



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERIA MECÁNICA – DISEÑO MECÁNICO

DISEÑO DE INSTALACIONES DE ACS SOLAR Y CLIMATIZACIÓN DE CASA-UNAM.

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:

SEAN RODOLFO SEBASTIÁN VILCHIS MARTÍNEZ

TUTOR PRINCIPAL:

DR. VICENTE BORJA RAMÍREZ

FACULTAD DE INGENIERIA

MÉXICO, D. F. NOVIEMBRE DE 2014

JURADO ASIGNADO:

Presidente: DR. FRANCISCO J. SOLORIO ORDAZ

Secretario: DR. ALEJANDRO C. RAMÍREZ REIVICH

1er. Vocal: DR. VICENTE BORJA RAMÍREZ

2do. Vocal: DR. LEOPOLDO A. GONZÁLEZ GONZÁLEZ

3er. Vocal: DRA. ADRIANA LIRA OLIVER

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: CENTRO DE DISEÑO MECÁNICO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA.

TUTOR DE TESIS:

DR. VICENTE BORJA RAMÍREZ

FIRMA

Resumen.

En este trabajo se presentan el diseño e implementación de instalaciones de agua caliente sanitaria vía solar para el proyecto CASA-UNAM, prototipo de vivienda que concursó en el *Solar Decathlon Europe 2014* en Versailles, Francia; este documento abarca también el análisis de las condiciones interiores del proyecto efectuadas para predecir el comportamiento térmico del edificio, tanto en el contexto de diseño – la Zona Metropolitana del Valle de México – como en el lugar donde se llevó a cabo la competencia.

Se presentan las pruebas a las que fue sometido el prototipo, únicamente de servicios de lavandería y lavavajillas, y mediciones de temperatura y humedad relativa dentro de cada habitáculo que forma parte de CASA-UNAM.

Abstract.

In this work is presented the design and implementation of solar domestic hot water facilities for the project CASA-UNAM, housing prototype which participated in the *Solar Decathlon Europe 2014*, at Versailles, France; this document includes also, the indoor conditions analysis of the model which were made in order to predict the thermal behaviour in the design context – the Metropolitan Zone of the Valley of Mexico – and in the place where the contest occurred.

The tests of the house – washing machine, dish washer, indoor temperature and indoor relative humidity monitoring in each room of the prototype – are also presented.

Résumé.

Ici, la conception et exécution des installations de chauffage solaire de l'eau pour le projet CASA-UNAM, model fonctionnel que a participé au le concours *Solar Decathlon Europe 2014* á Versailles, France ; cette document comprend aussi la simulation des conditions thermiques dans la maison avec deux considérations : avec las conditions bioclimatiques dans la Ville de Mexique et avec las conditions dans le lieu de concours.

Tests de la maison – machine a lavé, lave-vaisselle, surveillance de température et de humidité relatif dans la maison – sont présentée aussi.

Dedicatoria.

- A mis padres *Rosa María y José Sebastián*, y a mi hermano *Lothar José Carlos* por sus enseñanzas, el apoyo, empuje, motivación y aliento para realizar mis estudios de posgrado en la UNAM. *Pour tout les choses bonnes et belles de ma vie... MERCI avec mon cœur!*
- A mis tíos y padrinos *Francisco y Beatriz*, y a *Eduardo "Lalo"* que brindaron su asistencia mientras realicé mi maestría en el CDMIT-FI-UNAM. *Merci avec mon cœur!*
- A mi tía *Isa*, por su apoyo y por todo lo bueno que he recibido de ella. *Merci avec mon cœur!*
- A toda mi familia, por apoyarme y estar al pendiente de mí durante el desarrollo de mi proyecto y durante el curso de mi maestría.
- A mis amigos *Abril, Horacio, Uriel, Adrián, Nayeli, Filiberto, Emilio, Carlos Jaime y Jorge Tenorio* quienes me recibieron con los brazos abiertos al llegar a esta ciudad y me brindaron de manera desinteresada y de corazón su amistad.
- A todos mis seres queridos que nos acompañan en este tiempo y a aquellos que ya no están con nosotros.

Agradecimientos.

- Se hace patente el agradecimiento al *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología* por la beca otorgada al autor de este trabajo de tesis para la realización de los estudios de posgrado.
- Esta investigación fue realizada gracias al programa UNAM-DGAPA-PAPIIT IT102214.
- Una muestra de gratitud a mi tutor, el Dr. Vicente Borja Ramírez, quien estuvo guiando el presente trabajo.
- Se agradece al *Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica* de la *Facultad de Ingeniería* de la *Universidad Nacional Autónoma de México – Campus Ciudad Universitaria, D. F.* por permitir al autor de esta trabajo hacer la *Maestría en Ingeniería Mecánica* con orientación en *Diseño Mecánico*.
- Se agradece a la *Facultad de Arquitectura* de la *Universidad Nacional Autónoma de México – Campus Ciudad Universitaria, D. F.* por permitir la participación del autor de este trabajo en el proyecto *CASA-UNAM*, representante de México en la competencia internacional de arquitectura sostenible *Solar Decathlon Europe 2014*.
- Se agradece enormemente a *Mario Oscar Martínez Ordaz* por la colaboración prestada en el desarrollo del área térmica del proyecto *CASA-UNAM*, así como también a *Alejandro Homero Vargas de Alba*.
- Se agradece al *Ing. Daniel García Valladares*, de *Módulo Solar S. A. de C. V.* por la asesoría y donación de equipo solar para servicio de ACS.
- Se hace patente el agradecimiento al equipo de *CASA-UNAM* y a sus asesores por el apoyo y asistencia brindados durante mi participación en el proyecto mencionado.
- Se agradece a la *Dra. Adriana Lira Oliver*, así como a todo mi Sínodo por las observaciones y sugerencias hechas para mejorar este trabajo.

NOMENCLATURA Y UNIDADES.

V : Volumen (m^3).

\dot{V} : Gasto o flujo volumétrico (m^3/s).

m : Masa (kg).

\dot{m} : Flujo másico (kg/s).

$c_{p\text{ agua}}$: Calor específico del agua a presión constante ($kJ/kg - K$).

T_{ent} : Temperatura de entrada del agua (K).

T_{obj} : Temperatura objetivo del agua a la que se desea calentar (K).

$h_{\text{agua}, T=T_{obj}}$: Entalpía específica del agua a T_{obj} (kJ/kg).

$h_{\text{agua}, T=T_{ent}}$: Entalpía específica del agua a T_{ent} (kJ/kg).

Q_{min} : Cantidad de calor absoluta mínima para calentar el agua ($kW-h$).

ϕ_{ext} : Diámetro exterior de la tubería (m).

ϕ_{int} : Diámetro interior de la tubería (m).

$l_{tubería}$: Longitud total de la tubería (m).

$l_{tub.h}$: Longitud de la tubería en posición horizontal (m).

$l_{tub.v}$: Longitud de la tubería en posición vertical (m).

i : Corriente eléctrica (A).

\mathcal{E} : Diferencia de potencial (V).

\mathcal{R} : Resistencia eléctrica (Ω).

R_T : Resistencia térmica (K/W).

$\rho_{\text{agua}, T=T_{obj}}$: Densidad del agua a T_{obj} (kg/m^3).

$\mu_{\text{agua}, T=T_{obj}}$: Viscosidad dinámica del agua a T_{obj} ($kg/m - s$).

\vec{v}_{agua} : Velocidad del agua en movimiento en la tubería (m/s).

$Re_{\phi_{int}}$: Número de Reynolds para flujo en tuberías (sin dimensiones).

$Pr_{\text{agua}, T=T_{obj}}$: Número de Prandtl para el agua a T_{obj} (sin dimensiones).

$\kappa_{\text{agua}, T=T_{obj}}$: Conductividad térmica del agua a T_{obj} ($W/m - K$).

n : Exponente empleado para el cálculo del coeficiente de convección forzada en flujo en tubos (sin dimensiones).

A_{int} : Área de la sección transversal de un tubo (m^2).

$\bar{h}_{c\text{ int}}$: Coeficiente de convección para el flujo del agua caliente en la tubería ($W/m^2 - K$).

$R_{T,conv.interna}$: Resistencia térmica en convección del agua en tubería (K/W).

$\kappa_{nom.tub.}$: Conductividad térmica nominal del material de la tubería ($W/m - K$).

$R_{T,cond.tub.}$: Resistencia térmica en conducción de calor en tubería (K/W).

T_{ext} : Temperatura exterior observada (K).

$\rho_{aire,T=T_{ext}}$: Densidad del aire a T_{ext} (kg/m^3).

$\mu_{k\ aire,T=T_{ext}}$: Viscosidad dinámica del aire a T_{ext} ($kg/m-s$).

Gr_{aire} : Número de Grashof del aire para convección natural (sin dimensiones).

\vec{g} : Aceleración debida a la acción de la gravedad ($9.81\ m/s^2$).

$Pr_{aire,T=T_{ext}}$: Número de Prandtl del aire a T_{ext} (sin dimensiones).

Ra_{aire} : Número de Rayleigh para el aire (sin dimensiones).

$\bar{h}_{c\ ext.h.}$: Coeficiente de convección natural del aire sobre tubos horizontales (W/m^2-K).

A_{ext} : Área exterior del tubo (m^2).

$R_{T,conv.ext.h.}$: Resistencia térmica en proceso de convección natural para tubos verticales horizontales (K/W).

$\bar{h}_{c\ ext.v.}$: Coeficiente de convección natural del aire sobre tubos verticales (W/m^2-K).

$R_{T,conv.ext.v.}$: Resistencia térmica en proceso de convección natural para tubos verticales (K/W).

$\dot{Q}_{pér.tub.}$: Flujo de calor perdido en la tubería de ACS (W).

$\dot{Q}_{pér.tnq.}$: Flujo de calor perdido en el depósito de ACS (W).

$U_{tnq.}$: Conductancia global del depósito de ACS (W/m^2-K).

$A_{ext.tnq.}$: Área exterior del depósito (m^2).

$Q_{pér.tub.}$: Cantidad de calor perdida diaria en plomería de ACS ($kW-h$).

$Q_{pér.tnq.}$: Cantidad de calor perdida diaria en depósito ($kW-h$).

$Q_{req.}$: Cantidad total de calor requerida en el sistema de ACS ($kW-h$).

$A_{colector}$: Área de captación del colector solar (m^2).

SF : Factor solar (%).

E_G : Radiación solar incidente sobre una superficie horizontal ($\frac{kW-h}{m^2-día}$).

$\eta_{colector}$: Eficiencia del colector (%).

$T_{comfort}$: Temperatura de Bulbo Seco de confort ($^{\circ}C$).

T_{prom} : Temperatura de Bulbo Seco exterior del ambiente promedio mensual ($^{\circ}C$).

HR : Humedad relativa del ambiente (%).

T_{ed-x} : Temperatura de Bulbo Seco media exterior diaria (de Bulbo Seco) de un día x ($^{\circ}C$).

T_i : Temperaturas de Bulbo Seco de cada hora de un día ($^{\circ}C$).

T_{ea} : Temperatura de Bulbo Seco exterior promedio ponderada ($^{\circ}C$).

T_{int} : Temperatura de Bulbo Seco del interior de un recinto habitable ($^{\circ}C$).

U : Coeficiente de transmisión global de calor ($W/m^2 - K$).

TBS : Temperatura de Bulbo Seco ($^{\circ}C$).

w : Ancho (m).

x : Espesor (m).

t : Tiempo (s, min).

\dot{W}_k : Potencia (W).

INDICE.

RESUMEN	3
NOMENCLATURA Y UNIDADES	5
I. ANTECEDENTES.	10
I.1 El <i>Solar Decathlon Europe 2014</i> .	10
I.2 El proyecto CASA-UNAM.	11
II. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.	15
II.1 Objetivo.	15
II.2 Diseño térmico solar.	15
II.3 Eficiencia energética / funcionamiento térmico del edificio.	15
II.4 La evaluación térmica y ambiental (<i>TEE, Thermal and Enviromental Evaluation</i>).	16
II.5 Alcances del proyecto.	17
II.6 Proceso.	19
II.7 Estructuración del equipo de desarrollo de CASA-UNAM.	20
III. DISEÑO TÉRMICO SOLAR.	22
III.1 Introducción.	22
III.2 Condiciones climatológicas en la ciudad de México (caso de estudio, U. H. Vicente Guerrero, Iztapalapa) y en Versalles (<i>La Cité du Soleil</i>) relevantes al diseño térmico solar.	22
III.3. Estructura de las pruebas al sistema ACS definida por la competencia.	25
III.4. Tecnologías de calentamiento solar de agua.	27
III.5 Comparativa entre calentadores convencionales de respaldo.	29
III.6. Acerca de la metodología de dimensionamiento del sistema de ACS.	30
III.7. Configuración del sistema de ACS para CASA-UNAM.	32
IV. FUNCIONAMIENTO TÉRMICO DEL EDIFICIO DE CASA-UNAM.	41
IV.1 Introducción.	41
IV.2 Características climatológicas de la ZMVM y de Versalles.	41
IV.3 Características geométricas de la envolvente térmica de CASA-UNAM.	47
IV.4 Análisis térmico preliminar del sistema constructivo.	51
IV.5 Metodología del análisis térmico completo de CASA-UNAM.	53
IV.6 Pruebas de condiciones de confort térmicas en el contexto del <i>SDE</i> .	54
IV.7 Estrategias energéticas / energía térmica	55
IV.8 Diseño de instalaciones electromecánicas de climatización.	56
IV.9 Simulación de CASA-UNAM.	58
V. CASA-UNAM EN EL <i>SDE</i> 2014	70
V.1 Resumen de obra: Instalación del sistema de ACS.	70
V.2 Resumen de obra: Sistema de ventilación.	72
V.3 Resumen de obra: Construcción de envolvente térmica y discrepancias.	73
V.4 Condiciones climatológicas observadas en durante el <i>SDE</i> .	78
V.5 Pruebas de agua caliente: lavadora y lavavajillas.	78

V.6 Monitoreo de temperatura y humedad.	80
VI. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.	95
VI.1 Conclusiones.	95
VI.2 Recomendaciones y trabajo futuro para CASA.	96
ANEXOS	
Anexo A. Metodología de dimensionamiento del sistema ACS solar.	101
Anexo B. Distribución del sistema de plomería de ACS.	109
Anexo C. Especificaciones del sistema de calentamiento solar Módulo Solar Axol Concept 150 y del sistema eléctrico de respaldo Rheem 89VP15S.	116
Anexo D. Especificaciones de la envolvente térmica.	118
Anexo E. Especificaciones sistema de acristalamientos Saint-Gobain y marcos de ventanas Kommerling Eurofutur.	120
Anexo F. Especificaciones del sistema de textiles Serge Ferrari Soltis 92.	121
Anexo G. Metodología de dimensionamiento del sistema de ventilación.	122
Anexo H. Especificaciones del sistema de ventilación mecánica.	123
Anexo I. Distribución del sistema de ventilación mecánica.	126
Anexo J. Simulación mensual de CASA-UNAM en la ZMVM.	133
Anexo K. Simulación diaria de CASA-UNAM en Versalles.	136
REFERENCIAS.	142

I. ANTECEDENTES.

En esta sección se indicarán el contexto y trasfondo que da sentido a la formulación del proyecto que se propone, tanto en relación a la competencia llamada *Solar Decathlon Europe* como al origen mismo del proyecto CASA-UNAM.

I.1 El *Solar Decathlon Europe* 2014.

El *Solar Decathlon Europe* – denominado en adelante *SDE* – es una versión europea de la competencia original denominada *Solar Decathlon*, la cual fue propuesta por el Departamento de Energía –*DoE* por sus siglas en inglés – y la primera edición de este concurso ocurrió en el año 2002 en la ciudad de Washington y la última se llevó a cabo en el condado de Irvine, California en el año de 2013 [1].

Al igual que la versión europea del *Solar Decathlon*, se han llevado a cabo otras en diferentes partes del mundo, igualmente coordinadas por el *DoE* [2].

El *SDE* – versión que interesa en este momento – es una competición universitaria internacional que impulsa la investigación en el desarrollo de viviendas eficientes. Los concursantes deberán diseñar y construir casas que consuman la menor cantidad de recursos naturales, y produzcan un mínimo de residuos durante su ciclo de vida. La energía deberá obtenerse del sol y el consumo que hagan estas viviendas deberá ser mínimo.

El evento tiene una doble finalidad formativa y científica: los participantes aprenden a trabajar en equipos multidisciplinarios, que enfrentan los retos que plantea el futuro de la edificación. Las casas son expuestas al público durante la competencia [3] quien podrá ver como se conjunta la eficiencia y disminución del impacto medioambiental con un buen diseño y la capacidad que tiene de brindar confort a sus ocupantes.

Las casas deberán pasar, igualmente, diez pruebas, las cuales, en general, son 1). Arquitectura, 2). Ingeniería y construcción, 3). Instalaciones solares, 4). Balance de energía eléctrica, 5). Confort, 6). Equipamiento y operaciones, 7). Comunicación y concientización social, 8). Industrialización y viabilidad comercial, 9). Innovación y 10). Sostenibilidad.

La última edición se llevó a cabo en Versalles, Francia, del 25 de Junio al 18 de Julio de 2014, México participó por primera vez en esta competencia siendo representado por el proyecto CASA desarrollado por un equipo multidisciplinario formado por ingenieros, arquitectos, diseñadores industriales, comunicólogos y diseñadores gráficos de la UNAM. Se obtuvieron el primer lugar en el rubro de Ingeniería y Construcción, el segundo de Diseño Urbano y el tercero de Sostenibilidad; y un décimo tercero global.

El *Solar Decathlon Europe* ha ido evolucionando desde 2010 en sus pruebas y los retos que ofrece a los participantes. En la tabla I-1 se muestra dicha evolución.

SDE 2010	SDE 2012	SDE 2014
<ul style="list-style-type: none"> • Sostenibilidad. • Innovación. • Investigación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sostenibilidad. • Innovación. • Investigación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sostenibilidad. • Innovación. • Investigación.
<ul style="list-style-type: none"> • Diseño arquitectónico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño arquitectónico. • Eficiencia energética. 	<ul style="list-style-type: none"> • Enfoque urbano. • Contexto local. • Diseño arquitectónico. • Eficiencia energética. • Sobriedad en el diseño.
<ul style="list-style-type: none"> • Bajo consumo de energía. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo consumo de energía. • Diseño Pasivo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo consumo de energía. • Diseño Pasivo
<ul style="list-style-type: none"> • Uso adecuado de la energía. 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso adecuado de la energía. 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso adecuado de la energía.
<ul style="list-style-type: none"> • Limitación de la potencia generada por el sistema fotovoltaico (15 kW). 	<ul style="list-style-type: none"> • Limitación de la potencia generada por el sistema fotovoltaico (10 kW). 	<ul style="list-style-type: none"> • Limitación de la potencia generada por el sistema fotovoltaico (5 kW).
<ul style="list-style-type: none"> • Edificación Cero Energía. 	<ul style="list-style-type: none"> • Edificación Cero Energía. 	<ul style="list-style-type: none"> • Edificación Cero Energía.
<ul style="list-style-type: none"> • Integración de sistemas solares. 	<ul style="list-style-type: none"> • Integración de sistemas solares. • Red eléctrica inteligente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Integración de sistemas solares. • Red eléctrica inteligente. • Asequibilidad.
<ul style="list-style-type: none"> • Industrialización de la construcción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Industrialización de la construcción. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Viabilidad en el mercado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Viabilidad en el mercado. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Concientización social. 	<ul style="list-style-type: none"> • Concientización social. 	<ul style="list-style-type: none"> • Concientización social.

Tabla I-1. Evolución de los requerimientos para las casas solares que ha participado y participan en el SDE [4].

Lo que indica que no es solamente proponer una solución técnicamente factible, sino que también debe solucionar un problema social bajo el contexto de la región en donde se desarrolla el proyecto; esto es uno de los puntos centrales de la competencia, y quizás el más importante, añadiendo que la casa debe pasar las pruebas *in situ*.

I.2 El proyecto CASA-UNAM.

El proyecto CASA-UNAM es una propuesta surgida de un grupo de estudiantes de la facultad de Arquitectura de la UNAM, cuyo origen tiene en la necesidad de vivienda en zonas hacinadas de la ciudad de México, y es la propuesta que representará a la UNAM y a México en el SDE 2014. El caso de estudio de este proyecto se ubica en la Unidad Habitacional Vicente Guerrero, de la Delegación Iztapalapa, D. F.

El objetivo que se pretende alcanzar con este sistema es concebir y desarrollar el sistema de vivienda CASA que supere las 10 pruebas inherentes al Decatlón Solar Europa 2014, para impactar de manera significativa y positiva el contexto urbano, específicamente en la Zona Metropolitana de la Cuenca de México [5], cuyo campo de estudio está ubicado en la Unidad Habitacional Vicente Guerrero, en la delegación Iztapalapa, donde existe hacinamiento y es

preciso intervenir y densificar la zona, esto en un contexto urbano-social propio del sector [5], buscando, además, la integración comunitaria de los residentes en la unidad habitacional mediante la utilización social de recursos como el agua y electricidad así como de espacios comunes para la interacción entre individuos.

Este proyecto se sustenta en tres conceptos fundamentales, un sistema resiliente [*sic*] [6] (capaz de superar situaciones adversas sin destruirse), un sistema simbiótico (que establece relaciones de mutuo beneficio y dependencia) y un sistema regenerativo (que busca transformar el área de ejecución en un sitio saludable, diverso y con una abundante expresión de vida); además, este sistema podrá emplearse en áreas residuales de construcciones ya existentes [6]. Todo esto en un sistema flexible y progresivo [6].

La formulación de este proyecto es ambivalente debido a dos razones: a) El proyecto tiene su origen en la ciudad de México y está siendo diseñado para este mismo contexto, con las necesarias consideraciones naturales, técnicas y sociales que dan forma al mismo, b) El proyecto debe de ser adecuado para funcionar en el sitio de competición – Versailles, Yvelines, Francia – debido a que las características propias del sitio son diferentes a las del sitio de origen [7].

El prototipo que se presentó de CASA (y que es el objeto de estudio de este trabajo), se compone de habitáculos individuales que cumplen una función particular, una torre de servicios hidráulicos y una banca técnica [5]. A continuación se describe cada uno de ellos y en la fig. I-1 se pueden apreciar los componentes con la configuración propuesta en el *SDE*.

- *Habitáculo comunal (H1)*: En este recinto se llevan a cabo actividades en común entre los vecinos tales como lavado de ropa comunitario, reuniones vecinales y otras que conciernen a la comunidad de residentes de la unidad habitacional. Este lugar está expuesto constantemente a accesos y salidas de personas en condiciones variadas de éstas. El prototipo de competencia, contiene una lavadora, una mesa de trabajo y muebles de almacenamiento.
- *Habitáculo social-privado (H2)*: En este recinto se llevan a cabo actividades concernientes a la familia que habita la casa, controlando totalmente el acceso o salida de gente externa al recinto. Es un espacio que hace la función de sala-cocina-comedor, y contiene una estufa, un refrigerador, un lavavajillas (por exigencia del reglamento [7]), una mesa de comedor y una sala plegable. En este lugar es preciso controlar las condiciones interiores, para permitir que el usuario se encuentre en un espacio agradable para poder comer y convivir con otras personas.
- *Habitáculo privado (H3)*: Este recinto constituye la recámara principal de CASA y tiene anexado un baño completo. Contiene mobiliario de almacenamiento, un sofá-cama plegable y equipo de entretenimiento audiovisual; el baño contiene regadera, inodoro, lavabo y mobiliario de almacenamiento y se encuentra separado mediante un muro y una puerta de madera deslizante.
- *Torre de servicios hidráulicos (TH)*: Con el objeto de prescindir de un sistema de bombeo o hidroneumático convencional, se procedió a proporcionar el servicio de agua potable por gravedad, colocando un sistema de tanques de agua elevados –

tinacos – contenidos en una torre de más de 5 m de altura. De igual forma, se procedió a instalar en esa misma estructura, el sistema de calentamiento solar de agua (en la fig. I-1 se indica con *CST*) el cual consiste en un sistema de colectores solares planos conectados en serie con sus depósitos térmicamente aislados. Además, se incluyen plantas en dicha torre para uso ornamental y/o alimenticio.

- *Banca técnica (BT)*: Es una unidad donde se centralizan los sistemas eléctricos (inversor, transformador, etc.), de control (unidades de relevadores, sistemas informáticos, etc.) y termo-hidráulicos (distribuidores de agua caliente y fría, calentador eléctrico de respaldo) de CASA.

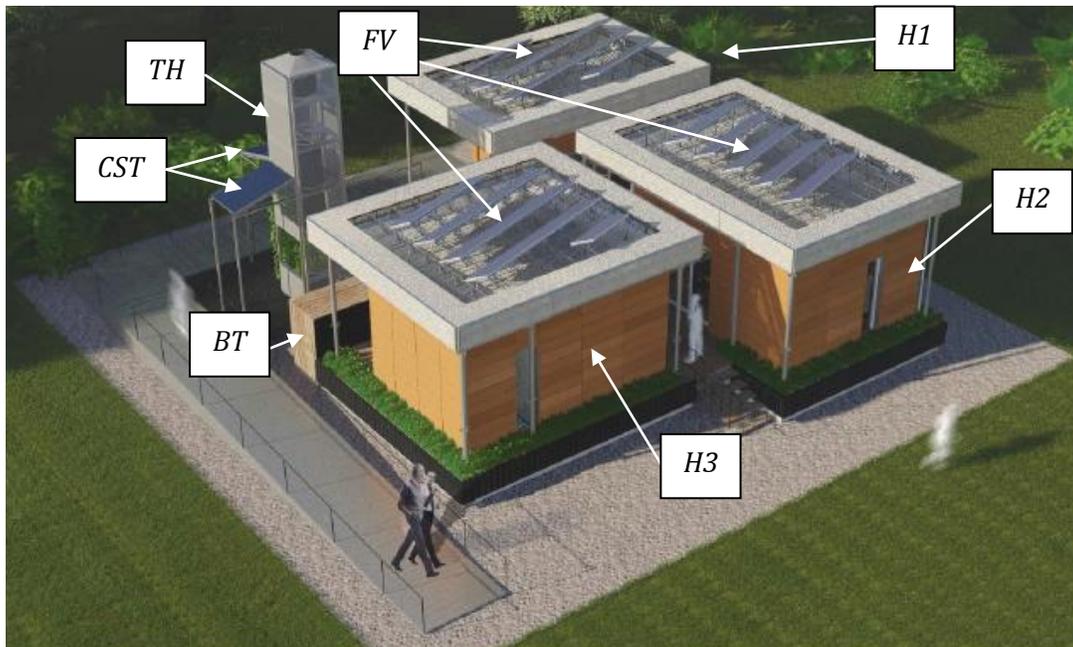


Fig. I-1: Renderizado del exterior del prototipo presentado en el SDE de CASA, mostrando los componentes de CASA-UNAM [8].

Sobre cada uno de los habitáculos, se colocó una armadura tridimensional fijada sobre columnas. Encima de dicha armadura, se encuentran instalados e interconectados los paneles fotovoltaicos (en la fig. I-1 indicados como *FV*), que generan la electricidad para el consumo de la casa. Todos los recintos pueden instalarse sobre losas de techo de construcciones pre-existentes, espacios residuales, etc., en el prototipo que se presentó, CASA está cimentada sobre otra armadura tridimensional, estando apoyada ésta en zapatas de material polimérico de la firma Buzon ®. Se empleará un sistema de recolección de lluvia (hecho con lonas y colocado bajo los paneles fotovoltaicos) y un tratamiento de aguas grises mediante humedales (funcionando también como parte de los jardines de CASA en el proyecto original), sin embargo, cabe aclarar que por la normativa del SDE [7], estos no deberán operar en Francia, probándose y funcionando únicamente en México.

La independencia entre habitáculos, permite un control más sencillo de condiciones de humedad y temperatura interiores, además, al ser el volumen de aire menor, la cantidad de energía que hay que suministrar a ese mismo aire para acondicionarlo es menor; además, de

que permite configurarlo al usuario según sus necesidades, permitiendo añadir o cambiar de lugar habitáculos e instalándolos donde el espacio en la construcción original lo permita.



Fig. I-2. En esta imagen, se muestra la capacidad de CASA de poderse instalar en cualquier espacio disponible para el sistema. En este renderizado se ejemplifica su implementación en la Unidad Habitacional Vicente Guerrero, Iztapalapa, D. F. [8].

Más información con relación al proyecto, puede encontrarse en [5, 8].

II. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

En esta sección se presenta lo relacionado con las características generales de los sistemas y especificaciones requeridos por la competencia – *SDE 2014* – para el diseño e implementación del sistema de vivienda CASA-UNAM y cómo deben abordarse éstos.

II.1 Objetivo.

En lo concerniente a este trabajo y con relación al proyecto presentado en el *SDE 2014*, su objetivo es el diseño e implementación de las instalaciones electromecánicas para proporcionar el servicio de agua caliente y de ventilación necesarios para el correcto funcionamiento del sistema CASA-UNAM, bajo criterios de consumo reducido de energía eléctrica y con nula utilización – directa – de combustibles fósiles o biomasa.

II.2 Diseño térmico solar.

En el reglamento del SDE [7] está estipulado qué debe contener el diseño térmico solar del prototipo, esto es, se deben abarcar las estimaciones necesarias y la contribución energética esperada del sistema, deberá indicarse la información sobre la estructura de soporte del sistema térmico solar, las unidades de almacenamiento – del fluido de trabajo – la fuente de energía de respaldo, la accesibilidad de la instalación para tareas de mantenimiento, la efectividad del aislamiento y de los sistemas de control y, además, el costo de la instalación debe ser claramente indicado.

En este caso, los requerimientos anteriores se aplican al sistema de agua caliente sanitaria – ACS – y a la unidad de respaldo que se emplee. Se habla de una unidad de respaldo debido a que la fuente principal de energía para la producción de ACS es la energía helio-térmica [7], y ya que ésta es frecuentemente transitoria [9] es preciso un almacenamiento térmicamente aislado y una fuente de producción alterna para proveer el mismo servicio de ACS en ausencia de la energía solar, cosa que puede ocurrir debido a la variabilidad climatológica común.

II.3 Eficiencia energética / funcionamiento térmico del edificio.

El rubro de la eficiencia energética es muy amplio abarcando, para efectos del SDE, lo relacionado con el consumo de energía eléctrica para el funcionamiento del prototipo que se presenta y el funcionamiento térmico de la casa solar, así como la optimización y selección adecuada de los materiales de construcción, sistemas de acristalamientos y cancelerías y la optimización de las vías pasivas, quasi-pasivas y activas de acondicionamiento del interior del recinto habitable [7].

El punto que se trata en este trabajo, es el relacionado con el aspecto térmico del funcionamiento del prototipo, esto es, examinar el comportamiento de la casa solar respecto a las influencias climáticas, proponer las mejoras pertinentes al diseño arquitectónico y

constructivo del prototipo y evaluar y proponer las instalaciones adecuadas para intervenir el edificio en forma positiva mediante la implementación de sistemas activos de bajo consumo y que afecten de manera reducida al concepto arquitectónico final.

II.4 La Evaluación Térmica y Ambiental (*TEE, Thermal and Enviromental Evaluation*).

Debido a la necesidad de maximizar la eficiencia del funcionamiento energético y de minimizar la huella ecológica del proyecto, en un mundo cuyos recursos naturales son cada vez más limitados, se ha concebido la evaluación térmica y ambiental como un medio de análisis de impacto de la casa propuesta sobre el medio para el cual se está diseñando la vivienda y entender, el proceso de diseño seguido para las condiciones del sitio [10]. Se compone de dos grandes unidades de verificación: la térmica y la ambiental. El apartado de intervención en este trabajo se relaciona con la evaluación térmica, con cuyos datos se efectuó la simulación también para México.

La evaluación térmica del recinto se hace a través una simulación térmica dinámica – *DTS* por sus siglas en inglés – cargando el modelo 3D de la unidad de vivienda y aplicando las condiciones climáticas locales normales y examinando horariamente el comportamiento del recinto. Los datos requeridos para la simulación se suministran mediante un formato que recopila las características térmicas de materiales, equipos y usos del edificio – *SID* por sus siglas en inglés –. Se entregan en la dicha *SID* datos relevantes a [10]:

- Composición del sistema constructivo: Deben indicarse las propiedades de los materiales de construcción de la casa. Si las losas, muros, particiones o divisiones interiores y pisos están constituidos de más de una capa diferente de material, debe indicarse las características de cada una de las capas, la ubicación de éstas y la ventilación u oquedad de ésta, si aplica. Características que deben proporcionarse son ρ , κ , c_p y χ .
- Aperturas de la casa: Deben indicarse las características térmicas de acristalamientos, cancelería y puertas, así como su ubicación en el espacio de construcción.
- Puentes térmicos: Puntos en los que se aceleran las ganancias o pérdidas de calor de una construcción [10]. Existen valores preestablecidos de puentes térmicos para construcciones tipo, lo cual ayuda para dar definiciones preliminares.
- Sistemas de producción energética: Los relevantes al aspecto térmico de la casa, son los de producción de agua caliente solar y su unidad de respaldo y los que se empleen para acondicionar higro-térmicamente el interior del recinto.
- Escenarios: Se formulan escenarios de uso, ocupación, cierre y ganancias internas del interior de la casa para establecer un comportamiento *cercano a la realidad* del recinto, en el contexto del lugar de origen de éste. Esto se hace para determinar las condiciones interiores de funcionamiento, conjuntamente con las influencias exteriores sobre el edificio.

II. 5 Alcances del proyecto.

Este proyecto, al ser uno de los competidores dentro del contexto del *Solar Decathlon Europe 2014*, debe cumplir con la presentación de una serie de entregables en los que se presentan los avances en el diseño del concepto de vivienda propuesto, la entrega de las *SID* para la evaluación térmica parte del *TEE*, la presentación de maquetas y artificios semejantes hasta la presentación final del proyecto en el sitio en donde se desarrolló la competencia, llamado *La Cité du Soleil* [7].

Los entregables que son relevantes al presente trabajo son los siguientes.

a). Manual de proyecto (*Project Manual*): El manual de proyecto es un reporte de avances hecho a modo de narrativa de diseño, en el que se mencionan todas las consideraciones, metodologías y resultados esperados del proceso de diseño del prototipo de vivienda a presentar. Se compone de diversas secciones, de las cuales solo interesan dos: Diseño térmico solar (*Solar Thermal Design*), el cual ya fue descrito en el apartado 2 de esta sección y la parte de energía térmica correspondiente al de Narrativa de Eficiencia Energética en el Diseño (*Energy Efficiency Design Narrative*), cuyo contenido refiere a la explicación de los sistemas constructivos con sus propiedades térmicas, el desglose de las características dimensionales exteriores e interiores del proyecto y las especificaciones de los equipos de acondicionamiento interior activos y pasivos, sistemas de producción de agua caliente solares y sus respaldos. Así mismo, se reportan en ese apartado los resultados de las simulaciones térmicas conducidas durante el proceso de diseño que sirven como argumento para mejorar alguno de los aspectos de rendimiento térmico de la casa.

b). Planos y dibujos de proyecto (*Project Drawings*): Esta documentación es un juego de planos e ilustraciones descriptivas del contexto del proyecto, detalles estructurales, mecánicos, eléctricos y arquitectónicos del proyecto postulado. Los planos que interesan en este trabajo son los relacionados al sistema de ACS (esquemáticos e isométricos de distribución) y los planos electromecánicos del sistema de acondicionamiento interior (esquemáticos, distribución y control).

c). Documentos requeridos para el *TEE*: Con base en lo ordenado en [10], para efectos de la realización de la evaluación térmica del edificio, debe enviarse en las fechas señaladas por la organización la hoja de entrada de datos de simulación *SID* – que es una hoja de cálculo originada en *Microsoft Excel* que debe contener los datos relacionados con las características de la casa según se describió en el apartado 4 de esta sección – llena con los datos de la casa en el contexto del lugar de origen, un archivo .EPW de *DoE EnergyPlus*® que contenga los datos climatológicos del sitio originario, un modelo 3D de la construcción contenido en un archivo .DWG / .DXF (*Autodesk AutoCAD*) o .SKP (*Google SketchUP*).

d). El prototipo funcional y operativo de la casa, con todas las instalaciones trabajando.

Se dan mayores detalles sobre los entregables en [7]. La tabla II-1 concentra la calendarización de los entregables de diseño (incisos a, b y c).

Schedule of Deliverables.

Deliverable #1	Schematic Design Documentation & Dissemination Materials	April 1st-2013
Electronic File	Press Release #1	
Electronic File	Project Manual #1	
Electronic File	Project Drawings #1	
URL	Preliminary Web page	
Deliverable #2	Design Documentation & Dissemination Materials	July 1st-2013
Electronic File	Press Release #2	
Electronic File	Project Manual #2	
Electronic File	Project Drawings #2	
Electronic File- CD/DVD	Audiovisual #1 - (5 min. presentation of project)	
URL	Web page	
Deliverable #3	Design Development Documentation & Dissemination Materials	Nov 1st-2013
Electronic File	Press Release #3	
Electronic File	Project Manual #3	
Electronic File	Project Drawings #3	
Electronic File	Electric and PV Chart and Checklists	
Electronic File	Workshop Documentation	
Electronic File- CD/DVD	Audiovisual #2 (updated version of Audiovisual #1)	
Model	Architectural Model	
Electronic File	Thermal and Environmental Evaluation (TEE) data and documents #1 (1)	
Deliverable #4	Construction Documentation & Dissemination Materials	March 3rd- 2014
Electronic File	Press Release #4	
Electronic File	Project Manual #4	
Electronic File	Project Drawings #4	
Electronic File	Electric and PV Chart and Checklists (Updated)	
Electronic File	Thermal and Environmental Evaluation (TEE) data and documents #2	
Electronic File	La Cité du Soleil® Visiting Guide information (Rule 30.5a)	
Electronic File	Design Approval Documents	
Deliverable #5	Updated Construction Documentation & Dissemination Materials	April 30rd-2014
Electronic File	Press Release #5	
Electronic File	Project Manual #5	
Electronic File	Project Drawings #5	
Electronic File	Electric and PV Chart and Checklists (Updated)	
Electronic File	Thermal and Environmental Evaluation (TEE) data and documents #3	
Hard Copies	Design Approval Documents	
Deliverable #6	Design Adjustments Documentation & Dissemination Materials	June 2nd-2014
Electronic File	Press Release #6	
Electronic File	Project Manual #6	
Electronic File	Project Drawings #6	
Electronic File	Electric and PV Chart and Checklists (Updated)	
Electronic File	Jury Reports (Rule 30.5b)	
Electronic File- CD/DVD	Audiovisual #3 - (5 min. presentation of final project)	
Hard Copies	Design Approval Documents	
Deliverable #7	As Built Documentation & Dissemination Materials	Nov 3rd-2014
Electronic File	Press Release #7	
Electronic File	Project Manual #7	
Electronic File	Project Drawings #7	
Electronic File	Electric and PV Chart and Checklists	
Electronic File	SDE 2014 Official Dissemination Materials	
Electronic File	Thermal and Environmental Evaluation (TEE) data and documents #4 (Recap)	

(1) Thermal and Environmental Evaluation (TEE) data and documents #1 must be submitted on November 29th, 2013.

Tabla II-1. Calendarización de entregables de diseño correspondientes al SDE [7].

En este trabajo se presentan el diseño de las instalaciones de la casa, los resultados esperados de estos sistemas (en México y en Versailles) y una reseña acerca del funcionamiento de la

casa en la competencia, en Versailles. Las notas del diseño original abarcan hasta el entregable No. 6.

II.6 Proceso.

Para la elaboración de este proyecto se siguió un proceso que permitiera llevar a cabo de manera ordenada el diseño de las instalaciones electromecánicas correspondientes a los sistemas térmicos de CASA-UNAM. Dicho proceso se describe en este apartado.

0). Recabado de información previa acerca del proyecto: En esta fase se obtuvo información relacionada al proyecto que se está ejecutando, su contexto, las condiciones de operación en el sitio de competencia y compararlas con las del diseño en el lugar de origen, recordando que se diseña una casa para solucionar un problema en México y que se adaptará para su funcionamiento en la ciudad de Versailles.

1). Identificar a usuarios y clientes: Debido a la naturaleza dual del proyecto, se debe definir un usuario y un cliente que no serán precisamente la misma persona. En México, el usuario potencia es una hipotética pareja joven que vive en la Unidad Habitacional Vicente Guerrero, en Iztapalapa, D. F., ya que es a quien se dirige el proyecto; el cliente será, en este caso el SDE, pues es quien definirá de manera general las pautas de diseño y es *quien comprará la casa poniéndola como la ganadora* en este momento.

2). Identificar las necesidades del usuario y del cliente: Las necesidades del usuario son obtenidas mediante el estudio de éste y se reflejan mediante la formulación de los escenarios – a describir en la sección correspondiente – de uso del recinto. Las necesidades del cliente, ya han sido reflejadas en la normativa aplicable [7].

3). Definir especificaciones preliminares: Con base en las necesidades del usuario y los requerimientos del cliente, se formulan las especificaciones preliminares de operación del sistema, las cuales, cambiarán a lo largo del proceso de diseño de la casa solar.

4). Diseño conceptual – exploración de alternativas de solución: Con base en las necesidades requerimientos preestablecidos y las restricciones propias del diseño general de CASA-UNAM, se procedió a buscar las alternativas de solución – viables y factibles – para la configuración de las instalaciones electromecánicas de interés.

5). Diseño conceptual – análisis, evaluación y selección de la solución final: Se procedió a analizar la viabilidad y factibilidad de cada solución propuesta, se evaluó cada una de ellas y finalmente, se seleccionaron las más adecuadas para su implementación en CASA-UNAM.

6). Diseño de detalle – especificaciones finales: Se procedió a presentar las especificaciones de las soluciones formuladas previamente y se definieron las directrices de implementación en el prototipo.

7). Implementación: Se procedió a la instalación de los sistemas seleccionados en el prototipo, viendo que su configuración fuera coherente con el diseño de la casa haciendo, en su caso, las adecuaciones necesarias.

II.7 Estructuración del equipo de desarrollo de CASA-UNAM.

Este proyecto se desarrolló con un equipo multidisciplinario compuesto de 36 estudiantes, en su mayoría por estudiantes de Licenciatura de la carrera de Arquitectura, todos ellos provenientes de la Facultad de Arquitectura de la UNAM. Se integraron también personal de alumnos de la Escuela Nacional de Trabajo Social de la UNAM, de la Escuela Nacional de Artes Plásticas de la UNAM, y, desde luego, de las Facultades de Ingeniería y Química de la UNAM. Se debe hacer la indicación de que el liderazgo del proyecto lo llevaba un estudiante de la Facultad de Arquitectura. La proporción de personal del equipo se presenta en la figura II-1.

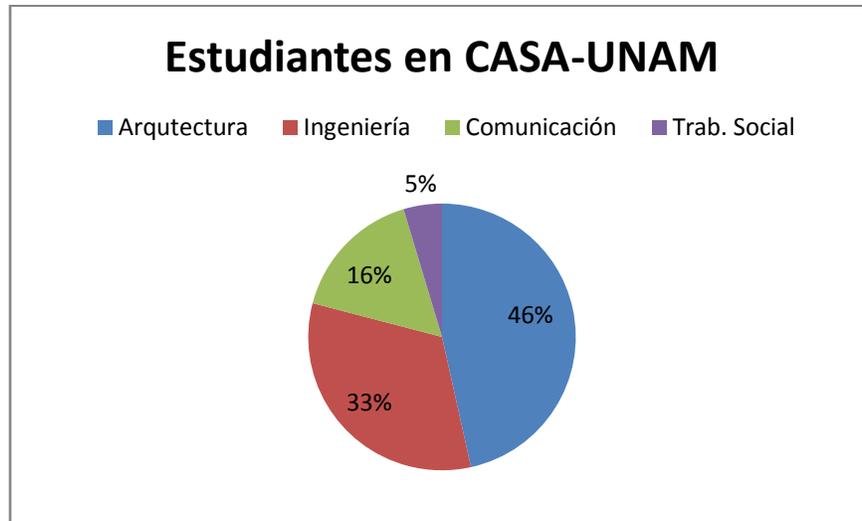


Fig. II-1. Proporción de estudiantes de las diversas disciplinas que forman parte del equipo de desarrollo de CASA-UNAM.

En cuanto a los ingenieros del equipo, se puede hacer la indicación de que el equipo estaba mayoritariamente dominado por Ingenieros Mecatrónicos, tal como se muestra en la figura II-2.

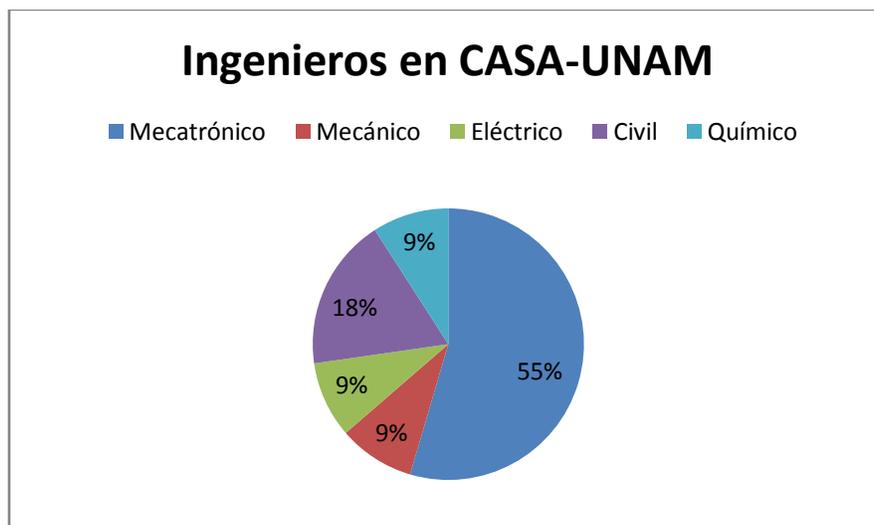


Fig. II-2. Porcentajes de ingenieros en servicio en CASA-UNAM.

A lo largo del desarrollo de CASA-UNAM se trató de llevar una dinámica de trabajo colaborativa, la cual era dominada principalmente por los criterios arquitectónicos del diseño, por la contextualización del sistema en un medio urbano-social del lugar de origen y la dinámica de trabajo con los patrocinadores que hacían patente su mecenazgo al proyecto donando materiales y accesorios que hicieran factible la manufactura del sistema CASA-UNAM, esta es la razón básica de que, en el proyecto no dominaron criterios puramente técnicos.

Muchas de las consideraciones técnicas – entre ellas las que atañen a este trabajo – hacían *per se* que se dificultara el transporte de las partes de la casa o hacían que la inversión en ella se incrementara desmesuradamente. Por tanto, se tuvieron que dejar un poco de lado para evitar que el proyecto perdiera la viabilidad de su realización (más información acerca del particular se encontrará en cada sección correspondiente al subsistema a tratar).

III. DISEÑO TÉRMICO SOLAR.

En esta sección se tratará lo relacionado con la planeación y ejecución de las instalaciones térmicas solares a implementar en la casa solar, abarcando el proceso de diseño de éstas y su materialización en el proyecto.

III.1 Introducción.

Como se mencionó en el II.2, se debe indicar las especificaciones técnicas de las instalaciones térmicas solares, las cuales aplican en este trabajo para el servicio de agua caliente sanitaria (ACS) solar, abarcando almacenamiento del fluido de trabajo, respaldos de energía y el mantenimiento de las mismas instalaciones.

En el apartado III.2 se hablará de las características climáticas del sitio de la competencia – Versailles, Yvelines, Francia – y de las del lugar de origen del proyecto – México, D. F. – a manera de antecedente para ubicar al lector en las diferencias geográficas de ambos lugares y como afectan éstas en el funcionamiento y rendimiento del equipo solar; las condiciones de prueba prescritas por el SDE son presentadas en el apartado III.3; un análisis comparativo entre tecnologías y modelos de sistemas solares térmicos para ACS se presenta en el III.4 y de las unidades de respaldo eléctricas en el III.5; se habla acerca de la metodología de cálculo del sistema ACS en el III.6 y en el III.7 se presenta la configuración del sistema de ACS.

III.2 Condiciones climatológicas en la ciudad de México (caso de estudio, U. H. Vicente Guerrero, Iztapalapa) y en Versailles (*La Cité du Soleil*) relevantes al diseño térmico solar.

Para el buen funcionamiento de un sistema energético solar (helio-térmico o foto-voltaico), es preciso saber qué condiciones imperan en el sitio para el cual se diseña, debido a que el dimensionamiento depende directamente de la cantidad de radiación solar disponible en sitio.

El sistema de ACS solar está diseñando para su funcionamiento en el sitio de competencia, esto es, para la ciudad de Versailles, no obstante, de acuerdo con el reglamento [7], es preciso que el diseño del sistema sea también bajo la consideración del lugar de origen del proyecto, en este caso, la Ciudad de México, más concretamente, la unidad habitacional Vicente Guerrero, de la delegación Iztapalapa.

La unidad mencionada, se encuentra en una latitud de 19.4° Nte. y a una longitud de 99.1° Pte., la altitud aproximada es de $2\ 240$ msnm. Una imagen de satélite se puede encontrar en la fig. III-1. Se encuentran cerca vialidades como el Anillo Periférico Canal de San Juan y el Eje 6 Sur Av. Luis Méndez.

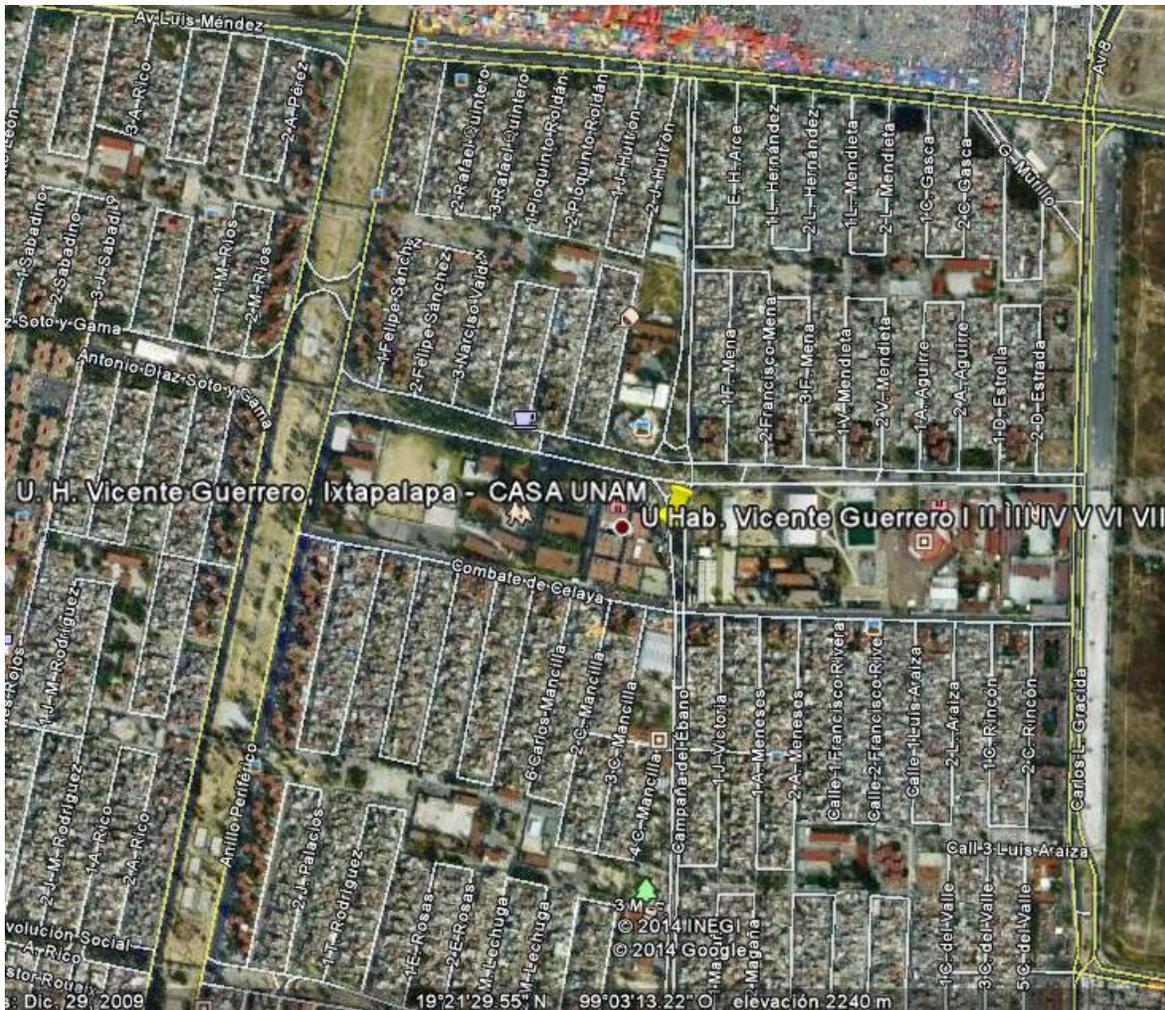


Fig III-1. Imagen de satélite que indica la ubicación de la U. H. Vicente Guerrero, en Iztapalapa, D. F., tomada de Google Earth.

La radiación solar disponible en esta zona se muestra en la tabla III-1. Se presenta la radiación mensual en el lugar y una radiación promedio al año. Para establecer un patrón de comparación, los meses que interesarán son los de Junio y Julio, puesto que en éstos son en los que se desarrollará la competencia.

Radiación mensual promedio diaria sobre una superficie horizontal ($kW-h/m^2-día$)													
Lat: 19.358° Nte. Long: 99.054° Pte.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agto.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Media anual
Media (ult. 22 años)	4.78	5.73	6.55	6.50	6.24	5.60	5.51	5.42	4.95	4.92	4.81	4.49	5.45

Tabla III-1. Radiación solar sobre una superficie horizontal en la unidad habitacional Vicente Guerrero, Del. Iztapalapa, México D. F., datos de la NASA en [11].

El sitio de competencia, como se ha mencionado, es Versailles, departamento de Yvelines, región de Île-de-France en Francia; el lugar es nombrado como *La Cité du Soleil* (La Ciudad del Sol). Su situación geográfica es a una latitud de 48.707° Nte. y a una longitud de 2.106° Ote., tiene una altitud aproximada de 121 msnm. En la fig. III-2 se muestra una imagen de satélite de la ubicación de dicho lugar.

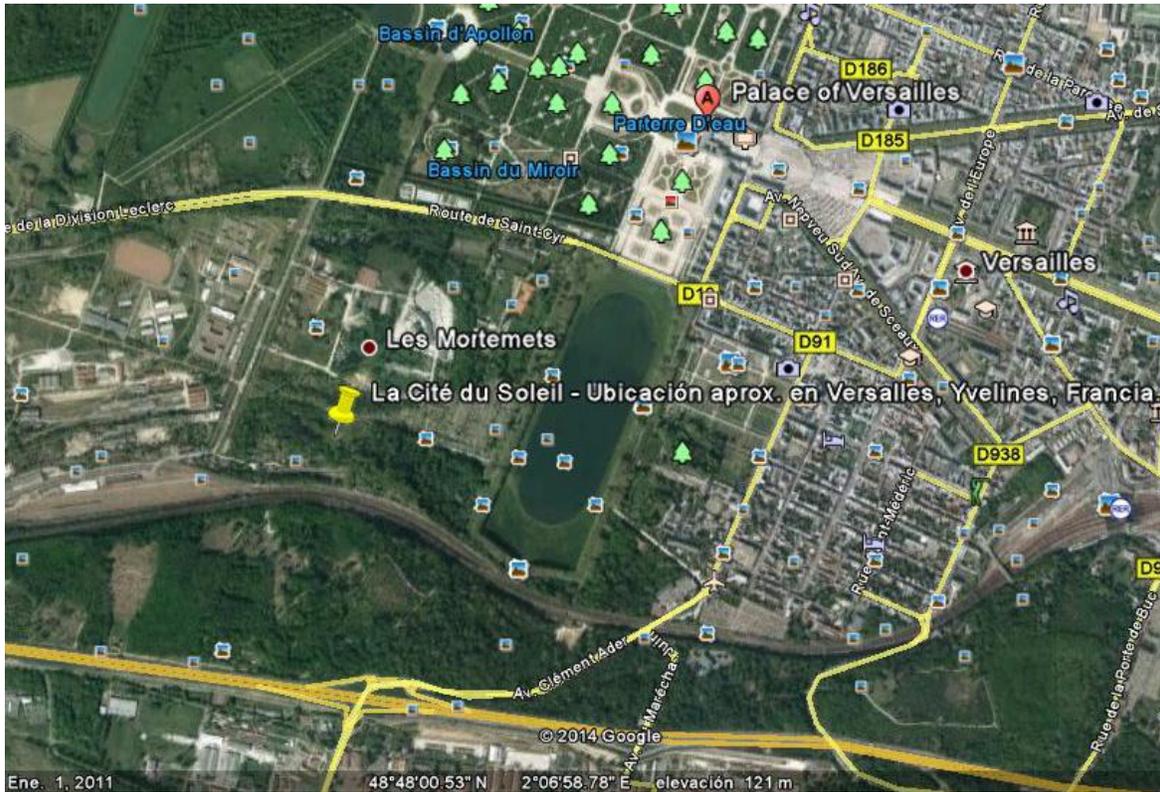


Fig III-2. Ubicación aproximada del sitio de competencia en Versailles, Yvelines, Francia, tomada de Google Earth.

La radiación solar promedio se muestra en la tabla de abajo. Nuevamente, los meses de interés son junio y julio.

<i>Radiación mensual promedio diaria sobre una superficie horizontal (kW-h/m²-día)</i>													
Lat: 48.797° Nte. Long: 2.106° Ote.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agto.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Media anual
Media (ult. 22 años).	1.04	1.73	2.78	3.95	5.04	5.39	5.36	4.79	3.39	2.04	1.20	0.83	3.13

Tabla III-2. Radiación solar sobre una superficie horizontal en La Cité du Soleil, Versailles, Yvelines, Francia. Datos de la NASA en [11].

La cantidad de radiación disponible en el sitio de competencia es relativamente menor que en el lugar de origen del sitio según la información de las tablas anteriores. Esto, más que nada, es consecuencia de la variación de condiciones de nubosidad en cada punto. Otro factor

importante son las temperaturas exteriores, ya que un medio frío ocasiona una acelerada pérdida de calor del agua caliente distribuida a través del sistema de plomería de CASA-UNAM [14].

Las temperaturas medias normales para el lugar de origen y la zona de competencia se muestran en la tabla III-3. En el caso de Versalles, se emplearon las temperaturas de París, debido a que no se tienen datos para la ciudad de Versalles, no hay gran variación debido a la cercanía de ambas ciudades.

<i>Temperaturas medias normales (°C)</i>													
Lugar	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agto.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
D.F.	13.3	14.6	16.6	18.3	19.2	19.1	18.2	18.2	17.8	16.8	15.2	13.9	16.8
Par.	4.95	5.55	8.75	11.45	15.25	18.25	20.5	20.35	16.9	12.75	8.3	5.45	12.3

Tabla III-3. Temperaturas medias normales en la ciudad de México (D. F.) [12] y en la ciudad de París (Par.) [13].

III.3 Estructura de las pruebas al sistema ACS definida por la competencia.

En este apartado se presenta el funcionamiento de las pruebas que se efectúan al sistema de ACS y que están prescritas por la normativa vigente y aplicable [7].

Sub-prueba 6.3, "lavado de ropa".

En esta prueba se examinará el funcionamiento de la lavadora con una carga de lavado en ciclo normal prefijada de seis toallas suministradas por la organización. La ropa se lavará con agua caliente y su temperatura será medida con un sensor ubicado en las prendas de prueba. Se completa con éxito si en algún punto se alcanzan, al menos, 40 °C de temperatura del agua. Los ciclos no deben interrumpirse y las pruebas son sin jabón.

La distribución de los puntos relacionados con la prueba se muestra en la fig. III-3. El total de puntos para esta competencia es de veinte.

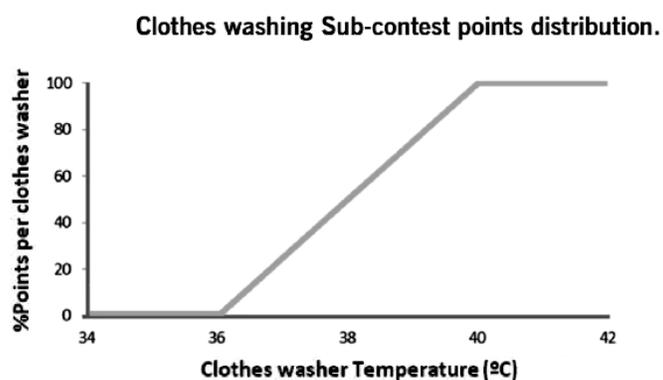


Fig. III-3. Porcentaje de puntuación para la prueba de lavadora de ropa (6.3) con base en la temperatura alcanzada [7].

Sub-prueba 6.5, "lavado de trastos".

En esta prueba se verifica el funcionamiento de la máquina lavavajillas con una carga en ciclo normal ininterrumpido con agua caliente. Si la temperatura – medida dentro del aparato – alcanza cuando menos 49 °C, se da por superada la prueba; no se aplica jabón en la prueba.

En la fig. III-4 se muestra la distribución de puntos en función de la temperatura alcanzada. La puntuación máxima de esta prueba es de diez puntos.

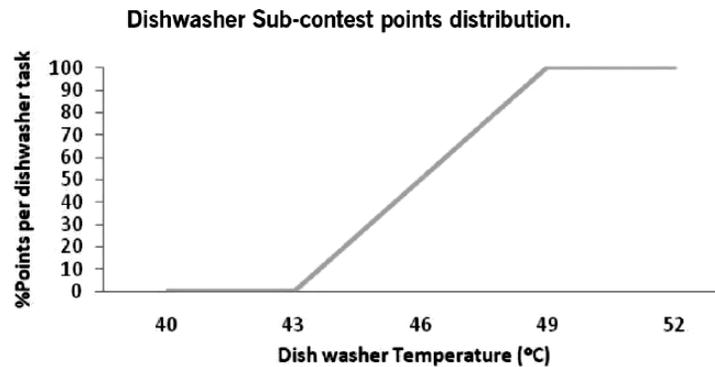


Fig. III-4. Porcentaje de puntuación para la prueba de lavado de trastos (6.5) con base en la temperatura alcanzada [7].

Sub-prueba 6.7, "muestreo de agua caliente".

Es una prueba directa al servicio ACS de la casa consistente en una serie de muestras de 50 litros de agua provistas en 10 min., las cuales deben alcanzar al menos 43 °C de temperatura para poderse dar por superada la prueba. Se pueden tomar hasta tres muestreos por día, esto para simular con mayor cercanía a la realidad un escenario de demanda de agua caliente para uso doméstico.

En esta prueba se examina el funcionamiento del sistema térmico y del sistema hidráulico, ya que se espera un flujo de 5 l/min de ACS.

En la fig. III-5 se muestra la distribución del puntaje alcanzado respecto de la temperatura a la que se eleva el agua en esta prueba. La puntuación máxima es de veinte puntos.

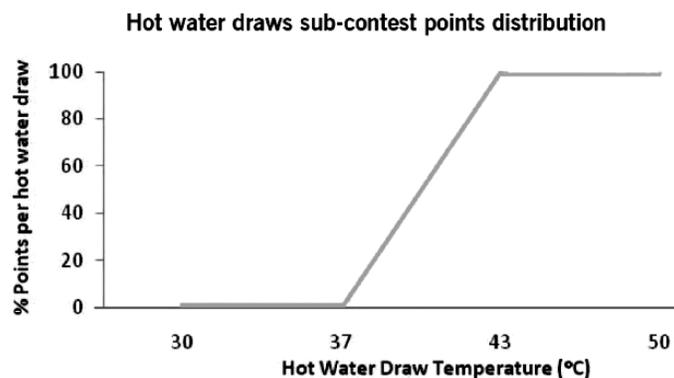


Fig. III-5. Porcentaje de puntuación para los muestreos de agua caliente (6.7) con base en la temperatura alcanzada [7].

Las pruebas al sistema ACS se hacen durante la competencia de manera diaria de Lunes a Viernes, y cada equipo es libre de escoger el horario en que le convenga más ejecutar las tareas que exijan el uso de agua caliente, esto con base en las condiciones de radiación solar esperadas [15].

III.4 Tecnologías de calentamiento solar de agua.

Previo a hacer un diseño de un sistema de ACS solar, es preciso hacer un análisis de las formas en que se puede calentar el agua para una casa vía solar. El agua, para elevar $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ su temperatura, considerando una masa de 1 gr. , a presión atmosférica (101.3 kPa) requiere el equivalente a 1 cal. , o bien 4.18 kJ/kg-K de calor para que suceda [14].

La radiación total solar incidente en la atmósfera es de $1.7 \times 10^{+14}\text{ kW}$ y varía únicamente en un 3.3% a medida que la órbita elíptica de la Tierra hace que ésta se aproxime o aleje del sol [13]. Ésto implica que cuando se incrementa la latitud de un lugar – esto es, cuanto más al Norte o al Sur se encuentre – habrá que sobredimensionar el sistema solar, en este caso de los colectores, ya que a mayor latitud, menor es la incidencia del sol [9]. En el III.2 puede apreciarse esta diferencia en las condiciones de México y Versalles.

Un calentador solar es un dispositivo que permite convertir la energía radiante del sol en energía térmica transferible a algún fluido de trabajo – líquido o gaseoso – con el fin de elevar su temperatura (esta función la hace el colector solar, parte del sistema de calentamiento solar), para posteriormente almacenar dicho fluido (en un tanque aislado denominado termotanque, para evitar la pérdida de energía del agua ya calentada) o transmitirlo directamente al punto de utilización [9 – 17].

Las condiciones atmosféricas locales, la cantidad de agua a calentar, la disponibilidad de ésta y la temperatura que desea alcanzarse son factores a tomar en cuenta al momento de dimensionar el sistema solar de ACS [16]. Con base en lo expuesto, se han desarrollado diversas tecnologías para lograr el propósito ya dicho anteriormente.

A modo comparativo, se presentan las características generales de los sistemas de calentamiento solar disponibles en el tiempo actual en la tabla III-4.

Tecnologías de calentamiento solar de agua.				
Tecnología	Descripción.	Ventajas	Desventajas	Aplicación.
Colector plano no acristalado. 	Superficie de absorción solar oscura sin cubierta vidriada transparente, generalmente de plástico, a veces tratado con recubrimientos selectivos. Se emplean para bajas	<ul style="list-style-type: none"> • Por su construcción, puede reemplazarse a algunas cubiertas de techo. • Integrable estéticamente al edificio. • Bajo costo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja eficiencia. • Grandes pérdidas de calor. • Baja temperatura de funcionamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Generalmente para calentamiento de piscinas. • Rango de temperaturas de 20 a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (a veces $40\text{ }^{\circ}\text{C}$).

	temperaturas.			
<p>Colector plano acristalado.</p> 	<p>Superficie de absorción solar, generalmente metálica (Cobre) y tratada con capa selectiva a la radiación, con una capa doble o sencilla de vidrio de baja reflectancia y alta transmitancia de la radiación solar. Cuentan con aislamiento térmico regularmente</p>	<ul style="list-style-type: none"> • No es costoso. • Instalable en varias formas (parte de la fachada, en otras ubicaciones). • Disipa menos energía que el colector no acristalado. • Soporta vandalismo y granizadas cuando la cubierta es de vidrio templado. • El calentador plano acristalado puede operar con radiación difusa y directa del sol. • Es capaz de emplear fluidos caloportadores para calentar el agua de manera indirecta. 	<ul style="list-style-type: none"> • No adecuado para temperaturas altas. • Requiere más espacio en losa para su instalación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Para agua caliente doméstica. • Para temperaturas hasta 60 °C.
<p>Colector de tubos de vacío.</p> 	<p>Colector formado por tubos de vidrio con tratamiento con superficie selectiva a la radiación que son evacuados de todo gas hasta presiones menores a 1 kPa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdidas reducidas de calor, ya que con la evacuación del tubo se reducen casi a su totalidad los efectos de conducción y convección en pérdidas. • La superficie que requiere es menor que un colector plano vidriado. • Es más ligero que un colector plano 	<ul style="list-style-type: none"> • No se integra bien al edificio. • Frágil y peligroso al manipularlo. • No resiste vandalismo ni granizadas. • No funciona en cualquier posición. • Costoso en relación con tecnologías planas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Para rangos de aprox. 100 °C, algunos pueden servir para generar vapor.

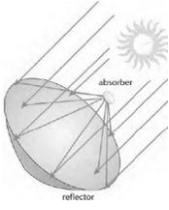
		acristalado. <ul style="list-style-type: none"> • Es capaz de emplear fluidos caloportadores para calentar el agua de manera indirecta. 		
Concentrador parabólico. 	Sistema de espejos con arreglo parabólico que concentran la radiación solar en una zona, lo que permite alcanzar mayores temperaturas del fluido de trabajo.	<ul style="list-style-type: none"> • El nivel de temperaturas que alcanza es muy alto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Muy costoso. • Frágil. • No funciona con radiación difusa, solo con radiación directa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Servicios de agua caliente industrial, cocina y vapor sobrecalentado.

Tabla III-4. Comparativa de tecnologías de calentamiento solar aplicadas para agua [16].

A pesar de que la tecnología de tubos evacuados es la más eficiente y la que ofrece ventajas más interesantes, se ha escogido la tecnología plana acristalada, debido a que puede trabajar con radiación directa y difusa del sol [9] (la última es relacionada con los días nublados, típica en Versalles), es más fácil y menos riesgosa en su instalación [17], además de que puede trabajar con cualquier inclinación [17]. En contraparte, la tecnología de tubos evacuados requiere una inclinación mínima de 25° para operar [17], además, tienen mayor resistencia al vandalismo y condiciones extremas atmosféricas – como granizo – [16, 17] y la ejecución del mantenimiento conlleva menos riesgos para el operario [17].

En la siguiente sección, se presenta una comparativa entre algunos calentadores convencionales que pueden ser empleadas para calentar el agua cuando no es posible producir ACS vía solar.

III.5 Comparativa entre calentadores convencionales de respaldo.

El calentamiento de agua por medios convencionales se ha efectuado a través del empleo de combustibles fósiles y electricidad mediante calentadores de agua, calderas o *boilers* [18, 19] cada uno ofreciendo diversas ventajas y desventajas en cuanto a su operación.

Básicamente, el principio de funcionamiento de estos artefactos es, que mediante el suministro de energía calorífica – al quemar un combustible o vía el calor disipado por una resistencia eléctrica – a un fluido contenido o en circulación se eleva su temperatura. Esta elevación de temperatura puede ser o no instantánea, según el tipo de calentador.

Se presentan en la tabla III-5, algunos de los diferentes tipos de calentadores de agua convencionales de mayor empleo en viviendas en México.

Calentadores de agua convencionales	
De gas (pudiendo emplear Gas Licuado del Petróleo o Gas Natural como combustible) [18].	Eléctricos (generalmente monofásicos o trifásicos) [19].
<ul style="list-style-type: none"> • Calentador de depósito: En estos calentadores, el agua previamente almacenada en un depósito, se calienta mediante un quemador uniflamo. El agua al alcanzar una temperatura prefijada, corta el suministro de gas. • Calentador de rápida recuperación: Están contruidos con el principio de un calentador de depósito, pero almacenan una cantidad mucho menor de agua, lo que hace que proporcionen ACS de manera continua por un tiempo ilimitado. Emplean calentadores multiflamo. • Calentador de paso: Con estos calentadores se obtiene ACS de manera instantánea; el agua se hace pasar por un intercambiador de calor – generalmente un serpentín – que está en contacto directo con el calor originado de los productos de combustión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Calentador de depósito: Semejante al calentador de depósito que funciona con gas, solo que el proceso de calentamiento es efectuado mediante un elemento resistivo el cual es desactivado al alcanzar la temperatura previamente establecida. • Calentador de paso: Se hace pasar agua a través de un serpentín con una resistencia graduable según la temperatura deseada.

Tabla III-5. Tecnologías de calentamiento convencional de agua.

En el contexto del *SDE 2014*, se hace la indicación de que el sistema de calentamiento de agua debe ser operado mayoritariamente con energía solar [7]. Sin embargo, es posible hacer la implementación de unidades calentadoras convencionales de agua, siempre y cuando sean eléctricas y no operen directamente con combustibles fósiles [7].

III.6 Acerca de la metodología de dimensionamiento del sistema de ACS.

El proceso empleado para calcular la superficie necesaria de colector solar para abastecer el servicio de ACS a CASA-UNAM fue elaborado considerando las siguientes características inherentes al uso y configuración del prototipo.

- Material empleado en la tubería de canalización del agua caliente.
- Uso promedio de servicios en el contexto de diseño en la ZMVM [21] y demanda de agua en pruebas de la competencia [7].
- Consumos y frecuencias de utilización de equipos instalados que empleen agua caliente para su uso normal.

Transportar y almacenar agua caliente hasta los puntos requeridos conlleva la posibilidad de que ésta se enfríe, alcanzando consecuentemente una temperatura insatisfactoria para su uso. Dichas pérdidas de calor se manifiestan como:

- Enfriamiento por convección (forzada) al transportar el agua dentro de la plomería.
- Conducción de calor desde el interior de los tubos que llevan el fluido de trabajo caliente hasta la pared exterior de dichos tubos.
- Acción enfriadora del aire alrededor de la tubería (convección natural).
- Pérdidas de calor globales de calor en el depósito de agua caliente.

Dichas pérdidas de calor deben compensarse con superficie adicional de colector solar, con objeto de calentar un poco más el agua que se suministra y así asegurar que el servicio de ACS se otorgue de manera satisfactoria.

El método de cálculo de la superficie de captador solar es bastante simple y se generó bajo las siguientes consideraciones:

- Los procesos de conducción de calor son supuestamente llevados a cabo en estado estacionario (no varían sus condiciones con el tiempo).
- La circulación del fluido de trabajo – el agua – se desarrolla de manera uniforme y permanente.
- El comportamiento del aire circundante a la tubería tiene condiciones permanentes.
- Las propiedades del agua, aire y material de la tubería se asumen isotrópicas.
- Los procesos descritos se consideran unidimensionales.

Çengel [20] dice, con relación al hecho de asumir condiciones estacionarias al analizar un proceso de transferencia de calor, que *“la mayoría de los problemas de transferencia de calor que se encuentran en la práctica son de naturaleza transitoria, pero suelen analizarse bajo condiciones que se suponen estacionarias, ya que los procesos estacionarios son más fáciles de analizar y suministran respuestas a nuestras preguntas”*, además, *“si la finalidad del análisis de transferencia de calor de una casa es determinar el tamaño apropiado de un calefactor (ejemplo que pone el mismo Çengel), que suele ser el caso más común, se necesita conocer la razón máxima de la pérdida de calor de esa casa, que se calcula al considerar la pérdida de calor en las peores condiciones, durante un periodo extendido; es decir, durante operación estacionaria en las peores condiciones. Por consiguiente, se puede obtener la respuesta a la pregunta al llevar a cabo un análisis de transferencia de calor en condiciones estacionarias”*, lo que es una práctica común en Ingeniería [20].

La forma de calcular las pérdidas de calor en plomería es un poco más sencilla aplicando la analogía del circuito térmico [41], en la que todo el proceso se hace depender únicamente de la temperatura del fluido de trabajo buscada – temperatura objetivo – y la temperatura ambiente más baja observada en el sitio para el que se diseña, así como de la resistencia térmica de cada elemento que interviene en el transporte y almacenamiento de agua caliente.

A lo anterior hay que añadir la cantidad mínima de energía necesaria para calentar el volumen de agua demandado, la energía va relacionada con el incremento de la temperatura desde la temperatura a la que entra el agua al sistema y la temperatura que se desea alcanzar. Esto es regido por la Primera Ley de la Termodinámica [16], aquí se está considerando un proceso en estado estacionario, se asume que el sistema opera bajo la presión atmosférica.

Se consideraron, desde luego, las características de posición solar para poder aprovechar de manera eficiente la incidencia del sol sobre el colector, y con ello, evitar emplear una superficie mayor de colector solar.

En [9] se ha dado la indicación de que cualquier unidad que funcione con energía solar debe orientarse hacia el sur (en el hemisferio norte, caso de México y de Versalles) con una inclinación aproximadamente igual a la latitud del lugar, con una tolerancia de entre 10° a 15° respecto de dicha coordenada. Sin embargo, ya que la posición del sol no es la misma a lo largo del año, debe considerarse la adaptación del dispositivo – en este caso, el colector solar – con base en la declinación solar de ese momento del año. En [11] es posible saber cuál es la orientación más conveniente para dispositivos solares (helio-térmicos y fotovoltaicos) según la temporada del año y las coordenadas específicas del lugar donde se desea instalar el dispositivo solar.

Estas consideraciones se han vaciado en una metodología de cálculo para dimensionar el sistema de agua caliente, dicha metodología se encuentra desarrollada a detalle en el anexo A, donde se indican de manera más específica las hipótesis consideradas en este proceso de cálculo. Los procesos de transferencia de calor se calcularon en una secuencia de instrucciones empleando el programa comercial *EES (Engineering Equations Solver)* [14, 20]. La red del sistema de plomería para agua caliente (al igual que para agua fría) se muestran en el anexo B.

III.7 Configuración del sistema de ACS para CASA-UNAM.

Consumo de agua caliente para efectos de las pruebas.

De acuerdo con las reglas de la SDE, así como las necesidades básicas de los usuarios típicos de las casas, la demanda de agua caliente sanitaria proviene del consumo en lavabos y duchas (muestreo de ACS), lavadora y lavavajillas.

Por lo tanto, se presenta la siguiente aproximación de la demanda diaria de agua caliente sanitaria (ACS). Las especificaciones concretas de consumo de enseres se tomaron de los manuales respectivos (siendo considerados, desde luego, los consumos pico de cada electrodoméstico) y las características de los muestreos de ACS se presentaron en el apartado 3.

<i>Tabulador de consumos de ACS para competencia.</i>						
Equipo/servicio	Modelo	Consumo (l)	Tiempo de uso (min)	Frec. de uso	Consumo total (l)	Flujo equivalente (l/min)
Lavadora	General Electric WDP1145RD	52	39	1	52	1.33
Lavavajillas	Fisher & Paykel DD24ST17	7.57	110	1	7.57	0.07
Muestreo de	Sub-	50	10	3	150	5.00

agua caliente	competencia 6.7 SDE					
Totales					209.57	6.40

Tabla III-6. Consumo calculado de ACS en el contexto del SDE.

Sin embargo, por el contexto de la Ciudad de México tenemos patrones significativos a tener en cuenta desde el comportamiento de la población mexicana en el consumo de agua caliente [21], tales como el uso casi nulo de los lavavajillas (en cambio, el agua caliente se utiliza principalmente para lavar los platos a mano) y el uso de sólo agua fría para el lavado de ropa. Teniendo en cuenta los últimos hechos, presentamos a la aproximación de la demanda diaria de agua caliente sanitaria para nuestro proyecto en la Ciudad de México:

<i>Tabulador de consumos de ACS para ZMVM</i>						
Equipo/servicio	Modelo	Consumo (l)	Tiempo de uso (min)	Frec. de uso	Consumo total (l)	Flujo equivalente (l/min)
Lavabo	-	2.5	3	3	7.5	0.83
Fregadero	-	13	15	2	26	0.87
Lavavajillas	Fisher & Paykel DD24ST17	7.57	130	1	7.57	0.06
Regadera	-	30	10	2	60	3.00
Totales					101.07	4.76

Tabla III-7. Consumo calculado de ACS para la ZMVM.

Es importante notar que los últimos cálculos tienen las siguientes consideraciones:

- Se supone un caso de consumo máximo con todos los servicios de trabajo simultáneamente.
- Los servicios que trabajan juntos se refieren a un ciclo de la lavadora de ropa, un ciclo de la lavadora de platos y un muestreo agua caliente, para el caso de Versalles; y para el caso de la Ciudad de México, los servicios que trabajan juntos se refieren a la utilización simultánea de un lavabo, el fregadero de platos, un ciclo de la lavavajillas y alguien que toma una ducha.
- Consumo considerado para dos adultos jóvenes con conductas de conservación del agua.

De [11] se obtuvieron los valores de orientación de los calentadores solares para la ZMVM y para Versalles. Debido a incidencias de la configuración arquitectónica de CASA-UNAM, se tuvo que proceder a instalar los colectores con las orientaciones e inclinaciones indicadas en bastardillas en la tabla siguiente.

Sitio	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agto.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic
ZMVM	46	36	22	6	0	10	8	1	14	29	43	46
Ver.	62	55	42	27	15	9	<u>12</u>	24	38	52	61	64

Tabla III-8. Orientación de los colectores solares para cada mes del año en la ZMVM y en Versalles (Ver.). Se marcaron en bastardillas y subrayado en la tabla [11].

Por los motivos enunciados arriba, se tuvo que dar una tolerancia de $+10^\circ$ a la inclinación del mes de Julio en Versailles, quedando con 22° .

Descripción narrativa del sistema de ACS.

Con el fin de obtener y distribuir el agua caliente deseada para los respectivos servicios, se decidió configurar el sistema de agua caliente como sigue:

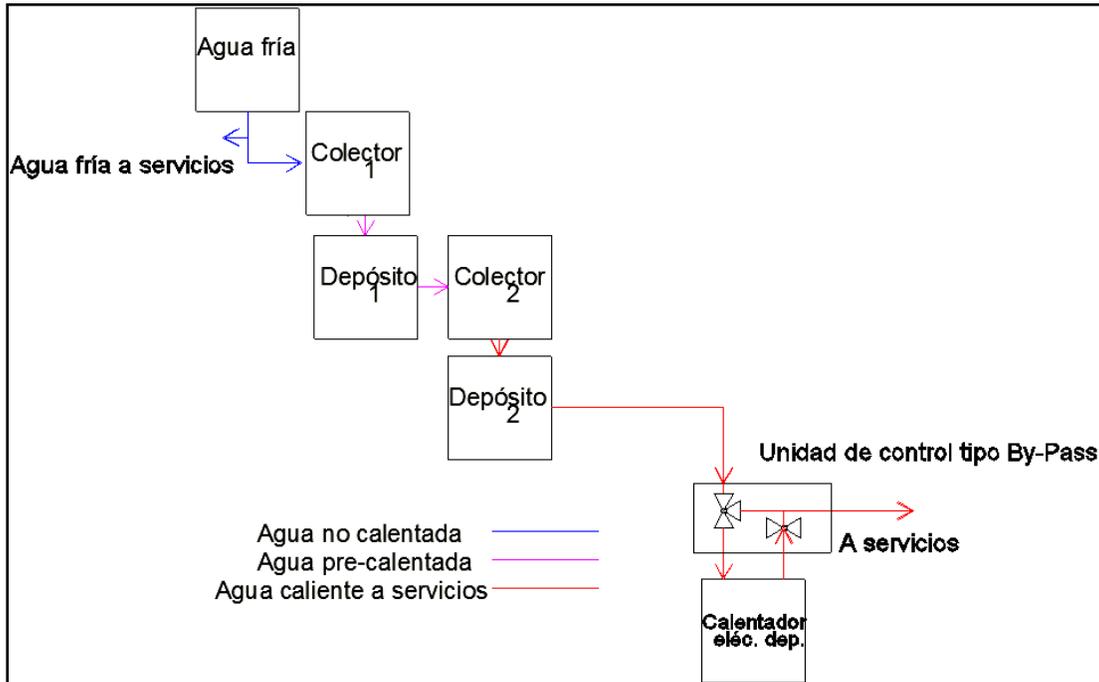


Fig III-6. Configuración del sistema de agua caliente para CASA-UNAM.

El funcionamiento del sistema es listado abajo.

- El agua sin calentar fluye de los tanques de almacenamiento, debido a la gravedad, hacia el primer colector solar, donde la radiación solar será incidente y el colector absorberá dicha radiación como energía térmica.
- Por efecto de termosifón, el agua caliente fluye de la parte inferior del colector hacia el termo-tanque.
- Para incrementar la temperatura del agua un poco más y garantizar la temperatura solicitada para las pruebas del *SDE*, el termo-tanque antes mencionado estará conectado en serie con otro colector con su respectivo termo-tanque.
- El agua caliente se mantendrá almacenada en el segundo termo-tanque hasta que exista una demanda de agua por parte de los servicios que la requieran.
- El agua fluirá del termo-tanque hacia los servicios, pasando a través del calentador eléctrico de depósito en caso de que la temperatura alcanzada previamente sea menor de 50°C (temperatura objetivo para las pruebas de agua caliente del *SDE*). Dicho control se llevará a cabo mediante un sensor de temperatura y una electroválvula.

Mínima energía para calentar el agua.

Partiendo de una temperatura de entrada del agua no calentada ($7\text{ }^{\circ}\text{C}$ en Versailles, $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ en ZMVM), una temperatura objetivo de $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ y las propiedades de todos los fluidos – agua y aire – a la presión atmosférica – 101.3 kPa – se procedió a calcular la energía mínima necesaria para calentar el agua a la temperatura deseada.

Después de los respectivos cálculos y conversión de unidades, el mínimo de energía es de 11.69 kW-h para el caso de Versailles (5.282 kW-h para el caso de la Ciudad de México). Este cómputo no incluye las pérdidas por tubos ni por almacenamiento en termo-tanque.

Características generales de la plomería.

El sistema de plomería para ACS es de la marca *Viega*, modelo *ViegaPEX Tubing*, que tiene las características [22] que a continuación se describen:

- Material: Polietileno de alta densidad
- Densidad: $946\text{ kg} / \text{m}^3$
- Módulo de flexión: 830 MPa
- Coeficiente de expansión térmica lineal: $15 \times 10^{-5}\text{ } / \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Conductividad térmica: $3.5 \times 10^{-3}\text{ W} / \text{cm-}^{\circ}\text{C}$



Fig III-7. Tubería empleada para la distribución de agua caliente en CASA-UNAM.

Para la instalación se considera una tubería de 19 mm de diámetro interior y el tramo total es de 18.41 m , de los cuales 13.38 m son tubos horizontales y 5.03 m son verticales. En este ejercicio la tubería no está aislada. Información relacionada con la distribución de la tubería en los componentes del sistema CASA-UNAM, puede ser encontrada en los planos en el Anexo B.

Pérdidas de calor en tubería.

Considerando los procesos descritos de transferencia de calor por conducción, convección del fluido y del aire alrededor de los tubos se calcularon las pérdidas de calor en tubería en el sistema hidráulico de ACS, con base en la metodología presentada anexos. Las pérdidas de calor diarias en Versalles son 0.88 kW-h ; en tanto que en la ZMVM serían *de* 1.06 kW-h .

Pérdidas de calor en depósito.

En Versalles, el agua pierde calor en el depósito diariamente el equivalente a 1.66 kW-h ; en México serían 1.91 kW-h .

Dimensiones finales del sistema.

La energía total requerida para calentar el agua en ambos casos, es función del volumen a calentar, las pérdidas de calor por tubería y depósito y del índice de utilización del sol respecto de los otros sistemas de calentamiento (factor solar).

Esto es, para alcanzar la temperatura objetivo de $55 \text{ }^\circ\text{C}$, es preciso aplicar 14.23 kW-h de calor en Versalles y 8.26 kW-h en la ZMVM.

Esa cantidad de calor es preciso alcanzarla con el colector solar cuando, en este caso, se supone que se usará enteramente la energía solar (un Factor solar de 1 equivale al 100% de uso de energía solar respecto de otras tecnologías de ACS), se dispone de una cantidad pronosticada de radiación solar y se sabe la cantidad de energía que se puede aprovechar con el colector (eficiencia).

Con los datos anteriores y la metodología descrita en el apartado 6, se obtuvo que en Versalles, el área de absorción de la energía solar requerida es de 3.36 m^2 ; en tanto que en la ZMVM, ésta sería de 1.92 m^2 . El modelo del colector es de marca Módulo Solar S. A., de modelo HVA con superficie de 1.72 m^2 , se emplearán dos colectores, cuya superficie total es de 3.44 m^2 .

La configuración corresponde al sistema de ACS solar Axol Concept 150, de 150 l de capacidad por colector, esto es, la capacidad nominal de la instalación con los dos colectores es de 300 l , dicha configuración fue escogida en virtud de la oferta limitada de depósitos y por incompatibilidades relacionadas con el diseño arquitectónico de la torre donde se instalarán éste sistema de ACS y otros sistemas hidráulicos para CASA-UNAM.

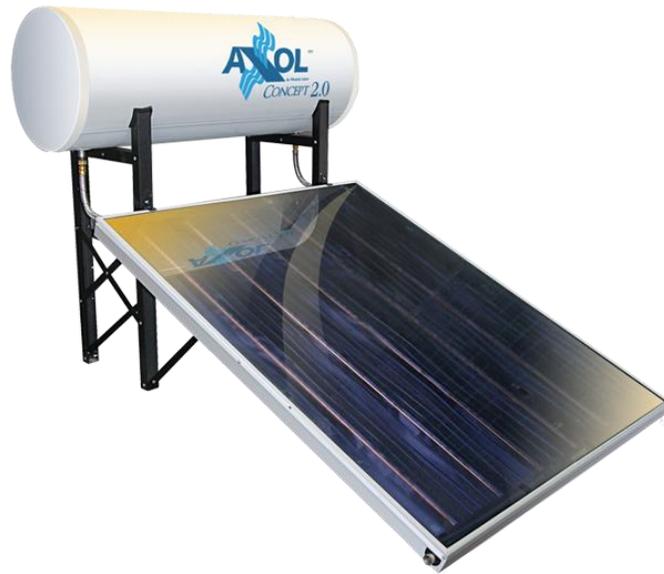


Fig III-8. El sistema de calentamiento solar de agua Axol Concept 150 l; para el sistema CASA, se emplearon dos sistemas en serie [17].

Especificaciones del sistema de calentadores solares pueden encontrarse en el anexo C.

El sistema de respaldo está controlado con electroválvulas y sensores de temperatura. Si el agua está a igual o mayor temperatura que la deseada, el sistema tipo *By-Pass* evitará que el respaldo – constituido por un calentador de agua eléctrico tipo depósito – opere calentando el agua y desviaré ésta directamente a los servicios; en caso contrario, si el agua es más fría que lo esperado, las válvulas operarán de tal forma que el agua pasará directamente al calentador de depósito, ésta se calentará hasta la temperatura objetivo y pasará directamente a los servicios. Se puede ver gráficamente en la fig. III-3.

El calentador de depósito es de marca Rheem, modelo 89VP15S para 15 U.S. Gal – 57 l – que tiene una resistencia de potencia de 2.24 kW y funciona a 127.5 V_{CA}. La razón de la selección de ésta capacidad está fundamentada en que los servicios que demandan mayor temperatura – servicio general y lavavajillas – puedan ser compensados en caso de malas condiciones de radiación a un día determinado.



Fig III-9. El calentador de agua eléctrico de depósito de respaldo Rheem 89VP15S de 57 l.

Especificaciones del sistema de calentamiento de respaldo eléctrico pueden encontrarse también en el anexo C.

Pruebas preliminares del sistema de ACS en México.

Antes de implementar el sistema de calentadores solares en *La Cité du Soleil*, se procedió a probar el funcionamiento de los colectores solares al momento de que se recibieran en México.

Durante la semana del 14 al 18 de Abril de 2014, se instalaron los colectores de manera semejante a como se implementaron en el *SDE*, tal como se muestra en la figura III-10.



Fig. III-10. Instalación del sistema solar de ACS durante las pruebas en México D. F. (en C. U.)

En esos días las condiciones climáticas fueron variables, por lo que se tuvieron varios periodos de nubosidad, e incluso lluvias. Aun así, la temperatura que alcanzó el agua fue de $42.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ en promedio, con un tiempo de recuperación de aproximadamente de 4 h .

Se probó igualmente que el sistema de respaldo funcionara correctamente, según se muestra en la figura.



Fig. III-11. Pruebas del calentador eléctrico de respaldo en México.

Se conectó a la electricidad con una protección de 25 A y un cable de uso rudo calibre 10; el suministro de agua fue con toma directa de una válvula. El sistema tardó 50 min. en calentar el agua (la instrucción del manual del calentador indicaba que tardaba 49 min.) a una temperatura de $48\text{ }^{\circ}\text{C}$ (la calibración del termostato estaba en $49\text{ }^{\circ}\text{C}$) cortando la resistencia al alcanzar el valor mencionado. Las temperaturas en ambas pruebas fueron medidas con un termopar conectado a un multímetro de gancho convencional.

Como se mencionó en secciones anteriores, las pruebas en Versalles se tuvieron que efectuar únicamente con el sistema solar funcionando, ya que el calentador de depósito fue severamente maltratado durante su transporte, impidiendo su conexión a la red eléctrica de CASA-UNAM. El clima no fue el adecuado para el funcionamiento del sistema solar, aun así, en varios días se alcanzaron temperaturas del orden de $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el servicio de agua caliente del edificio.

El sistema de ACS, se diseñó considerando las condiciones de radiación solar del lugar y se demostró que dicho diseño operó de la forma esperada, cuando reinaron condiciones favorables de sol. Sin embargo, uno de los grandes problemas que se tuvieron fueron las pérdidas de calor en la tubería, ya que esta no se aisló. Se comprueba, que las especificaciones de la tubería empleada no son óptimas para el funcionamiento de un sistema de ACS con las condiciones climáticas de Versalles, por lo que el aislamiento de la tubería era necesario. *In situ*, las condiciones climáticas fueron poco favorables, ya que los días estuvieron

mayoritariamente nublados, fríos, con presencia de viento y lluvia, por lo que el desperfecto del sistema de respaldo impactó severamente el funcionamiento de la instalación de ACS.

IV. FUNCIONAMIENTO TERMICO DEL EDIFICIO DE CASA-UNAM.

En esta sección se presenta lo relacionado con el estudio del funcionamiento térmico de CASA-UNAM, el cual es una aproximación al comportamiento real ya que el clima no es un fenómeno totalmente predecible, por lo que no es posible formular – y no es propósito de este trabajo – un modelo exacto de funcionamiento térmico; se presenta el diseño de las instalaciones electromecánicas de ventilación y la influencia de éstas en el funcionamiento esperado de la casa.

IV.1 Introducción.

Un buen diseño de una casa acorde a una región en particular del planeta que considere el clima, hará de ésta un recinto más eficiente energéticamente y que requiere un menor consumo de electricidad o de combustibles para lograr las condiciones de confort [23]. La meta es llegar a una casa que no requiera sistemas convencionales de climatización para ser agradable para los ocupantes, además de que pueda adaptarse a los cambios naturales de clima del año.

En esta sección se presenta el proceso para diseñar de la manera más eficiente – térmicamente – el sistema de envolvente térmica y las adaptaciones que hay que aplicar al cambiar de contexto la casa (esto es, las condiciones climáticas de un lugar a otro). En el apartado 2 se habla de algunas definiciones que se deben establecer para comprender el funcionamiento térmico de algún recinto en particular. Las características del clima de la ZMVM y de Versalles y las zonas de confort en cada zona son presentadas en la sección 3, las propiedades geométricas de la casa se presentan en el apartado 4 (losa, muros, piso), se efectuó un análisis en busca de las propiedades del sistema constructivo que se aplicaría y los resultados son mostrados en el apartado 5, la metodología de éste y de las simulaciones que se implementaron para conocer el comportamiento térmico aproximado en el apartado 6, las estrategias de energía que se implementan en CASA-UNAM con objeto de mejorar su desempeño termodinámico se presentan en el apartado 7, en el 8 se presenta el diseño del sistema de climatización activo de CASA-UNAM, finalmente se discute la simulación térmica de CASA-UNAM en el apartado 9.

IV.2 Características climatológicas de la ZMVM y de Versalles y zonas de confort.

No existen condiciones climatológicas iguales en el mundo – ni siquiera en un mismo país, provincia o municipalidad – por lo que es absurdo suponer que un mismo diseño de una casa será igualmente eficiente en cualquier sitio [23, 24].

Resulta necesario, previo a la conceptualización de un recinto, conocer lo más detalladamente posible las condiciones climatológicas del sitio en el cual se va a desplantar la casa. Tales condiciones son [23, 24]:

- Situación geográfica del recinto.

- Temperatura de Bulbo Seco exterior.
- Humedad Relativa exterior.
- Precipitaciones.
- Vientos (velocidad y dirección dominante).
- Radiación solar.

En ocasiones, las estaciones meteorológicas no proporcionan los datos completos de un sitio, por lo que hay que emplear bases de datos que contengan información, cuando menos la más aproximada posible, sobre el lugar para el cual se diseña. Valores críticos para diseñar una casa pasiva son temperatura exterior y humedad relativa [26].

Características climáticas de la ZMVM: Es preciso establecer previamente la situación geográfica de la región. Tomando los datos de [12] y de [25] (revisados los últimos con el programa *Weather Manager* de la paquetería *Autodesk Ecotect*) se tienen las coordenadas del lugar.

- Latitud: 19.4° Norte.
- Longitud: 99.1° Poniente.
- Altitud: 2 234 msnm.
- Zona horaria: -6 h. GMT.

Las temperaturas medias normales de la ZMVM son mostradas en la tabla IV-1.

<i>Temperaturas medias normales - ZMVM</i>													
Lugar	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agto.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual.
D.F.	13.3	14.6	16.6	18.3	19.2	19.1	18.2	18.2	17.8	16.8	15.2	13.9	16.8

Tabla IV-1. Temperaturas medias normales en °C - ZMVM [12].

En tanto que la humedad relativa exterior media de la ZMVM se presenta en la tabla IV-2.

<i>Humedad relativa - ZMVM</i>													
Lugar	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agto.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual.
D.F.	54	52	50	51	55	61	64	63	64	59	55	56	57

Tabla IV-2. Porcentajes de humedad relativa exterior - ZMVM [25].

Este comportamiento corresponde al de una zona de bioclima semifrío [26]. Esta zona no tiene mucha variación de sensaciones, predomina el confort alrededor del medio día y hasta la tarde en los meses de primavera, el frío en la noche hasta la madrugada. Sin embargo, en este bioclima se presentan temperaturas nocturnas muy bajas, sobre todo en invierno, por lo que es importante considerar estrategias de calentamiento pasivo [23, 26].

La zona de confort térmico para la ZMVM se calculó con un modelo de confort adaptativo para edificios que funcionaran de manera pasiva dado por Humphreys & Nicol [27], cuyo formalismo depende de la temperatura exterior promedio T_{prom} de la región de estudio. Éste se expresa de acuerdo a la ecuación (1).

$$T_{confort} = 12.9 + 0.54 T_{prom} \quad (1)$$

Esta temperatura de confort se toma con una tolerancia de ± 2 °C. Los resultados del análisis se muestran para cada mes en la tabla IV-3. Se tomó como base de temperatura promedio las que se indican arriba. La humedad relativa de confort se toma entre el 30 y el 70% [26].

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
00:00	8.7	9.7	11.3	13.0	14.2	14.9	14.4	14.4	14.5	13.1	10.9	9.7
01:00	7.7	8.7	10.4	12.2	13.5	14.3	13.9	13.8	13.9	12.4	10.1	8.9
02:00	7.0	7.9	9.7	11.5	12.9	13.9	13.4	13.4	13.4	11.8	9.4	8.1
03:00	6.3	7.3	9.0	11.0	12.4	13.5	13.1	13.0	13.1	11.3	8.8	7.5
04:00	5.8	6.7	8.5	10.5	12.0	13.1	12.8	12.6	12.7	10.9	8.3	7.0
05:00	5.3	6.3	8.1	10.1	11.7	12.9	12.5	12.4	12.5	10.6	7.9	6.6
06:00	5.0	5.9	7.8	8.7	10.7	12.2	11.8	11.5	11.5	10.4	7.6	6.3
07:00	3.9	5.2	7.7	10.7	13.0	14.4	13.7	13.1	12.5	10.0	6.7	5.2
08:00	6.5	8.4	11.5	14.7	16.9	17.6	16.7	16.0	15.0	12.5	9.2	7.5
09:00	10.8	13.1	16.2	19.2	20.9	20.9	19.7	19.2	18.0	16.0	13.2	11.4
10:00	15.3	17.6	20.6	23.1	24.3	23.6	22.2	21.9	20.7	19.3	17.2	15.5
11:00	19.0	21.2	23.9	25.9	26.5	25.3	23.8	23.7	22.6	21.9	20.5	19.0
12:00	21.5	23.5	25.9	27.4	27.6	26.1	24.6	24.7	23.8	23.5	22.6	21.3
13:00	22.7	24.5	26.6	27.8	27.8	26.2	24.7	24.9	24.2	24.2	23.7	22.5
14:00	22.9	24.5	26.4	27.4	27.2	25.6	24.2	24.6	23.9	24.1	23.8	22.7
15:00	22.2	23.7	25.4	26.3	26.1	24.7	23.4	23.7	23.3	23.5	23.2	22.1
16:00	21.0	22.3	23.9	24.8	24.7	23.5	22.3	22.6	22.3	22.4	22.0	21.0
17:00	19.4	20.6	22.1	23.0	23.1	22.2	21.1	21.4	21.2	21.1	20.6	19.6
18:00	17.6	18.8	20.3	21.3	21.5	20.9	19.9	20.2	20.0	19.8	19.0	18.0
19:00	15.8	16.9	18.4	19.5	20.0	19.6	18.7	18.9	18.9	18.4	17.4	16.3
20:00	14.1	15.1	16.7	17.9	18.5	18.4	17.6	17.8	17.8	17.1	15.8	14.7
21:00	12.5	13.5	15.1	16.4	17.2	17.3	16.6	16.8	16.8	15.9	14.4	13.3
22:00	11.1	12.0	13.6	15.1	16.1	16.4	15.8	15.9	15.9	14.8	13.1	11.9
23:00	9.8	10.8	12.4	14.0	15.1	15.6	15.0	15.1	15.1	13.9	11.9	10.7

Tabla IV-3. Zona de confort para la ZMVM. Las celdas rojas indican los momentos calientes en una hora particular del mes, las celdas azul cielo indican las zonas frías en una hora del día; las celdas amarillas indican los puntos del confort a cierta hora del mes. En las celdas amarillas se muestra la temperatura de confort. Las temperaturas están dadas en °C.

Las condiciones de humedad relativa exterior mensual se presentan en la tabla IV-4.

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
00:00	66	64	62	64	68	74	76	75	76	70	66	67
01:00	69	66	65	66	70	76	78	76	78	72	68	69
02:00	71	68	66	68	71	77	79	78	79	74	70	71
03:00	73	70	68	69	73	79	80	79	80	75	72	73
04:00	74	71	69	70	74	79	81	80	81	77	73	74
05:00	75	72	70	71	74	80	82	81	82	77	74	75
06:00	76	73	71	74	77	82	84	84	86	78	75	76
07:00	79	75	71	70	71	76	78	79	82	79	77	79
08:00	72	67	62	60	61	66	68	70	74	72	71	73
09:00	61	56	51	49	50	56	59	59	64	62	60	62

10:00	49	45	41	40	42	48	51	51	55	52	50	51
11:00	40	36	33	33	36	42	45	45	49	44	41	42
12:00	33	31	29	30	33	40	43	42	45	39	35	36
13:00	30	28	27	29	33	40	42	41	44	37	32	32
14:00	30	28	28	30	34	41	44	42	44	38	32	32
15:00	31	30	30	32	37	44	47	45	47	40	34	33
16:00	35	33	33	36	41	48	50	48	50	43	37	36
17:00	39	38	37	40	45	52	54	52	53	46	41	40
18:00	43	42	42	44	49	56	58	56	57	50	45	45
19:00	48	46	46	49	53	60	62	60	61	55	49	49
20:00	52	51	50	52	57	63	65	64	65	58	53	53
21:00	57	55	54	56	60	67	69	67	68	62	57	57
22:00	60	58	57	59	63	70	71	70	71	65	60	61
23:00	64	61	60	62	66	72	74	72	74	68	64	64

Tabla IV-4. Humedades relativas por hora de cada día para la ZMVM. Las celdas azules indican humedades por arriba del límite máximo de humedad tolerable, las amarillas indican los porcentajes de humedad relativa confortables, las azul cielo indican los momentos de sequedad, esto es, las horas en que la humedad es más baja que el límite inferior tolerable. La humedad relativa está expresada en porcentajes.

Las recomendaciones de climatización para un lugar de esta naturaleza se presentan en la siguiente lista [26].

- Meses de frío (julio a febrero):
 - Calentamiento solar pasivo directo por las mañanas por la fachada sur-este, calentamiento indirecto por las tardes.
 - Evitar pérdidas de calor por las ventanas.
 - Espacios de transición entre el exterior e interior.
- Meses de confort (marzo a junio, incluyendo septiembre y octubre):
 - Almacenamiento de calor en pisos, techos y muros, en las fachadas oeste y sur.
 - Renovación de aire por higiene.

Características climatológicas de Versailles: Debido a la carencia de datos de la ciudad de Versailles, se tomará por cercanía la información relacionada con las condiciones climatológicas de la ciudad de París con la metodología empleada para el caso anterior. La situación geográfica del lugar se muestra abajo [28].

- Latitud: 48.7° Norte.
- Longitud: 2.4° Oriente.
- Altitud: 96 msnm.
- Zona horaria: +1 hs. GMT.

Las temperaturas promedio diarias se muestran en la tabla IV-5.

<i>Temperatura de Bulbo Seco exterior promedio diaria (°C)</i>											
Junio	Julio										
30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
18.96	21.64	24.37	23.03	20.95	20.66	16.81	15.92	15.70	16.2	15.14	17.02

Tabla IV-5. Temperaturas promedios diarios en París, Francia [28], están expresadas en °C.

Las humedades relativas exteriores promedio se presentan en la tabla IV-6.

<i>Humedad Relativa presente en el aire exterior, datos diarios (%)</i>											
Junio	Julio										
30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
83	65.63	62.42	68.5	54.42	67.5	84.04	70	75.09	75	77.38	83.13

Tabla IV-6. Humedad relativa promedio diaria en París, Francia. [28], la humedad relativa está expresada en porcentajes.

París, pertenece a la región de Île-de-Francia; el clima de esta región es de tipo oceánico (temperaturas teóricamente suaves y abundantes precipitaciones), pero es alterado por algunas variaciones anuales de temperaturas más pronunciadas y de precipitaciones inferiores comparadas a las del borde del territorio oceánico. Es bastante homogéneo, aunque la región se ve impactada por la isla de calor urbano proveniente de la cabecera municipal de París [29].

Debido a la naturaleza de la competencia SDE [7], es preciso establecer las temperaturas interiores por hora y por día para la competencia con base en el modelo de confort establecido en la normativa vigente [7]. El modelo emplea una ponderación de la temperatura media exterior de los siete días anteriores (T_{ed-x}). Si la temperatura media exterior es definida con las temperaturas horarias (T_i), con la ecuación (2) [30].

$$T_{ed-x} = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{i=24} T_i \quad (2)$$

La ponderación de dichas temperaturas o temperatura media exterior del día (T_{ea}) se define con la ecuación (3) [7, 30].

$$T_{ea} = \frac{1}{3.8} (T_{ed-1} + 0.8 T_{ed-2} + 0.6 T_{ed-3} + 0.5 T_{ed-4} + 0.4 T_{ed-5} + 0.3 T_{ed-6} + 0.2 T_{ed-7}) \quad (3)$$

Con el resultado del análisis anterior, se obtiene la temperatura interior de funcionamiento. (T_i) aplicando la ecuación (4) [7,30].

$$T_{int} = 0.33 T_{ea} + 18.8 \pm 1 \quad (4)$$

La zona de confort térmico, para Versailles, con base en los datos y formalismos anteriores se presenta en la tabla IV-7.

Hora	Junio	Julio										
	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	17.3	16.9	19.9	23.1	16.9	19.1	16.6	15	13.1	14.4	12.9	13.5
1	16.6	16.7	19	21	15	18	16	15	14	14	12	13
2	16	16.5	19	20	15	17	16	14	14	13	12	13
3	15.7	16.2	18.2	20.6	13.9	17	15.3	13.4	14	12.2	10.8	13.6
4	15	15.8	18	20	13	16	15	13	14	11	11	13.8
5	15	15.4	17	20.2	13	16	15	13	14	12.3	12	14
6	15.4	16.8	18.7	20.4	15.3	17	14.4	14.2	13.9	13.6	12.6	14.7
7	17	18	20	22	17	19	15	15	14	14	14	16
8	19	19	22	23	19	22	15	16	15	14	16	17
9	20.1	20.2	23.4	24.1	21	23.5	16.3	17.1	15.3	15.2	17.5	18
10	21	22	26	25	23	25	18	18	16	15	17	19
11	19	24	28	26	24	23	19	17	18	16	18	18
12	19	25	29.4	26.6	25	24.1	19	18.1	15.8	17.3	17.6	19.2
13	21	26	30	27	26	26	18.5	18	18	18	17	21
14	22	27	30	28	26	27	18	18	20	20	17	19
15	22.8	27.7	29.8	26.6	27.1	26.4	17.6	18	20	21	16.3	19.8
16	23	28	29	27	27	26	18	18	18	22	16.6	20
17	23.1	27	30	26	27	25	18	18	18	21	17	20
18	22.5	26.3	29	24.9	26.7	21.7	19.2	17.3	17.6	21.1	17.7	19.7
19	21.3	25.1	28	23	26	19	19	17	15	20	17	18.8
20	19.9	24	26	21	23	17	17	16	15	18	17	18
21	18.7	23.8	25.4	20.1	22	17	16.6	15.9	15	16.7	15.2	17.2
22	17.8	22	24	19	21	17	16	14	15	15	15	16.5
23	17.2	21	25	18	20	17	15	13	14	14	14.2	15.7

Tabla IV-7. Tabla. Zona de confort para Versailles. Las celdas rojas indican los momentos calientes en una hora particular del mes, las celdas azul claro indican las zonas frías en una hora del día, las celdas amarillas indican los puntos del confort a cierta hora del mes. En Todas las temperaturas están expresadas en °C.

La humedad de confort la da el mismo SDE, con un valor del entre el 40 y el 55% [7]. En la tabla IV-8 se muestran las características de humedad por hora en París, Francia.

Hora	Junio	Julio										
	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	88	80	63	71	70	65	90	79	79	85	60	95
2	92	78	64	78	72	73	88	77	77	88	67	94
3	94	77	64	83	72	77	88	82	77	88	67	94
4	98	77	69	84	74	81	93	86	79	91	75	95
5	100	78	68	88	82	82	94	88	82	94	76	96
6	100	79	72	86	82	88	94	88	82	97	76	94
7	98	75	73	85	76	82	94	87	81	91	78	94
8	94	73	73	83	72	73	94	82	82	88	77	94
9	83	78	73	78	64	64	100	77	77	88	72	88

10	80	75	73	76	50	57	95	68	77	81	66	81
11	73	69	70	74	41	57	94	59	72	82	72	83
12	83	69	62	70	38	61	88	63	64	82	68	83
13	89	53	57	67	37	58	88	58	75	73	72	75
14	83	51	55	58	34	54	85	59	59	73	77	69
15	69	51	49	51	37	48	83	56	60	64	82	78
16	66	49	49	54	36	51	78	58	58	59	90	75
17	69	48	52	51	37	51	73	59	64	53	87	73
18	67	51	49	54	37	50	73	56	64	56	82	68
19	70	54	50	52	38	58	66	62	65	58	78	70
20	73	58	55	53	39	56	60	59	82	60	82	73
21	78	61	61	56	50	77	72	63	82	59	77	77
22	81	63	63	60	52	81	73	65	88	64	90	79
23	82	64	65	64	56	88	77	72	88	67	94	82
24	82	64	69	68	60	88	77	77	88	59	92	85

Tabla IV-8. Humedades relativas por hora de cada día para París, Francia. Las celdas azules indican humedades por arriba del límite máximo de humedad tolerable, las amarillas indican los porcentajes de humedad relativa confortables, las celdas azul claro indican los momentos de resequedad, esto es, las horas en que la humedad es más baja que el límite inferior tolerable.

IV.3 Características geométricas de la envolvente térmica de CASA-UNAM.

La configuración geométrica de CASA-UNAM para los contextos de la ZMVM y de Versailles se mantiene invariante, ya que las condiciones climatológicas de ambos sitios no exigen cambios en la configuración.

En los siguientes puntos se presentan las especificaciones de CASA-UNAM [5].

A. Dimensiones del proyecto:

- Área bruta: $124.58 m^2$
- Área neta de piso interior: $52.58 m^2$
- Área neta de piso exterior: $62.39 m^2$
- Volumen acondicionado: $121.4 m^3$
- Superficie acondicionada: $44.96 m^2$

B. Envolvente térmica: Muros.

- Capa más exterior: Fachada ventilada de terracota, espesor total de $0.040 m$, perforaciones de $0.013 m$.
- Capa siguiente: Espacio de aire de $0.0508 m$, no estanco.
- Capa siguiente: Panel de yeso con fibra de vidrio a prueba de humedad (Panel Rey® Glass Rey) de $0.0158 m$ de espesor.
- Capa siguiente: *ídem*.

- Capa siguiente: Aislamiento de fibras minerales (Aislamuro de Rolan ®) de 0.092 m de espesor.
- Capa más interior: Panel de yeso para uso en interiores (Panel Rey ® Regular) de 0.0158 m .

Superficie de muros y transmisión global de calor: 101.19 m^2 ; $U = 0.051\text{ W/m}^2\text{-K}$

La composición de los muros se muestra en la fig. IV-1

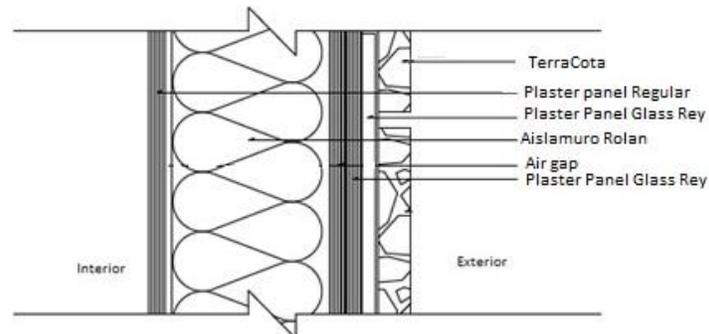


Fig. IV-1. Composición material de los muros.

C. Envoltente térmica: Pisos interiores.

- Capa más exterior: Cloruro de polivinilo, espesor de 0.002 m .
- Capa siguiente: *Triplay*, espesor de 0.019 m .
- Capa siguiente: Aislamiento de fibras minerales (Aislamuro de Rolan ®) de 0.059 m de espesor.
- Capa más interior: *Triplay* de 0.025 m .

Superficie de pisos interiores y transmisión global de calor: 52.88 m^2 ; $U = 0.062\text{ W/m}^2\text{-K}$.

La composición del sistema de pisos interiores se muestra abajo. Se hace notar que sólo los pisos interiores son relevantes para el análisis del funcionamiento térmico del edificio.

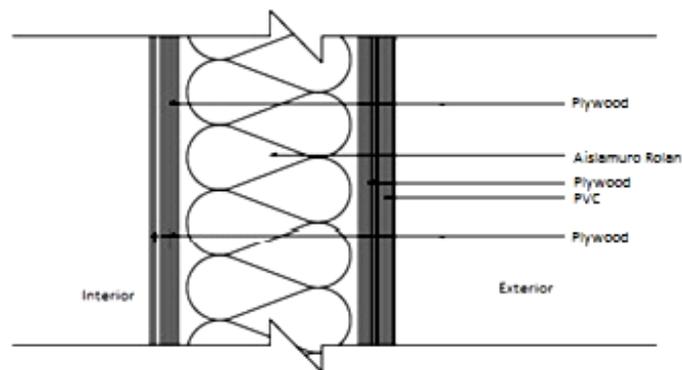


Fig. IV-2. Composición de los pisos interiores.

D. Envoltente térmica: Cubiertas de techo.

- Capa más exterior: *Triplay* de 0.012 m de espesor.
- Capa siguiente: Aislamiento de fibras minerales (Aislamuro de Rolan ®) de 0.019 m de espesor.
- Capa siguiente: *Triplay* de 0.019 m de espesor.
- Capa más interior: Panel de yeso para uso en interiores (Panel Rey ® Regular) de 0.0158 m de espesor.

Superficie de losas y transmisión global de calor: 56.8 m^2 ; $U = 0.021\text{ W/m}^2\text{-K}$

La configuración material del sistema de losas es presentada en la siguiente figura.

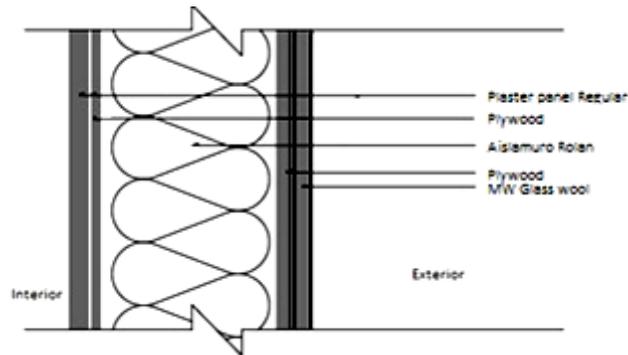


Fig. IV-3. Composición material de techos. En la última iteración de diseño, ya no se consideró la capa de MW Glass Wool como parte del sistema, sin embargo, los planos se enviaron así. Las simulaciones que se presenten en este documento no incluirán la capa mencionada.

Las especificaciones detalladas de cada elemento que integró una capa del sistema constructivo de la envolvente térmica se encuentran en el anexo D.

E. Sistema de acristalamientos y herrajes.

Se escogió un sistema de marcos de ventana y acristalamientos para el sistema CASA-UNAM. El primero lo conforma el sistema *EuroFutur* de *Kömmerring*, emplea PVC como material exterior y cuenta con refuerzo de acero galvanizado en el interior. Al ser mayor la masa de PVC, se tiene una reducción de conducción o disipación de calor en y del interior de la casa. Las especificaciones de los marcos se encuentran en el anexo E.



Fig. IV-4. Sistema de marcos de ventana EuroFutur de Kömmerling. El acristalamiento que se muestra no corresponde al seleccionado en CASA-UNAM.

En tanto, los sistemas vítreos para las ventanas fueron configurados con piezas de *Saint-Gobain*. Para ello se consideraron tanto factores acústicos como térmicos; se vuelve a insistir en que, éste al ser un trabajo multidisciplinario, no es posible hacer que rija un solo criterio. Se empleó un sistema de acristalamiento doble. Las especificaciones de los acristalamientos se encuentran en el anexo E.

Superficie de acristalamientos y transmisión global de calor: 43.49 m^2 ; $U = 1.538 \text{ W/m}^2\text{-K}$

Ganancias de calor solar en acristalamientos: 0.45

Una estructura de capas fue propuesta para incrementar la resistencia térmica de los muros y así evitar el empleo de una estructura muy pesada para lograr la protección adecuada contra los fenómenos térmicos del exterior. En el caso de los muros, se empleó una fachada ventilada – anexo D – para dar mayor inercia térmica al sistema constructivo y que el control de las condiciones térmicas de la casa fuera de la manera más pasiva posible.

F. Textiles.

Añadido a lo anterior, se empleó un sistema de cubiertas textiles exteriores, esto con el objeto de proteger a la casa del exceso de radiación solar incidente, ya que la cantidad de cristales puestos en los recintos son una fuente de ganancias excesivas de calor por vía solar debido al efecto invernadero (aunque este efecto es deseable en los casos de que existan bajas temperaturas en el interior de la casa). Además, los textiles ayudan a reducir las caídas de temperatura por efecto del impacto directo del viento y de la lluvia sobre los elementos constructivos del recinto.

Los textiles empleados son de la marca Serge Ferrari ®, modelo Soltis 92.



Fig. IV-5. Textiles empleados en CASA-UNAM. En esta fotografía se muestran ya implementados en el modelo funcional participante en el SDE.

Las características térmicas de los textiles se proporcionan en el anexo F.

IV.4 Análisis térmico preliminar del sistema constructivo.

Empleando la plataforma en internet Ener-Hábitat desarrollada por el Dr. Guillermo Barrios del Valle del Centro de Investigaciones en Energía de la UNAM, se analizó el comportamiento térmico del sistema constructivo de CASA-UNAM con un parámetro denominado *factor de decremento*. Solamente se pueden analizar losas y muros, y en este análisis no se consideró la fachada ventilada, ya que se buscaba la vulnerabilidad del sistema solo e identificar las fallas de éste. Más información sobre las capacidades de esta plataforma se puede encontrar en [31].

El factor de decremento [32] es un parámetro que puede explicarse de la siguiente manera: Si la temperatura exterior oscila $10^{\circ}C$ en un día, y el sistema constructivo de un recinto es tal que tiene un factor de decremento de 0.5 , las temperaturas dentro de la habitación variarán $5^{\circ}C$. El factor de decremento puede tomar valores de entre 0 y 1 siendo 0 cuando al variar en n la temperatura exterior, la interior del edificio no variará, y 1 cuando al alterarse la temperatura exterior en n se altere completamente la temperatura interior en la casa en el mismo orden que la temperatura exterior.

El material se analizó solamente en el contexto de la ciudad de México, debido a que la plataforma no cuenta con los datos para el sitio de competencia y la plantilla de simulación es aquella que no considera el empleo de sistemas de climatización.

Muros: Con base en la configuración del sistema de muros mostrada en la figura, se hizo el análisis con Ener-Hábitat, considerando orientaciones de los muros en Norte, Sur, Oriente y Poniente francos. Los muros son totalmente verticales respecto del suelo. El factor de decremento no varía substancialmente con el lugar para el cual se hace el análisis. No se considera la fachada ventilada para este análisis.

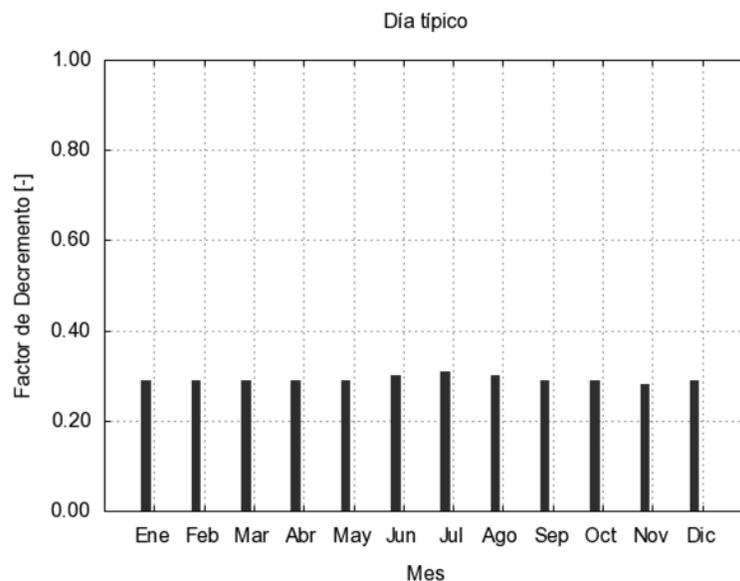


Fig. IV-6. Factor de decremento mensual para el muro Norte para el sistema de muros empleado en CASA-UNAM.

El factor de decremento, aproximadamente, tiende a tener un valor de 0.3 para el muro Norte, según lo mostrado en la figura IV-6.

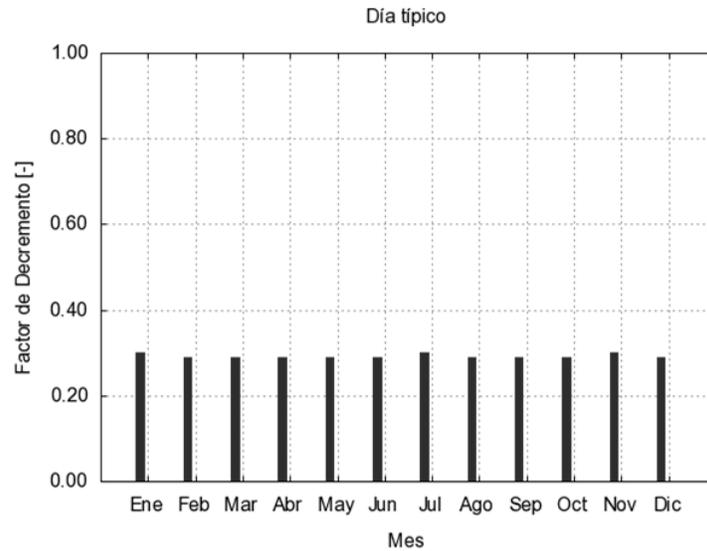


Fig. IV-7. Factor de decremento mensual para el muro Sur para el sistema constructivo de muros empleado en CASA-UNAM.

El factor de decremento, aproximadamente, tiende a tener un valor de 0.3 para el muro Sur, igual al del muro Norte, según se muestra en la figura IV-7.

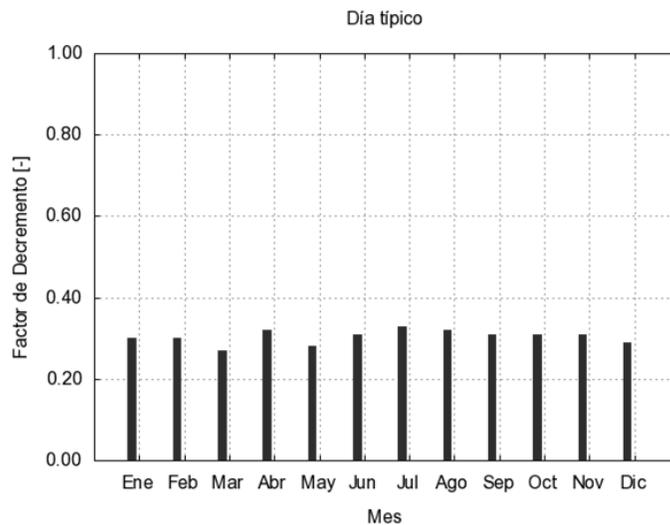


Fig. IV-8. Factor de decremento mensual para el muro Oriente.

De manera semejante a los muros Norte y Sur, el factor de decremento tiende a tener un valor de 0.3 . Esto se aprecia en la figura IV-8.

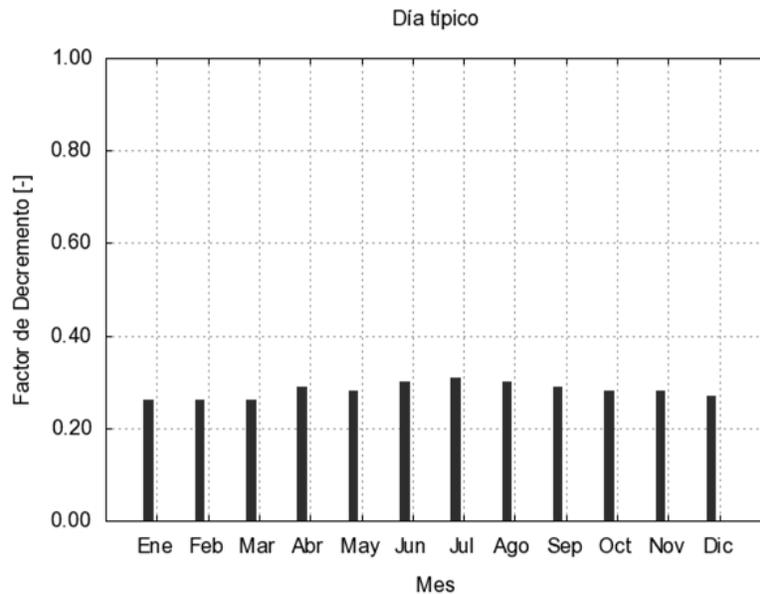


Fig. IV-9. Factor de decremento mensual para el muro Poniente.

Igualmente, la tendencia de este valor es de 0.3, como se muestra en la figura IV-9.

Como conclusión, puede inferirse de este factor de decremento, que si afuera de los recintos existe una variación de temperaturas de bulbo seco de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, las temperaturas del edificio – si se asume un comportamiento isotrópico de los materiales de la construcción – variarán, en respuesta, solamente $3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

IV.5 Metodología del análisis térmico completo de CASA-UNAM.

Para efectuar la simulación del funcionamiento térmico de CASA-UNAM, se empleó una herramienta comercial llamada *DesignBuilder*. *DesignBuilder* [33] es un programa único para la evaluación térmica de diseños de edificios. Ha sido especialmente desarrollada así para ser usado con eficacia en cualquier etapa del proceso de diseño, desde el diseño conceptual (donde sólo unos parámetros son necesarios para definir el diseño de edificio) al diseño de detalle del edificio. Se hace uso del programa para los siguientes puntos específicos:

- Simulación térmica de edificios naturalmente ventilados.
- Diseño del sistema de *HVAC*.
- Obtención de datos del comportamiento del edificio en periodos anuales, mensuales, semanales, diarios, horarios y en periodos fraccionarios de hora, tales como temperaturas interiores, datos de clima, transmisión de calor por ventanas, muros, pisos, cargas de acondicionamiento de aire, índices de confort.

DesignBuilder necesita como una entrada el modelo 3D del edificio; luego, sólo es necesario definir algunos parámetros como datos meteorológicos, características de paredes, suelos y configuración de material de losa, así como orientación, sombreado, ocupación, equipo y maquinaria. También, este software tiene plantillas, para simulaciones específicas. Después de

todo, *DesignBuilder* hará el resto con una serie de los algoritmos, que emplean el motor de *EnergyPlus*® [34], con el objetivo principal de presentar una simulación lo más real posible.

IV.6 Pruebas de condiciones de confort térmicas en el contexto del SDE.

Aquí se presentan las pruebas relevantes al confort térmico del recinto contendiente en el *SDE* y son prescritas en el reglamento vigente [7].

Sub-prueba 5.1, Temperatura.

En el apartado IV.3 se presentó un modelo de confort para la competencia, dado por la ec. (4), en el que se dejó indicada la tolerancia para la temperatura interior del recinto. En el caso de que la temperatura exceda o no alcance el valor diario indicado por la organización – este valor lo da la organización diariamente a las 17.00 h. hora de París – con la tolerancia inclusive, serán menos los puntos que reciba la casa en ese momento de medición. Esto se aprecia en la figura IV-10.

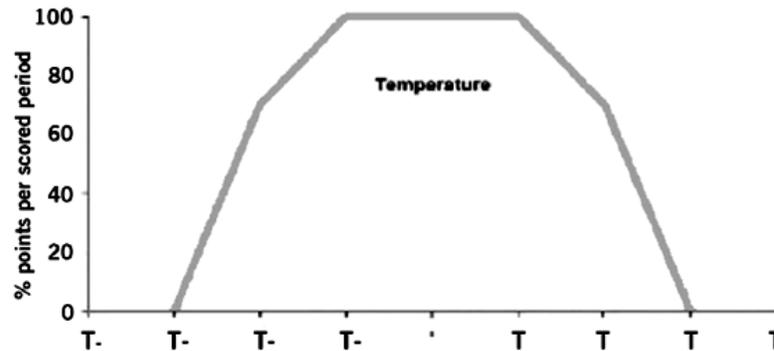


Fig. IV-10. Variación del puntaje dado a una casa contendiente en el *SDE* con base en la temperatura alcanzada. Cada línea de las abscisas corresponde a 1 C.

Sub-prueba 5.2, Humedad relativa.

En el apartado IV.3 se especificó igualmente el intervalo de humedad relativa en el que la casa deberá trabajar para alcanzar la puntuación total de esta prueba. Si no se alcanza el mínimo indicado en la parte correspondiente, o se excede el límite superior de humedad relativa, se pierden puntos, tal como se muestra en la fig. IV-11.

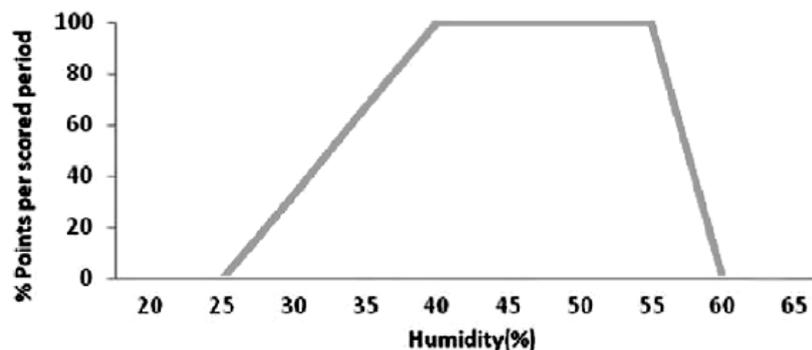


Fig. IV-11. Puntaje dado a la casa contendiente de acuerdo con la humedad relativa en el interior.

La evaluación de la casa solar que concurre en el *SDE* será sin ocupantes, habiendo días en los que tengan que mantenerse inoperantes los sistemas activos de climatización – acondicionadores de aire, bombas de calor, etc. – con excepción de los sistemas de ventilación mecánica convencional, y en general, cualquier otro cuyo funcionamiento implique la ejecución de un ciclo termodinámico directo o invertido. Los valores arriba descritos serán medidos diariamente las 24 horas, la monitorización será suspendida en los horarios en que se hagan visitas guiadas para el público [15].

IV.7 Estrategias energéticas / Energía Térmica.

Como se ha venido mencionando en los párrafos anteriores, CASA-UNAM fue diseñada para resolver una necesidad de vivienda acorde a las condiciones urbanas, climatológicas y requerimientos de confort de la Zona Metropolitana del Valle de México. Sin embargo, su construcción y operación deberá ser en el sitio de competencia, en la ciudad de Versalles, por lo que deberán tomarse medidas para adaptar la casa al clima del sitio de competencia, ya que, como se mencionó con anterioridad, ambos sitios tienen climas diferentes.

A. México.

PassivHaus [35] es un estándar de casas de funcionamiento térmico pasivo, en que, entre otros puntos que lo complementan, indica que “casas pasivas requieren habitantes activos”, esto es, que una casa que no implemente ningún sistema de acondicionamiento mecánico de interiores, requiere que los usuarios, manipulando componentes de la construcción, o bien, mediante sus actividades diarias, alcancen las condiciones de confort en el recinto.

Por las condiciones climatológicas imperantes en la ciudad de México, es posible emplear este principio, ya que las variaciones que acontecen en la ZMVM son tales que pueden controlarse pasivamente – tal como queda demostrado en las simulaciones que se hicieron con *DesignBuilder* – y ningún sistema de climatización activo es requerido. Básicamente, se puede limitar a:

- Control de la radiación solar incidente sobre los cristales, esto es, subiendo o bajando los textiles del recinto. En tiempo de frío es conveniente dejar pasar la luz solar mediante los cristales, ya que se puede calentar el interior evitando su enfriamiento.
- Dependiendo de las condiciones del día, abrir – día caluroso – o cerrar – día frío – las ventanas del recinto, debiendo permitir la ventilación del interior mínima de la casa por higiene y para reducir la acumulación excesiva de humedad en el interior del recinto, evitar la ventilación cruzada en momentos de frío, así como toda corriente de aire y favorecerla en tiempo cálido.
- Proteger la casa con los textiles en caso de vientos o lluvias incidentes sobre la casa mediante los textiles extendiéndolos donde sea necesario.

B. Versalles.

Esta ciudad, como ya se mencionó anteriormente en este apartado, no tiene las mismas características climáticas, presentando inclusive temperaturas de alrededor de los 10 C en

verano, acompañado de baja radiación solar, lluvias frecuentes y humedad relativa exterior mayor al 70% diaria.

En este escenario se tuvo que emplear un ventilador de recuperación de energía [36, 37] – *ERV* – para ayudar a mitigar el exceso de humedad que pudiera entrar del exterior por ventilación natural. Así, las estrategias se muestran abajo.

- Permitir la incidencia de la luz solar sobre muros, cristales y todo elemento constructivo, con objeto de que se pueda *recalentar* y favorecer la acumulación de calor en los recintos. Cuando en algún momento sea excesiva la sensación térmica, deben abrirse las ventanas de la casa y, según sea necesario, arrancar el sistema de ventilación de la casa.
- Proteger de la lluvia y vientos fuertes incidentes de la casa bajando los textiles cuando sea necesario.
- Al atardecer, permitir que la luz solar incida completamente en los muros y cristales orientados al Poniente, ésto para acumular calor en el interior de la casa, debiendo cerrar la casa y únicamente arrancar ocasionalmente el sistema de ventilación. Una vez que oscurezca, bajar todos los textiles, para proteger del viento y lluvia.

En este caso, se hizo énfasis en la hermeticidad de la casa, ya que en la competencia ésta estará desocupada y con ganancias internas prácticamente nulas, contrariamente al uso cotidiano en México.

IV.8 Diseño de instalaciones electromecánicas de climatización.

Se efectuó una adaptación al modelo original para su funcionamiento en la ciudad de Versailles; éste fue la implementación de un ventilador de recuperación de energía [36, 37], lo cual, ayudaría a la mitigación de la humedad en los recintos y mejoraría la calidad del aire al interior de éstos. En el anexo G se indican las especificaciones este sistema.

El dimensionamiento de la ventilación se realizó con base en lo expresado por la norma europea *EN15251* [38] para acondicionamiento interior de recintos. El proceso se describe completamente en los anexos correspondientes.

Los volúmenes de los recintos, sin ocupación – ya que las mediciones y pruebas de la casa en Versailles son con los habitáculos desocupados – se presentan en la tabla IV-9.

H1. Comunal	H2. Comedor / Cocina	H3. Recámara / Baño
30.87 m ³	49.08 m ³	41.45 m ³

Tabla IV-9. Volúmenes interiores de los recintos.

Los flujos de ventilación requeridos se muestran en la tabla IV-10 (a 0.7 cambios de aire/hora).

H1. Comunal	H2. Comedor / Cocina	H3. Recámara / Baño
21.61 m ³ /h	34.36 m ³ /h	29.02 m ³ /h

Tabla IV-10. Flujo de aire mínimo para ventilación del interior.

Entre las diversas alternativas que se investigaron para implementar la ventilación en el sistema CASA, se empleó un ventilador de recuperación de energía marca *Panasonic*, modelo *FV-04VE1*, el cual, además de proveer aire atemperado al interior de la casa – para evitar las variaciones bruscas de temperatura al interior – se integra perfectamente a la arquitectura de la construcción, dejando visible solamente una rejilla, en la se encuentran las unidades de extracción e inyección del aire al interior del recinto.

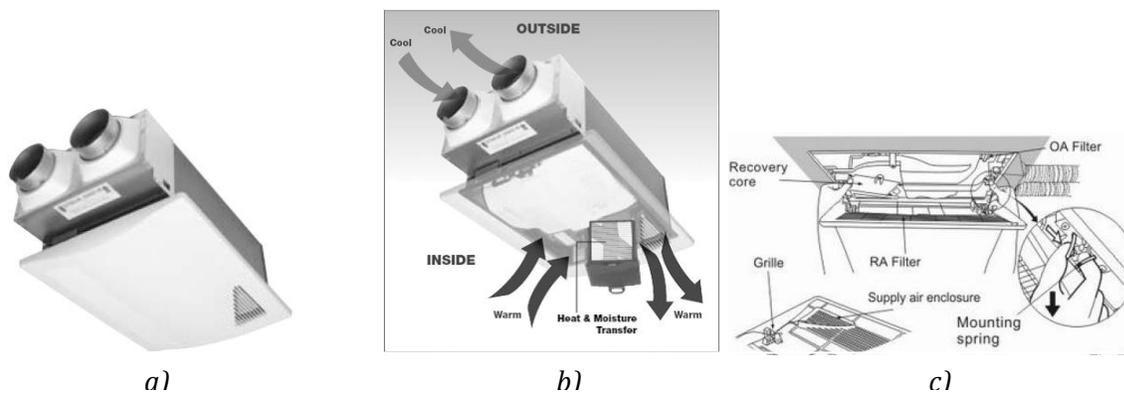


Fig. IV-12. El ventilador de recuperación de energía Panasonic WhisperComfort FV-04VE1. a) La unidad completa del ventilador, b) El principio de funcionamiento del ventilador, aquí en tiempo de frío, en tiempo cálido es inverso, c) Detalle de la instalación; la unidad mecánica está embutida en la losa de techo; la rejilla (grille) solamente se coloca sobre la parte expuesta de la unidad mecánica quedando solamente la misma rejilla visible.

Este ventilador puede proporcionar hasta 40 CFM (68 m³/h) de aire al interior del recinto consumiendo 24 W de electricidad a 110 V_{CA}. Las especificaciones pueden encontrarse en el anexo H; de hecho, uno de los motivos de la selección de un sistema de ventilación de esta naturaleza es el bajo consumo de electricidad (ya que la máxima potencia permisible a generar por el sistema fotovoltaico es de 5 kW).

El ventilador mostrado, al ser un extractor e inyector de aire, requiere de un sistema de ductos que evite la mezcla de corrientes de aire, una vez que se aprovechó la recuperación de energía. El dispositivo emplea ductos circulares de 0.102 m de diámetro interior. Se empleó ducto de poliéster con alma de aluminio sin aislar en virtud de que dicho sistema de ductos se encuentra embutido en la cubierta de techo, que está ya previamente aislada con la lana mineral (según se observa en la configuración correspondiente). El ducto es marca *ATCO*, número *UPC #050*. Especificaciones detalladas del ducto se muestran también en el anexo H.

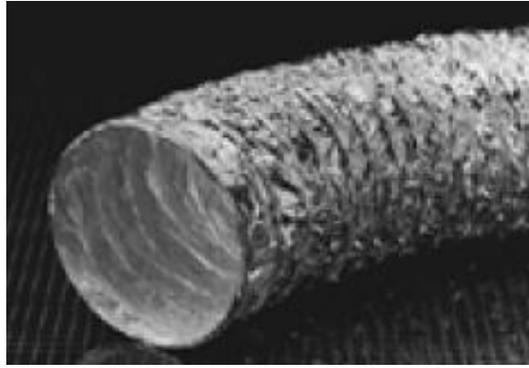


Fig. IV-13. Ducto ATCO, UPC #050, de 0.102 m de diámetro interior, empleado en la canalización del sistema de ventilación.

Para la interfaz con el exterior del sistema de ventilación, se instaló un sistema de difusores de polipropileno, suministrados por INNES, tipo boca, modelo BARP, se empleó uno de diámetro de cuello de 0.102 m, y puede usarse para inyección y extracción de aire. Especificaciones detalladas se presentan igualmente en el anexo H.

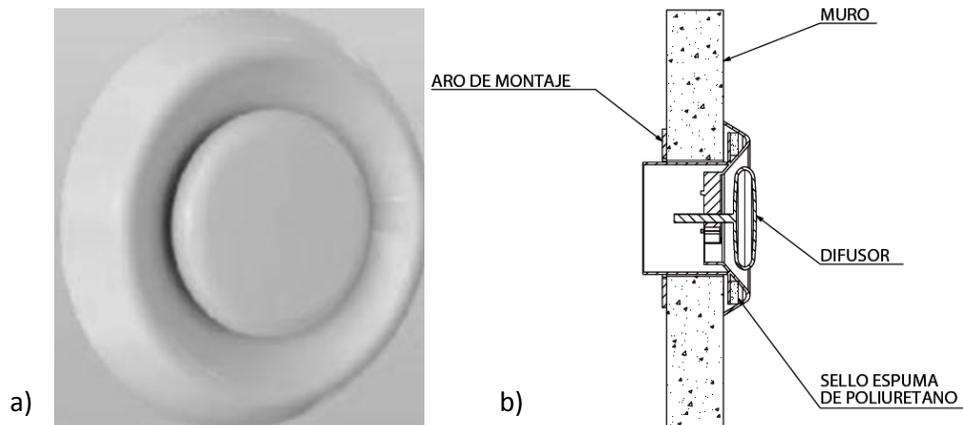


Fig. IV-14. a) Ilustración del difusor modelo BARP de INNES de 0.102 m de diámetro de cuello. b) Detalle de montaje en muros.

Las conexiones entre ventilador y ductos, y entre ductos y difusores se realizaron con cinta de ductos convencional, marca Tuk.

La distribución del sistema de ventilación en realidad es muy simple, no se empleó una unidad central, sino, para permanecer en congruencia con el concepto de independencia de todos los recintos – idea fundamental de CASA-UNAM – se empleó una unidad por habitación. En el anexo I se presenta la distribución del sistema mecánico de renovación de aire.

IV.9 Simulación de CASA-UNAM

En este apartado se presentan las simulaciones del funcionamiento térmico interior de cada uno de los recintos, en los escenarios de México y Versalles. Se presentan separadamente, ya que cada unidad funciona de manera independiente, debiéndose controlar cada una solamente.

En la figura siguiente se muestra el modelo 3D de CASA-UNAM hecho en *DesignBuilder* para la simulación.

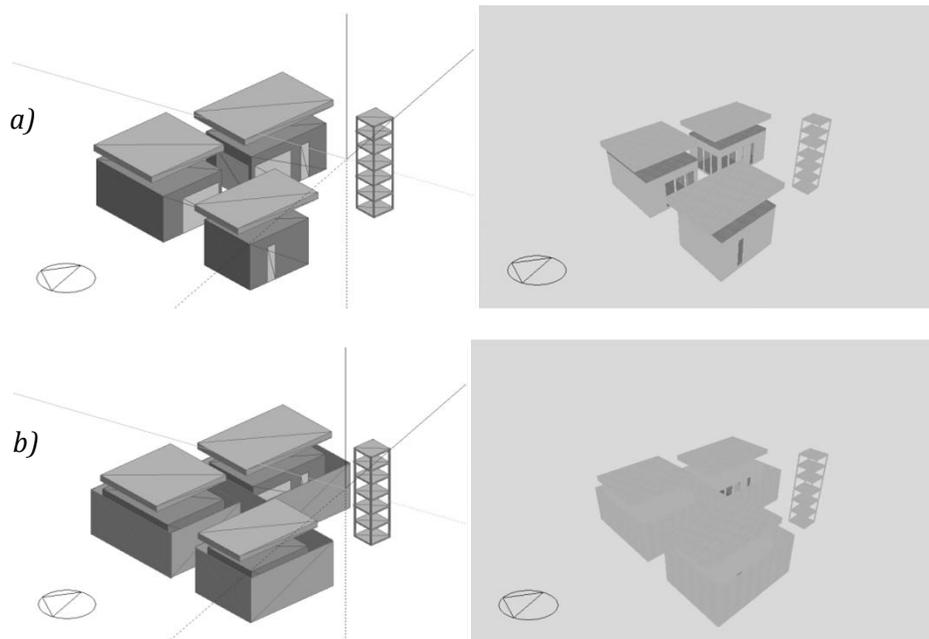


Fig. IV-15. a) Modelo 3D en *DesignBuilder* y renderizado de CASA-UNAM sin textiles, b) Modelo 3D en *DesignBuilder* y renderizado de CASA-UNAM con textiles. El modelo está con la orientación del sitio de competencia, la flecha en las ilustraciones indica la dirección del Norte.

A. México.

Hipótesis asumidas: Para el análisis de la casa en México, se hicieron las siguientes consideraciones.

- La casa se considerará ocupada (ver detalles de cada simulación en particular).
- Se considera que los textiles operan en toda la casa, estando todos permitiendo la incidencia del sol, o evitando todos totalmente la incidencia del sol.
- No se consideran efectos de puente térmico.
- Los habitáculos funcionan solamente con ventilación natural.
- La fachada ventilada se está considerando como una capa de material muy porosa, según las especificaciones de éstas.
- Los datos presentados son referentes al comportamiento mensual de CASA, lo que indica las condiciones promedio del interior de los recintos y que siempre pueden variar entre periodos semejantes de tiempo debido a la variabilidad de las condiciones climatológicas de un lugar en particular.
- La casa se encuentra con orientación de 22° Poniente.
- La referencia para la comparación de la temperatura está establecida en la temperatura del aire, esto porque la termometría se efectúa monitoreando el aire con un termómetro de bulbo seco.
- La distribución de la temperatura del aire se considera como mezclada (ideal).

Recinto comunal: Se empleó una plantilla con el modelo más aproximado a un recinto con el uso hipotético que se le daría. En la tabla IV-11 se presentan los detalles de la plantilla.

Plantilla DayCtr_WkshpSS	
Descripción.	Un área para trabajo ligero sedentario, conteniendo unas pocas máquinas (lavadora, en este caso).
Densidad de carga.	5 W/m ²
Ocupación probable.	0.07 personas/m ²
Factor metabólico.	0.9 (trabajo ligero manual)
Alumbrado.	Lámparas ahorradoras, activadas de 10 de la mañana a las 9 de la noche.

Tabla IV-11. Características de los datos de entrada para la simulación del recinto comunal.

Con las consideraciones anteriores, se efectuó la simulación de la casa y se obtuvieron los siguientes resultados. Se consideraron 2.4 renovaciones/hora de aire de ventilación en promedio.

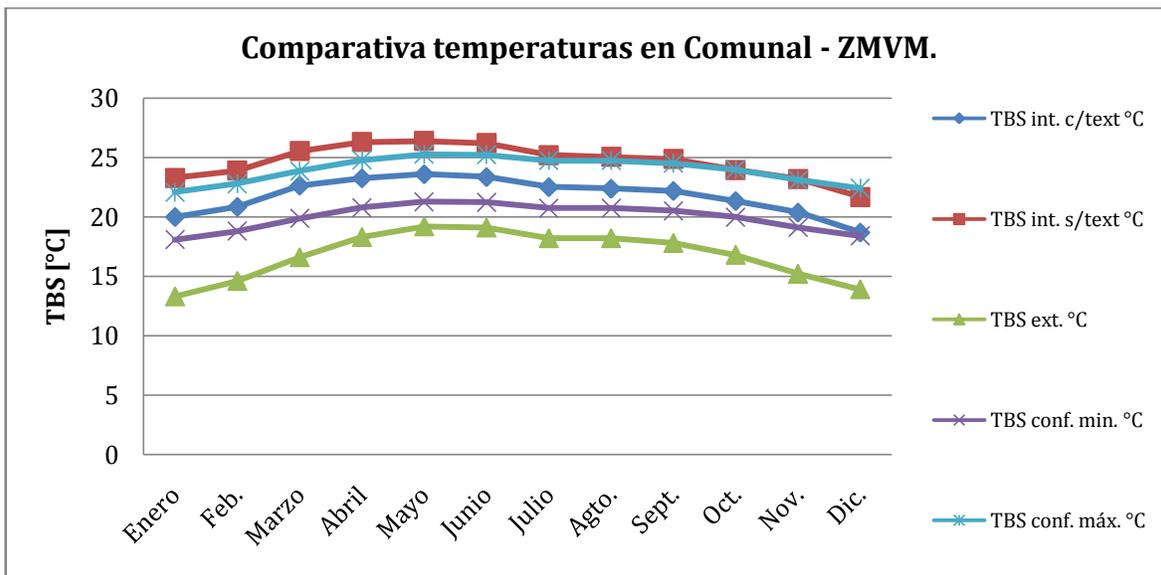


Fig. IV-16. Comparativo de temperaturas de bulbo seco del aire interior del recinto Comunal en la simulación (ZMVM) con textiles (TBS int. c/text) y sin textiles (TBS int. s/text) contra el intervalo de temperaturas de bulbo seco de confort en México (TBS conf. min. y TBS conf. máx.) y las temperaturas normales de bulbo seco en el exterior (TBS ext.). Todas las temperaturas están dadas en °C.

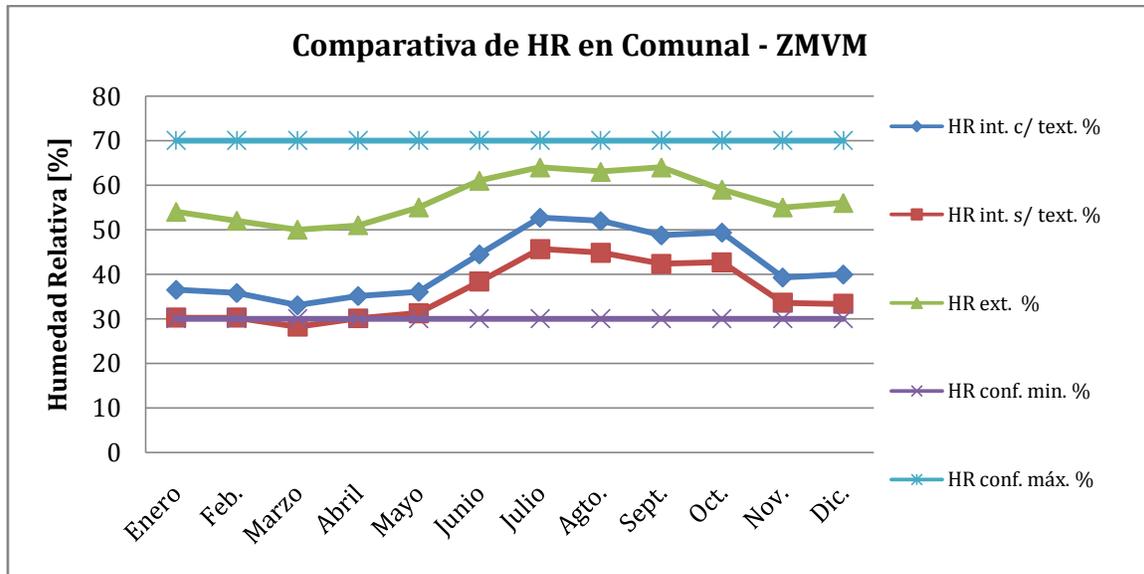


Fig. IV-17 Comparativo de humedad relativa del aire interior del recinto Comunal en la simulación (ZMVM) con textiles (HR int. c/text) y sin textiles (HR int. s/text) contra el intervalo de humedad relativa de confort en México (HR conf. min. y HR conf. máx.) y humedad relativa normal del aire exterior (HR ext.). La humedad relativa es presentada en porcentaje.

En el Anexo J puede verse a detalle los datos de la simulación para este recinto, incluyendo, las pérdidas por transferencia de calor.

Recinto privado-social: Se empleó una plantilla adecuada para la simulación de este recinto cuyas características son presentadas en la tabla IV-12.

Plantilla Dwell_DomKitchen	
Descripción.	Area donde se prepara comida, principalmente.
Densidad de carga.	40 W/m ²
Ocupación probable.	0.02 personas/m ²
Factor metabólico.	0.9 (trabajo ligero manual)
Alumbrado.	Lámparas ahorradoras, activadas de 7 de la mañana a las 9 de la noche.

Tabla IV-12. Características de los datos de entrada para la simulación del recinto privado-social.

Se muestran los resultados de las cargas térmicas y condiciones interiores dentro de este recinto. Se consideran 2.9 renovaciones/hora de aire de ventilación.

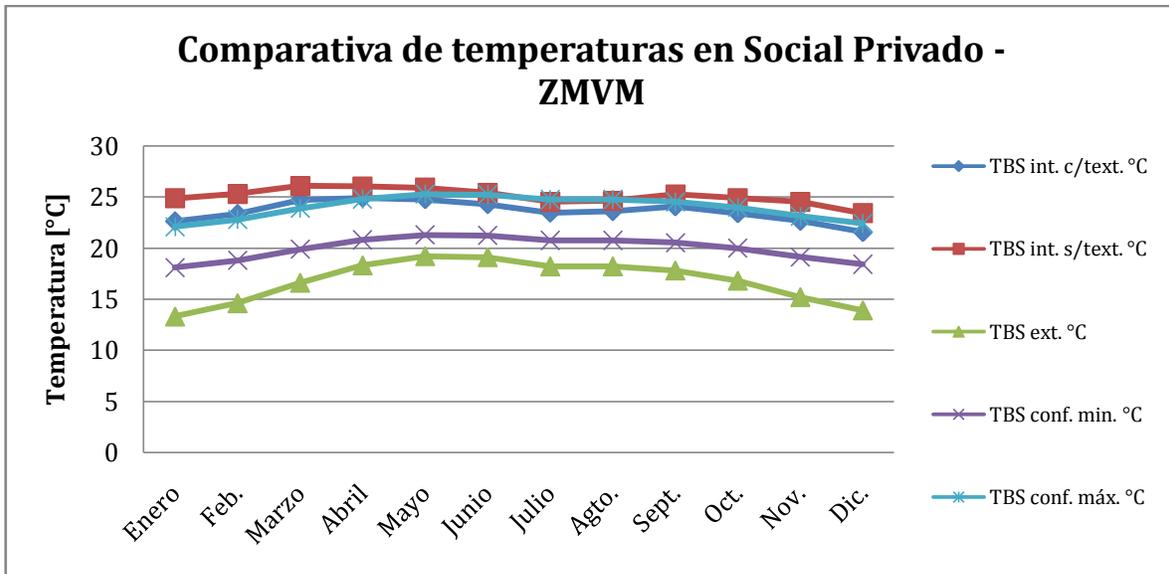


Fig. IV-18 Comparativo de temperaturas de bulbo seco del aire interior del recinto Social Privado en la simulación (ZMVM) con textiles (TBS int. c/text) y sin textiles (TBS int. s/text) contra el intervalo de temperaturas de bulbo seco de confort en México (TBS conf. min. y TBS conf. máx.) y las temperaturas normales de bulbo seco en el exterior (TBS ext.). Todas las temperaturas están dadas en °C.

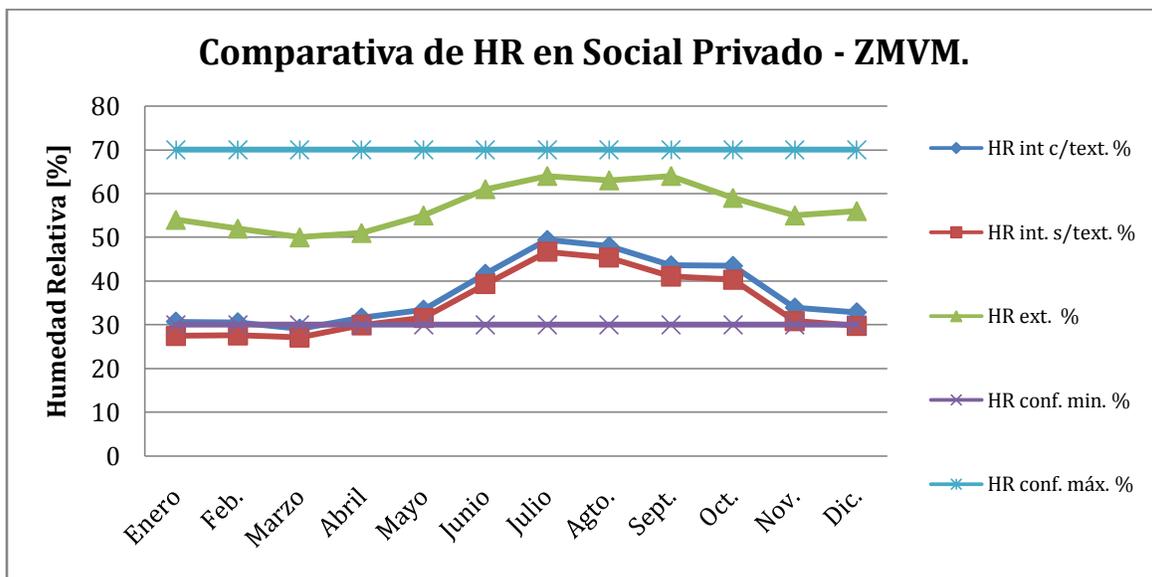


Fig. IV-19. Comparativo de humedad relativa del aire interior del recinto Social Privado en la simulación (ZMVM) con textiles (HR int. c/text) y sin textiles (HR int. s/text) contra el intervalo de humedad relativa de confort en México (HR conf. min. y HR conf. máx.) y humedad relativa normal del aire exterior (HR ext.). La humedad relativa es presentada en porcentaje.

En el Anexo J puede verse a detalle los datos de la simulación para este recinto, incluyendo, las pérdidas por transferencia de calor.

Recinto privado: Este se compone de dos partes, la recámara y el baño. Solamente se efectuó la simulación para la recámara. Los detalles de la plantilla de *DesginBuilder* empleada se muestran en la tabla IV-13.

Plantilla Dwell_DomBed	
Descripción.	Area usada principalmente para dormir.
Densidad de carga.	5 W/m ²
Ocupación probable.	0.02 personas/m ²
Factor metabólico.	0.9 (recámara)
Alumbrado.	Lámparas ahorradoras, activadas de 11 de la noche a las 2 de la mañana.

Tabla. IV-13 Características de la plantilla de simulación para recámara.

Los resultados de la simulación, con textiles y sin textiles, se presentan en las siguientes tablas. Se consideran 2.6 renovaciones/hora de ventilación.

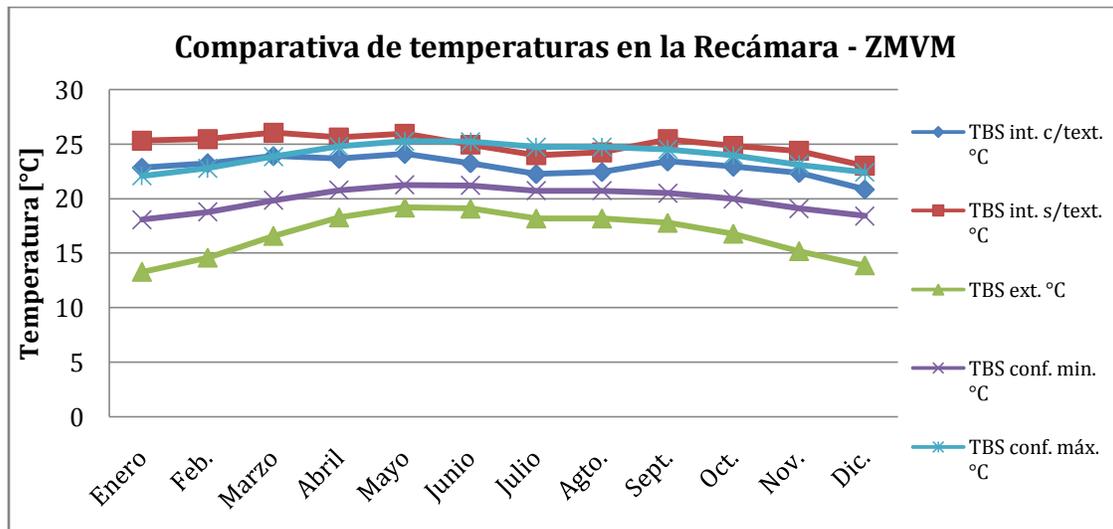


Fig. IV-20. Comparativo de temperaturas de bulbo seco del aire interior de la Recámara en la simulación (ZMVM) con textiles (TBS int. c/text) y sin textiles (TBS int. s/text) contra el intervalo de temperaturas de bulbo seco de confort en México (TBS conf. min. y TBS conf. máx.) y las temperaturas normales de bulbo seco en el exterior (TBS ext.). Todas las temperaturas están dadas en °C.

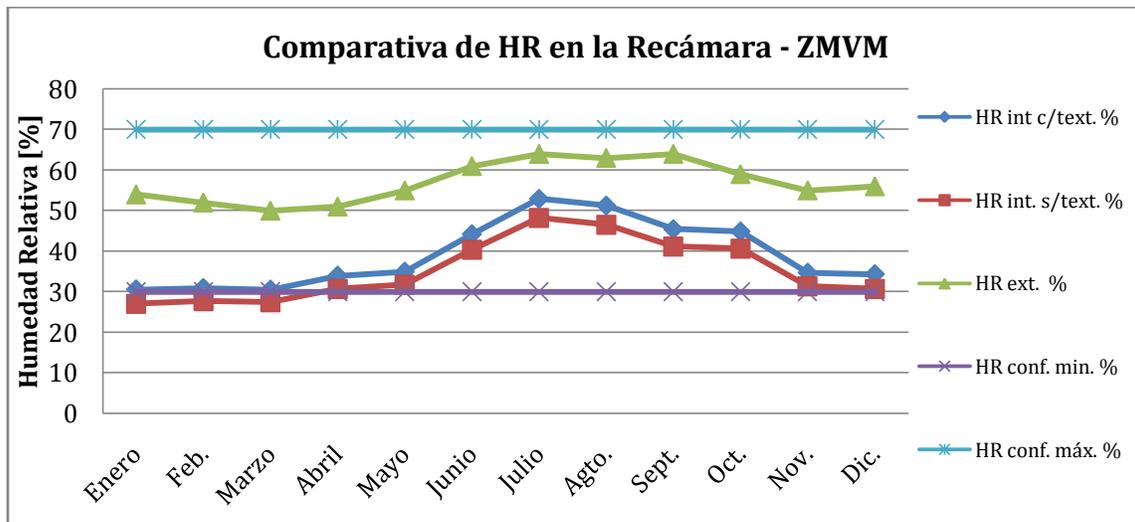


Fig. IV-21 Comparativo de humedad relativa del aire interior de la Recámara en la simulación (ZMVM) con textiles (HR int. c/text) y sin textiles (HR int. s/text) contra el intervalo de humedad relativa de confort en México (HR conf. min. y HR conf. máx.) y humedad relativa normal del aire exterior (HR ext.). La humedad relativa es presentada en porcentaje.

En el Anexo J puede verse a detalle los datos de la simulación para este recinto, incluyendo, las pérdidas por transferencia de calor.

Conclusión general de la simulación en México: Considerando los rangos de confort mencionados para México en el apartado IV.3, se puede inferir que los recintos se acercan a los intervalos de confort establecidos.

Puede observarse que los textiles influyen en el comportamiento térmico interior del recinto; al extenderlos o izarlos altera evidentemente la capacidad de obtener ganancias externas de calor a través de muros y acristalamientos y también influye en la manera en que se pierde calor a través de los elementos constructivos, a pesar de que no existe un aislamiento hermético [14, 19, 20]

La ventilación natural ayuda también a regular las condiciones interiores del recinto, aun así, con los cambios de aire introducidos a cada recinto – incluyendo infiltraciones – el edificio se mantiene con temperaturas ligeramente más arriba de la zona de confort térmico en algunos puntos al año, por lo que conviene revisar los materiales de construcción empleados e incluir, en otra iteración, otras alternativas disponibles en el mercado nacional o bien, implementar un sistema de ventilación mecánico sin ciclo termodinámico ni recuperación de entalpía, con el fin de mejorar la sensación de confort en el interior.

El aislamiento en el sistema constructivo, puede permitir que, en tiempo de frío y manteniendo personas dentro de un recinto, contribuya a mantener un poco más caliente la casa.

Durante el proceso de diseño, se indicó a la parte arquitectónica, que se debió reducir la cantidad de acristalamientos debido a que son fuente de puentes térmicos, provocando, que a través de ellos se ganen (al momento de incidir la radiación directamente sobre éstos) o se pierdan (con el cristal desnudo en una noche fría o con presencia de precipitaciones y/o vientos) grandes cantidades de calor.

Se efectuó también una simulación diaria de los recintos, la cual, si interesa al lector, puede ser consultada en los anexos correspondientes.

B. *Versalles.*

Hipótesis asumidas: Para el análisis de la casa en condiciones del sitio de competencia, se hicieron las siguientes consideraciones.

- La casa se encuentra desocupada.
- Se considera que los textiles operan en toda la casa, estando todos permitiendo la incidencia del sol, o evitando todos totalmente la incidencia del sol.
- No se consideran efectos de puente térmico.
- La casa emplea un ventilador de recuperación de energía (o de entalpía, según el modelado con *DesignBuilder*) como unidad de ventilación mecánica principal, junto

con las infiltraciones aleatorias al momento de abrir y cerrar puertas y ventanas (ya incluidos en los cálculos de renovaciones totales de aire efectuados por el programa)

- La fachada ventilada se está considerando como una capa de material muy porosa, según las especificaciones de ésta (ver anexo D).
- En este caso, se presenta el comportamiento medio diario de la casa solar.
- La casa se encuentra con orientación 22° Poniente.
- El alumbrado de toda la casa se enciende únicamente de 9 a 11 de la noche. Se emplean lámparas de LED, por lo que su transmisión de calor es prácticamente nula.
- El calor generado por los equipos y máquinas instalados en cada habitáculo es prácticamente despreciable.
- La referencia para la comparación de la temperatura está establecida en la temperatura del aire, esto porque la termometría se efectúa monitoreando el aire con un termómetro de bulbo seco.
- La comparación de las medidas de temperatura se efectúa con el promedio diario, ya que la temperatura de confort diaria está establecida con una ponderación de las medias diarias, según se estableció en apartados anteriores.
- La distribución de la temperatura del aire se considera como mezclada (ideal).

Recinto comunal: Con base en lo establecido arriba, se efectuó la simulación del recinto comunal, obteniéndose los siguientes resultados.

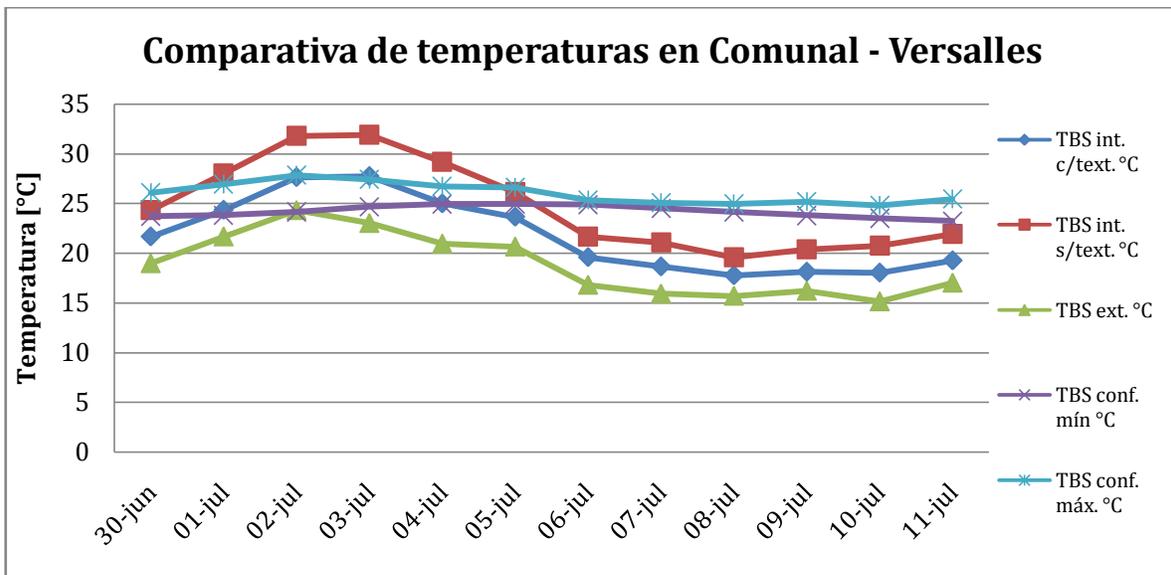


Fig. IV-22. Comparativo de temperaturas de bulbo seco del aire interior del recinto Comunal en la simulación (Versalles) con textiles (TBS int. c/text) y sin textiles (TBS int. s/text) contra el intervalo de temperaturas de bulbo seco de confort dado por el SDE (TBS conf. mín. y TBS conf. máx.) y las temperaturas normales de bulbo seco en el exterior (TBS ext.). Todas las temperaturas están dadas en °C.

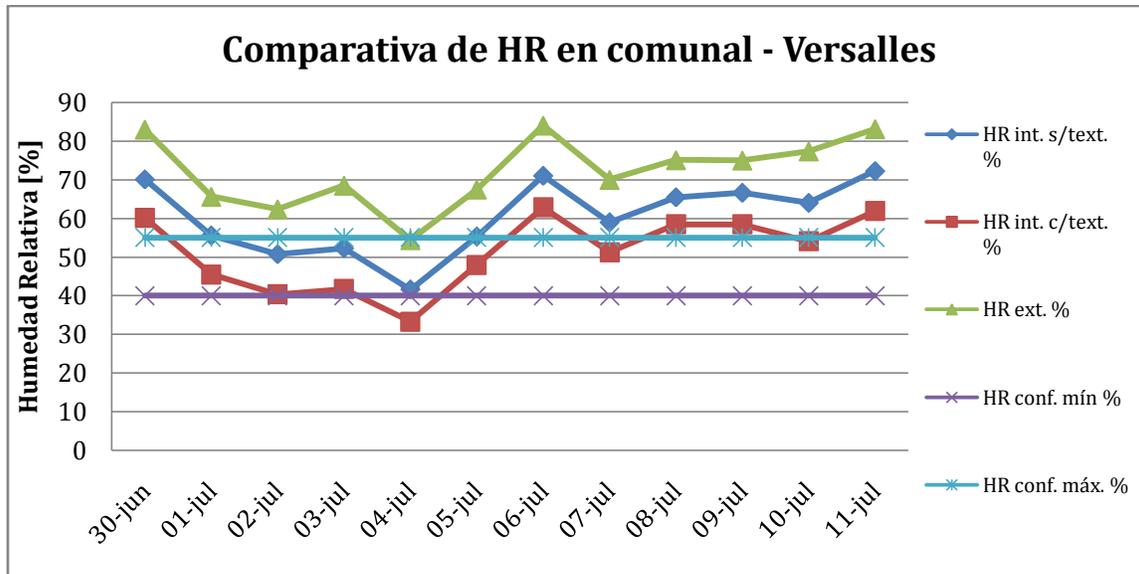


Fig. IV-23. Comparativo de humedad relativa del aire interior del recinto Comunal en la simulación (Versalles) con textiles (HR int. c/text) y sin textiles (HR int. s/text) contra el intervalo de humedad relativa de confort dado por el SDE (HR conf. mín. y HR conf. máx.) y humedad relativa normal del aire exterior (HR ext.). La humedad relativa es presentada en porcentaje.

En el Anexo K puede verse a detalle los datos de la simulación para este recinto, incluyendo, las pérdidas por transferencia de calor.

Recinto social-privado: Para este recinto se efectuaron igualmente simulaciones para ambos casos de empleo de textiles como medida de control pasivo de temperatura. Los resultados se muestran en las siguientes figuras.

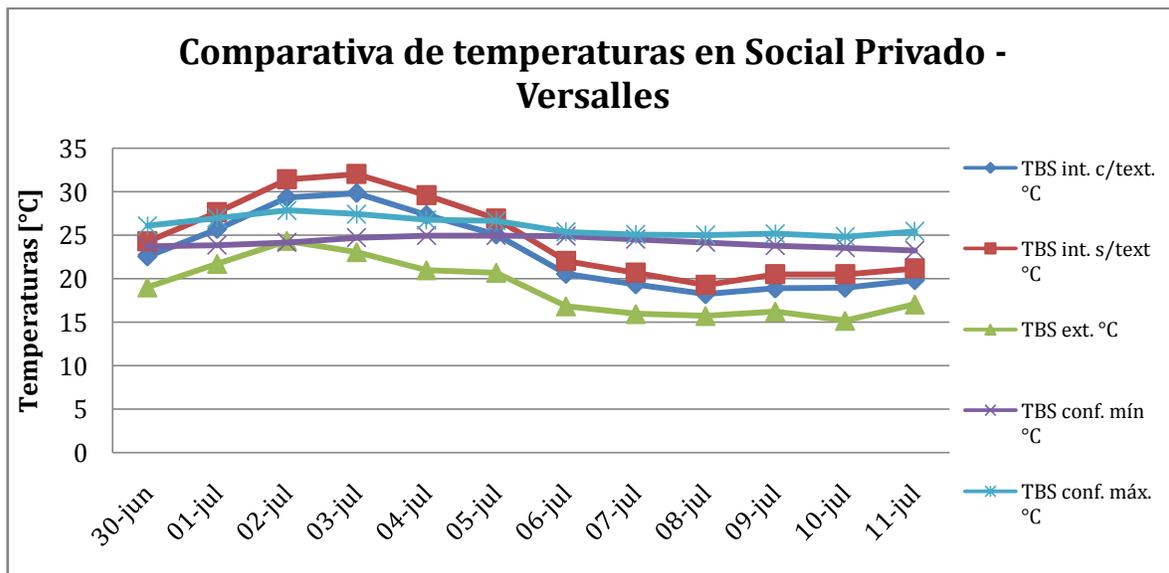


Fig. IV-24. Comparativo de temperaturas de bulbo seco del aire interior del recinto Social Privado en la simulación (Versalles) con textiles (TBS int. c/text) y sin textiles (TBS int. s/text) contra el intervalo de temperaturas de bulbo seco de confort dado por el SDE (TBS conf. mín. y TBS conf. máx.) y las temperaturas normales de bulbo seco en el exterior (TBS ext.). Todas las temperaturas están dadas en °C.

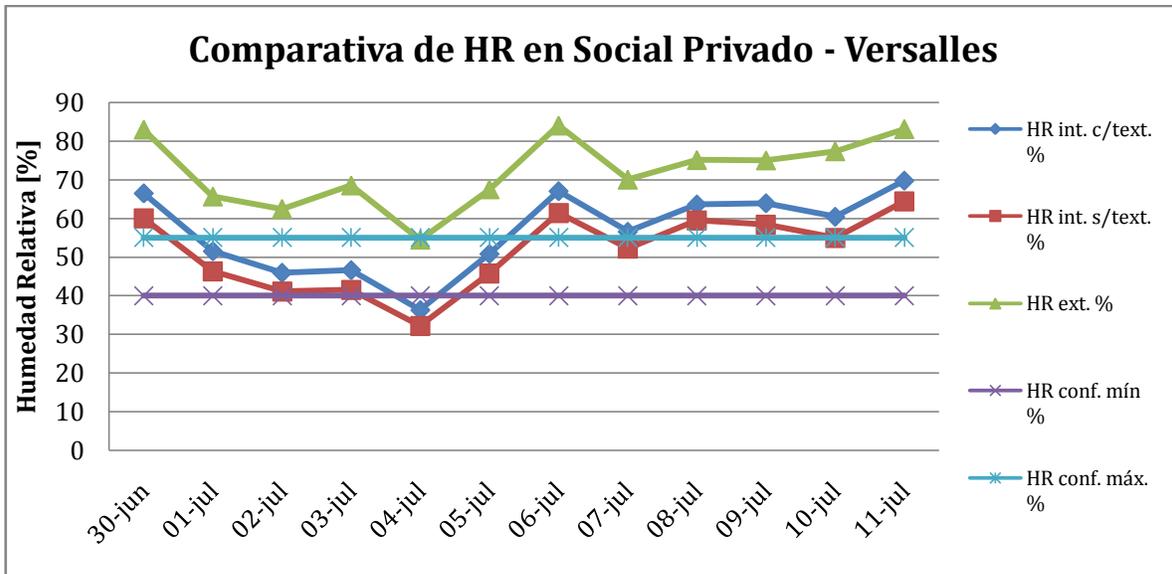


Fig. IV-25. Comparativo de humedad relativa del aire interior del recinto Social Privado en la simulación (Versalles) con textiles (HR int. c/text) y sin textiles (HR int. s/text) contra el intervalo de humedad relativa de confort dado por el SDE (HR conf. mín. y HR conf. máx.) y humedad relativa normal del aire exterior (HR ext.). La humedad relativa es presentada en porcentaje.

En el Anexo K puede verse a detalle los datos de la simulación para este recinto, incluyendo, las pérdidas por transferencia de calor.

Recinto privado: Se simuló solamente la recámara, en ambas condiciones de operación de los textiles.

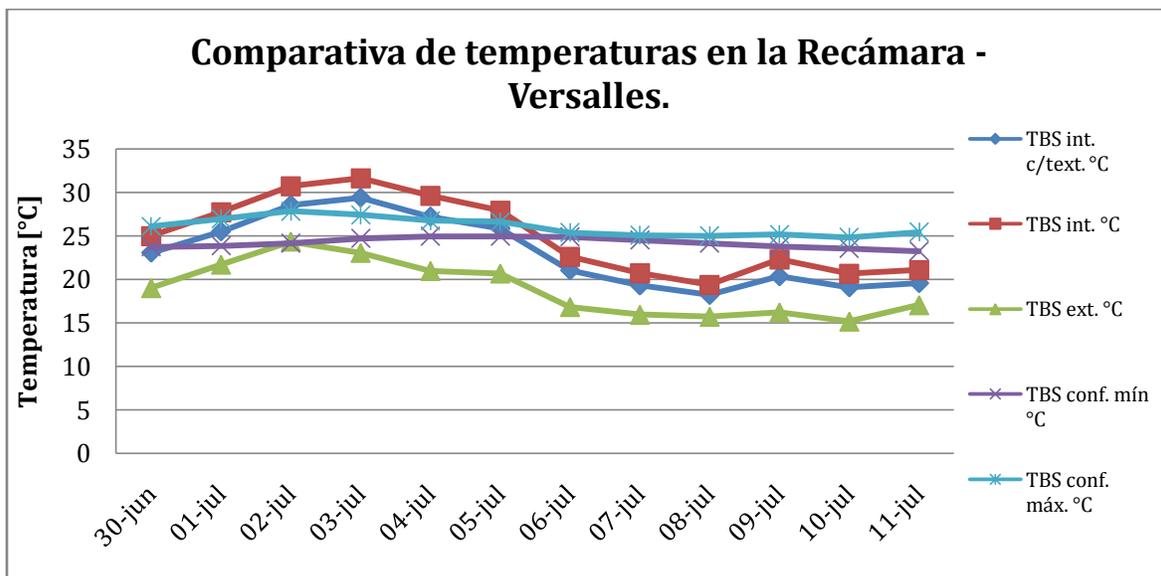


Fig. IV-26. Comparativo de temperaturas de bulbo seco del aire interior de la Recámara en la simulación (Versalles) con textiles (TBS int. c/text) y sin textiles (TBS int. s/text) contra el intervalo de temperaturas de bulbo seco de confort dado por el SDE (TBS conf. mín. y TBS conf. máx.) y las temperaturas normales de bulbo seco en el exterior (TBS ext.). Todas las temperaturas están dadas en °C.

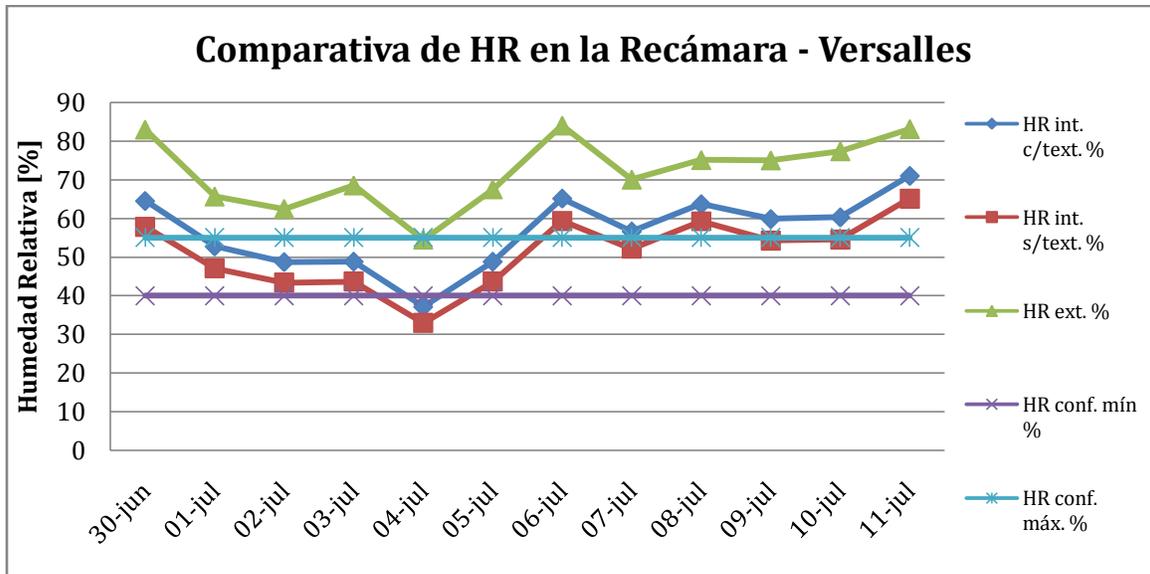


Fig. IV-27.. Comparativo de humedad relativa del aire interior del recinto Recámara en la simulación (Versalles) con textiles (HR int. c/text) y sin textiles (HR int. s/text) contra el intervalo de humedad relativa de confort dado por el SDE (HR conf. mín. y HR conf. máx.) y humedad relativa normal del aire exterior (HR ext.). La humedad relativa es presentada en porcentaje.

Conclusión general: Es innegable, que el diseño de un recinto para unas condiciones de temperatura y humedad particulares no va a operar correctamente en otro sitio, es decir, que el diseño de una casa para ciertas condiciones climatológicas particulares, nunca va a proveer las mismas condiciones al interior del edificio.

Versalles es un lugar muy húmedo, cosa que se refleja en los resultados de las simulaciones, por lo que un control de temperatura por enfriamiento evaporativo – en los casos cálidos – sería completamente inútil. Los efectos de la ventilación con recuperación de energía en cuanto a mitigación de humedad no son apreciables, debido a que, como es un sistema de transferencia de masa-energía por 2a. Ley de la Termodinámica [36, 37], la humedad que se transfiere a un ambiente casi saturado de vapor de agua, es prácticamente nula.

El margen de temperaturas a cubrir dado por la organización [7] no es posible aplicarlo con métodos de acondicionamiento pasivo, si se tienen materiales ligeros como los que se emplean, por lo que se podrían haber hecho tres cosas:

- Cambio de materiales de construcción a unos más de densidad mayor que provean mayor adaptabilidad a las condiciones exteriores (en regiones como las del norte de Europa, Francia incluida, se acostumbra construir con materiales bastante densos) e incluir masa térmica adicional, como por ejemplo, mediante cuerpos de agua contenidos en envases con conductividad térmica moderada.
- Implementación de materiales con cambio de fase (cambian su estado físico con algunas temperaturas, solidificándose o licuándose según éstas para permitir o frenar la transmisión de calor en el recinto).
- Utilización de sistemas de climatización con ciclo termodinámico inverso o directo con tecnología *inverter* (para menor consumo de energía eléctrica).

Desde luego, esto es meramente una simulación del comportamiento de CASA-UNAM con datos de la ciudad de París (datos climáticos a la ciudad de Versalles no se tienen al cierre del diseño de CASA-UNAM, por lo que, por recomendación de la misma organización [10] se emplearon datos de la ciudad de París), y por esa razón, el comportamiento del prototipo pueda variar, incluso totalmente, al momento de construirse.

No se reportaron las cargas térmicas del prototipo, puesto que el objetivo principal de los análisis era predecir las condiciones térmicas al interior del recinto, sin embargo, en los anexos J y K están reportadas dichas cargas térmicas evaluadas con *DesignBuilder*, donde se observa las pérdidas de energía promedio a través del sistema constructivo y de los acristalamientos.

V. CASA-UNAM EN EL SDE 2014.

En esta sección se presentan los resultados de las pruebas efectuadas al sistema de vivienda CASA-UNAM que concursó en el SDE 2014, llevado a cabo en *La Cité du Soleil*, en la ciudad francesa de Versailles. Los días que se probó el funcionamiento de CASA-UNAM fueron del 30 de junio al 11 de julio de 2014. Así mismo, se presentan cambios realizados de última hora en el diseño de la casa y que afectaron a la funcionalidad térmica de la misma.

V.1 Resumen de obra: Instalación del sistema de ACS.

El sistema de calentadores solares se embarcó la primera semana del mes de mayo de 2014 en dirección a Francia, habiéndose embalado éstos por los mismos alumnos participantes en el SDE. Se tomaron las precauciones necesarias en virtud de la fragilidad de los colectores y del calentador eléctrico de depósito.



Fig. V-1. Colectores solares embalados junto a la manguera para interconectar los calentadores solares en serie.



Fig. V-2. Termo-tanques embalados junto a caja de accesorios para ventiladores y sistema ACS.



Fig. V-3. Calentador de agua de respaldo embalado.

Debe hacerse la indicación que el calentador eléctrico de respaldo fue enviado junto a la banca técnica amarrado para evitar que se moviera y maltratase.

Una vez que llegaron a destino, se desembaló el sistema completo y se procedió a su instalación. El montaje del sistema duró aproximadamente un día y medio. Los colectores fueron elevados con grúa sobre sus bases metálicas, en tanto que los termo-tanques se elevaron con grúa también y se fijaron con cinchos para carga de capacidad de 1 Tnm . Ésto se debió a que las estructuras en las que se fijan los tanques, no cupieron en la torre hidráulica y no se alteraron debido a que se debilitarían estructuralmente y debido a los pesos que tienen que cargar los soportes de los tanques, colapsarían. Se tuvo necesidad de ampliar la longitud de la tubería debido a la disposición final de los componentes del sistema de ACS.

El sistema quedó instalado como se muestra en la figura V-4.



Fig. V-4. Instalación del sistema solar de ACS para CASA-UNAM en competencia. Las cintas naranjas alrededor de los termo-tanques son los cinchos de sujeción.

Por requerimientos de la organización, se tuvo que forrar la torre hidráulica para evitar ganancias solares en los depósitos de agua y con ello, reducir el riesgo de generación de micro-organismos en los mismos. La torre quedó finalmente como se muestra en la figura V-5.



Fig. V-5. Forma en la que finalmente quedó construida la torre hidráulica después de forrarse para evitar la incidencia del sol directa sobre los depósitos de agua.

Debido a incidencias de en el transporte de los sistemas a Francia, no se pudo respetar el diseño de sistema de ACS al momento de implementarlo, debido principalmente a que el calentador de respaldo eléctrico, fue maltratado durante el transporte y sufrió un golpe que ocasionó que este dispositivo tuviera falla a tierra, lo que hacía que el sistema eléctrico general de la casa fuera desconectado por los dispositivos de protección, lo que al final significó que sólo se operara el sistema ACS con los colectores solares solamente, el sistema de control tampoco quedó instalado debido a que no llegaron las piezas.

V.2 Resumen de obra: Sistema de ventilación.

El sistema de ventilación mecánica de CASA-UNAM fue enviado ya pre-instalado con las cubiertas de techo. El empleo de ductos sin aislar se justifica con que dichos ductos están embutidos dentro de la cubierta que contiene ya una capa de aislante. El ducto es hermético, por lo que las fibras del aislante nunca entrarán en el ventilador y no se dispersan al interior de la casa.



Fig. V-6. Proceso de ensamblaje de los ventiladores.

En el sitio de competición se instalaron las rejillas interiores, una vez que se completaron los acabados interiores del techo.



Fig. V-7. Instalación de las rejillas interiores en CASA-UNAM.

Igualmente, se instalaron los difusores, las rejillas exteriores y una barrera mecánica entre los flujos de aire de entrada y de escape, para evitar contaminaciones entre éstos.



Fig. V-8. Instalación de componentes exteriores del sistema de ventilación de CASA-UNAM. Las barreras entre los difusores quedaron ocultas por la rejilla exterior.

El control de estos dispositivos se iba a realizar mediante un sistema de relevadores llamado *CLIPSAL*. Sin embargo, dicho sistema no pudo entrar a funcionar de manera remota, por lo que el sistema de ventilación se tuvo que activar de manera manual en el tablero de control correspondiente ubicado en la banca técnica.

V.3 Resumen de obra: Construcción de envolvente térmica y discrepancias.

Se procedió en el sitio de competencia a construir el sistema CASA. Sin embargo, la envolvente térmica no quedó debidamente finalizada, debido a incidencias en el sitio relacionadas con la logística de los materiales de construcción.

La parte que no quedó concluida de dicha envolvente fue la fachada ventilada de la misma. Ésto impactó en el funcionamiento térmico de la casa, por lo que se tuvo que volver a simular el funcionamiento térmico de los recintos para tratar de predecir las condiciones interiores y verificar la desviación del comportamiento esperado del diseño original en relación a las adecuaciones que se tuvieron que efectuar in situ. En concreto, a las paredes de los recintos se les tuvo que dar acabado con *Ready-mix* de Panel Rey ® mediante aplanado.

En las figuras siguientes se presenta el prototipo de CASA-UNAM, tal como quedó concluido y como fue presentado en el SDE.



Fig. V-9. Vista Nor-poniente de CASA-UNAM desde la rampa de acceso para visitas con los textiles (TXL) puestos y exhibiendo la fachada ventilada colocada (NBK) únicamente en el muro norte del habitáculo privado (H3).

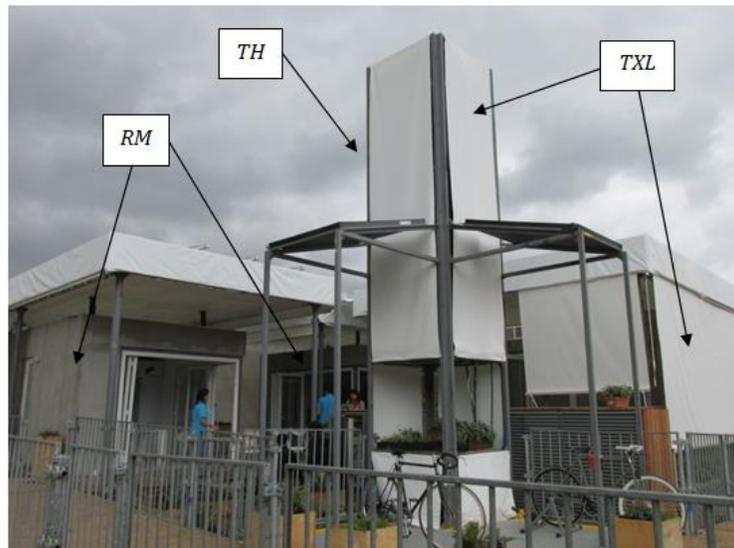


Fig. V-10. Vista sur-oriente de CASA-UNAM. Se aprecia la torre hidráulica (TH) cubierta con los textiles (TXL) para evitar la incidencia solar sobre los depósitos de agua. Los muros de los habitáculos visibles solo tuvieron un acabado con aplanado con cemento adhesivo (RM).

Se volvió a simular el funcionamiento térmico de CASA-UNAM en *DesignBuilder* con objeto de predecir el nuevo comportamiento del prototipo e identificar discrepancias del diseño original con respecto del modelo construido. Los resultados del análisis se presentan en las figuras V-11 a la V-16 para cada recinto.

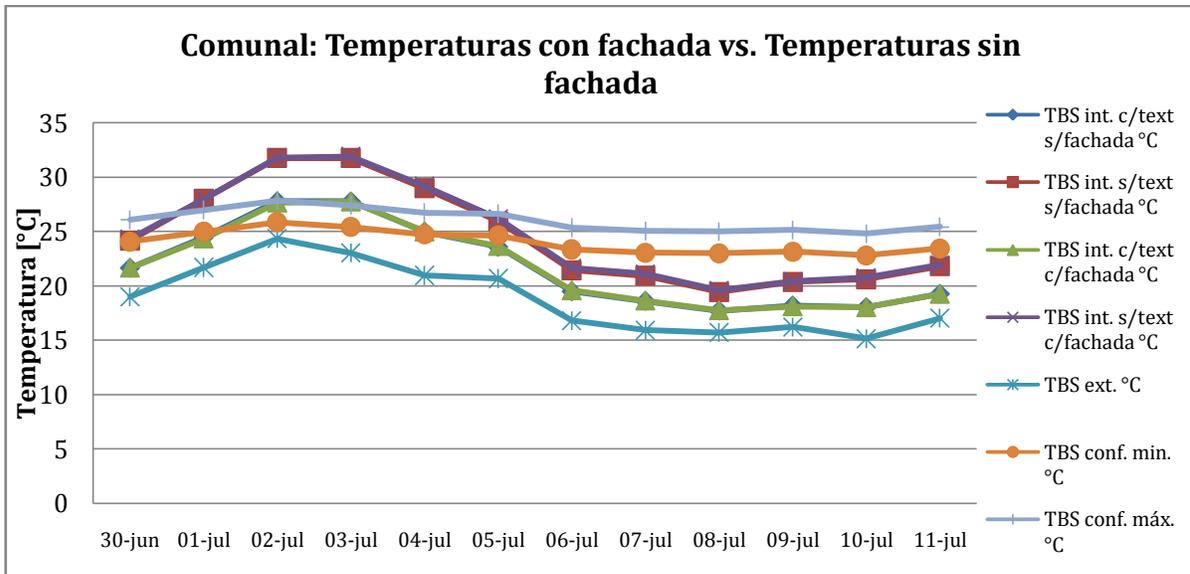


Fig. V-11. Resultados de la simulación del recinto comunal en Versalles sin fachada ventilada y comparación de éstos con la simulación con fachada ventilada. Factor de comparativa: Temperatura de bulbo seco interior (TBS) en °C.

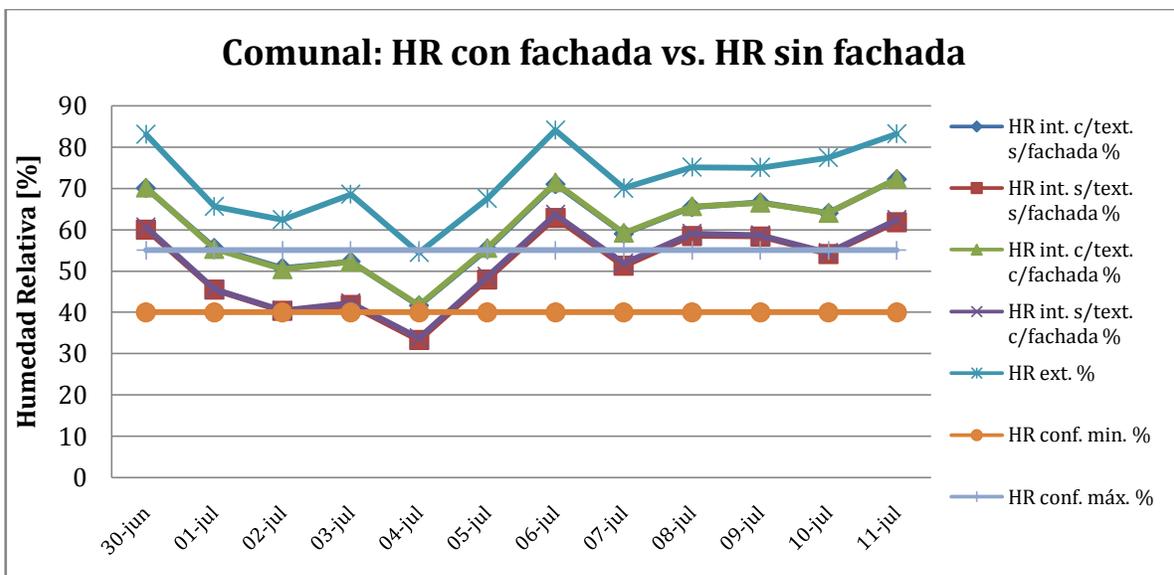


Fig. V-12. Resultados de la simulación del recinto comunal en Versalles sin fachada ventilada y comparación de éstos con la simulación con fachada ventilada. Factor de comparativa: Porcentajes (%) de humedad relativa (HR).

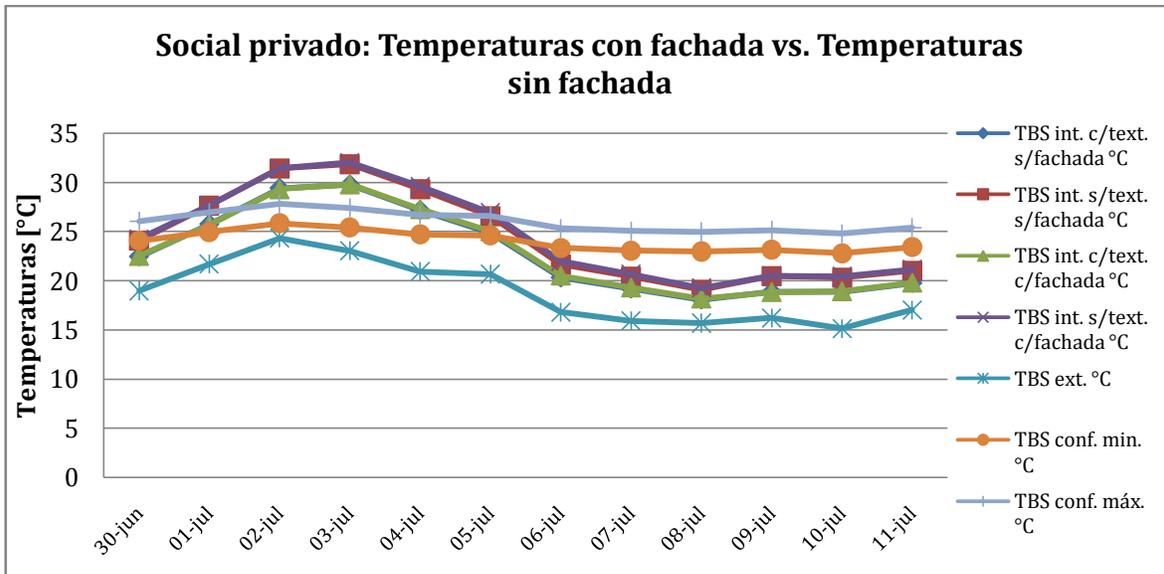


Fig. V-13. Resultados de la simulación del recinto social privado en Versailles sin fachada ventilada y comparación de éstos con la simulación con fachada ventilada. Factor de comparativa: Temperatura de bulbo seco interior (TBS) en °C.

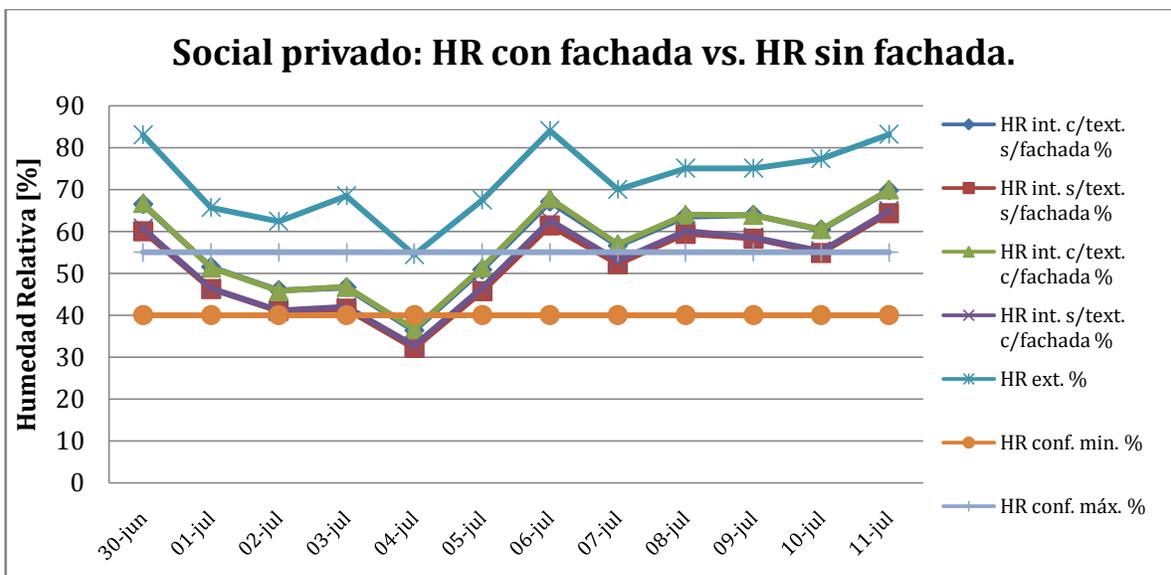


Fig. V-14. Resultados de la simulación del recinto social privado en Versailles sin fachada ventilada y comparación de éstos con la simulación con fachada ventilada. Factor de comparativa: Porcentaje (%) de humedad relativa (HR).

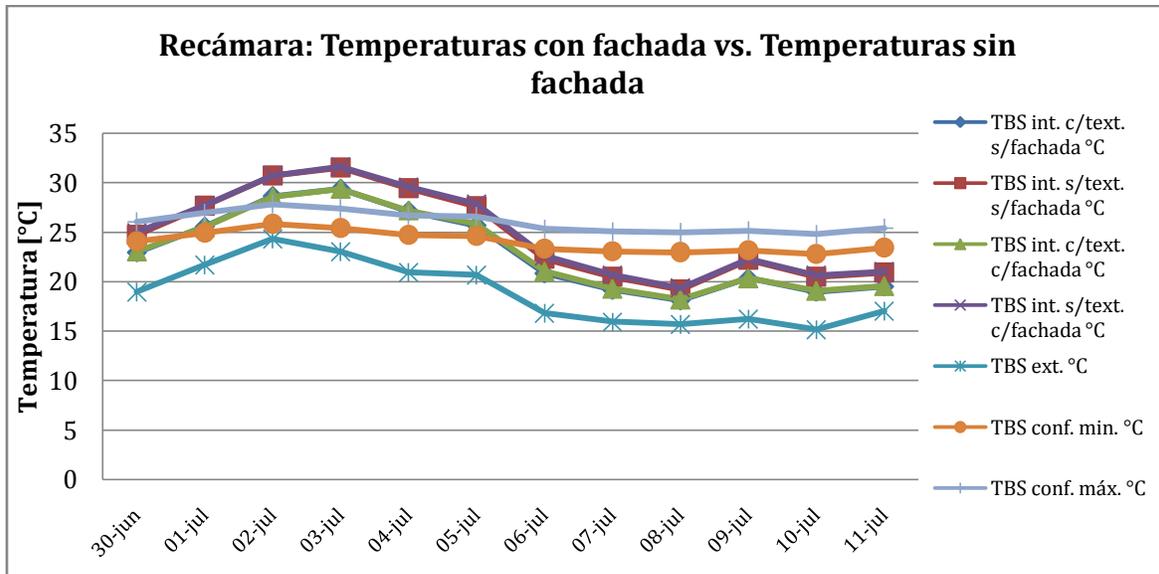


Fig. V-15. Resultados de la simulación de la recámara en Versalles sin fachada ventilada y comparación de éstos con la simulación con fachada ventilada. Factor de comparativa: Temperatura de bulbo seco interior (TBS) en °C.

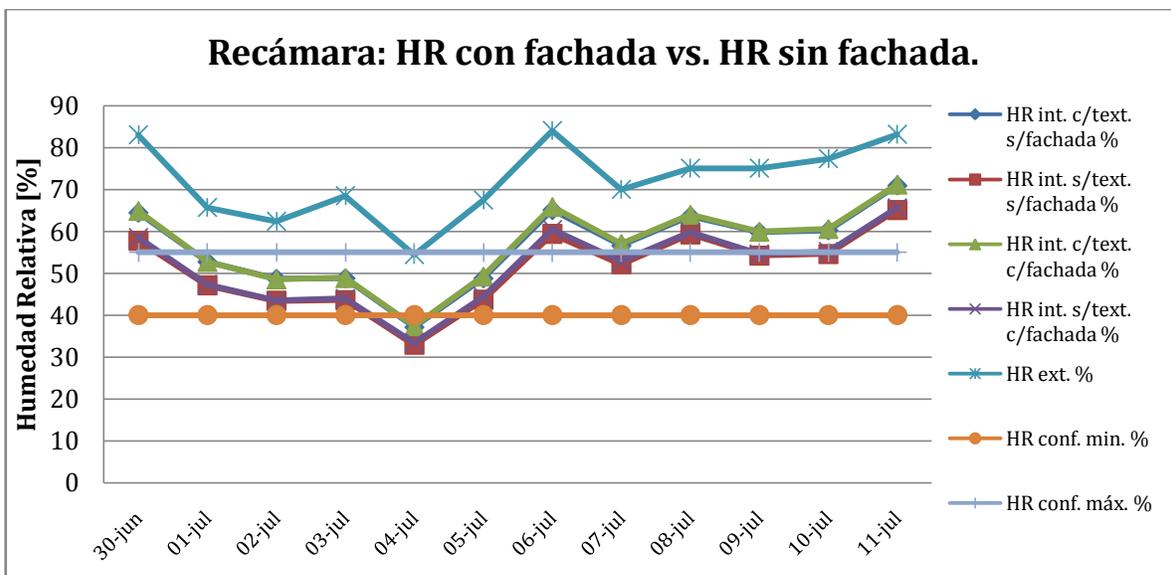


Fig. V-16. Resultados de la simulación de la recámara en Versalles sin fachada ventilada y comparación de éstos con la simulación con fachada ventilada. Factor de comparativa: Porcentajes (%) de humedad relativa.

Con este pronóstico, se vuelve a concluir que los textiles ayudan a regular el exceso de radiación incidente, a iguales cambios de aire. Sin embargo, la falta de masa en los muros vuelve más vulnerable a los cambios exteriores, a pesar de que tiene una buena amortiguación (por la cantidad de aislante en muros). Independientemente de ello, los efectos de la fachada ventilada no son muy apreciables.

V.4 Condiciones climatológicas observadas en durante el SDE.

Previo a hacer cualquier indicación acerca del funcionamiento de CASA-UNAM en el SDE 2014, debe hacerse notar que CASA-UNAM entró a competencia a partir del día 1o. de Julio, debido a los retrasos ocasionados por las incidencias ya mencionadas; por lo que los datos relevantes a la competencia y a las condiciones atmosféricas en Versalles, serán dados a partir de la fecha mencionada.

Fecha	TBS ext. mín.	TBS ext. máx.	Insolación	Nivel máx. de precipitaciones	Nubosidad a las 11 hs.	Nubosidad a las 14 hs.	Nubosidad a las 17 hs.
	°C	°C	h.	mm			
01-jul-14	14.4	22.1	3	0	alta	alta	alta
02-jul-14	12.6	24.4	14	0	despejado	despejado	despejado
03-jul-14	12.1	28.4	15	0	despejado	despejado	despejado
04-jul-14	17.8	25.1	3	2	alta	alta	medio nublado
05-jul-14	16.1	22.6	1	1	alta	alta	alta
06-jul-14	13.8	18.7	2	11.5	alta	alta	alta
07-jul-14	9.8	20.9	7	3.6	alta	medio nublado	alta
08-jul-14	13	18.5	4	2.8	alta	medio nublado	alta
09-jul-14	11.5	16.3	0	17.1	alta	alta	alta
10-jul-14	13	14.8	0	10.3	alta	alta	alta
11-jul-14	13.7	21.2	3	0	alta	alta	medio nublado
MEDIAS	13.4	21.2	4.7	4.4			

Tabla V-1. Condiciones meteorológicas observada en Versalles (78000) del 1o. de julio al 11 de julio de 2014 [39]

Por lo que se observa, predominaron los días nublados, por lo que la insolación fue menor a la que se esperó.

V.5 Pruebas de agua caliente: lavadora y lavavajillas.

En la competencia fueron monitoreados únicamente las pruebas de lavadora y lavavajillas. Sin embargo, debe indicarse que durante los muestreos de agua caliente, se alcanzaron valores de hasta 50 °C.

Las condiciones climatológicas durante la competencia fueron variables, tendiendo, más que nada, a permanecer nublado, por lo que, añadiendo el problema de que no contamos con la unidad de respaldo operando, los resultados en varios días no fueron los óptimos.

En la gráfica se muestran los resultados de la monitorización de las condiciones de lavadora. Conviene recordar que la temperatura mínima deseable es de 40 °C, según el reglamento [7]. Esta prueba se realizó una vez al día. Todas las temperaturas están en °C.

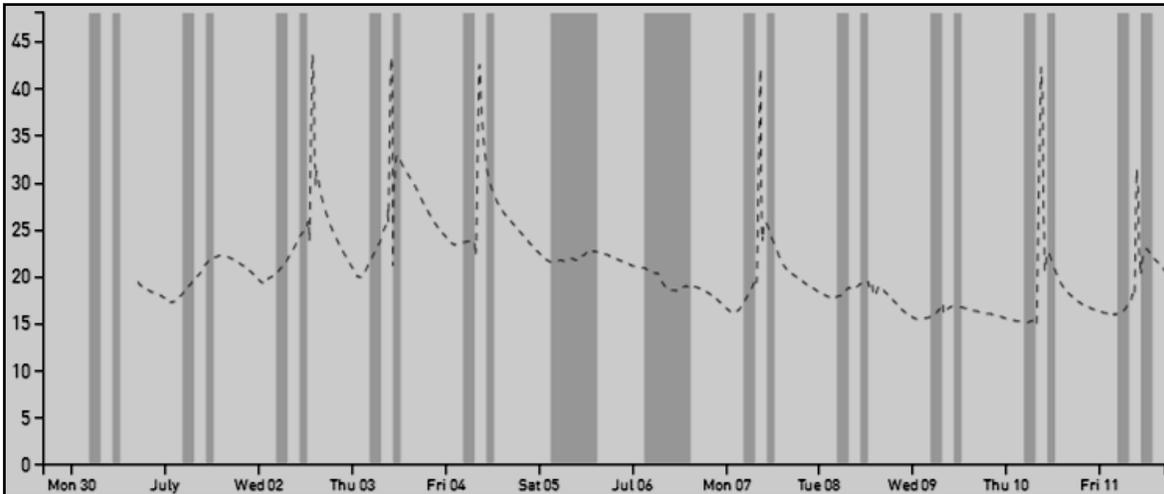


Fig. V-17. Prueba de funcionamiento de lavadora en SDE [40].

Se tuvieron temperaturas de alrededor de $43\text{ }^{\circ}\text{C}$ en este servicio (en días soleados). Lo que se puede considerar un buen resultado – pues superó la temperatura mínima – a pesar de que la lavadora estuvo alejada de la toma principal, la tubería estaba sin aislar. Aun con la prueba superada – los días que se pudo – no se alcanzó la temperatura mínima fijada (Temperatura objetivo).

Otra prueba monitorizada, fue la del lavavajillas. En la fig. V-18 se muestra el resultado de la monitorización. Todas las temperaturas están en $^{\circ}\text{C}$.

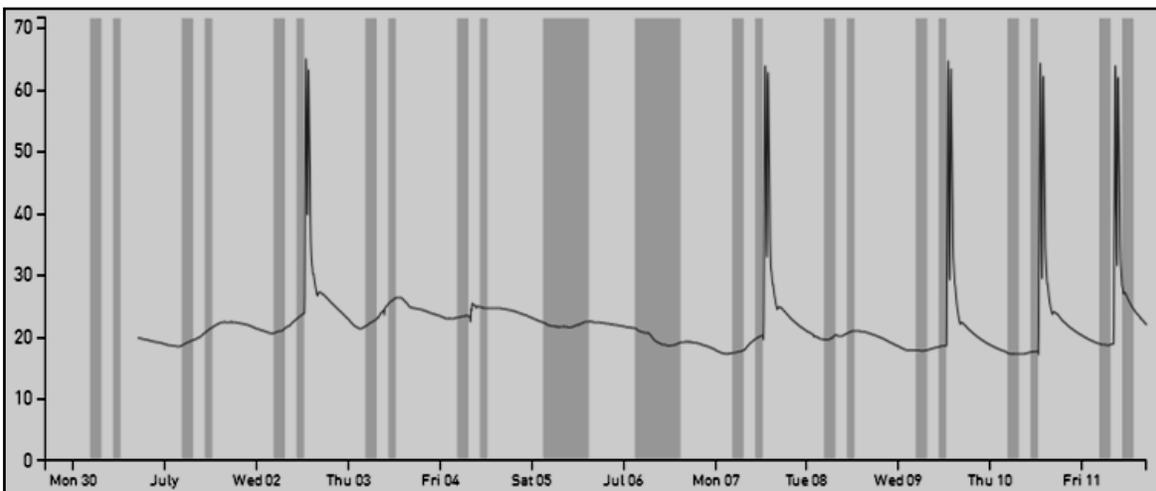


Fig. V-18. Prueba de funcionamiento de lavavajillas en SDE [40].

En esta prueba, la temperatura mínima requerida fue de $49\text{ }^{\circ}\text{C}$. Debido a incidencias de presión, hubieron días en los que la prueba no se superó, añadiendo el hecho de que la nubosidad no permitió un aprovechamiento pleno de la energía solar. Sin embargo, los días en los que se pudo aprovechar la radiación solar, se tuvieron picos de aproximadamente $65\text{ }^{\circ}\text{C}$, con lo cual, se puede decir que el resultado fue mejor que el esperado ($55\text{ }^{\circ}\text{C}$ de temperatura objetivo).

Como conclusión general de estas pruebas, se puede decir que el sistema solar empleado fue eficiente. Sin embargo, el clima no permitió una operación completa de éste y el calentador de respaldo, al encontrarse inoperante, no propició las condiciones para mantener las temperaturas durante toda la competencia.

V.6 Monitoreo de temperatura y humedad.

Se monitoreó temperatura interior de dos habitáculos únicamente: el recinto social privado y la recámara; el recinto comunal solamente sirvió como referencia de medición, por lo que solamente se consideraron las temperaturas y humedades de los dos primeros recintos indicados para contabilizar puntos en la competencia.

En las fig. V-19 a V-55 se muestran los resultados de las mediciones efectuadas de la temperatura y humedad de cada día de cada recinto. Nota: se presentó una modificación al reglamento – durante la competencia – en la que se indicó que en la noche (de 9 de la noche a las 6 de la mañana del día siguiente), la temperatura mínima para contabilizar puntos fue de 18 °C. La escala roja está relacionada con la temperatura del recinto (lectura en la línea *cian*) y la verde con la temperatura exterior (lectura en la línea verde); de manera semejante es con la humedad. Solamente se monitoreó la humedad del recinto social privado.

Las temperaturas están en °C y la humedad relativa está expresada en porcentajes (%).

Recinto social-privado.



Fig. V-19. Temperatura interior del recinto social privado el 30/06/2014 [40].

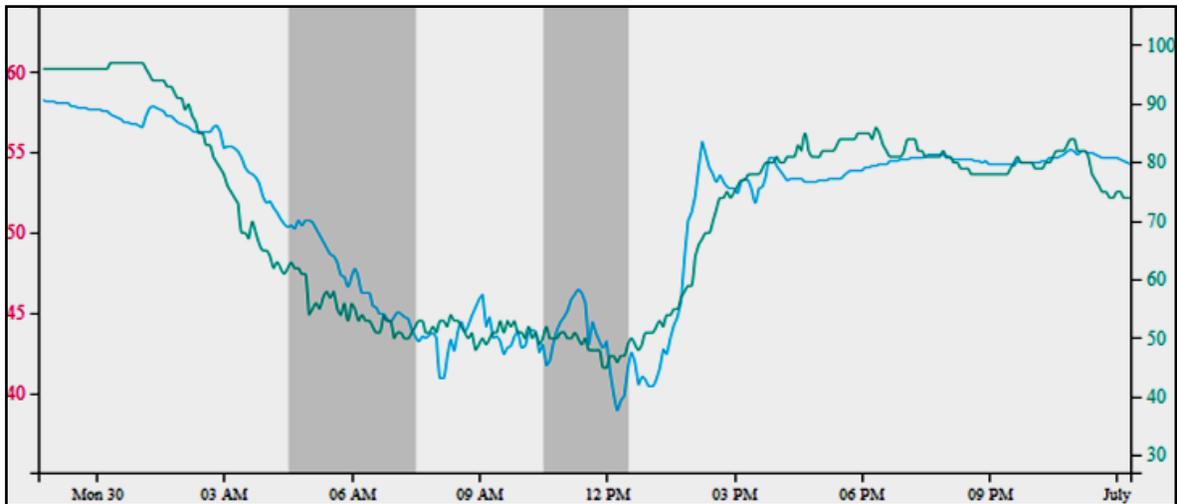


Fig. V-20. Humedad relativa interior del recinto social privado el 30/06/2014 [40].

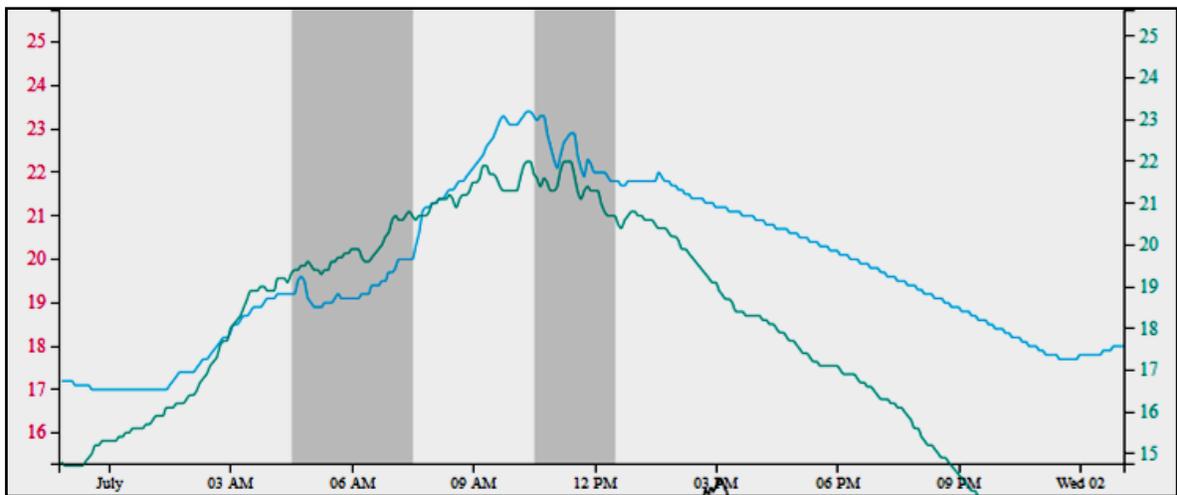


Fig. V-21. Temperatura interior del recinto social privado el 01/07/2014 [40].

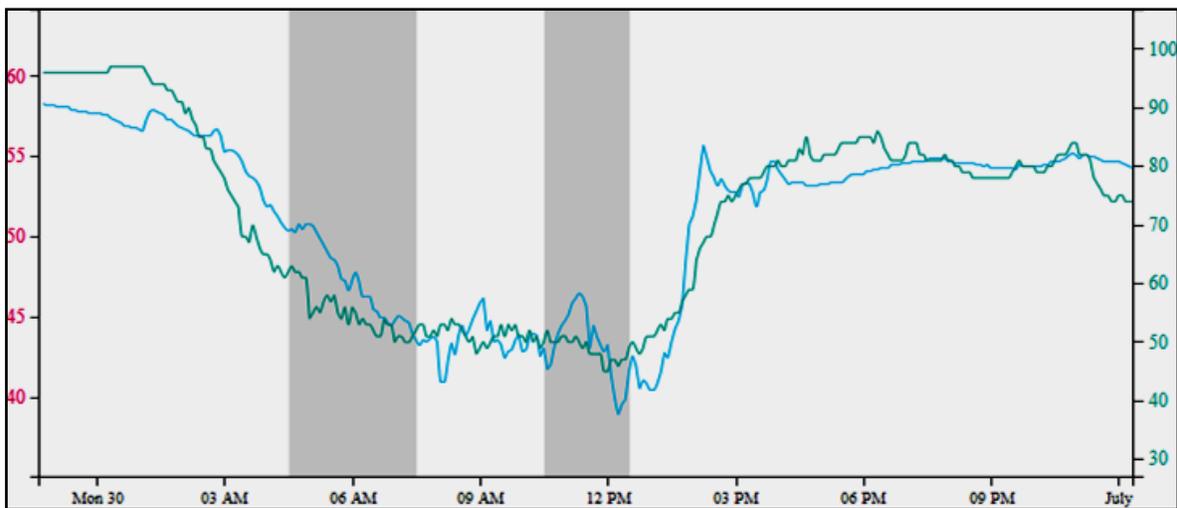


Fig. V-22. Humedad relativa interior del recinto social privado el 01/07/2014 [40].

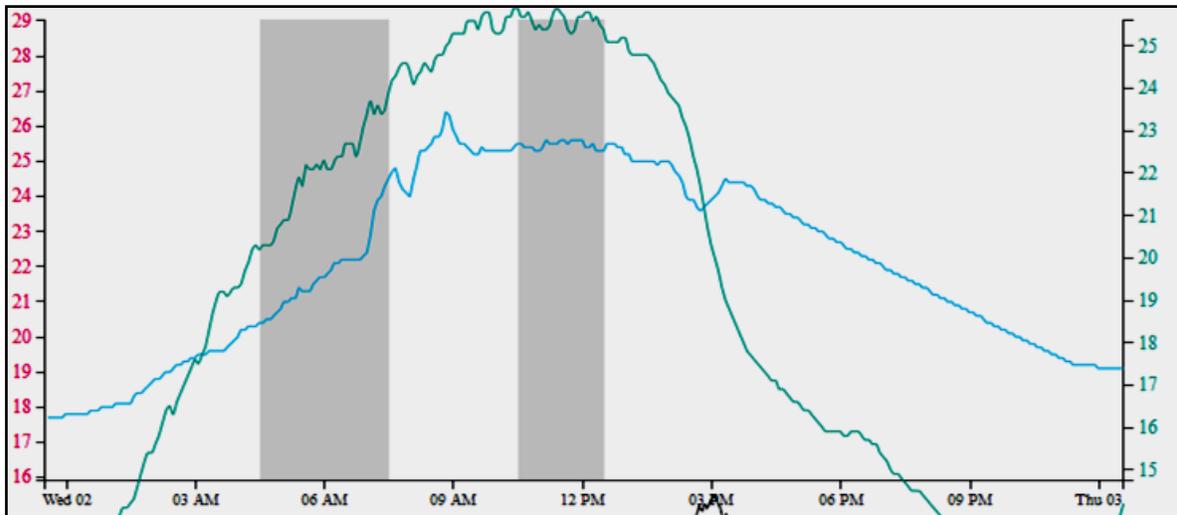


Fig. V-23. Temperatura interior del recinto social privado el 02/07/2014 [40].

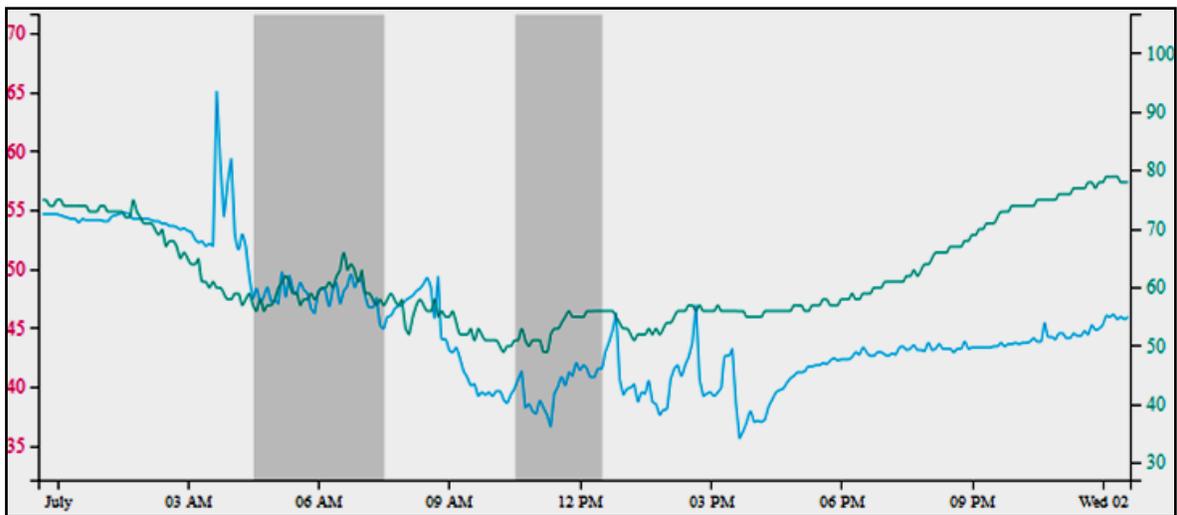


Fig. V-24. Humedad relativa interior del recinto social privado el 02/07/2014 [40].

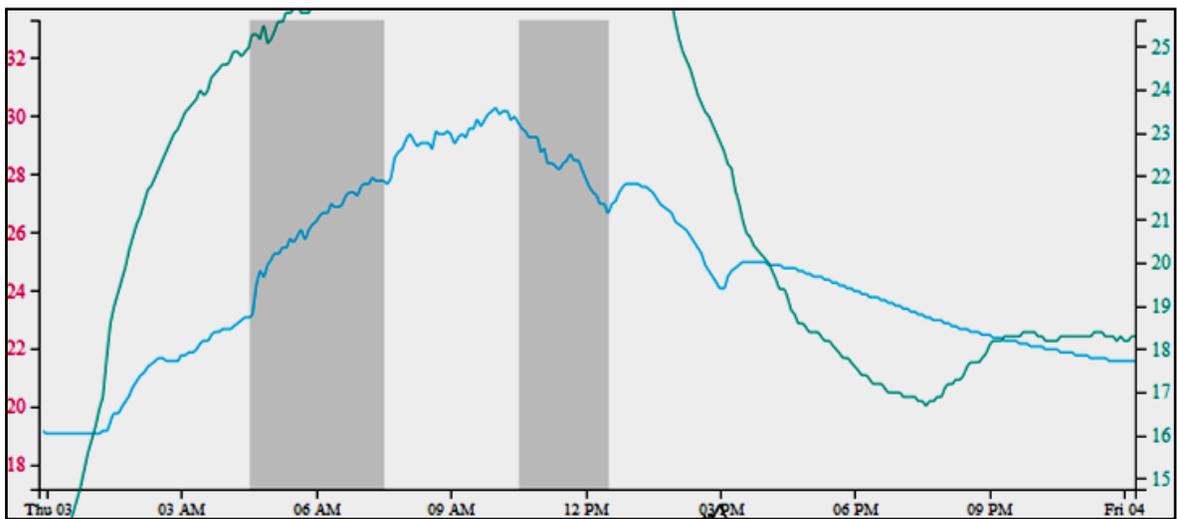


Fig. V-25. Temperatura interior del recinto social privado el 03/07/2014 [40].

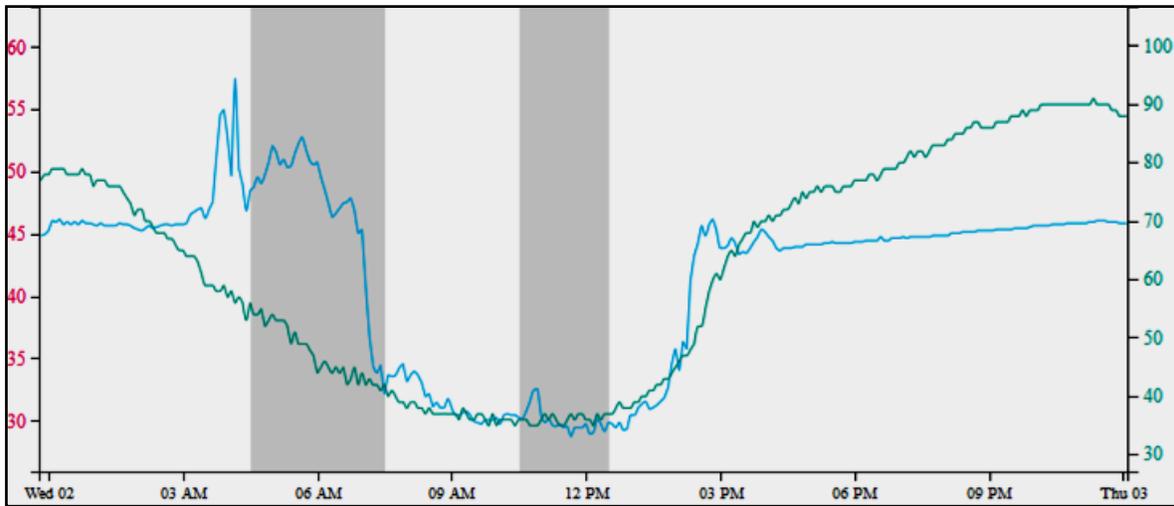


Fig. V-26. Humedad relativa interior del recinto social privado el 03/07/2014 [40].



Fig. V-27. Temperatura interior del recinto social privado el 04/07/2014 [40].

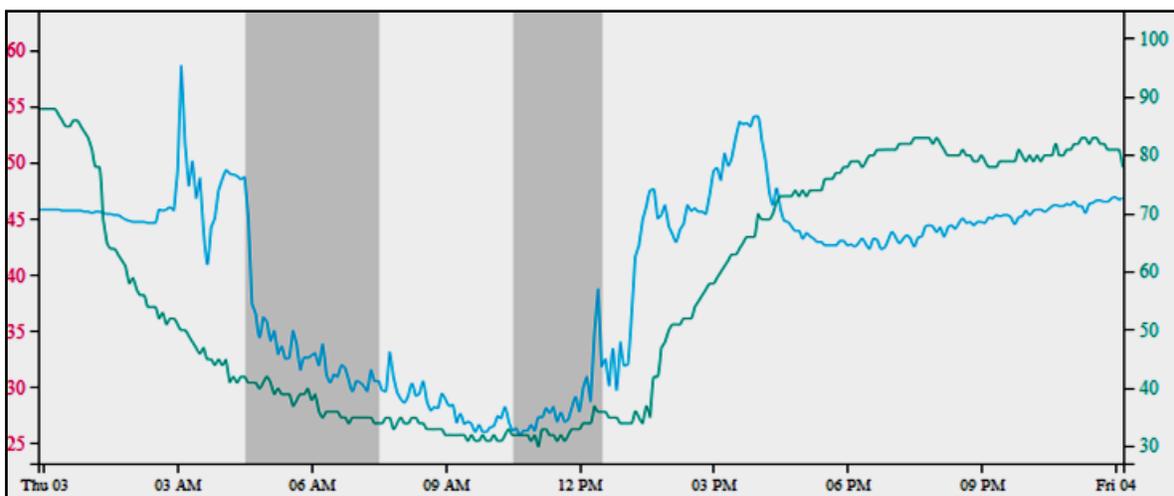


Fig. V-28. Humedad relativa interior del recinto social privado el 04/07/2014 [40].

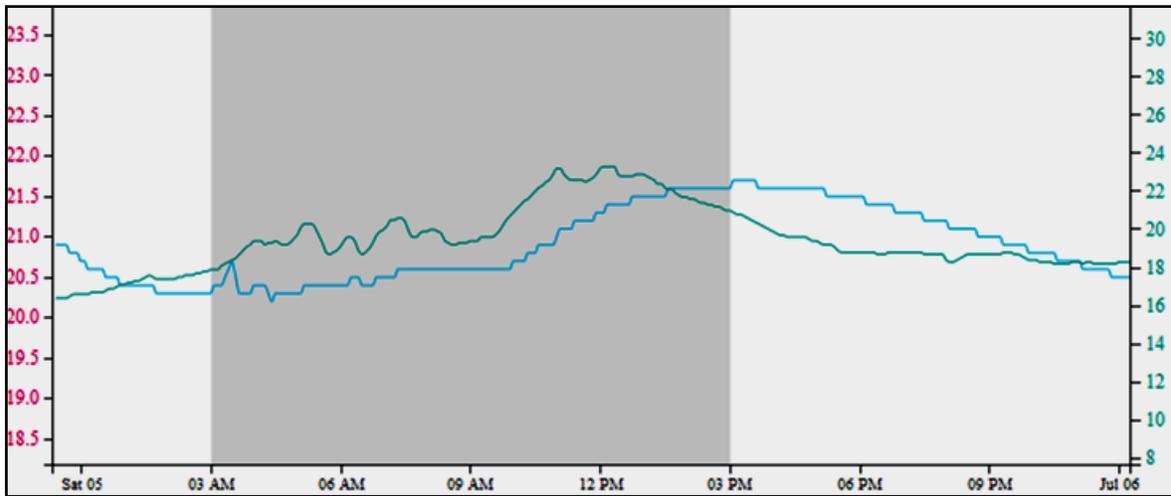


Fig. V-29. Temperatura interior del recinto social privado el 05/07/2014 [40].

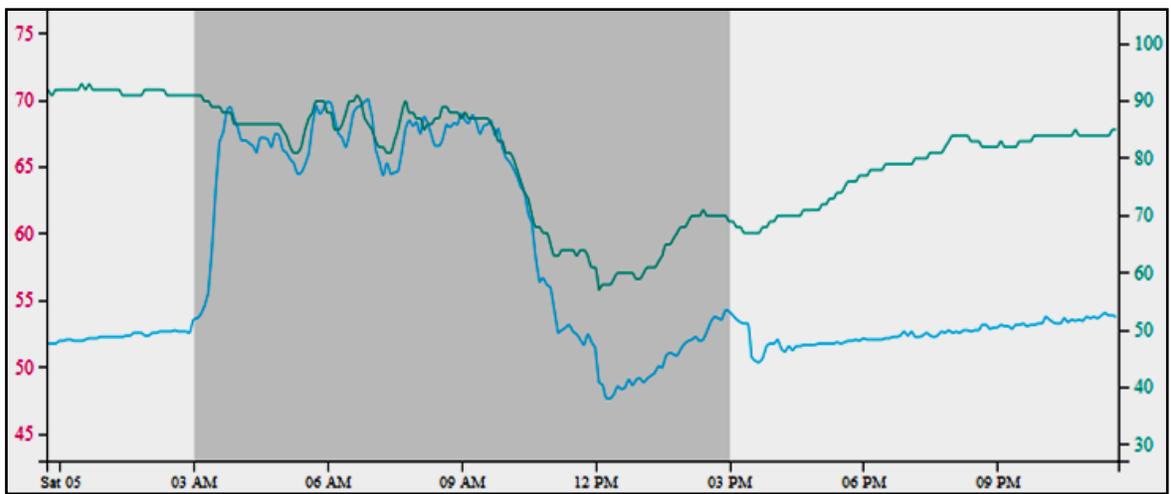


Fig. V-30. Humedad relativa interior del recinto social privado el 05/07/2014 [40].

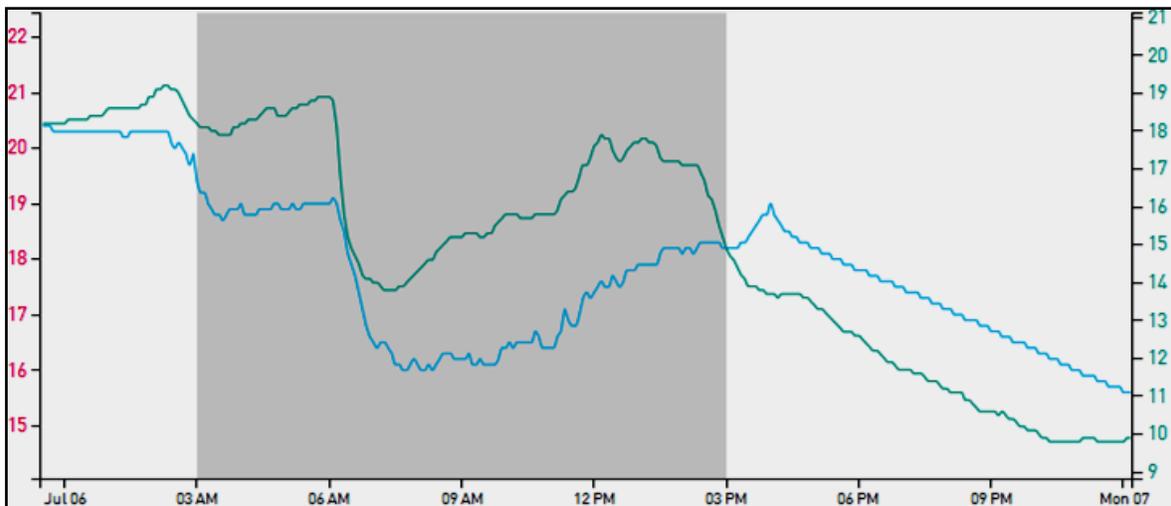


Fig. V-31. Temperatura interior del recinto social privado el 06/07/2014 [40].

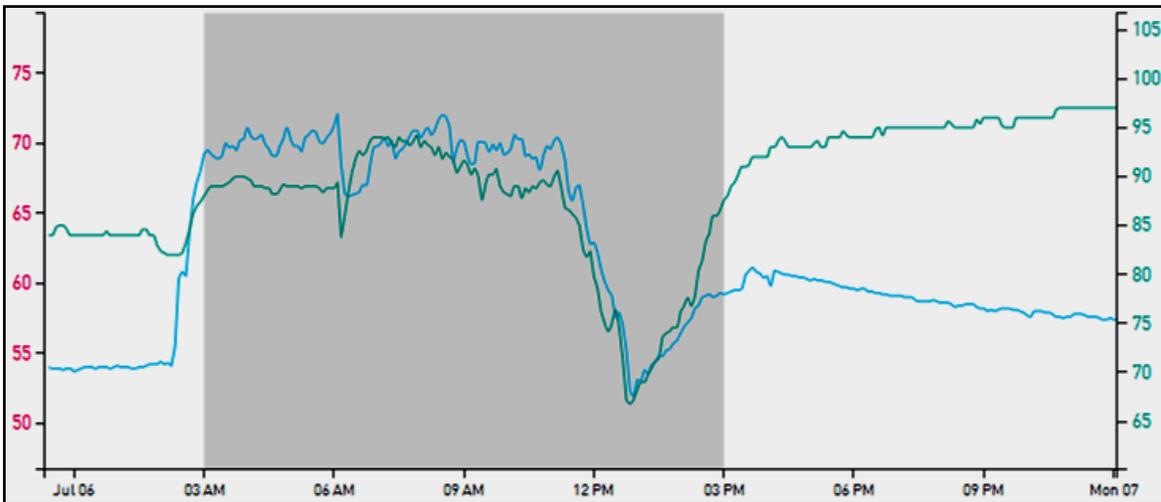


Fig. V-32. Humedad relativa interior del recinto social privado el 06/07/2014 [40].

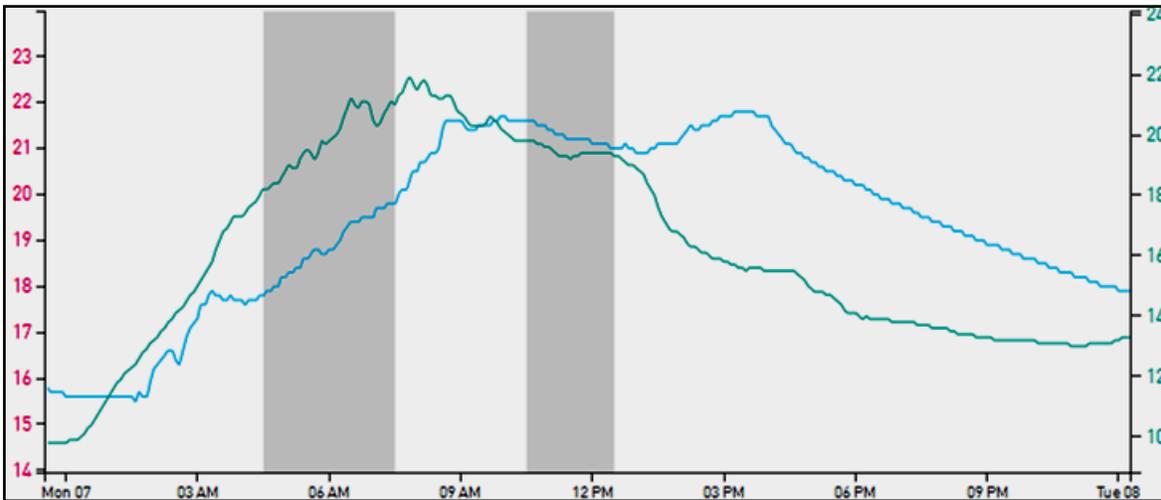


Fig. V-33. Temperatura interior del recinto social privado el 07/07/2014 [40].

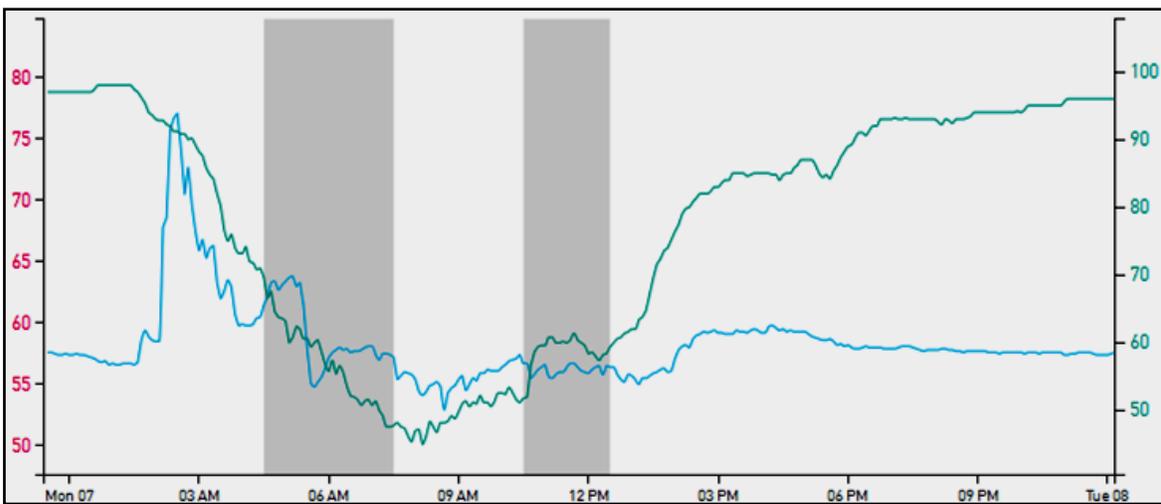


Fig. V-34. Humedad relativa interior del recinto social privado el 07/07/2014 [40].

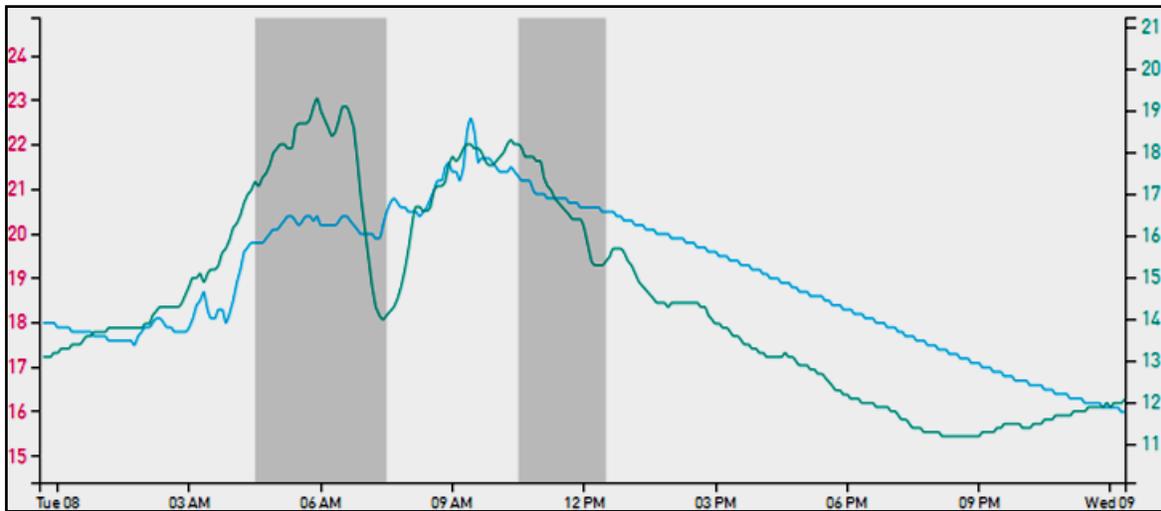


Fig. V-35. Temperatura interior del recinto social privado el 08/07/2014 [40].

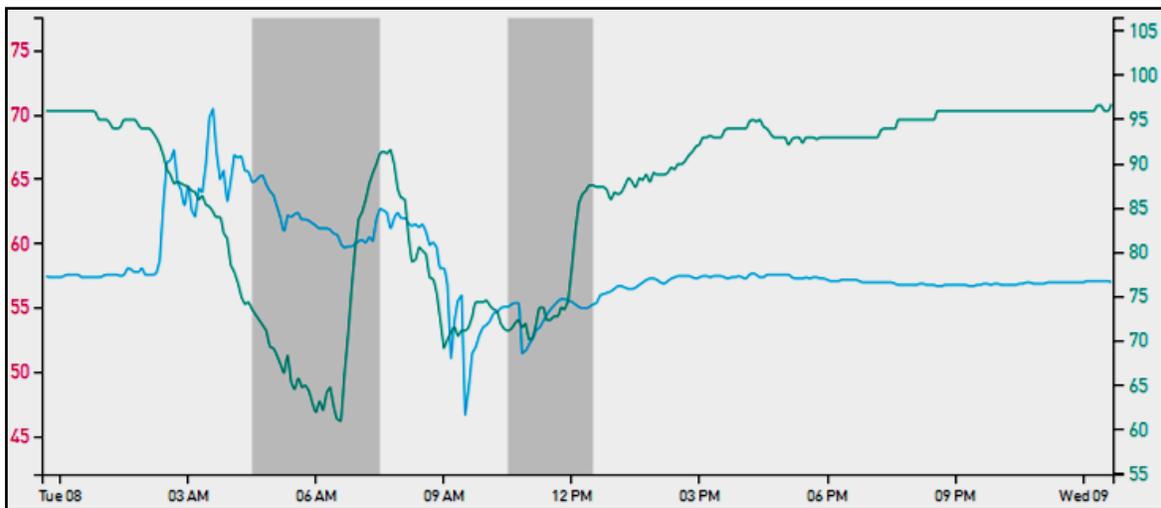


Fig. V-36. Humedad relativa interior del recinto social privado el 08/07/2014 [40].

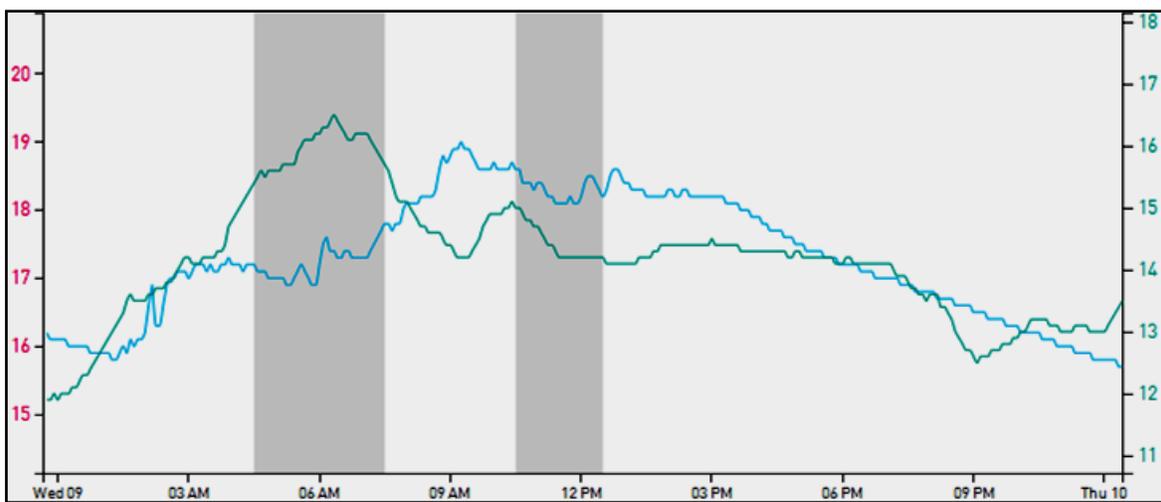


Fig. V-37. Temperatura interior del recinto social privado el 09/07/2014 [40].

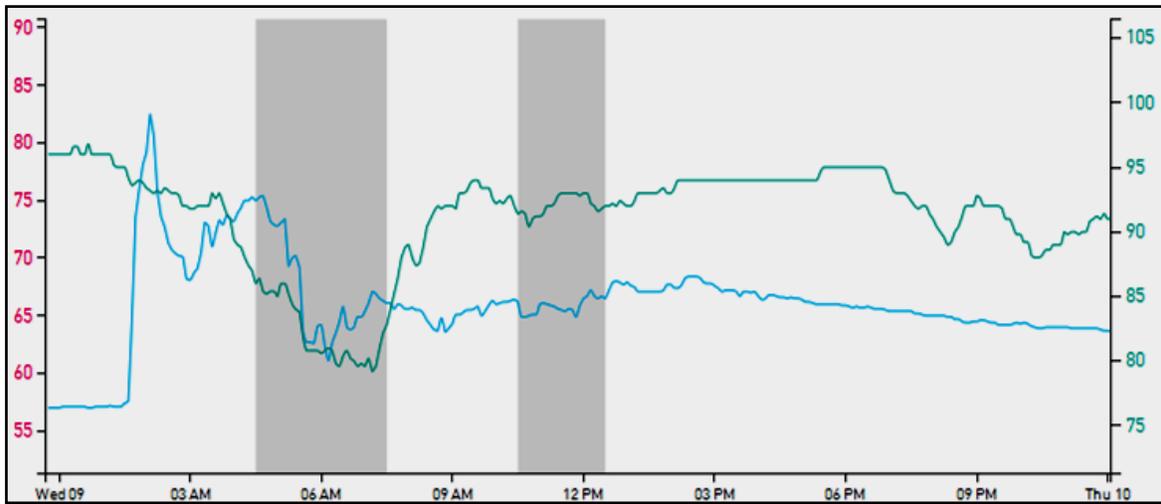


Fig. V-38. Humedad relativa interior del recinto social privado el 09/07/2014 [40].

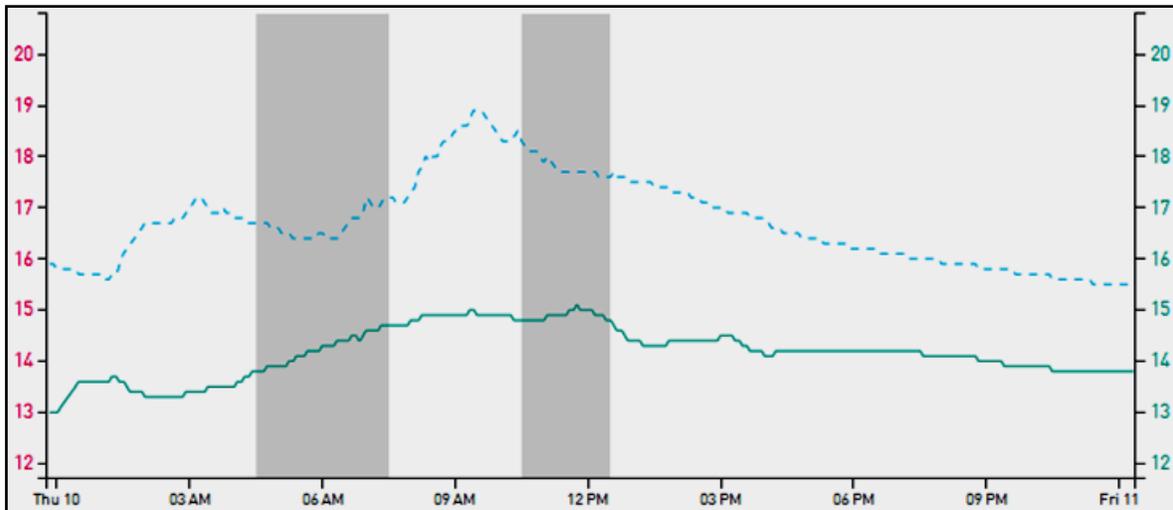


Fig. V-39. Temperatura interior del recinto social privado el 10/07/2014 [40].

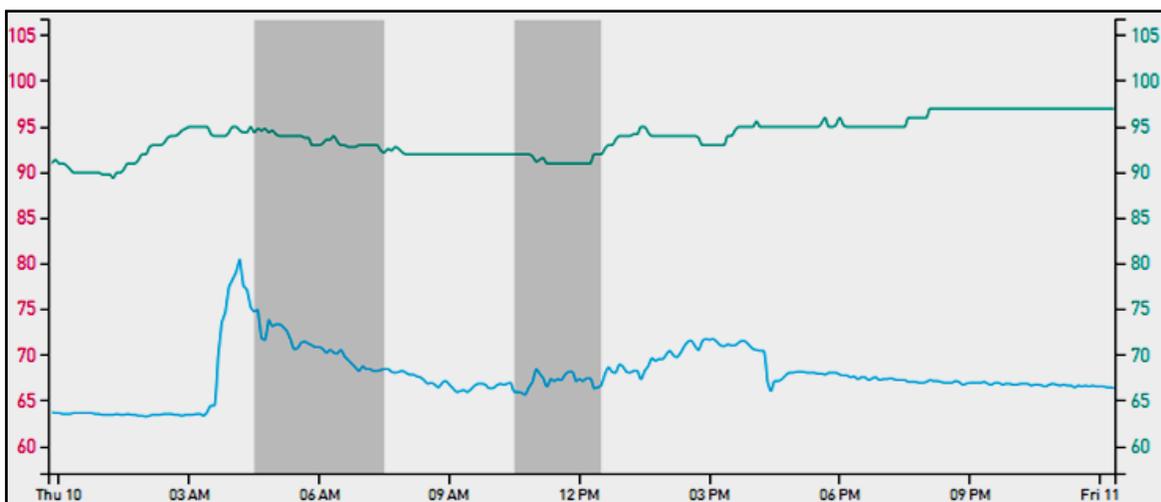


Fig. V-40. Humedad relativa interior del recinto social privado el 10/07/2014 [40].

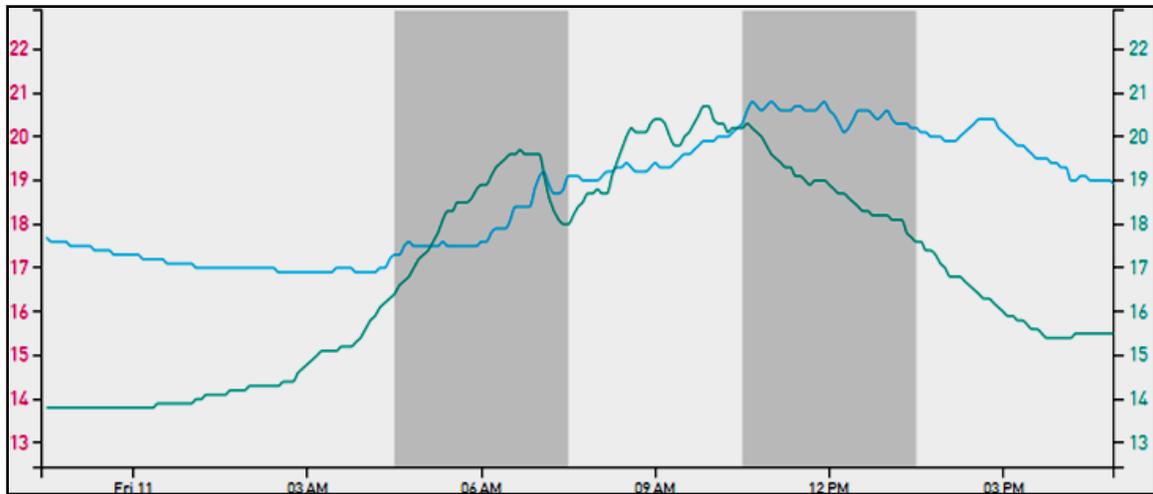


Fig. V-41. Temperatura interior del recinto social privado el 11/07/2014 [40].

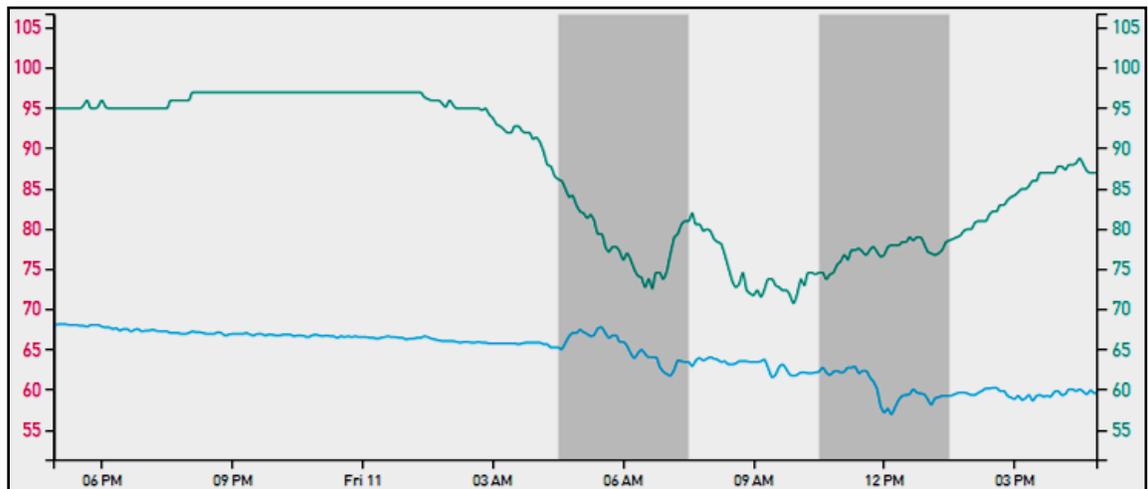


Fig. V-42. Humedad relativa interior del recinto social privado el 10/07/2014 [40].

Recámara.

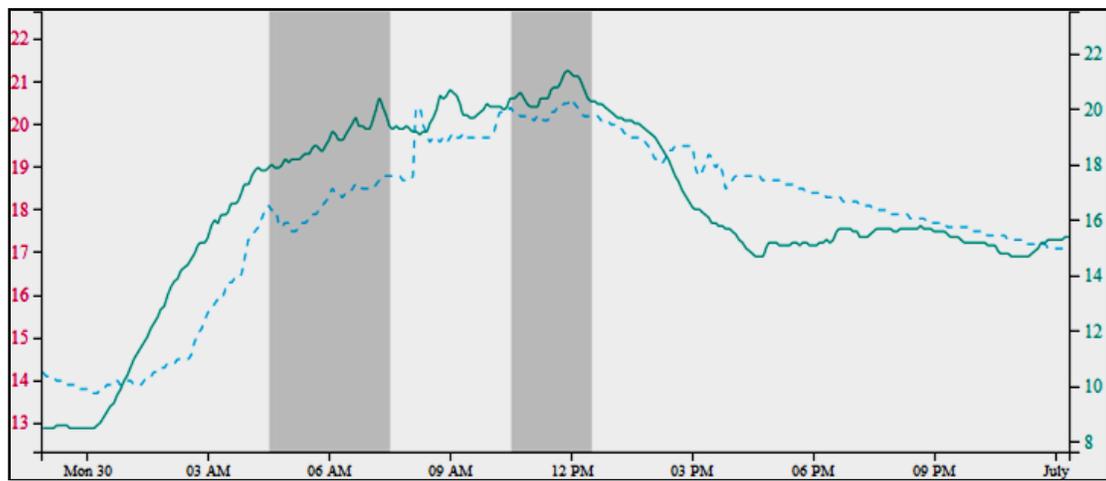


Fig. V-43. Temperatura interior de la recámara el 30/06/2014 [40].

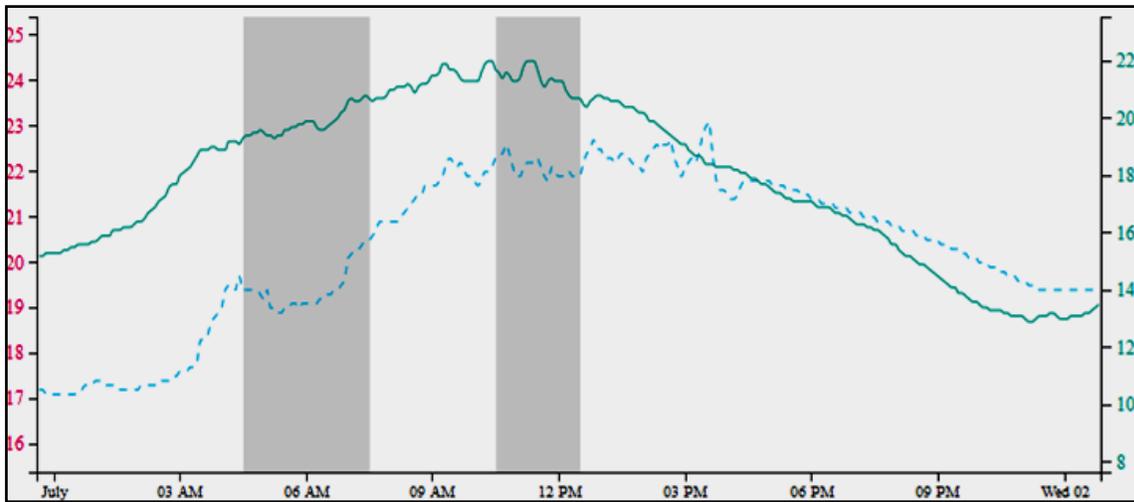


Fig. V-44. Temperatura interior de la recámara el 01/07/2014 [40].

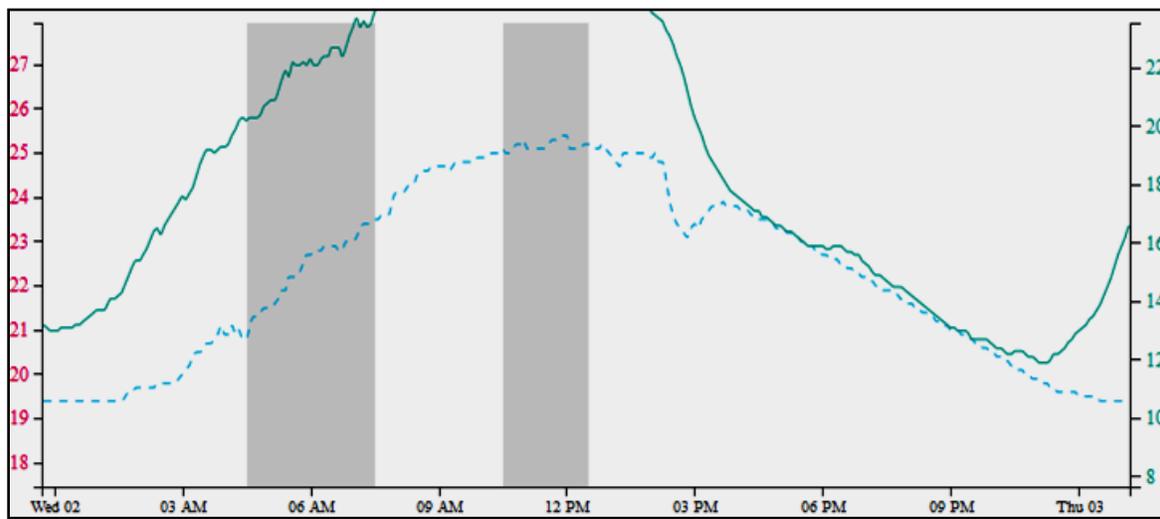


Fig. V-45. Temperatura interior de la recámara el 02/07/2014 [40].

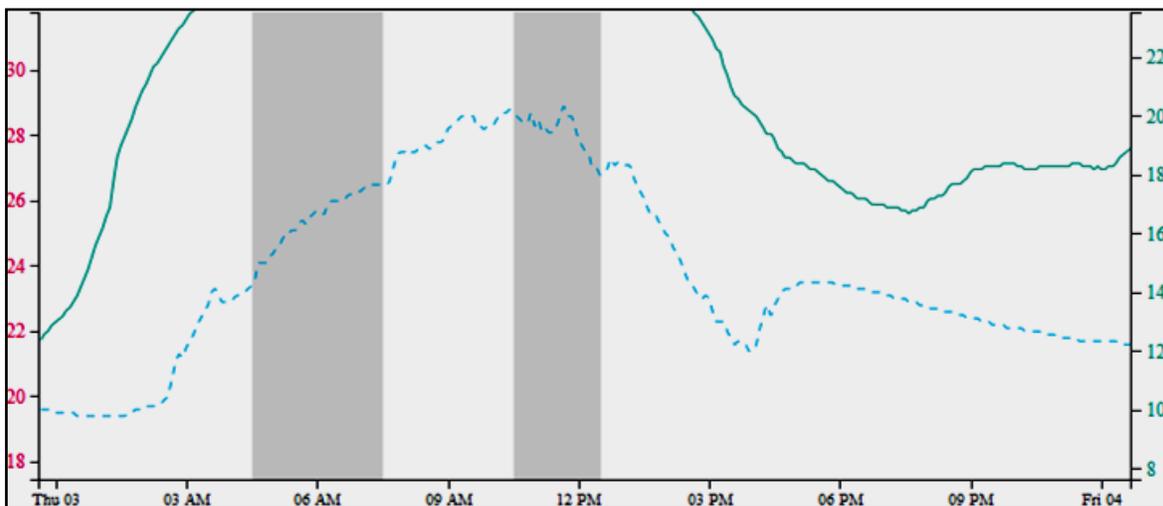


Fig. V-46. Temperatura interior de la recámara el 03/07/2014 [40].

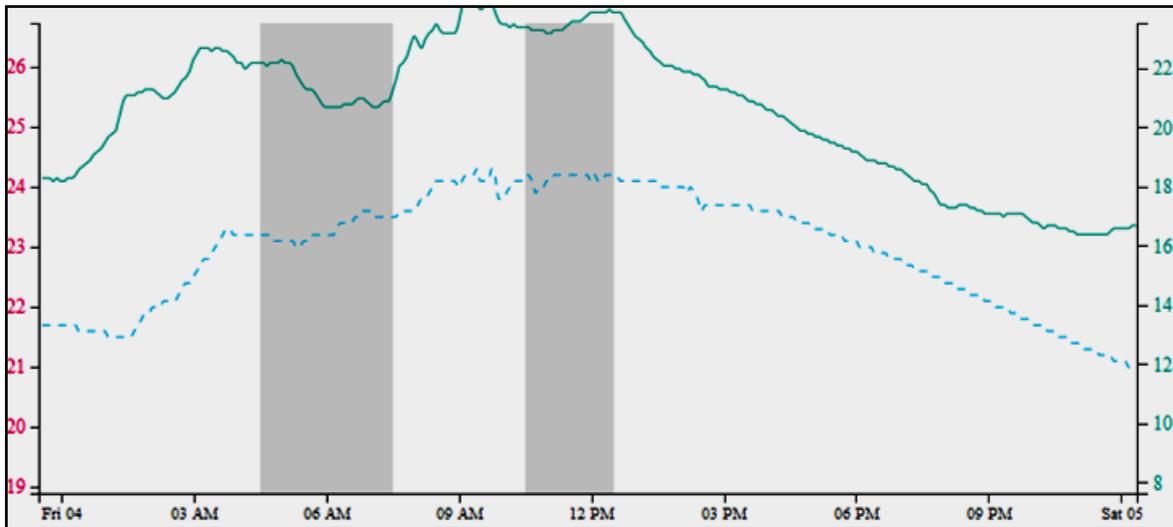


Fig. V-47. Temperatura interior de la recámara el 04/07/2014 [40].

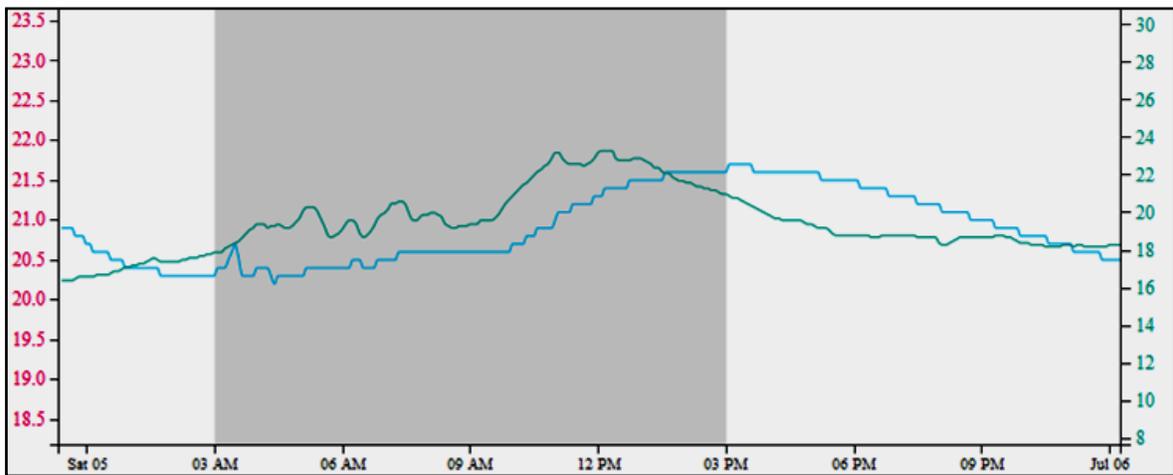


Fig. V-48. Temperatura interior de la recámara el 05/07/2014 [40].

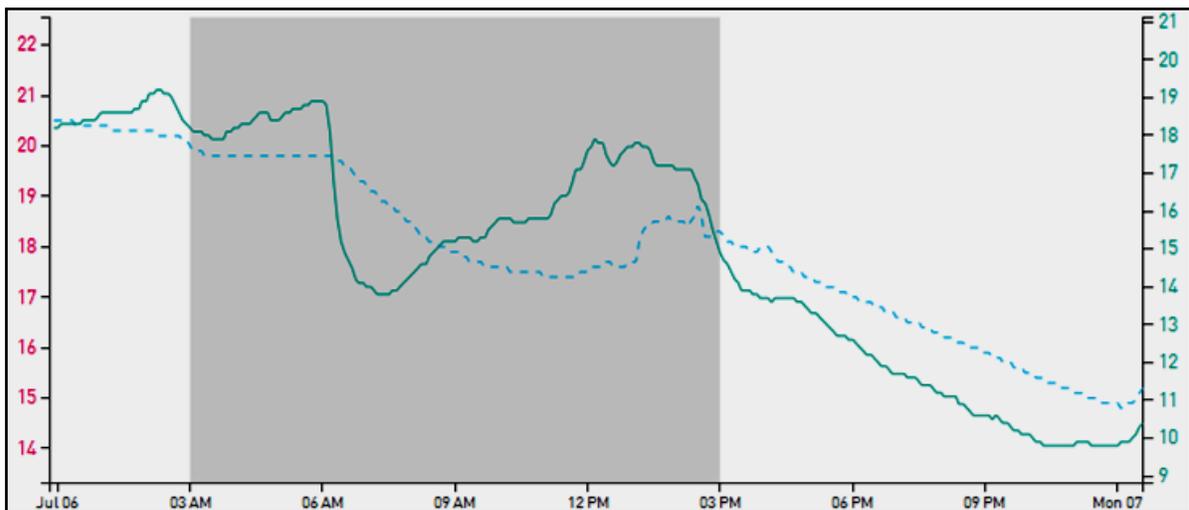


Fig. V-49. Temperatura interior de la recámara el 06/07/2014 [40].

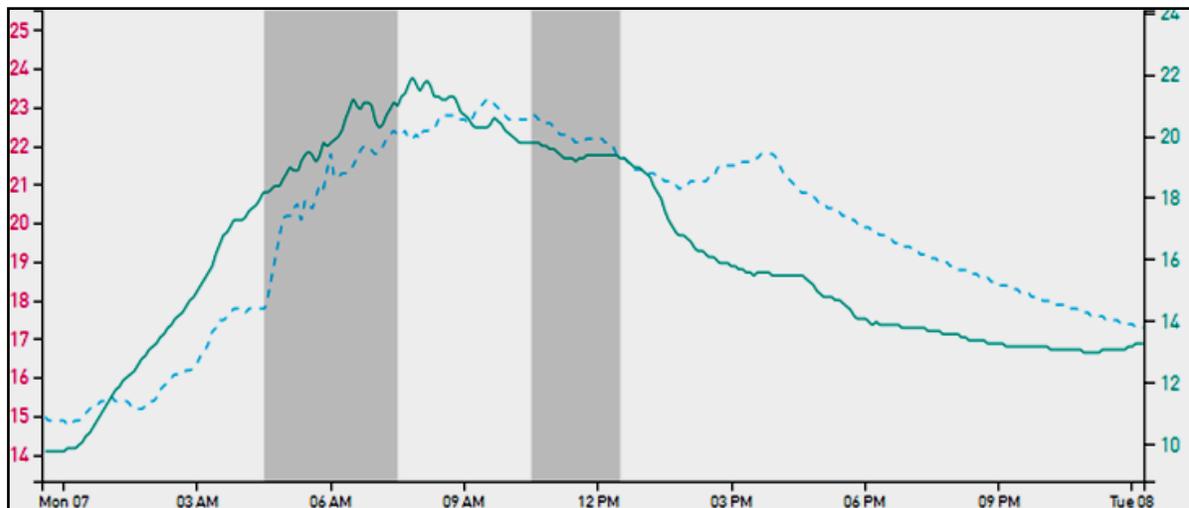


Fig. V-50. Temperatura interior de la recámara el 07/07/2014 [40].

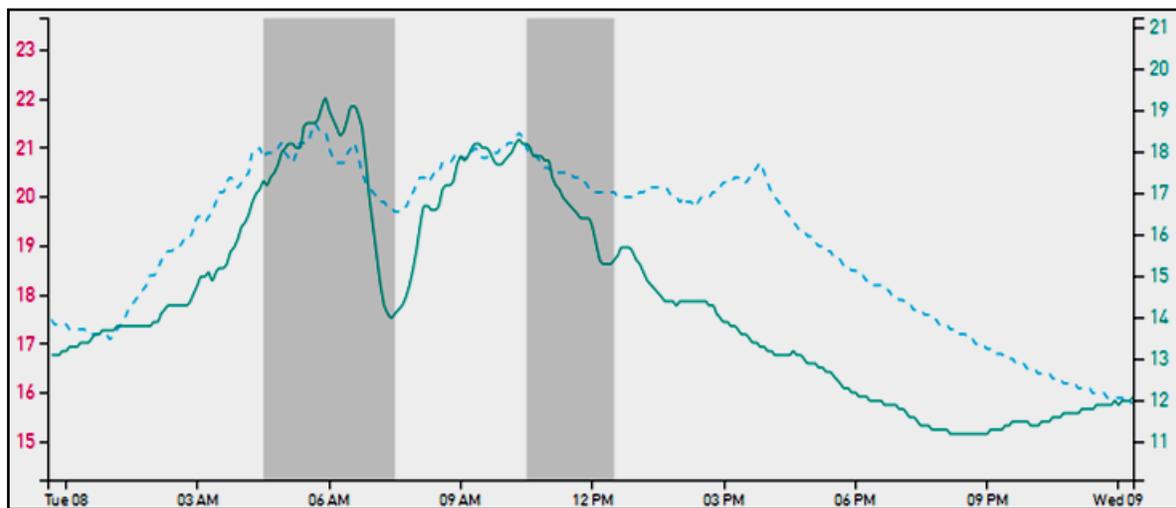


Fig. V-51. Temperatura interior de la recámara el 08/07/2014 [40].

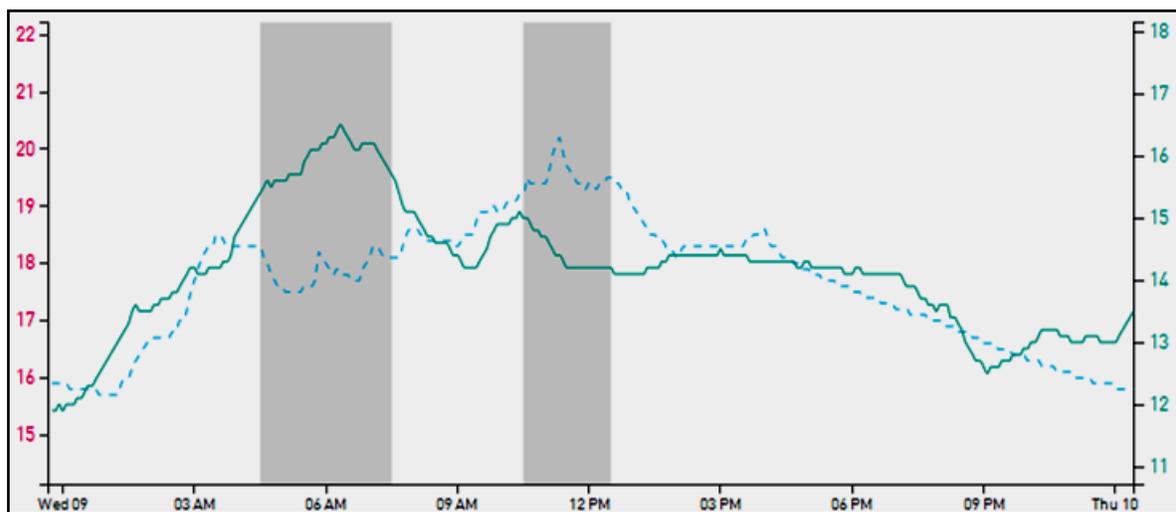


Fig. V-53. Temperatura interior de la recámara el 09/07/2014 [40].

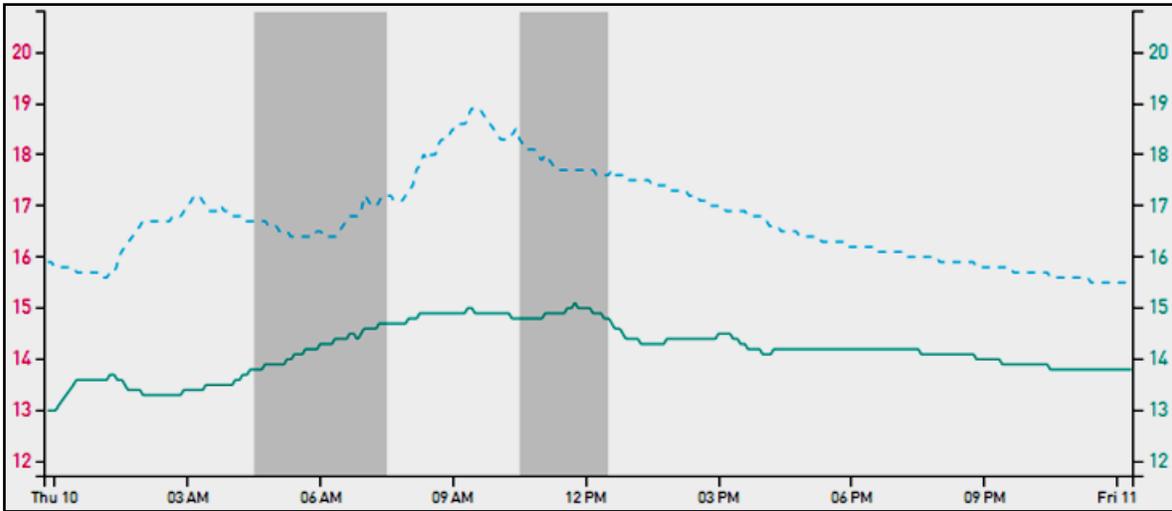


Fig. V-54. Temperatura interior de la recámara el 10/07/2014 [40].

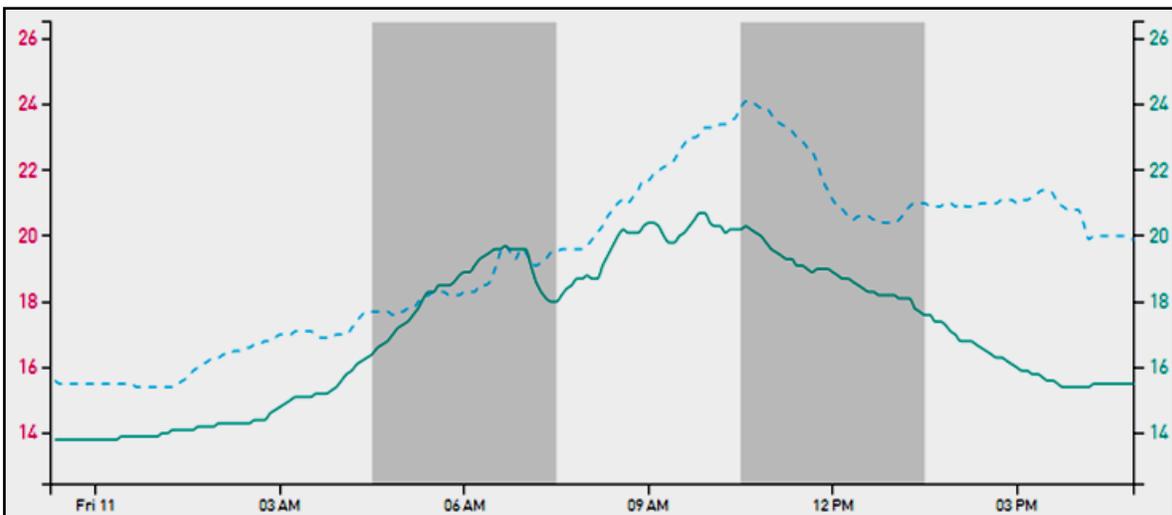


Fig. V-55. Temperatura interior de la recámara el 11/07/2014 [40].

Es posible, con base en los datos generados por las simulaciones, establecer una comparativa entre las medias de los resultados esperados y las medias de los resultados obtenidos de CASA-UNAM. Todas las temperaturas están en $^{\circ}\text{C}$ y la humedad relativa se expresa en porcentaje (%) y las comparaciones se muestran en las figuras V-56 a V-59.

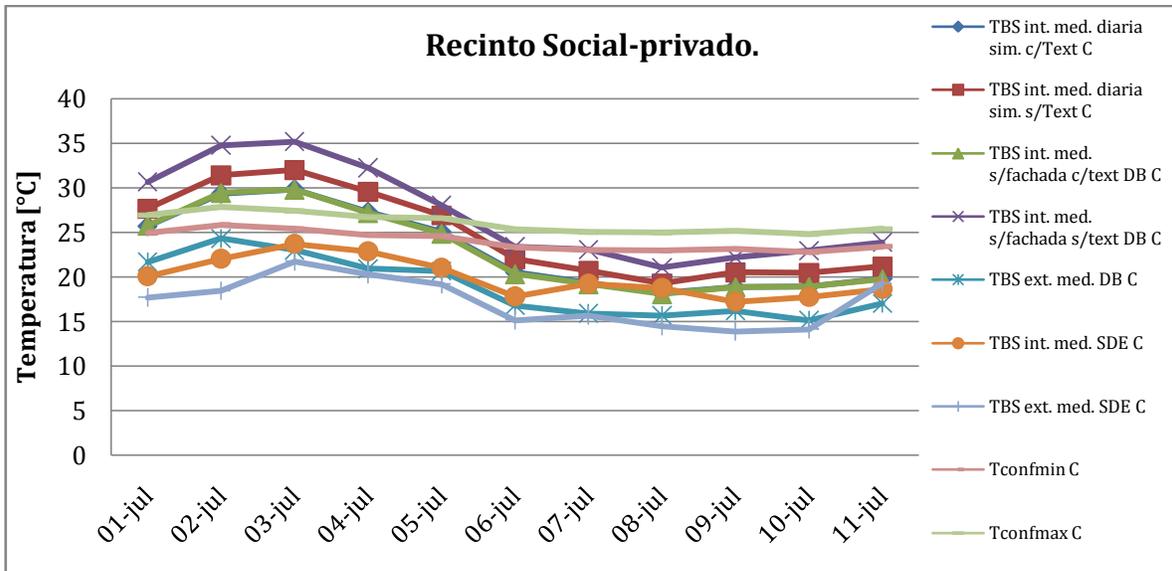


Fig. V-56. Comparativa de temperaturas esperadas medias diarias y medias diarias medidas al interior del recinto social privado.

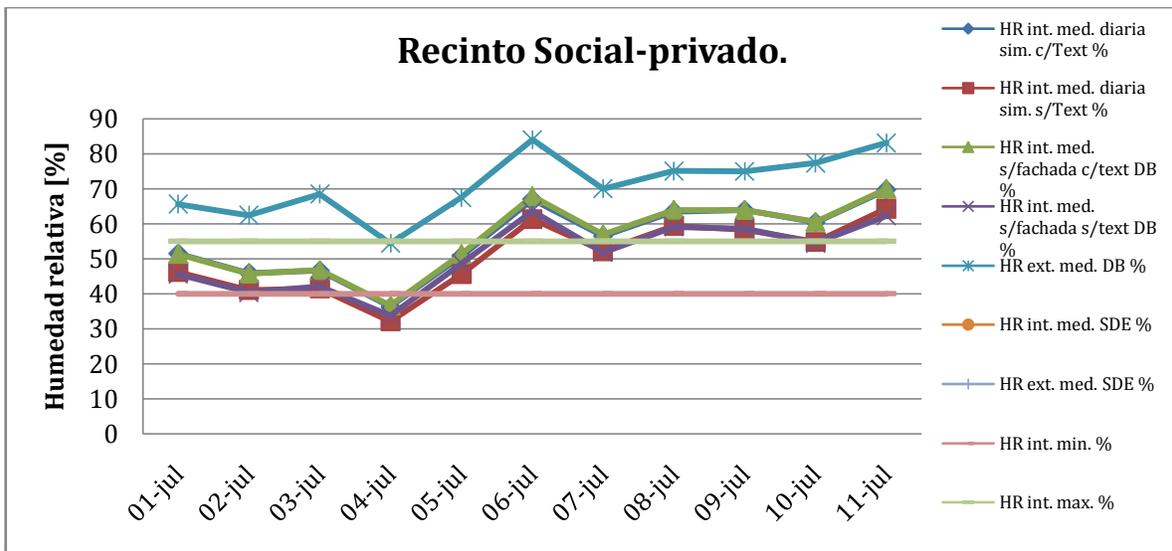


Fig. V-57. Comparativa de humedades relativas esperadas medias diarias y medias diarias medidas al interior del recinto social privado.

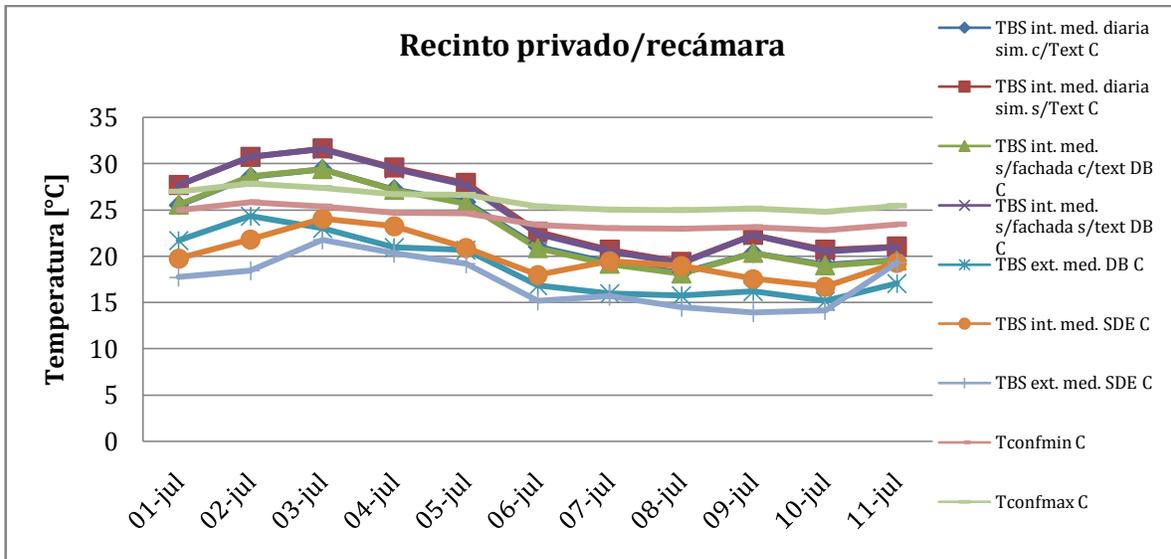


Fig. V-58. Comparativa de temperaturas esperadas medias diarias y medias diarias medidas al interior de la recámara.

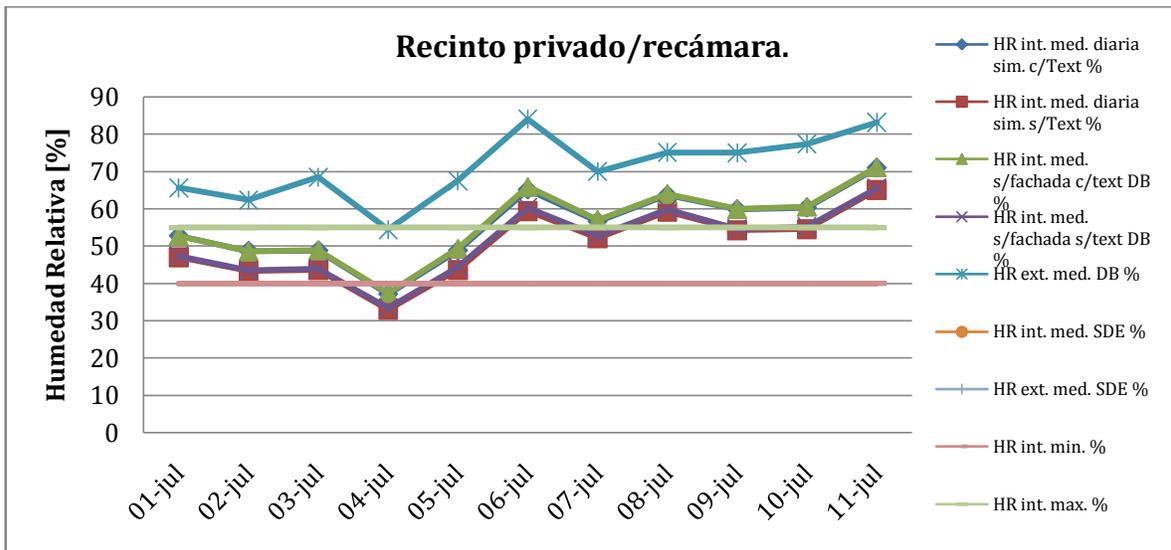


Fig. V-59. Comparativa de humedades relativas esperadas medias diarias y medias diarias medidas al interior de la recámara.

Es evidente que las condiciones climáticas fueron diferentes a las esperadas y que los recintos tendían a enfriarse, al igual que el ambiente.

VI. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.

VI.1 Conclusiones.

Hasta este momento se presentó el trabajo realizado para el diseño de las instalaciones de agua caliente sanitaria por vía (ACS) solar y su implementación, el diseño de los sistemas de ventilación mecánica incorporando un ventilador de recuperación de energía con objeto de examinar su funcionamiento e influencia en el acondicionamiento térmico del prototipo y la evaluación del funcionamiento térmico de CASA-UNAM, así como las pruebas del mismo edificio en el *SDE*.

Sistema de ACS.

Quedó demostrado que el sistema de colectores planos es suficiente para la implementación de una instalación de agua caliente sanitaria solar doméstica y que en condiciones de poca nubosidad y franca claridad, la radiación solar puede aprovecharse al máximo. Los cálculos efectuados fueron válidos hasta este momento.

Como se mencionó en secciones anteriores, las pruebas en Versailles se tuvieron que efectuar únicamente con el sistema solar funcionando, ya que el calentador de depósito fue severamente maltratado durante el transporte del mismo a Francia, ocasionando que tuviera falla a tierra e impidiendo su conexión a la red eléctrica de CASA-UNAM. El clima no fue el adecuado para el funcionamiento del sistema solar. Aún así, en varios días se alcanzaron temperaturas del orden de 65 °C en el servicio de agua caliente del edificio.

El sistema de ACS, se diseñó considerando las condiciones de radiación solar del lugar y se demostró que dicho diseño operó de la forma esperada, cuando reinaron condiciones favorables de sol. Sin embargo, uno de los grandes problemas que se tuvieron fueron las pérdidas de calor a través de la tubería, ya que dicha tubería no fue aislada de manera alguna.

Se comprueba, que las especificaciones de la tubería empleada no fueron óptimas para el funcionamiento de un sistema de ACS con las condiciones climáticas de Versailles, por lo que el aislamiento de la tubería fue necesario.

Condiciones interiores.

Se demostró que el empleo de materiales ligeros con una cantidad notable de aislante no es suficiente para un control pasivo o quasi-pasivo de las condiciones térmicas interiores de una casa en un clima como el de Versailles. Ésto se demostró desde un principio al efectuar las simulaciones de CASA-UNAM en el entorno de DesignBuilder y una prueba más clara se presentó con los resultados de la monitorización de condiciones de humedad y temperatura interior de los recintos.

Igualmente se indica que la cantidad de acristalamientos empleados en CASA-UNAM fue excesiva, lo que ocasionó que la casa ganara y perdiera calor de manera muy rápida. Ésto,

conjuntamente con el sistema de materiales ligeros y sin la presencia de masa térmica, no permitió que se mantuvieran las condiciones de funcionamiento adecuadas.

El estado en el que “concluyó” el prototipo en *La Cité du Soleil* (incidencias logísticas no permitieron montar completamente el sistema constructivo de CASA-UNAM) impidió una comparación experimental completa del funcionamiento total de la casa ni la verificación completa de las hipótesis asumidas para el análisis térmico del recinto.

No fue posible analizar de manera completa los efectos del sistema de recuperación de energía debido a las condiciones imperantes de clima, por lo que mayoritariamente tuvo que desconectarse el sistema de ventilación.

VI.2 Recomendaciones y trabajo futuro.

Sistema de ACS.

Es preciso probar el prototipo completo del sistema de ACS en México, para contrastar las respuestas del funcionamiento de esta instalación y verificar, mediante experimentación nuevamente en escenario diferente, la validez de la metodología de dimensionamiento empleada. Así mismo, se debe hacer reparar el sistema de calentamiento eléctrico de agua, implementar el sistema de control completo y además, deberá incluirse el aislamiento en la tubería y evaluar nuevamente las pérdidas de calor en la tubería.

Condiciones interiores.

En esta área hay trabajo pendiente por abordar, desde luego la configuración del sistema constructivo y una mejor selección de materiales de construcción de mayor capacidad o masa térmica que permita ayudar a controlar pasivamente las condiciones al interior de la casa, o bien, hacer las adecuaciones necesarias para instalar un sistema de climatización.

Desde el principio del diseño conceptual de CASA-UNAM, se insistió en la importancia de añadir masa térmica a los elementos constructivos para lograr un control más fácil de las condiciones interiores. En las figuras VI-1 a VI-3 se muestra comparativamente el comportamiento de la casa con diferentes materiales.

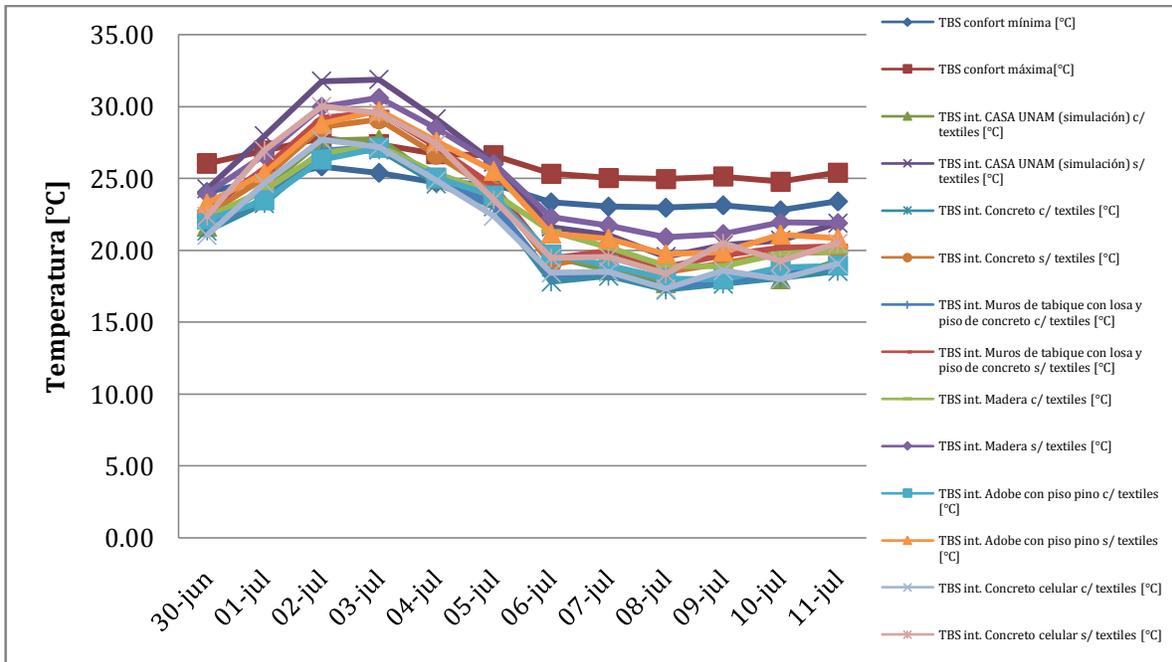


Fig. VI-1. Comparativa de funcionamiento de CASA-UNAM con diferentes materiales en el sistema constructivo, aquí se muestra la temperatura de bulbo seco del aire interior del recinto comunal.

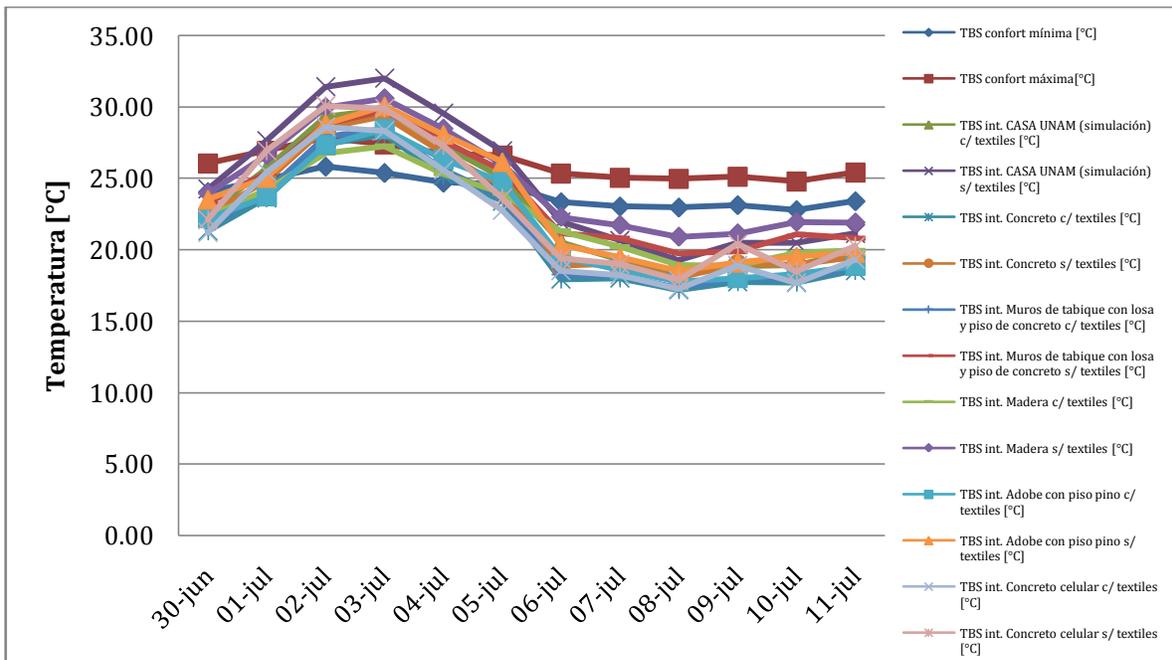


Fig. VI-2. Comparativa de funcionamiento de CASA-UNAM con diferentes materiales en el sistema constructivo, aquí se muestra la temperatura de bulbo seco del aire interior del recinto social privado.

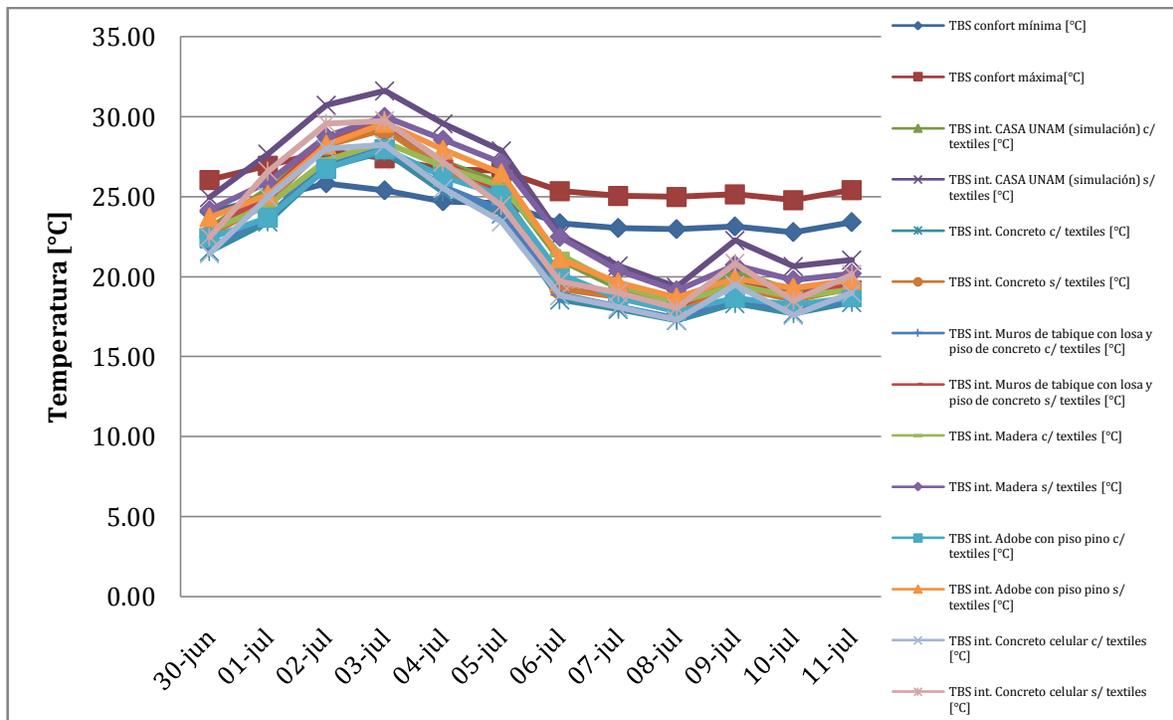


Fig. VI-3, Comparativa de funcionamiento de CASA-UNAM con diferentes materiales en el sistema constructivo, aquí se muestra la temperatura de bulbo seco del aire interior de la recámara.

Desde luego, como se mencionó en la sección respectiva, el exceso de acristalamientos provoca que, por mayor masa térmica que tenga el sistema constructivo, se pierda o se gane demasiado calor del o al interior del recinto.

En las figuras VI-4 a VI-6 se muestra comparativamente el funcionamiento de la casa con el diseño original, pero reduciendo los acristalamientos mayores a la mitad. Únicamente se hacen comparaciones de las temperaturas interiores respecto de las condiciones de París.

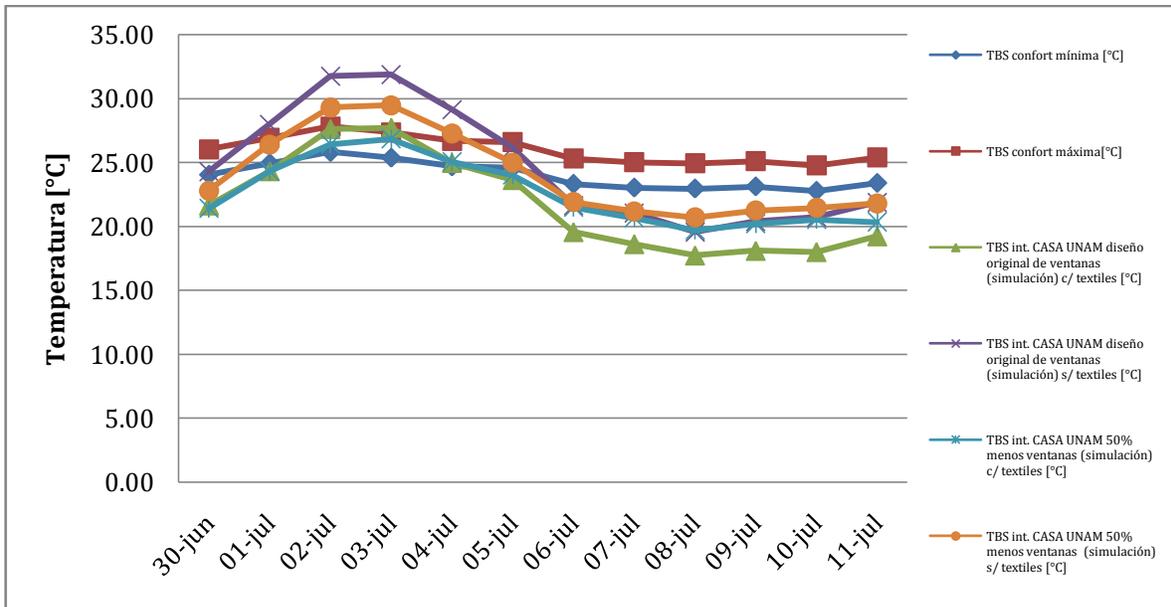


Fig. VI-4. Simulación del funcionamiento térmico de CASA-UNAM con el diseño original del recinto comunal y una reducción de 50% de acristalamientos, se conservan los materiales del diseño original.

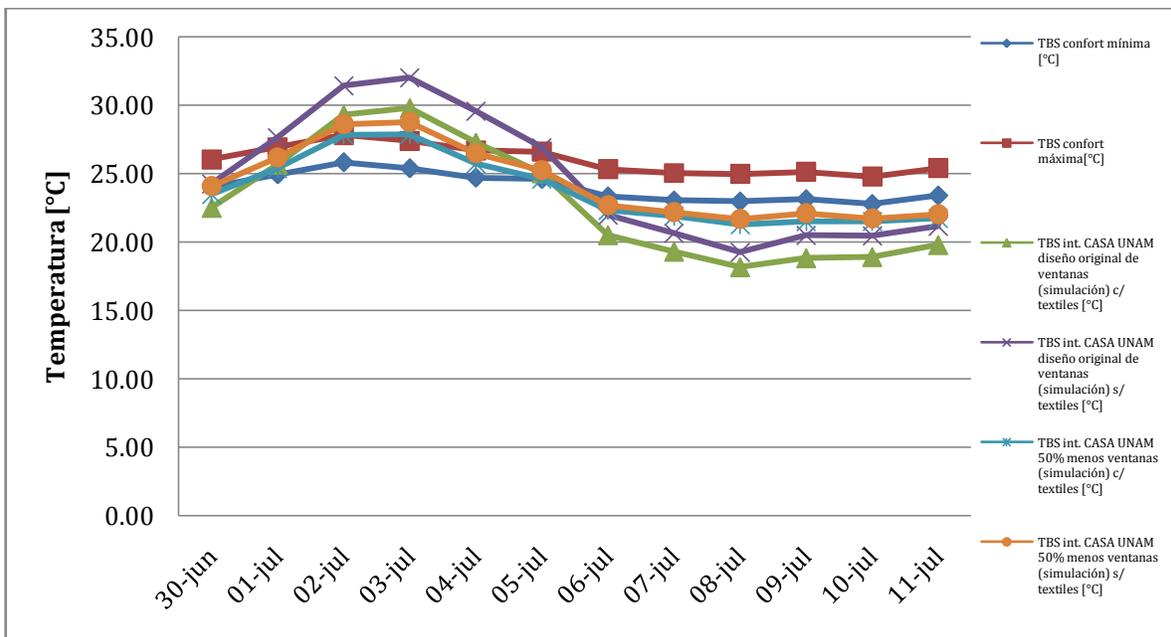


Fig. VI-5. Simulación del funcionamiento térmico de CASA-UNAM con el diseño original del recinto social privado y una reducción de 50% de acristalamientos, se conservan los materiales del diseño original.

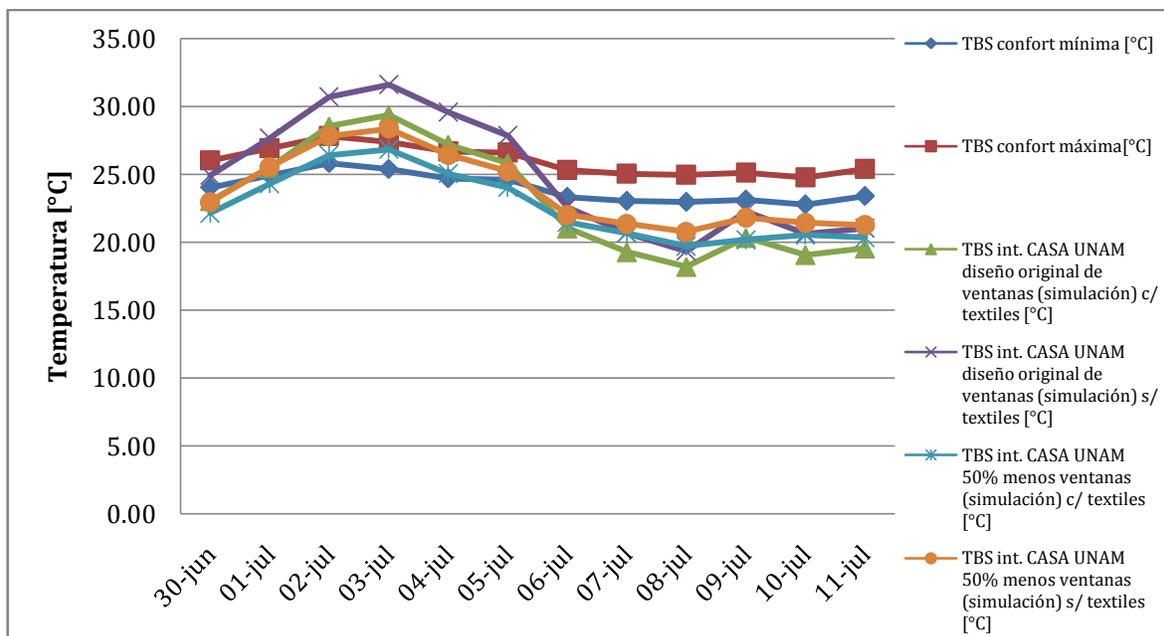


Fig. VI-6. Simulación del funcionamiento térmico de CASA-UNAM con el diseño original del recinto social privado y una reducción de 50% de acristalamientos, se conservan los materiales del diseño original.

Se concluye de los datos presentados que la oscilación de las temperaturas tiende a reducirse ya que se incrementó ligeramente la masa térmica del edificio. Es preciso realizar el análisis teórico-experimental con diversas configuraciones de ventanas conjuntamente con otros materiales más pesados en el sistema constructivo (mientras más pesado un material, mayor masa e inercia térmica tienen y se puede acumular calor para liberarlo en la noche).

Es necesario formular un protocolo de diseño e investigación de CASA-UNAM, en relación con el funcionamiento térmico que incluya experimentación para encontrar cuál es el material más adecuado que permita el control pasivo total del edificio.

En principio, la independencia de los habitáculos permite un mejor control de las condiciones interiores debido a que los espacios son menores, y por tanto, requieren menor cantidad de energía para acondicionarlos. Solamente hace falta una selección más sabia de los sistemas constructivos y el pertinente diseño de sistemas de ventanas, para evitar variaciones bruscas de temperatura – y por consiguiente de humedad – al interior del recinto, al igual que se debe de considerar la posibilidad de regulación térmica interior con ventilación natural.

Muchas veces un diseño arquitectónico puede ser conceptualmente bueno, pero es preciso acatar las observaciones de las partes de ingeniería para lograrlo.

Anexo A. Metodología de dimensionamiento del sistema de ACS solar.

Cálculo de la demanda de ACS.

Conociendo el consumo de un dispositivo o de un servicio que requiera ACS y la frecuencia de uso, es posible definir una demanda diaria según la ecuación (1a). El flujo másico equivalente se obtiene conociendo el tiempo en el cual el fluido fluye por la tubería aplicando la ecuación (1b).

$$V_{\text{parcial diario servicio}} = V_{\text{servicio}} n_{\text{frec}} \quad (1a)$$

$$\dot{m}_{\text{parcial diario servicio}} = \frac{V_{\text{servicio}}}{t_{\text{servicio}}} \rho_{\text{agua}} \quad (1b)$$

La demanda diaria es la suma de las demandas parciales por utilización de cada servicio, según la ecuación (2a). El flujo másico total se asumió en el momento en que todos los servicios se ejecutaran una sola vez simultáneamente, con ello se aplica la ecuación (2b).

$$V_{\text{total}} = \sum_{i=1}^{i=n} V_{\text{parcial diario servicio } i} \quad (2a)$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} = \sum_{i=1}^{i=n} \dot{m}_{\text{parcial diario servicio } i} \quad (2b)$$

Energía mínima de calentamiento del agua.

La masa del agua demandada es producto de su densidad – asumiendo una temperatura de 15 °C al estar fría – por el volumen demandado (ec. (3)).

$$m_{\text{agua}} = V_{\text{total}} \rho_{\text{agua}, T=T_{\text{ent}}} \quad (3)$$

Aplicando la Primera Ley de la Termodinámica [14, 16] – ecs. (4a) o (4b) – se puede obtener la energía mínima para calentar dicha masa de agua a la temperatura deseada. Definimos la energía mínima como la cantidad de ésta necesaria para elevar la temperatura del agua sin considerar las pérdidas de calor. Se asumirá que el agua se encuentra a presión atmosférica.

$$Q_{\text{min}} = m_{\text{agua}} c_{p_{\text{agua}}} (T_{\text{obj}} - T_{\text{ent}}) \quad (4a)$$

$$Q_{\text{min}} = m_{\text{agua}} \left(h_{\text{agua}, T=T_{\text{obj}}} - h_{\text{agua}, T=T_{\text{ent}}} \right) \quad (4b)$$

En [16] se usa este parámetro, en conjunto con la radiación solar aprovechable, para dimensionar el sistema de calentamiento de agua. En este trabajo, se consideran las pérdidas como parte del dimensionamiento.

Pérdidas de calor en plomería.

Básicamente, el enfriamiento del agua caliente se presenta al transportar el fluido por la red de plomería del edificio. La forma de calcular dichas pérdidas se describió en el apartado III.6, por lo que se detallará aquí.

La plomería para agua caliente de CASA-UNAM transporta dicho fluido que se asumirá que se encuentra a la temperatura buscada – temperatura objetivo, T_{obj} – y, al encontrarse dicha tubería instalada debajo del edificio, queda expuesta a las condiciones ambientales imperantes en el sitio donde se instala la casa. Lo anterior puede representarse de la manera indicada en la fig. A-1.

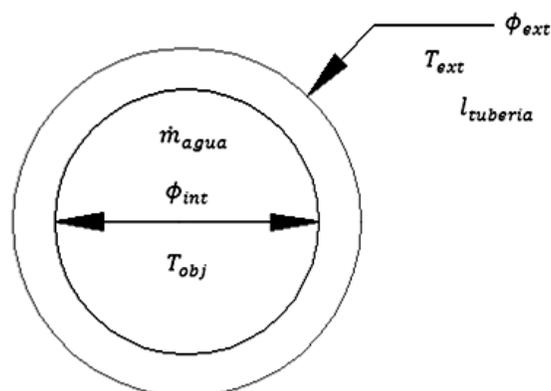


Fig. A-1. Condiciones a las que se ve sometida la plomería de ACS.

Considerando un análisis en estado estacionario, la temperatura exterior - T_{ext} - se tomará como la más baja observada en el sitio (de competencia y en la ZMVM).

Con lo anterior en mente y aplicando la analogía del circuito térmico [41] pueden calcularse las pérdidas de calor en el transporte de agua caliente dentro de la plomería; con dicho recurso, es posible representar el sistema esquematizado anteriormente de la forma en que se muestra en la fig. A-2, donde la resistencia térmica del tubo y las demás relacionadas con los otros procesos de transferencia de calor (R_T) se simbolizan a semejanza de resistencias eléctricas (\mathcal{R}) y las diferenciales de temperatura (dT) se consideran de similarmente como diferencias de potencial o voltajes ($d\mathcal{E}$), quedando el flujo de calor ($d\dot{Q}$) parecido a la corriente de un circuito eléctrico (di).

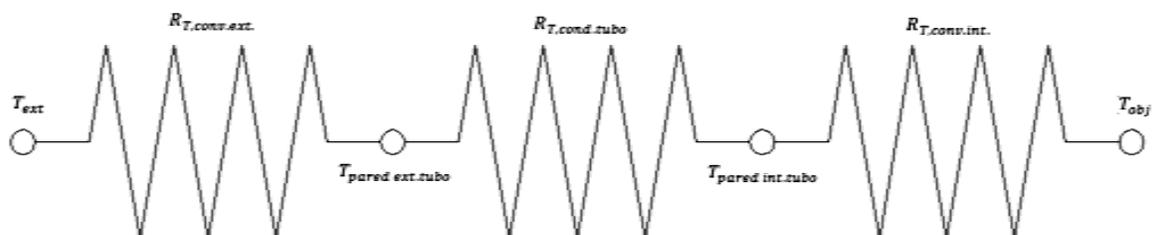


Fig. A-2. Representación mediante la analogía del circuito térmico de las condiciones de funcionamiento de la plomería de agua caliente de CASA-UNAM, bajo consideraciones de análisis en estado estacionario.

La Ley de Ohm para un circuito eléctrico lineal resistivo se enuncia de la forma mostrada en la ecuación (5).

$$di = \frac{d\mathcal{E}}{\mathcal{R}} \quad (5)$$

Con la analogía mencionada, el flujo de calor queda solamente en función de diferencias de temperatura y de las resistencias térmicas originadas de los procesos de transferencia de calor (ecuación (6)).

$$d\dot{Q} = \frac{dT}{R_T} \quad (6)$$

De la fig. A-2 puede obtenerse la ecuación de pérdidas de calor en la tubería. Las temperaturas a emplear son a la que se desea calentar el agua (T_{obj}) y la del aire exterior (T_{ext}). Debido a que se supuso estado permanente y comportamiento unidimensional e isotrópico del sistema, es posible colocar cada una de las resistencias en serie (como se mostró en la fig. A-2) [14, 41]. La ecuación resultante es (7):

$$\dot{Q}_{pér.tub.} = \frac{T_{obj} - T_{ext}}{\sum R_T} \quad (7)$$

Resistencia térmica en el proceso de convección al transportar el agua en plomería: De las dos clases de convección existentes, el proceso que se asumió para este caso fue el de convección forzada, ya que el desplazamiento del agua dentro de la plomería no es originado con base en una diferencia de densidades en función de una diferencia de temperaturas [14, 19, 20, 41].

Es preciso calcular el coeficiente medio de transferencia de calor por convección para el flujo del agua caliente, para ello se supusieron las siguientes condiciones [14]:

- El tubo que conduce el agua debe tener las paredes lisas.
- La temperatura del tubo es constante.
- El parámetro del flujo dado por el número de Reynolds debe ser mayor que 2 500.
- Condiciones estacionarias.
- El agua se encuentra a la temperatura de trabajo (T_{obj}).

La velocidad del flujo de agua se calcula con la ecuación (8).

$$\vec{v}_{agua} = \frac{\dot{m}_{agua}}{1/4 \pi \phi_{int} \rho_{agua, T=T_{obj}}}$$

El número de Reynolds se calcula con la ecuación (9) [14].

$$Re_{\phi_{int}} = \frac{\rho_{agua, T=T_{obj}} \vec{v}_{agua} \phi_{int}}{\mu_{k_{agua, T=T_{obj}}}} \quad (9)$$

Si se observa que en efecto $Re_{\phi_{int}}$ es mayor que 2 500, se podrá calcular el coeficiente medio de convección de este proceso de transferencia de calor con la ecuación (10) [14].

$$\bar{h}_{c\ int} = 0.023 \frac{\kappa_{agua, T=T_{obj}}}{\phi_{int}} Re_{\phi_{int}}^{0.8} Pr_{agua, T=T_{obj}}^n \quad (10)$$

El exponente n de la ecuación (10) puede tomar valores de 0.3 si el fluido en movimiento se está enfriando – que se supone que sucederá en el transporte del agua – o de 0.4 si se está calentando [14].

Dado que se emplea la analogía del circuito térmico [41], la resistencia térmica para la convección del agua que se transporta en plomería se propone como lo establece la ecuación (11).

$$R_{T, conv. int.} = \frac{1}{\bar{h}_{c\ int} A_{int}} \quad (11)$$

El área interior de los tubos está dada por la ecuación (12):

$$A_{int} = \pi \phi_{int} l_{tubería} \quad (12)$$

Resistencia térmica por conducción de calor en plomería: Se consideró un proceso de conducción unidimensional en estado estacionario para este caso.

Conociendo las dimensiones de la plomería y el material con que está fabricada – y despreciando los efectos de los puntos de unión de los tramos de tubería – se obtuvo la resistencia por este proceso con la ecuación (13) [14, 41]:

$$R_{T, cond. tub.} = \frac{Ln(\phi_{ext}/\phi_{int})}{2\pi\kappa_{nom. tub.} l_{tubería}} \quad (13)$$

Resistencia por convección natural: De manera semejante, se ha considerado un proceso estacionario, esto es, invariable en el tiempo. Para definir la resistencia térmica en este proceso, se calculó el valor de \bar{h}_c suponiendo que la temperatura de la pared exterior ($T_{s.ext.}$) del tubo es numéricamente igual que la temperatura del fluido que transporta el tubo.

El número de Grashof para gases perfectos puede calcularse como lo indica la ecuación (14) [14]; se considera al aire como un gas perfecto.

$$Gr = \frac{\bar{g}(T_s - T_f)l^3\rho^2}{\mu_k^2 T_f} \quad (14)$$

Esta expresión se empleó de manera separada para tubería horizontal y tubería vertical, por lo que queda:

$$Gr_h = \frac{\bar{g}(T_{s.ext.} - T_{ext})l_{tub.h}^3\rho_{aire, T=T_{ext}}^2}{\mu_{k\ aire, T=T_{ext}}^2 T_{ext}} \quad (15a)$$

$$Gr_v = \frac{\vec{g} (T_{s.ext} - T_{ext}) l_{tub.v}^3 \rho_{aire,T=T_{ext}}^2}{\mu_{k\ aire,T=T_{ext}}^2 T_{ext}} \quad (15b)$$

La temperatura del aire (T_{ext}) se supondrá como la más baja observada en el sitio [12, 13, 28, 29].

Existe una serie de correlaciones simplificadas para obtener \bar{h}_c del aire, las cuales deben seleccionarse con base la configuración de las superficies y en el número de Rayleigh [14, 20] que es función del número de Prandtl del módulo de Grashof del aire [14, 20].

$$Ra_{aire} = Gr_{aire} Pr_{aire,T=T_{ext}} \quad (16)$$

Las correlaciones útiles para cilindros (tubos) verticales y horizontales son presentadas en la tabla A-1.

Superficie	$Ra_{aire} < 1 \times 10^{+09}$	$Ra_{aire} > 1 \times 10^{+09}$
Pared o cilindro vertical	$\bar{h}_c = 1.42 \left(\frac{T_{s.ext} - T_{ext}}{l_{tub.v}} \right)^{1/4}$ (17a)	$\bar{h}_c = 1.31 (T_{s.ext} - T_{ext})^{1/3}$ (17b)
Cilindro horizontal	$\bar{h}_c = 1.32 \left(\frac{T_{s.ext} - T_{ext}}{\phi_{ext}} \right)^{1/4}$ (18a)	$\bar{h}_c = 1.24 (T_{s.ext} - T_{ext})^{1/3}$ (18b)

Tabla A-1. Correlaciones simplificadas para el cálculo de \bar{h}_c del aire en convección natural sobre tubos verticales y horizontales [14].

Con base en lo anterior, la resistencia térmica para el proceso de convección se establece con las ecuaciones (19a) y (19b).

$$R_{T,conv.ext.h} = \frac{1}{\bar{h}_{c\ ext.h} A_{ext}} \quad (19a)$$

$$R_{T,conv.ext.v} = \frac{1}{\bar{h}_{c\ ext.v} A_{ext}} \quad (19b)$$

Por lo tanto, la ecuación (7) queda finalmente expresada como:

$$\dot{Q}_{pér.tub.} = \frac{T_{obj} - T_{ext}}{R_{T,conv.int.} + R_{T,cond.tub.} + R_{T,conv.ext.h} + R_{T,conv.ext.v}} \quad (20)$$

Pérdidas de calor del depósito.

El fabricante proporciona el valor global U del depósito donde se almacena el agua caliente a la salida del colector solar, por lo que la expresión de las pérdidas de calor del depósito se calculan de la manera indicada en la ecuación (21) [14].

$$\dot{Q}_{pér.tnq.} = U_{tnq.} A_{ext.tnq.} (T_{obj} - T_{ext}) \quad (21)$$

Dimensionamiento final de la superficie del colector solar.

Para dimensionar el colector solar, deben ser consideradas las pérdidas de calor en la tubería, en el depósito y la energía mínima de calentamiento para el suministro de ACS.

Las pérdidas dadas por (20) y (21) se presentan como un flujo de calor, por lo que es necesario estimar la cantidad de calor transferida en un día (24 h) asumiendo la temperatura más baja observada, para ello, se aplican las ecuaciones (22) y (23).

$$Q_{pér.tub} = 24 \left(\frac{\dot{Q}_{pér.tub.}}{1000} \right) \quad (22)$$

$$Q_{pér.tnq} = 24 \left(\frac{\dot{Q}_{pér.tnq.}}{1000} \right) \quad (23)$$

El calor requerido total para una masa de agua demandada, es resultado de la suma de la energía mínima para calentar el agua con las pérdidas del calor, como lo indica la ecuación (24).

$$Q_{req.} = Q_{min} + Q_{pér.tub} + Q_{pér.tnq} \quad (24)$$

Con lo anterior en mente, se calcula la superficie necesaria para calentar el agua en el colector solar. Debe conocerse también la eficiencia global del colector ($\eta_{colector}$), la radiación solar incidente en el sitio para el cual se diseña (E_G) y el factor solar (SF), éste último es índice que indica el porcentaje de utilización de la energía solar para calentar el agua. Si se emplea el colector como medio exclusivo, se emplea un índice de 1, en [16] se dan otros índices para climas templados y tropicales.

El cálculo de la superficie del colector solar se efectúa con la ecuación (25) [16].

$$A_{colector} = \frac{Q_{req.} * SF}{E_G * \eta_{colector}} \quad (25)$$

Este proceso de cálculo, se transcribió al ambiente de *EES (Engineering Equations Solver)*, con el que se arrojaron los resultados mostrados en la sección correspondiente.

"CODIGO PARA CALCULAR LA SUPERFICIE DEL COLECTOR SOLAR PARA ACS EN FUNCION DE DEMANDA DE ACS Y PERDIDAS DE CALOR"

"DATOS INICIALES"

p_atm=101,3 {kPa}

T_ent=7+273,15 {K}

T_obj=55+273,15 {K}

rho_aguafria=DENSITY('Steam_IAPWS';T=T_ent;p=p_atm) {kg/m^3}

rho_ACS=DENSITY('Steam_IAPWS';T=T_obj;p=p_atm) {kg/m^3}

V_total=209,57*Convert('l','m^3') {m^3}

m_aguafria=V_total*rho_aguafria {kg}

m_ACS=V_total*rho_ACS {kg}

m_dot_ACS=6,40*(1/60)*rho_ACS {kg/s}

"ENERGIA MINIMA PARA CALENTAR EL AGUA DEMANDADA"

h_aguafria=ENTHALPY('Steam_IAPWS';T=T_ent;p=p_atm)
 h_ACS=ENTHALPY('Steam_IAPWS';T=T_obj;p=p_atm)
 Q_min=(m_aguafria*(h_ACS-h_aguafria))*Convert('kJ';'kWh')

"PERDIDAS DE CALOR EN PLOMERIA"

"CONVECCION DEL AGUA CALIENTE AL TRANSPORTAR EL AGUA DENTRO DE LA TUBERIA"

phi_int=19,05/1000 {m}
 mu_kACS=VISCOSITY('Steam_IAPWS';T=T_obj;p=p_atm)
 v_ACS=m_dot_ACS/(((1/4)*pi*phi_int)*rho_ACS) {m/s}
 Re_phi_int=(rho_ACS*v_ACS*phi_int)/mu_kACS
 kappa_ACS=CONDUCTIVITY('Steam_IAPWS';T=T_obj;p=p_atm)
 Pr_ACS=PRANDTL('Steam_IAPWS';T=T_obj;p=p_atm)
 n=0,3
 h_bar_c_convint=0,023*(kappa_ACS/phi_int)*(Re_phi_int^0,8)*(Pr_ACS^n)

l_tub=18,41 {m}

A_int=pi*phi_int*l_tub

R_Tconvinterna=1/(h_bar_c_convint*A_int) {Resistencia térmica en convección para ACS distribuida}

"CONDUCCION DE CALOR EN TUBERIA"

kappa_nomtub=3,5E-3*Convert('W/cm-C';'W/m-K')

phi_ext=23,97/1000 {m}

R_Tcondtub=LN(phi_ext/phi_int)/(2*pi*kappa_nomtub*l_tub) {Resistencia térmica en conducción de calor para tubería}

"CONVECCION NATURAL I: TUBOS HORIZONTALES"

l_tubh=13,38 {m}

T_ext=10,8+273,15 {K}

T_sext=T_obj {K}

g=9,81 {m/s^2}

rho_aire=DENSITY('Air';T=T_ext;p=p_atm)

mu_kaire=VISCOSITY('Air';T=T_ext)

Pr_aire=PRANDTL('Air';T=T_ext)

Gr_h=(g*(T_sext-T_ext)*l_tubh*rho_aire)/(mu_kaire*T_ext)

Ra_h=Gr_h*Pr_aire

h_bar_cconvexth=1,32*((T_sext-T_ext)/phi_ext)^(1/4)

A_exth=2*pi*(phi_ext/2)*l_tubh

R_Tconvexth=1/(h_bar_cconvexth*A_exth)

"CONVECCION NATURAL II: TUBOS VERTICALES"

l_tubv=5,03 {m}

Gr_v=(g*(T_sext-T_ext)*l_tubv*rho_aire)/(mu_kaire*T_ext)

Ra_v=Gr_v*Pr_aire

h_bar_cconvextv=1,42*((T_sext-T_ext)/l_tubv)^(1/4)

A_extv=2*pi*(phi_ext/2)*l_tubv

R_Tconvextv=1/(h_bar_cconvextv*A_extv)

"PERDIDAS TOTALES DE CALOR EN TUBERIA"

Q_dot_pertub=(T_obj-T_ext)/(R_Tconvinterna+R_Tcondtub+R_Tconvexth+R_Tconvextv)

"PERDIDAS DE CALOR EN EL DEPOSITO"

phi_exttnq=46/100 {m}

l_tnq=127/100 {m}

UA_tnq=1,56 {W/K}

Q_dot_pertnq=UA_tnq*(T_obj-T_ext)

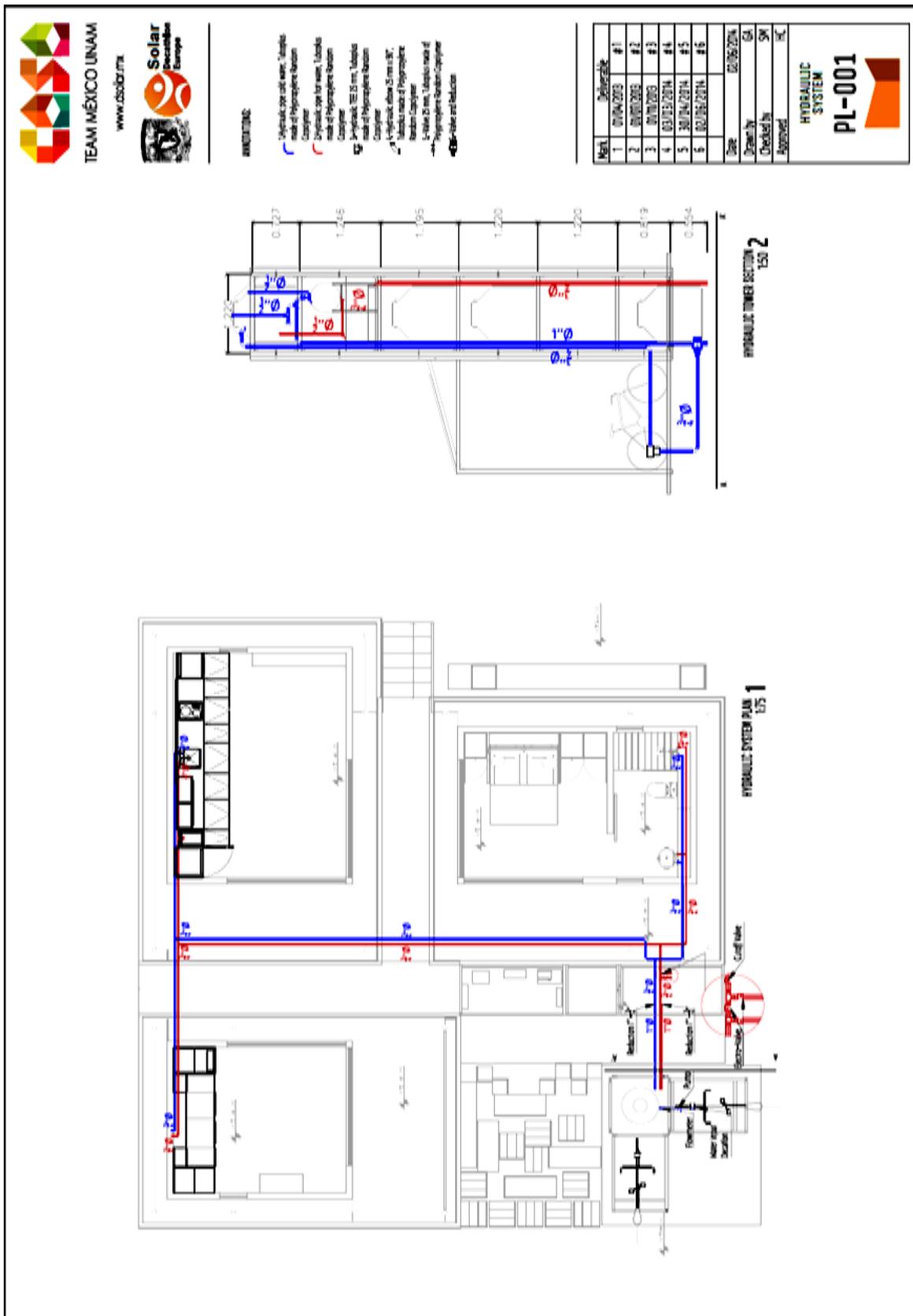
"DIMENSIONAMIENTO FINAL DEL COLECTOR SOLAR"

"PERDIDAS DIARIAS A T_ext=10,8+273,15 K"

```
Q_pertub=24*Q_dot_pertub/1000
Q_pertnq=24*Q_dot_pertnq/1000
"CALOR REQUERIDO"
Q_req=Q_min+Q_pertub+Q_pertnq
SF=1
eta_colector=0,79
E_G=5,36
A_colector=(Q_req*SF)/(E_G*eta_colector)
```

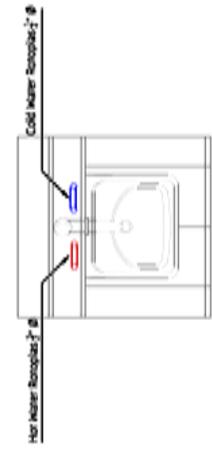
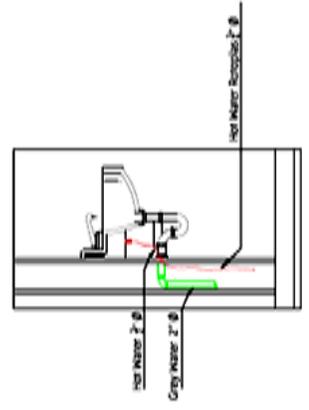
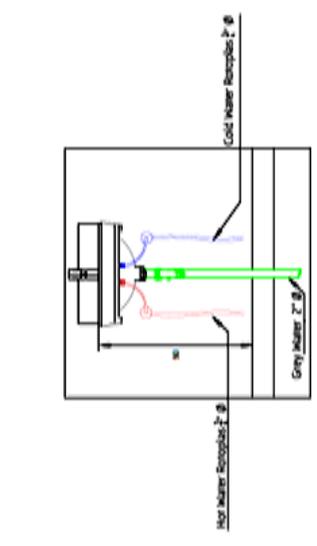
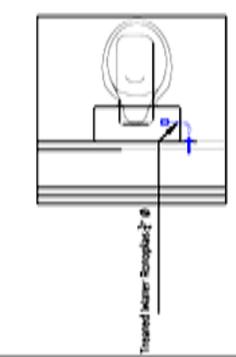
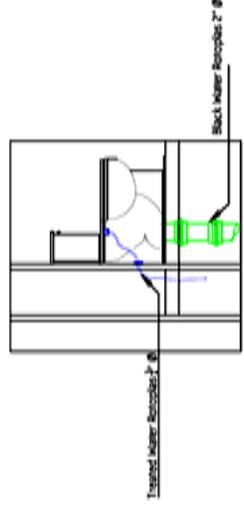
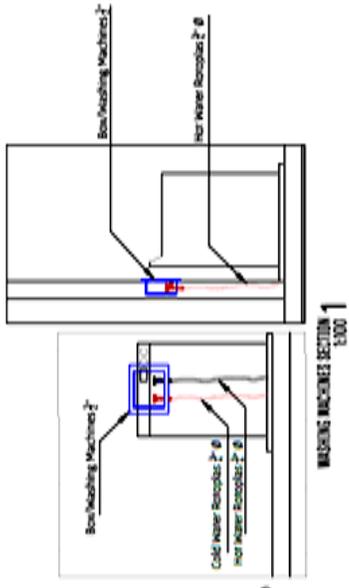
Tabla A-2. Secuencia de instrucciones para calcular el área de superficie de colector solar escrita en el programa EES.

Anexo B. Distribución de la plomería del sistema de ACS.





- ABBREVIATIONS:**
- Hydraulic pipe cold water, *insulate make of Polypropylene Random Copolymer
 - Hydraulic pipe for warm, *insulate make of Polypropylene Random Copolymer
 - Polyethylene, 102.5 mm, *insulate make of Polypropylene Random Copolymer
 - Polyethylene, below 25 mm U.P.F. *insulate make of Polypropylene Random Copolymer
 - Polyethylene, 25 mm, *insulate make of Polypropylene Random Copolymer
 - Sewing pipe, *insulate make of Polypropylene



High	Deliberate
1	07/04/2013 #1
2	08/02/2013 #2
3	07/02/2013 #3
4	03/03/2014 #4
5	30/04/2014 #5
6	02/05/2014 #6

Date	02/06/2014
Drawn by	GA
Checked by	SM
Approved	HC

**HYDRAULICS
DETAILS -1
PL-002**

Basin SECTION 1:100 3

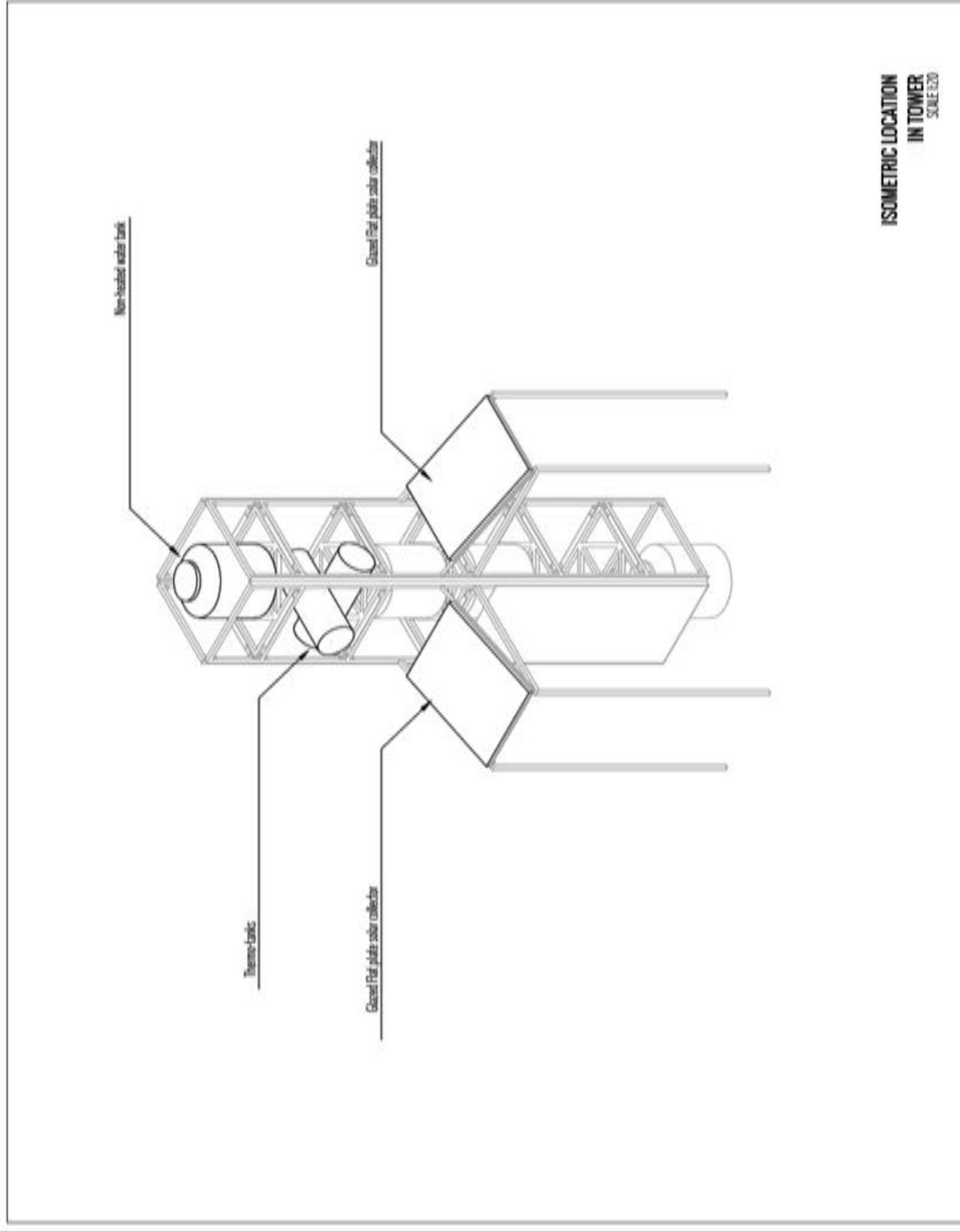


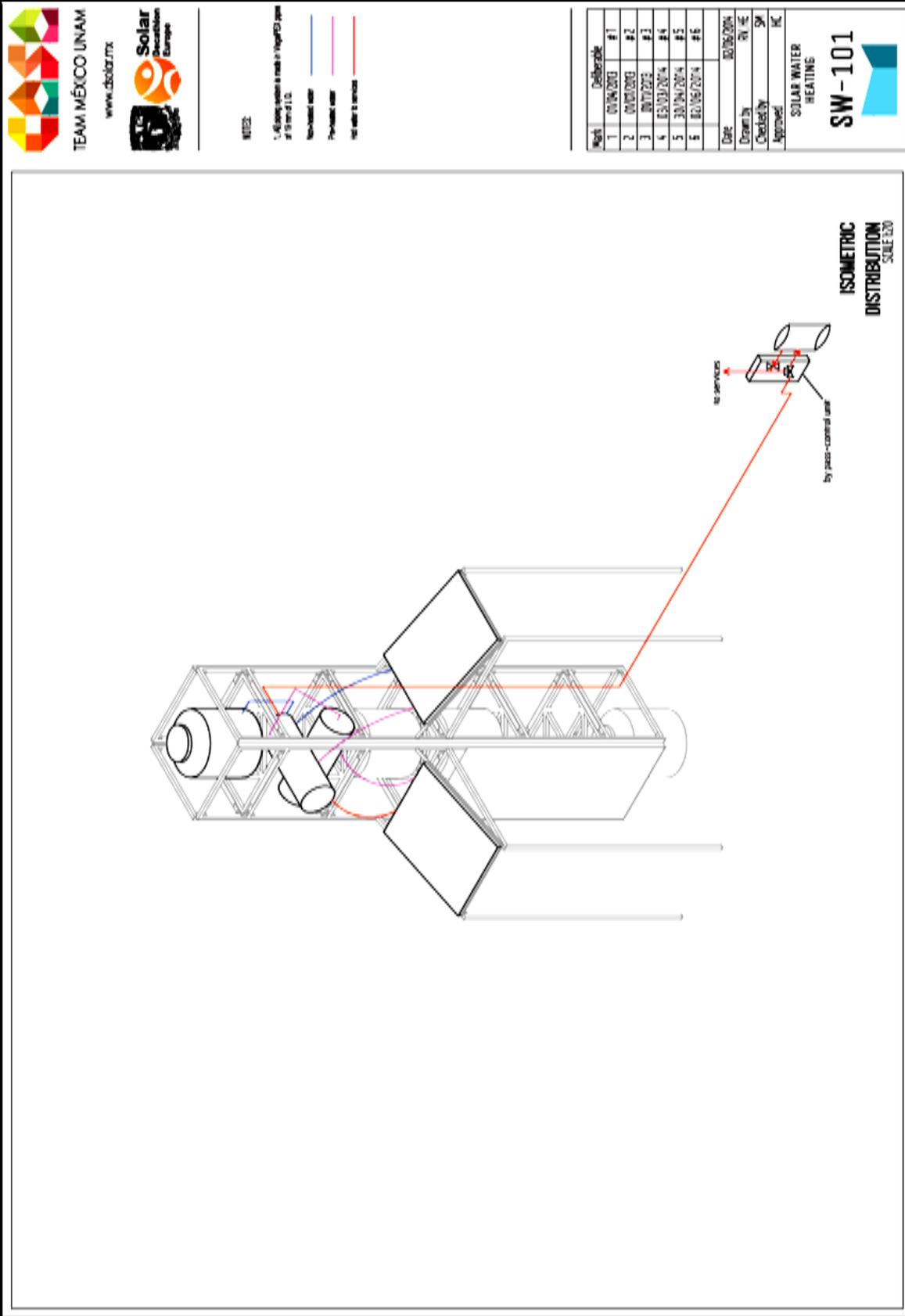
NOTES:
1. Dimensiones in meters

Revisión	Deliberable	#
1	01/04/2013	#1
2	04/07/2013	#2
3	08/07/2013	#3
4	03/03/2014	#4
5	30/04/2014	#5
6	02/05/2014	#6

Date: 02/06/2014
 Drawn by: RM, MC
 Checked by: SW
 Approved: MC

SOLAR WATER HEATING
SW-001





NOTES:

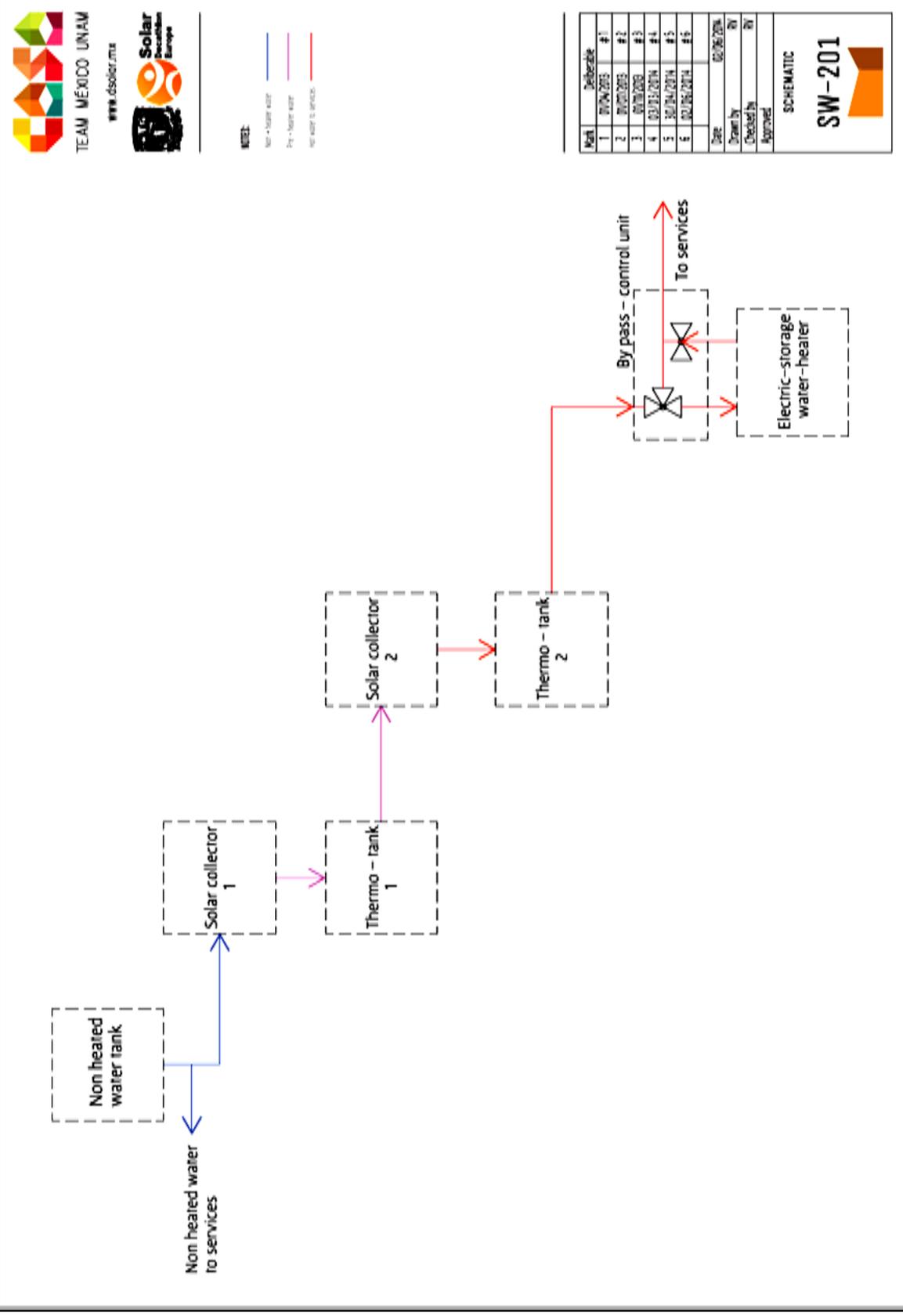
1. All piping system is made in Polypropylene pipes of 1/2 inch I.D.

Non-vented water
Pressurized water
Hot water to services

Work	Deliverable	#
1	01/04/2013	#1
2	04/03/2013	#2
3	06/17/2013	#3
4	03/03/2014	#4
5	10/04/2014	#5
6	01/06/2014	#6

Date: 10/06/2014
 Drawn by: [Signature]
 Checked by: SW
 Approved: HC

SOLAR WATER HEATING
SW-101



NOTES:

- Blue line: Non - heated water
- Pink line: Pre - heated water
- Red line: Hot water to services

Rev	Deliberate	#1
1	01/04/2015	#1
2	01/07/2015	#2
3	01/07/2016	#3
4	03/12/2014	#4
5	01/04/2014	#5
6	01/06/2014	#6

Date:	01/06/2014
Drawn by:	RY
Checked by:	RY
Approved:	

SCHEMATIC
SW - 201

Anexo C. Especificaciones del sistema de calentamiento solar Módulo Solar Axol Concept 150 y del sistema eléctrico de respaldo Rheem 89VP15S.

Sistema de calentamiento solar de agua.

Marca: Módulo Solar S. A. de C. V.

Modelo: Axol Concept 150 l.

Colector:

- Modelo de colector: HVA.
- Superficie bruta: $1.81 m^2$.
- Superficie de apertura: $1.74 m^2$.
- Superficie de absorbedor: $1.72 m^2$.
- Dimensiones (l x w x x): $1509 mm \times 1204 mm \times 65 mm$.



Cubierta:

- Material: Vidrio templado.
- Transmisividad: 90% .
- Espesor: $3.2 mm$.

Absorbedor:

- Material: Cobre.
- Espesor: $0.12 mm$.
- Tratamiento: Óxido de titanio
- Emitancia: 5% .
- Absortancia: 95% .
- Material de los tubos: Cobre.
- Tubos risers: 5 de $9.52 mm$ y 1 de $12.7 mm$.
- Tubos colectores: 2 de $12.7 mm$.

Aislamiento y carcasa:

- Espesor: $12.7 mm$.
- Material aislamiento: Poliuretano inyectado.
- Material carcasa: Lámina galvanizada pintada.
- Sellado hermético: EPDM – Silicón.
- Marco de cierre: Lámina galvanizada pintada.

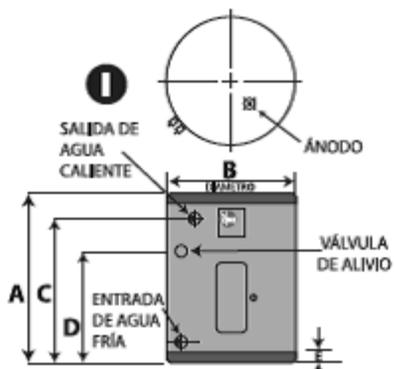
Calentador eléctrico de respaldo.

Marca: Rheem.

Modelo: 89VP15S.

Alimentación: $127 V_{CA} @ 60 \text{ Hz}$.

Aislamiento de fibra de vidrio.



$V_{\text{deposito.}}$	t de recup. con $dT = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	Servicios	Personas	Peso en vacío	\dot{W}_k de la resistencia	Dimensiones (cm).				
						A	B	C	D	E
57 l	44 min.	1.5	2	24 kg _f	2 240 W	61.6	45.1	55.5	53	11.6

Anexo D. Especificaciones de la envolvente térmica.

La ubicación específica de cada material de construcción en la envolvente térmica puede encontrarse en el apartado IV.4, incisos B, C y D. Únicamente se indicarán las propiedades térmicas de cada material.

Panel Rey® Glass Rey.

Material: Yeso + fibra de vidrio.

κ : 0.16 W/m-K.

ρ : 768.9 kg / m³.

c_p : 1 000 J / kg-K.

x : 0.0158 m.



Rolan® Aislamuro.

Material: Fibras minerales aglutinadas.

κ : 0.035 W/m-K.

ρ : 32 kg/m³.

c_p : 960 J/kg-K.

x : Consultar IV.4.



Panel Rey® Regular.

Material: Yeso.

κ : 0.16 W/m-K.

ρ : 720.8 kg/m³.

c_p : 1 000 J/kg-K.

x : 0.0158 m.



Cloruro de Polivinilo convencional. κ : 0.17 W/m-K. ρ : 1 390 kg/m³. c_p : 900 J/kg-K. x : 0.002 m.Triplay convencional. κ : 0.15 W/m-K. ρ : 560 kg/m³. c_p : 2500 J/kg-K. x : Consultar IV.4.Fachada ventilada de terracota Terrart Large 40. κ : 1.30 W/m-K. ρ : 1 600 kg/m³ (con base en el peso de 1 m² de fachada). c_p : 960 J/kg-K. x : 0.04 m.

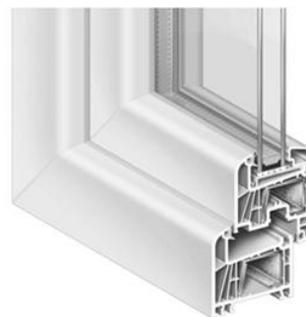
Todos los materiales que son la capa más exterior del sistema constructivo de la casa se han considerado con una emitancia de 0.5, ya que los fabricantes no proporcionaron datos de propiedades a la radiación térmica de ninguno de sus materiales.

Anexo E. Especificaciones sistema de acristalamientos Saint-Gobain y marcos de ventanas Kommerling Eurofutur.

Marcos de ventana y puerta Kömerling Eurofutur.

KÖMMERLING EUROFUTUR FRAMING

Material:	PVC Kômali 2 – Heavy metal free
Normalized thermal transmittance:	Ust(Uw) 2,4 W/(m2K)
Sound reduction index:	Rw(C;Ctr) 29dB (-1;-2)
Air permeability:	Class 3
Water tightness:	Class 5A
Wind load resistance:	Class C3
Security:	Fit
Threshold value:	350N



Acristalamientos Saint-Gobain.

Saint-Gobain Glass Configuration		Energy factors (ISO 9050 m1):	
Materials:	PLANILUX GLASS	Transmittance:	36%
Nominal width:	26,8mm	Exterior reflectance:	37%
Weight:	35,8kg/m2	Interior reflectance:	28%
Light factors (ISO 9050 m1)		A1 absorption:	17%
Transmittance:	69%	Solar factor (ISO 9050 m1):	g: 0,54
Exterior reflectance:	22%	Shadow coefficient:	0,52
Interior reflectance:	22%	Thermal transmission (EN673-2011) 0° relation with vertical position	
CRi Transmittance	96	Ug:	1,5 W/(m2,K)
CRi Exterior reflectance	97		

Anexo F. Especificaciones del sistema de textiles Serge Ferrari Soltis 92.

Características Técnicas	Soltis® 92	Normas
Peso	420 g/m ²	EN ISO 2286-2
Espesor	0,45 mm	
Ancho	177 cm	
Resistencia a la tracción urdimbre/trama	310/210 daN / 5 cm	EN ISO 1421
Resistencia al desgaste urdimbre/trama	40/20 daN	DIN 53.363
Reacción al fuego	M1 /NF 93-507 - Method 1/NFA 701 - CSM T19 - Class A/ASTM E84 EL /DIN 4102 E - BS 7837 - BS 5867 - EL /DNORM A 3800 1 - Class 1/LFN 3177.87 ML /LNC 23.737.00 - WLF 5.2 /W 198906 - 1530.3/ AS /N25 - GL /G05T 30044-04	
Euroclase	B-s2,d0 /DIN 13501.3	
Largo de los rollos	50 ml	
Tratamiento fungistático	Grado 0, excelente	EN ISO 846-A
Sistema de gestión de calidad		ISO 9001

Las características técnicas mencionadas son valores medios dados a título indicativo y sujetos a posibles modificaciones.

Propiedades solares y luz Soltis® 92							
Referencia	TS	RS	AS	TV	FS ext 1/4" CL	FS int 1/4" CL	Codificación NCS
92-2044	18	66	16	12	0,20	0,31	0501 Y 17 R

TS: Transmisión solar en %
RS: Reflexión solar en %
AS: Absorción solar en %
TS+RS+AS = 100% de la energía incidente
TV: Transmisión luz visible en %

FS ext.: Factor solar exterior
FS int.: Factor solar interior
1/4" CL: acristalado claro, espesor 6,4 mm
(medidos por Matrix Inc. USA según ASHRAE 74-1988)

Anexo G. Metodología de dimensionamiento del sistema de ventilación.

Para dimensionar el sistema de ventilación mecánica de CASA, se tomó como base la norma EN15251 [38], en el anexo correspondiente a calidad del aire y tasas de ventilación para edificios residenciales.

CASA, en Versailles, será evaluada cuando esté desocupada, entonces, se tomará en cuenta una tasa fija de 0.7 cambios de aire/hora. Este cálculo, incluye las siguientes hipótesis.

- Operación continua del sistema de ventilación.
- Se supone que hay ocupación del edificio (aunque el diseño de la casa para prototipo fue considerado para desocupación, a la larga si habrá ocupación – aunque mínima – durante las revisiones del edificio por parte de los inspectores y también se ocupará cuando haya visitas guiadas al edificio, sin embargo, la ocupación se pretende que sea con la casa abierta).
- El aire del exterior entra en mezcla perfecta.

Entonces, con base en lo anterior, el flujo de ventilación requerido para cualquier edificio, viene dado por las veces que el aire se renueva por hora, esto se expresa en la ecuación (1).

$$\dot{V}_{\text{ventilación}} = 0.7 V_{\text{recinto}} \quad (1)$$

Los flujos de aire resultantes se presentan en el apartado IV.9.

Anexo H. Especificaciones del sistema de ventilación mecánica.

Ventilador de recuperación de energía.

Marca: Panasonic.

Modelo: FV-04VE1.



Posee dos modos de funcionamiento ajustables durante la instalación: uno que provee 40 CFM en operación a plena carga y 20 en baja velocidad, y otro que provee 20 CFM a plena carga y 10 en baja velocidad.

Ductos: 2 de 0.102 m de diámetro.

• Factory setting for 40 CFM

Model	Air Direction	V	Hz	Duct	Speed	Gross Air Deliver at 0.1"WG (cfm)		Power Consumption (W) Fan Unit	Noise (sone)	Weight lb.(kg)
						Exhaust	Supply			
FV-04VE1	Exhaust & Supply	120	60	4"X2	High	40	30	24	0.8	20.5 (9.3)
					Low	20	20	21	<0.3	

Tabla J-1. Especificaciones hidráulicas y eléctricas del ventilador para el modo de ajuste 40/20 CFM.

• Optional setting for 20 CFM

Air Direction	V	Hz	Duct	Speed	Gross Air Deliver at 0.1"WG (cfm)		Power Consumption (W) Fan Unit	Noise (sone)
					Exhaust	Supply		
Exhaust & Supply	120	60	4"X2	High	20	20	21	<0.3
				Low	10	10	17	N/A

Tabla J-2. Especificaciones hidráulicas y eléctricas del ventilador para el modo de ajuste 20/10 CFM.

<Energy Performance>

Mode	Supply Temperature		Net Air Flow		Total Recovery Efficiency (%)	Apparent Sensible Effectiveness (%)
	°F	°C	I/S	cfm		
Heating	32	0	14	30	N/A	66
Cooling	95	35	14	29	36	N/A

Tabla J-3. Especificaciones energéticas del ventilador.

FV-04VE1 40/20 CFM or 20/10 CFM 2 x 4" Ducts

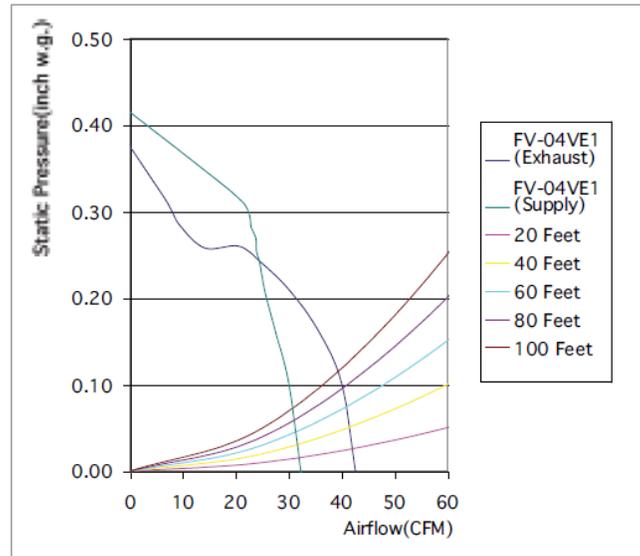
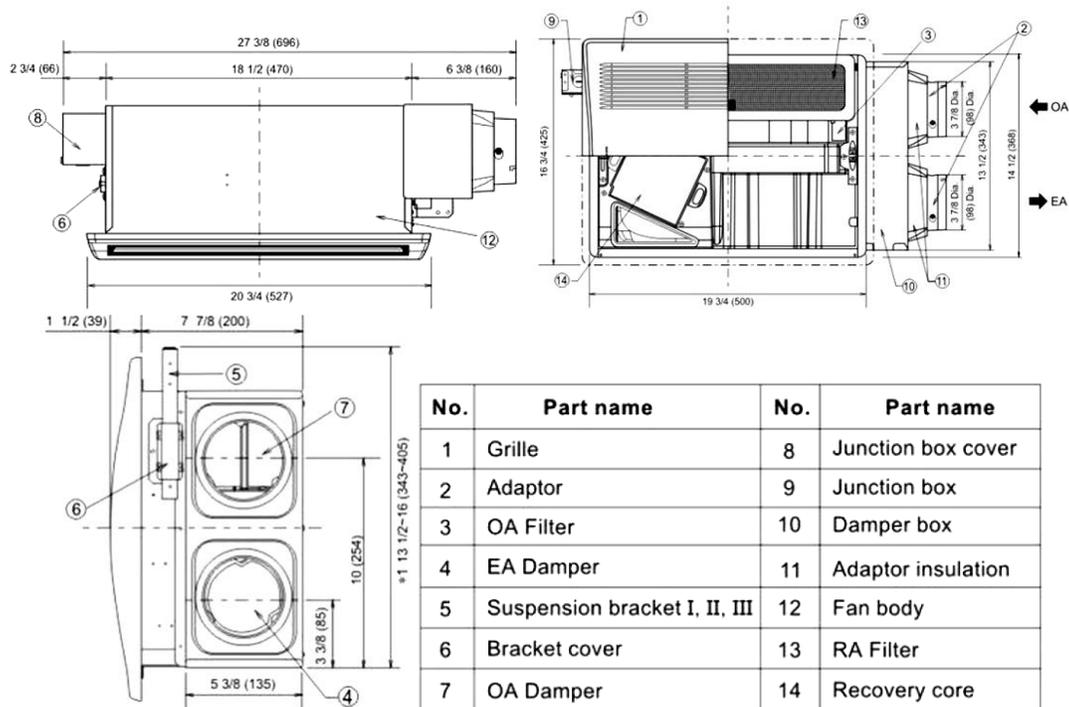


Fig. J-1. Curvas flujo contra presión estática del ventilador.

Dimensiones y partes. Pulg. (mm).



Ductos.

Marca: ATCO.

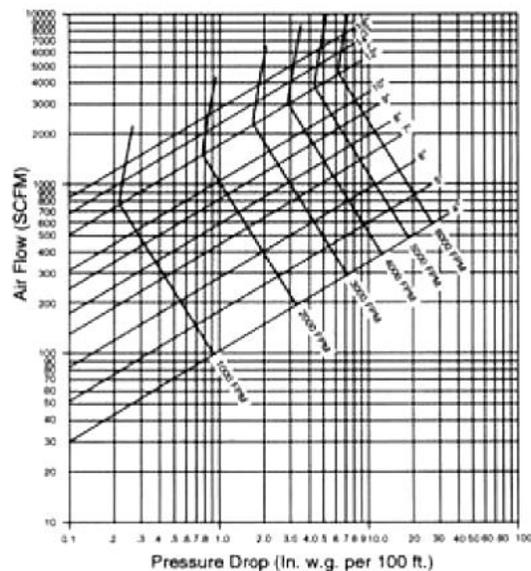
Modelo: UPC #50.



Diámetro interior: 0.102 m .

Material: Poliéster metalizado con alma de acero sin aislar.

Air Friction Chart *



Gráfica J-2. Diagrama de pérdidas de presión por fricción en el ducto.

Difusores.

Marca: INNES.

Modelo: BAIP-BARP.

Uso: Para salida y retorno de aire, hasta $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Material: Polipropileno.

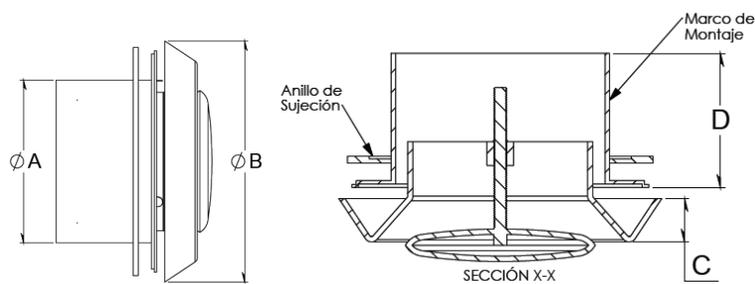
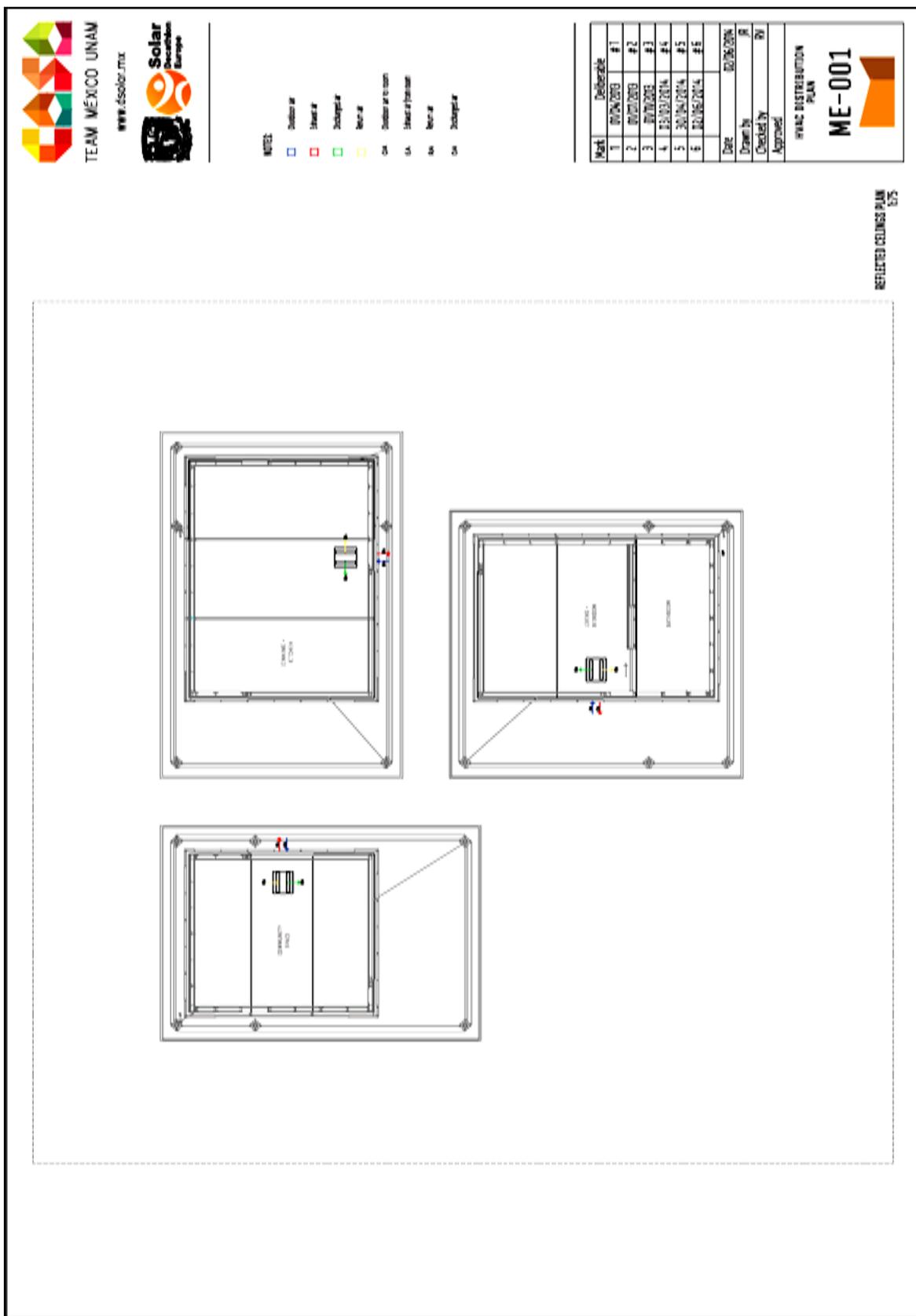


Fig. J-1. Dimensiones del difusor.

Tipo de difusor	ØA mm	ØB mm	C mm	D mm
BARP-100	100	148	18	81

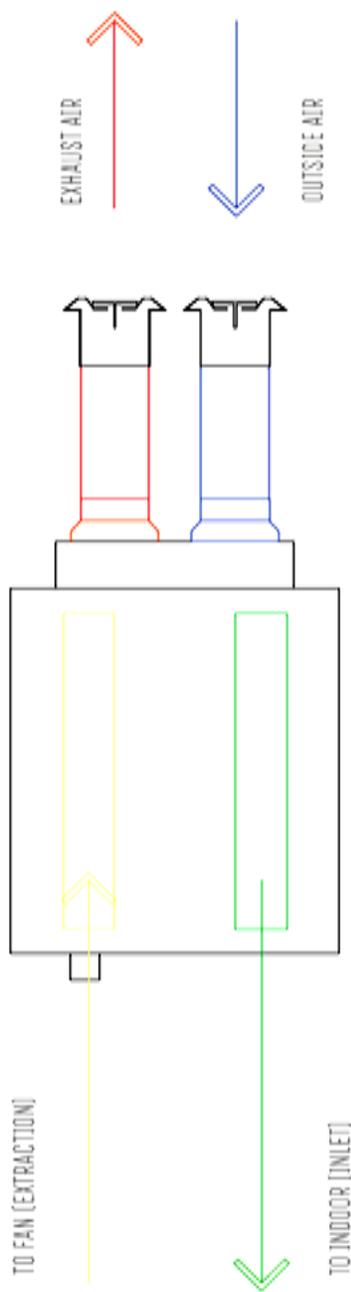
Tabla J-4. Dimensiones del difusor.

Anexo I. Distribución del sistema de ventilación mecánica.





www.dsolar.mx



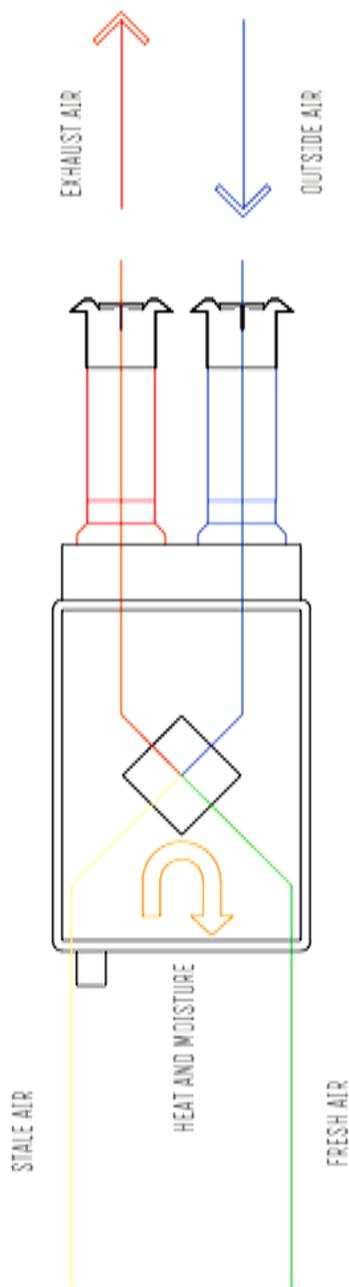
Mark	Deliverable
1	07/04/2015 #1
2	08/01/2015 #2
3	08/01/2015 #3
4	03/03/2014 #4
5	30/04/2014 #5
6	02/06/2014 #6

Date:	02/06/2014
Drawn by:	RM
Checked by:	RM
Approved:	

VENTILATION
ME-042



www.dsolar.mx



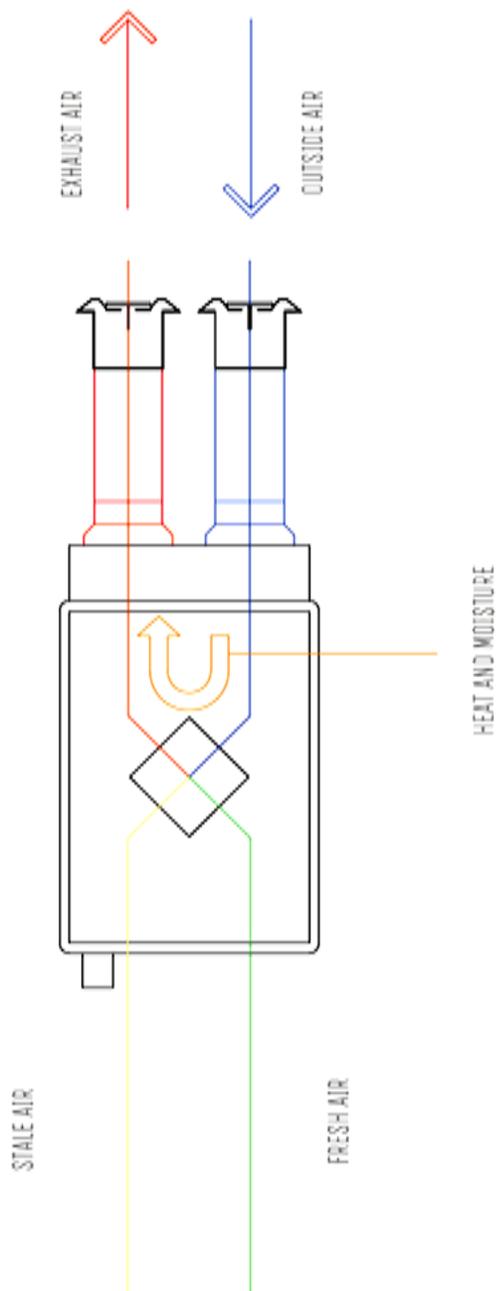
Rev	Deliberate
1	09/04/2016 #1
2	09/07/2016 #2
3	09/07/2016 #3
4	03/03/2016 #4
5	30/01/2016 #5
6	02/06/2016 #6

DRAWING NO. ME-211
 SCHEMATIC DRAWINGS


Date: 02/06/2016
 Drawn by: JR
 Checked by: RN
 Approved:



www.dsolar.mx



Month	Deliverable
1	01/04/2015 #1
2	01/07/2015 #2
3	01/10/2015 #3
4	01/01/2016 #4
5	01/04/2016 #5
6	01/06/2016 #6

Date: 02/06/2016
 Drawn by: [initials]
 Checked by: [initials]
 Approved: [initials]

COOLING MODE
 SCHEMATIC DRAWINGS
ME-221

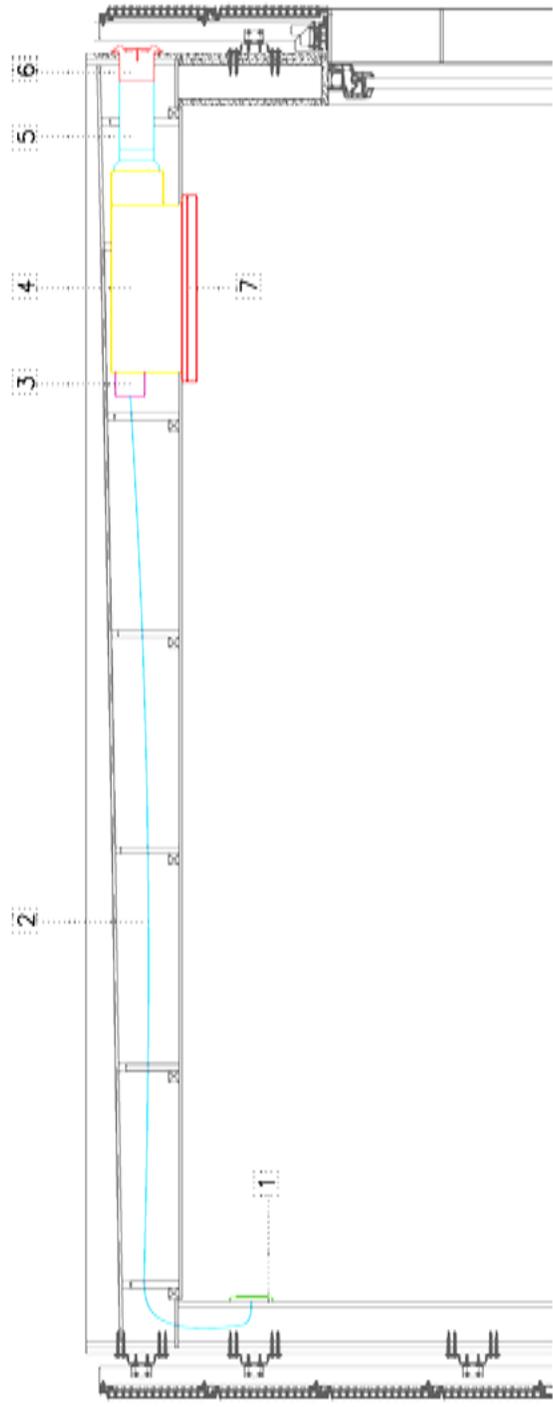


www.esolar.mx



MEET:

- 1 Electrical connection to PVC
- 2 Electric wiring in 1/2" AWG to PVC
- 3 Connection box
- 4 PVC line with necessary control lines
- 5 For each pipeline, use insulated, automatic angle reducer or make a turn
- 6 1/2" off-axis hole/duct
- 7 1/2" off-axis hole/duct



THIS DISTRIBUTION ARRANGEMENT IS INSIDE THE TRUSS AND IS BEHIND THE WALL PIPES OF THE TRUSS.

Mark	Deliberate	#
1	07/24/2018	#1
2	07/27/2018	#2
3	07/30/2018	#3
4	05/07/2014	#4
5	20/04/2014	#5
6	02/05/2014	#6

Date: 02/06/2018
 Drawn by: JF
 Checked by: JF
 Approved:

MECHANICAL ROOM ELEVATIONS
ME-101

ELEVATION ITEM 1
SCALE 1/8"



www.dsolar.mx

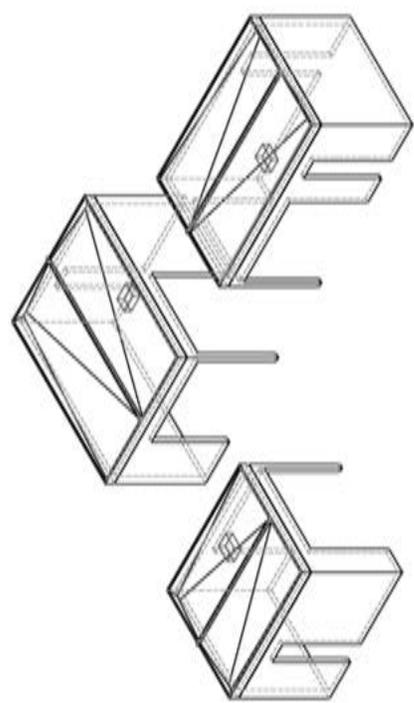


MECE - Energy Recovery Ventilation (ERV) Research 2014-2015

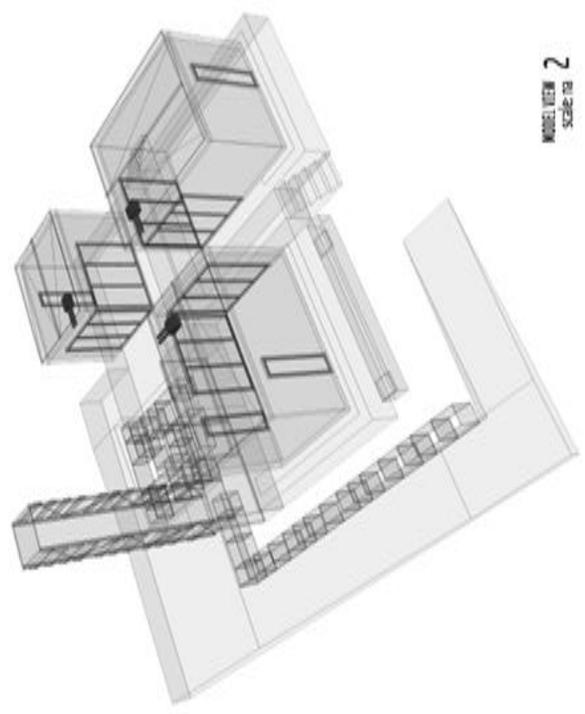
Rev	Deliverable
1	01/04/2015 #1
2	01/07/2015 #2
3	01/07/2015 #3
4	03/03/2014 #4
5	30/04/2014 #5
6	02/06/2014 #6

Date: 02/06/2014
 Drawn by: JR
 Checked by: DV
 Approved:

ISOMETRIC DISTRIBUTION
ME-301



ISOMETRIC VIEW 1
scale 1:6



ISOMETRIC VIEW 2
scale 1:9

Anexo J. Simulación mensual de CASA-UNAM en la ZMVM.

COMUNAL CON TEXTILES MENSUAL												
Mes	Acristalam.	Muros	Cubiertas	Suelos (ext)	Vent. Nat. + Infil.	Infil. Ext.	Vent. Ext.	HR	Equipos	Ocupación	Gan. Sol. Crist.. Ext.	TBS int.
	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>ca/h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	%	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	°C
Enero	-33.65	-3.17	-6.19	-3.81	1.83	-40.76	-15.34	36.50	24.29	6.94	71.94	19.99
Feb.	-29.54	-3.73	-7.39	-3.99	2.15	-37.74	-20.83	35.80	21.94	5.73	76.03	20.84
Marzo	-27.51	-4.27	-6.38	-4.26	2.63	-39.38	-42.82	33.04	24.29	5.50	95.54	22.63
Abril	-25.67	-4.49	-3.61	-3.59	2.81	-35.43	-49.65	35.12	23.50	5.04	94.46	23.25
Mayo	-23.96	-4.08	-2.04	-3.42	2.93	-34.30	-50.58	36.06	24.29	5.19	89.87	23.59
Junio	-23.04	-4.10	-1.63	-3.19	2.81	-36.01	-58.16	44.47	23.50	5.16	98.27	23.35
Julio	-23.96	-5.10	-2.93	-3.97	2.55	-38.07	-52.29	52.71	24.29	5.83	97.48	22.50
Agto.	-25.94	-4.84	-3.19	-3.71	2.54	-38.35	-49.96	51.95	24.29	5.90	96.60	22.37
Sept.	-26.82	-3.85	-4.03	-3.80	2.43	-35.79	-37.44	48.75	23.50	5.77	83.30	22.18
Oct.	-30.28	-3.55	-3.86	-3.35	2.21	-39.80	-32.89	49.37	24.29	6.28	82.75	21.33
Nov.	-29.51	-3.58	-8.22	-3.85	1.94	-36.63	-19.68	39.29	23.50	6.55	72.03	20.36
Dic.	-34.91	-3.48	-10.42	-3.63	1.48	-40.49	-5.74	39.95	24.29	7.39	67.11	18.68

COMUNAL SIN TEXTILES MENSUAL												
Mes	Acristalam.	Muros	Cubiertas	Suelos (ext)	Vent. Nat. + Infil.	Infil. Ext.	Vent. Ext.	HR	Equipos	Ocupación	Gan. Sol. Crist.. Ext.	TBS int.
	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>ca/h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	%	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	°C
Enero	-35.62	-4.48	-15.96	-6.83	2.73	-66.55	-100.00	30.25	24.29	4.77	204.28	23.29
Feb.	-33.16	-5.33	-15.77	-6.66	2.81	-59.16	-90.27	30.29	21.94	3.82	188.38	23.89
Marzo	-28.95	-6.46	-15.39	-7.23	3.15	-61.63	-119.79	28.24	24.29	3.36	218.57	25.53
Abril	-24.65	-6.93	-12.44	-6.34	3.36	-58.03	-131.21	30.10	23.50	2.84	220.00	26.29
Mayo	-22.74	-6.11	-10.92	-6.24	3.46	-55.48	-129.09	31.27	24.29	3.10	210.63	26.39
Junio	-20.04	-5.94	-10.06	-5.69	3.42	-57.38	-138.87	38.36	23.50	3.05	218.80	26.21
Julio	-20.64	-7.19	-11.45	-6.68	3.19	-58.99	-131.99	45.68	24.29	3.83	216.97	25.20
Agto.	-23.56	-6.98	-11.61	-6.36	3.17	-58.95	-127.92	44.84	24.29	3.92	214.40	25.06
Sept.	-25.33	-5.60	-12.27	-6.40	3.10	-55.84	-112.35	42.34	23.50	3.92	197.40	24.87
Oct.	-29.40	-4.98	-11.97	-5.75	2.88	-60.24	-106.64	42.72	24.29	4.43	195.43	23.96
Nov.	-32.25	-5.44	-16.74	-6.58	2.70	-58.06	-91.47	33.60	23.50	4.68	186.94	23.20
Dic.	-42.69	-5.23	-19.11	-6.32	2.43	-63.97	-69.43	33.38	24.29	5.57	180.27	21.67

SOCIAL PRIVADO CON TEXTILES MENSUAL												
Mes	Acristalam.	Muros	Cubiertas	Suelos (ext)	Vent. Nat. + Infil.	Infil. Ext.	Vent. Ext.	HR	Equipos	Ocupación	Gan. Sol. Crist.. Ext.	TBS int.
	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>ca/h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	%	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	°C
Enero	-36.48	-8.86	-19.50	-9.53	2.62	-94.69	-116.97	30.70	141.18	2.00	145.84	22.61
Feb.	-31.03	-8.95	-19.85	-9.58	2.78	-85.22	-112.94	30.55	128.73	1.67	140.13	23.32
Marzo	-24.17	-9.52	-17.70	-10.22	3.20	-85.12	-157.90	29.10	144.33	1.62	163.66	24.69
Abril	-24.98	-8.33	-10.80	-7.69	3.32	-73.78	-152.62	31.62	137.03	1.53	142.44	24.91

Mayo	-27.76	-6.97	-6.75	-6.89	3.42	-66.68	-141.18	33.43	141.18	1.61	114.11	24.76
Junio	-27.46	-6.35	-5.07	-6.27	3.27	-66.20	-139.42	41.65	140.18	1.68	112.19	24.27
Julio	-28.34	-7.68	-7.03	-7.43	3.04	-70.14	-132.30	49.38	141.18	1.86	113.92	23.45
Agto.	-26.66	-8.35	-9.16	-7.93	3.11	-73.70	-142.67	47.95	142.75	1.86	128.05	23.59
Sept.	-24.69	-8.34	-12.92	-8.69	3.09	-76.85	-144.70	43.58	138.61	1.67	140.52	24.06
Oct.	-28.40	-8.40	-13.69	-8.35	2.89	-86.17	-140.66	43.45	141.18	1.89	146.53	23.39
Nov.	-32.81	-8.68	-21.20	-9.26	2.65	-83.22	-112.99	33.92	138.61	1.98	131.42	22.64
Dic.	-47.08	-9.45	-26.33	-9.27	2.25	-97.51	-79.33	32.83	142.75	2.16	123.92	21.55

SOCIAL PRIVADO SIN TEXTILES MENSUAL

Mes	Acristalam.	Muros	Cubiertas	Suelos (ext)	Vent. Nat. + Infil.	Infil. Ext.	Vent. Ext.	HR	Equipos	Ocupación	Gan. Sol. Crist.. Ext.	TBS int.
	kW-h	kW-h	kW-h	kW-h	ca/h	kW-h	kW-h	%	kW-h	kW-h	kW-h	°C
Enero	-16.82	-10.64	-30.06	-12.76	3.12	-121.61	-231.93	27.44	141.18	1.53	285.65	24.85
Feb.	-17.66	-10.68	-28.73	-12.41	3.13	-106.51	-197.81	27.60	128.73	1.31	247.53	25.29
Marzo	-15.53	-9.54	-24.14	-11.40	3.43	-101.51	-222.42	27.07	144.33	1.34	245.93	26.07
Abril	-18.43	-8.03	-16.06	-8.66	3.49	-86.34	-200.64	29.91	137.03	1.33	206.69	26.01
Mayo	-20.36	-6.15	-12.49	-8.13	3.60	-79.81	-192.26	31.55	141.18	1.39	183.88	25.89
Junio	-19.22	-5.52	-10.58	-7.31	3.52	-79.18	-192.82	39.25	140.18	1.46	181.72	25.40
Julio	-19.58	-7.17	-12.60	-8.55	3.33	-82.80	-186.72	46.66	141.18	1.65	183.88	24.51
Agto.	-18.74	-7.96	-14.45	-8.91	3.36	-85.71	-194.10	45.34	142.75	1.65	194.24	24.62
Sept.	-15.31	-8.29	-19.10	-10.36	3.36	-90.73	-202.46	41.04	138.61	1.43	214.06	25.26
Oct.	-15.32	-9.03	-21.06	-10.18	3.23	-104.08	-217.47	40.28	141.18	1.60	239.98	24.89
Nov.	-18.96	-10.94	-30.15	-12.18	3.04	-105.03	-199.51	30.84	138.61	1.63	242.53	24.52
Dic.	-33.21	-11.23	-35.02	-11.80	2.74	-119.92	-168.78	29.77	142.75	1.79	239.77	23.41

RECAMARA CON TEXTILES MENSUAL

Mes	Acristalam.	Muros + Part.	Cubiertas	Suelos (ext)	Vent. Nat. + Infil.	Infil. Ext.	Vent. Ext.	HR	Equipos	Ocupación	Gan. Sol. Crist.. Ext.	TBS int.
	kW-h	kW-h	kW-h	kW-h	ca/h	kW-h	kW-h	%	kW-h	kW-h	kW-h	°C
Enero	-28.18	-4.63 -12.38	-11.96	-6.16	2.59	-53.45	-72.82	30.56	13.86	5.38	167.88	22.84
Feb.	-24.87	-4.68 -11.02	-11.73	-5.98	2.63	-46.35	-62.03	30.91	12.52	4.82	147.46	23.25
Marzo	-23.37	-4.13 -10.05	-8.25	-4.82	2.88	-41.62	-65.12	30.51	13.86	5.22	136.97	23.90
Abril	-22.94	-3.45 -8.08	-4.02	-3.44	2.91	-32.60	-51.54	33.96	13.41	5.04	106.79	23.66
Mayo	-21.65	-3.36 -9.57	-3.47	-3.95	3.06	-32.33	-55.64	34.94	13.86	5.01	110.45	24.10
Junio	-22.89	-2.41 -6.93	-1.02	-2.48	2.82	-29.90	-47.87	44.22	13.41	5.02	94.35	23.25
Julio	-24.20	-3.17 -7.00	-2.19	-3.45	2.39	-30.72	-36.51	52.95	13.86	5.34	88.32	22.26
Agto.	-24.67	-3.30 -2.93	-2.93	-3.32	2.43	-33.05	-41.49	51.29	13.86	5.33	96.62	22.45

		-7.43										
Sept.	-21.71	-3.94 -9.58	-6.77	-4.93	2.65	-38.09	-57.15	45.45	13.41	5.03	123.34	23.41
Oct.	-24.54	-3.97 -8.61	-7.20	-4.52	2.61	-44.24	-63.16	44.89	13.86	5.38	135.32	22.93
Nov.	-26.28	-4.19 -9.85	-11.60	-5.30	2.41	-43.82	-53.67	34.69	13.41	5.32	134.75	22.36
Dic.	-33.50	-4.19 -11.01	-13.78	-5.26	2.11	-48.78	-38.13	34.33	13.86	5.60	133.32	20.85

RECAMARA SIN TEXTILES MENSUAL

Mes	Acristalam.	Muros + Part.	Cubiertas	Suelos (ext)	Vent. Nat. + Infil.	Infil. Ext.	Vent. Ext.	HR	Equipos	Ocupación	Gan. Sol. Crist. Ext.	TBS int.
	kW-h	kW-h	kW-h	kW-h	ca/h	kW-h	kW-h	%	kW-h	kW-h	kW-h	°C
Enero	-27.05	-5.63 -11.44	-17.91	-7.71	3.03	-69.87	-133.39	27.01	13.86	5.11	253.10	25.33
Feb.	-24.91	-5.69 -11.10	-16.88	-7.57	3.01	-59.44	-109.28	27.70	12.52	4.56	217.17	25.46
Marzo	-23.36	-4.93 -10.04	-13.61	-6.26	3.29	-55.58	-117.51	27.41	13.86	4.90	213.02	26.05
Abril	-23.25	-3.96 -6.32	-8.87	-4.74	3.36	-44.90	-98.34	30.70	13.41	4.77	173.44	25.61
Mayo	-21.71	-3.61 -6.67	-8.36	-5.23	3.49	-44.32	-102.33	31.77	13.86	4.70	176.16	25.97
Junio	-22.91	-2.47 -3.43	-5.40	-3.55	3.37	-40.66	-92.12	40.37	13.41	4.75	154.36	24.95
Julio	-23.62	-3.32 -4.19	-6.81	-4.69	3.03	-41.89	-81.84	48.24	13.86	5.11	150.69	23.97
Agto.	-23.88	-3.73 -5.83	-7.70	-4.63	3.06	-44.67	-88.52	46.55	13.86	5.07	162.19	24.25
Sept.	-19.56	-4.69 -9.14	-12.03	-6.56	3.21	-50.92	-109.49	41.19	13.41	4.70	196.70	25.44
Oct.	-23.16	-4.54 -8.22	-12.03	-5.76	3.06	-56.89	-112.75	40.69	13.86	5.15	204.77	24.85
Nov.	-26.39	-5.08 -8.98	-16.48	-6.64	2.87	-56.71	-101.86	31.32	13.41	5.12	204.25	24.38
Dic.	-35.70	-5.16 -8.68	-18.91	-6.56	2.60	-63.08	-86.30	30.65	13.86	5.44	204.21	23.01

Anexo K. Simulación diaria de CASA-UNAM en Versailles.

Caso 1: Diseño original de CASA-UNAM con fachada ventilada, con base en las hipótesis mencionadas en el apartado IV.9.

COMUNAL CON TEXTILES DIARIO											
Día	Acristalam.	Muros	Cubiertas	Suelos (ext)	ERV + Vent. Nat. + Infil.	Infil. Ext.	Vent. Ext.	HR	Gan. Sol. Crist.. Ext.	TBS int.	TBS ext.
	kW-h	kW-h	kW-h	kW-h	ca/h	kW-h	kW-h	%	kW-h	°C	°C
30/06	-0.48	0.05	0.13	0.03	4.24	-0.86	-1.53	70.07	2.62	21.66	18.98
01/07	0.39	-0.54	-0.64	-0.65	4.24	-0.88	-1.58	55.54	4.29	24.34	21.68
02/07	0.21	-0.36	-0.43	-0.47	4.25	-1.08	-2.21	50.69	4.61	27.64	24.33
03/07	-0.54	0.27	0.34	0.25	4.27	-1.50	-3.55	52.24	4.34	27.74	23.03
04/07	-0.21	-0.06	0.17	-0.06	4.26	-1.33	-3.01	41.56	4.47	24.99	20.95
05/07	-1.04	0.37	0.57	0.43	4.25	-0.96	-1.85	55.28	2.07	23.65	20.66
06/07	-0.73	0.18	0.53	0.30	4.24	-0.89	-1.62	71.01	2.01	19.58	16.81
07/07	-0.34	0.05	0.12	0.04	4.24	-0.89	-1.62	58.96	2.59	18.64	15.92
08/07	-0.39	0.03	0.16	0.05	4.23	-0.68	-0.95	65.43	1.76	17.75	15.70
09/07	-0.04	-0.21	-0.22	-0.28	4.23	-0.64	-0.80	66.60	2.36	18.11	16.20
10/07	-0.37	0.06	0.16	0.06	4.24	-0.96	-1.82	63.99	2.81	18.02	15.14
11/07	0.02	-0.25	-0.27	-0.32	4.23	-0.74	-1.13	72.22	2.91	19.25	17.02
COMUNAL SIN TEXTILES DIARIO											
Día	Acristalam.	Muros	Cubiertas	Suelos (ext)	ERV + Vent. Nat. + Infil.	Infil. Ext.	Vent. Ext.	HR	Gan. Sol. Crist.. Ext.	TBS int.	TBS ext.
	kW-h	kW-h	kW-h	kW-h	ca/h	kW-h	kW-h	%	kW-h	°C	°C
30/06	-0.42	0.01	0.14	-0.02	4.28	-1.72	-4.26	60.04	6.44	24.31	18.98
01/07	0.74	-0.70	-0.85	-0.89	4.29	-2.05	-5.33	45.45	9.84	27.99	21.68
02/07	0.47	-0.48	-0.54	-0.65	4.31	-2.39	-6.42	40.32	10.58	31.78	24.33
03/07	-0.33	0.20	0.32	0.14	4.33	-2.83	-7.81	41.71	10.12	31.90	23.03
04/07	0.02	-0.14	0.10	-0.19	4.32	-2.67	-7.30	33.27	10.42	29.16	20.95
05/07	-1.20	0.45	0.78	0.52	4.28	-1.77	-4.42	47.93	5.27	26.16	20.66
06/07	-0.63	0.15	0.55	0.26	4.27	-1.56	-3.76	62.83	4.95	21.64	16.81
07/07	-0.21	0.00	0.08	-0.04	4.28	-1.69	-4.18	51.24	6.19	21.08	15.92
08/07	-0.38	0.03	0.23	0.05	4.26	-1.29	-2.88	58.49	4.32	19.58	15.70
09/07	0.22	-0.33	-0.44	-0.49	4.26	-1.38	-3.19	58.39	6.14	20.39	16.20
10/07	-0.28	0.06	0.21	0.04	4.28	-1.85	-4.69	54.08	6.62	20.73	15.14
11/07	0.23	-0.36	-0.37	-0.46	4.27	-1.61	-3.92	61.83	6.99	21.91	17.02

<i>SOCIAL PRIVADO CON TEXTILES DIARIO</i>											
Día	Acristalam.	Muros	Cubiertas	Suelos (ext)	ERV + Vent. Nat. + Infil.	Infil. Ext.	Vent. Ext.	HR	Gan. Sol. Crist.. Ext.	TBS int.	TBS ext.
	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>ca/h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	%	<i>kW-h</i>	°C	°C
30/06	-0.37	0.04	0.26	0.05	3.04	-1.77	-2.34	66.44	4.00	22.53	18.98
01/07	1.17	-0.91	-1.23	-1.27	3.04	-2.02	-2.85	51.48	7.60	25.68	21.68
02/07	0.79	-0.58	-0.71	-0.85	3.05	-2.49	-3.78	45.92	7.90	29.32	24.33
03/07	-0.02	0.16	0.34	0.12	3.07	-3.34	-5.49	46.59	7.75	29.82	23.03
04/07	0.30	-0.18	0.23	-0.20	3.07	-3.20	-5.21	36.29	8.11	27.30	20.95
05/07	-1.17	0.53	1.10	0.77	3.05	-2.18	-3.17	50.79	3.44	25.05	20.66
06/07	-0.81	0.29	0.97	0.56	3.04	-1.85	-2.51	67.00	2.94	20.53	16.81
07/07	-0.23	0.06	0.22	0.05	3.04	-1.72	-2.25	56.50	3.73	19.32	15.92
08/07	-0.36	0.06	0.31	0.10	3.03	-1.28	-1.36	63.55	2.44	18.19	15.70
09/07	0.42	-0.44	-0.57	-0.64	3.03	-1.35	-1.52	63.88	4.36	18.85	16.20
10/07	-0.29	0.11	0.36	0.15	3.04	-1.94	-2.69	60.38	4.14	18.93	15.14
11/07	0.23	-0.34	-0.38	-0.50	3.03	-1.42	-1.66	69.71	4.25	19.81	17.02
<i>SOCIAL PRIVADO SIN TEXTILES DIARIO</i>											
Día	Acristalam.	Muros	Cubiertas	Suelos (ext)	ERV + Vent. Nat. + Infil.	Infil. Ext.	Vent. Ext.	HR	Gan. Sol. Crist.. Ext.	TBS int.	TBS ext.
	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>ca/h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	%	<i>kW-h</i>	°C	°C
30/06	-0.32	0.09	0.35	0.08	3.06	-2.62	-4.05	60.03	6.37	24.26	18.98
01/07	1.57	-1.01	-1.43	-1.46	3.06	-3.00	-4.80	46.26	10.81	27.65	21.68
02/07	1.01	-0.58	-0.73	-0.89	3.07	-3.51	-5.84	41.04	10.89	31.42	24.33
03/07	0.28	0.14	0.27	0.02	3.09	-4.42	-7.65	41.52	10.97	32.02	23.03
04/07	0.61	-0.18	0.16	-0.28	3.09	-4.33	-7.47	32.14	11.46	29.58	20.95
05/07	-1.15	0.61	1.25	0.83	3.07	-3.11	-5.02	45.66	5.87	26.92	20.66
06/07	-0.71	0.32	1.04	0.57	3.05	-2.58	-3.97	61.39	4.96	21.98	16.81
07/07	-0.15	0.09	0.27	0.05	3.05	-2.40	-3.61	52.20	5.66	20.67	15.92
08/07	-0.31	0.08	0.35	0.10	3.04	-1.82	-2.45	59.44	3.98	19.26	15.70
09/07	0.90	-0.61	-0.93	-0.98	3.05	-2.18	-3.17	58.29	7.44	20.49	16.20
10/07	-0.34	0.25	0.60	0.31	3.06	-2.73	-4.26	54.86	5.97	20.47	15.14
11/07	0.42	-0.38	-0.46	-0.60	3.04	-2.11	-3.02	64.36	6.46	21.16	17.02

<i>RECAMARA CON TEXTILES DIARIO</i>											
Día	Acristalam.	Muros + Part	Cubiertas	Suelos (ext)	ERV + Vent. Nat. + Infil.	Infil. Ext.	Vent. Ext.	HR	Gan. Sol. Crist.. Ext.	TBS int.	TBS ext.
	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>ca/h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	%	<i>kW-h</i>	°C	°C
30/06	-0.64	0.08 -0.05	0.36	0.19	4.26	-1.12	-2.52	64.46	3.52	23.06	18.98
01/07	0.65	-0.43 -0.66	-0.70	-0.72	4.26	-1.06	-2.34	52.73	5.61	25.50	21.68

02/07	0.24	-0.24 -0.57	-0.31	-0.39	4.26	-1.16	-2.66	48.68	5.28	28.56	24.33
03/07	-0.16	-0.01 -0.36	0.04	-0.05	4.29	-1.72	-4.44	48.79	6.39	29.39	23.03
04/07	-0.01	-0.14 -0.33	0.05	-0.18	4.29	-1.73	-4.48	37.11	6.66	27.21	20.95
05/07	-1.13	0.25 +0.08	0.69	0.51	4.28	-1.41	-3.47	48.78	3.93	25.84	20.66
06/07	-0.78	0.10 +0.22	0.54	0.28	4.26	-1.16	-2.66	65.10	3.22	21.04	16.81
07/07	-0.55	0.08 +0.13	0.29	0.16	4.25	-0.93	-1.94	56.58	2.62	19.29	15.92
08/07	-0.42	0.00 +0.06	0.14	0.03	4.24	-0.70	-1.20	63.63	2.07	18.20	15.70
09/07	0.71	-0.43 -0.63	-0.81	-0.82	4.26	-1.15	-2.64	59.79	6.21	20.34	16.20
10/07	-0.90	0.23 +0.20	0.73	0.52	4.26	-1.11	-2.50	60.24	2.45	19.08	15.14
11/07	-0.02	-0.17 -0.21	-0.24	-0.29	4.24	-0.71	-1.24	70.95	3.06	19.56	17.02

RECAMARA SIN TEXTILES DIARIO

Día	Acristalam.	Muros + Part	Cubiertas	Suelos (ext)	ERV + Vent. Nat. + Infil.	Infil. Ext.	Vent. Ext.	HR	Gan. Sol. Crist.. Ext.	TBS int.	TBS ext.
	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>ca/h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>%</i>	<i>kW-h</i>	<i>°C</i>	<i>°C</i>
30/06	-0.68	0.09 +0.04	0.41	0.20	4.29	-1.63	-4.18	57.78	5.62	24.96	18.98
01/07	0.84	-0.48 -0.70	-0.83	-0.85	4.29	-1.65	-4.24	47.06	8.45	27.69	21.68
02/07	0.21	-0.22 -0.48	-0.27	-0.38	4.29	-1.74	-4.53	43.38	7.64	30.73	24.33
03/07	-0.08	-0.02 -0.28	0.00	-0.10	4.32	-2.32	-6.38	43.59	8.97	31.62	23.03
04/07	0.12	-0.17 -0.29	-0.01	-0.25	4.33	-2.37	-6.55	32.93	9.49	29.58	20.95
05/07	-1.17	0.25 +0.16	0.75	0.50	4.31	-1.96	-5.24	43.64	6.18	27.88	20.66
06/07	-0.82	0.12 +0.29	0.61	0.31	4.29	-1.59	-4.04	59.33	4.88	22.61	16.81
07/07	-0.56	0.09 +0.20	0.31	0.15	4.27	-1.32	-3.19	52.15	4.23	20.68	15.92
08/07	-0.45	0.01 +0.19	0.15	0.02	4.25	-1.03	-2.24	59.25	3.36	19.36	15.70
09/07	1.00	-0.51 -0.66	-1.03	-1.00	4.29	-1.69	-4.36	54.23	8.90	22.28	16.20
10/07	-1.03	0.29 +0.34	0.88	0.61	4.28	-1.55	-3.92	54.57	4.00	20.66	15.14
11/07	0.03	-0.19 -0.11	-0.30	-0.37	4.26	-1.12	-2.54	65.09	4.92	21.04	17.02

Caso 2. CASA-UNAM sin la fachada ventilada.

COMUNAL CON TEXTILES										
Día	Acristalam.	Muros	Cubiertas	Suelos (ext)	ERV + Vent. Nat. + Infil.	Infil. Ext.	Vent. Ext.	HR	Gan. Sol. Crist.. Ext.	TBS int.
	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>ca/h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	%	<i>kW-h</i>	°C
30/06	-0.47	0.06	0.02	0.06	4.24	-0.86	-1.51	70.17	2.62	21.64
01/07	0.34	-0.51	-0.42	-0.71	4.24	-0.91	-1.68	55.28	4.29	24.45
02/07	0.14	-0.32	-0.27	-0.46	4.25	-1.12	-2.35	50.38	4.61	27.78
03/07	-0.56	0.27	0.35	0.28	4.27	-1.51	-3.59	52.21	4.34	27.77
04/07	-0.21	-0.06	0.17	-0.08	4.26	-1.32	-3.00	41.69	4.47	24.98
05/07	-1.00	0.37	0.35	0.48	4.24	-0.94	-1.77	55.54	2.07	23.58
06/07	-0.68	0.20	0.36	0.29	4.24	-0.86	-1.53	71.44	2.01	19.48
07/07	-0.32	0.05	0.01	0.04	4.24	-0.87	-1.56	59.22	2.59	18.59
08/07	-0.37	0.03	0.07	0.05	4.23	-0.67	-0.89	65.66	1.76	17.70
09/07	-0.06	-0.18	-0.10	-0.32	4.23	-0.65	-0.85	66.51	2.36	18.17
10/07	-0.37	0.07	0.09	0.10	4.24	-0.96	-1.83	64.02	2.81	18.02
11/07	0.02	-0.23	-0.28	-0.34	4.23	-0.74	-1.13	72.29	2.91	19.25
COMUNAL SIN TEXTILES										
Día	Acristalam.	Muros	Cubiertas	Suelos (ext)	ERV + Vent. Nat. + Infil.	Infil. Ext.	Vent. Ext.	HR	Gan. Sol. Crist.. Ext.	TBS int.
	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>ca/h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	%	<i>kW-h</i>	°C
30/06	-0.35	0.03	-0.21	0.02	4.28	-1.67	-4.10	60.64	6.44	24.16
01/07	0.75	-0.62	-0.90	-0.93	4.29	-2.05	-5.32	45.61	9.84	27.98
02/07	0.48	-0.41	-0.70	-0.63	4.31	-2.38	-6.38	40.46	10.58	31.75
03/07	-0.27	0.22	-0.01	0.17	4.33	-2.78	-7.66	42.16	10.12	31.75
04/07	0.10	-0.10	-0.23	-0.21	4.32	-2.61	-7.11	33.73	10.42	28.98
05/07	-1.09	0.44	0.29	0.57	4.28	-1.69	-4.18	48.65	5.27	25.92
06/07	-0.54	0.19	0.18	0.24	4.27	-1.50	-3.56	63.68	4.95	21.44
07/07	-0.13	0.00	-0.23	-0.03	4.27	-1.64	-4.00	51.84	6.19	20.92
08/07	-0.31	0.05	-0.05	0.05	4.26	-1.24	-2.72	59.09	4.32	19.43
09/07	0.23	-0.25	-0.50	-0.53	4.26	-1.37	-3.16	58.67	6.14	20.37
10/07	-0.23	0.07	-0.10	0.10	4.28	-1.81	-4.56	54.48	6.62	20.61
11/07	0.29	-0.31	-0.61	-0.48	4.27	-1.57	-3.80	62.36	6.99	21.80

SOCIAL-PRIVADO CON TEXTILES										
Día	Acristalam.	Muros	Cubiertas	Suelos (ext)	ERV + Vent. Nat. + Infil.	Infil. Ext.	Vent. Ext.	HR	Gan. Sol. Crist.. Ext.	TBS int.
	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>ca/h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	%	<i>kW-h</i>	°C
30/06	-0.34	0.08	-0.01	0.12	3.04	-1.73	-2.27	66.75	4.00	22.46
01/07	1.14	-0.88	-1.00	-1.36	3.04	-2.06	-2.92	51.37	7.60	25.76
02/07	0.75	-0.52	-0.63	-0.83	3.05	-2.54	-3.89	45.74	7.90	29.43
03/07	-0.01	0.18	0.17	0.18	3.07	-3.32	-5.45	46.77	7.75	29.79

04/07	0.35	-0.17	0.01	-0.22	3.07	-3.14	-5.08	36.66	8.11	27.18
05/07	-1.09	0.55	0.57	0.86	3.04	-2.09	-2.98	51.39	3.44	24.86
06/07	-0.71	0.32	0.58	0.54	3.04	-1.75	-2.31	67.88	2.94	20.32
07/07	-0.18	0.06	-0.03	0.06	3.03	-1.65	-2.12	57.00	3.73	19.19
08/07	-0.32	0.06	0.10	0.10	3.03	-1.22	-1.26	63.99	2.44	18.08
09/07	0.40	-0.42	-0.45	-0.73	3.03	-1.37	-1.54	63.92	4.36	18.88
10/07	-0.28	0.14	0.14	0.24	3.04	-1.93	-2.67	60.54	4.14	18.91
11/07	0.26	-0.31	-0.46	-0.53	3.03	-1.40	-1.61	69.99	4.25	19.76

SOCIAL-PRIVADO SIN TEXTILES

Día	Acristalam.	Muros	Cubiertas	Suelos (ext)	ERV + Vent. Nat. + Infil.	Infil. Ext.	Vent. Ext.	HR	Gan. Sol. Crist.. Ext.	TBS int.
	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>ca/h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	%	<i>kW-h</i>	°C
30/06	-0.23	0.13	-0.14	0.15	3.05	-2.53	-3.87	60.76	6.37	24.07
01/07	1.57	-0.93	-1.43	-1.55	3.06	-2.99	-4.79	46.45	10.81	27.64
02/07	1.02	-0.48	-0.90	-0.86	3.07	-3.51	-5.82	41.12	10.89	31.41
03/07	0.35	0.18	-0.16	0.08	3.09	-4.34	-7.50	42.00	10.97	31.86
04/07	0.71	-0.14	-0.33	-0.30	3.09	-4.21	-7.22	32.72	11.46	29.34
05/07	-1.01	0.61	0.48	0.94	3.06	-2.95	-4.70	46.58	5.87	26.59
06/07	-0.57	0.36	0.45	0.54	3.05	-2.43	-3.67	62.62	4.96	21.68
07/07	-0.06	0.09	-0.16	0.06	3.05	-2.29	-3.39	52.98	5.66	20.45
08/07	-0.23	0.10	0.00	0.10	3.04	-1.73	-2.27	60.15	3.98	19.08
09/07	0.91	-0.52	-0.97	-1.06	3.05	-2.17	-3.14	58.63	7.44	20.46
10/07	-0.29	0.28	0.17	0.42	3.06	-2.66	-4.13	55.30	5.97	20.34
11/07	0.47	-0.32	-0.72	-0.64	3.04	-2.05	-2.90	64.94	6.46	21.04

RECAMARA CON TEXTILES

Día	Acristalam.	Muros + Part	Cubiertas	Suelos (ext)	ERV + Vent. Nat. + Infil.	Infil. Ext.	Vent. Ext.	HR	Gan. Sol. Crist.. Ext.	TBS int.
	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>ca/h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	%	<i>kW-h</i>	°C
30/06	-0.60	0.09 - 0.02	0.12	0.22	4.26	-1.09	-2.43	64.91	3.52	22.96
01/07	0.63	-0.41 - 0.67	-0.57	-0.76	4.26	-1.07	-2.38	52.73	5.61	25.56
02/07	0.20	-0.22 - 0.54	-0.25	-0.39	4.26	-1.18	-2.74	48.57	5.28	28.65
03/07	-0.16	0.00 - 0.32	-0.04	-0.03	4.29	-1.72	-4.45	48.89	6.39	29.39
04/07	0.02	-0.13 - 0.32	-0.07	-0.19	4.29	-1.71	-4.42	37.41	6.66	27.15
05/07	-1.06	0.25 + 0.11	0.33	0.56	4.27	-1.37	-3.34	49.26	3.93	25.69
06/07	-0.70	0.11 + 0.21	0.27	0.27	4.26	-1.11	-2.50	65.87	3.22	20.85
07/07	-0.50	0.07 + 0.12	0.11	0.17	4.25	-0.90	-1.84	57.06	2.62	19.17
08/07	-0.38	0.00 +	0.02	0.03	4.24	-0.68	-1.13	63.99	2.07	18.11

		0.05								
09/07	0.70	-0.40 -0.66	-0.77	-0.85	4.26	-1.15	-2.65	59.94	6.21	20.34
10/07	-0.87	0.24 + 0.23	0.50	0.56	4.26	-1.08	-2.42	60.60	2.45	18.99
11/07	0.00	-0.16 -0.22	-0.27	-0.31	4.24	-0.70	-1.20	71.19	3.06	19.52
RECAMARA SIN TEXTILES										
Día	Acristalam.	Muros + Part	Cubiertas	Suelos (ext)	ERV + Vent. Nat. + Infil.	Infil. Ext.	Vent. Ext.	HR	Gan. Sol. Crist.. Ext.	TBS int.
	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>ca/h</i>	<i>kW-h</i>	<i>kW-h</i>	<i>%</i>	<i>kW-h</i>	<i>°C</i>
30/06	-0.60	0.10 + 0.05	0.03	0.23	4.29	-1.57	-3.99	58.55	5.62	24.75
01/07	0.86	-0.45 -0.72	-0.84	-0.89	4.29	-1.64	-4.21	47.34	8.45	27.66
02/07	0.21	-0.19 -0.45	-0.37	-0.37	4.29	-1.74	-4.52	43.49	7.64	30.72
03/07	-0.04	-0.01 -0.25	-0.22	-0.08	4.32	-2.30	-6.30	43.97	8.97	31.53
04/07	0.18	-0.15 -0.29	-0.30	-0.26	4.32	-2.33	-6.40	33.42	9.49	29.42
05/07	-1.06	0.25 + 0.18	0.23	0.55	4.30	-1.89	-5.01	44.37	6.18	27.61
06/07	-0.70	0.14 + 0.27	0.22	0.30	4.28	-1.52	-3.80	60.39	4.88	22.34
07/07	-0.48	0.08 + 0.19	0.03	0.16	4.27	-1.27	-3.01	52.85	4.23	20.49
08/07	-0.39	0.01 + 0.17	-0.06	0.02	4.25	-0.99	-2.11	59.83	3.36	19.21
09/07	1.02	-0.47 -0.69	-1.09	-1.03	4.29	-1.68	-4.32	54.62	8.90	22.23
10/07	-0.96	0.30 + 0.37	0.52	0.65	4.28	-1.50	-3.76	55.15	4.00	20.49
11/07	0.07	-0.16 -0.13	-0.45	-0.38	4.26	-1.10	-2.46	65.60	4.92	20.94

REFERENCIAS.

- [1] *About Solar Decathlon*. (s. f), Departamento de Energía de los E. U. A, recuperado el 1o. de Mayo de 2014, disponible en <http://www.solardecathlon.gov/about.html>
- [2] *Solar Decathlon Europe* (s. f), Departamento de Energía de los E. U. A, recuperado el 1o. de Mayo de 2014, Disponible en http://www.solardecathlon.gov/sd_europe.html
- [3] *Solar Decathlon Europe, ¿Qué es SDE?*, recuperado el 1o. de Mayo de 2014, disponible en <http://www.sdeurope.org/about/>
- [4] Rodríguez-Urbinas, E., (Noviembre, 2013), *Rules and related information* conferencia, celebrada en el *Workshop 2 del SDE*, en el Palais de Congrès de Versailles, Francia.
- [5] Team Mexico UNAM (2014), *Project Manual #6 - Updated Construction Documentation & Dissemination Materials*, México.
- [6] *Proyecto CASA* (s. f.), Team Mexico UNAM, recuperado el 1o. de Mayo de 2014, disponible en <http://dsolar.mx/site/proyecto/>
- [7] Solar Decathlon Europe (2014), *Règlement/Rules v4.0*, Francia.
- [8] Team Mexico UNAM (2014), *Project Drawings #6 - Design Adjustments Documentation & Dissemination Materials*, México.
- [9] F. Daniels (1982), *Uso directo de la energía solar*, H. Blume Ediciones, México.
- [10] Solar Decathlon Europe (2014), *Thermal and Enviromental Evaluation Information Guide v4*, Francia.
- [11] *NASA Surface meteorology and Solar Energy - Location* (s. f.), National Aeronautics and Space Administration, Atmospheric Science Data Centre, recuperado el 12 de Octubre de 2013, disponible en <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>
- [12] *Medias climatológicas normales, estación Morelos 77, Iztapalapa, D. F.*, recuperado el 7 de Noviembre de 2013, disponible en http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=179&tmpl=component
- [13] *Medias climatológicas normales, estación París, Francia*, recuperado el 7 de Noviembre de 2013, disponible en <http://www.meteofrance.com/climat/france/paris/75114001/normales>
- [14] Rolle, K. C. (2006), *Termodinámica*, 6a. Ed., Pearson Educación, México.
- [15] Solar Decathlon Europe (2014), *Event Calendar v2.0*, Francia.
- [16] Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie (2010), *Planning and installing solar thermal systems*, Earthscan, Gran Bretaña.
- [17] Pilatowsky Figueroa, I. y Martínez Strevel, R. (2013), *Sistemas de*

calentamiento solar de agua – Una guía para el consumidor, Trillas, México.

[18] Zavaleta Hernández, J. (2007), *Análisis comparativo para una adecuada selección de un calentador de agua de uso domestico* (Tesis de Licenciatura – Ingeniero Mecánico-Electricista), UNAM-FES Aragón, México.

[19] Marks, L. S. (+), Avallone, E. A., Baumeister III, T. (2007), *Manual del Ingeniero Mecánico – Tomo I*, 9ª. Ed., McGraw-Hill, México.

[20] Çengel, Y. A. (2007), *Transferencia de calor y masa – Un enfoque práctico* 3ª. Ed., McGraw-Hill, México.

[21] Enríquez Harper, G. (2000), *Manual de Instalaciones Electromecánicas en Casas y Edificios – Hidráulicas, Sanitarias, Aire Acondicionado, Gas, Eléctricas y Alumbrado*, 1ª. Ed., Limusa, México.

[22] *Especificaciones sistema de tuberías ViegaPEX* (s. f.), recuperado el 30 de Abril de 2014, disponible en <http://www.viega.us/4901.htm>

[23] Deffis Caso, A. (1993), *La casa ecológica autosuficiente para climas frío y templado*, Editorial Árbol, México.

[24] Puppo, E. y Puppo, G. (1972), *Acondicionamiento natural y arquitectura*, Marcombo Boixareu Ediores, España.

[25] *Archivo climatológico de la ciudad de México – AICM* (s. f), recuperado el 7 de Noviembre de 2013, disponible en http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata/4_north_and_central_america_wmo_region_4/MEX_Mexico.City.766790_IWEC.zip

[26] Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda (2006), *guíaconafovi – Uso eficiente de la energía en la vivienda*, México.

[27] Nicol, J. F., Humphreys, M. A. (2002), Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings, *Journal of Energy and Buildings*, 34(6), pp. 563–572, DOI: 10.1016/S0378-7788(02)00006-3.

[28] *Archivo climatológico de la París – Aeropuerto de Orly* (s. f.), recuperado el 7 de Noviembre de 2013, disponible en http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata/6_europe_wmo_region_6/FRA_Paris.Orly.071490_IWEC.zip

[29] *Descripción climática de París* (s. f.), recuperado el 7 de Noviembre de 2013, disponible en <http://www.meteofrance.com/climat/france/ile-de-france/regi11/normales>

[30] Godoy Muñoz, A. (2012), *El confort térmico adaptativo – Aplicación en la edificación en España* (Proyecto Final de Máster – Máster en Sostenibilidad), Universidad Politécnica de Cataluña, España.

[31] *¿Qué es EnerHábitat?*, recuperado el 7 de Noviembre de 2013, disponible en <http://www.enerhabitat.unam.mx/Cie2/introduccion.jsp>

[32] Barrios, G., Huelsz, G., Rojas, J., Ochoa, J., Marinic, I. (2012), Parámetros para medir el desempeño térmico de muros/techos de la envolvente de una edificación que no usa aire acondicionado, *Memorias de la 36 Semana Nacional de Energía Solar ANES en Cuernavaca, Morelos del 1 al 5 de Octubre de 2012*, pp. 231-235, ISBN: 978-607-95019-5-2.

- [33] *Visión general del software, (DesignBuilder)*, recuperado el 10 de Diciembre de 2013, disponible en <http://www.designbuilder.es/productos/resumen>
- [34] *About EnergyPlus*, recuperado el 10 de Diciembre de 2013, disponible en http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_about.cfm
- [35] Klingenberg, K. (2013), *Passive House (Passivhaus) en Sustainable Built Enviroments*, Springer New York, pp. 426-436, DOI: 10.1007/978-1-4614-5828-9_351, ISBN del archivo en línea 978-1-4614-5828-9, E. U. A.
- [36] Mardiana-Idayu, A., Riffat, S. B. (2012), Review on heat recovery technologies for building applications, *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2012), pp. 1241-1255, DOI: 10.1016/j.rser.2011.09.026.
- [37] Liu, J., Li, W., Liu, Jiang, Wang, W. (2010), Efficiency of energy recovery ventilator with various weathers and its energy saving performance in a residential apartment, *Journal of Energy and Buildings, Elsevier*, 42(2010), pp. 43-49, DOI: 10.1016/j.enbuild.2009.07.009.
- [38] *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*, European Standard, prENrev 15251:2006.
- [39] *Quel temps faisant-il? Avec Météo-France, retrouvez la météo d'une date passé* (s. f.) (para Versailles – 78000 – del 1o. de Julio al 11 de Julio de 2014), recuperado el 15 de Agosto de 2014, disponible en <http://www.meteofrance.com/climat/meteo-date-passee>
- [40] *Solar Decathlon Europe 2014 à Versailles, France; Monitoring* (última actualización: 13 de Julio de 2014), recuperado el 13 de Julio de 2014 en: <http://www.solardecathlon2014.fr/en/monitoring>
- [41] Kreith, F. (1970), *Principios de Transferencia de Calor*, Herrero Hermanos, Sucesores S. A., México.

Nota: Las fotografías tomadas del proyecto, excepto en donde se indique lo contrario, fueron tomadas por el autor de este trabajo.