

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA FÍSICA



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO FÍSICO.

TÍTULADA:

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN TÉRMICA DE UN MÓDULO DE VIVIENDA
RURAL EN LA LOCALIDAD DE VILCALLAMAS ARRIBA, DISTRITO DE PISACOMA,
PROVINCIA DE CHUCUITO, REGIÓN PUNO.

PRESENTADA POR:

GONZALO GUILLERMO SAAVEDRA SALAZAR.

ASESOR:

ING. RAFAEL LEONARDO ESPINOZA PAREDES.

LIMA-PERÚ

2014

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

CONTENIDO

Simbología	II
Tabla de Figuras	III
Tabla de Tablas	V
1 Prologo.....	1
2 Introducción.....	3
2.1 Planteamiento del Problema	6
2.2 Objetivos	8
2.3 Preguntas Fundamentales	8
2.4 Hipótesis.....	9
2.5 Justificación.....	9
2.6 Antecedentes	10
3 Marco Teórico	16
3.1 Transferencia de Energía en los edificios.....	16
3.2 Confort Térmico Adaptativo y condiciones térmicas en edificaciones	40
3.3 Simulación Térmica de proyecto de vivienda y ajuste de parámetros	49
4 Marco Metodológico.....	51
4.1 Estrategias de diseño.....	51
4.2 Recolección de información del proyecto de vivienda.....	51
4.3 Elaboración de modelo para simulación de comportamiento térmico para diseño. 53	
4.4 Construcción de la vivienda propuesta.....	65
4.5 Monitoreo de vivienda propuesta.....	67
4.6 Comparación de resultados de simulación y datos medidos.....	67
4.7 Análisis de Sensibilidad.....	67
4.8 Calibración de simulación con datos medidos.....	67
5 Resultados	74
5.1 Diagnostico térmico de condiciones típicas.....	74
5.2 Rango de Temperaturas de Confort.....	76
5.3 Modelación y selección de modificaciones constructivas de diseño	77
5.4 Mediciones Térmicas en la vivienda construida	79
5.5 Temperatura y flujos de calor en el modelo base y datos medidos de temperatura. 81	
5.6 Ajustes entre modelo y Mediciones.....	89
5.7 Selección de Modelos	95
5.8 Características Térmicas de Envolverte y Vidriado	96
5.9 Comparación Cuantitativa del Confort Térmico	97
6 Conclusiones.....	99
7 Recomendaciones.....	102
8 Bibliografía	104
9 Apendices.....	109

SIMBOLOGÍA

α	Absortividad
L	Calor latente de vaporización del agua
c	Capacidad calorífica
c	Capacidad calorífica
h	Coefficiente de intercambio convectivo
k	Conductividad térmica
σ	Constante de Stefan-Boltzman
ω	Contenido de agua del aire
ρ	Densidad
ϵ	Emisividad
F	Factor de forma
Q	Flujo de calor
Gr	Número de Grashoff
Nu	Numero de Nusselt
Pr	Numero de Prandtl
x	Posición (m)
E	Potencia emisiva
E°	Potencia emisiva de un cuerpo negro
P_{sat}	Presión de saturación
J	Radiosidad
ρ	Reflectividad
T	Temperatura
T_a	Temperatura ambiente
T_s	Temperatura superficial
t	Tiempo
τ	Transmisividad

TABLA DE FIGURAS

Figura 1 cantidad de personas afectadas por emergencias y desastres en el país entre los años 2003 y 2011 (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2012).....	4
Figura 2. proporción de personas afectadas con respecto a otras emergencias (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2012).....	4
Figura 3 vista de “muros trombe”, instalados deficientemente.....	5
Figura 4 interior de la vivienda de la misión Belén de Immensee en Espinar, Cuzco.....	10
Figura 5 función de control higrotérmico de una edificación.....	17
Figura 6 diagrama mostrando el detalle del sistema térmico edificación.....	20
Figura 7 izquierda, efecto chimenea y derecha, efecto del viento. (Szokolay, 2008).....	23
Figura 8 diagrama psicrometrico del aire (Szokolay, 2008).....	28
Figura 9 la variación de la votación la comodidad media con la temperatura interior media. Cada punto es el valor medio de una encuesta de confort (con los datos presentados en Humphreys 1976). (Nicol & Humphreys, 2002).....	43
Figura 10 la variación de temperatura de confort con una temperatura media interior, a) desde encuestas en todo el mundo (a partir de datos presentados en Humphreys 1976) y b) a partir de un conjunto particular de climas (Europa [línea discontinua] y Pakistán), pero en diferentes épocas del año. (Nicol & Humphreys, 2002).....	43
Figura 11 Pakistán: la proporción de trabajadores de oficina que se encontraban a gusto en diferentes temperaturas interiores. Se notará que en muchas ocasiones los sujetos no registraron molestia. Con una temperatura interior y de confort que cambia continuamente en edificios paquistaníes. Se encontraron cómodos a temperaturas que oscilan entre 20 y 30 °C sin refrigeración, sin uso de ventiladores (de nicol et al 1999) (Nicol & Humphreys, 2002).....	44
Figura 12 el cambio en la temperatura de confort con el promedio mensual de al aire libre temperatura. Cada punto representa el valor medio de una encuesta. Este gráfico es de Humphreys 1978. Los edificios están divididos entre los acondicionados en el momento del estudio y las que son de funcionamiento libre. Posterior análisis de la base de datos de las encuestas de confort ASHRAE (Humphreys y nicol 2000) mostraron resultados similares. (Nicol & Humphreys, 2002).....	45
Figura 13 temperaturas de confort como una función de la temperatura exterior para edificios que son de funcionamiento libre (a) y con calefacción y refrigeración (b). Desde la ASHRAE base de datos (Dedear y Brager 1998) (izquierda) y de Humphreys (1978) (véase la derecha) (diagrama de Humphreys y Nicol 2000) (Nicol & Humphreys, 2002).....	45
Figura 14 listado de los cambios estacionales en la temperatura media de confort en Islamabad, Pakistán y su relación con la máxima, mínima y la temperatura media exterior. La relación utilizada para calcular la temperatura de confort en función de la temperatura exterior es de Humphreys (1978) para los edificios libre funcionamiento. (Nicol & Humphreys, 2002).....	48
Figura 15 esquema identificando los sensores del monitoreo.....	66
Figura 16 promedio horario por mes de las mediciones horarias de temperatura de aire interior del dormitorio de una vivienda típica.....	74
Figura 17 promedio horario por mes de las mediciones horarias de temperatura de aire interior de la cocina de una vivienda típica.....	75
Figura 18 diagrama de medición de vivienda típica.....	75

Figura 19 temperatura promedio horaria en los invernaderos de la vivienda propuesta.....	79
Figura 20 comparación entre datos medidos y simulados en el dormitorio 1.....	81
Figura 21 promedio horario de calor en el aire del dormitorio 1.....	82
Figura 22 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior 42.1, pared sur dormitorio 1.....	83
Figura 23 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior 42.2, pared oeste dormitorio 1.....	84
Figura 24 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior 42.3, pared norte dormitorio 1.....	84
Figura 25 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior 42.4, pared este dormitorio 1.....	85
Figura 26 promedio horario de temperaturas y flujos de calor simulado de la superficie interior pidor1, piso dormitorio 1.....	86
Figura 27 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior tdor1, techo dormitorio 1.....	86
Figura 28 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie exterior tdor1, techo dormitorio 1.....	87
Figura 29 vistas de planta de la vivienda señalando las zonas y áreas de medición en el dormitorio 1 (i).....	89
Figura 30 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura de aire interior del dormitorio 1.....	90
Figura 31 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura de superficial interior 42.2 del dormitorio 1.....	90
Figura 32 vistas de planta de la vivienda señalando las zonas y áreas de medición en el dormitorio 1 (ii).....	91
Figura 33 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficial interior 42.4 del dormitorio 1.....	91
Figura 34 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficial interior 42.1 del dormitorio 1.....	92
Figura 35 vistas de planta de la vivienda señalando las zonas y áreas de medición en el dormitorio 1 (iii).....	92
Figura 36 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficial interior 42.3 del dormitorio 1.....	93
Figura 37 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie interior tdor1 del dormitorio 1.....	93
Figura 38 vistas de planta de la vivienda señalando las zonas y áreas de medición en el dormitorio 1 (iv).....	94
Figura 39 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie exterior tdor1 del dormitorio 1.....	94
Figura 40 comparación de las condiciones térmicas típicas y del módulo nuevo medido, así como las temperaturas simuladas con las condiciones de confort en 2 dormitorios y la sala-comedor-cocina.....	97

TABLA DE TABLAS

Tabla 1 coeficientes de rugosidad.....	36
Tabla 2 factores de rugosidad de superficie en algoritmo TARP.	37
Tabla 3 coeficiente MoWitt.....	38
Tabla 4 correlaciones CeilingDiffuser.....	39
Tabla 5 localización del modelo	56
Tabla 6 propiedades térmicas de los materiales de construcción usados en el modelo de simulación.....	57
Tabla 7 algoritmos de cálculo definidos en el modelo.....	57
Tabla 8 proceso de modelado de la etapa a	62
Tabla 9 proceso de modelado de la etapa b	63
Tabla 10 proceso de modelado de la etapa c	64
Tabla 11 proceso de modelado de la etapa d	65
Tabla 12 rango de valores de propiedades termicas de materiales de construccion	68
Tabla 13 casos simulados para el ajuste de la simulación (i).....	70
Tabla 14 casos simulados para el ajuste de la simulación (ii).....	71
Tabla 15 casos simulados para el ajuste de la simulación (iii)	72
Tabla 16 casos simulados para el ajuste de la simulación (iv).....	73
Tabla 17 temperatura de confort mensual para Vilcallamas arriba en °C	76
Tabla 18 resultados de la etapa a del proceso de simulación.....	77
Tabla 19 resultados de la etapa b del proceso de simulación.....	78
Tabla 20 resultados de la etapa c del proceso de simulación.....	78
Tabla 21 resultados de la etapa d del proceso de simulación.....	78
Tabla 22 rangos de la temperatura promedio medida en la vivienda propuesta en °C.	79
Tabla 23 principales parámetros de los modelos de simulación seleccionados.....	95
Tabla 24 factor de transferencia de calor de componentes del envolvente, modelo 42.	96
Tabla 25 características termicas de fenestraci3n, modelo 42.....	96

1 PROLOGO

Existe un fuerte incremento de la actividad constructiva en el país, el sector rural también es afectado por este crecimiento, el estado busca mejorar la calidad de las viviendas localizadas en zonas altoandinas, zonas caracterizadas por climas muy fríos y densidad poblacional muy baja. En este contexto se diseñó, construyó y evaluó una vivienda alto andina que elevó su temperatura media interior optimizando la captación de la radiación solar, el almacenamiento de calor y minimizando las pérdidas térmicas.

En la región Puno, provincia de Chucuito, distrito de Pisacoma las condiciones climáticas son extremas, las temperaturas oscilan entre 15°C y -5°C y radiaciones diarias de $6 \frac{kWh}{m^2 \text{ día}}$ en invierno.

Las viviendas rurales de la zona constan típicamente de paredes de adobe, piso de tierra apisonada, techos de paja, tumbado o calamina metálica, ventanas pequeñas y no más de una, por lo general. Estas viviendas registraron temperaturas medias interiores de 4°C, bastante estables pero bajas, estas condiciones deterioran la salud y afectan en forma negativa al desarrollo humano de la población.

Utilizando la elevada cuota energética de radiación solar diaria y la inercia térmica de la envolvente de adobe en las viviendas se puede mejorar las condiciones térmicas de habitabilidad de las viviendas, alcanzando temperaturas mínimas de 10°C en promedio.

Se evaluó térmicamente una vivienda típica en la localidad para establecer los parámetros base del diseño durante un año en periodos intermitentes no menores que un mes, se utilizó criterios de arquitectura bioclimática como la orientación de las fachadas respecto al movimiento solar, áreas máximas de transmisión solar al interior, distribución de muros de

adobe almacenadores y disminución de pérdidas sea por envolvente o infiltraciones. Mediante el uso del programa de simulación térmica de edificaciones, EnergyPlus, se evaluarán cuantitativamente el comportamiento térmico interior que producirían las siguientes variables constructivas: Reducción de infiltraciones, dimensionamiento de secciones del envolvente transparentes y/o traslucidos y aislamiento de la capa exterior de envolventes opacos.

Construida la vivienda, se evaluó la temperatura, en diferentes puntos de la vivienda por un periodo de 2 meses con el fin de comprobar la mejora en el desempeño térmico y calibrar los parámetros de simulación para mejorar la herramienta de diseño.

El capítulo sobre el marco teórico abarca conceptos fundamentales de transferencia de calor enfocado en las edificaciones, modelos de confort térmico adaptativo y conceptos de soporte para simulación térmica de edificaciones.

El capítulo sobre el marco metodológico abarca las estrategias de diseño, recolección de información base, elaboración de los modelos de simulación, monitoreo de una vivienda altoandina prototipo, la comparación de los datos modelados y el ajuste de las mediciones con las simulaciones computacionales.

El capítulo de resultados, se muestra todos los resultados obtenidos de acorde a los puntos tratados en el capítulo de marco metodológico, con referente a datos simulados y medidos.

En el capítulo de conclusiones, se describe el nivel de cumplimiento de la hipótesis así como conclusiones secundarias encontradas durante la elaboración de esta investigación.

En el capítulo de recomendaciones se expone las recomendaciones para mejorar el diseño, el monitoreo y la simulación de viviendas altoandinas.

Adicionalmente se anexa material complementario como la memoria descriptiva de la edificación de la vivienda prototipo, especificaciones técnicas de la instrumentación utilizada, el contenido un archivo utilizado por el simulador energético y un análisis de sensibilidad de parámetros de simulación.

2 INTRODUCCIÓN

Según datos de Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) en el Perú, una de las emergencias que afecta a la mayor cantidad de personas es la helada. La helada es un fenómeno climático que consiste en un descenso de la temperatura ambiente a niveles inferiores al punto de congelación del agua y hace que el agua o el vapor que está en el aire se congele depositándose en forma de hielo en las superficies, para la zonas alto andinas es, generalmente, por un exceso de enfriamiento radiativo del suelo durante cielos claros y secos. Esta emergencia de bajas temperaturas afecta la salud y las actividades comunes del poblador. Con respecto a la salud, las infecciones respiratorias son las principales enfermedades producto de las bajas temperaturas, el ministerio de salud recomienda evitar abrigo y corrientes de aire, así como evitar el humo generado por la leña y otros combustibles. INDECI por su parte recomienda permanecer en casa y abrigarse, teniendo cuidado de los niños pequeños pues pueden asfixiarse por el abrigo excesivo. En la región de Apurímac, se registró la mayor cantidad de afectados por las heladas en el país, siendo 830 166 personas afectadas, siendo Puno la segunda región más afectada con 687 437 personas afectadas. En la Figura 1 se puede apreciar las personas afectadas por región entre los años 2003 al 2011, registradas por INDECI y en la Figura 2, la proporción anual en comparación con las personas afectadas por todas las emergencias en el país.

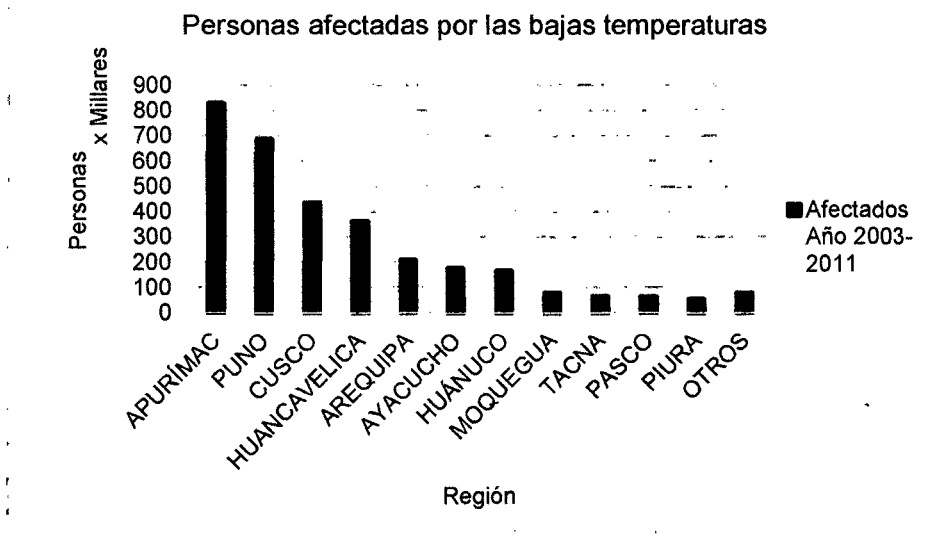


Figura 1 cantidad de personas afectadas por emergencias y desastres en el país entre los años 2003 y 2011 (INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL, 2012)

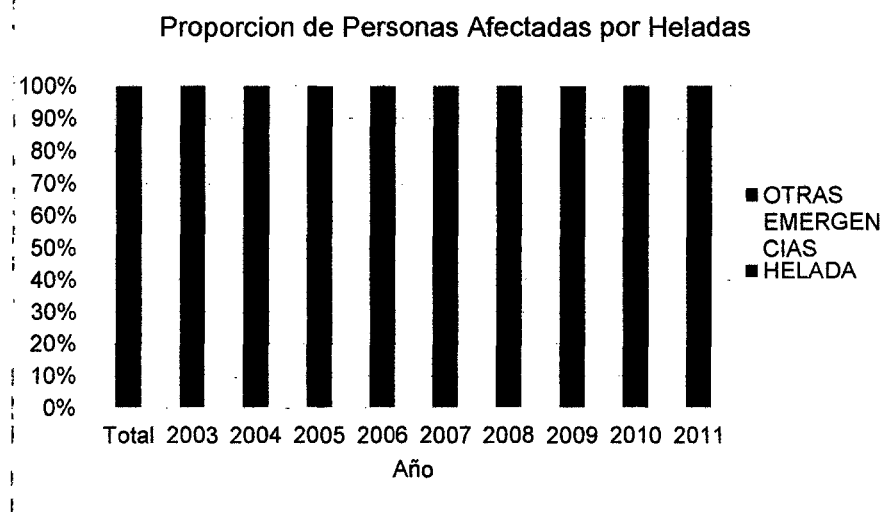


FIGURA 2. Proporción de personas afectadas con respecto a otras emergencias (INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL, 2012)

En este escenario el gobierno central tomó medidas y mediante Decreto de Urgencia 019-2008 del 5 de Junio 2008, se declaró de interés nacional la implementación y aplicación de la tecnología alternativa de calefacción "Sistema Pasivo de Recolección de Energía Solar de Forma Indirecta" denominada "Muro Trombe" en las viviendas ubicadas en las zonas alto

andinas por encima de los 3 500 msnm, autorizando al sector vivienda la implementación y aplicación del citado sistema para los departamentos Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Cusco, Huánuco, Huancavelica, Junín, Pasco, Moquegua, Puno y Tacna. El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en convenio con SENCICO, instaló 17 754 muros de trombe (calefactores solares). (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2012). Sin embargo, esta ayuda no fue eficiente ni eficaz, en muchos casos. Se realizaron instalaciones sin tener en cuenta la orientación del muro, las sombras generadas por otras edificaciones y tampoco el nivel de aislamiento de la vivienda; produciéndose una baja o nula captación de energía solar y en casos extremos aumento de las infiltraciones de la vivienda generando un efecto refrigerante, algo contraproducente. Este tipo de instalaciones se precia en la Figura 3.

Siendo Puno, una de las regiones con mayor cantidad de riesgos debido a las bajas temperaturas ambientales, es necesario realizar estudio de aplicación para mejorar las condiciones de vida de los habitantes de estas zonas tan azotadas por el medio ambiente. Los habitantes de estas zonas se dedican principalmente a la ganadería, desarrollando esta actividad al aire libre, para luego buscar refugio en sus viviendas.



Figura 3 vista de "muros trombe", instalados deficientemente.

2.1 Planteamiento del Problema

Con lo mencionado anteriormente se puede identificar algunas situaciones que constituyen la problemática en cuestión:

1. Las condiciones climáticas externas y dentro de las viviendas rurales de las zonas alto andinas del Perú, sobre los 4000 m.s.n.m, específicamente en Puno son muy frías.
2. Los pobladores de estas zonas son propensos a desarrollar infecciones respiratorias, que pueden ocasionar graves trastornos no regenerativos en la salud, incluso la muerte.
3. Los programas del gobierno central enfocados al mejoramiento térmico o construcción de viviendas rurales alto andinos carecen de estudios pilotos evaluados.
4. Ausencia del uso de técnicas avanzadas de diseño y evaluación de comportamiento térmico de edificaciones en general aplicadas al diseño, implementación y/o evaluación de proyectos de edificación alto andino.

Se plantean las siguientes preguntas:

- ¿Cómo mejorar las condiciones climáticas a las que está sometido el poblador alto andino?
- ¿Cómo evitamos el desarrollo de enfermedades respiratorias infecciosas?
- ¿Cómo mejorar la ayuda del gobierno para acondicionar viviendas en respuesta a las heladas?
- ¿Cómo empleamos técnicas avanzadas de diseño y evaluación térmica en proyectos de edificación alto andina?

Analizando las situaciones antes numeradas:

- Las condiciones climáticas externas no son posibles de controlar, es por eso que el hombre desde la antigüedad evitaba estos climas o se protegía de estas en refugios naturales para luego usar edificaciones.

- Para el poblador alto andino, la exposición a condiciones climáticas está en función de su actividad diaria, este poblador suele salir temprano al exterior para atender el ganado y luego ingresar a las viviendas para descansar y protegerse del frío.
- La vestimenta del poblador alto andino no es apta para soportar las inclemencias del clima externa ni interno, teniendo que recurrir a la utilización de una gran cantidad de cobertores, sacrificando la comodidad del descanso nocturno y existiendo riesgo de asfixia para los habitantes más débiles.
- El desarrollo de enfermedades depende de varios factores, podríamos mencionar la exposición a agentes patógenos, la fortaleza del sistema inmunológico y las condiciones climáticas.
- Los agentes patógenos externos solo podrían ser eliminados por una esterilización exhaustiva, sin embargo existe agentes que se vuelven patógenos debido a ciertas condiciones a las que es expuesta el cuerpo humano, por ejemplo las bajas temperaturas.
- La inmunidad natural de nuestro cuerpo depende de la genética y la nutrición, identificando que la nutrición en estas zonas es deficiente, teniendo alto contenido de calorías, por consumo de harinas y grasas, y bajo contenido de otros nutrientes esenciales.
- La nutrición del poblador depende básicamente de la educación y la economía.
- Los programas de ayuda deben tener un sustento técnico que cubra todos, o la mayor parte, de los aspectos involucrados en el mejoramiento térmico de viviendas.
- Las técnicas de ingeniería térmica aplicadas en la edificación en el ámbito nacional son casi inexistente, al no existir una normativa de carácter obligatorios ni un mercado exigente.

De lo analizado y acotando el escenario en cuestión se concluye que el problema central es la: *“Ausencia de uso intensivo de técnicas de diseño y evaluación energéticas en viviendas para su implementación en programas de mejoramiento habitacional de gobierno o edificación privada, para zonas alto andinas sobre los 4000 m.s.n.m.”*

2.2 Objetivos

El objetivo de esta tesis es desarrollar un diseño de vivienda térmica rural evaluada, basada en criterios bioclimáticos, con énfasis en el uso de la energía solar y uso intensivo de herramientas de simulación computacional. Con los siguientes objetivos secundarios:

- Estudio climático de la localidad de Vilcallamas Arriba, Puno (sobre los 4500 m.s.n.m.)
- Definir y analizar indicadores térmicos de base en una vivienda típica.
- Definir las condiciones óptimas de diseño térmico para las viviendas orientadas al confort.
- Acondicionar las herramientas de simulación para los trabajos de diseño, encontrando parámetros de configuración que mejoren la precisión de las predicciones térmicas.
- Diseñar la vivienda con el fin de alcanzar condiciones térmicas favorables para los habitantes.
- Analizar el comportamiento térmico de la vivienda prototipo construido.

2.3 Preguntas Fundamentales

- ¿Porque las condiciones térmicas interiores de las viviendas llegan a niveles críticos?
- ¿Qué utilidad tiene el uso de herramientas de simulación energética de edificación en este ámbito?
- ¿Qué parámetros de simulación térmica de edificaciones son los más adecuados para soportar el diseño?
- ¿Qué condiciones de diseño y construcción debería tener una vivienda con condiciones térmicas óptimas?

2.4 Hipótesis

El uso de técnicas de diseño bioclimático y evaluación energética en la implementación de viviendas en programas gubernamentales de mejoramiento habitacional o en la edificación privada en zonas alto andinas sobre los 4000 m.s.n.m. permite obtener ambientes interiores con temperaturas sensiblemente agradables para el ser humano, de tal modo que pueden ser calificadas como temperaturas de confort térmico.

2.5 Justificación

Como se cita en la introducción existe una cantidad considerable de población que está sometida a las inclemencias de un clima frío y a los fenómenos de heladas, aun dentro de sus viviendas, la necesidad de mejorar las viviendas diseñándolas para que aprovechen la energía del sol como calefacción y almacenarla es apremiante. En este marco, la relevancia de este estudio contempla aspectos:

- Académicos, pues no existen trabajos de investigación que involucren un diseño sistematizado orientado al aprovechamiento solar y una evaluación térmica posterior de módulo de vivienda rural.
- Tecnológicos, brindará parámetros a la industria de la construcción en el sector de vivienda rural y parámetros para configurar simulaciones para edificaciones de similares características.
- Sociales, analiza la situación que atraviesan poblaciones que habitan zonas alto andinas vulneradas por fenómenos de bajas temperaturas, siendo afectados cada año contribuyendo a la base de información técnica necesaria para soportar ayudas en programas de gobierno.

2.6 Antecedentes

A continuación, algunos antecedentes relacionados con el estudio:

2.6.1 Antecedentes Nacionales

2.6.1.1 Construcción y análisis de una vivienda solar activa adecuada al medio rural de la sierra peruana.

En el año 2005, se realizó un trabajo por la Misión Belén de Immensee (ONG Suiza) y Centro de Formación Campesina de la Prelatura de Sicuani (ONG Perú) realizado en la provincia de Espinar, Cuzco a 4000 msnm, lugar donde el 38% de la población vive en condiciones de extrema pobreza, realiza una evaluación de las fuentes de energía locales, enfocándose en una casa integral considerando servicio de agua desagüe y electricidad.

El trabajo se enfoca en mejorar la situación y la dinámica familiar al interior de la casa, captar y almacenar la energía del sol en el adobe, trabajar a través de tragaluces activos, el espacio habitable está aislado con aire, alcanzar temperaturas entre 22°C y 12°C día y la noche. La casa se aprecia en la Figura 4.



Figura 4 interior de la vivienda de la misión Belén de Immensee en Espinar, Cuzco.

2.6.1.2 Estudio de comportamiento térmico de diversos materiales de construcción

Investigación aplicada en módulos experimentales de poco volumen (20 – 30m³) instalados en el patio de pruebas al ambiente de la Facultad de Arquitectura de la UNI, que ha permitido tener una imagen preliminar del efecto de usar uno u otro material como quincha, concreto armado en sitio, composición de caña, madera y otros similares, en muros y techos con el fin de modificar el ambiente interior.

2.6.1.3 Propuesta técnica de confort térmico para viviendas en comunidades localizadas entre 3000 y 5000 msnm

En el año 2008 se obtuvo una financiación en el marco del Fondo de Innovación para la Ciencia y Tecnología (FINCyT) para un estudio piloto de mejoramiento térmico de viviendas rurales altoandinas, el proyecto consistió en evaluar una vivienda existente en dos localidades distintas, ubicadas a 3500 y 4500 m.s.n.m., y construir una vivienda nueva en cada una de ellas. El proyecto fue realizado durante el año 2008 y 2009, donde se realizaron mediciones térmicas y simulaciones computacionales. El entregable final de este proyecto fue un documento con recomendaciones de mejoras en viviendas rurales existentes y nuevas, como subproductos fueron entregados una vivienda unifamiliar mejorada y una nueva en cada comunidad. Las comunidades se localizaron en Ayacucho y Puno.

Esta tesis se enfoca en la información de la vivienda nueva ubicada en Vilcallamas Arriba, Puno.

2.6.1.4 Casa Ecológica PUCP

El propósito de este proyecto es difundir un modelo de vivienda ecológica y saludable, provista de tecnologías económicas, innovadoras y sostenibles; las cuales satisfacen necesidades básicas relacionadas a vivienda, energía y agua del sector rural andino.

Este proyecto, ejecutado entre el año 2007 y el 2008, en materia de energía implementa un muro trombe modificado, una cocina mejorada, una cuyera (un tipo de invernadero-muro calefactor) y un invernadero para el cultivo y calefacción. La localización del prototipo se encuentra en Canas, Cusco.

2.6.1.5 Estudio Comparativo de confort térmico en módulos de viviendas ubicadas a alturas mayores de 3500 m.s.n.m. – CARE.

Estudio elaborado por el Centro de energías renovables de la Universidad Nacional de Ingeniería en el año 2010, consistió en monitorear condiciones térmicas internas y externas en viviendas térmicas diseñadas y construidas por la ONG CARE Perú. Estas viviendas contaban con falso techo y un invernadero para calefacción y cultivo de vegetales. Este estudio incluyó trabajos de simulación térmica para elaborar recomendaciones sobre futuras mejoras en los diseños.

2.6.1.6 Evaluación experimental de cambios constructivos para lograr confort térmico en una vivienda altoandina del Perú.

En el marco del proyecto de investigación que dio origen a esta tesis llamado “Propuesta técnica de confort térmico para viviendas en comunidades localizadas entre 3000 y 5000 msnm”, también se elaboró otra tesis en el año 2010, con la diferencia del lugar de aplicación y el tipo de vivienda, se buscó evaluar las mejoras de confort en una vivienda existente en la región de Ayacucho, elaborada por el Ing. Fredy Huaylla.

2.6.1.7 Estudio piloto de acondicionamiento térmico para edificaciones rurales altoandinas.

El ministerio de Vivienda del Perú, le encargó al Centro de Energías Renovables de la Universidad Nacional de Ingeniería, elaborar un proyecto piloto de mejoramiento y construcción de nuevas viviendas rurales. Este proyecto se ejecutó durante el año 2012. El proyecto buscó mejorar las condiciones de confort habitacional en viviendas altoandinas rurales. Se construyó y se evaluó cuatro módulos de viviendas en 2 localidades sobre los 3000 m.s.n.m. en la región de Huancavelica.

2.6.2 Antecedentes Internacionales

A continuación, algunas investigaciones realizadas en el ámbito internacional:

- Ampliación bioclimática de vivienda urbana con tecnología no tradicional (Gelardi, et al., 2012)
- Análisis del comportamiento energético y ambiental de la producción de viviendas sociales en la provincia de buenos aires (2003-2011) (Garganta & San Juan, 2012)
- Arquitectura bioclimática en zonas áridas del corredor bioceánico central - dpto. Iglesia, san juan (Kurbán, et al., 2012)
- Arquitectura sustentable. Viviendas de montaña para el centro-oeste de argentina (Esteves, et al., 2012)
- Caracterización y comportamiento térmico de perfiles de carpinterías en distintas zonas bioclimáticas de la republica argentina (Volantino, et al., 2012)
- Evaluación del desempeño higrotérmico – energético de una vivienda social en la ciudad de corrientes (Gallipoliti, et al., 2012)
- Evaluación probabilística del riesgo de discomfort en edificios (Sulaiman, et al., 2012)
- Evaluación térmica y económica comparativa de tecnologías constructivas alternativas para ser aplicadas en los planes de préstamos de vivienda propia. (Herrera, et al., 2012)
- La ganancia solar y las infiltraciones de aire indeseadas en el comportamiento energético de viviendas de interés social (Volantino, et al., 2012)
- Monitoreo y simulación térmica de dos viviendas sociales unifamiliares bajo condiciones reales de uso en la localidad de Colalao del Valle, Tucumán (Garzón & Mendonca, 2012)
- Optimización económica bivariada del diseño higrotérmico de edificios con restricciones de confiabilidad (Sulaiman, et al., 2012)
- Validación de simulaciones interactivas con Simedif y Ecotect, a partir de auditorías energéticas de un edificio escolar de la ciudad de resistencia (Boutet, et al., 2012)

- Evaluación termo energética de un colector solar calentador de aire de doble paso en contracorriente diseñado para la calefacción de edificios (Quiñonez, et al., 2012)
- Auditorías higrotérmicas y lumínicas de dos edificios escolares de nivel inicial de la ciudad de resistencia, en condiciones reales de ocupación (Boutet, et al., 2011)
- Desempeño térmico-energético de un prototipo demostrativo de vivienda de interés social en Córdoba, Argentina a. (Bernardo, et al., 2011)
- Evaluación del comportamiento térmico-energético de alternativas bioclimáticas de mejoras en tipologías FONAVI (Blasco Lucas, 2011)
- Modelización de la transferencia de calor al suelo en los programas de simulación térmica de edificios Energyplus y Simedif (Flores Larsen, 2011)
- Viviendas bioclimáticas en Tapalque. Sistema de climatización por muros acumuladores de calor (mac): resultados preliminares (Discoli, et al., 2011)
- Diseño y evaluación termo energética computacional de colectores solares calentadores de aire activos para la calefacción del centro de propagación agámica del Inta Catamarca (Hernández, et al., 2011)
- Utilización del programa EnergyPlus para el análisis del comportamiento térmico del sistema de calefacción solar pasivo en una vivienda social del plan FONAVI (Mercado, et al., 2011)
- Diseño participativo de viviendas sociales bioclimáticas. Barrio Vista Flores, Mendoza, Argentina (Mitchell, et al., 2010)
- Eficiencia energética en vivienda: aplicación de norma IRAM 11900 y uso del evaluador energético en prototipos aislados para Buenos Aires. (Compagnoni, et al., 2010)
- Metodología de análisis para evaluar mejoras en el confort interior modificando la envolvente en un edificio de perímetro libre. (Delbene & Evans, 2010)
- Monitoreo de viviendas sociales del valle de Uco, provincia de Mendoza. Caso base de viviendas sociales bioclimáticas obreros rurales III (Cortegoso & Mitchell, 2010)

- Proyecto de viviendas bioclimáticas de interés social. Tapalque, provincia de Buenos Aires. (San Juan, et al., 2010)
- Simulación estacionaria de las variaciones de temperatura por circulación de aire dentro de una vivienda. Análisis tridimensional. (Salvo, et al., 2010)
- Verificación de pautas de diseño sustentable en una vivienda serrana en Córdoba (Bracco, et al., 2010)
- Verificación del etiquetado energético de edificios a partir de mediciones en edificios construidos. (Czajkowski, 2010)
- Dimensionamiento del panel radiante del sistema de calefacción radiante solar pasivo. (Mercado, et al., 2010)
- Samiri: vivienda bioclimática en Salta con techo-colector calentador de aire para su calefacción invernal (Hernández, et al., 2010)

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Transferencia de Energía en los edificios

3.1.1 La función de control higrotérmico de un edificio

Una persona vista como un sistema termodinámico intercambia energía con su entorno. Si el cuerpo fuera sometido directamente a las condiciones naturales, el ser humano no podría sobrevivir bajo la mayoría de climas. Con el objetivo de ampliar el rango de condiciones bajo las cuales puede vivir confortablemente y desarrollar actividades, se viste y construye edificios.

El edificio entonces juega un papel importante de un regulador que se interpone entre las condiciones climatológicas naturales y el cuerpo humano. Esas condiciones son la manifestación concreta de la climatología que contiene una componente global (clima de una provincia) que corresponde a grandes tendencias y evoluciones "medias", y una componente local (el clima en el terreno que se va a construir), que toma en cuenta la configuración particular del lugar.

El clima está determinado por las consecuencias del estado del aire exterior (temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento), del sol (densidad de flujo radiativo directo y difuso), del cielo (temperatura, nubosidad), que componen el clima local. La morfología del terreno y el estado del suelo, la forma y el color de los edificios vecinos, la vegetación cercana o lejana, el horizonte, constituye el entorno del edificio, y determinan la climatología local.

El edificio regula las condiciones y mantiene el microclima en su interior.

Ese microclima depende en gran parte de la configuración y de la composición del edificio. Las soluciones pasivas, permiten modificar la respuesta del edificio en consideración. Pero si el microclima resultante no es satisfactorio (hecho frecuente en ciertas temporadas o en algunas circunstancias), se prevén aparatos de climatización activa para corregirlo. Puede parecer evidente que se corrige más fácilmente un microclima inadecuado con una climatización activa que con soluciones pasivas.

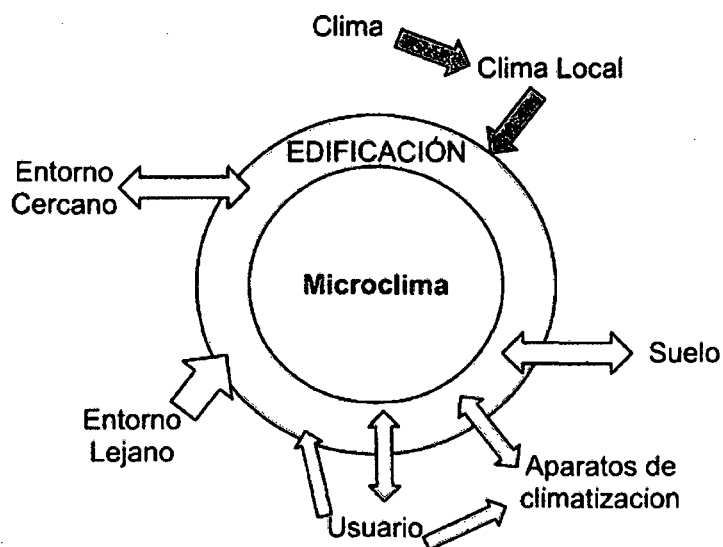


Figura 5 función de control higrotérmico de una edificación. ¹

El buen diseño de un edificio se podrá comprobar al evaluar las condiciones de confort y la cantidad de energía necesaria para mantenerlas. Conocer la física y los principios de funcionamiento de un edificio ayuda a determinar cuáles son las decisiones que hay que tomar para mejorar el confort y reducir el consumo de energía.

¹ Elaboración propia.

3.1.2 El edificio como un sistema higrotérmico complejo

El comportamiento termodinámico de un edificio resulta de su respuesta como sistema físico a condiciones de cambio. Estas condiciones son la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior, la radiación solar, y la generación o absorción de energía en el interior del edificio por sistemas de climatización y otros.

La envolvente del edificio se interpone entre el aire exterior y los ambientes interiores. La diferencia de temperatura induce flujos de calor en la envolvente y determina las temperaturas en los componentes y zonas. Los componentes de una edificación son las partes en que se divide el sistema para su análisis, por ejemplo las paredes, el techo y los pisos. En el análisis térmico de edificaciones se define como zona térmica un volumen de aire que tiene una misma temperatura, es una unidad que facilita la sistematización de los cálculos y análisis.

La captación, voluntaria o no, de la radiación solar genera flujos suplementarios que son absorbidos por algunas partes del edificio aumentando localmente la temperatura.

La energía aportada o extraída por sistemas auxiliares de calefacción o refrigeración, afecta el balance de energía de los ambientes climatizados. Los sistemas pueden proporcionar esa energía directamente en el aire de la zona, pero también a los varios componentes del entorno próximo.

La complejidad del análisis del comportamiento térmico de un edificio radica en el acople de todos los fenómenos térmicos, por ejemplo la temperatura de algunos componentes se modifican cuando hay aportes solares.

Es necesario entonces encontrar una manera de estructurar ese conjunto de fenómenos para entender los efectos en la edificación. Conociendo el orden de magnitud de los fenómenos, es posible hacer simplificaciones que permitan clasificarlos y ordenarlos.

3.1.3 La física del edificio

Todos los mecanismos de transferencia de calor se pueden observar en un edificio: la conducción, la convección y la radiación, otros fenómenos físicos que incluyen los mecanismos anteriores son el transporte y cambio de fase del agua en el aire. Son estas transferencias las que determinan las temperaturas de cada uno de los componentes del edificio (paredes, techos, puertas, etc.). El conjunto de las temperaturas de los componentes de un edificio caracteriza su comportamiento térmico. La temperatura en cada punto del edificio es el resultado de un balance local en donde se contabilizan todos los flujos de calor entrante o saliente y la capacidad de almacenar o devolver calor del punto. Los flujos de calor regulan el sistema tomando calor de los puntos más calientes para aportarlos a los más fríos. Si el edificio no está sometido a ninguna excitación, todas las temperaturas se equilibrarían de manera que los flujos desaparecerían. Sin embargo en la práctica, un edificio es sometido a condiciones variables que perturban esa tendencia hacia el equilibrio, como cambios de temperatura en el aire exterior e incidencia de radiación solar sobre la edificación en ciertas horas del día y con diferente intensidad.

Las transferencias de energía en un edificio son principalmente las térmicas y de masa. La transferencia térmica obedece la segunda ley de la termodinámica, donde el calor se desplaza a las zonas frías, el aire se mueve de las zonas de alta presión hacia las de baja presión, y con respecto a la masa análogamente el vapor de agua pasa de las zonas húmedas hacia las zonas secas.

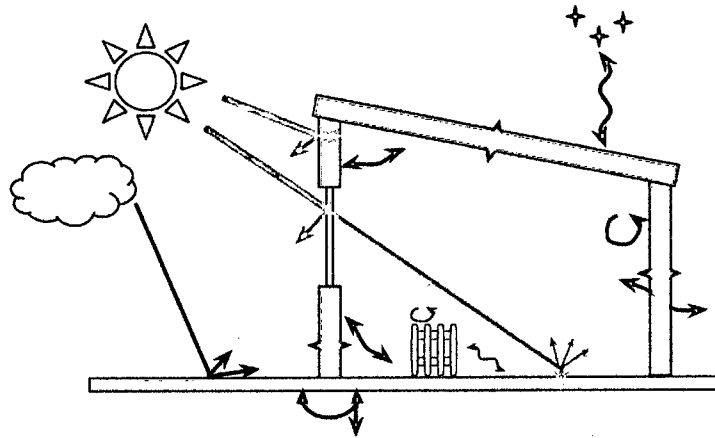


Figura 6 diagrama mostrando el detalle del sistema térmico edificación.

3.1.3.1 Magnitudes:

- Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
- Energía (J, kWh)
- Velocidad del Calor (J/s, W)
- Flujo de Calor (W/m^2)
- Presión (Pa, atm)
- Humedad Específica (Kg agua/Kg aire seco, %)
- Caudal de aire (m^3/s)

3.1.3.2 La conducción térmica en elementos sólidos

Las paredes, los suelos y los techos, también los muebles, como elementos sólidos son objetos de experimenta el fenómeno de conducción de calor. La conducción térmica está dada por la ley de Fourier. En una geometría unidimensional, en la cual la única coordenada es x , y en un medio de conductividad térmica λ independiente de la temperatura, la ley de Fourier se escribe:

$$Q(x, t) = -k \frac{dT}{dx}(x, t) \quad (1)$$

Donde Q y T son respectivamente el flujo de calor ($\frac{W}{m^2}$) y la temperatura (K) en cada punto (x) y a cada momento (t).

En el caso que se observe un régimen permanente, en el cual no cambia ninguna temperatura, la ecuación (1) sigue siendo válida.

Aplicando el primer principio de la termodinámica a un volumen sólido cualquiera, se deduce la ecuación de calor que describe la conducción térmica en sólidos. En una geometría unidimensional, y después de haber sustituido Q por su expresión en la ecuación (1) se escribe:

$$\rho c \frac{dT}{dt} = -k \frac{d^2T}{dx^2} \quad (2)$$

En la ecuación de calor, se nota que el efecto de la variable de tiempo t está condicionado por la capacidad calorífica ρc del material en el punto observado, así como por su conductividad térmica. La respuesta dinámica de un sólido está entonces determinada por estos parámetros. La resistencia de un cuerpo a cambiar de temperatura o intercambiar calor con otro se llama inercia térmica.

3.1.3.3 La convección en los volúmenes de aire

El aire se mueve en el interior de un edificio, y entre el interior y el exterior. Las causas de estos movimientos son las diferencias de temperatura entre distintas zonas del edificio (convección natural) y las diferencias de presión que el viento o sistemas de ventilación generan en diferentes lugares del edificio. Los fenómenos de convección están descritos por la ecuación de Navier-Stokes, que no tiene solución sencilla y utilizable en el caso general. Encontrar las soluciones analíticas o numéricas es siempre un problema difícil desde el punto de vista matemático, y las soluciones son muy sensibles a parámetros locales, que en realidad no son conocidos con mucha fiabilidad.

Por tanto, si solamente nos interesa la evaluación de la cantidad de energía térmica transferida entre el aire y las superficies de los sólidos, utilizamos correlaciones empíricas

entre el coeficiente de intercambio superficial h y los parámetros y variables características de la configuración. Estas relaciones empíricas dependen del tipo de intercambio (natural, forzado, mixto), del tipo de movimiento del aire (laminar o turbulento), y de la configuración geométrica (superficie plana o no, vertical o horizontal, "infinita" o finita, rugosa o lisa, etc.). Por ejemplo, el valor del coeficiente h se puede deducir de la relación siguiente entre grupos adimensionales, tabulada experimentalmente:

$$Nu = f(Gr, Pr) \quad (3)$$

Válida para un fenómeno de convección natural al borde de una placa (pared) plana vertical, y en la cual $Nu = \frac{hl}{\lambda}$ es el número de Nusselt, Pr es el número de Prandtl y Gr es el número de Grashoff.

El coeficiente h se utiliza a través de una ecuación de transferencia, similar a Fourier:

$$Q = h(T_s - T_a) \quad (4)$$

Dónde h es el coeficiente de intercambio convectivo superficial, T_s es la temperatura superficial (K), T_a es la temperatura del aire (borde de la capa límite) (K) y Q es el flujo de calor transferido del sólido al aire ($\frac{W}{m^2}$).

3.1.3.4 Los movimientos de aire entre o dentro de zonas

La ventilación de un edificio resulta de los movimientos de aire entre zonas, con el exterior o en la misma zona. Estos movimientos están determinados, como en el caso de convección superficie-aire, por la ecuación de Navier-Stokes. La ventilación se interpreta como un conjunto de intercambios de aire entre zonas homogéneas en temperatura y presión, separadas por aberturas que producen una pérdida de carga en el camino que sigue el aire en sus movimientos.

Este fenómeno físico es el más difícil de modelar, debido a la alta sensibilidad de este a todo tipo de perturbación. El hecho de no conocer bien las condiciones en las cuales se encontrará

un edificio durante su exploración, es la mayor razón por la cual no se puede determinar con precisión lo que ocurre.

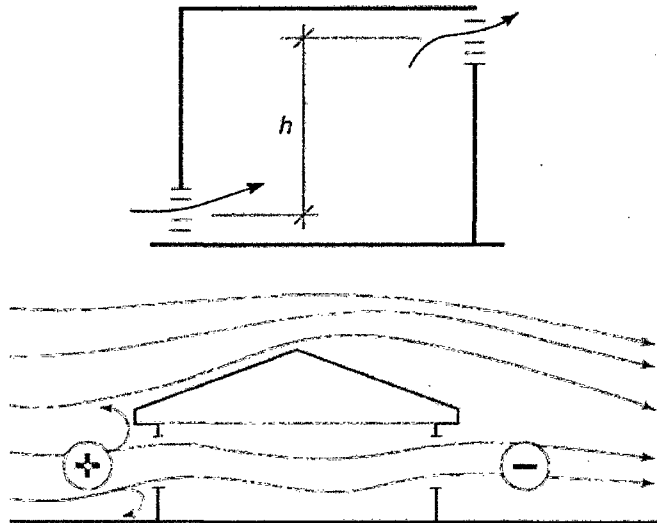


Figura 7 izquierda, efecto chimenea y derecha, efecto del viento. (SZOKOLAY, 2008)

No obstante, se sabe que la causa de los movimientos de aire en el interior de las edificaciones son el viento que produce diferencias de presión en las distintas fachadas del edificio (convección forzada debido a un motor externo, el viento), o las diferencias de temperatura y/o altura entre zonas del edificio (efecto chimenea).

Existen ecuaciones empíricas que permiten evaluar las diferencias de presión entre fachadas en función de la velocidad y la dirección relativa del viento, así como las pérdidas de carga en función de la superficie y del tipo de abertura.

3.1.3.5 Intercambios radiativos

Todo cuerpo emite energía radiante. Las características energéticas, espectrales y direccionales de la radiación emitida dependen de la temperatura, de la naturaleza y del estado superficial del material emisor. La cantidad de energía emitida, la emitancia E , es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo. La capacidad de un

material para emitir energía radiante está caracterizada por su emisividad ϵ , que en el caso general depende de la frecuencia considerada. Un cuerpo negro es un cuerpo teórico que tiene una emisividad igual a 1. Todos los cuerpos reales tienen una emisividad inferior a 1, y su potencia emisiva E , un flujo de calor, se puede expresar en función de la de un cuerpo negro a la misma temperatura E^o :

$$E = \epsilon E^o \quad (5)$$

La potencia emisiva de un cuerpo negro depende de solamente de su temperatura:

$$E^o = \sigma T^4 [W] \quad (6)$$

Con $\sigma = 5.6710^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$ constante de Stefan-Boltzman

En térmica de los edificios, las radiaciones térmicas se pueden clasificar en dos categorías: infrarrojo de onda corta, longitud de onda entre 0.7 a 2.3 μm e infrarrojo de onda larga, longitud de onda entre 2.3 a 10 μm . La primera proviene de emisiones de cuerpos a muy altas temperaturas, como el sol o bombillas eléctricas y la segunda corresponde a la radiación emitida por la mayoría de los cuerpos en la superficie terrestre ($<100^\circ C$).

Cuando dos elementos separados por un medio transparente (o semitransparente) están a distintas temperaturas, emiten respectivamente el uno hacia el otro, y finalmente intercambian energía radiante. La cantidad de energía absorbida por cada superficie depende también de las propiedades del material absorbente, y de las características de la radiación considerada. La proporción de la radiación absorbida por una superficie se llama factor de absorción α (o absorptividad), la parte transmitida (si el material es transparente o semitransparente) factor de transmisión τ (o transmisividad), y la reflejada factor de reflexión ρ (o reflexibilidad). Se demuestra fácilmente que:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (7)$$

En los edificios, se supone generalmente que en la banda visible e infrarroja, las características ópticas (emisividad, absorptividad, reflectividad y transmisividad) son constantes e independientes de la frecuencia radiativa, y que además, la emisividad es igual a la absorptividad en el equilibrio térmico. Por otra parte, otra hipótesis frecuente es la de reflexión y emisión difusa, es decir que toda radiación emitida o reflejada por una superficie se reparte por igual en todas las direcciones posibles en los recintos. Como ejemplo de la emisividad en los materiales de construcción se puede mencionar el concreto con 0.88 y el ladrillo rojo (Purdue) con 0.93 (Incropera, 1999). El vidrio es transparente a la radiación visible y a una fracción del infrarrojo, pero opaco al resto de la banda infrarroja (radiación térmica): esa característica se utiliza en el efecto invernadero para captar energía solar.

La cantidad de energía intercambiada entre dos superficies depende del tamaño y de la posición relativa de estas. Solo una parte del flujo radiativo emitido por una superficie (A) llega a una superficie (B) se llama factor de forma de (B) visto desde (A), y se designa F_{AB} . Es una magnitud adimensional siempre inferior a 1. Vale 1 cuando todo lo que viene de (A) llega a (B), como en el caso, por ejemplo, de que (A) y (B) sean dos superficies plano paralelas muy grandes.

Para dos superficies grises cualesquiera (A) y (B), la energía radiante que recibe (B) de (A) se calcula:

$$\phi_{AB} = \alpha_B F_{AB} E_A \epsilon_A E_A^o \quad (8)$$

Donde ϕ_{AB} es la energía recibida de A, α_B es absorptividad, F_{AB} es el factor de forma, E_A es la potencia emisiva, ϵ_A es emisividad y E_A^o es la potencia emisiva del cuerpo negro.

En realidad, las superficies que definen un recinto intercambian energía radiante mediante infinitos intercambios por reflexión y absorción. Toda superficie emite radiación hacia las otras y recibe radiación de estas, de la cual absorbe una parte y refleja otra, que a su vez le será devuelta en parte.

Si se hace la hipótesis de superficies grises en emisión y reflexión, se pueden derivar expresiones de flujos netos intercambiados entre las superficies opacas de un recinto.

Radiación visible: si las fuentes radiativas emiten en la banda de la radiación visible, y se agrupan en un vector ϕ^o los flujos incidentes sobre las distintas superficies del recinto, los flujos netos absorbidos por las mismas ϕ satisfacen la relación matricial siguiente:

$$\phi = \alpha[I - F^t(I - \alpha)]^{-1}\phi^o \quad (9)$$

Donde α es la matriz diagonal que contiene los factores de absorción de las superficies, I la matriz identidad, y F es la matriz cuadrada que contiene los factores de forma de unas superficies hacia otras.

Radiación infrarroja: el flujo neto absorbido (o perdido) por cada superficie se puede evaluar a partir de la ecuación (9), en la cual ϕ^o se reemplaza por su expresión en función de las radiaciones emitidas. Finalmente se obtiene:

$$[I - (I - \alpha)F^t]J = \alpha M^o \quad (10)$$

$$\phi = (I - F^t)J \quad (11)$$

Donde J es una cantidad intermedia, suma de los flujos emitidos y reflejados por una superficie (emisión aparente) que se llama radiosidad.

Se puede observar que las ecuaciones que permiten evaluar los flujos netos absorbidos necesitan la inversión de matrices. Cuando el número de superficies es superior a 3, hay que recurrir a un ordenador y a programas del tipo.

3.1.4 El aire húmedo

El aire contiene vapor de agua. El proceso de transformación del agua en vapor (la evaporación) necesita un aporte de energía y absorbe la cantidad de energía necesaria para el cambio de fase de líquido a gas. El proceso opuesto (la condensación) libera energía. La energía contenida en una cierta cantidad de aire es función aditiva de la energía interna (debida al nivel de temperatura del aire y del vapor), y de la cantidad de vapor presente.

La cantidad de vapor que puede contener una masa de aire es función de su temperatura. La cantidad de vapor contenida en el aire se puede describir en términos de presión parcial de vapor, o en masa de agua (en gramos) por unidad de masa de aire seco (en Kg). El estado físico de un volumen de aire está descrito por su temperatura y su contenido en agua (o la presión parcial de vapor de agua). Se suele localizar un diagrama temperatura – presión parcial de vapor el estado de un aire húmedo. La curva correspondiente a un aire saturado en vapor se llama curva de saturación o curva de rocío. Se ha comprobado que sigue aproximadamente la relación siguiente:

$$P_{sat} = e^{\frac{17.3T_a}{237.5+T_a}+6.41} \quad (12)$$

Donde T_a es la temperatura del aire en °C.

Conociendo la temperatura y el contenido de agua de una masa de aire, se puede localizar el punto correspondiente en la Figura 8, y saber que habrá condensación cuando el punto se sitúe sobre la curva de saturación. De la misma manera, se puede saber si el hecho de estar en contacto con un sólido a una temperatura más baja va a conducir a condensación (desplazamiento del punto hacia la izquierda según un horizontal). También, el hecho de

introducir vapor puede hacer que el estado del aire llegue a la curva de saturación y conduzca a condensación.

En los procesos de movimientos de aire, masa de aire a distintas temperaturas y conteniendo distintas proporciones de vapor se mezclan para dar lugar a un aire con temperatura y humedad distinta de la inicial. Para determinar el resultado de una mezcla de masa de aire, hay que proceder a dos balances, uno de masa de agua y otro de energía, la entalpía. Conociendo la temperatura y el contenido de agua de un aire, se puede calcular su entalpía mediante:

$$q = c_a T_a + (c_v T_a + L)\omega \quad (13)$$

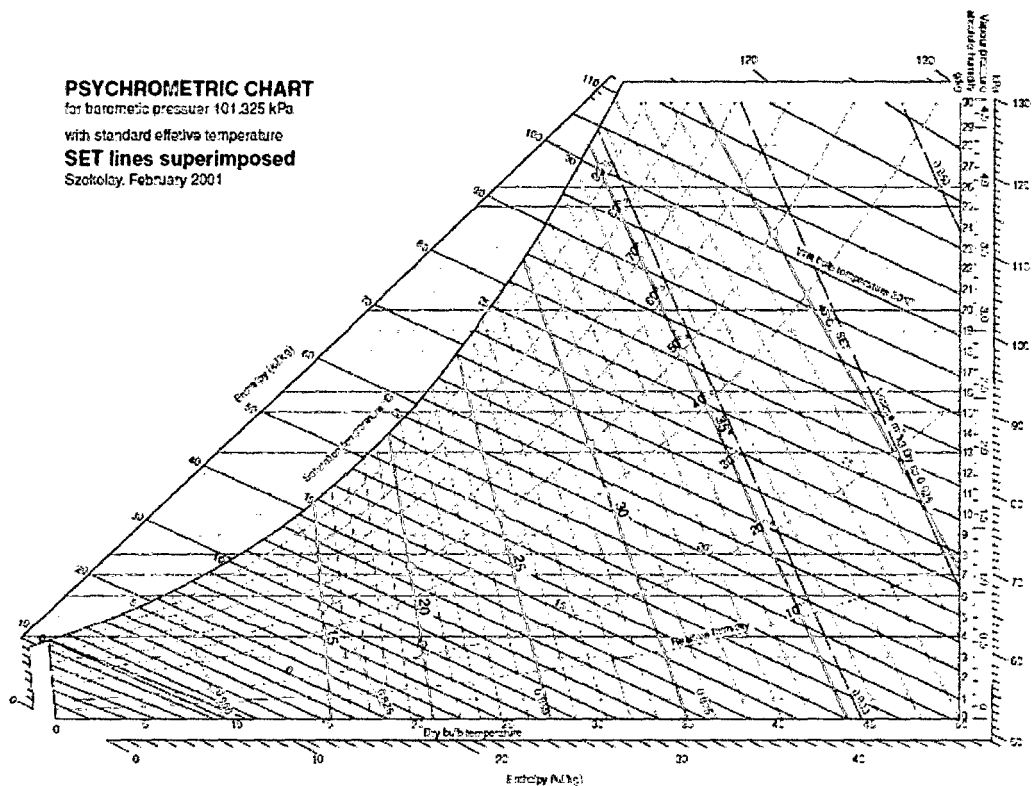


Figura 8 diagrama psicrométrico del aire (SZOKOLAY, 2008)

Donde c_a y c_v son las capacidades caloríficas del aire seco y del vapor a presión constante en J/Kg·K. L es el calor latente de vaporización del agua en J/Kg. ω es el contenido de agua del aire (g de agua por kg de aire seco), y q es la entalpía de un volumen de aire que contiene 1 kg de aire seco en J/Kg. En esta relación está incluido el convenio de que la entalpía del vapor y del aire seco a 0°C son 0.

3.1.5 Balance de Energía de un edificio

El comportamiento térmico de un edificio resulta del balance dinámico entre las fuentes y los sumideros de energía. En ese balance se pueden distinguir 4 términos principales:

3.1.5.1 Perdidas

Cuando la temperatura exterior es inferior a la del interior, existen flujos de pérdidas desde el interior hacia el exterior, por transmisión a través de las paredes opacas y a través de las ventanas, por ventilación e infiltraciones, por transmisión a través del suelo. Esas pérdidas corresponden a un término negativo en el balance general. Si la temperatura exterior es superior a la del interior, ese término se convierte en un número positivo.

3.1.5.2 Aportes Solares

La radiación solar es una fuente de energía que consigue llegar al interior de los edificios por conducción a través de las paredes opacas y por transmisión a través de vidrios de las ventanas. Es siempre un término positivo en el balance general.

3.1.5.3 Aporte internos

Los ocupantes de un edificio y los diversos artefactos generan calor sin que el objetivo sea calentar el edificio. Se considera que esos flujos positivos son aportes internos “gratuitos”. El término es siempre positivo.

3.1.5.4 Aporte de energía auxiliar

El buen uso de un edificio, el confort de los ocupantes o de las condiciones de conservación de algunos materiales requieren que ciertos rangos de temperatura y humedad sean respetadas. El balance de los términos previamente identificados conduce generalmente,

salvo en ocasiones, a que las condiciones resultantes sean distintas a estos rangos. Hay que entonces corregir el balance con una fuente de energía auxiliar, que puede ser positiva o negativa, de tal forma que el microclima interior se acerque a lo requerido. Esa energía es proporcionada por los sistemas de calefacción o de refrigeración.

Pero ese balance no es suficiente para explicar el comportamiento real de un edificio. Hay que tener en cuenta el aspecto dinámico de estos fenómenos, que hace que la respuesta térmica de un edificio a esas condiciones presente desfase y amortiguamiento. Este depende de la capacidad de la estructura a almacenar o devolver la energía. Esa capacidad es función del fenómeno de inercia térmica.

3.1.6 Las paredes y otros componentes planos

Las paredes son componentes planos en los cuales se supone que los flujos de calor son perpendiculares a las superficies. En régimen estático (es decir cuando no interviene la variable tiempo), el flujo de calor que atraviesa una pared (Q) esta en función del espesor de cada capa homogénea (e_i) y de la conductividad (k_i) del material respectivo, así como del valor de los coeficientes de intercambios superficiales de cada lado de la pared (h_i y h_e). Ese flujo es también proporcional a la diferencia de temperatura entre ambas zonas separadas por la pared ($T_i - T_e$).

$$Q_{i \rightarrow e} = US(T_i - T_e) \quad (14)$$

Donde U es el coeficiente global de transmisión del calor de la pared, que se evalúa según:

$$U = \left(\frac{1}{h_i} + \frac{e_1}{k_1} + \dots + \frac{1}{h_e} \right)^{-1} \quad (15)$$

El primero y el último término de la suma en la ecuación depende de los coeficientes h_i y h_e que describen los intercambios convectivos superficiales interior y exterior.

La conductividad térmica de un material caracteriza su capacidad para conducir el calor. Los metales son muy conductores y tienen una conductividad en el rango de valores entre 8-400 $\frac{W}{K.m}$. Los materiales de construcción (ladrillos, hormigón) son razonablemente conductores y tienen conductividades en el rango de 0.1-10 $\frac{W}{K.m}$. Los aislantes tienen conductividades en el rango de 0.01 – 0.1 $\frac{W}{K.m}$. El valor de cualquier característica termofísica varía mucho dentro de una clase de material.

3.1.7 Nivel de pérdidas de un edificio

El flujo global de pérdidas de una zona es la suma de todos los flujos de pérdidas de esa zona. Hay principalmente cuatro puntos de pérdidas: las paredes opacas, las ventanas y puertas, la ventilación y las singularidades. Hemos visto ya como evaluar las pérdidas a través de las paredes, el procedimiento es el mismo para las ventanas y puertas, salvo que existen tablas de fabricantes que dan directamente el coeficiente de transmisión K, sin incluir los intercambios convectivos en superficies. El marco de ventanas y puertas está tomado en cuenta gracias a una corrección incluida en el coeficiente. Los intercambios de aire por ventilación o infiltración se evalúan para conocer el caudal medio de renovaciones de aire. Si no se dispone de otra información es común tomar valores convencionales por ejemplo 0.5 ACH². Las singularidades vienen de la conducción de las paredes no es unidimensional, que hay flujos que siguen un camino tortuoso en la conexión de las paredes. Contempla, por otra parte que el edificio está en contacto con el suelo, hecho que puede tener una repercusión importante en el comportamiento térmico del edificio. Se toman en cuenta como correcciones que hay que aportar al balance general. Para la primera categoría de singularidades existen tablas que dan valores utilizables cuando no hay mayor información. Para la segunda, aunque existen tablas también, veremos que falta la contribución dinámica que es de primera importancia.

² Intercambio de Aire por Hora (siglas en inglés)

3.1.8 Ganancia Solar

La ganancia solar resulta de la suma de las ganancias de cada elemento, teniendo en cuenta la capacidad del edificio de conservar esa energía. Básicamente, hay dos formas principales de captación de energía solar en edificios comunes. La captación directa donde la radiación transmitida a través de los vidrios y es absorbida por las superficies interiores de las paredes. La otra forma es la captación indirecta donde la radiación solar es absorbida por las superficies exteriores de las paredes opacas, transformada en energía térmica, y conducida al interior una parte y otra hacia el exterior; la energía útil captada será más o menos importante dependiendo de que estas paredes sean interiores o estén en contacto con el exterior.

3.1.9 Inercia Térmica

La inercia térmica de un edificio representa la capacidad del mismo para almacenar y devolver energía calorífica. Esa característica depende de las propiedades conductivas y capacitivas de los materiales constitutivos, pero también de sus cantidades y distribución en el edificio.

3.1.9.1 Inercia de una pared

Los modelos dinámicos para calcular la evolución de la temperatura en el interior de una pared inicialmente a 0 grados y sometida una de sus caras en un instante a una temperatura cualquiera. El campo de temperatura está retrasado frente al régimen estático. La velocidad de respuesta en temperatura de un punto dado es función de todas las características de la pared y principalmente, de la sección de pared entre él y la excitación.

Para el caso de una excitación evoluciona periódicamente de tipo sinusoidal, la respuesta es también, después de un periodo suficiente, una evolución periódica de tipo sinusoidal, aunque amortiguada y desfasada, respecto a una respuesta estática instantánea. En general, si la excitación es periódica el resultado generado en un punto de la pared será del mismo tipo.

3.1.9.2 Inercia y captación solar

En el caso de una pared, la inercia depende mucho de la posición del aislante frente a la exposición solar. Cuando la absorción se hace en la cara interior, y el aislante está situado en la cara exterior, el material con capacidad térmica almacena fácilmente la energía y la devuelve lentamente, mucho más tarde hacia el interior, porque el aislante impide que fugue fácilmente hacia el exterior. El sobre calentamiento debido a un aporte fuerte esta moderado por la fuerte inercia de la pared frente a esta excitación. Si, por el contrario, es el aislante quien recibe la radiación, no se almacena energía, la cual se disipa al aire del ambiente. El elevado calentamiento superficial del material aislante contribuye a las pérdidas de calor.

Cuanto mayor es la inercia, mayor es la recuperación del aporte solar, debido a que existen bajas diferencias de temperatura entre las superficies y el ambiente.

3.1.9.3 Inercia e Intermittencia

La intermitencia, o mejor dicho, la gestión intermitente de un sistema de climatización, consisten en bajar la demanda de energía cuando el uso del edificio no lo justifique. Se puede demostrar que la economía energética conseguida es proporcional al área comprendida entre la curva real de evolución de la temperatura interior y la curva de evolución que se hubiese obtenido manteniendo la demanda energética alta. En el caso de una fuerte inercia térmica, la temperatura baja lentamente y la instalación de calefacción tiene que ser puesta en parcha temprano para que la temperatura alcance las condiciones de la hora deseada. Cuando mayor es la inercia, menor es la economía por intermitencia.

3.1.10 Algoritmos de Calculo Energyplus (Department of Energy, 2011)

A continuación se expone el detalle de los algoritmos de cálculo del simulador Energyplus.

3.1.10.1 Bases para la integración de zonas térmicas y sistemas de aire.

El simulador realiza un balance de energía y humedad en el aire de la zona térmica y resuelve ecuaciones diferenciales ordinarias utilizando un enfoque predictor-corrector.

$$C_Z \frac{dT_Z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{superficies}} h_i A_i (T_{sl} - T_Z) + \sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_p (T_{Zi} - T_Z) + \dot{m}_{infiltracion} C_p (T_{\infty} - T_Z) + \dot{Q}_{sis} \quad (16)$$

Donde

$\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i$ es la suma de las cargas convectivas internas,

$\sum_{i=1}^{N_{superficies}} h_i A_i (T_{sl} - T_Z)$ es la transferencia de calor convectiva de las superficies de la zona,

$\dot{m}_{infiltracion} C_p (T_{\infty} - T_Z)$ es la transferencia de calor debido a la infiltración de aire exterior,

$\sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_p (T_{Zi} - T_Z)$ es la transferencia de calor debido a la mezcla de aire entre zonas

\dot{Q}_{sis} es la salida de los sistemas de aire y

$C_Z \frac{dT_Z}{dt}$ es la energía almacenada en el aire de la zona.

3.1.10.2 Conducción en muros

La solución más básica para series temporales es la ecuación de factor de respuesta que relaciona el flujo de calor de una superficie con la temperatura de un elemento finito de una serie como se muestra en la siguiente ecuación:

$$q''_{ko}(t) = \sum_{j=0}^{\infty} X_j T_{o,t-j\delta} - \sum_{j=0}^{\infty} Y_j T_{i,t-j\delta} \quad (17)$$

Donde q''_{ko} es el flujo de calor, T es la temperatura, i significa el elemento interior de la construcción, o significa el elemento exterior de la construcción, t representa el paso de tiempo actual, X e Y representan los factores de respuesta.

Mientras que en muchos casos la serie decae rápidamente, el número infinito de términos para una solución exacta no lo hace deseable. Sin embargo se puede recurrir a relaciones de orden superior como las siguientes.

$$q''_{ki}(t) = -Z_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t-j\delta} + Y_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ki,t-j\delta} \quad (18)$$

Para el flujo interior, y

$$q''_{ko}(t) = -Y_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t-j\delta} + X_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ko,t-j\delta} \quad (19)$$

Para el flujo exterior. ($q''=q/A$). Donde:

X_j = Coeficiente exterior de CTF, $j= 0,1,\dots,nz$.

Y_j = Coeficiente Cruzado de CTF, $j= 0,1,\dots,nz$.

Z_j = Coeficiente Interior de CTF, $j= 0,1,\dots,nz$.

Φ_j = Coeficiente Flux de CTF, $j= 1,2,\dots,nq$.

T_i = Temperatura cara interior

T_o = Temperatura cara exterior

q''_{ko} = Conducción de flujo de calor en la cara exterior

q''_{ki} = Conducción de flujo de calor en la cara interior

3.1.10.3 Convección Interior Simple

El modelo de convección simple interior utiliza coeficientes constantes para diferentes configuraciones de transferencia de calor. Estos coeficientes son tomados de Walton (1983).

(US Department of Energy, 2013)

Tipo de superficie	Coefficiente de Convección (W/m ² .K)
vertical	3.076
horizontal con una reducción de convección	0.948
horizontal con el aumento en la convección	4.040
inclinada con una reducción de convección	2.281
inclinada con el aumento en la convección	3.870

3.1.10.4 Convección Exterior Simple Combinada

Para la convección exterior se utiliza un modelo simple combinado que utiliza la rugosidad de las superficies y la velocidad del viento para calcular el coeficiente de convección. Se calcula como:

$$h = D + EV_z + FV_z^2 \quad (20)$$

Donde h es el coeficiente de convección exterior, V velocidad del viento calculada en el centroide de la superficie y D,E,F son coeficientes de rugosidad de material como se especifican en la TABLA 1.

Tabla 1 coeficientes de rugosidad

Índice de Rugosidad	D	E	F	Material Ejemplo
1. Muy rugoso	11.58	5.894	0.0	Estuco
2. Rugoso	12.49	4.065	0.028	Ladrillo
3. Medio Rugoso	10.79	4.192	0.0	Concreto
4. Medio Liso	8.23	4.0	-0.057	Pino Claro
5. Liso	10.22	3.1	0.0	Plástico liso
6. Muy Liso	8.23	3.33	-0.036	Vidrio

Este modelo es tomado del ASHRAE 1989 (ASHRAE , 2009).

3.1.10.5 Convección Interior y Exterior TARP

EL programa de investigación de análisis térmico³ (TARP siglas en inglés). El modelo divide la convección en 2 componentes, forzada y natural.

$$h_c = h_f + h_n \quad (21)$$

³ Walton en 1983

Donde

$$h_f = 2.537 W_f R_f \left(\frac{PV_z}{A} \right)^{1/2} \quad (22)$$

Donde W_f es 1 para superficies barlovento y 0.5 para sotavento. Sotavento es para normales de superficies mayores a 100° de la dirección del viento. Donde R_f se especifica en la TABLA 2.

Tabla 2 factores de rugosidad de superficie en algoritmo TARP.

Indice de Rugosidad	R_f	Material Ejemplo
1. Muy rugoso	2.17	Estuco
2. Rugoso	1.67	Ladrillo
3. Medio Rugoso	1.52	Concreto
4. Medio Liso	1.13	Pino Claro
5. Liso	1.11	Plástico liso
6. Muy Liso	1.00	Vidrio

Para superficies verticales o diferencias de temperaturas nulas se utiliza:

$$h = 1.31|\Delta T|^{1/3} \quad (23)$$

Para superficies bocarriba con $\Delta T < 0$ o superficies bocabajo con $\Delta T > 0$.

$$h = \frac{9.482|\Delta T|^{1/3}}{7.283 - |\cos \Sigma|} \quad (24)$$

Para superficies bocarriba con $\Delta T > 0$ o superficies bocabajo con $\Delta T < 0$.

$$h = \frac{1.810|\Delta T|^{1/3}}{1.382 + |\cos \Sigma|} \quad (25)$$

Σ es el ángulo de inclinación de la superficie.

3.1.10.6 Convección Exterior MoWITT

Basado en mediciones realizadas en pruebas térmicas de ventanas móviles⁴ (MoWITT siglas en ingles). La correlación se aplica a superficies muy lisas y verticales en edificios de poca altura y tiene la siguiente forma:

$$h_c = \sqrt{[C_t(\Delta T)^{1/3}]^2 + [aV_z^b]^2} \quad (26)$$

Donde C_t es la constante de convección turbulenta natural en W/m^2K (4/3), h_c es el coeficiente de transferencia de calor convectivo de la superficie exterior en W/m^2K , T_{so} es temperatura superficial exterior en C o K, ΔT es la diferencia de temperatura entre la superficie y el aire en C o K.

Tabla 3 coeficiente MoWitt

Dirección del Viento	C_t	a	b
Unidades	$W/m^2K^{4/3}$	$W/m^2K(m/s)^b$	-
barlovento	0.84	3.26	0.890
Sotavento	0.84	3.55	0.617

3.1.10.7 Convección Exterior DOE-2

El coeficiente de convección para superficies muy lisas es:

$$h_{c,glass} = \sqrt{h_n^2 + [aV_z^b]} \quad (27)$$

Donde h_n se calcula de utilizando las ecuaciones (23) a la (25). Las constantes A y B se toman de la TABLA 3.

Para superficies menos lisas se aplica la siguiente relación.

⁴ Yazdanian y Klems en 1994

$$h_c = h_n + R_f(h_{c,glass} - h_n) \quad (28)$$

Donde R_f se toma de la TABLA 2.

3.1.10.8 Convección Interior CeilingDiffuser

Está basado en correlaciones empíricas desarrolladas por Fisher y Pedersen⁵. La correlación fue formulada en función de la temperatura de salida y la temperatura de referencia en una habitación de prueba. Las relaciones se expresan en la siguiente tabla:

Tabla 4 correlaciones CeilingDiffuser

Superficie	Relación
Piso	$h = 3.873 + 0.082 * ACH^{0.98}$
Techo	$h = 2.234 + 4.099 * ACH^{0.503}$
Muros	$h = 1.208 + 1.012 * ACH^{0.604}$

3.1.10.9 Convección AdaptiveConvectionAlgorithm

Este modelo permite utilizar los modelos antes mencionados siguiendo criterios para cada superficie individual. (US Department of Energy, 2013).

⁵ 1997

3.2 Confort Térmico Adaptativo y condiciones térmicas en edificaciones

La definición de climas interiores aceptables en los edificios es importante para el éxito de un edificio no sólo en lo que es confortable, sino también en el consumo de energía y asegurar su sostenibilidad. La gente tiene una tendencia natural a adaptarse a las cambiantes condiciones de su entorno. Esta tendencia natural se expresa en el enfoque de adaptación al confort térmico. Este capítulo presenta el enfoque adaptativo y explora algunas de las investigaciones. A continuación, sugiere formas en que el confort térmico adaptativo puede fijar parámetros de diseño para el clima interior de los edificios.

3.2.1 Confort térmico adaptativo (Nicol & Humphreys, 2002)

3.2.1.1 Los estudios de campo y los índices racionales

El enfoque de confort térmico adaptativo se basa en los resultados de las encuestas de sensación térmica llevadas a cabo en campo. Los estudios de campo se concentran en la recolección de datos sobre el ambiente térmico y la respuesta térmica simultánea de los sujetos en situaciones reales, las intervenciones por el investigador se mantiene al mínimo. El investigador utiliza métodos estadísticos para analizar los datos mediante la variabilidad natural de las condiciones. El objetivo es predecir la temperatura o una combinación de variables térmicas (temperatura, humedad, y velocidad del aire), que da una sensación confortable. Los problemas presentes en un estudio de campo son las dificultades en primer lugar de medir con precisión las condiciones ambientales y en segundo lugar generalizar a partir del análisis estadístico, los resultados de un estudio a menudo no se aplican a los datos de otro, incluso en circunstancias similares. Un problema adicional que ha sido destacado por Humphreys y Nicol (2000a) es que los errores en los datos de entrada pueden dar lugar a errores en las relaciones predicha por el análisis estadístico.

El confort térmico 'racional' trata de explicar la respuesta de la gente al ambiente térmico en términos de la física y la fisiología de la transferencia de calor. Un 'Índice' de confort térmico, que expresa el estado térmico del cuerpo humano, se desarrolla en términos del ambiente térmico. Aunque los índices fueron basados en las respuestas de los sujetos en condiciones

de temperatura constante se esperaba que este índice expresara la respuesta de la gente en condiciones variables de la vida diaria.

De hecho, los problemas surgen cuando los índices racionales se utilizan para predecir el confort térmico de los sujetos de los estudios de campo. En primer lugar los índices racionales requieren el conocimiento de la ropa, el aislamiento y la tasa metabólica, que son difíciles de estimar. En segundo lugar no son mejor que los índices simples para predecir el voto de confort (Humphreys y Nicol 2001) y la gama de condiciones que los sujetos encuentran a gusto en los estudios de campo es mucho más amplio de lo que los índices racionales predicen. La razón de esto ha sido objeto de considerable especulación y de investigación, la mayoría de los cuales se han concentrado en el contexto en el que se llevan a cabo estudios de campo. Nicol y Humphreys (1973) sugirieron que este efecto podría ser el resultado de una retroalimentación entre el confort de los sujetos, su comportamiento y su adaptación a las condiciones climáticas en el lugar que se lleva a cabo el estudio.

3.2.1.2 El principio de adaptación

El supuesto fundamental del enfoque adaptativo se expresa mediante el principio de adaptación: "Si se produce un cambio como para producir incomodidad, las personas reaccionan de manera que tienden a restaurar su comodidad". Este principio vincula estudios de campo llevados a cabo en una amplia gama de entornos y por lo tanto soporta meta-análisis de las encuestas de confort tales como los de Humphreys (1976, 1978), Auliciems y deDear (1986) y deDear y Brager (1998). Estos meta-análisis pueden ser usado para bosquejar un amplio rango de inferencias a partir de una serie de estudios más restringidos de confort térmico.

Al vincular el voto de confort a las acciones de la gente el principio de adaptación vincula la temperatura de confort con el contexto en el cual los sujetos se encuentran. La temperatura de confort es un resultado de la interacción entre los sujetos y el edificio u otro medio ambiente que lo rodea. Las opciones para que las personas reaccionan serán reflejo de su situación:

los que tienen más oportunidades para adaptarse al medio ambiente o adaptar el medio ambiente a sus propias necesidades serán menos propensos a sufrir molestias⁶

En este contexto la variable principal es el clima. El clima es una influencia global en la cultura y actitudes térmicas de cualquier grupo de personas y en el diseño de los edificios que habitan. Si bien los mecanismos básicos de la relación humana con el ambiente térmico no pueden cambiar con el clima, hay una serie de formas detalladas en que las personas se ven influenciadas por el clima en que viven y estos juegan con su respuesta a la temperatura interior. En segundo lugar casi todas las encuestas confort han sido en un edificio, y la naturaleza del edificio y sus servicios desempeña un papel en la definición de los resultados de la encuesta. En tercer lugar es el tiempo. La actividad humana y las respuestas tienen lugar en un marco de tiempo. Esto conduce a un continuo cambio de temperatura de confort. La velocidad a la que se producen estos cambios es una consideración importante si las condiciones de confort se especifican adecuadamente.

3.2.1.3 Las personas y climatización

Nicol y Humphreys (1973) presentan datos que sugieren que la votación del confort media cambia menos con la temperatura interior de clima a clima de lo que se esperaría. Humphreys (1976) confirmó esto de una variedad más amplia de climas. La tasa de cambio de voto de la comodidad con la temperatura es típicamente mucho más baja de un encuestado a otro de lo que es dentro de cualquier encuesta en particular.

⁶ En estos términos la cámara climática es un ambiente muy particular, donde las condiciones y la acción de los ocupantes están estrechamente controlados por el investigador durante el período de un experimento. (Nicol & Humphreys, 2002)

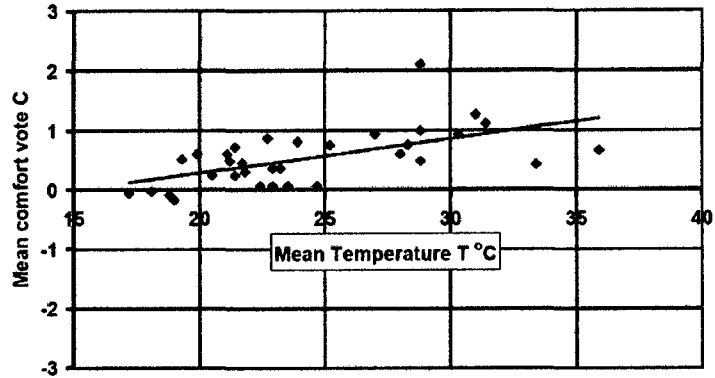


Figura 9 la variación de la votación la comodidad media con la temperatura interior media. Cada punto es el valor medio de una encuesta de confort (con los datos presentados en Humphreys 1976). (NICOL & HUMPHREYS, 2002)

El corolario de esto es que en los estudios de campo la temperatura de confort es muy correlacionada con la temperatura media medida. Esto se encontró que era el caso en las encuestas realizadas en un amplio rango de climas interiores (Figura 10 A)

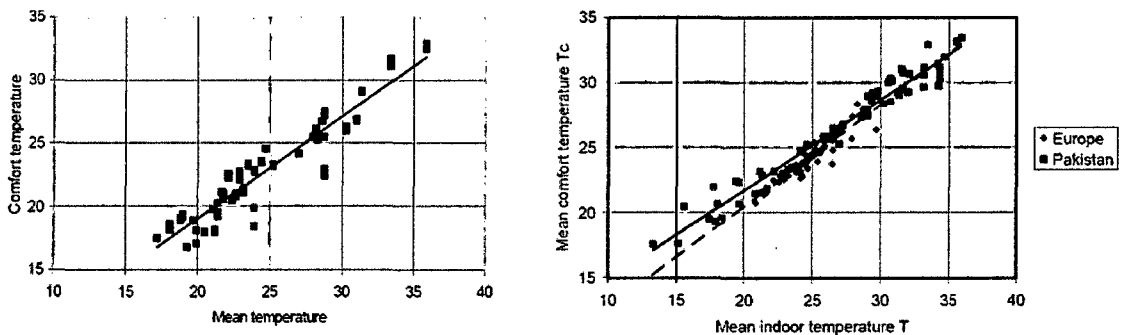


Figura 10 la variación de temperatura de confort con una temperatura media interior, a) desde encuestas en todo el mundo (a partir de datos presentados en Humphreys 1976) y b) a partir de un conjunto particular de climas (Europa [línea discontinua] y Pakistán), pero en diferentes épocas del año. (NICOL & HUMPHREYS, 2002)

Un efecto similar se encontró cuando los datos se recogieron durante todo el año a partir de un grupo particular. Las encuestas realizadas en Pakistán (Nicol et al 1999) y Europa (McCartney y Nicol 2001) se llevaron a cabo a intervalos mensuales durante todo el año (Figura 10B). La gran variedad de temperaturas interiores, sobre todo en Pakistán, es notable. La fuerte relación con la temperatura de confort es clara. Como un ejemplo de la eficacia con

acciones de adaptación puede ser utilizado para lograr el confort, La Figura 11 muestra la proporción real entre sujetos cómodos y trabajadores de oficinas en Pakistán, a diferentes temperaturas interiores. Los datos se recogieron durante un período de un año, así que la temperatura de confort cambia constantemente, al igual que la temperatura interior (Nicol et al 1999). Los principales métodos de estos trabajadores para controlar su comodidad fue cambiar de ropa y utilizar ventiladores para incrementar el movimiento de aire, al estar disponibles en las oficinas de Pakistán. La curva muestra la probabilidad media de confort calculada mediante regresión de probit. Cada punto representa la proporción de confort en una ciudad en particular en un mes determinado.

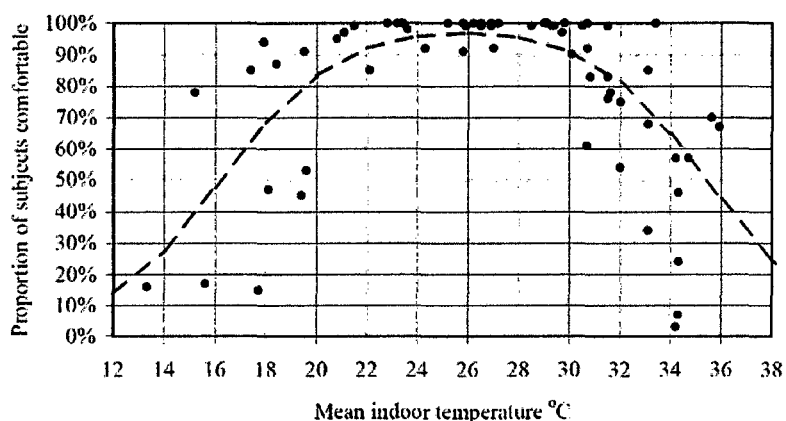


Figura 11 Pakistán: la proporción de trabajadores de oficina que se encontraban a gusto en diferentes temperaturas interiores. Se notará que en muchas ocasiones los sujetos no registraron molestia. Con una temperatura interior y de confort que cambia continuamente en edificios paquistaníes. Se encontraron cómodos a temperaturas que oscilan entre 20 y 30 °C sin refrigeración, sin uso de ventiladores (de nicol et al 1999) (NICOL & HUMPHREYS, 2002)

3.2.1.4 La relación con el clima exterior

Humphreys (1978) traza la temperatura de confort en el interior contra temperatura media mensual exterior de una serie de encuestas realizadas en todo el mundo. Los resultados se muestran en la Figura 12. Se encontró una clara división entre la gente en los edificios sin sistema de calefacción o refrigeración y los que si contaban con ellos. La relación de los edificios de funcionamiento libre fue muy lineal. Para los edificios con calefacción y enfriamiento la relación es más compleja.

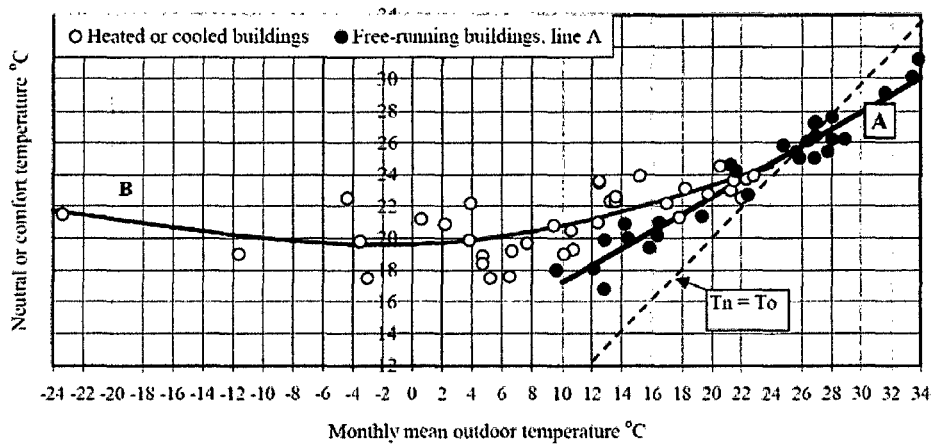


Figura 12 el cambio en la temperatura de confort con el promedio mensual de al aire libre temperatura. Cada punto representa el valor medio de una encuesta. Este gráfico es de Humphreys 1978. Los edificios están divididos entre los acondicionados en el momento del estudio y las que son de funcionamiento libre. Posterior análisis de la base de datos de las encuestas de confort ASHRAE (Humphreys y Nicol 2000) mostraron resultados similares. (NICOL & HUMPHREYS, 2002)

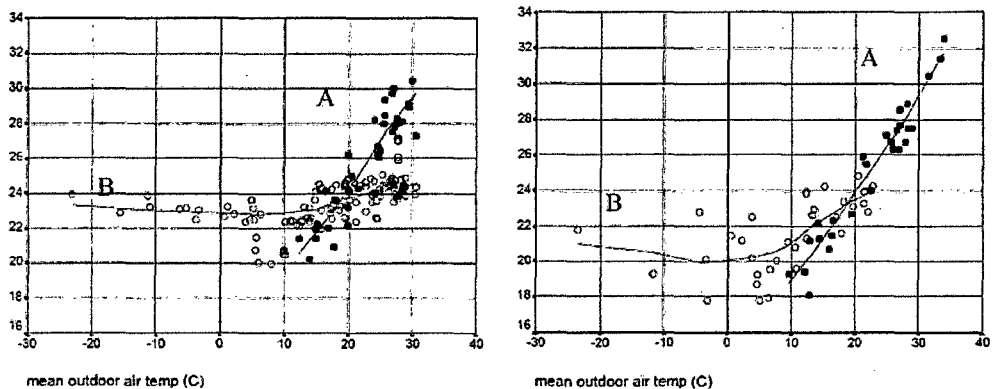


Figura 13 temperaturas de confort como una función de la temperatura exterior para edificios que son de funcionamiento libre (a) y con calefacción y refrigeración (b). Desde la ASHRAE base de datos (DeDear y Brager 1998) (izquierda) y de Humphreys (1978) (véase la derecha) (diagrama de Humphreys y Nicol 2000) (NICOL & HUMPHREYS, 2002)

DeDear y Brager (1998) hacen una división entre los edificios con aire acondicionado y los que están con ventilación natural. Ellos argumentan que los ocupantes de edificio que disponen de aire acondicionado tienen diferentes expectativas que los ocupantes de edificios con ventilación natural (deDear y Brager 1999). Parece poco probable que las personas deban modificar sus respuestas sobre la base de sus expectativas o los servicios del edificio. Tampoco esta distinción está apoyada en pruebas de campo (Humphreys y Nicol 2001). Más probable es que la diferencia se debe a una acumulación de los pequeños efectos causados

por una amplia variedad de medidas de adaptación que en su conjunto generan una variedad de condiciones de confort. En un nuevo análisis de los datos de deDear y Brager, Humphreys y Nicol (2000) argumentan que el uso de Humphreys original aumenta la diferencia de la precisión en edificios de funcionamiento libre y los que cuentan con sistemas de acondicionamiento. (Figura 13).

Si bien sólo la temperatura exterior se utiliza para calcular la temperatura de confort, la temperatura de confort es claramente una función de más parámetros. El aislamiento de la ropa también depende de la temperatura exterior (Nicol et al 1999), al igual que los controles en los sistemas de acondicionamiento (Raja et al 2001). Esta dependencia entre el clima y las medidas de adaptación significa que sólo es necesario considerar la temperatura exterior real en los edificios reales. La relación, en cierta medida una cuestión empírica una 'caja negra', porque las interrelaciones están no totalmente definidas.

3.2.1.5 Las personas en las edificaciones.

Edificios difieren en muchas maneras. Además de su forma física individual, difieren en su sistema de acondicionamiento si lo tiene, en las posibilidades que ofrece a los ocupantes para controlar su medio ambiente y en las políticas con respecto a la ropa y otros factores. Se han encontrado diferencias por Humphreys (1978), Busch (1992) y deDear y Brager (1998) entre los ocupantes de los edificios condicionados y los que no lo son.

3.2.2 Definición de un indicador de confort (Nicol & Humphreys, 2002)

3.2.2.1 La temperatura de confort más probable

Lo expuesto anteriormente evidencia que la temperatura de confort en edificios de libre funcionamiento depende de la temperatura al aire exterior como se muestra en la Figura 11. Humphreys y Nicol (2000) han demostrado que en los edificios de libre funcionamiento la relación entre temperatura de confort y la temperatura exterior es muy estable (Figura 13).

Ambos estudios dan una ecuación para la temperatura de confort:

$$T_c = 13.5 + 0.54 T_o \quad (29)$$

Donde T_o en este caso, es la media mensual de la temperatura del aire exterior.

La relación en edificios climatizados artificialmente es más compleja y menos estable. Es menos precisa, porque cuando un edificio se calienta o enfría la temperatura interior está desacoplada de la temperatura exterior y la temperatura interior es directamente regida por la costumbre de los ocupantes. Esta costumbre no es absoluta como lo demuestra la amplia gama de temperaturas de confort para edificios con calefacción y enfriamiento que se muestra en Figura 12 y Figura 13. También hay una diferencia de alrededor de 2 °C en la temperatura de confort en interiores para edificios con calefacción y aire acondicionado entre las dos bases de datos de Humphreys en 1978 y de Dear y Brager en 1998 (Figura 13). Aunque no está claro si esto es debido a un cambio en preferencia en el tiempo u otras diferencias entre las dos bases de datos. Cabe señalar que esto no pone el indicador adaptativo en desventaja con los índices racionales. También se debe saber de cambios de comportamiento, prendas de vestir y prácticas de trabajo para interpretar los cambios en temperaturas de confort.

3.2.2.2 El rango de condiciones de confort

La definición de la gama de condiciones en que se encuentra a gusto una temperatura de confort es problemático. El enfoque adaptativo nos dice que la variabilidad en la temperatura interior puede ser causada por las acciones tomadas para reducir la incomodidad, así como aquellos que no están controlados y por lo tanto más propensos a causar molestias. El confort térmico adaptativo es por lo tanto una función de las posibilidades para el cambio, así como las temperaturas reales alcanzadas. El ancho de la "zona" de confort, si se mide exclusivamente en términos físicos dependerá por lo tanto del equilibrio entre estos dos tipos de acción. En una situación donde no había posibilidad de cambiar la ropa o la actividad y donde el movimiento del aire no puede ser controlado, la zona de confort puede ser tan estrecha como ± 2 °C. En situaciones en que estas oportunidades de adaptación son disponibles y apropiadas la zona de confort puede ser considerablemente más amplia.

3.2.2.3 Uso del indicador para el diseño de edificaciones y sus servicios

La relación de adaptación entre la temperatura de confort y la temperatura exterior se puede utilizar para ayudar en el diseño de los edificios confortables. Un ejemplo se muestra en la Figura 14. Aquí, la temperatura de confort interior se calcula a partir de la temperatura exterior media y se traza sobre una base mensual, junto con la media mensual diaria del mínimo, máximo y la media de la temperatura del aire exterior. Este diagrama ayuda al diseñador a juzgar si la calefacción y/o refrigeración pasiva son una posibilidad en el clima en consideración. La relación entre la temperatura deseada en interiores y la gama de temperaturas exteriores muestra. Este método ha sido utilizado por Roaf et al (2001) para definir confort interior en un libro reciente.

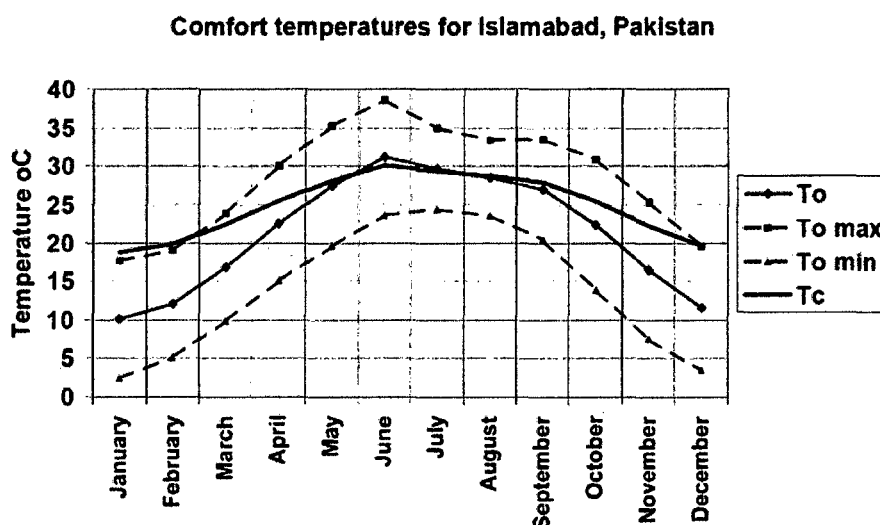


Figura 14 listado de los cambios estacionales en la temperatura media de confort en Islamabad, Pakistán y su relación con la máxima, mínima y la temperatura media exterior. La relación utilizada para calcular la temperatura de confort en función de la temperatura exterior es de Humphreys (1978) para los edificios libre funcionamiento. (NICOL & HUMPHREYS, 2002)

3.2.2.4 El caso de los edificios con calefacción y enfriamiento - el algoritmo de adaptación

La temperatura de confort en edificios con calefacción o refrigeración es una cuestión personal, siempre y cuando el cambio sea suficientemente lento, la gente se adaptará a un rango de temperaturas. La temperatura de confort interior, naturalmente, va a cambiar con las estaciones del año al igual que la gente cambia su ropa con el tiempo. Así, la idea de un "algoritmo de adaptación" (Humphreys y Nicol 1995) que define una temperatura en el interior variable en términos de la media de la temperatura exterior es atractivo. Una forma cruda de tal algoritmo se utiliza ya en el estándar ASHRAE 55 (ASHRAE 1992) que describe diferentes puntos de ajuste interior para "verano" e "invierno". Un proyecto reciente (McCartney y Nicol 2001) sugiere que un nivel de temperatura variable en el interior no incrementa el malestar de los ocupantes, sin embargo, reduce significativamente el consumo de energía por el sistema de refrigeración en comparación con una temperatura interior constante.

3.2.2.5 Aplicación a la realidad altoandina.

Una característica de las edificaciones rurales altoandinas es su libre funcionamiento ya que no cuentan con sistemas de acondicionamiento convencional. Debido a la falta de estudios cuantitativos para determinar una temperatura andina de confort, encontramos la utilidad del modelo de confort, expresado por la ecuación (29), en fijar un parámetro de diseño para evaluar el desempeño térmico de cada modelo simulado y seleccionar los diseños más adecuados.

3.3 Simulación Térmica de proyecto de vivienda y ajuste de parámetros

La simulación energética es el pilar básico sobre el que se desarrolla todo el proceso de diseño orientado al ahorro, usos de fuentes de energía renovable y eficiencia energética. Esto es, una correcta evaluación de la demanda de un edificio y la previsión de consumos teniendo en cuenta su situación actual por un lado, y contando con una implementación de las mejoras posibles (tanto en la envolvente como en las instalaciones) por otro. (Department of Energy, 2011)

3.3.1 Planificación Previa

Algunos pasos previos necesarios para la construcción del modelo.

- Realizar un estudio climático de la localización del proyecto.
- Obtener suficiente información del proyecto de edificación que permita especificar la geometría general y las superficies (incluyendo muros exteriores e interiores, particiones, piso, techo, ventanas y puertas).
- Obtener suficiente información del uso de la edificación que permita especificar la iluminación y el número de personas en cada área de la edificación.

Estos pasos no son generalmente aplicables a nuestro caso de estudio de viviendas andinas sin embargo forman parte de una metodología de simulación de edificación en general.

- Obtener información sobre el control termostático.
- Obtener suficiente información de los equipos de climatización.
- Obtener suficiente información de los equipos centralizados especificaciones y horarios de calderos o refrigeración.

3.3.2 Zonificación

Como parte fundamental del modelo consideramos las superficies que la conforman. En forma general existen 2 tipos de superficies en este método.

- Superficies que transfieren calor.
- Superficies que almacenan.

Una zona es un concepto térmico, no geométrico. Una zona es un volumen de aire a una temperatura uniforme más todas las superficies transmisoras y/o almacenadoras de calor alrededor o dentro de este volumen de aire.

4 MARCO METODOLÓGICO

La metodología describe los componentes del diseño asistido por simulación térmica, monitoreo de la vivienda prototipo y el ajuste de la simulación de diseño con los datos medidos.

4.1 Estrategias de diseño

La estrategia utilizada para este clima frío fue elevar el nivel de aislamiento térmico en el techo y piso, aprovechar la masa térmica de los muros de adobe y optimizar el ingreso de energía solar determinando la orientación y el tamaño de los sistemas de captación de energía solar.

Dentro de la estrategia de diseño se calculó la temperatura de confort utilizando la ecuación (29), obteniendo una temperatura objetivo para optimizar el diseño.

4.2 Recolección de información del proyecto de vivienda

La recolección de información consiste en el acopio de datos tanto del entorno como del proyecto de vivienda en sí, a continuación se detalla el tipo de información.

4.2.1 Localización y Clima.

Para localizar el proyecto se usó las coordenadas geográficas: latitud, longitud y altitud. Utilizando mediciones directas con dispositivos GPS (Sistema de posicionamiento global, siglas en inglés.)

Se recolecto información del clima de una estación meteorológica⁷ instalada en la localidad en estudio. Los parámetros medidos fueron:

- Velocidad de aire (m/s).
- Dirección del viento corregido (\emptyset).

⁷ HOBO Micro Station Data Logger - H21-002

- Temperatura (C).
- Humedad Relativa (%).
- Radiación Solar (W/m^2).

4.2.2 Condiciones Térmicas Interiores Actuales de Referencia.

Se realizó mediciones de temperatura de aire interior en una vivienda típica de referencia. Esto sirvió para obtener una referencia comparativa sobre las condiciones térmicas y las mejoras sobre el diseño propuesto. Esta vivienda típica contaba con suelo de tierra apisonada, muros de adobe y techo de paja. El esquema de la vivienda de referencia se aprecia en la Figura 18 .

4.2.3 Geometría

Para coleccionar la información geométrica del proyecto de vivienda se toman las medidas de los esquemas y planos de diseño. La disponibilidad de información del proyecto depende del nivel en que se encuentre el proceso de diseño. Para nuestro caso se trabajó a nivel de esquemas, documentos previos a los planos arquitectónicos.

4.2.4 Materiales.

Los materiales se seleccionan por su uso y disponibilidad en la localidad. Se debe obtener información de sus propiedades térmicas. Esta información de los materiales, luego se asoció a las componentes de la vivienda, como son el techo, paredes, ventanas entre otras. El material de uso común en la zona es el adobe, utilizado en las paredes. En la Tabla 6 se detallan los materiales utilizados para el diseño.

4.2.5 Usos.

Para procesar información de los usos de las viviendas se observó a los comuneros del lugar, indagando sobre sus costumbres y horarios en los usos de las viviendas. Para nuestro caso se trata de una localidad ganadera, específicamente de alpaca, por lo que los trabajadores se encuentran fuera de la vivienda durante el día y prácticamente solo la usan para descansar por las tardes y dormir en las noches.

4.3 Elaboración de modelo para simulación de comportamiento térmico para diseño.

Se utilizó el programa de simulación energética de edificaciones Energyplus, siguiendo los siguientes pasos:

4.3.1 Propuesta base de arquitectura

Se planteó un diseño compacto común con 2 dormitorios, una sala-cocina-comedor y un baño. Como se muestra en Figura 15 localizada en la página 66.

4.3.2 Definición de zonas térmicas.

Debido a que el modelo de vivienda fue simple, al contener solo 4 espacios básicos, se identificó como zona térmica cada habitación del proyecto. Teniendo el proyecto base 4 zonas térmicas iniciales que son 2 dormitorios, un baño y un ambiente sala-cocina-comedor.

4.3.3 Identificación de componentes y materiales.

Los componentes identificados fueron los muros, los pisos, los techos, las puertas y las ventanas. Cada componente se asocia con una configuración de capas de materiales para realizar el análisis del comportamiento térmico.

Algunos componentes fueron asociados con los códigos de los sensores por el nombre. Ver sección 4.5.

4.3.4 Configuración del modelo de simulación base.

Definido el modelo inicial, se introdujo cada parámetro necesario al simulador. Para la simulación utilizamos solamente los siguientes datos de ingreso:

- Version, indica la versión del programa de simulación.
- SimulationControl, indica parámetros de simulación para enfocar el cálculo, tales como habilitación de periodos de tiempo, días de diseño específicos y dimensionamiento de equipos de calefacción y refrigeración.
- Building, indica parámetros sobre la dirección del norte con respecto al modelo, el tipo de entorno (ciudad o rural), valores de tolerancia para la convergencia de la

temperatura y cargas térmicas, modelo de distribución solar y días de cálculo previo para el inicio de la simulación.

- ShadowCalculation, indica parámetros para el cálculo de las sombras.
- SurfaceConvectionAlgorithm:Inside, indica el algoritmo para el cálculo de la convección en las superficies interiores de la vivienda.
- SurfaceConvectionAlgorithm:Outside, indica el algoritmo para el cálculo de la convección en las superficies exteriores de la vivienda.
- HeatBalanceAlgorithm, indica el algoritmo para el balance de calor por conducción, entre ellos está la función de transferencia y las diferencias finitas.
- ZoneAirHeatBalanceAlgorithm, indica el algoritmo para el balance de calor en los volúmenes de aire de las zonas térmicas. Los algoritmos disponibles son diferencia hacia atrás de 3er orden, solución analítica y método de Euler.
- Timestep, indica la cantidad de intervalos de cálculo en una hora en el periodo de tiempo del modelo.
- Site:Location, indica la localización de la edificación utilizando su latitud, longitud, altitud y zona horaria.
- RunPeriod, indica el periodo de simulación de la edificación, se define el día de inicio y fin en un año, y los parámetros que tomara del archivo de clima.
- Site:GroundTemperature:BuildingSurface, indica la temperatura superficial del suelo que colinda con la edificación.
- Site:GroundTemperature:Shallow, indica la temperatura del suelo a una profundidad entre 3 a 4 metros.
- ScheduleTypeLimits, define el tipo de agendas que se utilizaran, pueden ser discretas o continuas.
- Schedule:Compact, definen las agendas, valores que varían a lo largo del día, meses y/o semanas. Son usados para describir el comportamiento de algunas variables, como uso de equipos, operación de la vivienda, etc.

- **Material**, se definen los materiales opacos utilizados con las propiedades térmicas y ópticas, tales como espesor, conductividad, densidad, calor específico y la absorptancia en diferentes rangos de radiación.
- **Material:AirGap**, define materiales gaseosos indicando la resistencia térmica, por ejemplo separaciones de aire entre materiales opacos.
- **WindowMaterial:Glazing**, define materiales no opacos utilizados principalmente en ventanas, las propiedades asociadas a estos materiales son espesor, transmitancia, reflectancia, conductividad, entre otras.
- **WindowMaterial:Gas**, define materiales gaseosos, que interactúan con materiales no opacos, por ejemplos los espacios de aire o vacíos entre vidrios para ventanas aislantes.
- **WindowMaterial:Shade**, definen elementos de cubierta o sombra, se define el tipo de material y también la agenda con la que opera, por ejemplo las coberturas de madera interiores de una ventana que están cerradas solo durante la noche.
- **Construction**, define configuraciones de capas de materiales para luego asignarlos a las componentes de la edificación.
- **GlobalGeometryRules**, indica como el programa interpretara la geometría con respecto a los vértices para definir las superficies.
- **Zone**, define las zonas térmicas así como su forma y volumen.
- **ZoneList**, definen grupos de zonas.
- **BuildingSurface:Detailed**, define el detalle de las superficies que rodean las zonas, también se especifica si está expuesta al sol y/o viento, adicionalmente se indica si esta superficie colinda con otra zona o con el exterior.
- **FenestrationSurface:Detailed**, similar a **BuildingSurface:Detailed** pero con superficies no opacas, aquí también se indica si la superficie cuenta con algún tipo de cobertura.
- **WindowProperty:ShadingControl**, configura la cubierta que se colocan en las superficies no opacas, se les asigna un agenda para su operación y un material.

- **Shading:Building:Detailed**, definen superficies de sombra que no pertenecen a ninguna zona. Por ejemplo, contornos de otras viviendas.
- **ZoneInfiltration:DesignFlowRate**, define el intercambio de aire con el exterior de la edificación, se indica en función del volumen de aire intercambiado por zona, unidad de área, volumen de zona o tiempo.
- **ZoneMixing**, define el flujo de aire de una zona a otra, en la unidades similares a **ZoneInfiltration:DesignFlowRate**.
- **Output:Variable**, indica las variables de salida que brindará la simulación, en este caso se especificó la "Zone Mean Air Temperature", temperatura de aire promedio de zona como la principal.

4.3.4.1 Parámetros usados en el modelo base

Se utilizaron los siguientes parámetros en el modelo térmico inicial de la propuesta de vivienda.

En la Tabla 6, se muestran los valores utilizados en el modelo y sus variantes relacionados al comportamiento térmico de los materiales.

Tabla 5 localización del modelo

Name	VilcallamasArriba
Latitude	-17.85
Longitude	-69.3
Time Zone	-5
Elevation	4500

Tabla 6 propiedades térmicas de los materiales de construcción usados en el modelo de simulación.

Material	Conductividad (W/m-K).	Densidad (kg/m ³).	Calor Específico (J/kg-K).
Adobe	0.81	1595	866
Algodón	0.046	800	1333
Calamina	51.64	7837	500
Lana	0.045	140	1360
Madera	0.148	588	1630
Paja	0.09	270	1008
Piedra	3.06	2637	857
Teja	1.36	2215	996
Tierra	1.31	1925	1650
Triplay	0.12	544	1210
Tumbao	0.6525	2050	1605

Los algoritmos de cálculo usados para diferentes procesos térmicos en el modelo se muestran en la TABLA 7.

Tabla 7 algoritmos de cálculo definidos en el modelo.

Tipo	Algoritmo
Convección Interna	TARP: Convección natural variable basada en la diferencia de temperatura (ASHRAE, Walton). Existe una excepción en los muros trombe sellados, ellos utilizan el algoritmo TrombeWall.
Convección Externa	DOE-2: Correlación de las mediciones realizadas por Klems y Yazdanian para superficies rugosas.
Balance de Calor	CTF (Función de transferencia de la conducción)
Balance de Calor del aire de la zona	ThirdOrderBackwardDifference

4.3.4.2 Estimación de la filtración

De la referencia ASHRAE se estima que una vivienda construida de forma aceptable no debe superar los 2 ACH de infiltración. Si calculamos para una habitación típica de la zona de 3 x 4 x 2.4 m³ el flujo de aire por filtración será 0.016 m³/s.

4.3.4.3 Calculo del flujo de aire entre 2 ambientes

4.3.4.3.1 Por una abertura

Este cálculo aplica para calcular el flujo en una puerta. De las ecuaciones:

$$Q = 44 \times L \times (H \times \Delta T)^{3/2} \quad (30)$$

$$Q = C \times N \times V \times \Delta T \quad (31)$$

Donde Q es el calor transportada en un flujo de aire, L es el ancho de la abertura, H es la altura, ΔT es la diferencia de temperatura entre los ambientes, N es el número de renovaciones de aire de un ambiente, C es la capacidad calorífica del aire y V es el volumen del ambiente.

Reduciendo se obtiene que:

$$F = \frac{44}{C} \times A \times H^{1/2} \times \Delta T^{1/2} \quad (32)$$

Donde F es el flujo de aire en m³/s en una abertura entre dos ambientes a diferente temperatura y A es el área de la abertura.

Para una puerta de 0.8 x 2.15 m² cuando está abierta entre dos ambientes con una diferencia de temperatura de 5°C genera un flujo de 0.206 m³/s.

4.3.4.3.2 Por dos aberturas:

Este cálculo aplica para calcular el flujo entre un par de ventilas, una sobre la otra. De las ecuaciones:

$$Q = 154 \times A \times H^{1/2} \times \Delta T^{3/2} \quad (33)$$

Y la ecuación (31), donde Q es el calor transportada en un flujo de aire, A es el área de la abertura, H es la altura de separación entre las aberturas y ΔT es la diferencia de temperatura entre los ambientes.

Reduciendo se obtiene que:

$$F = \frac{154}{C} \times A \times H^{1/2} \times \Delta T^{1/2} \quad (34)$$

Donde F es el flujo de aire en m³/s en dos aberturas entre dos ambientes a diferente temperatura y A es el área de cada abertura.

Para 2 pares de aberturas con un diámetro de 4" cuando están abiertas entre dos ambientes con una diferencia de temperatura de 15°C genera un flujo de 0.0039 m³/s.

4.3.5 Construcción de indicadores de comparación del comportamiento térmico.

Se utilizó como indicador la temperatura interior de aire de los ambientes interiores, específicamente de los dormitorios, por ser las zonas de la edificación utilizadas durante las horas más críticas para el confort térmico. El indicador será calculado como el mínimo promedio horario de los días del mes de junio. Se calculó este indicador por la necesidad de tener un indicador compacto que no, necesariamente, expresará el comportamiento térmico detallado de la vivienda sin embargo al ser un límite inferior se tendrá la seguridad que el ambiente no se encontrara a menor temperatura que la indicada. Este indicador bastara para comparar las diferentes variaciones en el diseño propuesto, con el fin de optimizar la vivienda.

4.3.6 Identificación y variación de parámetros de diseño.

Se realizó la variación de parámetros de diseño del modelo, identificando su impacto en el indicador térmico del proyecto de vivienda, seleccionando los modelos con indicador mayor, siendo los que presentan temperatura mínima más alta.

Se realizó 4 etapas de simulación, siguiendo la estrategia de diseño descrita en 4.1, enfocándose primero en el aislamiento térmico para luego considerar el incremento de la ganancia de energía de la edificación, adicionalmente las etapas permite realizar análisis más enfocado debido a la gran cantidad de variantes existentes.

Con respecto al proceso de simulación:

- Cada modelo recibe un nombre del tipo XYY, donde X es la etapa e YY es un número correlativo de 2 dígitos.
- Se define tipos de modificación como conjuntos de variantes asociadas.
- Se utiliza tablas para tabular los indicadores resultantes las cuales asocian los indicadores resultantes con el modelo específico y las variaciones identificando el tipo a las que pertenecen.

Se seleccionó la mejor opción térmica comparando la mayor diferencia con el indicador del modelo base en cada etapa, estos cálculos se tabularon en las tablas de resultados en el punto 5.3.

A continuación la descripción de las etapas de simulación:

4.3.6.1 Etapa A

En esta etapa inicial se realizó variaciones de:

- Espesor de muros de adobe, de 20, 40 y 60 cm.
- Piso de piedra (5, 10 y 15 cm), entablados (1", 2" y 3") y una combinación de piedra de 10 cm con entablado de madera separadas por una capa de aire (10 cm).
- Techos que contiene combinaciones de Calamina de 0.03 cm, Paja de 10 cm, Teja de 0.5 cm y Tumbado 1 cm.
- Ventanas de 80 x 80 cm², con vidrio simple o cubiertas de madera interiores, se aumentó el área en 50% y 100%.
- Puertas de madera de 1" y de calamina galvanizada.

- Las infiltraciones se variaron entre 0.016 a 0.032 m³/s constante y filtración de 0.032 en las mañanas y 0.016 m³/s en las noches y madrugadas, cuando la vivienda está cerrada.
- La mezcla de aire entre ambientes de la vivienda se modelo del mismo orden que las filtraciones, entre 0.016 y 0.032 m³/s.
- Orientación en 90, 180 y 270° grados con respecto al norte.

En la TABLA 8, se muestra la configuración de cada modelo. En la columna tipo, se agrupan las variantes, por ejemplo muros y filtraciones. En la columna variante se especifica la componente o característica constructiva variada, por ejemplo muro de adobe de 30 cm y filtración de 0.016 m³/s. Adicionalmente, se muestran columnas numeradas que identifican el modelo de la etapa, por ejemplo la columna 04 indica el modelo A04. En la tabla se muestra el número 1, indicando la presencia de la variante en el modelo, los números 2 y 3 complementan la información del modelo aplicándose para el caso de las variaciones por capas, por ejemplo para el caso del modelo A04, en el piso se indica 1 para piedra de 10 cm, 2 para capa de aire y 3 para entablado de madera, lo que indica que el piso se compone de estos 3 elementos en este orden, siendo 1 la primera capa y el número mayor, en este caso el 3, la capa interior. También hay celdas resaltadas en amarillo, lo cual indica la variación del modelo con respecto a su predecesor, por ejemplo para el modelo A02 se resaltan las celdas 0° y 180° indicando que el modelo cambió su orientación con respecto al modelo A00. A continuación se muestra la secuencia para la configuración de cada modelo en la TABLA 8.

4.3.6.2 Etapa B

En esta etapa se define nuevamente el modelo base, tomando un modelo con componentes como el piso, techo y puerta con mejor aislamiento. Luego se realizan las siguientes variaciones en:

- Muros de adobe de 20, 40 y 60 cm. Al aislar el techo y el suelo es necesario analizar el comportamiento térmico de la edificación debido a la inercia térmica de los muros.
- Las ventanas se combinan, quitando algunas en el norte, este u oeste. Colocando también coberturas de madera y aumentando las áreas vidriadas en 50% y 100%.
- Las infiltraciones, mezclas de aire entre ambientes y rotación con respecto al norte, al igual que en la etapa A.

La TABLA 9 muestra el detalle de los modelos de la etapa B, se muestran los predecesores de la etapa A y sigue los mismos criterios que la TABLA 8 usa para mostrar la información. A continuación se muestra la secuencia para la configuración de cada modelo en la TABLA 9.

Tabla 9 proceso de modelado de la etapa b

Tipo	Variante	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
-	Predecesor Etapa B	-	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	-	
Predecesor	Etapa A		11	12	10	22	23	21	08	09	-	25	05	07	27	28	01	02	03		
Ventanas	2 ventanas simples norte	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	2 ventanas simples Este	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	2 ventanas simples Oeste	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	2 ventanas simples Sur																				
	Cubiertas de madera, nocturna								1			1									
	Cubiertas de madera, horario 1																				1
	Ampliación de 50%									1		1									
	Ampliación de 100%										1										
Infiltración (m³/s)	0.016	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1	1	1	1	
	0.032												1								
	0.08													1							
	0.032 - 0.016, mañana y noche														1						
Rotación	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	
	90																	1			
	180																		1		
	270																			1	

*Etapa A

4.3.6.3 Etapa C

En las etapas A y B, se enfatizó el mejoramiento del aislamiento térmico del envolvente así como análisis del flujo de calor en los intercambios de aire con el exterior, se analizaron componentes como los muros, pisos, techos, puertas y ventanas, así como la orientación, los flujos de aire en el interior y el exterior, optimizando el modelo para un mejor comportamiento térmico.

En esta etapa se analizó el desempeño térmico de la vivienda agregando invernaderos como sistemas pasivos de calefacción solar.

Se modeló invernaderos adosados a las paredes norte, este y oeste en todas sus combinaciones resultando 7 casos y un caso adicional, con los 3 invernaderos sellados. Se consideró las infiltraciones de los invernaderos del mismo orden que la vivienda. Sin embargo las mezclas de aire entre los invernaderos y el interior de la vivienda se calcularon utilizando

4.3.4.3.

Tabla 10 proceso de modelado de la etapa c

Tipo	Variante	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08
Predecesor	Predecesor	B10	C01	C02	C02	C02	C02	C02	C02
Modelo Asociados	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Invernadero	Norte	1	1	1		1		1	
Invernadero	Este	1	1	1	1				1
Invernadero	Oeste	1	1		1	1	1		
Mezcla Invernadero (m ³ /s)	0.2		1	1	1	1	1	1	1
Infiltración Invernadero	0		1	1	1	1	1	1	1

4.3.6.4 Etapa D

En esta etapa se analiza la adición de muros trombe, no siendo la mejor opción para nuestras latitudes, sin embargo se realizó un análisis para poder obtener datos simulados, debido a la importancia mediática que le dio un programa nacional de mejoramiento térmico de viviendas realizado en el país en el año 2008.

En esta etapa se modelan 2 muros trombe colocados en la pared norte de la vivienda, uno para cada dormitorio. Para el caso totalmente cerrado, cerrado con filtraciones de 0.1, 0.5 y 1 ACH y con circulación de aire al interior del ambiente adosado.

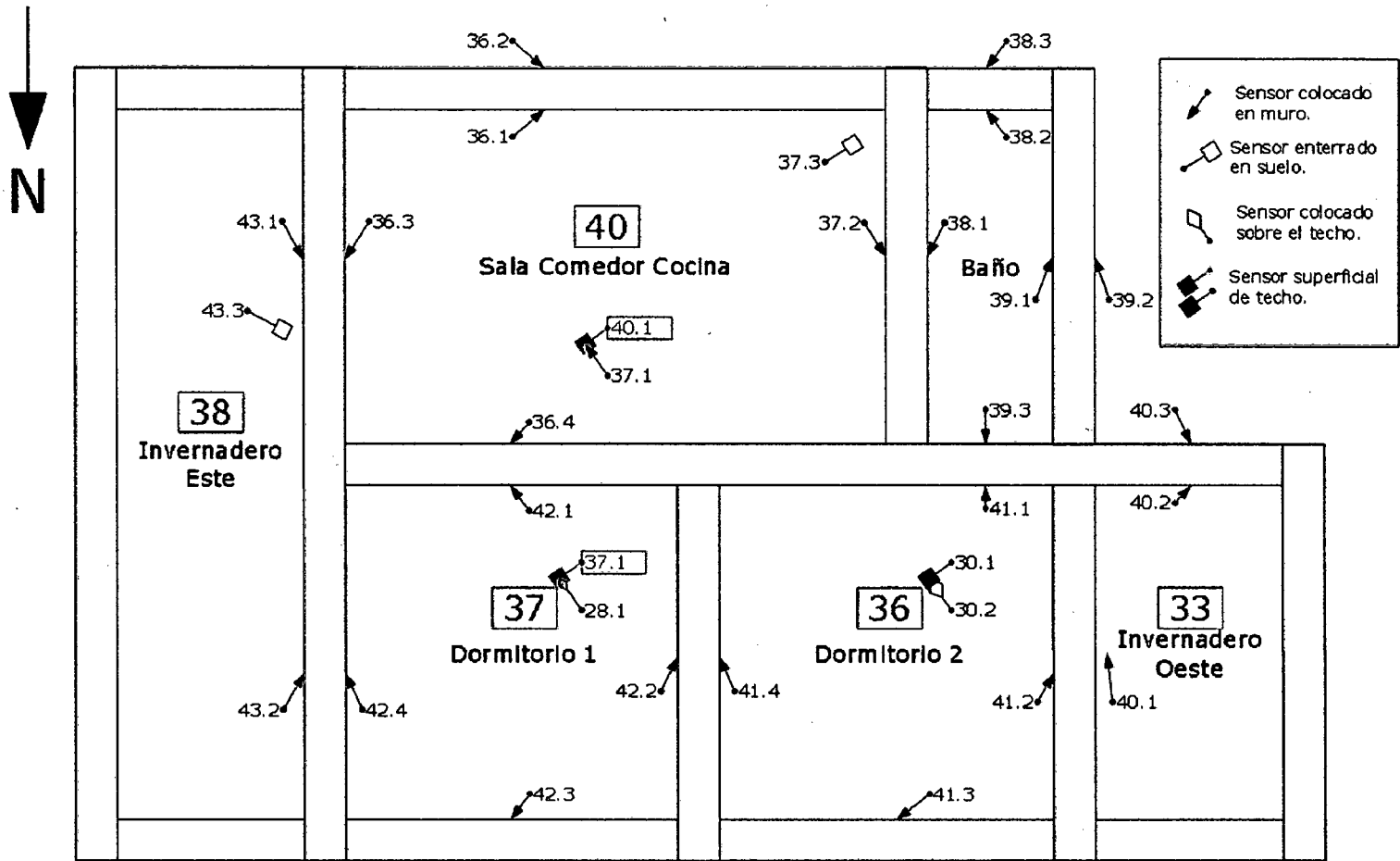
Tabla 11 proceso de modelado de la etapa d

Tipo	Variante	D01	D02	D03	D04	D05
Predecesor	Predecesor	B10	D01	D01	D01	B10
Modelo Asociados	-	-	-	-	-	-
Trombe	2 al Norte	1	1	1	1	1
Mezcla Trombe (m ³ /s)	0.00785					1
Infiltración Trombe (ACH)	1		1			
Infiltración Trombe (ACH)	0.5			1		
Infiltración Trombe (ACH)	0.1				1	
Algoritmo Convección	TrombeWall	1	1	1	1	

4.4 Construcción de la vivienda propuesta.

El proceso constructivo de la vivienda se detalla en un documento anexo, el cual contiene la memoria descriptiva de la construcción de la vivienda propuesta.

Figura 15 esquema identificando los sensores del monitoreo.



4.5 Monitoreo de vivienda propuesta

Luego de la construcción del prototipo se procedió a realizar las mediciones de temperatura de verificación. En la Figura 15 se indica la colocación de los sensores de temperatura en la vivienda. En el documento anexo sobre instrumentación se detalla las especificaciones técnicas de la instrumentación utilizada para el monitoreo así como la distribución espacial de la instalación.

4.6 Comparación de resultados de simulación y datos medidos

La comparación de temperatura se realizó para cada promedio horario del periodo, no solo para el indicador, debido a que se requiere mayor información para comparar el comportamiento térmico de la vivienda. Se realizó un gráfico para cada ambiente o zona térmica. Se comparó cada superficie analizando el flujo de calor simulado determinando el tipo de flujo energía que generaba el cambio de temperatura. Los resultados se exponen en el punto 5.5.

4.7 Análisis de Sensibilidad

Se realizó un análisis de sensibilidad del indicador de temperatura mínima promedio del periodo en función de cada parámetro con el fin de obtener el comportamiento de cada uno. Este análisis soportó los criterios para la calibración de los datos medidos y simulados, al cuantificar la magnitud de variación del comportamiento térmico de la edificación en función de los parámetros de diseño.

4.8 Calibración de simulación con datos medidos

Para realizar el ajuste de la simulación con los datos medidos se realizó cambios en espesor, conductividad térmica, densidad, capacidad calorífica, rugosidad, absortancia solar, absortancia térmica y absortancia visible del muro de adobe, así como en orientación de la edificación, mezcla de aire entre habitaciones, mezcla de aire con invernadero oeste, mezcla de aire con invernadero este, mezcla de aire con muros trombes, infiltración de aire exterior, infiltración de aire exterior en los invernaderos y muros trombes, algoritmos para el cálculo de la convección interna, externa, el balance de calor en el aire y balance de calor en muros,

transmitancia solar y visible del plástico y vidrio, también la temperatura superficial y a media profundidad del suelo.

En la TABLA 12 se aprecian los rangos de variación de algunas propiedades térmicas de los materiales recolectados de distintas fuentes, como son:

- ASHRAE
- Briz, P /ULPGC⁸
- Burberry, P /ULPGC
- CRAterre
- ITDG
- NBE-CT-79
- Recknagel/Sprenger - ULPGC
- Zornoza, J /ULPGC

Tabla 12 rango de valores de propiedades térmicas de materiales de construcción

Materiales	Conductividad (W/m-K).		Densidad (kg/m ³).		Calor Específico (J/kg-K).	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Adobe	0.580	0.950	1280	1800	828	920
Algodón	0.042	0.050	80	1520	1332	1334
Calamina	45.280	58.000	7824	7850	500	500
Lana	0.045	0.050	140	140	1360	1360
Madera	0.129	0.170	496	680	1630	1630
Paja	0.090	0.090	270	270	1008	1008
Piedra	2.500	3.500	2560	2750	790	900
Teja	0.700	2.100	1920	2700	828	1260
Tierra	0.520	2.100	1800	2050	1460	1840
Triplay	0.120	0.120	544	544	1210	1210
Tumbao	0.520	0.790	2050	2050	1370	1840

⁸ Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Durante el proceso de generación de casos se tomó en cuenta el comportamiento del indicador térmico en función de las variables en el análisis de sensibilidad descrito en el punto 4.7.

Para elaborar los casos de simulación se partió del modelo final de diseño y se modificó distintos parámetros, cada caso está asociado a un caso predecesor y el detalle de los parámetros variados se aprecia en la TABLA 13 a la TABLA 16.

La comparación de los casos por cada componente medida se muestra en el punto 5.6 de los resultados.

Los casos se seleccionaron utilizando como indicador la diferencia horaria entre las temperaturas simuladas y las medidas, en forma similar para el caso del cambio con respecto al tiempo de la temperatura. Los casos seleccionados se muestran en el punto 5.7.

Tabla 13 casos simulados para el ajuste de la simulación (i)

Caso	0	1	2	3	4	5	6	7
Predecesor	0	0	0	0	0	0	0	0
Espesor	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Conductividad Térmica Adobe	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
Densidad Adobe	1595	1595	1595	1595	1595	1595	1595	1595
Capacidad Calorífica Adobe	866	866	866	866	866	866	866	866
Rugosidad Adobe	MR ⁹	MR	MR	MR	MR	MR	MR	MR
Absortancia Solar Adobe	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Absortancia Térmica Adobe	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Absortancia Visible Adobe	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Orientación	0	0	0	0	0	0	0	0
Mezcla de Aire entre Habitaciones (m ³ /s)	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	<u>0.207</u>
Mezcla de Aire con Invernadero Oeste (m ³ /s)	0.207	<u>0.016</u>	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207
Mezcla de Aire con Invernadero Este (m ³ /s)	0.207	<u>0.016</u>	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207
Mezcla de Aire con Trombes (m ³ /s)	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
Infiltración de Aire Exterior (m ³ /s)	0.016	0.016	<u>0.032</u>	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
Infiltración Inv de Aire Exterior (m ³ /s)	0	0	0	0	0	0	0	0
Infiltración Trombes (m ³ /s)	0	0	0	0	0	0	0	0
Algoritmo Convección Interna	TARP	TARP	TARP	Simple	CD ¹⁰	ACA ¹¹	TARP	TARP
Algoritmo Convección Externa	DOE-2	DOE-2	DOE-2	DOE-2	DOE-2	DOE-2	DOE-2	DOE-2
Algoritmo Balance de Calor Aire	CTF ¹²	CTF	CTF	CTF	CTF	CTF	CTF	CTF
Algoritmo Balance de Calor	TOBD ¹³	TOBD	TOBD	TOBD	TOBD	TOBD	AS ¹⁴	TOBD
Tras. Solar. Plástico	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Tras. Visible Plástico	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901
Tras. Solar. Vidrio	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Tras. Visible. Vidrio	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901
Temp. Suelo Superficie Ext	7.23	7.23	7.23	7.23	7.23	7.23	7.23	7.23
Temp. Suelo Shallow	8.23	8.23	8.23	8.23	8.23	8.23	8.23	8.23

⁹ MediumRough¹⁰ CeilingDiffuser¹¹ AdaptiveConvectionAlgorithm¹² ConductionTransferFunction¹³ ThirdOrderBackwardDifference¹⁴ AnalyticalSolution

Tabla 14 casos simulados para el ajuste de la simulación (ii)

Caso	8	9	10	11	12	13	14	15
Predecesor	7	7	7	7	7	7	7	0
Espesor	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Conductividad Térmica Adobe	0.81	<u>0.52</u>	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
Densidad Adobe	1595	1595	<u>1800</u>	1595	1595	1595	1595	1595
Capacidad Calorífica Adobe	866	866	866	<u>920</u>	866	866	866	866
Rugosidad Adobe	<u>Smooth</u>	MR ¹⁵	MR	MR	MR	MR	MR	MR
Absortancia Solar Adobe	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.9
Absortancia Térmica Adobe	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Absortancia Visible Adobe	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Orientación	0	0	0	0	0	0	0	0
Mezcla de Aire entre Habitaciones (m ³ /s)	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207	0.016
Mezcla de Aire con Invernadero Oeste (m ³ /s)	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207	<u>0.207</u>	0.207	0.207
Mezcla de Aire con Invernadero Este (m ³ /s)	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207	<u>0.207</u>	0.207	0.207
Mezcla de Aire con Trombes (m ³ /s)	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
Infiltración de Aire Exterior (m ³ /s)	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	<u>0.016</u>	0.016
Infiltración Inv de Aire Exterior (m ³ /s)	0	0	0	0	0.016	0	0.016	0
Infiltración Trombes (m ³ /s)	0	0	0	0	0	0	0	0
Algoritmo Convección Interna	TARP	TARP	TARP	TARP	TARP	TARP	Simple	<u>TARP</u>
Algoritmo Convección Externa	DOE-2	DOE-2	DOE-2	DOE-2	DOE-2	DOE-2	DOE-2	SC ¹⁶
Algoritmo Balance de Calor Aire	CTF ¹⁷	CTF	CTF	CTF	CTF	CTF	CTF	CTF
Algoritmo Balance de Calor	TOBD ¹⁸	TOBD	TOBD	TOBD	TOBD	TOBD	TOBD	TOBD
Tras. Solar. Plástico	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Tras. Visible Plástico	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901
Tras. Solar. Vidrio	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Tras. Visible. Vidrio	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901
Temp. Suelo Superficie Ext	7.23	7.23	7.23	7.23	7.23	7.23	7.23	7.23
Temp. Suelo Shallow	8.23	8.23	8.23	8.23	8.23	8.23	8.23	8.23

¹⁵ MediumRough¹⁶ SimpleCombined¹⁷ ConductionTransferFunction¹⁸ ThirdOrderBackwardDifference

Tabla 15 casos simulados para el ajuste de la simulación (iii)

Caso	16	17	18	19	20	21	22	23
Predecesor	0	0	7	18	18	18	18	18
Espesor	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Conductividad Térmica Adobe	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	<u>0.95</u>	0.52	0.81
Densidad Adobe	1595	1595	1595	1800	1280	1595	<u>1595</u>	1595
Capacidad Calorífica Adobe	866	866	866	866	866	866	<u>866</u>	<u>920</u>
Rugosidad Adobe	MR ¹⁹	MR	MR	MR	MR	MR	MR	MR
Absortancia Solar Adobe	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Absortancia Térmica Adobe	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Absortancia Visible Adobe	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Orientación	0	0	0	0	0	0	0	0
Mezcla de Aire entre Habitaciones (m ³ /s)	0.016	0.016	0.207	<u>0.207</u>	0.207	0.207	0.207	0.207
Mezcla de Aire con Invernadero Oeste (m ³ /s)	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207
Mezcla de Aire con Invernadero Este (m ³ /s)	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207
Mezcla de Aire con Trombes (m ³ /s)	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
Infiltración de Aire Exterior (m ³ /s)	0.016	0.016	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032
Infiltración Inv de Aire Exterior (m ³ /s)	0	0	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
Infiltración Trombes (m ³ /s)	0	0	0	0	0	0	0	0
Algoritmo Convección Interna	<u>TARP</u>	<u>TARP</u>	Simple	Simple	Simple	Simple	Simple	Simple
Algoritmo Convección Externa	TARP	MoWITT	SC ²⁰	SC	SC	SC	SC	SC
Algoritmo Balance de Calor Aire	CTF ²¹	CTF	CTF	CTF	CTF	CTF	CTF	CTF
Algoritmo Balance de Calor	TOBD ²²	TOBD	<u>TOBD</u>	TOBD	TOBD	TOBD	TOBD	TOBD
Tras. Solar. Plástico	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Tras. Visible Plástico	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901
Tras. Solar. Vidrio	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Tras. Visible. Vidrio	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901
Temp. Suelo Superficie Ext	7.23	7.23	7.23	7.23	7.23	7.23	7.23	7.23
Temp. Suelo Shallow	8.23	8.23	8.23	8.23	8.23	8.23	8.23	8.23

¹⁹ MediumRough²⁰ SimpleCombined²¹ ConductionTransferFunction²² ThirdOrderBackwardDifference

Tabla 16 casos simulados para el ajuste de la simulación (iv)

Caso	24	25	26	27	28	29	30	31
Predecesor	18	18	18	18	18	18	18	18
Espesor	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Conductividad Térmica Adobe	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.52	0.81	0.81
Densidad Adobe	1595	1595	1595	1595	1595	1800	1595	1595
Capacidad Calorífica Adobe	828	866	866	866	866	920	866	866
Rugosidad Adobe	MR ²³	MR	MR	MR	MR	MR	MR	MR
Absortancia Solar Adobe	0.9	0.99	0.8	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9
Absortancia Térmica Adobe	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.6
Absortancia Visible Adobe	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Orientación	0	0	0	0	0	0	0	0
Mezcla de Aire entre Habitaciones (m³/s)	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207	<u>0.207</u>
Mezcla de Aire con Invernadero Oeste (m³/s)	0.207	<u>0.207</u>	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207
Mezcla de Aire con Invernadero Este (m³/s)	0.207	<u>0.207</u>	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207
Mezcla de Aire con Trombes (m³/s)	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
Infiltración de Aire Exterior (m³/s)	0.032	0.032	<u>0.032</u>	0.032	0.064	0.032	0.032	0.032
Infiltración Inv de Aire Exterior (m³/s)	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
Infiltración Trombes (m³/s)	0	0	0	0	0	0	0	0
Algoritmo Convección Interna	Simple	Simple	Simple	<u>Simple</u>	<u>Simple</u>	<u>Simple</u>	Simple	Simple
Algoritmo Convección Externa	SC ²⁴	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC
Algoritmo Balance de Calor Aire	CTF ²⁵	CTF	CTF	CTF	CTF	CTF	CTF	CTF
Algoritmo Balance de Calor	TOBD ²⁶	TOBD	TOBD	TOBD	TOBD	TOBD	<u>TOBD</u>	TOBD
Tras. Solar. Plástico	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Tras. Visible Plástico	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901
Tras. Solar. Vidrio	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Tras. Visible. Vidrio	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901
Temp. Suelo Superficie Ext	7.23	7.23	7.23	7.23	7.23	7.23	7.23	7.23
Temp. Suelo Shallow	8.23	8.23	8.23	8.23	8.23	8.23	8.23	8.23

²³ MediumRough

²⁴ SimpleCombined

²⁵ ConductionTransferFunction

²⁶ ThirdOrderBackwardDifference

5 RESULTADOS

5.1 Diagnostico térmico de condiciones típicas.

En la Figura 16 y Figura 17 se muestran los resultados del promedio horario por mes de las mediciones de temperatura de aire interior de dos ambientes de una vivienda típica en la comunidad en el año 2008, la distribución de esta vivienda se muestra en la Figura 18 . De las mediciones de esta vivienda típica, se observa que el indicador térmico para el dormitorio es 4.9°C y para la cocina es 5.4°C. Ambos ambientes con envolvente de materiales similares.

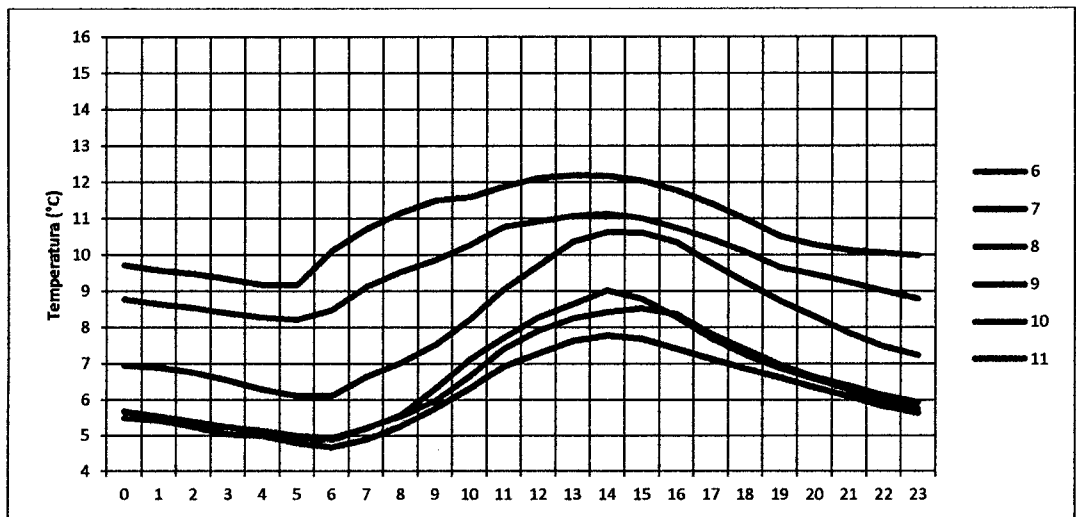


Figura 16 promedio horario por mes de las mediciones horarias de temperatura de aire interior del dormitorio de una vivienda típica.

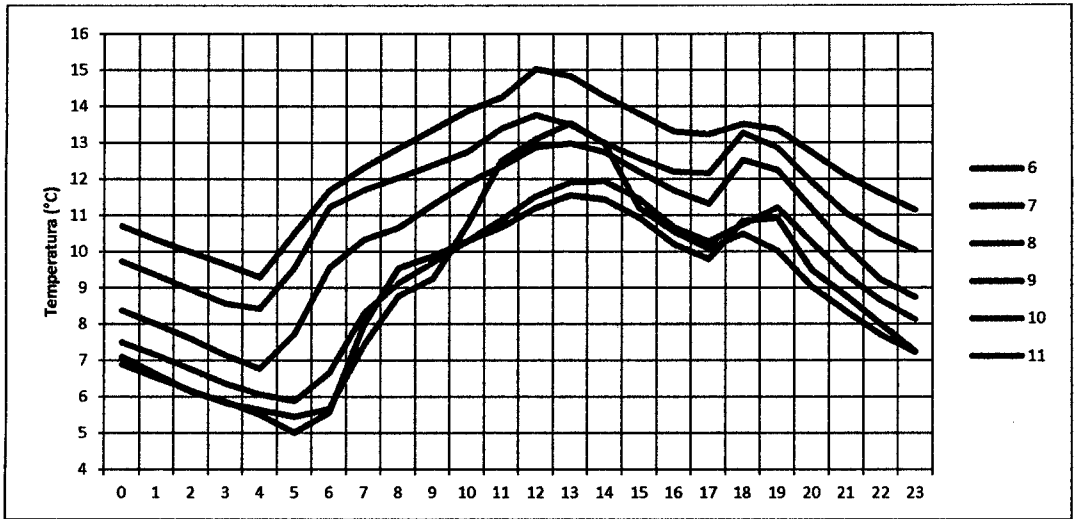


Figura 17 promedio horario por mes de las mediciones horarias de temperatura de aire interior de la cocina de una vivienda típica.

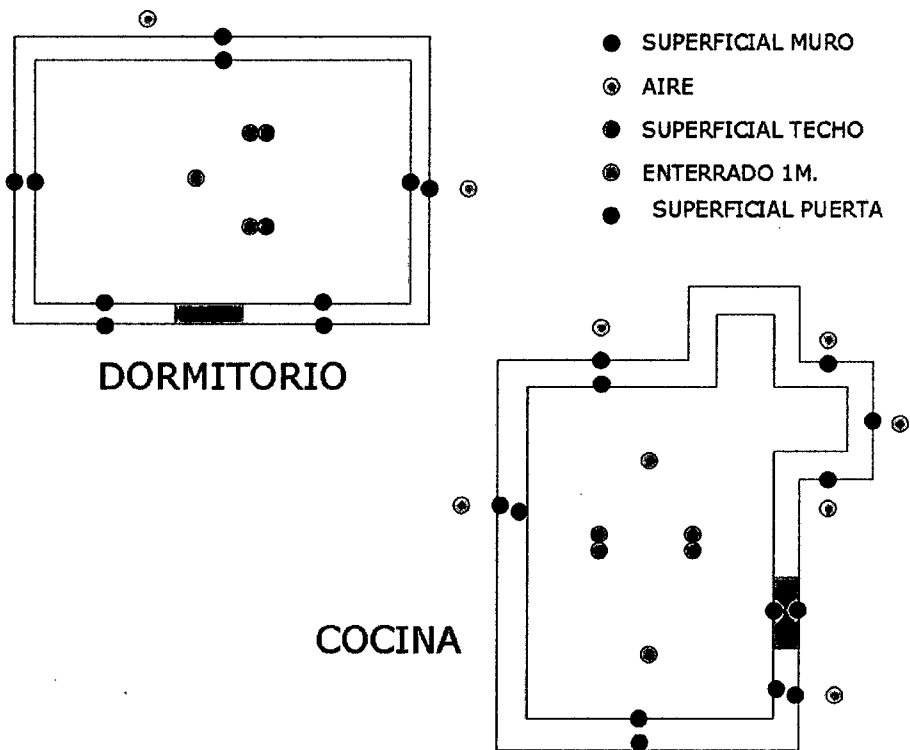


Figura 18 diagrama de medición de vivienda típica.

5.2 Rango de Temperaturas de Confort

Utilizando la ecuación (29) calculamos la temperatura de confort para Vilcallamas Arriba en función de la temperatura promedio mensual.

Tabla 17 temperatura de confort mensual para Vilcallamas arriba en °C

Mes	Temp. Prom. Mensual	Temp. Confort
1	5.8	16.6
2	5.7	16.6
3	5.5	16.5
4	5.1	16.3
5	4.2	15.8
6	3.6	15.5
7	3.7	15.5
8	3.7	15.5
9	5.1	16.3
10	5.7	16.6
11	6.9	17.2
12	5.5	16.5

5.3 Modelación y selección de modificaciones constructivas de diseño

El modelado se realizó en 4 etapas descritas en 4.3.6. En las tablas a continuación se muestra la temperatura promedio de aire de cada zona, la diferencia con respecto a la temperatura del modelo de referencia y el orden de los modelos de menor a mayor diferencia en los dormitorios. A continuación las tablas describen cada etapa.

Tabla 18 resultados de la etapa a del proceso de simulación

Modelo	T. Promedio Aire de Zona °C				ΔTemperatura con modelo ref.				Orden	
	DOR2	DOR1	BAN	CCO:	DOR2	DOR1	BAN	CCO:	DOR2	DOR1
A20	7.6	7.4	7.2	6.8	2	2	1.7	2.6	1	1
A19	7.5	7.3	7.1	6.7	1.9	1.9	1.6	2.5	2	2
A18	7.5	7.3	7.1	6.6	1.9	1.9	1.6	2.4	3	3
A17	6.9	6.7	6.4	4.7	1.3	1.3	0.9	0.5	4	4
A16	6.7	6.5	6.3	4.6	1.1	1.1	0.8	0.4	5	5
A04	6.4	6.2	6.1	4.4	0.8	0.8	0.6	0.2	6	6
A15	6	5.8	5.8	4.3	0.4	0.4	0.3	0.1	7	7
A26	5.9	5.7	5.9	4.9	0.3	0.3	0.4	0.7	8	8
A25	5.7	5.5	5.6	4.3	0.1	0.1	0.1	0.1	9	9
A14	5.6	5.5	5.5	4.3	0	0.1	0	0.1	12	10
A08	5.6	5.5	5.5	4.3	0	0.1	0	0.1	14	11
A03	4.8	5.5	5.2	4.8	-0.8	0.1	-0.3	0.6	26	12
A23	5.6	5.4	5.4	4.2	0	0	-0.1	0	10	13
A21	5.6	5.4	5.4	4.2	0	0	-0.1	0	11	14
A10	5.6	5.4	5.5	4.2	0	0	0	0	13	15
A05	5.6	5.4	5.5	4.3	0	0	0	0.1	15	16
A00 (ref.)	5.6	5.4	5.5	4.2	0	0	0	0	16	17
A22	5.5	5.4	5.5	4.3	-0.1	0	0	0.1	20	18
A12	5.5	5.4	5.3	4.2	-0.1	0	-0.2	0	22	19
A09	5.5	5.4	5.5	4.3	-0.1	0	0	0.1	23	20
A27	5.5	5.3	5.4	4.2	-0.1	-0.1	-0.1	0	17	21
A28	5.5	5.3	5.4	4.4	-0.1	-0.1	-0.1	0.2	18	22
A24	5.5	5.3	5.5	4.3	-0.1	-0.1	0	0.1	19	23
A13	5.5	5.3	5.4	4.3	-0.1	-0.1	-0.1	0.1	21	24
A06	5.1	4.9	4.8	3.9	-0.5	-0.5	-0.7	-0.3	25	25
A02	4.5	4.7	6.2	5	-1.1	-0.7	0.7	0.8	27	26
A01	5.3	4.6	6.6	4.5	-0.3	-0.8	1.1	0.3	24	27
A11	4.3	4.1	4.4	3.4	-1.3	-1.3	-1.1	-0.8	28	28
A07	4.1	4	3.6	3.2	-1.5	-1.4	-1.9	-1	29	29

Tabla 19 resultados de la etapa b del proceso de simulación

Modelo	T. Promedio Aire de Zona °C				ΔTemperatura con modelo ref.				Orden	
	DOR2	DOR1	BAN	CCO:	DOR2	DOR1	BAN	CCO:	DOR2	DOR1
B10	9.4	9.0	8.6	8.0	0.6	0.5	0.5	0.4	1	2
B09	9.3	9.0	8.6	8.1	0.5	0.5	0.5	0.5	2	3
B08	9.1	8.8	8.3	7.9	0.3	0.3	0.2	0.3	3	4
B07	9.0	8.7	8.2	7.7	0.2	0.2	0.1	0.1	4	5
B18	8.9	8.7	8.2	7.6	0.1	0.2	0.1	0.0	5	6
B15	8.9	7.3	9.6	7.8	0.1	-1.2	1.5	0.2	6	18
B13	8.8	8.5	8.1	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	7	8
B06	8.8	8.6	8.0	7.6	0.0	0.1	-0.1	0.0	8	7
B03	8.8	8.5	8.1	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	9	9
B00 (ref.)	8.8	8.5	8.1	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	10	10
B14	8.7	8.5	8.1	7.8	-0.1	0.0	0.0	0.2	11	11
B04	8.7	8.4	8.0	7.5	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	12	12
B05	8.6	8.4	7.9	7.4	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	13	13
B02	8.4	8.2	7.7	7.3	-0.4	-0.3	-0.4	-0.3	14	14
B01	7.8	7.5	7.2	7.0	-1.0	-1.0	-0.9	-0.6	15	16
B17	7.7	9.2	7.4	8.4	-1.1	0.7	-0.7	0.8		
B11	8.8	8.5	8.1	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	17	17
B16	8.8	8.5	8.1	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	18	15
B12	8.7	8.5	8.1	7.8	-0.1	0.0	0.0	0.2	19	19

Tabla 20 resultados de la etapa c del proceso de simulación

Modelo	T. Promedio Aire de Zona °C				ΔTemperatura con modelo ref.				Orden	
	DOR2	DOR1	BAN	Modelo	DOR2	DOR1	BAN	Modelo	DOR2	DOR1
C02	16.0	15.0	13.6	12.0	2.5	1.6	2.7	1.6	1	1
C05	15.1	12.3	12.7	10.3	1.6	-1.1	1.8	-0.1	2	4
C01 (ref.)	13.5	13.4	10.9	10.4	0.0	0.0	0.0	0.0	3	3
C04	13.2	12.0	12.6	10.6	-0.3	-1.4	1.7	0.2	4	5
C06	12.2	9.2	11.6	8.8	-1.3	-4.2	0.7	-1.6	5	8
C03	12.2	14.1	9.7	10.6	-1.3	0.7	-1.2	0.2	6	2
C07	11.8	11.6	9.0	9.1	-1.7	-1.8	-1.9	-1.3	7	6
C08	9.5	11.1	8.8	9.2	-4.0	-2.3	-2.1	-1.2	8	7

Tabla 21 resultados de la etapa d del proceso de simulación

Modelo	T. Promedio Aire de Zona °C				ΔTemperatura con modelo ref.				Orden	
	DOR2	DOR1	BAN	Modelo	DOR2	DOR1	BAN	Modelo	DOR2	DOR1
D05	9.7	9.3	8.1	7.9	0.2	0.1	0	0.1	1	1
D04	9.5	9.2	8.1	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-
D03	9.5	9.2	8.1	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-
D01	9.5	9.2	8.1	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-
D02	9.5	9.2	8.1	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-

5.4 Mediciones Térmicas en la vivienda construida

En la Figura 19 se muestra los promedios horarios de las temperaturas medidas en el interior de la vivienda prototipo para el periodo de tiempo entre el 10 de abril y el 10 de mayo.

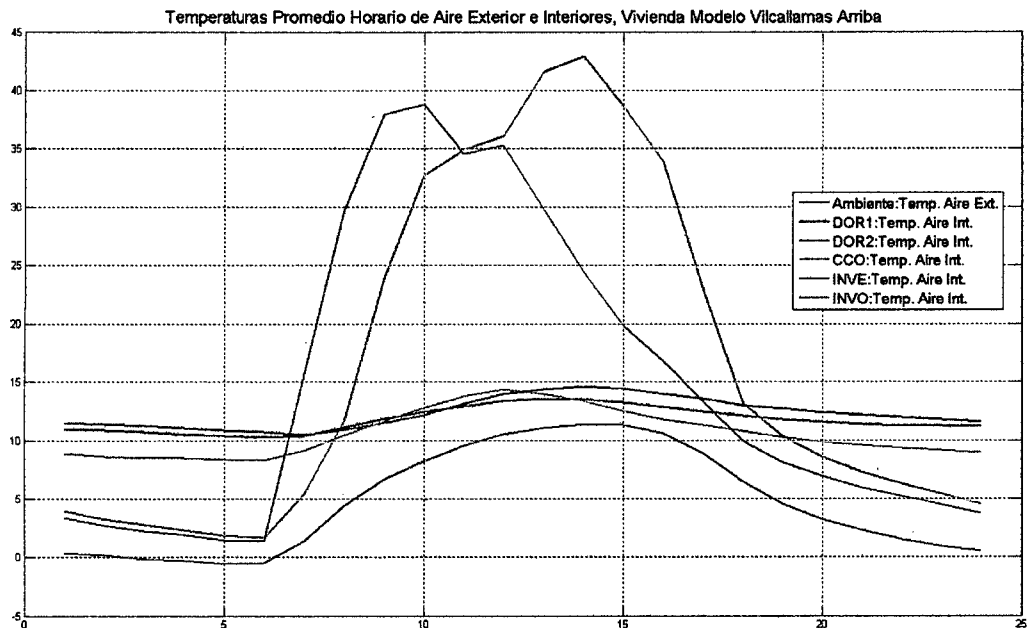


Figura 19 temperatura promedio horaria en los invernaderos de la vivienda propuesta

Con respecto a la medición de temperatura en la vivienda prototipo, la temperatura promedio del aire se encuentra entre los rangos indicados en la Tabla 22. Siendo el indicador comparativo de diseño la temperatura mínima promedio. Se observa que las temperaturas interiores de todos los ambientes son superiores a la exterior. La amplitud de la temperatura del dormitorio 1 es la menor, siendo de 3.3°C, en comparación con los invernaderos, que no es superan los 37°C.

Tabla 22 rangos de la temperatura promedio medida en la vivienda propuesta en °C.

	Mínimo	Máximo	Amplitud
Dormitorio 1 (Temp 37.1)	10.2	13.5	3.3
Dormitorio 2 (Temp 36.1)	10.5	14.6	4.1
Sala comedor cocina (Temp 40.1)	8.3	14.3	6.0
Invernadero Este (Temp 38.1)	1.4	38.8	37.4
Invernadero Oeste (Temp 33.1)	1.7	42.9	41.2

En la TABLA 22 se muestra, entre paréntesis, la codificación de los sensores usados en el monitoreo según la distribución indicada en Figura 15.

5.5 Temperatura y flujos de calor en el modelo base y datos medidos de temperatura.

A continuación se muestran los resultados de datos medidos y simulados de aire del interior del dormitorio 1 así como de superficies asociadas a cada zona térmica.

Debido a la gran cantidad de datos se muestran los resultados para las otras zonas térmicas en el apéndice.

Para el dormitorio 1, la temperatura simulada es superior a la medida durante todo el día, entre 1.6 y 2.6°C dependiendo del intervalo de tiempo. El promedio más alto de temperatura simulada es 13.1°C a las 13 h y la mayor medida es 11.4°C a las 14h, en el modelo es superior por 1.3°C a la medición. El mínimo de temperatura simulada es 9.5°C a las 7 h y la menor medida es 7.8°C a las 6h, con una diferencia de 1.7°C. Se observa que la amplitud de la temperatura en la medición y el modelo es 3.6°C. Ver Figura 20 .

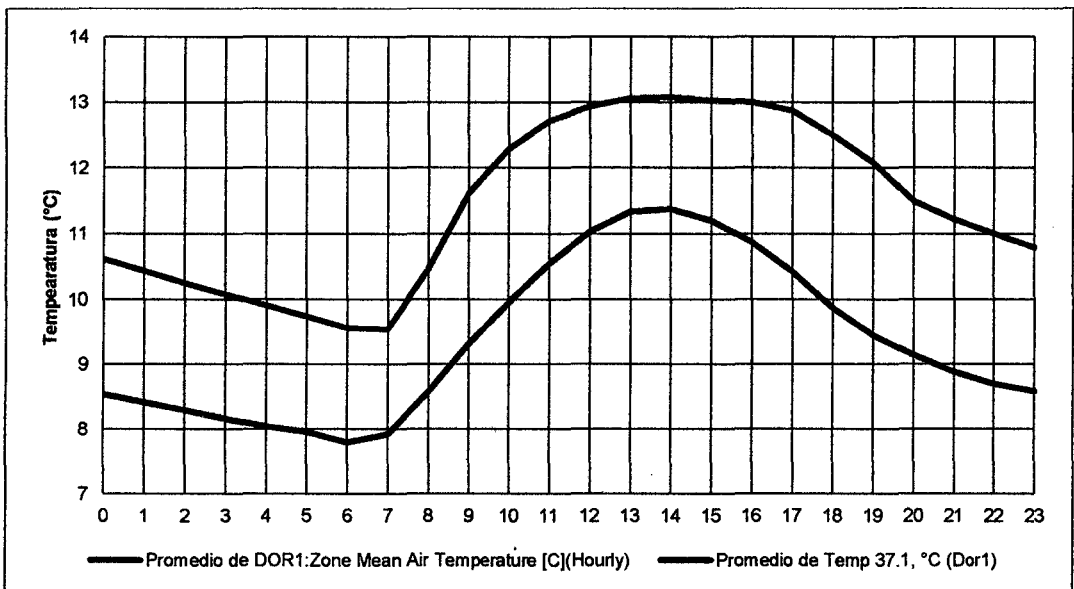


Figura 20 comparación entre datos medidos y simulados en el dormitorio 1.

Referente al flujo de calor en el aire del dormitorio, otras zonas colindantes a través de intercambios de aire dan calor al dormitorio 1 desde las 8h hasta las 18h con un máximo promedio de 220W entre las 11h, el resto del día lo pierde con un máximo de 94W a las 6h.

Por convección con las superficies que rodean este dormitorio, desde las 8h hasta las 18h el aire pierde calor con un máximo promedio de 214W entre las 11 y 12h, el resto del día gana calor de las superficies con un máximo promedio de 92W a las 6h. En comparación con estos flujos, que alcanzan picos superiores a 150W en ciertas horas del día, los demás no son significativos. Ver Figura 21.

En la superficie interior de la pared sur del dormitorio 1, la temperatura simulada oscila entre 13.2°C y 15.1°C, mientras que la medida se encuentra entre 10.9°C y 11.9°C, siendo la temperatura simulada mayor que la medida durante todo el día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo da calor a la pared entre las 9h y 20h con un máximo de 4.8 W/m² a las 13h, el resto del día pierde calor con un máximo de 1.5 W/m² a las 6h. El flujo radiativo brinda calor a la superficie entre las 10 y 22h con un máximo de 8.5 W/m² a las 15h, el resto del día pierde calor con un máximo de 3.1 W/m² a las 7h. El flujo de radiación solar tiene un máximo de 3.5 W/m² a las 9h. Ver Figura 22.

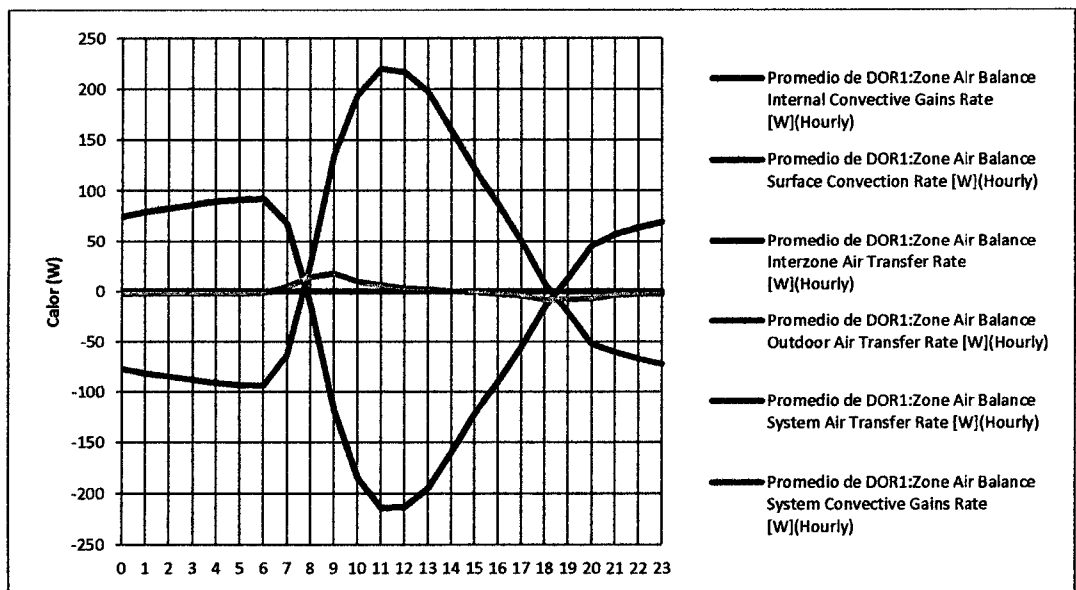


Figura 21 promedio horario de calor en el aire del dormitorio 1

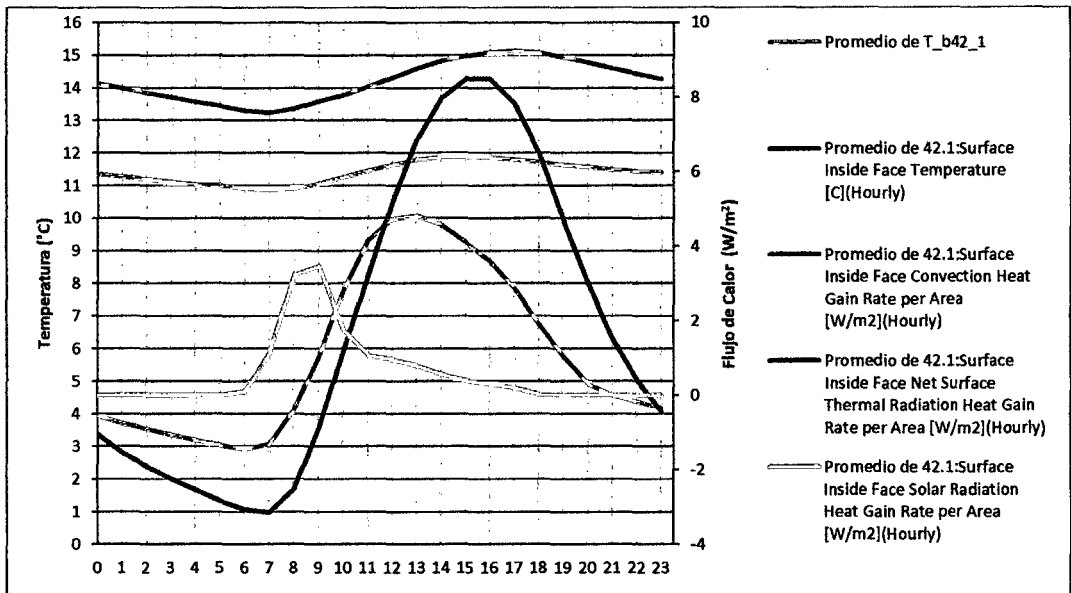


Figura 22 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior 42.1, pared sur dormitorio 1.

En la superficie interior de la pared oeste del dormitorio 1, la temperatura simulada oscila entre 14°C y 15.8°C , mientras que la medida se encuentra entre 11.2°C y 12.1°C , siendo la temperatura simulada mayor que la medida durante todo el día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo da calor a la pared entre las 10h y 19h con un máximo de 3.2 W/m^2 a las 13h, el resto del día pierde calor con un máximo de 2.9 W/m^2 a las 6h. El flujo radiativo brinda calor a la superficie entre las 12 y 19h con un máximo de 4.4 W/m^2 a las 16h, el resto del día pierde calor con un máximo de 7.4 W/m^2 a las 7h. El flujo de radiación solar tiene un máximo de 3.4 W/m^2 a las 9h. Ver Figura 23.

En la superficie interior de la pared norte del dormitorio 1, la temperatura simulada oscila entre 16.1°C y 18°C , mientras que la medida se encuentra entre 11.5°C y 12.1°C , siendo la temperatura simulada mayor que la medida durante todo el día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo da calor a la pared entre las 12h y 14h con un máximo de 0.8 W/m^2 a las 13h, el resto del día pierde calor con un máximo de 8.8 W/m^2 a las 3h. El flujo radiativo retira calor a la superficie durante todo el día con un máximo de 19.4 W/m^2 a las 2h

y un mínimo de 4.6 a las 15h. El flujo de radiación solar tiene un máximo de 3.4 W/m² a las 9h. Ver Figura 24.

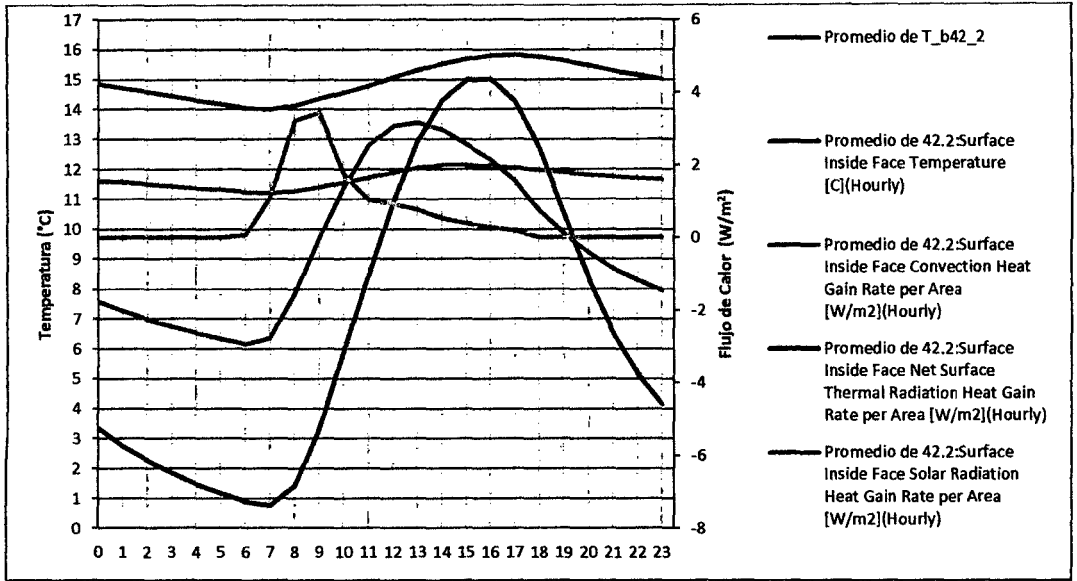


Figura 23 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior 42.2, pared oeste dormitorio 1.

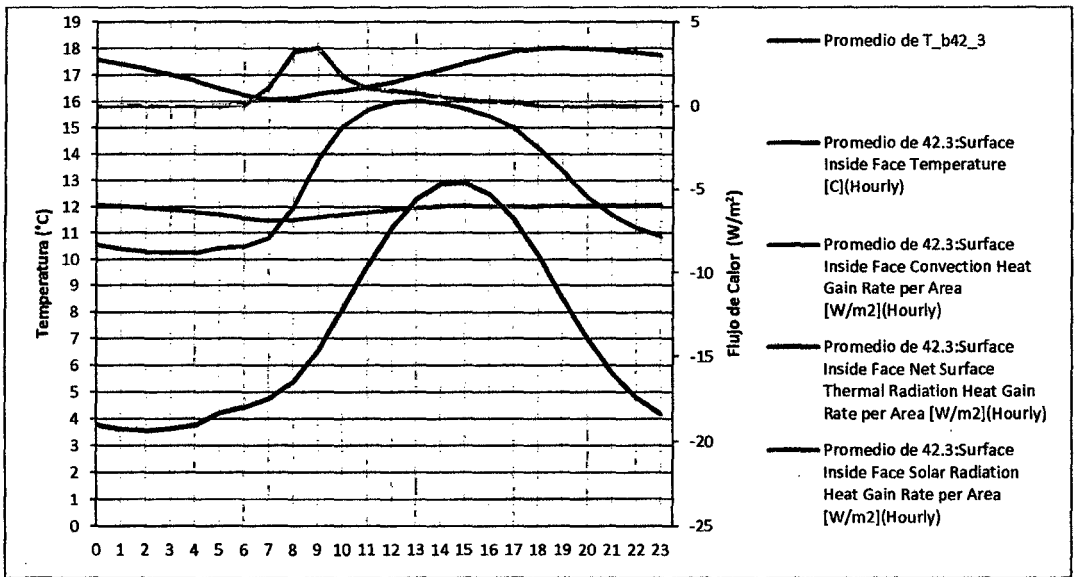


Figura 24 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior 42.3, pared norte dormitorio 1.

En la superficie interior de la pared este del dormitorio 1, la temperatura simulada oscila entre 15.2°C y 17.5°C, mientras que la medida se encuentra entre 11.5°C y 12.1°C, siendo la temperatura simulada mayor que la medida durante todo el día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo da calor a la pared entre las 10h y 16h con un máximo de 1.5 W/m² a las 12h, el resto del día pierde calor con un máximo de 6.3 W/m² a las 3h. El flujo radiativo retira calor a la superficie durante todo el día con un máximo de 15.3 W/m² a las 1h y un mínimo de 1.7 W/m² a las 14h. El flujo de radiación solar tiene un máximo de 3 W/m² a las 9h. Ver Figura 25.

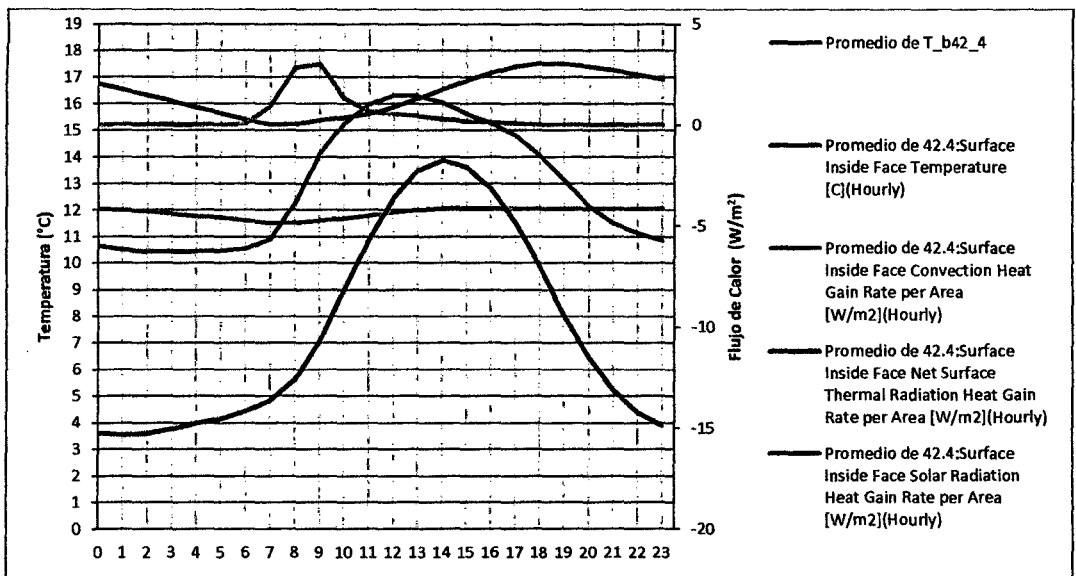


Figura 25 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior 42.4, pared este dormitorio 1.

En la superficie interior del piso del dormitorio 1, la temperatura simulada oscila entre 11.2°C y 14.1°C, no se realizó mediciones de esta superficie. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo da calor al piso durante todo el día con un máximo de 4.5 W/m² a las 12h y un mínimo de 0.8 W/m² a las 7h. El flujo radiativo entrega calor a la superficie durante todo el día con un máximo de 14.5 W/m² a las 16h y un mínimo de 8.2 W/m² a las 8h. El flujo de radiación solar tiene un máximo de 3.5 W/m² a las 9h sobre esta superficie. Ver Figura 26.

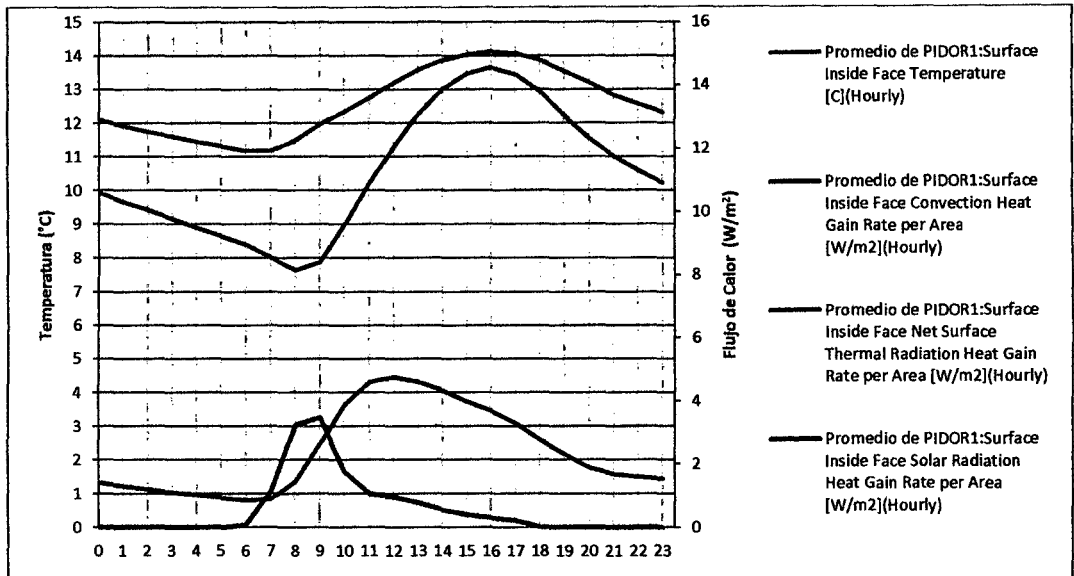


Figura 26 promedio horario de temperaturas y flujos de calor simulado de la superficie interior pidor1, piso dormitorio 1.

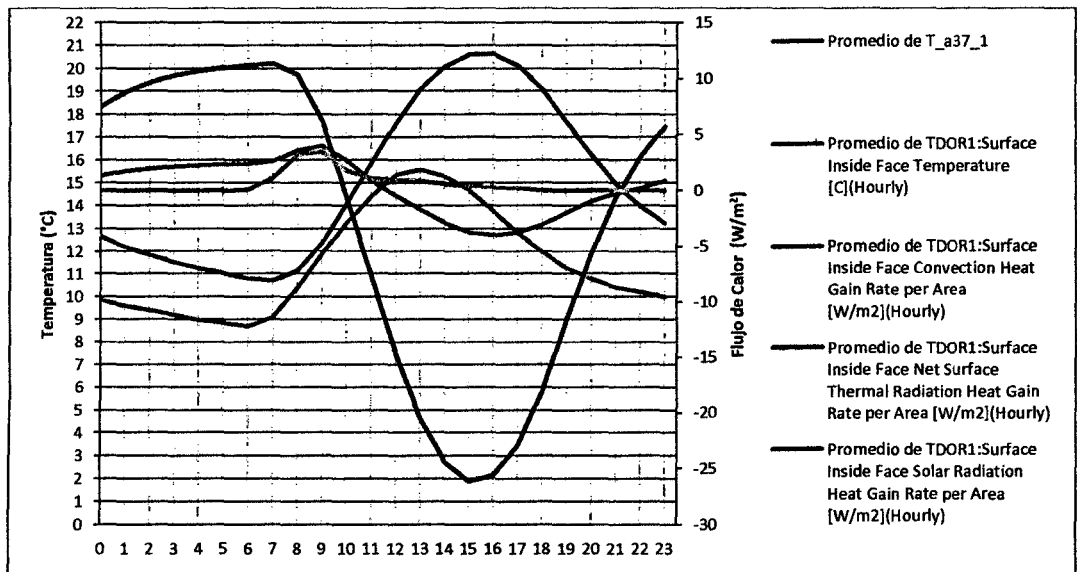


Figura 27 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior tdor1, techo dormitorio 1.

En la superficie interior del techo del dormitorio 1, la temperatura simulada oscila entre 10.7°C y 20.6°C, mientras que la medida se encuentra entre 8.7°C y 15.6°C, siendo la temperatura

simulada mayor que la medida durante todo el día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo retira calor al techo entre las 12h y 21h con un máximo de 4 W/m^2 a las 16h, el resto del día gana calor con un máximo de 4 W/m^2 a las 9h. El flujo radiativo retira calor a la superficie desde las 10h hasta las 21h con un máximo de 26.1 W/m^2 a las 15h y brinda calor el resto del día con un máximo de 11.4 W/m^2 a las 7h. El flujo de radiación solar tiene un máximo de 3.5 W/m^2 a las 9h. Ver Figura 27.

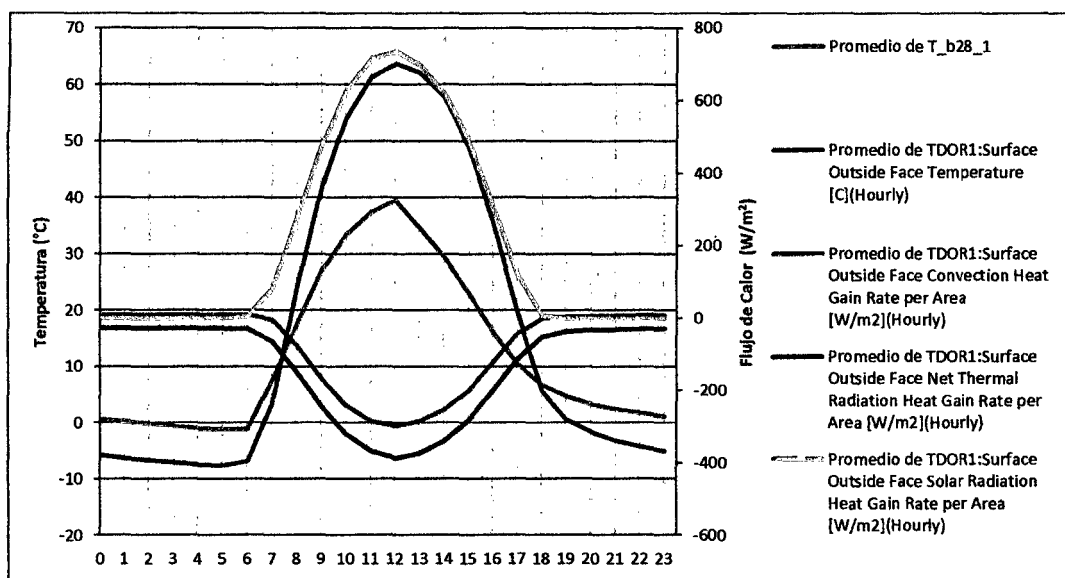


Figura 28 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie exterior tdor1, techo dormitorio 1.

En la superficie exterior del techo del dormitorio 1, la temperatura simulada oscila entre $-7.6 \text{ }^\circ\text{C}$ y $63.7 \text{ }^\circ\text{C}$, mientras que la medida se encuentra entre $-1.2 \text{ }^\circ\text{C}$ y $39.5 \text{ }^\circ\text{C}$, siendo la temperatura simulada mayor que la medida entre las 8h y 17h del día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo retira calor al techo entre las 7h y 18h con un máximo de 298 W/m^2 a las 12h, el resto del día gana calor con un máximo de 10 W/m^2 a las 5h. El flujo radiativo retira calor a la superficie durante todo el día con un máximo de 386 W/m^2 a las 12h y un mínimo de 28 W/m^2 a las 5h. El flujo de radiación solar tiene un máximo de 736 W/m^2 a las 12h. Ver Figura 28, donde se acortó el eje de abscisas para tener una mejor visibilidad del comportamiento térmico, cabe destacar que los flujos que no se aprecian en toda su

amplitud tienen formas de campanas similares a la radiación solar positivas y negativas, dependiendo del caso.

5.6 Ajustes entre modelo y Mediciones

Se presentan los resultados obtenidos del proceso de ajuste del modelo de simulación con los datos medidos en el prototipo de vivienda construido.

Los resultados se muestran en 3 grupos de graficas por cada punto de comparación medido, estos grupos fueron configurados solo con el criterio de mostrar tres graficas en lugar de una, facilitando la visualización de los datos. Debido a la gran cantidad de datos solo se muestran los resultados del dormitorio 1, para las otras zonas térmicas los resultados se encuentran en el apéndice.

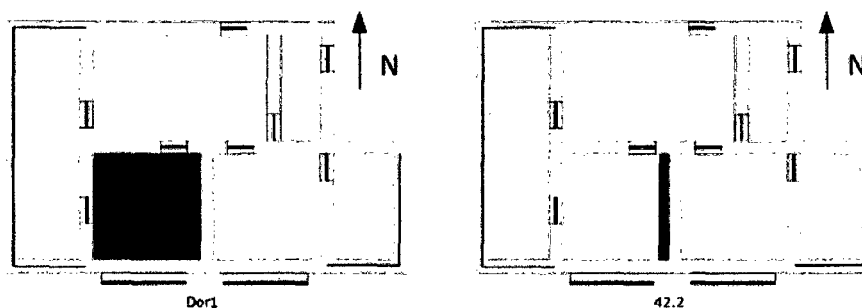


Figura 29 vistas de planta de la vivienda señalando las zonas y áreas de medición en el dormitorio 1 (i).

Para la temperatura DOR1, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 15, 4, 45, 44, 1, 9, 6, 0, 42 y 29. Ver Figura 30.

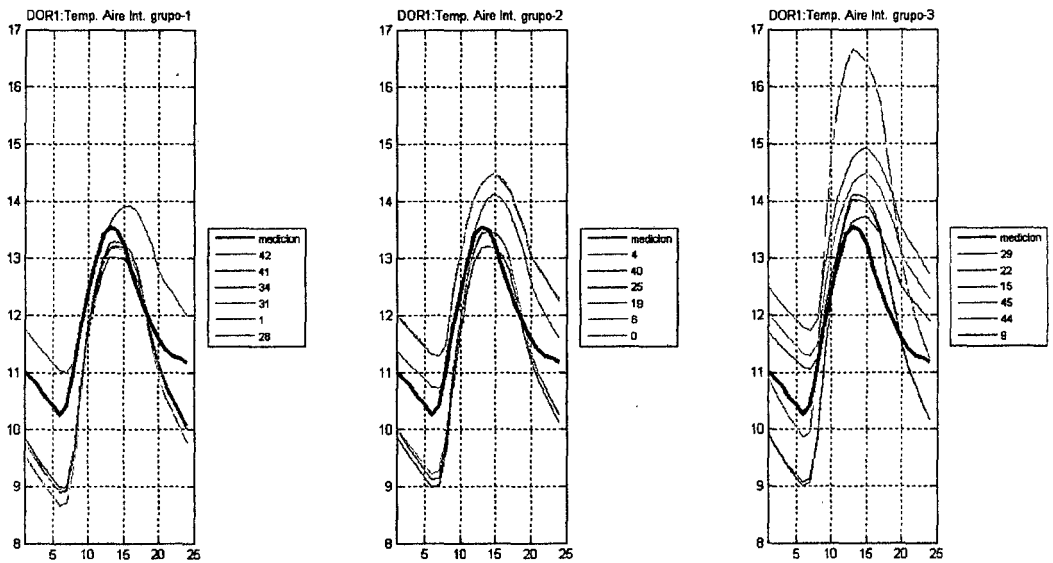


Figura 30 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura de aire interior del dormitorio 1.

Para la temperatura 42.2, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 45, 29, 6, 19, 0, 44, 22 y 15. Ver Figura 31.

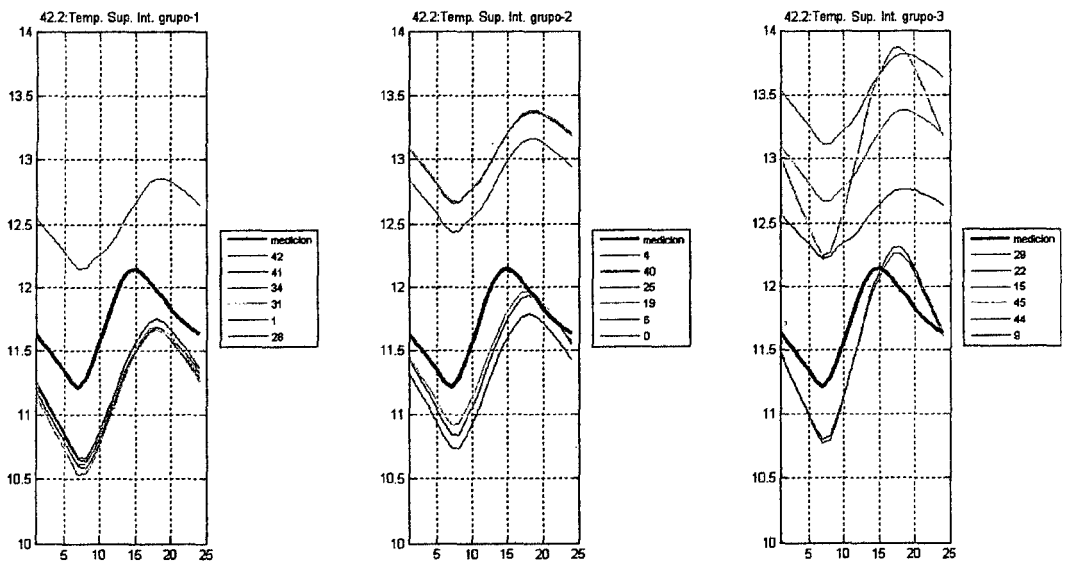


Figura 31 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura de superficial interior 42.2 del dormitorio 1.

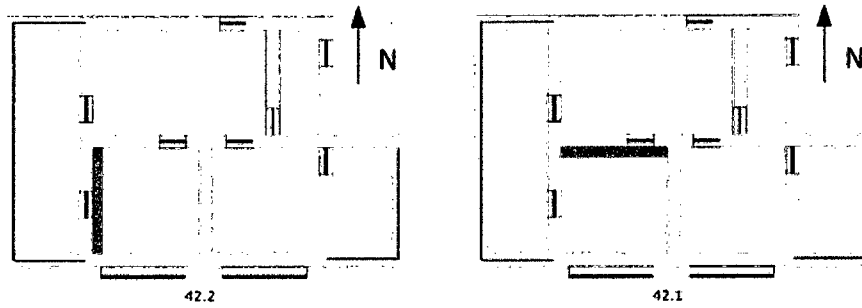


Figura 32 vistas de planta de la vivienda señalando las zonas y áreas de medición en el dormitorio 1 (ii).

Para la temperatura 42.4, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 41, 40, 34, 31, 28, 29, 42, 19, 22, 15, 44, 9, 4 y 0. Ver Figura 33.

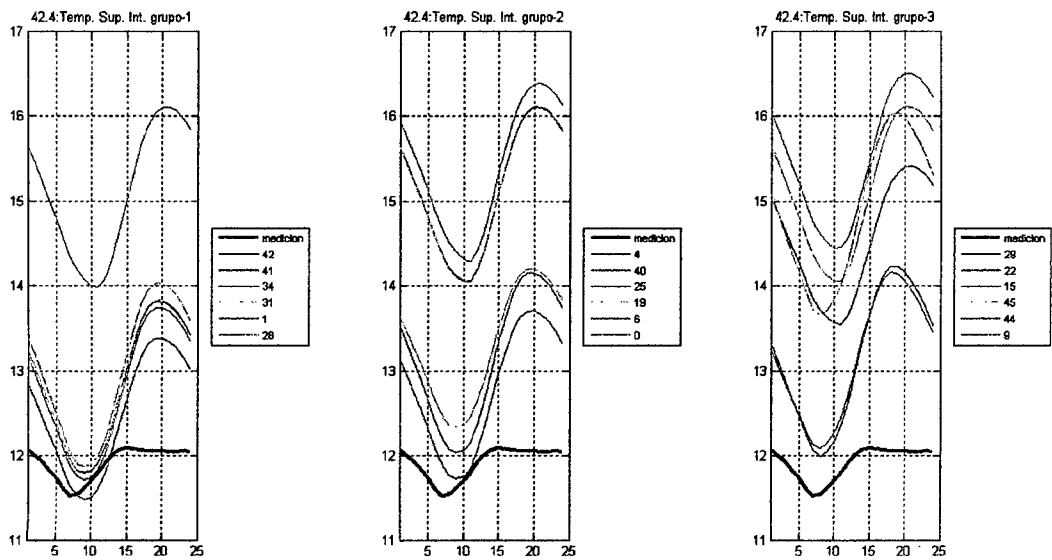


Figura 33 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficial interior 42.4 del dormitorio 1.

Para la temperatura 42.1, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 19, 29, 15, 45, 22, 1, 0, 44 y 9. Ver Figura 34.

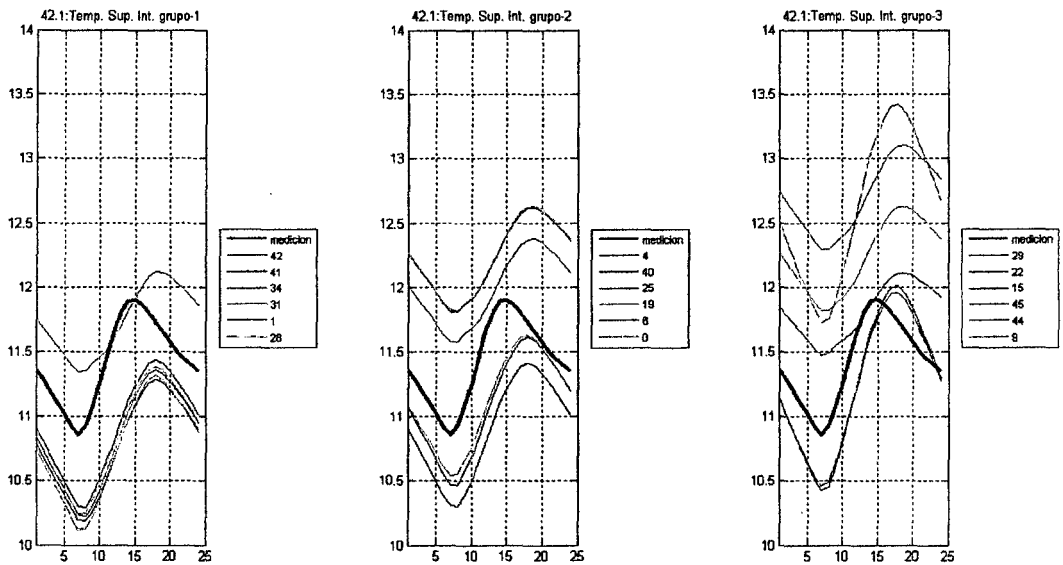


Figura 34 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficial interior 42.1 del dormitorio 1.

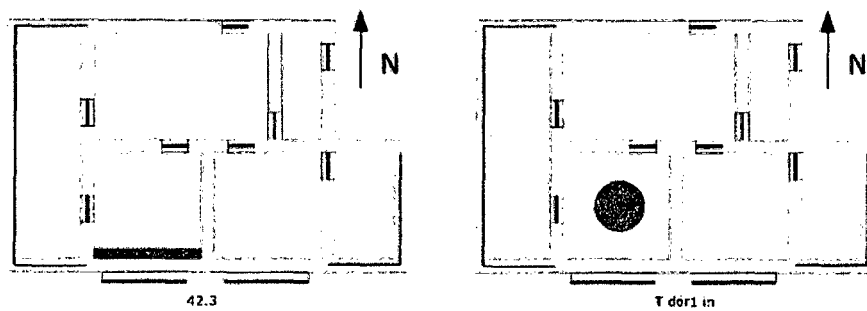


Figura 35 vistas de planta de la vivienda señalando las zonas y áreas de medición en el dormitorio 1 (iii).

Para la temperatura 42.3, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 41, 31, 28, 40, 29, 25, 22, 15, 42, 34, 19, 4, 1 y 44. Ver Figura 36.

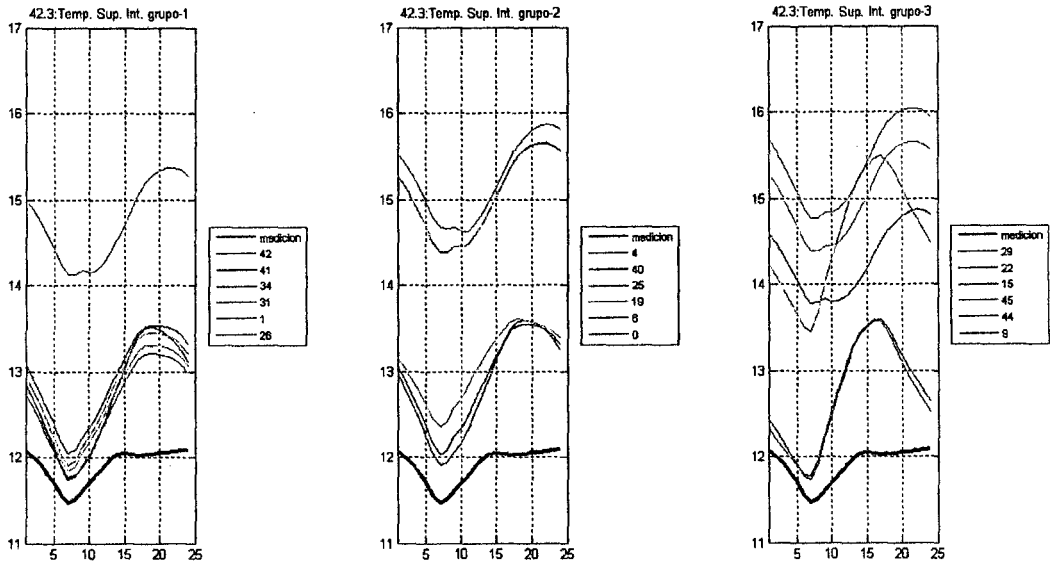


Figura 36 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficial interior 42.3 del dormitorio 1. Para la temperatura TDOR1, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 41, 40, 42, 34, 31, 28, 15, 44, 25, 9, 4 y 0. Ver Figura 37.

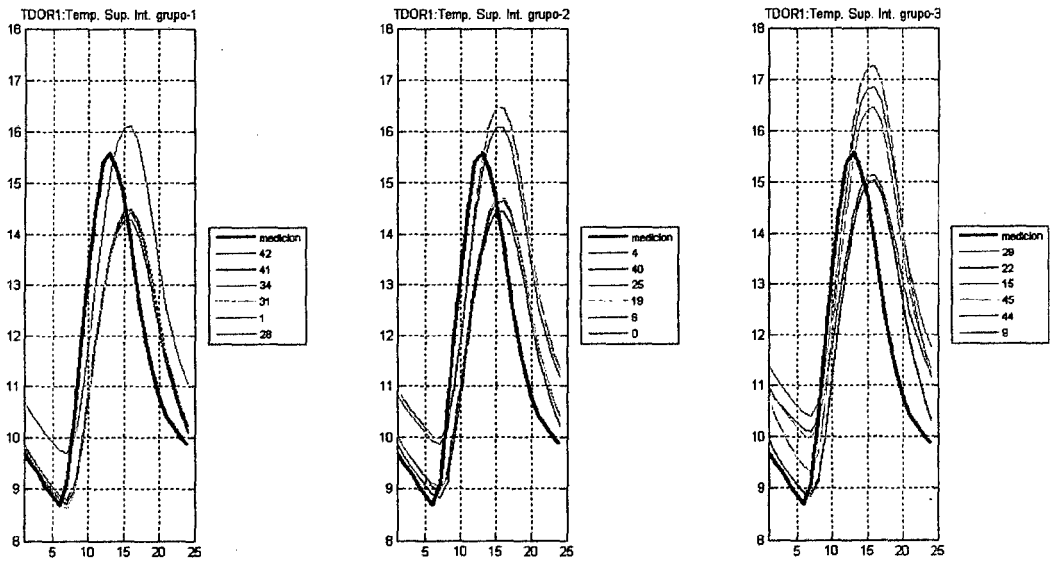


Figura 37 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie interior tdor1 del dormitorio 1.

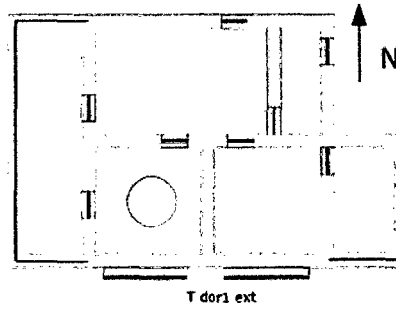


Figura 38 vistas de planta de la vivienda señalando las zonas y áreas de medición en el dormitorio 1 (iv).

Para la temperatura TDOR1 exterior, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 40, 42, 31, 28, 41, 34, 29 y 15. Ver Figura 39.

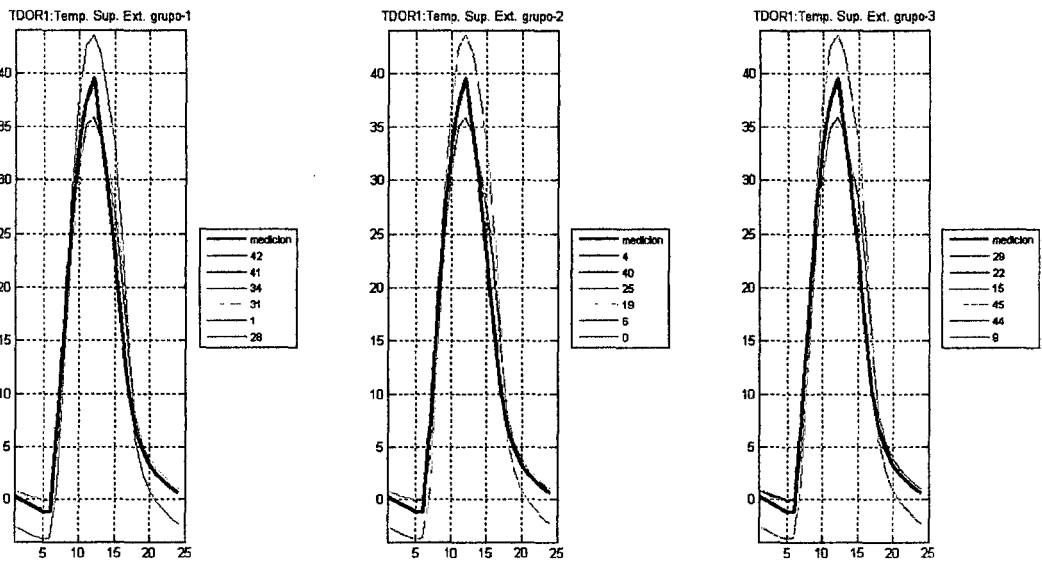


Figura 39 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie exterior tdor1 del dormitorio 1.

5.7 Selección de Modelos

Los modelos mejor ajustados a los diversos componentes monitoreados en las viviendas son 31, 34, 41 y 42. En la TABLA 23, se aprecia el detalle de los parámetros de los modelos. Cabe señalar que los demás parámetros fijos señalados en el punto 4.3.4, también son utilizados en el modelo, en el anexo IDF se detalla el contenido del archivo fuente del modelo 41. En la TABLA 23 se resalta de amarillo los parámetros que variaron con respecto al modelo base.

Tabla 23 principales parámetros de los modelos de simulación seleccionados.

Variable / Modelo-Caso	0	31	34	41	42
Predecesor	0	0	0	0	0
Espesor Adobe	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Conductividad Térmica Adobe	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
Densidad Adobe	1595	1595	1595	1595	1595
Capacidad Calorífica Adobe	866	866	866	866	866
Rugosidad Adobe	MR ²⁷	MR	MR	MR	MR
Absortancia Solar Adobe	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Absortancia Térmica Adobe	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7
Absortancia Visible Adobe	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Orientación	0	0	0	15	0
Mezcla de Aire entre Habitaciones (m ³ /s)	0.016	0.2066	0.2066	0.2066	0.2066
Mezcla de Aire con Invernadero Oeste (m ³ /s)	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207
Mezcla de Aire con Invernadero Este (m ³ /s)	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207
Mezcla de Aire con Trombes (m ³ /s)	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
Infiltración de Aire Exterior (m ³ /s)	0.016	0.032	0.032	0.032	0.032
Infiltración Inv de Aire Exterior (m ³ /s)	0	0.016	0.016	0.016	0.016
Infiltración Trombes (m ³ /s)	0	0	0	0	0
Algoritmo Convección Interna	TARP	Simple	Simple	Simple	Simple
Algoritmo Convección Externa	DOE-2	SC ²⁸	SC	SC	SC
Algoritmo Balance de Calor Aire	CTF ²⁹	CTF	CTF	CTF	CTF
Algoritmo Balance de Calor	TOBD ³⁰	TOBD	TOBD	TOBD	TOBD
Tras. Solar. Plástico	0.85	0.85	0.75	0.85	0.75
Tras. Visible Plástico	0.901	0.901	0.8	0.901	0.8
Tras. Solar. Vidrio	0.85	0.85	0.85	0.85	0.75
Tras. Visible. Vidrio	0.901	0.901	0.901	0.901	0.8
Temp. Suelo Superficie Ext	7.23	7.23	7.23	7.23	7.23
Temp. Suelo Shallow	8.23	8.23	8.23	8.23	8.23

²⁷ MediumRough

²⁸ Simple Combined

²⁹ Conduction Transfer Function

³⁰ ThirdOrder Backward Difference

5.8 Características Térmicas de Envolverte y Vidriado

A continuación factores de transferencia de calor de componentes del envolvente de modelo 42, calculados por el simulador. Ver TABLA 24.

Tabla 24 factor de transferencia de calor de componentes del envolvente, modelo 42.

Envolverte	U-Factor [W/m ² K]
Armazón Madera Invernaderos	5.92
Muro Adobe	2.025
Piso Aislado	2.621
Piso Invernadero	2.025
Piso sin aislar	10.6
Techo Aislado	0.888

A continuación las características térmicas de las ventanas y cubiertas no opacas. Ver TABLA 25.

Tabla 25 características térmicas de fenestración, modelo 42.

Fenestración	U-Factor [W/m ² K]	SHGC	Visible Transmitancia
Ventanas	5.914	0.799	0.8
Cubierta de Invernadero	5.974	0.799	0.8

5.9 Comparación Cuantitativa del Confort Térmico

Con respecto al alcance de las metas con respecto al confort térmico la Figura 40 muestra la comparación entre los datos medidos típicos y del módulo en estudio, así como los casos simulados.

En la Figura 40 se observa que las mediciones y simulaciones están por debajo de la temperatura de confort promedio calculada, 16°C , las mayores diferencia se encuentran a las 6h aproximadamente y las menores entre las 12 y 15 horas. En los dormitorios típicos de la localidad la diferencia oscila entre 7 y 11.1°C , mientras que en el módulo de estudio la diferencia oscila entre 1.4 y 5.8°C . En el espacio cocina, los valores típicos de la comunidad tiene una diferencia entre 2.5 y 10.6°C , en el módulo nuevo la Sala-Comedor-Cocina del módulo difiere con la temperatura de confort entre 1.7 y 7.7°C . En los modelos simulados se logra alcanzar la temperatura de confort entre las 12 y 17 horas del día solo en el dormitorio

2.

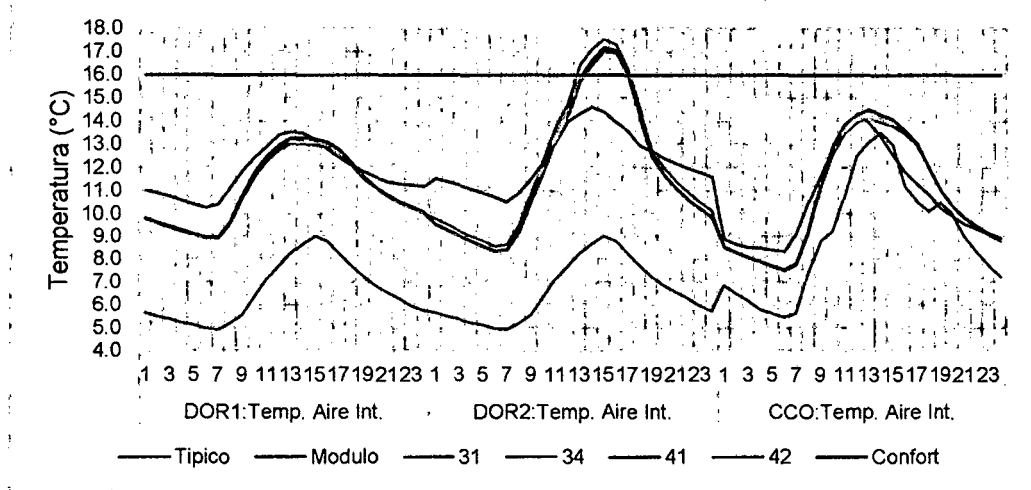


Figura 40 comparación de las condiciones térmicas típicas y del módulo nuevo medido, así como las temperaturas simuladas con las condiciones de confort en 2 dormitorios y la sala-comedor-cocina.

Otra comparación importante es la mejora térmica del módulo con respecto a las condiciones típicas, donde la temperatura de los dormitorios en el módulo se eleva entre 4 y 6.3°C con respecto a las típicas. En la cocina supera en 3.5°C el mayor aporte.

En Figura 40, se aprecia que el ajuste de las curvas en los dormitorios tienen unas diferencias entre 0.1 y 1.7°C con respecto a los modelos simulados en promedio, en la cocina esta diferencia oscila entre 0.2 y 3.1°C.

6 CONCLUSIONES

En el diagnóstico térmico inicial sobre las condiciones térmicas en el interior de una vivienda típica monitoreada, durante los meses de junio a noviembre del año 2008 y 2009, el poblador se encuentra a temperaturas inferiores a la del confort. En promedio, en un dormitorio típico se encuentra 8°C por debajo de la temperatura de confort y en la cocina 6°C esta diferencia se debe principalmente al funcionamiento del fogón, como fuente de calor, debido que las edificaciones no tienen diferencias arquitectónicas sustanciales.

Se concluye que para estimar, y luego evaluar, el confort térmico en esta casa alto andina pasiva o de libre funcionamiento, al no existir un modelo de confort específico para esta zona, lo más indicado es utilizar un modelo de confort térmico adaptativo específicamente el indicador de Humphreys y Nicol explicado en el punto 3.2.2.3 y calculado en la TABLA 17 para la zona de estudio, siendo 16°C la temperatura confortable promedio anual, utilizada para el diseño. Siendo máxima el mes de noviembre con 17.2°C y mínima entre los meses de junio y julio con 15.5°C.

La instalación de los sensores en aire y muros tuvieron deficiencias por lo que fueron expuestas a perturbaciones. Para el caso de los sensores de temperatura colocados en el aire, especialmente los instalados en invernaderos, la exposición a la radiación solar directa elevó la temperatura haciendo imposible comparar la simulación durante las horas de exposición solar directa, es decir entre las 6h y 18h aproximadamente. Los sensores de temperatura colocados en los muros, no fueron instalados sobre la superficie sino a cierta profundidad, aproximadamente 5 cm, debido a limitaciones técnicas para fijar los sensores en las paredes de adobe, dejando de ser una medición superficial.

Para el diseño soportado por simulación se comenzó por modelar y variar configuraciones en el envolvente, incluyendo las ventanas, orientación y distribución de espacios. En segundo

lugar se contempló los sistemas pasivos de energía solar concluyendo que es el mejor orden para un diseño sistemático. El detalle se explica en el punto 4.3.4. Se concluye también que los muros trombes no tienen efecto térmico significativo para mejorar las condiciones de estas viviendas, como se muestran los resultados en la TABLA 21, siendo inadecuada la implementación de estos.

Para el ajuste entre mediciones y datos simulados fue necesario comparar los datos promedios de las 24h del día y no solo el indicador de diseño, pues nos permite tener más información del comportamiento térmico de cada componente, diferenciando los efectos de la radiación solar sobre superficies o sensores dependiendo de la hora del día. El ajuste de curvas presenta una diferencia en promedio de 0.75°C en dormitorios y 1.6°C en la cocina sala.

El análisis de sensibilidad de los parámetros del simulador con el indicador de diseño, resultados mostrados en el anexo, soporta la estrategia de ajuste de los modelos pues nos orienta de forma cuantitativa sobre dependencia con cada parámetro. Sin embargo, cabe señalar que las variaciones cuantitativas de los mínimos de temperatura de varios parámetros no son iguales a la suma del conjunto de variaciones.

En la selección de modelos ajustados se concluye que los parámetros que mejor ajustaron los datos medidos con los simulados son:

- Mezcla de Aire entre Habitaciones de 0.2066 m³/s.
- Infiltración de Aire Exterior es 0.032 m³/s.
- Infiltración Invernaderos de Aire Exterior es 0.016 m³/s
- Algoritmo Convección Interna es Simple
- Algoritmo Convección Externa es Simple Combined

Los parámetros iniciales adicionales que forman parte de la configuración del modelo, se muestran en el anexo del archivo fuente IDF, donde se encuentran la totalidad de los parámetros, mencionados en el punto 4.3.4.

Las herramientas de simulación térmica de edificaciones, para nuestro caso particular Energyplus©, son necesarias para evaluar proyectos de edificación en zonas rurales altoandinas. Esta herramienta predice el comportamiento térmico de la edificación con buena aproximación, considerando los parámetros de ajuste definidos en este estudio.

El uso de técnicas de diseño bioclimático y evaluación energética en la implementación de viviendas en programas gubernamentales de mejoramiento habitacional o iniciativas privadas en zonas alto andinas sobre los 4000 m.s.n.m. permitió obtener ambientes interiores con temperaturas entre 10.2 y 14.6°C, sensiblemente agradables pero con temperaturas inferiores a la de confort, sin embargo comparando con las condiciones típicas, caso de los dormitorios, entre 4.9 y 9°C, se calcula que se alcanzó entre un 48%, durante la hora 6, y 80%, durante la hora 14, con respecto al objetivo de alcanzar el confort térmico.

7 RECOMENDACIONES

Se recomienda desarrollar una metodología aplicada a determinar las condiciones de confort térmico alto andino, siendo estas condiciones climáticas características por las bajas temperaturas y la abundante energía solar.

Con respecto a la instalación de instrumentación con fines de monitoreo térmico en viviendas alto andinas, se recomienda:

- Proteger los sensores de incidencia directa de radiación solar, aun resguardarlos de la radiación reflejada en superficies de la edificación o el suelo del terreno.
- La frecuencia de medición y registro no debe ser menor a un registro por hora, sin embargo se recomienda frecuencias mayores de 4, esto proporcionará información de posibles perturbaciones no esperadas en el uso de las viviendas o en los sensores.
- Sobre la distribución de sensores en los ambientes, en este estudio se colocó un sensor en el centro de cada superficie de envolvente monitoreada, sin embargo se recomienda medir más puntos de la superficie, aprovechando ejes de simetría para una distribución homogénea, y luego calcular una temperatura promedio para comparar con los datos de temperatura simulados.

Para el diseño de edificaciones alto andinas se recomienda seguir los criterios de las etapas de diseño A hasta las C, descritas en el punto 4.3.6 de la metodología, se descarta la etapa D debido a que el muro trombe no tiene un efecto de calefacción significativo. En el marco del diseño en los modelos en comparación se recomienda utilizar flujos de intercambios de aire fijos tanto con el exterior como entre ambientes interiores debido que la carga térmica de este efecto estará presente en todos los modelos pudiendo comparar los demás efectos.

Para utilizar el programa computacional de simulación energética de edificaciones, EnergyPlus ©, como herramienta de simulación y predicción del comportamiento térmico de viviendas rurales altoandinas se recomienda usar los parámetros por defecto del simulador con las siguientes variaciones:

- Mezcla de Aire entre Habitaciones de 0.2066 m³/s.
- Infiltración de Aire Exterior es 0.032 m³/s.
- Infiltración Inv de Aire Exterior es 0.016 m³/s
- Algoritmo Convección Interna es Simple
- Algoritmo Convección Externa es Simple Combined

Para futuros estudios es recomendado incluir prototipos de soluciones de calefacción activa, como cocinas mejoradas adaptadas para calefacción, así como circulación forzada de fluidos en pisos y/o muros calentados por energía solar, leña y/o otros.

Se recomienda utilizar la simulación térmica de edificaciones en proyectos relacionados al mejoramiento o edificación de viviendas rurales en zonas altoandinas en el marco de programas de desarrollo, impulsados por el gobierno, ONG's u otros.

8 BIBLIOGRAFÍA

ASHRAE , 2009. *ASHRAE Handbook Fundamentals*. s.l.:s.n.

Bernardo, D., Filippín, C. & Pipa, D., 2011. Desempeño térmico-energético de un prototipo demostrativo de vivienda de interés social en Córdoba, Argentina.. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 8.5.

Blasco Lucas, I., 2011. Evaluación del comportamiento térmico-energético de alternativas bioclimáticas de mejoras en tipologías FONAVI. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 5.2.

Boutet, M., Hernández, A. & Jacobo, G., 2012. Validación de simulaciones interactivas con Simedif y Ecotect, a partir de auditorías energéticas de un edificio escolar de la ciudad de resistencia. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 5.15.

Boutet, M. y otros, 2011. Auditorías higrotérmicas y lumínicas de dos edificios escolares de nivel inicial de la ciudad de resistencia, en condiciones reales de ocupación. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 5.4.

Bracco, M. y otros, 2010. Verificación de pautas de diseño sustentable en una vivienda serrana en córdoba. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 5.5.

Compagnoni, A. M., Evans, J. M., Zanone, J. C. & Augspach, R. P., 2010. Eficiencia energética en vivienda: aplicación de norma IRAM 11900 y uso del evaluador energético en prototipos aislados para Buenos Aires.. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 8.16.

Cortegoso, J. L. & Mitchell, J. A., 2010. Monitoreo de viviendas sociales del valle de Uco, provincia de Mendoza. Caso base de viviendas sociales bioclimáticas obreros rurales iii. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 5.21.

Czajkowski, J. D., 2010. Verificación del etiquetado energético de edificios a partir de mediciones en edificios construidos.. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 8.26.

Delbene, C. & Evans, J., 2010. Metodología de análisis para evaluar mejoras en el confort interior modificando la envolvente en un edificio de perímetro libre.. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 5.22.

Department of Energy, 2011. *EnergyPlus Documentation*, s.l.: s.n.

Discoli, C., Viegas, G. & San Juan, G., 2011. Viviendas bioclimáticas en Tapalque. Sistema de climatización por muros acumuladores de calor (mac): resultados preliminares. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 5.9.

Esteves, A., Mercado, M. & Ortiz Baeza, J., 2012. Arquitectura sustentable. Viviendas de montaña para el centro-oeste de argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 5.24.

Flores Larsen, S., 2011. Modelización de la transferencia de calor al suelo en los programas de simulación termica de edificios EnergyPlus y SIMEDIF. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 8.4.

Gallipoliti, V., Sogari, N., Gea, M. & Busso, A., 2012. Evaluación del desempeño higrotérmico – energético de una vivienda social en la ciudad de corrientes. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 5.4.

Garganta, M. L. & San Juan, G., 2012. Análisis del comportamiento energético y ambiental de la producción de viviendas sociales en la provincia de buenos aires (2003-2011). *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 5.21.

Garzón, B. & Mendonca, C., 2012. Monitoreo y simulación térmica de dos viviendas sociales unifamiliares bajo condiciones reales de uso en la localidad de Colalao del Valle, Tucumán. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 5.17.

Gelardi, D., Esteves, A. & Barea, G., 2012. Ampliación bioclimática de vivienda urbana con tecnología no tradicional. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 5.21.

Gonçalves, H. & Mariz Graça, J., 2004. *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*, Lisboa: AMADORA.

Hernández, A., Güizzo, M., Carracedo, J. & Lisi, E., 2010. Samíri: vivienda bioclimática en salta con techo-colector calentador de aire para su calefacción invernal. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 5.2.

Hernández, A., Iriarte, A. & Lesino, G., 2011. Diseño y evaluación termoenergetica computacional de colectores solares calentadores de aire activos para la calefacción del centro de propagación agamica del Inta Catamarca. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 8.6.

Herrera, M., Gómez Piovano, J. & Mesa, A., 2012. Evaluación térmica y económica comparativa de tecnologías constructivas alternativas para ser aplicadas en los planes de préstamos de vivienda propia. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 5.5.

Incropera, F. P., 1999. *Fundamentos de transferencia de calor*. México: PRENTICE HALL.

Instituto Nacional de Defensa Civil, 2012. *COMPENDIO ESTADISTICO DE INDECI. En la atencion de emergencias y desastres 2011..* Lima(Lima): Q&P Impresores S.R.Ltda..

Kurbán, A., Papparelli, A. & Cúnsul, M., 2012. Arquitectura bioclimática en zonas áridas del corredor bioceánico central - dpto. Iglesia, san juan. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 5.7.

Lefebvre, G., 1994. *Transferencia Energética en Edificios*. s.l.:s.n.

McQuiston, F. C., Parker, J. D. & Spittler, J. D., 2003. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado*. México: LIMUSA.

Mercado, M. V., Flores Larsen, S., Esteves, A. & Filippín, C., 2011. Utilización del programa EnergyPlus para el análisis del comportamiento térmico del sistema de calefacción solar pasivo en una vivienda social del plan FONAVI. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 8.7.

Mercado, M. V., Larsen, S. F., Esteves, A. & Filippín, C., 2010. Dimensionamiento del panel radiante del sistema de calefacción radiante solar pasivo.. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 3.5.

Ministerio de Urbanismo y Vivienda de Chile, 2006. *Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica*. Santiago: s.n.

Mitchell, J., Correa, E., Martínez, C. F. & Enet, M., 2010. Diseño participativo de viviendas sociales bioclimáticas. Barrio vista flores, Mendoza, argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 5.19.

Morillón, D., 2004. *Atlas de bioclima de México*. México, DF.: s.n.

Nicol, J. F. & Humphreys, M. A., 2002. *Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings*. Oxford: s.n.

Quiñonez, J., Hernández, A. & Flores Larsen, S., 2012. Evaluación termoenergetica de un colector solar calentador de aire de doble paso en contracorriente diseñado para la calefacción de edificios. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 3.18.

Rozis, J.-F., Guinebault, A. & ITDG, 1997. *Calefacción Solar para Regiones Frias*. Lima: s.n.

Saavedra, G., 2013. *Elaboración Propia*. s.l.:s.n.

Salvo, N., Molina Castillo, V. S. & González, C., 2010. Simulación estacionaria de las variaciones de temperatura por circulación de aire dentro de una vivienda. Análisis tridimensional.. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 8.17.

San Juan, G. y otros, 2010. Proyecto de viviendas bioclimáticas de interés social. Tapalque, provincia de buenos aires.. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 5.11.

Sulaiman, H., Olsina, F., Blasco, I. & Filippín, C., 2012. Optimización económica bivariada del diseño higrotérmico de edificios con restricciones de confiabilidad. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 5.2.

Sulaiman, H., Olsina, F., Filippín, C. & Blasco, I., 2012. Evaluación probabilística del riesgo de discomfort en edificios. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 5.22.

Szokolay, S. V., 2008. *Introduction to ARCHITECTURAL SCIENCE. The Basis of Sustainable Design*. s.l.:Elsevier.

US Department of Energy, 2013. *EnergyPlus Documentation*. s.l.:s.n.

Volantino, V. L., Bernacchia, J. & Lucas Gonzalez, G., 2012. Caracterización y comportamiento térmico de perfiles de carpinterías en distintas zonas bioclimáticas de la republica argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 8.9.

Volantino, V. L., Cornejo, J., Pizzorno, D. H. & Bernacchia, J., 2012. La ganancia solar y las infiltraciones de aire indeseadas en el comportamiento energético de viviendas de interés social. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, p. 8.18.

9 APENDICES

9.1 Informe técnico de la vivienda experimental construida

9.1 Informe técnico de la vivienda experimental construida

En el marco del contrato N° 002-FINCyT-PIBAP-2008- Informe Técnico N° 5

VIVIENDA RURAL BIOCLIMÁTICA DE VILCALLAMAS ARRIBA, PUNO

GENERALIDADES

La vivienda rural bioclimática diseñada, con carácter de modelo experimental, está ubicada en la comunidad de Vilcallamas Arriba, en la provincia de Chucuito, en la región de Puno, a 4 500 msnm. La vivienda se encuentra sobre un lote en el centro de la comunidad.

Los estudios previos realizados en el proyecto han permitido establecer las características climatológicas del lugar. Con esta información ha sido posible definir la ubicación de un invernadero y de muros Trombé para aumentar la capacidad de absorción térmica de las paredes, asegurando así el mejor confort en el interior de la vivienda.

Los muros Trombé se han colocado en la cara exterior de las paredes que dan al norte, las que se pintaron previamente de negro; luego se adosaron a éstas un recubrimiento de plástico de polietileno (de invernadero) fijado a un marco de madera con una separación aproximada de 10 cm.

Se hizo también un registro y análisis de otros factores que tenían fuerte incidencia negativa en la confortabilidad de la vivienda, como el ingreso de humedad y aire frío, concluyéndose que era necesario diseñar y construir un piso interior aislante térmico en los dormitorios, vanos que no tuvieran filtraciones de aire para así obtener las mejores condiciones de habitabilidad.

Se construyó un techo típico de la zona al presentar buenas condiciones térmicas como aislante.

Además se ha incluido una cocina mejorada, que resuelve los problemas ocasionados por las que actualmente se usan en la comunidad, y porque es una buena fuente de calefacción.

El programa arquitectónico que se ha definido, según las costumbres del lugar, comprende los siguientes ambientes: sala-comedor-cocina, dos dormitorios y un baño.

En vista que Vilcallamas Arriba es una comunidad eminentemente adobera y al ser uno de los materiales con mejor comportamiento térmico, la tecnología que se utilizó es la del adobe mejorado, con característica sismo resistente. Su diseño tuvo en cuenta que no es una zona sísmica y se ciñó a las exigencias normativas vigentes.

La instalación sanitaria de agua de consumo humano consideró la conexión a la red pública existente. Interiormente se cuenta con un baño con lavatorio, taza y ducha.

Complementariamente se ha aprovechado la alta radiación solar que presenta el lugar, instalándose una terma solar para cubrir las necesidades de agua caliente y un sistema fotovoltaico para dotar de iluminación interior a la vivienda (luz artificial).

Siendo muy importante que la construcción de la vivienda experimental bioclimática sea de carácter didáctico - demostrativo, se tuvo especial interés y cuidado de promover la participación de la comunidad organizada durante toda la ejecución de la obra.

El presente informe técnico se complementa con los planos de replanteo de la obra, tanto arquitectónicos como de ingeniería.

FABRICACION DE ADOBES

- **Unidad adobe**

La unidad de adobe se fabricó con barro sin cocer. Para la construcción de la vivienda se fabricaron 2.200 adobes de 0,38 m x 0,38 m y 0,12 m. de espesor. Para la cocina mejorada se utilizaron los mismos adobes de la edificación.

- **Preparación del barro**



Figura 1 adobes para viviendas

Inicialmente se ubicó una buena cantera cercana y suficiente para la cantidad de unidades que se necesitaba, libre de piedras mayores de 5 mm y elementos extraños. Con ese fin se eliminó una capa superficial orgánica (tierra negra) de 0,20 m de espesor, no recomendable para hacer adobes. Para verificar si la tierra de la cantera era buena se tomó una porción de barro y se dejó una huella (palma de la mano o huella del pie), observándose que por estar bien definida tenía buenas condiciones para fabricar adobe. Se humedeció totalmente la tierra arcillosa, revolviendo y deshaciendo las masas compactas existentes.

Luego se dejó en reposo durante 24 horas antes de proceder al moldeado. Las unidades para la cocina mejorada fueron similares al de los adobes.

- **Tendales**

Para el secado del adobe se buscó un área o tendal limpio, nivelado y suficientemente extenso para albergar la producción suficiente, libre de todo tránsito especialmente de animales y niños. Por motivo de las condiciones climáticas de la zona principalmente la helada, granizada y lluvia, se procedió a cubrir los adobes con plástico.

Para evitar la adherencia entre el adobe y el tendal, a fin de que no se produzcan grietas y rajaduras, se colocó una capa de arena fina.

- **Moldeo**

Para el moldeo de los adobes se usaron moldes o gaberías sin fondo. El barro se distribuyó en todo su volumen. Se usó una reglilla para retirar los excesos de barro. Después de cada uso, el molde se limpió y mojó, para evitar que el barro se adhiriera al molde.



Figura 2 adobes moldeados en el tendal para su secado

Cuando la consistencia de los adobes lo permitió (3 a 5 días) y se pudo manipularlos sin dañarlos, se les colocó de canto para asegurar un secado más rápido, completo y uniforme.

Después se apilaron para que circule el aire entre los adobes, hasta que complete su secado. El tiempo del secado de los adobes, por las condiciones climatológicas del lugar, fue de dos semanas.

CIMENTACIÓN

Las zanjas para el cimiento fueron de 0,80 m x 0,80 m. para la vivienda nueva y de 0,40 m x 0,40 m para el invernadero. Las excavaciones se hicieron cuidando que las paredes y el fondo de las zanjas estén limpios y nivelados.

El cimiento se hizo con piedras grandes asentadas con barro, cuidando que queden totalmente embebidas en el barro, sin chocar unas con otras.

El sobre cimiento para la vivienda y los invernaderos fue de 0,40 m de ancho y de 0,30 m de altura SNPT.



Figura 3 cimentación en Vilcallamas arriba

ALBAÑILERIA

- **Colocación Viga collar o solera.**

Esta viga se colocó sobre todos los muros que se alzaron hasta una altura de 2.15m, el cual a la vez hace como dinteles de puertas y ventanas. Dicha viga se construyó con madera aserrada seca abano de 4"x2.5"x10', que en total se usaron 36 palos con estas dimensiones entrecruzados tipo escalera con listones de 2"x2"x1.16' cada 0.8m, tal como se muestra en la Figura 4. En todos los encuentros esta viga collar estará entrelazada firmemente para evitar que se abran, incluso para asegurar el agarre con los muros se asegura con alambre N°8 a 0.4m por debajo de la viga collar y en forma de cruz. (Ver Figura 4).



Figura 4 armado de la viga collar o solera, colocación viga collar y viga collar

Esta viga constituye una parte fundamental e indispensable de la estructura. No solo cumple la función de amarrar todos los muros, si no también distribuye uniformemente la carga sobre estos.

Ya colocado la viga collar, se procede a levantar el muro central o muro cumbrera por encima de esta con 8 hiladas de adobe que hacen una altura de 1.2m, así como también los muros de los aleros del techo ambos por encima de la viga collar, relleno con barro. Tanto los embarres entre las juntas así como el asentado de adobes, no debe pasar los 2cm entre adobe y adobe. Se colocó también una viga collar en la cumbrera para la fijación de las viguetas de soporte del techo sobre esta.



Figura 5 adobes para atzado muro cumbrera y etapa levantamiento muro cumbrera

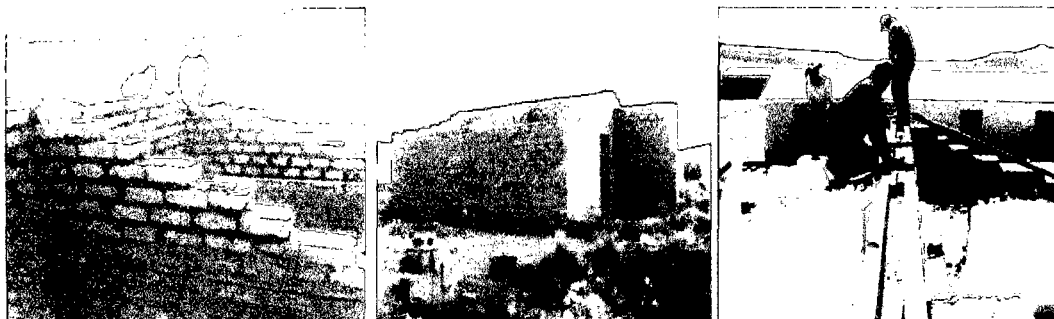


Figura 6 muro cumbre, final de levantamiento muros y viga collar en la cumbre

- **Techado.**

Para el techo se usaron 24 rollizos de eucalipto de 4" de diámetro y 6m de largo como viguetas, 12 por cada ala de la casa separados 0.50m aproximadamente y apoyadas sobre la viga collar, dejando un alero de 35cm en todos los muros y una pendiente de caída del techo de 20°. En la unión de los rollizos en la cumbre se hacían tajos adecuados en ambos lados para que se puedan encajar y a la vez asegurar dichas uniones con clavos de 5 y 6", tanto entre rollizos, así como también entre rollizos y la viga collar colocada en la cumbre. A la vez, en la parte baja donde el rollizo asentaba sobre la viga collar, también se aseguraba con clavos de 4 y 5". Ver Figura 7.

Terminado de colocar los rollizos en el techo, se procedió a preparar la arcilla para elaborar lo que vendría hacer el "tumbao".

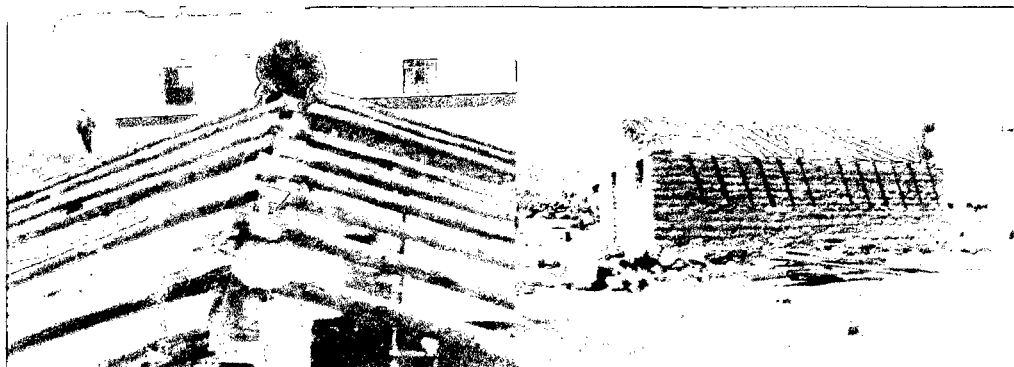


Figura 7 colocación viguetas techo y armado final estructura del techo.

- **Elaboración "tumbao"**

Se requiere 5 carretillas de arcilla, en este caso se contaba con arcilla negra. Se deja secar por una semana aproximadamente, hecho esto, se desmorona los terrones formados al secar para luego cernirlos en gránulos pequeños y finos para posteriormente mezclarlo con agua.

Para la preparación de la mezcla, arcilla más agua, colocar sobre el suelo plástico y luego colocar la arcilla sobre esta, ir agregando agua a la vez que se va pisoteando la mezcla (Ver

Figura 8). Luego de tener una mezcla bien pisoteada, se deja dormir por una noche tapándolo con plástico.



Figura 8 preparación mezcla arcilla-agua y pisoneado de la mezcla

Al día siguiente se remueve la mezcla con un pisoteado firme y continuo hasta obtener una mezcla mantequillosa. Por otro lado, se busca un suelo limpio de piedras ni restos que puedan adherirse a la mezcla preparada. Ubicado el suelo, se hace una cama de ichu que para este caso fue de 8mx4.70m (según las dimensiones del techo de la casa, que para nuestro caso era de 7.60mx4.50m). La cama de ichu se hace espolvoreando dicho vegetal tal que entre ellos se crucen y amarren firmemente. Luego, con algún objeto en forma de cilindro, en este caso un pequeño rollizo de eucalipto, lo usamos para aplanar la cama de ichu. Después se va colocando la mezcla de arcilla sobre la cama de ichu y se apisona firmemente de un lado hacia el otro como quien se resbala y va votando el barro sobrante hacia un lado. Ver Figura 9.



Figura 9 espolvoreado ichu para cama del tumbao y preparando dos camas



Figura 10 preparación cama de ichu para el tumbao y aplanado de las camas de ichu.

El apisonado se va haciendo rociando agua para que la mezcla no se seque.

Obtenido el "tumbao" que fue de 1.5cm de espesor, cortamos la cama en pedazos según las dimensiones del techo para poder trasladarlo y montarlo sobre el techo (Se corta según la gente disponible para el traslado de la cama de tumbao debido a que esto es muy pesante). Para este caso se cortó en 3 pedazos rectangulares de 2.5m de ancho por 5m de largo, se enrolló sobre un listón de madera para su traslado y se colocó sobre el techo. Una vez sobre el techo se desenrolla y tiende firmemente. Ver Figura 12.



Figura 11 elaboración tumbao, pisoneado continuo y corte del tumbao



Figura 12 enrollamiento tumbao para colocación techo, colocación en el techo y desenrollando tumbao en el techo

Colocado el tumbao en todo el techo, se pasa a colocar los listones de 2"x2"x10pies clavados sobre los rollizos cada 0.80m. En el espacio vacío entre cada listón se rellena con ichu para posteriormente colocar y clavar la calamina metálica haciendo una especie de sándwich tumbao-calamina. Finalmente se coloca ichu sobre la calamina metálica. Para el techo se usaron 60 calaminas metálicas de 0.8m de ancho por 1.8m de largo y 7kg de clavos de calamina de 3".



Figura 13 colocación tumbao en el techo por partes, colocación ichu en el techo y colocación calamina



Figura 14 techado final con paja y techado total calamina

- **Tarrajeo paredes con yeso.**

Para el tarrajeo interior de todo el ambiente de la casa se usó 85 bolsas de yeso de 24kg. Antes de realizar este trabajo, se hace una limpieza de la zona a recubrir y se rosea agua para que la mezcla preparada con yeso se adhiera muy bien. Por cada bolsa de yeso se tarraja 2.5m² de superficie con un espesor de 1cm. Ver Figura 15.

Previo al tarrajeo se hicieron los canales para las conexiones eléctricas.



Figura 15 instalaciones eléctricas y tarrajeo interior

En la parte exterior se usaron 25 bolsas de yeso y 2 bolsas de cemento para el zócalo respectivo.

Para dar un mejor acabado al trabajo en los esquineros y marcos de las puertas y ventanas se usaron reglas de metal, teniendo el cuidado de estar bien niveladas y aplomadas.

PISOS

- **Entablado dormitorios.**

Una vez nivelado el piso de tierra, se hace una cama de piedras menudas de no más de 10 cm de diámetro, nivelado también. Sobre la cama se colocan listones de madera de 2"x2"x10pies, y sobre estos los tablonces de pino machimbrado de 20cm de ancho, 4m de largo y 2cm de espesor para aislar el piso de la humedad. La unión de los machimbrados se hicieron a presión usando cola de carpintero y clavándolas sobre los listones durmientes. La

distancia entre el machimbrado a la viga collar es de 2.15m, siendo cada dormitorio de 3.20mx3.20m.



Figura 16 nivelación suelos, colocación machimbrados y culminación de entablados

INVERNADEROS

- **Invernadero 1.**

Este invernadero esta adosado a la sala-dormitorio con dimensiones de 7.60m de largo por 2m de ancho.

Primeramente se hacen sobre el cimiento los agujeros donde entrarían 10 postes de madera de 4"x2"x8pies y distanciados 0.75m uno del otro. Para asegurar estos postes de los vientos, se construye un murete de adobe de 0.60m de altura aproximadamente. Se colocan listones de 2"x2"x10pies trasversales a dichos postes para que posteriormente se pueda asegurar el plástico de invernadero. Finalmente se techa con calamina transparente para lo cual se requiere 17 unidades de 1.8mx0.8m (con 10cm de cruce horizontalmente y 15cm de cruce vertical), además del plástico de invernadero de 10m de largo por 1.5m de ancho. Los parantes o soportes de las calaminas transparentes en el techo van anclados sobre la viga collar.



Figura 17 inicio construcción invernadero 1, armado estructura y colocación calaminas traslucidas



Figura 18 avance estructura y culminación invernadero 1

- **Invernadero2.**

Este invernadero es más pequeño de 4m de largo por 2m de ancho y esta adosado al otro dormitorio.

De la misma forma que el invernadero1 los postes de madera van anclados sobre un murete de adobe de 0.50m de altura. Se usaron para el techo 9 calaminas transparentes y 12m de largo por 1.5m de ancho de plástico de invernadero.

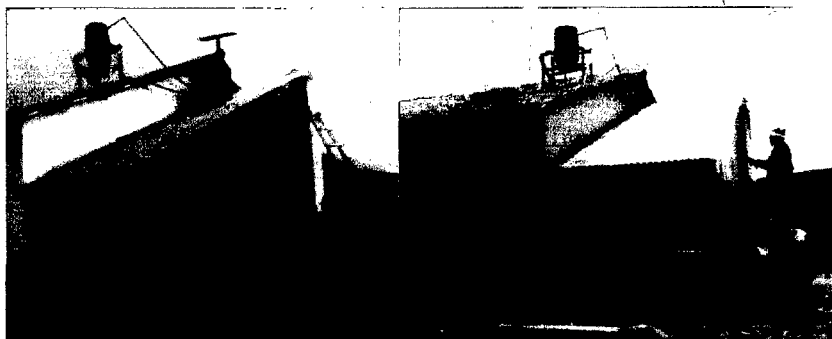


Figura 19 estructura y culminación invernadero 2

MUROS TROMBE

Dichos "muros" están constituidos de tablonces de madera acerrada de 15cm de ancho por 2.5m de largo y 2cm de espesor, y van sobre la pared de la casa como especie de marco, contiguos a los dormitorios mirando hacia el norte.

Su construcción es muy sencilla, es simplemente hacer un marco con las maderas indicadas y empotrarlas sobre la pared 5cm, posteriormente se coloca el plástico de invernadero sobre todo el contorno del marco tensándolo y asegurándolo con unas correas del mismo espesor del marco, haciendo una especie de sándwich y usando clavos de 1" (la distancia entre el plástico y la pared es de 10cm). Tener presente que la pared interior al marco tiene que ser pintado de negro para la absorción del calor. El funcionamiento de dicho sistema se da mediante un intercambio de aire entre el aire caliente atrapado en dicha caja con el ambiente de los dormitorios. Intercambio que se produce por 4 ductos hechos en la pared y, colocados a presión sobre este, tubos de PVC DE 4" Y 50 cm de largo, que en el ambiente de los dormitorios cuentan con unas tapas para controlar el intercambio de aire mencionado.

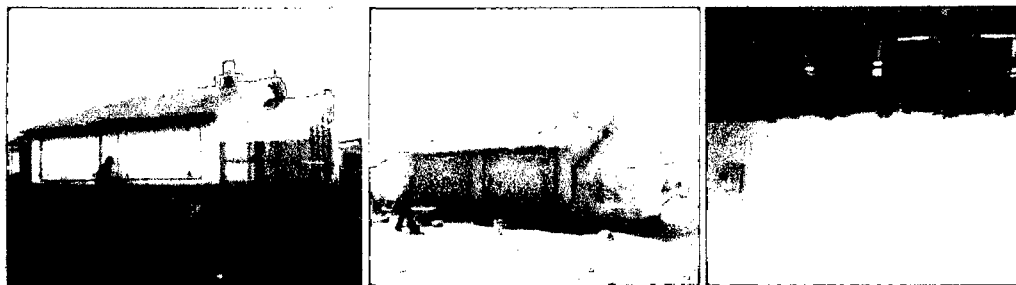


Figura 20 delineado construcción muros trombes, muros trombes terminados y compuertas de control muros trombe

FOGON MEJORADO

Vista la dificultad del tipo de fogón tradicional usado en la zona del proyecto, se plantea la construcción de una cocina mejorada con el propósito de concientizar a la gente del beneficio que trae consigo este tipo de fogones. Además, que dicho fogón cumplirá un doble propósito: el de cocinar y el de dar calefacción al ambiente donde será construido.

Un aditivo adicional a los muchos de modelos y diseños de fogones mejorados, es que, este cuenta con un horno metálico para la cocción de determinados platos culinarios que requieran el uso de un horno.

La principal ventaja de este fogón es que es auto constructivo como todas las construcciones realizadas en la casa y con materiales de la zona. Dicha construcción es enteramente hecha con adobes y barro. En el cual se requirió 120 adobes de 40cmx40cmx13cm, 2 varillas de fierro de ½" (que nos sirven como homillas y soportes para la construcción), un horno metálico rectangular de 40cmx35cmx30cm y una chimenea de plancha de calamina galvanizada de 3m de largo con 12cm de diámetro.

Este fogón cuenta con dos entradas de leña, una para el fogón en sí, donde normalmente se cocina, y la otra es para el horno. La ventaja del horno es que es precalentado por los humos provenientes del fogón que envuelven dicha caja metálica. Este diseño es de dos homillas o dos ollas para cocinar, siendo la más grande la olla principal. Una de las tantas ventajas de este modelo es que las ollas calzan sobre los agujeros practicados y así se evita accidentes por quemaduras. Este tipo de fogón tiene como ventaja principal el ahorro de leña así como también una mucha menor emisión de humo.

Las dimensiones de este fogón dependen del tipo de olla a usar, pero en principio para ollas comunes de uso cuyos diámetros sean 32 cm y 26 cm es de 1.5m de largo por 0.7m de ancho y con una altura de 1.2m.



Figura 21 fogón mejorado

CARPINTERIA.

- **puertas-ventanas**

Se colocaron 6 puertas de madera tornillo de 0.80mx2.10m con sus respectivos tragaluces de 0.70m de largo por 0.30m de ancho en la parte superior de la misma puerta, y 2 ventanas de madera con vidrio de 0.8mx0.8m para un dormitorio y otra corrediza para el baño de 0.8mx0.4m.



Figura 22 colocación marcos de las puertas de madera y colocación ventanas de madera

Para la protección de dichas puerta-ventanas se barnizaron con laca acrílica para protegerlo de la lluvia y tener un mayor tiempo de vida.

BAÑO

Por tratarse de una construcción a base de adobes y sabiendo las desventajas de dicho material con respecto al agua, además que el baño es el lugar donde el agua tiene que estar presente necesariamente ya sea en el lavadero, taza o ducha, se vio la necesidad de revestirlo con arena fina y cemento.

Para el revestido de las paredes se usó 1m³ de arena fina y 4 bolsas de cemento, dicho revestido fue pulido para una mayor protección de las paredes al agua. Previo al revestido se hizo un enmallado con alambres de fierro N°8 en las paredes para que la mezcla pegue firmemente. En la parte de la ducha el cual era de 0.70m de ancho por 2m de largo y 1.70m de altura, se colocó cerámica para el piso y mayólicas para las paredes.

En dicho ambiente también se colocó una taza y un lavadero, además de una ventana para dar ventilación e iluminación. Para las conexiones de agua de red se utilizaron tubos de PVC de ½", de 2" para los desfogues del lavadero y taza. Las salidas de desperdicios sanitarios estaban conectadas a un pozo séptico mediante tubos de PVC de 4" y a 15m de la casa, con su respectivo ángulo de caída desfogue de 5°.

Para terminar se hizo un falso piso pulido de hormigón con cemento.



Figura 23 enmallado paredes para el tarrajeo con concreto hormigón + cemento e instalación tuberías baño

VIDRIOS

Se usaron vidrios primarios simples, exentos de burbujas, manchas y otras imperfecciones. Se tuvo cuidado de mantener su integridad hasta la entrega final de la vivienda. Todos los vidrios primarios se colocaron de tal forma que su instalación, en lo posible, resulte perfectamente impermeable.

Una vez colocados los vidrios primarios se pintaron con una lechada de cal, para protegerlos de algún impacto. Se entregaron completamente limpios, libres de materias extrañas, masilla, mezcla, o pintura. Para su colocación se usaron junquillos y masilla, aplicándose en forma uniforme.

La masilla fue de tiza finamente pulverizada y aceite de linaza apropiada, formando una mezcla uniforme, elástica para que no se seque, cuartee, cambie de color o se rompa. Los vidrios fueron bien encamados y enmasillados en la parte posterior.

La masilla se colocó cuidadosa y nítidamente en líneas derechas, parejas con el borde interior, cuidando de rellenar las intersecciones de los elementos horizontales y verticales. Se retiró la masilla en exceso, cuando aún estaba fresca; asimismo, se limpiaron los vidrios y los marcos y demás trabajos terminados con anterioridad.

PINTURAS

- **Generalidades**

La elección de los colores se hizo con el beneficiario. En general se pintaron todos los muros y la carpintería.

- **Materiales**

Todos los materiales empleados estuvieron en sus envases originales intactos y sellados. La pintura no ostentaba asentamiento excesivo en su recipiente lleno y recientemente abierto y era fácilmente esparcida con una paleta hasta alcanzar un estado suave y homogéneo.

La pintura no mostró engrumecimiento de coloración, conglutinamiento ni separación del color y estaba exenta de terrones y natas. Antes de ser aplicada la pintura se batió en un recipiente para evitar asentamientos.

Al ser aplicada la pintura se extendió fácilmente con la brocha, con adecuadas cualidades de enrasamiento y sin mostrar tendencia al escurrimiento o a correrse al ser aplicada en las superficies verticales y lisas. La pintura secó dejando un acabado liso y uniforme, exento de asperezas, granos angulosos, partes disparejas y otras imperfecciones en su superficie.

- **Preparación de las superficies**

Todas las superficies fueron limpiadas y secadas antes de recibir el tratamiento previo al pintado y al ser pintadas. Todas las roturas y huecos en los empastados de yeso, revoques, y otros acabados fueron resanados con un mayor grado de enriquecimiento del mismo material y realizado cuidadosamente, lijándolo hasta conseguir una superficie uniforme y equivalente al original.

Antes de ser pintado cualquier ambiente, todo trabajo anterior fue concluido. Los nudos y contra hebras se recubrieron con una solución de una parte de goma laca diluida en dos partes de alcohol industrial. La carpintería de madera llevó previamente una base blanca selladora, antes de aplicar la pintura definitiva.

- **Labor en tarrajeo de muros**

El trabajo fue efectuado prolijamente, enseñando a la comunidad como hacerlo, no debiendo dar comienzo a él sin una inspección cuidadosa de todas las superficies por pintar, debiendo informar de cualquier imperfección la que deberá ser corregida antes de iniciarse el trabajo.

Se usaron rodillos o brochas, no se aplicó ninguna mano de pintura hasta que la capa anterior no esté suficientemente seca.

Las capas o manos de pintura se trabajaron uniformemente de manera que no presenten marcas de brochas o diferencias de color. Se dio las manos necesarias, según el espesor de la película de la pintura, para cubrir el color de las vestiduras.

Al concluirse toda la obra de pintura y acabado, se revisaron todos los daños y defectos (huellas de brocha, acumulaciones de pintura), y se retocaron, dejándose la totalidad del trabajo libre de defectos.

Se protegieron y tomaron las precauciones para evitar los perjuicios que puedan ocasionar la lluvia, polvo, salpicadura, etc. por lo menos durante las 48 horas después de aplicada la pintura.

- **Labor en carpintería de madera**

La superficie de madera fue primero lijada y pulida, libre de polvo, grasa, aceite o manchas de cualquier tipo. Las grietas se rellenaron con material adecuado para tal efecto, como una pasta de cola sintética y polvo de madera.

Lijando nuevamente los elementos resanados se aplicó la pintura de base blanca con brocha de un modo uniforme dejando secar de 24 a 48 horas.

Encima de la base blanca se aplicó 2 manos de la pintura definitiva como mínimo, dependiendo del espesor de la película.

INSTALACIONES

- **Instalaciones eléctricas.**

Este trabajo se hace previo al tarrajeo de las paredes por donde ira el cableado. Los cables de electricidad usados para este caso fueron N°16 color rojo y negro, las cuales estaban conectados con el interruptor y sócate respectivo. Además, los cables van internamente dentro de tubos de PVC blancos usados para estas labores y colocados solo en la parte de las paredes e incrustados sobre ellas. Esto para darle mayor estética y no estén sobresalidos en la superficie de las paredes.

Se instaló 5 focos de luz blanca de 12V DC de corriente alterna: dos en la sala y uno en cada dormitorio y baño. Todo alimentado por medio del panel fotovoltaico.

- **Terma solar.**

Se instaló una terma solar tipo bandeja como colector de 1m de largo por 0.5m de ancho con tanque de plástico de PVC de 50 litros de capacidad. Se hicieron las conexiones respectivas usando tubos de PVC de ½" para el agua fría, así como también tubos hydro de ½" de PVC para agua caliente, además de los accesorios respectivos para dicha instalación como son codos, uniones, T's, todos de ½", y para el sellado se usó pegamento tipo cemento.

Se colocó una ducha tras lo cual se controla el agua con dos llaves de paso, tanto para la salida de agua fría, como para la caliente, tal es así que el agua de consumo sale mezclada y regulada a un temperatura conveniente de uso para el usuario.

- **Sistema fotovoltaico.**

Se instaló un sistema fotovoltaico para uso exclusivo de iluminación del interior de la casa, el cual cuenta con 5 luminarias de luz blanca y, un tomacorriente de uso solo para cargas de 12V DC.

El sistema fotovoltaico lo conforman los siguientes elementos:

- 1 panel solar del tipo policristalino de 75 Wp y 12V DC.
- 1 controlador de carga de 10 A y 12V DC.
- 1 batería solar de 85 Ah.
- 5 lámparas fluorescentes compactas, de luz blanca, funcionamiento a 12V DC.

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO

Luego de la construcción de la casa se hizo el monitoreo térmico respectivo.

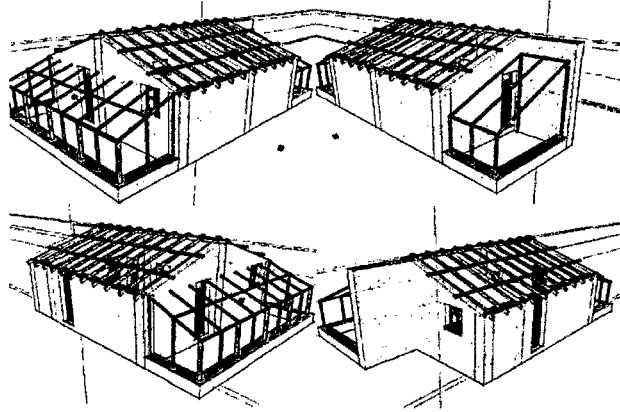


Figura 24 vista estructural de la casa térmica, sin techo ni suelo, Vilcallamas arriba, puno

Condiciones de las habitaciones Mejoradas:

Respecto a sus características constructivas y arquitectónicas el envolvente de las habitaciones están debidamente selladas para minimizar las infiltraciones y están bien aisladas (piso aislado con madera, aire y piedras, paredes de adobe macizo, techos de ichu y tumba, arcilla).

Respecto al uso de la casa hubo algunas deficiencias. En el caso de los invernaderos interconectados a las habitaciones no se cerraron a las 4 pm como se recomienda debido a la falta de atención del habitante. Los trombe permanecieron abiertos.

La vivienda presenta poco uso en esta época de enero, al no comenzar la temporada escolar.

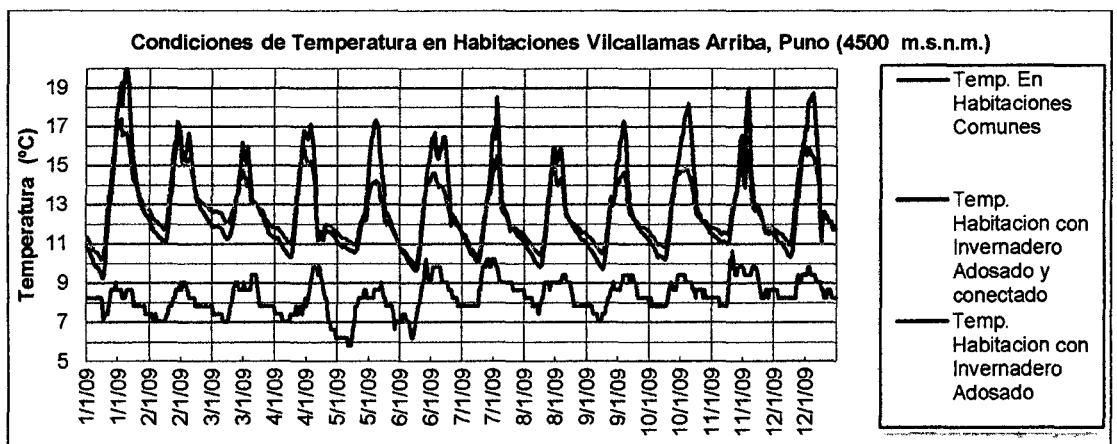


Figura 25 comparación de temperaturas de las condiciones de las habitaciones en la comunidad de Vilcallamas arriba, puno

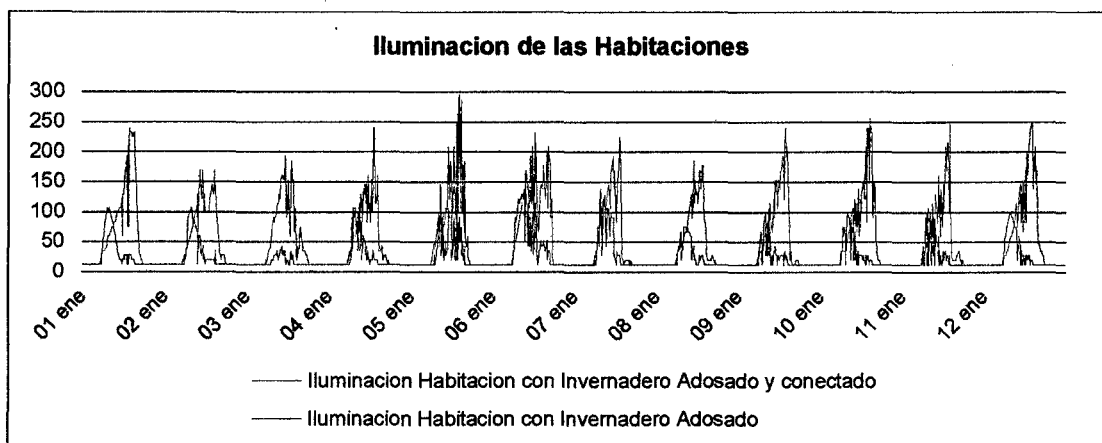


Figura 26 iluminación en las habitaciones, medición indirecta del uso de habitaciones. Vilcallamas arriba, puno

RESULTADOS

Esta casa prototipo se construyó para el profesor de la comunidad, lo cual fue la mejor opción debido a que es aporte a la educación de los niños y aumento el apoyo de los comuneros en su construcción.

Después de aplicar mejoras y construir la vivienda prototipo en la comunidad y comparar los comportamientos térmicos resulta que:

- Se incrementó la temperatura máxima de las habitaciones en 6°C en promedio.
- La temperatura mínimo de las habitaciones de los nuevos módulos de viviendas es superior a 10°C.
- En las mediciones de iluminación los máximos están entre los 100 y 300 lúmenes por pie cuadrado.

CONCLUSIONES

Los prototipos de modificación y edificación estarán listos a finales del mes de octubre del 2009. La organización de eventos difusivos como la inauguración será a más tardar la primera semana de noviembre del 2009.

El trabajo se concluyó el 5 de diciembre con la inauguración respectiva y con la presencia de las principales autoridades de la UNI, así como también de la presencia de la coordinadora del proyecto de FINCyT.

Causo grata impresión el modelo, la construcción, las aplicaciones energéticas de la casa, los complementos físicos instalados como parte de la búsqueda de almacenar energía y posteriormente usarlos como parte de calefacción térmica, llámese los invernaderos y los muros trombe.

Con respecto al análisis térmico, el aislamiento de las habitaciones tiene buenos resultados para mejorar el confort térmico.

Los invernaderos con intercambios de aire con los ambientes adosados, sistemas pasivos de calentamiento, contribuyen a elevar mucho la temperatura interior, máximos de 16°C en promedio, pero son ineficientes cuando no se controla este intercambio, en este caso específico, las puertas o ventilas deben estar abiertas desde las 8 am hasta las 4 pm aproximadamente para evitar así fugas de calor en los periodos nocturnos y contribuir a un incrementos en los mínimos de temperatura, como se aprecia en las gráficas de temperatura.

Al estar el fogón en uso presentaría un incremento de la temperatura en horas de uso del mismo, teniendo una importante contribución a las horas de cocción de la cena, 7 pm aproximadamente.

De las gráficas de iluminación se deduce rápidamente que la vivienda en análisis no tuvo uso nocturno al presentar un patrón de iluminación reflejo de la iluminación natural lo que refleja que las puertas y ventanas no son manipuladas.

Se concluye que las condiciones de confort térmico en los espacios habitables tienen una mejora sustantiva a pesar que no se utiliza el sistema con deficiencias. El comunero percibe esta mejora cualitativamente "se siente mejor y más abrigado".

9.2 Especificaciones técnicas de la instrumentación.

9.2 Especificaciones técnicas de la instrumentación.

9.2.1 Data Logger HOBO H8 4-Canales Externos

Es un registrador de datos con capacidad de leer cuatro sensores de temperatura.

Especificaciones

Temperatura: -20°C a +70°C y Humedad Relativa: 0-95%.

Exactitud en el tiempo: Aprox. ± 1 min (o ± 100 ppm) por semana a +20°C. En la Figura. 1 se muestra la variación de exactitud en el tiempo para el rango -40°F a +160 °F

Capacidad de medición: 32,520 mediciones almacenadas en memoria no volátil

9.2.2 Micro Estación HOBO H8

Es un Data Logger con las siguientes entradas: Temperatura, Humedad Relativa, Iluminación y 1 canal Externo.

Rangos de operación

Temperatura: -20°C a +70°C y Humedad Relativa: 0-95%

Exactitud en el tiempo: Aprox. ± 1 min (o ± 100 ppm) por semana a +20°C. En la Figura. 1 se muestra la variación de exactitud en el tiempo para el rango -40°F a +160 °F

Capacidad de almacenamiento: 7 944 mediciones en memoria no volátil

Dimensiones: 2,4" x 1,9" x 0,8"

Peso aprox. 38,3 gr

Batería: CR-2032 (litio) reemplazable

Vida útil de la batería: 1 año de uso continuo

Temperatura de almacenaje de datos: -40°C a 75°C.

Especificaciones de cada entrada:

Temperatura. El HOBO H8 tiene un sensor de temperatura interno con un cable de unos 10 cm. Si permanece dentro de la cubierta puede medir la temperatura del aire en el rango de -20 a +70°C, con un tiempo de respuesta de 15 min en aire quieto. Si el sensor se extiende fuera de la cubierta se obtienen tiempos de respuesta de 1 min en aire y 2s en agua. El rango del sensor es de -40 °C a +120 °C cuando está extendido fuera de la cubierta. En la FIGURA. 2 se muestran la exactitud y resolución del HOBO H8 incluyendo la incertidumbre debida a la resolución del sensor.

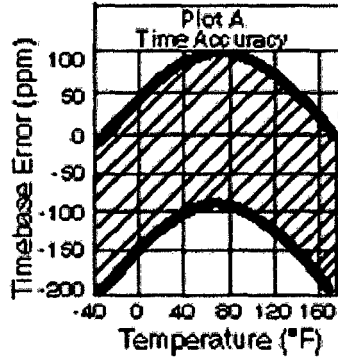


Figura. 1 variación de exactitud en el tiempo de registro del datalogger Hobo h8 4-canales externos y de la micro estación Hobo h8.

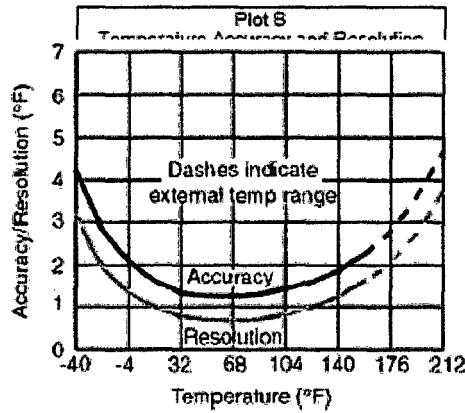


Figura. 2 exactitud y resolución del Hobo h8 incluyendo la incertidumbre debida a la resolución del sensor.

Humedad Relativa. Este sensor usa un compensador de temperatura y proporciona una exactitud de $\pm 5\%$ en el rango de $+5^{\circ}\text{C}$ a $+50^{\circ}\text{C}$. El sensor de humedad relativa opera en el rango de 25% 95% a $+25^{\circ}\text{C}$ para intervalos de muestreo con intervalos mayores que 10 s. La variación temporal de las lecturas del sensor de humedad es menor que 1% al año.

Intensidad de luz. El sensor de intensidad de luz del HOBO H8 se aproxima a la sensibilidad del ojo humano. La curva de respuesta de luz vs longitud de onda se muestra en la FIGURA. 3 junto con la curva de sensibilidad del ojo humano (línea negra). El rango nominal es de 2 a 20,000 lúmenes/m². La respuesta angular del sensor es aproximadamente cosenoidal con 0° directamente sobre el sensor.

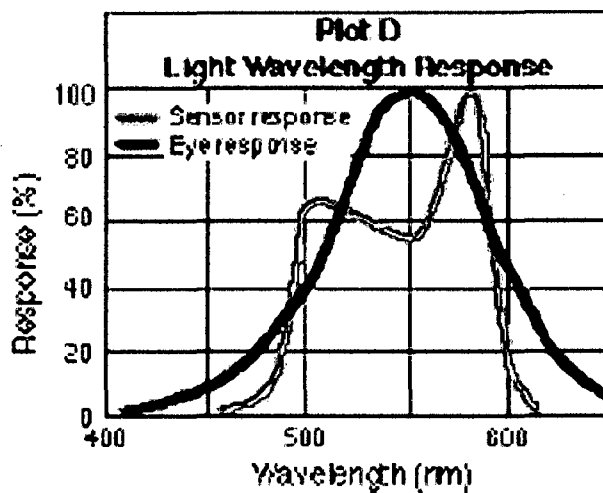


Figura. 3 curva de respuesta del sensor de luz y curva de sensibilidad de la visión humana.

Entrada externa. El HOBO H8 acepta un sensor de temperatura adicional y sensores de corriente AC.

Conexión y descarga de datos a la PC: Mediante un cable serial y un software proporcionado por el fabricante se descargan los datos almacenados en la memoria del HOBO H8 a la PC.

9.2.3 HOBO Shuttle

Este accesorio es un recolector de datos de la Microestación HOBO H8 o de los datos almacenados en los Data Logger (DL).

Especificaciones:

Tiene una capacidad en memoria no-volátil entre 48K – 511 K. Puede descargar 56 DL con 8K c/u; 14 DL con 32 K c/u ó 64 DL con 7K c/u.

Exactitud en el tiempo: ± 1 min por semana (± 100 ppm) a 20 °C.

Velocidad de transferencia del DL al HOBO Shuttle: 8K en 90 s.

Velocidad de transferencia del HOBO Shuttle a la PC: HOBO Shuttle lleno en 2 min.

Software: El sistema usa el programa Box Car proporcionado por el fabricante. Sincroniza el tiempo de lectura de datos del DL con el tiempo marcado por el reloj interno de la computadora.

9.2.4 Sensores de temperatura para aire, suelo y agua HOBO H8

Rango de medición: - 40° a 50 °C en agua / - 40° a 100 °C en aire

Exactitud: ± 0.5 °C a 20 °C. En la Figura. 4 se muestra la exactitud en el rango de operación.

Resolución: 0,41 °C a 20 °C. Deriva: < 0,1 °C por año.

Tiempo de respuesta en aire: 3 min para el 90% del valor en aire a 1 m/s

Tiempo de respuesta en agua corriente: 30 s para el 90% del valor.

Rango de operación: Cubierta del sensor y cable sumergidos en agua fresca a +50 °C por 1 año.

Cubierta del sensor: Acero inoxidable, forma cilíndrica de 5mm de diámetro y 25 mm de largo.

Cable del sensor: 6 m y 125 g

Software: Box Car.

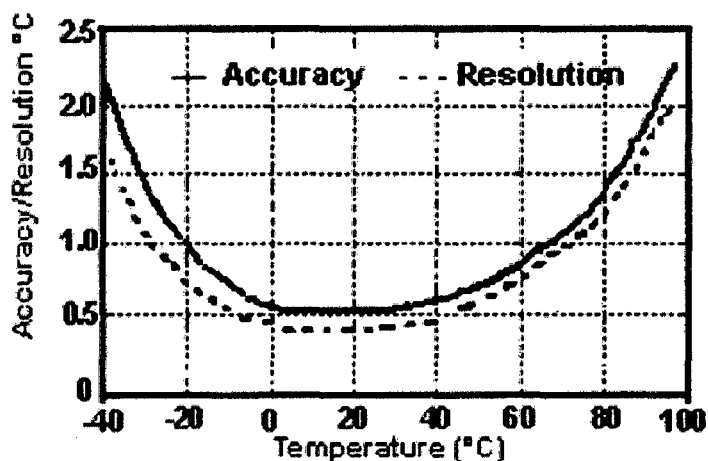


Figura. 4 exactitud y resolución de los sensores de temperatura en el rango de operación.

9.2.5 Micro Estación Meteorológica HOBO

La Micro Estación Meteorológica HOBO es un registrador de cuatros sensores diseñado para monitorear microclimas.

Especificaciones

Rango de operación: -20° a 50°C con baterías alcalinas y -40 a 70°C con baterías de Litio.

Entradas: Hasta 4 sensores

Comunicación: puerto serial de 3,5 mm

Dimensiones: Caja de rectangular de 8,9cm x 11,4cm x 5,4 cm

Peso: 0.36 kg. Memoria: 512K almacenado en memoria no-volátil

Modo de almacenar: Para cuando la memoria está llena o se reinicia.

Intervalo de registro: De 1 segundo a 18 horas, definido por el usuario.

Exactitud en el tiempo: 0 a 2 segundos para el primer dato y ± 5 segundos por semana a 25°C.

Modos de inicio del registro: Inmediato, manual (push botton) y con tiempo retardado

Montaje; Opera verticalmente apoyado sobre una base plana.

Sensores conectados a la Micro Estación Meteorológica HOBO.

Sensor de velocidad y dirección de viento

Especificaciones	Velocidad de viento	Dirección de viento
Rango	0 a 44 m/s	0 a 358°
Exactitud	$\pm 0,5$ m/s $\pm 3\%$ entre 17 a 30 m/s $\pm 4\%$ entre 30 a 44 m/s	$\pm 5^\circ$
Resolución	0,19 m/s	1,4°
Umbral de medida	0,5 m/s	0,5 m/s
Temp. de operación	-40 a 75 °C	-40 a 75 °C
Numero de Bits por muestra	8	8

Sensor piranómetro de silicio

Este sensor mide la irradiancia solar.

Especificaciones

Rango de medida: 0 a 180 W/m²

Rango espectral: 300 a 1 100 nm

Exactitud: ± 10 W/m² o $\pm 5\%$, el que sea mayor y $\pm 0,38$ W/m² /°C a partir de +25 °C

Exactitud angular: Corrección cosenoidal de 0 a 80 °C de la vertical.

Resolución: 1,25 W/m²

Deriva: < $\pm 2\%$ al año

Temperaturas de operación: -40° a +75 °C

Número de bits por muestra: 10

Sensor de Humedad Relativa/Temperatura

Este sensor mide la humedad relativa y trabaja con un compensador de temperatura.

Especificaciones	Temperatura	Humedad Relativa
Rango de medición	-40 °C a 75 °C	0-100% HR de -40 a 75 °C
Exactitud	0,2 °C entre 0o y 50 °C. Ver Figura. 5 para el rango	±2,5% de 10 a 90%; Ver Figura. 6 para el rango
Resolución	0,02 °C a 25 °C. Figura. 5	0,1% HR a 25%
Bits por muestra	12	10
Deriva	< 0,1 °C por año	< 1% por año; histéresis 1%
Tiempo de respuesta	5 min en aire a 1m/s	10 min aire a 1m/s con cubierta protectora
Rango de temp. de operación	-40 °C a +75 °C	-40 °C a +75 °C

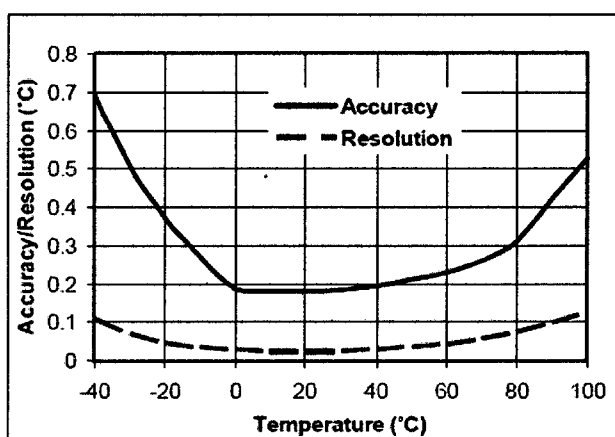


Figura. 5 exactitud y resolución en el rango de operación

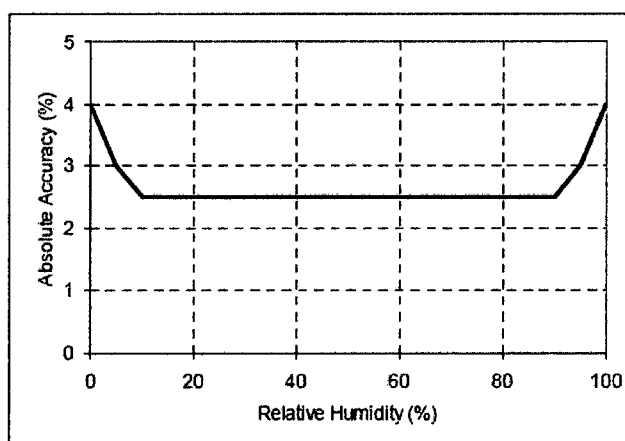


Figura. 6 exactitud absoluta en el rango de horas de operación

9.2.6 HOBO U-Shuttle

Este accesorio permite la lectura individual de cada uno de los sensores de la Micro estación Meteorológica así como la recolección de los datos almacenados en ella.

Especificaciones:

Temperatura de operación: 0° a 50 °C

Temperatura de almacenamiento: -10 a 50 °C

Exactitud en el tiempo: ± 1 min por mes a 25 °C. Figura. 7.

Velocidad de recepción de datos del Data Logger: 64K en 30 s, puerto serial

Velocidad de transferencia de datos a PC: Descarga completa (4MB) en 3-5min

Capacidad de almacenamiento: 4MB; 504 Data Logger de 8K; 63 de 64K o 7 de 512K

Puertos de transmisión: Jack RJ-12 para comunicación con sensores; USB para comunicación con PC.

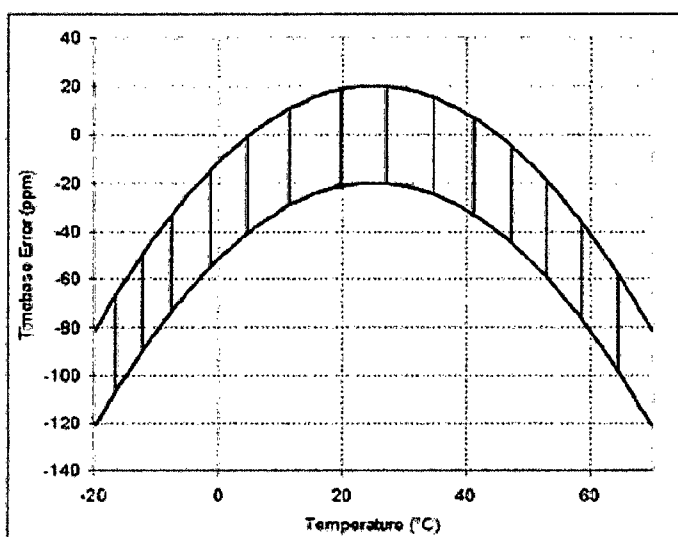


Figura. 7 exactitud en el tiempo para el rango de temperaturas para el u-shuttle

9.3 Archivo IDF modelo 42

9.3 Archivo IDF modelo 42

Se muestra una parte significativa del código utilizado en el modelo 32 en el programa EnergyPlus®.

<p>!-Generator IDFEditor 1.43 !-Option SortedOrder !-NOTE: All comments with '!' are ignored by the IDFEditor and are generated automatically. !-Use '!' comments if they need to be retained when using the IDFEditor. !====ALL OBJECTS IN CLASS: VERSION === Version, 7.2;!-Version Identifier !====ALL OBJECTS IN CLASS: SIMULATIONCONTROL === SimulationControl, No,!-Do Zone Sizing Calculation No,!-Do System Sizing Calculation No,!-Do Plant Sizing Calculation No,!-Run Simulation for Sizing Periods Yes;!-Run Simulation for Weather File Run Periods !====ALL OBJECTS IN CLASS: BUILDING === Building, Vilcallamas Arriba,!-Name 0,!-North Axis {deg} Country,!-Terrain 0.04,!-Loads Convergence Tolerance Value 0.4,!-Temperature Convergence Tolerance Value {deltaC} FullInteriorAndExterior, !-Solar Distribution 25,!-Maximum Number of Warmup Days ;!-Minimum Number of Warmup Days !====ALL OBJECTS IN CLASS: SHADOWCALCULATION === ShadowCalculation, 20,!-Calculation Frequency 15000;!-Maximum Figures in Shadow Overlap Calculations !====ALL OBJECTS IN CLASS: SURFACECONVECTIONALG ORITHM:INSIDE === SurfaceConvectionAlgorithm:In side, Simple;!-Algorithm !====ALL OBJECTS IN CLASS: SURFACECONVECTIONALG ORITHM:OUTSIDE ===</p>	<p>SurfaceConvectionAlgorithm:O utside, SimpleCombined;!-Algorithm !====ALL OBJECTS IN CLASS: HEATBALANCEALGORITHM === HeatBalanceAlgorithm, ConductionTransferFunction,!- Algorithm 200,!-Surface Temperature Upper Limit {C} 0.1,!-Minimum Surface Convection Heat Transfer Coefficient Value {W/m2-K} 1000;!-Maximum Surface Convection Heat Transfer Coefficient Value {W/m2-K} !====ALL OBJECTS IN CLASS: ZONEAIRHEATBALANCEALG ORITHM === ZoneAirHeatBalanceAlgorithm, ThirdOrderBackwardDifference; !-Algorithm !====ALL OBJECTS IN CLASS: TIMESTEP === Timestep, 4;!-Number of Timesteps per Hour !====ALL OBJECTS IN CLASS: SITE:LOCATION === Site:Location, VilcallamasArriba,!-Name -17.85,!-Latitude {deg} -69.3,!-Longitude {deg} -5.0,!-Time Zone {hr} 4500;!-Elevation {m} !====ALL OBJECTS IN CLASS: RUNPERIOD === RunPeriod, anno,!-Name 1,!-Begin Month 1,!-Begin Day of Month 12,!-End Month 31,!-End Day of Month UseWeatherFile,!-Day of Week for Start Day Yes,!-Use Weather File Holidays and Special Days Yes,!-Use Weather File Daylight Saving Period No,!-Apply Weekend Holiday Rule Yes,!-Use Weather File Rain Indicators</p>	<p>Yes,!-Use Weather File Snow Indicators 1,!-Number of Times Runperiod to be Repeated Yes;!-Increment Day of Week on repeat !====ALL OBJECTS IN CLASS: SITE:GROUNDTEMPERATUR E:BUILDINGSURFACE === Site:GroundTemperature:Buildi ngSurface, 7.23,!-January Ground Temperature {C} 7.23,!-February Ground Temperature {C} 7.23,!-March Ground Temperature {C} 7.23,!-April Ground Temperature {C} 7.23,!-May Ground Temperature {C} 7.23,!-June Ground Temperature {C} 7.23,!-July Ground Temperature {C} 7.23,!-August Ground Temperature {C} 7.23,!-September Ground Temperature {C} 7.23,!-October Ground Temperature {C} 7.23,!-November Ground Temperature {C} 7.23,!-December Ground Temperature {C} !====ALL OBJECTS IN CLASS: SITE:GROUNDTEMPERATUR E:SHALLOW === Site:GroundTemperature:Shallo w, 8.23,!-January Surface Ground Temperature {C} 8.23,!-February Surface Ground Temperature {C} 8.23,!-March Surface Ground Temperature {C} 8.23,!-April Surface Ground Temperature {C} 8.23,!-May Surface Ground Temperature {C} 8.23,!-June Surface Ground Temperature {C} 8.23,!-July Surface Ground Temperature {C}</p>
---	--	---

<p>8.23,!-August Surface Ground Temperature {C}</p> <p>8.23,!-September Surface Ground Temperature {C}</p> <p>8.23,!-October Surface Ground Temperature {C}</p> <p>8.23,!-November Surface Ground Temperature {C}</p> <p>8.23;!-December Surface Ground Temperature {C}</p> <p>!====ALL OBJECTS IN CLASS: SCHEDULETYPELIMITS ===</p> <p>ScheduleTypeLimits, Fraction,!-Name</p> <p>0.0,!-Lower Limit Value</p> <p>1.0,!-Upper Limit Value</p> <p>CONTINUOUS;!-Numeric Type</p> <p>ScheduleTypeLimits, Temperature,!-Name</p> <p>!====ALL OBJECTS IN CLASS: SCHEDULE:COMPACT ===</p> <p>Schedule:Compact, Always On,!-Name</p> <p>Fraction,!-Schedule Type Limits Name</p> <p>Through: 12/31,!-Field 1</p> <p>For: AllDays,!-Field 2</p> <p>Until: 24:00,!-Field 3</p> <p>1.0;!-Field 4</p> <p>!====ALL OBJECTS IN CLASS: MATERIAL ===</p> <p>Material, Adobe_40,!-Name</p> <p>MediumRough,!-Roughness</p> <p>0.4,!-Thickness {m}</p> <p>0.81,!-Conductivity {W/m-K}</p> <p>1595,!-Density {kg/m3}</p> <p>866,!-Specific Heat {J/kg-K}</p> <p>0.9,!-Thermal Absorptance</p> <p>0.7,!-Solar Absorptance</p> <p>0.7;!-Visible Absorptance</p> <p>!====ALL OBJECTS IN CLASS: MATERIAL:AIRGAP ===</p> <p>Material:AirGap, F04 Wall air space resistance,!-Name</p> <p>0.15;!-Thermal Resistance {m2-K/W}</p> <p>Material:AirGap, F05 Ceiling air space resistance,!-Name</p> <p>0.18;!-Thermal Resistance {m2-K/W}</p> <p>!====ALL OBJECTS IN CLASS: WINDOWMATERIAL:GLAZING ===</p> <p>WindowMaterial:Glazing, Vidrio Falso,!-Name</p> <p>SpectralAverage,!-Optical Data Type</p> <p>,!-Window Glass Spectral Data Set Name</p> <p>0.001,!-Thickness {m}</p>	<p>0.998,!-Solar Transmittance at Normal Incidence</p> <p>0.001,!-Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence</p> <p>0.001,!-Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence</p> <p>0.998,!-Visible Transmittance at Normal Incidence</p> <p>0.001,!-Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence</p> <p>0.001,!-Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence</p> <p>0.0,!-Infrared Transmittance at Normal Incidence</p> <p>0.999,!-Front Side Infrared Hemispherical Emissivity</p> <p>0.999,!-Back Side Infrared Hemispherical Emissivity</p> <p>0.024;!-Conductivity {W/m-K}</p> <p>!====ALL OBJECTS IN CLASS: WINDOWMATERIAL:GAS ===</p> <p>WindowMaterial:Gas, Colchon de aire,!-Name</p> <p>Air,!-Gas Type</p> <p>0.01;!-Thickness {m}</p> <p>!====ALL OBJECTS IN CLASS: WINDOWMATERIAL:SHADE ===</p> <p>WindowMaterial:Shade, Triplay,!-Name</p> <p>0,!-Solar Transmittance {dimensionless}</p> <p>0.3,!-Solar Reflectance {dimensionless}</p> <p>0,!-Visible Transmittance {dimensionless}</p> <p>0.3,!-Visible Reflectance {dimensionless}</p> <p>0.9,!-Infrared Hemispherical Emissivity {dimensionless}</p> <p>0,!-Infrared Transmittance {dimensionless}</p> <p>0.04,!-Thickness {m}</p> <p>0.036,!-Conductivity {W/m-K}</p> <p>0.12,!-Shade to Glass Distance {m}</p> <p>0,!-Top Opening Multiplier</p> <p>0,!-Bottom Opening Multiplier</p> <p>0,!-Left-Side Opening Multiplier</p> <p>0,!-Right-Side Opening Multiplier</p> <p>0;!-Airflow Permeability {dimensionless}</p> <p>!====ALL OBJECTS IN CLASS: CONSTRUCTION ===</p> <p>Construction, Exterior Floor,!-Name</p> <p>Piedra_10,!-Outside Layer</p>	<p>F05 Ceiling air space resistance,!-Layer 2</p> <p>Madera_2.5;!-Layer 3</p> <p>!====ALL OBJECTS IN CLASS: GLOBALGEOMETRYRULES ===</p> <p>GlobalGeometryRules, UpperLeftCorner,!-StartingPosition</p> <p>Counterclockwise,!-Entry Direction</p> <p>Relative;!-Coordinate System</p> <p>!====ALL OBJECTS IN CLASS: ZONE ===</p> <p>Zone, Dor2,!-Name</p> <p>0.0,!-Direction of Relative North {deg}</p> <p>-6.532643,!-X Origin {m}</p> <p>3.663311,!-Y Origin {m}</p> <p>0.0,!-Z Origin {m}</p> <p>,!-Type</p> <p>1;!-Multiplier</p> <p>...</p> <p>!====ALL OBJECTS IN CLASS: ZONELIST ===</p> <p>ZoneList, TodasZonas,!-Name</p> <p>Dor2,!-Zone 1 Name</p> <p>Dor1,!-Zone 2 Name</p> <p>Ban,!-Zone 3 Name</p> <p>CCo;!-Zone 4 Name</p> <p>...</p> <p>!====ALL OBJECTS IN CLASS: BUILDINGSURFACE:DETAILE D ===</p> <p>BuildingSurface:Detailed, 9881B3,!-Name</p> <p>Wall,!-Surface Type</p> <p>Interior Wall,!-Construction Name</p> <p>Dor2,!-Zone Name</p> <p>Surface,!-Outside Boundary Condition</p> <p>66EE70,!-Outside Boundary Condition Object</p> <p>NoSun,!-Sun Exposure</p> <p>NoWind,!-Wind Exposure</p> <p>,!-View Factor to Ground</p> <p>4,!-Number of Vertices</p> <p>10.53264300,!-1 X {m}</p> <p>-7.46331100,!-1 Y {m}</p> <p>3.6000,!-1 Z {m}</p> <p>10.53264300,!-2 X {m}</p> <p>-7.46331100,!-2 Y {m}</p> <p>0,!-2 Z {m}</p> <p>12.53264300,!-3 X {m}</p> <p>-7.46331100,!-3 Y {m}</p> <p>0,!-3 Z {m}</p> <p>12.53264300,!-4 X {m}</p> <p>-7.46331100,!-4 Y {m}</p> <p>3.6000;!-4 Z {m}</p>
---	--	--

<pre> !====ALL OBJECTS IN CLASS: FENESTRATIONSURFACE:DETAILED === FenestrationSurface:Detailed, PCCDo2,!-Name Door,!-Surface Type Interior Door,!-Construction Name 66EE70,!-Building Surface Name PDo2CC,!-Outside Boundary Condition Object ,!-View Factor to Ground ,!-Shading Control Name ,!-Frame and Divider Name ,!-Multiplier 4,!-Number of Vertices 11.93264300,!-1 X {m} -7.46331100,!-1 Y {m} 2.3500,!-1 Z {m} 11.93264300,!-2 X {m} -7.46331100,!-2 Y {m} 0.2000,!-2 Z {m} 11.13264300,!-3 X {m} -7.46331100,!-3 Y {m} 0.2000,!-3 Z {m} 11.13264300,!-4 X {m} -7.46331100,!-4 Y {m} 2.3500,!-4 Z {m} !====ALL OBJECTS IN CLASS: WINDOWPROPERTY:SHADINGCONTROL === WindowProperty:ShadingControl, cubierta_Madera,!-Name InteriorShade,!-Shading Type ,!-Construction with Shading Name OnIfScheduleAllows,!-Shading Control Type Coberturas Ventana,!-Schedule Name ,!-Setpoint {W/m2, W or deg C} Yes,!-Shading Control Is Scheduled No,!-Glare Control Is Active Triplay,!-Shading Device Material Name ,!-Type of Slat Angle Control for Blinds </pre>	<pre> ;!-Slat Angle Schedule Name !====ALL OBJECTS IN CLASS: SHADING:BUILDING:DETAILED D === Shading:Building:Detailed, A702D1,!-Name ,!-Transmittance Schedule Name 4,!-Number of Vertices 2.2000,!-1 X {m} -3.8000,!-1 Y {m} 3.6000,!-1 Z {m} 2.2000,!-2 X {m} 0.569955473968,!-2 Y {m} 2.162514646721,!-2 Z {m} 1.6000,!-3 X {m} 0.569955473968,!-3 Y {m} 2.162514646721,!-3 Z {m} 1.6000,!-4 X {m} -3.8000,!-4 Y {m} 3.6000,!-4 Z {m} !====ALL OBJECTS IN CLASS: ZONEINFILTRATION:DESIGNFLOWRATE === ZoneInfiltration:DesignFlowRate, inf1,!-Name Int,!-Zone or ZoneList Name Always On,!-Schedule Name Flow/Zone,!-Design Flow Rate Calculation Method 0.032,!-Design Flow Rate {m3/s} ,!-Flow per Zone Floor Area {m3/s-m2} ,!-Flow per Exterior Surface Area {m3/s-m2} 1,!-Air Changes per Hour {1/hr} 1,!-Constant Term Coefficient ,!-Temperature Term Coefficient ,!-Velocity Term Coefficient ;!-Velocity Squared Term Coefficient ... !====ALL OBJECTS IN CLASS: ZONEMIXING === ZoneMixing, Mix1,!-Name Dor2,!-Zone Name Always On,!-Schedule Name </pre>	<pre> Flow/Zone,!-Design Flow Rate Calculation Method 0.2066,!-Design Flow Rate {m3/s} ,!-Flow Rate per Zone Floor Area {m3/s-m2} ,!-Flow Rate per Person {m3/s- person} ,!-Air Changes per Hour {1/hr} CCo;!-Source Zone Name ZoneMixing, ... !====ALL OBJECTS IN CLASS: HVACTEMPLATE:THERMOSTAT === HVACTemplate:Thermostat, Constant Setpoint Thermostat,!- Name ,!-Heating Setpoint Schedule Name 20,!-Constant Heating Setpoint {C} ,!-Cooling Setpoint Schedule Name 25;!-Constant Cooling Setpoint {C} !====ALL OBJECTS IN CLASS: OUTPUT:VARIABLEDICTIONARY === Output:VariableDictionary, IDF;!-Key Field !====ALL OBJECTS IN CLASS: OUTPUT:VARIABLE === Output:Variable, *,!-Key Value Zone Mean Air Temperature,!- Variable Name Hourly;!-Reporting Frequency Output:Variable, *,!-Key Value Surface Inside Face Temperature,!-Variable Name Hourly;!-Reporting Frequency Output:Variable, *,!-Key Value Surface Outside Face Temperature,!-Variable Name Hourly;!-Reporting Frequency </pre>
--	---	---

9.4 Temperatura y flujos de calor en el modelo base y datos medidos de temperatura (complemento)

9.4 Anexo: Temperatura y flujos de calor en el modelo base y datos medidos de temperatura (complemento)

Este apéndice pertenece a la tesis titulada DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN TÉRMICA DE UN MÓDULO DE VIVIENDA RURAL EN LA LOCALIDAD DE VILCALLAMAS ARRIBA, DISTRITO DE PISACOMA, PROVINCIA DE CHUCUITO, REGIÓN PUNO. Complementa el punto 5.5.

Se muestran los resultados de datos medidos y simulados de aire del interior de las zonas térmicas restantes así como de superficies asociadas a cada zona térmica.

9.4.1 Dormitorio 2

Para el dormitorio 2, la temperatura de la vivienda simulada es superior a la medida durante todo el día, entre 1 y 8°C dependiendo del intervalo de tiempo. Se observa que desde las 20 h a las 6 h del día, el comportamiento es similar, a diferencia del resto del día. Entre las 6h y 8h el aire del modelo pierde calor y el aire real gana calor. Entre las 8h y 12h el comportamiento es similar, sin embargo el modelo tiene 1°C más que la medición. Entre las 12h y 18 h el aire del modelo eleva considerablemente la temperatura, la mayor diferencia con la temperatura medida es de 7.9°C. El promedio más alto de temperatura simulada es a las 16h y la medida a las 13h. El promedio mínimo de temperatura simulada es a las 8h y la medida es a las 6h, con una diferencia de 2.5°C. La amplitud de la temperatura del modelo es mucho mayor que la medición. Ver Figura 1.

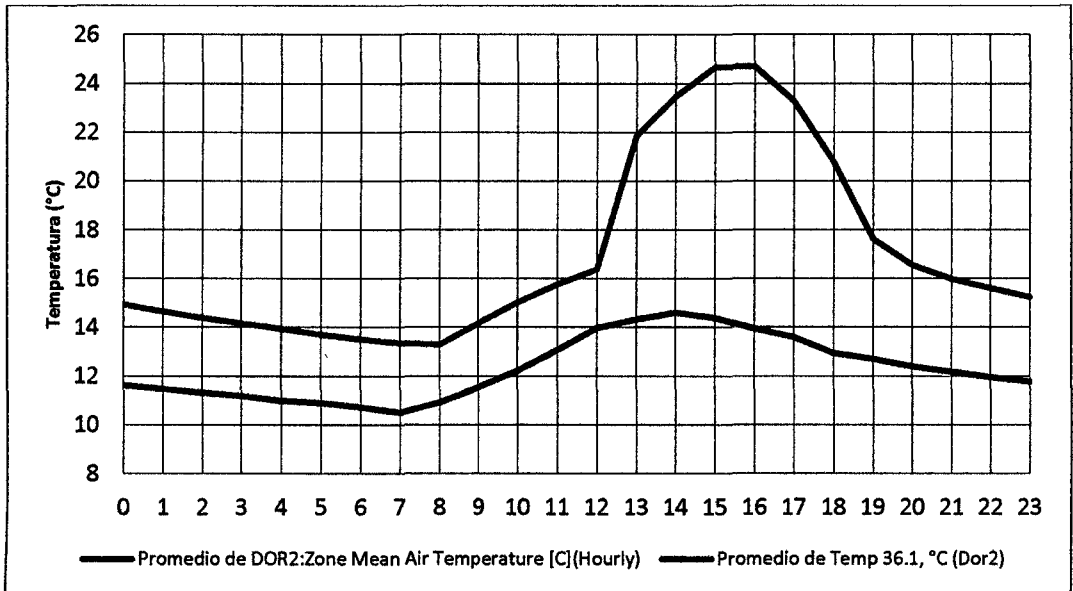


Figura 1 comparación entre datos medidos y simulados en el dormitorio 2.

Referente al flujo de calor en el aire del dormitorio, otras zonas colindantes dan calor al dormitorio 2 a través de intercambios de aire desde las 9h hasta las 18h, el resto del día lo pierde; se observa que el flujo este flujo es menos intenso hasta las 12h para luego incrementarse hasta alcanzar un pico de 800W a las 15h. Por convección con las superficies que rodean este dormitorio el comportamiento es inverso que con las zonas colindantes. En comparación con estos flujos, que alcanzan picos alrededor de 800W en ciertas horas del día, los demás no son significativos. Ver Figura 2.

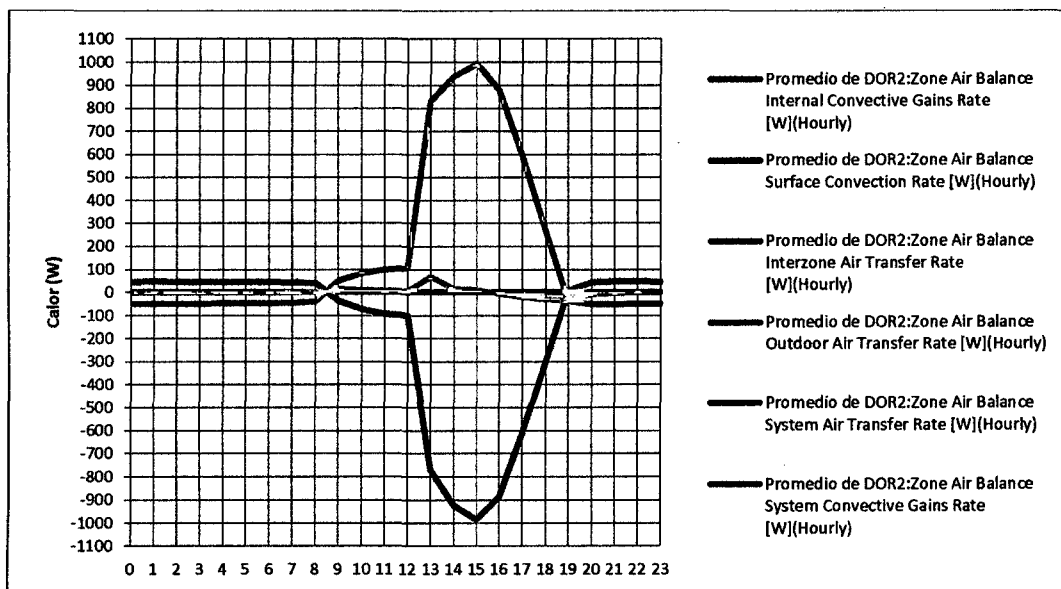


Figura 2 promedio horario de calor en el aire del dormitorio 2

En la superficie interior de la pared sur del dormitorio 2, la temperatura simulada oscila entre 13.8°C y 17.4°C, mientras que la medida se encuentra entre 10.8°C y 12.2°C, siendo la temperatura simulada mayor que la medida durante todo el día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo da calor a la pared entre las 9h y 23h con un máximo de 20.1 W/m² a las 15h, el resto del día pierde calor con un máximo de 0.6 W/m² a las 7h. El flujo radiativo brinda calor a la superficie entre las 10 y 23h con un máximo de 12.1 W/m² a las 17h, el resto del día pierde calor con un máximo de 2.2 W/m² a las 7h. No existe flujo de radiación solar. Ver Figura 3.

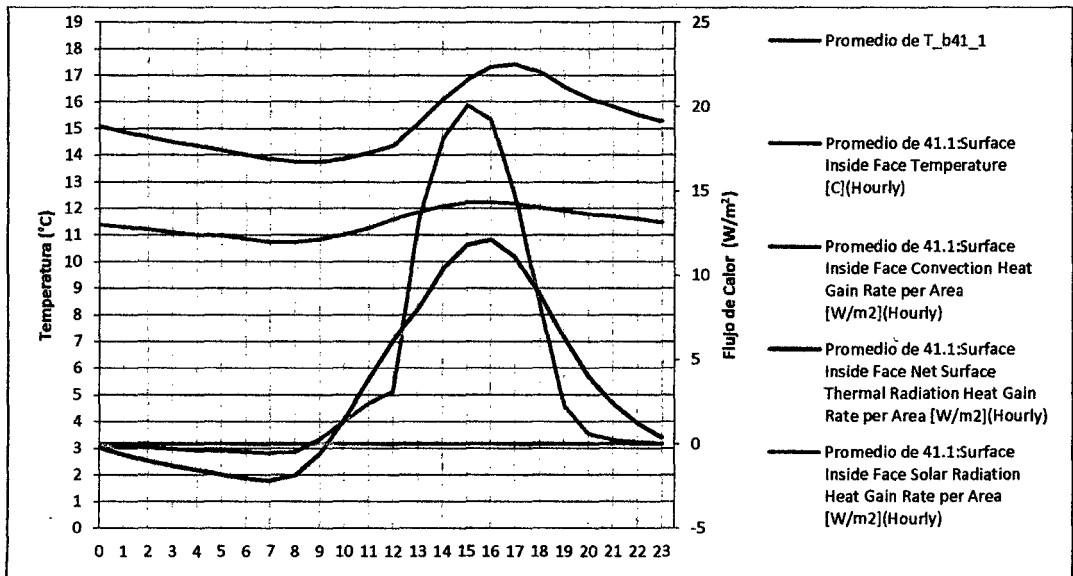


Figura 3 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior 41.1, pared sur dormitorio 2.

En la superficie interior de la pared oeste del dormitorio 2, la temperatura simulada oscila entre 16.7°C y 19.6°C, mientras que la medida se encuentra entre 11.8°C y 12.6°C, siendo la temperatura simulada mayor que la medida durante todo el día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo da calor a la pared entre las 13h y 18h con un máximo de 13.1 W/m² a las 15h, el resto del día pierde calor con un máximo de 7.9 W/m² a las 4h. El flujo radiativo retira calor a la superficie durante todo el día con un máximo de 20.2 W/m² a las 3h y un mínimo de 2.1 W/m² a las 16h. No existe flujo de radiación solar. Ver Figura 4.

En la superficie interior de la pared norte del dormitorio 2, la temperatura simulada oscila entre 16.7°C y 20.2°C, mientras que la medida se encuentra entre 12°C y 12.9°C, siendo la temperatura simulada mayor que la medida durante todo el día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo da calor a la pared entre las 13h y 18h con un máximo de 12.1 W/m² a las 15h, el resto del día pierde calor con un máximo de 8.3 W/m² a las 3h. El flujo radiativo retira calor a la superficie durante todo el día con un máximo de 20.4 W/m² a las 2h y un mínimo de 2 W/m² a las 15h. No existe flujo de radiación solar. Ver Figura 5.

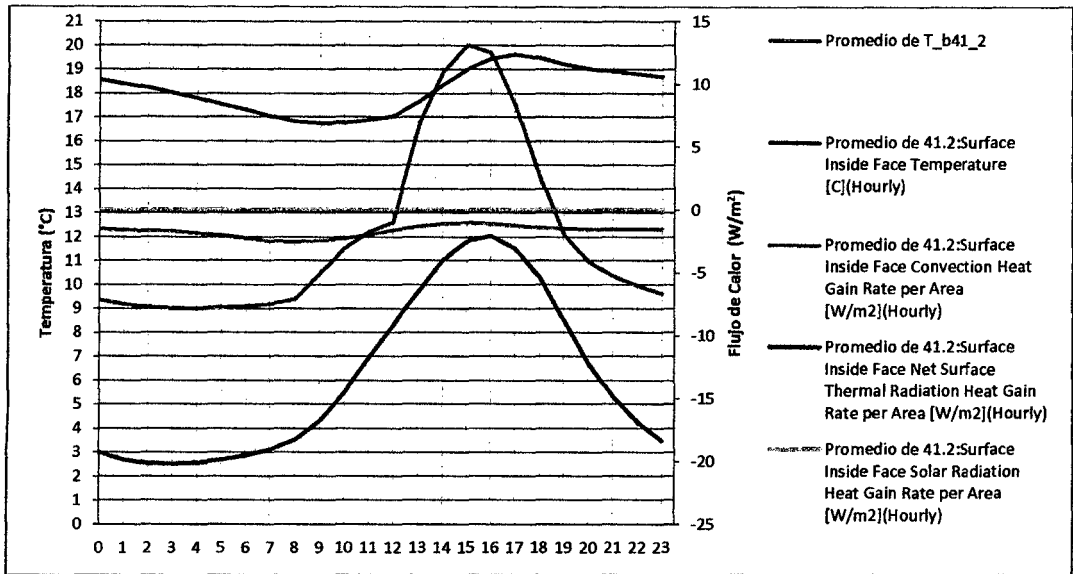


Figura 4 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior 41.2, pared oeste dormitorio 2.

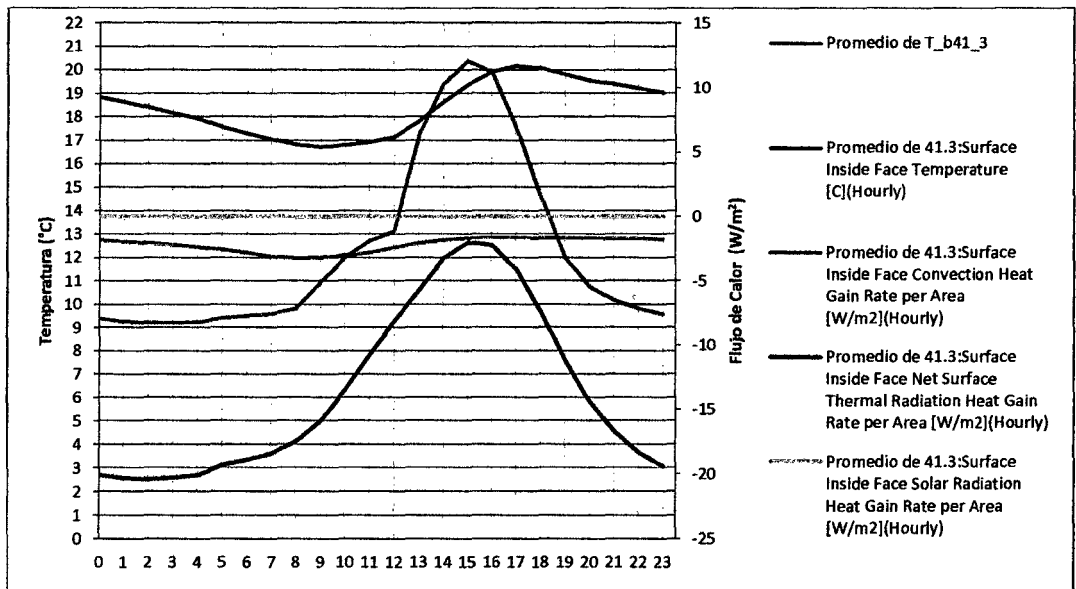


Figura 5 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior 41.3, pared norte dormitorio 2.

En la superficie interior de la pared este del dormitorio 2, la temperatura simulada oscila entre 14.5°C y 18.1°C, mientras que la medida se encuentra entre 11.4°C y 12.7°C, siendo la temperatura simulada mayor que la medida durante todo el día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo da calor a la pared entre las 10h y 19h con un máximo de 18 W/m² a las 15h, el resto del día pierde calor con un máximo de 1.8 W/m² a las 7h. El flujo radiativo brinda calor a la superficie entre las 12 y 19h con un máximo de 8.3 W/m² a las 16h, el resto del día pierde calor con un máximo de 6.3 W/m² a las 7h. No existe flujo de radiación solar sobre esta superficie. Ver Figura 6.

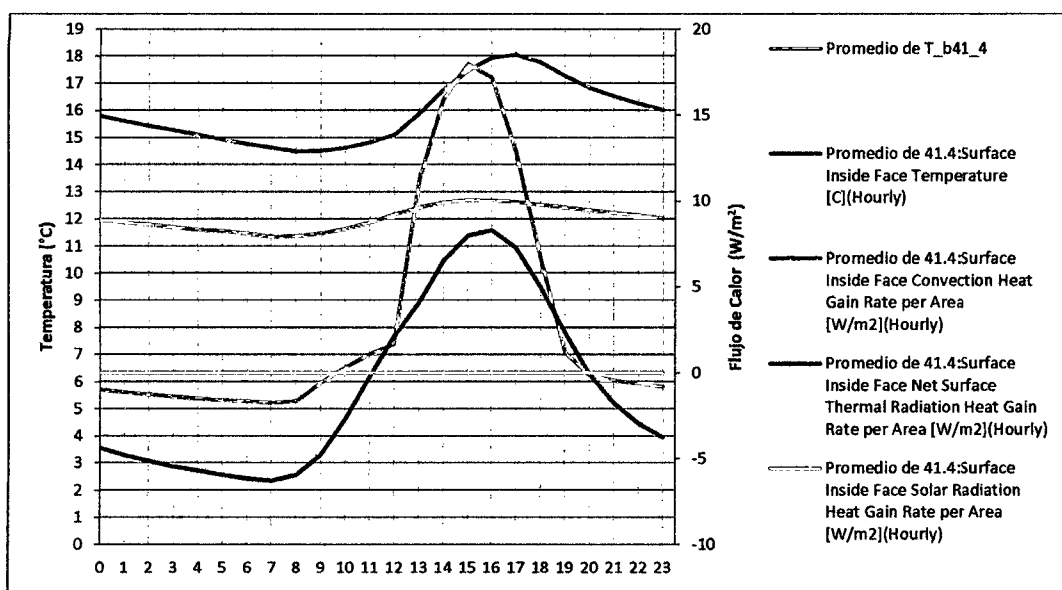


Figura 6 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior 41.4, pared este dormitorio 2.

En la superficie interior del piso del dormitorio 2, la temperatura simulada oscila entre 11.7°C y 16.9°C, no se realizó mediciones de esta superficie. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo da calor al piso durante todo el día con un máximo de 12.6 W/m² a las 15h y un mínimo de 1.4 W/m² a las h. El flujo radiativo entrega calor a la superficie durante todo el día con un máximo de 15.1 W/m² a las 16h y un mínimo de 9.9 W/m² a las 8h. No existe flujo de radiación solar. Ver Figura 7.

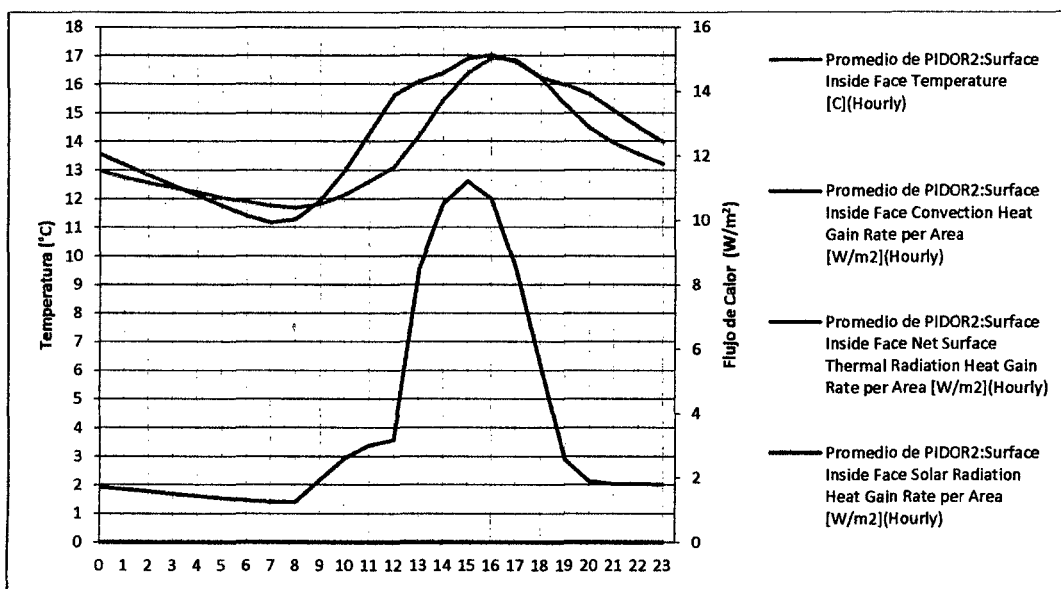


Figura 7 promedio horario de temperatura y flujos de calor simulado de la superficie interior pidor2, piso dormitorio 2.

En la superficie interior del techo del dormitorio 2, la temperatura simulada oscila entre 11.6°C y 23.1°C, mientras que la medida se encuentra entre 8.9°C y 15.6°C, siendo la temperatura simulada mayor que la medida durante todo el día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo retira calor al techo a las 12h y entre las 18h y 21h con un máximo de 2.1 W/m² a las 19 h, el resto del día gana calor con un máximo de 4.2 W/m² a las 14h. El flujo radiativo retira calor a la superficie desde las 10h hasta las 21h con un máximo de 24.3 W/m² a las 15h y brinda calor el resto del día con un máximo de 11.1 W/m² a las 7h. No existe flujo de radiación solar. Ver Figura 8.

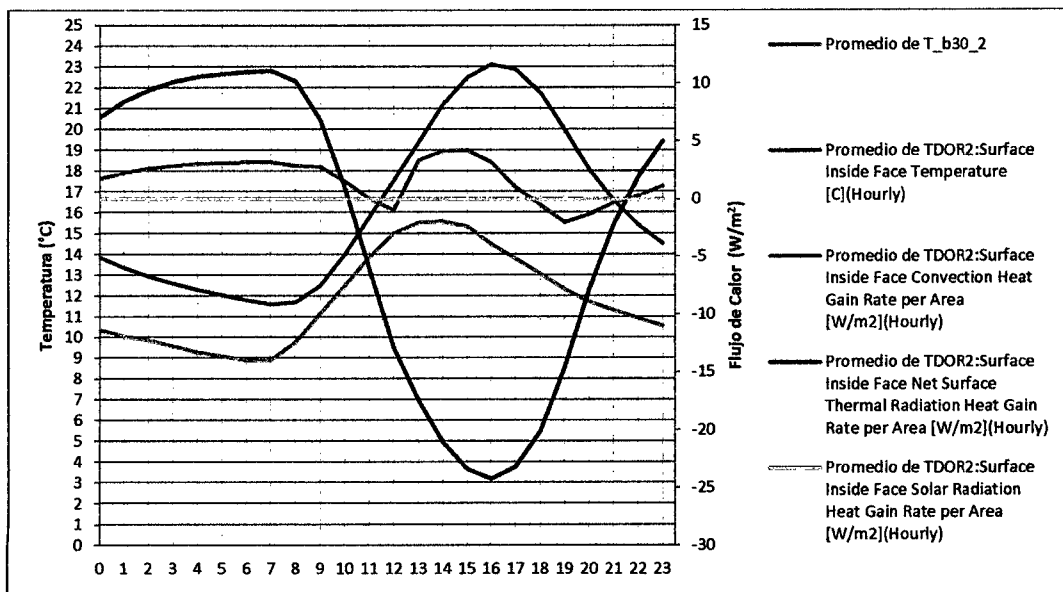


Figura 8 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior tdor2, techo dormitorio 2.

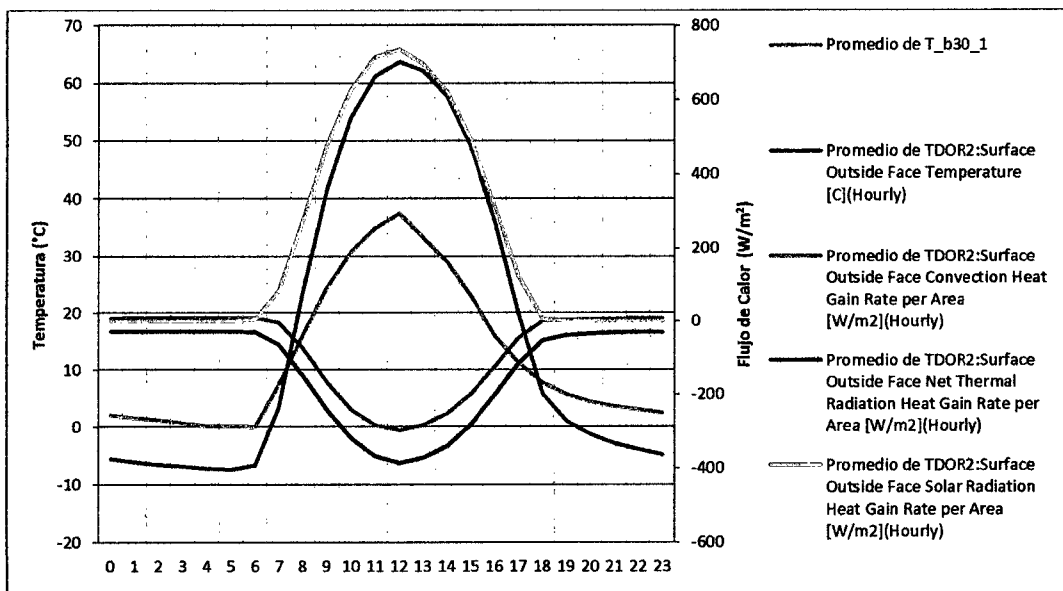


Figura 9 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie exterior tdor2, techo dormitorio 2.

En la superficie exterior del techo del dormitorio 1, la temperatura simulada oscila entre -7.4°C y 63.7°C , mientras que la medida se encuentra entre 0°C y 37.4°C , siendo la temperatura simulada mayor que la medida entre las 8h y 17h del día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo retira calor al techo entre las 7h y 18h con un máximo de 298 W/m^2 a las 12h, el resto del día gana calor con un máximo de 10 W/m^2 a las 5h. El flujo radiativo retira calor a la superficie durante todo el día con un máximo de 386 W/m^2 a las 12h y un mínimo de 28 W/m^2 a las 5h. El flujo de radiación solar tiene un máximo de 736 W/m^2 a las 12h. Ver Figura 9, donde se acorto el eje de abscisas para tener una mejor visibilidad del comportamiento térmico, cabe destacar que los flujos que no se aprecian en toda su amplitud tienen formas de campana similares a la radiación solar positivas o negativas, dependiendo del caso.

9.4.2 Sala Cocina Comedor

Para la sala cocina comedor, la temperatura de la vivienda simulada es superior a la medida durante todo el día, entre 1 y 8°C dependiendo del intervalo de tiempo. Se observa que desde las 20 h a las 6 h del día, el comportamiento es similar, a diferencia del resto del día. Entre las 6h y 8h el aire del modelo pierde calor y el aire real gana calor. Entre las 8h y 12h el comportamiento es similar, sin embargo el modelo tiene 1°C más que la medición. Entre las 12h y 18 h el aire del modelo eleva considerablemente la temperatura, la mayor diferencia con la temperatura medida es de 7.9°C . El promedio más alto de temperatura simulada es a las 16h y la medida a las 13h. El promedio mínimo de temperatura simulada es a las 8h y la medida es a las 6h, con una diferencia de 2.5°C . La amplitud de la temperatura del modelo es mucho mayor que la medición. Ver Figura 10.

Referente al flujo de calor en el aire del dormitorio, otras zonas colindantes dan calor a este ambiente a través de intercambios de aire durante todo el día, aunque la potencia aumenta desde las 8h hasta las 16h, en este periodo del día se alcanza un pico superior a 11h de 900W . Por convección con las superficies que rodean este recinto, entre las 9h y 18h las superficies retiran calor del aire, alcanzando un pico a las 11h mayor a los 800W , el resto del día el aire toma calor de la superficie a una tasa no superior a los 100 W . Además el

intercambio de aire con el exterior retira calor de este recinto a una tasa no mayor de 200W, durante todo el día. En comparación con los flujos antes mencionados, los demás no son significativos. Ver Figura 11.

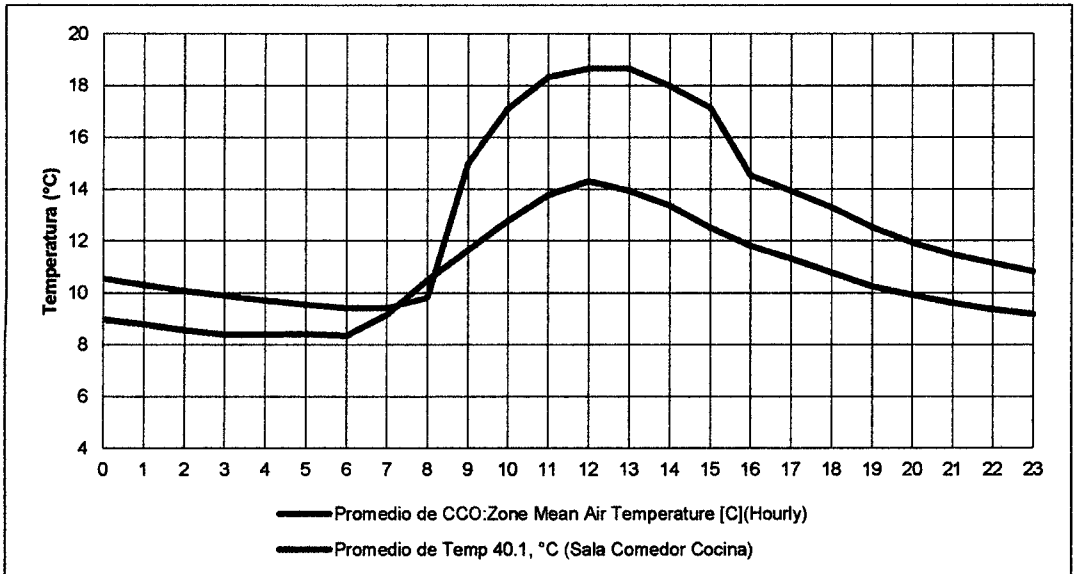


Figura 10 comparación entre datos medidos y simulados en la sala cocina comedor.

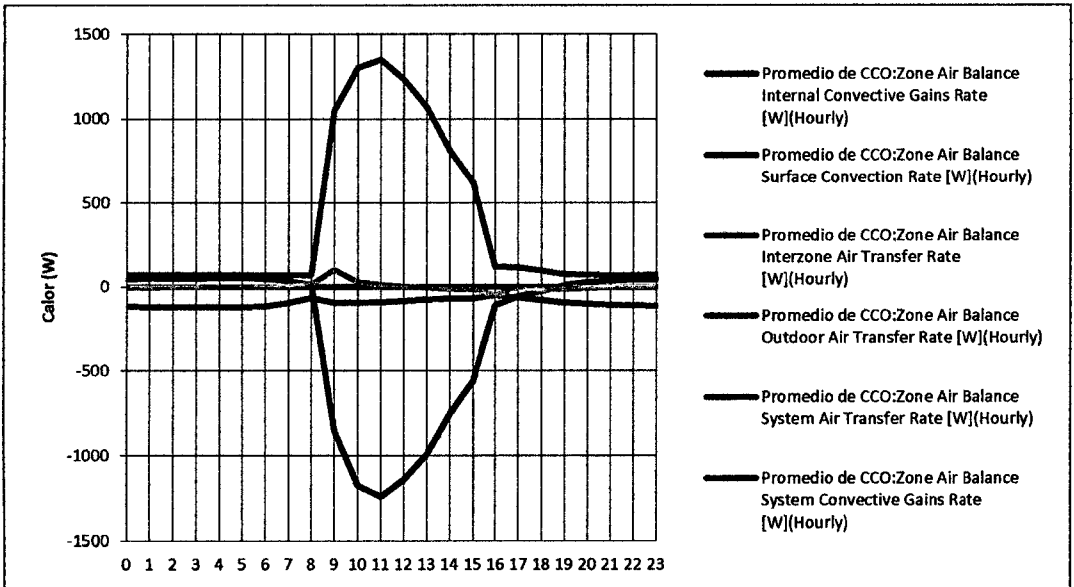


Figura 11 promedio horario de calor en el aire de la sala cocina comedor.

En la superficie interior de la pared sur de la sala comedor cocina, la temperatura simulada oscila entre 9.9°C y 12.5°C, mientras que la medida se encuentra entre 8.2°C y 10.1°C, siendo

la temperatura simulada mayor que la medida durante todo el día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo da calor a la pared entre las 9h y 20h con un máximo de 16.6 W/m^2 a las 12h, el resto del día pierde calor con un máximo de 0.9 W/m^2 a las 5h. El flujo radiativo brinda calor a la superficie entre las 9 y 20 h con un máximo de 8.6 W/m^2 a las 15h, el resto del día pierde calor con un máximo de 3.3 W/m^2 a las 2h. No existe flujo de radiación solar sobre la superficie. Ver Figura 12.

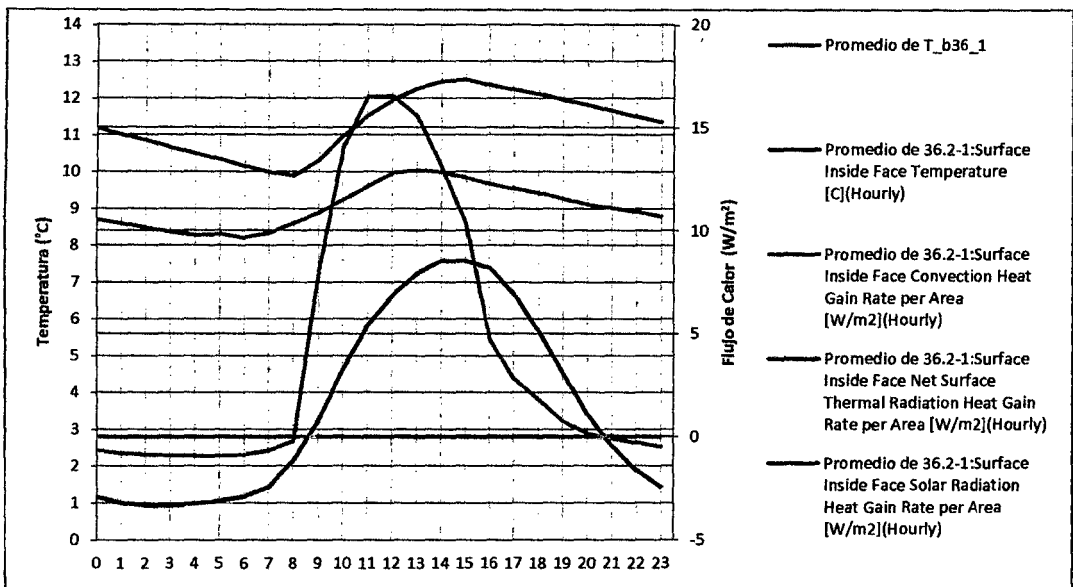


Figura 12 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior 36.1, pared sur sala cocina comedor.

En la superficie interior de la pared oeste de la sala comedor cocina, la temperatura simulada oscila entre 10.5°C y 13.3 °C, mientras que la medida se encuentra entre 9.2 °C y 11 °C, siendo la temperatura simulada mayor que la medida durante todo el día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo da calor a la pared entre las 9h y 19h con un máximo de 14.1 W/m^2 a las 11h, el resto del día pierde calor con un máximo de 1.7 W/m^2 a las 6h. El flujo radiativo brinda calor a la superficie entre las 11 y 19h con un máximo de 4.8 W/m^2 a las 15h, el resto del día pierde calor con un máximo de 5.6 W/m^2 a las 6 h. No existe flujo de radiación solar sobre esta superficie. Ver Figura 13.

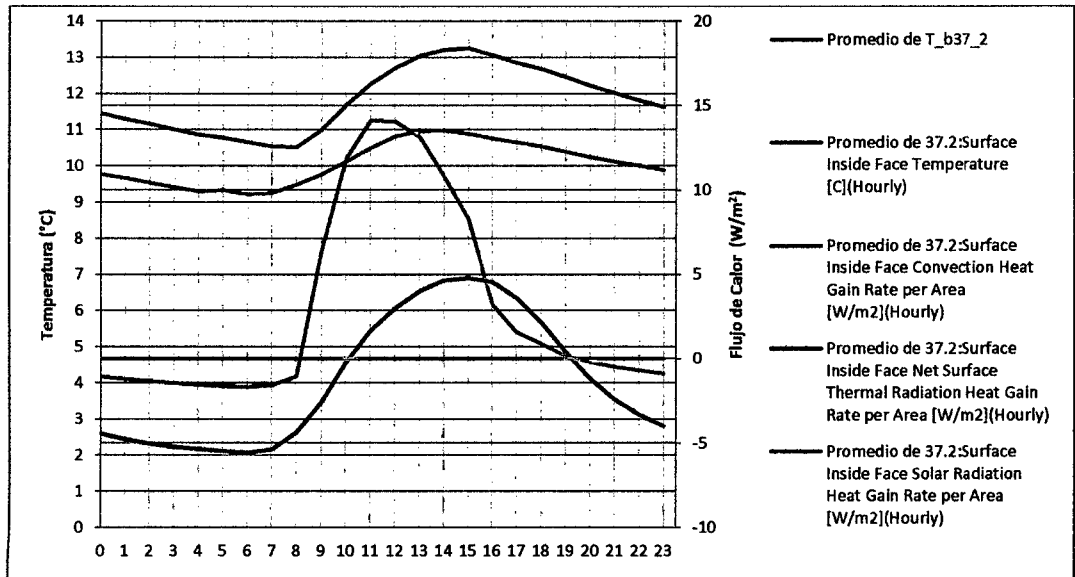


Figura 13 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior 37.2, pared oeste sala cocina comedor

En la superficie interior de la pared norte de la sala comedor cocina, la temperatura simulada oscila entre 11.1 °C y 13.9 °C, mientras que la medida se encuentra entre 9.7 °C y 11.9 °C, siendo la temperatura simulada mayor que la medida durante todo el día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo da calor a la pared entre las 9h y 17 h con un máximo de 12.2 W/m² a las 11h, el resto del día pierde calor con un máximo de 2.9W/m² a las 6 h. El flujo radiativo brinda calor a la superficie entre las 13 y 16h con un máximo de 1.3 W/m² a las 15 h, el resto del día pierde calor con un máximo de 9.9 W/m² a las 7h. No existe flujo de radiación solar sobre esta superficie. Ver Figura 14.

En la superficie interior de la pared oeste de la sala comedor cocina, la temperatura simulada oscila entre 12.7 °C y 15.5°C, mientras que la medida se encuentra entre 9.5°C y 11.2°C, siendo la temperatura simulada mayor que la medida durante todo el día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo da calor a la pared entre las 9 h y 15 h con un máximo de 8.9 W/m² a las 12h, el resto del día pierde calor con un máximo de 8 W/m² a las 1h. El flujo radiativo retira calor a la superficie durante todo el día con un máximo de 19.6 W/m² a las 0 h

y un mínimo de 5.8 W/m^2 a las 14h. No existe flujo de radiación solar sobre esta superficie.

Ver Figura 15.

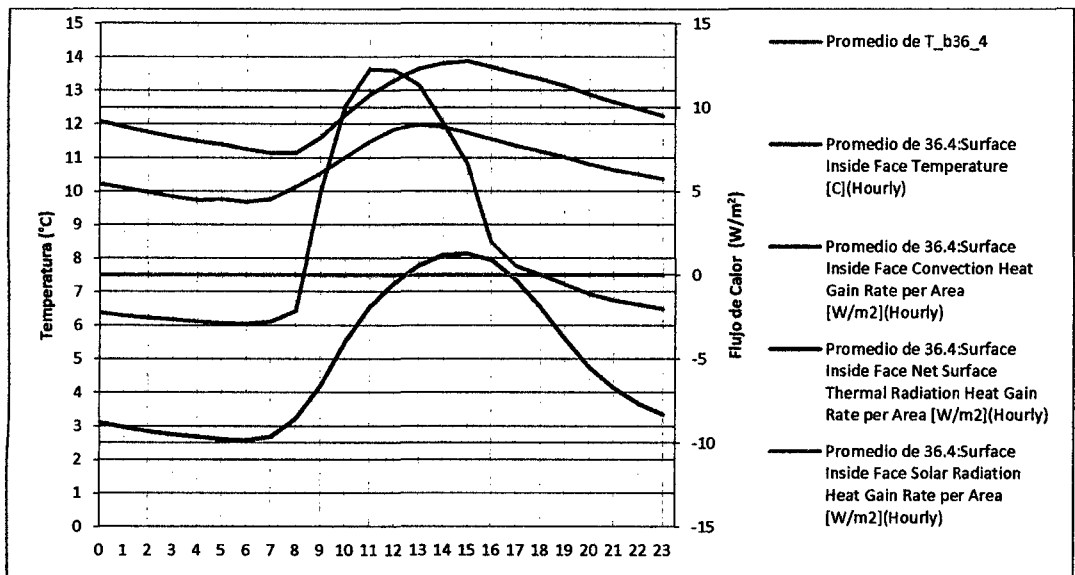


Figura 14 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior 36.4, pared norte sala cocina comedor

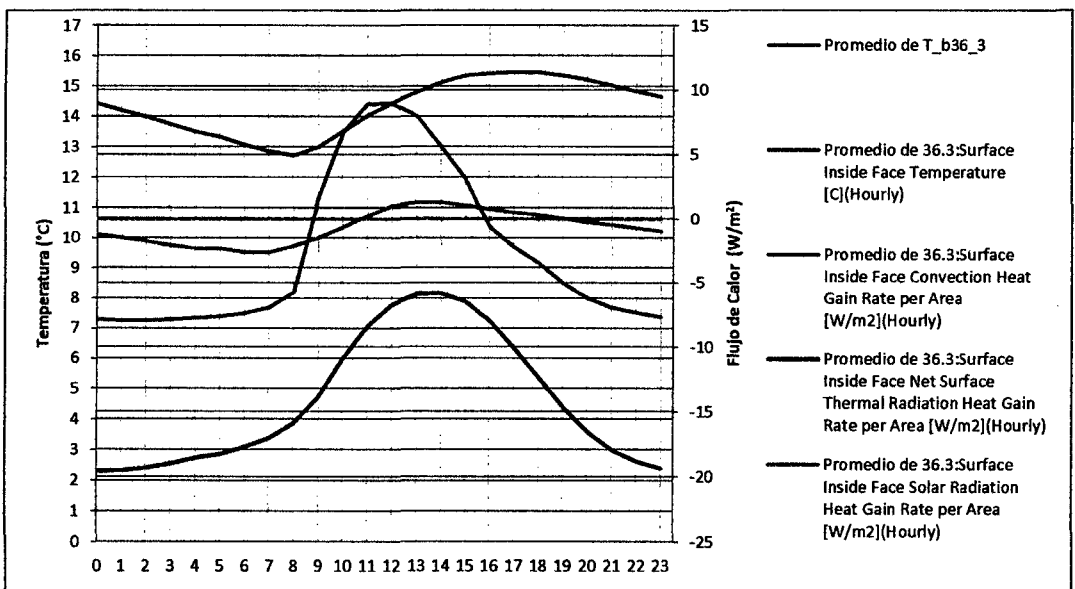


Figura 15 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior 36.3, pared este sala cocina comedor

En la sala comedor cocina, la temperatura superficial interna simulada oscila entre 8.1 °C y 10.4 °C. La temperatura superficial externa simulada es de 7.2 °C durante todo el día mientras que la medida, a una profundidad de 30 cm, oscila entre 6.9 y 7.2 °C, siendo la temperatura simulada exterior menor o igual durante todo el día. Sobre los flujos de calor en la superficie interna, el flujo convectivo da calor al piso durante todo el día con un máximo de 13.3 W/m² a las 12h y un mínimo de 1.1 W/m² a las 7 h. El flujo radiativo entrega calor a la superficie durante todo el día con un máximo de 22.8 W/m² a las 15h y un mínimo de 7.9 W/m² a las 7 h. No existe flujo de radiación solar sobre esta superficie. Ver Figura 16.

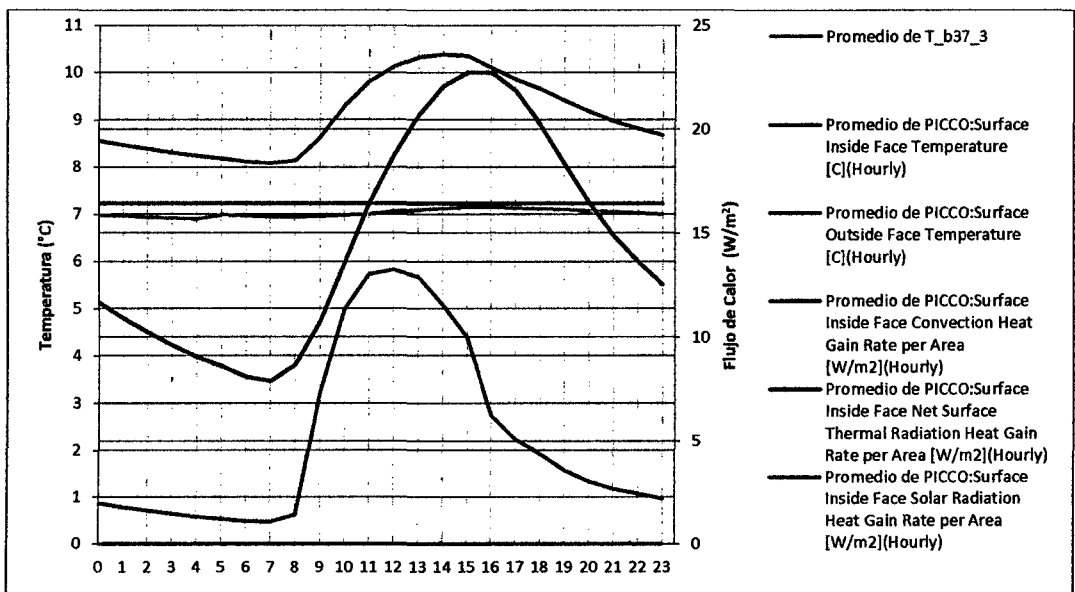


Figura 16 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior picco, piso sala cocina comedor

En la superficie interior del techo de la sala comedor cocina, la temperatura simulada oscila entre 7.8 °C y 17.7 °C, mientras que la medida se encuentra entre 8.9 °C y 16.5 °C, siendo la temperatura medida mayor que la simulada entre las 7 y 12 h. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo retira calor al techo a las 12h y entre las 18h y 21h con un máximo de 2.1 W/m² a las 19 h, el resto del día gana calor con un máximo de 4.2 W/m² a las

14h. El flujo radiativo retira calor a la superficie desde las 15h hasta las 20h con un máximo de 3 W/m^2 a las 17 h y brinda calor el resto del día con un máximo de 14.7 W/m^2 a las 10h. No existe flujo de radiación solar. Ver Figura 17.

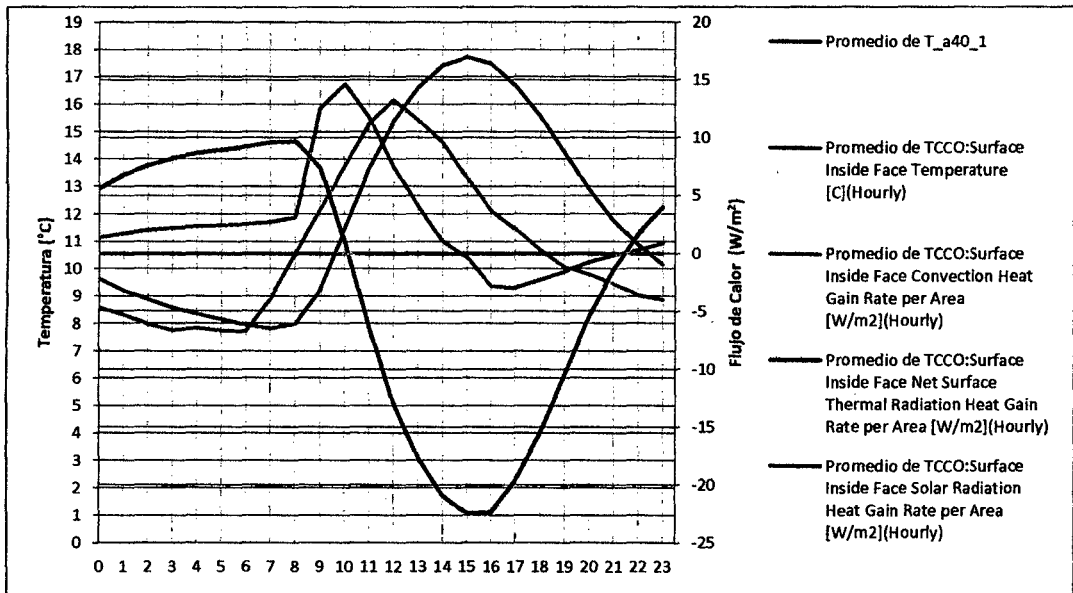


Figura 17 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior tcco, techo sala cocina comedor

En la superficie exterior de la pared sur de la sala comedor cocina, la temperatura simulada oscila entre $3 \text{ }^\circ\text{C}$ y $15.9 \text{ }^\circ\text{C}$, mientras que la medida se encuentra entre $2.3 \text{ }^\circ\text{C}$ y $11.3 \text{ }^\circ\text{C}$, siendo la temperatura simulada mayor que la medida durante todo el día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo retira calor a la pared durante todo el día con un máximo de 10 W/m^2 a las 15 h y un mínimo de 5 W/m^2 a las 8 h. El flujo radiativo retira calor a la superficie durante todo el día con un máximo de 36.7 W/m^2 a las 15h y un mínimo de 27 W/m^2 a las 8 h. El flujo de radiación solar tiene un máximo de 104.9 W/m^2 a las 12 h sobre la superficie. Ver Figura 18.

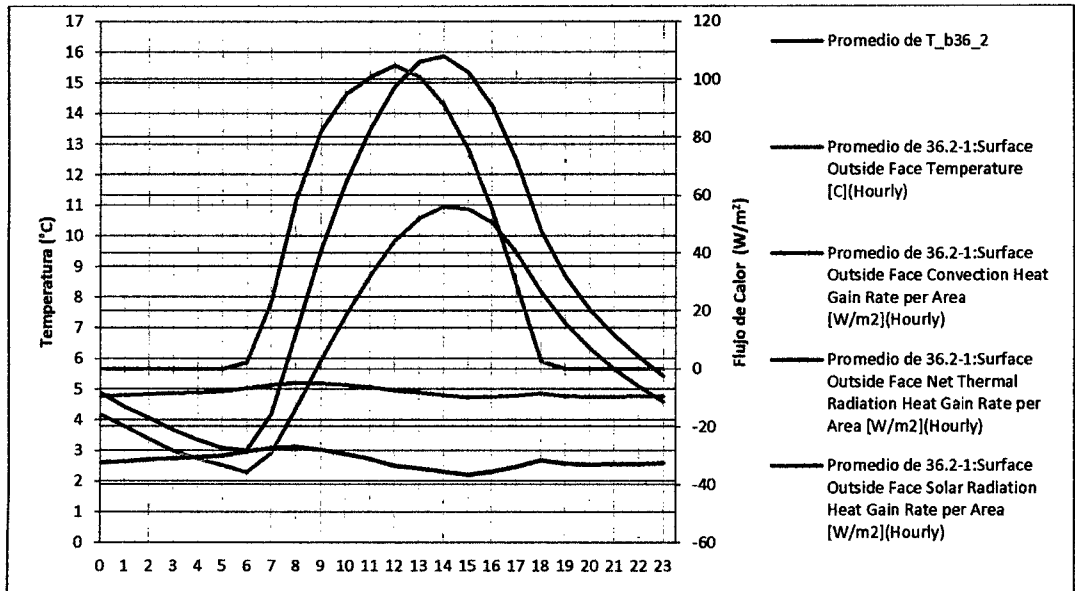


Figura 18 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie exterior 36.2-1, pared sur sala cocina comedor

En la superficie exterior del techo de la sala comedor cocina, la temperatura simulada oscila entre $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que la medida se encuentra entre $-0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $14.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, siendo la temperatura simulada mayor que la medida entre las 8h y 17h del día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo retira calor al techo entre las 7 h y 17 h con un máximo de 199 W/m^2 a las 12h, el resto del día gana calor con un máximo de 11 W/m^2 a las 5h. El flujo radiativo retira calor a la superficie durante todo el día con un máximo de 284 W/m^2 a las 12h y un mínimo de 26 W/m^2 a las 5h. El flujo de radiación solar tiene un máximo de 524 W/m^2 a las 12h. Ver Figura 19, donde se acorto el eje de abscisas para tener una mejor visibilidad del comportamiento térmico, cabe destacar que los flujos que no se aprecian en toda su amplitud tienen formas de campana similares a la radiación solar positiva o negativa, dependiendo del caso.

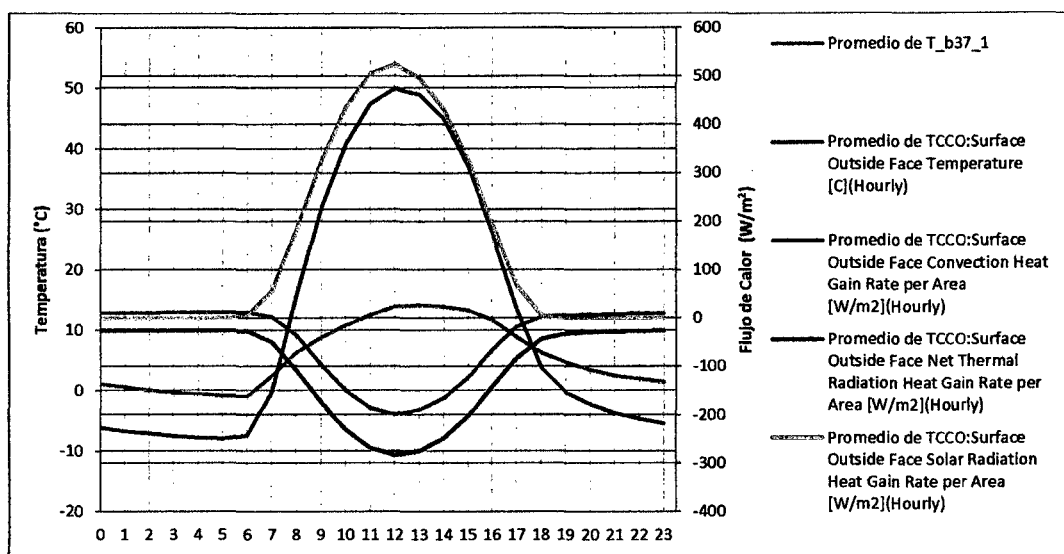


Figura 19 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie exterior tcco, techo sala cocina comedor

9.4.3 Baño

En la superficie interior de la pared sur del baño, la temperatura simulada oscila entre 9.5 °C y 12.5 °C, mientras que la medida se encuentra entre 7.7 °C y 8.8 °C, siendo la temperatura simulada mayor que la medida durante todo el día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo gana calor a la pared entre las 9 h y 18 h con un máximo de 3.3 W/m² a las 13 h, el resto del día pierde calor con un máximo de 2 W/m² a las 4 h. El flujo radiativo gana calor a la superficie entre las 8 y 20 h del día con un máximo de 5.5 W/m² a las 13 h y el resto del día pierde con un máximo de 1.3 W/m² a las 1 h. El flujo de radiación solar tiene un máximo de 35 W/m² a las 15h. Ver Figura 20.

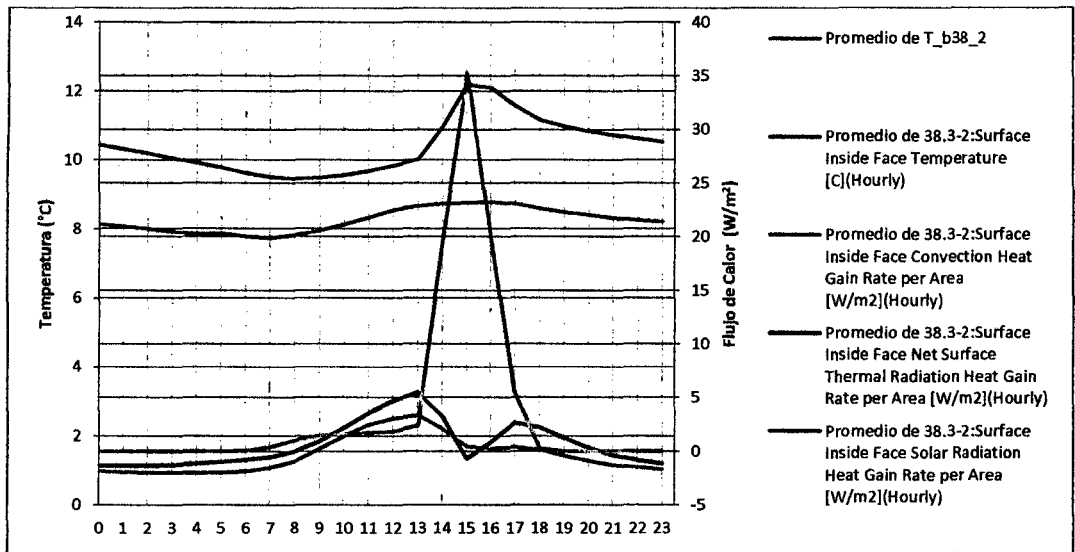


Figura 20 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior 38.2, pared sur baño

En la superficie interior de la pared oeste del baño, la temperatura simulada oscila entre 10 °C y 11 °C, mientras que la medida se encuentra entre 8.2 °C y 9 °C, siendo la temperatura simulada mayor que la medida durante todo el día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo gana calor a la pared entre las 10 h y 15 h con un máximo de 1.4 W/m² a las 14 h, el resto del día pierde calor con un máximo de 3.2 W/m² a las 6 h. El flujo radiativo gana calor a la superficie entre las 13 y 15 h del día con un máximo de 7.3 W/m² a las 16 h y el resto del día pierde con un máximo de 4.5 W/m² a las 3 h. El flujo de radiación solar tiene un máximo de 2.4 W/m² a las 15h. Ver Figura 21.

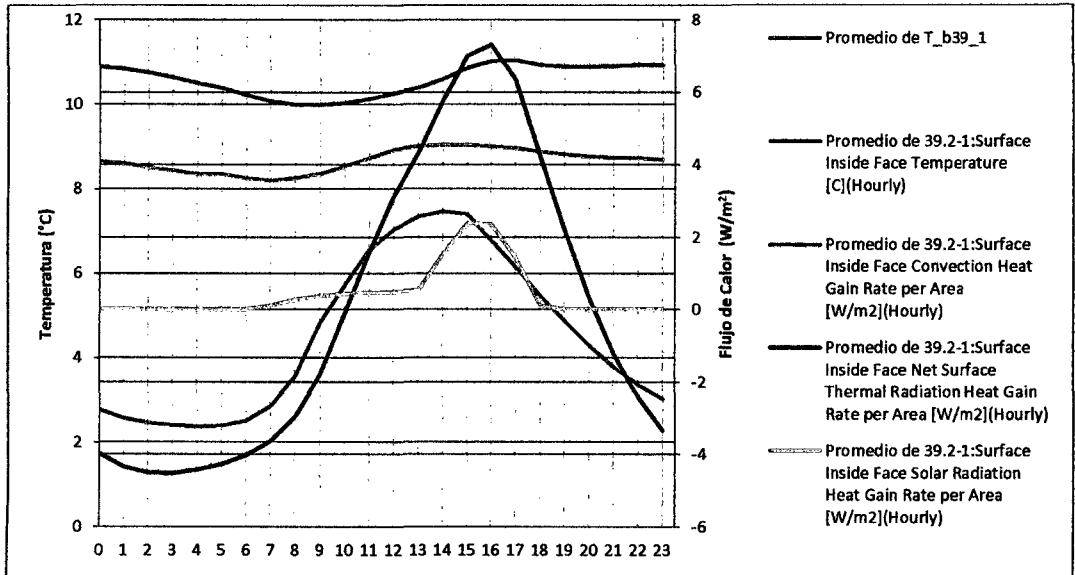


Figura 21 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior 39.2-1, pared oeste baño

En la superficie interior de la pared norte del baño, la temperatura simulada oscila entre 11 °C y 12.5 °C, mientras que la medida se encuentra entre 9.5 °C y 10.5 °C, siendo la temperatura simulada mayor que la medida durante todo el día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo gana calor a la pared entre las 12 h y 15 h con un máximo de 0.3 W/m² a las 14 h, el resto del día pierde calor con un máximo de 4.9 W/m² a las 6 h. El flujo radiativo pierde calor a la superficie durante todo el día con un máximo de 8.2 W/m² a las 7 h y un mínimo de 1.3 W/m² a las 16 h. El flujo de radiación solar tiene un máximo de 4 W/m² a las 15 h. Ver Figura 22.

En la superficie interior de la pared este del baño, la temperatura simulada oscila entre 10.2 °C y 12.4 °C, mientras que la medida se encuentra entre 9 °C y 10.1 °C, siendo la temperatura simulada mayor que la medida durante todo el día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo gana calor a la pared entre las 10 h y 15 h con un máximo de 1.4 W/m² a las 14 h, el resto del día pierde calor con un máximo de 3.2 W/m² a las 6 h. El flujo radiativo gana calor a la superficie entre las 13 y 15 h con un máximo de 1.4 W/m² a las 15 h y el resto del día pierde con un máximo de 4.8 W/m² a las 7 h. El flujo de radiación solar tiene un máximo de 18 W/m² a las 16 h. Ver Figura 23.

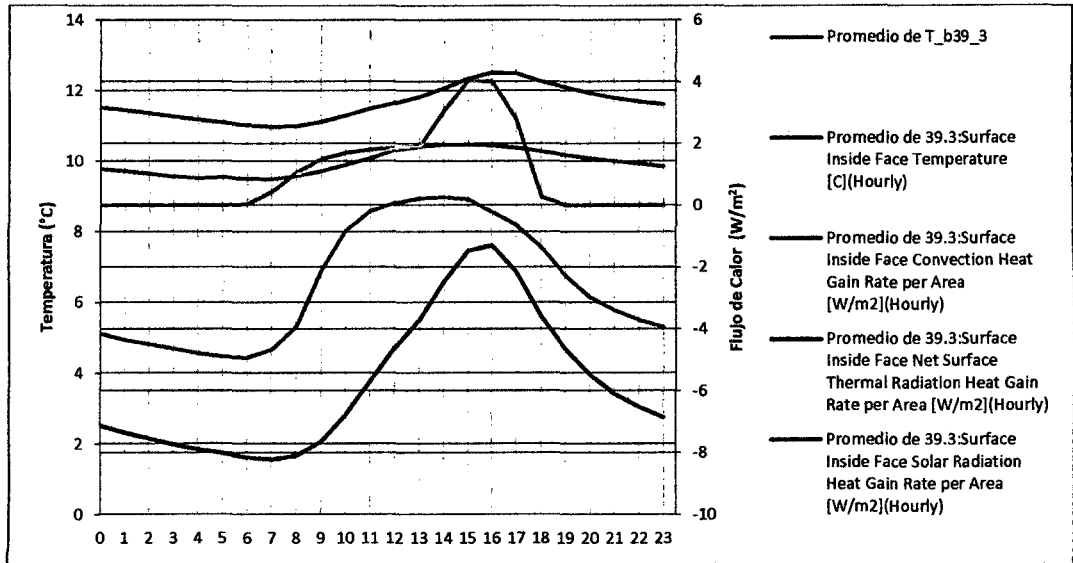


Figura 22 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior 39.3, pared norte baño

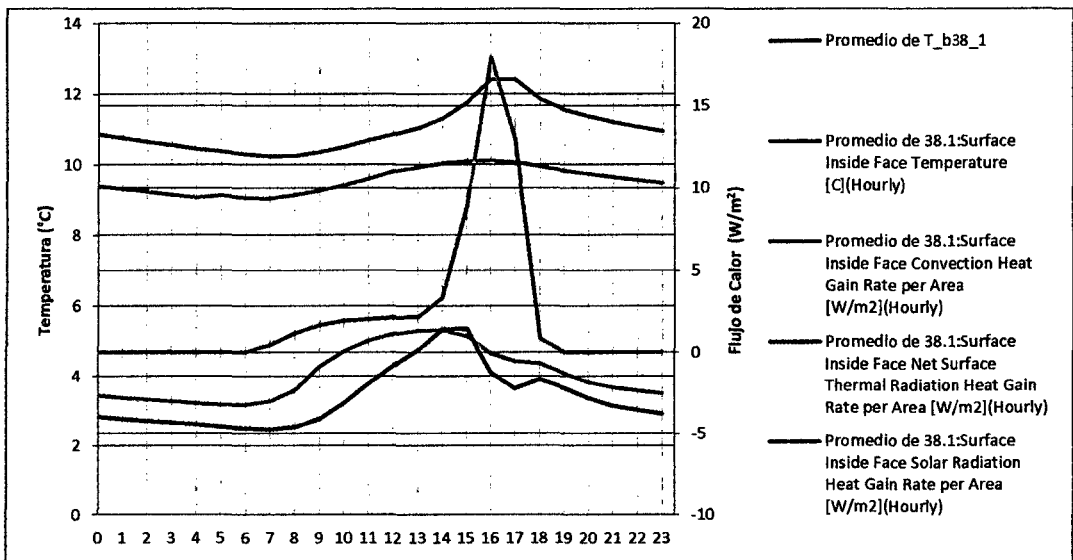


Figura 23 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior 38.1, pared este baño

En la superficie exterior de la pared sur del baño, la temperatura simulada oscila entre 2.8 °C y 15.7 °C, mientras que la medida se encuentra entre 2.6 °C y 10.7 °C, siendo la temperatura simulada mayor que la medida durante todo el día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo pierde calor a la pared durante todo el día con un máximo de 9.5 W/m² a

las 15 h y un mínimo de 4.5 W/m^2 a las 8 h. El flujo radiativo retira calor a la superficie durante todo el día con un máximo de 36.2 W/m^2 a las 15 h y un mínimo de 26.4 W/m^2 a las 8 h. El flujo de radiación solar tiene un máximo de 106 W/m^2 a las 12 h. Ver Figura 24.

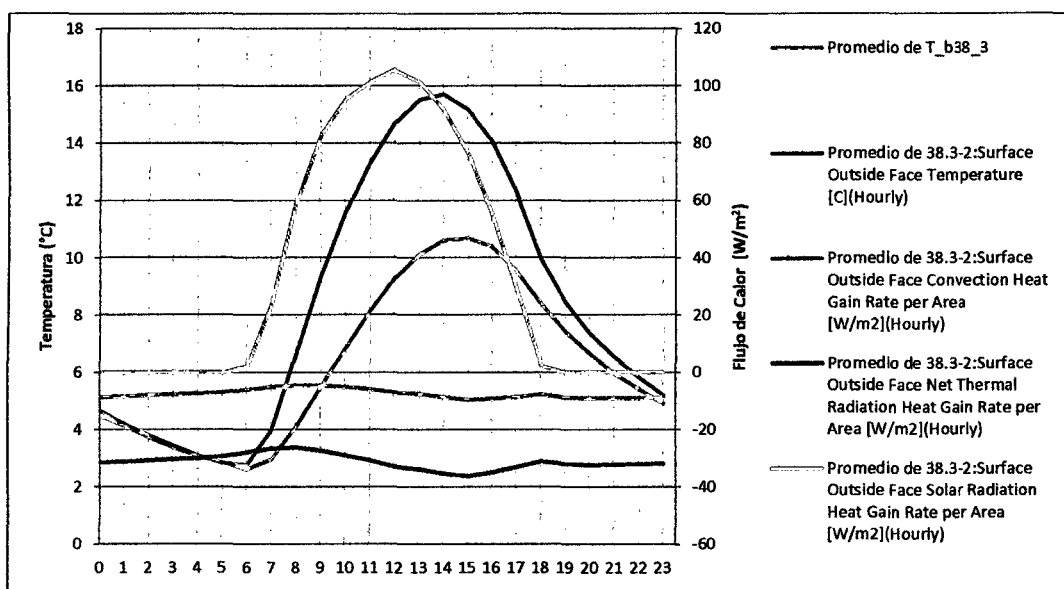


Figura 24 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie exterior 38.3-2, pared sur baño

En la superficie exterior de la pared oeste del baño, la temperatura simulada oscila entre $3.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $29.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que la medida se encuentra entre $1.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $14.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$, siendo la temperatura simulada mayor que la medida durante todo el día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo gana calor a la pared entre las 11 y 12 horas con un máximo de 1 W/m^2 a las 12 h y el resto del día pierde un máximo de 68 W/m^2 a las 16 h. El flujo radiativo retira calor a la superficie durante todo el día con un máximo de 114 W/m^2 a las 16 h y un mínimo de 13 W/m^2 a las 12 h. El flujo de radiación solar tiene un máximo de 352 W/m^2 a las 16 h. Ver Figura 25.

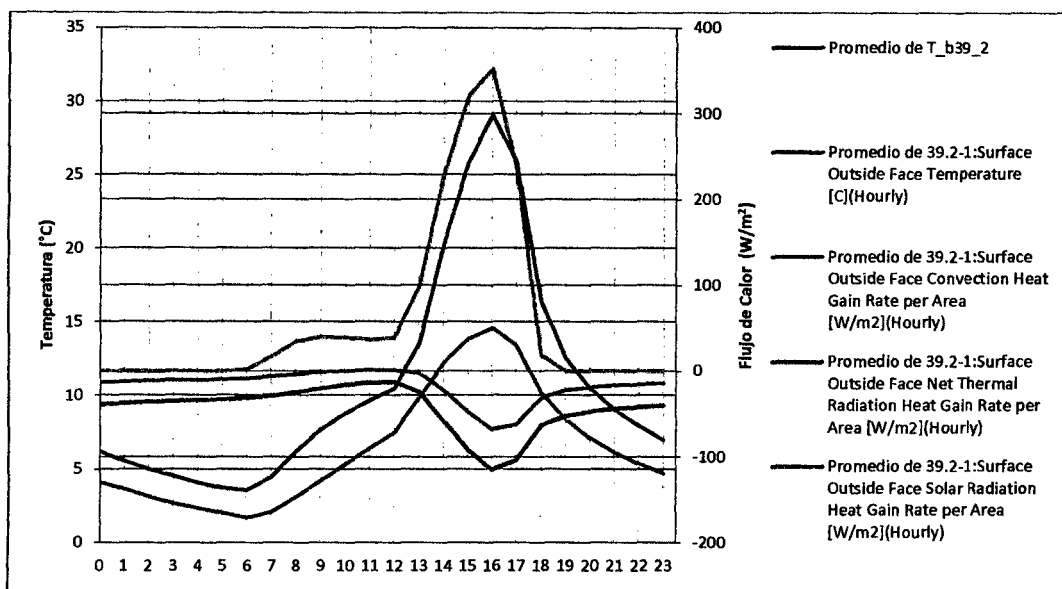


Figura 25 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie exterior 39.2-1, pared oeste baño

9.4.4 Invernadero Este

Para el invernadero este, la temperatura simulada es inferior a la medida entre las 7h y 14h, con una diferencia máxima de 14.6°C a las 9h, el resto del día la temperatura medida es menor por no más de 8°C. El promedio más alto de temperatura simulada es a las 11h y la medida a las 10h, con una diferencia de 12.8°C. El promedio mínimo de temperatura simulada es a las 6h y la medida es a las 5h, con una diferencia de 6.4°C. La amplitud de la temperatura del modelo es menor que la medición. Ver Figura 26 y Figura 10.

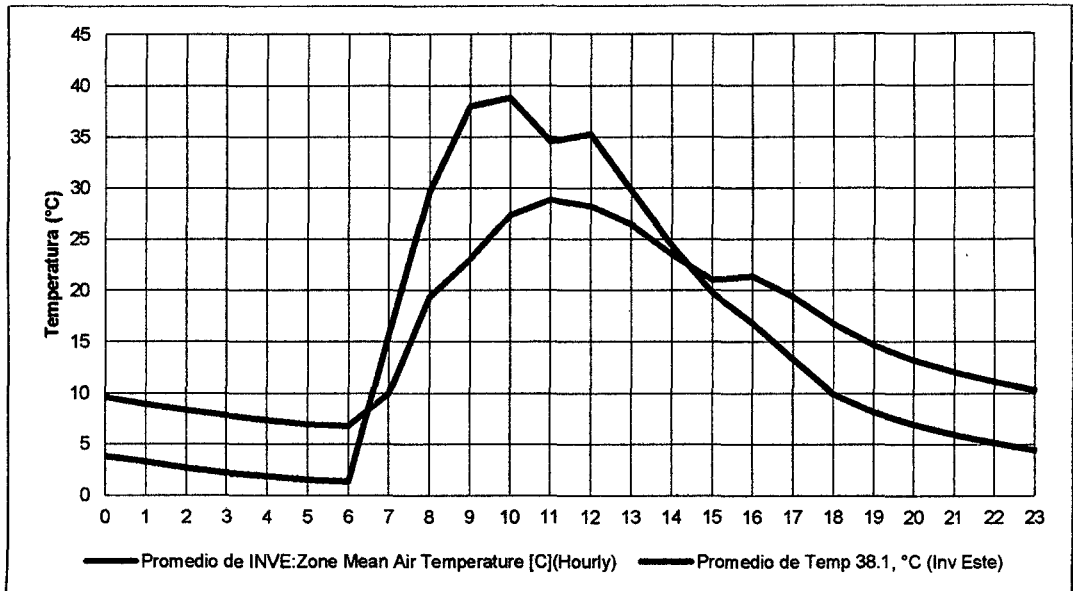


Figura 26 comparación entre datos medidos y simulados del invernadero este.

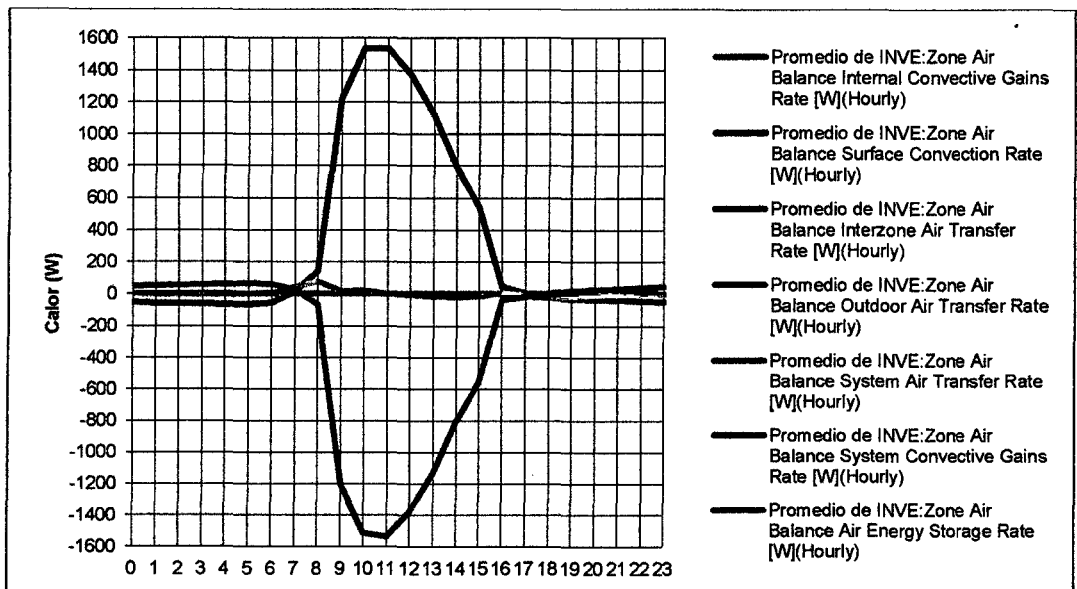


Figura 27 promedio horario de calor en el aire del invernadero este

Con respecto al flujo de calor en el aire del invernadero este, las superficies entregan calor al aire entre las 8h y 17h, la mayor potencia simulada es no mayor a 1200W a las 10h, el resto del día las superficies toman calor del aire a una tasa no mayor de 75W. El flujo con respecto al intercambio de aire con otras zonas de la vivienda es inverso con respecto al de las

superficies y en similar magnitud. En comparación con los flujos antes mencionados, los demás no son significativos. Ver Figura 27.

En la superficie interior de la pared oeste lado sur del invernadero este, la temperatura simulada oscila entre 11.6 °C y 40.8 °C, mientras que la medida se encuentra entre 7.6 °C y 23.8 °C, siendo la temperatura simulada mayor que la medida durante todo el día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo toma calor de la superficie durante todo el día con un máximo de 46.4 W/m² a las 9 h y un mínimo de 10 W/m² a las 17 h. El flujo radiativo retira calor a la superficie durante todo el día con un máximo de 69 W/m² a las 9 h y un mínimo de 9 W/m² a las 12 h. El flujo de radiación solar tiene un máximo de 382 W/m² a las 9 h. Ver Figura 28.

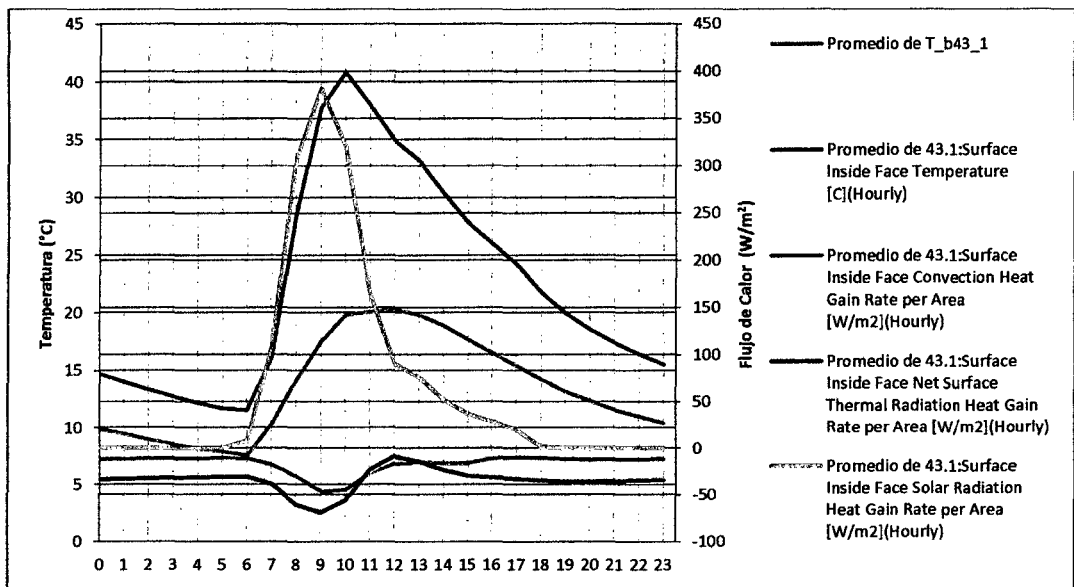


Figura 28 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior 43.1, pared oeste mitad sur invernadero este

En la superficie interior de la pared oeste lado norte del invernadero este, la temperatura simulada oscila entre 11.9 °C y 40 °C, mientras que la medida se encuentra entre 6.8 °C y 21.1 °C, siendo la temperatura simulada mayor que la medida durante todo el día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo toma calor de la superficie durante todo el día con un máximo de 43.3 W/m² a las 9 h y un mínimo de 11.4 W/m² a las 16 h. El flujo

radiativo retira calor a la superficie durante todo el día con un máximo de 64 W/m^2 a las 9 h y un mínimo de 8 W/m^2 a las 12 h. El flujo de radiación solar tiene un máximo de 359 W/m^2 a las 9 h. Ver Figura 29.

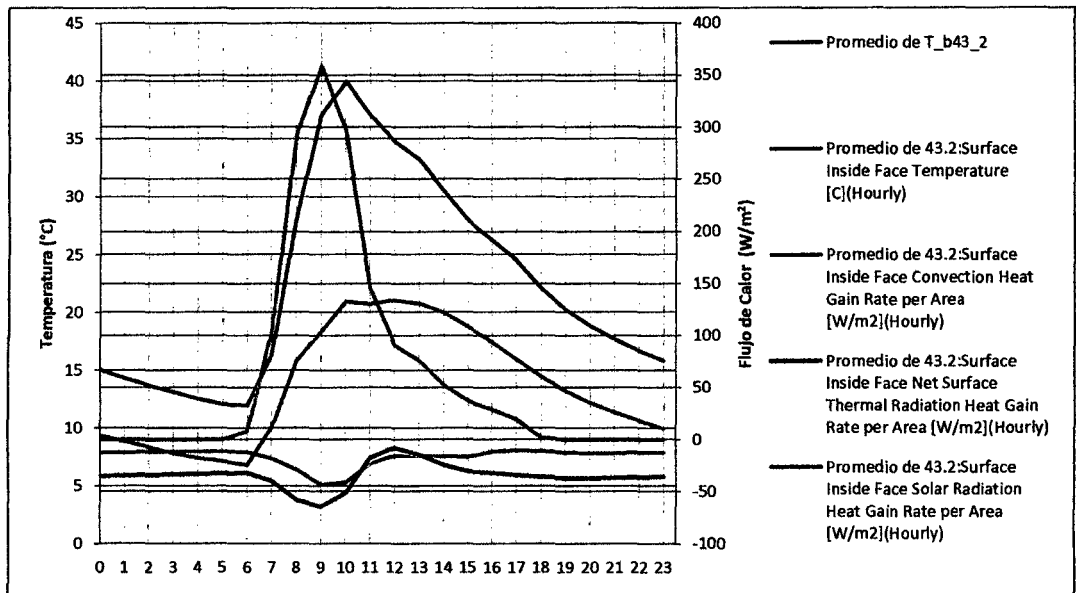


Figura 29 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior 43.2, pared oeste mitada norte invernadero este

En el piso del invernadero este, la temperatura superficial interior simulada oscila entre $10.3 \text{ }^\circ\text{C}$ y $46.3 \text{ }^\circ\text{C}$, la exterior es $7.2 \text{ }^\circ\text{C}$ constante y la medida a 30 cm de profundidad oscila entre $7.6 \text{ }^\circ\text{C}$ y 20.3 . Sobre los flujos de calor, el flujo convectivo toma calor de la superficie interior durante todo el día con un máximo de 71 W/m^2 a las 12 h y un mínimo de 5 W/m^2 a las 8 h. El flujo radiativo retira calor a la superficie durante todo el día con un máximo de 100 W/m^2 a las 12 h y un mínimo de 5 W/m^2 a las 8 h. El flujo de radiación solar tiene un máximo de 456 W/m^2 a las 11 h. Ver Figura 30.

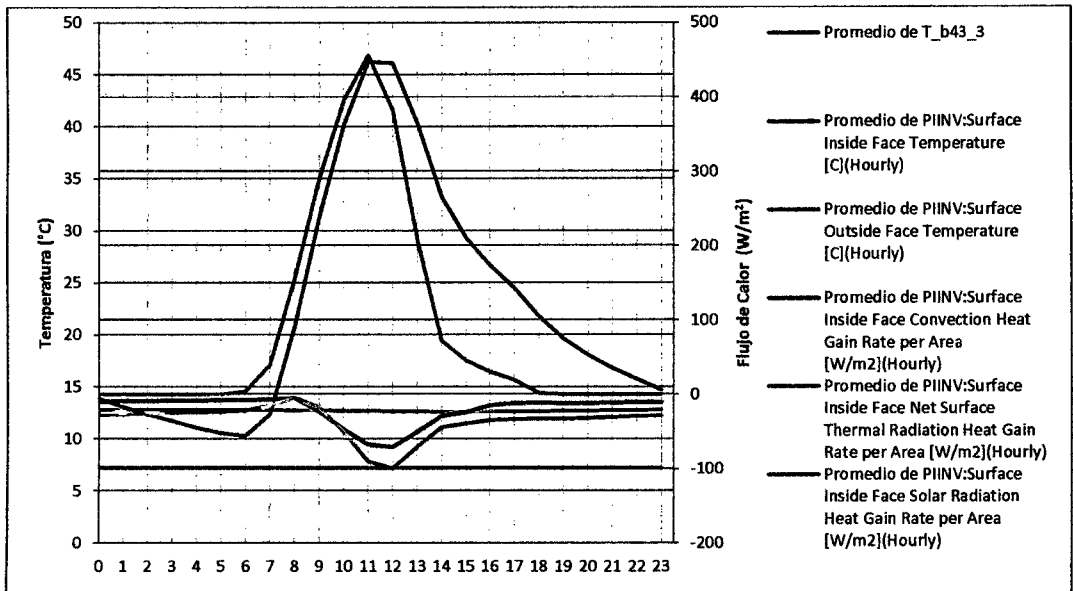


Figura 30 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior piinv, piso invernadero este

9.4.5 Invernadero Oeste

Para el invernadero oeste, la temperatura simulada es inferior a la medida entre las 9 h y 16 h, con una diferencia máxima de 19.8 °C a las 13 h, el resto del día la temperatura medida es menor por no más de 11 °C. El promedio más alto de temperatura simulada y medida coincide a las 15 h, con una diferencia de 15.6 °C. El promedio mínimo de temperatura simulada y medida coincide a las 6h, con una diferencia de 10.7 °C. La amplitud de la temperatura del modelo es menor que la medición. Ver Figura 31.

Con respecto al flujo de calor en el aire del invernadero oeste, las superficies entregan calor al aire entre las 6 h y 18 h, la mayor potencia simulada es no mayor a 1045 W a las 15 h, el resto del día las superficies toman calor del aire a una tasa no mayor de 8 W a las 20 h. El flujo con respecto al intercambio de aire con otras zonas de la vivienda se pierde calor entre las 13 h y 18 h con un máximo de 1041 W. En comparación con los flujos antes mencionados, los demás no son significativos. Ver Figura 32.

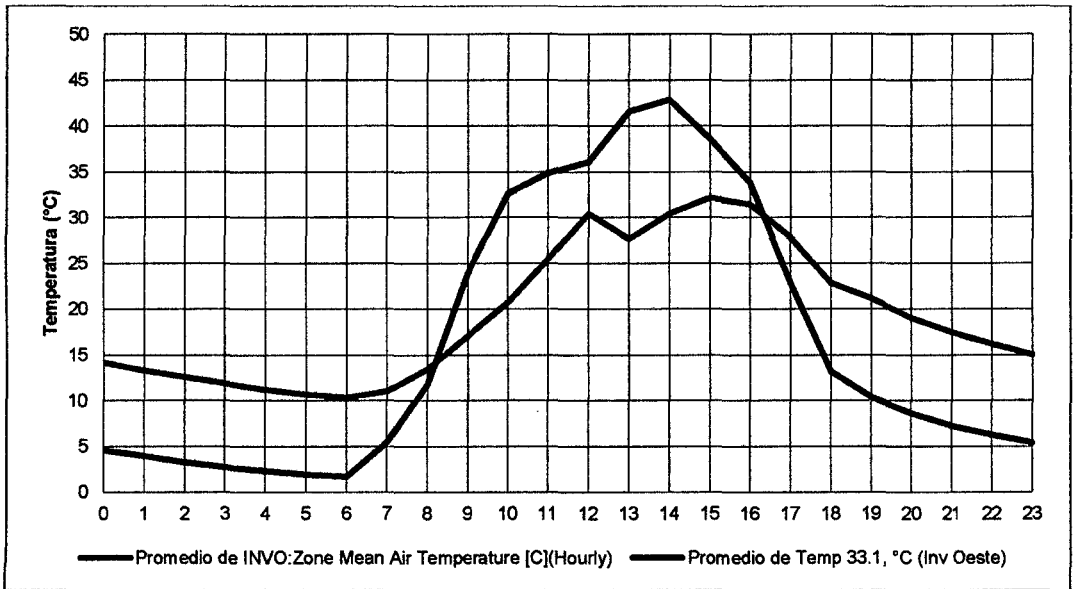


FIGURA 31 COMPARACIÓN ENTRE DATOS MEDIDOS Y SIMULADOS DEL INVERNADERO OESTE

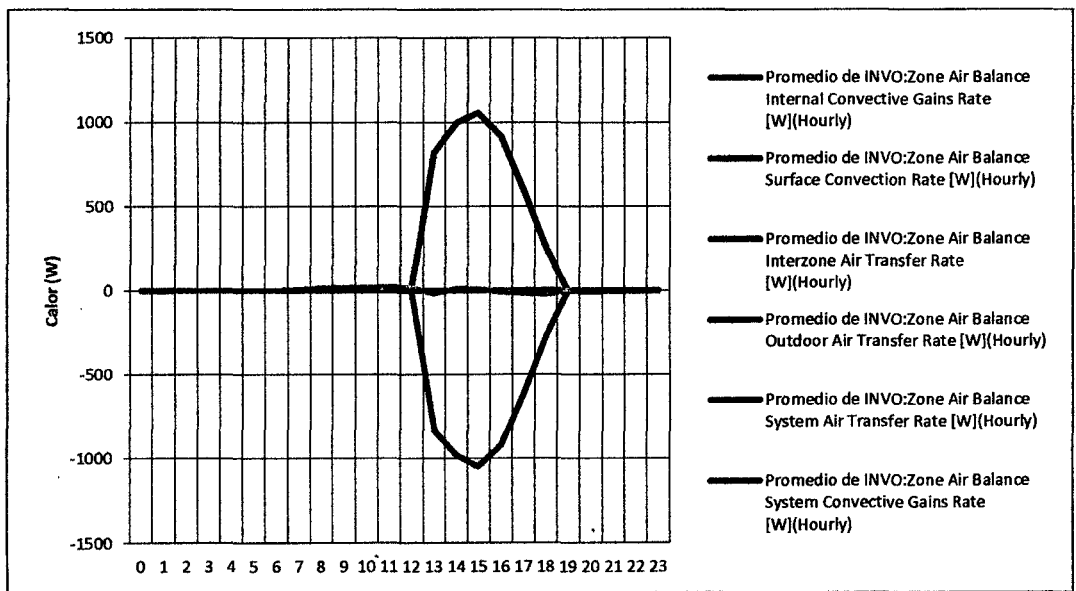


Figura 32 promedio horario de calor en el aire del invernadero oeste

En la superficie interior de la pared este del invernadero oeste, la temperatura simulada oscila entre 15.9 °C y 47.7 °C, mientras que la medida se encuentra entre 8 °C y 24.4 °C, siendo la

temperatura simulada mayor que la medida durante todo el día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo toma calor de la superficie durante casi todo el día con un máximo de 53 W/m^2 a las 16 h y brinda calor a 2 W/m^2 a las 12 h. El flujo radiativo brinda calor a la superficie entre las 11 y 13 h con un máximo de 11 W/m^2 a las 12 h y retira calor el resto del día con un máximo de 83 W/m^2 a las 16 h. El flujo de radiación solar tiene un máximo de 369 W/m^2 a las 15 h. Ver Figura 33.

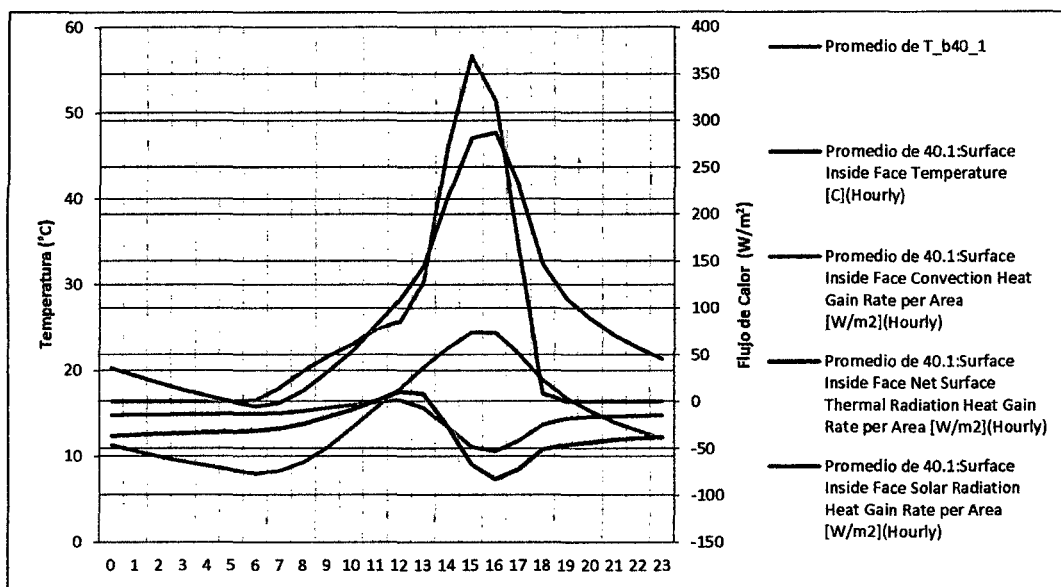


Figura 33 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior 40.1, pared este invernadero oeste

En la superficie interior de la pared sur del invernadero oeste, la temperatura simulada oscila entre $14.7 \text{ }^\circ\text{C}$ y $43.6 \text{ }^\circ\text{C}$, mientras que la medida se encuentra entre $6.5 \text{ }^\circ\text{C}$ y $22.1 \text{ }^\circ\text{C}$, siendo la temperatura simulada mayor que la medida durante todo el día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo toma calor de la superficie durante todo el día con un máximo de 38 W/m^2 a las 14 h y un mínimo de 4 W/m^2 a las 9 h. El flujo radiativo retira calor a la superficie durante todo el día con un máximo de 42 W/m^2 a las 13 h y un mínimo de 10 W/m^2 a las 9 h. El flujo de radiación solar tiene un máximo de 282 W/m^2 a las 13 h. Ver Figura 34.

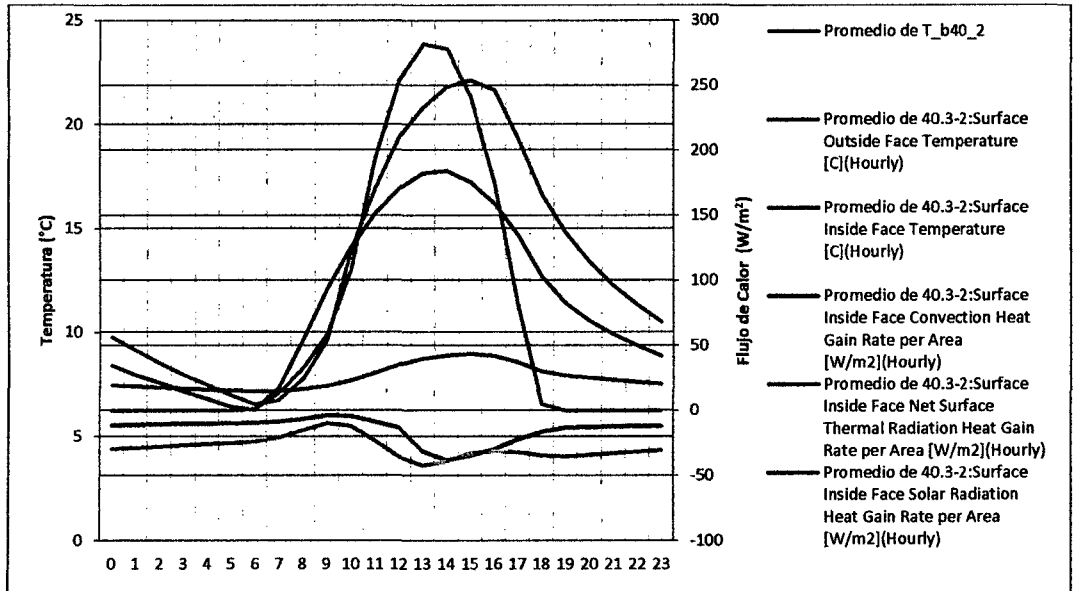


Figura 34 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie interior 40.3-2, pared sur invernadero oeste

En el piso del invernadero oeste, la temperatura superficial interior simulada oscila entre 10.3 °C y 46.3 °C y la exterior es 7.2 °C constante. No se realizó mediciones en esta superficie. Sobre los flujos de calor, el flujo convectivo toma calor de la superficie interior durante todo el día con un máximo de 60 W/m² a las 14 h y un mínimo de 3 W/m² a las 10 h. El flujo radiativo retira calor a la superficie durante todo el día con un máximo de 81 W/m² a las 13 h y un mínimo de 8 W/m² a las 9 h. El flujo de radiación solar tiene un máximo de 395 W/m² a las 13 h. Ver Figura 35.

En la superficie exterior de la pared sur del invernadero oeste, la temperatura simulada oscila entre 6.3 °C y 17.8 °C, mientras que la medida se encuentra entre 2.2 °C y 10.6 °C, siendo la temperatura simulada mayor que la medida durante todo el día. Sobre los flujos de calor en la superficie, el flujo convectivo toma calor de la superficie durante todo el día con un máximo de 21 W/m² a las 0 h y un mínimo de 12 W/m² a las 9 h. El flujo radiativo retira calor a la superficie durante todo el día con un máximo de 47 W/m² a las 0 h y un mínimo de 38 W/m² a las 8 h. El flujo de radiación solar tiene un máximo de 98 W/m² a las 12 h. Ver Figura 36.

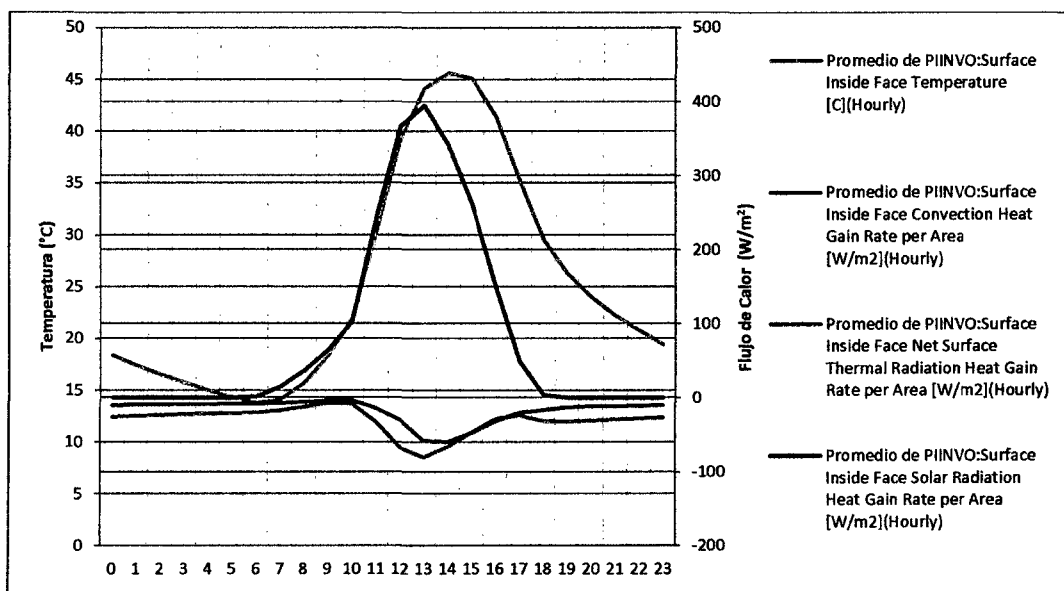


Figura 35 promedio horario de temperatura y flujos de calor simulado de la superficie interior piinvo, piso invernadero oeste

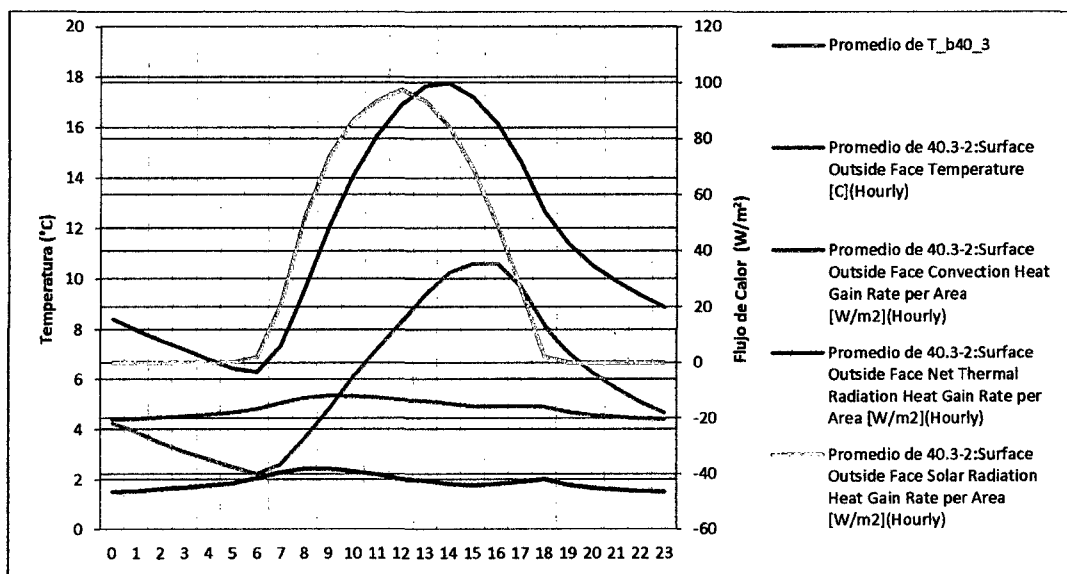


Figura 36 promedio horario de temperaturas (medida y simulada) y flujos de calor simulado de la superficie exterior 40.3-2, pared sur invernadero oeste

9.5 Ajustes entre modelo y Mediciones (complemento)

9.5 Anexo: Ajustes entre modelo y Mediciones (complemento)

Este apéndice pertenece a la tesis titulada DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN TÉRMICA DE UN MÓDULO DE VIVIENDA RURAL EN LA LOCALIDAD DE VILCALLAMAS ARRIBA, DISTRITO DE PISACOMA, PROVINCIA DE CHUCUITO, REGIÓN PUNO. Complementa el punto 5.6.

Los resultados se muestran en 3 grupos de graficas por cada punto de comparación medido, estos grupos fueron configurados solo con el criterio de mostrar 3 graficas en lugar de una, facilitando la visualización de los datos.

9.5.1 Dormitorio 2

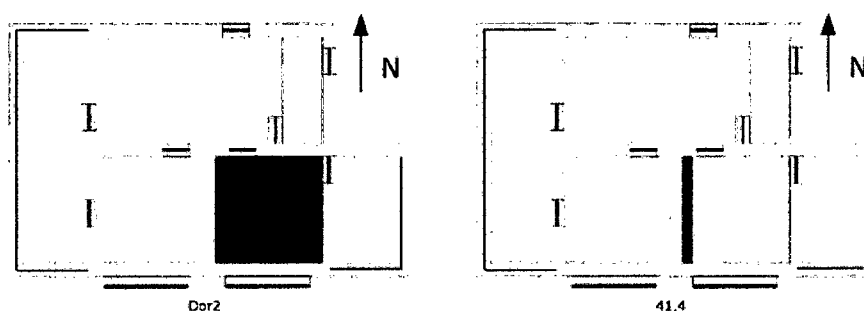


Figura 1 vistas de planta de la vivienda señalando las zonas y áreas de medición en el dormitorio 2 (i).

Para la temperatura DOR2, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 1, 45, 44, 15, 4, 0, 6, 42, 34, 31, 28 y 19. Ver Figura 2.

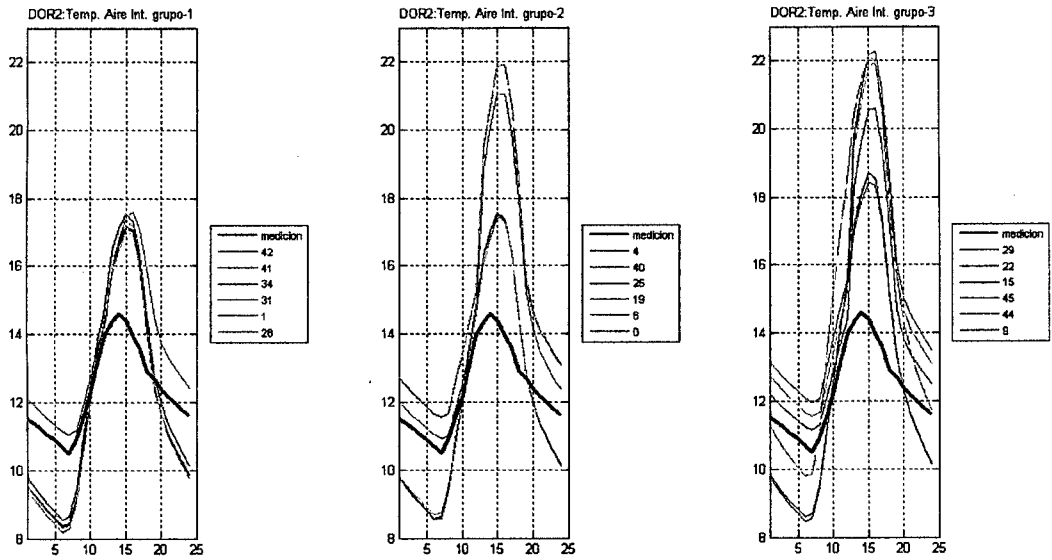


Figura 2 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura de aire interior del dormitorio 2.

Para la temperatura 41.4, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 19, 1, 29, 15, 45, 44, 41, 4, 42, 40, 34 y 25. Ver Figura 3.

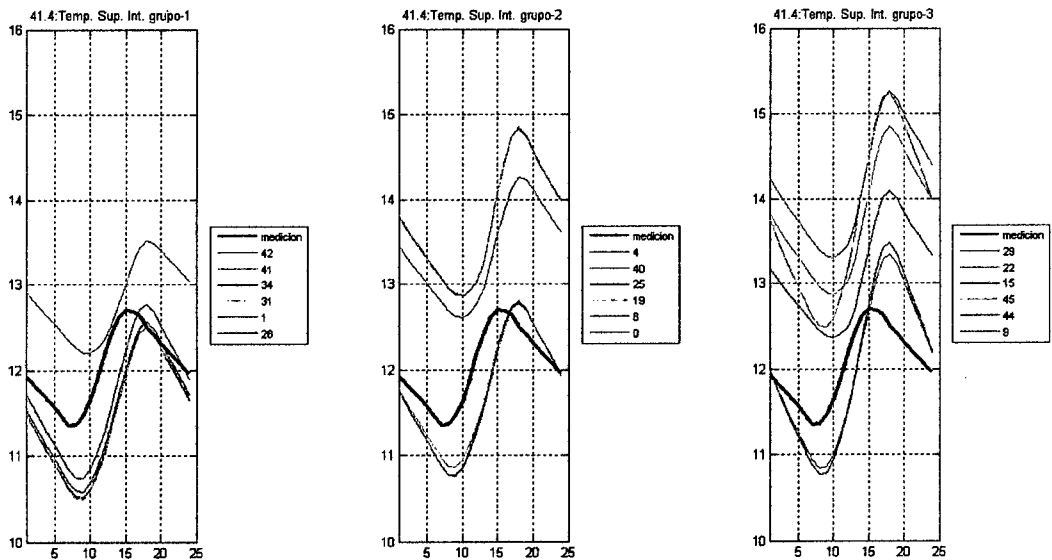


Figura 3 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie interior 41.4 del dormitorio 2.

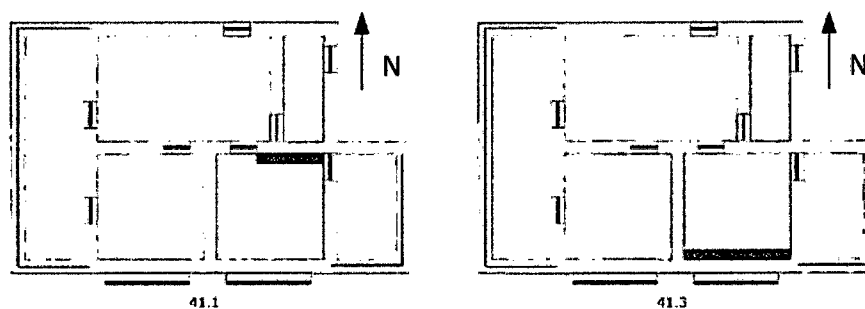


Figura 4 vistas de planta de la vivienda señalando las zonas y áreas de medición en el dormitorio 2 (ii)

Para la temperatura 41.1, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 19, 29, 22, 1, 42, 34, 15, 4, 44, 41, 31, 40, 6 y 0. Ver Figura 5.

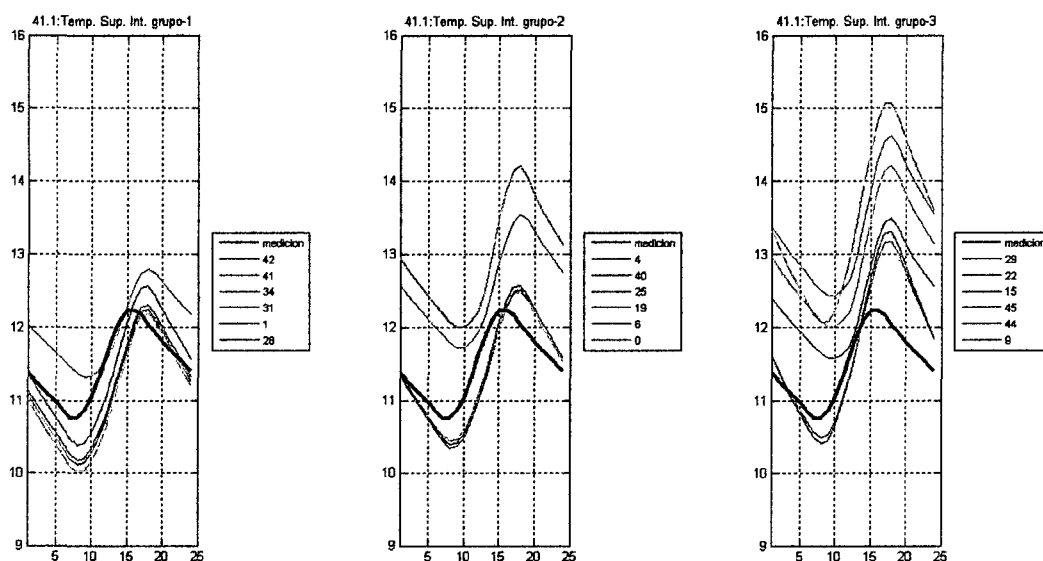


Figura 5 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie interior 41.1 del dormitorio 2.

Para la temperatura 41.3, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 42, 31, 28, 25, 34, 29, 19, 1, 15, 41, 22 y 4. Ver Figura 6.

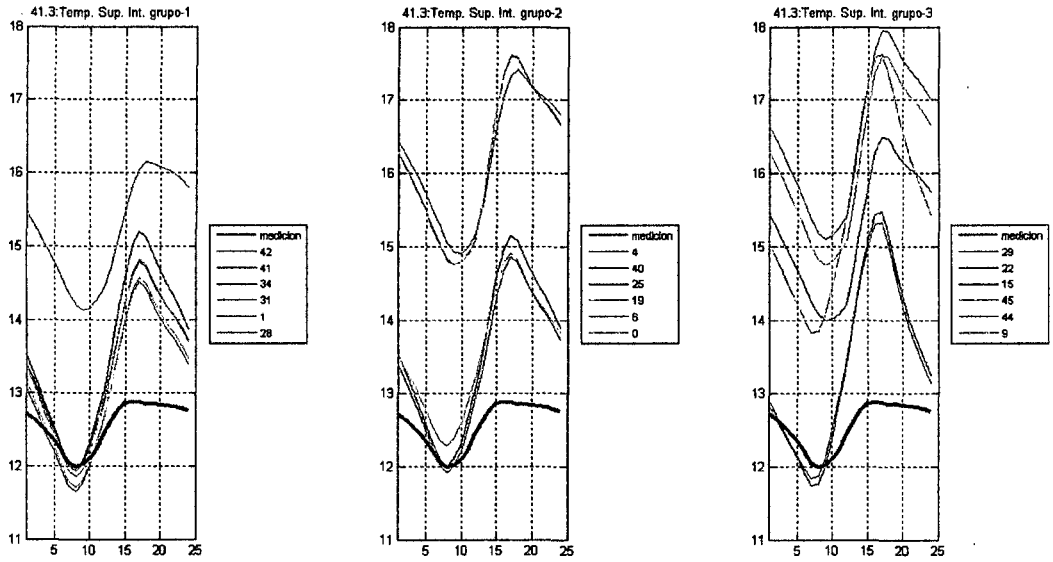


Figura 6 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie interior 41.3 del dormitorio 2.

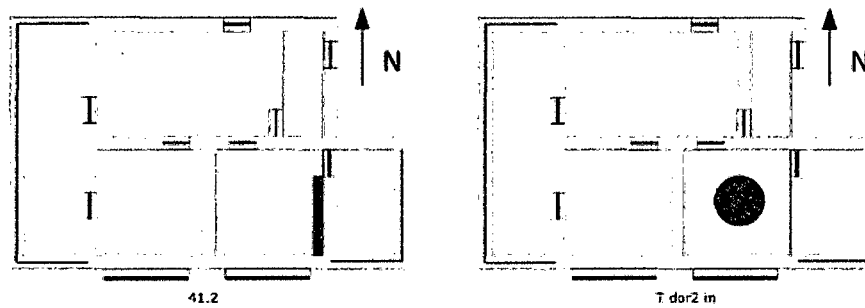


Figura 7 vistas de planta de la vivienda señalando las zonas y áreas de medición en el dormitorio 2 (iii)

Para la temperatura 41.2, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 34, 31, 28, 42, 25, 19, 29, 22, 15, 4 y 1. Ver Figura 8.

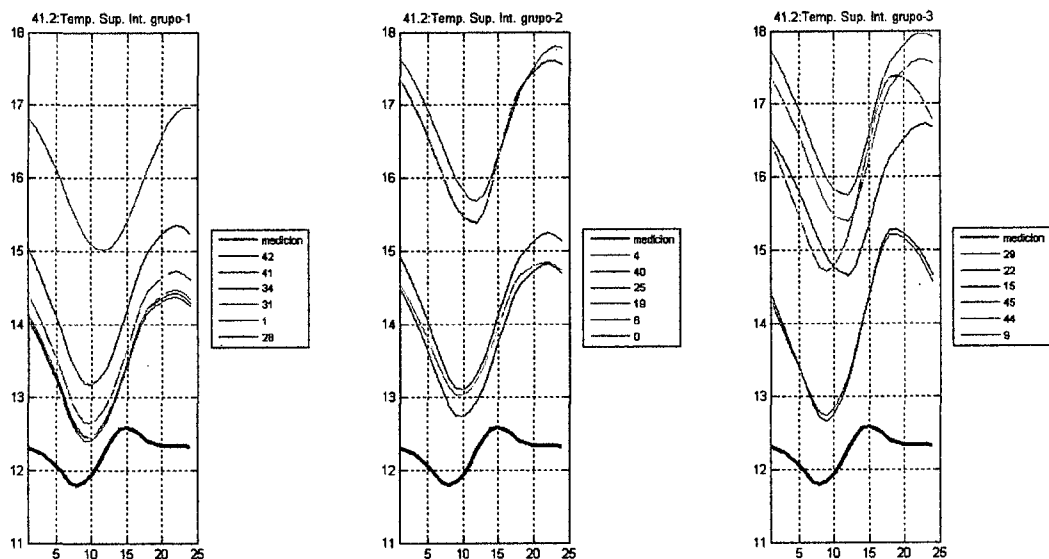


Figura 8 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie interior 41.2 del dormitorio 2.

Para la temperatura TDOR2, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 34, 42, 19, 31, 41, 25, 40, 44, 28, 1 y 0. Ver Figura 9.

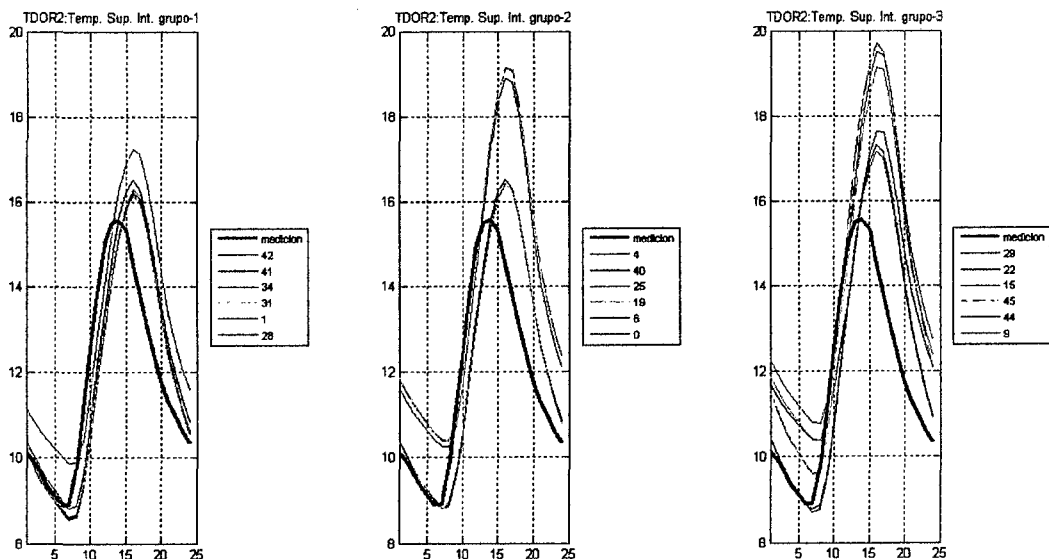


Figura 9 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie interior tdor2 del dormitorio 2.

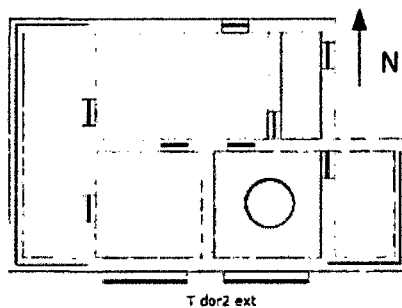


Figura 10 vistas de planta de la vivienda señalando las zonas y áreas de medición en el dormitorio 2 (iv)

Para la temperatura TDOR2 exterior, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 15, 41, 40, 22, 42, 29, 34 y 31. Ver Figura 11.

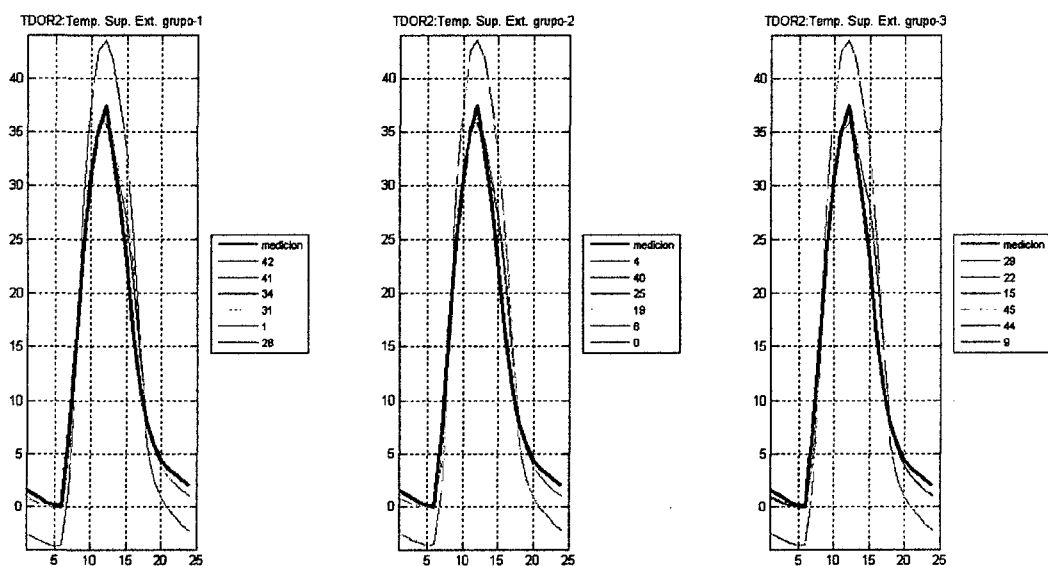


Figura 11 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie exterior tdor2 del dormitorio 2.

9.5.2 Sala Comedor Cocina

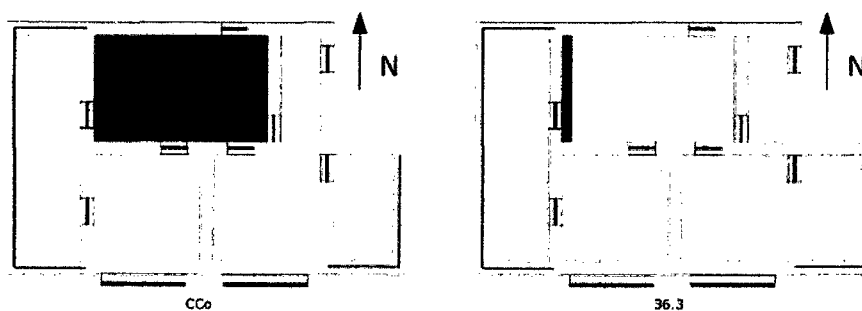


Figura 12 vistas de planta de la vivienda señalando las zonas y áreas de medición en la sala comedor cocina (i)

Para la temperatura CCo, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 1, 31, 15, 45, 40, 6, 42, 34, 28, 4, 0, 41 y 19. Ver Figura 13.

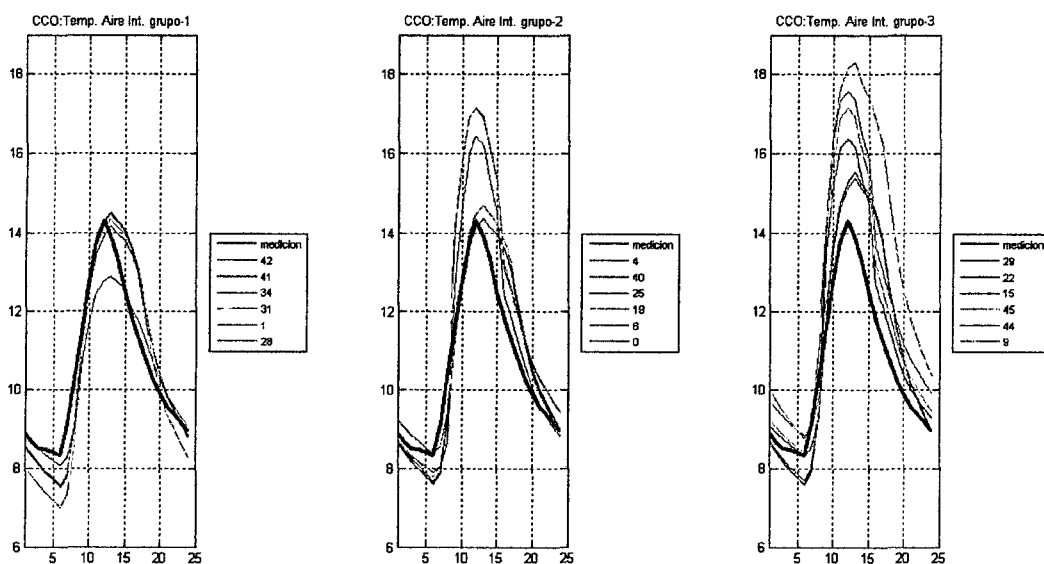


Figura 13 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura de aire interior de la sala comedor cocina.

Para la temperatura 36.3, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 41, 40, 34, 31, 29, 28, 42, 22, 45, 19, 25, 15, 9, 44, 6, 4 y 1. Ver Figura 14.

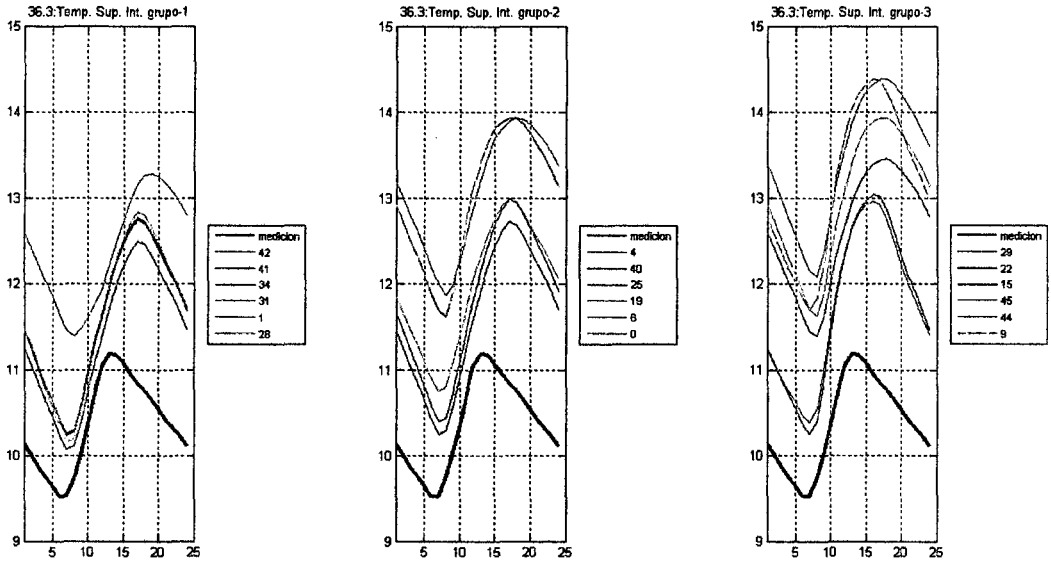


Figura 14 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie interior 36.3 de la sala comedor cocina

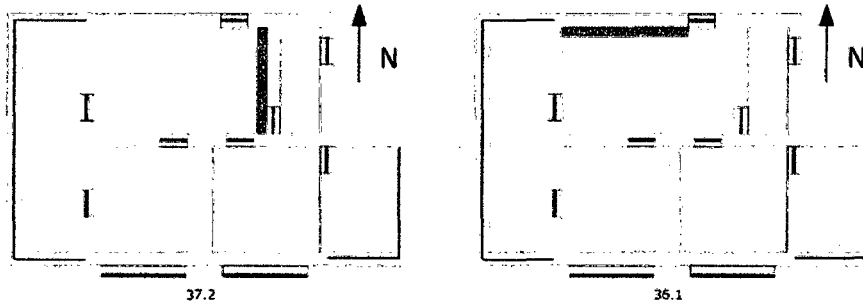


Figura 15 vistas de planta de la vivienda señalando las zonas y áreas de medición en la sala comedor cocina (ii)

Para la temperatura 37.2, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 6, 45, 42, 41, 31, 0, 34, 28, 15 y 44. Ver Figura 16.

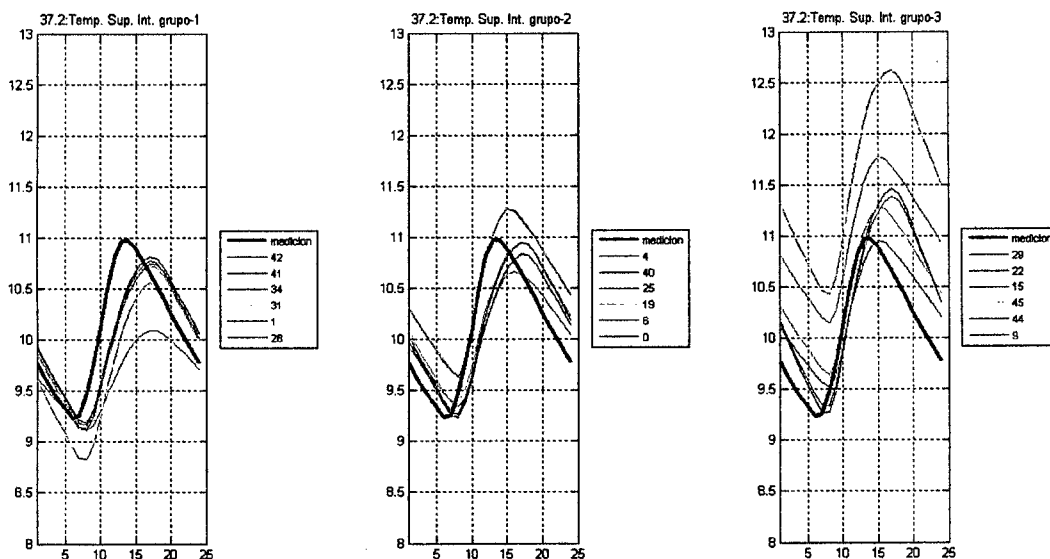


Figura 16 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie interior 37.2 de la sala comedor cocina

Para la temperatura 36.2-1, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 44, 41, 31, 28, 6, 42, 29, 4, 1, 0, 45, 40, 22, 15, 34 y 9. Ver Figura 17.

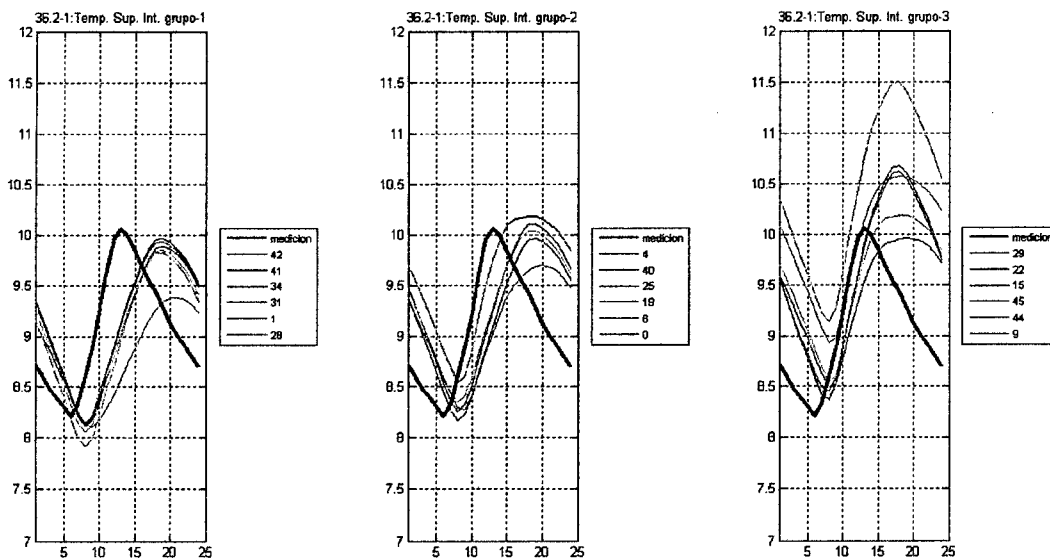


Figura 17 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie interior 36.1 de la sala comedor cocina

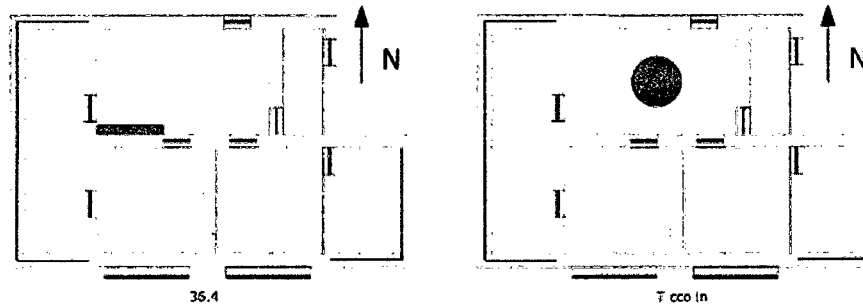


Figura 18 vistas de planta de la vivienda señalando las zonas y áreas de medición en la sala comedor cocina (iii)
 Para la temperatura 36.4, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 28, 42, 41, 34, 6, 0, 45, 40, 15, 44, 31, 25 y 9. Ver Figura 19.

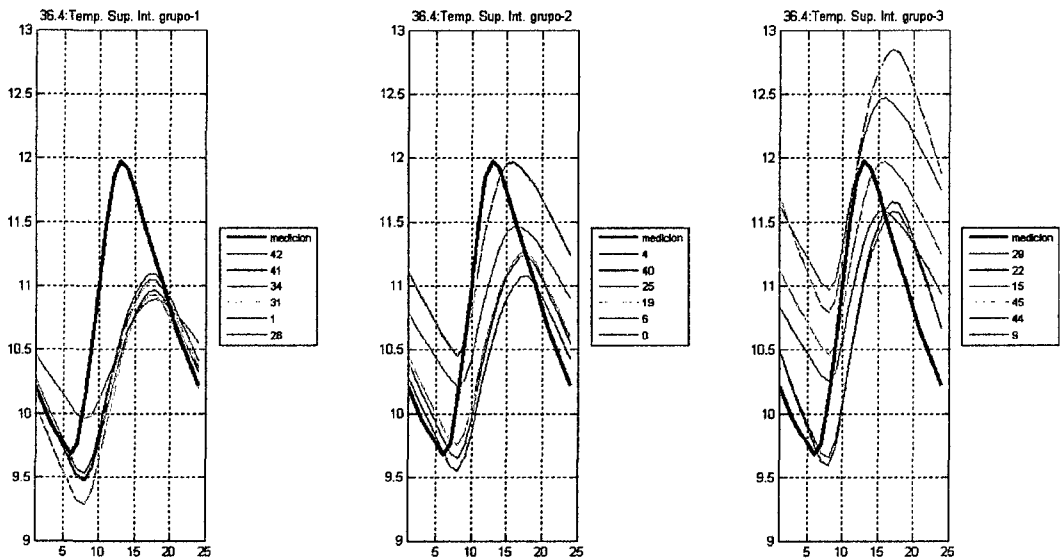


Figura 19 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie interior 36.4 de la sala comedor cocina

Para la temperatura TCCO, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 4, 34, 31, 1, 42, 41, 15, 44, 28, 19, 9 y 45. Ver Figura 20.

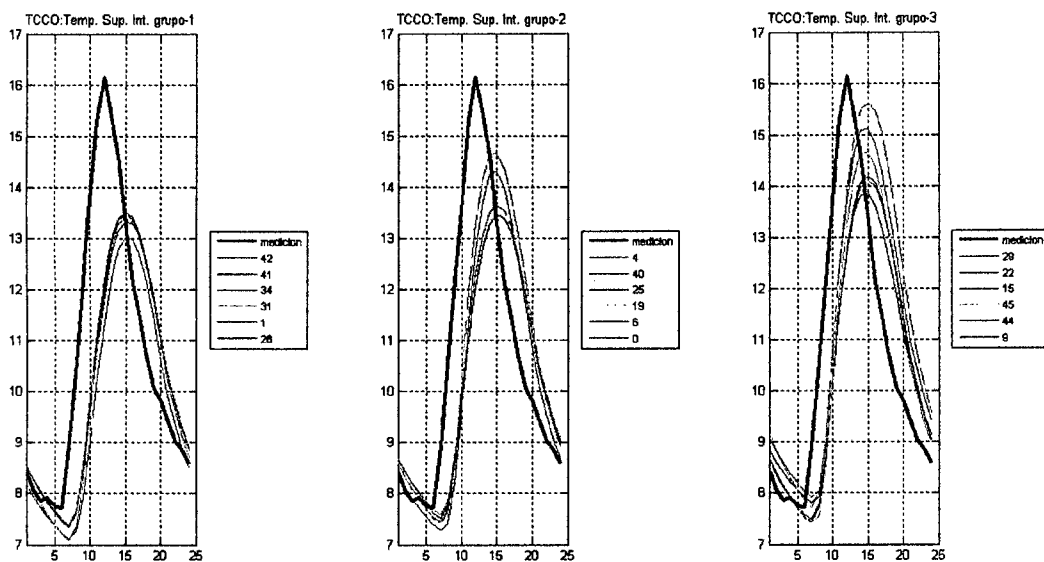


Figura 20 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie interior tcco de la sala comedor cocina

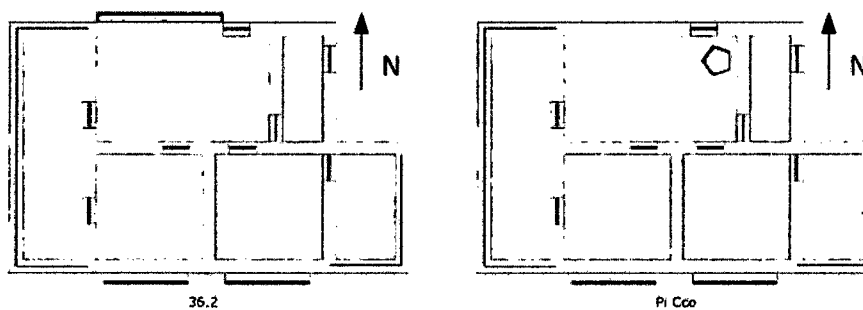


Figura 21 vistas de planta de la vivienda señalando las zonas y áreas de medición en la sala comedor cocina (iv)

Para la temperatura 36.2-1, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 29, 22, 9, 4, 1, 31, 28 y 41. Ver Figura 22.

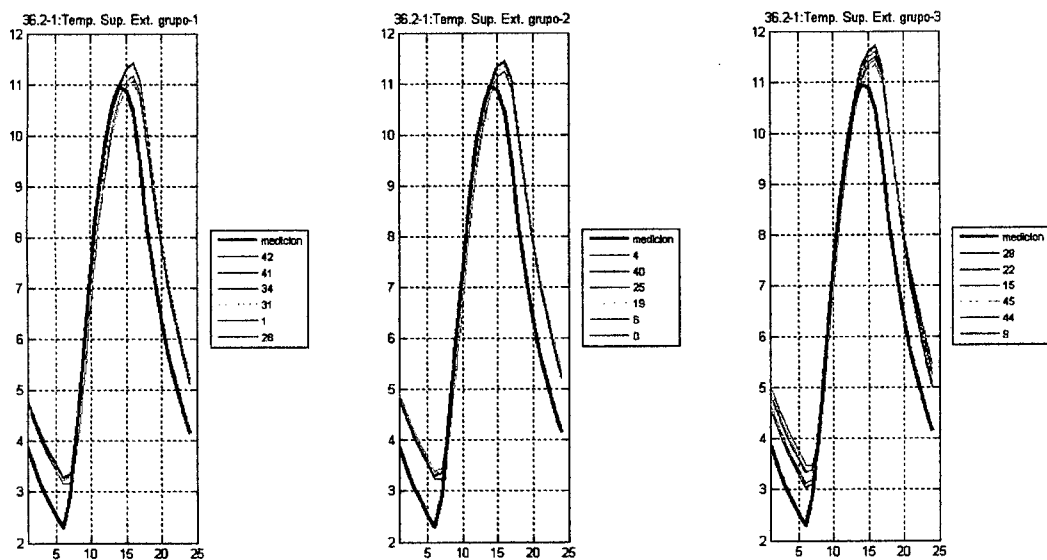


Figura 22 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie exterior 36.2 de la sala comedor cocina

Para la temperatura PICCO, todos los modelos ajustan. Cabe señalar que los modelos 43 al 46 presentan mayores diferencias. Figura 23

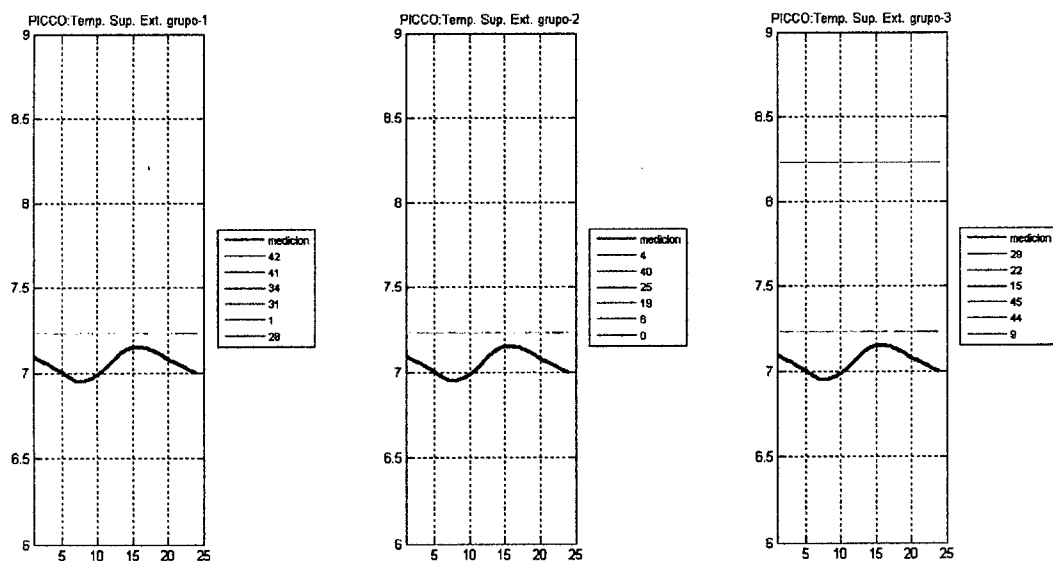


Figura 23 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie exterior picco de la sala comedor cocina

9.5.3 Invernadero Este

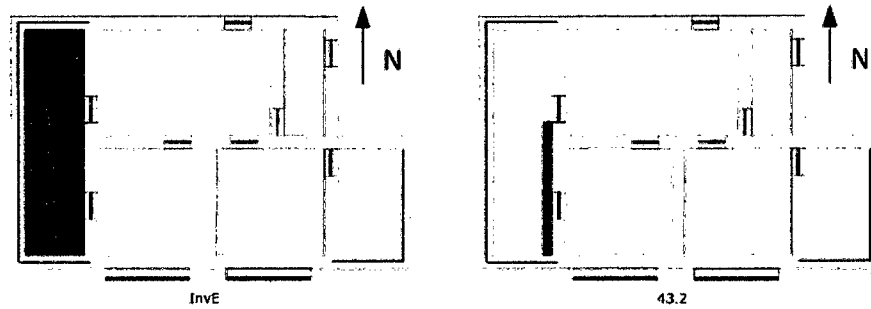


Figura 24 vistas de planta de la vivienda señalando las zonas y áreas de medición en el invernadero este (i).

Para la temperatura INVE, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 45, 44, 0, 41, 40, 34, 31, 28, 42, 6, 1, 29, 22 y 9. Ver Figura 25.

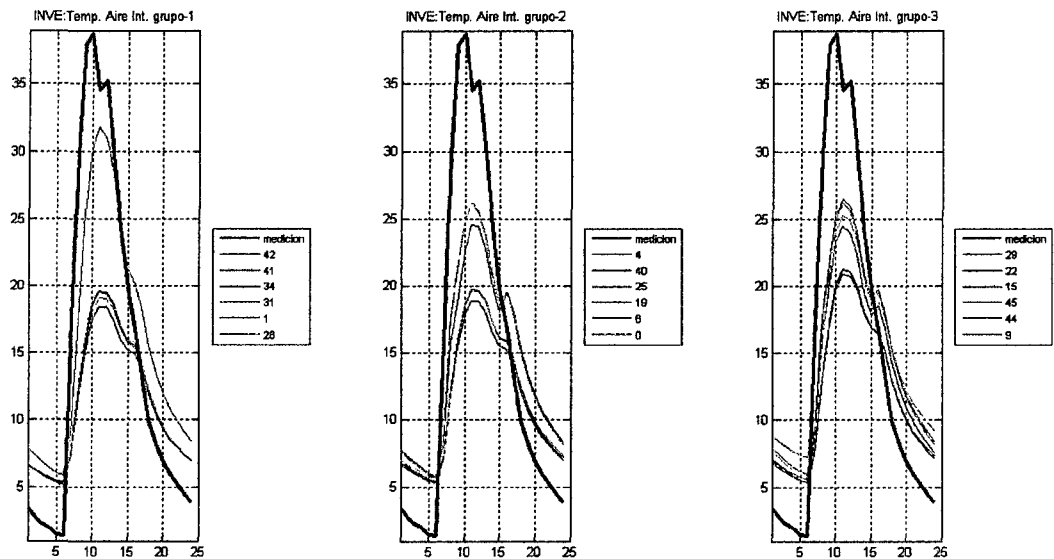


Figura 25 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura de aire interior del invernadero este.

Para la temperatura 43.2, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 40, 41, 34, 31, 42, 25, 22 y 19. Ver Figura 26.

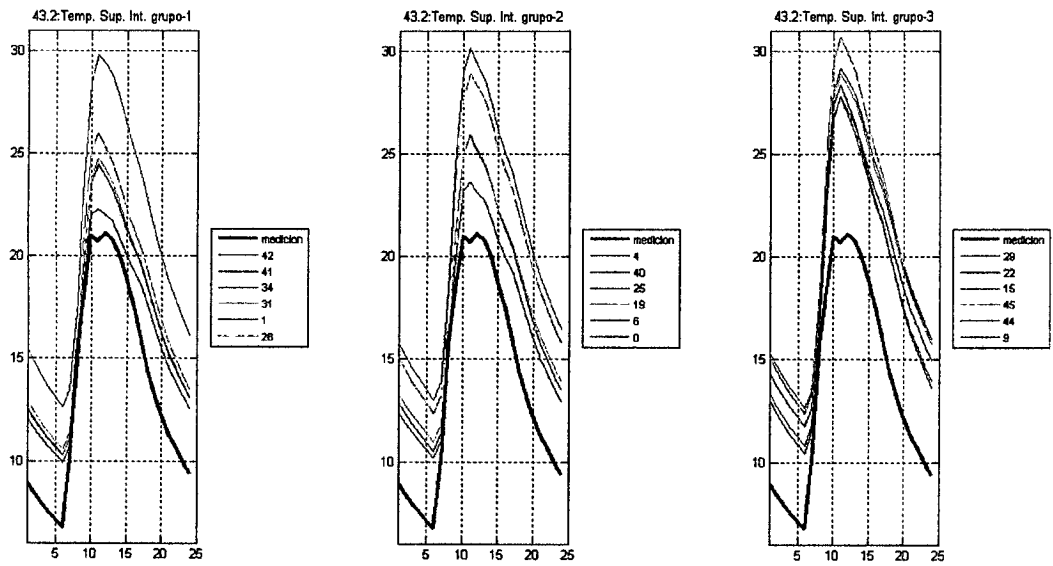


Figura 26 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie interior 43.2 del invernadero este.

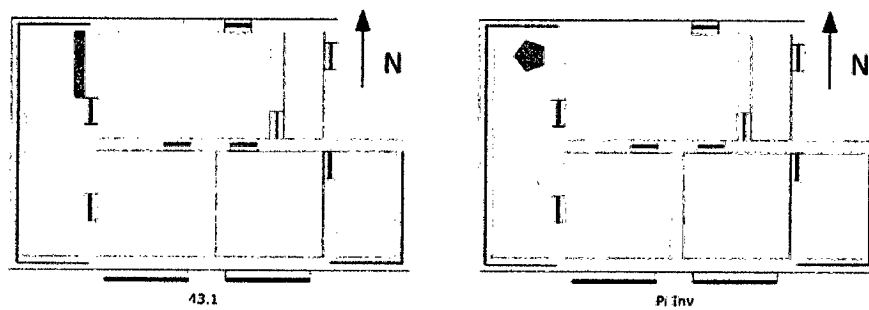


Figura 27 vistas de planta de la vivienda señalando las zonas y áreas de medición en el invernadero este (ii)

Para la temperatura 43.1, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 41, 40, 34, 31, 42, 25 y 19. Ver Figura 28.

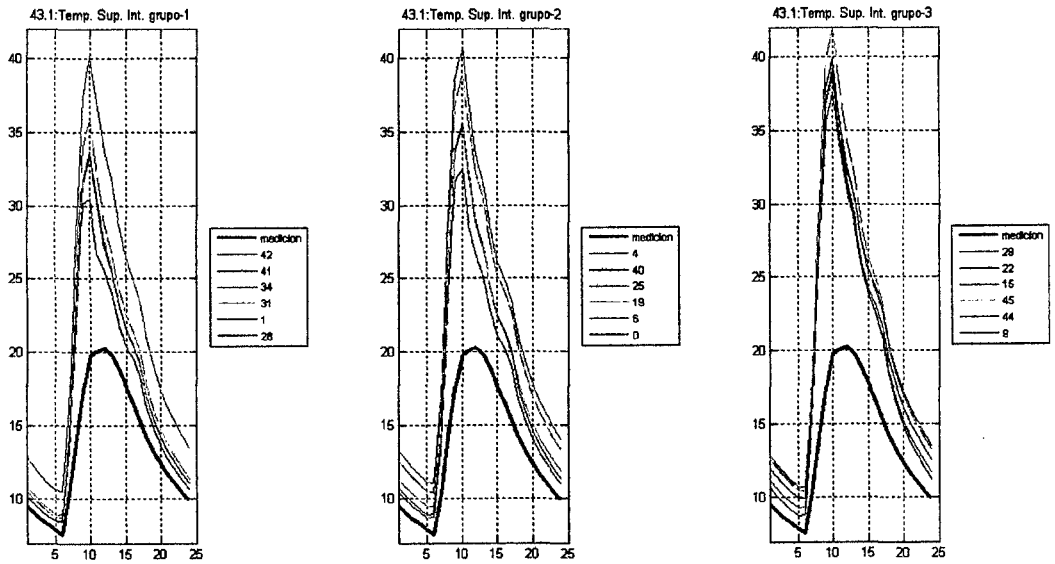


Figura 28 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie interior 43.1 del invernadero este.

Para la temperatura PIINV, todos los modelos ajustan. Cabe señalar que los modelos 43 al 46 presentan mayores diferencias. Figura 29

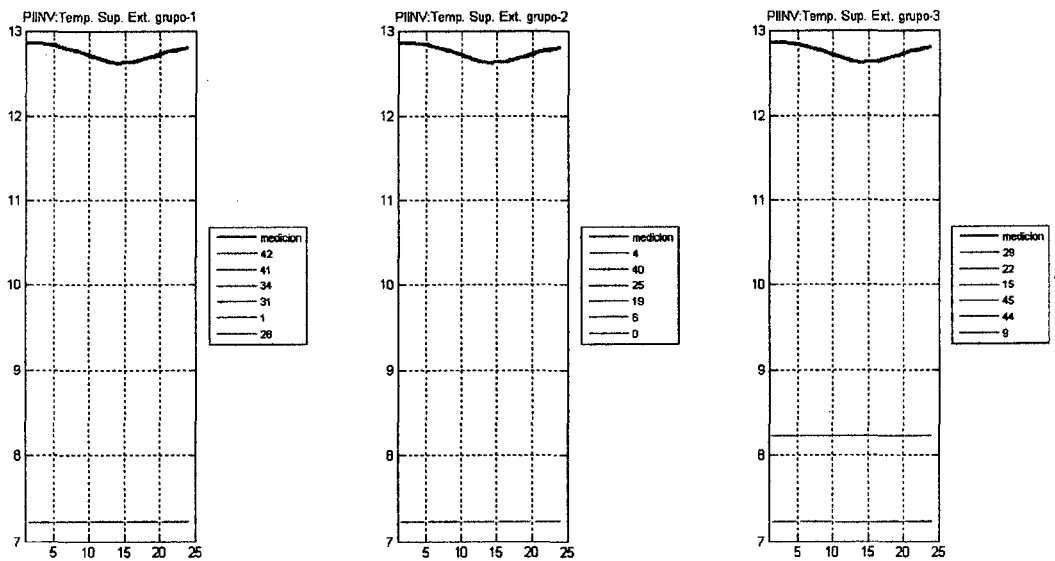


Figura 29 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie interior piinv del invernadero este.

9.5.4 Invernadero Oeste

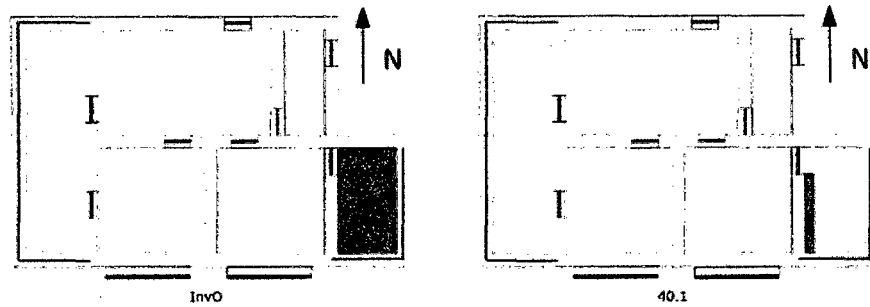


Figura 30 vistas de planta de la vivienda señalando las zonas y áreas de medición en el invernadero oeste (i)

Para la temperatura INVO, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 45, 0, 6, 42, 34, 31, 28, 25, 44, 15, 9 y 1. Ver Figura 31.

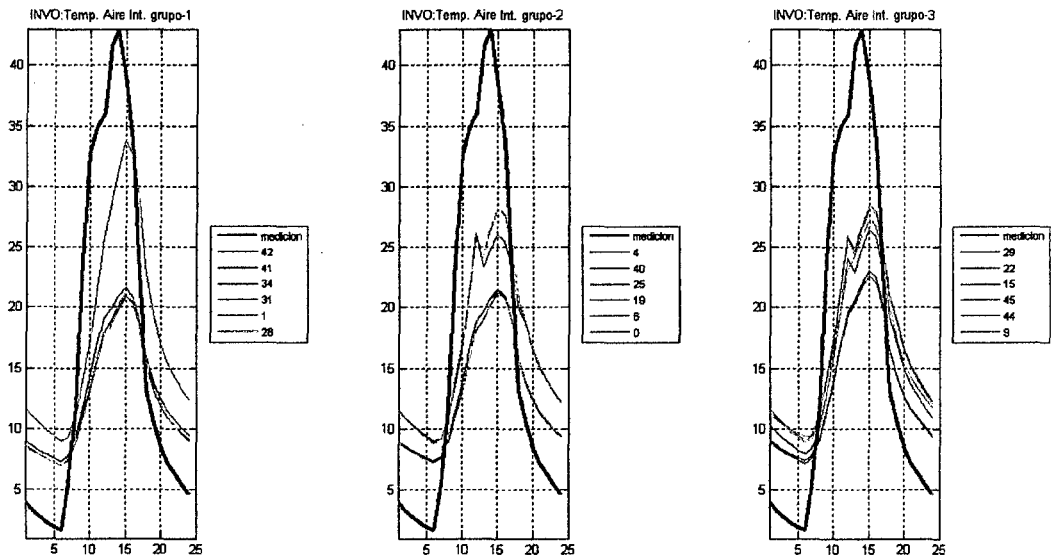


Figura 31 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura de aire interior del invernadero oeste.

Para la temperatura 40.1, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 31, 34, 42, 25, 41, 19, 40, 29, 22 y 9. Ver Figura 32.

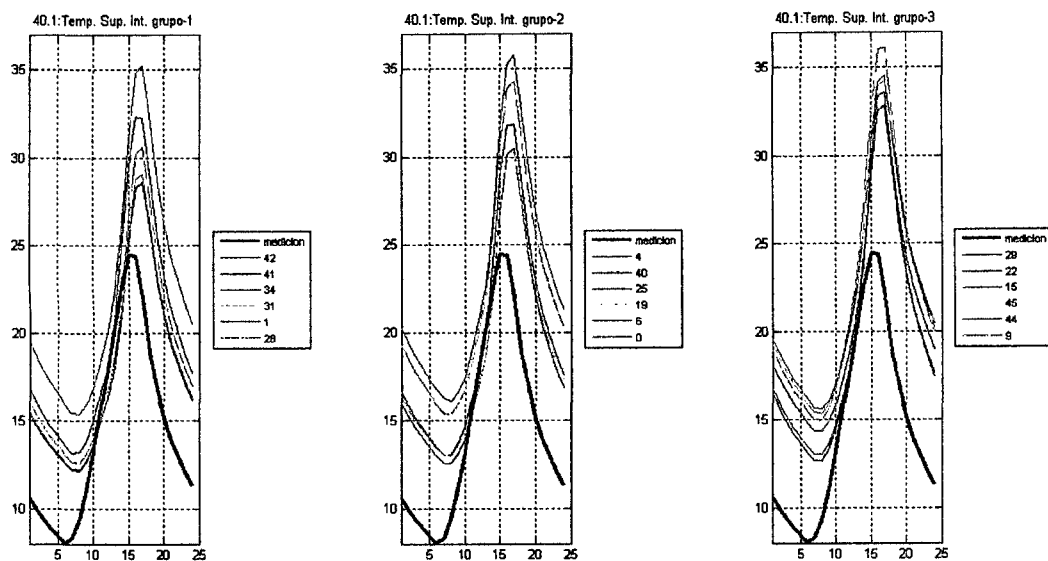


Figura 32 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie interior 40.1 del invernadero oeste.

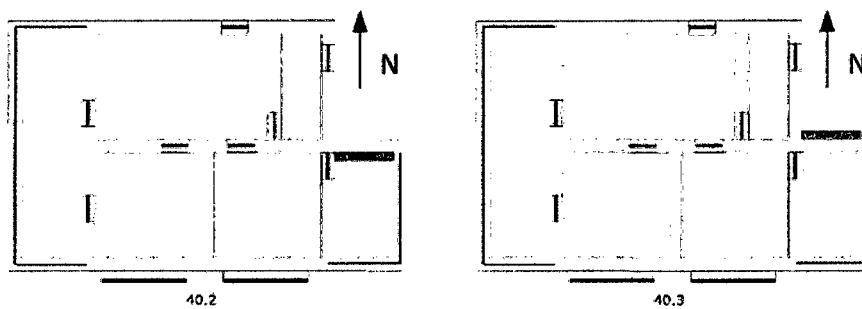


Figura 33 vistas de planta de la vivienda señalando las zonas y áreas de medición en el invernadero oeste (ii)

Para la temperatura 40.2, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 34, 31, 41, 42, 40, 19, 25 y 28. Ver Figura 34.

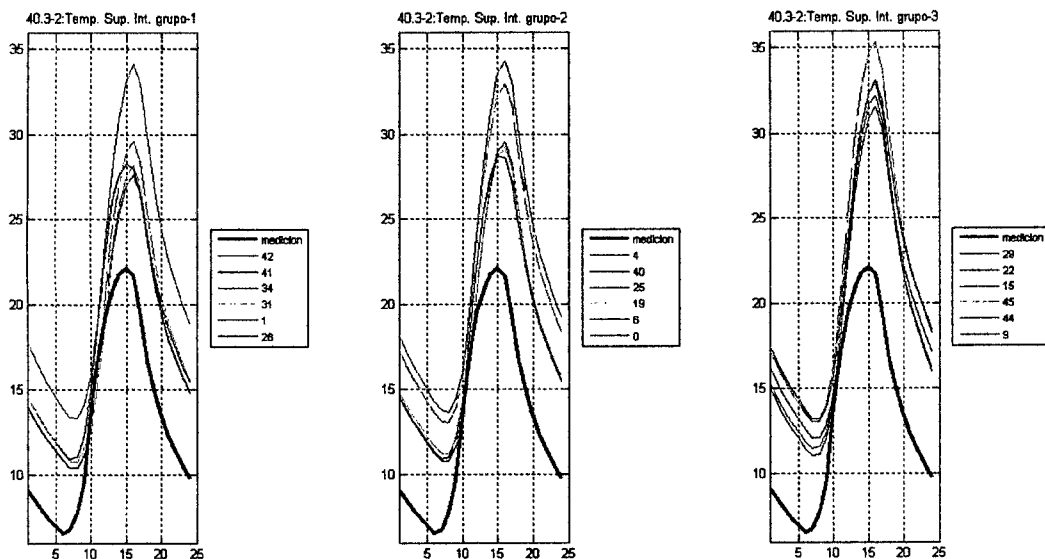


Figura 34 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie interior 40.2 del invernadero oeste.

Para la temperatura 40.3, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 34, 29, 22, 42, 31, 25, 41, 9, 28 y 19. Ver Figura 35.

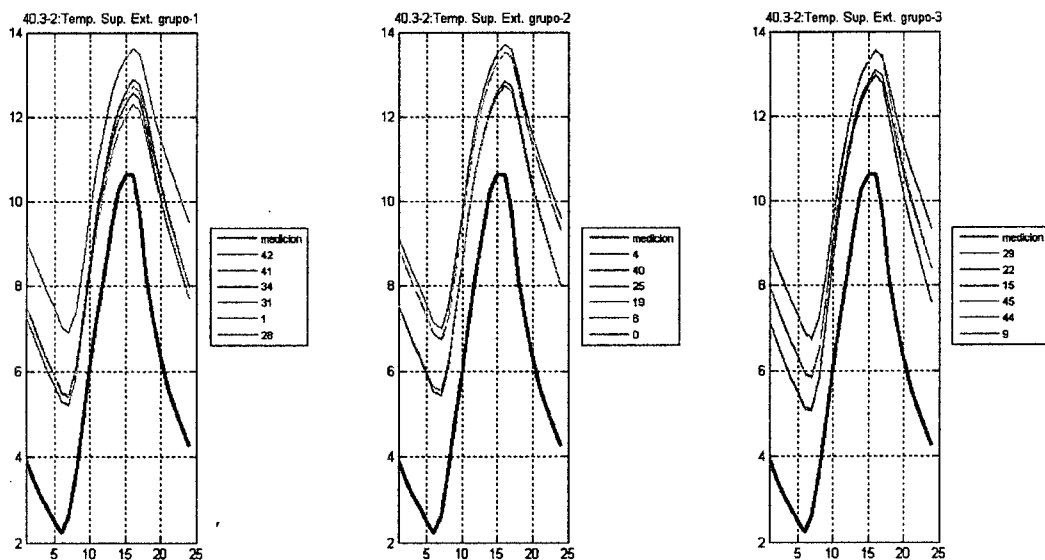


Figura 35 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie exterior 40.3 del invernadero oeste.

9.5.5 Baño

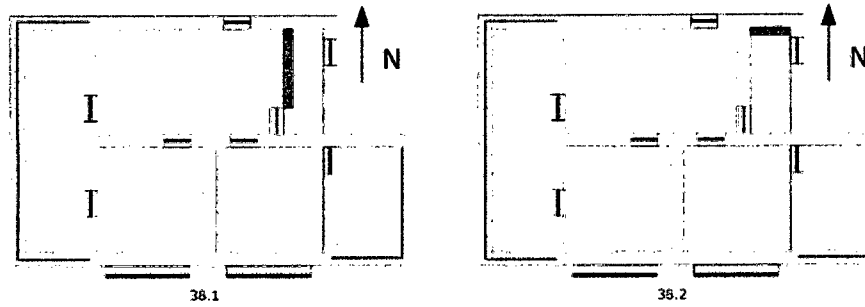


Figura 36 vistas de planta de la vivienda señalando las zonas y áreas de medición en el baño (i)

Para la temperatura 38.1, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 28, 15, 4, 1, 22, 45, 29, 19, 6, 0 y 44. Ver Figura 37.

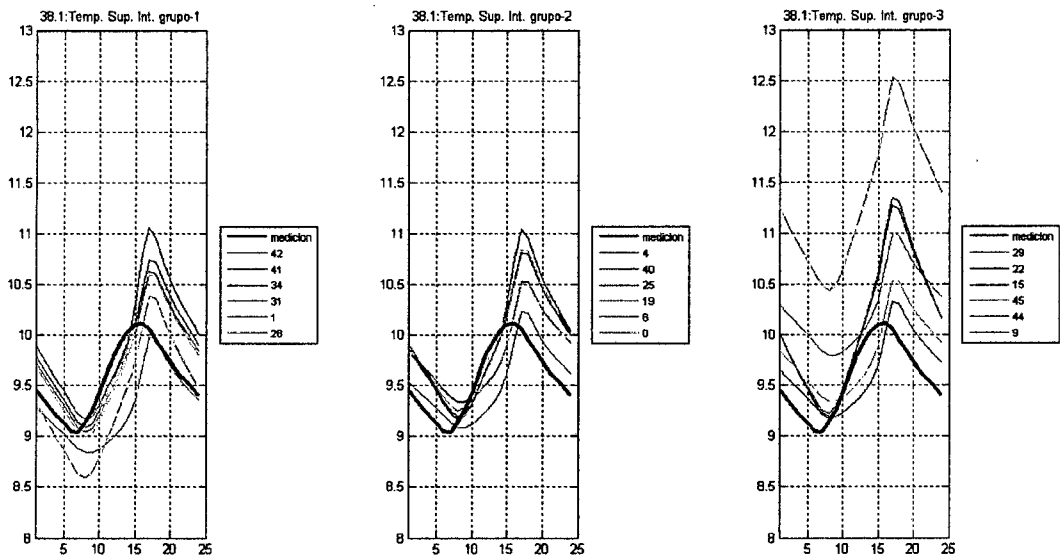


Figura 37 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie interior 38.1 del baño.

Para la temperatura 38.2, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 15, 4, 1, 45, 28, 6, 0, 44, 31, 29, 22 y 9. Ver Figura 38.

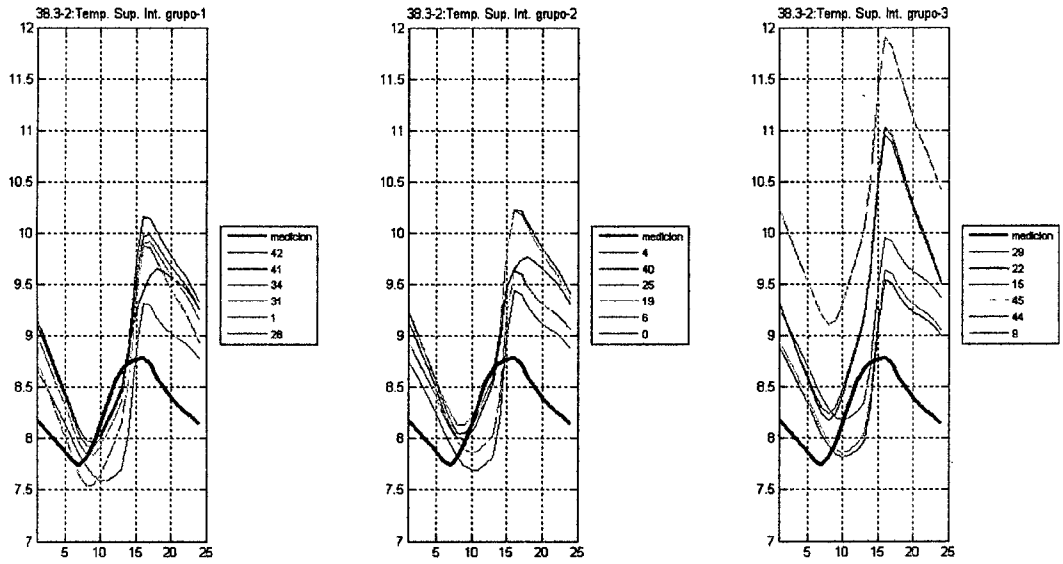


Figura 38 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie interior 38.2 del baño.

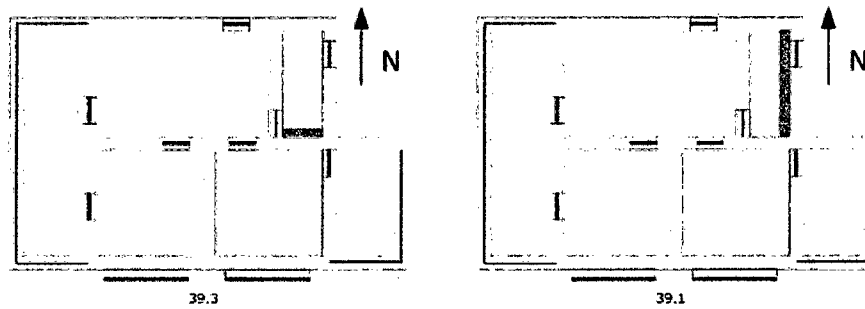


Figura 39 vistas de planta de la vivienda señalando las zonas y áreas de medición en el baño (ii)

Para la temperatura 39.3, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 34, 28, 15, 42, 1, 31, 29, 0, 45, 22, 6 y 4. Ver Figura 40.

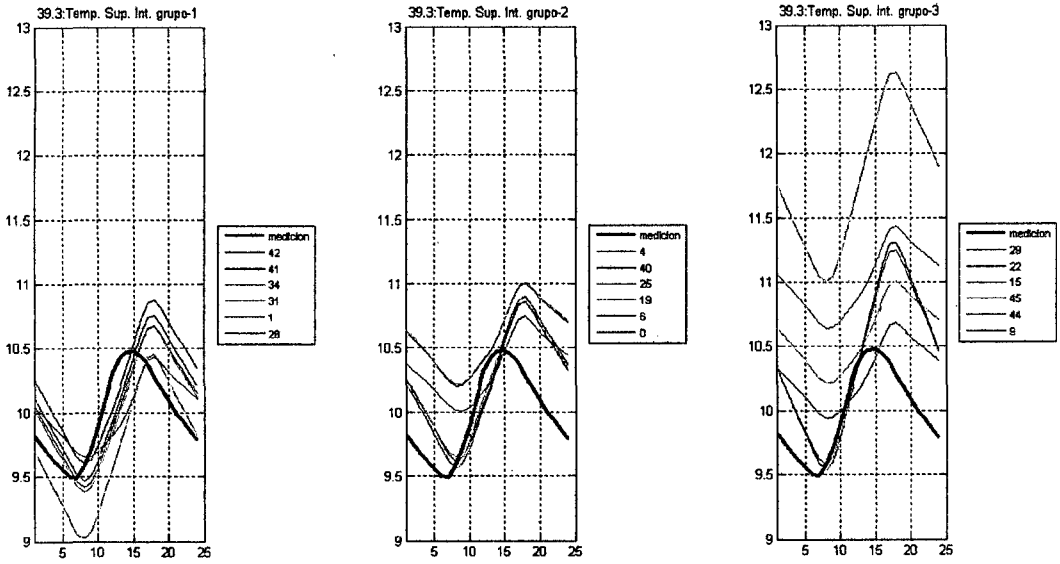


Figura 40 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie interior 39.3 del baño.

Para la temperatura 39.1, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 28, 1, 15, 4, 29, 19, 6, 44, 31, 22, 9, 45, 42, 41, 40 y 0. Ver Figura 41.

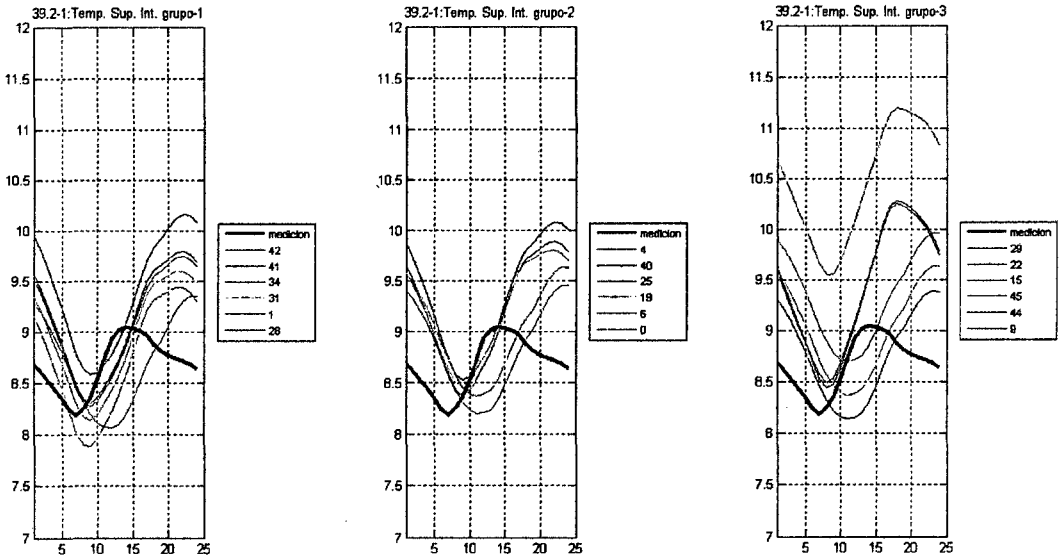


Figura 41 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie interior 39.1 del baño.

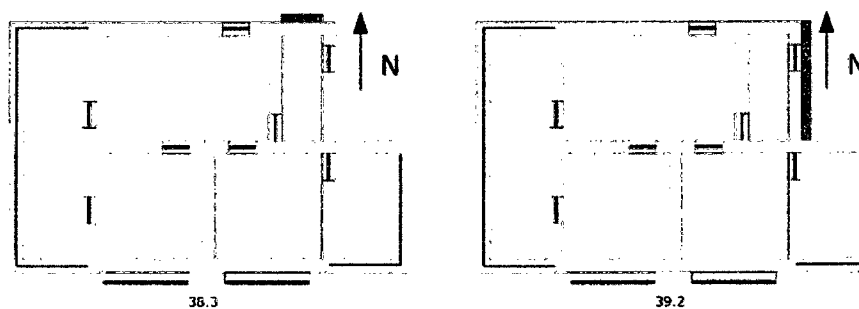


Figura 42 vistas de planta de la vivienda señalando las zonas y áreas de medición en el baño (iii)

Para la temperatura 38.3, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 4, 31, 1, 22, 15, 0, 29 y 6. Ver Figura 43.

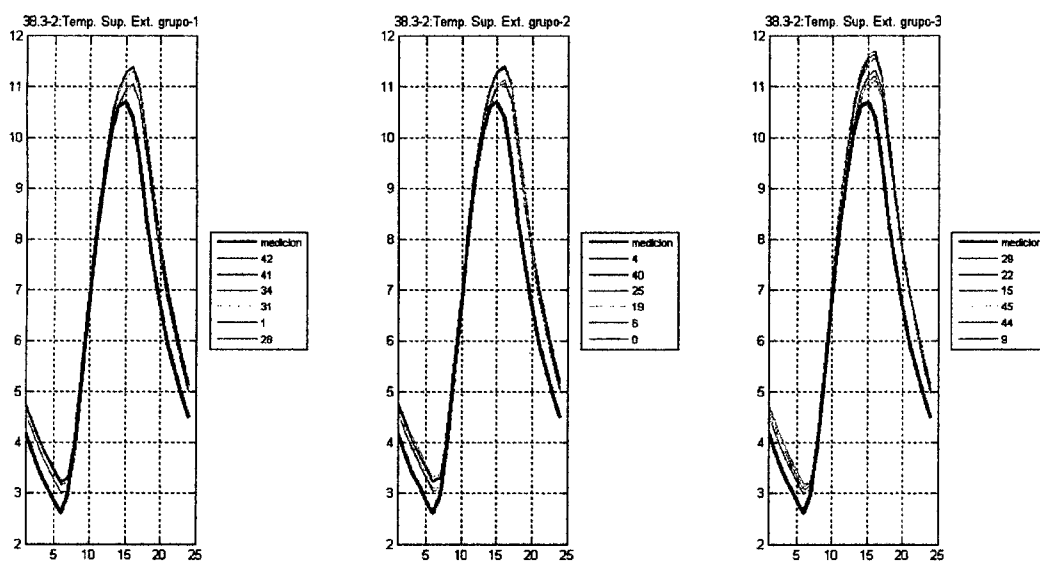


Figura 43 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie exterior 38.3 del baño.

Para la temperatura 39.2, los mejores ajustes, en orden respectivo, son 31, 15, 29, 22, 28, 19, 4 y 1. Ver Figura 44.

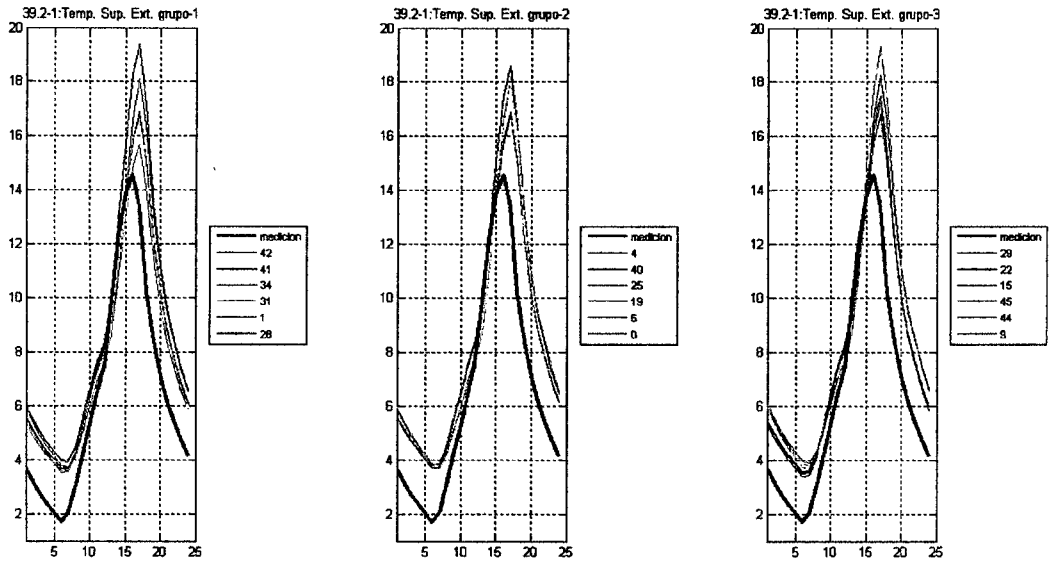


Figura 44 comparación entre datos medidos y simulados de la temperatura superficie exterior 39.2 del baño