



Análisis del desempeño térmico de un sistema constructivo de ensamblado en clima cálido seco extremo

Analysis of the thermal performance of an assembly constructive system in an extreme's dry warm climate

Francisco Gibranny Curiel Sánchez ¹, Luisa Paola Murguía Tostado ², Gonzalo Bojórquez Morales ¹,
Ixchel Astrid Camacho Ixta ²

¹Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Benito Juárez S/N, Unidad Universitaria, Mexicali, C.P. 21280, Baja California, México

²Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Universitario 1000. Unidad Valle de las Palmas, Tijuana, C.P. 22260, Baja California, México

Autor de correspondencia: Gonzalo Bojórquez Morales, Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Benito Juárez S/N, Unidad Universitaria, Mexicali, Baja California, México. E-mail: gonzalobojorquez@uabc.edu.mx. ORCID: 0000-0001-9303-9278.

Recibido: 16 de Junio del 2021

Aceptado: 24 de Septiembre del 2021

Publicado: 14 de Octubre del 2021

Resumen. - *La calidad del ambiente térmico es determinante en la sensación térmica percibida del usuario, por lo que los efectos de los sistemas constructivos utilizados en la edificación son clave en la habitabilidad térmica del espacio. El conocer el desempeño térmico con la técnica de monitoreo permite una evaluación realista bajo las condiciones del microclima donde se construye. El objetivo de este estudio fue evaluar el ambiente térmico del periodo de transición y frío de dos viviendas construidas con un sistema constructivo de ensamblado (Thermorock), aplicado en muros y techo, para establecer las variaciones de temperatura de bulbo seco en su interior comparándolas con un caso base de un sistema de uso predominante en un clima cálido seco extremo (Mexicali, Baja California). Se desarrolló una estrategia de monitoreo con siete puntos de medición en una vivienda; dos puntos en otra y dos más en una vivienda de referencia, más un sensor al exterior en cada una de las viviendas. Se colocaron los sensores con base en la normatividad de ISO 7726 y ASTM 168 – 97. Los resultados indican que el sistema evaluado permite condiciones de confort térmico para los usuarios en un clima desértico.*

Palabras clave: Monitoreo térmico; Ambiente térmico; Habitabilidad térmica; Confort térmico; Sistema constructivo de ensamblado.

Abstract. - *The quality of the thermal environment is a determinant in the user's thermal perception, so the effects of the construction systems used in the building are key in the thermal habitability of the space. Knowing the thermal performance with the monitoring technique allows a realistic evaluation under conditions of the microclimate where it is built. The objective of this study was to evaluate the thermal environment of the period of transition and cold of two houses built with a assembly constructive system (Thermorock), applied in walls and roof, to establish the variations of dry bulb temperature in its interior comparing them with a base case of a system of predominant use in an extremous dry warm climate (Mexicali, Baja California). A monitoring strategy was developed with seven measuring points in one house; two points in the other and two more in a reference house, plus an outdoor sensor in each of the houses. The sensors were placed based on the standards of ISO 7726 and ASTM 168 - 97. The results indicate that the evaluated system allows thermal comfort conditions for users in a desert climate.*

Keywords: Thermal monitoring; Thermal environment; Thermal habitability; Thermal comfort; Assembly construction system.



1. Introducción

La necesidad de edificios de calidad que garanticen confort térmico se ha vuelto cada vez más evidente a raíz de los cambios en los hábitos de vida de sus ocupantes [1], de acuerdo a Morsy et al (2017), las personas viven al menos 90% de su vida al interior de edificios [2], es por ello que, el estudio de la calidad del ambiente interior adquiere una gran importancia. El patrón constructivo actual no toma en cuenta las variaciones climáticas, ni los materiales empleados en sus sistemas constructivos, en consecuencia, no se presentan condiciones de confort térmico, por ende, una nula habitabilidad interna [3].

Diversas investigaciones orientadas a evaluar la habitabilidad y calidad de la vivienda, reconocen la importancia del ambiente térmico [4], por su impacto en la salud de los habitantes, en el consumo de energía y su influencia en el cambio climático [5]. Múltiples variables influyen en el ambiente térmico interior; estos pueden ser internos, externos y los propios de la solución del diseño de la edificación. Dentro de los factores externos; se encuentra el microclima de la ciudad, así como, su latitud, altitud, temperatura, humedad relativa del aire, comportamiento del viento y la radiación solar. El ambiente térmico interior es influenciado por la solución arquitectónica; materiales, sistemas constructivos -conjunto de elementos y unidades de construcción-, así como acabados [6].

Con el fin de alcanzar los parámetros de confort térmico al interior de las viviendas, sus usuarios optan por el uso de aparatos de climatización. Esta problemática se aborda en enfoques económicos, políticos, ecológicos y sociales desde hace más de 30 años [7] en donde se concluyó que los excedentes de consumo de energía aumentan el costo y las emisiones contaminantes cuando el aire acondicionado funciona en un área con temperaturas más altas dentro de la misma ciudad [8], Santillán y García [9] abordan el tema con una

perspectiva ambiental, exponen una relación de círculo vicioso respecto al uso de sistemas mecánicos de climatización y el aumento de temperatura. En México el acondicionamiento térmico de estas edificaciones repercute en gran medida en la demanda pico del sistema eléctrico, siendo mayor su impacto en las zonas norte y costeras del país, en donde es más común el uso de equipos de enfriamiento que el de calefacción [10]. Los edificios consumen alrededor del 40% de energía, en gran proporción destinada para confort térmico en interiores [11-12]. De acuerdo a los datos del perfil energético de Baja California 2010–2020, la ciudad de Mexicali representa el 52.8% de consumo eléctrico de todo el Estado, esto se debe a que, durante la temporada de calor, el sector habitacional incrementa de modo significativo el uso de aparatos de aire acondicionado esto con el fin de mitigar la falta de confort térmico, lo cual implica sensación de incomodidad o molestia [7],[9], [13-17], entre otras consecuencias.

De modo que el uso excesivo de sistemas mecánicos de climatización, es una de las principales alternativas para generar microclimas que permitan alcanzar los parámetros de confort térmico al interior de las viviendas, pone en evidencia la ausencia de uso de sistemas constructivos que garanticen condiciones de confort térmico, así como la falta de adecuación de los edificios, al ambiente de la región [1]. Con base en lo señalado, es posible comprender que los métodos, sistemas y materiales utilizados en la construcción de las edificaciones en la región, no cumplen con los parámetros mínimos de habitabilidad en los espacios interiores, poniendo en riesgo “la presentación funcional, así como el apropiado desarrollo físico, social y mental de las condiciones de salud, seguridad, higiene, comodidad y privacidad” [18] de sus habitantes.



En climas con condiciones adversas, el uso de aislantes térmicos en edificios es necesario y gradualmente se vuelve un requisito en muchos países, particularmente en aquellos donde la energía se convierte en un recurso más valioso y demandado [19-20]. En México, la NOM-020-ENER-2011 regula la eficiencia energética en edificios de uso habitacional. Un edificio eficiente se logra cuando el ambiente interior es satisfactorio y el consumo de energía es mínimo [21]. Para el diseño de edificios energéticamente eficientes, es necesario identificar y evaluar los factores que incrementan la pérdida de energía en un edificio. Uno de los factores más relevantes son los puentes térmicos, los cuales se presentan en los materiales del sistema constructivo [22].

Atendiendo a la problemática presentada en la ciudad de estudio, así como en diversas regiones, se han empezado a desarrollar distintas alternativas con el fin de adaptarse a las necesidades requeridas para aumentar la calidad de vida de los usuarios. Esto por medio de materiales de construcción que priorizan la búsqueda de confort térmico como es el caso del sistema constructivo de ensamblado Thermorock [23].

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el comportamiento térmico del sistema constructivo de ensamblado (Thermorock) durante un periodo de transición y frío, en un clima cálido seco extremo como es el caso de la ciudad de Mexicali, Baja California. Los valores se determinaron por el método de monitoreo, el cual nos permite conocer de manera más acertada las condiciones térmicas del microclima creado por el sistema. Se realizó un análisis comparativo con un sistema de uso predominante en la región: bloque de concreto. Ambos sistemas se evaluaron con base a la normativa ISO 7726, ASTM 168 – 97, ASTM 1046 – 95 y ASTM 1155 – 95. Los comparativos fueron por diferencia de unidades de medida de las variables: Temperatura de Bulbo Seco, Humedad Relativa y Temperatura de Globo Negro.

Los resultados muestran que el sistema constructivo de ensamblado (Thermorock), permite condiciones de habitabilidad, pues logra un ambiente de confort térmico al interior.

2. Antecedentes

De acuerdo con la literatura revisada sobre el tema en cuestión, se presentan algunos estudios que han aportado conocimiento basado en pruebas científicas.

Manzano, 2017, en Ambato, Ecuador, por medio de su investigación menciona que para que exista un óptimo desarrollo de las capacidades y un mejoramiento en la vida de quien habite el espacio arquitectónico, es importante hacer una selección adecuada de su envolvente, tomando en cuenta aspectos de confort, que garanticen la habitabilidad y a su vez brinde un entorno sugestivo y de bienestar corporal y mental [24].

Asimismo, Villamagua, 2019, en Loja, Ecuador, realizó una investigación sobre vivienda y condiciones de habitabilidad, menciona que, la habitabilidad térmica corresponde a la sensación de una persona en relación a un ambiente, estrechamente relacionado con el confort térmico según los criterios de la ISO 7723. A su vez, aporta parámetros máximos y mínimos sobre temperatura y humedad relativa en relación al confort; tomando en cuenta, como variable principal para el bienestar térmico, a la envolvente de la vivienda [25].

Marchante y González, 2020, en La Habana, Cuba, en su aporte investigativo sobre modelos de confort, estrés térmico y zonas de confort, mencionan que, para que los modelos cumplan con los requerimientos básicos de análisis, se deben tomar en cuenta factores y parámetros, tanto ambientales, como personales, pues comunican que según la ASHRAE 55, el confort térmico se define como una condición



mental que expresa satisfacción en base al ambiente térmico [26].

González y Molina, 2017, en Bogotá, Colombia, realizaron un estudio sobre la envolvente arquitectónica, con el fin de demostrar su importancia en términos de habitabilidad, a su vez, la definen como el dispositivo que aporta protección al objeto arquitectónico, además de ser el intermediario entre; el aire, la luz y el calor, con el ambiente interior. Por medio de una sistemática revisión de documentación, concluyen que, para que la envolvente cumpla con los requisitos básicos de habitabilidad se debe someter a un riguroso y detallado proceso de diseño [27].

Molina, 2019, en Valencia, España, realizó un estudio del comportamiento térmico de la arquitectura habitacional, haciendo mención a los cuatro componentes en los que se da la interrelación entre el ambiente térmico y los organismos que lo habitan, entre ellos menciona la temperatura del aire, la humedad, la velocidad del aire y la temperatura radiante. Asimismo, establece condiciones de confort térmico por medio del análisis de distintos elementos constructivos y ambientales [28].

Aunado a lo anterior, se puede comprender que, para una edificación de calidad, la selección adecuada de la envolvente, es un factor básico en cuestiones de habitabilidad y de bienestar térmico. Es por ello, que analizar los distintos sistemas constructivos pasa a ser un factor clave para el tema en cuestión.

Con relación al estudio de sistemas constructivos, Andrade, 2015, en el Estado de México, México, realizó una investigación donde analiza materiales de fácil anclaje y desensamble, detectando que existen características en los elementos constructivos para lograr espacios habitables, demuestra factores fisiológicos de dos tipos: estructurales y funcionales, este último relacionado a los agentes físicos del medio ambiente y al equilibrio térmico: temperatura y humedad ambiental [29].

A su vez, Fonseca, 2016, en Bogotá, Colombia, realizó una investigación de propuesta de diseño de vivienda de interés social modular, bajo criterios de habitabilidad, como un conjunto de condiciones físicas y no físicas que permiten la permanencia y comodidad humana en un lugar, entre otros. Concluyendo que el sistema constructivo de paneles tipo sándwich (OBS y el aislante), cumple con los requisitos básicos de habitabilidad [30].

Igualmente, Ramos, 2019, en Puebla, México, efectuó una investigación sobre sistemas constructivos para vivienda, tomando en cuenta rangos de confort térmico, bajo criterios de evaluación de las Naciones Unidas. Como conclusión se obtuvo que el Sistema Beno (sistema constructivo de ensamblaje), utilizado en cerramientos verticales, frente a otros sistemas constructivos hace que la vivienda tenga mejores condiciones y aislamiento térmico [31].

Por otra parte, Girón, 2014, en Ciudad de Guatemala, Guatemala, en su investigación de uso y aplicación del método constructivo Electropanel, retoma aspectos generales de habitabilidad y confort térmico. Como conclusión afirma que este tipo de sistema constructivo da mejores resultados como aislante térmico, en comparación con cada uno de los diferentes sistemas tradicionales de su región [32].

Además, Perea, 2012, en Colombia, Medellín, encontró que los sistemas constructivos ligeros, hablando específicamente de; PCH (Panel constructivo HOPSA), Durapanel y ICF PROFORM, sistemas constructivos de ensamblado, se han convertido en una potencial alternativa en comparación de los sistemas tradicionales, por sus distintas características que van desde, recorte en tiempos de construcción hasta factores de habitabilidad, como es el confort térmico [33].



Por igual, Vidal y Barona, 2019, en Santiago de Cali, Colombia, estudiaron diversos tipos de sistemas constructivos ligeros en vivienda, mediante dos tipos de aplicaciones: con cámara de aire y relleno de aislante térmico. Dentro de sus conclusiones se encuentra una aprobación de los sistemas de construcción ligeros, ya que poseen un potencial de aislamiento acústico, térmico y resistencia al fuego [34].

Además, Mendez, 2014, en Barcelona, España, por medio de su análisis de comparación entre el sistema tradicional de la región de estudio (bloque de concreto) y un sistema constructivo de ensamble (Emmedue), determinó que este último, permite alcanzar estándares de confort térmico, durante más horas, en comparación al tradicional [35].

Asimismo, Ronquillo, 2015, en Quito, Ecuador, por medio de su estudio comparativo entre los distintos sistemas constructivos tradicionales y el sistema de paneles de EPS, concluye que, por sus características, el ya mencionado permite obtener condiciones térmicas y de habitabilidad, creando espacios de confort y salud, en comparación a los materiales tradicionales utilizados en la construcción [36].

Desde otra perspectiva, Benavides, 2013, en Bogotá, Colombia, evaluó distintos sistemas constructivos, con el fin de promover la optimización de la calidad de la VIS, tomando en cuenta parámetros de confort, que permitan hacer la vivienda habitable. Por medio del método de comparación, concluyó que los sistemas constructivos de panel (ensamble), específicamente; el 3D panel (Panel EVG 3D), Royalco y Speedco (poliuretano expandido y fibrocementos), permiten mejores condiciones de confort térmico, acústico y de resistencia en comparación a los de mampostería [37].

En 2011, los investigadores Mandilaras, Stamatiadou, Katsourinis, Zannis y Founti en Grecia el comportamiento térmico de sistemas de ensamblado multicapa aplicados a una vivienda

sin habitar, concluyendo que, las capas de aislante aplicadas generaban una temperatura ambiente interior con una variación no significativa durante las 24 horas del día, además de un desfase de calor térmico en los muros de 30-40% de aproximadamente 100 minutos, en todas las habitaciones examinadas [1].

Posteriormente Mandilaras, Zannis y Founti continuaron su investigación con apoyo de Atsonios en 2014, donde evaluaron dos sistemas de ensamblado con diversos tipos de aislantes térmicos, considerando los parámetros de humedad en el ambiente y comparándolos entre ellos; se concluyó que añadir el panel aislado al vacío es 74% más eficiente térmicamente en fachadas [38].

En Australia, Ramakrishnan, Wang, Sanjayan y Wilson, 2017, experimentaron con sistemas de ensamblado ordinarios de la región, incorporaron diversos añadidos y aislantes. En los resultados se demostró que el prototipo con paneles de cemento reduce 2.8°C en un día típico durante el verano y 4.43°C durante el día de calor máximo en verano [39].

Con relación a los requerimientos de habitabilidad y comportamiento térmico en viviendas de interés social (VIS), Fonseca, 2019, en Colombia, Bogotá, por medio de su estudio, demuestra que, la materialidad actual (Muro en bloque estructural) de las viviendas en la región de estudio, no garantiza los parámetros necesarios de comodidad al interior, por lo que propone una serie de sistemas constructivos en panel y bloque que generan óptimas condiciones de confort térmico [40].

Asimismo, Molina, 2016, en Lima, Perú, con el fin de evaluar aspectos bioclimáticos de una vivienda, estudió el comportamiento térmico de los espacios interiores, por medio de sensores de estrés térmico, tomando en cuenta temperaturas y humedades relativas al interior y exterior de la vivienda, así como una estación



meteorológica, además de otros dos métodos (computacional y analítico). Los métodos utilizados resultaron apropiados para comparar los casos de estudio [41].

Al mismo tiempo, Sanchez, 2016, en Guadalajara, México, a través de su investigación, plantea una propuesta de adecuación bioclimática, con el fin de lograr condiciones de confort térmico y de habitabilidad. Bajo el método de monitoreo, analizó la temperatura y humedad relativa, así como el comportamiento térmico de la envolvente; hace uso de sensores de estrés térmico que registran ciertas variables meteorológicas como es: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, humedad relativa y temperatura de globo negro. De acuerdo a este estudio se lograron determinar estrategias térmicas de diseño [42].

De igual manera, Cárdenas, 2019, en Cuenca, Ecuador, en su investigación sobre el comportamiento térmico de envolventes multicapa, comparar distintos sistemas constructivos, con el fin de identificar cuál de ellos cumple con un correcto desempeño como aislante térmico y de pie a espacios de confort, bajo un enfoque experimental-cuantitativo, por medio del método de monitoreo [43].

Además, Campos, 2016, en Lima, Perú, realizó un análisis sobre confort térmico y habitabilidad en viviendas, por medio del método de monitoreo de la temperatura y humedad relativa en el interior y en el exterior. Se concluyó que, la habitabilidad y las condiciones de confort, están condicionadas por las estrategias bioclimáticas y el sistema constructivo de la vivienda [3].

En síntesis, los estudios revisados en este apartado, analizaron problemáticas que corresponden a la habitabilidad y confort térmico en relación con la envolvente de la edificación.

3. Consideraciones teóricas

Las consideraciones teóricas expuestas en este apartado facilitarán la comprensión de los conceptos utilizados en el presente trabajo y la importancia de los mismos, principalmente en función a la habitabilidad y confort térmico.

La función esencial de una vivienda es garantizar un ambiente interior adaptado a las necesidades del usuario y su confort [44-45]. El confort térmico es una característica de vital importancia en las viviendas, esto se refleja en los niveles de estrés térmico de sus ocupantes [44], [46]. De acuerdo a la norma ISO 7730:2005 de la ASHRAE, se define confort térmico como la condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico [47].

Con relación al estudio de las sensaciones térmicas y la comodidad percibida, según la ISO 7730:2005, se evalúa el efecto del ambiente térmico en función de la sensación física y la satisfacción psicológica de los usuarios al espacio habitado [48].

Por otra parte, la habitabilidad térmica se define en relación a las horas en las que un espacio presenta condiciones de confort térmico [49].

Asimismo, se entiende como habitabilidad al producto resultante de una acertada aplicación de los principios básicos del diseño arquitectónico, donde se consideran aspectos tales como confort, funcionalidad y seguridad [50].

Es importante mencionar que el espacio habitable también se desarrolla como un factor relevante para la calidad de vida. Es por ello que dentro del concepto de bienestar habitacional se seleccionan criterios de relevancia térmica, tales como; temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del aire, temperatura media radiante, nivel de vestimenta y tasa metabólica [45], [51-52], así como las características



térmicas del sistema constructivo envolvente [53].

La habitabilidad térmica al interior de un espacio, debe garantizar una sensación de calidad en climas fríos y protección del calor en climas cálidos. La búsqueda por resolver esta cuestión de manera universal ha sido por mucho tiempo una preocupación para los diseñadores, uno de los objetivos de la arquitectura consiste en la satisfacción de sus usuarios a través del bienestar térmico [54].

Es por ello que es relevante tomar en cuenta los factores con los que se configuran los distintos sistemas constructivos, que a su vez permitan una comprensión precisa de su comportamiento al medio.

Se conoce como puente térmico a los elementos estructurales donde existe un intercambio de calor con mayor facilidad entre el interior y el exterior del edificio [12], la norma ISO 10211:2017 lo define como los cerramientos de un edificio donde la resistencia térmica, que es usualmente uniforme, presenta un cambio significativo debido a cambios geométricos: diferencias de conductividad térmica o grosores en los cerramientos [55].

Los puentes térmicos tienen un efecto directo sobre la demanda de consumo eléctrico ya que causa pérdida de calor durante temperaturas bajas y ganancia del mismo cuando la temperatura ambiente exterior es elevada [12].

La conductividad térmica es un factor importante a considerar ya que este determina la cantidad de calor que se transfiere mediante conducción, esta acción afecta directamente la cantidad de energía que consumirá un edificio [56]. La efectividad de un aislante térmico depende de su conductividad térmica y su capacidad para mantener sus características térmicas durante un tiempo determinado [19]. El uso de sistemas de ensamblado con propiedades de aislamiento térmico es clave para mejorar la eficiencia energética de un edificio [57].

Es habitual que el valor de la conductividad térmica publicada por las manufacturas se evalúe bajo condiciones de laboratorio: temperatura y humedad en control; es por ello que al instalarse en situ su valor de conductividad puede cambiar sustancialmente a lo predicho en laboratorio, por ello la importancia de evaluar su comportamiento [19].

La transferencia de calor, ya sea por conducción, radiación o convección, puede reducirse mediante aislantes térmicos en conjunto a sistemas constructivos apropiados [58]. La capacidad de un material en no transmitir la temperatura con facilidad está en función a su espesor, densidad y conductividad térmica, esta resistencia térmica en la industria de la construcción se le denomina factor R, una transmitancia baja representa un material más eficiente térmicamente [31],[58].

La inercia térmica es la capacidad del sistema de almacenar calor y variar su temperatura en determinado tiempo [31]. En la siguiente figura [Figura 1] se enlistan propiedades térmicas de los materiales convencionales y de ensamblado en la región:



PROPIEDADES TÉRMICAS DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS CONVENCIONALES Y ENSAMBLADO					
Material	Conductividad térmica (W/ m °C)	Calor específico (J / kg °C)	Densidad (kg/ m3)	Resistencia térmica (m2 °C / W)	Espesor (m)
BLOQUE DE CONCRETO					
Bloque de concreto pesado, relleno de concreto	1.01	837	1824	-	0.100
Mortero cemento-arena (exterior)	1.00	1000	1800	-	0.01
Yeso (interior)	0.42	837	1200	-	0.01
TRIDIPANEL 2"					
Tridipanel con recubrimiento de mortero en ambos lados	-	-	-	1.17	0.0508
INSULPANEL 2"					
Panel de poliuretano	0.026	1800	30.00	-	0.035
Acero con pintura blanca (exterior)	50.00	450	7800	-	0.005
Acero con pintura blanca (interior)	50.00	450	7800	-	0.005
TABLAROCA ½" CON FIBRA DE VIDRIO					
Tablaroca ½" con fibra de vidrio	-	-	-	2.118	-
FOAMBLOCK					
Foamblock	0.108	0.1012	510	-	0.126
Mortero cemento-arena (exterior)	1.00	1000	1800	-	0.01
Mortero cemento-arena (interior)	1.00	1000	1800	-	0.01
MATERIALES					
Fibrocemento	0.25	837	1900	-	0.006
Poliestireno expandido	0.16	1300	1050	-	-

Figura 1. Propiedades térmicas de sistemas constructivos. Fuente: [16],[59],[60].

Las propiedades térmicas del sistema constructivo Thermorock no se encuentran disponibles, sin embargo; este dato no es necesario en la técnica de monitoreo, ni relevante para el alcance de este artículo.

4. Metodología, materiales y método

La metodología implementada en el desarrollo de la investigación está basada en los parámetros del método por monitoreo. Con el fin de cumplir el objetivo planteado, fue ejecutada una metodología general del estudio, con base a las etapas que se muestran de forma específica en el siguiente apartado, en el que se describe: Diseño de investigación, área de estudio, casos de estudio, caso base, periodo de estudio, instrumentos de medición, estrategia de instalación, así como procesamiento de datos.

4.1 Diseño de investigación

La investigación desarrollada se aplicó a dos sistemas constructivos, éstos bajo un esquema metodológico con la técnica de monitoreo, que hace énfasis en la evaluación de ambientes con condiciones térmicas elevadas, específicamente en la siguiente situación; Verificación de cumplimiento del límite permisible del Índice de TBS (°C), HR (%) y TGN (°C) [61], lo antes descrito se esquematiza en la [Figura 2].

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN		
Objeto de estudio: Evaluar ambiente térmico de sistemas constructivos	Parámetros de evaluación: Confort térmico Variación de temperatura	Método de evaluación: Monitoreo
ÁREA DE ESTUDIO		
Región con clima cálido seco extremoso		
CASOS DE ESTUDIO		
Criterio de selección	Características físicas, espaciales y constructivas	Sistema constructivo de ensamblado
CASO BASE		
Criterio de selección	Características físicas, espaciales y constructivas	Sistema constructivo de uso predominante en un clima cálido seco extremoso
PERIODOS DE ESTUDIO		
Periodo de transición	Periodo de frío	
EQUIPOS DE MEDICIÓN		
Criterio de selección de equipos		
ESTRATEGIA DE INSTALACIÓN		
Criterio de instalación y calibración de equipos		
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		
CONCLUSIONES		

Figura 2. Método de investigación aplicado. Fuente: Elaboración propia.

4.2 Área de estudio

El estudio se realizó en la ciudad de Mexicali, B.C., México [Figura 3], su tipo de clima BW, indica que la ciudad de Mexicali tiene un clima seco, muy árido, con un invierno lluvioso y una oscilación anual de temperaturas medias mensuales muy extremas [62].



Figura 3. Vista aérea de Mexicali, Baja California. Fuente: Imagen obtenida de Google Earth.

Su temperatura media anual es de 22.4 °C, la cual corresponde al periodo junio - septiembre con temperaturas medias superiores a 33.1 °C, y una media máxima de 42.2 °C; el periodo más frío corresponde a diciembre-enero con un promedio mensual de 12.4 °C. [63]. Su precipitación es escasa con 75 mm anuales, su insolación es abundante durante el verano, de 2,400 a 2,500 horas al año con una distribución uniforme. La velocidad del viento alcanza los 100 km/h [14].

4.3 Casos de estudio

Los casos de estudio son dos viviendas construidas con un sistema constructivo de ensamblado (Thermorock), aplicado en muros y techo, en Mexicali, Baja California, por sus características y volumen de construcción, se les clasifica dentro de la categoría de “interés medio”.



Figura 4. Localización de los casos de estudio. Fuente: Imagen obtenida de Google Earth.

El sistema constructivo de ensamblado o material ligero (Thermorock), está formado por dos placas de cemento Portland mortero fibratado (mortero con celulosa), fibras naturales y aditivos adicionales.

4.4 Caso de base

La selección del caso de base, corresponde a una vivienda, construida por un sistema convencional constructivo de uso predominante en regiones de clima cálido seco extremoso, ubicada en Mexicali, Baja California. Dicho sistema es de bloque de concreto común 0.12m. Su procedimiento de construcción se rige por bloques de concreto de 0.12x0.20x0.40m unidos con mortero con proporción cemento-arena 1:3, con una junta de 0.01m de espesor entre cada pieza, con celda colada y varilla de acero de 3/8” colocada verticalmente a cada 0.60m de separación, con un acabado de mortero cemento-arena. [16, p.2].

4.5 Periodo de estudio

Con base a los alcances de este documento, el criterio considerado para realizar el estudio, fue la transición térmica que da lugar entre el periodo de transición y el periodo frío; el estudio fue desarrollado del 24 de octubre al 19 de diciembre de 2020. En dos periodos de 30 días, el primero del 24 de octubre al 21 de noviembre, correspondiente al periodo de transición y el segundo del 21 de noviembre al 19 de diciembre, al periodo de frío.

4.6 Instrumentos de medición

La temperatura de bulbo seco (TBS), temperatura de Globo Negro (TGN) y humedad relativa (HR), fueron medidos mediante sensores de estrés térmico RC-51H certificado EN12830, CE, RoHS; para la medición del Globo Negro se modificaron dos de ellos: se les añadieron una pelota de plástico con 8.5 cm diámetro de color negro. Cada sensor fue



calibrado y programado en campo. Este sensor corresponde a la carga neta de calor a las que se exponen los usuarios de las viviendas estudiadas, condiciones dadas por el microclima de cada sistema constructivo.

Para garantizar la confiabilidad los resultados obtenidos e instalación de cada sensor se aplicaron normas de la organización, American Society for Testing and Materials (ASTM) [64] y normas de la International Standardization Organization (ISO) [65]. Estas normas refieren sobre aspectos de materiales aislantes, métodos para medición de temperatura ambiente y estándares para establecer criterios y zonas de confort para cierto rango de individuos, las normas aplicadas se enlistan en la siguiente figura 5.

NORMA	TÍTULO
ASTM C 168-97	Standard Terminology Relating to Thermal Insulating Materials.
Establece definiciones, símbolos, unidades y abreviaturas de términos utilizados por las normas de la organización referentes al tema.	
ISO 7726: 1998	Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities
Establece los criterios para el desarrollo de un monitoreo térmico, define los materiales e instrumentos adecuados para la medición de temperaturas de bulbo seco y globo negro, así como su colocación en distintos tipos de superficies y espacios.	

Figura 5. Método de investigación aplicado. Fuente: Jiménez, V. [66]

4.7 Estrategia de instalación

En una de las viviendas (Casa 1) se colocaron ocho puntos de medición: 3 exteriores y 5 interiores. En la segunda vivienda de estudio (Casa 2) se colocaron dos sensores interiores. Finalmente, en la vivienda tipo base se colocaron tres sensores: dos de ellos en el interior y uno en el exterior.

Los sensores de estrés térmicos ubicados en la Casa 1, se nombraron de la siguiente manera; Temperatura Exterior (C1-THE), Temperatura Interior (C1-SALATH), Globo Negro (C1-GN), Muro Sur Exterior (C1-MSE), Muro Sur Interior (C1-MSI), Muro Oeste Interior (C1-MOI),

Temperatura Techo Exterior (C1-TCE), además, Temperatura Techo Interior (C1-TCI) [Figura 5].

En cuanto a los sensores instalados en la Casa 2, se nombraron de la siguiente manera; Muro Sur Interior (C2-MPI) y Temperatura Interior (C2-SALATH) [Figura 6].

Asimismo, para la vivienda tipo base se utilizaron las siguientes nomenclaturas; Temperatura Exterior (CB-THE), Temperatura Interior (CB-THI), además de, Globo Negro (CB-GN).

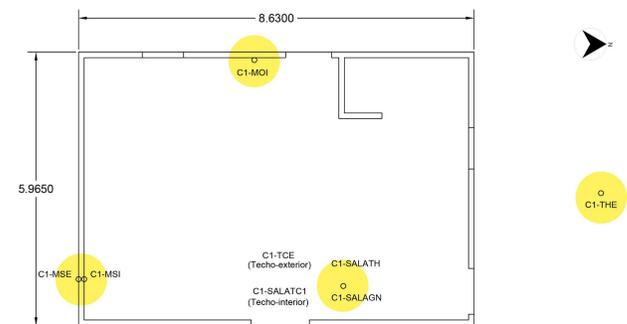


Figura 6. Ubicación de los sensores en Casa 1. Fuente: Elaboración propia.

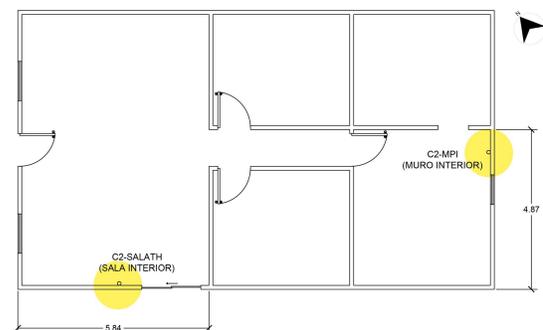


Figura 7. Ubicación de los sensores en Casa 2. Fuente: Elaboración propia.

5. Resultados y discusiones

El tiempo de evaluación abarca el periodo de octubre-diciembre, donde se considera como transición al periodo de octubre-noviembre y de frío noviembre-diciembre. Para el análisis de



este trabajo se tomaron los días críticos de ambos periodos, se consideran críticos al ser los días donde se registra la temperatura de bulbo seco más elevada en el exterior de las viviendas de su respectivo ciclo de observación; para el tiempo de transición se analizó el día 04 de noviembre, en frío es el día 22 de noviembre. Los datos considerados para la evaluación son los registros de Temperatura de Bulbo Seco (TBS) y Humedad Relativa (HR) de los monitores de estrés térmico y la Temperatura de Globo Negro (TGN) capturada por el monitor de Globo Negro (variables con terminación GN).

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede confirmar que el sistema constructivo de ensamblado (Thermorock) permite condiciones de confort térmico por más tiempo, así como periodos prolongados continuos, esto en comparación al sistema de uso predominante en la región (bloque de concreto), como se aprecia en la siguiente [Figura 16].

5.1 Monitoreo de casa con sistema constructivo de ensamblado (C1)

Este análisis consiste en la comparación en el comportamiento durante ambos periodos de estudio, transición y frío, en la Casa 1 (C1), en esta vivienda se colocaron ocho sensores de estrés térmico, de los cuales se utilizaron dos del interior: Globo Negro (C1-SALAGN), de Ambiente interior (C1-SALATH); y uno de exterior: Ambiente exterior (C1-THE). En el monitoreo se observa que el sistema constructivo de ensamblado (Thermorock) la TBS y TGN en el interior de la vivienda se comportan de manera similar durante el periodo de transición [Figura 8], ambos sensores registraron TBS y TGN máxima de 29°C en el mismo horario, mientras que el valor mínimo de los mismos en menor a 1°C; este comportamiento se repite durante el periodo de frío [Figura 9], el retraso térmico en los puntos máximos TBS y TGN es de 9 horas con una diferencia de 1.4°C y en su punto mínimo de 2 horas; esto significa que el microclima creado por este sistema constructivo

es afectado por la radiación infrarroja un 0.2°C durante el periodo de transición y 1.4°C en frío, de acuerdo con esta observación, se puede afirmar que la sensación térmica es igual o similar a la registrada por TBS.

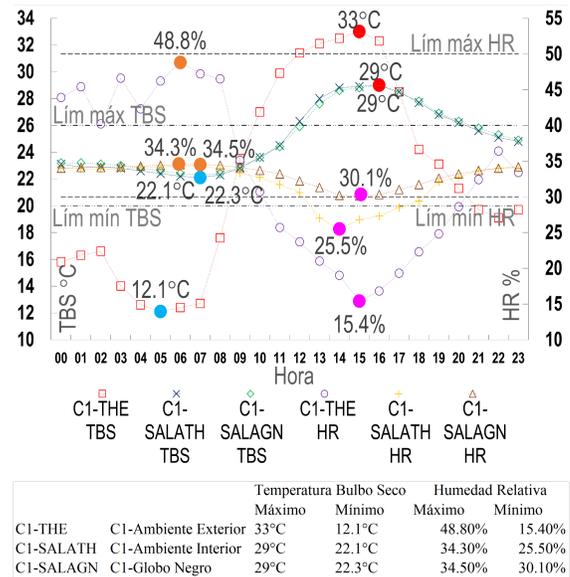


Figura 8. Día crítico (04/11/20) y comparación de C1-THE vs C1-SALATH vs C1-SALAGN en periodo de transición (Thermorock). Fuente: Elaboración propia.

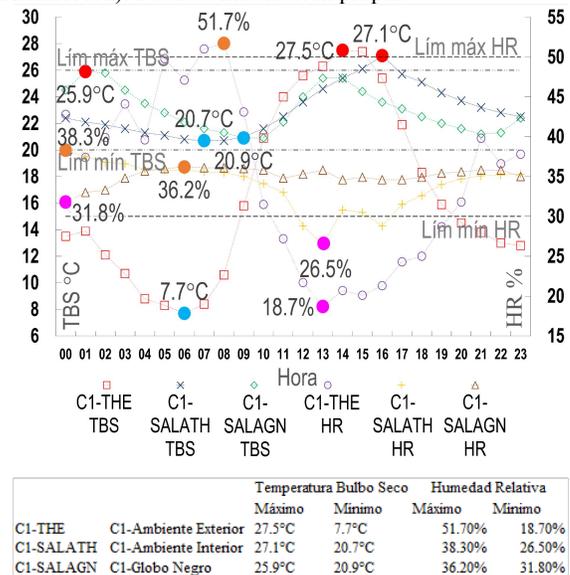


Figura 9. Día crítico (22/11/20) y comparación de C1-THE vs C1-SALATH vs C1-SALAGN en periodo de frío (Thermorock). Fuente: Elaboración propia.



5.2 Monitoreo de casa base, sistema constructivo convencional (CB)

De manera análoga, se realizó una comparativa en la casa base (CB), construida con bloque de concreto común, el análisis requirió de ambos monitores instalados en el interior: Globo Negro (CB-GN) y de Ambiente interior (CB-THI); en conjunto con el monitor de Ambiente exterior de la Casa 1 (C1-THE).

Durante el periodo de transición [Figura 10] el comportamiento en la TBS marca una oscilación entre su punto máximo y mínimo de 5.5°C, en el caso de TGN la oscilación es de 30.8°C, lo que resulta en una diferencia en oscilaciones de 25.3°C. En el periodo de frío [Figura 11] ocurre un comportamiento similar, la diferencia de oscilación entre TBS y TGN es de 24.7°C. Lo anterior representa que la sensación térmica será mayor a la registrada en TBS, contrario a la vivienda con sistema de ensamblado.

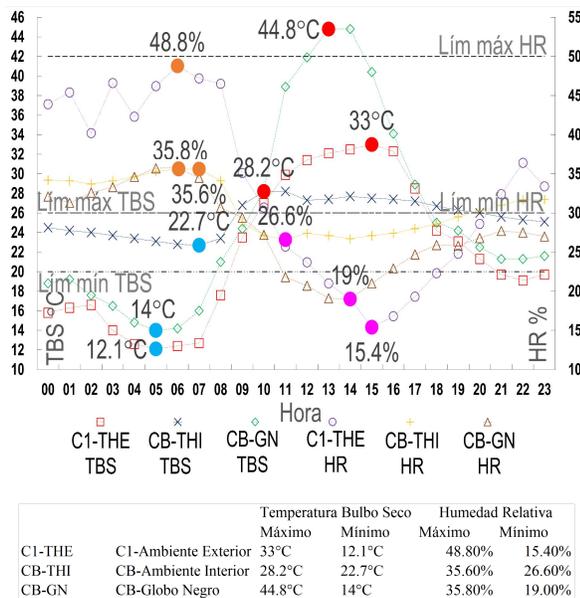
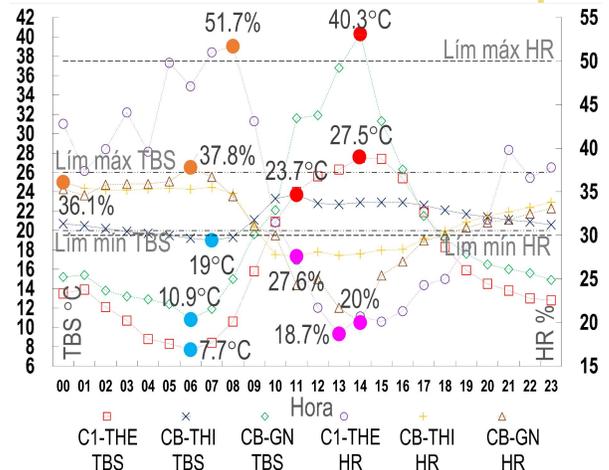


Figura 10. Día crítico (04/11/20) y comparación de C1-THE vs CB-THI vs CB-GN en periodo de transición (Bloque de concreto). Fuente: Elaboración propia.



		Temperatura Bulbo Seco		Humedad Relativa	
		Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
C1-THE	C1-Ambiente Exterior	27.5°C	7.7°C	51.70%	18.70%
CB-THI	CB-Ambiente Interior	23.7°C	19°C	36.10%	27.60%
CB-GN	CB-Globo Negro	40.3°C	10.9°C	37.80%	20.00%

Figura 11. Día crítico (22/11/20) y comparación de C1-THE vs CB-THI vs CB-GN en periodo de frío (Bloque de concreto). Fuente: Elaboración propia.

5.3 Comparativo en periodo de transición

La estrategia de análisis en periodo de transición consiste en concentrar el comportamiento de los monitores de Ambiente interior en las viviendas estudiadas: CB-THI, C2-MPI y C1-SALATH, con la finalidad ilustrar el desempeño térmico en TH y HR de ambos sistemas constructivos. El segundo enfoque es una comparación directa de los monitores de ambiente de ambos sistemas constructivos (C1-SALATH y CB-THI) con respecto a la temperatura exterior.

Durante el periodo de transición ambos sistemas constructivos tienen un comportamiento similar en TBS, un margen de diferencia en su oscilación de TBS de 1.4°C [Figura 12], sin embargo; la sensación térmica reflejada, debido al efecto de radiación infrarroja, es distinta, en el sistema constructivo de bloque de concreto, se percibe una temperatura mayor y menor a las temperaturas más altas y baja registradas respectivamente. En lo que refiere a la humedad relativa la sensación de humedad en el ambiente con el sistema de ensamblado presenta un 0.20% menos oscilación y 5 horas más de confort que la registrada por el bulbo húmedo del sistema de uso predominante cuya sensación es de sequedad [Figura 13].

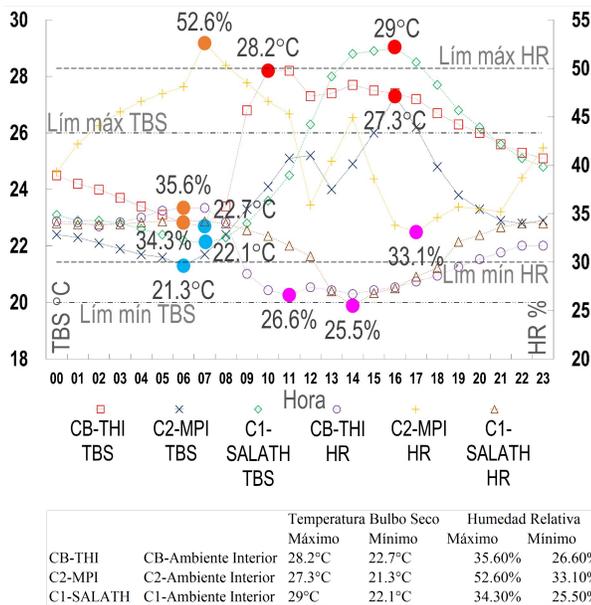


Figura 12. Día crítico (04/11/20) y comparación de CB-THI, C2-MPI, C1-SALATH en periodo de transición (Thermorock y bloque de concreto). Fuente: Elaboración propia.

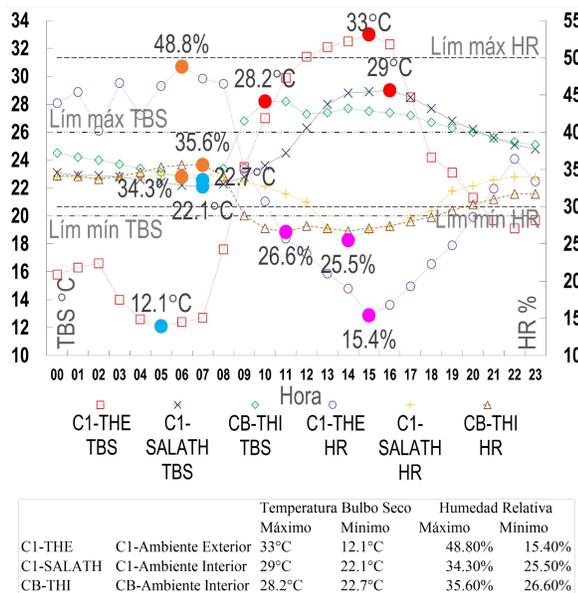


Figura 13. Día crítico (04/11/20) y comparación de C1-THE, C1-SALATH, CB-THI en periodo de transición (Thermorock y bloque de concreto). Fuente: Elaboración propia.

5.4 Comparativo en periodo de frío

Para el análisis en el periodo de frío se siguió la misma estrategia que en el periodo de calor. En este periodo la temperatura de bulbo seco del

interior de la vivienda construida con sistema de ensamblado (Thermorock) presentó un total de 22 horas dentro de la zona de confort, que representa 4 horas más de confort respecto al caso base [Figura 14]. En el caso de humedad relativa se observó que es más estable la registrada por la vivienda (CB) por 3.80%; mientras que la humedad relativa de la vivienda de ensamblado ofrece 5 horas más en confort [Figura 15], al igual que en el periodo de transición, el efecto de radiación infrarroja desfavorece la sensación de humedad del sistema constructivo de uso convencional creando una sensación de falta de humedad en el ambiente.

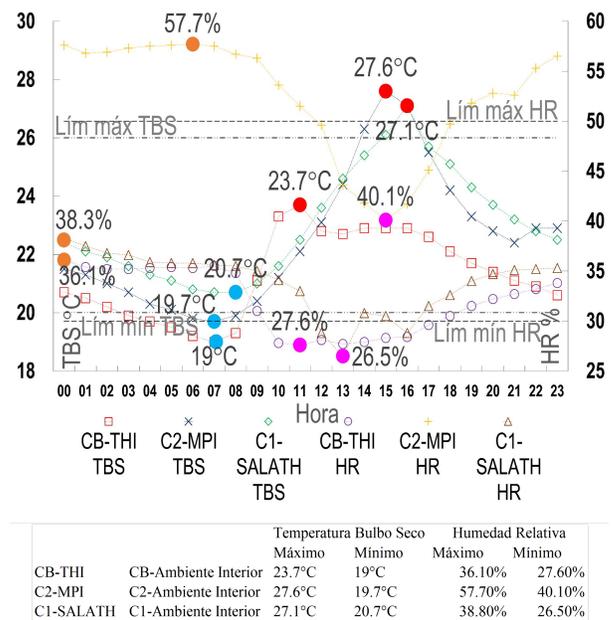


Figura 14. Día crítico (22/11/20) y comparación de CB-THI, C2-MPI, C1-SALATH en periodo de frío (Thermorock y bloque de concreto). Fuente: Elaboración propia.

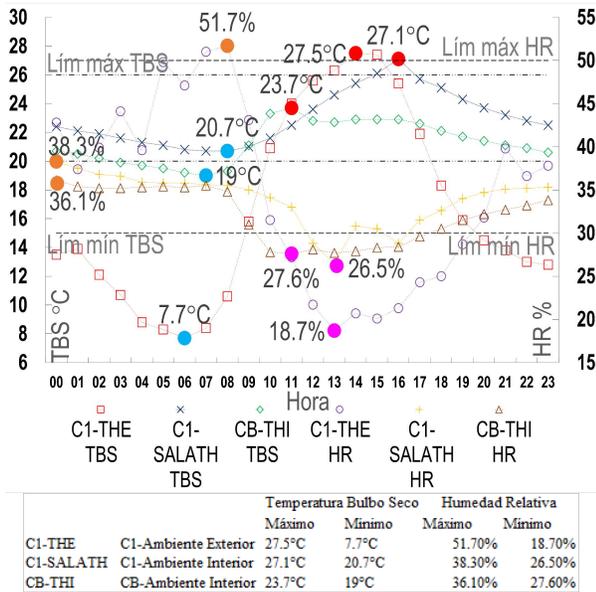


Figura 15. Día crítico (22/11/20) y comparación de C1-THE, C1-SALATH, C1-CB-THI en periodo de frío (Thermorock y bloque de concreto). Fuente: Elaboración propia

5.5 Síntesis de horas en confort

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede confirmar que el sistema constructivo de ensamblado (Thermorock) permite condiciones de confort térmico por más tiempo, así como periodos prolongados continuos, esto en comparación al sistema de uso predominante en la región (bloque de concreto), como se aprecia en la siguiente [Figura 16].

Periodo de Transición (04/11/20)		
Casa	Temperatura de Bulbo Seco	Humedad Relativa
C1 (Thermorock)	15 horas	18 horas
C2 (Thermorock)	22 horas	22 horas
CB (Bloque de concreto)	13 horas	13 horas
Periodo de Frío (22/11/20)		
Casa	Temperatura de Bulbo Seco	Humedad Relativa
C1 (Thermorock)	22 horas	21 horas
C2 (Thermorock)	18 horas	7 horas
CB (Bloque de concreto)	18 horas	16 horas

Figura 16. Cantidad de horas de confort TBS y HR durante el día crítico de periodo de Transición (04/11/20) y periodo Frío (22/11/20). Fuente: Elaboración propia.

6. Conclusiones

Durante el periodo de transición el sistema constructivo de ensamblado presentó 2 horas (8.33%) más de confort en TBS y 8 horas (33.33%) más en sensación térmica TGN. En lo que respecta al periodo de frío, 4 horas (16.66%) más de confort en TBS, 22 (91.66%) horas más en sensación térmica. En ambos periodos, 5 horas (20.83%) más de confort en HR; los resultados anteriores en comparación al de bloque de concreto.

El sistema constructivo de ensamblado (Thermorock) es afectado en un rango de 0.20°C-1.4°C por la radiación infrarroja, por lo que la sensación térmica percibida por el usuario será similar a la registrada por los monitores de TBS.

Los resultados obtenidos demuestran que el sistema constructivo de ensamblado (Thermorock) estudiado:

1. Genera condiciones de ambiente térmico que facilitan entrar a los parámetros de confort en comparación del sistema constructivo de uso predominante en la región de Mexicali.
2. Existe la posibilidad de disminuir las horas de funcionamiento de sistemas de aclimatación para conseguir confort térmico.
3. Satisface criterios de habitabilidad en cuestión térmica, a favor de calidad de vida de quien habita el espacio.

Es necesario resaltar que el alcance del artículo es la evaluación del ambiente generado por el sistema constructivo de ensamble (Thermorock), no se evaluaron sus propiedades físicas por lo que se propone en futuras investigaciones se realicen estudios de laboratorio. De misma forma, se invita a realizar estudios donde se evalúe su eficiencia energética en sistemas de aclimatación, esto



con relación a un ahorro económico y ambiental, con una perspectiva a la sustentabilidad. Además, se propone que, en futuras investigaciones, se plantee la capacidad del material en cumplir con los demás aspectos de habitabilidad, es decir, en la acústica, ventilación, confort visual y confort espacial.

7. Reconocimiento de autoría

Francisco Gibranny Curiel Sanchez: Metodología; análisis formal; investigación; curación de datos; escritura-borrador original; escritura-revisión y edición; visualización. *Luisa Paola Murguía Tostado:* Metodología; análisis formal; investigación; curación de datos; escritura borrador original; escritura-revisión y edición; visualización. *Ixchel Astrid Camacho Ixta:* Conceptualización; recursos; escritura-revisión y edición; supervisión; administración de proyecto; adquisición de fondos. *Gonzalo Bojórquez Morales:* Validación, recursos; escritura-revisión y edición; supervisión.

Referencias

- [1] I. Mandilaras, M. Stamatiadou, D. Katsourinis, G. Zannis, M. Founti, “Experimental thermal characterization of a Mediterranean residential building with PCM gypsum board walls”, *Building and Environment*, vol. 61, pp. 93-103, marzo, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.12.007>
- [2] M. Morsy, M. Fahmy, H. Abd, A. Belal, “Effect of Thermal Insulation on Building Thermal Comfort and Energy Consumption in Egypt”, *ICaTAS*, vol. 42, pp. 280-292, septiembre, 2017. <https://dx.doi.org/10.21608/jesaun.2014.115057>
- [3] X. Campos, “Confort térmico y habitabilidad de la vivienda en el AA. HH. Edén del Manantial, en las lomas costeras de El Paraíso”, *Investiga Territorios*, vol. 4, pp. 107-123, septiembre, 2016. <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/investigaterritorios/article/view/21455>
- [4] I. Nieto, J. Robles, G. Arista, “Habitabilidad en la Vivienda de Interés Social en San Luis Potosí. Confort y aislamiento Térmico, San Luis Potosí, México”, *Congreso Nacional de Vivienda, CDMX*, México, 2015.

https://www.researchgate.net/publication/337720980_Habitabilidad_en_la_Vivienda_de_Interes_Social_en_San_Luis_Potosi_Confort_y_Aislamiento_Termico

- [5] O. García, A. Camargo, N. Santillán, S. Ojeda, E. Nieblas, M. Quintero, R. Soto, “El cambio climático global y escenarios climáticos en Mexicali, Baja California, México”, *Baja California ante el embate del cambio climático*, B. C.: UABC, 2013. https://www.researchgate.net/publication/236176762_El_cambio_climatico_global_y_escenarios_climaticos_en_Mexicali_Baja_California_Mexico
- [6] D. González, J. Véliz, “Resiliencia urbana y ambiente térmico en la vivienda”, *Arquitectura y Urbanismo*, vol. 37, pp. 63-73, mayo-agosto 2016. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=376846860005>
- [7] J. Suástegui, C. Pérez, H. Campbell, H. Magaña, “Prospectiva del Programa de “Ahorro Sistemático Integral en Mexicali, Baja California, México”, *Ingenier. Mecáni. Tecnol. Desarroll*, vol. 4, pp. 129-134, marzo, 2013. <http://ref.scielo.org/qwf92z>
- [8] N. Santillán, O. García, G. Peñuelas, J. López, S. Ojeda, N. Velázquez, S. Cruz, “Análisis comparativo de emisiones de CO2 y su impacto económico en dos complejos habitacionales de Mexicali, México”, *X Congreso Internacional AEC*, Alicante, España, 2016, pp. 613-622. <http://hdl.handle.net/10045/58027>
- [9] N. Santillán, O. García, *Ambiente urbano 2050*. Mexicali: Universidad Autónoma de Baja California, 2018. <https://www.researchgate.net/publication/329254227>
- [10] NOM-020-ENER-2011 “Guía de Cálculo”. México, 2017.
- [11] L. Yang, H. Yan, J. Lam, “Thermal comfort and building energy consumption implications - A review” *Applied Energy*, vol. 115, pp. 164-173, febrero 2013. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.062>
- [12] I. Garrido, S. Lagüela, P. Arias, J. Balado, “Thermal-based analysis for the automatic detection and characterization of thermal bridges in buildings”, *Energy and Buildings*, vol. 158, pp. 1358-1367, enero, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.031>



- [13] A. Campos, N. Santillán, O. García, A. Lambert, G. Bojórquez, “Energy and Environmental Comparison between a Concrete Wall with and without a Living Green Wall: A Case Study in Mexicali, Mexico”, *Sustainability* vol. 12, no. 13, pp. 52-65, junio, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12135265>
- [14] M. Brihuega, “Conjunto habitacional de interés social sustentable con certificación LEED desarrollo urbano V4, en la ciudad de Mexicali, B.C.”, Trabajo de maestría, Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano, ITESO, *Guadalajara, Jalisco*, 2019. <https://rei.iteso.mx/handle/11117/6202?show=full>.
- [15] R. Gallegos, N. Velázquez, A. Luna, “Simulación Dinámica y Estudio Comparativo de diferentes Configuraciones de Sistemas de Enfriamiento Evaporativo para Mexicali, México”. *Información tecnológica*, vol. 21, no. 2, pp. 45-58, septiembre, 2010. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642010000200007>
- [16] A. García, J. Cadena, G. Bojórquez, A. Luna, J. Vázquez, “Confort Térmico y Consumo Energético por uso de Sistemas Constructivos para Muros, en Mexicali, Baja California, México”, *CTSNEs*, CHH, 2011. https://www.researchgate.net/publication/315584401_Confort_Termico_y_Consumo_Energetico_por_uso_de_Sistemas_Constructivos_para_Muros_en_Mexicali_Baja_California
- [17] C. Espinosa, A. Cortés, “Confort higro-térmico en vivienda social y la percepción del habitante” *INVI*, vol.30, no. 85, pp. 227-242, noviembre, 2015. <https://doi.org/10.4067/S0718-83582015000300008>
- [18] R. D’Alençon, C. Justiniano, F. Márquez, C. Valderrama, “Parámetros y estándares de habitabilidad: calidad en la vivienda, el entorno inmediato y el conjunto habitacional”, *Camino al Bicentenario: Propuestas para Chile*, Chile: Universidad Católica de Chile, 2008. https://www.researchgate.net/publication/237832171_Parametros_y_estandares_de_habitabilidad_calidad_en_la_vivienda_el_entorno_inmediato_y_el_conjunto_habitacional
- [19] A. Abdou, I. Budaiwi, “The variation of thermal conductivity of fibrous insulation materials under different levels of moisture content”. *Construction and Building Materials*, vol. 43, pp. 533-544, Junio, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.02.058>
- [20] U. Berardi, “A cross-country comparison of the building energy consumptions and their trends”, *Resources, Conservation and Recycling*, vol 123, pp. 230-241, Agosto, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.03.014>
- [21] Y. Wu, J. Wang, P. Monteiro, M. Zhang, “Development of ultra-lightweight cement composites with low thermal conductivity and high specific strength for energy efficient buildings”, *Construction and Building Materials*, vol. 87, pp. 100-112, Julio, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.04.004>
- [22] J. Sadauskienė, J. Ramanauskas, Vasylius, A. “Impact of point thermal bridges on thermal properties of building envelopes”, *Thermal Science* PY, vol. 24, no. 3, Septiembre, 2020. <https://doi.org/10.2298/TSCI180719299S>
- [23] C. López, “El panel Thermorock: Una alternativa para la construcción sustentable. Sistemas sustentables de México S. de R.L de C.V.” Instituto Tecnológico de Tijuana, Tijuana, Baja California, México, 2012. http://thermorock.weebly.com/uploads/2/7/8/9/27893831/ponencia_foro_regional.pdf
- [24] D. Manzano, “Acondicionamiento térmico de los espacios interiores en la Unidad Educativa “General Córdoba” de la ciudad de Ambato en el periodo 2017”, Tesis de grado, Facultad de Diseño, Arquitectura y Artes, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2017. <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/26411>
- [25] Villamagua, D. “Estudio del hábitat urbano: vivienda y condiciones de habitabilidad del asentamiento de Hecho Gordillo De Belén, Loja-Ecuador”, Tesis de grado, Facultad para la Ciudad, el Paisaje y la Arquitectura, UIDE, Loja, Ecuador, 2019. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/3091>
- [26] G. Marchante, A. González, “Evaluación del confort y desconfort térmico”, *EAC*, vol. 41, no. 3, pp. 21-40, Septiembre, 2020. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282020000300021#t2
- [27] M. González, L. Molina, “Envoltorio arquitectónico: un espacio para la sostenibilidad”,



Arkitekturax Visión FUA, vol. 1, no. 1, pp. 49-61, 2018.
<https://doi.org/10.29097/26191709.201>

[28] Molina M. “Estudio del comportamiento térmico de la arquitectura habitacional y patrimonial de Santa Cruz de la Sierra Bolivia”, Trabajo final de máster, Escuela Técnica Superior Ingeniería de Edificación, UPV, Valencia, España, 2019.
<http://hdl.handle.net/10251/128663>

[29] M. Andrade, “Sistema constructivo modular con materiales alternativos que favorezca a la flexibilidad en la construcción de vivienda”, Trabajo fin de máster, Facultad de Arquitectura y Diseño, UAEM, Toluca de Lerdo, Edomex, 2015.
<http://hdl.handle.net/20.500.11799/79937>

[30] L. Fonseca, “Diseño de vivienda de interés social modular para zona de emergencia de alta vulnerabilidad”, Trabajo de grado, Facultad Ingeniería, UPC-UniPiloto, Bogotá, D.C., 2016.
<http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00003259.pdf>

[31] P. Ramos, “Estudio de sistemas constructivos para vivienda en Puebla, México”, Trabajo de fin de grado, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, UPM, Madrid, España, 2019. <http://oa.upm.es/55883/>

[32] M. Girón, “Uso y aplicación del método constructivo electropanel”, Tesis de grado, Facultad de Arquitectura, USAC, Guatemala, Guatemala, 2014.
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_3738.pdf

[33] Y. Perea, “Sistemas constructivos y estructurales aplicados al desarrollo habitacional”, Tesis de fin de máster, Facultad de Ingeniería Civil, UdeMedellín, Medellín, Antioquia, 2012.
<http://hdl.handle.net/11407/359>

[34] S. L. Vidal and J. Barona. *Análisis y evaluación del desempeño térmico del sistema de construcción liviana en seco en edificaciones de vivienda* 1er. ed. Santiago de Cali: SENA Centro de la construcción, 2019.
<https://hdl.handle.net/11404/6247>

[35] K. R. Méndez. “Paneles estructurales de poliestireno expandido: análisis energético en el clima tropical- húmedo de santo domingo y aplicado a la vivienda social (caso sistema EMMEDUE)”. Proyecto Final de Máster Oficial. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, UPC, Cataluña, BCN, 2014.
<http://hdl.handle.net/2099.1/23017>

[36] F. D. Orozco. “Módulo De Elasticidad Estático de un Panel de Poliestireno Expandido Revestido de Mortero y Hormigón, Reforzado con Alambre Galvanizado”. Trabajo de Graduación, Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática, UCE, Quito, Ec, 2015.
<http://Www.Dspace.Uce.Ec/Handle/25000/4505>

[37] M. Benavides. “Selección y calificación de sistemas constructivos para tipología de vivienda social flexible”. Trabajo de grado – Pregrado. Departamento de Ingeniería Civil, UNIANDES, Bogotá, D.C., 2013. <http://hdl.handle.net/1992/20134>

[38] I. Mandilaras, I. Atsonios, G. Zannis, and M. Founti. “Thermal performance of a building envelope incorporating WTICS with vacuum insulation panels and EPS”. *Energy and Buildings*, Vol. 85, pp. 654-665, diciembre 2014.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.06.053>

[39] S. Ramakrishnan, X. Wang, J. Sanjayan, and J. Wilson. “Thermal performance assessment of phase change material integrated cementitious composites in buildings: Experimental and numerical approach”. *Applied Energy*, Vol. 207, pp. 654-664, diciembre 2017. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.144>

[40] L. E. Fonseca. “Análisis del comportamiento térmico de las envolventes de las viviendas VIS en la ciudad de Tunja desde el enfoque de las tecnologías limpias”. Proyecto Final de Máster Oficial. Facultad de Diseño, Ucatolica, Bogotá, D.C., 2019.
<https://hdl.handle.net/10983/23353>

[41] J. R. Molina. “Evaluación bioclimática de una vivienda rural alto andina de la comunidad de San Francisco de Raymina de Ayacucho”. Proyecto Final de Máster Oficial, Facultad de Ciencias, UNI, Lima, PE., 2016.
http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/5327/1/molina_cj.pdf

[42] B. L. Sánchez. “Propuesta para lograr confort térmico en las aulas de la escuela primaria Domingo Becerra Rubio en Tepic, Nayarit”. Proyecto Final de Máster Oficial. Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano, ITESO, San Pedro Tlaquepaque, Jal., 2016.
<http://hdl.handle.net/11117/3680>

[43] V. N. Cárdenas and P. E. Ochoa. “Comportamiento térmico en envolventes multicapa basados en ladrillo para el medio físico-ambiental de



Cuenca”. Proyecto Final de Licenciatura. Facultad de Diseño, Arquitectura y Arte, UDA, Cuenca, Ec., 2019. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9267>

[44] O. Abdellatif, B. Aour, and H. Messaoud. “The Thermal Transfers of a Habitable Envelope in an Extremely Dry Area and These Effects on Thermal Comfort”. *Algerian Journal of Renewable Energy and Sustainable Development*, Vol. 1, pp. 79-91, junio 2019. <https://doi.org/10.46657/ajresd.2019.1.1.8>

[45] W. Makondo, A. Merabtine, S. Pincemin, A. Gademer, J. Podlecki, and R. Garcia. “Capteur multifonctions pour l’évaluation du confort thermique dans les bâtiments”, presented at the Congrès Français de Thermique, La Rochelle, FR, 2015. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01804034>

[46] J. Fergus and S. Roaf. “Rethinking thermal comfort”. *Building Research & Information*, Vol. 45, pp. 711-716, marzo 2017. <https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1301698>

[47] D. Solórzano, R. García, and N. Santillán, “La evaluación del confort térmico al exterior en Mexicali” en *Avances en Investigación Ambiental - Medio Ambiente y Sustentabilidad*. Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería, UABC, diciembre 2014. https://www.researchgate.net/publication/301341157_Re_ciclaje_de_materiales_de_construccion_aplicacion_enmezclas_de_concreto_hidraulico

[48] “Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria” ISO 7730:2005.

[49] G. Bojórquez, R. Romero, C. García and J. Rincón. “Índice De Habitabilidad Térmica Para La Vivienda En Zonas Áridas”. en *Habitabilidad y arquitectura de las culturas del desierto*. Primera edición, pp.172, 2018. <https://elibros.uacj.mx/omp/index.php/publicaciones/catalog/download/127/110/784-1?inline=1>

[50] G. J. Arista, J. Robles, L. Narvaez and L. Peña. “Habitabilidad, accesibilidad y sustentabilidad de la vivienda social en México”. *Hábitat más Diseño*, Vol. 9, no. 17, pp. 9-15, febrero 2017. https://www.researchgate.net/publication/337632023_Habitabilidad_accesibilidad_y_sustentabilidad_de_la_vivienda_social_en_Mexico

[51] W. Giraldo, J. Czajkowski, and A. Gómez. “Confort térmico en vivienda social multifamiliar de clima cálido en Colombia”. *Revista de Arquitectura*, Vol. 23, no. 1, pp. 115-124, junio 2021. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7938472>

[52] D. Berkouk. “Évaluation du confort thermique et lumineux dans le logement collectif: Étude comparative entre le social et le promotionnel, dans la ville de Biskra”. Proyecto Final de Doctorado Oficial. Faculté des Sciences et de la Technologie, Université Mohamed Khider - Biskra, Algeria, julio 2017. <http://thesis.univ-biskra.dz/id/eprint/2972>

[53] X. Campos, “Confort térmico y habitabilidad de la vivienda en el AA. HH. Edén del Manantial, en las lomas costeras, El Paraíso”. *Investiga Territorios*, no. 4, pp. 107-123. Perú, 2019. <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/investigaterritorios/article/view/21455>

[54] B. Zouhir. “Effets des caractéristiques dynamiques de l’enveloppe sur le confort thermique. Cas d’un bâtiment tertiaire dans un climat semi-aride”. Proyecto Final de Máster Oficial. Faculté Des Sciences de la Terre et D’architecture, Université Larbi Ben M’hidi -Oum El-Bouaghi, Argelia, 2020. <http://bib.univ-oeb.dz:8080/jspui/handle/123456789/10234>

[55] “Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures - Detailed calculations” ISO 10211:2017.

[56] I. Asadi, P. Shafigh, Z. Abu-Hassan, and N. Mahyuddin. “Thermal conductivity of concrete - A review”. *Journal of Building Engineering*, Vol. 20, pp. 81-93, noviembre 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.07.002>

[57] S. Ahmet. “Thermal energy storage characteristics of bentonite-based composite PCMs with enhanced thermal conductivity as novel thermal storage building materials”. *Energy Conversion and Management*, Vol. 117, pp. 132-141, junio 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.078>

[58] I. Apolonio, L. Cleonice, and A. Santana. “Thermal resistance and conductivity of recycled construction and demolition waste (RCDW) concrete blocks”. *REM - International Engineering Journal*,



Vol. 70, no.2, pp. 167-173, junio 2017.
<https://doi.org/10.1590/0370-44672015700048>

[59] F. C. Curiel, I. A. Camacho, “Propuesta de materiales termoaislantes para desarrollo de casa-habitación adecuada a cambios climáticos con eficiencia energética”. *Revista de Arquitectura y Diseño*, Vol. 3, no.9, pp. 1-5, septiembre 2019.
<https://doi.org/10.35429/JAD.2019.9.3.1.5>

[60] S. Iregui, “Evaluación térmica por medio de simulación computacional de las viviendas de interés social modelo, construidas con paneles de fibrocemento mediante el Sistema Celular, por ETERNIT® en 3 climas de Colombia y valoración económica, para su implementación como solución al déficit de vivienda de interés social rural, en el país”. Proyecto Final de Máster Oficial. Departamento de Ingeniería Civil, UNIANDES, Bogotá, D.C., 2020. <http://hdl.handle.net/1992/48614>

[61] Instituto de Salud Pública de Chile, “Protocolo para la Medición de Estrés Térmico”, Vol. 1 Chile, 2013.
<https://multimedia.3m.com/mws/media/1571805O/protocolo-medicion-estres-termico.pdf>

[62] J. Ley, M. Denigri, O. García, and F. Venegas, Ochoa, M. “Atlas de Riesgos del Municipio de Mexicali. Mexicali, Baja California, México”, *Programa Hábitat*, Instituto de Investigaciones Sociales, UABC, agosto 2011.

<http://dceg.bajacalifornia.gob.mx/Sasip/documentos/archivos/sid10636282967094206693.pdf>

[63] F. Elmjid. “World Population Prospects 2019: Highlights | Multimedia Library - United Nations Department of Economic and Social Affairs. Multimedia Library - United Nations Department of Economic and Social Affairs | Multimedia Library”, 2019.
<https://www.un.org/development/desa/publications/world-population-prospects-2019-highlights.html>

[64] American Society for Testing and Materials. “Standard Practice for In Situ Measurement of Heat Flux and Temperature on Building Envelope Components”. ASTM C 1046-95.

[65] “Ergonomics of the thermal environment – instruments for measuring physical quantities”. ISO 7726: 2012.

[66] V. Jiménez, “Techo verde en vivienda económica en Mérida, Yucatán como estrategia para condiciones de confort térmico”. Proyecto Final de Máster Oficial. Facultad de Arquitectura, UADY, Mérida, YUC, 2013.



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia - Texto completo de la licencia](#)