen del tijeral estructural con sus dimensiones finales.

De esta manera se hizo la construcción del MEV ubicando en la habitación norte el tubo radiante y en la habitación sur el muro radiante.

3.4. Descripción técnica del MEV construido

En esta parte de la tesis se informarán aspectos integrales del MEV empezando por mostrar imágenes del MEV correspondientes a los muros que lo conforman.

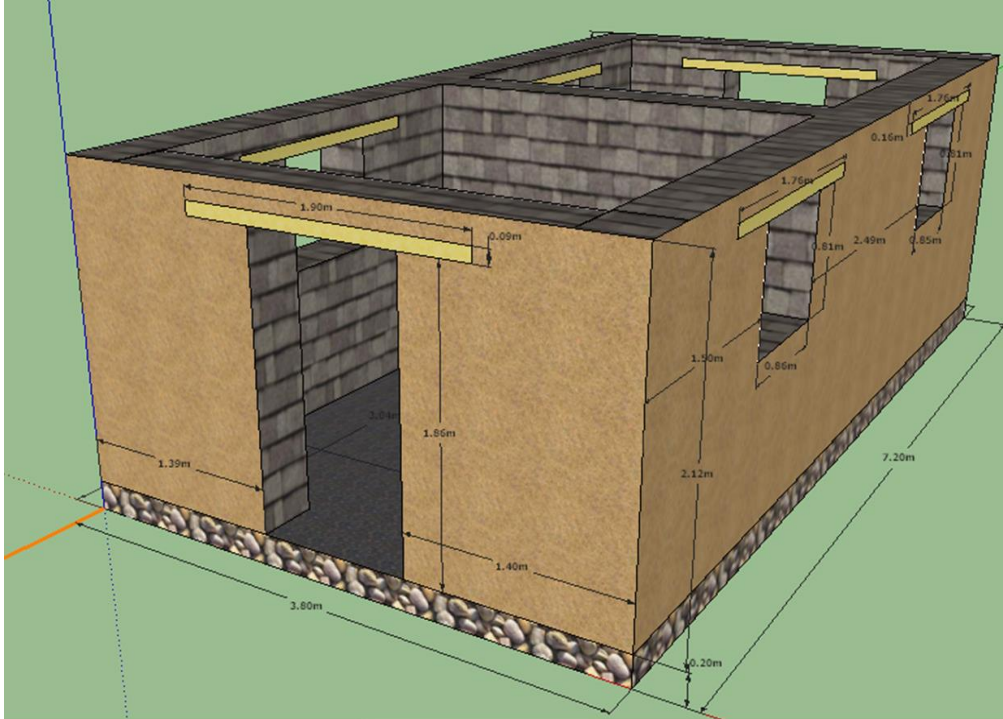


Figura 3.4.1. Vista volumétrica que deja ver la forma básica del MEV y la ubicación relativa de ventanas y puerta.

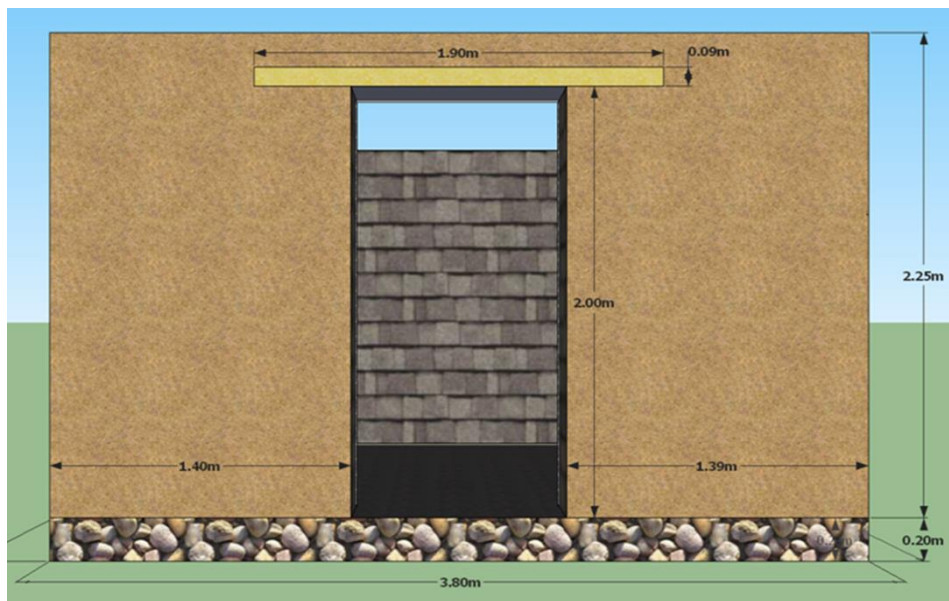


Figura 3.4.2. Imagen del muro frente al sur geográfico y las dimensiones correspondientes.

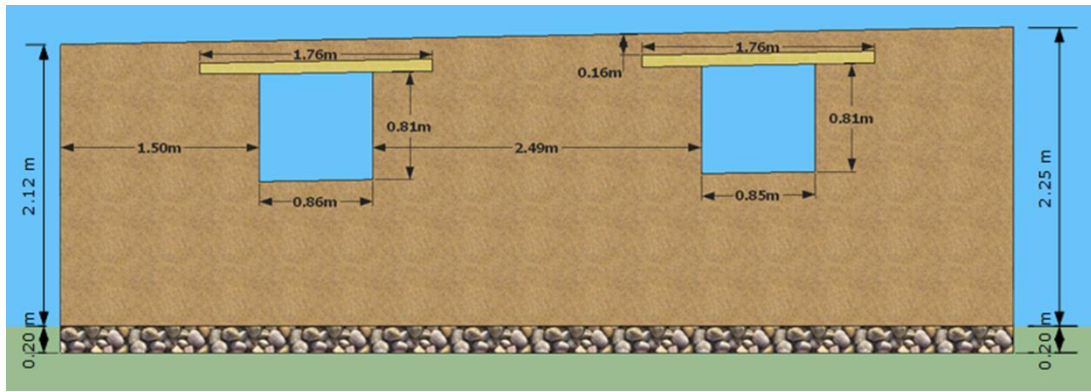


Figura 3.4.3. Imagen del muro frente al este geográfico y sus dimensiones correspondientes.

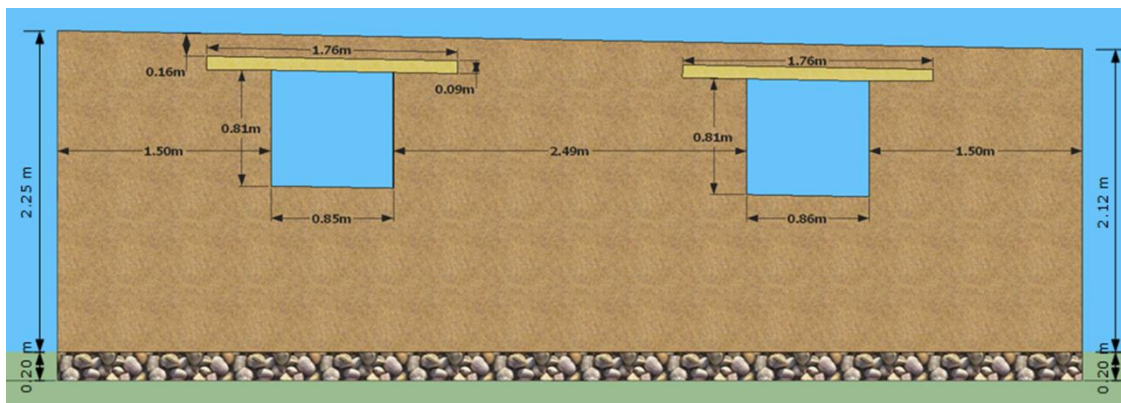


Figura 3.4.4. Imagen del muro frente al oeste geográfico y sus dimensiones correspondientes.

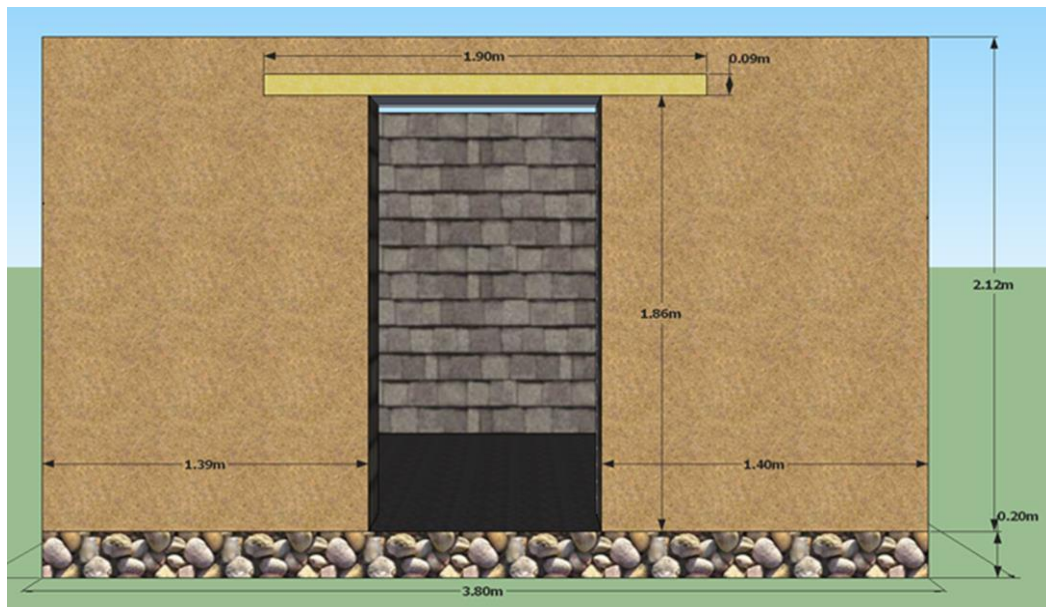


Figura 3.4.5. Imagen del muro frente al norte geográfico y las dimensiones correspondientes.

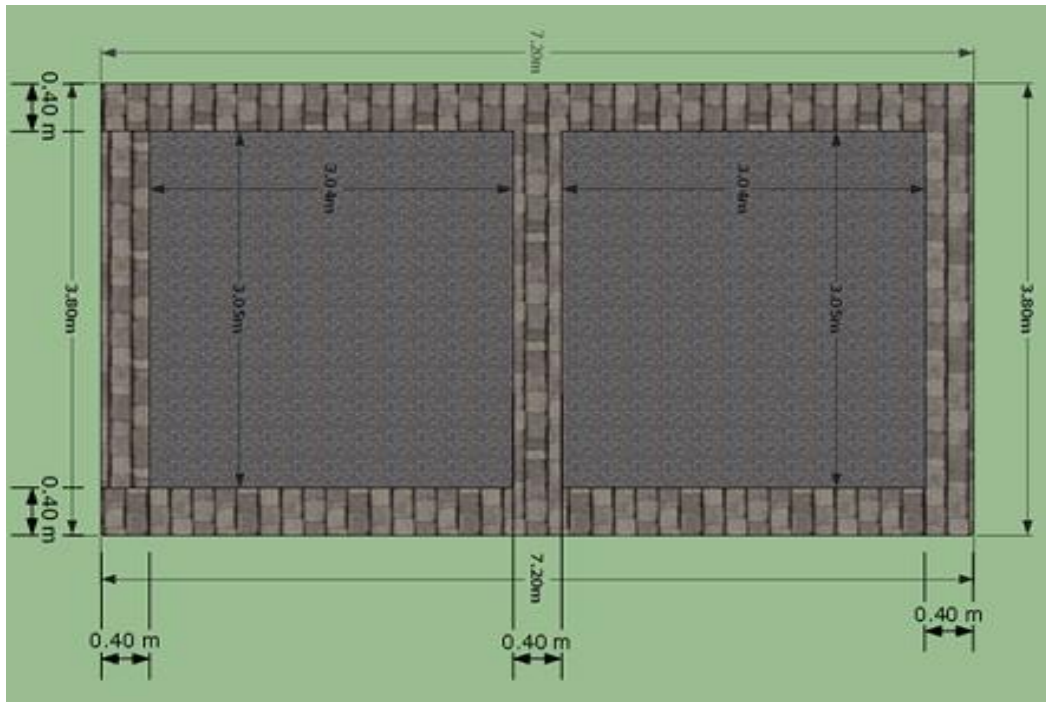


Figura 3.4.6. Imagen de la vista de planta en corte seccionado, más sus dimensiones correspondientes.

Sobre la base de la información contenida en las imágenes de todas las figuras anteriores de este acápite, se destaca los atributos principales del MEV en lo que toca a la obra civil.

- a. Muros de adobe con notable masa térmica de 27 822,6 kg totales; equivalente a 640 kg/m² de superficie, sabiendo que la superficie total del MEV es igual a 43, 47m²
- b. Intersticios no deseados reducidos al mínimo por efecto del montaje preciso de ventanas y puertas en sus respectivos vanos, sellado de juntas de acople o empare entre los bordes de las planchas del piso y la superficie de los muros, así como entre las planchas del falso techo y las superficies tope de los muros.
- c. Riesgo mínimo de enfriamiento súbito al entrar y salir de las habitaciones por efecto de las esclusas formadas en cada puerta, con el pórtico y la contrapuerta.
- d. Mínimas pérdidas de calor a través de los muros por efecto de su conductividad relativamente baja, 0,95 kJ/W°C
- e. Reducción notable de pérdidas de calor por puertas y ventanas, estas por tener dos vidrios con 0,01m entre ellos con aire estanco.
- f. Opción de control sobre el flujo de pérdidas de calor a través de puertas y ventanas por efecto de la instalación de contrapuestas y contraventanas.

- g. Opción de administrar la ganancia directa de energía solar a través del control de apertura de ventanas desde totalmente cerradas hasta totalmente abiertas.
- h. Control de la ventilación nocturna a través de la operación de apertura parcial de contrapuertas o ventanas con contraventana instalada.

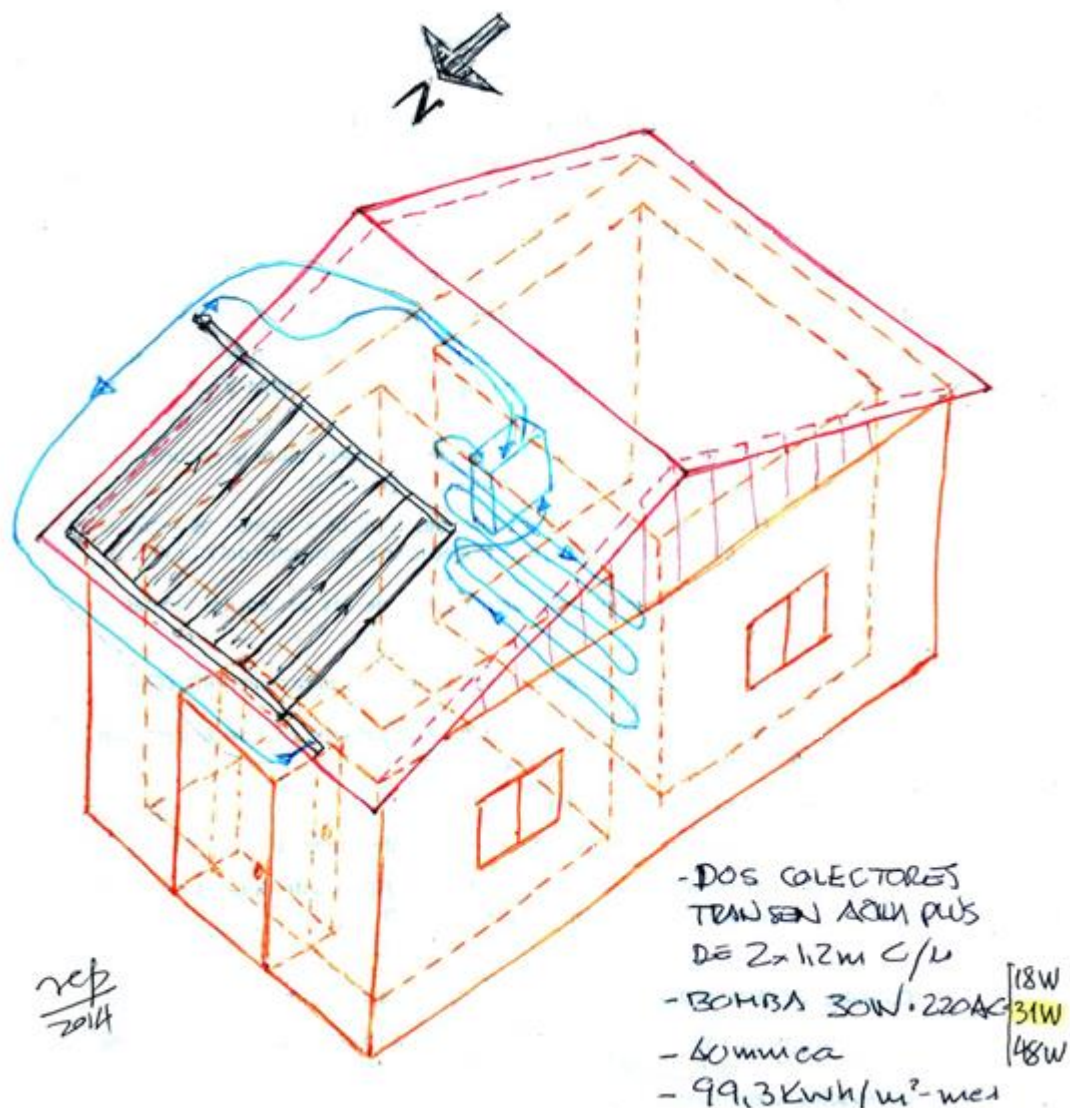


Figura 3.4.7. Concepción artística del MEV con detalles del sistema de calentamiento de muro radiante.

En la figura 3.4.7 se reproduce el circuito cerrado que sigue el flujo de agua como masa portadora del calor tomado del sol a través del colector solar instalado sobre el ala norte del techo. Se ha usado el color celeste para seguir la línea de tuberías externas y el color verde para destacar la porción de tubería que forma el serpentín instalado sobre la superficie del muro compartido por las habitaciones, en el lado correspondiente a la habitación sur.

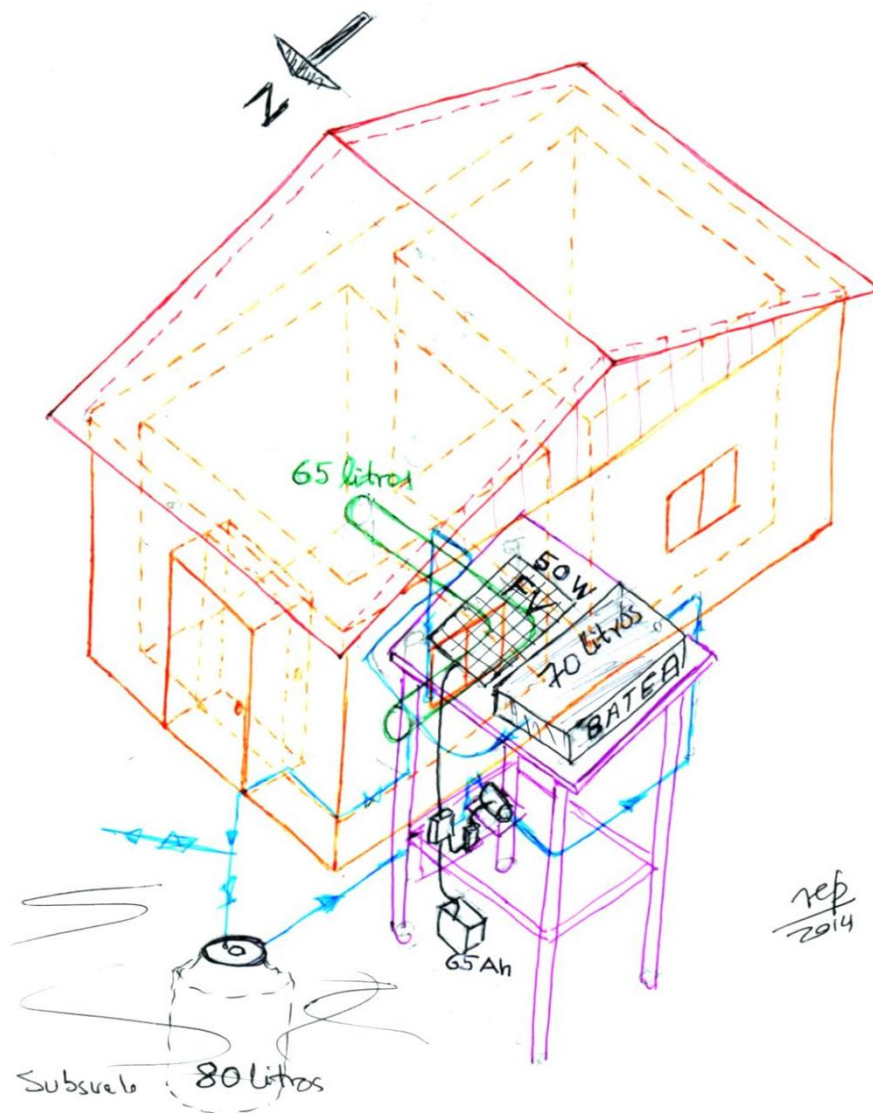


Figura 3.4.8. Concepción artística del MEV con detalles del sistema de calentamiento tubo radiante.

En la figura 3.4.8. se reproduce el circuito cerrado que sigue el flujo de agua como masa portadora del calor tomado del sol a través del colector solar de tipo batea de 70 litros de capacidad instalado sobre un soporte hecho con rollizos de eucalipto ubicado al lado izquierdo del MEV a un metro de distancia, sobre este mismo soporte se ha instalado el módulo FV de 50W_P que genera la EE-12VDC requerida para el funcionamiento de la bomba hidráulica instalada en la parte baja del soporte, en donde también se instaló la batería, el controlador de carga y el interruptor termo magnético para el encendido y apagado manual de la bomba. Se ha usado el color celeste para seguir el curso del agua y el verde para distinguir al tubo radiante en el interior de la habitación norte. El tanque enterrado de 80 litros de capacidad se ubica aproximadamente un metro alejado del MEV.

CAPÍTULO IV. EXPERIMENTACIÓN DEL MEV

4.1. Consideraciones para el diseño experimental

La experimentación del MEV construido está comprometida con la búsqueda de resultados que permitan opinar sobre la eficacia de cada uno de los dos sistemas solares diseñados e instalados como se explicó en el capítulo III anterior. Con esta premisa se tuvo las siguientes consideraciones para el diseño de los experimentos a desarrollar.

- a.** Medir y registrar la temperatura de partes y ambientes del MEV necesarias para demostrar la eficacia de los componentes bioclimáticos instalados, durante las 24 horas del día.
- b.** Diferenciar las partes del MEV que aportan calor de las que reciben calor.
- c.** Medir y registrar los parámetros del clima: temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento y radiación solar durante las 24 horas del día.
- d.** Considerar la conveniencia de introducir alguna variación en el estado físico del MEV que pudiese influir en el comportamiento del mismo y medir y registrar temperaturas bajo esta eventual situación.
- e.** Utilizar instrumentación probadamente confiable y con capacidad de almacenamiento de datos medido, tanto para temperaturas cuanto para parámetros del clima.

4.1.1. Programación experimental

A continuación se detalla el procedimiento de experimentación que se programó y aplicó parcialmente por no contar con apoyo local adecuado. No se aplicó las variantes números 5, 8 y 10 de la relación que sigue, en la que las letras N y S representan las habitaciones norte y sur y los símbolos Q_T y Q_R los calores irradiados por el tubo y muro radiantes respectivamente.

4.1.1.1. Pruebas básicas (PB)

- 01.** N+S con Q_T y Q_R inactivos.
- 02.** N con Q_T activo + S con Q_R inactivo.
- 03.** N con Q_T inactivo + S con Q_R activo.
- 04.** N con Q_T activo + S con Q_R activo

4.1.1.2. Variantes adicionales para alguna de las 4 pruebas básicas

- 05.** PB 04 + (una o dos personas pernoctando)
- 06.** PB 02 + (Dejando abierta una ventana en la noche)
- 07.** PB 03 + (Dejando abierta una ventana en la noche)
- 08.** PB 04 + (Con contrapuerta abierta y 2 ó 3 aperturas de puerta durante el día)
- 09.** PB 02 + (Calentamiento de agua durante 2 días consecutivos cubriendo colector durante la noche del día 1 al día 2)
- 10.** PB 03 + (Aumento de la radiación solar incidente en el colector de polipropileno por efecto del reflejo de la radiación solar a través de los espacios entre tubo y tubo del colector desde papel aluminio instalado por debajo de él)
- 11.** PB 04 + (Sin instalar una contraventana)
- 12.** PB 04 + (Sin instalar dos contraventanas)

Parte muy importante de este diseño experimental es la ubicación de los “puntos térmicos” de importancia, es decir, los lugares de ubicación de los sensores, sobre o en, el elemento o parte de la vivienda del que se necesita conocer su temperatura. Por ejemplo, el techo, una puerta, un muro, etc.

Los sensores están encapsulados en un cilindro metálico de 5 mm de diámetro y 25 mm de longitud y un cable de 6 metros que conduce la señal hasta pequeños acumuladores de la información generada (temperaturas medidas).

Se ha trabajado con instrumentos de medición ONSET HOBO Data Loggers, con dos de sus versiones, a) la llamada Micro Estación (ME) que mide y registra la temperatura del ambiente y su humedad relativa sin necesidad de acoplar sensores (sus superficies son elementos sensores), poseen además un orificio para insertar el conector de un sensor externo de temperatura, y b) el llamado Data Loggers (DL) que registra hasta 4 temperaturas diferentes a través de 4 cables conectados en él que conducen la señal

eléctrica generada por el sensor de temperatura ubicado en el extremo opuesto del cable de 20 pies de longitud.

4.2. Desarrollo del proceso experimental

De acuerdo con las consideraciones para el diseño experimental enunciadas en el acápite 4.1 anterior, se ha procedido con el desarrollo del proceso experimental de la forma que se explica a continuación.

- a. Todas las mediciones se hicieron en intervalos de 30 minutos durante las 24 horas del día registrándose automáticamente en memorias sólidas portadas por pequeños elementos (Data Logger, DA) a los que se conectaron los sensores de temperatura del tipo de resistencia variable.
- b. Se instaló sensores de temperatura en todos los puntos previstos.
- c. Se instalaron micro estaciones (ME) que miden y registran la temperatura y humedad relativa del ambiente en el que están y, eventualmente, otra temperatura a través de un sensor conectado a ella.
- d. Se instaló una estación meteorológica portátil y profesional instalada a 100m del MEV para medir y registrar automáticamente la temperatura y humedad relativa del ambiente, la dirección y velocidad del viento y la radiación solar global sobre superficie horizontal.

En el APÉNDICE III se incluye el detalle técnico de la ubicación e instalación de sensores.

Bajo la imagen técnica descrita, el periodo de mediciones se inició el lunes 19 de agosto de 2013 y durante los siguientes 12 días se observó el funcionamiento de los sistemas y se revisó la instalación de sensores y dispositivos de acumulación de información, corrigiendo en algunos casos deficiencias en las instalaciones. Esta vigilancia fue mantenida hasta el final del periodo de medición, 07 de noviembre de 2013.

Se instaló 64 sensores de temperatura en otros tantos puntos críticos del MEV utilizando 4 ME y 15 DL, posteriormente se agregó 2 DL y 7 sensores adicionales a partir del 01 de setiembre de 2013.

A lo largo del periodo de medición: 19 de agosto hasta 07 de noviembre, se hizo tres descargas de datos acumulados en las fechas que se indica seguidamente.

Primera descarga: 13 de setiembre de 2013.

Segunda descarga: 07 de octubre de 2013.

Tercera descarga: 07 de noviembre de 2013.

Los esquemas y fotografías de las figuras 4.2.1 ilustran la ubicación relativa de los sensores instalados.

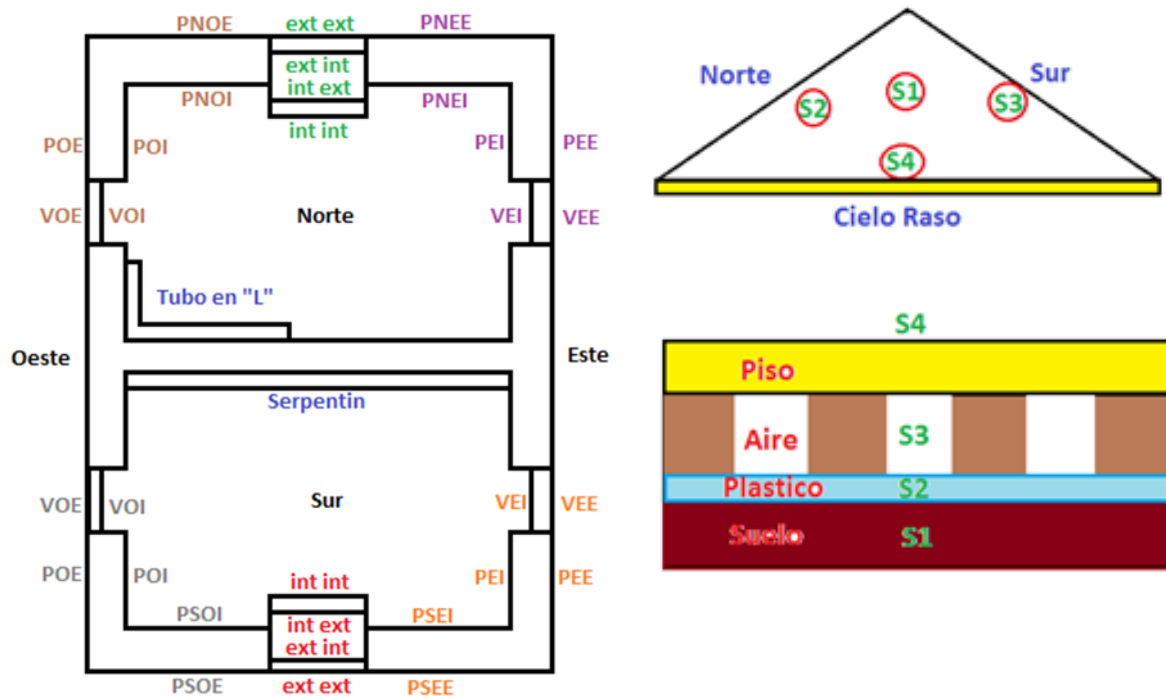


Figura 4.2.1. A la izquierda, esquema del contorno perimetral y muro divisorio del MEV, las ventanas y puertas y la referencia de lugares de instalación de sensores; a la derecha y arriba, el esquema reproduce las aguas y cielo raso del techo y la ubicación de los sensores dentro del espacio formado; el esquema de abajo a la derecha, muestra la posición relativa de 4 sensores en el suelo: S1 0,4m dentro de la tierra, S2 sobre la tierra y debajo de la manta de polietileno, S3 en el espacio de aire de 0,04m de altura y S4 sobre el piso de poliuretano.

La data experimental medida y acumulada de la forma que se acaba de explicar es sumamente abundante y formará parte de esta tesis como en archivos digitales incluidos en el APÉNDICE IV que tiene ese carácter, para dar una idea de esta abundancia, como

ejemplo se incluye en el APÉNDICE III el *registro de un solo día de un DL*, como este se tiene cerca de 900 grupos de datos (días-DL registrados).

A continuación se muestra una serie de fotografías que ilustran la ubicación de algunos de los sensores utilizados para medir temperaturas.



Figura 4.2.2. A la izquierda, fotografía de la posición del sensor de temperatura en el espacio que cubrirán las planchas de poliuretano formando el piso. A la derecha, fotografía de los sensores que miden la temperatura del ambiente interior de la habitación sur, el sensor “a”, que viene del fondo, pertenece al control automático de encendido y apagado de la bomba hidráulica, mientras que el sensor “b” es el que pertenece a la serie de sensores del plan experimental.



Figura 4.2.3. A la izquierda, fotografía del dispositivo hecho para sostener el sensor que medirá la temperatura del agua en el interior del tubo radiante ubicándolo a 0,30m de cada uno de sus dos extremos. A la derecha, la fotografía deja ver el dispositivo con el sensor en su posición final en el interior del tubo radiante.



Figura 4.2.4. Fotografías que ilustran el montaje de un sensor que medirá la temperatura superficial exterior del muro, antes de colocarlo en la cavidad preparada para albergarlo y después de haberlo hecho, cubierto con una mezcla de barro más cola para pegar madera. Esta capa de barro que cubre y protege al sensor es de 0,002 a 0,0033m de espesor a fin de lograr valores de la temperatura con mayor fidelidad.



Figura 4.2.5. A la izquierda, se muestra la posición de un sensor que medirá la temperatura de la superficie exterior del vidrio de la ventana en contacto con el ambiente exterior, de forma similar se montó un sensor sobre la superficie del vidrio interior en contacto con el ambiente interior; la imagen de la derecha muestra el sensor montado sobre otra ventana y, además, un sensor sobre la superficie exterior de un muro.



Figura 4.2.6. A la izquierda, se observa el distribuidor de flujo con las tuberías de llegada y retorno de agua del y al colector, así como las de entrada y salida del serpentín que aparecen con una porción de color verde cuyo detalle se observa en la fotografía del medio, esta porción es un trozo de manguera que se instaló para montar en él el sensor que mide la temperatura del agua en el interior de la tubería, a la entrada y a la salida del serpentín; originalmente se había instalado estos dos sensores haciendo un orificio sobre la tubería del circuito, cosa que no dio resultado por la imposibilidad de evitar el goteo del agua. La imagen de la derecha deja ver la posición de sensores sub superficiales en el muro que porta al serpentín, en posiciones aproximadas al inicio medio y final del serpentín.



Figura 4.2.7 A la izquierda, se observa el sensor que mide la temperatura del aire en el interior de la esclusa. A la derecha, se muestra los sensores instalados sobre las superficies de la puerta exterior (en posición abierta) e interior (en posición cerrada); se instaló sensores en ambas caras de cada una de las 4 puertas (2 puertas orientadas al norte y 2 puertas orientadas al sur).



Figura 4.2.8. A la izquierda se puede notar en la imagen el cable que entra (o sale) de la tubería de rebose del colector tipo batea correspondiente al sensor usado para medir la temperatura del agua en su interior, al centro y a la derecha se observa sensores adheridos a la superficie exterior del colector solar.

El sensor que se montó para medir la temperatura del agua en el interior de la batea del colector mostrado en la imagen de la izquierda de la figura 4.2.8 no reprodujo dicha temperatura porque hizo contacto no previsto con la superficie metálica del colector y lo que se midió fue la temperatura de esa superficie; las imágenes del medio y de la derecha de la misma figura dejan ver los cables de los sensores montados sobre la superficie del colector tipo rejilla en sus zonas de entrada (agua fría) y salida (agua caliente) respectivamente, en este caso se nota dos cables, uno corresponde al control automático de encendido y apagado de la bomba hidráulica que impulsa el agua y el otro corresponde al plan experimental.

4.2.1. *Apreciaciones finales*

El proceso experimental que se aplicó a cada uno de los ambientes del MEV y los sistemas de calentamiento correspondientes, se diseñó para obtener data experimental necesaria para determinar los incrementos de temperatura logrados en el aire de los ambientes interiores del MEV. Así mismo, la data experimental a obtener debe servir para elaborar cálculos de energía a efectos de determinar los calores generados y transferidos en el MEV en concordancia con el escenario térmico representado por el esquema de la figura 4.2.9.

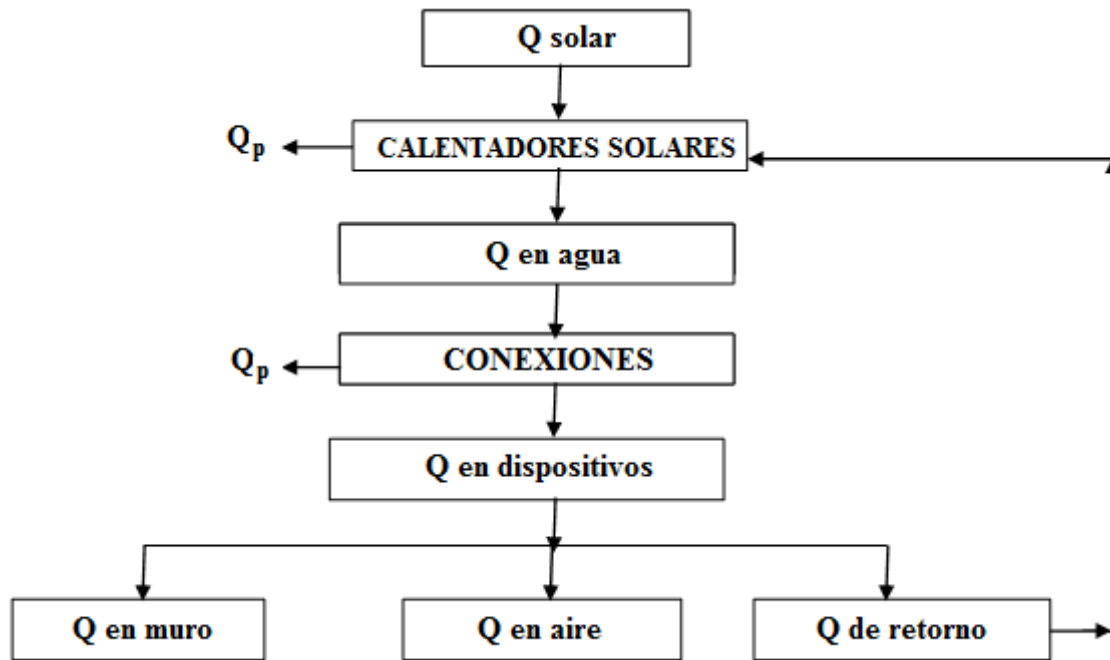


Figura 4.2.9. Esquema representativo de la distribución del calor solar utilizado para calentar el agua en cada uno de los calentadores solares conectados, uno al muro radiante y otro al tubo radiante, así como los calores resultantes de la transferencia desde cada componente bioclimático al aire interior de cada habitación.

La idea es que sobre la base de los resultados obtenidos para los calores de importancia (dispositivos, muro, aire) se identifica las relaciones existentes entre estos y el origen o calor solar, estableciendo a la par las relaciones dimensionales correspondientes que permitan configurar modelos de comportamiento a través de los cuales se pueda dimensionar futuras instalaciones, relacionando el calor solar con las dimensiones de calentadores e incrementos de temperatura logrados en el aire del interior de las habitaciones.

Así mismo, se calificará el rendimiento térmico y la eficacia de cada uno de los sistemas de calentamiento utilizados.

4.2.2. Especificaciones técnicas de equipos e instrumentos utilizados.

- Sistema FV de para bombeo de agua.
- Equipos y accesorios para sistema de muro radiante:
- Sensores de temperatura
- Estación meteorológica

4.3. Resultados experimentales

Los datos experimentales obtenidos se ordenaron día por día tanto para los registros de la habitación norte cuanto para los de la habitación sur y en el APÉNDICE III se incluye a modo de ejemplo el ordenamiento correspondiente al día 30 de octubre de 2013 para la habitación norte, el resto de información queda incluida en el ANEXO IV (DIGITAL) de esta tesis. Se cuenta con cerca de 540 grupos de información experimental de este tipo.

4.3.1. Parámetros meteorológicos

La gráfica de la figura 4.3.1 condensa la información de la radiación solar medida desde el 01 de octubre hasta el 07 de noviembre de 2013.

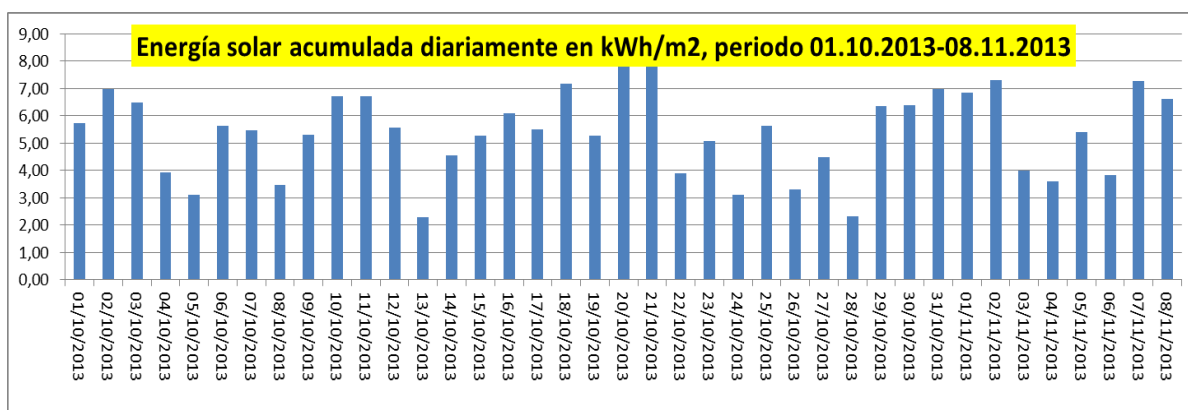


Figura 4.3.1. Energía solar diaria acumulada en kWh/m² calculada sobre la base de valores de la potencia solar medida y registrada, en W/m², a intervalos de 30 minutos durante las 24 horas del día.

4.3.2. Observaciones sobre el proceso experimental y los resultados obtenidos en su desarrollo.

Todo el periodo de mediciones experimentales de las temperaturas interiores del MEV, Ti_N y Ti_S, así como la del ambiente exterior, Te, y de la radiación solar instantánea, H, está comprendido entre el 21 de agosto y el 07 de noviembre de 2014, más, hubo varios días de ajustes en los que los datos experimentales perdieron fidelidad y, por ello, los resultados correspondientes no son suficientemente representativos, situación que terminó de controlarse el día 06 de octubre de 2014.

Desde el 19 hasta el 31 de agosto se observó el funcionamiento y operatividad integral del MEV, lo que determinó la instalación de dos sensores de temperatura en contacto directo con el agua dentro del serpentín, a la "entrada" y a la "salida" del serpentín del muro (agua caliente y agua fría), practicando orificios en la tubería que fueron sellados después de hacer dichas instalaciones, operación que no dio resultado, la gotera fue persistente por unos días y luego no se tuvo reportes hasta el 13 de setiembre que se encontró el serpentín sin goteo y la bomba funcionando pero no se percibía calentamiento superficial del serpentín. Se hizo la primera descarga de datos experimentales acumulados en las memorias de los data loggers. En consecuencia, este periodo es incierto respecto al comportamiento del serpentín. El sistema de tubo radiante no presentó, en apariencia, situaciones anómalas.

Por lo observado los días 13 y 14 de setiembre, se decide vigilar constante el desempeño de ambos sistemas de calentamiento y analizar los primeros resultados experimentales que se obtuvo, particularmente aquellos que correspondían a las temperaturas del agua en el interior del serpentín y en el interior del tubo radiante. Así, se comprueba que el agua dentro del serpentín no estaba caliente en donde debería estarlo y que el agua en el tubo radiante no lo llenaba totalmente. Por estos motivos se decide una inspección del sistema serpentín que generó dos decisiones importantes: a) reinstalar los dos sensores en el interior del serpentín eliminando la gotera que persistía, b) recortar la longitud del tubo radiante de modo que su volumen interior sea igual a 65 litros para garantizar su llenado completo.

Producto de la inspección se comprueba también que la válvula de control de circulación del agua en el serpentín estuvo cerrada, por lo que la circulación no se producía. Entre los días 02 y 06 de octubre se realizaron las reparaciones decididas y, luego, se comprobó la circulación normal del agua dentro del serpentín y, por ende, su calentamiento en el colector y su enfriamiento mientras pasa por el serpentín. Así mismo, se comprobó el llenado total del tubo radiante con el agua procedente del colector de batea, de esta manera se eliminaron dudas e incertidumbres experimentales y se dio inicio al periodo de mediciones con garantía total de fidelidad.

El periodo de mediciones de las temperaturas interiores del MEV, T_{i_N} y T_{i_S} , comprendido desde el día 07 de octubre hasta el día 06 de noviembre de 2014 tuvo un

control preciso de aquellas y, por ello, se constituye en el de mayor fidelidad de resultados experimentales representativos y comparables.

4.4. Procesamiento de resultados experimentales

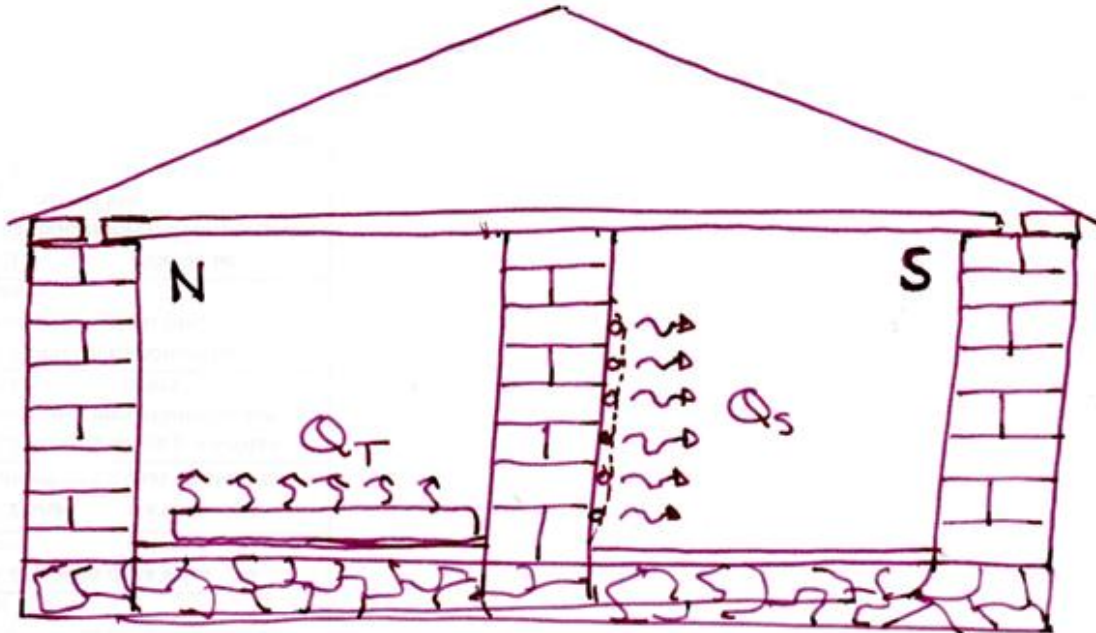


Figura 4.4.1. Esquema que permite ver la ubicación relativa de los dos ambientes y los dispositivos de calentamiento respecto a las orientaciones norte (N) y sur (S) geográfica.

En el ambiente sur (S), Q_S representa todo el calor que transfiere el muro a la habitación. Similarmente Q_T corresponde al calor total transferido por el tubo a la habitación norte (N). En ambos casos este calor total tiene los componentes radiativa y convectiva y el supuesto es que la transferencia de calor es mayoritariamente por radiación por que el aire de cada ambiente está sensiblemente quieto o adquiere el propio movimiento del efecto convectivo.

Para el cálculo de estos calores se ha procedido de la manera que se explica a continuación.

4.4.1. Calor desde el tubo radiante: Q_T

$$Q_T = M \cdot C_p \cdot (T_{18} - T_{06})$$

En dónde: Q_T : Calor total que transfiere el tubo radiante a la habitación, kJ

M: Masa total de agua contenida en el tubo radiante, kg

CP: Calor específico del agua, kJ/kg.K

T18: Temperatura del agua en el tubo radiante a las 18h del día actual, °C

T06: Temperatura del agua en el tubo radiante a las 06h del día siguiente, °C

4.4.2. Calor desde el serpentín: Q_s

Este cálculo se realizó sobre la base de la temperatura del agua con glicol, medida a la entrada del serpentín y a la salida del mismo, considerando que esos valores se mantienen constantes durante los 30 minutos del intervalo de medición, aplicación que no introduce error puesto que el valor almacenado automáticamente es el promedio de los valores que registra la memoria del data logger de lecturas hechas durante el intervalo que termina en el minuto 30, aplicando la misma ecuación anterior para cada intervalo y luego sumar los calores obtenidos.

$$Q_s = P \cdot C_p \cdot (T_E - T_S) \cdot t$$

En dónde:

Q_s : Calor total que transfiere el serpentín al muro radiante a la habitación, kJ

P: Caudal de circulación del fluido de agua más glicol (85% + 15%), kg/s

C_p : Calor específico de la mezcla, kJ/kg.K

T_E : Temperatura de la mezcla en el inicio del serpentín, °C

T_S : Temperatura de la mezcla en el final del serpentín, °C

t: Tiempo del intervalo, s

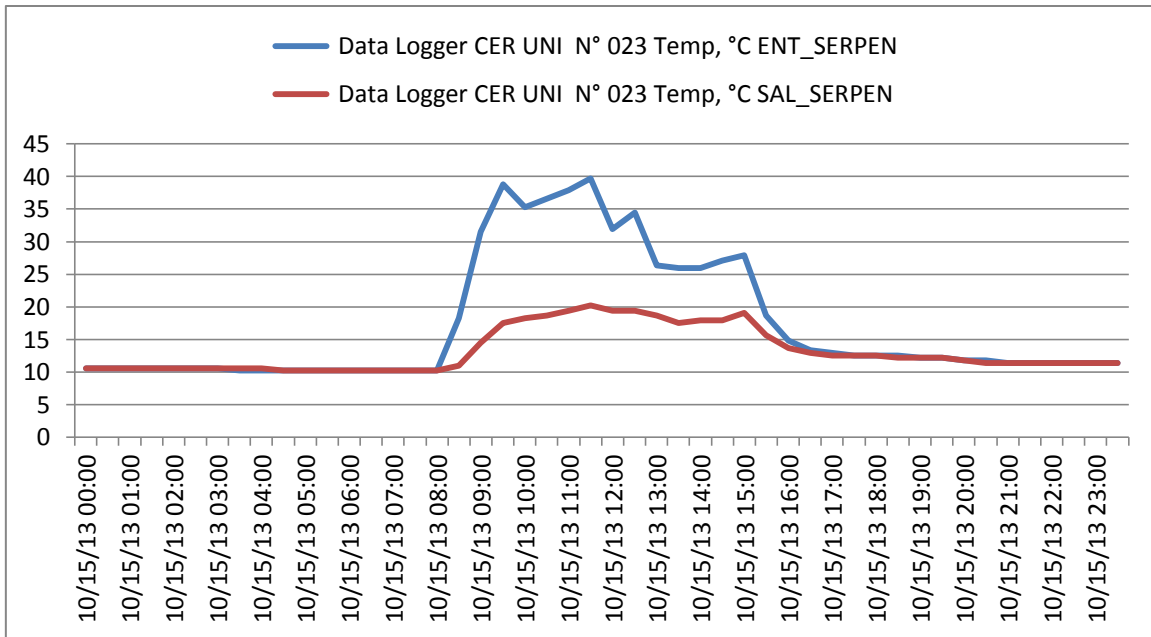


Figura 4.4.2. Performance diaria de las temperaturas de la mezcla agua + glicol al inicio (curva azul) y final (curva roja) del serpentín.

La figura 4.4.2 muestra el comportamiento del fluido al interior de la tubería del serpentín para el día 15 de octubre de 2013 y la tabla 4.4.1 incluye los valores numéricos correspondientes.

Tabla 4.4.1. Valores medidos de temperatura y valores calculados de energía

Time, GMT-05:00	Data Logger CER UNI N° 023		DIF	kWh m.cp.dT	
	Temp, °C ENT_SERPEN	Temp, °C SAL_SERPEN			
10/15/13 08:00:00	10,21	10,21	0	0,00	
10/15/13 08:30:00	18,28	10,99	7,29	0,40	
10/15/13 09:00:00	31,52	14,47	17,05	0,95	
10/15/13 09:30:00	38,77	17,52	21,25	1,18	
10/15/13 10:00:00	35,27	18,28	16,99	0,94	
10/15/13 10:30:00	36,57	18,66	17,91	0,99	
10/15/13 11:00:00	37,88	19,42	18,46	1,02	
10/15/13 11:30:00	39,67	20,19	19,48	1,08	
10/15/13 12:00:00	31,93	19,42	12,51	0,69	
10/15/13 12:30:00	34,43	19,42	15,01	0,83	
10/15/13 13:00:00	26,34	18,66	7,68	0,43	
10/15/13 13:30:00	25,95	17,52	8,43	0,47	
10/15/13 14:00:00	25,95	17,9	8,05	0,45	
10/15/13 14:30:00	27,12	17,9	9,22	0,51	
10/15/13 15:00:00	27,91	19,04	8,87	0,49	
10/15/13 15:30:00	18,66	15,62	3,04	0,17	
10/15/13 16:00:00	14,85	13,7	1,15	0,06	
10/15/13 16:30:00	13,32	12,93	0,39	0,02	10,69

Consecuentemente el fluido que circuló dentro del serpentín entre las 08:00h y las 16:30h del día 15 de octubre de 2013 transfirió 10,69 kWh de energía al muro radiante. La radiación solar diaria acumulada fue en el mismo día igual a 5,15 kWh/m², por lo que se interpreta la eficiencia del sistema con serpentín equivalente al resultado de la operación: $(10,69/5,15*0,962*4,8)*100 = 44,95\%$. En este cálculo 10,69 es la suma de los calores parciales de cada intervalo, 0,962 el factor de cambio de radiación horizontal a radiación inclinada y 4,8 el área del colector solar instalado sobre el techo del MEV.

Para el caso de la habitación norte en la que se instaló el tubo radiante, un ejemplo del cálculo del Q_T sería como sigue.

Date	18h-06h	T_tubo_C	T_tubo_F	Radiación	BATEA	Q(TUBO)
09/16/13	16-17	38,421	17,653	7,063	2,378	1,567

El día de referencia es el 16 de setiembre de 2013 para el que la temperatura del agua dentro del tubo radiante medida a las 18:00h es igual a 38,421 °C y la temperatura del agua medida a las 06:00h del día siguiente es 17,653 °C; la energía solar diaria acumulada sobre superficie horizontal es 7,063 kWh/m² y la que incide sobre la superficie del colector de batea cuya área es 0,35m² es igual a 2,378 kWh, considerando el factor de cambio de radiación horizontal a radiación inclinada igual a 0,962; la energía que transfirió el tubo radiante a la habitación es igual a 1,567 kWh, resultado de calcular la energía de 65kg de agua que se enfriaron desde 38,421 °C hasta 17,653 °C.

De esta manera se ha calculado estos calores para todos los días del periodo de ensayo y son mostrados en tablas que se ubican más abajo.

Para estimar el efecto de cada uno de los dos componentes bioclimáticos instalados en cada una de las dos habitaciones se ha recurrido al concepto del *Principio de superposición* enunciado por el profesor Gilles Lefebvre de la Universidad Paris Est en el contexto temático de la inercia térmica de las edificaciones, así, los textos e imágenes de las figuras 4.4.3 y 4.4.4 que siguen a continuación han sido tomadas de la información correspondiente al curso de la Maestría de Energías Renovables y Eficiencia energética, MER713A INERCIA TÉRMICA DE LOS EDIFICIOS Y CONFORT, dictado por el Profesor Gilles Lefebvre durante el ciclo académico 2013-2, que explican el principio citado arriba.

Si no ocurriera ninguna ganancia energética en el interior del edificio, la temperatura interior media, $T_{i\ med}$ sería igual a la media exterior $T_{e\ med}$, así:

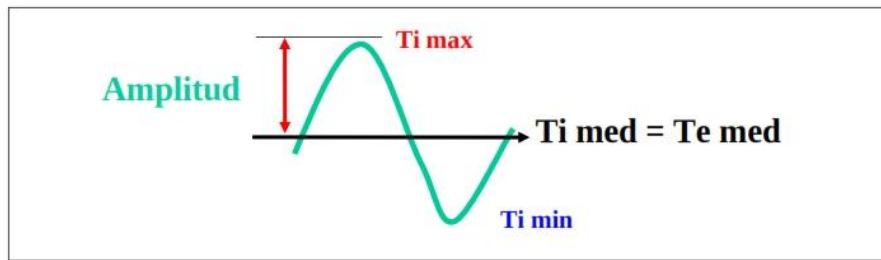


Figura 4.4.3. Representación de una oscilación térmica para un periodo temporal que, para el caso actual, es igual a 24 horas, durante el cual se registrarán la máxima y la mínima temperatura.

Pero ocurren inevitablemente aportes energéticos en los edificios; son;

- ❖ Los aportes internos como consecuencia de la ocupación.
- ❖ Las ganancias solares por las aperturas.
- ❖ Las ganancias solares por las paredes opacas.

Eso tiene como consecuencia que la temperatura interior media $T_{i\ med}$ es siempre superior a la exterior $T_{e\ med}$

$T_{i\ med} > T_{e\ med}$

Podemos llamar esa diferencia de temperaturas promedias con el nombre de “ganancia térmica” o “suplemento de temperatura media”.

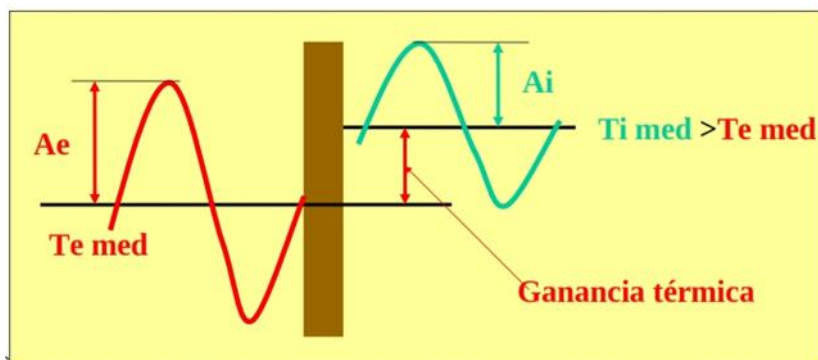


Figura 4.4.4. Comparación de las oscilaciones térmicas correspondientes a un mismo periodo para dos ambientes diferentes separados por una pared. En el caso del MEV interpretamos el ambiente exterior y el ambiente interior.

Entonces la temperatura interior puede expresarse como:

$$T_i = T_{e \text{ med}} + \Delta T + A_i \cos(\omega t)$$

T_i = temperatura interior en un instante t (°C),
 $T_{e \text{ med}}$ = temperatura exterior media a lo largo del día (°C)
 ΔT = ganancia térmica (°C)
 A_i = amplitud interior (°C)
 $A_i \cos(\omega t)$ = función senoide de la amplitud interior, donde ω es la pulsación igual a $2\pi/P$, P siendo el periodo considerado (consideraremos por ejemplo 24 horas).

De este principio de superposición se toma el concepto sustantivo en lo que respecta a obtener resultados objetivos y contrastables que respalden los valores numéricos obtenidos con las mediciones hechas.

De hecho no es el caso calcular la inercia térmica del MEV, más, las relaciones acabadas de exponer se cumplirían si ese fuese el caso, adicionalmente, se agregaría el efecto del calentamiento debido a los componentes bioclimáticos instalados y es cierto por supuesto que, en este caso, están presente los dos efectos, el de la inercia y el de los componentes bioclimáticos y será materia de otro trabajo futuro discriminar estos efectos.

En este contexto, se ha calculado esta diferencia de temperaturas llamada *ganancia térmica* que de hecho lo es, para todos los días del periodo de ensayo, pero aquí solo se presenta los resultados para el tiempo comprendido entre el 07 de octubre y 07 de noviembre de 2013, considerado como el de mayor fidelidad.

4.4.3. Criterios aplicados en el cálculo de la ganancia térmica

En el análisis de los resultados experimentales correspondientes al calentamiento del aire interior de los ambientes Norte y Sur, se ha aplicado los criterios que se relatan más abajo con el fin de evaluar comparativamente el funcionamiento de cada uno de los dos dispositivos de calentamiento ensayados en los ambientes interiores.

1. Considerar como periodo del efecto del dispositivo de calentamiento 24 horas, es decir, todo el día.

2. Considerar también 12 horas como periodo de efecto del dispositivo de calentamiento, al tiempo transcurrido desde las 18:00 horas de un día y las 06:00 horas del día siguiente, como el de mayor requerimiento de apoyo térmico.
3. Calcular la diferencia entre la temperatura media del ambiente interior y la temperatura media del ambiente exterior, o ΔT , para ambos periodos definidos, 24h y 12h.
4. Definir **EFFECTIVIDAD** como el *efecto de calentamiento interior en °C por cada kWh de energía solar incidente sobre la superficie de cada colector solar: el de rejilla y el de batea*, sus unidades son entonces °C/kWh-día; y calcularlo para los dos periodos definidos, 24h y 12h dividiendo el valor de ΔT (tabla 4.4.2) entre el valor de ENERGÍA (tabla 4.4.3).
5. Definir **EFICIENCIA** como la relación existente entre el calor total diario en el dispositivo de calentamiento (serpentín, tubo) y la energía solar diaria que incidió sobre la superficie de cada colector correspondientemente y expresarla en %.
6. Calcular el calor total diario portado por el agua al interior del serpentín ($Q_{\text{SERPENTÍN}}$ [kWh-día]) y también el que porta el agua en el interior del tubo (Q_{TUBO} [kWh-día]), en ambos casos en función de las temperaturas medidas de las aguas correspondientes en los momentos adecuados.
7. Calcular la eficiencia global diaria de cada colector relacionando el calor que porta el agua que contiene, con la energía solar global diaria que incidió sobre la superficie de cada colector, denominada ENERGÍA [kWh-día].

Tabla 4.4.2. Resultados de cálculo aplicando los criterios acabados de enunciar

CUADRO RESUMIDO DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES DE TEMPERATURAS (°C) MEDIDAS EN EL INTERIOR DEL MEV Y EL AMBIENTE EXTERIOR									
Fecha	PERIODO 24h		PERIODO 18h-06h		PERIODO 18:00h-06:00h			Radiación H (W/m ² - día)	Te- med 24h
	ΔT_{24_N}	ΔT_{24_S}	ΔT_{12_N}	ΔT_{12_S}	Ti_Nmed	Ti_Smed	Te_med		
10/07/13	2,4	3,2	4,6	4,8	11,2	11,4	6,7	5,46	9,8
10/08/13	2,0	1,4	8,1	6,1	11,3	9,3	3,2	3,47	10,1
10/09/13	2,8	1,5	4,6	3,4	11,0	10,2	6,9	5,29	9,1
10/10/13	2,3	2,5	5,7	5,8	10,8	8,9	3,2	3,65	8,6
10/11/13	1,6	1,6	3,5	3,2	11,7	9,7	6,5	6,71	8,8
10/12/13	2,1	2,3	4,5	3,5	11,7	10,4	7,0	5,56	8,9
10/13/13	3,4	3,3	5,9	4,6	9,9	8,6	4,1	2,28	7,3
10/14/13	3,8	2,8	3,8	2,8	10,5	9,4	6,6	4,56	6,9
10/15/13	1,3	0,5	3,5	2,3	9,9	11,0	8,7	5,25	10,8
10/16/13	2,0	2,3	4,0	4,7	11,1	11,8	7,2	6,09	9,6
10/17/13	2,2	2,3	4,9	3,0	11,0	12,2	9,2	5,48	10,9
10/18/13	2,5	3,1	4,6	5,3	12,3	13,0	7,7	7,17	9,8
10/19/13	2,8	3,3	6,2	7,1	10,7	11,6	4,5	5,28	10,7
10/20/13	2,4	3,3	3,8	4,1	10,5	12,7	6,7	7,92	10,0
10/21/13	3,1	4,5	4,5	4,6	11,7	12,8	5,4	7,86	9,3
10/22/13	4,0	5,6	4,5	4,9	11,8	12,7	4,9	3,87	8,0
10/23/13	1,6	1,9	4,0	3,9	11,9	11,2	7,4	5,06	11,9
10/24/13	3,3	3,4	4,9	5,1	11,5	11,6	6,6	3,12	9,2
10/25/13	1,2	2,7	4,3	5,4	12,6	13,8	8,4	5,64	10,9
10/26/13	2,9	1,8	5,3	4,3	11,7	10,7	6,5	3,29	9,9
10/27/13	3,7	4,3	5,3	4,7	11,5	10,9	6,2	4,48	7,9
10/28/13	2,8	3,0	5,7	4,2	11,2	9,8	5,6	2,32	8,2
10/29/13	0,7	0,9	3,0	2,5	11,0	13,4	7,5	6,33	10,9
10/30/13	2,1	2,1	1,1	3,9	11,1	10,4	7,9	6,40	9,7
10/31/13	1,3	1,7	4,7	2,8	11,5	11,5	7,6	6,96	11,2
11/01/13	2,3	1,4	4,6	2,9	11,2	9,5	6,6	6,83	9,8
11/02/13	3,1	2,4	5,5	6,8	11,1	12,4	5,6	7,31	9,0
11/03/13	3,2	4,6	3,6	3,8	12,1	12,3	8,5	3,99	8,4
11/04/13	3,5	2,7	6,2	4,7	11,8	10,2	5,6	3,59	9,6
11/05/13	3,3	2,1	5,2	4,8	12,0	11,6	6,8	5,41	9,7
11/06/13	3,2	3,0	6,1	4,5	13,5	11,9	8,7	3,81	9,2

Tabla 4.4.3. Valores resultantes de cálculos de energía y rendimientos de cada componente bioclimático para los días transcurridos desde el 07 de octubre hasta el 06 de noviembre de 2013.

COLECTOR REJILLA (SUR)					COLECTOR DE BATEA (NORTE)				
ENERGÍA A (kWh- día)	EFECTIVIDAD (°C/kWh- día)		Q _{SERPEN} TÍN (kWh- día)	EFICIENCIA (%)	ENERGÍA (kWh- día)	EFECTIVIDAD (°C/kWh- día)		Q _{TU} BO (kW h- día)	EFICIENCIA (%)
	24h	12h				24h	12h		
	25,23	0,13				0,19	1,22		
16,04	0,09	0,38	5,45	34,0	1,17	1,75	6,90	0,66	56,00
24,42	0,06	0,14	0,38	1,6	1,78	1,59	2,61	0,10	5,46
16,84	0,15	0,34	4,68	27,8	1,23	1,85	4,66	0,72	58,35
31,00	0,05	0,10	---	---	2,26	0,71	1,55	1,24	54,67
25,66	0,09	0,14	13,01	50,7	1,87	1,10	2,39	1,52	81,37
10,54	0,31	0,43	2,87	27,3	0,77	4,49	7,64	0,13	16,82
21,05	0,13	0,13	5,38	25,6	1,54	2,45	2,49	0,78	50,86
24,25	0,02	0,10	11,24	46,4	1,77	0,72	2,00	0,08	4,64
28,12	0,08	0,17	12,81	45,5	2,05	1,00	1,93	0,90	44,10
25,32	0,09	0,12	10,64	42,0	1,85	1,21	2,66	1,16	62,73
33,09	0,09	0,16	13,39	40,5	2,41	1,04	1,92	1,45	60,14
24,37	0,14	0,29	2,13	8,8	1,78	1,56	3,48	0,14	7,95
36,59	0,09	0,11	15,30	41,8	2,67	0,90	1,43	0,16	6,03
36,28	0,12	0,13	9,53	26,3	2,65	1,15	1,69	0,09	3,49
17,89	0,31	0,27	2,84	15,9	1,30	3,08	3,41	0,08	6,40
23,38	0,08	0,17	8,67	37,1	1,70	0,95	2,34	0,06	3,73
14,40	0,24	0,35	3,53	24,5	1,05	3,18	4,67	0,07	6,42
26,04	0,10	0,21	10,29	39,5	1,90	0,63	2,26	1,43	75,24
15,21	0,12	0,28	5,28	34,7	1,11	2,65	4,74	0,64	57,81
20,67	0,21	0,23	6,76	32,7	1,51	2,47	3,50	0,07	4,82
10,70	0,28	0,39	3,29	30,7	0,78	3,53	7,27	0,47	59,97
29,24	0,03	0,08	12,90	44,1	2,13	0,32	1,42	1,17	54,85
29,54	0,07	0,13	14,34	48,5	2,15	0,96	0,51	0,10	4,46
32,13	0,05	0,09	12,00	37,4	2,34	0,56	1,99	1,56	66,73
31,53	0,04	0,09	11,14	35,3	2,30	1,00	2,00	0,14	6,17
33,74	0,07	0,20	12,43	36,8	2,46	1,25	2,23	0,09	3,55
18,42	0,25	0,21	6,05	32,8	1,34	2,39	2,71	0,04	2,98
16,59	0,16	0,28	6,76	40,7	1,21	2,86	5,11	0,57	47,43
25,00	0,08	0,19	9,78	39,1	1,82	1,80	2,84	1,03	56,27
17,61	0,17	0,26	5,66	32,1	1,28	2,45	4,74	1,00	77,74

4.4.4. Performance diaria de parámetros experimentales

Los parámetros de mayor significación, entre todos los que se ha medido, son aquellos que representan los estados de partes o componentes del MEV susceptibles de variación en su temperatura por efecto del aporte de calor hecho por el muro radiante y el tubo radiante, estos son las temperaturas que se describe a continuación.

- | | |
|---|---------------|
| 1. Interior de la habitación norte | : T_INT_NORTE |
| 2. Interior de la habitación sur | : T_INT_SUR |
| 3. Del ambiente exterior | : T_EXT |
| 4. Del agua en el tubo radiante, extremo 1 | : ENTRADA_TR |
| 5. Del agua en el tubo radiante, extremo 2 | : REPIRAD_TR |
| 6. Del fluido en la tubería, inicio del serpentín | : ENT_SERP |
| 7. Del fluido en la tubería, fin del serpentín | : SAL_SERP |

Los valores medidos de estas siete (07) temperaturas se han graficado agrupadas convenientemente de modo tal que se vea contrastes de interés y son presentados en la figura 4.4.5 así mismo, se presenta en las figuras 4.4.6, 4.4.7, 4.4.8 y 4.4.9 las performances térmicas de partes y componentes del MEV correspondientes al día 15 de octubre de 2013, con el detalle descrito más abajo. Se ha construido estas curvas similares para todo el periodo de ensayo, información que se está incluida en el ANEXO DIGITAL de esta tesis.

La figura 4.4.6 muestra las temperaturas de las superficies interiores y superficies exteriores de los muros con orientación hacia el este (E), hacia el oeste (O), hacia el sur (SE, SO) y hacia el norte (NE, NO) de las habitaciones sur y norte respectivamente.

La figura 4.4.7 muestra las temperaturas de las superficies exteriores e interiores de los vidrios de las 4 ventanas; temperaturas de las superficies de los lados de puertas, y contrapuestas, así como la de la esclusa.

La figura 4.4.8 muestra temperaturas de superficies y espacios correspondientes al piso aislado, techumbre y falso techo aislado. Y la figura 4.4.9 muestra las temperaturas del muro radiante, en el líquido portador de calor entrando y saliendo del serpentín, en la superficie del serpentín en zonas de inicio, media y fin del serpentín y, en la superficie del muro radiante, también en zonas aproximadas al inicio, media y fin del serpentín.

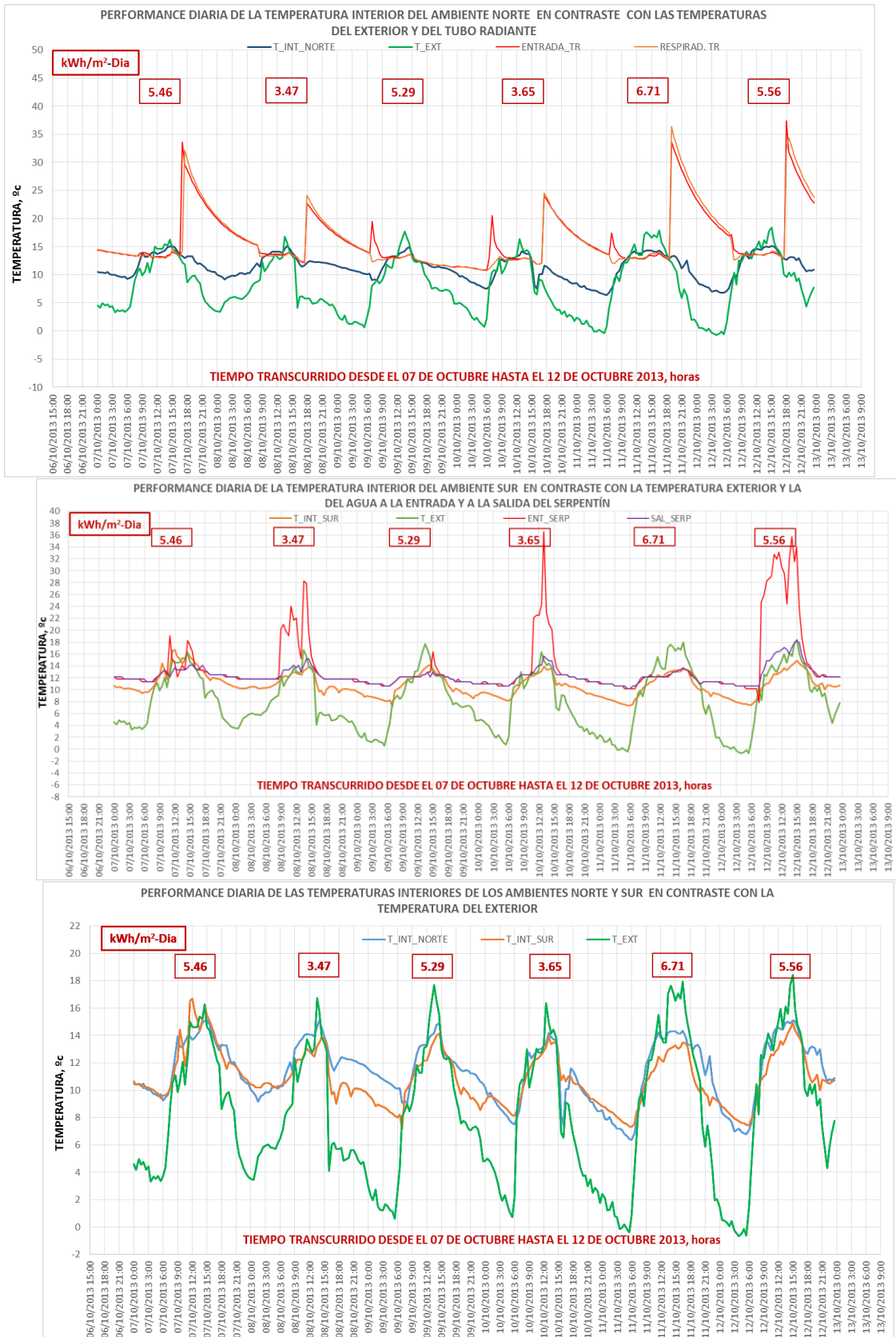


Figura 4.4.5. Performance térmica medida en las habitaciones norte (arriba) y sur (al medio) vistas desde los estados térmicos de sus respectivas componentes bioclimáticas.

Abajo, performance térmica diaria de las temperaturas interiores y la temperatura exterior. La energía solar, es mostrada en los recuadros ubicados encima del grupo de curvas, en posición correspondiente a cada uno de los días presentados, en kWh/m².

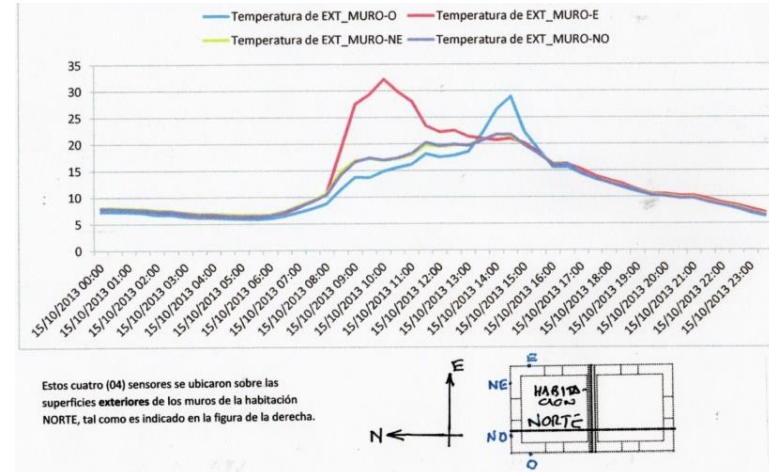
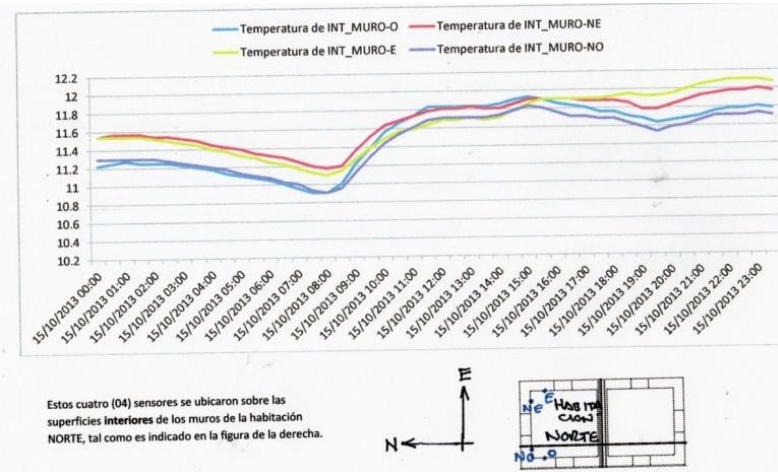
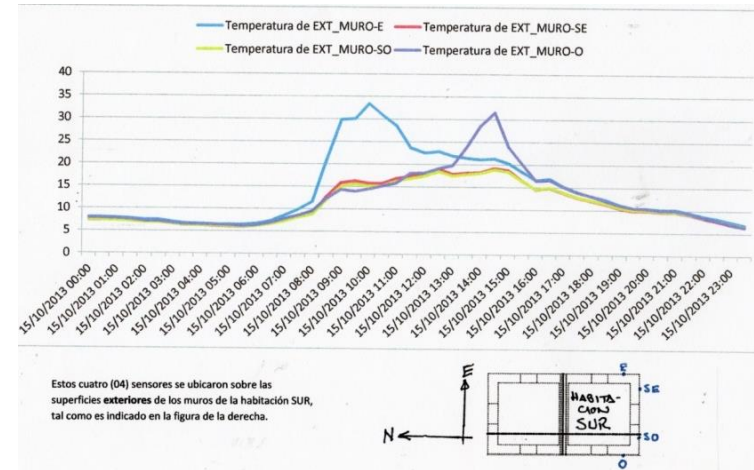
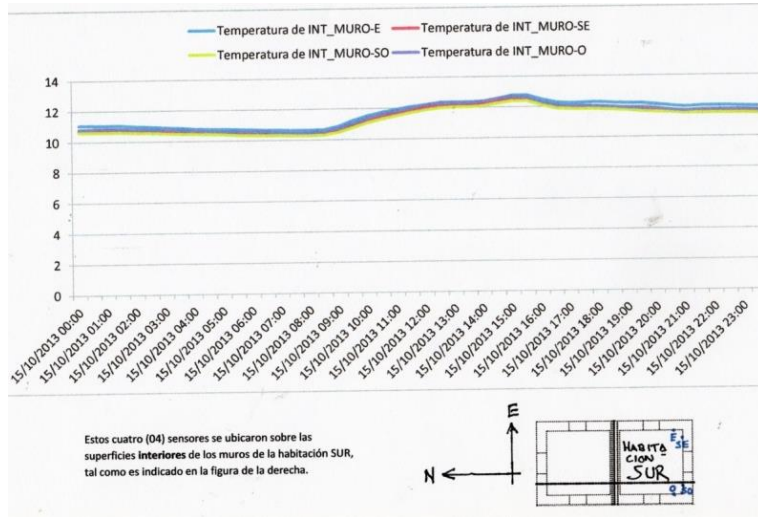
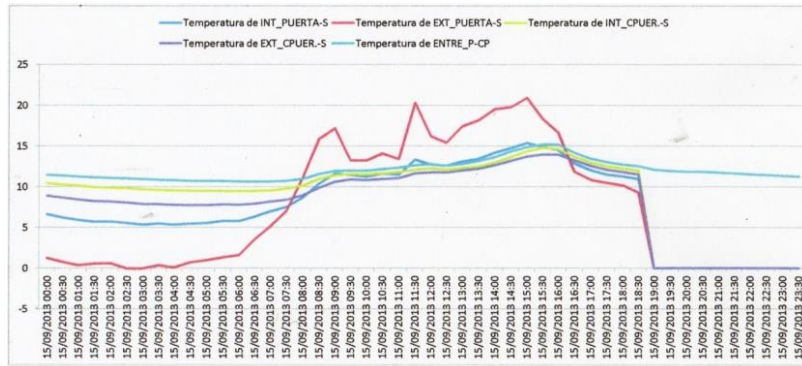
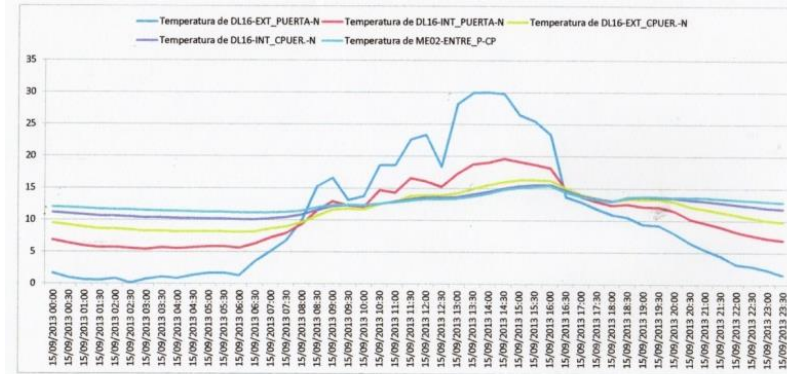


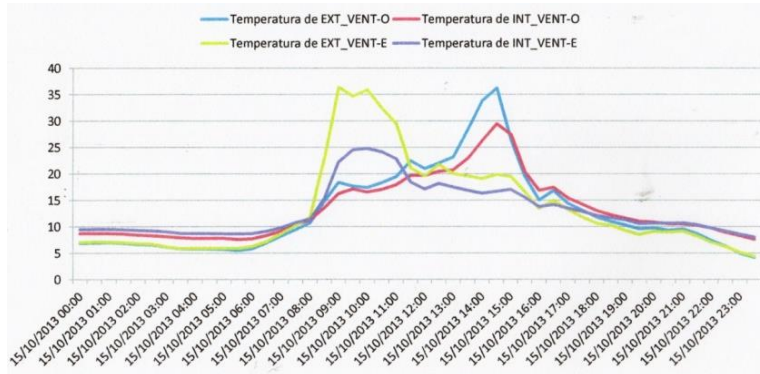
Figura 4.4.6. Performance térmica diaria de las superficies interiores y exteriores de los muros de las habitaciones sur (arriba) y norte (abajo), en las posiciones ilustradas en los esquemas ubicados abajo del eje de tiempos de cada gráfica.



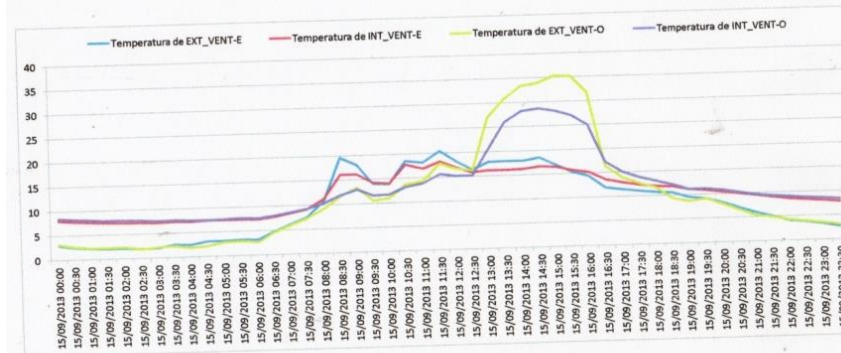
Estos cuatro (04) sensores se ubicaron sobre las superficies exterior e interior de la puerta (PUERTA-S) y de la contrapuerta (CPUER-S) y el espacio entre puerta y contrapuerta, de la habitación SUR.



Estos cuatro (04) sensores se ubicaron sobre las superficies exterior e interior de la puerta (PUERTA-N), de la contrapuerta (CPUER-N) y el espacio entre puerta y contrapuerta, de la habitación NORTE.



Estos cuatro (04) sensores se ubicaron sobre las superficies exterior e interior de los vidrios (dos espaciados 0,01m) de las ventanas de los muros al este (VENT_E) y al oeste (VENT_O) de la habitación NORTE.



Estos cuatro (04) sensores se ubicaron sobre las superficies exterior e interior de los vidrios (dos espaciados 0,01m) de las ventanas de los muros al este (VENT_E) y al oeste (VENT_O) de la habitación SUR.

Figura 4.4.7. Performance térmica diaria de las superficies de puertas, contrapueetas, ventanas y de la esclusa, ubicadas en ambas habitaciones.

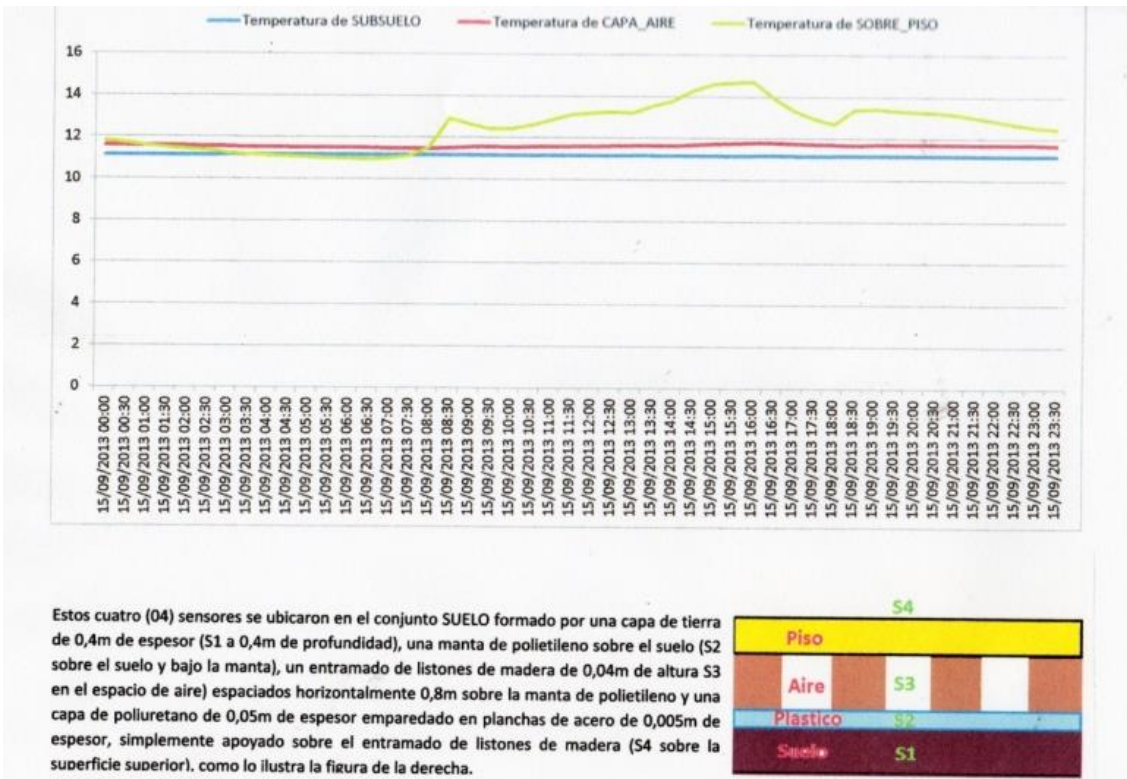
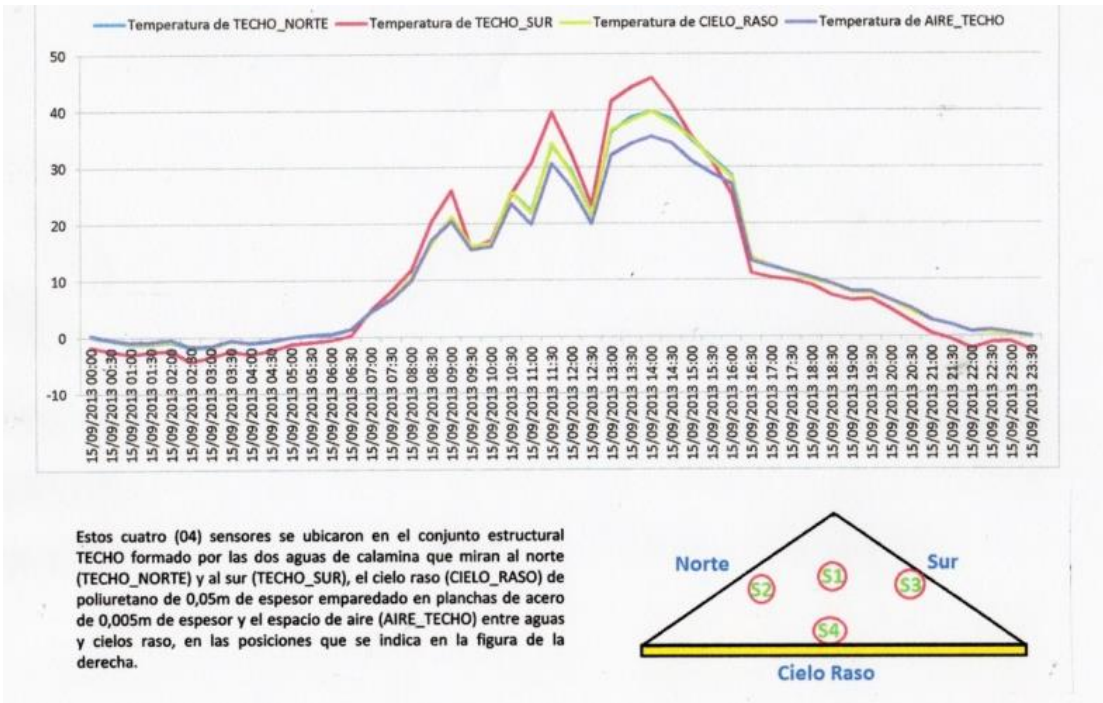
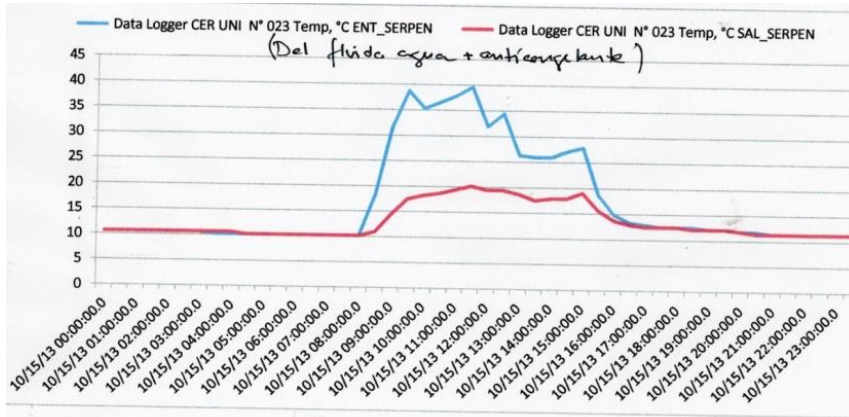
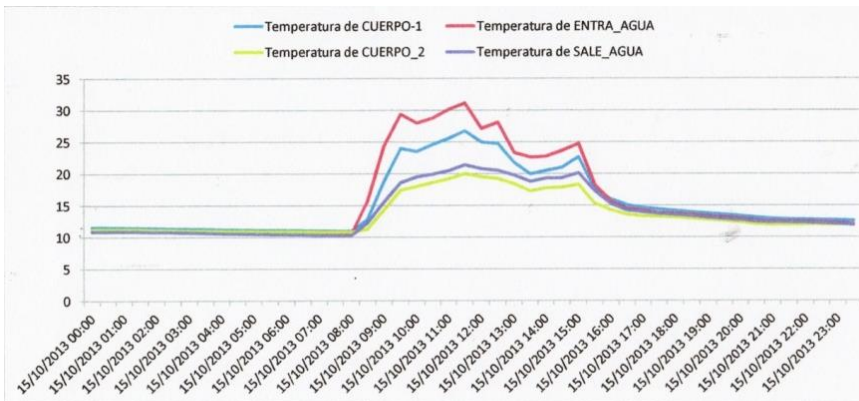


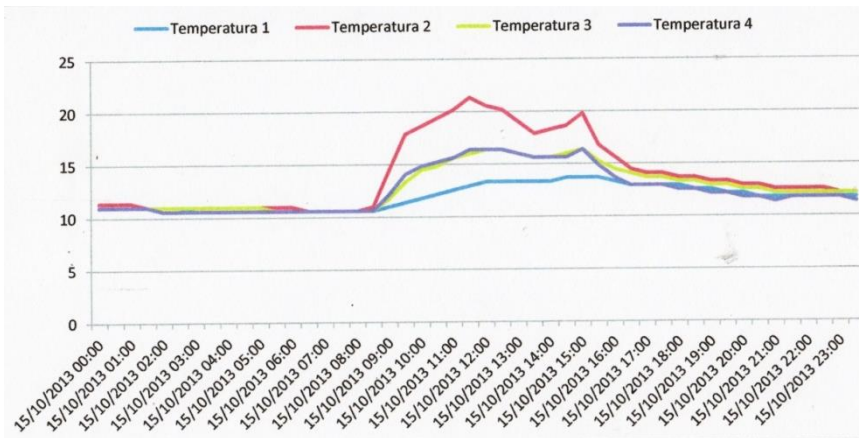
Figura 4.4.8. Performance diaria de las temperaturas de superficies y espacios correspondientes al componente techo (arriba, acero, aire y poliuretano), y al componente piso (abajo, tierra, polietileno, madera, aire y poliuretano), con el detalle que se ilustra con en los esquemas incluidos en cada gráfica.



Estos dos (02) sensores se ubicaron en el interior de la tubería que forma el serpentín haciendo contacto directo con el líquido (agua más anticongelante); uno al inicio del serpentín (entrada del líquido) y otro a final del serpentín (salida del líquido). En este día, 15.10.13, el líquido sí circuló por el interior del serpentín luego de corregir una falla que impedía la circulación. La diferencia de temperaturas que se nota representa el aporte diario de calor solar al muro de la habitación SUR.



Estos cuatro (04) sensores se ubicaron haciendo contacto directo con la superficie exterior de la tubería del serpentín y tramos de entrada y salida a la habitación, de acuerdo con lo que se indica:
 Sensor CUERPO-1: tramo inicial del serpentín (entrada del líquido)
 Sensor CUERPO-2: tramo final del serpentín (salida del líquido)
 Sensor ENTRA_AGUA y sensor SALE_AGUA: tramos de la tubería a la entrada y salida a la habitación.



Estos cuatro (04) sensores se ubicaron sub-superficialmente en el barro que cubrió al serpentín puesto sobre la superficie del muro divisorio-habitación sur en las posiciones que se indica:
 Sensor 1: tramo final del serpentín (salida del líquido)
 Sensor 2: tramo inicial del serpentín (entrada del líquido)
 Sensor 3, 4: tramos medios del serpentín

Figura 4.4.9. Performance diaria del muro radiante medida en el líquido portador de calor (arriba), en la superficie exterior de la tubería del serpentín, y en la superficie del muro, de 3 a 5mm de profundidad.

4.5. Conclusiones del proceso experimental

4.5.1. Componentes bioclimáticas muro radiante y tubo radiante.

La figura 4.5.1 muestra la performance de la efectividad calculada para cada componente bioclimática ensayada, el muro radiante en la habitación sur y el tubo radiante en la habitación norte durante 31 días corridos a partir del 07 de octubre de 2013.

Cabe recordar que esta *Efectividad* es un índice de rendimiento definido sobre la base de la interpretación del efecto del calor solar capturado con cada técnica bioclimática sobre el ambiente interior en el que se la instaló, así se relaciona en cada caso la ganancia térmica, °C, de cada ambiente con la energía solar incidente, kWh-día, sobre el área superficial de cada uno de los colectores asociados a la técnica, el de rejilla con el muro radiante y el de batea con el tubo radiante.

Es evidente la mejor performance de la técnica *colector batea-tubo radiante*.

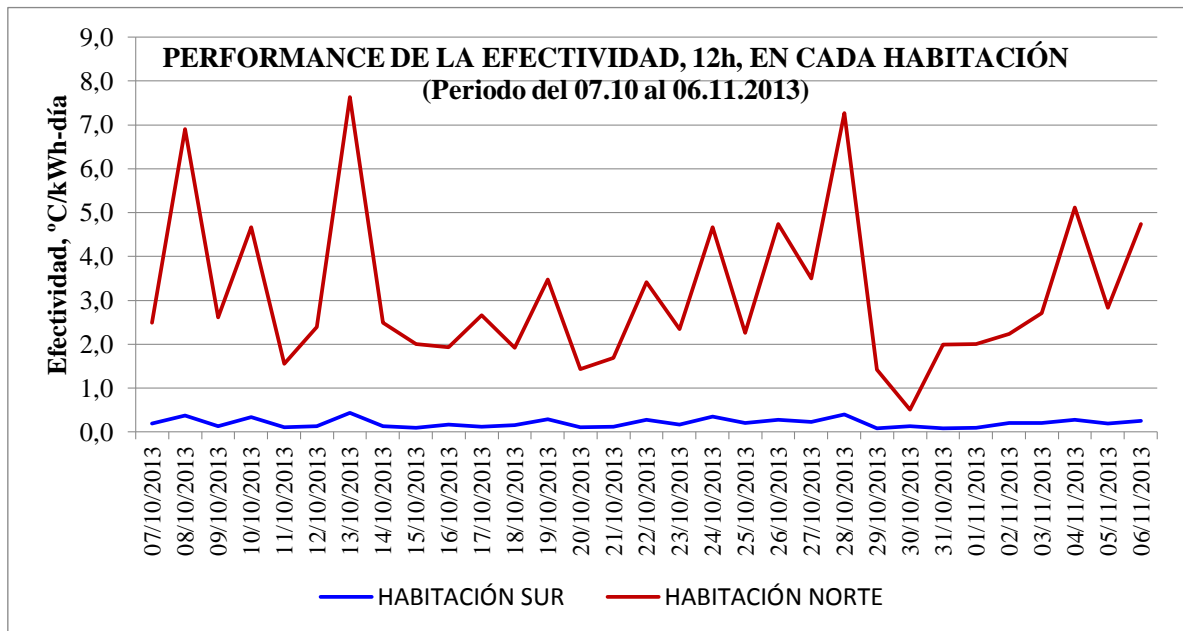


Figura 4.5.1. Efectividades de cada componente durante el período 07.10 a 06.11.2013 (Ref. tabla 4.4.3).

Tabla 4.5.1. Media de los valores definidos para el período 07.10 a 06.11.2013.

COLECTOR REJILLA (SUR)					COLECTOR DE BATEA (NORTE)				
ENERGÍA (kWh-día)	EFECTIVIDAD (°C/kWh-día)		Q _{SERP} ENTÍN (kWh-día)	EFICIENCIA (%)	ENERGÍA (kWh-día)	EFECTIVIDAD (°C/kWh-día)		Q _{TUB} (kWh-día)	EFICIENCIA (%)
	24h	12h				24h	12h		
26,87	0,13	0,22	9,03	33,60	1,64	1,76	3,61	0,97	59,15

Estos valores medios corresponden a los diarios contenidos en la tabla 4.4.3 y sus magnitudes son también congruentes con la aseveración anterior sobre la mejor performance de la componente bioclimática denominada *tubo radiante* instalada en la habitación norte y que transfiere el calor recibido del colector de batea portado por 65 litros de agua calentados durante cada día de sol.

4.5.2. Componentes del cerramiento de la edificación.

A partir del análisis hecho de los resultados gráficos mostrados a través de las curvas de performance diaria de las figuras 4.4.6, 4.4.7, 4.4.8 y 4.4.9 se ha construido las tablas de valores que se muestran a continuación y se explican en cada caso.

Tabla 4.5.2. Temperaturas de la superficie de los muros de la habitación norte, en °C y horas indicadas. Ref. Figura 4.4.6.

MUROS HABITACIÓN NORTE	HORA DEL DÍA					
	06	08	10	15	19	23
T. Exterior	7	---	32, E	29, O	---	---
T. Interior	---	10,9	---	11,8-11,9	11,5-11,6	11,7-12,0

De acuerdo con los valores de la Tabla 4.5.2. se distingue dos picos de temperatura en la superficie exterior, uno de 32°C a las 10:00h sobre el muro que mira al este y otro de 29°C a las 15:00h sobre el muro que mira al oeste, lo que guarda relación lógica con el movimiento relativo del sol y la orientación de dichos muros.

De otro lado y pensando en el desplazamiento de la onda térmica a través de los muros y su efecto de llegada en la superficie interior, se interpreta que en el muro que mira al este llega a las 15:00h y en el muro que mira al oeste lo hace a las 23:00h, afirmación que se basa en las oscilaciones que se distinguen sobre las curvas de performance diaria de estas temperaturas mostradas en la Figura 4.4.6.

Tabla 4.5.3. Temperaturas de la superficie de los muros de la habitación sur, en °C y horas indicadas. Ref. Figura 4.4.7.

MUROS HABITACIÓN SUR	HORA DEL DÍA					
	06	08	10	15	19	23
T. Exterior	6	---	32, E	31, O	---	---
T. Interior	---	10,5	---	12,8	12,0	12,0

Análogamente al caso anterior, en la habitación sur se presentan los picos a las mismas horas, así como los supuestos efectos, solo que los valores son diferentes en décimas de grados centígrados, esta afirmación tiene base similar a la anterior.

En consecuencia y con la referencia de la temperatura superficial interior registrada a las 08:00h en cada habitación 10,9°C y 10,5°C en las habitaciones norte (N) y sur (S) respectivamente, los efectos de las respectivas ondas térmicas a través de los muros este (E) y oeste (O) serían los siguientes:

Muro E de N: 1°C Muro O de N: 0,2°C Muro E de S: 2,3°C Muro O de S: 1,5°C

Tabla 4.5.4. Temperaturas mínimas y máximas medidas sobre la superficie exterior y superficie interior de la esclusa y en la propia esclusa, en °C. Ref. Figura 4.4.7.

HABITACIÓN	UBICACIÓN EN LA ESCLUSA		
	Superficie exterior	Interior de la esclusa	Superficie interior
SUR	0 - 21	11 - 15	10 - 15
NORTE	0 - 20	12 - 15	11 - 15

Nota: la superficie exterior de la esclusa es la misma que la superficie exterior de la puerta, y la superficie interior de la esclusa es la misma que la superficie interior de la contrapuerta.

Además del cumplimiento de una cierta lógica térmica referida a las magnitudes de los valores de las temperaturas respecto a sus ubicaciones relativas, se destaca la importancia de la presencia de la esclusa en su función de protección térmica o tapón térmico, pues en instantes en los que la temperatura superficial exterior es 0°C, la de la superficie interior es 10°C en el lado sur y 11°C en el lado norte.

Adicionalmente, se demuestra el efecto de la escasa masa térmica de la puerta (madera contra placada) en comparación con la del adobe de los muros, pues en los instantes en los que la temperatura superficial exterior de la puerta es 0°C, la de la superficie exterior del muro de adobe es 6°C y 7°C, como se observa en la tabla 4.5.5 **Tabla 4.5.3.**

Tabla 4.5.5. Temperaturas mínimas y máximas medidas sobre la superficie del vidrio exterior y sobre la superficie del vidrio interior de cada una de las 4 ventanas del MEV, en °C. Ref. Figura 4.4.7.

POSICIÓN DE LA VENTANA	UBICACIÓN	
	Superficie exterior	Superficie interior
Al este de la habitación sur	2 - 20 (14:00h)	7 - 17 (14:00h)
Al oeste de la habitación sur	2 - 35 (14:00h)	7 - 28 (14:00h)
Al este de la habitación norte	5 - 35 (09:00h)	8 - 25 (09:00h)
Al oeste de la habitación norte	8 - 35 (14:00h)	7 - 29 (14:00h)

De acuerdo con los valores citados en la tabla 4.5.5, se diría que las ventanas con doble vidrio de 3mm de espesor cada uno, espaciados 10cm entre si y aire estanco entre ellos, no es un conjunto suficiente como para utilizarlo solamente como protección térmica, pues las temperaturas medidas sobre la superficie interior de los vidrios, es pocos grados mayor o igual que la temperatura de la superficie interior.

Esta circunstancia no ha sido perjudicial en el proceso experimental por el hecho de haber utilizado como contraventanas placas de madera maciza de 2cm de espesor.

Tabla 4.5.6. Temperaturas mínimas y máximas medidas en las partes que conforman el techo, en °C, según lo mostrado en las curvas superiores de la Figura 4.4.8.

	PARTES DEL TECHO			
	AGUA NORTE	AGUA SUR	AIRE INTERIOR	CIELO RASO SUP.
Mínima - horas	Sensiblemente iguales, 0°C de 22h a 06h; 10°C a las 16:30h			
Máxima - horas	33 a las 14:00	45 a las 14:00	40 a las 14:00	40 a las 14:00

Evidentemente, siendo el material de las dos aguas del techo acero, sus temperaturas diurnas resultan elevadas y las nocturnas bajas, en este caso iguales a 0°C, consecuentemente el aislamiento del techo lo constituye solamente la plancha de poliuretano emparedado en acero, de 0,05m de espesor, que conforma el cielo raso.

Tabla 4.5.7. Temperaturas mínimas y máximas medidas en las partes que conforman el piso, en °C, según lo mostrado en las curvas inferiores de la Figura 4.4.8.

	PARTES DEL PISO		
	SUB-SUELO, 0,4m	AIRE	SOBRE PISO
Mínima - horas	11, constante	11 - 12, las 24hs.	11 de 0 a 08:00h
Máxima - horas	11, constante	12, 15-16:00h	14,3 a las 15:00h

Llama la atención el valor constante del suelo a 0,4m de profundidad en un nivel medio de temperatura, 11°C como se indica, igual a la temperatura del sobre piso (superficie expuesta del poliuretano), que se eleva hasta 14,3°C a las 15:00h, con lo que se comprueba la eficacia aisladora de la plancha de poliuretano emparedado en acero instalada en el piso.

Tabla 4.5.8. Temperaturas medidas en ciertas zonas del serpentín y muro radiante, en °C, que están representadas con la letra L, T, y M, correspondientes a las curvas en posición superior, media e inferior en la Figura 4.4.9.

	TEMPERATURAS MEDIDAS EN LAS PARTES Y LAS HORAS INDICADAS								
	08:00h			11:00h			16:00h		
	L	T	M	L	T	M	L	T	M
ZONA:	L	T	M	L	T	M	L	T	M
Inicial	10	10	11	40	30	22	13	15	14
Final	10	10	11	20	21	13	13	15	13

NOTA: las partes definidas son las siguientes.

L: mezcla de agua (85%) y glicol /15%)

T: superficie exterior de la tubería que forma el serpentín.

M: sub superficie del muro radiante, 2 a 3cm de profundidad.

Los valores de las temperaturas incluidas en la tabla 4.5.8 reflejan un comportamiento esperado y técnicamente lógico del conjunto “liquido-tubería-barro” que representa al muro radiante evidentemente activo entre las 08:00h y las 16:00h en la que la

temperatura de la superficie alcanza 13°C y mantiene ese nivel hasta las 22:00h en que empieza a descender y llega a 11°C a las 08:00h, hora en la que se inicia el ciclo térmico del día siguiente; es decir que podemos suponer al muro radiante como una superficie cuya temperatura oscila dentro de un rango de variación reducida, en este caso 2°C (de 11 a 13), estabilidad que podría ser, también, reflejo de la temperatura del ambiente interior en cuanto se refiere a la amplitud del rango que envuelve a las temperaturas máxima y mínima.

CAPÍTULO V. CARACTERIZACIÓN DE COMPONENTES BIOCLIMÁTICOS EXPERIMENTADOS

5.1. Configuración y descripción técnica de los componentes experimentados

Cabe mencionar que se está usando indistintamente los términos *componente* y *técnica* para hacer referencia al conjunto de los elementos, dispositivos, equipos, etc. que conforman la instalación hecha en el MEV con el fin de captar la energía solar, transformarla, transportarla y transmitirla al ambiente interior de cada una de las dos habitaciones preparadas específicamente para ello.

5.1.1. Componente muro radiante

Haciendo referencia al esquema de la figura 5.1.1 se hace la descripción técnica correspondiente.

5.1.1.1. Partes componentes.

A. Un colector solar de polipropileno de $4,8\text{m}^2$ de área de apertura, sin cubierta transparente ni aislamiento de fondo, normalmente usado para temperar el agua de piscinas. Se utilizó este tipo de colector porque su diseño limita el calentamiento del agua que circula en su interior a temperaturas de 40 a 45°C, que para el caso de esta aplicación es un límite superior adecuado.

- Esquema representativo del funcionamiento del sistema de calentamiento solar con colector solar plano de polipropileno y serpentín de transferencia
- 1.- Colector solar
 - 2.- Tubería de retorno del líquido frío
 - 3.- Tubería de ingreso de líquido caliente
 - 4.- Sistema de hidráulico de control de flujos
 - 5.- Bomba
 - 6.- Serpentín de transferencia de calor
 - 7.- Soporte de bomba
 - 8.- Elementos del MEV

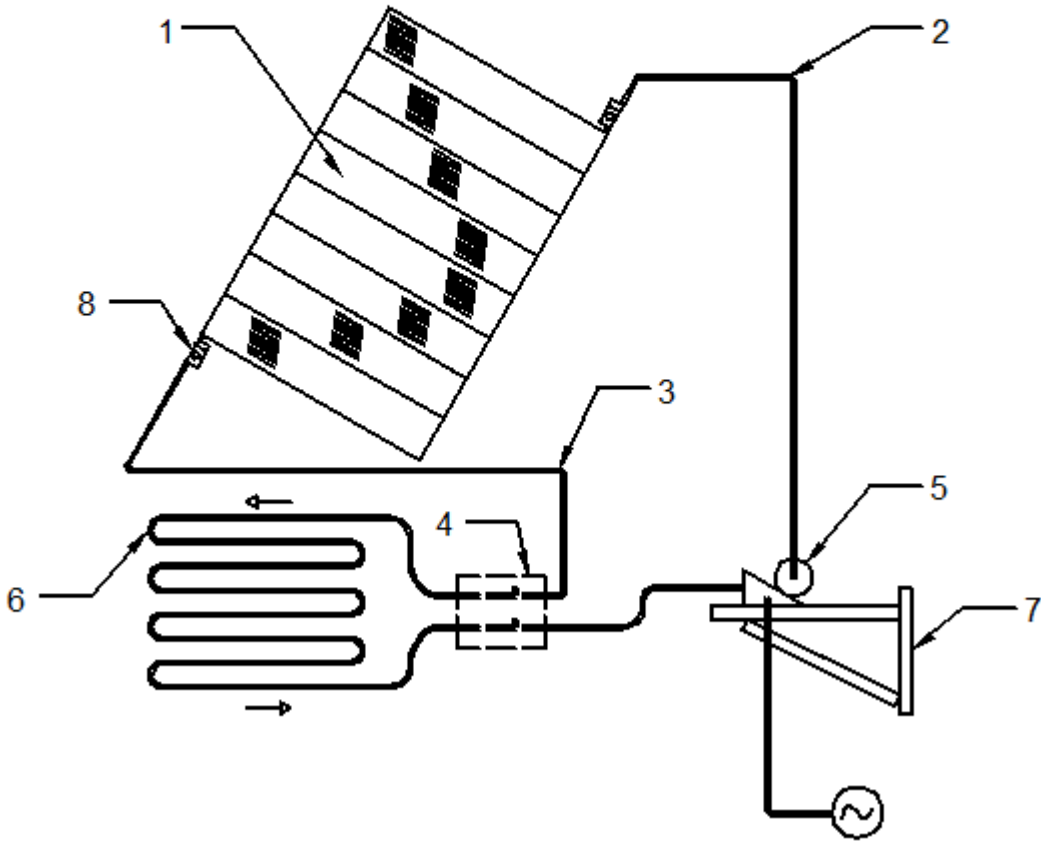


Figura 5.1.1. Imagen esquemática del componente *Muro Radiante*

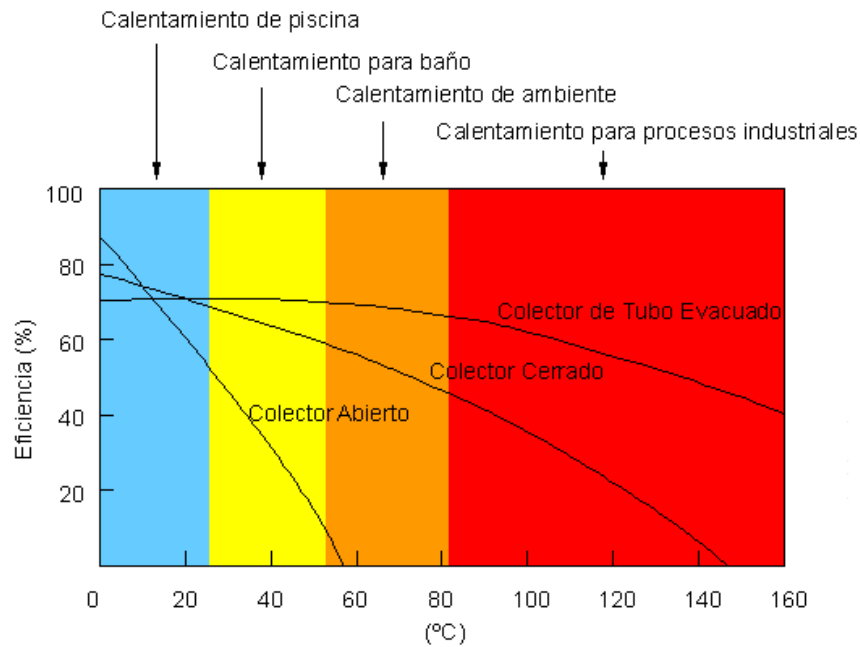


Figura 5.1.2. Tendencia de las curvas de eficiencia de colectores solares para calentamiento de agua, para el usado en este caso le corresponde la curva identificada como de “colectores abiertos”, zona de color celeste en el gráfico. La escala horizontal de temperatura (de operación) está marcada desde 0°C a intervalos de 20°C, y la de eficiencia en % a intervalos de 20%.

- B.** Un serpentín formado con tubería de tres capas, la exterior de polietileno de alta densidad, la media de aluminio y la interior de polietileno resistente a temperaturas elevadas; es flexible con diámetro nominal interior de 5/8”, se emplearon 17m para formarlo con 4 lazos paralelos de doble sentido.
- C.** Conjunto mecánico de válvulas y respiraderos para la distribución del flujo líquido hacia el serpentín y de éste hacia la bomba hidráulica, llamado también manihold.
- D.** Una pequeña bomba hidráulica 220VAC y 30-48W para el impulso del líquido a través del circuito colector-serpentín.
- E.** Tuberías de conducción del líquido, colector-manihold, manihold-serpentín, serpentín-manihold, manihold-bomba, y bomba-colector.

5.1.1.2. Funcionamiento

En el dispositivo electrónico de encendido-apagado de la bomba basado en el control diferencial de las temperaturas medidas en el punto más caliente del circuito: salida de

agua del colector, y el aire del ambiente interior de la habitación sur, marcando 5°C como la temperatura diferencial de operación, es decir, la bomba se apagaba para cuando la diferencia de temperaturas era de 5°C o menos. De esta manera, la bomba funcionaba diariamente desde las 08:00h hasta las 16-17:00h y el colector captaba la energía solar, la transformaba en calor y lo transfería así al líquido de trabajo y este lo transportaba hasta el serpentín desde donde se transfería por conducción a la masa del muro radiante quedando transitoriamente almacenado en ella, desde donde se transfería al ambiente interior de la habitación sur, mayormente por radiación.

5.1.2. Componente tubo radiante

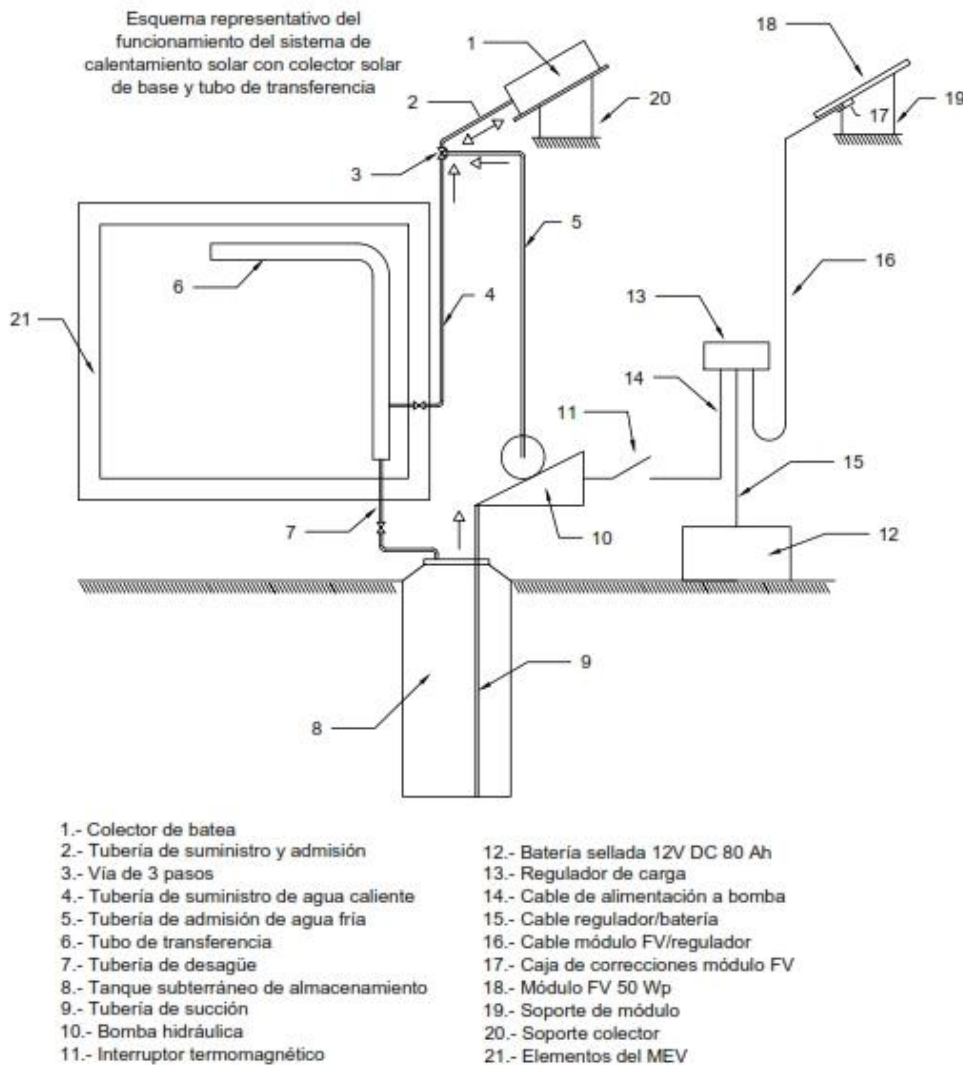


Figura 5.1.3. Imagen esquemática del componente tubo radiante.

5.1.2.1. Partes componentes

- A. Colector solar del tipo batea de 0,35m² de área superficial, construido con planchas de acero pintadas de negro y cubierto con un manto de polietileno anti UV dejando aproximadamente 0,1m entre ésta y la superficie de la batea. Se eligió este tipo de colector por dos razones, a) facilidad constructiva y economía, b) tecnología diferente de la de rejilla, tanto del punto de vista constructivo, cuanto del de funcionamiento. En este tipo de colector el agua permanece en él durante todo el día mientras se calienta por convección en el interior de la batea.
- B. Un depósito tubular hecho con tubería de PVC para uso en desagües, de 6” de diámetro y 65 litros de volumen interior, en forma de “L” para mejor acomodamiento en el interior de la habitación norte en donde se lo ubicó aproximadamente a 0,25m por sobre la superficie del piso y 0,1m separado de los muros cercanos, para contener el agua que se calentaba en el colector.
- C. Un depósito para vaciar el agua contenida en el tubo de PVC, formado por un tanque de uso doméstico para almacenar agua, hecho de material plástico y con una tapa, de 80-90 litros de capacidad. Este tanque se instaló enterrado totalmente para permitir su llenado por efecto de la gravedad solamente.
- D. Una bomba hidráulica de 12VDC y 50W para impulsar el agua desde el depósito de vaciado hasta la batea del colector, movida por la corriente eléctrica generada por un SFV de 60WP
- E. Tuberías de conexión para el movimiento del agua batea-tubo radiante, tubo radiante-depósito de vaciado, depósito de vaciado-bomba, y bomba-batea del colector.

5.1.2.2. Funcionamiento

Con el depósito de vaciado lleno de agua, se enciende la bomba antes de las 07:00h de cada día para impulsar el agua hasta la batea del colector, lo que demora 15 minutos; el agua permanece durante todo el día en la batea acumulando energía térmica que recibe de la placa metálica que conforma la batea y transformó previamente la radiación solar en dicha forma de energía; al fin del día, 17:30h aproximadamente, se abre una válvula de posición cercana al tubo radiante para que el agua baje por la tubería de alimentación

e ingrese a este, donde permanecerá hasta las 07:00h del día siguiente transfiriendo el calor que porta al ambiente interior de la habitación norte, por conducción a través de la pared del tubo radiante y por convección y radiación, se estima que la transferencia de calor por radiación desde la superficie del tubo radiante es notablemente mayor que la fracción convectiva, por que el aire interior está bastante quieto.

Fundamentalmente ambos componentes tiene el mismo principio de funcionamiento: transformar la energía electromagnética de la radiación solar en energía térmica, acumularla en una masa de agua y transferirla a ambientes interiores altamente similares, nominalmente idénticos, con diferencias como las que se relata seguidamente.

- a) La orientación geográfica; una al norte y otra al sur, diferencia a la que se le atribuye importancia singular por la posición y movimiento relativo del sol que generan soleamiento diario sobre la superficie de la pared norte y no así sobre la superficie de la pared sur.
- b) Aporte de 0,476 kWh al día por el funcionamiento del motor que acciona la bomba para impulsar el líquido a través del circuito colector-serpentín, equivalente a 7% del calor medio mensual portado por el fluido de trabajo en el serpentín en un día.
- c) Masas de elementos no aportantes de calor pertenecientes a partes del componente muro radiante, como el manihold, 5,0m aproximadamente de tubería expuesta, caliente y fría, soporte de madera del motor y de la bomba.
- d) Aproximadamente 50 kg de adobe adicional en la habitación norte que conforman los apoyos del tubo radiante con contacto directo.

Estas 4 diferencias importantes habrían influido en favor o en contra del calentamiento del aire interior de cada una de las dos habitaciones, efecto que dentro del alcance del proceso experimental planteado, es imposible precisarlo o cuantificarlo, salvo la diferencia b.

En consecuencia, para el análisis concluyente, pasaremos por alto estos efectos bajo el supuesto que se compensan.

5.2. Interpretación matemática del comportamiento térmico

En esta sección de la tesis se interpreta el comportamiento de cada uno de los componentes bioclimáticos experimentados, a la luz de los resultados obtenidos y explicados en el capítulo anterior así como de su modo de funcionamiento, bajo el enfoque de balances de energía que establecen las relaciones matemáticas globales, a partir de las que se podría deducir o construir modelos matemáticos que representen con mayor fidelidad el comportamiento térmico de cada componente bioclimática.

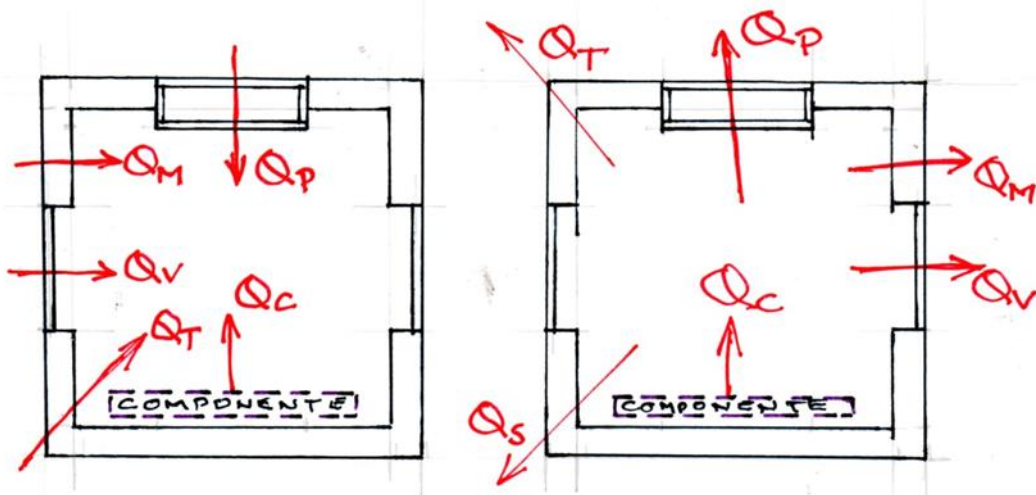


Figura 5.2.1. Esquemas que representan a las habitaciones norte y sur en el día y en la noche con los flujos de calor que se producirían en cada caso y momento.

Con la referencia de los esquemas de la figura 5.2.1 se puede establecer las siguientes relaciones de calores.

1. En el día:

$$\text{Habitación norte:} \quad Q_{TG} = Q_M + Q_T + Q_P + Q_V$$

$$\text{Habitación sur:} \quad Q_{TG} = Q_C + Q_M + Q_T + Q_P + Q_V$$

2. En la noche:

$$\text{Habitación norte y habitación sur:} \quad Q_{TP} = Q_S + Q_M + Q_T + Q_P + Q_V$$

$$\text{Debe cumplirse:} \quad Q_C \geq Q_{TP}$$

En dónde:

Q_{TG} : calor total ganado

- Q_{TP} : calor total perdido
- Q_M : calor a través de muros
- Q_T : calor a través de techo
- Q_P : calor a través de puerta
- Q_V : calor a través de ventanas
- Q_S : calor por el suelo
- Q_C : calor de componente bioclimática

De otro lado, teniendo en cuenta el funcionamiento de cada componente bioclimática y los valores calculados y mostrados en las tablas 4.4.2 y 4.4.3, se ha construido los diagramas de balance de energía para el calor proveniente del sol, tanto para el muro radiante cuanto para el tubo radiante, que se muestran seguidamente.

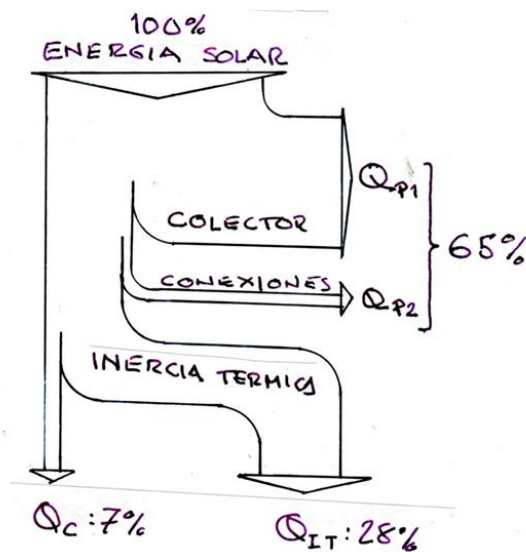


Figura 5.2.2. Diagrama de balance de la energía solar que incide sobre la superficie del colector de rejilla que suministra agua y energía al serpentín del muro radiante.

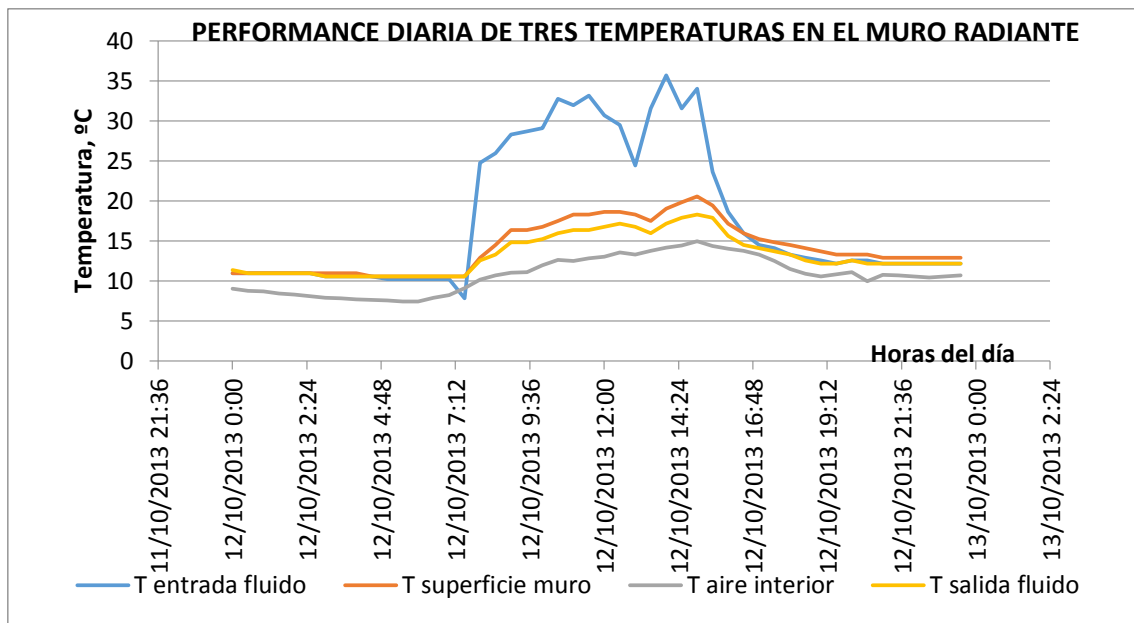


Figura 5.2.3. Curvas de performance del muro radiante para el 12 de octubre de 2013.

En este contexto, se muestra como ejemplo las curvas de performance correspondientes al fluido dentro del serpentín, a la superficie del muro radiante y al aire interior de la habitación sur.

La interpretación hecha se basa en la diferencia entre los valores de las temperaturas correspondientes a:

- 1° T entrada fluido y T salida fluido: proporcional al calor que deja el fluido en el muro radiante.
- 2° T superficie muro y T salida fluido: proporcional al calor que transfiere el muro radiante al aire interior instantáneamente.
- 3° (Calor que deja el fluido en el muro radiante) – (Calor que transfiere el muro radiante al aire interior instantáneamente): equivalente al calor que “se queda” en la masa del muro radiante, es decir, inercia térmica.

Aplicando estas interpretaciones a los valores de temperatura de las curvas de la figura 5.2.3 correspondientes al día 12 de octubre de 2013 y promediando, se obtiene los valores porcentuales que se muestra en el diagrama de balance de energía del muro radiante: 35% del calor solar llega al interior de la habitación sur, 7% instantáneamente y 28% horas más tarde por efecto de la inercia térmica.

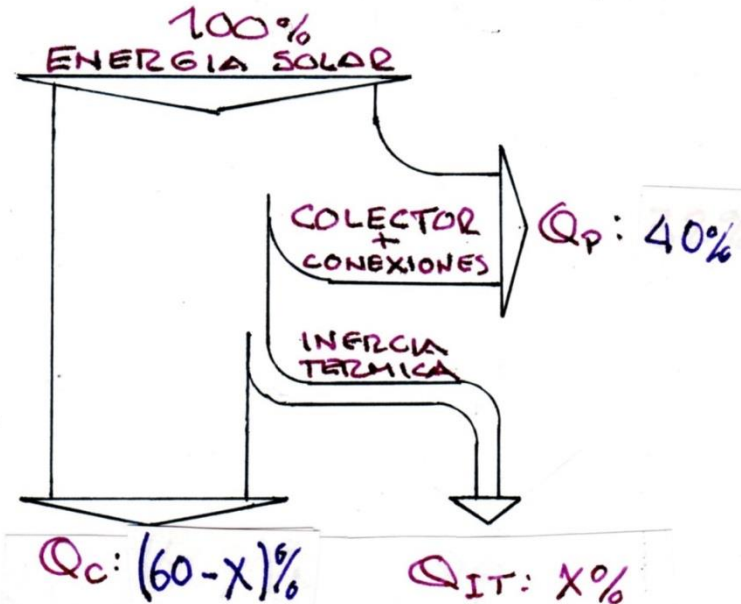


Figura 5.2.4. Diagrama de balance de la energía solar que incide sobre la superficie del colector de batea que suministra agua y energía al tubo radiante.

El caso del tubo radiante en la habitación norte es más sencillo y directamente se hace la interpretación sobre la base del rendimiento del colector mostrado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** del capítulo 4: 60% del calor solar se transfieren al ambiente interior de la habitación norte, de eso, X% corresponde a la inercia térmica de las masas de adobe sobre las que se apoya el tubo radiante y el resto (60-X)%, corresponde al calor que se transfiere desde la superficie del tubo radiante hacia el ambiente interior.

5.3. Caracterización técnica

5.3.1. Componente bioclimática Muro Radiante

Definición:

Sistema de captación de energía solar a través de un colector solar plano de circulación forzada que transforma esa energía y la transfiere al fluido de trabajo para transportarla en él por una tubería de triple capa hasta un serpentín formado con la misma tubería ubicado 2 a 3 cm por debajo de la superficie de un muro de adobe que forma parte de una habitación.

Partes:

Colector solar

- Dos colectores de polipropileno de 2,0x1,2m acoplados en paralelo.
- Una pieza de montaje para el llenado de líquido con doble acceso en serie, de 2" de diámetro.
- Dos piezas reductoras de transición colector solar – tubería de circulación, para la salida y retorno de líquido del y al colector respectivamente, 2" a 5/8".

Conexiones

- 35 m lineales de tubería de tres capas, de 5/8" de diámetro nominal, resistente a altas temperaturas en su interior y a desgaste físico en su exterior.
- Elementos de unión para la tubería y acoples con el dispositivo de distribución de flujo.

Distribuidor de flujos

- Conjunto de válvulas de control de flujo con caños para conectar la tubería que viene del colector solar, la tubería que va al y viene del serpentín de transferencia, y la tubería que va hacia la bomba hidráulica de circulación. Contiene dos válvulas para expulsión del aire en las líneas de ingreso y retorno del líquido al serpentín de transferencia.

Serpentín de transferencia

- Formado con la tubería de triple capa en 8 pasos paralelos de 2,0m de longitud cada uno y 0,2m nominales de espaciamiento entre las líneas de cada paso, con curvas de 180° en sus extremos.

Bomba hidráulica de circulación

- De 220AC y 18, 28 y 38 W de potencia y 0,1 m/h de caudal para 2,0m de altura de pérdidas, con acceso eléctrico para dispositivo de control automático.

Control diferencial de temperaturas

- Dispositivo electrónico que mide dos temperaturas y enciende y apaga la bomba en función de la diferencia entre los valores de dichas temperaturas.

Funcionamiento:

El sistema empieza a funcionar después de verificar que esté totalmente lleno de líquido y sin aire en su interior, encendiendo la bomba desde el dispositivo de control diferencial de temperaturas, marcado con 5° de referencia para el encendido y apagado de la bomba.

El fluido de trabajo circulará a través del colector, tuberías y serpentín de transferencia ininterrumpidamente, a no ser que la diferencia de las temperaturas entre el punto más caliente del colector (salida de líquido) y el punto de referencia (aire del ambiente interior) sea igual o menor que 5°C. No obstante este automatismo, debe observarse el funcionamiento del sistema diariamente.

5.3.2. Componente bioclimática Tubo Radiante**Definición:**

Sistema de captación de energía solar a través de un colector solar plano de circulación forzada que transforma esa energía y la transfiere al fluido de trabajo para transportarla en él por una tubería de triple capa hasta un serpentín formado con la misma tubería ubicado 2 a 3 cm por debajo de la superficie de un muro de adobe que forma parte de una habitación.

Partes:***Colector Solar***

- Un colector almacenador compuesto de un depósito de acero de dimensiones lineales 0,75x0,50x0,20m que generan un volumen interior igual a 75 litros, con una cubierta de polietileno anti UV dejando un espacio de 0,10 a 0,15m desde la superficie del depósito, con caños para la entrada y salida del agua, y para respiradero; más una base de madera solidaria con el colector, para el montaje.

Conexiones

- Línea de suministro de agua caliente al Tubo Radiante formada con tubería de ½” de diámetro de usos sanitarios y manguera de jardín de 5/8” de diámetro nominal; línea de alimentación de agua fría formada con manguera de jardín de 5/8” de

diámetro nominal, ambas líneas conectadas al mismo caño metálico del colector a través de una unión en T.

- Línea de desagüe Tubo Radiante-depósito de vaciado hecha con manguera de jardín de 5/8" de diámetro nominal.
- Línea de succión o tubería de succión depósito de vaciado-bomba hidráulica, hecha con manguera de jardín de 5/8" de diámetro nominal
- Línea de desagüe total a tierra circundante que parte de la Línea de desagüe Tubo Radiante-depósito de vaciado a 0,8m aproximadamente antes que llegue a éste.

Válvulas de control pasa no pasa

- Válvula-A de 1/2" en la Línea de suministro de agua caliente a 1,0m aproximadamente de la conexión con el Tubo Radiante.
- Válvula-B de 1/2" en la Línea de desagüe Tubo radiante-tanque de vaciado, 0,5m aproximadamente desde su conexión con el Tubo Radiante.
- Válvula-C de 1/2" en el extremo de la Línea de desagüe Tubo Radiante-depósito de vaciado, a 0,3m aproximadamente de éste.
- Válvula-D de 1/2" en la parte media de la Línea de desagüe total.

Depósito de vaciado

- Formado por un tanque de plástico de uso doméstico para almacenar agua sanitaria, de 80-90 litros de capacidad, ubicado a 1,5m aproximadamente de la puerta de la habitación norte en línea diagonal hacia la izquierda, medido en la tierra con solo su tapa sobresaliente.

Bomba hidráulica

- Moto Bomba, con bomba de membrana y desplazamiento positivo, 1,3 g/min de caudal; con motor de imanes permanentes de 12VDC, accionado con electricidad FV generada por un SFV de 51 W_p, regulador de 10A y batería de 65Ah de capacidad nominal.

Tubo Radiante

- Formado con tubería de PVC de uso en desagües de instalaciones domésticas, de 6" de diámetro. Tiene forma de "L" con uno de sus lados más largo que el otro, que mide 2,0m en su tramo recto, el Tubo radiante mide 3,5m de longitud total, incluyendo la longitud del codo de 90° que permite formar la "L"; tiene una tapa

en cada extremo con sello de pegamento para evitar fugas. A 0,3m del extremo del lado más largo tiene un niple instalado para la conexión de la Línea de suministro de agua caliente y, en posición diametral opuesta, tiene instalado un segundo niple para la conexión de la Línea de desagüe. A 0,3m del extremo del lado más corto del Tubo Radiante, tiene instalado un caño de ½” de diámetro y 0,1m de longitud para la expulsión del aire mientras se llena con agua; además, tiene dos portadores de sensor de temperatura instalados sobre su superficie interior, cada uno a 0,3m desde cada extremo del Tubo Radiante. Los sensores y su cable de conexión ingresan al interior del Tubo Radiante por el caño de expulsión del aire.

Funcionamiento:

La operación se inicia a las 07:00h de un día llenando con agua el depósito de vaciado que está enterrado, una vez lleno se chequea el cierre de la Válvula-A y se procede a encender la bomba accionando un interruptor termo magnético y se espera que impulse el agua hasta la batea del colector, acción que tarda 15 minutos aproximadamente, luego se apaga la bomba y se deja que el agua se caliente durante el día; a las 17:00h se chequea el cierre de la Válvula-B y se abre la Válvula-A dejando que el agua caliente baje por la Línea de suministro y llene totalmente el Tubo Radiante, una vez producido esto, se cierra la Válvula-B y se deja la habitación con las contraventanas puestas y correctamente cerrada hasta las 07:00h del día siguiente, momento en el cual se chequea el cierre de la Válvula-D y se abre la Válvula-B dejando que se desagüe el Tubo Radiante y se llene el depósito de vaciado; luego, se chequea el cierre de la Válvula-A y se procede a encender la bomba accionando el interruptor termo magnético dando inicio, así, a un nuevo ciclo de funcionamiento de este sistema. Continuar los días sucesivos repitiendo las operaciones descritas.

5.4. Formulación de una propuesta técnica de calentamiento de ambientes

Sobre la base de los resultados obtenidos con la investigación aplicada que sustenta esta tesis, la propuesta técnica de calentamiento de ambientes habitables de viviendas rurales alto andinas se funda sobre la componente bioclimática *Tubo Radiante* por las siguientes razones.

1. *Materiales conformantes y procesos de fabricación de partes con viabilidad técnica y económica consistente.*
2. *Montaje y operación exentos de prácticas complicadas y especiales.*
3. *Rendimiento térmico notable transportando entre 60% y 70% del calor solar al ambiente de interés.*
4. *Funcionamiento viable accionando la bomba hidráulica con corriente eléctrica fotovoltaica.*

Esta propuesta es un diseño conceptual que se ilustra en la figura 5.4.1.

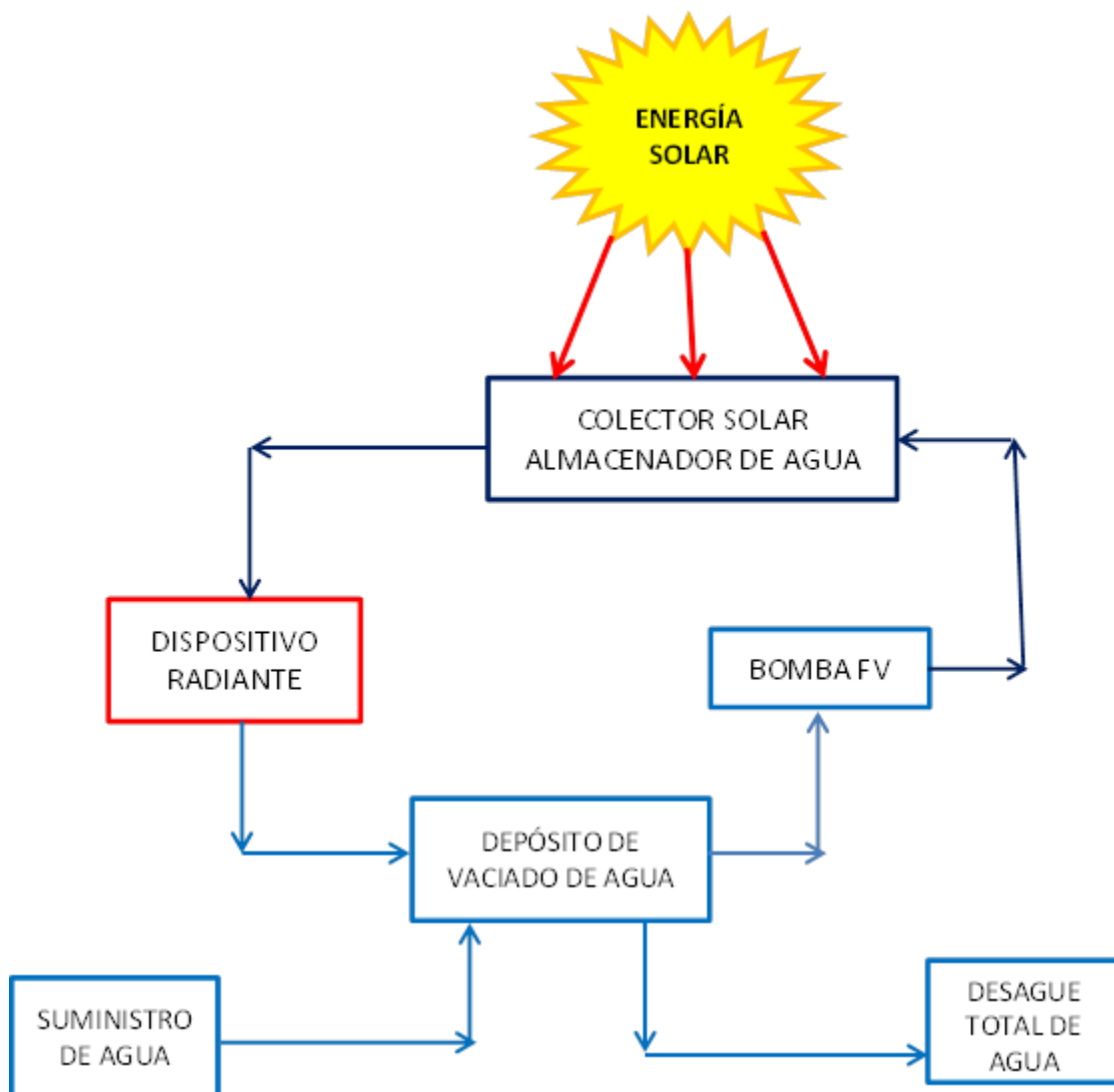


Figura 5.4.1. Diseño conceptual del componente bioclimático de *DISPOSITIVO RADIANTE*

El concepto representado en la figura 5.4.1 corresponde a la técnica de calentar un volumen determinado de agua durante el día y dejar que se enfríe durante la noche en el interior del ambiente objetivo para mejorar su temperatura.

Tampoco es rígido respecto a los diseños del colector y el dispositivo radiante, eso dependerá del caso específico que se esté manejando.

El hecho de hacer esta propuesta técnica, no significa que el sistema de Muro Radiante quede proscrito, puesto que es posible elevar su rendimiento térmico y utilizar materiales menos exigentes y de mayor maniobrabilidad, pues tiene la ventaja de no ocupar una parte del espacio de la habitación al estar el serpentín de transferencia dentro de uno o más muros de la habitación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El Módulo Experimental de Vivienda (MEV) respondió a los requerimientos de experimentación para los que fue diseñado y construido, tanto en lo referido al diseño y materiales utilizados cuanto en lo correspondiente a su función como sistema de experimentación.
2. Los componentes bioclimáticos diseñados y construidos como tales, han tenido un desempeño satisfactorio, pues su funcionamiento dio los resultados esperados de transportar calor solar hasta el aire del ambiente interior de una habitación, por lo tanto cumplen primariamente con lo requerido para tales dispositivos.
3. A la luz de los resultados numéricos obtenidos procesando los experimentales, el componente *Tubo Radiante* ha demostrado mejor comportamiento que el componente *Muro Radiante*:

INDICADOR	MURO RADIANTE	TUBO RADIANTE
Efectividad (°C/kWh-d)	0,22	3,6
Eficiencia (%)	33,6	59,15
Q _{SOLAR} (kWh-d)	26,87	1,64
Q _C (kWh-d)	9,03	0,97
Q _C (%)	7	(60 – X)
Q _{INERCIA} (%)	28	X

4. Respecto a los niveles de temperatura alcanzados en diferentes partes del MEV, resulta lo siguiente de acuerdo con los valores numéricos presentados en las Tablas 4.5.2 a 4.5.8, inclusive.

4.1 Esclusas: 10°C de diferencia entre la temperatura exterior superficial mínima igual a 0°C y la temperatura superficial interior para el mismo instante, lo que indica la importancia del uso de un tapón térmico, se evita pérdidas considerables.

4.2 Ventanas: 6°C de diferencia entre la temperatura superficial exterior mínima igual a 2°C y la temperatura superficial interior para el mismo instante, lo que

indica que no es suficiente la instalación de ventanas con doble vidrio y aire estanco entre ellos, debe usarse también una contraventana.

- 4.3 Muros: las temperaturas superficiales, exterior e interior, en la habitación norte oscilaron entre $7^{\circ}\text{C} - 32^{\circ}\text{C}$ y $11^{\circ}\text{C} - 12^{\circ}\text{C}$ respectivamente; para el caso de la habitación sur, la oscilación se dio entre $6^{\circ}\text{C} - 32^{\circ}\text{C}$ y $10,5^{\circ}\text{C} - 13^{\circ}\text{C}$; lo cual indica el buen comportamiento inercial del adobe de los muros.
- 4.4 Piso: las temperaturas superficiales interiores oscilaron entre 11°C y 14°C para el piso; en el subsuelo, 0,4m de profundidad, la oscilación se dio entre 11°C y 12°C ; lo cual indicaría que el piso es un sumidero de calor durante las horas matinales y vespertinas, no así durante las nocturnas.
- 4.5 Techo: desde la media noche hasta las 06:00h las temperaturas medidas en la techumbre (cubierta exterior, aire medio y superficie exterior del cielo raso) son sensiblemente iguales a 0°C ; luego, hasta las 17:00h son mayores a 10°C , con máximos de 40°C sobre las cubiertas exteriores, después desciende progresivamente hasta 0°C a la media noche; este comportamiento estaría indicando muy buena performance del aislamiento de poliuretano que conforma el cielo raso y que el resto de techumbre no tiene ningún efecto positivo durante las horas nocturnas.
5. Sobre esta amplia base de resultados experimentales, es posible ratificar el mejor comportamiento del sistema de tubo radiante sobre el de muro radiante, para las características de diseño y materiales que se emplearon, pudiendo ser diferente si se hacen algunas variaciones como las que se menciona en el siguiente punto.
6. Los incrementos de temperatura logrados en cada uno de los dos ambientes, no son resultado exclusivo de los componentes instalados, pues hay contribución importante por ventanas, puertas y muros que no es posible discriminar sobre la base de las mediciones hechas, fenómeno que convendría precisarlo y cuantificarlo experimentalmente.
7. El colector solar plano de polipropileno puede ser cubierto con una lámina translúcida para disminuir pérdidas térmicas, así mismo, podría instalarse una

lámina reflectante por debajo de él para aumentar el flujo radiante por reflexión sobre dicha lámina.

8. Estos cambios mejorarían el rendimiento de este colector y, en consecuencia, disminuiría el área necesaria el calentamiento esperado.
9. Podría también utilizarse otro tipo de material para el transporte del fluido de trabajo, particularmente en la región del serpentín, de modo que se mejore la transferencia de calor y se evite pérdidas en los tramos expuestos al ambiente.
10. En cuanto al colector de batea, se podría mejorar su rendimiento si se disminuye la distancia que existe entre la cubierta transparente y la superficie de la batea, 0,15m aproximadamente, para disminuir pérdidas de tipo convectivo; así mismo, podría mejorarse el aislamiento de fondo.
11. Con estas variantes se podría alcanzar temperaturas mayores en el agua que se calienta, lo cual mejoraría la etapa de transferencia de calor desde el tubo radiante al ambiente interior.
12. Finalmente, el autor está convencido de haber dado un paso adelante de singular importancia en el afán de mejorar el conocimiento científico y técnico en el amplísimo escenario del confort térmico, muy particularmente en este caso específico aplicado a escenarios geográficos sobre los que hay poca o ninguna experiencia consistente. Con este mismo convencimiento, afirma que quedan aún muchos pasos más por dar hasta conseguir el dominio del sistema bioclimático andino.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Beltrán L. (1987) Patios Solares Para Las Ciudades Andinas, TECNIA. Vol 3., N° 2. pág. 13-21, 1987; Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú.
2. Espinoza R. (2004) Taquile, un ejemplo de electrificación fotovoltaica exitosa, Seminario internacional “Energía, Medio Ambiente y Desarrollo”, Cusco 26-27.04.2004 caso exitoso
3. Horn M. y Giraldo M. (2000) Suasi, un albergue rural con energía solar en el Lago Titicaca”. EFICIENCIA Energética y Energías Renovables, Año II, Revista N°4, pp 18-21, Noviembre 2000, Lima, Perú
4. Horn, M. (2005) Energías Renovables en Edificaciones, Seminario Taller “Vivienda bioclimática”, 1 – 3.06.05, Lima
5. Zea H. (2000) “Alternativa de Recuperación Tecnológica de Materiales para la Construcción Bioclimática en el Altiplano Perú – Boliviano, Seminario Arquitectura Bioclimática”, Lima 23-24.03.2000
6. Barrionuevo de Machicao, R. y Espinoza Paredes, R., Edificaciones Bioclimáticas en el Perú, Facultad de Arquitectura Urbanismo y Artes y Centro de Energías Renovables UNI, en Los Edificios Bioclimáticos en los Países de Ibero América, publicación de INETI-PORTUGAL, ISBN N° 972-676-200-6; Programa CYTED 2005; Editor: Helder Gonçalves.
7. Espinoza, R. y Saavedra, G. Simulación Preliminar del Comportamiento Térmico de una Vivienda Andina del Perú; en Los edificios en el Futuro, Estrategias Bioclimáticas y Sustentabilidad, publicación de INETI-PORTUGAL, ISBN N° 978-972-676-209-6; Programa CYTED 2007; Editores: Helder Gonçalves y Susana Camelo.
8. Espinoza, R. et al; Vivienda Altoandina Habitable, en Os Edifícios Bioclimáticos a Integração das Energias Ronováveis e os Sistemas Energéticos,

- publicación de INETI-PORTUGAL, ISBN N° 978-972-676-210-2; Programa CYTED 2008; Editores: Helder Gonçalves y Susana Camelo.
9. Espinoza, R. et al; Análisis y Diagnóstico Térmico en Viviendas Altoandinas del Perú, en Os Edifícios Bioclimáticos a Integração das Energias Renováveis e os Sistemas Energéticos, publicación de INETI-PORTUGAL, ISBN N° 978-972-676-210-2; Programa CYTED 2008; Editores: Helder Gonçalves y Susana Camelo.
 10. GUÍA DE APLICACIÓN DE ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA EN LOCALES EDUCATIVOS, promovida por el Ministerio de educación, Vice Ministerio de Gestión Institucional, Oficina de Infraestructura Educativa, publicada en mayo de 2008.
 11. NORMATIVIDAD PARA EDIFICACIONES BIOCLIMÁTICAS EN EL PERÚ, promovida por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Vice Ministerio de Construcción y Saneamiento, Dirección Nacional de Construcción.
 12. Mercado, V.; Alfredo Esteves, Celina Filippín Sistema de Climatización Solar Pasivo. Su Integración en Viviendas de Bajo Costo;; Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV), (INCIHUSA), Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CRICYT) (CONICET). En *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente; Vol. 11, 2007. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184*
 13. Gonçalves, H. João Mariz Graça Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal;; Tipografia Peres, Rua das Fontainhas, Lote 2, Venda Nova; 2700-391 AMADORA, ISBN 972-8268-34-3; Lisboa, Novembro 2004
 14. Espinoza et al; Evaluación Experimental de Cambios Constructivos Para Lograr Confort Térmico en una Vivienda Altoandina del Perú;; Centro de Energías Renovables y Uso Racional de la Energía (CER-UNI) Universidad Nacional de Ingeniería (UNI); en *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente; Vol. 13, 2009. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184*

15. Flores S., L.; Flores Larsen, C. Filippín Comportamiento Térmico de Invierno y Verano de Viviendas de Interés Social en la Provincia de Salta; INENCO - Instituto de Investigaciones en Energías No Convencionales – U.N.Sa. – CONICET; en *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 11, 2007. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184*
16. LUXÁN GARCÍA DE DIEGO, M. 1997. *Arquitectura y clima en Andalucía. Manual de diseño*. Junta de Andalucía. Consejería de Obras Públicas y Transporte
17. Morillón G., D.; Guías Para el Diseño Bioclimático y Aprovechamiento de Energías Renovables en la Vivienda de México, en Los edificios Bioclimáticos y la Integración de las Energías Renovables en los sistemas Energéticos; Publicación del INETI de Portugal con el auspicio del CYTED; Editores: Susana Camelo y Helder Goncalves; Lisboa 2008, ISBN 978-972-676-210-2.
18. Los Edificios Bioclimáticos en los Países de Ibero América, publicación de INETI-PORTUGAL, ISBN N° 972-676-200-6; Programa CYTED 2005; Editor: Helder Gonçalves.
19. Los edificios en el Futuro, Estrategias Bioclimáticas y Sustentabilidad, publicación de INETI-PORTUGAL, ISBN N° 978-972-676-209-6; Programa CYTED 2007; Editores: Helder Gonçalves y Susana Camelo.
20. Os Edifícios Bioclimáticos a Integração das Energias Renováveis e os Sistemas Energéticos, publicación de INETI-PORTUGAL, ISBN N° 978-972-676-210-2; Programa CYTED 2008; Editores: Helder Gonçalves y Susana Camelo.

GLOSARIO

Colector tipo batea. Colector solar con forma volumétrica para contener el agua mientras se calienta.

Colector tipo rejilla. Colector solar plano de tubos paralelos.

Comodidad térmica. Definida como aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico

Difusividad térmica. Expresa la velocidad con la cual se puede desplazar el calor a través de la masa de un material.

Esclusa. Espacio cerrado que se ubica antes de la puerta de acceso a un ambiente climatizado para protegerlo térmicamente

Estrategia bioclimática. Definición conceptual del agregar o quitar calor de un ambiente

Falso invernadero. Dispositivo con forma de invernadero que se adosa a la superficie exterior de un muro para generar calor.

Indicadores de confort térmico. Representación de la sensación de comodidad térmica

Lazo convectivo. Movimiento del aire por convección libre generado por el calentamiento del ambiente interior del invernadero adosado a un muro, pasando al interior del ambiente al otro lado del muro, retornando después que se enfría.

Met. Medida adoptada para representar calóricamente el nivel de actividad de una persona. Corresponde **58 W/m²** para una persona sedentaria.

Muro radiante. Muro en cuyo interior se instala un serpentín dentro del cual circula agua caliente cuyo calor se transfiere desde su superficie al ambiente en el que está.

Técnica bioclimática o Componente bioclimática. Forma técnica definida para agregar o quitar calor de un ambiente.

Temperatura neutra. Interpretada como aquella con la cual el humano estaría en equilibrio térmico, es decir, no ganaría ni perdería calor.

Tubo radiante. Dispositivo tubular cerrado que contiene agua caliente cuyo calor se transfiere por radiación hacia el ambiente en donde se lo instala.

Zona de confort. Definido como el intervalo de temperaturas y humedades en las cuales el humano presenta el *mínimo esfuerzo para disipar el calor que genera.*

APÉNDICE I

A.1. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DEL PERÚ



CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DEL PERÚ

La Presente Zonificación tiene como base la clasificación de Köppen, a la que 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.

Figura A.1.1. Mapa climático del Perú. Fuente:

La Clasificación de Climas para diseño arquitectónico comprende 9 zonas y el % indicado representa la extensión geográfica que abarca cada zona respecto al área total del Perú, así:

- ❖ **Zona 1:** Desértico Marino 2.8 %
- ❖ **Zona 2:** Desértico 6.7%
- ❖ **Zona 3:** Interandino bajo 3.9%
- ❖ **Zona 4:** Mesoandino 14.6%
- ❖ **Zona 5:** Altoandino 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%

Esta información solo es indicativa y la que se ha generado al nivel de recomendaciones, publicada en la misma guía, es de tipo cualitativo.

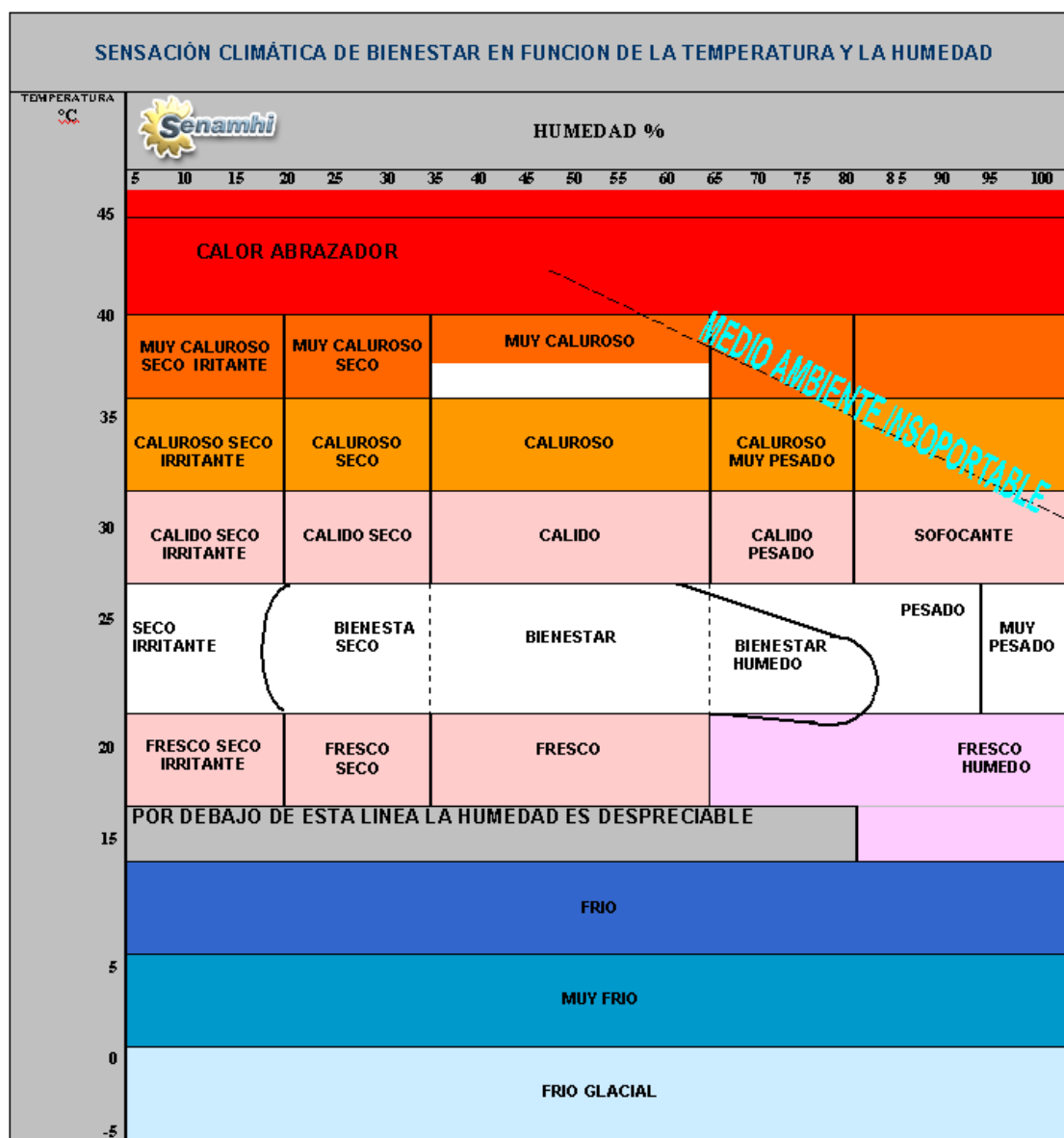


Figura A.1.2. Diagrama de sensación climática que sirve como referente cualitativo de la calidad del aire de un ambiente frente a los requerimientos de confort higrotérmico.

Fuente: SENAMHI

Organización e infraestructura para medir el clima en el Perú

En el Perú existe el Servicio Nacional de meteorología e Hidrología, SENAMHI, como institución nacional que desde 1969 brinda servicios públicos, asesoría, estudios e

investigaciones científicas en las áreas de Meteorología, Hidrología, Agrometeorología y Asuntos Ambientales en beneficio del país.

En su sitio web: www.senamhi.gob.pe se encuentra la información del clima en el Perú reportado a partir de los parámetros climáticos medidos en cada una de las estaciones meteorológicas con que cuenta.

Se puede obtener información gráfica de temperatura, humedad relativa, precipitaciones, radiación solar y velocidad y dirección del viento, para los treinta días anteriores al día en que se hace la consulta, siempre que estos hayan sido medidos / no todas las estaciones meteorológicas que administra el SENAMHI tiene la capacidad requerida para medir dichos parámetros).

También está disponible información meteorológica pronosticada para los dos días siguientes al de la consulta, reportada en la forma que se muestra en la imagen de la figura.



Figura A.1.3. Imagen del pronóstico de parámetros meteorológicos que publica el SENAMHI en su sitio web.

Organización e infraestructura para medir el clima en el Perú⁹

En el Perú existe el Servicio Nacional de meteorología e Hidrología, SENAMHI, como institución nacional que desde 1969 brinda servicios públicos, asesoría, estudios e investigaciones científicas en las áreas de Meteorología, Hidrología, Agrometeorología y Asuntos Ambientales en beneficio del país.

Se inició como un Organismo Público Descentralizado del Sector Defensa creado por D.L.N° 17532 del 25 de Marzo de 1969, regulada por la Ley N° 24031 del 14 de Diciembre de 1984, su modificatoria aprobada por Ley N° 27188 del 25 de Octubre de 1999, el Reglamento de su Ley establecida con D.S.N° 005-85-AE del 26 de Julio de 1985.

Actualmente el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI, es un organismo público ejecutor adscrito al Ministerio del Ambiente.

La Red Nacional de Estaciones de Observación, estaba compuesta por 836 estaciones de las cuales 756 eran meteorológicas y 80 hidrológicas. Estas estaban equipadas con diversidad de instrumentos y variados métodos y sistemas de observación (diferentes sectores) y no concordaban con las normas de la OMM.

Para corregir estos aspectos se formó una Comisión de Estandarización de Métodos y Observaciones, que comprendía la:

- Reubicación y reinstalación de estaciones
- Reparación de instalaciones hidrométricas
- Elaboración de normas para el mantenimiento del instrumental
- Asignación de instrumental a estaciones de acuerdo a su categoría
- Capacitación de observadores

Hasta fines de la década del 70 la principal actividad representaba la preparación del Pronóstico diario para la República y mensual para Lima. Este nuevo Servicio, de inmediato se abocó a su inmediata integración funcional y administrativa.

Una de las metas principales que se propuso llevar a cabo el SENAMHI fue el conocimiento, evaluación, estudio y clasificación de los recursos climáticos e

⁹ Este texto ha sido copiado de la página web del SENAMHI

hidrológicos del país y la realización de las investigaciones necesarias para el mejor aprovechamiento de esos recursos.

Las actividades que realiza el SENAMHI son las que se enumeran a continuación.

1. Recopilar, centralizar y procesar la información de las estaciones meteorológicas, hidrológicas, agrometeorológica y ambientales.
2. Organizar, fomentar y dirigir estudios técnicos especializados en el país, ejecutados por entidades nacionales o extranjeras.
3. Divulgar información técnica y científica.
4. Realizar y formular estudios de investigación, acorde con las necesidades del país y la defensa nacional.
5. Participar en estudios científicos y proyectos del medio ambiente atmosférico.
6. Organizar, operar y mantener la red de estaciones meteorológicas e hidrológicas.
7. Desarrollar pronósticos meteorológicos y Vigilancia Atmosférica Global (VAG - OMM)
8. Asesoramiento técnico a instituciones públicas y privadas en apoyo al desarrollo socioeconómico.
9. Organizar y administrar el archivo nacional meteorológico, hidrológico y ambiental (banco de datos).
10. Celebrar contratos y convenios de cooperación técnica con entidades públicas y privadas a nivel nacional e internacional.
11. Expedir certificados de calibración y control de instrumental meteorológico, hidrológico y ambiental.
12. Representar al Perú ante la Organización Meteorológica Mundial (OMM)

A.1.1. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE Koppen.

Consiste en una clasificación climática mundial que identifica cada tipo de clima con una serie de letras que indican el comportamiento de las temperaturas y precipitaciones que caracterizan dicho tipo de clima. Se basa en la distribución de la Vegetación y según esta clasificación, el Perú tiene 8 de los 11 climas del Mundo.

Haciendo una Zonificación de los climas del Perú teniendo como base la clasificación de Köppen, con el agregado de parámetros de altura, radiación, inversión térmica, arquitectura tradicional, entre otros factores, que permiten tener una aproximación a

pisos de equivalencia arquitectónica, se ha elaborado una Zonificación a partir de la cual se determina 9 zonas climáticas para el Perú.

Su importancia radica en la pretensión de tomarla como base para dar orientaciones necesarias para el diseño bioclimático, por ahora cualitativas. La Tabla siguiente contiene las referencias indicadas en armonía con el mapa del Perú de la figura A.1.4.

ZONAS CLIMÁTICAS DEL PERÚ	COLOR EN EL MAPA	% TERRITORIAL	C. KOPPEN
ZONA 1 - DESERTICO MARINO	marrón	2,8%	BW, BSs
ZONA 2 – DESERTICO	amarillo	6,7%	BW
ZONA3 - INTERANDINO BAJO	naranja	3,9%	BSw
ZONA 4 – MESOANDINO	rojo	14,6%	Dwb
ZONA 5 – ALTOANDINO	gris	9,0%	Dwb
ZONA 6 – NEVADO	azul	1,4%	EFH
ZONA 7 - CEJA DE MONTAÑA	celeste	9,7%	Cw
ZONA 8- SUB TROPICAL HUMEDO	verde claro	12,2%	Aw
ZONA 9 - TROPICAL HUMEDO	verde oscuro	39,7%	Af

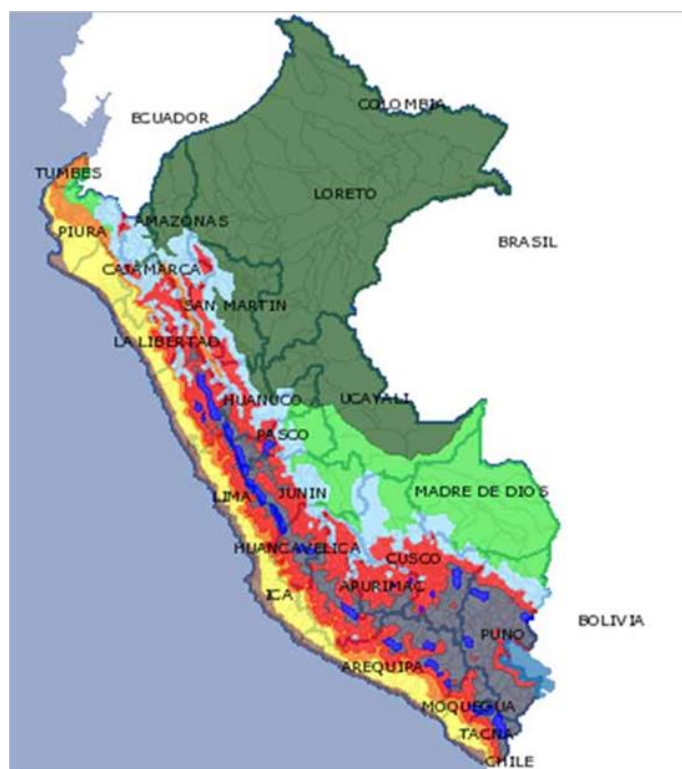


Figura A.1.4. Particularidades del Sistema Andino

APÉNDICE II

A.2. POTENCIAL TECNOLÓGICO DE SAN FRANCISCO DE RAYMINA

Albergue bioclimático

Es un Albergue comunal, construido con adobe y terminado con un revestimiento de yeso. Tiene cinco ambientes: sala, cocina, dos dormitorios y un baño. El techo está aislado con ichu colocado por debajo de tejas y apoyado sobre una manta de polietileno visible desde el interior, tiene dos claraboyas para la captación de energía solar, una en un dormitorio y otra en la sala. Así mismo, tiene un invernadero adosado al muro de los dormitorios y que contribuye con el mejoramiento de su temperatura interior. Sobre el techo está instalado un calentador solar de agua para usos sanitarios. Los ambientes interiores se iluminan por las noches gracias a la existencia de una instalación fotovoltaica.



Figura A.2.1. Albergue Bioclimático

Cocina mejorada

La cocina mejorada, reemplaza a la denominada cocina tres piedras y en SFR funcionan 21 cocinas mejoradas, una en el albergue turístico y las otras en 20 casas de la comunidad.

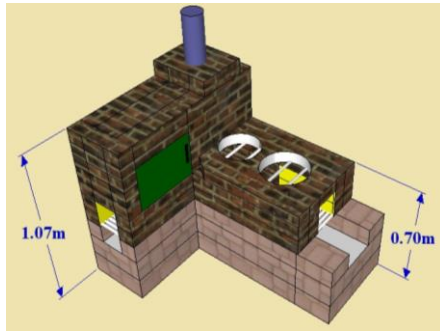


Figura A.2.2. A la izquierda, imagen virtual de una cocina mejorada; a la derecha, la comunera Mariluz utilizando el Horno de su cocina mejorada.

Molino de granos

Es un sistema mecánico de molienda compuesto por un aeromotor (molino de viento) y un molino de platos para triturar granos hasta la calidad granulométrica de harina. El primero transforma la energía del viento en energía mecánica para accionar al segundo a través de mecanismos compuestos de ejes y engranajes para generar el giro de un plato de acero con su superficie estriada frente a otro que permanece estático, entre los cuales se produce la molienda de granos. Esta instalación fue hecha en el año de 2005 y actualmente se encuentra fuera de servicio por el deterioro sufrido por efecto de eventuales deficiencias constructivas y operativas.

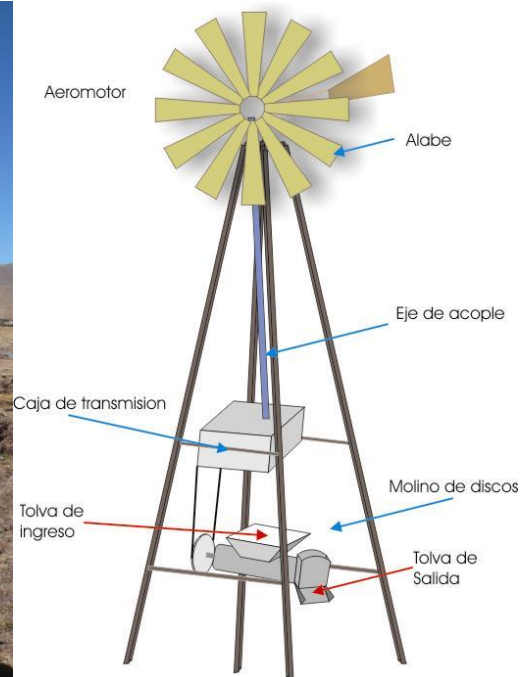


Figura A.2.3. Imagen del molino de granos (2006); a la derecha, la concepción virtual.

Invernaderos

Esta tecnología ha sido implementada en tres categorías funcionales en SFR: 1) un invernadero comunal de 200 m² de superficie para cultivo, 2) un secador solar de 2,7x6,2m en su base y 50 m² de superficie de apoyo para el secado y, 3) veinte invernaderos familiares de 12 m² de superficie para cultivo, adosados a uno de los muros de cada una de 20 viviendas de SFR.



Figura A.2.4. Fotografía del invernadero comunal e imagen volumétrica del mismo.



Figura A.2.5. Dos imágenes de biohuerto familiar, terminado y en construcción.

Planta para elaborar queso y yogurt

Es un sistema integrado para elaborar quesos y yogurt a partir de hasta 230 litros de leche fresca más ingredientes de norma y suministro energético requerido para los procesos pertinentes a partir de resistencias eléctricas, GLP y energía solar cuya fracción de aporte puede llegar a 60%. Los equipos de proceso han sido instalados en ambientes especialmente acondicionados para estos fines cumpliendo las recomendaciones sanitarias existentes. El sistema de calentamiento de agua (SCAES) es

de 600 litros de capacidad y está apoyado sobre una estructura de palos de eucalipto diseñada y construida de acuerdo con los requerimientos técnicos pertinentes.



Figura A.2.6. Vista frontal de la Planta para elaborar queso y yogurt.

Módulo de agua caliente sanitaria.

Es un ambiente sanitario cerrado de $30,87\text{m}^2$ de superficie ($4,9 \times 6,3$) cuyo interior está dividido en dos partes incomunicadas entre sí, cada una de las cuales tiene instalados tres ambientes independientes con una ducha cada uno de $1,05 \times 1,05 \times 1,8\text{m}$ ($1,1\text{m}^2$ de superficie), más un espacio común para actividades pertinentes. Cada una de estas dos partes tiene una puerta de intercomunicación con el ambiente externo ubicadas en lados contrarios. Sobre una estructura de madera ubicada al lado del módulo sanitario están instalados dos SCAES de 200 litros de capacidad de agua caliente solar cada uno, por lo tanto es una instalación sanitaria y energéticamente limpia para uso de los comuneros y visitantes de SFR en el contexto del desarrollo del turismo vivencial.



Figura A.2.7. Frontis del módulo sanitarios, a la derecha se observa las termas solares utilizadas para abastecer de agua caliente a las duchas comunales del módulo.

De momento este módulo está fuera de servicio por efecto de filtraciones de agua detectadas recientemente debido a errores en el montaje de algunos elementos de unión y válvulas de control en las líneas de agua caliente y agua fría.

Sobre la base de esta infraestructura tecnológica instalada en SFR y las actividades productivas que se espera para un futuro cercano, se espera fomentar el turismo vivencial y la transferencia tecnológica desde SFR hacia dos comunidades cercanas a ella.

Esto será posible gracias a un nuevo proyecto de Transferencia Tecnológica y generación de Negocios rurales que el CER-UNI ha empezado a ejecutar desde enero del presente año, con financiación proveniente del CONCYTEC ganada en un concurso nacional convocado por dicha entidad en setiembre de 2013. Este proyecto se ejecutará a lo largo de dos años a un costo total de quinientos cincuenta mil y 00/100 nuevos soles (S/. 550 000,00); de los que S/. 500 000,00 son aporte monetario del CONCYTEC y S/. 50 000,00 aporte no monetario de la UNI (S/. 36 000,00) y de la UNSCH-Ayacucho (S/. 14 000,00) que interviene en el proyecto como entidad asociada.

APÉNDICE III

A.3. DETALLE DE LA UBICACIÓN DE LOS SENSORES EN EL MEV

Este trabajo se realizó con el detalle y precisión que se relata a continuación. Las letras **S** y **N** representan a las habitaciones sur y norte respectivamente; así mismo, las letras **DL** y **ME** usan para referirse a Data loggers y Micro estaciones respectivamente, **N1**, **N2**, **N3**, etc. representan a los data loggers y los números 1, 2, 3 y 4 asociados a esa nomenclatura representan los 4 sensores de temperatura acoplados a cada DL y la letra **S** y el número inmediato, es la numeración de cada sensor, correlativa desde 1 hasta 64.

La especificación equivalente para la micro estación solo incluye un sensor.

En la habitación norte (N)

DL_N1_1_S46: Pared Oeste Exterior (POE)

DL_N1_2_S39: Pared Oeste Interior (POI)

DL_N1_3_S32: Ventana Oeste Exterior (VOE)

DL_N1_4_S17: Ventana Oeste Interior (VOI)

DL_N2_1_S64: Suelo

DL_N2_2_S05: Plástico

DL_N2_3_S03: Capa de aire

DL_N2_4_S33: Piso

DL_N3_1_S54: Pared Este Exterior (PEE)

DL_N3_2_S40: Pared Este Interior (PEI)

DL_N3_3_S28: Ventana Este Exterior (VEE)

DL_N3_4_S14: Ventana Este Interior (VEI)

DL_N4_1_S59: Pared Noreste Exterior (PNEE)

DL_N4_2_S36: Pared Noreste Interior (PNEI)

DL_N4_3_S25: Pared Noroeste Exterior (PNOE)

DL_N4_4_S53: Pared Noroeste Interior (PNOI)

DL_N5_1_S57: Puerta exterior cara exterior (ext ext)

DL_N5_2_S62: Puerta exterior cara interior (ext int)

DL_N5_3_S18: Puerta interior cara exterior (int ext)

DL_N5_4_S38: Puerta interior cara interior (int int)

ME_N6_1_S13: entre las puertas

DL_N7_1_S08: Entrada del agua en el tubo en “L”

DL_N7_2_S01: Respiradero del tubo en “L”

DL_N8_1_S06: Medio/Mitad de la geometría del techo (colgando)

DL_N8_2_S02: Ala Norte

DL_N8_3_S09: Ala Sur

DL_N8_4_S07: Cielo Raso

En la habitación sur (S)

DL_S1_1_S42: Pared Este Exterior (PEE)

DL_S1_2_S63: Pared Este Interior (PEI)

DL_S1_3_S12: Ventana Este Exterior (VEE)

DL_S1_4_S29: Ventana Este Interior (VEI)

DL_S2_1_S43: Pared Sureste Exterior (PSEE)

DL_S2_2_S10: Pared Sureste Interior (PSEI)

DL_S2_3_S52: Pared Suroeste Exterior (PSOE)

DL_S2_4_S47: Pared Suroeste Interior (PSOI)

DL_S3_1_S27: Pared Oeste Exterior (POE)

DL_S3_2_S58: Pared Oeste Interior (POI)

DL_S3_3_S19: Ventana Oeste Exterior (VOE)

DL_S3_4_S15: Ventana Oeste Interior (VOI)

DL_S4_1_S44: Suelo

DL_S4_2_S45: Plástico

DL_S4_3_S04: Capa de aire

DL_S4_4_S34: Piso

DL_S5_1_S60: Puerta exterior cara exterior (ext ext)

DL_S5_2_S49: Puerta exterior cara interior (ext int)

DL_S5_3_S48: Puerta interior cara exterior (int ext)

DL_S5_4_S51: Puerta interior cara interior (int int)

ME_S6_1_S16: entre las puertas

DL_S7_1_S37: Entrada del agua

DL_S7_2_S41: Cuerpo 1

DL_S7_3_S55: Cuerpo 2

DL_S7_4_S56: Salida del agua

ME_Este_Serpentin_S50: Hacia el calentador del techo.

REGISTRO DE DATOS EXPERIMENTALES

Date/Time	T(°C)1	T(°C) 2	T(°C) 3	T(°C) 4
10/08/2013 00:00	11,77	12,16	12,16	11,77
10/08/2013 00:30	11,77	12,16	12,16	11,77
10/08/2013 01:00	11,77	12,16	11,77	11,77
10/08/2013 01:30	11,77	11,77	11,77	11,77
10/08/2013 02:00	11,77	11,77	11,77	11,77
10/08/2013 02:30	11,77	11,77	11,77	11,77
10/08/2013 03:00	11,77	11,77	11,77	11,77
10/08/2013 03:30	11,77	11,77	11,77	11,77
10/08/2013 04:00	11,77	11,77	11,77	11,77
10/08/2013 04:30	11,77	11,77	11,77	11,77
10/08/2013 05:00	11,77	11,77	11,77	11,77
10/08/2013 05:30	11,77	11,77	11,77	11,77
10/08/2013 06:00	11,77	11,77	11,77	11,77
10/08/2013 06:30	11,77	11,77	11,77	11,77
10/08/2013 07:00	11,77	11,77	11,77	11,77
10/08/2013 07:30	11,77	11,77	11,77	11,77
10/08/2013 08:00	11,77	11,77	11,77	11,77
10/08/2013 08:30	11,77	11,77	11,77	11,77
10/08/2013 09:00	12,16	12,16	12,16	12,16
10/08/2013 09:30	12,16	14,09	12,55	12,93
10/08/2013 10:00	12,55	14,09	12,93	12,93
10/08/2013 10:30	12,55	14,47	12,93	12,93
10/08/2013 11:00	12,55	14,85	13,32	13,32

Date/Time	T(°C)1	T(°C) 2	T(°C)3	T(°C) 4
10/08/2013 11:00	12,55	14,85	13,32	13,32
10/08/2013 11:30	12,55	15,23	13,32	13,32
10/08/2013 12:00	12,93	15,23	13,7	13,32
10/08/2013 12:30	12,55	14,47	13,32	13,32
10/08/2013 13:00	12,55	13,7	12,93	12,93
10/08/2013 13:30	12,55	14,85	13,32	13,32
10/08/2013 14:00	12,93	16,76	14,09	14,09
10/08/2013 14:30	13,32	15,62	14,09	14,09
10/08/2013 15:00	13,32	14,47	13,7	13,32
10/08/2013 15:30	12,93	14,09	13,32	12,93
10/08/2013 16:00	12,93	13,7	13,32	12,93
10/08/2013 16:30	12,55	13,32	12,93	12,16
10/08/2013 17:00	12,16	12,93	12,55	12,16
10/08/2013 17:30	12,16	12,55	12,55	11,77
10/08/2013 18:00	12,16	12,55	12,16	12,16
10/08/2013 18:30	12,16	12,55	12,16	12,16
10/08/2013 19:00	12,16	12,55	12,16	12,16
10/08/2013 19:30	12,16	12,55	12,16	12,16
10/08/2013 20:00	12,16	12,55	12,16	11,77
10/08/2013 20:30	11,77	12,16	12,16	11,77
10/08/2013 21:00	11,77	12,16	12,16	11,77
10/08/2013 21:30	11,77	12,16	12,16	11,77
10/08/2013 22:00	11,77	12,16	12,16	11,77
10/08/2013 22:30	11,77	12,16	12,16	11,77
10/08/2013 23:00	11,77	12,16	11,77	11,77
10/08/2013 23:30	11,77	12,16	11,77	11,77

El registro de valores de los parámetros climáticos corre suerte similar, se tiene cerca de 70 días de datos y se muestra uno cualquiera como ejemplo.

Date/Time	Wind Direction (º)	T (°C)	Dew Point (°C)	RH (%)	Solar Radiation (W/m^2)
11/08/2013 00:00	310,3	4,999	1,61	78,7	0,6
11/08/2013 00:30	310,3	4,532	1,76	82,2	0,6
11/08/2013 01:00	310,3	4,35	1,47	81,5	0,6
11/08/2013 01:30	310,3	4,141	1,7	84,1	0,6
11/08/2013 02:00	310,3	3,958	1,35	83,1	0,6
11/08/2013 02:30	310,3	4,22	1,73	83,8	0,6
11/08/2013 03:00	14	3,801	1,42	84,4	0,6
11/08/2013 03:30	32,3	3,564	1,23	84,7	0,6

Date/Time	Wind Direction (°)	T (°C)	Dew Point (°C)	RH (%)	Solar Radiation (W/m²)
11/08/2013 04:00	29,5	3,485	1,11	84,4	0,6
11/08/2013 04:30	44,9	2,61	0,46	85,7	0,6
11/08/2013 05:00	321,5	4,22	1,44	82,1	0,6
11/08/2013 05:30	294,8	4,818	1,37	78,3	14,4
11/08/2013 06:00	278	7,494	3,15	73,9	150,6
11/08/2013 06:30	278	9,534	3,66	66,7	270,6
11/08/2013 07:00	283,6	10,345	3,39	62	390,6
11/08/2013 07:30	92,7	11,54	4,36	61,3	506,9
11/08/2013 08:00	87	11,856	4,64	61,2	611,9
11/08/2013 08:30	91,3	12,001	4,94	61,9	713,1
11/08/2013 09:00	101,1	13,161	5,41	59,3	856,9
11/08/2013 09:30	70,2	13,81	5,95	59	974,4
11/08/2013 10:00	103,9	15,127	6,96	58,1	1039,4
11/08/2013 10:30	66	15,772	6,47	53,9	1264,4
11/08/2013 11:00	73	15,629	5,96	52,5	1154,4
11/08/2013 11:30	70,2	15,031	5,07	51,3	285,6
11/08/2013 12:00	14	14,601	3,96	48,8	310,6
11/08/2013 12:30	16,8	17,011	4,42	43,2	1240,6
11/08/2013 13:00	9,8	18,081	5,09	42,3	1129,4
11/08/2013 13:30	29,5	16,487	3,31	41,3	291,9
11/08/2013 14:00	61,8	17,272	3,56	40	276,9
11/08/2013 14:30	110,9	19,579	3,84	35,3	761,9
11/08/2013 15:00	314,5	18,247	2,9	35,9	144,4
11/08/2013 15:30	22,5	18,889	3,9	37	553,1
11/08/2013 16:00	56,2	16,82	3,12	39,9	50,6
11/08/2013 16:30	329,9	16,796	2,56	38,4	29,4
11/08/2013 17:00	292	17,724	3,02	37,4	184,4
11/08/2013 17:30	327,1	15,175	2,92	43,7	14,4
11/08/2013 18:00	318,7	12,727	3,75	54,3	3,1
11/08/2013 18:30	304,7	13,088	4,06	54,2	0,6
11/08/2013 19:00	178,3	14,05	0,57	39,7	0,6
11/08/2013 19:30	165,7	12,775	0,26	42,2	0,6
11/08/2013 20:00	169,9	12,558	0,03	42,1	0,6
11/08/2013 20:30	165,7	12,025	0,13	43,9	0,6
11/08/2013 21:00	174,1	11,953	-0,58	41,9	0,6
11/08/2013 21:30	154,4	11,613	-0,72	42,4	0,6
11/08/2013 22:00	143,2	9,312	0	52,1	0,6
11/08/2013 22:30	242,9	9,064	0,54	55,1	0,6
11/08/2013 23:00	4,2	8,07	0,92	60,6	0,6
11/08/2013 23:30	28,1	7,116	1,14	65,7	0,6

EJEMPLO DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

Time, GMT- 05:00	Data Logger CER UNI N° 005				Data Logger CER UNI N° 007			
	Temp, °C	Temp, °C	Temp, °C	Temp, °C	Temp, °C	Temp, °C	Temp, °C	Temp, °C
	ENTRAD A_TR	RESPIRA D. TR	3	4	SUBSU ELO	PLÁSTIC O	CAPA_AI RE	SOBRE_ PISO
30/10/2013 0:00	22,896	23,978	NO UTILIZADOS		12,292	98,141	12,63	12,847
30/10/2013 0:30	22,274	23,28			12,292	97,783	12,63	12,678
30/10/2013 1:00	21,652	22,633			12,292	97,783	12,606	12,558
30/10/2013 1:30	21,103	22,034			12,292	97,783	12,606	12,509
30/10/2013 2:00	20,579	21,437			12,292	97,546	12,606	12,485
30/10/2013 2:30	20,079	20,913			12,292	97,783	12,582	12,437
30/10/2013 3:00	19,627	20,412			12,292	97,783	12,582	12,316
30/10/2013 3:30	19,199	19,936			12,292	97,783	12,582	12,171
30/10/2013 4:00	18,771	19,508			12,292	97,664	12,582	12,05
30/10/2013 4:30	18,39	19,08			12,292	97,428	12,558	11,953
30/10/2013 5:00	18,033	18,675			12,292	97,076	12,558	11,856
30/10/2013 5:30	17,701	18,295			12,292	96,844	12,534	11,734
30/10/2013 6:00	17,368	17,938			12,292	97,076	12,534	11,686
30/10/2013 6:30	17,058	17,605			12,292	94,708	12,534	11,856
30/10/2013 7:00	16,773	17,296			12,292	95,369	12,509	12,171
30/10/2013 7:30	16,534	17,034			12,292	96,155	12,534	12,558
30/10/2013 8:00	16,32	16,796			12,292	95,929	12,534	12,944
30/10/2013 8:30	16,129	16,582			12,292	95,592	12,558	13,305
30/10/2013 9:00	15,963	16,392			12,292	95,369	12,558	13,522
30/10/2013 9:30	15,796	16,225			12,292	95,147	12,582	13,69
30/10/2013 10:00	15,676	16,058	12,292	95,48	12,606	13,81		
30/10/2013 10:30	15,533	15,915	12,292	95,816	12,606	13,882		
30/10/2013 11:00	15,438	15,772	12,292	96,269	12,63	13,906		
30/10/2013 11:30	15,318	15,652	12,292	96,498	12,63	13,93		
30/10/2013 12:00	15,223	15,533	12,292	96,498	12,654	13,954		
30/10/2013 12:30	15,151	15,438	12,292	96,844	12,654	14,026		
30/10/2013 13:00	15,055	15,342	12,292	97,076	12,654	14,098		
30/10/2013 13:30	14,984	15,27	12,292	97,076	12,654	14,146		
30/10/2013 14:00	14,936	15,199	12,292	96,96	12,678	14,481		
30/10/2013 14:30	14,864	15,127	12,292	97,31	12,678	14,529		
30/10/2013 15:00	14,816	15,079	12,292	97,783	12,703	14,481		
30/10/2013 15:30	14,768	15,031	12,292	97,546	12,703	14,553		
30/10/2013 16:00	14,745	14,984	12,292	98,262	12,703	14,385		

Time, GMT- 05:00	Data Logger CER UNI N° 005			
	Temp, °C	Temp, °C	Temp, °C	Temp, °C
	ENTRAD A_TR	RESPIRA D. TR	3	4
30/10/2013 16:30	14,673	14,936	NO UTILIZADOS	
30/10/2013 17:00	14,625	14,864		
30/10/2013 17:30	14,577	14,792		
30/10/2013 18:00	14,505	14,721		
30/10/2013 18:30	14,457	14,649		
30/10/2013 19:00	14,409	14,577		
30/10/2013 19:30	14,361	14,529		
30/10/2013 20:00	14,29	14,457		
30/10/2013 20:30	14,242	14,385		
30/10/2013 21:00	14,194	14,337		
30/10/2013 21:30	14,146	14,266		
30/10/2013 22:00	14,074	14,194		
30/10/2013 22:30	14,026	14,146		
30/10/2013 23:00	13,978	14,074		
30/10/2013 23:30	13,93	14,026		

Data Logger CER UNI N° 007			
Temp, °C	Temp, °C	Temp, °C	Temp, °C
SUBSU ELO	PLÁSTIC O	CAPA_AI RE	SOBRE_ PISO
12,292	98,992	12,703	14,002
12,292	99,363	12,703	13,81
12,292	99,363	12,703	13,666
12,292	99,239	12,678	13,546
12,292	99,738	12,678	13,449
12,292	99,99	12,654	13,377
12,292	100,372	12,654	13,305
12,316	99,738	12,654	13,257
12,292	99,99	12,654	13,209
12,292	99,738	12,654	13,161
12,292	99,864	12,63	13,016
12,292	100,117	12,63	12,847
12,292	100,758	12,63	12,823
12,292	100,629	12,606	12,847
12,316	100,244	12,606	12,703

APÉNDICE IV

**A.4. ESTE APÉNDICE ES DE TIPO DIGITAL Y SE ENCUENTRA
GRABADO EN EL DISCO COMPACTO QUE USTED ENCUENTRA
ADHERIDO A ESTA PÁGINA.**