

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
**Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología**  
**Unidad Valle de las Palmas**



**“ANÁLISIS DE MATERIALES AISLANTES TÉRMICOS, APLICADOS EN VIVIENDAS  
CONSTRUIDAS EN LA CIUDAD DE TIJUANA, BAJA CALIFORNIA”**

**Tesis que para obtener el título de:  
LICENCIADO EN ARQUITECTO**

Presenta:

**Miriam Guadalupe Camarillo Ramírez**

Director de tesis:

**Miguel Isaac Sahagún Valenzuela**

**Tijuana, B. C.**

**Mes, año**

## **Resumen**

La presente investigación surge del interés de mostrar información inédita sobre la correcta selección de materiales aislantes térmicos para la envolvente exterior de viviendas de interés social ya construidas. Una característica importante de las viviendas de interés social son su sistema constructivo en serie que carece de materiales adecuados al tipo de entorno y clima que lo rodea, al no tener dicho material resistente al paso de calor, se convierte en un espacio con un confort deficiente, lo que deriva el incremento en el uso de sistemas de enfriamiento en los meses más calurosos en la ciudad de Tijuana, B.C. El objetivo principal de este trabajo es evaluar el efecto térmico generado por la utilización de materiales aislantes térmicos, comparar el sistema ya construido con distintos materiales diseñados específicamente para el retardo térmico, determinar los parámetros de temperatura que se presentan según el tipo de muro evaluado es importante para un mejor desarrollo arquitectónico, para ello se realizó la simulación de una vivienda con cada material propuesto, se tomaron en cuenta temperaturas exteriores y se realizaron las comparaciones entre cada sistema constructivo para observar y analizar su comportamiento en las superficies de cada pared, con el fin de analizar el flujo de calor. A partir de los resultados analizados, se encontró que la aplicación de un aislante térmico en la envolvente de una vivienda ayuda a mejorar las condiciones de la zona de confort en términos de temperatura interior generando condiciones favorables para los habitantes del inmueble.

Palabras clave: transferencia de calor, resistencia térmica, materiales aislantes térmicos, simulación.

## **Abstract**

The present investigation arises from the interest of showing unpublished information on the correct selection of thermal insulating materials for the exterior envelope of already built social interest housing, the characteristics of social interest housing are its serial construction system that lacks adequate materials for the The type of environment and climate that surrounds it, since it does not have said material resistant to the passage of heat, makes it an uncomfortable place, which leads to the increase in cooling systems in the hottest months in the city of Tijuana, B.C. The main objective of this work is to evaluate the thermal effect presented by the use of thermal insulating materials, comparing the system already built with different materials specifically designed for thermal retardation, determining the temperature parameters that occur according to the type of wall evaluated is important for a better architectural development, for this the simulation of a house with each proposed material was carried out, external temperatures were taken into account and comparisons were made between each construction system to observe and analyze their behavior on the surface of each wall, with in order to analyze the heat flow. Based on the analysis, it is concluded that despite the fact that thermal insulating coatings improve the temperature conditions inside, the different materials presented differences based on characteristics such as their composition, dimensions and other considerations such as placement and installation processes.

Keywords: heat transfer, thermal resistance, thermal insulating materials, simulation.

## Índice

1	Introducción	6
1.1	Aspectos preliminares	8
1.2	Planteamiento del problema	8
1.3	Justificación	9
1.4	Preguntas de investigación	10
1.5	Objetivos	11
1.6	Alcances y limitaciones	12
1.7	Antecedentes	14
1.8	Hipótesis	21
1.9	Aportación al diseño	22
1.10	Estado del arte	23
2	Marco conceptual	26
2.1	Materiales aislantes térmicos	26
2.2	Tipos de materiales aislantes térmicos.	30
2.3	Principios físicos de materiales aislantes térmicos.	31
2.4	Componentes del muro.	35
2.5	Sistemas constructivos.	37
2.6	Condiciones climatológicas de la región.	42
2.7	Clima de Tijuana	43
2.8	Horas del sol	44
2.9	Temperatura	45
3	Metodología	46
3.1	Diseño de la investigación	46
3.2	Características de la investigación	47
3.3	Características físicas del Muro a evaluar	48
3.4	Concreto	49

3.5	Encofrado y accesorios.	49
3.6	Análisis de los materiales aislantes térmicos en un muro de concreto vaciado de concreto	52
3.7	Materiales que se medirán mediante simulación	56
4	Descripción y análisis de resultados	62
4.1	Resultados gráficos del mes de Agosto	64
5	Conclusiones	71
6	Recomendaciones	72
7	Bibliografía	73

### **Índice de tablas**

Tabla 1:	Módulos de prueba y medición	23
Tabla 2:	Simulación y pruebas de laboratorio	24
Tabla 3:	Investigación Teórica sobre estudios de aislamiento térmico	25
Tabla 4:	Materiales aislantes térmicos	33
Tabla 5:	Máximos y mínimos mensuales de Tijuana clima	43
Tabla 6:	Diseño de investigación	47
Tabla 7:	Materiales a utilizar en programa Ener-Habitat	61
Tabla 8:	Sistemas constructivos	63
Tabla 9:	Diferencia de temperatura entre ambiente interior de la vivienda	65

## Índice de figuras

Figura 2.1 Modos de transmisión de calor en viviendas.....	28
Figura 2.2 Diagrama de vivienda sin aislante térmico en muros.....	34
Figura 2.3 Componentes de un muro en fachada ventilada.....	35
Figura 2.4 Efecto refrescante en verano y Bajo consumo de calefacción en invierno .....	37
Figura 2.5 Sistema manoportable de paneles modulares .....	39
Figura 2.6 Sistema manoportable para la construcción de viviendas unifamiliares de concreto.....	40
Figura 2.7 Sistema manoportable para la construcción de viviendas multifamiliares de concreto.....	41
Figura 2.8 Mapa Raster de climas (1950-2000) .....	42
Figura 2.9 Horas de Luz / Horas de sol .....	44
Figura 2.10 Temperatura ambiente de Tijuana 2016 (Dr. Fuentes).....	45
Figura 3.1 Corte por fachada de vivienda a base de concreto armado .....	48
Figura 3.2 Formaleta de lámina y panel complemento.....	50
Figura 3.3 Angulo exterior y esquinero de muro interno.....	50
Figura 3.4 Pasadores .....	51
Figura 3.5 Cuña y Corbatas .....	51
Figura 3.6 Formula de modelo para sistemas de capas homogéneas .....	55
Figura 3.7 SC1 Muro base de concreto vaciado de 0.10 m de espesor .....	56
Figura 3.8 SC2 Muro base de concreto vaciado con aislamiento térmico de placas de poliestireno extruido Eko-Therm .....	57
Figura 3.9 SC3 Muro base de concreto vaciado con aislamiento térmico de placas de poliestireno expandido estándar .....	58
Figura 3.10 SC4 Muro base de concreto vaciado con aislamiento térmico de placas de poliestireno expandido (Espumalit).....	59
Figura 3.11 SC5 Muro base de concreto vaciado con aislamiento térmico de espuma liquida de poliuretano.....	60
Figura 4.1 Grafica de diferencia de temperatura entre ambiente y sistemas propuestos .....	64
Figura 4.2 Grafica comparativa entre muro de concreto vaciado y ambiente periodo cálido-seco. ...	66
Figura 4.3 Grafica comparativa entre muro de concreto vaciado y placas de poliestireno extruido Eko-Therm en ambiente periodo cálido-seco. ....	67
Figura 4.4 Grafica comparativa entre muro de concreto vaciado y placas de poliestireno expandido estándar en ambiente periodo cálido-seco. ....	68
Figura 4.5 Grafica comparativa entre muro de concreto vaciado y placas de poliestireno expandido Espumalit en ambiente periodo cálido-seco. ....	69
Figura 4.6 Grafica comparativa entre muro de concreto vaciado y Espuma de poliuretano Thermocal en ambiente periodo cálido-seco. ....	70

## 1 Introducción

A lo largo de los años en la arquitectura, ha existido la necesidad de crear espacios que logren satisfacer las necesidades del usuario, así como lograr un ambiente de confort térmico interior, donde las distintas inclemencias como el frío, calor, viento, lluvia y sol, puedan ser tratados para lograr una adecuación climática, donde los usuarios puedan realizar sus actividades en un espacio con confort térmico (Barrientos, 2012).

Otro de los factores ambientales importantes a considerar en una construcción, que deben de ser tomados en cuenta son, la calidad del aire, iluminación y los niveles de ruido, ya que nos ayudarán a llegar a un confort ambiental que nos proporcionarán espacios confortables dentro y fuera de la construcción (Barrientos, 2012).

De acuerdo con Givoni (1998) el querer ese confort en las construcciones, debe de mostrar los diferentes parámetros y factores que incurren en su alrededor, describirlos y hacer una conexión entre ambos, donde se logre crear un ambiente de confort interior, sin dejar de lado las sensaciones del usuario, conforme al ambiente exterior y sus características en el ambiente.

Actualmente en México el consumo de energía que proviene de la quema de hidrocarburos es del 90%, lo que nos da como resultado el alto índice de contaminantes que se generan en el país, donde el dióxido de carbono es el que más afecta el ambiente. Sin embargo, en este índice la construcción es la encargada de solventar el 20% de ese consumo (Sener, 2015). Esto nos muestra como al diseñar correctamente las edificaciones y utilizar materiales adecuados, se genera una reducción de consumo energético que conlleva un ahorro económico, así mismo la reducción de emisiones de dióxido de carbono que hay en la atmósfera.

Para lograr hacer un cambio en el consumo de energía, es importante diseñar edificaciones de acuerdo al clima donde están ubicadas, para obtener una reducción significativa del consumo energético, así mismo con las ya construidas, adecuarlas al clima donde fueron construidas, para esto es necesario aplicar la arquitectura bioclimática. De esta forma podremos lograr un impacto energético donde las edificaciones se adaptarán al entorno y al clima local para minimizar el gasto de energía y recursos, ya que no será necesario utilizar sistemas de climatización mecánicos y se optará por aprovechar el clima actual del sitio (Conuee, 2016).

El desarrollo de materiales nuevos y las nuevas técnicas de fabricación contribuyen a la adecuación climática, ya que cada vez surgen nuevos métodos de construcción que sin duda hacen que el aislamiento térmico sea uno de los puntos más importantes al diseñar una edificación, con el principal objetivo de proteger al usuario de las temperaturas extremas del exterior (MAKKOUR, 2021).

El objetivo principal de este estudio es el de analizar y conocer el comportamiento térmico de los materiales, con los que están construidas las viviendas en la ciudad de Tijuana, por lo cual con la ayuda de un programa de cómputo para simulación se pretende conocer la transferencia de calor que existe en su interior, mismo que obtendremos con un monitoreo de temperaturas en los cuales los diferentes materiales que se tienen, serán probados y analizados.

## **1.1 Aspectos preliminares**

En esta parte del trabajo están contenidos el planteamiento del problema, la justificación del trabajo, las preguntas de investigación, el objetivo a cumplir, los alcances y las limitaciones y los antecedentes de la investigación.

## **1.2 Planteamiento del problema**

La ciudad de Tijuana se caracteriza por sus temperaturas que sobrepasan la zona de confort térmico en verano, lo que nos lleva a un des-confort térmico en sus edificaciones, estos problemas que mayormente provienen de la radiación solar, producen que el clima y la poca estrategia ambiental generen un espacio inadecuado para sus usuarios.

La falta de materiales aislantes térmicos, provoca el impacto directo de la radiación solar al interior de sus espacios, por lo tanto, las condiciones de habitabilidad disminuyen e implican la mejora de productividad de sus usuarios (Sahagún, 2012).

Sin embargo, el poco uso de materiales aislantes térmicos y las adecuaciones en sus edificaciones provocan que los suministros de energía aumenten, lo cual deja de lado la importancia del ahorro energético (MAKKOUR, 2021).

Un ejemplo de la importancia de tener un área confortable es que al momento de climatizar, los muros existentes carecen de propiedades de resguardo de calor lo que nos genera un aumento en el consumo energético que preocupa a los usuarios debido al poco conocimiento de materiales aislantes térmicos que pudiesen ser aprovechados. (Peña, 2018).

Varias son las bondades que el medio ambiente nos genera en la arquitectura, además de sus recursos naturales, que con ayuda de las nuevas tecnologías nos permiten crear o restaurar edificaciones que carecen de propiedades óptimas para su construcción, las cuales son necesarias para aprovechar sus beneficios (Peña, 2018).

### 1.3 Justificación

Una razón importante para construir edificaciones con materiales aislantes térmicos, es combatir el efecto de calor que se produce a causa de la radiación solar, así mismo lograr crear espacios con situación de bienestar y comodidad en los usuarios, sin que el clima del exterior afecte la edificación, para ello es importante utilizar materiales de construcción que puedan adaptarse al entorno local y a las funciones del espacio.

En la ciudad de Tijuana el tipo de clima que se tiene es semiárido estepario (según la clasificación de Köppen) donde la principal característica es tener veranos secos, con temperaturas de templadas a cálidas en los meses de agosto y septiembre, lo que nos provoca los días más calurosos del año, con temperaturas que ascienden a los 26 °C, lo que provocaba niveles de desconfort en las edificaciones (EnergyPlus, 2014).

En zonas con clima seco las edificaciones requieren de sistemas de enfriamiento pasivo, para tener temperaturas que estén dentro de la zona de confort térmico, cuya finalidad es lograr el acondicionamiento del mismo, por lo cual se utilizan los recursos bioclimáticos como la orientación del edificio, los materiales de construcción, el sol, viento entre otros. Su objetivo es minimizar el uso de los principales sistemas consumidores de energía (Givoni, 1998).

Entre los diversos desafíos que se presentan en una edificación, los flujos de calor varían constantemente por sus temperaturas interiores diferentes a las exteriores, ya que su transferencia de calor depende de la conducción de un lado a otro en muros, para determinar esto es necesario conocer las características termo físicas del material (Fuentes, 2001).

El objetivo principal de este estudio, es analizar el comportamiento de transferencia de calor sobre muros de bloque en edificaciones existentes, así mismo evaluar su resistencia térmica bajo las variantes climáticas que tiene la zona Noroeste de México, por lo cual se deben conocer los mecanismos de transferencia de calor que comprenden el área de estudio, para ello es esencial tomar en cuenta la conducción, convección, radiación, etc. (Ana borbon, 2009)

Para ello se realizará un análisis comparativo que nos muestre las diferencias del comportamiento de materiales aislantes térmicos en muros existentes, esto nos servirá para comparar de manera experimental los resultados entre los diferentes tipos de materiales propuestos, lo que nos permitirá un conocimiento de confort térmico en usuarios que a su vez nos generará un ahorro de energía por sus componentes y propiedades.

## 1.4 Preguntas de investigación

Ante la falta de información sobre el uso de materiales aislantes térmicos en edificaciones construidas en la ciudad de Tijuana, surge la necesidad de analizar y evaluar dichos materiales para lograr propuestas que mejoren las condiciones de habitabilidad. A causa de esto surgen las preguntas de investigación.

- 1 ¿Cuáles son los materiales aislantes térmicos adecuados, para garantizar un confort térmico interior, así como sus propiedades, dimensiones y espesores?
- 2.- ¿Cuál es la diferencia de temperatura entre una edificación con muros aislantes térmicos a una con sistema de muros comunes en Tijuana Baja California?
- 3.- ¿De qué manera influyen las modificaciones y adecuaciones térmicas envolventes de una edificación en el retardo del flujo de calor exterior al interior de una vivienda?
- 4.- ¿Cuáles son los beneficios térmicos que trae consigo el construir con materiales aislantes térmicos y qué aportes tiene al medio ambiente?

## 1.5 Objetivos

Objetivo general:

Para responder las preguntas de investigación, el objetivo general de este estudio es el de analizar diferentes materiales aislantes térmicos que contribuyan a generar espacios confortables con condiciones térmicas adecuadas para el usuario, para esto se evaluarán los resultados experimentales de los distintos materiales analizados al comparar las diferencias de temperatura entre las distintas implementaciones al interior de la edificación, para proponer los materiales adecuados para el caso de estudio en el clima de la ciudad de Tijuana.

Objetivos específicos:

Búsqueda y caracterización de los materiales aislantes térmicos disponibles actualmente en el mercado local o del sitio donde se realice el proyecto.

Evaluar los resultados de las temperaturas interiores, para realizar la comparación entre una edificación con material común, a una con materiales con menor conductividad térmica las cuales cuenten con propiedades térmicas adecuadas para su selección.

Hacer un análisis comparativo entre las diferencias del comportamiento térmico que genera el utilizar materiales adecuados para la edificación de casas habitación en Tijuana.

Definir los materiales adecuados para proteger al usuario de las temperaturas elevadas del exterior.

## 1.6 Alcances y limitaciones

Los alcances de la presente investigación analizarán y evaluarán la eficacia de los materiales aislantes térmicos por medio de mediciones mediante simulaciones térmicas, donde se medirán sus diferentes resistencias térmicas a la temperatura, por ello se tomará en cuenta las propiedades de cada material. Es importante destacar que este estudio además de buscar alcanzar el confort térmico de los usuarios, nos ayudará a reducir el consumo energético, ya que se aprovecharán los recursos naturales y se implementarán materiales aislantes térmicos adecuados para el caso de estudio.

Aspectos que serán desarrollados en el documento: Se investigarán los distintos materiales aislantes térmicos que nos ayuden a mejorar las condiciones de habitabilidad de los usuarios, por lo cual se tomarán en cuenta las características de cada uno y sus resistencias térmicas, así mismo conocer su sistema constructivo y los efectos retardantes de calor que éstos generen. Es importante conocer esto para lograr cumplir con las necesidades térmicas necesarias antes de comenzar su ejecución física, para garantizar una mejora especializada a la construcción. Posteriormente se hará una comparativa entre la diferencia de temperatura en el exterior y en el interior de las edificaciones tanto con materiales aislantes térmicos adecuados como edificaciones sin aislantes térmicos.

Aspectos ya desarrollados sobre los materiales aislantes térmicos: Los tipos de materiales aislantes térmicos que existen actualmente y sus propiedades termo físicas, los efectos que logra obtener por sus distintas resistencias térmicas, los materiales con los que se fabrican, y sus técnicas de construcción, la incorporación al medio ambiente y su lado exterior proyectado a la fachada del edificio.

Aspectos que serán abordados de manera tangencial: Materiales aislantes térmicos que serán analizados en diferentes zonas de México, módulos que no contengan materiales adecuados para la construcción de una vivienda con necesidades de aislamiento térmico.

Aspectos que no serán abordados: No se hará un análisis económico en base a tipos de materiales usados con anterioridad a los propuestos en este proyecto, a su vez no se mostrarán las diferencias energéticas que nos resultarán de dichas simulaciones.

Limitaciones de la investigación: Las principales limitaciones están relacionadas con la falta de evaluación de métodos de rendimiento térmico de edificaciones donde los materiales utilizados no son los adecuados para cumplir las necesidades de confort de los usuarios.

No obstante, el tipo de clima influye en la capacidad de recepción de las edificaciones, el diseñar sin la adecuada relación entre el medio ambiente y los recursos naturales hacen que la edificación carezca de temperaturas interiores aceptables, estos parámetros no adecuados hacen que la mayoría de las personas no sientan comodidad térmica por frío o calor. En cuanto a la inercia térmica de las edificaciones, existente la limitante de estudio que al estar ya construidas se desaprovecha la ventilación y el calentamiento solar adecuado, todo esto representa un problema que es difícil de solucionar ya que condiciona a la edificación a tomar medidas importantes sobre adecuaciones y nuevos materiales de construcción que deberán ser colocados de manera permanente para su confort térmico interior.

## 1.7 Antecedentes

A continuación, se mostrará un recopilado de trabajos realizados con anterioridad sobre el tema de la utilización de materiales aislantes térmicos aplicados en viviendas, por lo cual se mencionarán los que tienen características similares o sistemas que tengan la finalidad de crear espacios con un grado de confort térmico adecuado para los usuarios. Estos trabajos buscarán el correcto uso de sus componentes térmicos, para aportar la mayor información posible que ofrezca la posibilidad de determinar el material óptimo según los criterios determinados. Se identificaron los respectivos años, autores, metodología y el tipo de aportaciones que se obtuvieron.

De acuerdo con Fuentes (2019) la arquitectura bioclimática es una rama de la climatología que se encarga del estudio de las relaciones entre los elementos climáticos existentes y los seres vivos, así como se encarga de evaluar y considerar los procesos adecuados para lograr que los usuarios puedan realizar sus necesidades con un nivel de confort aceptable, para ello se elegirán los materiales adecuados con los que cuenta el entorno del sitio.

Según Mishra (2017) es importante tomar en cuenta el diseño de ambientes en arquitectura ya que nos maneja criterios de diseño centrados en el usuario, además de utilizar metodologías para la correcta planeación de la propuesta arquitectónica, sin dejar de lado la importancia de minimizar el uso energético que se genera al querer calentar o enfriar los espacios.

El confort térmico es uno de los objetivos principales de la arquitectura ya que su propósito principal es el de lograr un balance térmico en los ocupantes de un espacio interior, destinado a llevar actividades donde el usuario no experimente estrés térmico debido a las temperaturas, así mismo es importante considerar los parámetros del área de estudio donde la concentración de vapor de agua, y la humedad relativa entre otros son los que afectan el ambiente interior (Anguita, Arco, e Hidalgo 2018).

El trabajo de Dias Pereira (2014) se explica como la realización de estudios de evaluación de confort térmico dan como resultado que en los países de Europa, China, India y América Latina los estándares de confort sean más demandantes debido a que su población pasa la mayor parte del día en sus viviendas en actividades cotidianas, lo que provoca una demanda de energía eléctrica, misma que es necesaria para lograr un balance en la temperatura interior, al mismo

tiempo que se produce en edificios públicos donde la demanda de sistemas de climatización artificial son esenciales para lograr un confort en los usuarios que lo habitan.

Uno de los arquitectos que se encargó de estudiar los principales factores de riesgo ergonómico y describió como la falta de confort térmico está relacionado a la aparición de trastornos musculoesqueléticos, estos determinan que un cuerpo sea capaz de equilibrar el calor ganado y el calor eliminado mediante diferentes procedimientos, a esto lo llamo equilibrio térmico. Fue Fanger (1973) quien elaboró un procedimiento que contempla las diferentes variables que influyen en la valoración del ambiente térmico en un entorno laboral, este método de Fanger considera el nivel de actividad, las características de la ropa, la temperatura seca, la humedad relativa, la temperatura radiante media y la velocidad del aire. Este método en la actualidad es uno de los más extendidos para la estimación del confort térmico

Huelsz et al. (2014) Dice que para poder llevar a cabo una comparación térmica entre distintos materiales constructivos es necesario realizar simulaciones numéricas con la ayuda de la herramienta Ener-Habitat la cual nos permitirá conocer y analizar el comportamiento térmico de sistemas constructivos de muros y techos de la edificación que se desea estudiar. Uno de los puntos a tomar en cuenta es la radiación solar que afecta primeramente nuestra área de estudio ya que mayormente es la que recibimos de manera directa en la fachada principal de la vivienda, así mismo como la temperatura del aire (ashrae, 2005). Esta herramienta nos ayuda a resolver las ecuaciones de transferencia de calor que se tiene en el área de estudio, en relación al sistema constructivo que se analice.

Anderson (1981) realizó un trabajo sobre la resistencia térmica en muros de bloque huecos de concreto, para ello aplicó un método de elemento finito donde se centraron los valores de resistencia térmica de alrededor de  $0.250 \text{ m}^2\text{K/W}$ , para las dimensiones y las configuraciones consideradas. Los presentes Ossama y Kris (1994) desarrollaron a su vez experimentos que evaluaron las resistencias térmicas de bloques de concreto huecos de  $0.150\text{m}$  de ancho con base en la prueba ASTM C 518-76, podría decirse que el muro evaluado es prácticamente equivalente al bloque de  $0.150\text{m}$  de nuestro estudio, en este caso se reportaron valores de resistencia térmica de  $0.3331 \text{ m}^2\text{K/W}$  sin contar la influencia del mortero y de  $0.361\text{m}^2\text{K/W}$  que es cuando los bloques son colocados para su construcción donde se les coloca mortero en sus juntas.

Por su parte Lorente et al, (1996) en su estudio teórico encontraron una descripción detallada sobre el flujo de calor en las edificaciones y la variante de temperaturas que aumentan o

disminuyen de acuerdo a su característica, en términos generales describieron que un 25% del total de calor trasferido se realizó por convección, el otro 25% por conducción y en cuanto al otro 50% fue por radiación.

En la zona norte de Cochabamba (Bolivia) se realizó un estudio cuyo objetivo se enfocaba en el conocimiento del confort térmico en viviendas construidas de ladrillo cerámico, para ello se basó en el análisis de las variables externas, internas y del usuario donde la principal causa de estudio se conformaría por 90 viviendas construidas con cerramientos de mampostería de ladrillo cerámico y con cubiertas de teja cerámica, para comenzar con lo anterior se tomó en cuenta que la mayor o menor captación de calor por radiación solar está en función de la orientación de las fachadas principales de las edificaciones, para ello se seleccionaron tres tipos de viviendas a analizar, las cuales se ubican dentro de una misma zona climática , con esto se pretende conocer el comportamiento similar de las viviendas y las mismas variantes climáticas con las que cuentan las viviendas, solo con características de implantación distintas.

Se realizaron distintas mediciones a nivel microclimático de cada tipo de vivienda, de temperatura, humedad, radiación de paredes y techos, vientos existentes (velocidad y dirección) y un análisis de asoleamientos tanto en el interior como en el exterior de la vivienda, a partir de esto se realizaron comparaciones que contrastaban con los datos estadísticos oficiales de temperaturas, húmedas, vientos de la ciudad de Cochabamba , ello permitió evaluar la influencia de las variables climáticas relacionadas con el tipo de material construido.

Dichos resultados se cruzaron con la ideología de los usuarios que a través de encuestas diseñadas para evaluar sus sensaciones de confort térmico tenían en su respectiva vivienda, para concluir este estudio se realizó una simulación en programas informáticos donde se utilizaron los datos de la zona de estudio referente a las características climáticas y su orientación, como resultado se obtuvieron evaluaciones y propuestas de intervención de sistemas pasivos de confort térmico para viviendas de ladrillo cerámico para climas templados, a partir de esto se plantearon recomendaciones a considerar en el diseño arquitectónico para lograr confort térmico con el clima de Cochabamba (Barrientos2012).

Según Neves (2007) el utilizar la tierra como sistema constructivo, es una técnica milenaria en la historia de la humanidad, donde el ser humano utilizaba dicho beneficio natural del suelo con el que contaba la edificación, los habitantes de épocas pasadas exploraban las buenas propiedades

de la tierra para su uso adecuado en la construcción, con el fin de protegerse de la intemperie y lograr un área de confort.

Gómez (2014) Realizó un estudio de flujo de calor en paredes, pisos y techos de una caseta de prueba CAGETEV (caseta giratoria para estudios térmicos en viviendas), en la cual con ayuda de termopares tipo K y un sistema adquisidor de datos referente al área de estudio, midió las temperaturas interiores y exteriores de 1 día completo para observar y analizar el comportamiento en cada pared, piso y techo de la caseta, todo esto para analizar y llevar un control objetivo sobre el flujo de calor obtenido, para ello fue necesario calibrar los termopares para poder obtener los valores de temperatura adecuados.

Se pudo determinar que el mayor flujo de calor se presentó en la pared sur de la caseta ya que ésta no contaba con ninguna capa aislante. Por el contrario, en el piso de la caseta se pudo observar que la temperatura se mantuvo más estable y la dirección del flujo de calor en el tiempo medido se localizó desde el exterior hacia el interior del piso de la caseta (Gómez 2014).

Czajkowski et al, (2019) en su trabajo de investigación ha trabajado en la certificación térmica y energética de edificios construidos con materiales que se basan en las normas nacionales, y ha llevado a innovar en los procedimientos de monitoreo y evaluación térmica para conocer el comportamiento térmico de estos nuevos materiales de construcción, para ello mediante termografía infrarroja busca verificar posibles puentes térmicos en la envolvente con simulaciones que tengan un clima cálido y días claros, a su vez realiza monitoreos en clima de invierno donde se compruebe el comportamiento térmico en diferentes tipos de clima sin climatización artificial, dado como resultado estos monitoreos se evaluarán y determinarán si cumplen con las Normas IRAM 11604, 11605, 11625 y 11630 y se determinará la demanda anual de potencia de energía para mantenerse en confort térmico.

En el trabajo de Guzmán, A. et al. (2018) se realizaron pruebas de simulación en viviendas de la Provincia De Córdoba, con el fin de evaluar el déficit de energía en una tipología de vivienda y analizar la forma de reponer esa energía para mantener en el correcto nivel térmico para sus usuarios, para ello fue necesario estudiar sus envolventes y su respectiva ubicación para obtener una calefacción pasiva. Este estudio se enfocó en minimizar el excesivo consumo y gasto energético que se producía en el tipo de vivienda, el desarrollo de este trabajo se dividió en 2 ejes, uno hacia el tema de “Grados Días “de calefacción y refrigeración, para ello se tomaron los

datos de base que fueron proporcionados por la Norma IRAM 11603, la cual describe los grados días de quince localizaciones de la provincia de Córdoba, se trabajó en la búsqueda de datos de temperatura medias máximas y mínimas de alrededor de sesenta localizaciones diferentes.

Por otro lado, se realizó una simulación del comportamiento energético en una vivienda con la tipología del “Plan Procrear”, que tomaba como base las características constructivas de las mismas en función a las que ofrece el plan nacional. Para la confección de dicho trabajo se tomaron en cuenta datos en 2 distintos software con el tema en específico para ambos ,por un lado ECOTEC que consistía en generar gráficas y técnicas y SIMEDIF que conllevaba características más analíticas, con esto pudo llevar a cabo la verificación sobre el comportamiento de la tipología tal cual fue realizada, y finalmente modificada, al sustituir algunos elementos del diseño original por elementos pasivos para la utilización y aprovechamiento de recursos provenientes mayormente del sol, como es el caso de “muros Trombe-Mitchell”.

Fernández, et al. (2016) En su estudio sobre la problemática del discomfort térmico nos muestra como la envolvente de una vivienda con materiales mal aplicados puede traer consigo problemas térmicos para el usuario, para ello desarrolló una investigación donde se busca construir edificaciones con materiales adecuados que posean propiedades térmicas para ser implementados en un sistema de muros de fachada con materiales reutilizados, su propuesta fue crear muros de tubos de cartón y aserrín para mejorar y analizar la temperatura de la superficie en clima frío, para esto realizó prototipos de muros con características de impermeabilización y durabilidad para comparar estos resultados con los sistemas tradicionales que son el tolete macizo.

Fue necesario conocer y describir el coeficiente que contaba cada material propuesto así como su conductividad térmica, por tal motivo se realizó un sistema de muro de fachada con los materiales propuestos mencionado en un prototipo a escala 1:2 de los cuales se analizaran las temperaturas exteriores de cada uno y se verificara su eficiencia, los resultados arrojaron una mejora de 3,3°C de temperatura entre los dos sistemas , es decir mientras el sistema de mampostería en promedio aumento 0,9 °C del exterior al interior, el sistema de tubos aumentó en promedio 4,2°C ,en donde esta última se mantuvo un rango entre los 21°C a los 24 °C, por lo cual es una temperatura aceptable ( de acuerdo al diagrama de Givoni) para generar una condición de habitabilidad favorable en comparación con la ofrecida actualmente en la construcción tradicional (Fernández 2016).

Roux, Gallegos., (2015) En su investigación se enfocan en el análisis de las propiedades térmicas que tienen los bloques de tierra comprimida (BTC), con la finalidad de conocer las ventajas de este material de construcción alternativo sobre los materiales convencionales, para esto planteo el uso de BTC como unidad de análisis, creado con materiales de la zona de estudio en su caso al sur de Tamaulipas, al corroborar sus ventajas como un regulador natural de temperatura contra el bloque de concreto y el ladrillo recocido de la región, se realizaron pruebas de: Eades y Grimm, ensayo de compactación proctor, límites de Atterberg y contracción lineal, todas estas pruebas en base a consultas bibliográficas y electrónicas que tenían un respaldo teórico de lo que se iba a realizar.

Para poder finalizar este estudio fue necesario proseguir con la fase de fabricación de los BTC, el cual fue programado para tomar la temperatura de cada intervalo de 15 min por ambas caras durante el lapso de ocho horas, con esto se realizaron graficas donde se comprobaba el retraso térmico de los muros. En conclusión al análisis de las propiedades térmicas de los bloques de tierra comprimida (BTC), se pudo verificar que el uso de tierra en materiales de construcción es una técnica que debe de ser retomada ya que posee características que permiten el retraso térmico de un muro y al hacer la comparación con los materiales convencionales los (BTC) tienen la capacidad de regular la temperatura interior de la vivienda, por lo cual, presenta ventajas comparado a los otros materiales constructivos utilizados y además de esto evita el uso de recursos energéticos ya que es un recurso de origen natural (Roux 2015).

Alarcón García, (2001) El método de Simulación por Redes o MESIR es un método numérico que tiene la capacidad de resolver problemas no lineales complejos como los que se dan en algunas circunstancias de la trasmisión de calor, este método se trata de una herramienta de cálculo utilizada para la resolución de ecuaciones diferenciales. Al utilizar la herramienta de MESIR se permite evaluar el efecto térmico de materiales ya que simula la trasmisión de calor por conducción, convección y radiación, con esta aplicación se logrará reproducir el comportamiento térmico de un conjunto de materiales óptimos los cuales serán portadores de ahorros energéticos y a su vez nos mostrarán el efecto perjudicial de los captadores solares que son producidos por depósitos calcáreos los cuales aparecen en la unión de los tubos con la placa absolvedora de estos mecanismos.

El trabajo de Czajkowski et al., (2008) toma el modelo de vivienda de interés social del Instituto de Vivienda de la Provincia de Buenos Aires, y propone escenarios tecnológicos en base a las características de los niveles térmicos en muros y techos de dichas viviendas, con ayuda del programa EnergyPlus, se crean simulaciones numéricas que nos muestran un monitoreo del comportamiento térmico anual y a partir de los resultados se proponen mejoras en base a los materiales que se incorporan mejor a su envolvente, así mismo propone modelos simplificados que aporten beneficios en el consumo de ahorro de energía en calefacción, evaluación de la transmitancia térmica adecuada, evaluación del riesgo de condensación, entre otros.

En el trabajo de Cuitiño et al.,(2015) se presenta un estudio sobre la evaluación térmica y estructural sobre los muros de quincha prefabricada donde se muestran los beneficios térmicos, estructurales y económicos que nos genera el utilizar este material, el desarrollo de este estudio consta de construir paneles a escala 1:1 con la tecnología de quincha donde se pretende evaluar y mejorar la tecnología existente de dicho material, los objetivos de este estudio pretenden determinar la composición del suelo para ser utilizado como relleno de los muros de quincha para las viviendas de Centro-Oeste de Argentina. Esta técnica se compone de un armazón estructural de madera o bambú rellena con barro, este material nos aporta resistencia al impacto lo que demuestra que es un material apropiado para la construcción, además de ser económico nos proporciona variables resultados de seguridad y de confort térmico.

Borbón, et al. (2009) en su trabajo sobre el estudio de transferencia de calor en muros de bloque de concreto con cavidades, nos muestra el análisis de transferencia de calor en un muro de 2.0m de altura y 1.0m de ancho elaborado con bloque de concreto hueco de 15x20x40 cm, para ello se plantea un modelo teórico unidimensional en estado estacionario al analizar conducción, radiación y convección, para resolver el problema numéricamente se utilizó el método iterativo de Gauss-Seidel donde la simulación se efectuaba en días con condiciones extremas de temperatura, con esto se obtiene un promedio de la resistencia térmica y los flujos de calor de cada mecanismo, como resultado de dichos análisis el muro presenta valores de resistencia térmica que disminuyen con el aumento de los diferenciales de temperatura, esto desfavorece su uso para climas cálidos.

## **1.8 Hipótesis**

Las propiedades, dimensiones y espesores de los materiales aislantes son tres de las principales condiciones que pueden mejorar el confort térmico interior de viviendas de interés social, debido a que nos ayuda a disminuir la ganancia de calor proveniente del exterior, al utilizar materiales que protejan la mayor parte del año tanto en días fríos como en los días más calurosos del año. Así mismo aumentar el tiempo que el ambiente interior de una edificación logre estar en constante confort térmico para lograr crear en los usuarios un nivel de estadía sin necesidad de utilizar sistemas mecánicos de calefacción y contribuir al medio ambiente a evitar el uso excesivo de combustibles fósiles.

## 1.9 Aportación al diseño

Con la utilización de los materiales aislantes térmicos se puede generar un impacto positivo a la edificación tanto como para albergar condiciones óptimas en el interior, como recubrimientos adecuados que al haber sido colocados adecuadamente mejoraran el aspecto en la manera de concebir la arquitectura, ya que ayudan a la edificación a reducir el discomfort térmico interior que se genera por la ganancia de calor, así como a reducir el consumo de energía y la utilización de sistemas de aire acondicionado.

Como aporte al diseño se puede tomar en cuenta que los materiales aislantes térmicos tienen una gran variedad de características en sus recubrimientos y nos ofrecen estudios previos donde se presentan simulaciones tanto térmicas como estéticas, esta reside de criterios que nos ayudan a determinar la elección final de nuestro material aislante térmico, al elegir el más adecuado y factible para su construcción, por el cual obtendremos beneficios tanto térmicos como estructurales, sin dejar atrás los beneficios de ahorro energéticos.

En el caso de hábitat de las personas los materiales aislantes térmicos tienen diferentes beneficios ya que el usuario puede lograr un grado de confort adecuado al evitar que se caliente o enfríe en poco tiempo la edificación, así mismo se evitan problemas mayores como la humedad, olores y evita el hongo y moho que son nocivos para la salud, así como estrés en los usuarios que lo habitan ya que no pueden desarrollar sus actividades cotidianas con un nivel de confort térmico aceptable.

Un gran aporte para el medio ambiente sin duda son los materiales aislantes térmicos que son fabricados con materiales reciclados y ecológicos que hacen una edificación un lugar amigable con el medio que lo rodea, así mismo dan a una propiedad un valor mayor el cual tiene como fin evitar el constante uso de sistemas mecánicos que afectan el medio ambiente, los beneficios de construir con materiales aislantes nos llevan a cambiar el modo percepción sobre el uso inadecuado de materias primas que son perjudiciales al entorno ya que son derivados del petróleo, por lo tanto cada vez surge la necesidad de utilizar materiales aislantes ecológicos.

## 1.10 Estado del arte

A continuación se muestra una tabla con un recopilado de estudios que mediante módulos de prueba y pruebas de medición nos ayudan a determinar la calidad del aislamiento térmico de ciertos materiales, para ello fue necesario poner a prueba distintos métodos y materiales que al ser evaluados nos proporcionan información sobre su rendimiento y su conductividad térmica, conocer y comparar estos resultados nos darán un enfoque analítico sobre la correcta elección y utilización de dichos materiales. Se incluye el autor, fecha de publicación, título, lugar y datos de la realización del estudio (tabla 1).

Tabla 1: Módulos de prueba y medición

ESTADO DEL ARTE				
MODULOS DE PRUEBA Y MEDICION				
Trabajo de investigacion	Pais	Metodologia	Aportaciones	Referencia
Techo verde y su espesor de sustrato en zonas desérticas del Noroeste de México.	México	Módulos de prueba, medicion	Análisis y pruebas de simulación para identificar los beneficios de un techo verde, así como sus características de vegetación y confort térmico que nos genera.	Sahagun,M. et al. (2017). Techo verde y su espesor de sustrato en zonas desérticas del Noroeste de México. Legado de arquitectura y diseño, PP 30-37. Mexico Enero 2017.
Comparación del comportamiento térmico de muros de concreto armado y de bloques de concreto huecos.	México	Módulos de prueba, medicion	Se realizaron experimentos de prueba en muros para comparar el desempeño de cada material propuesto para evaluar que sistemas constructivos son los más adecuados a su área de estudio.	Molar-Orozco, M. (2017). Comparación del comportamiento térmico de muros de concreto armado y de bloques de concreto huecos. Legado De Arquitectura Y Diseño, Vol.1,No. 22, Mexico 2017.
Arquitectura Sustentable: estudio térmico y técnico económico de la incorporación de aislación térmica.	Argentina	Módulos de prueba, medicion	Mediante análisis y pruebas de medición de flujo de calor en muros, se logró concientizar a los usuarios y a los constructores a conservar el calor en invierno y alejarlo en verano, esto mismo se reflejara en el ahorro energético que se producirá si utilizamos materiales térmicos.	Mercado,M. et al, (2004). Arquitectura Sustentable: estudio térmico y técnico económico de la incorporación de aislación térmica. Energías Renovables y Medio Ambiente, Salta, 15, 45-52. Argentina 2004.

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se muestran los diferentes estudios que se realizaron con pruebas de laboratorio y simulaciones que nos ayudan a conocer y comparar los materiales que ayudan al aislamiento térmico en edificaciones mediante la envolvente. Se incluye el autor, fecha de publicación, título, lugar y datos de la realización del estudio (tabla 2).

Tabla 2: Simulación y pruebas de laboratorio

ESTADO DEL ARTE				
SIMULACION Y PRUEBAS DE LABORATORIO				
Trabajo de investigación	País	Metodología	Aportaciones	Referencia
Propuesta de materiales de construcción alternativos para casa-habitación de construcción en serie.	España	Simulación, pruebas de Laboratorio	Este trabajo es útil para conocer y proponer materiales nuevos que nos ayuden a disminuir costos de construcción y un ahorro energético mayor.	Camacho-Ixta. et al, (2016). Propuesta de materiales de construcción alternativos para casa-habitación de construcción en serie. Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales, 2(6), 22-26. Vol.2 No.6 Diciembre 2016.
Evaluación del confort térmico en viviendas con cerramientos de mampostería de ladrillo cerámico.	Bolivia	Simulación, pruebas de Laboratorio	Se evalúan las viviendas construidas en ladrillo cerámico mediante análisis, simulaciones y se determinan las características y necesidades las cuales serán solucionadas arquitectónicamente para proponer materiales de confortabilidad térmica.	Barrientos, B. (2012). Evaluación del confort térmico en viviendas con cerramientos de mampostería de ladrillo cerámico. Centro de Investigaciones en Arquitectura y Urbanismo – CIAU Universidad Privada Boliviana. Bolivia 2012.
Comportamiento térmico de viviendas sociales mediante incorporación de mejoras de diseño en la envolvente.	Argentina	Simulación, pruebas de Laboratorio	Se utilizan como caso de estudio las viviendas sociales donde por medio de simulaciones, los materiales de las viviendas pueden ser diseñadas de tal forma que se propongan mejoras en la envolvente para su confort térmico.	Czajkowski, et al, (2008). Comportamiento térmico de viviendas sociales mediante incorporación de mejoras de diseño en la envolvente. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol.12 Argentina 2008.

Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla muestra las investigaciones sobre los materiales aislantes térmicos y sus características sobre las necesidades del confort térmico, así mismo nos ayudan a seleccionar entre los diferentes materiales, ya que describen la información sobre su rendimiento térmico. Se incluye el autor, fecha de publicación, título, lugar y datos de la realización del estudio (tabla 3).

Tabla 3: Investigación Teórica sobre estudios de aislamiento térmico

ESTADO DEL ARTE				
TEORICA				
Trabajo de investigacion	Pais	Metodologia	Aportaciones	Referencia
Vivienda colectiva en México, El derecho a la arquitectura.	México	Teórica	Se reconocen las necesidades confortables que carecen las viviendas colectivas en la ciudad de México.	Canales, F. (2017). Vivienda colectiva en Mexico, El derecho a la arquitectura. Editorial Gustavo Gili, Mexico 2017.
Estudio Numérico de la Resistencia Térmica en Muros de Bloques de Concreto Hueco con Aislamiento Térmico.	México	Teórica	Se realiza un estudio numérico de la resistencia térmica en 2 muros de block y se obtienen los beneficios de colocar aislantes térmicos exteriores.	Pérez et al, (2011). Estudio Numérico de la Resistencia Térmica en Muros de Bloques de Concreto Hueco con Aislamiento Térmico. Información tecnológica, 22(3), 27-38. Vol. 22 No.3 Mexico 2011.
Aislantes térmicos: criterios de selección por requisitos energéticos.	España	Teórica	La investigación de los distintos materiales aislantes y sus características nos ayudan a seleccionar un determinado material de acuerdo a las condiciones donde se requieran colocar, además de eso nos muestra sus ventajas en base al ahorro energético que nos generaran.	Palomo,M.(2017). Aislantes térmicos: criterios de selección por requisitos energéticos. Trabajo fin de grado Universidad Politécnica de Madrid. España 2017.
Análisis de la transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de quincha.	Argentina	Teórica	Se determinó que el uso de muros con la técnica mixta de madera o bambú, no sufre deformaciones al medio ambiente, además de ser buen conductor térmico y estructural, por lo que es viable implementarlo en nuevas construcciones.	Cuitiño, G. et al, (2015). Análisis de la transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de quincha. Informes de la Construcción Vol. 67, Argentina 2015.

Fuente: Elaboración propia

## **2 Marco conceptual**

La siguiente parte del trabajo muestra los diferentes tipos de materiales aislantes térmicos que son utilizados para ayudar a aislar las temperaturas, se mostrarán las características físicas, su conductividad térmica, su resistencia térmica y su sistema constructivo además de sus beneficios al ser implementados en las edificaciones.

### **2.1 Materiales aislantes térmicos**

En la actualidad los materiales aislantes térmicos son una opción considerada por personas de la rama de la construcción que prefieren utilizar estos materiales, ya que aportan beneficios que ayudan a aislar el calor y disminuir temperaturas y nos generan ambientes confortables al interior de una edificación, esto con ayuda de muros cubiertos por ciertos materiales aislantes térmicos, que ayudan al retardo de la radiación solar hacia el interior.

El utilizar estos materiales en edificaciones, edificios y zonas donde las personas permanecerán la mayor parte del día nos ayudan a reducir el uso de sistemas mecánicos que nos generaran un mayor uso de sistemas de climatización artificial, por lo cual innovar con estos materiales nos traerá un considerable aporte positivo al usuario y al medio ambiente.

Los materiales aislantes térmicos pueden definirse como aquellos que muestran una elevada resistencia al paso del calor que a su vez reducen la transferencia de calor desde la cara exterior a la interior del muro, por lo cual es un material que nos protege tanto del frío como de calor. Es importante evaluar y conocer el aspecto físico de la zona y de la temperatura que se tiene ya que dependiendo el grado de aislamiento que se tenga en la edificación, se determinará que tipo de material aislante conllevará para su mayor protección a la radiación (Palomo, M. 2017).

La utilización de materiales aislantes térmicos desempeñan un papel importante en la mejora del comportamiento energético de un edificio, actualmente en México el concepto de aislamiento térmico es poco conocido, aun así este tema ha tomado importancia ya que en agosto del 2009 se reguló en el país el uso eficiente de energía en la vivienda con la publicación en el diario oficial de la federación de la norma mexicana NMX-C-460-ONNCCE-2009 que tiene como finalidad establecer las características y métodos de prueba que deben cumplir los materiales, productos, componentes y elementos termoaislantes, para techos, plafones y muros de las edificaciones.

(Esta es tu casa), De la Comisión Nacional de Vivienda (Conavi), o de la Hipoteca Verde, del instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los trabajadores (Infonavit) Garza, V. 2016.

Actualmente en México las condiciones climatológicas fomentan el uso de aire acondicionado en su mayoría en temporadas de calor y en invierno el uso de calefacción, para ello los materiales aislantes térmicos desempeñan un papel importante en el consumo energético, que va desde recubrimientos en muros exteriores , hasta en la utilización de materiales aislantes térmicos que conllevan un aporte tanto estructural como estético, estos materiales pueden ser seleccionados de acuerdo a las necesidades del sitio y a los materiales que se tienen en la región, todos ellos con el mismo fin de proteger al usuario de las clemencias del clima exterior.

Garza (2016) determina que los materiales aislantes térmicos tienen la capacidad de oponerse al paso del calor por conducción, convección y radiación y se evalúan por su capacidad de aislar térmicamente. Por lo cual el diseñar adecuadamente puede lograr ahorros de energía en los hogares significativos, así mismo las empresas constructoras deben tomar en cuenta esos factores para tomar decisiones adecuadas a principios de tiempo en relación a la selección e integración de componentes de construcción adecuados.

**La transmisión de calor se produce de un lugar a otro por medio de tres maneras, las cuales se indican a continuación:**

**Conducción:** El calor se transmite desde regiones de altas temperaturas a otras con más bajas temperaturas, todo esto dentro de un mismo material o entre sólidos que están en contacto, hasta alcanzar el equilibrio térmico.

**Convección:** Aquí la transmisión de calor se produce por los movimientos de la masa de un fluido y puede ser natural producida solo por las diferencias de densidades de la materia o forzada, cuando la materia se ve obligada a moverse de un lugar a otro, por ejemplo, con el aire proveniente de un ventilador o el flujo de agua en una bomba.

**Radiación:** La radiación térmica es energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura dada, se produce directamente desde la fuente hacia a fuera en todas las direcciones, esta se transmite a través de ondas electromagnéticas producidas en cualquier cuerpo que se encuentre a una cierta temperatura (figura 2.1).

## Modos de transmisión de calor en viviendas.

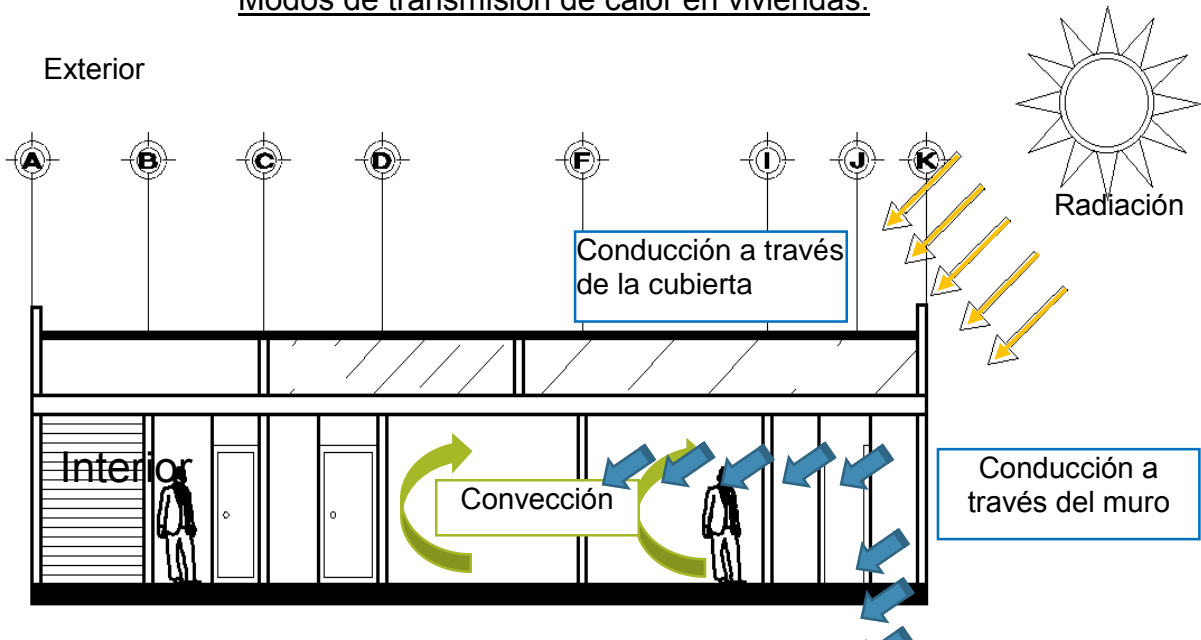


Figura 2.1 Modos de transmisión de calor en viviendas

Fuente: Elaboración propia

### **Características físicas de los materiales aislantes térmicos**

Palomo (2017) describe que actualmente en el mercado existen una gran variedad de materiales aislantes térmicos que se clasifican y se diferencian entre sí, ya que poseen características distintas que hacen que sean distintos a los demás, estos mismos pueden presentarse en diversas clasificaciones tales como el material, forma y costo, sin dejar atrás el rendimiento térmico que posee cada uno.

Los materiales aislantes térmicos deben de analizarse y contemplar las necesidades de la edificación para que sean óptimos para cada caso y procedan a dar una solución concreta, a su vez cada material aislante presentara condiciones únicas y cualidades que se destacaran una de otra, no obstante, se deben mostrar algunos conceptos básicos sobre el rendimiento térmico de los materiales de aislamiento y sus propiedades higrométricas:

- **Transmitancia térmica (U):** Esta propiedad física mide la cantidad de energía que fluye por unidad de tiempo y superficie, transferido a través de un elemento. La transmitancia térmica también se conoce como el coeficiente global de transferencia de calor,  $U$  en  $W/(m^2K)$ , en resumen, el desempeño térmico de la edificación se caracteriza por la tasa de pérdida de calor a través de la envolvente.

- **Factor de resistencia a la difusión del vapor agua ( $\mu$ ):** Este expresa la permeabilidad al vapor de agua de un material en relación a la permeabilidad del aire en forma adimensional y se le denomina factor  $\mu$ .
- **Densidad ( $\rho$ ):** Es la masa de material que existe por unidad de volumen.
- **Calor específico ( $c_p$ ):** Capacidad que tiene un material para acumular energía en su unidad de masa.
- **Resistencia térmica ( $R_t$ ):** Cociente entre el espesor y la conductividad térmica del material; cuanto mayor sea su valor mayor es la capacidad aislante.

### **Clasificación de materiales aislantes térmicos**

- **Materiales de origen sintético orgánico:**

Todos los materiales clasificados en esta familia, tienen en común el último término con similitudes que contienen materiales plásticos donde materias primas como el petróleo se dedica a la fabricación de estos compuestos. Dichos materiales se fabrican en industrias donde se gestionan largos procesos de producción, con la obtención de las materias primas o los elementos necesarios para la configuración de estos materiales, a partir de esto se comienzan el ciclo de fabricación.

- **Materiales de origen inorgánico:**

Materiales relacionados con la materia inerte, aquella que no proviene de células animales o vegetales, o relacionadas con el carbón. En este caso el proceso de fabricación es simultáneo y posee generalidades entre los compuestos que se encierran en este grupo. Las materias primas arenas, piedra, vidrios reciclados etc., estas materias se almacenan en silos donde posteriormente se irán dosificando para el mayor control de los tamaños del producto, al final se funde a temperaturas considerablemente altas, rondando los 1000°C, para la creación de fibras esta mezcla se introduce en una cámara de fibrado donde se centrifugará dando lugar a una masa que mediante aditivos aglomerantes y aceites se dejara reposar y convenientemente tratada se transformara en productos de paneles.

- **Materiales de origen natural orgánico:**

Los siguientes materiales clasificados en este grupo son aquellos que provienen de compuestos vegetales o animales, su proceso de fabricación en cuanto a la realización de materiales aislantes son menos contaminantes donde el reciclaje es un gran factor del proceso, por lo cual la mayoría de los materiales provienen de la naturaleza ya que son materiales de origen vegetal, una vez recolectados se dejan secar y con las propias resinas de la materia prima se aglutina el material, en algunos casos estos materiales reciclados se trituran mediante un proceso de cocción se prensa de manera natural para posteriormente obtener los productos finales en forma de planchas, rellenos etc. La mayoría de estos materiales no suelen tener sustancias químicas aditivas y tan solo son usadas para optimizar alguna propiedad del material aislante.

## **2.2 Tipos de materiales aislantes térmicos.**

Hoy en día los materiales aislantes térmicos son una necesidad, que empresas dedicadas a la construcción han puesto nuevos requerimientos que aseguren un correcto uso de estos materiales en hogares e industrias, el uso de estos distintos tipos de materiales han beneficiado a la población en sus diferentes necesidades, para ello existen actualmente en México distintos tipos y clasificaciones de materiales aislantes térmicos, por ello se deben conocer los conocimientos básicos de los aislantes más comunes y utilizados así como sus atributos y modos de aplicación.

Los materiales aislantes térmicos más utilizados en la industria de la construcción y sus características se mencionan a continuación:

- Lana de vidrio: Origen mineral e inorgánico, fabricado con millones de filamentos de vidrio unidos con aglutinante que da como resultado una fibra con textura similar a la lana, es un aislamiento ignífugo en paneles y mantas, ideal para uso en el hogar y área comercial.
- Lana de roca: Fabricados casi en su totalidad con roca de origen volcánico, este material además de ser un excelente aislante térmico, también puede ser utilizado como aislante acústico.
- Poliuretano: Este tipo de aislante térmico es muy eficaz, con conductividad térmica muy baja ( $0.028 \text{ w/m}^*\text{k}$ ). Es un aislamiento que se puede aplicar mediante proyección o mediante inyección.

- Poliestireno extruido: Este tipo de aislante es ideal para lugares húmedos o en constante contacto con el agua, ya que por sus características puede humedecerse sin perder sus propiedades, además de usarse como aislamiento en tabiquería, lo que lo hace ideal para muros y techos.

Otros tipos de aislantes térmicos que no son comúnmente utilizados en la región por su difícil obtención en el mercado, son el poliestireno expandido, perlita expandida, celulosa entre otros.

### **2.3 Principios físicos de materiales aislantes térmicos.**

Los materiales aislantes térmicos se caracterizan por su alta resistencia térmica que establece una barrera al paso de calor entre 2 medios que naturalmente tienden a igualarse en temperatura, la mayoría de la energía recibida es por radiación solar y se transmite de manera directa con ondas electromagnéticas sobre los muros de las edificaciones, esta energía recibida se equilibra por conducción, convección traspasando sobre el muro sin ninguna protección lo que hace que el interior sea la zona más caliente.

Una de las funciones más importantes de la colocación de materiales aislantes térmicos en muros, es el de generar una mejora al confort térmico interior y un ahorro en la utilización de energía, al utilizar materiales aislantes térmicos en la envolvente se logrará disminuir el uso de sistemas mecánicos de calefacción.

Actualmente en el mercado existen distintos productos y oportunidades a elegir en cuanto a materiales aislantes térmicos, pero debemos elegir y buscar materiales que sean óptimos a nuestras necesidades, además de conocer las materias primas aislantes que poseen, dentro de los materiales que ofrece cada fabricante, se detallan para cada producto unas propiedades únicas, debemos tomar en cuenta su propiedad física, su característica y costo (Palomo, 2017).

Los parámetros a analizar varían su valor dependiendo del fabricante, así como sus espesores y acabados, por lo cual podríamos destacar que hasta el día de hoy el mercado de los materiales aislantes térmicos se encuentra en auge, debido en su mayor parte a las exigencias y campañas que están a favor de las edificaciones de demanda energética nula, a su vez cada día nuevos productos salen al mercado, así como cada fabricante intenta mejorar la calidad de sus productos para entrar en competencia con los demás proveedores, todos con el mismo fin de ofrecer un

material que supere las expectativas del cliente y aporte beneficios en su edificación (Palomo,2017).

La conductividad térmica entre los materiales aislantes térmicos es bastante parecida, por lo cual no es la característica principal de su diferencia entre ellos, a su vez la diferencia radica en sus características físico-químicas y se puede tener en cuenta lo siguiente:

- Las contracciones y dilataciones del aislante.
- Su resistencia al fuego
- La acción de disolventes y agentes atmosféricos.
- Las sollicitaciones mecánicas.
- Máxima temperatura de empleo.

Rodríguez (2015) menciona en su estudio sobre la selección de los materiales aislantes térmicos sostenibles ciertas pautas que hay que contemplar por ejemplo:

- Que tengan larga duración.
- Que puedan ajustarse a un determinado modelo.
- Que provengan de una justa producción.
- Que tengan un precio accesible.
- Que no sean contaminantes.
- Que consuman poca energía en su ciclo de vida.
- Que en su entorno tengan valor cultural.
- Que provengan de fuentes abundantes y renovables.
- Que posean un porcentaje de material reciclado.
- Que no utilicen materiales de aislamiento que contengan CFC (compuestos clorofluorocarburos).

Otra de las clasificaciones que se pueden tener de los materiales aislantes térmicos son sus diversas formas como las siguientes:

- Según su estructura: granular, fibrosa alveolar, etc.
- Según su origen: vegetal, mineral, sintético etc.
- Según su resistencia en las diferentes zonas de temperaturas.

Rodríguez (2015) en su trabajo de investigación hace una tabla de comparación global entre varios aislamientos convencionales y ecológicos, en la cual muestra con números exactos las características de utilización similares de cada material, así como los aislantes, los valores de conductividad térmica entre los materiales aislantes térmicos son similares y muestra las características técnicas de cada material en su respectiva clasificación (tabla 4).

### Propiedades de los aislantes térmicos

Tabla 4: Materiales aislantes térmicos

<b>Materiales de estudio</b>			
Materiales	Conductividad térmica (w/m °c)	Calor específico (J/kg°c)	Densidad (kg/m3)
Concreto armado	2.50	1000	2400
Poliestireno extruido eko-therm	0.037	1450	29
Poliestireno expandido estandar	0.040	1400	15
Placa de poliestireno expandido espumalit	0.040	1200	12
Espuma de Poliuretano thermocal	0.039	1400	30

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura 2.2 se puede ver como la radiación solar llega directa al muro de exterior de la edificación al atravesar las capas del muro los rayos provenientes de la radiación solar hacen que el interior de la edificación sea más cálida, por lo cual al no contar con materiales que

aíslen el calor, este se almacena dentro y provoca que aunque el sol se haya ido, el interior siga con la temperatura cálida (en clima cálido), por lo cual es necesario ayudar a la edificación a reducir significativamente este encapsulamiento de calor.

Los materiales aislantes térmicos tienden a reducir significativamente el consumo de energía, lo que hace que se considere una buena inversión a mediano y largo plazo, al mismo tiempo estos materiales son recomendados por que disminuyen las moléculas de bióxido de carbono en el medio ambiente por el mismo ahorro de energía que produce su utilización.

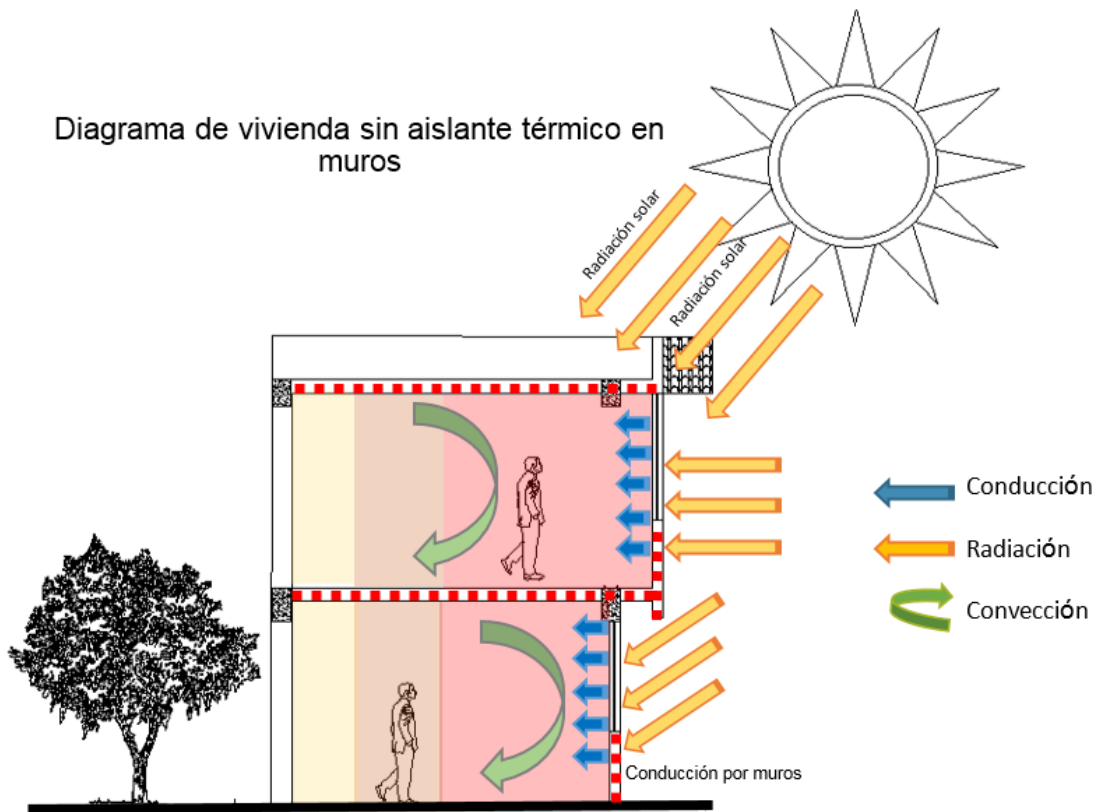


Figura 2.2 Diagrama de vivienda sin aislante térmico en muros

Fuente: Elaboración propia

## 2.4 Componentes del muro.

Según Rodríguez (2015) los materiales aislantes térmicos son productos naturales, minerales, vegetales o sintéticos que nos generan una elevada resistencia al calor, reduciendo a su vez la transferencia de calor del exterior al interior, estos materiales tienen distintas características y usos que dé acuerdo a las diferentes circunstancias que se tengan su aplicación puede variar, así mismo nos aportan diferentes beneficios como el ahorro energético y el mejoramiento del confort térmico en su interior.

Para el aislamiento de muros existen distintos sistemas en el mercado que nos ayudan a proteger del calor las edificaciones, además de que nos garantizan protección térmica, actualmente uno de los sistemas que se emplea con más regularidad es el de poliestireno expandido (EPS), este material es utilizado en el forrado de muros dando como resultado una alta resistencia térmica y mecánica (figura 2.3).

Además de ser un material ligero versátil y aislante de calor disminuye el peso de los edificios y aumenta su seguridad, evita fisuras derivadas de contracciones por temperatura de los sistemas rígidos y resiste al paso del tiempo ya que no enmohece ni se pudre, a su vez agiliza los procesos de instalación y manipulación por su ligereza.

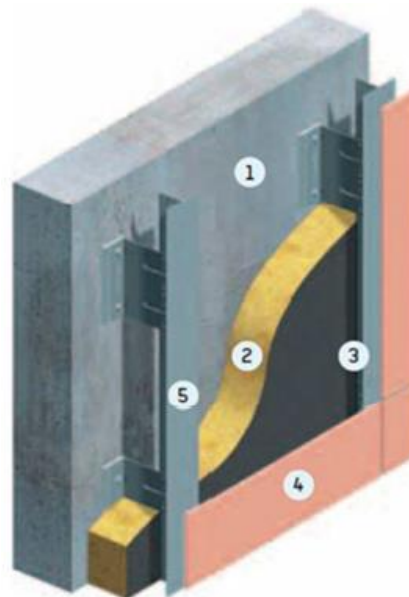


Figura 2.3 Componentes de un muro en fachada ventilada.  
Fuente: Merino (2016).

**Este sistema se compone de diversos componentes:**

1. Cerramiento del edificio u hoja interior en Fachada nueva.
2. Aislamiento térmico.
3. Cámara de aire.
4. Hoja exterior de acabado.
5. Subestructura.

**Cerramiento del edificio u hoja interior en fachada nueva:** Es el muro o estructura existente sobre el cual se instalará el material aislante térmico, este mismo debe estar previamente preparado para recibir la estructura y aislante térmico.

**Aislamiento térmico:** Estos materiales habitualmente son utilizados en fachadas ventiladas por lo general son de lana de vidrio o lana de roca, rígida o semirrígida y su correcta aplicación es una solución que aporta un buen aislamiento térmico.

**Cámara de aire:** Esta misma puede ser parcialmente ventilada y solo dispone de aberturas en la parte inferior y superior de la fachada o totalmente ventilada cuando también permaneces abiertas las juntas verticales y horizontales dependiendo su sistema constructivo.

**Hoja exterior y subestructura:** La hoja visible desde el exterior, la protección ligera, esta se fija al cerramiento de la fachada mediante estructuras metálicas de aluminio o acero galvanizado diseñadas de acuerdo al espacio y al edificio, en caso de que la construcción ya esté construida anteriormente, es más conveniente de disponer de materiales ligeros como por ejemplo paneles metálicos, maderas etc.

**Características generales:** Una fachada ventilada posee beneficios que al contener una cámara de aire y ventilada entre el acabado o revestimiento exterior funciona el efecto de convección este mismo calentado por la radiación solar, que incide directamente a la fachada. Esta cámara de aire evita la condensación del vapor de agua y las posibles apariciones de humedades nocivas que pudieran aparecer su sistema constructivo puede observarse en la siguiente figura 2.4

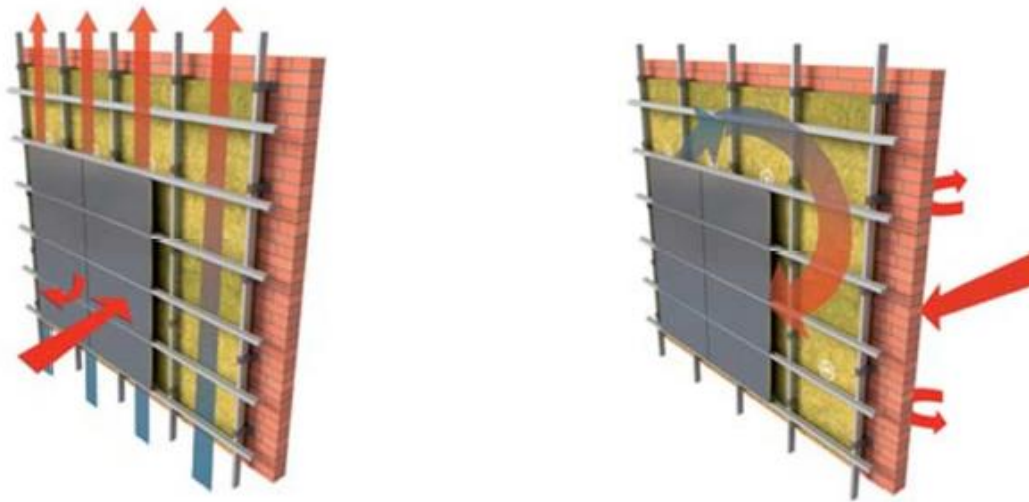


Figura 2.4 Efecto refrescante en verano y Bajo consumo de calefacción en invierno  
Fuente: Merino (2016).

## 2.5 Sistemas constructivos.

Dentro del campo de la construcción, en los últimos años se han venido experimentando nuevos y amplios sistemas de industrialización en los materiales de construcción, donde los conceptos que se tenían estándares, han ido evolucionando y a su vez dando oportunidad a nuevos sistemas que nos ofrecen distintos beneficios y aportan nuevas técnicas, herramientas, equipos de construcción y materiales que mejoran la eficiencia de los procesos constructivos así mismo nos ayudan a reducir costos de dichos materiales y mano de obra.

### Tipos de sistema constructivo más utilizado:

Uno de los sistemas constructivos que ha sido utilizado en la fabricación de viviendas en serie ha sido el de Muros fabricados a base de moldes metálicos con concreto vaciado y refuerzo de malla electrosoldada, este sistema ha sido asociado con la tecnología del vaciado en sitio, por lo cual la productividad e industrialización del proceso lo hace más complejo y rápido, este proceso además genera un favorable desempeño en la fabricación de casas en serie y aporta un beneficio económico al constructor.

Según Botero (2013) los encofrados metálicos están compuestos en particular por cierto número de objetos rígidos o paneles que se pueden adaptar a una forma exclusiva y su complejidad hacen que estos tableros metálicos sean capaces de emplearse en diversos sitios y lugares para su colocación, siempre y cuando el cuerpo del edificio requiera las mismas dimensiones y necesidades arquitectónicas.

Además de esto, el sistema de encofrado metálico nos permite conservar dichos paneles metálicos, que al dar su respectivo seguimiento y mantenimiento, nos proveerá usos adicionales, donde el tipo de proyecto lo requiera, así mismo cuidar la calidad de dichos paneles hará que estos sean factibles y cumplan con los parámetros correctos para su reutilización. En cuanto a su manejo es sencillo y práctico para los trabajadores ya que no se requiere de maniobras peligrosas y es suficiente con las indicaciones del encargado de la obra, por lo cual podría describirse como un trabajo repetitivo que hará que dicho proyecto se realice casi en cuestión de horas.

Morales et al. (2019) mencionan las siguientes ventajas en la utilización de los muros a base de moldes de concreto vaciado y destaca que las siguientes variantes son las más usuales en su utilización:

- Construcción modular
- Mayor rapidez en su construcción
- Hace la construcción más rentable
- Se adapta a los distintos tipos de diseño
- Tiene un alto nivel de productividad
- Es de fácil manejo

Este sistema constructivo posee de piezas diseñadas para cada espacio y nos brinda moldes y soportes que con debida precaución y revisión deben colocarse, estos mismos deben cumplir con requerimientos de acuerdo a las normas, estos moldes nos sirven como soportes temporales que nos ayudaran al proceso de vaciado de concreto, al estar conectados entre sí nos brindan más soporte y su colocación nos da el efecto de estar unidos como si fueran vigas y columnas, además del aluminio utilizado también se fabricaban moldes de acero corrugado como refuerzo para su construcción, los más comunes para el tipo de construcción de viviendas en serie eran los de grado 40 y 60 ksi (figura 2.5).



Figura 2.5 Sistema manoportable de paneles modulares

Fuente: Forsa (2016).

## Sistema Manoportable

Silva (2011) menciona que el sistema de encofrado mediante el sistema de Manoportable está diseñado para incrementar la producción en la construcción de viviendas en serie, además menciona que sus principales características se conforman por las siguientes razones:

- Se componen por paneles que pueden variar sus materiales como aluminio, acero, madera y plástico, que al colocar unidos entre sí logran encofrar la totalidad del proyecto, este molde es un sistema constructivo que las constructoras de viviendas en serie han optado por realizar, ya que su sistema favorece el tiempo de entrega del proyecto.
- El tamaño de sus paneles permite que sean fácilmente transportados y ayuda a lograr la rapidez y efectividad ya que no es necesario el uso de mecanismos para su colocación en obra.
- Puede ser colocado en distintos tipos de suelo o desniveles, donde se requiera su utilización.
- Estos paneles tienen la capacidad de producir el 100% de una vivienda en el tiempo de 24 horas, con un grupo mínimo de operadores que no necesariamente requieren de capacitación extensa ni maniobras arriesgadas (figuras 2.6 y 2.7).



Figura 2.6 Sistema manoportable para la construcción de viviendas unifamiliares de concreto

Fuente: Forsa, 2016.



Figura 2.7 Sistema manoportable para la construcción de viviendas multifamiliares de concreto

Fuente: Forsa, 2016.

### **Vaciado de concreto:**

El concreto que se utiliza en estos sistemas debe de cumplir con las especificaciones referentes a las normas de sismorresistencia y debe de seguir un plano instructivo determinado, antes de comenzar trabajos de vaciado de concreto en el sitio, además de esto se debe de seguir con los requerimientos y puntos a obtener entre el encargado de la obra y el proveedor de concreto.

De acuerdo al tipo de concreto que se utilice, este deberá realizarse con cierto grado en el proceso de vibrado. Posteriormente el concreto deberá curarse, el método más empleado para las losas es colocar un cordón de arena por todos los bordes e inundarlos con agua (Silva, 2013).

A su vez existen variedad de productos que nos ayudan a crear capas impermeables en los muros y nos aportan resistencia al paso de agua, que nos da como resultado una correcta hidratación del cemento.

### **Desencofrado:**

Para concluir con el proceso se requiere que el concreto haya adquirido entre el 15 y el 20% de la resistencia a los 28 días para poder retirar los moldes, este tipo de concreto industrializado logra obtener entre 8 y 1 horas después de colocado. En la actualidad la calorimetría nos permite comprobar la resistencia mínima para el desencofrado y con ayuda de sensores se miden los cambios de temperatura del concreto, así mismo se establece el momento en el cual ha adquirido los 15% o 20% de la resistencia últimos 28 días (Silva, 2013).

## 2.6 Condiciones climatológicas de la región.

En Baja California predomina un clima seco (69%), que también se puede encontrar en la división como un clima Seco (24%), su temperatura anual es de 18 a 19 °C.

Las temperaturas más altas son mayores de 30°C y se presentan en los meses de mayo a septiembre, a su vez la más baja es de 5°C en el mes de enero.

Las lluvias son escasas y rondan alrededor de 200 mm de precipitación total anual, en la región noroeste del estado se encuentra el clima templado y seco con lluvias de invierno (INEGI).

Cabe mencionar que esta información sobre los factores climáticos de la región de estudio, influye sobre el confort y su posibilidad de un grado de aceptabilidad de los usuarios, ya que las viviendas construidas mayormente carecen de un elemento constructivo que protejan la vivienda del frío y del calor, al construir con una planeación climatológica mejoraremos la estabilidad térmica entre el exterior de la vivienda y el interior de la misma.

La presencia de un clima seco influye de manera tangencial en proyectos donde la incidencia solar y las altas temperaturas afectan la comodidad térmica, al construir con materiales aislantes térmicos contribuimos al impacto negativo sobre el ambiente urbano (figura 2.8).

El clima exterior de una vivienda forma parte del medio ambiente y afecta a la refrigeración interior de la edificación, por lo cual aprovechar los materiales sofisticados y aptos para la envolvente de un edificio nos permite obtener beneficios térmicos.



Figura 2.8 Mapa Raster de climas (1950-2000)

Fuente: INEGI 1976. Marco Geoestadístico Nacional 2020.

## 2.7 Clima de Tijuana

El municipio de Tijuana Baja California cuenta con un clima donde predomina el seco y se presenta en las costas orientales y el templado en el Pacífico, en la región central y centro-norte, el clima es semiseco templado. Se distingue por tener veranos calurosos y secos, a su vez inviernos húmedos y templados, la clasificación oficial que se le da al clima de Tijuana de acuerdo al Plan de Desarrollo Urbano 2010, es el de un clima predominantemente árido, templado y seco, en el cual se presentan veranos cálidos y secos y lluvias en invierno: se presenta una temperatura promedio anual de 21 °C y en verano asciende a los 26 °C (tabla 5); en la temporada de verano se presentan vientos relativamente fuertes con una velocidad aproximada de 43km/hora, también conocidos como vientos de Santana, que pueden llegar a ser calientes y secos o fríos y secos en invierno, estos vientos provienen de la Sierra Madre, los cuales bajo condiciones climáticas pueden llegar a superar los 140 km/hora.

En invierno las temperaturas medias mínimas son de 6°C y las lluvias en promedio anual de 230mm, y en verano las mínimas son de 18°C lo que ubica la región dentro de la definición de templada (Implan, 2010).

Tabla 5: Máximos y mínimos mensuales de Tijuana clima

Ene	Feb	Mar	Abri	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	
18	19	19	20	21	22	24	26	25	24	21	19	Maxima °C
9	10	11	13	14	16	18	19	18	15	12	9	Minima °C

Fuente: [www.clima.de.tijuana](http://www.clima.de.tijuana)

## 2.8 Horas del sol

Tijuana goza de varias horas de sol al año, que suman la cantidad de 3 mil horas de sol al año promedio. Dando como resultante los días más largos en Mayo, Junio y Julio.

Los meses con días cortos son Enero, Noviembre y Diciembre como se puede observar en la figura 2.9

El mes con más horas en el año es Junio que cubre aproximadamente 10 horas de insolación, así mismo el mes con menos sol es Enero con solo 7 horas promedio de luz solar (Camacho, I. 2019).

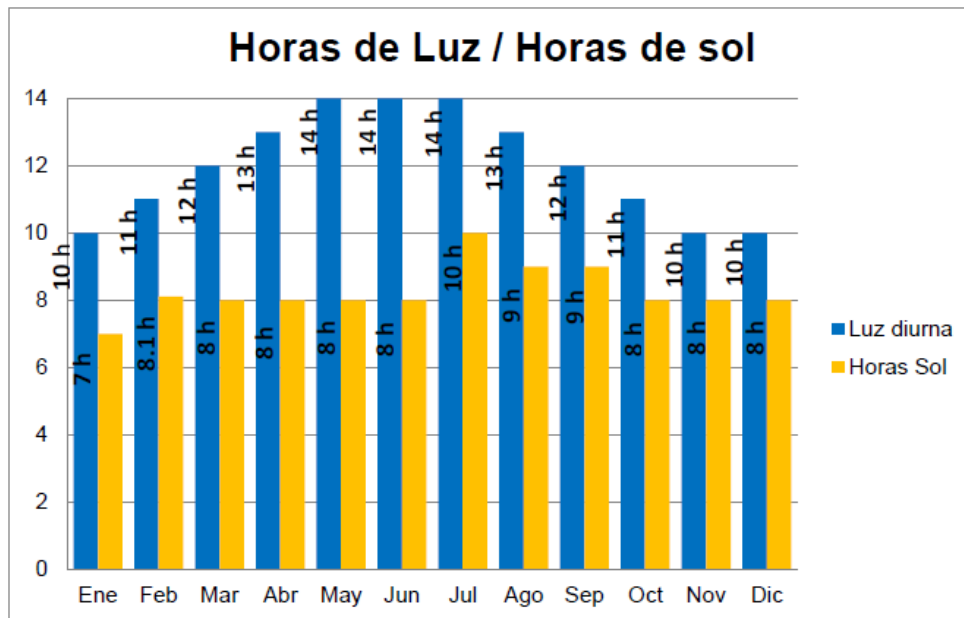


Figura 2.9 Horas de Luz / Horas de sol

Fuente: Atlas, W. Clima y previsión meteorológica mensual. 2002-2018

## 2.9 Temperatura

Con respecto a la temperatura podemos definir la temperatura como un parámetro del aire húmedo que se caracteriza por el calor o la cantidad de energía térmica de la masa de aire (se analiza la temperatura del aire Temperatura de bulbo seco) (Fuentes, 2009).

Para poder llevar a cabo una investigación referente al tipo de temperatura de una zona, es necesario tomar en cuenta las siguientes características del sitio para poder comparas, las variaciones de temperaturas del sitio varían como se muestra en la figura 2.10.

- Temperatura media o promedio: Esta temperatura es tomada de las distintas temperaturas por cada día del año.
- Temperatura Máxima promedio: Esta temperatura es registrada por cada día del año.
- Temperatura mínima promedio: Es el promedio de las temperaturas mínimas registradas por cada día.
- Zona de confort: Este rango de temperatura es tomado referente al grado de confortabilidad del ocupante de la vivienda.

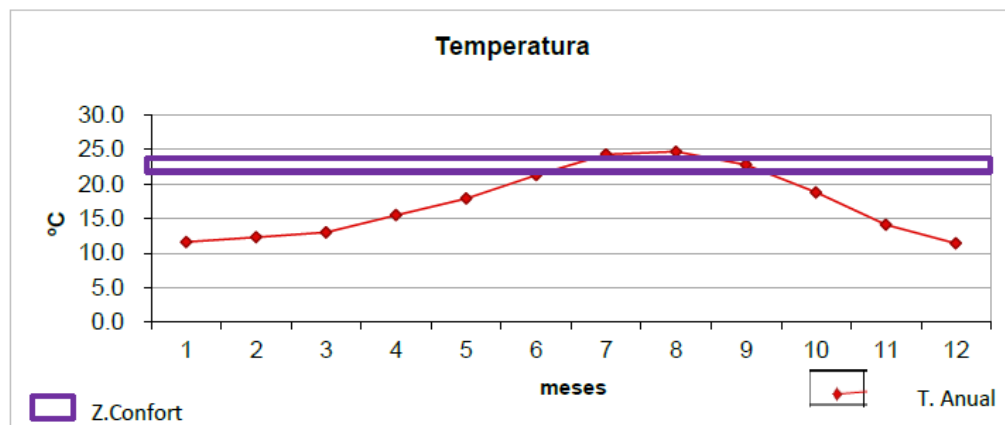


Figura 2.10 Temperatura ambiente de Tijuana 2016 (Dr. Fuentes).

Fuente: Calculado en el Programa diseñado por Dr. Fuentes a partir de los criterios de García (1981).

### **3 Metodología**

En la siguiente parte del trabajo se muestra como la Metodología que se llevó a cabo en esta investigación fue experimental y tomó como referencia los distintos materiales aislantes térmicos que existen en el mercado, así como sus características físicas, para realizar la simulación con instrumentos de medición de temperatura en viviendas ya construidas, en la siguiente sección se mostrara el análisis estadístico para la evaluación de los resultados y se realizaran comparaciones con materiales diseñados para el retardo de transmisión de calor en muros.

#### **3.1 Diseño de la investigación**

Para el presente trabajo tomaremos como referencia las problemáticas con las que cuentan las viviendas construidas en serie, en la ciudad de Tijuana, Baja California, a su vez realizaremos distintas pruebas de simulación comparando los distintos sistemas constructivos que se pueden aplicar a muros de concreto armado existente, estos materiales serán propuestos por sus características que retardan la transmisión de calor hacia el interior de la vivienda.

Para la realización de este estudio se seleccionó un tipo de vivienda en específico donde su sistema puede ser definido como un procedimiento de industrialización en obra gruesa, que permite construir rápidamente ya que su utilización se basa en la colocación de canaletas y refuerzos permitiendo una velocidad de construcción con baja ocupación de personal, con este sistema se ahorran tiempos de entrega y se obtienen bajos costos por la alta productividad de mano de obra, así mismo se garantizan un numero alto de unidades construidas.

Este tipo de vivienda fue elegida por ser un caso que presenta una serie de características poco favorables para el confort térmico del interior de la vivienda.

### 3.2 Características de la investigación

Las características de la investigación se establecieron en función del objetivo de la investigación, se evaluó el comportamiento térmico del objeto de estudio y se realizaron comparaciones de los distintos materiales aislantes térmicos que son utilizados mayormente en la región de Tijuana, estos materiales seleccionados serán los más adecuados para el recubrimiento de la envolvente de la edificación, se tomaron en cuenta los objetivos previamente establecidos, para poder definir el enfoque, esta comparación de materiales aislantes térmicos será puesto a prueba en el programa Ener-habitat el cual nos arrojará los materiales que nos generan un diagnóstico adecuado del comportamiento térmico de las viviendas (tabla 6).

Tabla 6: Diseño de investigación

<b>Diseño de investigación</b>		
<b>Objetivo: Determinar el comportamiento térmico de los materiales aislantes térmicos en viviendas construidas</b>	<b>Parámetros: Características de los materiales de estudio</b>	<b>Método: Simulación de temperaturas en muros de concreto armado.</b>
<b>Cuasi-experimento</b>		
<b>Enfoque de estudio en viviendas construidas y selección de materiales</b>		<b>Características físicas del muro de concreto armado existente</b>
<b>Simulación térmica</b>		
<b>Selección de sistema constructivo</b>	<b>Criterio de selección de materiales aislantes térmicos</b>	<b>Análisis de los distintos resultados de comportamiento térmico con distintos materiales</b>
<b>Análisis comparativo</b>		
<b>Resultados de los distintas simulaciones con materiales aislantes térmicas</b>	<b>Características de los materiales aislantes térmicos factibles para el retardo de radiación solar</b>	<b>Periodo del retraso de radiación solar en muros</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.3 Características físicas del Muro a evaluar

Para la realización de este estudio se seleccionó un sistema constructivo utilizado en la construcción de viviendas en serie en la ciudad de Tijuana B.C., la fabricación de estas viviendas consiste en un proceso de encoframiento del concreto con cimbra de aluminio, con un espesor final del muro de 0.10m con el interior de malla electrosoldada y un techo de concreto que puede ser de 0.10m a 0.12m de espesor, este sistema se ilustra en la figura 3.1.

Este sistema de construcción también llamado sistema de muro vaciado, ha sido utilizado con más frecuencia por sus beneficios y por ser un gran aporte a la construcción de viviendas en serie, este sistema permite mayor rapidez, por lo cual es más económico, el proceso de muro vaciado combina la fortaleza del concreto con la maleabilidad del acero o aluminio, esto genera un equilibrio que nos permite la industrialización rápida de viviendas. En el sistema industrializado de construcción de viviendas las formaletas juegan un papel importante ya que su sistema permite la reutilización y el rendimiento de sus paneles metálicos, estas mismas forman una estructura que permite resistir grandes presiones sin deformarse, con el propósito de moldear el concreto, el cual genera grandes presiones cuando es vaciado dentro de la estructura temporal (Chushan, 2011).

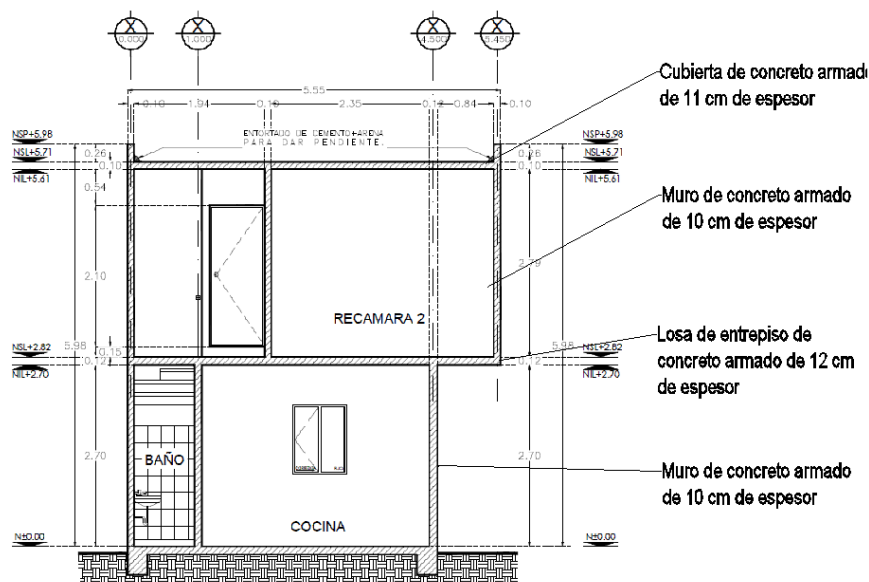


Figura 3.1 Corte por fachada de vivienda a base de concreto armado

Fuente: Elaboración propia

### **3.4 Concreto**

El principal componente del concreto es el cemento, este ocupa entre el 7%-15% del volumen de la mezcla, el cemento posee propiedades de adherencia y cohesión, lo que permite un alto grado de resistencia a la compresión, sus agregados ocupan entre el 59%-76% del volumen total de la mezcla.

Sus materiales naturales o artificiales granulares se separan en fracciones finas que pueden ser arena gruesa o triturado para abarcar los espacios eficientemente, el tercer componente es el agua y ocupa entre 14%-18% del volumen de la mezcla, este componente es el encargado de proceder al fraguado, donde se obtiene como resultado el concreto.

La calidad y procedencia de los agregados nos ayudaran a determinar la resistencia y durabilidad del concreto ya que actualmente se pueden modificar dichos aditivos, pueden acelerar su proceso o retardarlo según las necesidades del proyecto a realizar o para obtener un resultado en específico o acabado singular, a su vez el clima interfiere en su utilización, por lo cual es esencial conocer las condicionantes que nos permitirán obtener un resultado final adecuado (Chushan, 2011).

### **3.5 Encofrado y accesorios.**

El sistema de encofrado y accesorios es uno de los elementos más importantes para el proceso constructivo de viviendas industrializadas, debido a que estos mismos nos ayudan esencialmente a dar forma al concreto y generalmente a dar aspecto exterior a sus edificaciones, estas formaleas o paneles nos ayudan al encoframiento del concreto y su rapidez hace que la ejecución sea simple y repetitiva (figura 3.2).

Actualmente existen variedad de materiales que pueden ser utilizados como paneles de encofrado, como el metal, aluminio, plástico, madera e incluso fibra de vidrio, en este sistema el más utilizado es el sistema de metal debido a su gran durabilidad y puede ser utilizado un número indefinido de veces, además de esto su disponibilidad en el mercado, así como sus accesorios son más fáciles de localizar (Chushan, 2011).

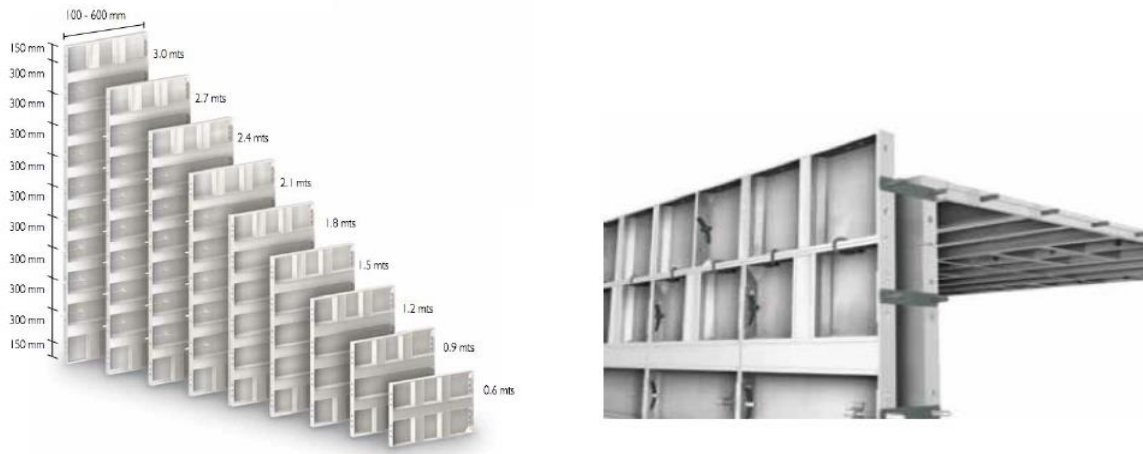


Figura 3.2 Formaleta de lámina y panel complemento

Fuente: Catalogo FORSA 2010

Para proceder con el montaje de paneles es necesario tener modulado en planos constructivos cada pieza y material, para empezar se puede por los muros interiores como con los exteriores, sobre trazos ya previamente definidos y calculados, se puede comenzar el armado con la colocación de los esquineros, fijándole un panel metálico a cada lado para garantizar que quede a escuadra y se fije insertando una cuña a través de la ranura del pasador (Chushan, 2011). (Figura 3.3, 3.4)



Figura 3.3 Angulo exterior y esquinero de muro interno

Fuente: Catalogo FORSA 2010



Figura 3.4 Pasadores

Fuente: Catalogo FORSA 2010

El proceso técnico para proceder a la colocación de los paneles de encofrado es mínimo y solo requiere de herramienta simple como lo son los armadores, martillos de uña, espátula de limpieza, flexómetro, balde plástico para guardar y transportar pasadores y cuñas, balde de desencofrante y brocha etc. Además del respectivo equipo de protección personal, este sistema carece de materiales especializados y ayuda a la rápida construcción de viviendas en serie (Chushan, 2011). (Figura 3.5)



Figura 3.5 Cuña y Corbatas

Fuente: Catalogo FORSA 2010

### **3.6 Análisis de los materiales aislantes térmicos en un muro de concreto vaciado de concreto**

Para la elección de los materiales aislantes térmicos fue necesario realizar una simulación con el programa Ener-Habitat en su versión 2.2.0 2014, el cual nos ayuda a realizar simulaciones numéricas para comparar el desempeño térmico de sistemas constructivos de muros de la envolvente de una edificación que carece de condiciones óptimas para el confort térmico de sus habitantes, además de analizar la envolvente con cierto material aislante térmico, debemos contemplar las condiciones climáticas las cuales nos arrojarán resultados próximos de temperaturas. A continuación, se realiza una descripción de lo que se puede realizar con el programa.

- Realiza simulaciones numéricas sobre la transferencia de calor dependiendo del tiempo, lo que permite tomar en cuenta el efecto de masa térmica y no solo la resistencia térmica de los materiales constructivos, a su vez es una herramienta de gran ayuda ya que en lugares con alta radiación solar y grandes variaciones de temperatura a lo largo del día, como lo es en la mayor parte del territorio mexicano.
- Nos ayuda a evaluar el desempeño térmico de los sistemas constructivos formados por capas homogéneas y algunos sistemas constructivos formados por capas homogéneas y una capa no homogénea. Un ejemplo de capa no homogénea es el bloque de concreto hueco, la vigueta y bovedilla hueca de concreto y la vigueta y bovedilla de poliestireno.
- Evalúa los sistemas constructivos en dos condiciones de la edificación, con sistema de aire acondicionado o sin aire acondicionado. Con aire acondicionado el parámetro principal de comparación es la carga térmica por unidad de área debida a la transferencia de calor por el sistema constructiva. Sin aire acondicionado el parámetro es la energía térmica que entra a la edificación por unidad del sistema constructivo, este es de fácil uso y no requiere de una capacitación especial.
- Solo evalúa la transferencia de calor por unidad de área del sistema constructivo de muros o del techo de la envolvente, por lo que solo puede ser usado para seleccionar el mejor sistema constructivo de muros o techos para el clima de importancia, este mismo no toma en cuenta otros factores en la transferencia de calor total de una edificación como lo son ventanas, ventilación, personas y equipos, por lo que los resultados no deben ser usados para el dimensionamiento de sistemas de aire acondicionado.

- Puede ser utilizado para calcular la transferencia de calor por conducción a través de ventanas y puertas, sin considerar la parte de los marcos y la transferencia de calor por radiación solar en la parte transparente.

Los resultados de la herramienta son con fines comparativos. La temperatura del aire al interior, los valores de la energía y otros parámetros reportados, son resultados de la transferencia de calor exclusivamente por el sistema constructivo en evaluación. No representan los valores que tendrán en situaciones reales donde existen otros factores a realizar.

A continuación, se presenta una breve descripción de cómo utilizar la herramienta Ener-habitat.

1. Registrarse la primera vez que se desee usar.
2. Acceder a la herramienta usando el usuario y contraseña previamente registrado, la herramienta es sensible al uso de mayúsculas.
3. Seleccionar tipo de sistema: Con capas homogéneas. Una capa homogénea es aquella que tiene un solo material y no tiene huecos de aire. Cuando se selecciona con una capa no homogénea, el sistema constructivo puede tener además otras capas homogéneas.

Nota: En la opción de sistemas con capas homogéneas se puede realizar simultáneamente las evaluaciones de hasta 5 sistemas constructivos y tarda unos cuantos minutos. Las simulaciones se llevan a cabo en un servidor, por lo que la sesión puede cerrarse e incluso cerrar el navegador web o apagarse la computadora. El programa enviara un mensaje al correo electrónico registrado del usuario para avisar la finalización de la ejecución.

4. Definir el lugar, el periodo (mes específico o análisis anual), la condición de uso; con o sin aire acondicionado, si es un techo o un muro y el número de sistemas constructivos a evaluar.
5. Proporcionar el ángulo de inclinación y la orientación del techo o muro.
6. Definir del número de capas del sistema constructivo.
7. Definir, para la capa exterior, el espesor, la absorción y el material. Para las capas siguientes, definir el espesor y el material. El usuario tiene la opción de usar materiales de la base de datos o definir sus propios materiales, se requiere proporcionar la conductividad térmica, la densidad y el calor específico en unidades del sistema internacional.

8. Repetir los pasos del 6 y 7 hasta definir todos los sistemas constructivos.

### **Entrega de resultados**

Ener-Habitat muestra los resultados obtenidos en forma gráfica. En la parte inferior presenta una tabla con las condiciones en que fue realizado el cálculo. Esta tabla permite cambiar los valores de entrada, una vez cambiados presionar la opción "Correr programa".

No se pueden cambiar ni el tipo de sistema constructivo, ni el número de sistemas constructivos. Si se desean cambiar estos parámetros se debe iniciar el programa con la opción "Iniciar". La opción "Descargar archivos" permite descargar los resultados mostrados y otros más en forma de archivos de texto simple (.txt) dentro de una carpeta "dat".

Graficas de acuerdo con la condición y periodo seleccionados:

- Cuando la evaluación se realiza en condición de "sin aire acondicionado", para un mes, muestra una gráfica de la temperatura del aire al interior de cada sistema constructivo (S.C. numero) y de la temperatura del aire al exterior para el día típico del mes seleccionado. También muestra una gráfica del factor de decremento para cada sistema constructivo en el día típico. Si se hace click sobre cualquiera de las gráficas se observará en pantalla completa.
- Cuando la evaluación se realiza en condición de "sin aire acondicionado", durante un año, muestra dos gráficas. La primera presenta el factor de decremento promediado durante un año para cada sistema constructivo. La segunda presenta el factor de decremento para cada sistema constructivo en el día típico de cada mes.
- Cuando la evaluación se realiza en condición de "con aire acondicionado", para un mes, muestran tres graficas de energía requerida durante el día típico por unidad de área. Para enfriamiento, para calentamiento y la energía total, que es la suma de la de enfriamiento y la de calentamiento.
- Cuando la evaluación se realiza en condición de "con aire acondicionado", durante un año, muestran seis gráficas. Las tres de arriba presentan la energía requerida durante el año por unidad de área, para enfriamiento, para calentamiento y la energía total. Las tres

de abajo presentan la energía requerida durante el día típico de cada mes por unidad de área, para enfriamiento para calentamiento y la energía total.

Los datos fueron ingresados en el programa de servidor, Ener-Habitat el cual realiza simulaciones numéricas de transferencia de calor dependientes del tiempo, con lo cual toma en cuenta el efecto de masa térmica y no solo la resistencia térmica. En esta simulación se evaluó el sistema con capas homogéneas de tierra, las cuales fueron resueltas con la siguiente fórmula (Figura 3.8).

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0$$

Figura 3.6 Fórmula de modelo para sistemas de capas homogéneas

Fuente: Ener-Habitat 2014

Donde T es la temperatura, t es el tiempo, p es la densidad del material, c es el calor específico, k la conductividad térmica, y x indica la coordenada espacial a lo ancho del sistema constructivo. Con los datos anteriores se realizó la comparación entre las variables de los distintos espesores de tierra con lo cual se pudo determinar que el espesor era el óptimo para ser utilizado como base para un techo verde, los valores de la tierra utilizada son los siguientes: Conductividad térmica 0.95 W/mk, Densidad de 1600 Kg/m<sup>3</sup>, Calor específico 920 J/kgK (Ener-Habitat 2014).

### 3.7 Materiales que se medirán mediante simulación

En la siguiente parte de la investigación se mostraran los distintos sistemas constructivos que serán parte de las simulaciones que nos ayudarán a seleccionar el material más óptimo y adecuado de acuerdo al sitio y grado de estudio, como referencia se seleccionó el sistema constructivo de viviendas en serie de la ciudad de Tijuana Baja California, que se encuentran construidas en mayor parte por sistemas industrializados, estos sistemas carecen de un buen planteamiento arquitectónico referente al estado térmico adecuado en su interior, su envolvente no es la conveniente al tipo de clima y región donde se encuentra, además de esto podemos mencionar que al no contar con materiales aislantes térmicos, la vivienda es difícil de habitar sin un sistema de calefacción adecuado, lo que a su vez provoca un uso excesivo de energía eléctrica.

Para poder llevar a cabo esta investigación fue necesario conocer detalladamente el sistema constructivo así como las características de la envolvente. Se encontró que los muros de estas viviendas en serie están construidas de concreto vaciado, con refuerzo de malla electrosolda, con un espesor total del muro de 0.10 m (figura 3.7), este proceso de construcción mediante paneles de encoframiento de concreto será nuestro primer prototipo a evaluar, simularemos este muro existente en el programa Ener-Habitat y realizaremos 4 comparaciones donde los materiales propuestos cumplen con los requerimientos adecuados para el retardo de transmisión de calor por muros.

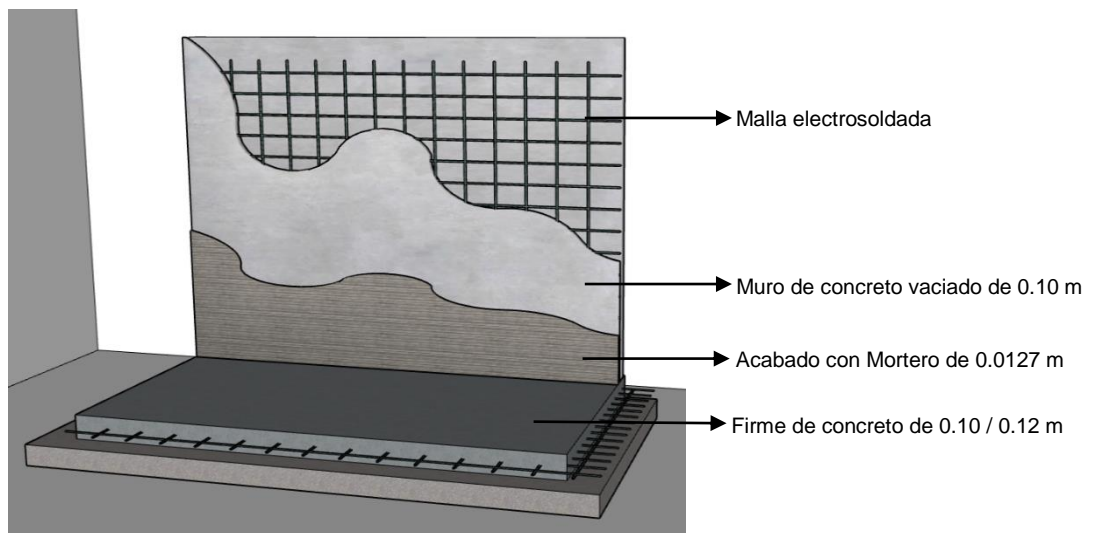


Figura 3.7 SC1 Muro base de concreto vaciado de 0.10 m de espesor

Fuente: Elaboración propia

A continuación se mostrarán los diagramas realizados para el análisis estadístico, donde mediante la simulación en el programa Ener-Habitat, el muro base (SC1) será puesto a prueba y se analizará su comparación con cada tipo de material aislante térmico, para ello se realizarán pruebas de temperatura y se analizarán los distintos resultados de acuerdo al sistema elegido para su evaluación.

### **Muro tipo SC2 Aislamiento térmico de placas de poliestireno extruido Eko-Therm**

El segundo material aislante térmico es un sistema propuesto para la colocación en los muros exteriores de la vivienda, este material se presenta en placas de termoaislantes de espuma de poliestireno formadas por extrusión (poliestireno tipo XPS, por sus siglas en inglés). Se fabrica utilizando exclusivamente agentes que protegen la capa de ozono, es decir a diferencia de otros materiales convencionales, las placas Eko-Therm no contiene gas freón, esta característica es de las principales debido a la conservación del medio ambiente que posee. Este material cuenta con varias características que lo hacen superior a los distintos tipos de aislantes térmicos, ya que su alta resistencia a la humedad hace que el interior se mantenga estable en los ambientes húmedos, así mismo ofrece alta resistencia mecánica en techo y muros.

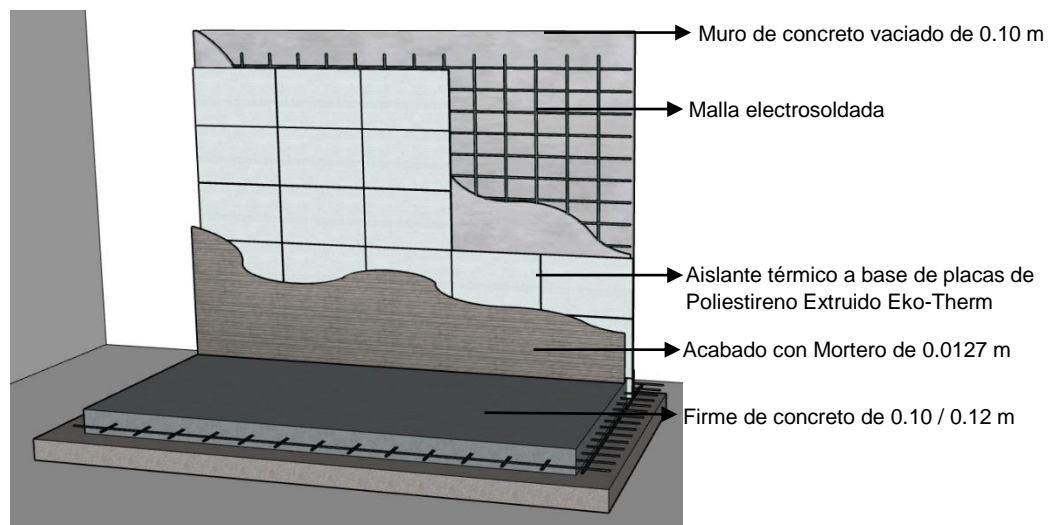


Figura 3.8 SC2 Muro base de concreto vaciado con aislamiento térmico de placas de poliestireno extruido Eko-Therm

Fuente: Elaboración propia

### Muro tipo SC3 Aislamiento térmico con placas de poliestireno expandido estándar

El tercer material aislante térmico es un sistema propuesto para la colocación en los muros exteriores de la vivienda a base de placas de poliestireno expandido estándar, con medidas comunes de 1.00m x 1.00 m estándar. Este material es un producto utilizado en la industria de la construcción para el revestimiento térmico de muros y tiene beneficios como su resistencia al paso de calor, su ligereza y su bajo costo de adquisición e instalación.

Estas placas son adheridas sobre cualquier tipo de sustratos convencionales y su instalación no requiere de mano de obra especializada, así mismo su disponibilidad de material lo hace factible a la necesidad del proyecto ya que está disponible en distintas dimensiones comerciales que facilitan realizar la elección más óptima para su colocación.

Además de su bajo costo en el mercado, es encargado de lograr un ahorro energético, es autoextinguible y tiene un mejor anclaje de recubrimientos (figura3.9).

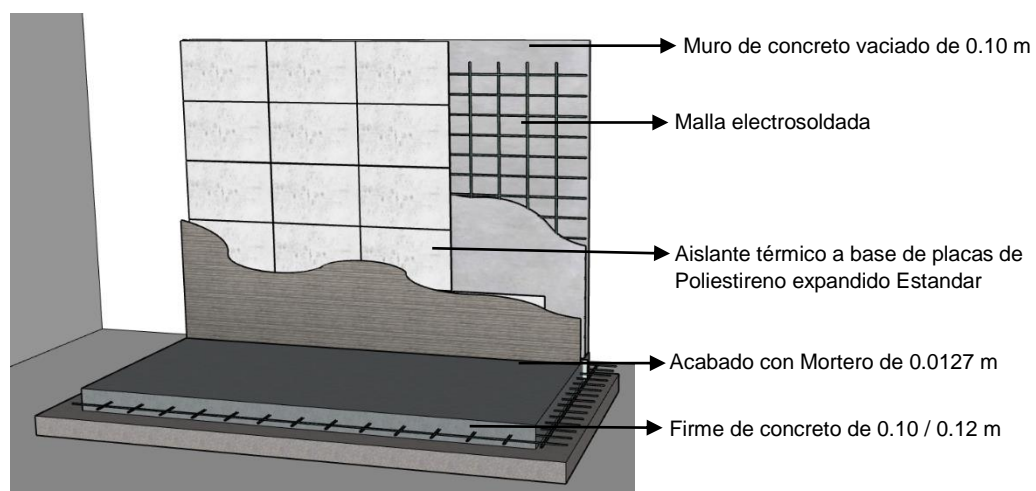


Figura 3.9 SC3 Muro base de concreto vaciado con aislamiento térmico de placas de poliestireno expandido estándar

Fuente: Elaboración propia

### Muro tipo SC4 Aislante térmico a base de placas de poliestireno expandido (Espumalit)

El cuarto material aislante térmico es un sistema propuesto para la colocación en los muros exteriores de la vivienda, a base de placas aislantes de poliestireno expandido (Espumalit), este material puede tener caras planas, perfiladas, paralelas o angulares y son un material con mucha aceptación en la industria de la construcción, en el revestimiento térmico de muros, cubiertas cimentaciones etc., debido a su gran resistencia al paso de calor, sus excelentes propiedades de resistencia estructural con respecto a su ligereza y por su bajo costo en adquisición e instalación sencilla. Además de ser un material de fácil adquisición se puede emplear en varios sistemas como pisos, muros, techos de lámina, fibrocemento exterior o interior de muros, además se muestra las siguientes ventajas que nos ofrece este material:

- Excelente aislamiento térmico para techos y muros (exterior o interior)
  - Excelente resistencia mecánica, a compresión.
  - Bajo peso por lo cual aligera la estructura de la edificación.
  - Aislamiento acústico
  - Buen acabado
  - Fácil manejo y rápida instalación.
  - Es auto extingible, y no propaga flama.
  - Resistencia a la humedad

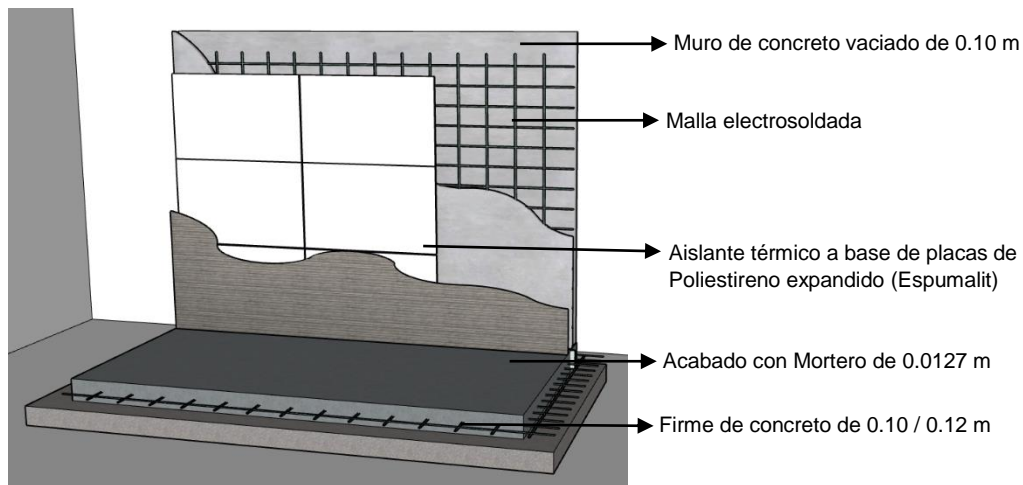


Figura 3.10 SC4 Muro base de concreto vaciado con aislamiento térmico de placas de poliestireno expandido (Espumalit)

Fuente: Elaboración propia

### Muro tipo SC5 Aislante térmico a base de espuma líquida de poliuretano (Thermocal)

El quinto material aislante térmico es un sistema propuesto para la colocación en los muros exteriores de la vivienda, a base de espuma líquida de poliuretano, este material es un producto líquido que a su vez aplicado se expande en contacto con el aire formando una espuma rígida permitiendo un perfecto sellado y relleno de cavidades. Es un material adecuado para el sistema de aislación térmica y acústica y su funcionalidad puede ser para varios lugares que se requiera como por ejemplo, grietas, ductos de ventilación, encuentros de materiales, cañerías y todo tipo de cavidades a cubrir. La espuma de poliuretano garantiza una buena aislación térmica y acústica ya que sus principales propiedades poseen un alto grado de densidad de su espuma y su adherencia a una amplia variedad de materiales como lo son:

- Concreto
- Mampostería
- Ladrillos
- Cemento
- Yeso
- Fibrocemento
- Tabiques en general
- Poliestireno expandido
- Metales y madera

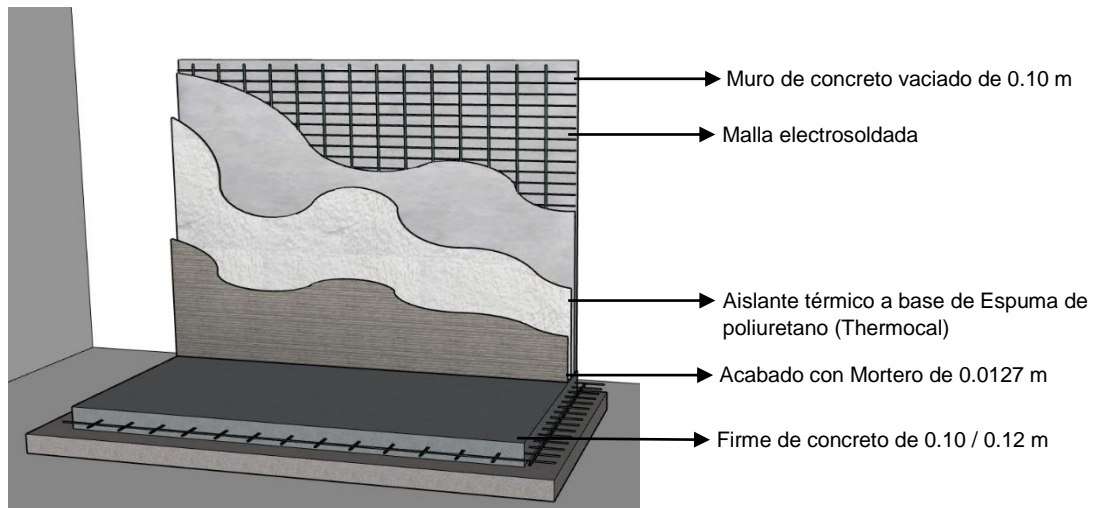


Figura 3.11 SC5 Muro base de concreto vaciado con aislamiento térmico de espuma líquida de poliuretano

Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestra una tabla con los valores de los materiales de estudio que serán necesarios para poder llevar a cabo la simulación de nuestro estudio, estos valores han sido incluidos en nuestro estudio y serán colocados en el programa Ener-Habitat, donde el programa nos arrojará resultados de las variables dependiendo al material a comparar.

Como el objetivo inicial era conocer el comportamiento térmico de los distintos materiales aislantes térmicos, cada uno de ellos fue seleccionado de acuerdo a las necesidades de la vivienda, así como la necesidad de crear un ambiente adecuado térmicamente y aceptable para el usuario. Las viviendas estudiadas presentan un sistema constructivo similar de acuerdo a su método de construcción que es vaciado de concreto en moldes de encoframiento, por lo cual los siguientes materiales aislantes cumplirán su función de retardar el calor por muros de concreto de 0.10 m, estos tendrán un recubrimiento exterior de 0.0127 m de espesor (tabla 7).

Tabla 7: Materiales a utilizar en programa Ener-Habitat

<b>Materiales de estudio</b>				
Materiales	Conductividad térmica (w/m °c)	Calor específico (J/kg°C)	Densidad (kg/m3)	Espesor (m)
Concreto armado	2.50	1000	2400	0.10
Poliestireno extruido eko-therm	0.037	1450	29	0.0254
Poliestireno expandido estandar	0.040	1400	15	0.0254
Placa de poliestireno expandido espumalit	0.040	1200	12	0.0254
Espuma de Poliuretano thermocal	0.039	1400	30	0.0254
Mortero cemento arena (exterior)	1.00	1000	1800	0.0127

Fuente: Elaboración propia

#### **4 Descripción y análisis de resultados**

La aplicación del estudio se llevó a cabo conforme a las características y necesidades que tienen las viviendas en la ciudad de Tijuana Baja California, donde predomina el clima cálido-seco en verano, por lo cual esta investigación tendrá como motivo de estudio el mes de agosto donde el clima es caluroso y seco, a su vez nos mostrara un correcto uso de los nuevos materiales aislantes térmicos que existen en la actualidad.

Las actividades que se tomaron en cuenta son las que se realizan normalmente dentro de una vivienda, donde la mayoría del día se realizan actividades moderadas y de descanso, con base a estas consideraciones y al tipo de material de dichas viviendas fue posible realizar el estudio de temperaturas, donde las temperaturas interiores fueron puestas a prueba mediante sistemas de simulación donde el principal objetivo fue lograr espacios confortables térmicamente para sus usuarios.

El espesor recomendado de recubrimiento para colocar en la envolvente es de 0.0254m de poliestireno, ya que al aumentar el espesor a más de 0.0254 la resistencia térmica ya no es significativa (Gallegos Pérez, 2016).

Los materiales propuestos en este estudio son materiales con un medida estándar y fácil de conseguir en el mercado, estos mismos son clasificados y tienen como finalidad la de proveer estabilidad térmica a la vivienda y dejar de lado la utilización de sistemas mecánicos de enfriamiento que a su vez traerá consigo beneficios al usuario.

La vivienda seleccionada tendrá como base de estudio un sistema constructivo de concreto vaciado que carecerá de alguna protección térmica en su envolvente, así mismo se realizara la comparación de los datos obtenidos en el programa y se realizara un análisis estadístico donde se conocerán las temperaturas de cada uno, esto mismo arrojándonos la variante de temperaturas en el interior de la vivienda (tabla 8).

Tabla 8: Sistemas constructivos

<b>Clasificación de materiales</b>	
<b>Materiales</b>	<b>Tipo de muro</b>
Mortero cemento arena (exterior) + Muro de concreto vaciado de 0.10 m + Mortero cemento arena (interior)	<b>SC1</b>
Mortero cemento arena (exterior) + Aislante térmico a base de placas de Poliestireno Extruido Eko-Therm + Muro de concreto vaciado de 0.10 m + Mortero cemento arena (interior)	<b>SC2</b>
Mortero cemento arena (exterior) + Aislante térmico a base de placas de Poliestireno expandido Estandar + Muro de concreto vaciado de 0.10 m + Mortero cemento arena (interior)	<b>SC3</b>
Mortero cemento arena (exterior) + Aislante térmico a base de placas de Poliestireno expandido (Espumalit) + Muro de concreto vaciado de 0.10 m + Mortero cemento arena (interior)	<b>SC4</b>
Mortero cemento arena (exterior) + Aislante térmico a base de Espuma de poliuretano (Thermocal) + Muro de concreto vaciado de 0.10 m + Mortero cemento arena (interior)	<b>SC5</b>

Fuente: Elaboración propia

La colocación de estos materiales aislantes térmicos será colocada en la parte frontal de la vivienda donde la mayor parte del día la radiación solar afecta a la estructura, estos materiales propuestos en su momento representaran un gasto extra al usuario, que notablemente serán parte de una inversión que tendrán como fin, una recuperación significativa en cuanto a la eliminación moderada o parcial de uso de materiales de climatización y consumo energético.

De acuerdo al análisis de materiales realizado en Ener-Habitat de los seleccionados, los materiales a utilizar son el poliestireno extruido, poliestireno expandido, poliuretano etc y se determinó que de acuerdo a sus propiedades y su conductividad térmica nos ofrecerán mejoras significativas al muro a evaluar.

#### 4.1 Resultados gráficos del mes de Agosto

En la siguiente grafica se pueden observar los resultados obtenidos del mes de agosto, donde predomina el clima cálido y seco, mes seleccionado por su temperatura elevada que nos produce un desconfort térmico en nuestro caso de estudio.

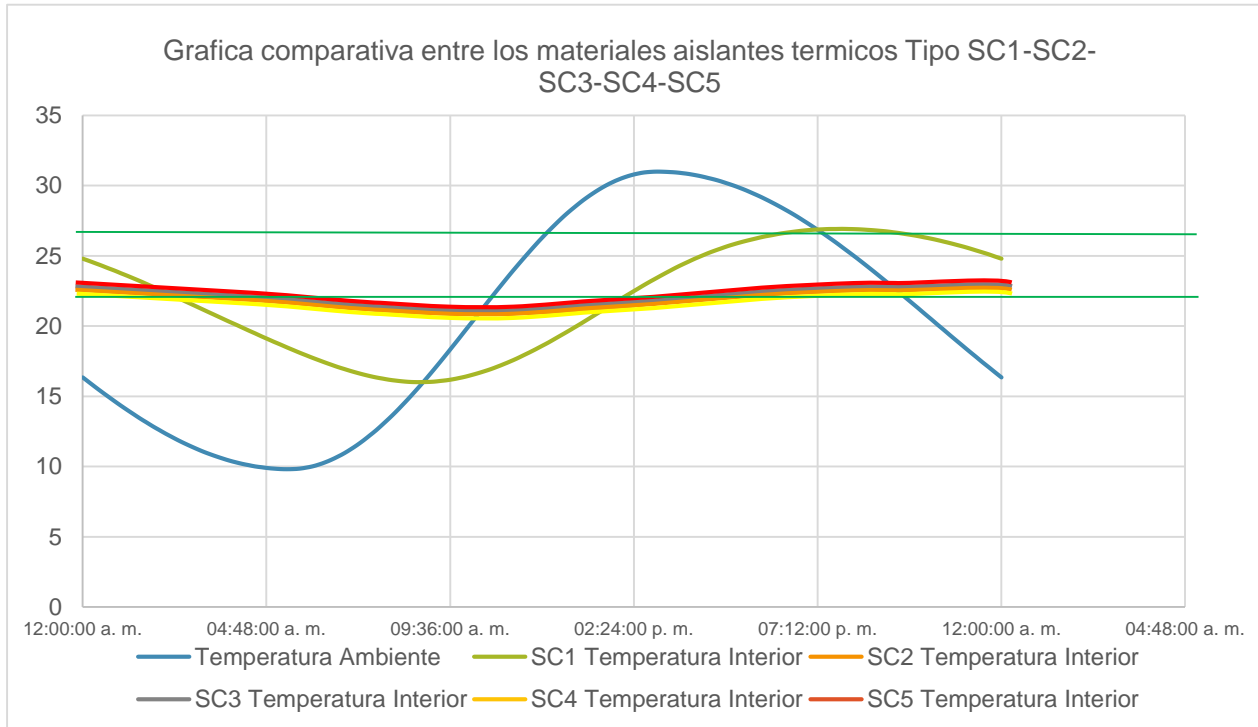


Figura 4.1 Grafica de diferencia de temperatura entre ambiente y sistemas propuestos

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 4.1 en el periodo seco del mes de agosto, se observó que los tipos de sistemas constructivos (SC2-SC3-SC4-SC5) son estadísticamente similares por su respuesta al cambio de temperatura y retardo térmico que generan en la vivienda, a su vez son distintivos al tipo (SC1) que es el muro de concreto vaciado de 0.10 m de espesor, este mismo no cuenta con ninguna protección en su envolvente, por lo cual como se puede observar en la gráfica, no se apega a los estándares de temperaturas de la zona de confort, y carece de propiedades que lo hagan resistente al flujo y radiación solar, este se muestra por debajo de la temperatura promedio aceptable y es motivo por el cual se determinó que los sistemas de materiales aislantes térmicos propuestos serán un importante método para el efecto de retardo térmico y evaporación del interior.

Se puede apreciar en los datos recopilados de temperaturas que los materiales aislantes térmicos propuestos muestran una solución muy eficaz para mejorar la eficiencia energética de las viviendas, y son los principales de proveer estabilidad térmica al interior, las características de estos materiales son el poliestireno extruido, poliestireno expandido, la espuma de poliestireno y la espuma de poliuretano, estos materiales son los más utilizados en la actualidad ya que a través de ellos se producen pérdidas de calor, humedad, vapor etc., además de garantizar protección térmica algunos ofrecen aislamiento termoacústico y mejoras a la envolvente de la vivienda.

Se calcularon los promedios de la temperatura interior de los distintos materiales aislantes térmicos, y se identificaron las temperaturas máximas, mínimas en periodo de transición, así mismo se puede apreciar que por el efecto de retardo térmico que nos arrojó la vivienda con protección en su envolvente, nos da resultados inferiores al interior esto debido a las características de los materiales propuestos y a su capacidad de retardo térmico (tabla 9).

Tabla: 9 Diferencia de temperatura entre ambiente interior de la vivienda

<b>Tipo</b>	<b>Temperatura máxima</b>	<b>Temperatura mínima</b>	<b>Temperatura promedio</b>
<b>SC1</b>	<b>26.91</b>	<b>16.1</b>	<b>21.51</b>
<b>SC2</b>	<b>22.67</b>	<b>20.97</b>	<b>21.82</b>
<b>SC3</b>	<b>22.73</b>	<b>20.89</b>	<b>21.81</b>
<b>SC4</b>	<b>22.73</b>	<b>20.89</b>	<b>21.81</b>
<b>SC5</b>	<b>22.71</b>	<b>20.91</b>	<b>21.81</b>

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 9 se puede apreciar claramente que la diferencia de temperatura interior de la vivienda fue mínima, en los muros tipo (SC2-SC3-SC4-SC-5) esto se debe a las características físicas de los materiales propuestos y al efecto de retardo térmico que poseen, en los promedios podemos observar que un muro con alguno de estos materiales aislantes térmicos muestra estabilización de temperaturas y se da por entendido que los materiales puestos a prueba cumplen con los requerimientos arquitectónicos para lograr un interior de vivienda confortable.

Por lo tanto tenemos que una vivienda con recubrimiento aislante térmico nos proveerá mejor estabilidad térmica del espacio interior y por consecuencia el beneficio para el usuario, con un mínimo de acondicionamiento mecánico.

Es claramente notorio que al tener un recubrimiento durante la época de verano se logrará maximizar las propiedades de los materiales aislantes térmicos y se podrán obtener beneficios térmicos en el interior.

A continuación se mostraran las gráficas correspondientes al tipo de sistema propuesto, donde se observa las diferencias de temperatura entre el muro tipo SC1, que como se puede observar en la gráfica no se apega a los estándares de la zona de confort, así mismo podemos observar la variante de temperaturas que son generadas por no tener alguna protección térmica, esto mismo a lo largo del día es cambiante y no genera un balance térmico, por lo cual una vivienda en época de verano puede ser muy cálida en su interior y provoca desconfort térmico a sus habitantes.

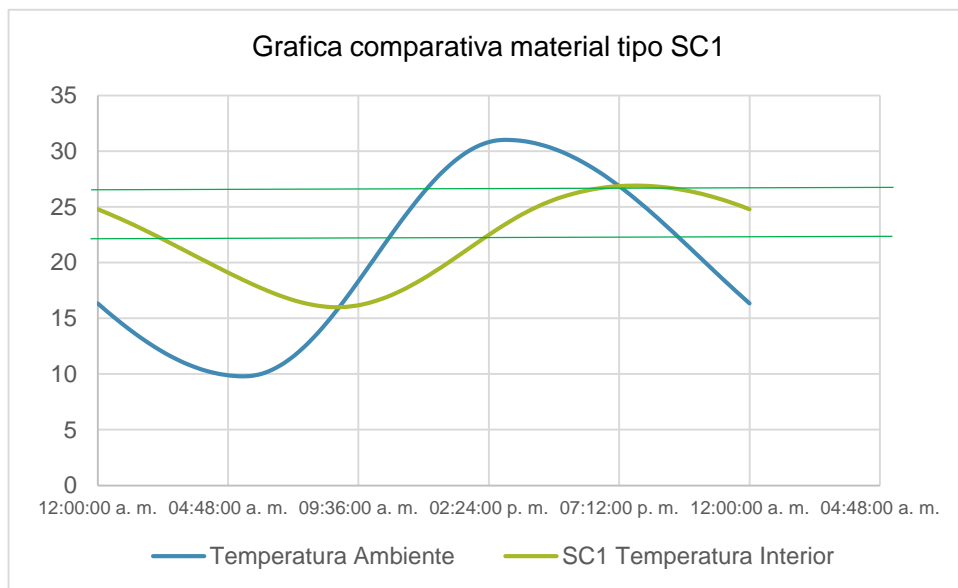


Figura 4.2 Gráfica comparativa entre muro de concreto vaciado y ambiente periodo cálido-seco.

Fuente: Elaboración propia

La siguiente grafica representa el tipo de material compuesto por placas de poliestireno extruido Eko-Therm , donde se puede apreciar la variante mínima en lo largo del día, esto se debe a las características físicas del material y propiedades que nos generan resistencia térmica, así mismo su densidad y conductividad térmica hacen que la vivienda se proteja de la radiación solar exterior, dando como resultado un ambiente controlado y apegado a los estándares de la zona de confort.

Al observar la gráfica se puede observar como la temperatura es constante y no varía a lo largo del día y podemos definir como uno de los materiales más adecuados para la colocación en la envolvente de muros de concreto vaciado.

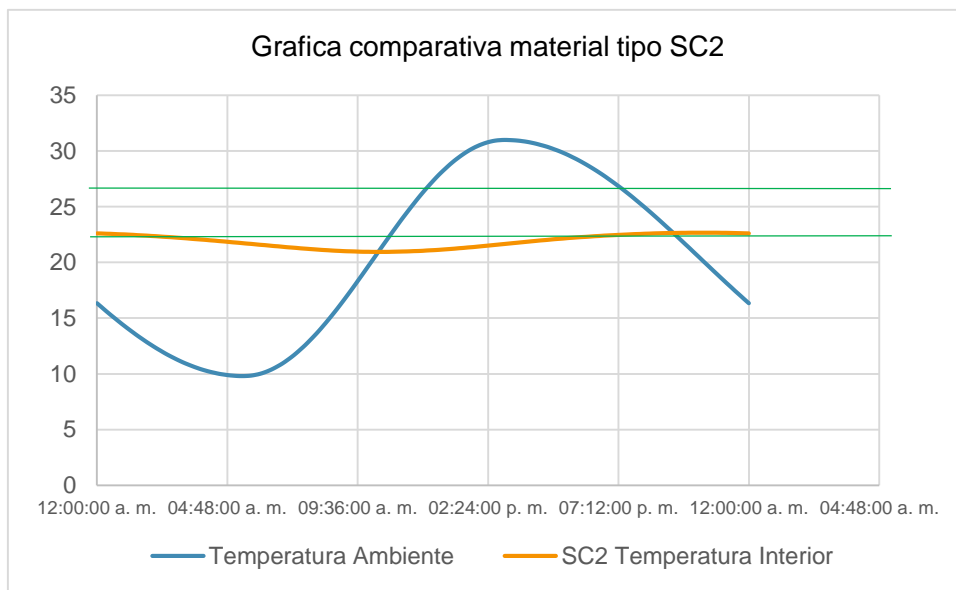


Figura 4.3 Grafica comparativa entre muro de concreto vaciado y placas de poliestireno extruido Eko-Therm en ambiente periodo cálido-seco.

Fuente: Elaboración propia

La siguiente grafica representa el tipo de material compuesto por placas de poliestireno expandido estándar, donde se puede apreciar la variante mínima en lo largo del día que es generada por la utilización de este aislante térmico, este material está compuesto por un 98% aire y 2% por materia prima , así mismo su densidad y conductividad térmica, hacen que la vivienda se proteja de la radiación solar exterior, dando como resultado un ambiente controlado y apegado a los estándares de la zona de confort.

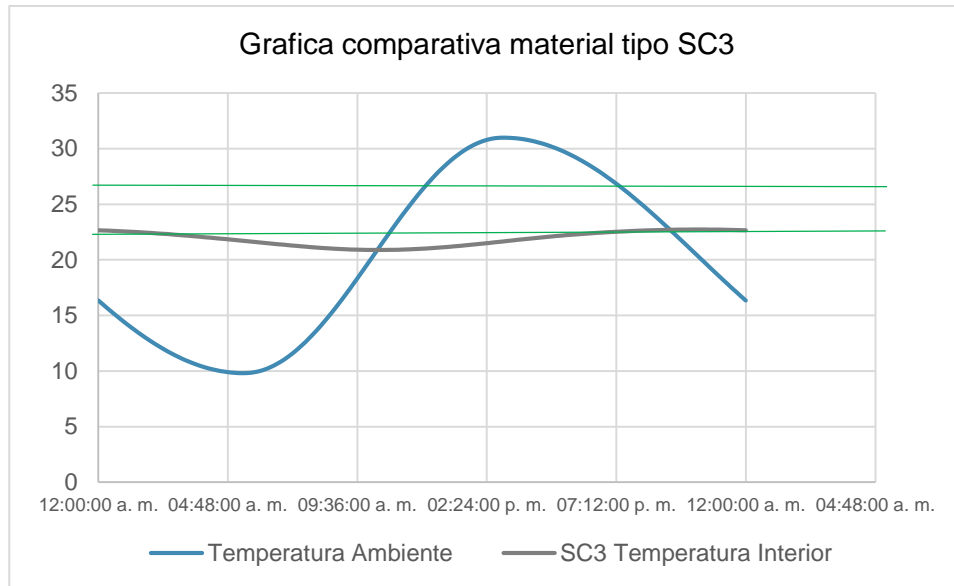


Figura 4.4 Grafica comparativa entre muro de concreto vaciado y placas de poliestireno expandido estándar en ambiente periodo cálido-seco.

Fuente: Elaboración propia

La siguiente grafica representa el tipo de material compuesto por placas de poliestireno expandido Espumalit, este material muy semejante al tipo SC3 nos arroja resultados similares en su mayoría por la similitud en sus propiedades y sus características físicas, así mismo sus beneficios de protección a la radiación solar nos dan como resultado un ambiente con temperaturas apegadas a la zona de confort térmico.

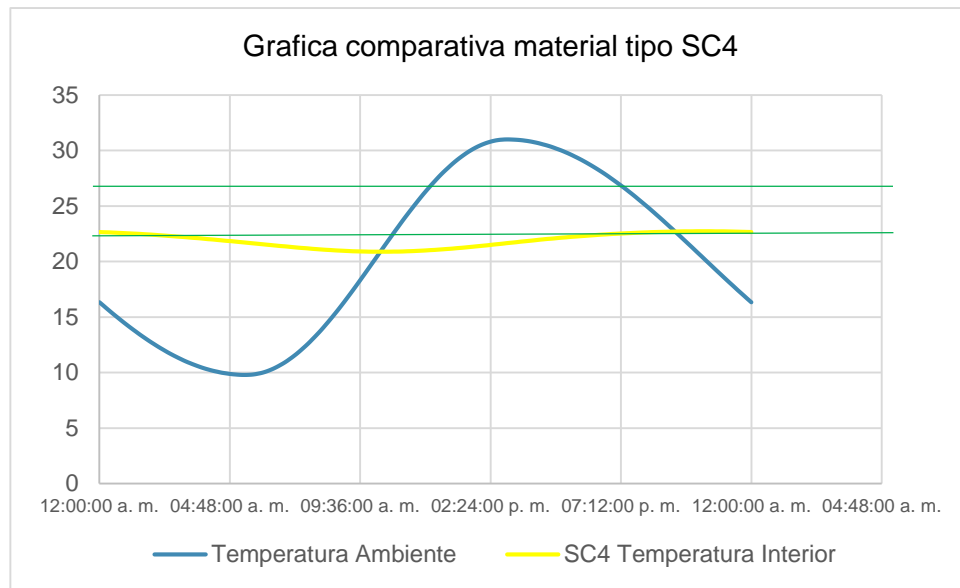


Figura 4.5 Grafica comparativa entre muro de concreto vaciado y placas de poliestireno expandido Espumalit en ambiente periodo cálido-seco.

Fuente: Elaboración propia

La siguiente y ultima grafica de este estudio representa la diferencia de temperaturas con el tipo de material compuesto por espuma de poliuretano, donde se puede apreciar la variante mínima en lo largo del día, esto resultado de las características físicas del material, como tal obtenemos una temperatura estable en el interior de la vivienda y podemos destacar que es un material apropiado para el control térmico de una vivienda sin protección alguna.

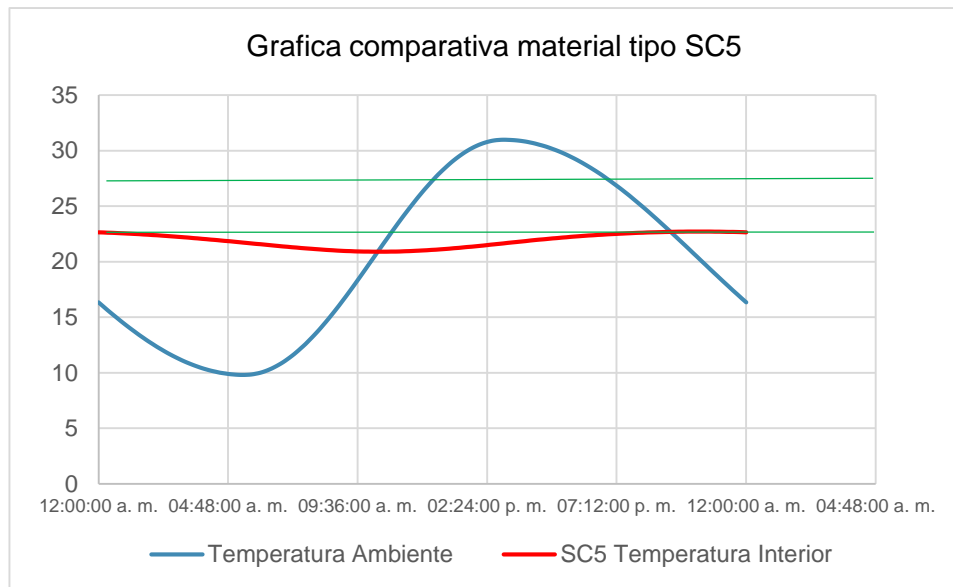


Figura 4.6 Grafica comparativa entre muro de concreto vaciado y Espuma de poliuretano Thermocal en ambiente periodo cálido-seco.

Fuente: Elaboración propia

## 5 Conclusiones

El presente estudio demostró la diferencia entre las temperaturas del interior y del exterior de una vivienda, dando como resultado un cambio significativo entre ambos espacios, por lo cual se demostró que poner a prueba los distintos materiales aislantes térmicos permite acercarse al control térmico y nos ayudan a crear módulos interiores que se acercan a condiciones de confort térmico favorable para sus habitantes.

La utilización de los materiales aislantes térmicos nos demostró que su uso y colocación adecuada al envolvente nos aporta reducciones de temperatura al interior de la vivienda y es viable seguir implementando dichos materiales para estabilizar la diferencia de temperaturas, el análisis de temperatura nos arrojó resultados donde un módulo sin protección térmica no es apto para la reducción de flujo de calor por muros, a su vez los 4 prototipos de muros propuestos con materiales aislantes térmicos cumplió su función adecuadamente para el periodo de verano, donde el clima seco afecta las condiciones ambientales (ambientales, humedad y ventilación).

Respecto a los materiales propuestos para el recubrimiento sobre la envolvente el poliestireno expandido (EPS) se concluye como el más adecuado por su origen sintético, que además es fácil de manipular sin medidas de protección y es el más usado en la construcción. Además cuenta con variables en su espesor y se utiliza como material para aligerar la construcción. Sus características de composición es 95% poliestireno y un 5% gas, lo que nos da una diferencia fundamental en la retención de temperaturas en una vivienda con paneles en su envolvente.

En conclusión si una vivienda cuenta con un recubrimiento sobre su envolvente mejora la situación térmica, lo que a su vez cumple con el objetivo de mejorar las condiciones de temperatura de confort para el usuario. Respecto al sistema constructivo de la vivienda prototipo se demostró que dichas viviendas no proveen las condiciones adecuadas de confort térmico, por lo cual este estudio se enfocó en el análisis de resultados que permitiría lograr mejoras al sistema constructivo de viviendas ya edificadas en la ciudad de Tijuana Baja California.

## 6 Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones que se presentan, son alternativas para mejorar los aspectos de la investigación que se realizó y se pueden aplicar en un futuro en las viviendas construidas con un sistema de concreto vaciado, como lo son las viviendas de interés social en la ciudad de Tijuana Baja California.

- Realizar adecuadamente la colocación de los materiales aislantes térmicos en la vivienda, tomando en cuenta la ubicación y las mediciones pertinentes para cada caso.
- Realizar propuestas de adecuaciones pasivas en el diseño, he implementarlos en la evaluación del sitio donde se cuente con el mismo sistema de viviendas en serie.
- Analizar cada nivel del edificio y orientación del mismo, para tener consideraciones a tomar en cuenta.
- Es necesario realizar consideraciones de materiales alternativos para la construcción desde un punto de vista térmico y estructural.
- Considerar estrategias pasivas de acuerdo al tipo de clima de la zona, en este caso mayor masa térmica, ventilación natural etc. Considerar estos puntos nos darán soporte que junto con la colocación de materiales aislantes térmicos nos darán beneficios mayores al interior de la vivienda.
- Se recomienda realizar estudios con diferentes sistemas constructivos construidos para medir el comportamiento térmico, y elegir el adecuado dependiendo sus características y resultados.

## 7 Bibliografía

Abdou, O. A., & Murali, K. S. (1994). The effect of air cells and mortar joints on the thermal resistance of concrete masonry walls. *Energy and buildings*, 21(2), 111-119.

Anderson, B. R. (1981). On the calculation of the U-value of walls containing slotted bricks or blocks. *Building and Environment*, 16(1), 41-50.

Anguita, A., Arco, J., & Hidalgo, D. (2018). Estudio del confort térmico en las aulas de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación de la Universidad de Granada= Study of thermal comfort in the classrooms of the Technical School of Building Engineering of the University of Granada. *Anales de Edificación*, 4(4), 55-64.

Allai Makkour, M. (2021). Estudio de la transmisión de calor en distintos aislantes utilizados para edificación mediante el método de simulación por redes.

ANSI/ASHRAE Standard 55. (2017). "ANSI/ASHRAE Standard 55-2017. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy." ASHRAE Standard (66).

Aviram, D. P., Fried, A. N., & Roberts, J. J. (2001). Thermal properties of a variable cavity wall. *Building and Environment*, 36(9), 1057-1072.

Barrientos, B. C. (2012). Evaluación del confort térmico en viviendas con cerramientos de mampostería de ladrillo cerámico. *Revista Investigación & Desarrollo*, 1(12).

Barrios, G., Casas, J. M., Huelsz, G., & Rojas, J. (2016). Ener-Habitat: An online numerical tool to evaluate the thermal performance of homogeneous and non-homogeneous envelope walls/roofs. *Solar Energy*, 131, 296-304.

Barrios, G., Huelsz, G., Rojas, J., Ochoa, J. M., & Marincic, I. (2012). Envelope wall/roof thermal performance parameters for non air-conditioned buildings. *Energy and Buildings*, 50, 120-127.

Borbón, A. C., Cabanillas, R. E., & Pérez, J. B. (2010). Determinación experimental y contraste numérico de la resistencia térmica de un muro de bloques de concreto hueco. *Información tecnológica*, 21(6), 163-176.

Camacho Ixta, I. A. (2019). Efectos en el ambiente térmico por recubrimiento en viviendas de interés social, en clima cálido-seco.

Cuitiño Rosales, M. G., Esteves Miramont, A., Maldonado, G., & Rotondaro, R. (2015). Análisis de la transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de quincha.

Czajkowski, J. D., Gómez, A. F., & Bianciotto, M. G. (2008). Comportamiento térmico de viviendas sociales mediante incorporación de mejoras de diseño en la envolvente. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 12.

Czajkowski, J. D., Basualdo, D. E., Coronel, A., & Gómez, A. F. (2019). Evaluación del comportamiento térmico de vivienda social mediante termografía. In *XXIII Congreso y XXXVIII Encuentro Arquisur (Belo Horizonte, Brasil, 2 al 4 de octubre de 2019)*.

Diego-Mas, J. A. (2015). Evaluación del confort térmico con el método de Fanger. *Valencia: Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia*.

Fuentes Freixanet, V. A. (2009). Modelo de análisis climático y definición de estrategias de diseño bioclimático para diferentes regiones de la República Mexicana.

Garza Alejandro, V. J. (2016). *Análisis del ciclo de vida de aislantes térmicos para la aplicación en edificaciones* (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).

Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. John Wiley & Sons.

Gutiérrez, R. S. R., & Sánchez, D. P. G. (2015). Construcción sustentable, análisis de retraso térmico a bloques de tierra comprimidos. *Contexto. Revista de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Nuevo León*, 9(11), 59-71.

Johanna Chushan, L. C. (2015). Sistema constructivo en muro vaciado y acabados.

Makkour, M. (2021). Estudio de la transmisión de calor en distintos aislantes utilizados para edificación mediante el método de simulación por redes.

Palomo Cano, M. (2017). Aislantes térmicos: Criterios de selección por requisitos energéticos.

Velázquez Rodríguez, M. (2016). *Materiales aislantes sostenibles* (Bachelor's thesis).

Sahagun, M. I. (2012). Techo verde como elemento reductor de transferencia de calor en clima calido seco extremo. Mexicali, Baja California.

Sántiz Gómez, H. (2014). *Estudios de transferencia de calor en la caseta CAGETEV*.

SALDAÑA-ACOSTA, J., ROSALES, J., & MUÑOZ, A. (2016). Reutilización de papel reciclado en la producción de material de construcción aislante térmico y acústico. *Revista de Investigación y Desarrollo*, 2(6), 68-74.

Silva, Omar Javier (2011). Formaletas para la construcción con sistemas industrializados. Bogotá.

Vargas Villamizar, F. A. (2016). Formaletería para la construcción con sistemas industrializados.

Velázquez Rodríguez, M. (2016). *Materiales aislantes sostenibles* (Bachelor's thesis).

Véliz-Párraga, J., & González-Couret, D. (2019). Vivienda de interés social en Portoviejo. Ambiente térmico interior. *AUS [Arquitectura/Urbanismo/Sustentabilidad]*, (26), 35-41.