

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

#### **FACULTAD DE ARQUITECTURA**

Implementación de Materiales Cambio de Fase para el mejoramiento del desempeño energético de las edificaciones en la Ciudad de México.

#### **TESIS**

Que para obtener el título de **Arquitecto** 

#### **PRESENTA**

**Uriel Mucientes Saucedo** 

#### **DIRECTOR DE TESIS**

Dra. Adriana Lira Oliver

#### **ASESORES**

Dr. Ronan Bolaños Linares Arq. Luis de la Torre Zatarain







UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

#### DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

UNAM — Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

IMPLEMENTACIÓN
DE MATERIALES DE
CAMBIO DE FASE PARA
EL MEJORAMIENTO
DEL DESEMPEÑO
ENERGÉTICO DE LAS
EDIFICACIONES EN LA
CIUDAD DE MÉXICO

Tesis que para obtener el título de Arquitecto presenta:





# **Uriel Mucientes Saucedo**

Director de tesis | Dra. Adriana Lira Oliver

Asesores | Dr. Ronan Bolaños Linares

Arq. Luis de la Torre Zatarain





Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Arquitectura
Taller Arq. Jorge González Reyna
Laboratorio de Entornos Sostenibles
Laboratorio de Arquitectura + Diseño y Tecnología Experimental



# Agradecimientos

Agradezco a la UNAM por permitirme ser parte de esta comunidad y brindarme diversas oportunidades para mi crecimiento personal y profesional a lo largo de mi estancia en ella.

Agradezco a la Dra. Adriana Lira Oliver por su confianza y apoyo para llevar acabo mi proyecto de tesis bajo su tutoría, así como su tiempo y entusiasmo por los conocimientos brindados; al Dr. Ronan Bolaños por ofrecer su ayuda en la propuesta del caso de estudio y la información compartida durante todo el proceso; al Arq. Luis de la Torre por sus cuestionamientos y observaciones que me permitieron mejorar el presente trabajo.

Agradezco al Mtro. Ing. Rodolfo Vilchis quien fue un gran asesor y me ayudo de gran manera al entendimiento del tema de tesis; a mis amigos Saul, Diego, Enrique, Sofía, José Ángel y Mateo por estar presente en esta travesía y aquellas noches interminables en la carrera.

A mis padres María y Juan Antonio, por su esfuerzo, cariño y apoyo incondicional durante esta etapa de mi vida.

El presente trabajo se logró gracias a los siguientes programas:

- CONACyT SENER no. 260155
- UNAM-DGAPA-PAPIIT IN404618

# Índice:

1	INTRODUCCIÓN	13
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
2 1		
	OBJETIVOS JUSTIFICACIÓN	
3	MARCO TEÓRICO	19
3 1	TRANSFERENCIA DE CALOR EN EDIFICACIONES19	
·	3   1.1 Energía Térmica o Calor	19
	3   1.1.1 Calor Sensible	19
	3   1.1.2 Calor Latente	
	3   1.2 Propiedades Físicas y Térmicas De Los Materiales	
	3   1.2.1 Conductividad Térmica	
	3   1.2.2 Densidad	
	3   1.2.3 Capacidad Calorífica	
	3   1.2.4 Calor Específico	
	3   1.3.1 Desempeño Térmico De Edificaciones A Temperatura Constante	
	3   1.3.2 Desempeño Térmico De Edificaciones Dependientes Del Tiempo	
	3   1.3.3 Aislamiento Térmico	
	3 1.3.4 Masa Térmica	
	3   1.3.4.1 Almacenamiento Térmico	
	3   1.3.4.2 Retardamiento Y Amortiguamiento Térmico	25
3   2	MATERIALES TRADICIONALES Y CONTEMPORÁNEOS CON PROPIEDADES DE MASA TÉRMICA	27
	3   2.1 Adobe	27
	3   2.2 Tapial	27
	3   2.3 Bahareque	
	3   2.4 Concreto	29
3   3	ESTRATEGIAS PASIVAS DE ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO CON BASE EN LA INERCIA TÉRMICA	
	3   3.1 Muro Trombe	29
	3   3.2 Invernadero Adosado	
	3   3.3 Chimenea Solar	
3   4	MATERIALES DE CAMBIO DE FASE	
	3   4.1 Tipos De Materiales De	
	3   4.1.1 PCM Orgánicos	
	3   4.1.1.1 Parafinas	
	3   4.1.1.2 Ácidos Grasos	
	5141/ PUM INORGANICOS	35

	4   4.1.2.1 Sales Hidratadas	35
	3   4.1.3 PCM Eutécticos	36
	3   4.2 Métodos de Incorporación de PCM	37
	3   4.2.1 Incorporación Directa	37
	3   4.2.2 Inmersión	37
	3   4.2.3 Encapsulado	
	3   4.2.3.1 Macro Encapsulado	
	3   4.2.3.2 Micro Encapsulado	
	3 4.2.4 Forma Estabilizada	
	3   4.3 Ventajas Y Desventajas de los PCM Según su Clasificación	
	3   4.4 Criterio De Selección De PCMs	
	3   4.5 Aplicaciones	
	3   4.6 Casos De Estudio	
	4 4.6.1 Universidad de Auckland , Nueva Zelanda- Cabañas de prueba con paneles de yeso con PCM	
	4   4.6.2 Universidad de Lleida, España - Módulos de prueba con paneles de concreto con PCM	
	4 4.6.3 Universidad de Lleida, España - Módulos de prueba con sistemas constructivos convencionales	
4	METODOLOGÍA	51
4 1	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CASO DE ESTUDIO	51
4 2	LOCALIZACIÓN	
4 3	CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO	
'	4   3.1 Temperaturas En La Ciudad De México	
4   4	DEFINICIÓN DE TEMPERATURAS DE CONFORT EN ESPACIOS INTERIORES60	
4   5	SELECCIÓN DEL PCM	60
4   6	CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO CON PCM	62
4   7	CONFIGURACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE LOS CASOS DE ESTUDIO	65
4   8	SIMULACIÓN DEL DESEMPEÑOTÉRMICO DE LOS CASOS DE ESTUDIO	65
,	4   8.1 Archivo De Geometría Y Clima	66
	4 8.2 Configuración De Modelado De Pcm En Energyplus	66
	4   8.3 Algoritmo De Transferencia De Calor Por Conducción	67
	4   8.4 Constante Espacial De Discretización	68
	4   8.5 Pasos De Tiempo	69
	4   8.6 Localización	69
	4   8.7 Periodo De Ejecución	69
	4   8.8 Especificación De Materiales	69
	4   8.9 Curva De Entalpía	71
	4   8.10 Sistema Constructivo	73
	4   8.11 Zonas Térmicas	73
	4   8.12 Detalle Componente De Envolvente	73
	4   8.13 Detalle De Sombreamiento	73
	4   8.14 Datos De Salida	75
ב ו י	DECLII ΤΛΟΛΟ V DICCUCIÓN	
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	81
5 1	RESULTADOS	
5 2	DISCUSIÓN	91

6   CONCLUSIONES	99
APÉNDICES	
I. PLANOS ARQUITECTÓNICOS CASA-UNAM  II. RESULTADOS DE ESCENARIOS CON PCM RT18  III. RESULTADOS DE ESCENARIOS CON PCM RT22  IV. RESULTADOS DE ESCENARIOS CON PCM RT-25  V. FICHAS TÉCNICAS DE PCM´s	110 120 130
REFERENCIAS	142

# INTRODUCCIÓN

asta el día de hoy, el hombre siempre ha buscado una mejor climatización del espacio que habita para un mayor confort, por lo que éste se ha dedicado a desarrollar cada vez más los sistemas de calentamiento, enfriamiento y ventilación de sus edificaciones para un mejor control de las variantes climáticas a las que se encuentra expuesto. El desarrollo tecnológico ha dado pie a nuevos sistemas de climatización (refrigeración, ventilación, aire acondicionado, etc.) que funcionen de manera más eficiente con el objetivo de proveer un ambiente térmico adecuado y una mejor calidad del aire dentro de los espacios habitables.

El uso de estos sistemas se ha visto reflejado en un alto consumo energético, por lo que se ha buscado la reducción de dicho consumo, a través de sistemas pasivos para una mayor eficiencia energética. Los sistemas pasivos de climatización son considerados aquellos elementos constructivos diseñados adecuadamente conforme al clima en el que se encuentran y que trabajan sin el uso de sistemas mecánicos, propiciando condiciones de confort que reducen la demanda energética para la climatización. Los sistemas de transferencia de calor son una solución pasiva en los cuales nos concentraremos en el presente trabajo, debido a que los materiales que encontramos en las envolventes de los edificios son actores principales en cuanto a la cantidad de calor transferida del exterior al interior y viceversa. La masa térmica juega un papel importante en la mediación de transferencia de energía y en la conservación del confort térmico al interior de un espacio. Existen dos

formas de ganancia de energía térmica: por calor sensible y calor latente, los cuales se diferencian por la cantidad de almacenamiento de éstas por unidad de volumen o peso y por el tipo de cambio físico que ejercen en la materia.

En diferentes construcciones en el pasado se puede observar como el uso de materiales con propiedades de masa térmica (piedra, mampostería, adobe, etc.)formaban parte del sistema constructivo el cual almacenaba una gran cantidad de energía térmica durante el día, cediendo el calor almacenado durante la noche, volviéndolo un sistema pasivo funcional y eficiente de transferencia de calor sensible. Actualmente, estos sistemas de almacenamiento ya no son tan utilizados por la industria de la construcción, al haber la necesidad de una mayor rapidez de ejecución en las obras, con menor volumen y peso para la edificación. La tecnología nos proporciona nuevos materiales, como los Materiales de Cambio de Fase (MCF), con características físicas y químicas de masa térmica como las de un muro de mampostería de adobe o piedra, pero con un menor espesor y densidad.

Estos materiales considerados de alto desempeño presentan una gran capacidad de almacenar energía térmica y que puede ser utilizada en las edificaciones para la generación de condiciones de confort térmico, reduciendo el uso de sistemas de climatización mecánicos y fortaleciendo el desempeño energético del edificio. Así, estos sistemas ayudan a mitigar el consumo desmedido y el impacto ambiental negativo que generan los edificios de nuestras ciudades.

# 2

# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

# 2 | 1 HIPÓTESIS

Como hipótesis de este trabajo se presenta la siguiente conjetura:

Los MCF, al presentar propiedades de inercia térmica y ser ligeros, pueden ser implementados en las envolventes de los edificios de la Ciudad de México para la provisión de condiciones de confort térmico al interior de éstos y por tanto, para la obtención de ahorros energéticos de sistemas mecánicos de climatización, al aprovechar pasivamente la energía presente en los ambientes interiores y exteriores de los edificios.

# 2 | 2 OBJETIVOS

El objetivo general de la investigación es determinar la potencialidad de los Materiales Cambio de Fase (MCF) en la aportación de ahorros energéticos en el proceso de generación de condiciones de confort térmico al interior de edificaciones en el clima de la Ciudad de México.

Para alcanzar este objetivo, se formularon los siguientes objetivos particulares:

- Establecer el estado de arte de los MCF a nivel mundial y en México
- Identificar la "cantidad" de inercia térmica necesaria

- para la provisión de condiciones de confort al interior de los edificios, con base en las condiciones climáticas de la Ciudad de México.
- Identificar los MCF existentes en el mercado cuyas características térmicas sean óptimas para su uso en la Ciudad de México.
- Establecer estrategias de diseño para las envolventes de los edificios de la Ciudad de México implementando MCF.
- Validar las estrategias de diseño por medio de un análisis y aplicarlo a un caso de estudio, en este caso el proyecto: "CASA" del equipo de estudiantes de la UNAM para el concurso Decatlón Solar 2014.
- Alcanzar los conocimientos necesarios relacionados con el tema que nos permitan aportar soluciones espaciales de confort térmico y eficiencia energética.

# 3 | 3 JUSTIFICACIÓN

A nivel mundial, aproximadamente una tercera parte del consumo energético se debe a la industria de la construcción debido a la demanda de recursos naturales, materiales y energéticos para su construcción, mantenimiento y operación (IEA, 2016). Ante las problemáticas globales

del cambio climático, las emisiones de CO<sub>2</sub> y su efecto invernadero, y la degradación ambiental, es urgente diseñar edificios eficientes y de bajo consumo energético. Por esta razón, durante las últimas décadas, en el ámbito de la arquitectura, se han implementado nuevas tecnologías y estrategias de diseño alrededor del mundo, como respuesta a esta necesidad, en búsqueda de edificios más sustentables y que respondan a los diferentes climas del planeta.

A finales del siglo pasado, dentro del concepto de Edificios Inteligentes se incorporaron mecanismos compuestos de sensores y actuadores ante estímulos energéticos presentes en los medios ambientes (interior y exterior) para eficientizar el desempeño térmico de los edificios y por tanto, incrementar la eficiencia energética de las edificaciones. Actualmente, estos mecanismos están siendo sustituidos por materiales considerados de alto desempeño e inteligentes por presentar dentro de su misma estructura física, "actuadores" y "sensores" que responden a los estímulos energéticos de manera inmediata. La implementación de estos materiales conlleva el ahorro de mecanismos y equipos que ocupan grandes volúmenes de espacio y que consumen una cierta cantidad de energía. Por tanto, los ahorros energéticos, al implementar estos materiales, son mayores.

En los países nórdicos, el estudio y la investigación sobre estos materiales es cada vez mayor, y la implementación de éstos en las edificaciones es cada vez más frecuente. En contraparte, en México, la investigación e implementación de éstos es muy poca. Actualmente, la importación de estos materiales a México es cada vez mayor; sin embargo, no hay estudios serios sobre su desempeño térmico y energético, y por tanto, los ahorros energéticos que éstos conllevarían al implementarse en climas pertenecientes a la República Mexicana. El hecho de investigar y profundizar en el tema de materiales de alto desempeño e inteligentes y la eficiencia energética en las edificaciones, va enfocado a una respuesta que cumpla con los estándares de confort, económicos y sociales aplicados en México. Es importante ir más allá de la imagen del diseño bioclimàtico universal y entender que hay una respuesta específica aplicable para cada región del planeta que posee características climáticas y contextos culturales diferentes; por lo que muchas veces se cae en el error de importar tecnologías, materiales, sistemas constructivos que responden más a una moda que al análisis y entendimiento del problema, o cuyo desempeño es óptimo para países nórdicos cuyos

climas son mucho más extremos que los de la República Mexicana. En México, es necesario el estudio de nuevas tecnologías y materiales contemporáneos de este siglo en cuanto a su comportamiento térmico y energético en los climas de México, para evitar los altos costos energéticos e impactos ambientales irremediables al país.

Actualmente, los materiales mayormente importados a México provenientes de los países nórdicos, son los materiales aislantes térmicamente, que aunque en su mayoría no son materiales de alto desempeño o inteligentes, son un claro ejemplo de la importación indiscriminada de materiales cuyas características térmicas no son de mayor beneficio a las edificaciones en cuanto a su desempeño energético en la región céntrica de la República Mexicana. En climas templados, cuyas temperaturas mínimas y máximas oscilan 10°C durante un ciclo de 24 horas, son los materiales con propiedades de inercia térmica los que mayores beneficios energéticos aportan a las edificaciones y no los materiales aislantes térmicamente (IMSS, 1993). El clima de la Ciudad de México es un ejemplo de éste tipo de climas; por tanto los materiales que mayormente se deben de implementar son los que presentan propiedades de inercia térmica cuando se aclimata un espacio de manera pasiva.

Ejemplos de materiales tradicionales o, mejor dicho, convencionales, con propiedades de inercia térmica son el adobe y el aqua. Sin embargo, para que estos materiales trabajen "correctamente" deben de implementarse en cantidades considerables lo que hace a los sistemas constructivos pesados. Hoy en día, las necesidades constructivas se inclinan hacia sistemas constructivos ligeros y que ocupen menor espacio. Materiales que responden a las dos necesidades antes mencionadas (materiales con propiedades de inercia térmica y ligeros) son los Materiales de Cambio de Fase (MCF), los cuales son considerados como materiales de alto desempeño. Estos materiales que permiten el almacenamiento térmico en grandes cantidades ya que por sus características físicas, químicas y térmicas, almacenan y ceden energía en forma de calor latente, lo que permitiría grandes ahorros energéticos en cuanto al uso de sistemas mecánicos de climatización.

Es por esta razón, que es importante estudiar el comportamiento térmico de los MCF en la Ciudad de México para establecer su potencialidad en cuanto a ahorros energéticos en las edificaciones.

# 3 | 1 TRANSFERENCIA DE CALOR EN EDIFICACIONES

# 3 | 1.1 ENERGÍA TÉRMICA O CALOR

La energía térmica es la expresión de la energía en forma de calor. El calor, es la energía que hace vibrar y rotar a moléculas y átomos. En todos los materiales los átomos que forman sus moléculas están en continuo movimiento ya sea trasladándose o vibrando. Este movimiento implica que los átomos tengan una determinada energía cinética a la que nosotros llamamos calor, energía térmica o energía calorífica (Energía Térmica, 2016).

A la energía térmica o calor a veces se le llama calor sensible o calor latente. Sin embargo, estos no son dos tipos diferentes de calor ya que es la misma energía térmica y que dependiendo su uso, es como se les hará referencia.

## 3 | 1.1.1 CALOR SENSIBLE

A la energía térmica se le llama calor sensible cuando este es almacenado, liberado o cedido por un material sin un cambio de fase pero con un cambio de temperatura. La forma más común de almacenamiento de energía térmica es utilizando

calor sensible. En la Fig. 1 se muestra la representación gráfica de la elevación de temperatura cuando el calor que es transferido al medio de almacenamiento sin haber un cambio de fase.

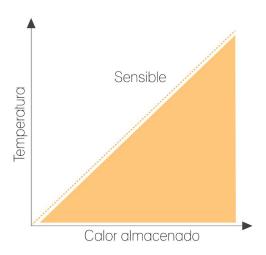


Fig. 1. Gráfica de la relación entre el incremento de calor almacenado, sensible y temperatura en un material.

La energía térmica almacenada a causa del aumento de temperatura en un medio de almacenamiento está dado por la ecuación 1.1:

$$Q_s = mc \Delta T$$
 (1.1)

Donde:

 $oldsymbol{Q_S}$  es la energía térmica almacenada en forma de calor sensible,

**c** es el calor especifico,

**m** la masa del material de almacenamiento,

**Δ***T* es la diferencia de temperaturas.

Se le llama calor latente a la energía térmica absorbida, liberada o cedida por un material durante un cambio de fase. La temperatura de cambio de fase, es la temperatura en la que el material almacena o libera energía de manera constante hasta completar su fundición o solidificación. Al completar su fundición o solidificación la transferencia de calor se da de nuevo de manera sensible (ver Fig. 2).

Hay una variedad de opciones para almacenar el calor en forma latente, por medio de cambios de fase: liquido-gas, solido-gas, sólido-liquido, los cuales presentan ventajas y desventajas. El cambio de fase de líquido a gas no se usa regularmente para el almacenamiento térmico de calor latente, ya que no suele ser práctico el aumento de volumen del material al absorber energía térmica. Dentro de estos posibles cambios de fase, el más eficiente es el de sólido a líquido, ya que aunque la cantidad de energía almacenada es inferior que en otros cambios de estado (sólido-gas), la variación de volumen es menor. En el cambio de estado de sólido a liquido a través de un ciclo de fusión- solidificación se puede almacenar y liberar gran cantidad de calor si se ha seleccionado un material adecuadamente (Belaunzarán, 2015).

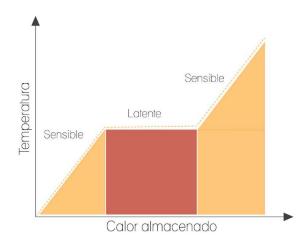


Fig. 2. Gráfica de la relación entre el incremento de calor almacenado, calor sensible, calor latente y temperatura en un material.

En el caso del cambio de fase sólido-liquido el calor latente es llamado calor de fusión, o entalpía de calor latente. Los materiales de cambio de fase de líquido a sólido son adecuados para almacenamiento de energía térmica en forma latente, y son usualmente referidos como materiales de almacenamiento de calor latente o simplemente MCF (Belaunzarán, 2015). La relación del calor latente con la entalpía se describe en la ecuación 1.2:

$$Q_{I} = \Delta H = m\Delta h$$
 (1.2)

Donde:

△H es la diferencia de entalpías de los dos estados (sólido y líquido) que se traduce como la entalpía de calor latente,
△h es la entalpía de calor latente específica,

**m** es la es la masa del material, en este caso del MCF

Por lo tanto, es más eficiente trabajar con calor latente que con calor sensible ya que la cantidad de calor necesario para aumentar un grado la temperatura de un material (calor sensible) es muy inferior a la que se necesita suministrar para cambiar de fase o estado (latente). Por lo tanto la densidad de energía por unidad de masa es mayor cuando se trabaja con calor latente que con calor sensible.

# 3 | 1.2 PROPIEDADES FÍSICAS Y TÉRMICAS DE LOS MATERIALES

El calor se propaga en la materia por diferentes procesos. Algunas formas de propagación o transmisión de calor se llevan a cabo por los procesos de conducción, convección y radiación, descritos a continuación:

- Conducción. Se refiere a la transferencia de calor en forma directa de molécula a molécula de un mismo cuerpo o en contacto directo entre cuerpos. Se lleva a cabo en todas direcciones.
- Convección. Se refiere a la transmisión de calor con el movimiento másico de los fluidos (gases o líquidos). El calor primero se transfiere al fluido por otro proceso de transferencia de calor; después, el fluido se calienta, se dilata, pierde densidad y sube. Su lugar es ocupado por fluido menos caliente. Cuando el fluido sube, acarrea consigo mismo la energía que ésta contiene y por tanto la transfiere durante su movimiento.
- Radiación. Se refiere a la propagación del calor en forma de ondas electromagnéticas, más específicamente las ondas infrarrojas (ondas de longitud larga) que son las que calientan la materia. Éstas se propagan en línea recta a través de todos los medios (inclusive el vacío). La radiación solar llega a la Tierra y calienta los cuerpos, los cuales la rerradían. La radiación solar es de onda corta, media y larga (ultravioleta, visible e infrarroja) y la radiación de los cuerpos calientes es de onda larga (Morillón, 2007).

El desempeño térmico de los materiales dependerá de distintos factores y de sus propiedades físicas como son el espesor, su textura, color, la diferencia de las temperaturas de las caras de un material, y la velocidad del aire circundante. Estas propiedades y factores se describen con más detalle a continuación:

- Espesor. A mayor espesor, menor será la cantidad de calor transferida y viceversa, ya que aunque hay más materia que transfiera el calor, también hay más materia que absorba este calor.
- Textura. La textura en la superficie de los materiales es también otro de los factores relevantes en el desempeño térmico de los materiales. Los materiales con una textura más rugosa emiten más radiación infrarroja (calor) que los materiales lisos, ya que los materiales rugosos cuentan con más superficie emisora que los lisos.
- Color. El color de la superficie de los materiales es también otro factor relevante en desempeño térmico de los materiales, los colores oscuros absorben más calor que los colores claros.
- Diferencia de temperaturas entre las caras.
  La transferencia de calor es el proceso de
  propagación de calor; a mayor diferencia
  de temperatura entre las caras de un
  material, mayor transferencia de calor. Si no
  existe diferencia de temperatura, no existirá
  transferencia de calor, ya que se tiene un
  equilibrio térmico entre las dos caras.
- Velocidad del aire circundante. El mucho o poco movimiento del aire circundante propiciará la mayor o menor transmisión de calor por movimiento de masa del fluido (aire). A mayor movimiento del aire, la transferencia de calor será más acelerada (Morillón, 2007).

### 3 | 1.2.1 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

La conductividad es la capacidad de un material de conducir calor a través de sus moléculas. Así, la conductividad térmica es la capacidad que tienen las moléculas de transferir energía (calor) cuando éstas están en contacto o cercanas unas de otras. El calor transferido por conducción siempre fluye en dirección de la materia más caliente hacia la materia menos caliente.

La conductividad térmica se mide en W/(m-K), equivalente a J/(m-s-K).

3 | 1.2.2 DENSIDAD

La densidad es la cantidad de masa contenida por un volumen dado; a mayor materia por volumen, mayor densidad. Por tanto, la densidad es la propiedad que nos permite medir la pesadez o ligereza de una sustancia, por lo que a mayor sea la densidad de un cuerpo, más pesado será.

La masa en el Sistema Métrico Decimal se mide en Kilogramos (kg) y el volumen en metros cúbicos  $(m^3)$ ; la densidad se mide en kilogramos por metro cubico  $(kg/m^3)$  con base en la relación entre la masa y el volumen dada por la ecuación 1.3.

$$d = \frac{m}{v} \tag{1.3}$$

Donde:

d es densidad,m es masa,v es volumen.

(Chávez, 2009) menciona que para los materiales de construcción, los valores de densidad pueden ser muy dispares, desde 3000 kg/m³ para algunas rocas compactas, hasta sólo 25 kg/m³ para los materiales aislantes. Este factor es determinante en la capacidad de almacenamiento y transferencia de calor de los materiales.

3 | 1.2.3 CAPACIDAD CALORÍFICA

La capacidad calorífica (J/°C) de un material es la capacidad que éste tiene de cambiar su temperatura en un grado por unidad de energía (Joule). La capacidad calorífica es la que le da al material su capacidad de almacenamiento térmico; a mayor capacidad calorífica, mayor capacidad de almacenamiento. Por tanto, esta propiedad térmica

tiene en los materiales de construcción una gran influencia en los procesos de transferencia de calor en un régimen transitorio, y en los procesos de la inercia térmica, el retardo y amortiguación de las ondas de calor. (Chávez, 2009) Dos cuerpos del mismo material, pero que contienen diferentes cantidades de masa, tienen diferentes capacidades caloríficas, por lo que se estableció el concepto de calor específico descrito a continuación.

3 | 1.2.4 CALOR ESPECÍFICO

El calor específico (J/kg K) es la capacidad calorífica de un material, pero por unidad de masa. Su magnitud suele oscilar entre la mayoría de los materiales de construcción con valores de 800 a 1200 J/kg K en los materiales pétreos y entre 900 y 1500 J/kg K en los materiales orgánicos, destaca como excepcionalmente alto el calor específico del agua con un valor de 4184 J/kg K. (Chávez, 2009) Un mayor calor específico implica una mayor masa y también una mayor capacidad de almacenamiento térmico. De aquí el concepto de masa térmica.

(Chávez, 2009) muestra una tabla con los valores de conductividad térmica, obtenidos por métodos experimentales, según la norma básica NBE-CT-79 sobre Condiciones Térmicas en los Edificios, del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (MOPU) en España.

En la Tabla 1 se presentan diversas propiedades físicas que incluyen algunas térmicas de diferentes materiales empleados en la construcción.

Cada material se calienta a diferentes velocidades y retienen el calor en función de sus propiedades y características, por lo que cada uno alcanzará una temperatura en diferentes tiempos y almacenando distintas cantidades de calor.

Material	Densidad Kg/m³	Calor Específico	Conductividad W/m°C	Capacidad Térmica	Difusividad mm²/s
		J/kg°C		MJ/m <sup>3</sup> °C	
Alfombras y moquetas	1000	1350	0.05	1.35	0.04
Caucho vulcanizado	1120	2000	0.15	2.24	0.07
(80% caucho)					
Tablero aglomerado de	650	1215	0.08	0.79	0.10
partículas					
Pintura bituminosa	1200	1460	0.20	1.75	0.11
Agua (sin convección)	1000	4184	0.60	4.18	0.14
Corcho expandido con	200	1460	0.05	0.29	0.16
resinas +/-50kg					
Madera conífera	600	1380	0.14	0.83	0.17
Tablero fibra madera	625	1340	0.16	0.84	0.19
normal					
Madera frondosa	800	1255	0.21	1.00	0.21
Cartón-yeso	900	920	0.18	0.83	0.22
Bloque hormigón ligero	1000	1050	0.33	1.05	0.31
macizo					
Poliuretano expandido	40	1590	0.02	0.06	0.36
Asfalto puro	2100	920	0.70	1.93	0.36
Ladrillo macizo	1800	1330	0.87	2.39	0.36
Fibrocemento P +/-	2000	1250	0.93	2.50	0.37
200kg					
Hormigón ligero	1000	1050	0.40	1.05	0.38
Bloque hormigón ligero	1400	1050	0.56	1.47	0.38
Guarnecido de yeso	800	920	0.30	0.74	0.41
Vidrio plano	2500	836	0.95	2.09	0.45
Fábrica ladrillo	1800	878	0.87	1.58	0.55
cerámico macizo					
Alicatado	2000	920	1.05	1.84	0.57
Adobe	1600	920	0.95	1.47	0.65
Hormigón armado	2400	1050	1.63	2.52	0.65
Mortero de cemento	2000	1050	1.40	2.10	0.67
Grava	1700	920	1.21	1.56	0.77
Terreno coherente	1800	1460	2.10	2.63	0.80
humedad natural					
Poliestireno	25	1590	0.03	0.04	0.83
Hormigón en masa	2400	805	1.63	1.93	0.84
vibrado					
Arena	1500	920	1.28	1.38	0.93
Mampostería granito	2800	920	2.50	2.58	0.97
Tierra vegetal	1800	920	1.80	1.66	1.09
Hielo 0°C	917	2035	2.25	1.87	1.21
Rocas compactas	2750	880	3.50	2.42	1.45
Acero y fundición	7600	502	54.00	3.82	14.15
Aluminio	2700	920	232.00	2.48	93.40

Tabla 1. Propiedades térmicas de diferentes materiales de construcción. Nota: Tabla extraída de la norma española NBE-CT-7 (como se citó en Chávez, 2009)

# 3 | 1.3 COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

# 3 | 1.3.1 DESEMPEÑO TÉRMICO DE EDIFICACIONES A TEMPERATURA CONSTANTE

3 | 1.3.2 DESEMPEÑO TÉRMICO DE EDIFICACIONES DEPENDIENTES DEL TIEMPO

Las edificaciones a temperatura constante son aquellos edificios que son controlados térmicamente por mecanismos de acondicionamiento (HVAC) en espacios interiores y no dependen de la temperatura del ambiente exterior. Los sistemas HVAC son un sistema de ventilación, calefacción y aire acondicionado (HVAC por sus siglas en ingles Heating, Ventilating and Air Conditioning); proporcionan acondicionamiento del aire en los espacios habitados u ocupados dentro un local.

Los sistemas HVAC tienen como finalidad proporcionar una corriente de aire, calefacción y enfriamiento adecuado en cada área, manteniendo de forma fiable los valores requeridos:

- Control de la temperatura
- Control de la humedad relativa
- · Control de las impurezas del aire
- Control del movimiento del aire
- Renovación del aire interior con aire nuevo exterior

Al utilizar este tipo de sistemas, se busca evitar las pérdidas energéticas obtenidas por los equipos de HVAC, por lo que las propiedades de conductividad de los materiales jugaran un papel importante para aislar térmicamente los espacios interiores. Para ello, existen distintos materiales aislantes (poco conductivos) que buscan la ganancia o el retardo del flujo de energía que calienta o enfría el ambiente interior; según como se mueva dicho flujo energético. Algunos ejemplos de materiales aislantes que se implementan dentro de la construcción son las espumas de poliestireno expandido, poliuretano proyectado, lanas minerales, espumas flexibles, vidrios aislantes, etc.

Las edificaciones dependientes del tiempo son aquellas donde no hay sistemas HVAC y que térmicamente pueden ser reguladas por medio de sistemas pasivos. Los sistemas pasivos se caracterizan porque permiten captar, acumular y ceder energía a través de ventanas, muros, cubiertas etc, sin la necesidad de dispositivos electromecánicos. Este tipo de sistemas a veces por su funcionalidad suelen ser llamados sistemas bioclimáticos, ya que aprovechan los recursos naturales disponibles (sol, viento, lluvia, etc.) para disminuir impactos ambientales y reducir consumos energéticos. En estos sistemas se utilizan mecanismos de transferencia de calor por convección, conducción y radiación (ver capítulo 3 | 1.2). Su capacidad para aislar ambientes interiores del exterior ayuda a evitar diferencias de temperatura, esto es posible básicamente porque acumulan el calor y luego lo ceden al ambiente interior, justo cuando las temperaturas bajan. Los materiales utilizados en este tipo de sistemas son los materiales con propiedades de masa térmica.

# 3 | 1.3.3 AISLAMIENTO TÉRMICO

El aislamiento térmico es la capacidad que tienen los materiales para resistirse al paso del calor en un cuerpo. Este se evalúa por la resistencia térmica que tienen estos materiales para evitar el flujo de calor a través del mismo. La medida de la resistencia térmica o la capacidad de aislar térmicamente se expresa en el sistema internacional de unidades en m².K/W (metro cuadrado y kelvin por vatio).

El valor de la resistencia térmica de un elemento puede determinarse dividiendo el espesor del material entre la conductividad térmica.(1.4)

$$R = \frac{L}{k} \tag{1.4}$$

Donde:

**L** es el espesor del material **(m)**, y **k** es la conductividad del material **(W/m.K)** 

Es de importancia no confundir inercia térmica y masa térmica con aislamiento. Los materiales que se utilizan para producir aislamiento, suelen tener una menor conductividad térmica que los utilizados para crear masas térmicas.

3 | 1.3.4 MASA TÉRMICA

Dentro de las estrategias de diseño pasivo, podemos encontrar el concepto de masa e inercia térmica, el cual consiste en la capacidad que tienen los materiales para absorber y almacenar energía térmica durante el día y cederla durante la noche. La masa térmica jugara un papel importante en climas donde las oscilaciones térmicas dependen del tiempo y llegan a ser considerables.

Este concepto de masa térmica tiene como objetivo mediar y administrar la energía térmica disponible, para mantener las condiciones de confort humano y por lo tanto obtener un ahorro energético al prescindir de sistemas mecánicos de climatización (Haglund y Rathmann, s.f.). Por lo tanto, los materiales ideales para construir con propiedades de masa térmica, son aquellos que tienen: alto calor específico, alta densidad y mediana conductividad térmica.

Haglund y Rathmann, (s.f.) describen que una masa térmica, existe un proceso de cuatro pasos, donde:

- El calor se irradia a la superficie de la masa por un objeto más cálido (el sol, personas, luces, equipos, etc.).
- El calor se conduce desde la superficie calentada al interior más frío de la masa.
- Cuando la superficie de la masa se calienta más que otros objetos en la habitación, esta les irradia calor.

• El calor del interior más cálido se conduce a la superficie más fría. Para que la masa sea efectiva, este proceso debe ocurrir en un marco de tiempo que se aproxime al ciclo térmico del edificio.

Al implementarse un sistema constructivo con materiales con masa térmica se dan los efectos de almacenamiento térmico, amortiguamiento térmico, y retardamiento térmico descritos a continuación.

3 | 1.3.4.1 ALMACENAMIENTO TÉRMICO

Existen diferentes materiales y estrategias pasivas con capacidades de inercia térmica para un control térmico natural de espacios habitables. Algunos problemas de almacenamiento térmico son el volumen o la cantidad de masa que se requiere para almacenar energía, y las perdidas energéticas que se producen relacionadas a las variaciones de temperatura de la masa acumuladora (Oliver et al. 2012).

El almacenamiento de energía térmica se da cuando un material absorbe energía térmica y la retiene; esta energía puede ser sensible o latente. Existen otras dos formas de almacenamiento térmico que se han utilizado en las ultimas décadas: por calor latente y reacción termoquímica.

Hauer (como se citó en Oliver et al., 2012) describe que las reacciones termoquímicas tienen una gran capacidad de almacenamiento térmico de hasta 350 KWh/m³), dependiendo de la reacción, ya que para esto se necesitan altas temperaturas (130 °C aproximadamente), por lo que no se aplican con estrategias de acondicionamiento pasivo.

3 | 1.3.4.2 RETARDAMIENTO Y AMORTIGUAMIENTO TÉRMICO

Las variaciones de temperatura en un ciclo repetitivo de 24 horas se reflejan en un aumento y descenso de temperatura,

ocasionando la transmisión periódica de calor.

(Fuentes, s.f.) menciona que los flujos de calor en un material pueden variar constantemente, según la segunda ley de la termodinámica las temperaturas interiores y exteriores tienden a equilibrarse. Siempre existirá un flujo de calor mientras existan diferencias de temperatura. El paso de la energía en un material no es instantáneo, ya que dependiendo las características del material la conducción de calor de un lado a otro se conseguirá en cierto tiempo. Si se representa en una gráfica las temperaturas exteriores e interiores durante un ciclo térmico de 24 hrs (un día), se obtendrán dos curvas sinusoidales similares, pero con crestas desfasadas y amplitudes diferentes (ver Fig.3)

relación entre las dos amplitudes se llama amortiguación. Se dice que un material tiene más o menos inercia térmica cuanto mayores o menores son su retardo y amortiguación (Fuentes, s.f.).

Cabe mencionar que para que el efecto de amortiguamiento y retardamiento térmico sea óptimo, la oscilación en temperaturas máximas y mínimas durante el día debe de ser de alrededor de 10°C.

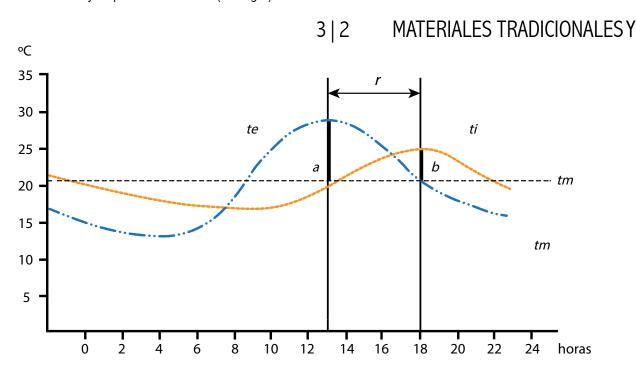


Fig. 3. Gráfica de la obtención de las curvas sinusoidales de las temperaturas interior y exterior en un ciclo térmico de 24 hr.

#### Dónde:

r es el retardamiento térmico

a/b es la amortiguamiento térmico

te es la temperatura exterior

*ti* es la temperatura interior, y

**tm** es la temperatura media.

El desfase horario entre los dos máximos o los dos mínimos es conocido como retardamiento térmico, mientras que la

# CONTEMPORÁNEOS CON PROPIEDADES DE MASA TÉRMICA

Al hablar de construcciones con propiedades de inercia térmica y que sean térmicamente eficientes, el concepto de arquitectura vernácula (o arquitectura tradicional) adquiere una especial importancia. En ella, también es importante su ubicación geográfica, tratando de mantener cierta unidad con el entorno debido a que los materiales utilizados en este tipo de arquitectura son productos que les es proporcionado por su medio físico.

Dentro de algunas de las características que presenta la arquitectura tradicional, bajo el punto de vista de su análisis térmico, encontramos su masividad. Ésta, permite el control de la inercia térmica con el objeto de alcanzar el punto óptimo de las sensaciones térmicas de comodidad, teniendo cuidado con el manejo de los aspectos microclimáticos (humedad, radiación, ventilación, temperatura del aire, vegetación, etc.) que se derivan del entorno natural y el tipo de materiales que se utilizan y la calidad que estos tienen(Hernandez,1996).

A continuación se describen algunos de los materiales tradicionales más utilizados en México con propiedades de inercia térmica.

3 | 2.1 ADOBE

Dentro de la arquitectura tradicional o vernácula, el uso de la técnica constructiva con tierra ha sido la predilecta en la gran parte de las culturas en el mundo, así como en diferentes regiones de México. El adobe, ha sido uno de los sistemas constructivos de tierra más utilizado en la arquitectura tradicional debido a su buen comportamiento térmico y su economía.

El adobe como técnica consiste en la fabricación de bloques con tierra con un molde de diferentes dimensiones (ver Fig. 4). Normalmente el adobe está compuesto por arcillas y paja al que se le agrega agua para hacer un barro moldeable. Los bloques son secados al sol sin utilizar otro tipo de energía. Puede llevar hasta cuatro semanas para ser utilizados en la construcción (Dìaz, 2016). Este tipo

de sistema constructivo de adobe puede ser dispuesto de la misma forma que los ladrillos convencionales donde se utiliza arcilla o cal y arena para unirlos.



Fig. 4. Muro con bloques de adobe reforzado con tabla

Las casas construidas en adobe, durante el verano suelen tener un ambiente fresco en su interior y durante el invierno, un ambiente cálido, manteniendo durante el año un agradable bienestar térmico. Chavez (2009) realizó mediciones de materiales de construcción nacionales, en el cual obtuvo que el adobe presenta una conductividad térmica de 0.573 W/m °C, una densidad de 1309.09 Kg/m³ y un calor especifico de 1149.94 J/Kq °C.

3 | 2.2 TAPIAL

El tapial al igual que el adobe, es un sistema constructivo con tierra, el cual consiste en la construcción de bloques seccionales de muros, donde la tierra húmeda es compactada dentro de una cimbra o encofrado (ver Fig.5). Regularmente las dimensiones del molde se construyen de 1.5 m de largo por 1 m de alto y 0.5 m de espesor. Los materiales del tapial se componen principalmente por tierra en el cual se evita

que contenga piedras pequeñas y materia orgánica, que al pudrirse pueda generar cavidades y deformaciones en el interior del producto. Pueden emplearse estabilizadores como la paja o la cal (Díaz, 2016).

El muro de un tapial tiene un comportamiento frente a la humedad del aire interior basado en la absortividad y la transpirabilidad del muro, adaptado a los climas cálidos secos. El tapial al estar compuesto por tierra, tiene la capacidad de absorber el vapor de agua del aire interior del edificio y cederlo en función de las necesidades de humedad interiores, por lo que el aire interior se mantiene con un nivel constante y óptimo de humedad (la tierra absorbe los excesos y regula los defectos) (Castellarnau, 2012).

Las propiedades de inercia térmica de un muro de tierra como el del tapial, permite regular las pérdidas y ganancias de temperatura al interior del espacio respecto al exterior del edificio.



Fig. 5. Escuela de Artes Plásticas de Oaxaca/Taller de Arquitectura Mauricio Rocha, muros a base de tapial.

A comparación del adobe o el tapial, el sistema constructivo bahareque, es un sistema heterogéneo compuesto por carrizos y tierra. Este, se compone de un bastidor donde se dispone de forma trenzada: carrizos, cañas o varas flexibles, para crear paneles que funcionan como cerramientos. A este, se le recubre de un lodo de arcilla que a veces es mezclado con paja en capas de 3 a 6 cm de espesor, ya sea en una o ambas caras (ver Fig. 6)

Las construcciones en bahareque permiten mantener un control térmico, debido a que los muros durante el día permiten resguardar el ambiente interior del calor y durante la noche, de las temperaturas exteriores. Cuitiño et. al. (2015) mencionan que no se cuentan con valores de transmitancia térmica en muros de bahareque, lo cual no ha permitido un conocimiento preciso para poder realizar un balance térmico. Esto debido a que al ser un sistema heterogéneo, no es posible determinar adecuadamente la conductividad térmica a partir de los materiales que componen al sistema. Es por ello que (Cuitiño et. al.2015) analizaron la transmitancia térmica de un panel de bahareque de 0.10 m de espesor obteniendo un valor de transmitancia térmica de 2.64 W/m2K.



Fig. 6. Construcción de muro de Behareque

## CONCRETO 3|3

El concreto desde principios del siglo XX hasta el día de hoy, es uno de los materiales más importantes y utilizados en la industria de la construcción a nivel mundial. Esto debido, a sus grandes ventajas de durabilidad, tiempos de construcción y facilidad para lograr diversas estructuras y formas al reforzarse con acero.

Este sistema constructivo se compone principalmente de cemento, grava y arena, que al tener proporciones adecuadas con agua, se obtiene una mezcla uniforme al que le llamamos concreto. Como se mencionó anteriormente, este material al reforzarse con acero, se caracteriza por su capacidad resistente a la compresión ofreciéndonos diferentes aplicaciones estructurales tanto en muros, techos, pisos y cimentación.

El concreto además de poseer buenas propiedades estructurales, tiene buenas propiedades de inercia térmica. Cuando al exterior de un edificio de concreto hay una elevada temperatura, la temperatura de la cara exterior del concreto se eleva produciendo una transferencia de calor hacia el interior del edificio. El cambio de temperatura en la cara exterior presenta un máximo (máxima amplitud) en un momento específico del día. Esta onda de temperatura es amortiguada al atravesar la fachada, produciendo un desfase al momento que se produce la temperatura máxima. Cemex (como se citó en Morillón, 2007) presenta para un muro de concreto de 10 cm de espesor, una conductividad térmica de 1.5 W/m°C y para un muro de concreto celular una conductividad de 0.5 a 0.8 W/m°C.

# 3 | 3 ESTRATEGIAS PASIVAS DE ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO CON BASE EN LA INERCIA TÉRMICA

Dentro de la arquitectura sustentable es común la implementación de sistemas pasivos, los cuales utilizan a su favor los recursos renovables y las variables del diseño arquitectónico como la orientación del edificio, la envolvente, y los materiales de construcción con propiedades de inercia térmica, aprovechando la radiación solar, el viento, etc. Esto, con la finalidad de proveer un acondicionamiento dentro de los edificios para reducir el consumo de energía por el uso de sistemas mecánicos de acondicionamiento.

## 3 | 3.1

#### MURO TROMBE

El muro trombe es un sistema pasivo que trabaja de manera indirecta absorbiendo la energía solar, para el calentamiento interior de las viviendas. Este sistema pasivo trabaja con los tres tipos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación.

Se le denomina como un sistema pasivo indirecto debido a que la captación de energía solar la realiza un elemento dispuesto entre el cristal y el interior de la vivienda, y pasivo por que no se utilizan sistemas mecánicos de climatización. Al ser el muro trombe un acumulador de calor, este debe estar orientado a la fachada sur y obtener una mayor acumulación de calor y estar compuesto con materiales que tengan buenas propiedades de inercia térmica.

El muro trombe capta y absorbe la radiación solar por su cara exterior y transfiere el calor por medio del muro por conducción. El muro puede o no tener orificios de ventilación, los cuales comunican el espacio interior de la vivienda con el ambiente exterior, para distribuir el calor a partir del movimiento convectivo. Normalmente el muro de este sistema llega a tener espesores de 20 a 40 cm, al que se dispone un vidrio simple o doble (dependiendo el grado de aislamiento para obtener mejores temperaturas) a una distancia de entre 20 y 150 cm del muro, para obtener una cámara de aire. En el día, la radiación del sol atraviesa el vidrio calentando la superficie del muro y almacenando el calor en su masa térmica. Durante la noche, el calor se escapa del muro tendiendo a enfriarse principalmente hacia el exterior, pero al contar con una lámina de vidrio (es semiopaca a la radiación infrarroja) el calor es cedido al interior del local (Puertas, 2011) ver Fig. 7.

casi toda la radiación visible y emitirá muy poca radiación en el rango infrarrojo del espectro (Ver Fig. 8). Esta, al tener una mayor absortancia transforma la luz en calor en la superficie del muro y la baja emisividad evita que el calor se disipe a través del vidrio.

El muro trombe también se le suelen agregar otros elementos constructivos como voladizos o persianas, para controlar la radiación solar en los meses mas cálidos y evitar que haya una mayor acumulación de calor en los muros.

# Funcionamiento en verano Funcionamiento en invierno Día Noche

Fig. 7. Funcionamiento del muro trombe en verano e invierno

Puertas (2011) describe que para tener un mayor desempeño del sistema, se puede proporcionar una superficie selectiva para reducir la energía infrarroja que es irradiada hacia el exterior. Por ello propone una chapa de metal pintada de negro pegada al muro, la cual absorbe

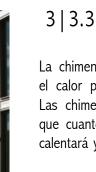


Fig. 8. Muro trombe con chapa de metal pintada en negro. Solar House/ Jaques Michael & Félix Trombe.

# 3 | 3.2 INVERNADERO ADOSADO

Este tipo de sistemas son una combinación de la ganancia de calor directa y la pared de almacenamiento de calor vistos anteriormente, dado que está compuesto por un invernadero acristalado con orientación sur, y una pared de gran masa térmica entre el invernadero y los locales. La energía que es captada por el invernadero se acumula en la pared y posteriormente es emitida al interior de la vivienda y al mismo invernadero.

El invernadero adosado es un espacio acristalado donde su cobertura es diferente a la del resto del edificio, con otro material, opaco, translucido o transparente. Este tipo de sistemas también se han considerado como galerías acristaladas para un espacio dentro de un edificio, teniendo características de ser espacios transitables que en ocasiones puedan ser estanciales (Ver Fig.9).



#### CHIMENEA SOLAR

Fig. 9. Invernadero adosado en espacios transitables. Universidad de los Andes, Colombia.

El invernadero adosado es una solución pasiva que aprovecha la radiación solar, captándola en los materiales utilizados y utilizando a su favor el efecto invernadero. Este fenómeno, básicamente consiste en el calentamiento de los vidrios por el sol, emitiendo radiaciones en todas las longitudes de onda. La mayor parte de la radiación que pasa por el invernadero se encuentra dentro del rango de luz visible. La otra parte de energía proporcionada por el sol es absorbida por los materiales, liberando posteriormente radiación infrarroja. Esta radiación cuenta con una longitud de onda mas grande que, al no pasar a través del cristal, esta se queda eventualmente atrapada en el espacio aumentando su temperatura (EREN, 2015).

Si hay transmisión de calor por convección, es conveniente que haya aberturas estratégicamente colocadas para permitir el movimiento convectivo del aire. Es recomendable en este sistema colocar huecos en la parte superior de las paredes de manera que el aire caliente pase a los espacios habitables y otros situados en la parte inferior para que el aire frío de los mismos circule hacia el invernadero.

La chimenea solar es una estrategia pasiva que utiliza el calor para aumentar la convección natural del aire. Las chimeneas tienen la capacidad de autobalance, ya que cuanto más cálido sea el día, la chimenea más se calentará y generará un movimiento mas rápido del aire.

Las chimeneas se componen por un elemento captador de vidrio y/o metal pintado de negro mate, y acompañada de una masa térmica que almacene el calor ya sea en muros o techos. Por lo general, la chimenea sobresale por encima de la techumbre para una mayor exposición a la radiación solar. Al calentarse los elementos de la chimenea, el calor es emitido por medio de sus superficies, calentando el aire interior dentro de la chimenea. El aire se desfoga al exterior generando en el interior del espacio, corrientes de aire por el efecto convectivo entre las diferencias de temperatura entre masas de aire (Pérez et al. 2013).

Por lo tanto, este sistema aprovecha la ventilación natural por medio de diferencias de temperatura, logrando controlar las temperaturas interiores y evitando el consumo energético de sistemas mecánicos.

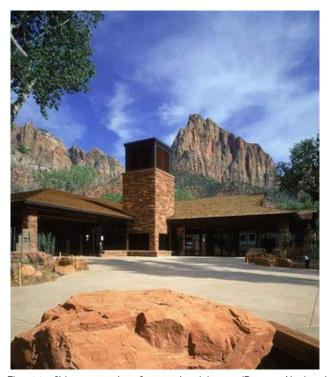


Fig. 10. Chimenea solar. Centro de visitantes/Parque Nacional Zion

Para esta tesis, se les denominara a los Materiales Cambio de Fase (MCF) como PCM (Phase Change Material), ya que esta es la forma más común de referirse a este tipo de materiales internacionalmente. Actualmente, los PCM son una de las formas más eficientes para el almacenamiento térmico dentro de la industria de la construcción.

Un material de cambio de fase es aquel que tiene un cambio de estado (sólido-líquido-gaseoso) a una temperatura cercana a la del ambiente; siendo el proceso sólido- líquido el de mayor aplicación en revestimientos dentro de la construcción. Por ejemplo, cuando un sólido se calienta, las partículas ganan energía cinética. Cuando las partículas ganan suficiente energía para superar las atracciones que las mantienen en una estructura sólida, la sustancia comienza a derretirse como respuesta a la ruptura de los enlaces entre las moléculas (Kosny, 2015).

Los PCM al cambiar de estado, almacenan o liberan energía en forma de calor latente. El atractivo de este tipo de materiales es que, al alcanzar su cambio de estado, éstos mantienen una temperatura constante mientras el material sigue absorbiendo energía. Por lo tanto este tipo de materiales, debido a sus propiedades físicas y químicas permiten tener una mayor densidad energética que cualquier otro material de uso convencional (Oliver, 2009).

En los PCM, el almacenamiento de calor latente se puede lograr a través de un cambio de estado sólido (más denso)-sólido (menos denso), sólido-líquido, sólido-gas y liquidogas (Kosny, 2015). Como se dijo anteriormente, el cambio de fase con mayor implementación en la construcción, es en el proceso de cambio sólido-líquido, al no tener el material una gran variación de volumen y tener puntos de fusión más cercanos a los rangos de temperatura de confort humano.

Existen diferentes tipos de PCM, y se dividen según su clasificación en (ver Fig. 11): Compuestos orgánicos, compuestos inorgánicos y eutécticos. Cada uno de estos PCM se pueden clasificar en subgrupos:

- PCM orgánicos: Parafinas y ácidos grasos
- PCM inorgánicos: Sales hidratadas y metales
- PCM eutécticos: Mezclas de dos o más PCM (orgánicos e inorgánicos)

Los distintos grupos de PCM tienen diferentes rangos de temperatura de fusión, importante para su consideración al momento de elegir un material (Ver Fig. 12)

La gran mayoría de los PCM para la aplicación en elementos

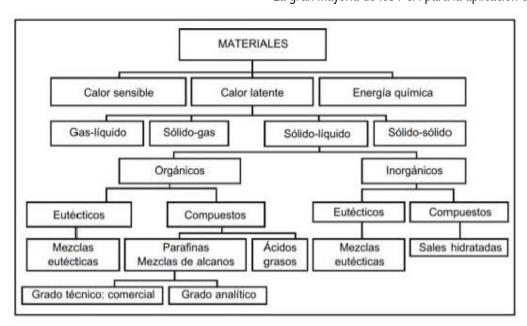


Fig. 11. Clasificación de los distintos Materiales Cambio de Fase.

de construcción tienen un rango de temperatura de fusión entre 20 y 70° C. En las aplicaciones de construcción internas y de envolvente, la temperatura de fusión del PCM debe estar dentro del rango del confort humano de 20-30 °C y hasta una temperatura de 70 °C si es que se utiliza en las superficies de techo (Kosny, 2015).

La mayoría de los PCM utilizados en sólido-líquido, tanto orgánicos como inorgánicos, absorben calor latente en cantidades de entre 100 y 250 kJ/kg. Por lo general, los compuestos inorgánicos tienen una mayor capacidad de absorción/almacenamiento de calor latente que los compuestos orgánicos (Kosny, 2015) .

3 | 4.1.1 PCM ORGÁNICOS

Dentro de los PCM, los orgánicos son el tipo de materiales más utilizados en elementos constructivos para almacenamiento de calor, especialmente en revestimientos por su facilidad de encapsulación. Estos incluyen las familias de las parafinas (alcanos) y las no parafinas (ácidos grasos) los

cuales tienen características físicas similares, presentando superficies blancas con apariencia suave y cerosa (Ver Fig. 13) son física y químicamente más estables, no sufren subenfriamiento, por lo que mantienen su rendimiento de fundirse y solidificarse a lo largo de varios ciclos térmicos sin segregación de fases en el material. Otra ventaja de los materiales orgánicos es que no son corrosivos, ni tóxicos.

Los materiales orgánicos absorben ó liberan grandes cantidades de calor latente, lo que les permite almacenar una gran cantidad de energía en una masa más pequeña.

Las parafinas comunes cambian de estado con cantidades de calor latente en el intervalo de 200-250 kJ/kg y los ácidos grasos en un intervalo de 100-200 kJ/kg (Fleischer, 2015).

Las desventajas de este tipo de materiales es que tienen un mayor costo que los materiales inorgánicos y son inflamables por su naturaleza compuesta por hidrocarburos. (Kosny, 2015).

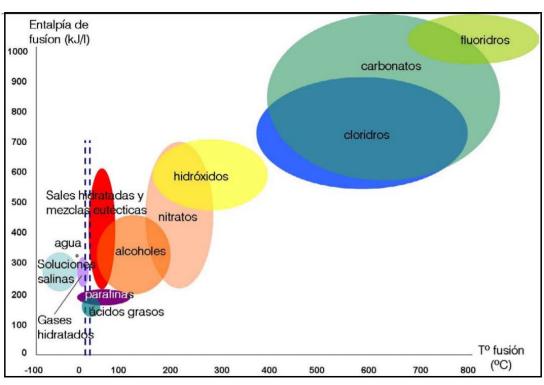


Fig. 12. Relación entre la temperatura y el calor de los diferentes tipos de PCM.



Fig. 13. Diferentes PCM's orgánicos (Parafinas) / Rubitherm

3 | 4.1.1.1 PARAFINAS

Una gran parte de las parafinas que se encuentran en el mercado en la actualidad, son a base de petróleo en cadenas lineales de hidrocarburos de n-alcano (CH<sub>3</sub>-(CH<sub>2</sub>)-CH<sub>3</sub>). En química orgánica, las parafinas es el nombre

común de los hidrocarburos de alcano de la fórmula general  $C_nH_{2n+2}$ . El potencial que tienen las parafinas para el almacenamiento térmico se debe a que cuando se rompen los enlaces de la cadena ( $CH_3$ ), se libera una gran cantidad de calor latente durante el proceso de cambio de fase (Kosny, 2015) (Fleischer, 2015)(Sharma et al. 2009).

Fig. 14. Composición química de las parafinas. Estructura química extraida de Mehling, H. & Cabeza, L. 2008 (como se citó en Belaunzaran, 2015).

El punto de fusión de los alcanos se eleva al incrementar el número de átomos de carbono, ya que al aumentar los carbonos mayor número de enlaces que romper, y por lo tanto, mayor energía se requiere. Los alcanos que poseen entre 14 y 33 átomos de carbono, tienen puntos de fusión entre 6 y 71 °C (Ver Tabla. 2) los cuales se encuentran dentro del rango de temperatura ideal para su implementación para los sobres de encapsulación en la envolvente de la construcción (Kosny, 2015).

Nombre	Número de carbones	Símbolo Químico	Punto de fusión °C	Calor de fusión Kj/kg
n-Tetradecano	C(14)	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	6	228
n-Pentadecane	C(15)	$C_{14}H_{30}$	10	205
n-Hexadecano	C(16)	$C_{14}H_{30}$	18	237
n-Heptadecano	C(17)	$C_{14}H_{30}$	22	213
n-Octadecano	C(18)	$C_{14}H_{30}$	28	244
n-Nonadecano	C(19)	$C_{14}H_{30}$	32	222
n-Eicosano	C(20)	$C_{14}H_{30}$	37	246
n-Henicoseno	C(21)	$C_{14}H_{30}$	40.5	200
n-Docaseno	C(22)	$C_{14}H_{30}$	44.5	249
n-Tricoseno	C(23)	$C_{14}H_{30}$	47.5	232
n-Tetracoseno	C(24)	$C_{14}H_{30}$	52	255
n-Pentacoseno	C(25)	$C_{14}H_{30}$	54	238

Tabla 2. Propiedades térmicas básicas de parafinas

Sharma et al. (2009) describe que dependiendo de la pureza química del material, el calor latente de transición de fase puede variar para estos compuestos entre 150 y 270 kJ / kg.

Como resumen, las parafinas poseen varias características útiles, que son favorables para su aplicación las cuales incluyen una estabilidad química, durabilidad a largo plazo, buenas propiedades de nucleación y un punto fusión congruente. Pero también muestran propiedades indeseables como baja conductividad térmica, inflamabilidad que en la combustión de los productos llegan a ser altamente tóxicos (estos pueden ser parcialmente eliminados mediante la adición de aditivos de alta conductividad o retardantes de fuego) y un mayor costo (como la mayoría de las parafinas son a base de hidrocarburos, el precio depende en gran medida de las oscilaciones del mercado mundial de petróleo).

Los ácidos grasos son de gran interés al ser derivados de productos vegetales y animales, los cuales provienen de fuentes renovables. Belaunzarán (2015) menciona que dentro del grupo de los ácidos grasos existen seis grupos que se dividen en: capríilicos, cápricos, láuricos, mirísticos, palmíticos y esteáricos con 8 a 18 átomos de carbono por molécula.

Los ácidos grasos están dados por la formula química  $CH_3(CH_2)$  COOH (Ver Fig. 15). Estos muestran buen comportamiento de fusión y solidificación y no presentan problemas de subenfriamiento (Sharma, et al., 2009).

Fig. 15. Composición química de las no parafinas. Estructura química extraida de Mehling, H. & Cabeza, L. 2008 (como se citó en Belaunzaran, 2015).

Kosny (2015) describe que en la combinación de ácidos grasos con alcohol se producen ésteres de ácidos grasos. Cuando el componente del alcohol es glicerol, los esteres de ácidos grasos que se producen pueden ser monoglicéridos,

diglicéridos o triglicéridos, los cuales son componentes de las grasas y aceites vegetales llegando a ser menos inflamables que las parafinas, siendo más atractivos para su aplicación en envolventes. Por ello, los esteres de ácidos grasos muestran la propiedad de someterse y permanecer estables muchos ciclos cambiando de fase durante varios años sin sufrir oxidación, debido a se encuentran completamente hidrogenados (Kosny, 2015).

Según Sharma et al. (2009) los ácidos grasos a comparación de las parafinas, tienen valores un poco mas altos de fusión , ademas de tener un costo de 2 a 2.5 veces más caros que las parafinas.

En general, los ácidos grasos poseen diversas propiedades en cuanto a los PCM inorgánicos, ya que estos tienen una buena estabilidad química para solidificar, no son tóxicos y tienen puntos de fusión adecuados para su utilización en envolventes. Además, al ser de base biológica son degradables por la fuente que provienen.

### 3 | 4.1.2 PCM INORGÁNICOS

Los PCM inorgánicos fueron uno de los primeros materiales en estudiarse e implementarse para almacenamiento térmico.. Dichos compuestos se conforman por sales, hidratos de sales y metales (la mayoría de los metales tienen altas temperaturas de fusión alejándose de los rangos de confort humano para su aplicación en la edificación) y aleaciones.

El interés de este tipo de materiales es que son baratos, no son inflamables y tienen una buena conductividad térmica, además demuestran una alta densidad de almacenamiento de calor por unidad de volumen que los materiales orgánicos (Oliver et al., 2012). Una de las desventajas de este tipo de materiales es que son corrosivos a los metales, además de sufrir subenfriamiento y descomposición de fase.

#### 3 | 4.1.2.1 SALES HIDRATADAS

Dentro de la familia de los PCM inorgánicos se incluyen las sales y los hidratos de sal. Los hidratos de sal son la combinación de sales inorgánicas (óxidos, carbonatos, sulfatos, nitratos y haluros) con una proporción específica de moléculas de agua, generándose un sólido cristalino (Fleischer, 2015) Ver Fig.16.



Fig. 16. Ejemplo de sal hidratada durante la solidificación.

Dentro de un gran número de sales hidratadas, el proceso de transición de fase que se produce en la fusión y en las temperaturas de solidificación implica la hidratación y la deshidratación del material. Los hidratos de sal se nombran usando el nombre del compuesto de sal \*n H<sub>2</sub>O.

Las sales hidratadas presentan una estructura tridimensional que es lo suficientemente abierta para permitir que las moléculas de agua quepan dentro de la red cristalina. En su libro, Fleischer (2015) expone dos ejemplos de la estructura cristalina del cloruro de calcio y el cloruro de sodio (Ver Fig. 17). En ellos se observa que la estructura del cloruro de calcio muestra una estructura más abierta, por lo que absorbe una mayor cantidad de moléculas de agua a comparación de la estructura del cloruro de sodio que es más cerrada.

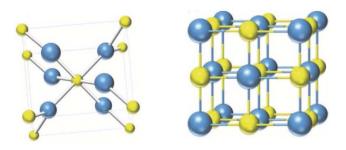


Fig. 17. Estructura Cloruro de calcio (Izquierda) y Cloruro de sodio (Derecha)

Por lo general en las sales hidratadas existe una amplia gama de temperaturas de transición de fase, además de poseer mayores densidades de almacenamiento de calor que los PCM orgánicos, una mayor conductividad térmica, un costo más bajo y no son inflamables. Una desventaja en este tipo PCM inorgánicos es que son corrosivos a los metales y sufren de subenfriamiento y segregación de fases.

Algunas veces la cantidad de agua que se libera durante el proceso de fusión no es capaz de disolver la estructura cristalina del PCM. A la vez, las diferencias de densidades entre el material sólido y líquido, combinado con las fuerzas de gravedad, es significativa al dar como resultado una sal menos hidratada que se desagrega y se asienta en el fondo del contenedor (Kosny, 2015). Es por ello que en este tipo de compuestos se ha estudiado para implementar la introducción de un núcleo cristalino en el PCM para provocar la cristalización espontánea del material y así eliminar el subenfriamiento y la segregación de fases evitando un mal rendimiento del PCM.

# 3 | 4.1.3 PCM EUTÉCTICOS

Los materiales eutécticos son mezclas de dos o más componentes químicos, ya sea de PCM inorgánicos y orgánicos (Ver Tabla 3). Estos al constituirse como una mezcla, toman una sola temperatura de fusión que siempre es más baja que sus temperaturas como compuestos individuales. Dentro de los PCM eutécticos destaca la propiedad para fundir y congelar congruentemente, formando una mezcla de cristales durante el proceso de solidificación.

En los PCM eutécticos, Kosny (2015) describe que se busca una serie de requisitos de desempeño fundamentales, como que sea una solución estable sin sufrir separación o degradación a largo plazo, un subenfriamiento mínimo y temperaturas de congelación y fusión estrechas para todos los componentes de composición eutéctica (Kosny, 2015). Las principales ventajas sobre las parafinas y los hidratos de sales son la entalpía de cambio de fase relativamente alta, la durabilidad a largo plazo y la capacidad para la impregnación fácil de materiales porosos.

Formula Química	Proporciones %	Punto de Fusión °C	Calor de fusión Kj/kg
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -NaCl-NH <sub>4</sub> Cl-H <sub>2</sub> O	32-14-12- 42	11	na
$C_5H_5C_5H_5-(C_6H_5)_2O$	26.5-73.5	12	141
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -NaCl-H <sub>2</sub> O	37-17-46	18	na
CaCl <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O-NH4NO <sub>3</sub> -NH <sub>4</sub> Br	96-2-2	20	138
CaCl <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O-KNO <sub>3</sub> -KBr	93-5-2	23	125
CaCl <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O-Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O-Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O	66.6-33.3	24	127
CaCl <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O-MgCl <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O	66.6-33.3	25	188
CaCl <sub>2</sub> - NaCl-KCl-H <sub>2</sub> O	48-4.3-0.4- 47.3	26.8	136
Ca(NO) <sub>3</sub> -4H <sub>2</sub> O-Mg (NO) <sub>3</sub> -6H <sub>2</sub> O	47-53	30	249

Tabla 3. Caracteristicas de Materiales Cambio de Fase eutecticos.

# 3 | 4.2 MÉTODOS DE INCORPORACIÓN DE PCM

Debido a que los PCM se encuentran en estado sólidolíquido es necesariocontenerlos, ya que en su estado líquido son móviles, lo cual puede causar escurrimientos y decoloraciones superficiales o afectar con el tiempo su rendimiento por una pérdida del volumen de PCM que actúa en el sistema.

La incorporación y ubicación de los PCM en los edificios tanto en envolventes o espacios interiores, comprende un gran reto para el buen funcionamiento y rendimiento del material. Por ello es importante tomar en cuenta en el diseño los requisitos estructurales, la estética, las normas de construcción, la seguridad y durabilidad a largo plazo.

Existen diversos métodos de incorporación de los PCM, por lo que a continuación se presentan los métodos más eficientes estudiados en la literatura.

## 3 | 4.2.1 INCORPORACIÓN DIRECTA

Según Belaunzarán (2015) en el método de incorporación directa, el PCM es aplicado en forma de polvo o en líquido

directamente con los materiales de construcción, como por ejemplo el concreto, yeso, morteros, etc. Esta forma de incorporación puede llegar a tener algunos problemas como el derrame e incompatibilidad con los materiales.

Oliver et al. (2012) menciona que en los compuestos hidratados de cemento, concreto o yeso, es posible mezclar directamente ceras de parafina. La resistencia de los materiales antes mencionados, como por ejemplo en una placa de yeso, no disminuye de forma considerable si contiene menos de 10-20% por el peso del PCM.

### 3 | 4.2.2 INMERSIÓN

El método de inmersión consiste en sumergir materiales de construcción porosos (ladrillos, bloques de concreto o placas de yeso) en el PCM completamente derretido, absorbiendo y rellenando sus poros por capilaridad, para que posteriormente al enfriarse, el PCM se mantenga en los poros. Una ventaja de este método es que puede emplearse en cualquier lugar y aplicarse en cualquier momento (Oliver et al. 2012).

(Hawes et al. 1992) estudiaron el comportamiento térmico de varios PCM orgánicos (como estearato de butilo, dodecanol, tetradecanol y parafinas), en distintos productos de mampostería de concreto. Sin embargo, se encontró que en el método de inmersión para la introducción del PCM en productos de mampostería llegan a tener inconvenientes con la interacción con la estructura del edificio y cambiar la matriz del material, además de provocar fugas durante su vida útil (Schossig et al. 2005).

### 3 | 4.2.3 ENCAPSULADO

Existen diferentes formas de implementar los PCM, de modo que la aplicación de encapsulación del material debe permitir que en el cambio de fase, durante el estado liquido, este permanezca contenido y no contamine el sistema. La encapsulación tiene como objetivo mejorar los proble-

La encapsulación tiene como objetivo mejorar los problemas de transmisión térmica en el medio de almacenamiento, proteger al PCM de la interacción con el medio ambiente así como la compatibilidad con el contenedor para evitar la disminución del rendimiento del sistema.

Existen dos formas en las pueden ser contenidos los PCM: de forma macro encapsulado o micro encapsulado.

La macro encapsulación es la implementación del PCM en un contenedor, tales como tubos, esferas, bolsas o sobres y paneles que pueden incorporarse en materiales de construcción como prefabricados o servir como intercambiadores de calor. En la macro encapsulación, el material del contenedor normalmente se compone de un polímero o metal y por lo general el tamaño de las capsulas varían de 1 a 10 cm (Ver Fig. 18).

(Wei et al. 2005) realizaron el estudio de 4 tipos de capsulas tales como: esfera, cilindro, placa y tubo, siendo el acero inoxidable el material de estas. Determinaron que desde el punto de vista de transferencia de calor, la capsula esférica mostró un mejor rendimiento térmico, seguido de el encapsulado cilíndrico, placa y tubo.



Fig. 18. PCM macro encapsulado en cápsulas esféricas de acero inoxidable.

Gran parte de los PCM presentan una baja conductividad térmica, por lo que llega a ser una desventaja en la macro encapsulación la tendencia a solidificarse o derretirse en sus bordes, llevando a una absorción y liberación de energía mas lenta, que puede llegar a evitar que el sistema se descargue completamente durante la noche. Ademas, la implementación de macro capsulas implica la protección contra perforaciones, lo que puede dificultar la integración del sistema en la estructura del edificio y elevar su costo (Schossig et al. 2005).

### 3 | 4.2.3.2

MICRO ENCAPSULADO

A partir de un proceso físico o químico, se lleva a cabo el

micro encapsulado, el cual consiste en envolver el PCM en una capa microscópica de un polímero, logrando micro capsulas de 1 a 1000 µm de diámetro (Ver Fig.19). Para la micro encapsulación por proceso físico se utiliza la técnica de centrifugado o la pulverización. Por proceso químico, se utilizan técnicas como polimerización interfacial, polimerización en suspensión y polimerización en emulsión. Estas tres ultimas técnicas por proceso químico, se basan en la creación de un revestimiento polimérico delgado y flexible en la superficie de una perla de liquido de PCM (Fleischer, 2015).

Debido a que el tamaño de las micro capsulas se producen en forma de polvo y pueden dispersarse en un liquido, la micro encapsulación tiene ciertas ventajas como su inclusión directamente en materiales de construcción (concreto, paneles de yeso, etc), sin riesgos de fugas. Ademas, presentan una baja reactividad con los materiales circundantes, una mayor superficie de intercambio de calor lo cual proporciona una mayor transferencia de calor (Kalnæs y Jelle, 2015) y no requieren protección adicional contra la destrucción (Schossig et al. 2005). Sin embargo, puede afectar la resistencia estructural del material. (Oliver et al. 2012).

(Kuznik et al. 2011) describen tres características importantes para apreciar la calidad del polvo de PCM micro encapsulado: su diámetro medio, el espesor del la capa y el porcentaje del PCM en comparación con la masa total de la cápsula.



Fig. 19. Ejemplo de PCM micro encapsulado . Extraido de Deltathermal (como se citó en Oliver, 2009)

Los PCM de forma estabilizada (shape stabilized) SS-PCM, se crean a partir de la mezcla de un polímero liquido con un PCM liquido, los cuales son calentados por arriba de sus puntos de fusión y mezclándose en combinaciones especificas. En su libro, Fleischer (2015) menciona que el polietileno de alta densidad (high density polyethylene) HDPE, es una de las opciones más populares cuando se utilizan parafinas, por lo que cuando la mezcla de los dos materiales se enfría, el HDPE sirve como soporte del PCM. Cuando la mezcla híbrida de PCM con un polímero se calienta, el PCM comienza a fundirse mientras que el polímero se mantiene solido. El material polimérico sirve como un soporte solido reteniendo al PCM liquido por medio de la acción capilar dentro de la estructura celular. Tras la solidificación, no se generan espacios vacíos debido al soporte polimérico.

Fleischer (2015) menciona que unas de las mayores ventajas del PCM de forma estabilizada es la capacidad de conservar la forma al fundir y solidificar sin utilizar contenedores, ademas de poder moldear en diferentes formas el material para distintas aplicaciones (Ver Fig. 20). (Ehid y Fleischer, 2012) estudiaron diferentes muestras de forma estabilizada con mezclas de PCM/HDPE en proporciones 90/10, 85/15 y 80/20, mostrando en todas estas deformación a temperaturas elevadas y una ligera circulación de PCM dentro la matriz del polímero. Siendo las muestras entre 25- 30% de HDPE las que mostraron el mejor comportamiento de forma estabilizada.



Fig. 20. PCM gelificado que mantiene su forma cuando el PCM cambia entre estado sólido y líquido. PureTemp.

## 3 | 4.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PCM SEGÚN SU CLASIFICACIÓN

Algunos autores (Kuznik et al. 2011) (Soares et al. 2013) (Kalnæs y Jelle, 2015) han presentado algunas de las principales características de los PCM's; que según su clasificación, se comparan las ventajas y desventajas de estos, así como se muestra en la Tabla 4.

Orgánicos		Inorgánicos		Eutécticos	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
-Disponibilidad en un	-Inflamable	-Alta capacidad volumétrica	-Corrosivo a los metales	-Las propiedades se	-Datos limitados sobre
amplio rango de	-Baja conductividad térmica	de almacenamiento de calor	-Malas propiedades de	pueden adaptar para que	propiedades termofísicas
temperaturas	-Baja capacidad volumétrica	latente.	nucleación y problemas	coincidan con los	para muchas
-No subenfriamiento	de almacenamiento de calor	-Mayor conductividad	de subenfriamiento.	requisitos específicos	combinaciones.
-No segregación de fases	latente	térmica que los PCM's	-Segregación de fase	-Densidad de	-Alto costo
-Baja presión de vapor		orgánicos.	-Derretimiento	almacenamiento térmico	
-Propiedades de fácil		-Bajo costo	incongruente	ligeramente por encima	
nucleación		-No inflamable	-Cambio de volumen alto	de los PCM's orgánicos.	
-Compatible con materiales				-No segregación de fases	
de construcción					
convencionales					
-Químicamente estables					
-Reciclables					
-Alto calor de fusión					

Tabla 4. Comparación entre diferentes tipos de PCM's: Ventajas y Desventajas.

## 3 | 4.4 CRITERIO DE SELECCIÓN DE PCMs

Algunos de los principales criterios de selección de un PCM para su aplicación, se enlistan en la siguiente Tabla 5 (Oliver et al. 2012) (Soares et al. 2013).

Propiedades físicas y térmicas	<ul> <li>Poseer una alta conductividad para facilitar la transferencia de calor</li> <li>Alto calor latente de transición por unidad de masa</li> <li>Alto calor específico y alta densidad</li> <li>Estabilidad térmica de largo plazo</li> <li>Variación de volumen baja (durante el cambio de fase)</li> </ul>
Propiedades cinéticas	<ul> <li>Evitar el problema de subenfriamiento o retardo al inicio de la solidificación, como ocurre en los PCM inorgánicos, que se produce al no ceder el calor latente de un PCM pese a que su temperatura sea inferior al punto de congelación.</li> <li>Poseer suficiente tasa de cristalización: en los PCM inorgánicos se necesitan agentes nucleadores aditivos para que comience a solidificar la sustancia.</li> </ul>
Propiedades químicas	<ul> <li>El proceso de cambio de fase debe ser totalmente reversible y solo dependiente de la temperatura.</li> <li>Ser químicamente estables en el tiempo evitando su descomposición y contaminación.</li> <li>No presentar segregación de fases</li> <li>Ser compatibles con los materiales de encapsulado y otros con los que este en contacto: estabilidad química para evitar oxidación, descomposición térmica, corrosión y otras reacciones.</li> <li>No inflamables, no tóxicos y resistentes al fuego.</li> </ul>
Propiedades económicas	<ul> <li>Estar disponible en grandes cantidades a bajo costo para que sean viables técnica y económicamente.</li> <li>Tener un razonable ciclo de vida útil de acuerdo a su costo.</li> </ul>
Propiedades ambientales	<ul> <li>Baja energía incorporada</li> <li>Facilidad de separación de otros materiales y potencial de reciclaje</li> <li>Bajo impacto ambiental, no contaminante.</li> </ul>

Tabla 5. Principles criterios para selección de un PCM.

### 3 | 4.5

### **Aplicaciones**

(Kalnæs y Jelle, 2015) presentan varios ejemplos de integración de Materiales Cambio de Fase aplicados en edificios de sistemas pasivos, analizando posibles áreas de incorporación del PCM. De acuerdo a la ubicación de integración del PCM, lo clasifican en las siguientes categorías:

PCM en Muro: La instalación del PCM dentro del lado interior de las envolventes de los edificios es la ubicación más común para la implementación del material. Existen diversas formas de aplicación en muros, algunas de las más comunes se encuentra el uso de paneles de yeso con PCM micro encapsulado (Fig. 21), bloques con PCM micro encapsulado o macroencapsulado (Fig. 22) y membranas plásticas que contienen paquetes con PCM (Fig. 23 y 24).

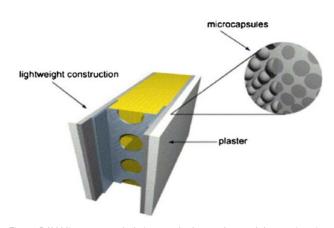


Fig. 21 PCM Microencapsulado integrado dentro de panel de yeso interior.



Fig.22 Ladrillos de arcilla con PCM macroencapsulado



Fig.23 Membrana plástica de polímero de grado farmacéutico con BioPCM, diseñado con espacio de aire para los cambios de volumen durante el cambio de fase.



Fig. 24. El BioPCM es intalado normalmente al interior y es benéfico para edificaciones ligeras por sus propiedades de alta inercia térmica, siendo delgado y de bajo peso.

- PCM en pisos y techos: En áreas donde se tiene contacto con la radiación solar gran parte del día, la incorporación de PCM en piso o cubiertas pueden beneficiar el almacenamiento de energía térmica y evitar las fluctuaciones de temperaturas al interior de los espacios. En sistemas de piso para algunas aplicaciones se encuentra el PCM encapsulado en empaques de plástico (Fig. 25) ubicado debajo de pisos laminados y también la aplicación de PCM micro encapsulado incorporado en baldosas (Fig. 26). Los sistemas de techo o plafón con PCM (placas minerales con incorporación PCM micro encapsulado o macroencapsulado) se implementan en espacios interiores donde se busca un mayor rendimiento de almacenamiento térmico y se requiere un acabado estético y un buen rendimiento acústico (Fig. 27).
- PCM en ventanas y persianas: En climas fríos gran parte de la energía se pierde en las fachadas acristaladas , lo cual incrementa la necesidad de calentamiento mecánico, y el aumento de refrigeración mecánica en climas cálidos. Existen diversos estudios de PCM en ventana, pero actualmente en el mercado existe un sistema de fachada de vidrio translucido con PCM creado con el objetivo de minimizar el consumo de energía y a la vez mejorar el confort térmico dentro del edificio. GlassX Inc. es un sistema de fachada de vidrio translúcido el cual tiene características ópticas y térmicas el cual se compone de una capa delgada de PCM translúcido empaquetado en recipientes de plástico transparente. Ademas, tiene una unidad de acristalamiento aislado exterior (IGU), tiene un filtro prismático suspendido (como un lente de Fresnel) entre los paneles de vidrio que reflejan la luz solar de mayor ángulo y la transmite a la luz solar de bajo ángulo. Lo cual ofrece un mecanismo de control solar pasivo para que el vidrio orientado hacia el sur mantenga alejado la mayor parte del sol de verano en ángulo alto, mientras que se beneficia del sol de invierno de ángulo bajo (Fig. 28).Como se mencionó anteriormente las ganancias solares através de las ventanas son una de las mayores ganancias de calor en los edificios, por lo que el uso de persianas que integran PCM, son un componente que puede llegar a reducir y retrasar el aumento de temperatura de las persianas y por lo tanto retrasar el aumento de temperatura en los espacios interiores.





Fig. 25. PCM encapsulado en perfiles planos con DELTA®-COOL 21 (imagen superior) para instalación de ensamblaje de piso interior, debajo de un piso de madera(imagen inferior). / Propuesta de piso presentada en North House - Universidad de Waterloo durante en el Decatlón Solar 2009 en Washington, DC.



Fig. 26. Sistema de piso flotado EcoCore, con PCM microencapsulado en paneles de 610x610x41 mm que contienen aproximadamente 1.1 kg de PCM orgánico. / EcoCore - Tate



Fig. 27. Integración de PCM encapsulado (Sales hidratadas) en techos o plafones, donde el PCM funciona principalmente para enfriar las habitaciones. Si la temperatura del aire aumenta, el aire caliente derrite el PCM absorbiendo el calor y por lo tanto regulando las temperaturas interiores.

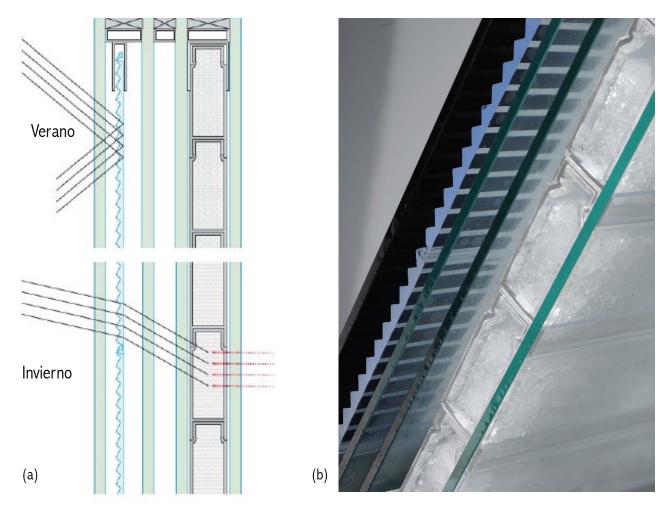
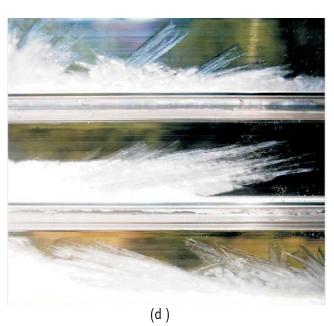


Fig. 28. (a) Esquema de funcionamiento del filtro prismático para control pasivo del ángulo de luz solar. (b) El sistema está compuesto por dos cámaras, la cámara externa comienza con un vidrio templado de 6 mm de seguridad, rellena con gas inerte de 19 mm y un vidrio prismático, cerrando con un vidrio templado de 6 mm bajo emisivo. En la segunda cámara entre dos capas de vidrio templado de 6 mm de seguridad, se encuentra el PCM (sales hidratadas) encapsulado en policarbonato transparente. (c) Sistema GlassX durante el día y la noche. (d). Cambio de fase de las sales hidratadas que componen el sistema GlassX.





Existe en la literatura diversas investigaciones y estudios de pruebas de campo sobre los efectos generales con Materiales Cambio de Fase, así como su razonamiento para el uso, ubicación y aplicación de estos en los sistemas constructivos.

Esta tecnología en muchos países Nórdicos de Europa o América del Norte son investigados y aplicados con el fin de reducir los consumos energéticos en sistemas de acondicionamiento térmico; por lo que en este capitulo se buscó hacer énfasis en casos que se dirigieran a estrategias de solución con PCM como sistema pasivo. Si bien , son pocos los casos donde se investiga y aplica el uso de PCM como sistema pasivo para acondicionamiento térmico, los casos mostrados a continuación son una buena apertura para el entendimiento y uso del material aplicada en la metodología de este trabajo.

### 3 | 4.6.1 Universidad de Auckland , Nueva Zelanda- Cabañas de prueba con paneles de yeso con PCM

En la universidad de Auckland, campus tamaki, (Khudhair y Farid 2004, 2007; Tardieu et al. 2011) construyeron una serie de cabañas de prueba a base de marcos de madera (perfiles de pino macizo de 9.8 x6.3 cm) con dimensiones de 2.60x 2.60 x 2.60m, teniendo una área en piso de 5.76 m2 en cada una y estando las cabañas elevadas del suelo como se muestra en la Fig. 29.



Fig. 29. Cabañas de prueba de la Universidad de Auckland, Nueva Zelanda.

Se utilizaron láminas de madera contrachapada de 1.25 cm de espesor como revestimiento exterior en las caras de las cabañas. En las cavidades interiores de las paredes se

instaló aislamiento térmico de fibra de vidrio. En las paredes orientadas al norte se instalaron ventanas y en las paredes orientadas al este se instalaron puertas.

En una de las cabañas de prueba se instaló al interior placas de yeso mejoradas con PCM, las cuales se impregnaron con 27% en peso de PCM. La impregnación de los paneles de yeso se realizó por absorción de capilaridad del PCM. El rango de fusión utilizado era de 18-23°C y un calor latente de fusión de 134 kJ/kg.

Ademas de las pruebas en sitio con y sin PCM, se analizaron las cabañas utilizando simulaciones energéticas con el software EnergyPlus (Tardieu et al. 2011). Las mediciones realizadas en sitio de las cabañas de prueba mostraron resultados similares a las simulaciones energéticas. Tanto los resultados de la simulación como los datos reales de campo, demuestran que el uso de paneles de yeso con PCM mejoran la inercia térmica del cubículo de prueba. Alguna de las observaciones fue que la masa térmica adicional del PCM puede reducir la fluctuación diaria de la temperatura del espacio interior hasta 4 °C en un día típico de verano.

## 3 | 4.6.2 Universidad de Lleida, España - Módulos de prueba con paneles de concreto con PCM

En la Universidad de Lleida se realizaron diferentes estudios de campo que investigan la inclusión de PCM en diferentes sistemas y materiales como concreto, ladrillos, aislamientos y otros materiales de envolvente en módulos de prueba. Cabeza et al. (2007) realizaron uno de los primeros estudios en 2005 incluyendo PCM micro encapsulado en paneles de concreto prefabricado para conformar las 6 caras que componen la envolvente en los módulos de prueba.

Para este estudio se construyeron dos módulos de prueba idénticos donde un modulo fue construido de concreto convencional que serviría como referencia y un modulo construido con la inclusión de PCM en el concreto. En este último, el peso del PCM en los paneles del modulo (sur, oeste y techo) equivalen al 5% del peso total por panel. Se utilizó un PCM orgánico (parafina) con un punto de fusión de 26°C y una entalpía de cambio de fase de 110 kJ/kg.

La dimensiones de los cubículos son de 2 m x 2 m x 3 m

(Ver Fig. 30). Los paneles tienen un espesor de 0.12 m y la distribución de las ventanas es la siguiente:

- Una ventana de 1.7 m x 0.6 m en la pared este
- Una ventana de 1.7 m x 0.6 m en la pared oeste
- Cuatro ventanas de 0.75m x 0.4 m en la pared sur
- Una puerta en la pared norte.



Fig. 30. Cubículos de prueba con PCM micro encapsulado en paneles de concreto. Universidad de Lleida, España.

Cabe mencionar que los módulos de prueba no fueron aislados , ya que el objetivo que se tenía era probar el efecto de cambio de fase en el material.

Los resultados arrojados en los módulos de prueba mostraron que en la inclusión de PCM en el concreto ayudó a reducir la temperaturas en el modulo de prueba con PCM hasta 3 °C a comparación del modulo de referencia. Además, el módulo con PCM en un mismo día alcanzo la temperatura máxima (36 °C) 2 horas más tarde a comparación que el módulo de referencia sin PCM.

## 3 | 4.6.3 Universidad de Lleida, España - Módulos de prueba con sistemas constructivos convencionales

(Castell et al. 2010) evaluaron experimentalmente los beneficios de integrar PCM en sistemas constructivos convencionales típicos del mediterráneo para un enfriamiento pasivo en un clima continental español, con inviernos fríos y veranos cálidos y relativamente secos.

En este trabajo se estudiaron 5 cubículos con diferentes soluciones constructivas (usando ladrillos convencionales y ladrillo alveolar) donde se probaron PCMs macro encapsulados en paneles en los que se contenía RT-27 y SP-25 A8. A continuación se muestran los diferentes sistemas constructivos que se estudiaron :

### Ladrillo convencional

- Cubículo de referencia (solo ladrillo convencional sin aislamiento) (Fig. 31).
- Cubículo con poliuretano (se uso una capa de espuma en spray de poliuretano de 5 cm al exterior) (Fig. 32).
- Cubículo con PCM y Poliuretano (5 cm de espuma en spray de poliuretano y una capa de PCM en paneles que contienen parafina RT-27 localizada entre los ladrillos perforados y el poliuretano al exterior) (Fig. 33).

### Ladrillo alveolar

- Cubículo de referencia (solo el ladrillo alveolar el cual provee propiedades aislantes térmicas y acústicas) (Fig. 34).
- Cubículo con PCM (se colocó al interior de los cubículos una capa de paneles con PCM que contienen sal hidratada SP-25 A8. Esta fue localizada entre el ladrillo alveolar y un mortero de yeso.



Fig. 31. Cubículo con ladrillo convencional



Fig. 32. Cubículo aislado con poliuretano



Fig. 33. Cubículo aislado con poliuretano y una capa con paneles con PCM macroencapsulado.



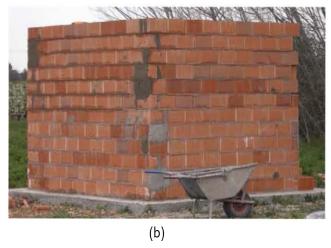


Fig. 34 (a) Ladrillo alveolar (b) Cubículo con ladrillo alveolar.

Los resultados obtenidos en el estudio anterior realizado por (Cabeza et al. 2007), las dimensiones internas de estos nuevos cubículos son iguales a las anteriores. Ademas, los 5 cubículos comparten las misma solución de techo, usando vigas prefabricadas de concreto y 5 cm de de losa, material aislante sobre el concreto protegido con mortero de cemento y una doble membrana de asfalto. Los cubículos tienen una bomba de calor doméstica como sistema de refrigeración para establecer y controlar la temperatura interior de los cubículos.

Los experimentos demostraron que el consumo de energía de los cubículos que contenían PCM se redujo aproximadamente un 15% en comparación con los cubículos sin PCM. Aunque en el estudio se demuestra una contribución y el uso potencial de PCM en la construcciones, es importante tener en cuenta la solución para la solidificación del pcm durante las noches, buscando utilizar estrategias pasivas o activas para mejorar el rendimiento del PCM en las condiciones climáticas.

### Referencias Bibliográficas

- International Energy Agency (IEA), Technology Roadmap. Energyefficient Buildings: Heating and Cooling Equipment. Recuperado de http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/ buildings\_roadmap-1.pdf. Accessed: 2016-04-10.
- Instituto Mexicano del Seguro Social (1993), Normas de Proyecto de Arquitectura: Tomo VII—Normas Bioclimáticas; Instituto Mexicano del Seguro Social: Ciudad de México, Mexico.
- Energía Térmica. (2016) Energía térmica o energía calorífica.
   ¿Qué es?. Recuperado de http://energia-nuclear.net/definiciones/energia-calorifica.html
- Belaunzaràn, J. (2015) Estudios de un sistema constructivo con cambio de fase. (Tesis de Maestría) Instituto de Energías Renovables UNAM, Morelos, México
- Morillón, D. (2007). Habitabilidad térmica en la vivienda.
   Simposio llevado a cabo en el V Simposio Nacional de Ingeniería
   Estructural en la Vivienda, Querétaro, México.
- Chávez, J. (2009) Evaluación experimental de propiedades térmicas de materiales de construcción. (Tesis de Doctorado) Facultad de Ingeniería UNAM, México.
- Haglund B, Rathmann, K (s.f.) "Thermal mass in passive solar and energy-conserving buildings", Vital Signs Curriculum Materials Project, University of Idaho, Recuperado de: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/ download?doi=10.1.1.556.4525&rep=rep1&type=pdf.
- Oliver, A., Neila, F., y Garcia, A. (2012). Clasificación y selección de materiales de cambio de fase según sus características para su aplicación en sistemas de almacenamiento de energía térmica. Materiales de Construcción, 62(305): 131-140. doi:10.3989/mc.2012.58010
- Fuentes, V., (s.f). Arquitectura Bioclimática. Recuperado de: https://es.scribd.com/doc/102028439/Arquitectura-Bioclimatica-Victor-Armando-Fuentes-Freixanet.
- Hernández, V. (1996). De la Arquitectura vernácula a los edificios de alta eficiencia energética, un análisis comparativo en Sanctorum. (Tesis de Maestría) Posgrado de Arquitectura, UNAM, México.
- Díaz, L. (2016). El mejoramiento físico del adobe para fines constructivos. (Tesis de Maestría) Posgrado de Arquitectura, UNAM, México.

- Castellarnau, À. (2012) Construcción de una vivienda con muros de tapial en Ayerbe, Huesca. En: Construcción con tierra. Pasado presente y futuro. Congreso de Arquitectura de tierra en cuenca de Campos. Universidad de Valladolid, España. P. 259-268.
- Cuitiño, G., Esteves, A., Maldonado, G. y Rotondaro, R. (2015).
   Análisis de la transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de quincha. Informes de la Construcción. 67 (537): 002-011, doi: http://dx.doi.org/10.3989/ic.12.08.
- Puertas, R. (2011). Aplicación de criterios de sostenibilidad en revestimientos. (Proyecto de grado) Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación, UPV, España.
- EREN, (2015). Manual práctico de soluciones constructivas bioclimáticas para la arquitectura contemporánea. Proyecto BIOURB. Recuperado de: http://biourbhost.net/descargas/ Manual%20soluciones%20contemporaneas/Manual%20 BIOURB%20web%20FINAL.pdf
- Pérez, H., Flores, J., López, A. (2013). Modelo de ventilación inducida para la vivienda en clima cálido húmedo: sistema chimenea solar. Primer Foro Latinoamericano de Ingeniería. Perspectivas para la interacción, la educación y el desarrollo. UNILA, Foz de Iguazu, Brasil.
- Kosny, J., (2015). PCM-Enhanced Building Components. An application of Phase Change Materials in building envelopes and internal structures. Doi: 10.1007/978-3-319-14286-9.
- Fleischer, A. (2015). Thermal Energy Storage Using Phase Change Materials. Springerbriefs In Applied Sciences And Technology. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-20922-7
- Oliver, A., (2009). Integración de Materiales de Cambio de Fase en placas de yeso reforzadas con fibras de polipropileno. (Tesis de Doctorado) Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Sharma, A., Tyagi, V., Chen, C., & Buddhi, D. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. Renewable And Sustainable Energy Reviews, 13(2), 318-345.
- Hawes, D., Banu, D., & Feldman, D. (1992). The stability of phase change materials in concrete. Solar Energy Materials And Solar Cells, 27(2), 103-118.

- Schossig, P., Henning, H., Gschwander, S., & Haussmann, T. (2005). Micro-encapsulated phase-change materials integrated into construction materials. Solar Energy Materials And Solar Cells, 89(2-3), 297-306.
- Wei, J., Kawaguchi, Y., Hirano, S., & Takeuchi, H. (2005). Study on a PCM heat storage system for rapid heat supply. Applied Thermal Engineering, 25(17-18), 2903-2920.
- Kalnæs, S., & Jelle, B. (2015). Phase change materials and products for building applications: A state-of-the-art review and future research opportunities. Energy And Buildings, 94, 150-176.
- Kuznik, F., David, D., Johannes, K., & Roux, J. (2011). A review on phase change materials integrated in building walls. Renewable And Sustainable Energy Reviews, 15 (1), 379-391.
- Ehid, R., & Fleischer, A. (2012). Development and characterization of paraffin-based shape stabilized energy storage materials. Energy Conversion And Management, 53 (1), 84-91.
- Soares, N., Costa, J., Gaspar, A., & Santos, P. (2013). Review of passive PCM latent heat thermal energy storage systems towards buildings' energy efficiency. Energy And Buildings, 59, 82-103.
- Khudhair, A., Farid, M. (2004) A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials. Energy Convers Manag 45:263-275.
- Khudhair, A., Farid, M. (2007) Use of phase change materials for thermal comfort and electrical energy peak load shifting:experimental investigations. In Goswami DY, Zhao Y (eds) Solar world congress 2007. Solar Energy and Human Settlement, Beijing, China, 18-21 sept 2007.
- Tardieu A, Behzadi S, Chen J, Farid M, (2011) Computer simulation and experimental measurements for an experimental PCM-impregnated office building. In: Procedings of the building simulation 2011:12th conference og international building performance simulation association, vol 1, pp 56-63
- Cabeza L, Castellon C, Nogues M, Medrano M, Leppers R, Zubillaga O, (2007) Use of microencapsulated PCM in concrete walls for energy savings. Energy Build 39:113-119.
- Castell A, Martorell I, Medrano M, Pérez G, Cabeza L, (2010) Experimental study of using PCM in brick constructive solutions for passive cooling, Energy and Buildings 42 (4) (2010) 534-540.

### Referencias imágenes

- Fig. 1- Elaboración propia
- Fig. 2- Elaboración propia
- Fig. 3- Elaboración propia
- Fig.4-http://www.ceresis.org/proyecto-adobe/ensayos-delaboratorio/index.html
- Fig. 5- http://www.arquitour.com/escuela-de-artes-plasticas-deoaxaca-taller-de-arquitectura-mauricio-rocha/2012/08/
- Fig.6-https://bambusecologico.blogspot.com/2016/07/ mexicoguadalajara-un-edificio.html
- Fig. 7-https://retokommerling.com/muro-trombe/
- Fig. 8-https://ofhouses.tumblr.com/post/170443597787/517-jaques-michel-f%C3%A9lix-trombe-solar-house
- Fig. 9- Foto: Catalina Jiménez
- Fig. 10- https://greenpassivesolar.com/2010/04/zion-nationalpark-visitor-center/
- Fig. 11- Oliver, A., (2009). Integración de Materiales de Cambio de Fase en placas de yeso reforzadas con fibras de polipropileno. (Tesis de Doctorado) Universidad Politécnica de Madrid, España PP.38
- Fig. 12- Oliver, A., (2009). Integración de Materiales de Cambio de Fase en placas de yeso reforzadas con fibras de polipropileno. (Tesis de Doctorado) Universidad Politécnica de Madrid, España- Tipos de cambio de PCM PP.39
- Fig.13-https://www.rubitherm.eu/en/index.php/ productcategory/organische-pcm-rt
- Fig. 14. Imagen extraida de: Mehling, H., Cabeza (2008).
   Heat and cold storage with PCM, An up to date introducción into basics and applicatión (como se citó en Belaunzaràn, 2015)
- Fig. 15. Imagen extraida de: Mehling, H., Cabeza (2008).
   Heat and cold storage with PCM, An up to date introducción into basics and applicatión (como se citó en Belaunzaràn, 2015)
- Fig. 16. http://hdl.handle.net/2099.1/14081
- Fig. 17. Fleischer, A. (2015). Thermal Energy Storage Using Phase Change Materials. Springerbriefs In Applied Sciences And Technology. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-20922-7

- Fig. 18. Oliver, A., (2009). Integración de Materiales de Cambio de Fase en placas de yeso reforzadas con fibras de polipropileno. (Tesis de Doctorado) Universidad Politécnica de Madrid, España-Tipos de cambio de PCM PP. 65
- Fig. 19. Oliver, A., (2009). Integración de Materiales de Cambio de Fase en placas de yeso reforzadas con fibras de polipropileno. (Tesis de Doctorado) Universidad Politécnica de Madrid, España- Tipos de cambio de PCM PP. 66
- Fig. 20. https://www.puretemp.com/stories/entropy-solutionsdevelops-shape-stabilized-versions-of-2-puretemp-pcms
- Fig. 21. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/ S1364032110003461
- Fig. 22. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/ S0378778812000850
- Fig.23 https://www.architectmagazine.com/technology/ products/phase-change-energy-solutions-biopcm\_o
- Fig. 24. https://www.jlconline.com/how-to/insulation/biopcm-smart-thermal-mass-using-phase-change-material\_o
- Fig. 25 http://www.cosella-dorken.com/bvf-ca-fr/projects/pcm/ northhouse.php
- Fig. 26 http://sweets.construction.com/swts\_content\_ files/2559/582151.pdf
- Fig. 27 https://www.yumpu.com/en/document/read/6730945/ deltar-cool-24-ewald-dorken-ag
- Fig. 28 (a,b,c,d) https://www.glassx.ch/de/produkte/glassxstore/
- Fig. 29 https://www.buildmagazine.org.nz/index.php/articles/ show/phase-change-materials
- Fig. 30 (Cabeza. et al. 2007) Use of microencapsulated PCM in concrete walls for energy savings. Energy Build 39:113-119.
- Fig. 31 (Castell et al. 2010) Experimental study of using PCM in brick constructive solutions for passive cooling, Energy and Buildings 42 (4) (2010) 534-540.
- Fig. 32 (Castell et al. 2010) Experimental study of using PCM in brick constructive solutions for passive cooling, Energy and Buildings 42 (4) (2010) 534-540.

- Fig. 33 (Castell et al. 2010) Experimental study of using PCM in brick constructive solutions for passive cooling, Energy and Buildings 42 (4) (2010) 534-540.
- Fig. 34 (a,b) (Castell et al. 2010) Experimental study of using PCM in brick constructive solutions for passive cooling, Energy and Buildings 42 (4) (2010) 534-540.

### Referencias Tablas

- Tabla 1. Materiales (como se citó en Chávez, 2009)
- Tabla 2. Tabla de propiedades térmicas orgánicos (Kosny, 2015).
- Tabla 3. Tabla de propiedades eutecticos (Kosny, 2015).
- Tabla 4. Tabla ventajas y desventajas.(Kuznik et al. 2011), (Soares et al. 2013),(Kalnæs y Jelle, 2015)
- Tabla 5. Criterios de selección de PCM.(Oliver et al. 2012) (Soares et al. 2013).

## 4 | 1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CASO DE ESTUDIO

CASA-UNAM es un prototipo de vivienda sustentable elaborado por un grupo interdisciplinario de estudiantes y académicos de diferentes facultades de la UNAM. Este prototipo participó en el concurso "Solar Decathlon Europe 2014, Versalles Francia"; concursando en diferentes categorías (razón por la que se denomina decatlón) como sustentabilidad, eficiencia energética, ingeniería y construcción, etc. Además, dentro de estas también se toma en cuenta el diseño urbano, el funcionamiento y las condiciones de confort de la casa.

Al ser CASA-UNAM un prototipo de vivienda de carácter intraurbano, pensado para ser implementado en espacios residuales (azoteas)(Ver Fig. 35), se buscaba generar un sistema constructivo con materiales ligeros y reducir las cargas a los elementos constructivos existentes. La implementación de sistemas constructivos con materiales ligeros en muros (panel de yeso y aislante mineral) como envolvente de las diferentes zonas del proyecto, se vio reflejado con un bajo desempeño térmico al no lograr las condiciones de confort durante la competición.

Como parte de las observaciones del jurado en la categoría

de Eficiencia energética, se sugirió aumentar la masa térmica en la envolvente para conseguir las condiciones de confort térmico al interior de la casa.

Al requerir aumentar la masa térmica en las envolventes para amortiguar las temperaturas exteriores, pero buscando conservar un sistema constructivo ligero; CASA-UNAM es de gran interés como caso de estudio para la implementación de los PCM, los cuales pueden ser los que provean condiciones de confort en espacios interiores por sus propiedades de masa térmica como almacenadores de energía térmica y siendo estos ligeros. En el prototipo se busca determinar cuál es el desempeño que tienen este tipo de materiales para el clima de la Ciudad de México, así como las estrategias para su implementación y selección de los PCM en los componentes de la envolvente.

Para este estudio nos interesan las características del bioclima al sur de la Ciudad de México, ya que CASA-UNAM se encuentra en etapa de exhibición en el Museo de las Ciencias de la UNAM, dentro del espacio del Jardín Universum.

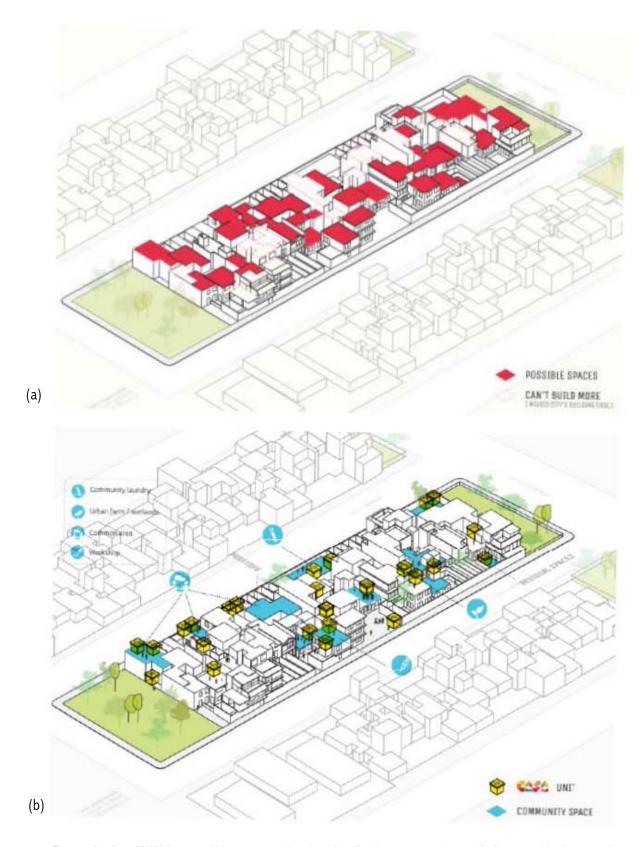


Fig. 35. (a) Casa UNAM fue concebida para permitir micro densificaciones en espacios residuales en viviendas, con el objetivo de una posible solución de vivienda para las urbes como el de la Zona Metropolitana del Valle de México.

(b) Se propone una sistema de CASA que ofrezca al usuario un set de herramientas de acuerdo a sus necesidades especificas, teniendo un sistemas constructivo modular ligero, utilización de materiales aislantes y diversos sistemas como los de generación de energía eléctrica a partir de paneles fotovoltáicos, sistemas de colección de aguas pluviales, entre otros.

### LOCALIZACIÓN

El estudio realizado del comportamiento del prototipo CASA-UNAM, se ubica en el jardín interior del Museo Universum, el cual se encuentra dispuesto al sur del edificio principal (Fig .36).

4 | 2

Latitud	19°18'40.50" N
Longitud	99°10'52.05" 0
Altitud	2268 msnm

Fig. 36 Información de localización del caso de estudio.

La casa esta compuesta por tres módulos: Sala / dormitorio, cocina / comedor y espacio comunitario / lavado, más una zona con una torre de tinacos y cisterna.

En la Fig. 37 se puede observar los módulos de cocina y

espacio comunitario orientados al sur, mientras que al noroeste el módulo de dormitorio (APÉNDICE I).

La superficie en la que se desplanta el prototipo cubre un área de 165 m2. El terreno presenta una topografía rocosa y en desnivel, por lo que fue necesario la nivelación y adecuación al terreno construyendo unas plataformas a modo de cajones de concreto para el nivel de desplante del prototipo (Ver Fig. 38 y 39).

Para la construcción del prototipo en el museo Universum (Ver Fig. 40), algunos de sus sistemas como el de muros y techos fue rediseñado respecto al prototipo construido en Versalles, Francia. La configuración de los sistemas constructivos de piso, muro y techo es el mismo en los tres módulos del prototipo.

A continuación se describe la composición de los sistemas utilizados en CASA.

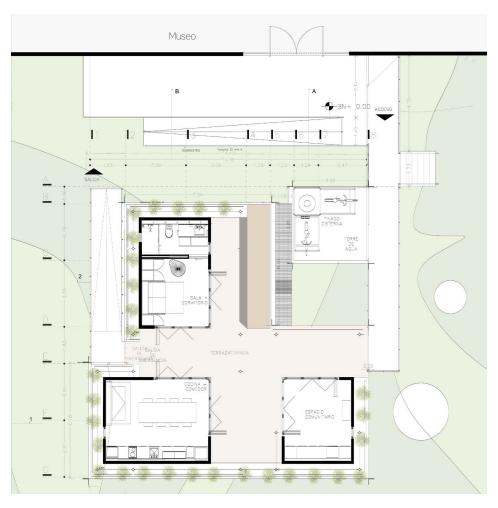


Fig. 37. Planta arquitectónica del Proyecto CASA - UNAM en Universum



Fig. 38. Adecuación del terreno donde se construyeron dos plataformas a modo de cajones de concreto para el nivel de desplante del prototipo



Fig. 39. Montaje de estructura modular ( "Tridilosa") sobre plataformas de desplante.



Fig. 40. Prototipo CASA-UNAM construido en Jardín Sustentable del Museo Universum

### El sistema constructivo de piso esta conformado por:

- Capa exterior: Triplay, espesor de 0.019 m.
- Capa siguiente: Aislamiento de fibra mineral (Aislamuro de rolan <sup>®</sup>) de 0.59 m de espesor.
- Capa siguiente: Triplay, espesor de 0.019 m.
- Capa interior: Piso de ingeniería de 0.009 m de espesor.

### El sistema de muros esta conformado por:

- Capa exterior: Recubrimiento Base Coat Protekto (Panel Rey ®) de 0.005 m de espesor.
- Capa siguiente: Panel de yeso con fibra de vidrio a prueba de humedad (Panel Rey <sup>®</sup> Glass Rey) de 0.0158m de espesor.
- Capa siguiente : Aislante de fibras minerales (Aislamuro de rolan <sup>®</sup>) de 0.08 m de espesor.
- Capa siguiente: Panel de yeso para uso en interiores (Panel Rey ® Regular) de 0.0158 m de espesor.
- Capa interior: Recubrimiento Base Coat Protekto (Panel Rey ®) de 0.005 m de espesor.

### El sistema de techo esta conformado por:

- Capa exterior: Impermeabilizante de techos de 0.002 de espesor.
- Capa siguiente: Recubrimiento Base Coat Protekto (Panel Rey <sup>®</sup>) de 0.005 m de espesor.
- Capa siguiente: Panel de yeso con fibra de vidrio a prueba de humedad (Panel Rey <sup>®</sup> Glass Rey) de 0.0158m de espesor.
- Capa siguiente: Panel de yeso con fibra de vidrio a prueba de humedad (Panel Rey <sup>®</sup> Glass Rey) de 0.0158m de espesor.
- Capa siguiente: Espacio de aire de 0.025m, no estanco.
- Capa siguiente: Lámina de acero galvanizada de 0.0012 m de espesor.
- Capa siguiente: Espacio de aire de 0.26m, no estanco.
- Capa siguiente : Aislante de fibras minerales (Aislamuro de rolan <sup>®</sup>) de 0.08 m de espesor.
- Capa siguiente: Panel de yeso para uso en interiores (Panel Rey ® Regular) de 0.0158 m de espesor.
- Capa interior: Recubrimiento Base Coat Protekto (Panel Rey ®) de 0.005 m de espesor.

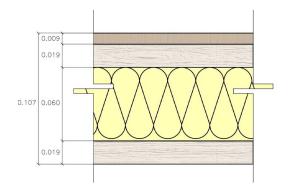


Fig. 41. Sistema de pisos

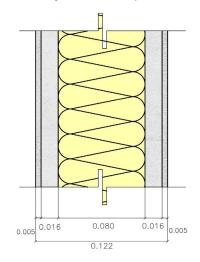


Fig. 42. Sistema de muros

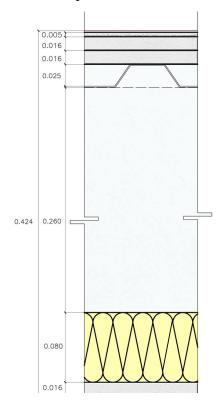


Fig. 43. Sistema de techos

### 4 | 3 CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

El estudio de las condiciones climáticas de un lugar específico es el punto de partida para el inicio de la formulación de estrategias y recomendaciones de diseño en edificios para maximizar el confort y reducir el uso de energía para climatizar un lugar habitable.

Morales (1998) menciona que el impacto de la radiación solar sobre la superficie terrestre desde el punto de vista de la latitud y los movimientos del aire en la atmósfera, determinan en buena medida el clima de un lugar. Es importante resaltar que los efectos que ejerce la latitud sobre el clima, aún estando relacionados entre sí, trabajan de dos maneras distintas.

Un primer efecto es el dado por el ángulo de incidencia (inclinación) de los rayos del sol sobre la superficie terrestre. Es claro, que el ángulo de incidencia con respecto al cenit es mayor en latitudes altas respecto a las bajas, por lo que las ganancias de calor son menores en las primeras y mucho mayores en las segundas.

El segundo efecto se refiere a la relación que existe entre la duración del día y la noche en función de la latitud. Durante el invierno, la duración de la noche en latitudes altas es mucho mayor en relación al del día, con respecto a latitudes bajas (Morales, 1998).

El clima de la Ciudad de México al encontrarse al centro de la República Mexicana, por su localización geográfica a una latitud norte promedio de 19° 25′ (intertropical) se ve modificado básicamente por la altitud de ésta (2240 msnm) y su condición de cuenca cerrada, con altitudes mayores a 1000 m sobre el nivel de base local de la cuenca, en las sierras que le limitan al este, sur y oeste.

La superficie de la Ciudad de México tiene un área de 1,485 km² y debido a su extensión de casi 50 km de Norte a Sur y 35 km de Este a Oeste. El clima de la Ciudad presenta variaciones en las zonas norte-sur. Según Morales, (1998) en la Ciudad de México se encuentran 2 tipos de clima de acuerdo a la clasificación climática de Koppen:

- Templado Subhúmedo, con verano fresco largo y con lluvias de verano (Cw).
- Templado Semiseco, con verano cálido, con lluvias en verano (Bs).

El clima Templado Subhúmedo se encuentra en la parte baja de la Ciudad de México, localizada al sur de ésta y encontrándose rodeada de montañas boscosas.

El clima Templado Semiseco con verano cálido y lluvias en verano, se presenta en la parte norte de la ciudad, que al encontrarse urbanizada, presenta características climáticas que han sido modificadas en cierta medida por el hombre.

Tanto el clima Templado Subhúmedo al norte de la Ciudad de México, como el clima Templado Semiseco al sur, presenta variaciones considerables en temperatura ambiente entre el día y la noche. Para que los materiales con propiedades de inercia térmica funcionen adecuadamente, se necesita una oscilación en la temperatura ambiente de al menos 10°C.

A continuación se presenta un análisis de las variaciones de la temperatura ambiente en la Ciudad de México por mes y por año para identificar los rangos de temperatura promedio, y las temperaturas mínimas y máximas. Además se presenta el cálculo de los rangos de confort térmico humano que se requieren en la Ciudad de México.

Con base en esta información se podrá realizar una primera elección del PCM a partir de su temperatura de fusión, estructura física y química, así como la proporción cantidad adecuada dentro de los sistemas constructivos de la envolvente de las edificaciones para mejorar el desempeño térmico éstos.

## 4 | 3.1 TEMPERATURAS EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Para el estudio del prototipo de vivienda Casa-UNAM se analizaron los datos de temperatura de aire exterior de la Ciudad de México. Los datos de temperatura se obtuvieron a partir de dos fuentes distintas, para posteriormente compararse. La primera fuente corresponde a la página de internet del programa computacional Energy Plus ("Weather Data by Location | EnergyPlus", 2016), donde se dispone

de archivos climáticos de varias ciudades en el mundo, incluyendo la Ciudad de México. Estos archivos climáticos contienen información validada internacionalmente y medida a partir de estaciones meteorológicas ubicadas en la ciudad correspondiente durante varias décadas. La segunda fuente, corresponde a la página de CONAGUA ("Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia", 2016) donde se dispone de datos meteorológicos correspondientes a varias ciudades de la República Mexicana.

Los datos de temperatura exterior provenientes de la fuente de Energy Plus se utilizaron para calcular las temperaturas promedias diarias mínimas y máximas mensuales (ver Fig 44). Una de las hipótesis del presente trabajo es, que para que los PCM se desempeñen térmicamente de forma adecuada, se requiere que la diferencia entre las

temperaturas mínimas y máximas diarias sea de al menos 10° C. En la Fig. 44 se resaltan en verde los valores de temperatura promedias diarias mínimas y máximas que no cumplen con dicha diferencia. Durante el mes de mayo, el porcentaje de días en los que si se registró una diferencia de al menos 10°C es del 100%; durante los meses de enero a abril y el mes de diciembre, los porcentajes de días en los que se registró una diferencia de al menos 10°C se encuentran en el rango del 90% al 99%; durante los meses de agosto a noviembre, en el rango del 70% al 80%; y durante los meses de junio y julio, los porcentajes fueron menores al 70%. En promedio, durante el 83.4% del año, la diferencia entre las temperaturas promedias mínimas y máximas tuvieron una diferencia de al menos 10°C (ver Fig. 45).

Meses	En	ero	Feb	orero	Mar	rzo	Ab	ril	Ma	ayo	Jui	nio	Ju	lio	Ago	osto	Septie	embre	Octi	ubre	Novie	embre	Dicie	embre
	-°C	+°C	-°C	+°C	-°C	+°C	-°C	+°C	-°C	+°C	-°C	+°C	-°C	+°C	-°C	+°C	-°C	+°C	-°C	+°C	-°C	+°C	-°C	+°C
1	6	23	5.5	25	10.3	26	10.7	26	15.8	28	14	30	14	20	12	23	14	23	13.6	24	11	22	10	21
2	7	24	6	27	5.8	26	12	27	12	28	16	27	13	22	12	23	14.8	19	13	25	13	24	8.6	14
3	5	22	6.5	27	9.6	25	12	27	13	29	14	26	14.2	18	14	25	14	22	13	24	9	22	5	21
4	8	21	6.6	26	10	23.1	10.5	24	16	26	14	27	15	20.5	12	24	15	19	13	20	9	23	5	19
5	7	23	7	26	4	22	14	27	12	27	15	27	15	21	12	25	13	17	14	22	11	21	6	17
6	9	23	8	14	12	20	14	27	10.5	26	13	27	15	24	13	22	12.6	21	11	24	12.4	22	3	21
7	7	23	3	23	12.4	24	11	28	10	29	14	27	14	22	13	26	12	24	13.5	21	13.6	20	5.7	23
8	6	23	7	23	6	23	11	26	11	30	15.3	27	13.9	24	14	24	8.7	25	14	23	12	18	6	23
9	8	19.7	7.8	23	7	24	13	28	14	30	14	26	15	24	14	22	9.9	24	14	23	12	17	5.7	21
10	10	18	9	21	10	26	9	26	16	27	12	26	13	24	13	18	5	24	11	24	11	20	5	24
11	10	20.8	8	22	8.2	26	11	23	11	24	15	23	15	21.2	14	23	8	25	13	25	9	22	8	25
12	6	21	8.5	20	8	25	10	23	13	24	12	25	14	23.5	13	25	14	25	15	27	7	23	9	23
13	5	23	6	22	9	24	11	25.2	13	24	14	26	14	25	15	25	11.6	24	14	26	8	24	7.2	23
14	7	21	5	22	8	24	11	26	12	24	15	27	15	23	14	24	12.2	23	11	26	9	24	7	23
15	8	20	8	23	9.3	24	12	25	11	23	15	27	14	24	15	22	11	23	12	25	7	25	6.5	25
16	5	19.5	7.2	25	6.6	24.3	13	20.5	11	23	12	27	12.6	24	13	20	13	24.3	13	19	10	22	8.9	23
17	6	25.3	8.2	27	6.8	24	9	28	11	24	14	26	14	26	14	21	14.4	26	9	24	8	22	7	21
18	13.8	23	10	29	8	26	13	27	12	26	13	24	14	25	14	23	13	27	9	26	8	23	3	22
19	8	20.8	6.8	28	11.6	26	12	28	13	23	13	24	14	25	13	24	11.8	27	10	22	11	20	4.7	23
20	7	23.4	12	20	9.2	23	12	26	12	26	15	20	15	25	14	26	13	26	13	24	9.6	23	5	23
21	8	24	5	21	11	22	11.8	26	11	25	15	24	15	24	14	25	11	26.6	8.9	23	10	23	5.4	24
22	6	25	3.5	24	9	25	11	23	11	25	14	22	14	25	13	25	13	27	9.8	24	11	23.6	2.6	22
23	9	24	5.5	26	9	27	12.7	24	11	27	15	23	15	24	15	23	13	27	12.2	25	11	24	5	28
24	9	21	8	27	8	23	13.5	24	11	26	15	23	15	21	14	24	13	25	12.5	25	10	22.6	3.8	25
25	8	24	6.6	25	9.8	25	12.5	23	13	29	16	20	13	25	13	22	15	26	13	25	6.7	23	2.7	23.4
26	8	22	8	25	8	27.4	14	25	15.5	29	13	21	15	25	14	24	14	25	10	25	10	21	2.5	20.9
27	7	24	9	29	11	27	15	26	14	26	15	26	15	25	13	25	9.8	25	10	23	13	22	7	23
28	9	24	9	25	10	27.4	13	27.4	16	27	15	24	11	24	14	24	9.3	26	9	19	9	23	4	23
29	9	25			11	27	17	28	9	28	12	25	14	25	12	26	11.4	26	6.7	22	9	24	5	22
30	7	23.6			12.2	28.5	12	28	12	29	13	22	13	25	12	26	11.2	26	6	20	9	22.5	6	23
31	9	16.5			13	29			15	27			12	25	14	24			5	22			6	25
Tem.Prom	7.6	22.2	7.1	24.1	9.1	24.9	12.1	25.7	12.5	26.4	14	24.9	14	23.5	13.4	23.6	12	24.2	11.3	23.4	9.9	22.1	5.6	22.3

Fig. 44. Temperaturas promedio diarias mínimas y máximas mensuales

Oscilación diaria	Numero de días	Porcentaje en un año
$T_{amb} \ge 10 \circ C$	304	83.4%
$T_{amb} < 10 \circ C$	61	16.6%

Fig. 45. Promedio al año de la diferencia de temperaturas promedias mínimas y máximas tuvieron una diferencia de al menos 10° C.

De los datos de temperatura exterior provenientes de la fuente de la página de CONAGUA, se obtuvieron las temperaturas promedias mensuales mínimas y máximas de los años 2002 al 2015 (ver Fig. 46.). En las tablas de temperatura mensual promedio por año, en color rojo, se encuentran marcados los meses en que el rango de oscilación requerido de 10°C no se cumple. Los meses del año en el que tiende a no superar el rango, los encontramos mayormente en Julio, Agosto y Septiembre. Cabe destacar que de los meses anteriores, en la mayoría de estos, no se cumple el rango por sólo 3 décimas de grado, por lo que se puede deducir que el rango establecido en estos meses es aplicable y no afecta de gran manera. Se puede concluir que en los últimos 14 años, la temperatura en la Ciudad de México presenta oscilaciones de temperatura entre el día y la noche de al menos 10°C en un 94.7%.

Meses	20	002	20	004	20	105	20	006	20	007	20	008	20	009	20	110	20	11	20	112	20	013	20	14	20	)15
	-°C	+°C	-°C	+°C	-°C	+°C	-°C	+°C	-°C	+°C	-°C	+°C	-°C	+°C	-°C	+°C	-°C	+°C	-°C	+°C	-°C	+°C	-°C	+°C	-°C	+°C
Enero	7.6	22.2	6.1	20.8	4.7	21	6.6	21.8	8.4	22.2	7.3	21.7	6.9	21.7	7.1	19.1	6.7	22.5	7.2	20.8	8.2	22	6.9	20.9	8.2	21.1
Febrero	7.1	24.1	6.5	23.2	6.8	22.8	9.3	24.1	8.8	23.3	9.2	24	7.5	23.9	8	21.2	9	24.3	9.3	20.6	9.6	25.9	9.6	24.9	9.2	22.8
Marzo	9.1	24.9	8.2	24.3	8.2	25.2	9	26.2	10.2	25	10.1	24.4	9.4	25.7	10.2	26.2	9.1	25.3	10	25.3	9.5	24.1	11.5	26	10.7	23.1
Abril	12.1	25.7	8.9	24.8	10.2	27.3	11.9	27.5	12.3	25.5	12.8	26.9	12.2	27.6	11.6	26.1	12.4	27.9	11	24.6	13	27.9	12.7	26.7	12.4	26.2
Mayo	12.5	26.4	9.9	24.5	9.8	26.6	12.4	25.4	12.9	25.9	13.1	26.5	13.2	26.9	13.5	28	14.1	28.7	11.9	26.3	13.4	27.6	12.7	25	12.9	25.3
Junio	14	24.9	9.8	23.5	11.1	26	12.6	24.2	13.3	25.9	12.6	24.2	13.5	26.1	14.1	26.9	13	24.8	13.1	24.7	13.7	25.9	13.7	24.1	13.7	24.5
Julio	14	23.5	9.8	23.2	10.3	23.8	12.7	23.8	13	24.6	11.9	22.5	12.2	24.8	13.3	22.9	12.7	23.3	12.3	23	13.1	24.9	12.7	23.8	13.1	24.7
Agosto	13.4	23.6	9.7	23.9	10.2	22.9	12.9	23.6	13.2	23.9	12.7	24.3	13.3	25.3	13.2	23.5	12.7	24.5	13.4	23.1	13.1	24.1	13.2	24.2	13.3	25
Septiembre	12	24.2	9.7	23.1	9.5	23.1	13.2	24	10.7	23.5	13	22.5	13.5	23.1	13.2	22.6	12.1	23.2	11.8	23.3	13.4	23.2	13.7	23.5	13.3	23.9
Octubre	11.3	23.4	9.7	24.7	9.1	22	12.5	23.5	10.6	22	10.5	22.2	12.9	23.8	9.7	23.5	9.8	22.5	10.8	24.3	12.6	24	12	22.6	12.4	23.8
Noviembre	9.9	22.1	6.8	24.4	6.4	21.9	8.3	21.1	8.4	22.4	7.5	22	9.1	22.2	7.3	22.4	9	22	8.7	21.3	10.2	22.3	10.5	23.1	11.8	23.5
Diciembre	5.6	22.3	5.3	22.6	6	22.7	6.7	21	8.7	22.2	6.1	22.6	8.9	21.9	4.9	20.8	6.3	21.7	7.9	23.3	8.9	22.8	9.2	21.3	9.7	22.8
Temp. Prom	10.7	23.9	8.4	23.6	8.5	23.7	10.7	23.9	10.9	23.9	10.6	23.7	11.1	24.4	10.5	23.6	10.6	24.2	10.6	23.4	11.6	24.6	11.5	23.8	11.7	23.9

Fig. 46. Temperaturas promedio mensuales mínimas y máximas

En general, la temperatura del aire en la Ciudad de México se puede considerar como estable durante todo el año, siendo ésta, no muy elevada y definiendo al clima de la Ciudad de México como templada. La temperatura mínima promedio mensual más pequeña durante los años del 2002 al 2015, se registró en el mes de Enero del 2005 y fue de 4.7 °C, y la temperatura máxima promedio mensual más grande, fue de 28.7° C en el mes de Mayo de 2011. Las oscilaciones de temperatura entre el día y la noche varían a lo largo del año, encontrando las temperaturas mínimas en un horario de las 6:00 am a 8:00 am y las máximas, de las 2:00 pm a 4:00 pm. Dichas oscilaciones de temperaturas en promedio van desde los 15.9 °C en época de invierno y de 13.9 °C en época de verano. Por tanto, aunque el clima de la Ciudad de México es un clima templado, el requisito en cuanto a una oscilación mínima de 10°C durante el día para que los materiales de cambio de fase se desempeñen térmicamente de forma óptima, se cumple en la mayor parte del año: entre el 83.4% ("Weather Data by Location | EnergyPlus", 2016) y el 94.7% ("Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia", 2016).

En la Fig. 47 se observa que el comportamiento de las temperaturas promedio máximas en los últimos 14 años, tiende a ser horizontal donde en promedio se mantiene a una temperatura de 23.8°C.

El promedio de las temperaturas mínimas durante estos últimos 14 años es de 10.6°C; en los años 2004 y 2005 las temperaturas mínimas se registraron 1°C debajo del promedio; y en los años 2013 a 2015, 1°C arriba del promedio. Esto indica que las temperaturas mínimas (durante la mañana) a lo largo de estos últimos años están tendiendo a aumentar, pero las temperaturas máximas

(durante la tarde) no han aumentado. Esto quiere decir, que, aunque las temperaturas máximas se han mantenido en promedio con el mismo valor durante estos últimos 14 años, las temperaturas mínimas si se han elevado a lo largo de los años, probablemente porque el aire de la Ciudad de México a partir del año 2012 "no le da tiempo" de enfriarse a las temperaturas de los años 2004 y 2005. Esto puede deberse al efecto de Isla Urbana de Calor 1, en el que el contenido energético del aire en la Ciudad de México es mayor durante los últimos años ya que el porcentaje materiales inertes es mayor y por tanto la emisión de calor por éstos también lo es. Sin embargo, esta aumento en las temperaturas mínimas, no alterando de forma importante el número de días cuando la oscilación de temperatura a lo largo del día es de al menos 10°C. El porcentaje promedio de estos años en los que se tiene esta oscilación sigue siendo alta: 94.7%.



Fig. 47. Comportamiento de las temperaturas promedio mínimas y máximas en los ultimos 14 años.

<sup>1</sup>La isla de calor en la ciudad, se debe a la gran densidad de estructuras, la diversidad de materiales de construcción, así como los colores y texturas de éstas, absorbiendo gran cantidad de radiación solar, que se transforma en energía y es irradiada posteriormente al medio. También junto a esta energía almacenada e irradiada, se debe sumar el calor producido por el mismo fenómeno en el pavimento de las calles, el calor producido por la población, el parque vehicular y la infinidad de motores eléctricos y existentes así como de otras fuentes eléctricas (Morales, 1998).

## 4 | 4 DEFINICIÓN DE TEMPERATURAS DE CONFORT EN ESPACIOS INTERIORES

El humano, produce calor continuamente como reacción de sus procesos metabólicos y requiere disipar dicho calor al medio que lo rodea a una determinada rapidez que fija cada persona por su metabolismo, para mantener una temperatura interior constante entre 36.5 y 37.5 ° C ( Szokolay, 1977). Debido a esto, se debe diseñar cualquier espacio arquitectónico, con las condiciones interiores que mantengan durante el horario de ocupación, ambientes que permitan al usuario, disipar el calor que éste genera en función con la actividad que esté realizando.

En la literatura, se tienen varias referencias para la determinación del rango de confort. Según el ASHRAE, el rango de temperaturas en la zona intertropical a la cual per tenece la Ciudad de México, el rango de temperaturas para estar en confort térmico está entre 22 y 28 °C. Este rango puede variar tomando en cuenta las características climáticas de la Ciudad de México, ya que aunque nos encontramos en una zona intertropical, por la altitud en la que se ubica, la variación de temperatura es diferente a la de la costa. En 1981 A. Auliciems planteó una ecuación para el cálculo de la temperatura de neutralidad a la cual el hombre no siente sensación de frío ni calor. También incluye los rangos de temperatura aceptable (zona de confort) alrededor del valor óptimo para edificios ventilados naturalmente, proponiendo la siguiente ecuación (válida para una Tn entre 18 y 28 °C )(Auliciems y Szokolay, 1997):

$$Tn = (17.6 + 0.31 \ Te) \pm 2.5 \ ^{\circ}C$$

Dónde:

**Tn** es la temperatura de comodidad o neutralidad humana **Te** es la temperatura media mensual.

 $\pm$  2.5 °C es la tolerancia para establecer el límite inferior y

superior del rango de confort.

Al aplicar esta ecuación al clima de la Ciudad de México de los últimos 12 años (2004-2015) la temperatura media varía cada mes, y por tanto, el rango también, aunque algunos rangos se repiten para varios meses (Ver Tabla 6). El rango de temperatura promedio que se presenta más veces está entre 20 °C y 25 °C. Por ello, tomando el rango de temperatura antes mencionado, en los meses de invierno llega a tener la diferencia de un grado menos y un grado más en la época primavera.

Mes del año	Te (°C)	Límite inferior (-2.5°C)	Tn (°C)	Límite superior (+ 2.5 °C)	Rango (°C )
ENERO	14.163	19.490	21.990	24.490	19-24
FEBRERO	15.988	20.056	22.556	25.056	19-24
MARZO	17.371	20.485	22.985	25.485	20-25
ABRIL	19.175	21.044	23.544	26.044	21-26
MAYO	19.433	21.124	23.624	26.124	21-26
JUNIO	18.954	20.976	23.476	25.976	21-26
JULIO	18.013	20.684	23.184	25.684	20-25
AGOSTO	18.292	20.770	23.270	25.770	20-25
SEPTIEMBRE	17.754	20.604	23.104	25.604	20-25
OCTUBRE	17.142	20.414	22.914	25.414	20-25
NOVIEMBRE	15.521	19.911	22.411	24.911	20-25
DICIEMBRE	14.763	19.676	22.176	24.676	19-24

Tabla 6. Límites superior e inferior del rango de confort térmico mensual en °C para la Ciudad de México.

4 | 5

SELECCIÓN DEL PCM

Según (Kosny, 2015) para un desempeño efectivo de los PCM en envolventes de edificios, la temperatura en el lugar donde se instalan debe oscilar (preferiblemente diario) por debajo y por arriba del rango de temperatura funcional

del PCM. (Fleischer 2015) menciona que para la elección del punto de operación del PCM, es necesario saber los extremos de temperatura a los que va estar expuesto el sistema. Seguido de ello, elegir un PCM con el punto de fusión más alto posible, pero que se encuentre por debajo de la temperatura máxima admisible. Esto debido, a que al utilizar un punto de fusión alto, permite un tiempo de fusión más largo y por lo tanto un tiempo de retraso más largo para que el material seda el calor latente almacenado.

En nuestro caso, los extremos de temperatura que es necesario saber para elegir el punto de operación, se determinaron en el capítulo anterior donde se definieron las temperaturas de confort térmico, obteniendo el rango de confort térmico mínimo y máximo por mes del año. En este caso la temperatura máxima admisible, es el límite máximo superior del rango de confort, osea 26° C que se registra para los meses de abril, mayo y junio.

También (Fleischer 2015) describe que otra característica importante para la selección, es la cantidad de energía que puede almacenar el material por unidad de masa durante la fusión y liberada en la solidificación. Por lo que a mayor sea el calor latente de fusión, la energía en el sistema será más eficiente y así, poder utilizar menos masa para poder reducir el tamaño del sistema. Los materiales con altos calores latentes de fusión tienen calores específicos altos, lo cual también es necesario para poder almacenar una mayor cantidad de calor sensible en la masa antes de la fusión.

Como último, es deseable que el PCM tenga una alta conductividad térmica, aunque en este tipo de materiales por lo regular tienen baja conductividad. Por lo que es importante seleccionar adecuadamente el material y espesor del contenedor para evitar afectar la conductividad del PCM.

(Kalnæs y Jelle, 2015) presentan una revisión sobre los fabricantes de PCM y sus productos comerciales, acompañados con algunas de sus propiedades principales. Dentro de esta revisión se dividen en dos compendios, uno con los compuestos de PCM (productos que aun no se han combinado en un producto para la construcción) y PCMs que ya han sido combinados con productos para su aplicación en la construcción (paneles, baldosas, sobres, etc).

En el presente estudio se eligió trabajar con compuestos de PCM para poder determinar la cantidad de material necesario para su aplicación en las envolventes y poder manipular la configuración del PCM en el sistema. A partir del estudio de las temperaturas de confort térmico y de las características antes mencionadas, se seleccionó el PCM de la marca Rubitherm, que son compuestos de parafina de la categoría RT (es la serie de PCM´s de la marca Rubitherm a base de materiales orgánicos) y de tipo HC (se refiere a una linea de productos de la marca Rubitherm que poseen una mayor capacidad de almacenamiento de calor latente por unidad de masa) ("Rubitherm GmbH", 2017).

Las temperaturas de fusión del material seleccionados fueron RT18HC, RT22HC y RT25HC. Estos puntos elegidos responden a los materiales que se encontraron con una mayor capacidad de almacenamiento dentro la literatura y que están cercanos a los rangos de temperaturas mínimas y máximas de confort térmico, ademas de un material elegido para las temperaturas medias entre los dos límites mínimos y máximos. En la Tabla 7 se muestran las propiedades termofísicas de los materiales seleccionados (Techdata RT18HC, RT22HC, RT25HC) (APÉNDICE V).

Propiedad	RT18HC	RT22HC	RT25HC
Región de transición [°C]	17- 19	20-23	22-26
Capacidad de almacenamiento de calor (calor sensible + latente) [kJ/kg]	260	190	230
Capacidad de calor específico [kJ/kg·K]	2	2	2
Densidad [kg/m³]	En solido [a 15 °C] = 880 En liquido [a 25 °C] = 770	En solido [a 20 °C]= 760 En liquido [a 50 °C]= 700	En solido [a 15 °C] = 880 En liquido [a 40 °C] = 770
Conductividad de calor (ambas fases) [W/m·K]	0.2	0.2	0.2
Expansión de volumen [%]	12.5	12.5	12.5
Punto de ignición [°C]	135	>150	150
Max. temperatura de operación [°C]	50	50	65

Tabla 7. Propiedades termofísicas de los PCM RT18HC, RT22HC, RT25HC marca Rubitherm.

# 4 | 6 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO CON PCM

Para el estudio del comportamiento térmico interior de los módulos de CASA-UNAM aplicando el PCM, fue necesario modelar la geometría del prototipo en el programa DesignBuilder versión 4.5.0.128. El modelo 3D, se compone de:

 Elementos de componente: son aquellos objetos (edificios, arboles, elementos de sombreado) que no son tomados en cuenta para el análisis térmico, pero que afectan de manera indirecta (sombras y reflectancia de elementos). Estos se representan en el modelo con un color morado, Ver Fig. 48.

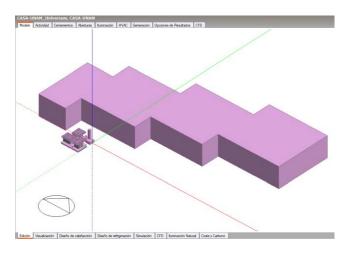


Fig. 48. Modelado de geometría (con elementos de componente) para modelado energético.

 Zonas térmicas: son aquellas zonas (dormitorio, cocina, lavado) en las cuales los objetos (pisos, muros, techos) que la componen forman parte del análisis termodinámico por estudiar. Estos se representan en el modelo con un color gris. Ver Fig. 49.

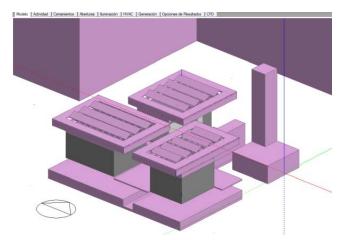


Fig. 49. Modelado de geometría (de zonas térmicas) para modelado energético.

Los módulos tienen las siguientes dimensiones:

Espacio	Área (m²)	Volumen de aire (m³)				
Recamara	17.8	41.3				
Cocina	21	49.35				
Lavado	17.5	41.1				

Tabla 8. Dimensiones de los diferentes modulos de CASA.

El prototipo de CASA-UNAM originalmente tiene ventanas y aberturas como parte de su envolvente en muros. No se incluyeron en el modelo, esto con el objetivo de analizar la variación de temperatura interior de los módulos a partir de la contribución e intercambio de calor que tienen las envolventes del prototipo al aplicar el PCM.

De los tres sistemas de envolvente térmica que componen al prototipo (piso, muro y techo), solamente se decidió colocar el PCM en las 4 caras del sistema de muros(Norte, Sur, Este y Oeste) ya que estos son los que están expuestos al intercambio de calor por convección del aire del ambiente exterior y a una mayor exposición a la radiación solar. Debido a que el prototipo cuenta con una superficie de paneles fotovoltáicos por arriba de la cubierta en los tres módulos, estos generan sombra la mayor parte del día, evitando las posibles ganancias de calor por exposición a la radiación solar en la cubierta. Por lo tanto, el sistema de techo y piso en los tres módulos, conservan el sistema constructivo original, contando ya con una capa de aislante térmico para evitar las pérdidas o el intercambio de calor en estas superficies de envolvente.

La configuración del sistema constructivo de muros conserva las tres capas de materiales (panel de yesoaislaste-panel de yeso) utilizados en el prototipo original, más una capa intermedia de PCM. Para contener el PCM se propuso utilizar un encapsulado de aluminio con un espesor de 0.001 m el cual permita conducir eficientemente el calor. El espesor de capa del PCM como la de aislante , varían dependiendo el sistema propuesto, pero no superando, entre estas dos capas un espesor por arriba de los 0.10 m. Como último, se conservó la capa de pintura de color blanco con la que cuenta actualmente las superficies exteriores de muros con una absortancia de 0.26 .

En la Tabla 9 se describe la configuración los sistemas constructivos propuestos por capa y en la Tabla 10 algunas de sus propiedades termofísicas de los materiales.

### PY- A.01-PCM.04-PY

Capa ex (a): Capa de pintura blanca (Comex® PRO-1000 PLUS) de 0.001 de espesor, con una absorbancia de 0.26.

Capa siguiente: Recubrimiento Base Coat Protekto (Panel Rey ®) de 0.005 m de espesor
Capa siguiente: Panel de yeso con fibra de vidrio a prueba de humedad (Panel Rey ® Glass Rey)
de 0.0158m de espesor.

Capa siguiente: Aislante de fibras minerales (Aislamuro de rolan ® ) de 0.01 m de espesor.

Capa siguiente: Material cambio de fase (Rubitherm RTHC) de 0.04 m de espesor.

Capa siguiente: Panel de yeso para uso en interiores (Panel Rey ® Regular) de 0.0158 m de

Capa interior: Recubrimiento Base Coat Protekto (Panel Rey  $^{\circledR})$  de 0.005 m de espesor.

### PY- A.02-PCM.08-PY

Capa exterior: (ap) de pintura blanca (Comex® PRO-1000 PLUS) de 0.001 de espesor, con una absorbancia de 0.26.

Capa siguiente: Recubrimiento Base Coat Protekto (Panel Rey ®) de 0.005 m de espesor.

Capa siguiente: Panel de yeso con fibra de vidrio a prueba de humedad (Panel Rey ® Glass Rey) de 0.0158m de espesor.

Capa siguiente : Aislante de fibras minerales (Aislamuro de rolan ® ) de 0.02 m de espesor. Capa siguiente: Material cambio de fase (Rubitherm RTHC) de 0.08 m de espesor. Capa siguiente: Panel de yeso para uso en interiores (Panel Rey ® Regular) de 0.0158 m de

Capa interior: Recubrimiento Base Coat Protekto (Panel Rey ®) de 0.005 m de espesor.

### PY- A.02-PCM.04-PY

Capa extendr: Capa de pintura blanca (Comex® PRO-1000 PLUS) de 0.001 de espesor, con una absorbancia de 0.26.

Capa siguiente: Recubrimiento Base Coat Protekto (Panel Rey ®) de 0.005 m de espesor.

Capa siguiente: Panel de yeso con fibra de vidrio a prueba de humedad (Panel Rey ® Glass Rey) de 0.0158m de espesor.

Capa siguiente : Aislante de fibras minerales (Aislamuro de rolan  $^{\circ}$ ) de 0.02 m de espesor. Capa siguiente: Material cambio de fase (Rubitherm RTHC) de 0.04 m de espesor. Capa siguiente: Panel de yeso para uso en interiores (Panel Rey  $^{\circ}$  Regular) de 0.0158 m de

Capa interior: Recubrimiento Base Coat Protekto (Panel Rey ®) de 0.005 m de espesor.

### PY-PCM.08-PY

Capa exterior: (4) de pintura blanca (Comex® PRO-1000 PLUS) de 0.001 de espesor, con una absorbancia de 0.26.

Capa siguiente: Recubrimiento Base Coat Protekto (Panel Rey ®) de 0.005 m de espesor.

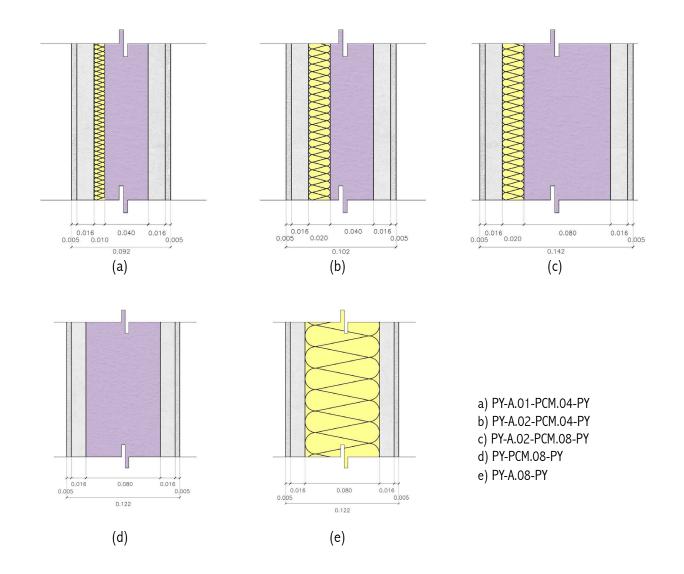
Capa siguiente: Panel de yeso con fibra de vidrio a prueba de humedad (Panel Rey ® Glass Rey) de 0.0158m de espesor.

Capa siguiente: Material cambio de fase (Rubitherm RTHC) de 0.08 m de espesor.

Capa siguiente: Panel de yeso para uso en interiores (Panel Rey ® Regular) de 0.0158 m de espesor.

Capa interior: Recubrimiento Base Coat Protekto (Panel Rey ®) de 0.005 m de espesor.

Tabla 9. Configuración de las diferentes propuestas de sistemas constructivos (capas) con PCM.



Propiedad	Pintura blanca (Comex)	Recubrimiento (Base Coat Protekto)	Panel de yeso (con fibra de vidrio)	Aislante mineral (Aislamuro de Rolan)	Panel de Yeso ( para interiores)
Conductividad térmica [W/m·K]	0.2	0.42	0.16	0.035	0.16
Densidad [kg/m³]	1050	1200	768.9	32	720.8
Capacidad de calor específico [kJ/kg·K]	1.5	0.84	1	0.96	1
Espesor [m]	0.001	0.005	0.0158	0.01-0.02	0.0158
Absorbancia térmica	0.26	0.9	0.9	0.9	0.9

Tabla 10. Propiedades termofisicas de las capas utilizadas en los sistemas constructivos.

4 | 7

# CONFIGURACIÓN 4 | 8 DE LOS ESCENARIOS DE LOS CASOS DE ESTUDIO

SIMULACIÓN DEL DESEMPEÑO TÉRMICO DE LOS CASOS DE ESTUDIO

Para el estudio del comportamiento de los PCM´s, en total se generaron 39 escenarios. De los 4 sistemas constructivos propuestos, cada uno de ellos fue simulado con los 3 tipos de PCM´s (RT18HC, RT22HC y RT25HC). Por lo tanto, por cada sistema constructivo propuesto, con un punto de fusión específico, se generaron 3 escenarios al ser aplicados en los 3 módulos del prototipo (cocina, lavado y dormitorio).

Dentro del total de escenarios, 3 de ellos corresponden al estudio de la envolvente con el sistema constructivo original, el cual servirá como referencia para determinar cual es el aporte en el comportamiento de temperaturas interiores al utilizar un sistema con PCM.

En la Tabla 11 se muestra detalladamente los 39 escenarios estudiados.

A partir de la geometría del prototipo generada en el programa DesignBuilder, el modelo reúne información de la localización, las propiedades físicas de los materiales aplicados en el modelo y elementos que generan sombras. Toda esta información forma parte de un archivo IDF para el programa EnergyPlus.

EnergyPlus es un programa de simulación de energía y análisis térmico que entre otras variables de energía en los edificios, modela calentamiento, enfriamiento, iluminación y ventilación (Belaunzarán, 2015). Para este estudio, se utilizó el programa EnergyPlus versión 8.3.0, con el objetivo de la simulación de los 39 escenarios propuestos.

Sistema Constructivo	PCM-RT/HC	Módulos
	18 °C	Cocina — Lavado - Dormitorio
PY-A.01-PCM.04-PY	22 °C	Cocina — Lavado - Dormitorio
	25 °C	Cocina — Lavado - Dormitorio
	18 °C	Cocina — Lavado - Dormitorio
PY-A.02-PCM.04-PY	22 °C	Cocina — Lavado - Dormitorio
	25 °C	Cocina — Lavado - Dormitorio
	18 °C	Cocina — Lavado - Dormitorio
PY-A.02-PCM.08-PY	22 °C	Cocina — Lavado - Dormitorio
	25 °C	Cocina — Lavado - Dormitorio
	18 °C	Cocina — Lavado - Dormitorio
PY-PCM.08-PY	22 °C	Cocina — Lavado - Dormitorio
	25 °C	Cocina — Lavado - Dormitorio
PY- A.08-PY	-	Cocina — Lavado - Dormitorio

Tabla 11. Escenarios estudiados por cada sistema constructivo propuesto con PCM

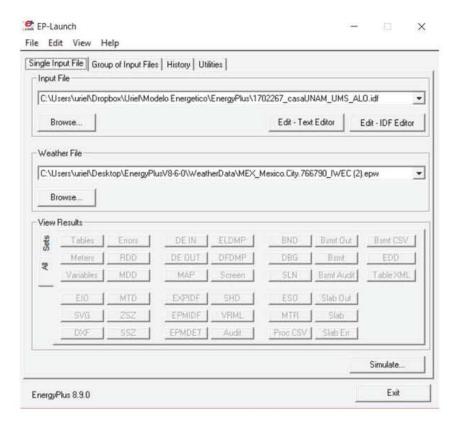


Fig. 49. Pestaña para cargar archivo climatico en EP Launch de EnergyPlus.

## 4 | 8.1 ARCHIVO DE GEOMETRÍA Y 4 | 8.2 CONFIGURACIÓN DE MODELADO DE PCM EN ENERGYPLUS

Al abrir el EP-launch de Energy Plus, en la barra de Input File, lo primero que se debe realizar es la selección del Archivo IDF con el que se va trabajar. El archivo IDF es el que contiene la información de la localización, la geometría, los materiales y todos aquellos elementos que afectan de madera directa o indirecta el edificio a estudiar. Para este archivo se utilizó el software DsignBuilder así como se describió en el punto (ver punto descripción geometría Design bulider.)

En esta misma ventana, se le debe suministrar el archivo de clima el cual debe tener el formato EPW (Fig. 49). Este archivo climático EPW se consiguió de la página de Energy Plus ("Weather data by location | EnergyPlus",2016) el cual contiene datos históricos de las variables climáticas medidas a partir de las estaciones meteorológicas ubicadas en la Ciudad de México.

EnergyPlus cuenta con alrededor de 52 grupos de parámetros para definir una simulación específica. Estos se encuentran dentro de la lista de clasificación (class list) al entrar al edit-IDF EDITOR. El primer grupo en esta lista se encuentran los parámetros de simulación (simulation parameters) en el cual se incluyen la información principal como el paso de tiempo, los algoritmos de conducción y convección, especificaciones del edificicio. Entre otros grupos de parámetros se encuentra el de localización y clima, superficies de elementos constructivos, zonas térmicas y superficies, ganancias internas, flujo de aire por zonas, ventilación natural y diversos grupos de climatización ya sea con sistemas HVAC.

A continuación se se describen los parámetros más relevantes utilizados para las simulaciones de este trabajo.

## 4 | 8.3 ALGORITMO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN

El programa Energy plus utiliza de forma predeterminada el método de funciones de transferencia (CTF) para resolver la trasferencia de calor por conducción en las envolventes del edificio. Esto quiere decir que a partir de una única ecuación simple y lineal, el método CTF puede calcular la trasferencia de calor por conducción de un elemento constructivo.

Cuando se busca estudiar PCM en EnergyPlus, el método CTF no es el adecuado cuando se trata de emplear propiedades térmicas dependientes de la temperatura como la conductividad térmica, la entalpía y el cambio de fase (Belaunzaran, 2015). Es por ello que para simular PCM en EnergyPlus en el parámetro de algoritmo de equilibrio térmico (Heat balance algorithm), se debe utilizar el método de diferencias finitas (condDF), ya que este método le permite introducir datos de entalpía de cambio de fase, es decir, la curva de entalpía (Ver Fig. 50). En este caso el método ConFD lo que hace es que discretizar las paredes, pisos y techos en varios nodos y utiliza un esquema implícito de diferencias finitas para resolver numéricamente las

ecuaciones apropiadas de transferencia de calor (Tabares et. al. 2012).

El programa EnergyPlus utiliza un modelo matemático para resolver la conducción de calor que tiene relación con la Ley de Fourier (Lira & Vilchis, 2017), como se determina en la siguiente ecuación 1.5:

$$\rho c p \frac{\partial T}{\partial t} = -\kappa \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \tag{1.5}$$

Donde p es la densidad de masa del material, cp es el calor especifico del material, k es la conductividad térmica del material.  $\frac{\partial T}{\partial t}$  denota el componente dependiente del tiempo del flujo de calor a través del material y  $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$  denota el gradiente térmico a lo largo de la coordenada x del material.

Para el sistema constructivo con PCM en EnergyPlus, se utiliza el método de capacidad calorífica utilizando el modelo CondFD, donde a partir de la ecuación (1.5) se resuelve de acuerdo al factor de discretización de 0.333, el cual divide en una serie de segmentos al material del muro.

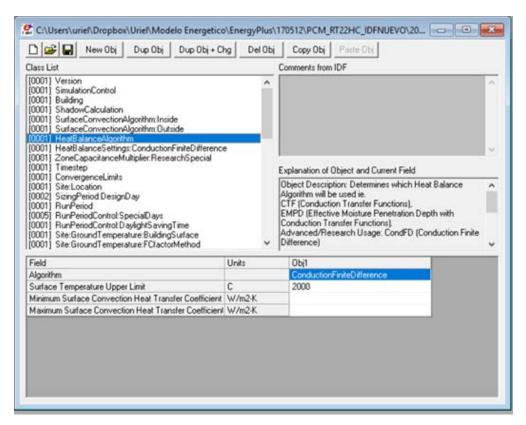


Fig. 50. Editor IDF en EnergyPlus- Pestaña algoritmo de conduccíon.

El modelo CondFD se establece en la siguiente ecuación (1.6):

$$\rho_i c p_i \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} = \kappa_i \frac{T_{i+1}^{n+1} - T_i^{n+1}}{\Delta x^2} + \kappa_i \frac{T_{i-1}^{n+1} - T_i^{n+1}}{\Delta x^2}$$

(1.6)

Donde el subíndice *i* se relaciona con la coordenada espacial de cada segmento del muro. El indice *n* se relaciona con la coordenada de tiempo. Se utiliza un esquema completamente implícito para el algoritmo de resolución CondFD.

El flujo de calor incidente en las superficies externas del sistema constructivo de muros es transferido a través de estos, por conducción hacia el espacio interior. El balance de calor las superficies exteriores del sistema constructivo esta dado por la siguiente ecuación (Lira & Vilchis, 2017 (1.7):

$$\dot{q}_{\alpha sol} + \dot{q}_{LWR} + \dot{q}_{hc} = \dot{q}_k \tag{1.7}$$

Donde  $q_{asol}$  es el flujo de calor de radiación solar global absorbido por la unidad de área,  $q_{LWR}$  es el intercambio neto del flujo de radiación térmica (infrarrojo) con el aire y el entorno de la unidad de área,  $q_{bc}$  es el intercambio de

flujo convectivo con el aire exterior para la unidad de área y  $q_k$  es la conducción de calor a través del muro de la unidad de área.

## 4 | 8.4 CONSTANTE ESPACIAL DE DISCRETIZACIÓN

(Belaunzaran, 2015) describe que EnergyPlus utiliza el parámetro de constante espacial de discretización para determinar la distancia nominal entre nodos y el número de nodos para cada capa de material del sistema constructivo. El valor recomendado para validar el modelo es de 0.33 (Tabares et. al , 2012). Este valor indica la división en pedazos o nodos, en cada una de las capas del sistema constructivo, es decir, divide en tercios el espesor de cada capa. Con base en un parámetro que depende de una constante de discretización del espacio, la difusividad térmica del material y el paso del tiempo.

Por lo tanto en el parámetro de Heat Balance Settings: Conduction Finite Difference se definió el valor de discretización de 0.33 y se verificó que en el esquema de las diferencias estuviera definido como Completamente implícito de primer orden (Fig 51).

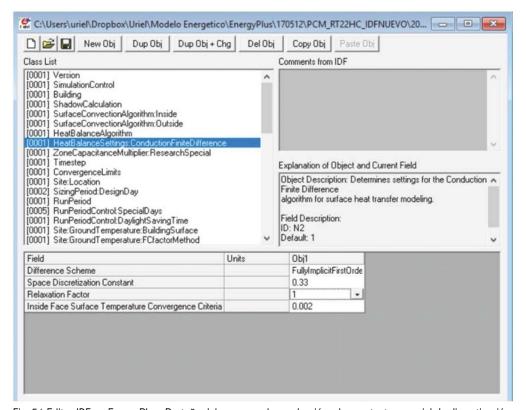


Fig. 51. Editor IDF en EnergyPlus- Pestaña del esquema de conducción y la constante espacial de discretización.

Al utilizar el algoritmo de diferencias finitas en la barra de parámetros pasos de tiempo (Timesteps), se le puede indicar los pasos de tiempo de entre 20 a 60 pasos de tiempo por hora. Entre mayores pasos de tiempos indicados en esta opción, este tiene importantes implicaciones para la precisión de la simulación y el tiempo que le toma al software para realizar la simulación.

Para tener una mayor precisión en el presente estudio, se le indico 60 pasos de tiempo por hora (Fig. 52).

En el parámetro de Periodos de ejecución (Run Period) EnergyPlus permite indicar los días o meses del año que se desean estudiar. En esta sección se puede definir desde el mes que se quiere comenzar el estudio y el mes donde acaba, así como el día en el que se quiere que comience el estudio y el día que se quiere terminar el estudio.

Para el presente estudio se determinó estudiar el comportamiento del PCM durante un año (Fig. 54).

### 4 | 8.6

### LOCALIZACIÓN

### 4 | 8.8 ESPECIFICACIÓN DE MATERIALES

En el IDF Editor se encuentra el parámetro de Ubicación del sitio (Site:Location) donde se puede definir diferentes variables. En esta parte se define la latitud, la longitud, la zona horaria y la elevación.

El archivo de clima EPW contienen predeterminados los datos antes mencionados, o también se puede editar de manera manual cada uno de ellos (Fig. 53).

En el parámetro de materiales (Materials) se le pueden indicar al programa todos los materiales que se buscan estudiar. Por cada material que se dé de alta en este parámetro, se debe indicar las propiedades físicas de los materiales.

Dentro de las propiedades a proporcionar es posible indicar la rugosidad del material, el grosor (m), la conductividad térmica [W/mK], la densidad [Kg/m2], el calor especifico

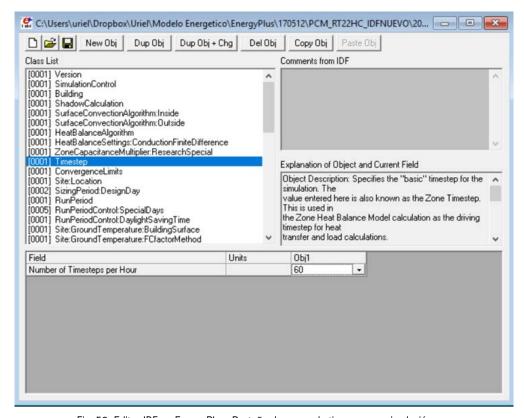


Fig. 52. Editor IDF en EnergyPlus- Pestaña de pasos de tiempo para simulación.

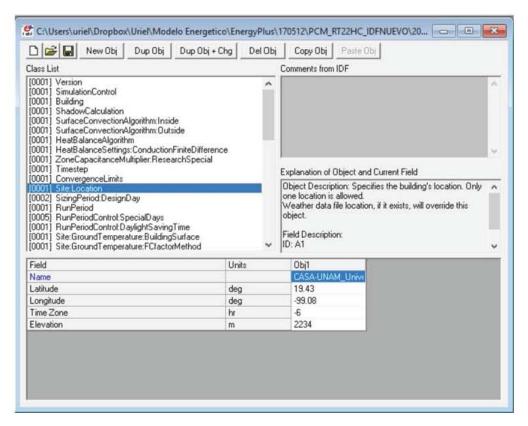


Fig. 53. Editor IDF en EnergyPlus- Pestaña de localización

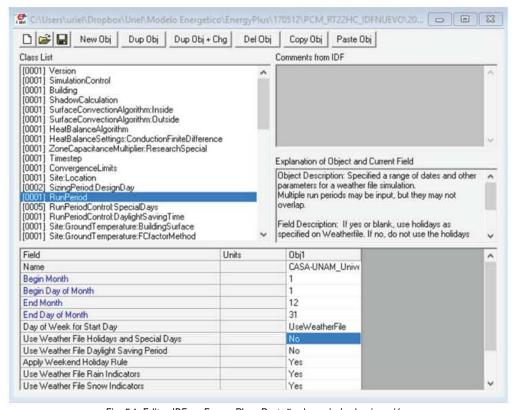


Fig. 54. Editor IDF en EnergyPlus- Pestaña de periodo de ejecución.

[J/kgK], la absortancia térmica, la absortancia solar y la absortancia visible. En este trabajo se utilizaron los materiales que se proporcionaron en las tablas 7 y 10 del capitulo 4 | 5 y tal del 4 | 6 (Ver Fig. 55).

### 4 | 8.9 CURVA DE ENTALPÍA

Debido a que EnergyPlus no entiende el valor de capacidad de almacenamiento de calor del PCM, se le tiene que indicar al programa en el parámetro de MaterialProperty:Phase Change como una función de entalpía (Fig. 56), la cual va evolucionando con base a la temperatura, permitiendo el programa hasta 16 datos. La entalpía en este caso ya está considerando en un solo valor, tanto calor sensible como calor latente.

Los valores de entrada para la curva de entalpía fueron obtenidos (Ver Fig. 57) a partir de la ecuación descrita por (Lira & Vilchis, 2017), para la función de entalpía:

Región Sólida (calor sensible):

$$h(T) = Cp (T_f - T_i)$$

Región de fusión(calor latente):

$$h(T) = H$$

Región líquida (calor latente + sensible) :

$$h(T) = H + Cp (T_f - T_i)$$
(1.8)

Donde en la región sólida, h es la entalpía del PCM a una temperatura T.

Cp es la capacidad calorífica del material por la diferencias de temperaturas entre la temperatura  $T_f$  y la  $T_i$ .

En la región de fusión, H es la capacidad nominal del material para el almacenamiento de calor.

La región líquida es igual al valor H que es la energía latente almacenada, mas el Cp calor específico del material por la diferencia de temperaturas entre  $T_f$  y  $T_i$   $\dot{f}$ .

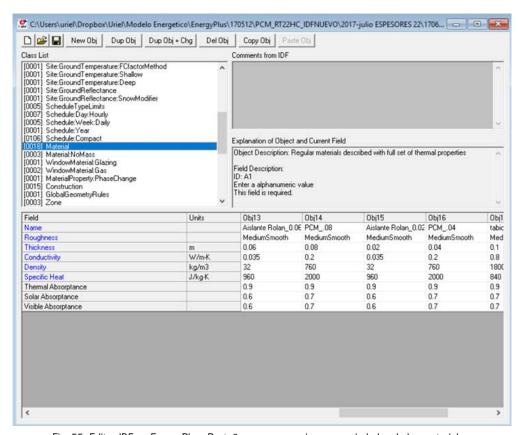


Fig. 55. Editor IDF en EnergyPlus- Pestaña para proporcionar propiedades de los materiales.

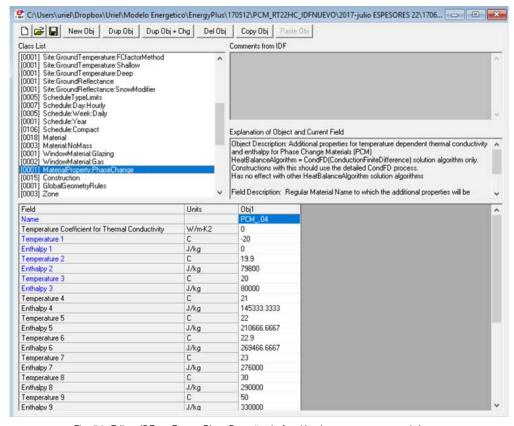
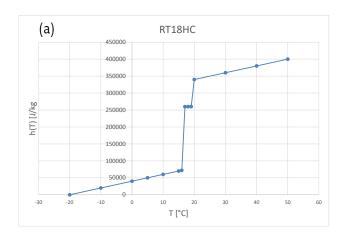
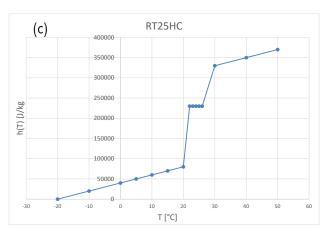


Fig. 56. Editor IDF en EnergyPlus- Pestaña de función de temperatura-entalpía.





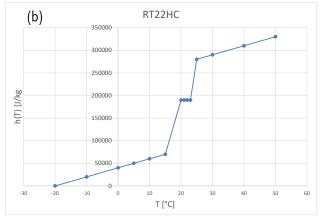


Fig. 57. Funciones de entalpía de temperatura de los PCM´s: (a) RT18HC, (b) RT22HC y (c) RT25HC.

### 4 | 8.10 SISTEMA CONSTRUCTIVO 4 | 8.12

## DETALLE COMPONENTE DE ENVOLVENTE

Para la composición de los sistemas constructivos, en el parámetro Construction, se pueden elegir las diferentes capas antes especificadas en el parámetro de materiales para definir el sistema constructivo a utilizar (Ver Fig. 58). Se tiene que tomar en cuenta que la primera capa a especificar será la capa externa y así consecutivamente hasta la capa interior. A partir del nombre asignado a cada sistema constructivo, este será utilizado para definir si es utilizado en muro, techo, ventanas o puertas.

Los sistemas constructivos definidos para estudiar en este trabajo se describen en la Tabla 9 del capitulo 4 | 6.

### 4 | 8.11 ZONAS TÉRMICAS

En el parámetro Zone, se encuentran los elementos o zonas por estudiar. En este parámetro se describe el volumen, el área y el algoritmo de convección por utilizar en las zonas interiores (Ver Fig 59).

En este trabajo se estudiaron las 3 zonas térmicas que componen al proyecto de Casa Unam: zona de lavado, zona de cocina y zona de recámara.

En el parámetro Building Surface : Detailed , se describen las dimensiones de los diferentes elementos de envolvente (muro, techo y piso). En este se describe la ubicación de las diferentes zonas térmicas (Cocina, Lavado y Recámara) respecto a un eje coordenado, así como también se puede definir los elementos de envolvente que se encuentran en contacto con el suelo, a la intemperie o alguna otra zona (Ver Fig. 60).

Para el presente estudio se determinó solo utilizar PCM en las 4 caras de los módulos (muros), ya que son las que tienen mayor exposición e intercambio de calor por convección del aire del ambiente exterior y a la radiación solar. Los sistemas de piso y techo mantienen el sistema constructivo de la propuesta original del proyecto de Casa UNAM.

### 4 | 8.13 DETALLE DE SOMBREAMIENTO

En el parámetro de Shading Building Detailed (Fig. 61) sirve para simular como otras superficies externas a los objetos de estudio , como árboles , edificios aledaños, elementos de sombreamiento o la radiación reflejada del

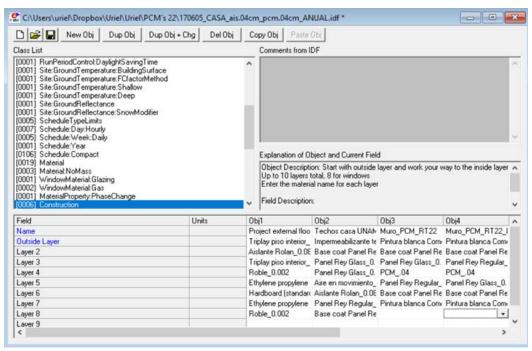


Fig. 58. Editor IDF en EnergyPlus- Pestaña de sistemas constructivos

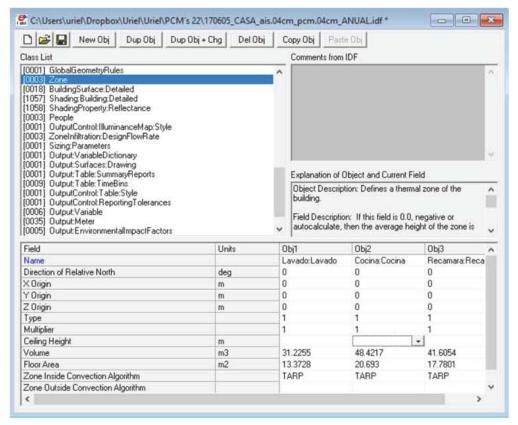


Fig. 59. Editor IDF en EnergyPlus- Pestaña de zonas térmicas

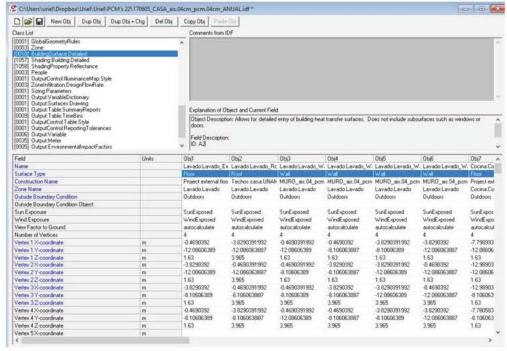


Fig. 60. Editor IDF en EnergyPlus- Pestaña de detalle de componente de las envolventes

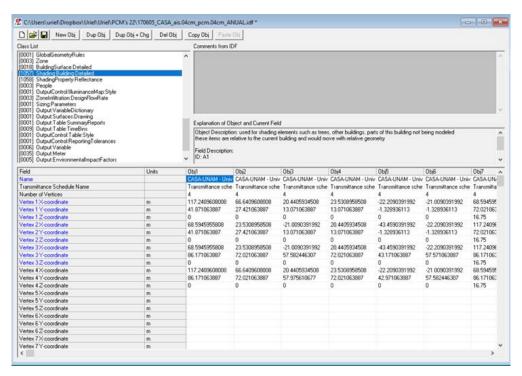


Fig. 61. Editor IDF en EnergyPlus- Pestaña de detalle de sombreamientos

suelo pueden llegar afectar al resultado de los elementos y zonas a estudiar. Para lograr mejores resultados, a partir del modelado de la geometría de Casa UNAM se tomó en cuenta el edificio del Universum, la torre de tinacos , así como la estructura tridimensional que compone los módulos (tanto en piso y techo) y los paneles solares en la parte superior de la estructura. Al exportar el archivo IDF de DesingBuilder a Energlyplus , automáticamente todos los valores de ubicación de los elementos de sombreamiento son tomados en cuenta en este parámetro.

### 4 | 8.14 DATOS DE SALIDA

En el parámetro Output :Variable , se pueden elegir las variables de salida necesarias para analizar tales como temperaturas superficiales, temperaturas al interior, flujo de calor por unidad de área,humedad relativa, entre otros (Ver Fig. 62).

Para evaluar el desempeño del PCM, como variables de salida se le indicó obtener:

- Temperatura de bulbo seco del exterior
- Temperatura del aire interior
- Temperatura media interior

Una vez definidos los parámetros de simulación para el presente estudio, es importante indicar que los 39 escenarios propuestos cumplen con las mismas condiciones de simulación, tales como:

- No se tomaron en cuenta las ventanas y aberturas, para evitar ganancias o pérdidas de calor con el ambiente exterior.
- No se simularon las ganancias de calor al interior de los diferentes módulos de la casa por ocupación humana .
- No se simularon las ganancias de calor al interior de los diferentes módulos por operación de equipos eléctricos o sistemas de iluminación eléctrica.
- No se simularon en los módulos de prueba la ventilación natural , ni ganancia o perdidas de calor por infiltración de aire.
- No se simularon en los módulos de pruebas sistemas mecánicos de refrigeración o calefacción.

Después de realizar las 39 simulaciones de transferencia de calor, se buscó determinar cuanto tiempo se mantienen las temperaturas dentro del intervalo de confort, presentado en la Tabla 6.

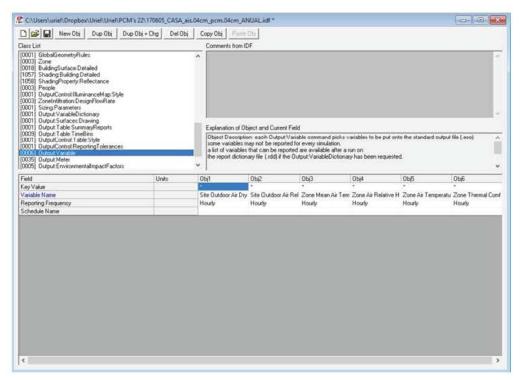


Fig. 62. Editor IDF en EnergyPlus- Pestaña de variables de salida.

El objetivo de la cuantificación es determinar cual de los escenarios propuestos con PCM en un sistema constructivo de muro, tiene un mayor aporte en cuanto a horas dentro rango de confort térmico durante un año, en un clima como el de la Ciudad de México. Esto comparado a partir de los 3 escenarios base, con el sistema constructivo de muros con solamente aislante, como el que tiene actualmente en el prototipo con sede en el Museo Universum.

Los resultados de las simulaciones se presentan en el siguiente capítulo en los cuales se comparan los resultados obtenidos.

### Referencias Bibliográficas

- Morales J.D. (1998) Estudio para el ahorro de energía de edificios para la Ciudad de México, México, D.F. Editorial Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial UNAM.
- Weather Data by Location | EnergyPlus. (2016). Energyplus. net. Recuperado 14 de Noviembre de 2016, from https://energyplus.net/weather-location/north\_and\_central\_america\_wmo\_region\_4/MEX//MEX\_Mexico.City.766790\_IWEC.
- Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia. (2016).
   Recuperado 14 de Noviembre de 2016, from http://smn.cna. gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias.
- Szokolay, S. V. (1997) Solar Energy and Building, Architectural Press, 2<sup>a</sup> Edicion, London.
- Auliciems, A, . Szokolay, S. 1997. Thermal Comfort. PLEA notes No.3 University of Queensland Department of Architecture. Brisbane, Australia
- Kosny, J., (2015). PCM-Enhanced Building Components. An application of Phase Change Materials in building envelopes and internal structures. Doi: 10.1007/978-3-319-14286-9.
- Fleischer, A. (2015). Thermal Energy Storage Using Phase Change Materials. Springerbriefs In Applied Sciences And Technology. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-20922-7.
- Kalnæs, S., & Jelle, B. (2015). Phase change materials and products for building applications: A state-of-the-art review and future research opportunities. Energy And Buildings, 94, 150-176.
- Rubitherm GmbH . Available online: https://www.rubitherm. eu/en/index.php/productcategory/organischepcm-rt (accessed on 19 Marzo 2017).
- Techdata RT18HC. Available online: https://www.rubitherm. eu/media/products/datasheets/Techdata\_ -RT18HC\_ EN\_31052016.PDF (Acceso el 19 Marzo 2017).

- Techata RT22HC. Available online: https://www.rubitherm. eu/media/products/datasheets/Techdata\_ -RT22HC\_ EN\_29062016.PDF Acceso el 19 Marzo 2017).
- Techdata RT25HC. Available online: https://www.rubitherm. eu/media/products/datasheets/Techdata\_ -RT25HC\_ EN\_29062016.PDF (Acceso el 19 Marzo 2017).
- Belaunzaràn, J. (2015) Estudios de un sistema constructivo con cambio de fase. (Tesis de Maestría) Instituto de Energías Renovables UNAM, Morelos, México
- Tabares, P., Christensen, C., Bianchi, M., (2012). Verification and validation of EnergyPlus phase change material model for opaque Wall assemblies. Building and Environment 54 (2012) 186-196.
- Lira, A., & Vilchis, S. (2017). Thermal Inertia Performance Evaluation of Light-Weighted Construction Space Envelopes Using Phase Change Materials in Mexico City's Climate. Technologies, 5(4), 69. http://dx.doi.org/10.3390/ technologies504006.

### Referencias imágenes

- Fig. 35. (a,b). http://132.248.9.195/ptd2015/ marzo/0726281/Index.html
- Fig. 36. Elaboración propia
- Fig. 37. Elaboración propia
- Fig. 38. Foto: Dr. Ronan Bolaños Linares
- Fig. 39. Foto: Dr. Ronan Bolaños Linares
- Fig. 40. http://www.cienciamx.com/index.php/ciencia/ ambiente/13601-casa-unam-vivienda-sustentable-comosolucion-de-interes-social.

- Fig. 41.Elaboración propia
- Fig. 42.Elaboración propia
- Fig. 43.Elaboración propia
- Fig. 44.Elaboración propia
- Fig. 45.Elaboración propia
- Fig. 46.Elaboración propia
- Fig. 47. Elaboración propia
- Fig. 48.Elaboración propia
- Fig. 49. Captura propia de Software
- Fig. 50. Captura propia de Software
- Fig. 51. Captura propia de Software
- Fig. 52. Captura propia de Software
- Fig. 53. Captura propia de Software
- Fig. 54. Captura propia de Software
- Fig. 55. Captura propia de Software
- Fig. 56. Captura propia de Software
- Fig. 57. Captura propia de Software
- Fig. 58. Captura propia de Software
- Fig. 59. Captura propia de Software
- Fig. 60. Captura propia de Software
- Fig. 61. Captura propia de Software
- Fig. 62. Captura propia de Software

### Referencias Tablas

- Tabla 6. Elaboración propia
- Tabla 7. (Techdata RT18HC,RT22HC,RT25HC).
- Tabla 8. Elaboración propia
- Tabla 9. Elaboración propia
- Tabla 10. Elaboración propia
- Tabla 11. Elaboración propia

## 5

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5 | 1 RESULTADOS

A partir de los resultados arrojados en las simulaciones por el programa EnergyPlus en un archivo CSV, se cuantificó el número de horas donde las temperaturas se encontraban por debajo del rango de temperaturas mínimas de confort y las que sobrepasaban el rango máximo. Para determinar las horas totales dentro del intervalo de temperaturas de confort, se determinó en función a la ecuación (1.9): Donde  $t_{confort}$  es el número de horas dentro del rango de confort térmico humano en un año, 8760 se refiere al numero de horas totales en un año,

 $\emph{t}_{\textit{min}}$  es el número de horas por debajo del rango mínimo de confort y,

 $t_{\scriptsize max}$  el número de horas por arriba del rango máximo de confort.

$$t_{confort} = 8760 - (t_{min} + t_{max})$$
 (1.9) Los resultados de los diferentes sistemas propuestos se

Horac	d۵	confort	/ Recámara
$\neg coras$	$\Box$	COHICH	/ DECAINALA

PCM	Sistema Constructivo	t <sub>min</sub>	t <sub>max</sub>	t confort
Caso base con aislante	P1-A.U8-P1		0	1533
	PY-A.01-PCM.04-PY	7105	29	1626
	PY-A.02-PCM.04-PY	7348	5	1407
PCM-RT18HC	PY-A.02-PCM.08-PY	7505	0	1255
	PY-PCM.08-PY	7039	9	1712
	PY-A.01-PCM.04-PY	6657	0	2103
	PY-A.02-PCM.04-PY	7057	0	1703
PCM-RT22HC	PY-A.02-PCM.08-PY	7346	0	1414
	PY-PCM.08-PY	6697	0	2063
	PY-A.01-PCM.04-PY	5832	0	2928
PCM-RT25HC	PY-A.02-PCM.04-PY	6290	0	2470
	PY-A.02-PCM.08-PY	6946	0	1814
	PY-PCM.08-PY	6065	0	2695

(a)

Horas de confort / Cocina

PCM	Sistema Constructivo	t <sub>min</sub>	t <sub>max</sub>	t confort
Caso base con aislante	PY-A.08-PY		0	1800
	PY-A.01-PCM.04-PY	6690	13	2057
	PY-A.02-PCM.04-PY	6978	0	1782
PCM-RT18HC	PY-A.02-PCM.08-PY	7168	0	1592
	PY-PCM.08-PY	6504	2	2254
	PY-A.01-PCM.04-PY	6220	0	2540
	PY-A.02-PCM.04-PY	6712	0	2048
PCM-RT22HC	PY-A.02-PCM.08-PY	7017	0	1743
	PY-PCM.08-PY	6247	0	2513
-	PY-A.01-PCM.04-PY	5334	0	3426
PCM-RT25HC	PY-A.02-PCM.04-PY	5920	0	2840
1 (11-112311)	PY-A.02-PCM.08-PY	6658	0	2120
	PY-PCM.08-PY	5642	0	3118

(b)

### Horas de confort / Lavado

PCM	Sistema Constructivo $t_{min}$		t <sub>max</sub>	t confort	
Caso base con aislante	PY-A.08-PY 6		0	2111	
	PY-A.01-PCM.04-PY	6331	28	2401	
DOM DT ( OLIG	PY-A.02-PCM.04-PY	6610	7	2143	
PCM-RT18HC	PY-A.02-PCM.08-PY	6755	0	2005	
	PY-PCM.08-PY	6137	11	2612	
	PY-A.01-PCM.04-PY	5608	0	3152	
DOM DTOOLIG	PY-A.02-PCM.04-PY	6173	0	2587	
PCM-RT22HC	PY-A.02-PCM.08-PY	6526	0	2234	
	PY-PCM.08-PY	5710	0	3050	
	PY-A.01-PCM.04-PY	4968	0	3792	
PCM-RT25HC	PY-A.02-PCM.04-PY	5475	0	3285	
1 (11-112311)	PY-A.02-PCM.08-PY	6178	0	2582	
	PY-PCM.08-PY	5194	0	3566	

(c)

Tabla 12. Número de horas en un año típico de temperaturas interiores dentro del rango de confort térmico en los módulos de (a) Récamara, (b) Cocina y (c) Lavado.

presentan en el la Tabla 12 (a-c). El sistema constructivo de muro PY- A.01-PCM.04-PY obtuvo el mejor desempeño respecto a los demás sistemas al implementarse con los 3 tipos de PCM elegidos para este estudio, siendo ademas el sistema con PCM más ligero y con el menor espesor. El sistema constructivo PY- A.01-PCM.04-PY con PCM-

El sistema constructivo PY- A.01-PCM.04-PY con PCM-RT25HC fue el que obtuvo el mejor desempeño de todos los escenarios estudiados, obteniendo el mayor número de horas dentro del rango de confort humano.

Para determinar las propiedades de inercia térmica en función de los efectos de amortiguación térmica y retardamiento térmico en los sistemas constructivos con PCM, se analizaron los siguientes días del año:

- 8 de mayo. Día del año donde se presenta la temperatura más alta.
- 25 de diciembre. Día del año que presenta la temperatura más fría.
- 5 de abril. Día del año donde se presenta oscilaciones térmicas típicas promedio.

Para cuantificar la amortiguación térmica en función de las oscilaciones de temperatura mínima y máxima en un ciclo

de 24 horas (un día), fue calculada a partir de la siguiente ecuación (2.0):

$$dT = T_{max} - T_{min}$$
 (2.0)

Donde dT es la diferencia de temperatura entre la temperatura máxima  $T_{max}$  y la temperatura mínima  $T_{min}$  en un día especifico.

Al obtener las oscilaciones de temperaturas tanto exteriores como interiores, se buscó obtener la amortiguación a partir de la diferencia de temperatura exterior entre la temperatura interior, la cual fue calculada con la siguiente ecuación:

$$dT = T_{ext} - T_{int}$$

Donde dT es la diferencia de temperatura entre la temperatura exterior  $T_{ext}$  y la temperatura interior  $T_{int}$  en un día especifico.

Los resultados de amortiguamiento de los diferentes sistemas se presentan en la Tabla 13 (a-c).

Amortiguamiento térmico / Recámara 25 diciembre 5 abril 8 mayo **PCM** Sistema Constructivo °C °C Caso base con dT<sub>PY-A.08-PY</sub> 14.308 16.691 7.564 aislante 16.277  $dT_{\text{PY-A.01-PCM.04-PY}}$ 12.222 6.051 13.343 16.521 7.092 dT<sub>PY-A.02-PCM.04-PY</sub> PCM-RT18HC dT<sub>PY-A.02-PCM.08-PY</sub> 15.302 17.246 9.015 13.823 17.388 7.234  $dT_{PY-PCM.08-PY}$ *dT*<sub>PY-A.01-PCM.04-PY</sub> 16.363 15.562 10.529  $dT_{PY-A.02-PCM.04-PY}$ 16.365 16.505 10.483 PCM-RT22HC 16.378 17.948 10.412 dT<sub>PY-A.02-PCM.08-PY</sub> 10.262  $dT_{PY-PCM.08-PY}$ 16.026 16.666 15.983 15.889 10.254 dT<sub>PY-A.01-PCM.04-PY</sub> 15.845 16.765 10.113 dT<sub>PY-A.02-PCM.04-PY</sub> PCM-RT25HC  $dT_{PY-A.02-PCM.08-PY}$ 16.168 18.028 10.217 15.952 16.932 10.289  $dT_{\text{PY-PCM.08-PY}}$ 

(a)

Amortiguamiento térmico / Cocina

		,		
PCM	Sistema Constructivo	8 mayo °C	25 diciembre °C	5 abril °C
Caso base con aislante	dT <sub>PY-A.08-PY</sub>	13.740	16.124	7.535
	<i>dT</i> <sub>PY-A.01-PCM.04-PY</sub>	12.189	17.166	7.004
	dT <sub>PY-A.02-PCM.04-PY</sub>	13.489	17.375	7.858
PCM-RT18HC	$dT_{PY-A.02-PCM.08-PY}$	15.628	17.452	9.667
	$dT_{ ext{PY-PCM.08-PY}}$	13.926	17.577	8.150
	d7 <sub>PY-A.01-PCM.04-PY</sub>	16.365	15.637	10.539
DCM DT22UC	d7 <sub>PY-A.02-PCM.04-PY</sub>	16.360	16.340	10.493
PCM-RT22HC	$dT_{PY-A.02-PCM.08-PY}$	16.377	17.882	10.421
	dT <sub>PY-PCM.08-PY</sub>	16.290	17.477	10.397
	<i>dT</i> <sub>PY-A.01-PCM.04-PY</sub>	16.370	15.734	10.053
PCM-RT25HC	$dT_{PY-A.02-PCM.04-PY}$	16.129	16.549	9.835
1 CIT-IVIZJIIC	dT <sub>PY-A.02-PCM.08-PY</sub>	16.324	17.977	10.272
	$dT_{PY-PCM.08-PY}$	16.246	17.609	10.191

Amortiquamiento, térmico / Lavado

	Amortiguamiento termico / Lavado				
PCM	Sistema Constructivo	8 mayo	25 diciembre	5 abril	
T G/1	Sistema constructivo	°C	°C	°C	
Caso base con aislante	<i>d</i> 7 <sub>PY-A.08-PY</sub>	14.224	16.458	7.428	
	d7 <sub>PY-A.01-PCM.04-PY</sub>	12.808	17.445	6.379	
PCM-RT18HC	<i>dT</i> <sub>PY-A.02-PCM.04-PY</sub>	13.872	17.639	7.331	
rum-ni ionic	dT <sub>PY-A.02-PCM.08-PY</sub>	15.752	17.726	9.242	
	$dT_{PY-PCM.08-PY}$	14.276	17.864	7.522	
	<i>dT</i> <sub>PY-A.01-PCM.04-PY</sub>	16.707	15.515	10.218	
DOM DECAMA	<i>dT</i> <sub>PY-A.02-PCM.04-PY</sub>	16.706	16.480	10.624	
PCM-RT22HC	dT <sub>PY-A.02-PCM.08-PY</sub>	16.717	18.102	10.547	
	$dT_{PY-PCM.08-PY}$	16.606	17.380	10.083	
	dT <sub>PY-A.01-PCM.04-PY</sub>	16.741	15.771	10.360	
PCM-RT25HC	dT <sub>PY-A.02-PCM.04-PY</sub>	16.658	16.734	10.216	
1 (11-112311)	d7 <sub>PY-A.02-PCM.08-PY</sub>	16.676	18.221	10.350	
	dT <sub>PY-PCM.08-PY</sub>	16.552	17.377	10.528	

Tabla 13. Amortiguamiento de temperaturas interiores apartir de la diferencia de la oscilacion de temperatura exteriore y las temperaturas interiores de los modulos de (a) Récamara, (b) Cocina y (c) Lavado para los dias : 8 de mayo, 25 de diciembre y 15 de abril.

(c)

(b)

Para cuantificar el retardo térmico en función de la diferencia de tiempo entre el momento en el que se presenta la temperatura máxima del ambiente exterior y el momento cuando alcanza la temperatura máxima interior durante un ciclo de 24 hora un día), se calculo a partir de la siguiente la ecuación (2.1):

$$dT = tT_{max-in} - tT_{max-ext}$$
 (2.1)

Donde dT es la diferencia de tiempo entre , $tT_{max-in}$  que es el tiempo en que se presenta la temperatura máxima interior y  $tT_{max-ext}$  que es el tiempo en el se presenta la temperatura máxima en el ambiente exterior.

Los resultados del retardamiento térmico de los diferentes sistemas propuestos se presentan en el la Tabla 14 (a-c).

Para determinar el peso de un  $m^2$  de los sistemas constructivos, se cuantifico el peso por capa de los materiales que lo componen, con la siguiente ecuación (2.2):

$$W_{capa} = p _{*} e_{capa}$$
 (2.2)

Donde  $W_{capa}$  es el peso de la capa, p es la densidad del material y  $e_{capa}$  es el espesor de la capa de material. Para cuantificar el peso total por m2 de los sistemas, se utilizo la siguiente ecuación (2.3):

$$W_{total} = \Sigma w_{capa} \tag{2.3}$$

Donde  $W_{total}$  es el peso total de sistema constructivo para un m²,  $\Sigma W_{capa}$  es la suma del peso del total de capas que componen el sistema.

En la Tabla 15 se muestran los pesos de los diferentes sistemas constructivos de muro , así como sus espesores.

En los resultados se puede observar que de todos los sistemas constructivos estudiados con PCM, el sistema PY- A.01-PCM.04-PY presenta un menor peso y un menor

Retardamiento térmico / Recámara

DCM	C' L C L L'	8 mayo	25 diciembre	5 abril
PCM	Sistema Constructivo	[Hrs]	[Hrs]	[Hrs]
Caso base con aislante	PY-A.08-PY	4.000	2.000	3.000
	dT <sub>PY-A.01-PCM.04-PY</sub>	4.000	1.000	4.000
	$dT_{PY-A.02-PCM.04-PY}$	4.000	1.000	4.000
PCM-RT18HC	$dT_{PY-A.02-PCM.08-PY}$	5.000	0.000	4.000
	$dT_{ ext{PY-PCM.08-PY}}$	6.000	1.000	5.000
	<i>dT</i> <sub>PY-A.01-PCM.04-PY</sub>	2.000	2.000	1.000
	dT <sub>PY-A.02-PCM.04-PY</sub>	2.000	2.000	1.000
PCM-RT22HC	<i>dT</i> <sub>PY-A.02-PCM.08-PY</sub>	2.000	1.000	1.000
	$dT_{ ext{PY-PCM.08-PY}}$	2.000	2.000	1.000
	dT <sub>PY-A.01-PCM.04-PY</sub>	2.000	2.000	1.000
PCM-RT25HC	$dT_{PY-A.02-PCM.04-PY}$	3.000	1.000	1.000
ר נויו-תו באונ	<i>dT</i> <sub>PY-A.02-PCM.08-PY</sub>	3.000	1.000	2.000
	dT <sub>PY-PCM.08-PY</sub>	2.000	2.000	1.000

(a)

#### Retardamiento térmico / Cocina

PCM	Sistema Constructivo	8 mayo [Hrs]	25 diciembre [Hrs]	5 abril [Hrs]
Caso base con aislante	<i>dT</i> <sub>PY-A.08-PY</sub>	4.000	1.000	3.000
	<i>dT</i> <sub>PY-A.01-PCM.04-PY</sub>	5.000	1.000	4.000
DOM DT COM	d7 <sub>PY-A.02-PCM.04-PY</sub>	5.000	0.000	4.000
PCM-RT18HC	d7 <sub>PY-A.02-PCM.08-PY</sub>	5.000	0.000	4.000
	$dT_{\text{PY-PCM.08-PY}}$	6.000	0.000	6.000
	dT <sub>PY-A.01-PCM.04-PY</sub>	2.000	1.000	1.000
	$dT_{PY-A.02-PCM.04-PY}$	2.000	1.000	1.000
PCM-RT22HC	$dT_{PY-A.02-PCM.08-PY}$	2.000	1.000	1.000
	<i>dT</i> <sub>PY-PCM.08-PY</sub>	2.000	1.000	1.000
	dT <sub>PY-A.01-PCM.04-PY</sub>	2.000	1.000	1.000
DCM DTOFUC	dT <sub>PY-A.02-PCM.04-PY</sub>	2.000	1.000	1.000
PCM-RT25HC	d7 <sub>PY-A.02-PCM.08-PY</sub>	3.000	1.000	2.000
	dT <sub>PY-PCM.08-PY</sub>	2.000	1.000	1.000

(b)

#### Retardamiento térmico / Lavado

PCM	Sistema Constructivo	8 mayo [Hrs]	25 diciembre [Hrs]	5 abril [Hrs]
Caso base con aislante	dT <sub>PY-A.08-PY</sub>	4.000	1.000	3.000
	dT <sub>PY-A.01-PCM.04-PY</sub>	5.000	1.000	3.000
	d7 <sub>PY-A.02-PCM.04-PY</sub>	5.000	1.000	3.000
PCM-RT18HC	$dT_{PY-A.02-PCM.08-PY}$	5.000	0.000	4.000
	$dT_{\text{PY-PCM.08-PY}}$	6.000	0.000	4.000
	dT <sub>PY-A.01-PCM.04-PY</sub>	2.000	2.000	1.000
DOM PTOOLIC	$dT_{PY-A.02-PCM.04-PY}$	2.000	2.000	1.000
PCM-RT22HC	$dT_{\mathrm{PY-A.02-PCM.08-PY}}$	2.000	1.000	1.000
	dT <sub>PY-PCM.08-PY</sub>	2.000	2.000	1.000
	dT <sub>PY-A.01-PCM.04-PY</sub>	2.000	2.000	1.000
PCM-RT25HC	$dT_{PY-A.02-PCM.04-PY}$	2.000	1.000	1.000
I CIT-NIZOTIC	$dT_{\mathrm{PY-A.02-PCM.08-PY}}$	3.000	1.000	2.000
	$dT_{PY-PCM.08-PY}$	2.000	4.000	1.000

(c)

Tabla 14. Diferencias de horas entre el momento en que se produce la temperatura interior máxima y el momento que se produce la temperatura exterior máxima en los modulos de (a) Récamara, (b) Cocina y (c) Lavado para los dias: 8 de mayo, 25 de diciembre y 15 de abril.

Peso del sistema [kg/m²]	PY-A.08-PY [Sin PCM]	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY
PCM-RT18HC		73.3	73.6	108.8	108.2
PCM-RT22HC	40.35	68.5	68.8	99.2	98.6
PCM-RT25HC		73.3	73.6	108.8	108.2
ESPESOR [cm]	12.4	9.3	10.3	14.3	12.3

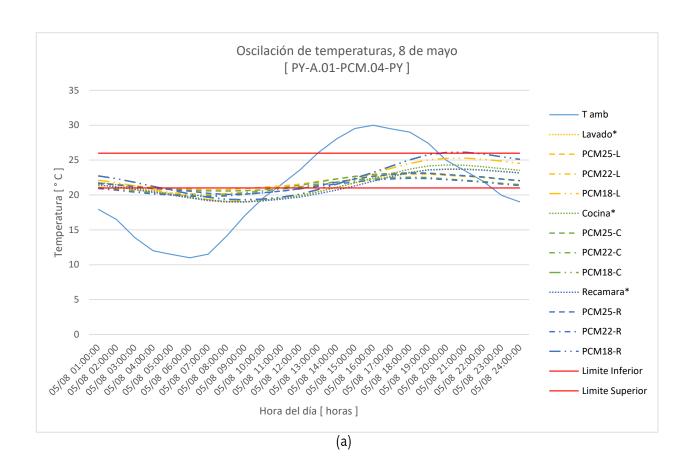
Tabla 15. Peso de los 4 sistemas constructivos propuestos con PCM y del sistema constructivo base.

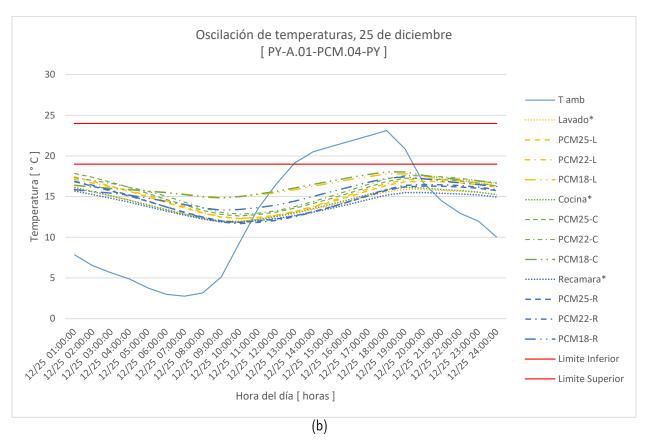
espesor, coincidiendo con el sistema con mayor número de horas dentro del rango de confort humano.

En el APÉNCICE II,III,IV se ilustran todos los escenarios estudiados con los tres tipos de PCM. En la Fig. 63(a-c) se ilustran los escenarios con las oscilaciones de temperatura interior con sistema constructivo PY- A.01-PCM.04-PY el

cual obtuvo el mejor desempeño térmico aplicado en los 3 módulos de CASA UNAM.

En la Fig. 64 (a-c) se muestra el modulo (lavado) que cuenta con un mayor rendimiento térmico interior, por lo que en el se muestra el mejor sistema constructivo con PCM que tuvo un mejor rendimiento para los días 8 de mayo, 25 de diciembre y 5 de abril.





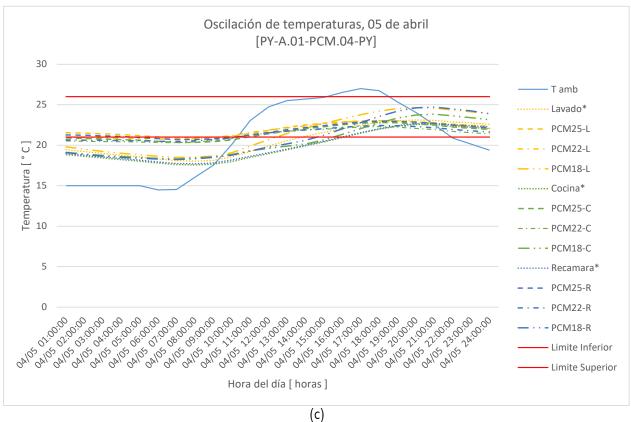
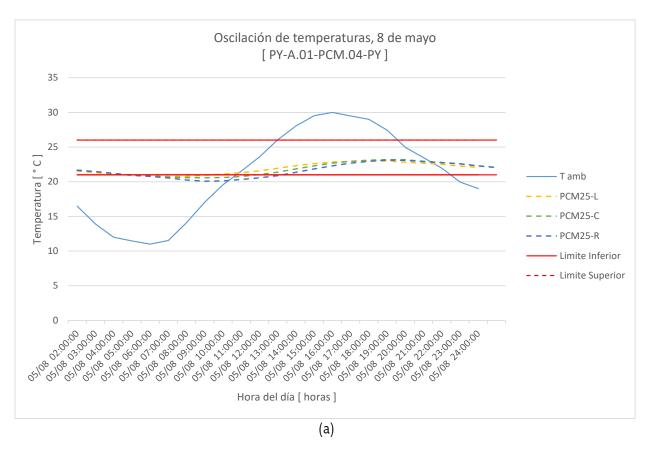
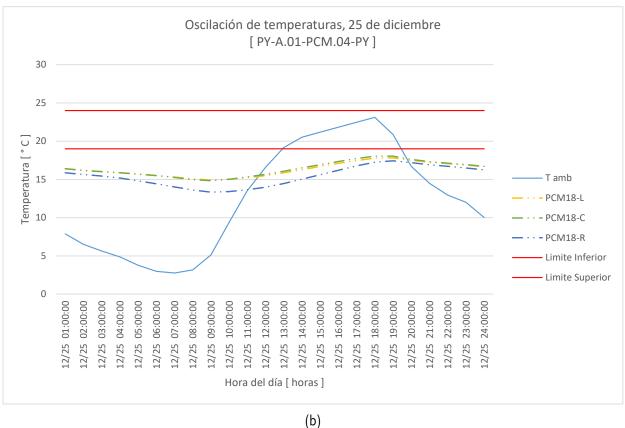


Fig. 63. Oscilaciones de temperaturas interiores y exterior de todos los escenarios con el sistema PY-A.01-PCM.04-PY en los modulos de recamara, cocina y lavado para los dias (a) 8 de mayo, (b)25 de diciembre y (c) 15 de abril.





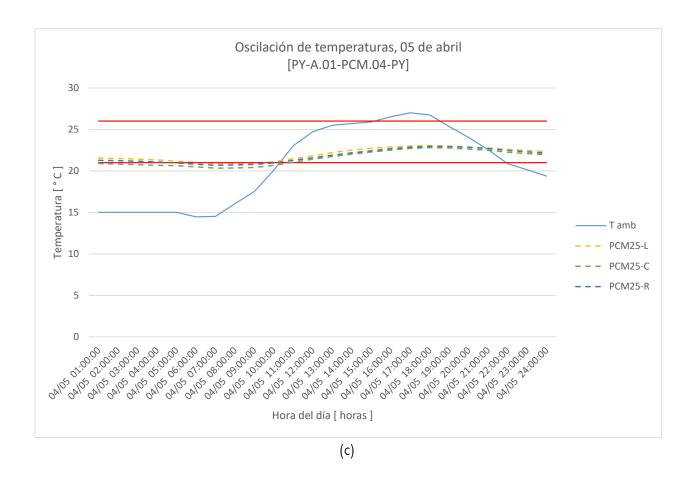


Fig. 64. Variación de temperaturas interiores en aquellos escenarios (de los diferentes modulos) donde la temperatura interior se mantuvo dentro del rango de confort térmico durante un mayor número de horas para los dias (a) 8 de mayo, (b)25 de diciembre y (c) 15 de abril. Para el caso del dia (b)25 de diciembre, ninguno de los sistemas con los diferentes PCM's obtuvieron temperaturas dentro del rango de confort térmico, por lo que se ilustra el sistema en el que la oscilacion de temperaturas se encontraba más cercano al limite inferior del rango de confort.

### DISCUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos anteriormente, como se muestra en la Tabla 12 y en el APÉNDICE II,III,IV, se puede observar que al implementar el PCM en los sistemas constructivos de envolvente, específicamente en muros; presentan un aumento en el número de horas térmicamente cómodas dentro los espacios interiores para un año de estudio. Esto quiere decir, que al utilizar un menor espesor de aislante térmico y una capa de PCM como capas intermedias, hay un mayor número de horas dentro del rango de confort humano respecto al sistema constructivo base utilizado en el prototipo CASA-UNAM, compuesto con solamente aislante térmico y los paneles de yeso interior y exterior.

En todos los sistemas constructivos propuestos con PCM, durante el año presentan temperaturas por debajo del límite mínimo del rango de confort y solo el PCM con el punto de fusión más bajo (RT18HC) , presenta un par de horas por arriba del límite superior del rango de confort humano. De los 3 tipos de PCM estudiados con diferentes puntos de fusión, el PCM-RT25HC es el que presenta un mayor aporte térmicamente en los 4 sistemas constructivos propuestos.

El PCM-RT25HC presenta una región de fusión a partir de los 22 °C hasta los 26°C, siendo 25° C el pico principal donde se presenta la mayor capacidad de almacenamiento de calor latente. La mayor parte del año las temperaturas máximas diarias en la Ciudad de México igualan o superan los 22° C durante los meses típicos y superan los 25 °C en los meses más cálidos del año. Si bien las temperaturas de la Ciudad de México antes mencionadas cubren la temperatura del PCM-RT22HC (el cual presenta una región de fusión entre los 20° y 23 ° C, siendo a los 22°C el pico de capacidad de almacenamiento de calor), el PCM-RT25HC presenta mayores horas dentro del rango de confort humano. Esto debido, a que el PCM-RT25HC tiene una mayor capacidad de almacenamiento de calor de 230 KJ/Kg respecto a 190 KJ/Kg del PCM-RT22HC, ademas de que requiere un mayor tiempo necesario para fundir y solidificar el material.

Por lo tanto, si el punto de fusión se incrementa cerca al límite superior del rango de confort, se reduce el número de horas por debajo del límite inferior del rango de confort humano.

De los 4 sistemas constructivos propuestos el que presentó un mayor desempeño en cuanto al aporte de mayores horas dentro del rango de confort, fue el sistema PY- A.O1-PCM.O4-PY utilizando PCM-RT25HC. La localización de la capa de aislante térmico próxima a la capa exterior (placa de yeso), así como su espesor, tienen relación en cuanto a la cantidad de calor que se conduce a través de las capas, para poder recargar y fundir el PCM.

Se observó que al haber un mayor espesor de aislante térmico en el sistema, había un menor número de horas confortables debido a una mayor resistencia al flujo del calor desde el ambiente exterior hacia el interior y viceversa.

Al comparar la evolución de temperaturas interiores respecto a las temperaturas exteriores en un día cálido del año (8 de mayo) Fig. 64(a), se presentan temperaturas interiores dentro del rango de confort la mayor parte del día. En el caso de un día frío del año (25 de diciembre) Fig. 64(b), el sistema PY- A.01-PCM.04-PY utilizando PCM-RT18HC es el que presenta mayores temperaturas interiores , pero quedando fuera del rango de confort térmico humano. Para el día 05 de abril, el sistema PY- A.01-PCM.04-PY utilizando PCM-RT25HC presenta temperaturas interiores dentro del rango de confort la mayor parte del día Fig. 64(c).

Por lo tanto, en los escenarios estudiados donde se implementó el sistema de PY- A.01-PCM.04-PY con PCMRT25HC y PCM-RT22HC, se obtuvieron un mayor número de horas de temperatura interior dentro del rango de confort térmico. Esto debido a que las oscilaciones de temperatura interior (durante la mayor parte del año) eran menores que en el caso de estudio con sistema de fachada aislada (PYA.08-PY) Ver tabla . En los meses fríos del año (enero y diciembre) los sistemas antes mencionados, algunos días quedaban por debajo del rango de confort debido a que las temperaturas exteriores no alcanzaban a fundir ni recargar el PCM y por lo tanto, las oscilaciones eran similares al sistema de fachada aislada.

En el caso del sistema del PY- A.01-PCM.04-PY con PCMRT18HC en meses fríos, obtuvo un mayor desempeño en cuanto a temperaturas interiores, pero siempre por debajo del rango de confort térmico. En cuanto a los meses cálidos con el PCM-RT18HC, este sistema obtenía temperaturas

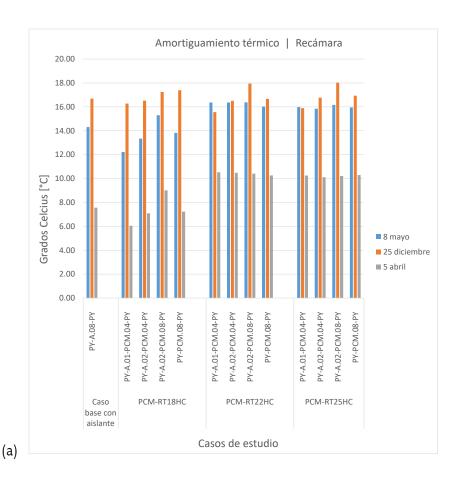
interiores fuera del rango de confort (inferior y superior) y oscilaciones térmicas por arriba del caso de estudio base con sistema de fachada aislada (PY-A.08-PY).

En el estudio se observó que al implementar sistemas con PCM donde el punto de fusión era cercano al limite superior del rango de confort térmico, las oscilaciones térmicas al interior eran menores que las oscilaciones térmicas al exterior y también por debajo de las oscilaciones térmicas del sistema base con fachada aislada. Por lo que los sistemas con PCM de 22 y 25 °C obtenían un mayor amortiguamiento térmico respecto a la temperatura exterior y a la del sistema base así como se muestra en la Fig. 65 (a-c). Como consecuencia se obtenían al interior de los escenarios un mayor número de horas dentro del rango de confort durante el año.

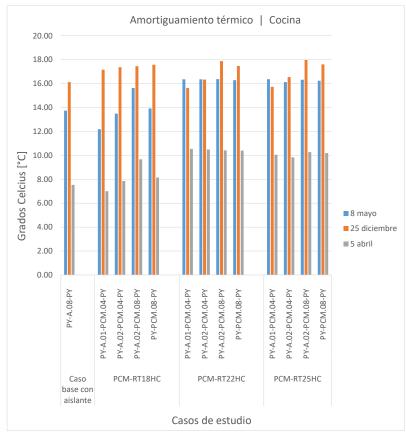
En cuanto a los sistemas con PCM donde su punto de fusión se encuentra más cercano al límite inferior del rango de confort se observó que las oscilaciones térmicas eran mayores y, en, consecuencia mostraban un mayor número de horas fuera del rango de confort durante el año. Esto debido a que

las temperaturas exteriores superaban el punto de fusión y por lo tanto la capacidad de almacenamiento, provocando un menor amortiguamiento de temperaturas, obteniendo un aumento de la temperatura del material de manera de calor sensible. Al seguir el aumento de temperatura del material, las temperaturas interiores se elevaban presentando oscilaciones mayores. Ver figura 63 (a-c)

En todos los escenarios estudiados donde se implementaron PCM, el retardamiento térmico o diferencia de tiempo (dt) entre la temperatura máxima exterior y la temperatura máxima interior ocurría en un tiempo no mayor de 2 horas. Con referencia al sistema constructivo base de fachada aislada (PY-A.08-PY), se observó que todos los escenarios con PCM tenían un retardamiento térmico menor de hasta casi la mitad de tiempo que el sistema base (4 horas) para una época con temperaturas típicas y cálidas. Ver Fig. 66 (a-c). En los meses fríos el retardamiento térmico entre temperaturas máximas exteriores e interiores eran similares. Esto debido a que las temperaturas exteriores al no alcanzar a recargar o fundir el PCM, el material trabajaba como una



92



(b)

(c)

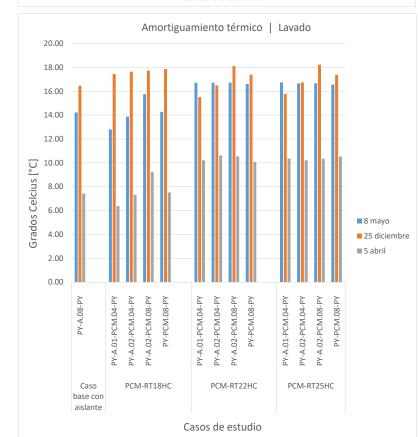
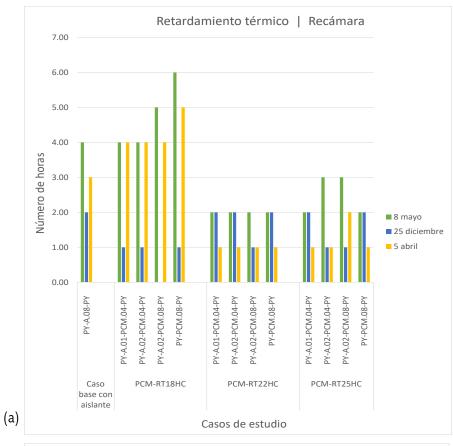


Fig. 65. Amortiguamiento térmico respecto a la temperatura exterior y del sistema base, de los modulos (a) Récamara, (b) Cocina y (c) Lavado para los dias : 8 de mayo, 25 de diciembre y 15 de abril.



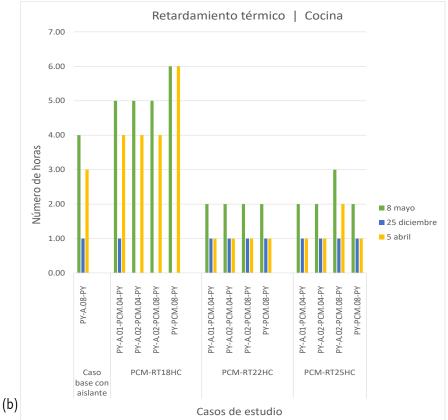
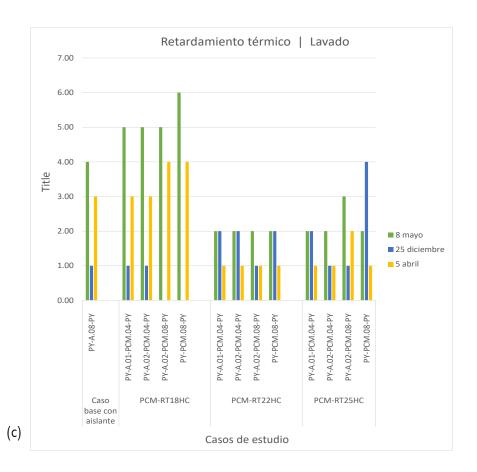


Fig. 66. Diferencias de horas entre el momento en que se produce la temperatura interior máxima y el momento que se produce la temperatura exterior máxima del sistema base y los modulos de (a) Récamara, (b) Cocina y (c) Lavado para los dias : 8 de mayo, 25 de diciembre y 15 de abril.



masa térmica de manera de calor sensible. Por lo tanto, en los escenarios estudiados se obtiene los siguiente:

-Recamara

- PY-A.02-PCM.08-PY con PCM -25, el 25 de diciembre, el sistema actúa como un aislante térmico. En el día más frío (25 de diciembre), el punto de fusión del PCM es irrelevante, ya que este "trabaja" muy poco con calor latente, y prácticamente con calor sensible; por tanto se comporta más como un material convencional, y es el sistema constructivo con mayor aislamiento térmico el que provee de mayor amortiguamiento térmico.
- PY-A.02-PCM.08-PY con PCM-22, el 8 de mayo, el sistema actúa como un aislante térmico.
- PY-A.01-PCM.04-PY con PCM-22, el 5 de abril, actúa como un material de alto desempeño. En un día típico y caliente (5 de abril y 8 de mayo), el de 22 °C es el que más amortigua, porque se necesita un punto de fusión menor que el de 25 °C, ya que las temperaturas sobre

los sistemas constructivos son menores por estar el habitáculo sombreado gran parte del día por la cocina.

#### -Cocina

- PY-A.02-PCM.08-PY con PCM-25 el 25 de diciembre, actúa como un aislante térmico. En el día más frío (25 de diciembre), el punto de fusión del PCM es parcialmente relevante, ya que éste "trabaja" poco con calor latente, y mucho con calor sensible; por tanto se comporta más como un material convencional, y es el sistema constructivo con mayor aislamiento térmico el que provee de mayor amortiguamiento térmico.
- PY-A.02-PCM.08-PY con PCM-22 el 8 de mayo, el sistema actúa como un material de alto desempeño.
- PY-A.01-PCM.04 con PCM-22 el 5 de abril, el sistema actúa como un material de alto desempeño. Para algunos días, el punto de fusión de 22 °C es efectivo y para otros, es el de 25 °C. En general, el punto de fusión de 25 °C es el que es más efectivo pero en cuanto a las horas de confort que provee.

#### -Lavado

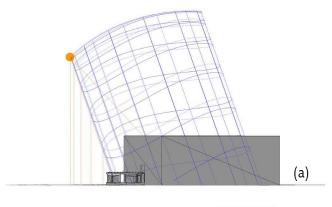
- PY-A.02-PCM.08-PY con PCM-25 el 25 de diciembre, el sistema actúa como un aislante térmico. En el día más frío (25 de diciembre), el punto de fusión del PCM es parcialmente relevante, ya que éste "trabaja" poco con calor latente, y mucho con calor sensible; por tanto se comporta más como un materia convencional, y es el sistema constructivo con mayor aislamiento térmico el que provee de mayor amortiguamiento térmico.
- PY-A.01-PCM.04-PY con PCM-25 el 8 de mayo, el sistema actúa como un material de alto desempeño.
- PY-A.02-PCM.04-PY con PCM 22 el 5 de abril, el sistema actúa como de alto rendimiento. Al igual que en la zona de Cocina, el punto de fusión de 22 es efectivo y para otros, es el de 25. En general para el año en su totalidad, el punto de fusión de 25 es el que es más efectivo pero en cuanto a las horas de confort que provee.

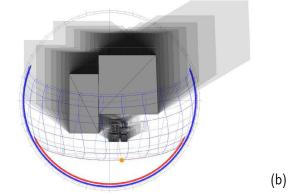
En los resultados obtenidos en el presente estudio se observó que el porcentaje de horas dentro del rango de confort por habitáculo se ve afectado por el número de horas que el sistema constructivo (muro) recibe radiación solar directa. A mayor número de horas expuesto a la radiación solar directa, mayor numero de horas que el PCM se encuentra trabajando y proporcionando temperaturas interiores dentro del rango de confort.

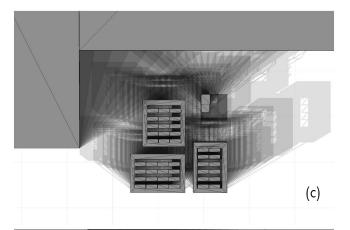
Se utilizó el software Autodesk Ecotect 2011 para realizar el análisis de sombras en el sitio donde se encuentra ubicado el proyecto de Casa UNAM. De igual manera que en el modelo realizado en el software DesignBuilder, en este se consideraron los elementos circundantes al proyecto que podían afectar de manera indirecta al rendimiento de los sistemas con PCM implementados en los habitáculos.

En el análisis de asolamiento se consideraron los siguientes días:

- 21 de diciembre: día del año donde el sol tiene su mayor declinación al sur(Solsticio de invierno)Fig. 67 (a-d).
- 21 de marzo: día del año donde el sol se ubica en el punto más alto con relación al observador(Equinoccio de primavera) Fig. 68 (a-d).
- 21 de junio : día del año donde el sol tiene su mayor declinación hacia el norte (Solsticio de verano) Fig. 69 (a-d).







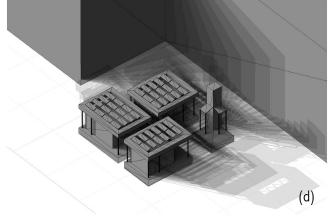


Fig. 67. Estudio de asoleamiento durante el 21 de diciembre. (a) altura solar, (b) declinación solar, (c)estudio de asoleamiento en planta, (d) estudio asoleamiento en perspectiva.

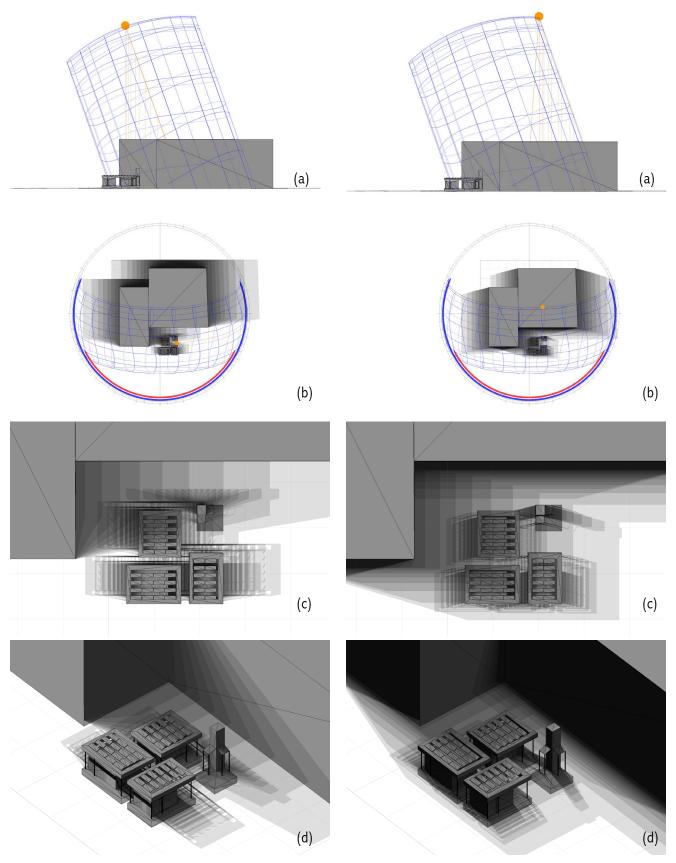


Fig. 68. Estudio de asoleamiento durante el 21 de marzo. (a) altura solar, (b) declinación solar, (c)estudio de asoleamiento en planta, (d) estudio asoleamiento en perspectiva.

Fig. 69. Estudio de asoleamiento durante el 21 de junio. (a) altura solar, (b) declinación solar, (c)estudio de asoleamiento en planta, (d) estudio asoleamiento en perspectiva.

## Referencias Imagenes

- Fig. 63(a-c). Elaboración propia
- Fig. 64(a-c). Elaboración propia
- Fig. 65(a-c). Elaboración propia
- Fig. 66(a-c). Elaboración propia
- Fig. 67(a-d). Elaboración propia
- Fig. 68(a-d). Elaboración propia
- Fig. 69(a-d). Elaboración propia

### Referencias Tablas

- Tabla 12(a-c). Elaboración propia
- Tabla 13(a-c). Elaboración propia
- Tabla 14(a-c). Elaboración propia
- Tabla 15. Elaboración propia

### **CONCLUSIONES**

Las conclusiones que se presentan a continuación son el resultado de la metodología aplicada a lo largo de la investigación, y que a partir de la hipótesis planteada en el presente trabajo, se determinará cual fué la aportación de la implementación de los PCMs en sistemas constructivos en un clima como el de la Ciudad de México.

La hipótesis planteada para el desarrollo de este trabajo establece:

"Los PCM, al presentar propiedades de inercia térmica y ser ligeros, pueden ser implementados en las envolventes de los edificios de la Ciudad de México para la provisión de condiciones de confort térmico al interior de éstos y por tanto, para la obtención de ahorros energéticos de sistemas mecánicos de climatización, al aprovechar pasivamente la energía presente en los ambientes interiores y exteriores de los edificios."

Con base en el estudio de los PCMs en los sistemas constructivos abordado en este trabajo, estos mostraron una alta capacidad de almacenamiento de calor sensible, pero también mostraron una alta capacidad de almacenamiento de calor latente. Al implementar PCM en sistemas constructivos, la amortiguación de las temperaturas interiores aumentó, obteniendo un mayor número de horas térmicamente confortables.

Se observó que al elegir un punto de fusión cercano al límite superior del rango de confort, la amortiguación de

las temperaturas era mayor y por lo tanto, las oscilaciones térmicas al interior eran menores, proveyendo de mayores horas térmicamente confortables, con base en los resultados presentados en este trabajo.

El hecho de implementar un material con un punto de fusión más alto, implica un mayor tiempo para la absorción y almacenamiento de calor latente hasta cambiar de fase. Cuando en el ambiente exterior se alcanza la temperatura máxima pico, a la par, comienza la liberación del calor latente almacenado en el material, tomándole un menor tiempo en la liberación del calor.

En el caso de los sistemas con PCM, estos no presentan un retardamiento térmico como un material convencional con propiedades de masa térmica. Al tener los PCM una alta capacidad de almacenamiento de calor latente y de calor sensible, estos permiten un mayor amortiguamiento térmico y proveyendo temperaturas interiores dentro del rango de confort, presentando, al interior de los espacios, una oscilación térmica menor. Por lo tanto al implementar PCMs, entre menor sea el retardamiento térmico, el material se desempeña más como un material de alto desempeño que como uno convencional.

La localización de la capa de PCM dentro del sistema constructivo en muro, es importante en relación con la provisión de mayor número de horas interiores térmicamente confortables. Debido a que los PCM tienen la capacidad de absorber y liberar el calor almacenado durante un ciclo tér-

mico, es necesario la implementación de material aislante poco conductivo que permita evitar las pérdidas de calor del interior al caer las temperaturas exteriores. Es por ello que al utilizar un sistema a forma de sándwich con paneles de yeso, una capa de material aislante debe ubicarse cercano a la capa exterior.

El calor absorbido durante el día por la placa de yeso es transferido de manera directa al aislante. El aislante, al estar recibiendo casi de manera directa el flujo de calor proveniente de la radiación solar, transfiere el calor con menor energía pero suficiente para que el material cambie de fase y almacene energía en forma de calor latente. Al disminuir las temperaturas durante la noche, el PCM cederá el calor almacenado, pero al encontrarse el aislante cercano a la cara exterior, este evita el intercambio de calor entre el PCM y el ambiente exterior. Por lo tanto, el calor almacenado es transferido hacia el interior, controlando las temperaturas interiores.

El desempeño térmico de los PCMs, al incorporarse como parte de los sistemas constructivos, se verá afectado dependiendo de la época del año, siendo función dicho desempeño de la cantidad disponible de energía para ser transferida y almacenada en forma de calor sensible y latente.

En las épocas del año más cálidas y en los meses con temperaturas típicas, los PCM con un punto de fusión de 25°C y 22°C se comportan como un material de alto desmpeño térmico debido a que al absorber y liberar el calor latente almacenado durante un ciclo térmico, estos amortiguan las temperaturas proporcionando mayores horas térmicamente confortables. En el caso del PCM con un punto de fusión de 18°C , este aunque presenta un cambio de fase durante esta época, principalmente absorbe y libera calor sensible almacenado durante un ciclo térmico teniendo una menor amortiguación de temperaturas y, en consecuencia menor número de horas de temperaturas térmicamente confortables. Por lo tanto este material se comporta como un material de masa térmica con bajo desempeño térmico.

Para los meses con temperaturas más bajas, el PCM con un punto de fusión a 18° C, es el que presenta un mayor amortiguamiento de temperaturas pero sin alcanzar temperaturas térmicamente confortables durante un ciclo térmico. En este caso, aunque el material tiene un buen desempeño, no hay la suficiente energía térmica para ser transferida al

PCM y así lograr temperaturas interiores confortables. En el caso de los PCM con un punto de fusión de 25°C y 22°C en estas épocas del año, el material se comporta como un material de masa térmica con bajo rendimiento.

En epocas de invierno, aunado al sombreado, el calor transferido al material cae, teniendo un bajo desempeño debido a que la cantidad de calor sensible que es almacenado y tranferido es minimo. Esto a causa de que la radiación solar no es lo suficiente para lograr temperaturas interiores termicamente confortables. Es por ello que al escoger el punto de fusión de un material PCM, no sólo se debe de tomar la temperatura máxima del rango de confort térmico, sino que también hay que tomar en cuenta las horas de asoleamiento y la inclinación con la que inciden los rayos sobre el sistema constructivo donde se va a implementar.

Por esta razón, en el espacio de la recámara, con menor incidencia solar, se presentaron menos horas térmicamente confortables debido a que durante los equinoccios, el asoleamiento se recibe básicamente durante las mañanas y las tardes, es decir en las fachadas oriente y poniente. Durante el solsticio de invierno el habitáculo de la cocina, sombrea la mayor parte del día al de la recámara, recibiendo esta última horas de sol muy temprano en la mañana y hacia el final de la tarde.

Por lo tanto, en un clima como el de la Ciudad de México en los meses con temperaturas cálidas y típicas, los PCM con puntos de fusión cercanos al límite superior del rango de confort, se comportan como materiales de alto rendimiento, amortiguando y manteniendo temperaturas interiores térmicamente confortables. Durante los meses con temperaturas más frías los PCM con un punto de fusión cercano al límite inferior del rango de confort, se comportan como un material con un desempeño térmico regular, pero no lo suficiente para lograr temperaturas interiores térmicamente confortables.

A partir de los resultados obtenidos durante el presente estudio, se puede concluir que al aplicar PCM en sistemas constructivos en un clima (con oscilaciones igual o mayores a 10°C) como el de la Ciudad de México; estos muestran un gran potencial para ser utilizados como una estrategia de diseño de acondicionamiento pasivo con base en la masa térmica o efecto de inercia térmica, el cual permite obtener mayor número de horas de temperaturas interiores térmicamente confortables durante el año. Por tanto, la elección

de un PCM con un punto de fusión cercano al límite superior del rango de confort es un punto clave para obtener el mayor rendimiento térmico a la hora de elegir implementar esta tecnología.

El sistema constructivo con un mayor desempeño térmico al aplicarlo en los módulos del caso de estudio de Casa UNAM, lo obtuvo el sistema A.01-PCM.04-PY con PCM-RT25HC. Durante la mayor parte del año este sistema constructivo con PCM, permite amortiguar las temperaturas y obtener oscilaciones de temperaturas interiores de solo 2 °C durante un ciclo térmico. Además, el sistema A.01-PCM.04-PY con PCM-RT25HC durante un año de estudio presentó un rendimiento de 43.3% de horas térmicamente confortables a comparación del sistema constructivo actual con fachada aislada con un 24.1%.

En cuanto al peso de los sistemas constructivos estudiados, el peso de 1m2 (Tabla 15, 5 | 1 resultados) de muro con el sistema constructivo actual con material aislante, tiene un peso de 40.35 kg y el sistema A.01-PCM.04-PY con PCM-RT25HC un peso de 73.3kg. Si bien, el sistema constructivo con PCM tiene un peso mayor que el de fachada aislada por 33 kg, este sistema aún puede ser considerado como un sistema ligero si se compara un sistema constructivo convencional de muro de tabique con un peso de 250 kg.

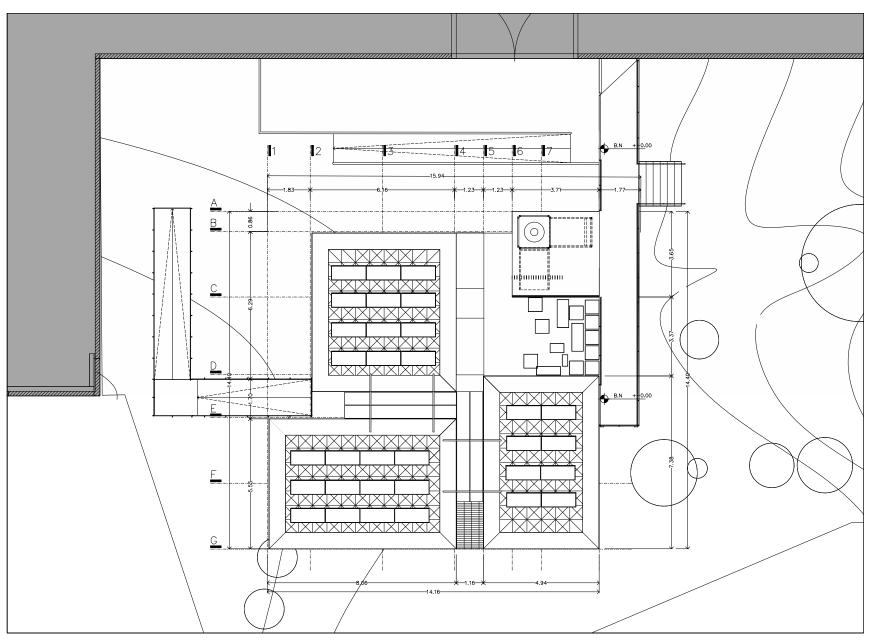
Después de estudiar la aportación de los PCMs, aplicados al sistema constructivo de Casa UNAM, al comportamiento de las temperaturas interiores, y después de analizar, una vez implementados los PCMs, el aumento del número de horas en la que las temperaturas interiores quedan dentro del rango de confort en módulos totalmente herméticos, es necesario y recomendable, hacer estudios con las aberturas que actualmente tiene CASA y actividades de operación (aumentar y decrementar el número de personas en los espacios, cocción de alimentos, dormir, comer, estudiar, abrir y cerrar ventanas, etc.) para entender cómo pueden ayudar a que las temperaturas interiores queden dentro del rango de confort, cuando el sistema constructivo de CASA ya mejorado (con PCM) no lo haga. Entre otras estrategias es recomendable estudiar en las caras externas de los módulos, la aplicación de una pintura con índice bajo de reflectancia solar (SRI), para aumentar la absortancia de las superficies e incrementar el almacenamiento y transferencia de calor al espacio interior.

La orientación del sistema constructivo y ubicación de los espacios se deben determinar de la forma más optima para que reciban mayor número de horas expuestos a la radiación solar directa y evitar recibir sombra.

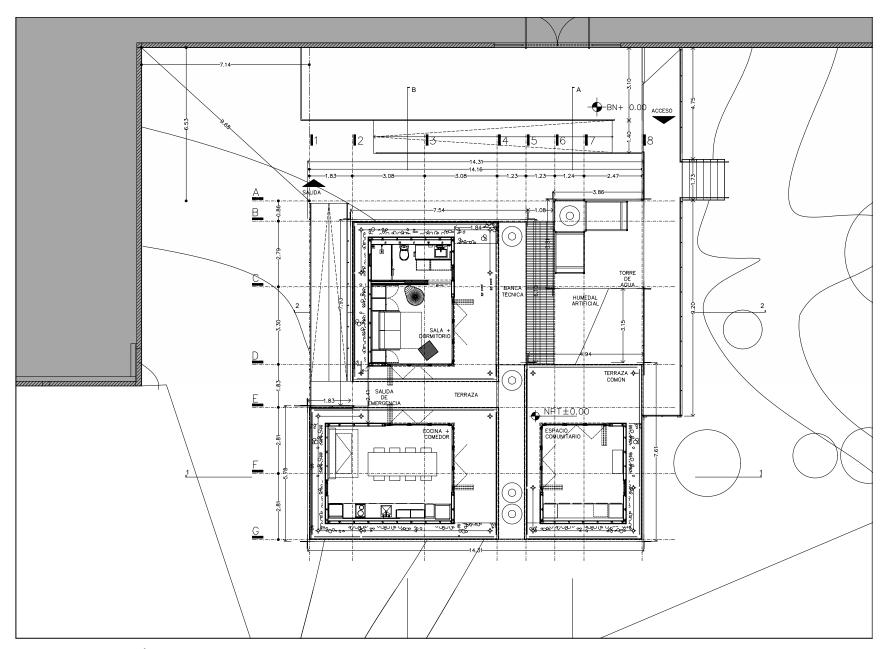
En futuros trabajos, habrá que estudiar cómo estas otras estrategias de diseño combinadas con el PCM ayudan o no a solidificar el PCM y determinar como se pueden escoger PCMs de diferentes puntos de fusión o si se utiliza un solo punto de fusión, complementarse con otras estrategias de diseño, como es el invernadero, el coeficiente de absortancia, para poder llevarlo a su fusión.

El desempeño térmico de un PCM en cuanto a su inercia térmica, no puede evaluarse exactamente como se evalúa a un material convencional con masa térmica; es decir, con base en su amortiguamiento y retardamiento térmico. Para el PCM, si se requiere un mayor amortiguamiento térmico, pero un menor retardamiento térmico (ya que esto indica que el PCM está trabajando más tiempo con calor latente).

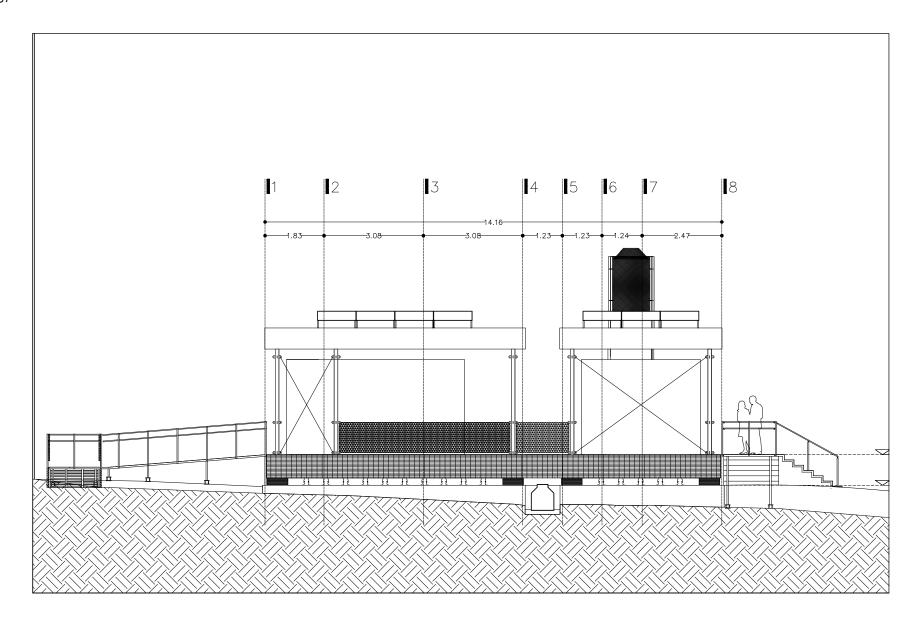
# **APÉNDICES**



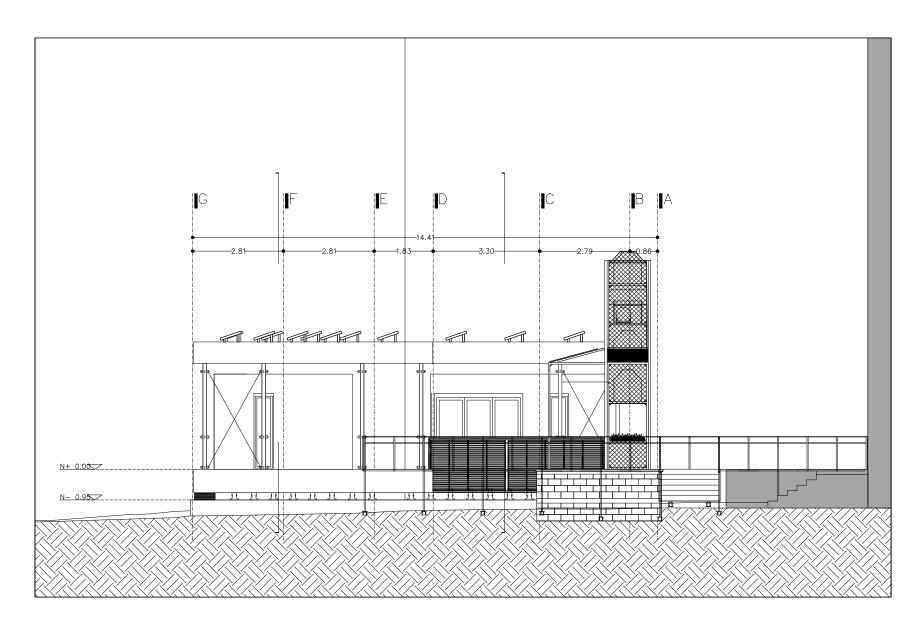
PLANTA DE CONJUNTO

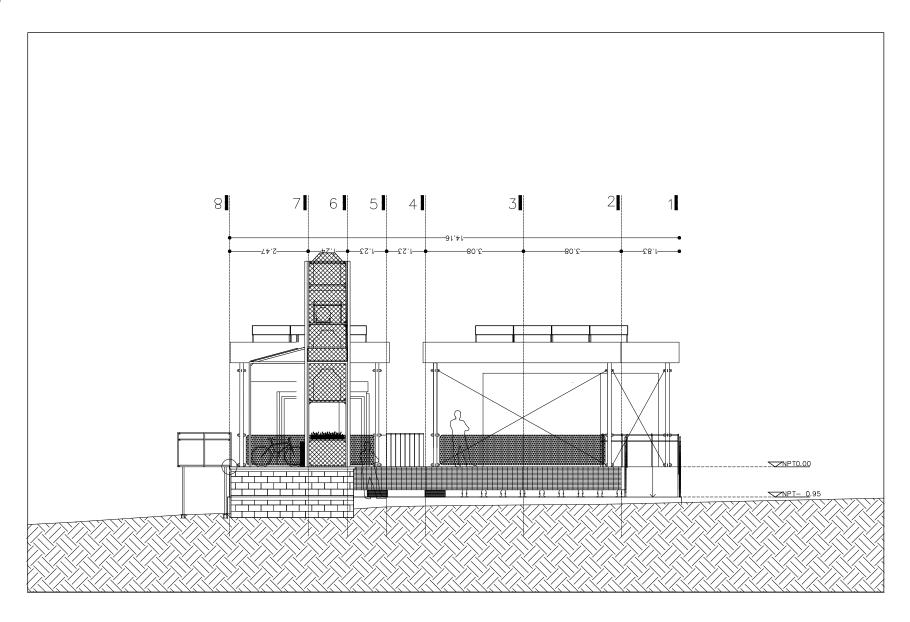


ថ្ល PLANTA ARQUITECTÓNICA

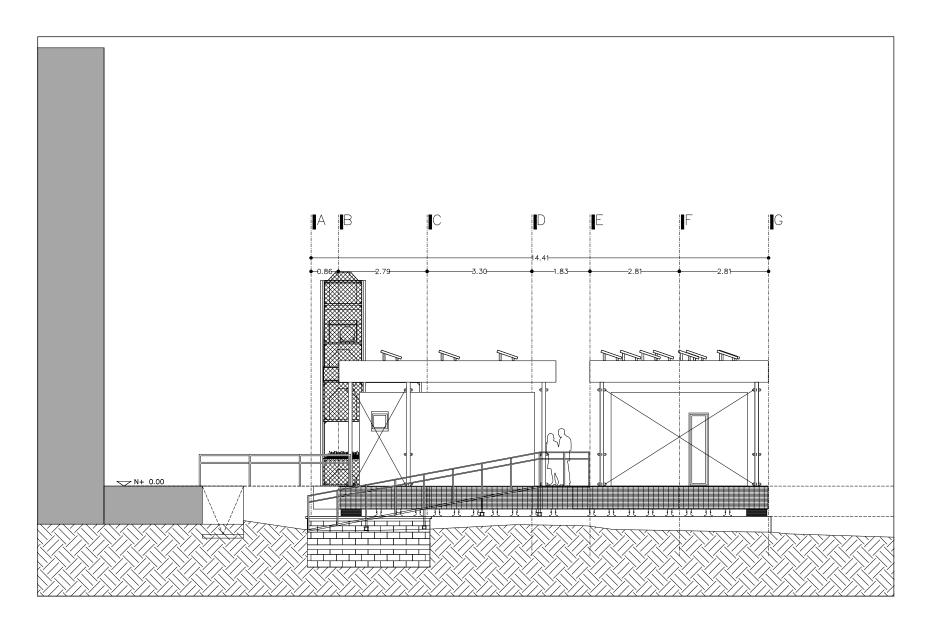


ALZADO SUR





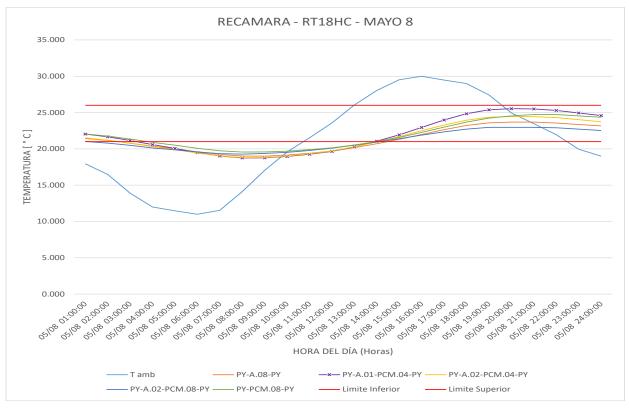
ALZADO NORTE



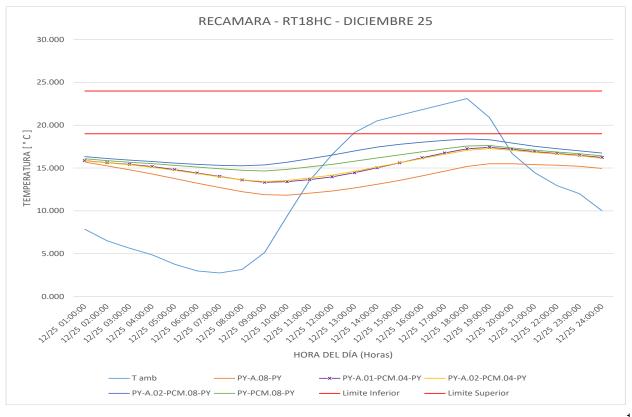
ALZADO PONIENTE

## II. RESULTADOS DE ESCENARIOS CON PCM RT18

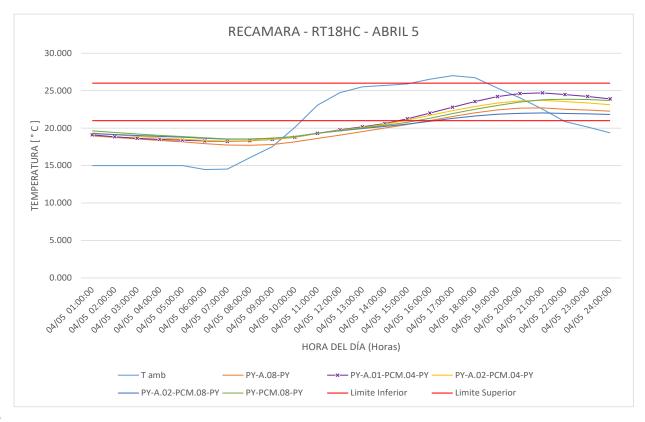
			PCM	18-RECAMARA-MAY	08			
Fecha	T amb	PY-A.08-PY	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY	Limite Inferior	Limite Superior
05/08 01:00:00	17.950	21.435	22.043	21.516	21.028	22.049	21.000	26.000
05/08 02:00:00	16.475	21.170	21.656	21.201	20.799	21.758	21.000	26.000
05/08 03:00:00	13.900	20.784	21.156	20.785	20.485	21.360	21.000	26.000
05/08 04:00:00	12.000	20.377	20.586	20.309	20.132	20.898	21.000	26.000
05/08 05:00:00	11.475	20.007	20.068	19.898	19.869	20.508	21.000	26.000
05/08 06:00:00	11.000	19.593	19.495	19.437	19.577	20.083	21.000	26.000
05/08 07:00:00	11.525	19.224	19.009	19.028	19.345	19.731	21.000	26.000
05/08 08:00:00	14.100	19.019	18.756	18.800	19.272	19.558	21.000	26.000
05/08 09:00:00	17.050	18.997	18.762	18.817	19.375	19.577	21.000	26.000
05/08 10:00:00	19.575	19.164	18.953	19.004	19.520	19.675	21.000	26.000
05/08 11:00:00	21.525	19.390	19.264	19.314	19.780	19.889	21.000	26.000
05/08 12:00:00	23.575	19.708	19.648	19.713	20.095	20.144	21.000	26.000
05/08 13:00:00	26.050	20.174	20.285	20.303	20.514	20.531	21.000	26.000
05/08 14:00:00	28.050	20.707	21.055	20.958	20.944	20.995	21.000	26.000
05/08 15:00:00	29.525	21.308	21.940	21.687	21.405	21.573	21.000	26.000
05/08 16:00:00	30.000	21.980	22.943	22.503	21.897	22.271	21.000	26.000
05/08 17:00:00	29.475	22.644	23.972	23.282	22.342	22.994	21.000	26.000
05/08 18:00:00	29.000	23.227	24.843	23.946	22.721	23.684	21.000	26.000
05/08 19:00:00	27.425	23.583	25.375	24.358	22.960	24.243	21.000	26.000
05/08 20:00:00	24.950	23.689	25.534	24.457	22.969	24.546	21.000	26.000
05/08 21:00:00	23.475	23.682	25.499	24.441	22.970	24.727	21.000	26.000
05/08 22:00:00	21.950	23.554	25.302	24.303	22.908	24.735	21.000	26.000
05/08 23:00:00	19.950	23.350	24.951	24.016	22.713	24.546	21.000	26.000
05/08 24:00:00	19.000	23.161	24.582	23.737	22.537	24.349	21.000	26.000
MIN	11.000	18.997	18.756	18.800	19.272	19.558		
MAX	30.000	23.689	25.534	24.457	22.970	24.735		
OSCILACIÓN	19.000	4.692	6.778	5.657	3.698	5.177		
AMORTIGUAMIENTO TÉRMICO	0.000	14.308	12.222	13.343	15.302	13.823		
RETARDAMIENTO TÉRMICO		4.000	4.000	4.000	5.000	6.000		



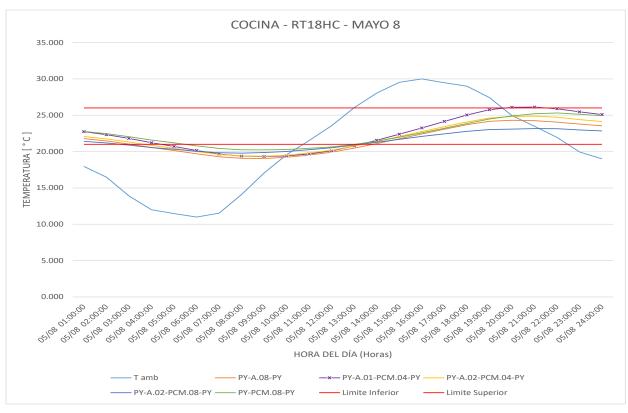
			PCM18-RE	CAMARA-DICIEMBRE	25			
Fecha	T amb	PY-A.08-PY	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY	Limite Inferior	Limite Superior
12/25 01:00:00	7.870	15.704	15.858	15.843	16.333	16.090	19.000	24.000
12/25 02:00:00	6.513	15.251	15.633	15.615	16.112	15.869	19.000	24.000
12/25 03:00:00	5.643	14.794	15.430	15.374	15.926	15.681	19.000	24.000
12/25 04:00:00	4.870	14.311	15.183	15.086	15.766	15.516	19.000	24.000
12/25 05:00:00	3.775	13.776	14.817	14.727	15.582	15.318	19.000	24.000
12/25 06:00:00	2.985	13.238	14.422	14.351	15.426	15.120	19.000	24.000
12/25 07:00:00	2.753	12.721	14.023	13.970	15.316	14.921	19.000	24.000
12/25 08:00:00	3.168	12.242	13.614	13.627	15.270	14.740	19.000	24.000
12/25 09:00:00	5.128	11.895	13.339	13.424	15.368	14.662	19.000	24.000
12/25 10:00:00	9.383	11.833	13.413	13.547	15.682	14.845	19.000	24.000
12/25 11:00:00	13.528	12.064	13.653	13.845	16.093	15.141	19.000	24.000
12/25 12:00:00	16.575	12.312	13.969	14.169	16.516	15.433	19.000	24.000
12/25 13:00:00	19.155	12.670	14.457	14.619	16.995	15.797	19.000	24.000
12/25 14:00:00	20.515	13.094	15.025	15.117	17.448	16.172	19.000	24.000
12/25 15:00:00	21.168	13.564	15.608	15.612	17.774	16.532	19.000	24.000
12/25 16:00:00	21.815	14.084	16.197	16.110	18.024	16.896	19.000	24.000
12/25 17:00:00	22.468	14.637	16.765	16.606	18.226	17.252	19.000	24.000
12/25 18:00:00	23.115	15.187	17.246	17.068	18.387	17.573	19.000	24.000
12/25 19:00:00	20.880	15.498	17.424	17.266	18.309	17.636	19.000	24.000
12/25 20:00:00	16.710	15.504	17.193	17.067	17.918	17.348	19.000	24.000
12/25 21:00:00	14.475	15.401	16.920	16.826	17.551	17.098	19.000	24.000
12/25 22:00:00	12.950	15.323	16.701	16.636	17.262	16.873	19.000	24.000
12/25 23:00:00	12.000	15.210	16.490	16.427	17.012	16.668	19.000	24.000
12/25 24:00:00	10.005	14.960	16.240	16.140	16.743	16.426	19.000	24.000
MIN	2.753	11.833	13.339	13.424	15.270	14.662		
MAX	23.115	15.704	17.424	17.266	18.387	17.636		
OSCILACIÓN	20.363	3.871	4.085	3.842	3.117	2.974		
AMORTIGUAMIENTO TÉRMICO	0.000	16.491	16.277	16.521	17.246	17.388		
RETARDAMIENTO TÉRMICO		2.000	1.000	1.000	0.000	1.000		



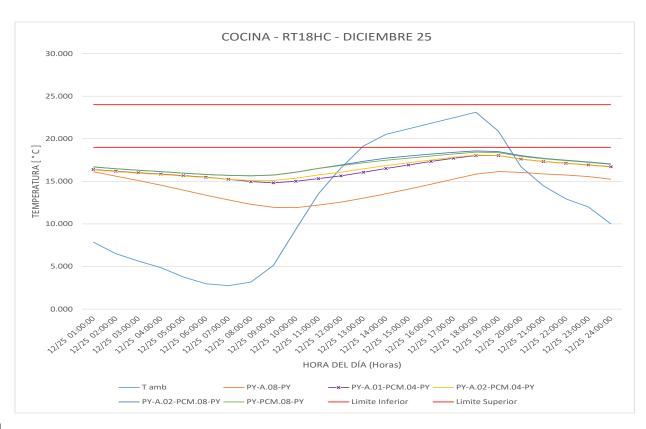
			PCM18-	RECAMARA-ABRIL O	5			
Fecha	T amb	PY-A.08-PY	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY	Limite Inferior	Limite Superior
04/05 01:00:00	15.000	18.953	19.093	19.350	19.271	19.640	21.000	26.000
04/05 02:00:00	15.000	18.751	18.848	19.117	19.142	19.421	21.000	26.000
04/05 03:00:00	15.000	18.548	18.647	18.889	19.017	19.217	21.000	26.000
04/05 04:00:00	15.000	18.349	18.489	18.685	18.897	19.037	21.000	26.000
04/05 05:00:00	15.000	18.158	18.384	18.523	18.787	18.879	21.000	26.000
04/05 06:00:00	14.475	17.934	18.285	18.363	18.641	18.703	21.000	26.000
04/05 07:00:00	14.525	17.750	18.225	18.271	18.514	18.558	21.000	26.000
04/05 08:00:00	16.050	17.710	18.323	18.351	18.535	18.560	21.000	26.000
04/05 09:00:00	17.525	17.806	18.489	18.509	18.639	18.649	21.000	26.000
04/05 10:00:00	20.100	18.174	18.772	18.795	18.883	18.884	21.000	26.000
04/05 11:00:00	23.050	18.627	19.299	19.307	19.308	19.317	21.000	26.000
04/05 12:00:00	24.735	19.068	19.771	19.728	19.642	19.680	21.000	26.000
04/05 13:00:00	25.505	19.530	20.175	20.085	19.948	20.027	21.000	26.000
04/05 14:00:00	25.705	20.004	20.598	20.523	20.231	20.364	21.000	26.000
04/05 15:00:00	25.905	20.482	21.252	21.077	20.538	20.772	21.000	26.000
04/05 16:00:00	26.525	21.015	22.012	21.706	20.912	21.316	21.000	26.000
04/05 17:00:00	27.000	21.543	22.787	22.331	21.298	21.933	21.000	26.000
04/05 18:00:00	26.738	22.042	23.547	22.882	21.627	22.523	21.000	26.000
04/05 19:00:00	25.345	22.435	24.208	23.345	21.852	23.031	21.000	26.000
04/05 20:00:00	24.038	22.672	24.618	23.638	21.972	23.476	21.000	26.000
04/05 21:00:00	22.540	22.696	24.699	23.704	22.024	23.785	21.000	26.000
04/05 22:00:00	20.875	22.522	24.486	23.543	21.955	23.848	21.000	26.000
04/05 23:00:00	20.138	22.413	24.229	23.363	21.910	23.821	21.000	26.000
04/05 24:00:00	19.375	22.257	23.905	23.132	21.823	23.687	21.000	26.000
MIN	14.475	17.710	18.225	18.271	18.514	18.558		
MAX	27.000	22.696	24.699	23.704	22.024	23.848		***************************************
OSCILACIÓN	12.525	4.986	6.474	5.433	3.510	5.291		
AMORTIGUAMIENTO TÉRMICO	0.000	7.539	6.051	7.092	9.015	7.234		
RETARDAMIENTO TÉRMICO		3.000	4.000	4.000	4.000	5.000		



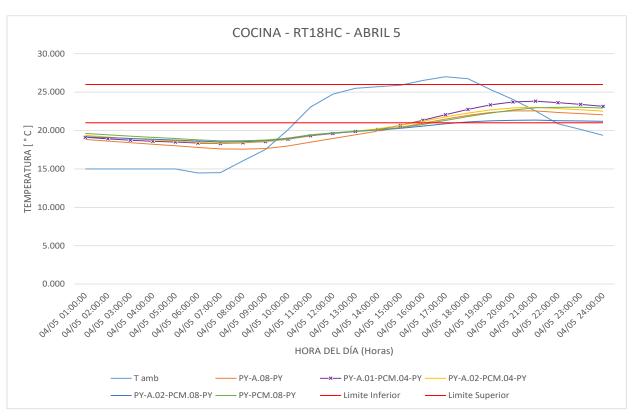
			PCM 1	8-COCINA-MAYO 08				
Fecha	T amb	PY-A.08-PY	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY	Limite Inferior	Limite Superior
05/08 01:00:00	17.950	21.784	22.737	22.071	21.401	22.770	21.000	26.000
05/08 02:00:00	16.475	21.471	22.325	21.746	21.187	22.461	21.000	26.000
05/08 03:00:00	13.900	21.030	21.807	21.324	20.887	22.053	21.000	26.000
05/08 04:00:00	12.000	20.565	21.223	20.845	20.547	21.582	21.000	26.000
05/08 05:00:00	11.475	20.148	20.715	20.452	20.316	21.204	21.000	26.000
05/08 06:00:00	11.000	19.690	20.149	20.007	20.050	20.784	21.000	26.000
05/08 07:00:00	11.525	19.287	19.653	19.616	19.842	20.433	21.000	26.000
05/08 08:00:00	14.100	19.069	19.370	19.392	19.787	20.254	21.000	26.000
05/08 09:00:00	17.050	19.043	19.316	19.368	19.874	20.236	21.000	26.000
05/08 10:00:00	19.575	19.212	19.409	19.493	20.011	20.282	21.000	26.000
05/08 11:00:00	21.525	19.527	19.688	19.813	20.263	20.454	21.000	26.000
05/08 12:00:00	23.575	19.910	20.106	20.196	20.518	20.633	21.000	26.000
05/08 13:00:00	26.050	20.472	20.784	20.772	20.900	20.981	21.000	26.000
05/08 14:00:00	28.050	21.100	21.555	21.403	21.284	21.424	21.000	26.000
05/08 15:00:00	29.525	21.763	22.390	22.077	21.687	21.973	21.000	26.000
05/08 16:00:00	30.000	22.428	23.247	22.759	22.083	22.580	21.000	26.000
05/08 17:00:00	29.475	23.072	24.147	23.425	22.445	23.203	21.000	26.000
05/08 18:00:00	29.000	23.706	25.041	24.082	22.788	23.859	21.000	26.000
05/08 19:00:00	27.425	24.162	25.764	24.611	23.038	24.477	21.000	26.000
05/08 20:00:00	24.950	24.303	26.094	24.837	23.096	24.901	21.000	26.000
05/08 21:00:00	23.475	24.258	26.127	24.878	23.159	25.210	21.000	26.000
05/08 22:00:00	21.950	24.050	25.896	24.723	23.145	25.310	21.000	26.000
05/08 23:00:00	19.950	23.780	25.475	24.403	22.977	25.138	21.000	26.000
05/08 24:00:00	19.000	23.534	25.099	24.134	22.845	24.932	21.000	26.000
MIN	11.000	19.043	19.316	19.368	19.787	20.236		
MAX	30.000	24.303	26.127	24.878	23.159	25.310		
OSCILACIÓN	19.000	5.260	6.811	5.511	3.372	5.074		
Amortiguamiento Térmico	0.000	13.740	12.189	13.489	15.628	13.926		
RETARDAMIENTO TÉRMICO		4.000	5.000	5.000	5.000	6.000		



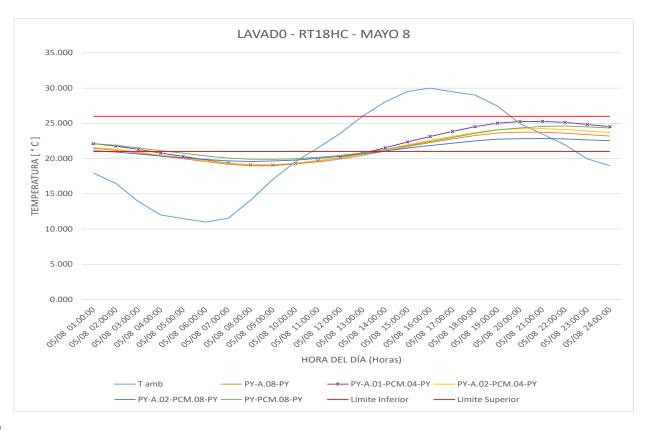
			PCM18-	COCINA-DICIEMBRE 2	25			
Fecha	T amb	PY-A.08-PY	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY	Limite Inferior	Limite Superior
12/25 01:00:00	7.870	16.127	16.393	16.351	16.699	16.678	19.000	24.000
12/25 02:00:00	6.513	15.610	16.182	16.138	16.486	16.468	19.000	24.000
12/25 03:00:00	5.643	15.094	16.004	15.958	16.306	16.290	19.000	24.000
12/25 04:00:00	4.870	14.557	15.854	15.806	16.154	16.139	19.000	24.000
12/25 05:00:00	3.775	13.967	15.675	15.625	15.972	15.958	19.000	24.000
12/25 06:00:00	2.985	13.381	15.489	15.447	15.816	15.802	19.000	24.000
12/25 07:00:00	2.753	12.821	15.243	15.243	15.708	15.693	19.000	24.000
12/25 08:00:00	3.168	12.308	14.970	15.097	15.660	15.646	19.000	24.000
12/25 09:00:00	5.128	11.946	14.835	15.093	15.744	15.730	19.000	24.000
12/25 10:00:00	9.383	11.907	15.010	15.369	16.076	16.064	19.000	24.000
12/25 11:00:00	13.528	12.208	15.327	15.756	16.520	16.508	19.000	24.000
12/25 12:00:00	16.575	12.566	15.650	16.075	16.918	16.855	19.000	24.000
12/25 13:00:00	19.155	13.027	16.071	16.471	17.354	17.186	19.000	24.000
12/25 14:00:00	20.515	13.547	16.505	16.845	17.722	17.479	19.000	24.000
12/25 15:00:00	21.168	14.089	16.920	17.176	17.980	17.723	19.000	24.000
12/25 16:00:00	21.815	14.665	17.338	17.509	18.208	17.974	19.000	24.000
12/25 17:00:00	22.468	15.267	17.715	17.821	18.403	18.213	19.000	24.000
12/25 18:00:00	23.115	15.852	18.029	18.080	18.571	18.431	19.000	24.000
12/25 19:00:00	20.880	16.146	18.031	18.048	18.490	18.372	19.000	24.000
12/25 20:00:00	16.710	16.054	17.617	17.615	18.027	17.935	19.000	24.000
12/25 21:00:00	14.475	15.869	17.325	17.311	17.699	17.646	19.000	24.000
12/25 22:00:00	12.950	15.735	17.120	17.096	17.478	17.433	19.000	24.000
12/25 23:00:00	12.000	15.563	16.933	16.902	17.279	17.230	19.000	24.000
12/25 24:00:00	10.005	15.255	16.711	16.674	17.047	16.996	19.000	24.000
MIN	2.753	11.907	14.835	15.093	15.660	15.646		
MAX	23.115	16.146	18.031	18.080	18.571	18.431		
OSCILACIÓN	20.363	4.239	3.196	2.987	2.911	2.786		
Amortiguamiento Térmico	0.000	16.124	17.166	17.375	17.452	17.577		
RETARDAMIENTO TÉRMICO		1.000	1.000	0.000	0.000	0.000		



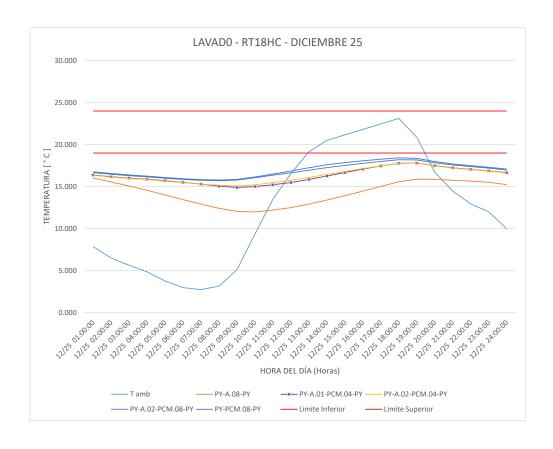
			PCM1	8-COCINA-ABRIL 05				
Fecha	T amb	PY-A.08-PY	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY	Limite Inferior	Limite Superior
04/05 01:00:00	15.000	18.831	19.120	19.369	19.193	19.625	21.000	26.000
04/05 02:00:00	15.000	18.624	18.911	19.155	19.078	19.437	21.000	26.000
04/05 03:00:00	15.000	18.416	18.738	18.948	18.966	19.261	21.000	26.000
04/05 04:00:00	15.000	18.213	18.598	18.768	18.858	19.101	21.000	26.000
04/05 05:00:00	15.000	18.019	18.491	18.622	18.758	18.959	21.000	26.000
04/05 06:00:00	14.475	17.790	18.375	18.464	18.622	18.791	21.000	26.000
04/05 07:00:00	14.525	17.602	18.304	18.357	18.508	18.654	21.000	26.000
04/05 08:00:00	16.050	17.571	18.397	18.433	18.551	18.670	21.000	26.000
04/05 09:00:00	17.525	17.650	18.556	18.581	18.666	18.758	21.000	26.000
04/05 10:00:00	20.100	17.993	18.863	18.883	18.943	19.014	21.000	26.000
04/05 11:00:00	23.050	18.490	19.315	19.336	19.379	19.435	21.000	26.000
04/05 12:00:00	24.735	18.966	19.613	19.644	19.647	19.689	21.000	26.000
04/05 13:00:00	25.505	19.442	19.883	19.901	19.869	19.913	21.000	26.000
04/05 14:00:00	25.705	19.920	20.145	20.216	20.068	20.115	21.000	26.000
04/05 15:00:00	25.905	20.410	20.660	20.678	20.294	20.383	21.000	26.000
04/05 16:00:00	26.525	20.949	21.344	21.213	20.572	20.791	21.000	26.000
04/05 17:00:00	27.000	21.491	22.060	21.775	20.873	21.311	21.000	26.000
04/05 18:00:00	26.738	21.978	22.746	22.271	21.115	21.820	21.000	26.000
04/05 19:00:00	25.345	22.347	23.340	22.678	21.257	22.263	21.000	26.000
04/05 20:00:00	24.038	22.561	23.727	22.945	21.323	22.663	21.000	26.000
04/05 21:00:00	22.540	22.561	23.826	23.024	21.366	22.960	21.000	26.000
04/05 22:00:00	20.875	22.345	23.630	22.856	21.272	23.027	21.000	26.000
04/05 23:00:00	20.138	22.213	23.402	22.697	21.247	23.029	21.000	26.000
04/05 24:00:00	19.375	22.043	23.151	22.519	21.194	22.925	21.000	26.000
MIN	14.475	17.571	18.304	18.357	18.508	18.654		
MAX	27.000	22.561	23.826	23.024	21.366	23.029		
OSCILACIÓN	12.525	4.991	5.521	4.667	2.858	4.375		
AMORTIGUAMIENTO TÉRMICO	0.000	7.534	7.004	7.858	9.667	8.150		
RETARDAMIENTO TÉRMICO	******************	3.000	4.000	4.000	4.000	6.000		



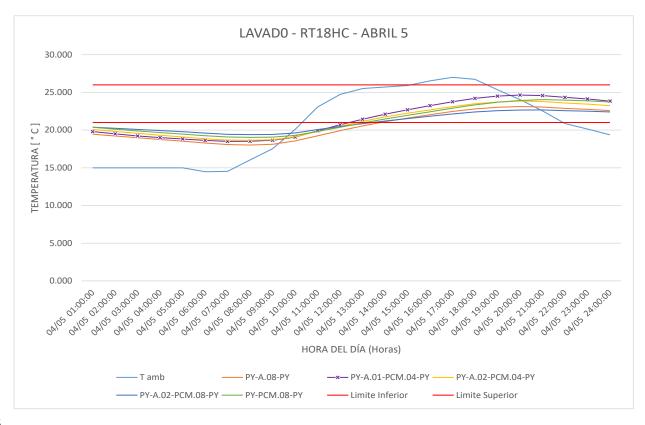
			PCM1	8-LAVADO-MAYO 08				
Fecha	T amb	PY-A.08-PY	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY	Limite Inferior	Limite Superior
05/08 01:00:00	17.950	21.434	22.118	21.586	21.107	22.120	21.000	26.000
05/08 02:00:00	16.475	21.166	21.768	21.307	20.920	21.873	21.000	26.000
05/08 03:00:00	13.900	20.777	21.307	20.930	20.650	21.518	21.000	26.000
05/08 04:00:00	12.000	20.368	20.783	20.499	20.345	21.106	21.000	26.000
05/08 05:00:00	11.475	19.987	20.308	20.130	20.126	20.762	21.000	26.000
05/08 06:00:00	11.000	19.565	19.780	19.706	19.872	20.382	21.000	26.000
05/08 07:00:00	11.525	19.185	19.335	19.329	19.665	20.064	21.000	26.000
05/08 08:00:00	14.100	18.973	19.100	19.117	19.594	19.902	21.000	26.000
05/08 09:00:00	17.050	18.995	19.093	19.124	19.656	19.892	21.000	26.000
05/08 10:00:00	19.575	19.246	19.323	19.338	19.785	19.970	21.000	26.000
05/08 11:00:00	21.525	19.536	19.681	19.681	20.033	20.191	21.000	26.000
05/08 12:00:00	23.575	19.916	20.112	20.089	20.309	20.435	21.000	26.000
05/08 13:00:00	26.050	20.451	20.775	20.666	20.692	20.817	21.000	26.000
05/08 14:00:00	28.050	21.058	21.543	21.298	21.081	21.281	21.000	26.000
05/08 15:00:00	29.525	21.684	22.358	21.960	21.482	21.839	21.000	26.000
05/08 16:00:00	30.000	22.266	23.133	22.582	21.851	22.418	21.000	26.000
05/08 17:00:00	29.475	22.784	23.849	23.148	22.174	22.986	21.000	26.000
05/08 18:00:00	29.000	23.279	24.522	23.697	22.503	23.577	21.000	26.000
05/08 19:00:00	27.425	23.630	25.034	24.105	22.752	24.076	21.000	26.000
05/08 20:00:00	24.950	23.749	25.253	24.229	22.818	24.348	21.000	26.000
05/08 21:00:00	23.475	23.742	25.285	24.245	22.842	24.552	21.000	26.000
05/08 22:00:00	21.950	23.610	25.132	24.139	22.794	24.615	21.000	26.000
05/08 23:00:00	19.950	23.399	24.839	23.913	22.652	24.490	21.000	26.000
05/08 24:00:00	19.000	23.200	24.530	23.692	22.544	24.347	21.000	26.000
MIN	11.000	18.973	19.093	19.117	19.594	19.892		
MAX	30.000	23.749	25.285	24.245	22.842	24.615		
OSCILACIÓN	19.000	4.776	6.192	5.128	3.248	4.724		
AMORTIGUAMIENTO TÉRMICO	0.000	14.224	12.808	13.872	15.752	14.276		
RETARDAMIENTO TÉRMICO		4.000	5.000	5.000	5.000	6.000		



			PCM18-L	AVADO-DICIEMBRE	25			
Fecha	T amb	PY-A.08-PY	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY	Limite Inferior	Limite Superior
12/25 01:00:00	7.870	16.034	16.382	16.348	16.767	16.678	19.000	24.000
12/25 02:00:00	6.513	15.557	16.185	16.149	16.569	16.480	19.000	24.000
12/25 03:00:00	5.643	15.075	16.019	15.981	16.402	16.314	19.000	24.000
12/25 04:00:00	4.870	14.569	15.877	15.837	16.258	16.171	19.000	24.000
12/25 05:00:00	3.775	14.014	15.709	15.667	16.089	16.003	19.000	24.000
12/25 06:00:00	2.985	13.458	15.513	15.480	15.944	15.859	19.000	24.000
12/25 07:00:00	2.753	12.922	15.303	15.296	15.842	15.757	19.000	24.000
12/25 08:00:00	3.168	12.423	15.058	15.163	15.794	15.710	19.000	24.000
12/25 09:00:00	5.128	12.056	14.901	15.089	15.867	15.785	19.000	24.000
12/25 10:00:00	9.383	11.985	15.011	15.225	16.151	16.065	19.000	24.000
12/25 11:00:00	13.528	12.222	15.233	15.486	16.511	16.368	19.000	24.000
12/25 12:00:00	16.575	12.513	15.493	15.758	16.860	16.646	19.000	24.000
12/25 13:00:00	19.155	12.925	15.867	16.106	17.252	16.965	19.000	24.000
12/25 14:00:00	20.515	13.408	16.275	16.463	17.606	17.268	19.000	24.000
12/25 15:00:00	21.168	13.923	16.682	16.805	17.864	17.524	19.000	24.000
12/25 16:00:00	21.815	14.468	17.096	17.158	18.084	17.773	19.000	24.000
12/25 17:00:00	22.468	15.034	17.467	17.491	18.270	18.002	19.000	24.000
12/25 18:00:00	23.115	15.586	17.774	17.781	18.430	18.208	19.000	24.000
12/25 19:00:00	20.880	15.889	17.818	17.812	18.369	18.186	19.000	24.000
12/25 20:00:00	16.710	15.876	17.496	17.478	17.986	17.838	19.000	24.000
12/25 21:00:00	14.475	15.760	17.244	17.219	17.703	17.590	19.000	24.000
12/25 22:00:00	12.950	15.659	17.055	17.025	17.496	17.394	19.000	24.000
12/25 23:00:00	12.000	15.517	16.882	16.849	17.310	17.207	19.000	24.000
12/25 24:00:00	10.005	15.240	16.672	16.637	17.090	16.987	19.000	24.000
MIN	2.753	11.985	14.901	15.089	15.794	15.710		
MAX	23.115	16.034	17.818	17.812	18.430	18.208		***************************************
OSCILACIÓN	20.363	4.049	2.917	2.723	2.637	2.498		
AMORTIGUAMIENTO TÉRMICO	0.000	16.313	17.445	17.639	17.726	17.864		
retardamiento Térmico		1.000	1.000	1.000	0.000	0.000		

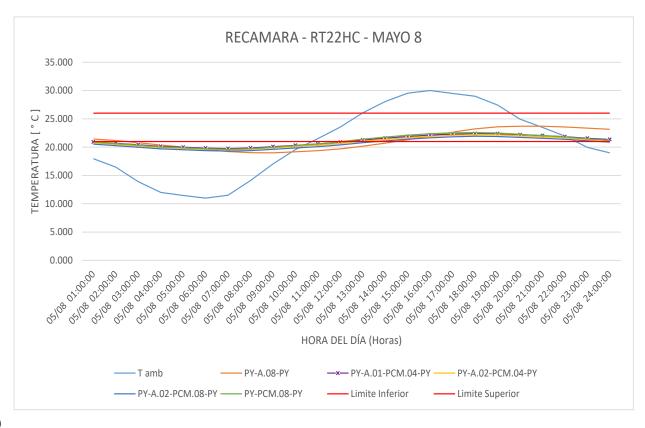


			PCM1	8-LAVADO-ABRIL 05				
Fecha	T amb	PY-A.08-PY	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY	Limite Inferior	Limite Superior
04/05 01:00:00	15.000	19.444	19.806	20.066	20.386	20.374	21.000	26.000
04/05 02:00:00	15.000	19.212	19.502	19.815	20.235	20.120	21.000	26.000
04/05 03:00:00	15.000	18.980	19.226	19.563	20.084	19.882	21.000	26.000
04/05 04:00:00	15.000	18.753	18.997	19.316	19.933	19.665	21.000	26.000
04/05 05:00:00	15.000	18.537	18.815	19.087	19.787	19.470	21.000	26.000
04/05 06:00:00	14.475	18.292	18.630	18.852	19.603	19.258	21.000	26.000
04/05 07:00:00	14.525	18.087	18.493	18.668	19.435	19.081	21.000	26.000
04/05 08:00:00	16.050	18.021	18.526	18.643	19.395	19.039	21.000	26.000
04/05 09:00:00	17.525	18.121	18.643	18.724	19.416	19.067	21.000	26.000
04/05 10:00:00	20.100	18.576	19.074	19.120	19.624	19.298	21.000	26.000
04/05 11:00:00	23.050	19.229	19.896	19.799	20.062	19.816	21.000	26.000
04/05 12:00:00	24.735	19.913	20.696	20.482	20.463	20.372	21.000	26.000
04/05 13:00:00	25.505	20.558	21.444	21.162	20.860	20.956	21.000	26.000
04/05 14:00:00	25.705	21.114	22.108	21.748	21.203	21.476	21.000	26.000
04/05 15:00:00	25.905	21.582	22.688	22.234	21.518	21.949	21.000	26.000
04/05 16:00:00	26.525	22.037	23.234	22.683	21.835	22.421	21.000	26.000
04/05 17:00:00	27.000	22.466	23.761	23.116	22.148	22.904	21.000	26.000
04/05 18:00:00	26.738	22.811	24.216	23.489	22.413	23.349	21.000	26.000
04/05 19:00:00	25.345	23.020	24.512	23.730	22.578	23.692	21.000	26.000
04/05 20:00:00	24.038	23.118	24.639	23.837	22.660	23.926	21.000	26.000
04/05 21:00:00	22.540	23.058	24.583	23.797	22.678	24.042	21.000	26.000
04/05 22:00:00	20.875	22.879	24.344	23.598	22.574	23.971	21.000	26.000
04/05 23:00:00	20.138	22.753	24.124	23.443	22.505	23.875	21.000	26.000
04/05 24:00:00	19.375	22.575	23.844	23.242	22.406	23.721	21.000	26.000
MIN	14.475	18.021	18.493	18.643	19.395	19.039		
MAX	27.000	23.118	24.639	23.837	22.678	24.042		
OSCILACIÓN	12.525	5.097	6.146	5.194	3.283	5.003		
AMORTIGUAMIENTO TÉRMICO	0.000	7.428	6.379	7.331	9.242	7.522		
RETARDAMIENTO TÉRMICO		3.000	3.000	3.000	4.000	4.000		

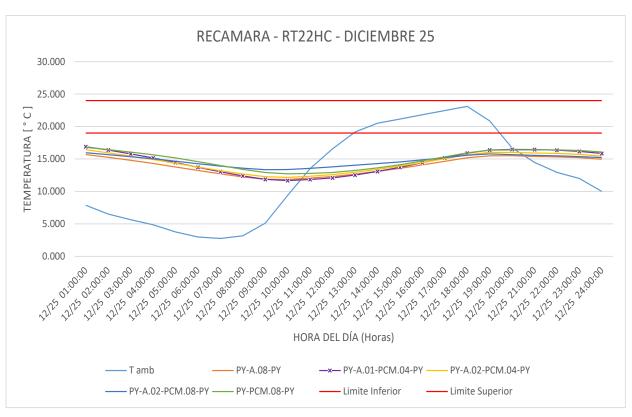


### III. RESULTADOS DE ESCENARIOS CON PCM RT22

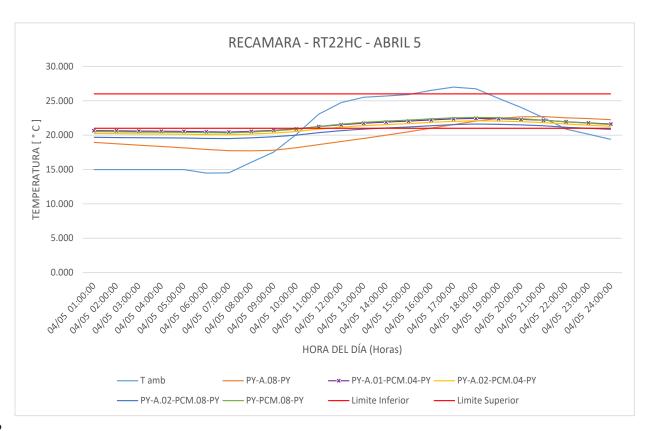
			PCM22	-RECAMARA-MAYO O	8			
Fecha	T amb	PY-A.08-PY	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY	Limite Inferior	Limite Superior
05/08 01:00:00	17.950	21.435	20.925	20.736	20.525	20.884	21.000	26.000
05/08 02:00:00	16.475	21.170	20.689	20.496	20.276	20.639	21.000	26.000
05/08 03:00:00	13.900	20.784	20.411	20.213	19.987	20.343	21.000	26.000
05/08 04:00:00	12.000	20.377	20.133	19.932	19.699	20.041	21.000	26.000
05/08 05:00:00	11.475	20.007	19.983	19.779	19.540	19.865	21.000	26.000
05/08 06:00:00	11.000	19.593	19.829	19.622	19.377	19.693	21.000	26.000
05/08 07:00:00	11.525	19.224	19.756	19.547	19.296	19.612	21.000	26.000
05/08 08:00:00	14.100	19.019	19.851	19.639	19.383	19.725	21.000	26.000
05/08 09:00:00	17.050	18.997	20.093	19.880	19.621	19.986	21.000	26.000
05/08 10:00:00	19.575	19.164	20.312	20.099	19.839	20.254	21.000	26.000
05/08 11:00:00	21.525	19.390	20.562	20.350	20.092	20.579	21.000	26.000
05/08 12:00:00	23.575	19.708	20.860	20.651	20.397	20.958	21.000	26.000
05/08 13:00:00	26.050	20.174	21.244	21.038	20.778	21.404	21.000	26.000
05/08 14:00:00	28.050	20.707	21.579	21.367	21.103	21.774	21.000	26.000
05/08 15:00:00	29.525	21.308	21.877	21.664	21.399	22.099	21.000	26.000
05/08 16:00:00	30.000	21.980	22.128	21.915	21.649	22.378	21.000	26.000
05/08 17:00:00	29.475	22.644	22.300	22.088	21.822	22.531	21.000	26.000
05/08 18:00:00	29.000	23.227	22.394	22.182	21.918	22.587	21.000	26.000
05/08 19:00:00	27.425	23.583	22.361	22.151	21.889	22.510	21.000	26.000
05/08 20:00:00	24.950	23.689	22.184	21.975	21.715	22.274	21.000	26.000
05/08 21:00:00	23.475	23.682	22.026	21.818	21.559	22.044	21.000	26.000
05/08 22:00:00	21.950	23.554	21.839	21.633	21.373	21.794	21.000	26.000
05/08 23:00:00	19.950	23.350	21.570	21.367	21.111	21.472	21.000	26.000
05/08 24:00:00	19.000	23.161	21.349	21.137	20.879	21.199	21.000	26.000
MIN	11.000	18.997	19.756	19.547	19.296	19.612		
MAX	30.000	23.689	22.394	22.182	21.918	22.587		
OSCILACIÓN	19.000	4.692	2.637	2.635	2.622	2.974		
Amortiguamiento Térmico	0.000	14.308	16.363	16.365	16.378	16.026		
retardamiento Térmico		4.000	2.000	2.000	2.000	2.000		



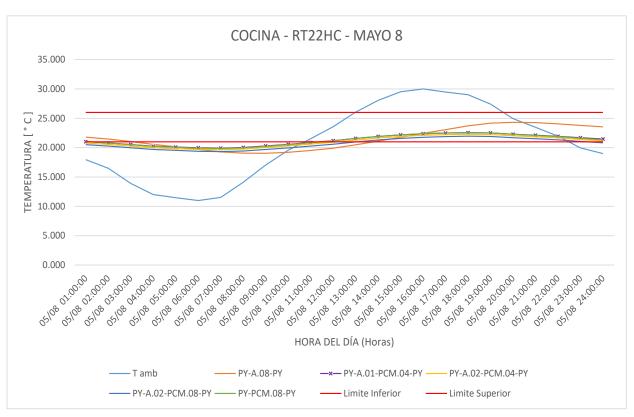
			PCM22-RE	CAMARA-DICIEMBRE	E 25			
Fecha	T amb	PY-A.08-PY	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY	Limite Inferior	Limite Superior
12/25 01:00:00	7.870	15.704	16.888	16.430	15.976	16.804	19.000	24.000
12/25 02:00:00	6.513	15.251	16.393	15.943	15.675	16.453	19.000	24.000
12/25 03:00:00	5.643	14.794	15.798	15.442	15.363	16.069	19.000	24.000
12/25 04:00:00	4.870	14.311	15.160	14.925	15.041	15.661	19.000	24.000
12/25 05:00:00	3.775	13.776	14.449	14.346	14.662	15.168	19.000	24.000
12/25 06:00:00	2.985	13.238	13.732	13.764	14.277	14.601	19.000	24.000
12/25 07:00:00	2.753	12.721	13.042	13.206	13.914	14.002	19.000	24.000
12/25 08:00:00	3.168	12.242	12.391	12.688	13.588	13.411	19.000	24.000
12/25 09:00:00	5.128	11.895	11.876	12.287	13.363	12.923	19.000	24.000
12/25 10:00:00	9.383	11.833	11.683	12.166	13.374	12.713	19.000	24.000
12/25 11:00:00	13.528	12.064	11.837	12.357	13.568	12.791	19.000	24.000
12/25 12:00:00	16.575	12.312	12.088	12.607	13.784	12.927	19.000	24.000
12/25 13:00:00	19.155	12.670	12.525	12.968	14.044	13.232	19.000	24.000
12/25 14:00:00	20.515	13.094	13.090	13.415	14.294	13.637	19.000	24.000
12/25 15:00:00	21.168	13.564	13.733	13.914	14.561	14.124	19.000	24.000
12/25 16:00:00	21.815	14.084	14.438	14.470	14.877	14.699	19.000	24.000
12/25 17:00:00	22.468	14.637	15.175	15.057	15.225	15.326	19.000	24.000
12/25 18:00:00	23.115	15.187	15.900	15.645	15.589	15.955	19.000	24.000
12/25 19:00:00	20.880	15.498	16.379	16.008	15.778	16.365	19.000	24.000
12/25 20:00:00	16.710	15.504	16.484	16.024	15.673	16.409	19.000	24.000
12/25 21:00:00	14.475	15.401	16.457	15.938	15.555	16.397	19.000	24.000
12/25 22:00:00	12.950	15.323	16.360	15.859	15.482	16.406	19.000	24.000
12/25 23:00:00	12.000	15.210	16.175	15.714	15.387	16.324	19.000	24.000
12/25 24:00:00	10.005	14.960	15.861	15.455	15.210	16.094	19.000	24.000
MIN	2.753	11.833	11.683	12.166	13.363	12.713		
MAX	23.115	15.704	16.888	16.430	15.976	16.804		
OSCILACIÓN	20.363	3.871	5.205	4.264	2.613	4.091		
AMORTIGUAMIENTO TÉRMICO	0.000	16.491	15.157	16.098	17.750	16.272		
RETARDAMIENTO TÉRMICO	***************************************	2.000	2.000	2.000	1.000	2.000		



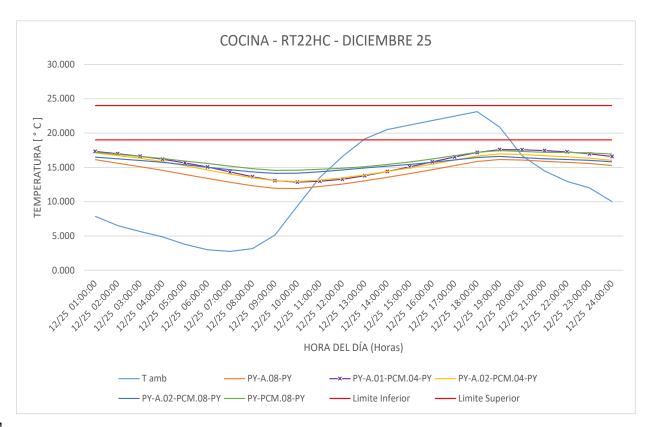
			PCM22	-RECAMARA-ABRIL 0	5			
Fecha	T amb	PY-A.08-PY	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY	Limite Inferior	Limite Superior
04/05 01:00:00	15.000	18.953	20.659	20.251	19.684	20.514	21.000	26.000
04/05 02:00:00	15.000	18.751	20.626	20.219	19.654	20.481	21.000	26.000
04/05 03:00:00	15.000	18.548	20.596	20.191	19.627	20.452	21.000	26.000
04/05 04:00:00	15.000	18.349	20.568	20.165	19.603	20.428	21.000	26.000
04/05 05:00:00	15.000	18.158	20.543	20.142	19.583	20.410	21.000	26.000
04/05 06:00:00	14.475	17.934	20.484	20.085	19.529	20.359	21.000	26.000
04/05 07:00:00	14.525	17.750	20.446	20.049	19.497	20.328	21.000	26.000
04/05 08:00:00	16.050	17.710	20.545	20.153	19.607	20.441	21.000	26.000
04/05 09:00:00	17.525	17.806	20.689	20.301	19.762	20.602	21.000	26.000
04/05 10:00:00	20.100	18.174	20.906	20.524	19.994	20.858	21.000	26.000
04/05 11:00:00	23.050	18.627	21.250	20.877	20.366	21.264	21.000	26.000
04/05 12:00:00	24.735	19.068	21.524	21.162	20.656	21.595	21.000	26.000
04/05 13:00:00	25.505	19.530	21.742	21.383	20.876	21.855	21.000	26.000
04/05 14:00:00	25.705	20.004	21.900	21.540	21.038	22.040	21.000	26.000
04/05 15:00:00	25.905	20.482	22.043	21.685	21.189	22.196	21.000	26.000
04/05 16:00:00	26.525	21.015	22.210	21.855	21.364	22.374	21.000	26.000
04/05 17:00:00	27.000	21.543	22.367	22.014	21.528	22.527	21.000	26.000
04/05 18:00:00	26.738	22.042	22.442	22.091	21.610	22.590	21.000	26.000
04/05 19:00:00	25.345	22.435	22.402	22.056	21.581	22.536	21.000	26.000
04/05 20:00:00	24.038	22.672	22.298	21.956	21.487	22.393	21.000	26.000
04/05 21:00:00	22.540	22.696	22.162	21.825	21.361	22.201	21.000	26.000
04/05 22:00:00	20.875	22.522	21.939	21.608	21.154	21.934	21.000	26.000
04/05 23:00:00	20.138	22.413	21.780	21.445	20.997	21.735	21.000	26.000
04/05 24:00:00	19.375	22.257	21.623	21.279	20.830	21.543	21.000	26.000
MIN	14.475	17.710	20.446	20.049	19.497	20.328		
MAX	27.000	22.696	22.442	22.091	21.610	22.590		
OSCILACIÓN	12.525	4.986	1.996	2.042	2.113	2.263		
Amortiguamiento Térmico	0.000	7.539	10.529	10.483	10.412	10.262		
RETARDAMIENTO TÉRMICO		4.000	1.000	1.000	1.000	1.000		



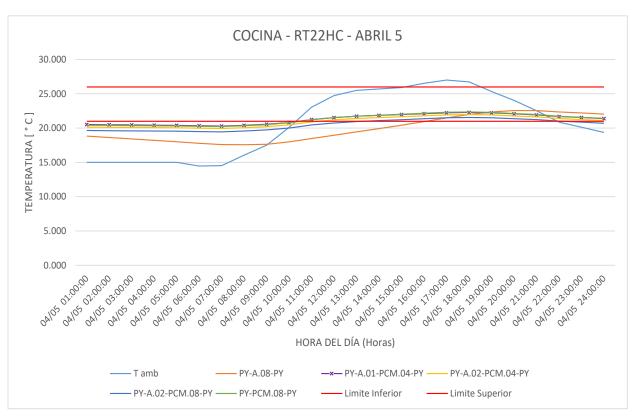
PCM22-COCINA-MAYO 08								
Fecha	T amb	PY-A.08-PY	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY	Limite Inferior	Limite Superior
05/08 01:00:00	17.950	21.784	21.026	20.781	20.509	21.039	21.000	26.000
05/08 02:00:00	16.475	21.471	20.799	20.548	20.267	20.801	21.000	26.000
05/08 03:00:00	13.900	21.030	20.525	20.268	19.979	20.514	21.000	26.000
05/08 04:00:00	12.000	20.565	20.245	19.983	19.685	20.219	21.000	26.000
05/08 05:00:00	11.475	20.148	20.110	19.844	19.539	20.069	21.000	26.000
05/08 06:00:00	11.000	19.690	19.969	19.700	19.387	19.914	21.000	26.000
05/08 07:00:00	11.525	19.287	19.915	19.642	19.323	19.849	21.000	26.000
05/08 08:00:00	14.100	19.069	20.033	19.759	19.434	19.962	21.000	26.000
05/08 09:00:00	17.050	19.043	20.298	20.023	19.695	20.226	21.000	26.000
05/08 10:00:00	19.575	19.212	20.566	20.291	19.963	20.506	21.000	26.000
05/08 11:00:00	21.525	19.527	20.865	20.592	20.269	20.824	21.000	26.000
05/08 12:00:00	23.575	19.910	21.176	20.911	20.591	21.155	21.000	26.000
05/08 13:00:00	26.050	20.472	21.570	21.308	20.977	21.566	21.000	26.000
05/08 14:00:00	28.050	21.100	21.899	21.631	21.295	21.900	21.000	26.000
05/08 15:00:00	29.525	21.763	22.176	21.906	21.567	22.181	21.000	26.000
05/08 16:00:00	30.000	22.428	22.371	22.101	21.763	22.390	21.000	26.000
05/08 17:00:00	29.475	23.072	22.485	22.216	21.878	22.509	21.000	26.000
05/08 18:00:00	29.000	23.706	22.550	22.283	21.946	22.559	21.000	26.000
05/08 19:00:00	27.425	24.162	22.507	22.240	21.906	22.502	21.000	26.000
05/08 20:00:00	24.950	24.303	22.287	22.021	21.689	22.269	21.000	26.000
05/08 21:00:00	23.475	24.258	22.119	21.851	21.521	22.079	21.000	26.000
05/08 22:00:00	21.950	24.050	21.935	21.664	21.335	21.871	21.000	26.000
05/08 23:00:00	19.950	23.780	21.677	21.388	21.063	21.586	21.000	26.000
05/08 24:00:00	19.000	23.534	21.468	21.162	20.831	21.355	21.000	26.000
MIN	11.000	19.043	19.915	19.642	19.323	19.849		
MAX	30.000	24.303	22.550	22.283	21.946	22.559		
OSCILACIÓN	19.000	5.260	2.635	2.640	2.623	2.710		
AMORTIGUAMIENTO TÉRMICO	0.000	13.740	16.365	16.360	16.377	16.290		
RETARDAMIENTO TÉRMICO		4.000	2.000	2.000	2.000	2.000		



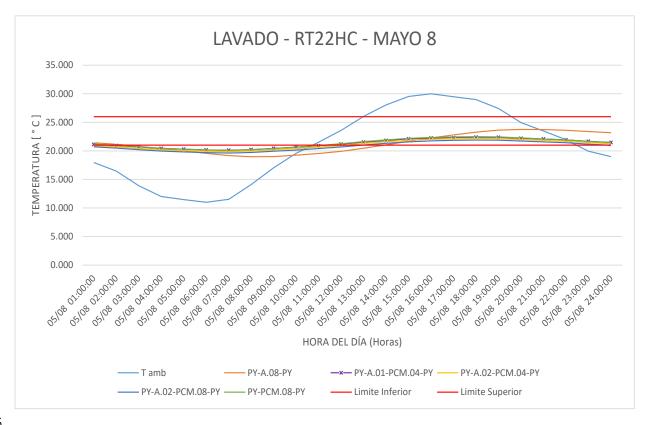
			PCM22-0	OCINA-DICIEMBRE 25	5		PCM22-COCINA-DICIEMBRE 25							
Fecha	T amb	PY-A.08-PY	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY	Limite Inferior	Limite Superior						
12/25 01:00:00	7.870	16.127	17.326	17.106	16.497	17.202	19.000	24.000						
12/25 02:00:00	6.513	15.610	16.990	16.726	16.250	16.899	19.000	24.000						
12/25 03:00:00	5.643	15.094	16.624	16.328	15.995	16.592	19.000	24.000						
12/25 04:00:00	4.870	14.557	16.177	15.841	15.729	16.287	19.000	24.000						
12/25 05:00:00	3.775	13.967	15.650	15.236	15.381	15.927	19.000	24.000						
12/25 06:00:00	2.985	13.381	15.057	14.619	15.013	15.559	19.000	24.000						
12/25 07:00:00	2.753	12.821	14.335	14.027	14.657	15.177	19.000	24.000						
12/25 08:00:00	3.168	12.308	13.626	13.479	14.336	14.807	19.000	24.000						
12/25 09:00:00	5.128	11.946	13.059	13.058	14.119	14.552	19.000	24.000						
12/25 10:00:00	9.383	11.907	12.850	12.941	14.145	14.571	19.000	24.000						
12/25 11:00:00	13.528	12.208	12.968	13.137	14.355	14.719	19.000	24.000						
12/25 12:00:00	16.575	12.566	13.263	13.461	14.614	14.859	19.000	24.000						
12/25 13:00:00	19.155	13.027	13.776	13.896	14.906	15.105	19.000	24.000						
12/25 14:00:00	20.515	13.547	14.402	14.389	15.167	15.417	19.000	24.000						
12/25 15:00:00	21.168	14.089	15.079	14.904	15.422	15.782	19.000	24.000						
12/25 16:00:00	21.815	14.665	15.793	15.467	15.731	16.220	19.000	24.000						
12/25 17:00:00	22.468	15.267	16.507	16.060	16.075	16.698	19.000	24.000						
12/25 18:00:00	23.115	15.852	17.181	16.646	16.441	17.184	19.000	24.000						
12/25 19:00:00	20.880	16.146	17.576	16.964	16.600	17.438	19.000	24.000						
12/25 20:00:00	16.710	16.054	17.570	16.873	16.404	17.314	19.000	24.000						
12/25 21:00:00	14.475	15.869	17.445	16.698	16.239	17.201	19.000	24.000						
12/25 22:00:00	12.950	15.735	17.252	16.543	16.144	17.175	19.000	24.000						
12/25 23:00:00	12.000	15.563	16.973	16.332	16.025	17.111	19.000	24.000						
12/25 24:00:00	10.005	15.255	16.574	16.017	15.824	16.938	19.000	24.000						
MIN	2.753	11.907	12.850	12.941	14.119	14.552								
MAX	23.115	16.146	17.576	17.106	16.600	17.438								
OSCILACIÓN	20.363	4.239	4.726	4.165	2.481	2.886								
AMORTIGUAMIENTO TÉRMICO	0.000	16.124	15.637	16.198	17.882	17.477								
RETARDAMIENTO TÉRMICO		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000								



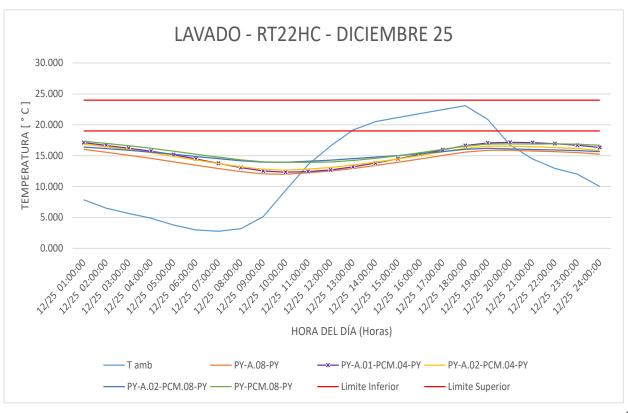
			PCM2	2-cocina-abril 05				
Fecha	T amb	PY-A.08-PY	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY	Limite Inferior	Limite Superior
04/05 01:00:00	15.000	18.831	20.519	20.149	19.646	20.421	21.000	26.000
04/05 02:00:00	15.000	18.624	20.485	20.116	19.616	20.389	21.000	26.000
04/05 03:00:00	15.000	18.416	20.455	20.088	19.589	20.361	21.000	26.000
04/05 04:00:00	15.000	18.213	20.427	20.062	19.565	20.338	21.000	26.000
04/05 05:00:00	15.000	18.019	20.402	20.039	19.545	20.318	21.000	26.000
04/05 06:00:00	14.475	17.790	20.342	19.981	19.490	20.263	21.000	26.000
04/05 07:00:00	14.525	17.602	20.302	19.943	19.456	20.230	21.000	26.000
04/05 08:00:00	16.050	17.571	20.405	20.051	19.569	20.342	21.000	26.000
04/05 09:00:00	17.525	17.650	20.556	20.207	19.735	20.506	21.000	26.000
04/05 10:00:00	20.100	17.993	20.814	20.471	20.009	20.785	21.000	26.000
04/05 11:00:00	23.050	18.490	21.232	20.902	20.457	21.227	21.000	26.000
04/05 12:00:00	24.735	18.966	21.524	21.198	20.754	21.529	21.000	26.000
04/05 13:00:00	25.505	19.442	21.727	21.403	20.958	21.745	21.000	26.000
04/05 14:00:00	25.705	19.920	21.858	21.535	21.096	21.889	21.000	26.000
04/05 15:00:00	25.905	20.410	21.973	21.652	21.220	22.015	21.000	26.000
04/05 16:00:00	26.525	20.949	22.106	21.788	21.361	22.162	21.000	26.000
04/05 17:00:00	27.000	21.491	22.238	21.922	21.500	22.304	21.000	26.000
04/05 18:00:00	26.738	21.978	22.288	21.976	21.560	22.357	21.000	26.000
04/05 19:00:00	25.345	22.347	22.222	21.915	21.507	22.286	21.000	26.000
04/05 20:00:00	24.038	22.561	22.078	21.776	21.375	22.134	21.000	26.000
04/05 21:00:00	22.540	22.561	21.930	21.632	21.236	21.976	21.000	26.000
04/05 22:00:00	20.875	22.345	21.696	21.400	21.014	21.739	21.000	26.000
04/05 23:00:00	20.138	22.213	21.542	21.245	20.861	21.577	21.000	26.000
04/05 24:00:00	19.375	22.043	21.392	21.088	20.706	21.417	21.000	26.000
MIN	14.475	17.571	20.302	19.943	19.456	20.230		
MAX	27.000	22.561	22.288	21.976	21.560	22.357		
OSCILACIÓN	12.525	4.991	1.986	2.032	2.104	2.128		
AMORTIGUAMIENTO TÉRMICO	0.000	7.534	10.539	10.493	10.421	10.397		
RETARDAMIENTO TÉRMICO		3.000	1.000	1.000	1.000	1.000		



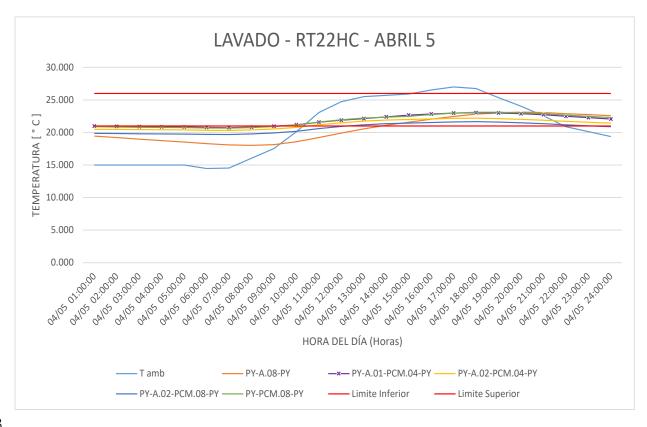
			PCM22	2-LAVADO-MAYO 08				
Fecha	T amb	PY-A.08-PY	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY	Limite Inferior	Limite Superior
05/08 01:00:00	17.950	21.434	21.131	20.912	20.701	21.206	21.000	26.000
05/08 02:00:00	16.475	21.166	20.926	20.704	20.484	20.990	21.000	26.000
05/08 03:00:00	13.900	20.777	20.676	20.451	20.224	20.727	21.000	26.000
05/08 04:00:00	12.000	20.368	20.428	20.199	19.966	20.463	21.000	26.000
05/08 05:00:00	11.475	19.987	20.300	20.068	19.829	20.319	21.000	26.000
05/08 06:00:00	11.000	19.565	20.167	19.932	19.687	20.171	21.000	26.000
05/08 07:00:00	11.525	19.185	20.108	19.871	19.621	20.101	21.000	26.000
05/08 08:00:00	14.100	18.973	20.204	19.965	19.711	20.193	21.000	26.000
05/08 09:00:00	17.050	18.995	20.428	20.188	19.932	20.418	21.000	26.000
05/08 10:00:00	19.575	19.246	20.647	20.408	20.153	20.661	21.000	26.000
05/08 11:00:00	21.525	19.536	20.897	20.659	20.410	20.946	21.000	26.000
05/08 12:00:00	23.575	19.916	21.177	20.945	20.694	21.252	21.000	26.000
05/08 13:00:00	26.050	20.451	21.538	21.305	21.044	21.625	21.000	26.000
05/08 14:00:00	28.050	21.058	21.838	21.601	21.338	21.933	21.000	26.000
05/08 15:00:00	29.525	21.684	22.089	21.850	21.587	22.186	21.000	26.000
05/08 16:00:00	30.000	22.266	22.255	22.017	21.754	22.351	21.000	26.000
05/08 17:00:00	29.475	22.784	22.340	22.102	21.841	22.435	21.000	26.000
05/08 18:00:00	29.000	23.279	22.401	22.165	21.904	22.495	21.000	26.000
05/08 19:00:00	27.425	23.630	22.379	22.143	21.883	22.454	21.000	26.000
05/08 20:00:00	24.950	23.749	22.208	21.974	21.715	22.267	21.000	26.000
05/08 21:00:00	23.475	23.742	22.076	21.843	21.584	22.109	21.000	26.000
05/08 22:00:00	21.950	23.610	21.917	21.687	21.427	21.922	21.000	26.000
05/08 23:00:00	19.950	23.399	21.677	21.448	21.190	21.665	21.000	26.000
05/08 24:00:00	19.000	23.200	21.485	21.250	20.994	21.456	21.000	26.000
MIN	11.000	18.973	20.108	19.871	19.621	20.101		
MAX	30.000	23.749	22.401	22.165	21.904	22.495		
OSCILACIÓN	19.000	4.776	2.293	2.294	2.283	2.394		
AMORTIGUAMIENTO TÉRMICO	0.000	14.224	16.707	16.706	16.717	16.606		
RETARDAMIENTO TÉRMICO		4.000	2.000	2.000	2.000	2.000		



			PCM22-L	AVADO-DICIEMBRE 2	5			
Fecha	T amb	PY-A.08-PY	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY	Limite Inferior	Limite Superior
12/25 01:00:00	7.870	16.034	17.121	16.840	16.396	17.322	19.000	24.000
12/25 02:00:00	6.513	15.557	16.657	16.452	16.141	16.990	19.000	24.000
12/25 03:00:00	5.643	15.075	16.194	16.001	15.877	16.612	19.000	24.000
12/25 04:00:00	4.870	14.569	15.724	15.487	15.590	16.203	19.000	24.000
12/25 05:00:00	3.775	14.014	15.162	14.902	15.234	15.723	19.000	24.000
12/25 06:00:00	2.985	13.458	14.461	14.312	14.866	15.229	19.000	24.000
12/25 07:00:00	2.753	12.922	13.747	13.745	14.512	14.756	19.000	24.000
12/25 08:00:00	3.168	12.423	13.068	13.213	14.188	14.323	19.000	24.000
12/25 09:00:00	5.128	12.056	12.523	12.794	13.957	14.006	19.000	24.000
12/25 10:00:00	9.383	11.985	12.315	12.656	13.942	13.928	19.000	24.000
12/25 11:00:00	13.528	12.222	12.420	12.822	14.093	13.924	19.000	24.000
12/25 12:00:00	16.575	12.513	12.696	13.090	14.285	13.983	19.000	24.000
12/25 13:00:00	19.155	12.925	13.189	13.488	14.523	14.219	19.000	24.000
12/25 14:00:00	20.515	13.408	13.807	13.965	14.766	14.568	19.000	24.000
12/25 15:00:00	21.168	13.923	14.488	14.482	15.022	14.991	19.000	24.000
12/25 16:00:00	21.815	14.468	15.211	15.041	15.328	15.484	19.000	24.000
12/25 17:00:00	22.468	15.034	15.940	15.622	15.666	16.015	19.000	24.000
12/25 18:00:00	23.115	15.586	16.631	16.193	16.022	16.553	19.000	24.000
12/25 19:00:00	20.880	15.889	17.069	16.535	16.203	16.889	19.000	24.000
12/25 20:00:00	16.710	15.876	17.162	16.539	16.097	16.907	19.000	24.000
12/25 21:00:00	14.475	15.760	17.105	16.442	15.994	16.896	19.000	24.000
12/25 22:00:00	12.950	15.659	16.936	16.322	15.932	16.912	19.000	24.000
12/25 23:00:00	12.000	15.517	16.693	16.145	15.841	16.861	19.000	24.000
12/25 24:00:00	10.005	15.240	16.330	15.859	15.666	16.686	19.000	24.000
MIN	2.753	11.985	12.315	12.656	13.942	13.924		
MAX	23.115	16.034	17.162	16.840	16.396	17.322		
OSCILACIÓN	20.363	4.049	4.847	4.184	2.454	3.397		
Amortiguamiento Térmico	0.000	16.313	15.515	16.179	17.909	16.965		
RETARDAMIENTO TÉRMICO		1.000	2.000	2.000	1.000	2.000		

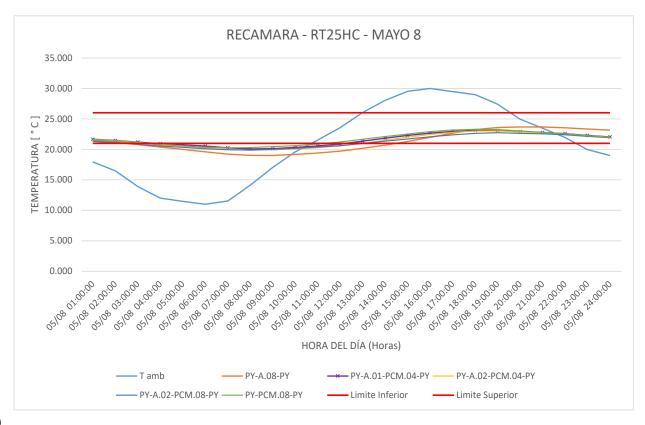


			PCM22	2-LAVADO-ABRIL 05				
Fecha	T amb	PY-A.08-PY	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY	Limite Inferior	Limite Superior
04/05 01:00:00	15.000	19.444	20.965	20.492	19.863	20.875	21.000	26.000
04/05 02:00:00	15.000	19.212	20.927	20.461	19.832	20.836	21.000	26.000
04/05 03:00:00	15.000	18.980	20.891	20.433	19.805	20.802	21.000	26.000
04/05 04:00:00	15.000	18.753	20.859	20.408	19.780	20.772	21.000	26.000
04/05 05:00:00	15.000	18.537	20.831	20.386	19.760	20.748	21.000	26.000
04/05 06:00:00	14.475	18.292	20.770	20.332	19.708	20.692	21.000	26.000
04/05 07:00:00	14.525	18.087	20.730	20.299	19.678	20.659	21.000	26.000
04/05 08:00:00	16.050	18.021	20.818	20.395	19.780	20.756	21.000	26.000
04/05 09:00:00	17.525	18.121	20.949	20.534	19.925	20.900	21.000	26.000
04/05 10:00:00	20.100	18.576	21.178	20.772	20.170	21.163	21.000	26.000
04/05 11:00:00	23.050	19.229	21.569	21.174	20.590	21.603	21.000	26.000
04/05 12:00:00	24.735	19.913	21.882	21.493	20.927	21.954	21.000	26.000
04/05 13:00:00	25.505	20.558	22.135	21.743	21.183	22.208	21.000	26.000
04/05 14:00:00	25.705	21.114	22.390	21.897	21.340	22.344	21.000	26.000
04/05 15:00:00	25.905	21.582	22.652	21.994	21.441	22.486	21.000	26.000
04/05 16:00:00	26.525	22.037	22.831	22.087	21.538	22.758	21.000	26.000
04/05 17:00:00	27.000	22.466	22.970	22.172	21.625	22.977	21.000	26.000
04/05 18:00:00	26.738	22.811	23.037	22.200	21.656	23.100	21.000	26.000
04/05 19:00:00	25.345	23.020	22.995	22.131	21.594	23.096	21.000	26.000
04/05 20:00:00	24.038	23.118	22.879	22.010	21.484	23.009	21.000	26.000
04/05 21:00:00	22.540	23.058	22.720	21.884	21.360	22.880	21.000	26.000
04/05 22:00:00	20.875	22.879	22.483	21.698	21.162	22.668	21.000	26.000
04/05 23:00:00	20.138	22.753	22.280	21.571	21.026	22.483	21.000	26.000
04/05 24:00:00	19.375	22.575	22.061	21.440	20.886	22.276	21.000	26.000
MIN	14.475	18.021	20.730	20.299	19.678	20.659		
MAX	27.000	23.118	23.037	22.200	21.656	23.100		
OSCILACIÓN	12.525	5.097	2.307	1.901	1.978	2.442		
AMORTIGUAMIENTO TÉRMICO	0.000	7.428	10.218	10.624	10.547	10.083		
RETARDAMIENTO TÉRMICO		3.000	1.000	1.000	1.000	1.000		

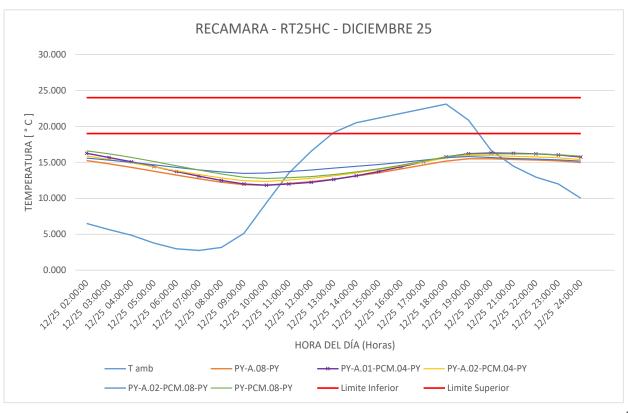


### IV. RESULTADOS DE ESCENARIOS CON PCM RT-25

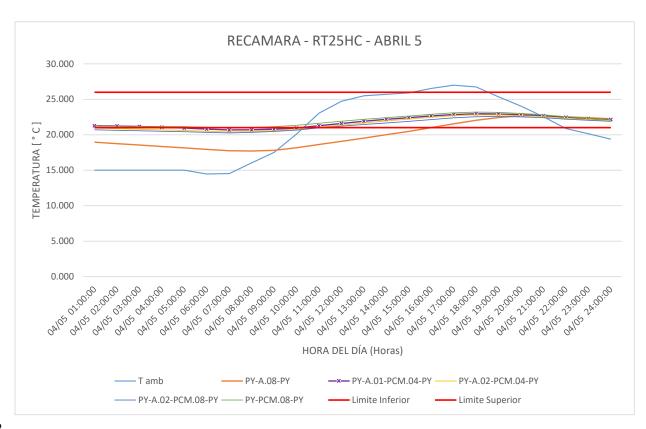
			PCM25-	RECAMARA-MAYO 08				
Fecha	T amb	PY-A.08-PY	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY	Limite Inferior	Limite Superior
05/08 01:00:00	17.950	21.435	21.656	21.613	21.301	21.559	21.000	26.000
05/08 02:00:00	16.475	21.170	21.452	21.413	21.107	21.339	21.000	26.000
05/08 03:00:00	13.900	20.784	21.191	21.146	20.835	21.053	21.000	26.000
05/08 04:00:00	12.000	20.377	20.926	20.830	20.534	20.747	21.000	26.000
05/08 05:00:00	11.475	20.007	20.775	20.564	20.331	20.555	21.000	26.000
05/08 06:00:00	11.000	19.593	20.540	20.248	20.101	20.363	21.000	26.000
05/08 07:00:00	11.525	19.224	20.248	19.982	19.927	20.253	21.000	26.000
05/08 08:00:00	14.100	19.019	20.079	19.866	19.899	20.295	21.000	26.000
05/08 09:00:00	17.050	18.997	20.119	19.929	20.012	20.444	21.000	26.000
05/08 10:00:00	19.575	19.164	20.323	20.078	20.165	20.608	21.000	26.000
05/08 11:00:00	21.525	19.390	20.564	20.279	20.377	20.880	21.000	26.000
05/08 12:00:00	23.575	19.708	20.878	20.566	20.615	21.209	21.000	26.000
05/08 13:00:00	26.050	20.174	21.352	21.020	20.971	21.657	21.000	26.000
05/08 14:00:00	28.050	20.707	21.840	21.511	21.340	22.100	21.000	26.000
05/08 15:00:00	29.525	21.308	22.288	21.998	21.714	22.520	21.000	26.000
05/08 16:00:00	30.000	21.980	22.671	22.436	22.074	22.910	21.000	26.000
05/08 17:00:00	29.475	22.644	22.944	22.779	22.379	23.178	21.000	26.000
05/08 18:00:00	29.000	23.227	23.095	22.997	22.622	23.301	21.000	26.000
05/08 19:00:00	27.425	23.583	23.089	23.021	22.731	23.257	21.000	26.000
05/08 20:00:00	24.950	23.689	22.909	22.848	22.636	23.034	21.000	26.000
05/08 21:00:00	23.475	23.682	22.758	22.704	22.548	22.813	21.000	26.000
05/08 22:00:00	21.950	23.554	22.573	22.525	22.402	22.565	21.000	26.000
05/08 23:00:00	19.950	23.350	22.289	22.244	22.138	22.223	21.000	26.000
05/08 24:00:00	19.000	23.161	22.048	22.005	21.917	21.946	21.000	26.000
MIN	11.000	18.997	20.079	19.866	19.899	20.253		
MAX	30.000	23.689	23.095	23.021	22.731	23.301		
OSCILACIÓN	19.000	4.692	3.017	3.155	2.832	3.048		
AMORTIGUAMIENTO TÉRMICO	0.000	14.308	15.983	15.845	16.168	15.952		
RETARDAMIENTO TÉRMICO		4.000	2.000	3.000	3.000	2.000		



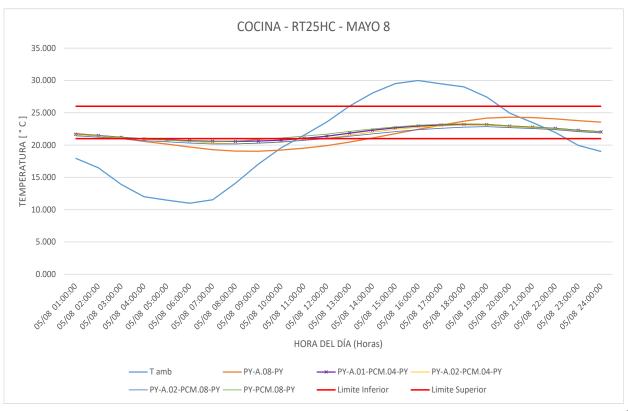
			PCM25-RE	CAMARA-DICIEMBRE 2	25			
Fecha	T amb	PY-A.08-PY	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY	Limite Inferior	Limite Superior
12/25 01:00:00	7.870	15.704	16.844	16.340	15.897	16.958	19.000	24.000
12/25 02:00:00	6.513	15.251	16.270	15.877	15.607	16.602	19.000	24.000
12/25 03:00:00	5.643	14.794	15.682	15.406	15.312	16.181	19.000	24.000
12/25 04:00:00	4.870	14.311	15.077	14.922	15.011	15.702	19.000	24.000
12/25 05:00:00	3.775	13.776	14.407	14.378	14.655	15.131	19.000	24.000
12/25 06:00:00	2.985	13.238	13.734	13.831	14.297	14.529	19.000	24.000
12/25 07:00:00	2.753	12.721	13.088	13.309	13.963	13.936	19.000	24.000
12/25 08:00:00	3.168	12.242	12.483	12.826	13.666	13.382	19.000	24.000
12/25 09:00:00	5.128	11.895	12.004	12.457	13.472	12.936	19.000	24.000
12/25 10:00:00	9.383	11.833	11.830	12.357	13.515	12.764	19.000	24.000
12/25 11:00:00	13.528	12.064	11.995	12.549	13.722	12.866	19.000	24.000
12/25 12:00:00	16.575	12.312	12.230	12.797	13.942	13.034	19.000	24.000
12/25 13:00:00	19.155	12.670	12.629	13.137	14.215	13.316	19.000	24.000
12/25 14:00:00	20.515	13.094	13.147	13.549	14.459	13.674	19.000	24.000
12/25 15:00:00	21.168	13.564	13.738	14.010	14.706	14.098	19.000	24.000
12/25 16:00:00	21.815	14.084	14.395	14.525	14.997	14.607	19.000	24.000
12/25 17:00:00	22.468	14.637	15.087	15.071	15.316	15.175	19.000	24.000
12/25 18:00:00	23.115	15.187	15.769	15.620	15.649	15.766	19.000	24.000
12/25 19:00:00	20.880	15.498	16.214	15.954	15.807	16.156	19.000	24.000
12/25 20:00:00	16.710	15.504	16.303	15.948	15.675	16.195	19.000	24.000
12/25 21:00:00	14.475	15.401	16.271	15.851	15.545	16.184	19.000	24.000
12/25 22:00:00	12.950	15.323	16.193	15.776	15.458	16.167	19.000	24.000
12/25 23:00:00	12.000	15.210	16.031	15.639	15.357	16.076	19.000	24.000
12/25 24:00:00	10.005	14.960	15.743	15.393	15.180	15.859	19.000	24.000
MIN	2.753	11.833	11.830	12.357	13.472	12.764		
MAX	23.115	15.704	16.844	16.340	15.897	16.958		
OSCILACIÓN	20.363	3.871	5.014	3.983	2.425	4.194		
AMORTIGUAMIENTO TÉRMICO	0.000	16.491	15.348	16.379	17.938	16.169		
RETARDAMIENTO TÉRMICO		2.000	2.000	1.000	1.000	2.000		



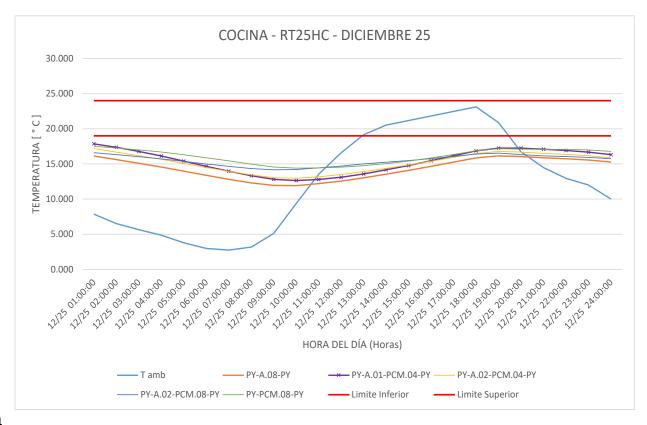
			PCM25-	RECAMARA-ABRIL 05				
Fecha	T amb	PY-A.08-PY	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY	Limite Inferior	Limite Superior
04/05 01:00:00	15.000	18.953	21.275	20.961	20.699	21.255	21.000	26.000
04/05 02:00:00	15.000	18.751	21.235	20.863	20.630	21.221	21.000	26.000
04/05 03:00:00	15.000	18.548	21.160	20.770	20.564	21.191	21.000	26.000
04/05 04:00:00	15.000	18.349	21.075	20.682	20.499	21.166	21.000	26.000
04/05 05:00:00	15.000	18.158	20.956	20.601	20.438	21.141	21.000	26.000
04/05 06:00:00	14.475	17.934	20.807	20.489	20.344	21.044	21.000	26.000
04/05 07:00:00	14.525	17.750	20.687	20.401	20.268	20.960	21.000	26.000
04/05 08:00:00	16.050	17.710	20.709	20.460	20.333	21.027	21.000	26.000
04/05 09:00:00	17.525	17.806	20.783	20.565	20.463	21.150	21.000	26.000
04/05 10:00:00	20.100	18.174	20.957	20.751	20.665	21.329	21.000	26.000
04/05 11:00:00	23.050	18.627	21.271	21.065	20.965	21.631	21.000	26.000
04/05 12:00:00	24.735	19.068	21.585	21.360	21.211	21.909	21.000	26.000
04/05 13:00:00	25.505	19.530	21.905	21.669	21.445	22.184	21.000	26.000
04/05 14:00:00	25.705	20.004	22.175	21.955	21.658	22.415	21.000	26.000
04/05 15:00:00	25.905	20.482	22.417	22.216	21.882	22.636	21.000	26.000
04/05 16:00:00	26.525	21.015	22.657	22.475	22.138	22.888	21.000	26.000
04/05 17:00:00	27.000	21.543	22.857	22.698	22.383	23.102	21.000	26.000
04/05 18:00:00	26.738	22.042	22.958	22.812	22.543	23.196	21.000	26.000
04/05 19:00:00	25.345	22.435	22.933	22.796	22.576	23.153	21.000	26.000
04/05 20:00:00	24.038	22.672	22.831	22.699	22.517	23.013	21.000	26.000
04/05 21:00:00	22.540	22.696	22.696	22.569	22.417	22.820	21.000	26.000
04/05 22:00:00	20.875	22.522	22.467	22.341	22.204	22.551	21.000	26.000
04/05 23:00:00	20.138	22.413	22.303	22.169	22.039	22.349	21.000	26.000
04/05 24:00:00	19.375	22.257	22.144	22.010	21.888	22.162	21.000	26.000
MIN	14.475	17.710	20.687	20.401	20.268	20.960		
MAX	27.000	22.696	22.958	22.812	22.576	23.196		
OSCILACIÓN	12.525	4.986	2.271	2.412	2.308	2.236		
AMORTIGUAMIENTO TÉRMICO	0.000	7.539	10.254	10.113	10.217	10.289		
RETARDAMIENTO TÉRMICO		4.000	1.000	1.000	2.000	1.000		



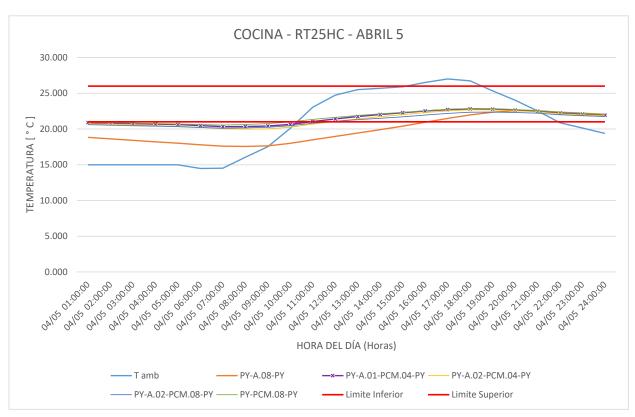
			PCM2	5-cocina-mayo 08				
Fecha	T amb	PY-A.08-PY	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY	Limite Inferior	Limite Superior
05/08 01:00:00	17.950	21.784	21.669	21.614	21.433	21.685	21.000	26.000
05/08 02:00:00	16.475	21.471	21.464	21.408	21.238	21.473	21.000	26.000
05/08 03:00:00	13.900	21.030	21.203	21.144	20.973	21.203	21.000	26.000
05/08 04:00:00	12.000	20.565	20.934	20.870	20.680	20.920	21.000	26.000
05/08 05:00:00	11.475	20.148	20.803	20.732	20.505	20.767	21.000	26.000
05/08 06:00:00	11.000	19.690	20.667	20.541	20.305	20.604	21.000	26.000
05/08 07:00:00	11.525	19.287	20.590	20.331	20.168	20.525	21.000	26.000
05/08 08:00:00	14.100	19.069	20.561	20.211	20.176	20.624	21.000	26.000
05/08 09:00:00	17.050	19.043	20.617	20.260	20.310	20.862	21.000	26.000
05/08 10:00:00	19.575	19.212	20.755	20.433	20.481	21.105	21.000	26.000
05/08 11:00:00	21.525	19.527	21.037	20.728	20.733	21.384	21.000	26.000
05/08 12:00:00	23.575	19.910	21.373	21.050	20.990	21.696	21.000	26.000
05/08 13:00:00	26.050	20.472	21.852	21.529	21.364	22.123	21.000	26.000
05/08 14:00:00	28.050	21.100	22.296	22.007	21.731	22.494	21.000	26.000
05/08 15:00:00	29.525	21.763	22.677	22.434	22.084	22.814	21.000	26.000
05/08 16:00:00	30.000	22.428	22.952	22.758	22.378	23.066	21.000	26.000
05/08 17:00:00	29.475	23.072	23.105	22.968	22.603	23.217	21.000	26.000
05/08 18:00:00	29.000	23.706	23.191	23.082	22.781	23.280	21.000	26.000
05/08 19:00:00	27.425	24.162	23.161	23.066	22.843	23.227	21.000	26.000
05/08 20:00:00	24.950	24.303	22.937	22.850	22.694	22.989	21.000	26.000
05/08 21:00:00	23.475	24.258	22.763	22.678	22.548	22.796	21.000	26.000
05/08 22:00:00	21.950	24.050	22.568	22.489	22.372	22.582	21.000	26.000
05/08 23:00:00	19.950	23.780	22.276	22.190	22.080	22.274	21.000	26.000
05/08 24:00:00	19.000	23.534	22.051	21.964	21.861	22.033	21.000	26.000
MIN	11.000	19.043	20.561	20.211	20.168	20.525		
MAX	30.000	24.303	23.191	23.082	22.843	23.280		
OSCILACIÓN	19.000	5.260	2.630	2.871	2.676	2.754		
AMORTIGUAMIENTO TÉRMICO	0.000	13.740	16.370	16.129	16.324	16.246		
RETARDAMIENTO TÉRMICO		4.000	2.000	2.000	3.000	2.000		



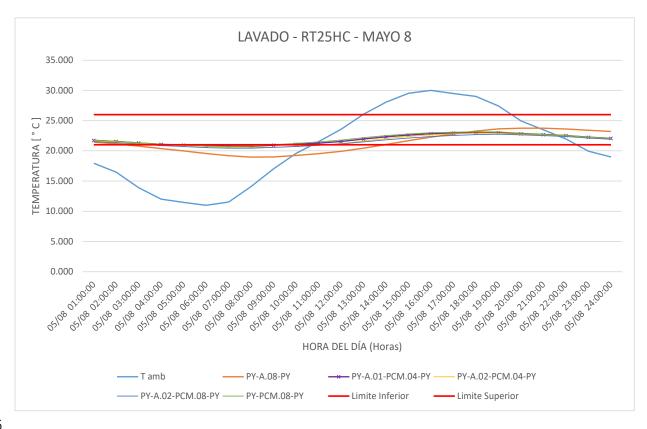
PCM25-COCINA-DICIEMBRE 25								
Fecha	T amb	PY-A.08-PY	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY	Limite Inferior	Limite Superior
12/25 01:00:00	7.870	16.127	17.854	17.186	16.604	17.506	19.000	24.000
12/25 02:00:00	6.513	15.610	17.372	16.684	16.321	17.265	19.000	24.000
12/25 03:00:00	5.643	15.094	16.771	16.174	16.026	16.997	19.000	24.000
12/25 04:00:00	4.870	14.557	16.120	15.655	15.723	16.690	19.000	24.000
12/25 05:00:00	3.775	13.967	15.393	15.075	15.359	16.295	19.000	24.000
12/25 06:00:00	2.985	13.381	14.663	14.494	14.991	15.875	19.000	24.000
12/25 07:00:00	2.753	12.821	13.966	13.943	14.649	15.435	19.000	24.000
12/25 08:00:00	3.168	12.308	13.315	13.437	14.347	14.967	19.000	24.000
12/25 09:00:00	5.128	11.946	12.803	13.055	14.156	14.562	19.000	24.000
12/25 10:00:00	9.383	11.907	12.625	12.966	14.206	14.410	19.000	24.000
12/25 11:00:00	13.528	12.208	12.793	13.171	14.432	14.446	19.000	24.000
12/25 12:00:00	16.575	12.566	13.103	13.503	14.702	14.536	19.000	24.000
12/25 13:00:00	19.155	13.027	13.583	13.911	15.004	14.756	19.000	24.000
12/25 14:00:00	20.515	13.547	14.157	14.370	15.251	15.045	19.000	24.000
12/25 15:00:00	21.168	14.089	14.783	14.853	15.482	15.399	19.000	24.000
12/25 16:00:00	21.815	14.665	15.463	15.377	15.762	15.844	19.000	24.000
12/25 17:00:00	22.468	15.267	16.170	15.930	16.075	16.344	19.000	24.000
12/25 18:00:00	23.115	15.852	16.857	16.485	16.409	16.864	19.000	24.000
12/25 19:00:00	20.880	16.146	17.254	16.780	16.541	17.163	19.000	24.000
12/25 20:00:00	16.710	16.054	17.239	16.675	16.320	17.114	19.000	24.000
12/25 21:00:00	14.475	15.869	17.096	16.505	16.140	17.078	19.000	24.000
12/25 22:00:00	12.950	15.735	16.918	16.363	16.041	17.064	19.000	24.000
12/25 23:00:00	12.000	15.563	16.675	16.172	15.924	16.982	19.000	24.000
12/25 24:00:00	10.005	15.255	16.316	15.880	15.732	16.767	19.000	24.000
MIN	2.753	11.907	12.625	12.966	14.156	14.410		
MAX	23.115	16.146	17.854	17.186	16.604	17.506		
OSCILACIÓN	20.363	4.239	5.228	4.220	2.448	3.096		
AMORTIGUAMIENTO TÉRMICO	0.000	16.124	15.134	16.143	17.914	17.267		
RETARDAMIENTO TÉRMICO		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		



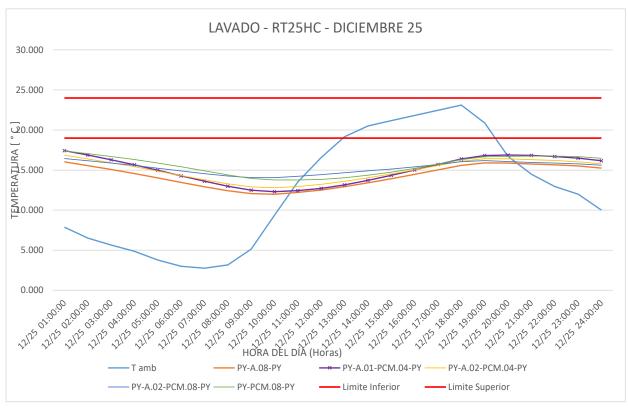
			PCM2	5-cocina-abril 05				
Fecha	T amb	PY-A.08-PY	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY	Limite Inferior	Limite Superior
04/05 01:00:00	15.000	18.831	20.894	20.750	20.605	20.953	21.000	26.000
04/05 02:00:00	15.000	18.624	20.823	20.680	20.537	20.887	21.000	26.000
04/05 03:00:00	15.000	18.416	20.754	20.580	20.468	20.825	21.000	26.000
04/05 04:00:00	15.000	18.213	20.688	20.476	20.397	20.766	21.000	26.000
04/05 05:00:00	15.000	18.019	20.626	20.379	20.326	20.712	21.000	26.000
04/05 06:00:00	14.475	17.790	20.486	20.231	20.218	20.624	21.000	26.000
04/05 07:00:00	14.525	17.602	20.337	20.039	20.126	20.556	21.000	26.000
04/05 08:00:00	16.050	17.571	20.344	19.995	20.163	20.634	21.000	26.000
04/05 09:00:00	17.525	17.650	20.424	20.028	20.243	20.759	21.000	26.000
04/05 10:00:00	20.100	17.993	20.656	20.249	20.454	20.988	21.000	26.000
04/05 11:00:00	23.050	18.490	21.051	20.691	20.823	21.344	21.000	26.000
04/05 12:00:00	24.735	18.966	21.408	21.069	21.087	21.633	21.000	26.000
04/05 13:00:00	25.505	19.442	21.746	21.422	21.314	21.904	21.000	26.000
04/05 14:00:00	25.705	19.920	22.027	21.729	21.509	22.126	21.000	26.000
04/05 15:00:00	25.905	20.410	22.277	22.020	21.715	22.333	21.000	26.000
04/05 16:00:00	26.525	20.949	22.517	22.301	21.952	22.560	21.000	26.000
04/05 17:00:00	27.000	21.491	22.720	22.550	22.189	22.776	21.000	26.000
04/05 18:00:00	26.738	21.978	22.810	22.685	22.344	22.890	21.000	26.000
04/05 19:00:00	25.345	22.347	22.770	22.668	22.379	22.869	21.000	26.000
04/05 20:00:00	24.038	22.561	22.636	22.551	22.324	22.735	21.000	26.000
04/05 21:00:00	22.540	22.561	22.487	22.404	22.224	22.585	21.000	26.000
04/05 22:00:00	20.875	22.345	22.244	22.154	21.998	22.344	21.000	26.000
04/05 23:00:00	20.138	22.213	22.083	21.995	21.866	22.182	21.000	26.000
04/05 24:00:00	19.375	22.043	21.945	21.859	21.748	22.033	21.000	26.000
MIN	14.475	17.571	20.337	19.995	20.126	20.556		
MAX	27.000	22.561	22.810	22.685	22.379	22.890		
OSCILACIÓN	12.525	4.991	2.472	2.690	2.253	2.334		
AMORTIGUAMIENTO TÉRMICO	0.000	7.534	10.053	9.835	10.272	10.191		
RETARDAMIENTO TÉRMICO		4.000	1.000	1.000	2.000	1.000		



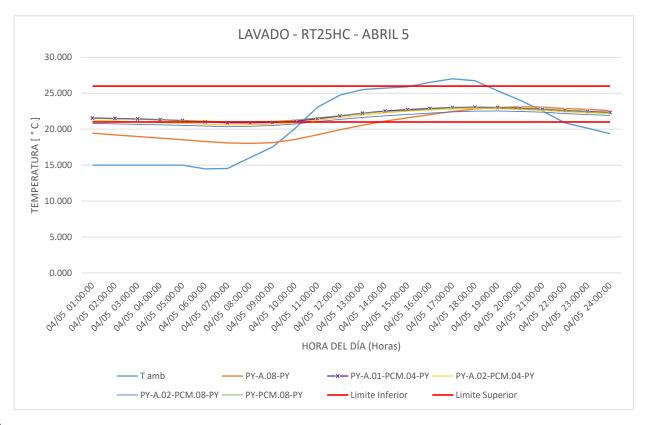
PCM25-LAVADO-MAYO 08								
Fecha	T amb	PY-A.08-PY	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY	Limite Inferior	Limite Superior
05/08 01:00:00	17.950	21.434	21.727	21.672	21.531	21.777	21.000	26.000
05/08 02:00:00	16.475	21.166	21.544	21.487	21.357	21.586	21.000	26.000
05/08 03:00:00	13.900	20.777	21.307	21.249	21.118	21.340	21.000	26.000
05/08 04:00:00	12.000	20.368	21.069	21.007	20.863	21.089	21.000	26.000
05/08 05:00:00	11.475	19.987	20.946	20.880	20.709	20.949	21.000	26.000
05/08 06:00:00	11.000	19.565	20.817	20.725	20.539	20.797	21.000	26.000
05/08 07:00:00	11.525	19.185	20.747	20.601	20.430	20.717	21.000	26.000
05/08 08:00:00	14.100	18.973	20.768	20.566	20.451	20.798	21.000	26.000
05/08 09:00:00	17.050	18.995	20.932	20.606	20.577	21.005	21.000	26.000
05/08 10:00:00	19.575	19.246	21.101	20.728	20.723	21.224	21.000	26.000
05/08 11:00:00	21.525	19.536	21.290	20.941	20.919	21.488	21.000	26.000
05/08 12:00:00	23.575	19.916	21.552	21.214	21.152	21.784	21.000	26.000
05/08 13:00:00	26.050	20.451	21.953	21.626	21.485	22.182	21.000	26.000
05/08 14:00:00	28.050	21.058	22.315	22.037	21.813	22.523	21.000	26.000
05/08 15:00:00	29.525	21.684	22.625	22.401	22.124	22.807	21.000	26.000
05/08 16:00:00	30.000	22.266	22.833	22.664	22.371	22.998	21.000	26.000
05/08 17:00:00	29.475	22.784	22.934	22.813	22.543	23.098	21.000	26.000
05/08 18:00:00	29.000	23.279	23.007	22.908	22.692	23.166	21.000	26.000
05/08 19:00:00	27.425	23.630	22.992	22.907	22.753	23.129	21.000	26.000
05/08 20:00:00	24.950	23.749	22.817	22.738	22.634	22.936	21.000	26.000
05/08 21:00:00	23.475	23.742	22.682	22.605	22.517	22.775	21.000	26.000
05/08 22:00:00	21.950	23.610	22.520	22.446	22.367	22.584	21.000	26.000
05/08 23:00:00	19.950	23.399	22.262	22.188	22.114	22.309	21.000	26.000
05/08 24:00:00	19.000	23.200	22.061	21.986	21.917	22.090	21.000	26.000
MIN	11.000	18.973	20.747	20.566	20.430	20.717		
MAX	30.000	23.749	23.007	22.908	22.753	23.166		
OSCILACIÓN	19.000	4.776	2.259	2.342	2.324	2.448		
AMORTIGUAMIENTO TÉRMICO	0.000	14.224	16.741	16.658	16.676	16.552		
RETARDAMIENTO TÉRMICO		4.000	2.000	2.000	3.000	2.000		



PCM25-LAVADO-DICIEMBRE 25								
Fecha	T amb	PY-A.08-PY	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY	Limite Inferior	Limite Superior
12/25 01:00:00	7.870	16.034	17.429	16.860	16.433	17.393	19.000	24.000
12/25 02:00:00	6.513	15.557	16.881	16.389	16.159	17.052	19.000	24.000
12/25 03:00:00	5.643	15.075	16.282	15.909	15.876	16.694	19.000	24.000
12/25 04:00:00	4.870	14.569	15.659	15.416	15.583	16.319	19.000	24.000
12/25 05:00:00	3.775	14.014	14.971	14.866	15.235	15.883	19.000	24.000
12/25 06:00:00	2.985	13.458	14.280	14.313	14.883	15.410	19.000	24.000
12/25 07:00:00	2.753	12.922	13.616	13.784	14.552	14.902	19.000	24.000
12/25 08:00:00	3.168	12.423	12.989	13.290	14.254	14.390	19.000	24.000
12/25 09:00:00	5.128	12.056	12.487	12.905	14.051	13.955	19.000	24.000
12/25 10:00:00	9.383	11.985	12.299	12.788	14.063	13.762	19.000	24.000
12/25 11:00:00	13.528	12.222	12.438	12.953	14.226	13.770	19.000	24.000
12/25 12:00:00	16.575	12.513	12.705	13.220	14.425	13.828	19.000	24.000
12/25 13:00:00	19.155	12.925	13.155	13.590	14.672	14.043	19.000	24.000
12/25 14:00:00	20.515	13.408	13.716	14.032	14.901	14.355	19.000	24.000
12/25 15:00:00	21.168	13.923	14.341	14.508	15.132	14.745	19.000	24.000
12/25 16:00:00	21.815	14.468	15.016	15.024	15.409	15.221	19.000	24.000
12/25 17:00:00	22.468	15.034	15.713	15.564	15.715	15.751	19.000	24.000
12/25 18:00:00	23.115	15.586	16.388	16.100	16.040	16.298	19.000	24.000
12/25 19:00:00	20.880	15.889	16.813	16.416	16.192	16.654	19.000	24.000
12/25 20:00:00	16.710	15.876	16.890	16.404	16.057	16.711	19.000	24.000
12/25 21:00:00	14.475	15.760	16.837	16.307	15.940	16.744	19.000	24.000
12/25 22:00:00	12.950	15.659	16.696	16.199	15.871	16.748	19.000	24.000
12/25 23:00:00	12.000	15.517	16.486	16.037	15.781	16.674	19.000	24.000
12/25 24:00:00	10.005	15.240	16.159	15.772	15.613	16.472	19.000	24.000
MIN	2.753	11.985	12.299	12.788	14.051	13.762		
MAX	23.115	16.034	17.429	16.860	16.433	17.393		
OSCILACIÓN	20.363	4.049	5.130	4.072	2.383	3.631		
AMORTIGUAMIENTO TÉRMICO	0.000	16.313	15.232	16.291	17.980	16.732		
RETARDAMIENTO TÉRMICO		1.000	2.000	1.000	1.000	4.000		



PCM25-LAVADO-ABRIL 05								
Fecha	T amb	PY-A.08-PY	PY-A.01-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.04-PY	PY-A.02-PCM.08-PY	PY-PCM.08-PY	Limite Inferior	Limite Superior
04/05 01:00:00	15.000	19.444	21.539	21.237	20.818	21.473	21.000	26.000
04/05 02:00:00	15.000	19.212	21.495	21.125	20.743	21.435	21.000	26.000
04/05 03:00:00	15.000	18.980	21.413	21.013	20.670	21.364	21.000	26.000
04/05 04:00:00	15.000	18.753	21.323	20.909	20.599	21.286	21.000	26.000
04/05 05:00:00	15.000	18.537	21.188	20.812	20.532	21.225	21.000	26.000
04/05 06:00:00	14.475	18.292	21.021	20.686	20.432	21.135	21.000	26.000
04/05 07:00:00	14.525	18.087	20.885	20.585	20.352	21.062	21.000	26.000
04/05 08:00:00	16.050	18.021	20.885	20.626	20.406	21.071	21.000	26.000
04/05 09:00:00	17.525	18.121	20.930	20.707	20.523	21.092	21.000	26.000
04/05 10:00:00	20.100	18.576	21.105	20.896	20.729	21.257	21.000	26.000
04/05 11:00:00	23.050	19.229	21.457	21.245	21.060	21.582	21.000	26.000
04/05 12:00:00	24.735	19.913	21.833	21.599	21.359	21.903	21.000	26.000
04/05 13:00:00	25.505	20.558	22.217	21.958	21.638	22.208	21.000	26.000
04/05 14:00:00	25.705	21.114	22.513	22.254	21.855	22.434	21.000	26.000
04/05 15:00:00	25.905	21.582	22.724	22.488	22.040	22.612	21.000	26.000
04/05 16:00:00	26.525	22.037	22.879	22.688	22.228	22.789	21.000	26.000
04/05 17:00:00	27.000	22.466	22.999	22.833	22.405	22.961	21.000	26.000
04/05 18:00:00	26.738	22.811	23.050	22.894	22.516	23.059	21.000	26.000
04/05 19:00:00	25.345	23.020	22.996	22.848	22.528	23.012	21.000	26.000
04/05 20:00:00	24.038	23.118	22.886	22.728	22.460	22.895	21.000	26.000
04/05 21:00:00	22.540	23.058	22.770	22.607	22.365	22.766	21.000	26.000
04/05 22:00:00	20.875	22.879	22.589	22.416	22.172	22.566	21.000	26.000
04/05 23:00:00	20.138	22.753	22.466	22.284	22.037	22.426	21.000	26.000
04/05 24:00:00	19.375	22.575	22.336	22.147	21.912	22.286	21.000	26.000
MIN	14.475	18.021	20.885	20.585	20.352	21.062		
MAX	27.000	23.118	23.050	22.894	22.528	23.059		
OSCILACIÓN	12.525	5.097	2.165	2.309	2.175	1.997		
AMORTIGUAMIENTO TÉRMICO	0.000	7.428	10.360	10.216	10.350	10.528		
RETARDAMIENTO TÉRMICO		3.000	1.000	1.000	2.000	1.000		



## **Data sheet**



# RT18HC



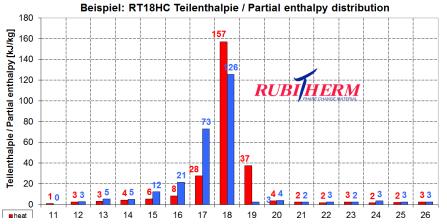
RUBITHERM® RT is a pure PCM, this heat storage material utilising the processes of phase change between solid and liquid (melting and congealing) to store and release large quantities of thermal energy at nearly constant temperature. The RUBITHERM® phase change materials (PCM's) provide a very effective mear for storing heat and cold, even when limited volumes and low differences in operating temperature are applicable.

We look forward to discussing your particular questions, needs and interests will you.

#### Properties:

- high thermal energy storage capacity
- heat storage and release take place at relatively constant temperatures
- no supercooling effect, chemically inert
- long life product, with stable performance through the phase change cycles
- melting temperature range between -4 °C and 100 °C

The most important data:	Typical Value	s.	
Melting area	17-19 main peak: 18	[°C]	
Congealing area	<b>19-17</b> main peak: 17	[°C]	
Heat storage capacity ± 7,5%	260	[kJ/kg]*	
Combination of latent and sensible heat in a temperatur range of 11°C to 26°C.	72	[Wh/kg]*	
Specific heat capacity	2	[kJ/kg·K]	
Density solid at 15 °C	0,88	[kg/l]	
Density liquid at 25 °C	0,77	[kg/l]	GHS08  [H304: May be fatal if swallowed]
Heat conductivity (both phases)	0,2	[W/(m·K)]	and enters airways.
Volume expansion	12,5	[%]	
Flash point	135	[°C]	
Max. operation temperature	50	[°C]	



Rubitherm Technologies GmbH Sperenberger Str. 5a

D-12277 Berlin

Tel: +49 30 720004-62 Fax: +49 30 720004-99 E-Mail: info@rubitherm.com Internet: www.rubitherm.com

The product information given is a nonbinding planning aid, subject to technical changes without notice. Version: 31.05.2016



# RT22HC



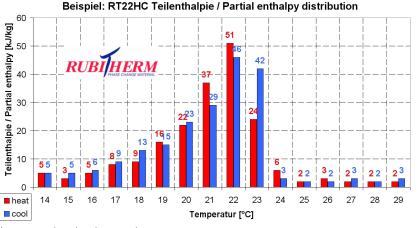
RUBITHERM® RT is a pure PCM, this heat storage material utilising the processes of phase change between solid and liquid (melting and congealing) to store and release large quantities of thermal energy at nearly constant temperature. The RUBITHERM® phase change materials (PCM's) provide a very effective means for storing heat and cold, even when limited volumes and low differences in operating temperature are applicable.

We look forward to discussing your particular questions, needs and interests with you.

#### Properties:

- high thermal energy storage capacity
- heat storage and release take place at relatively constant temperatures
- no supercooling effect, chemically inert
- long life product, with stable performance through the phase change cycles
- melting temperature range between -4 °C and 100 °C

The most important data:	Typical Value	<b>5</b> 6	
Melting area	20-23 main peak: 22	[°C]	
Congealing area	23-20	[°C]	
Heat storage capacity ± 7,5%	main peak: 22 <b>190</b>	[kJ/kg]*	
Combination of latent and sensible heat in a temperatur range of 14°C to 29°C.	53	[Wh/kg]*	
Specific heat capacity	2	[kJ/kg·K]	
Density solid at 20 °C	0,76	[kg/l]	
Density liquid	0,7	[kg/l]	GHS08 [H304: May be fatal if swallowed]
at 50 °C'  Heat conductivity (both phases)	0,2	[W/(m·K)]	and enters ainways.
Volume expansion	12,5	[%]	
Flash point	>150	[°C]	
Max. operation temperature	50	[°C]	



Rubitherm Technologies GmbH Sperenberger Str. 5a

D-12277 Berlin

Tel: +49 30 720004-62 Fax: +49 30 720004-99

E-Mail: info@rubitherm.com Internet: www.rubitherm.com

The product information given is a nonbinding planning aid, subject to technical changes without notice. Version: 29.06.2016

<sup>\*</sup>Measured with 3-layer-calorimeter.

### **Data sheet**



# RT25HC



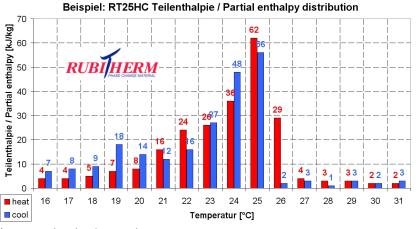
RUBITHERM® RT is a pure PCM, this heat storage material utilising the processes of phase change between solid and liquid (melting and congealing) to store and release large quantities of thermal energy at nearly constant temperature. The RUBITHERM® phase change materials (PCM's) provide a very effective means for storing heat and cold, even when limited volumes and low differences in operating temperature are applicable.

We look forward to discussing your particular questions, needs and interests with you.

#### Properties:

- high thermal energy storage capacity
- heat storage and release take place at relatively constant temperatures
- no supercooling effect, chemically inert
- long life product, with stable performance through the phase change cycles
- melting temperature range between -4 °C and 100 °C

The most important data:	Typical Value	os.	
Melting area	22-26 main peak: 25	ິ [°C]	
Congealing area	<b>26-22</b> main peak: 25	[°C]	
Heat storage capacity ± 7,5%	230	[kJ/kg]*	
Combination of latent and sensible heat in a temperatur range of 16°C to 31°C.	64	[Wh/kg]*	
Specific heat capacity	2	[kJ/kg·K]	
Density solid at 15 °C	0,88	[kg/l]	
Density liquid at 40 °C	0,77	[kg/l]	GHS08 [H304: May be fatal if swallowed]
Heat conductivity (both phases)	0,2	[W/(m·K)]	and enters airways.
Volume expansion	12,5	[%]	
Flash point	150	[°C]	
Max. operation temperature	65	[°C]	



Rubitherm Technologies GmbH Sperenberger Str. 5a

D-12277 Berlin

Tel: +49 30 720004-62 Fax: +49 30 720004-99 E-Mail: info@rubitherm.com Internet: www.rubitherm.com

The product information given is a nonbinding planning aid, subject to technical changes without notice. Version: 29.06.2016

<sup>\*</sup>Measured with 3-layer-calorimeter.

## **REFERENCIAS**

International Energy Agency (IEA), Technology Roadmap.Energy-efficient Buildings: Heating and Cooling Equipment. Recuperado de http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/buildings\_roadmap-1.pdf. Accessed: 2016-04-10.

Instituto Mexicano del Seguro Social (1993), Normas de Proyecto de Arquitectura: Tomo VII—Normas Bioclimáticas; Instituto Mexicano del Seguro Social: Ciudad de México, Mexico.

Energía Térmica. (2016) Energía térmica o energía calorífica. ¿Qué es?. Recuperado de http://energia-nuclear.net/definiciones/energia-calorifica.html

BELAUNZARÀN, J. (2015) Estudios de un sistema constructivo con cambio de fase. (Tesis de Maestría) Instituto de Energías Renovables UNAM, Morelos, México

MORILLÓN, D. (2007). Habitabilidad térmica en la vivienda. Simposio llevado a cabo en el V Simposio Nacional de Ingeniería Estructural en la Vivienda, Querétaro, México.

CHÁVEZ, J. (2009) Evaluación experimental de propiedades térmicas de materiales de construcción. (Tesis de Doctorado) Facultad de Ingeniería UNAM, México.

HAGLUND B, RATHMANN, K (s.f) "Thermal mass in passive solar and energy-conserving buildings", Vital Signs Curriculum Materials Project, University of Idaho, Recuperado de: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.556.4525&rep=rep1&type=pdf.

OLIVER, A., NEILA, F., Y GARCÍA, A. (2012). Clasificación y selección de materiales de cambio de fase según sus características para su aplicación en sistemas de almacenamiento de energía térmica. Materiales de Construcción, 62(305): 131-140. doi:10.3989/mc.2012.58010

FUENTES, V., (s.f). Arquitectura Bioclimática. Recuperado de: https://es.scribd.com/doc/102028439/Arquitectura-Bioclimatica-Victor-Armando-Fuentes-Freixanet.

HERNÁNDEZ, V. (1996). De la Arquitectura vernácula a los edificios de alta eficiencia energética, un análisis comparativo en Sanctorum. (Tesis de Maestría) Posgrado de Arquitectura, UNAM, México.

DÍAZ, L. (2016). El mejoramiento físico del adobe para fines constructivos. (Tesis de Maestría) Posgrado de Arquitectura, UNAM, México.

CASTELLARNAU, À. (2012) Construcción de una vivienda con muros de tapial en Ayerbe, Huesca. En: Construcción con tierra. Pasado presente y futuro. Congreso de Arquitectura de tierra en cuenca de Campos. Universidad de Valladolid, España. P. 259-268.

CUITIÑO, G., ESTEVES, A., MALDONADO, G. Y ROTONDARO, R. (2015). Análisis de la transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de quincha. Informes de la Construcción. 67 (537): 002-011, doi: http://dx.doi.org/10.3989/ic.12.08.

PUERTAS, R. (2011). Aplicación de criterios de sostenibilidad en revestimientos. (Proyecto de grado) Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación, UPV, España.

EREN, (2015). Manual práctico de soluciones constructivas bioclimáticas para la arquitectura contemporánea. Proyecto BIOURB. Recuperado de: http://biourbhost.net/descargas/Manual%20soluciones%20contemporaneas/Manual%20BIOURB%20web%20FINAL.pdf

PÉREZ, H., FLORES, J., LÓPEZ, A. (2013). Modelo de ventilación inducida para la vivienda en clima cálido húmedo: sistema chimenea solar. Primer Foro Latinoamericano de Ingeniería. Perspectivas para la interacción, la educación y el desarrollo. UNILA, Foz de Iguazu, Brasil.

KOSNY, J., (2015). PCM-Enhanced Building Components. An application of Phase Change Materials in building envelopes and internal structures. Doi: 10.1007/978-3-319-14286-9.

FLEISCHER, A. (2015). Thermal Energy Storage Using Phase Change Materials. Springerbriefs In Applied Sciences And Technology. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-20922-7

OLIVER, A., (2009). Integración de Materiales de Cambio de Fase en placas de yeso reforzadas con fibras de polipropileno. (Tesis de Doctorado) Universidad Politécnica de Madrid, España.

SHARMA, A., TYAGI, V., CHEN, C., & BUDDHI, D. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. Renewable And Sustainable Energy Reviews, 13(2), 318-345.

HAWES, D., BANU, D., & FELDMAN, D. (1992). The stability of phase change materials in concrete. Solar Energy Materials And Solar Cells, 27(2), 103-118.

SCHOSSIG, P., HENNING, H., GSCHWANDER, S., & HAUSSMANN, T. (2005). Micro-encapsulated phase-change materials integrated into construction materials. Solar Energy Materials And Solar Cells, 89(2-3), 297-306.

WEI, J., KAWAGUCHI, Y., HIRANO, S., & TAKEUCHI, H. (2005). Study on a PCM heat storage system for rapid heat supply. Applied Thermal Engineering, 25(17-18), 2903-2920.

KALNÆS, S., & JELLE, B. (2015). Phase change materials and products for building applications: A state-of-the-art review and future research opportunities. Energy And Buildings, 94, 150-176.

KUZNIK, F., DAVID, D., JOHANNES, K., & ROUX, J. (2011). A review on phase change materials integrated in building walls. Renewable And Sustainable Energy Reviews, 15 (1), 379-391.

EHID, R., & FLEISCHER, A. (2012). Development and characterization of paraffin-based shape stabilized energy storage materials. Energy Conversion And Management, 53 (1), 84-91.

SOARES, N., COSTA, J., GASPAR, A., & SANTOS, P. (2013). Review of passive PCM latent heat thermal energy storage systems towards buildings' energy efficiency. Energy And Buildings, 59, 82-103.

KHUDHAIR, A., FARID, M. (2004) A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials. Energy Convers Manag 45:263-275.

KHUDHAIR, A., FARID, M. (2007) Use of phase change materials for thermal comfort and electrical energy peak load shifting:experimental investigations. In Goswami DY, Zhao Y (eds) Solar world congress 2007. Solar Energy and Human Settlement, Beijing, China, 18-21 sept 2007.

TARDIEU A, BEHZADI S, CHEN J, FARID M, (2011) Computer simulation and experimental measurements for an experimental PCM-impregnated office building. In: Proceedings of the building simulation 2011:12th conference og international building performance simulation association, vol 1, pp 56-63

CABEZA L, CASTELLON C, NOGUES M, MEDRANO M, LEPPERS R, ZUBILLAGA O, (2007) Use of microencapsulated PCM in concrete walls for energy savings. Energy Build 39:113-119.

CASTELL A, MARTORELL I, MEDRANO M, PÉREZ G, CABEZA L, (2010) Experimental study of using PCM in brick constructive solutions for passive cooling, Energy and Buildings 42 (4) (2010) 534-540.

MORALES J.D. (1998) Estudio para el ahorro de energía de edificios para la Ciudad de México, México, D.F. Editorial Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial UNAM.

Weather Data by Location | EnergyPlus. (2016). Energyplus.net. Recuperado 14 de Noviembre de 2016, from https://energyplus.net/weather-location/north\_and\_central\_america\_wmo\_region\_4/MEX\_/MEX\_Mexico.City.766790\_IWEC.

Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia. (2016). Recuperado 14 de Noviembre de 2016, from http://smn.cna. gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias.

SZOKOLAY, S. V. (1997) Solar Energy and Building, Architectural Press, 2ª Edicion, London.

AULICIEMS, A, . SZOKOLAY, S. (1997). Thermal Comfort. PLEA notes No.3 University of Queensland Department of Architecture. Brisbane, Australia

Rubitherm GmbH . Available online: https://www.rubitherm.eu/en/index.php/productcategory/organischepcm-rt (accessed on 19 Marzo 2017).

Techdata RT18HC. Available online: https://www.rubitherm.eu/media/products/datasheets/Techdata\_ -RT18HC\_ EN\_31052016.PDF (Acceso el 19 Marzo 2017).

Techata RT22HC. Available online: https://www.rubitherm.eu/media/products/datasheets/Techdata\_ -RT22HC\_ EN\_29062016.PDF Acceso el 19 Marzo 2017).

Techdata RT25HC. Available online: https://www.rubitherm.eu/media/products/datasheets/Techdata\_ -RT25HC\_ EN\_29062016.PDF (Acceso el 19 Marzo 2017).

TABARES, P., CHRISTENSEN, C., BIANCHI, M., (2012). Verification and validation of EnergyPlus phase change material model for opaque Wall assemblies. Building and Environment 54 (2012) 186-196.

LIRA, A., & VILCHIS, S. (2017). Thermal Inertia Performance Evaluation of Light-Weighted Construction Space Envelopes Using Phase Change Materials in Mexico City's Climate. Technologies, 5(4), 69. http://dx.doi.org/10.3390/technologies504006.







