

# **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y LA TECNOLOGÍA

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO**



## **ADECUACIÓN CONSTRUCTIVA MEDIANTE TERMOAISLANTES EN LOSA DE CONCRETO, PARA MEJORAR EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO AL INTERIOR DE LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL.**

### ***T E S I S***

que para obtener el grado de

**MAESTRA EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO**

Presenta

**GABRIELA DE JESUS BACELIS DORANTES**

Directora de Tesis

**DRA. KAREN ESTRELLA MARTÍNEZ TORRES**

**ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, ENERO 2023**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y LA TECNOLOGÍA



**MAESTRÍA EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO**

ADECUACIÓN CONSTRUCTIVA MEDIANTE TERMOAISLANTES EN LOSA DE CONCRETO, PARA MEJORAR EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO AL INTERIOR DE LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL.

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO PRESENTA

**GABRIELA DE JESUS BACELIS DORANTES**

Correo electrónico: [gabriela.bacelis@uabc.edu.mx](mailto:gabriela.bacelis@uabc.edu.mx)  
Identificador ORCID: 0000-0001-6783-5916

Director de tesis: Dra. Karen Estrella Martínez Torres.  
Identificador ORCID: 0000-0002-6744-8622

Co-Director de tesis: Dr. Raúl Pavel Ruiz Torres.  
Identificador ORCID: 0000-0001-5707-0411

Revisor de tesis: Dr. Marcos Eduardo González Trevizo.

Revisor de tesis: Dr. Julio César Rincón Martínez.

Revisor de tesis: Dr. Francisco Fernández Melchor.

**Ensenada, B.C. Enero de 2023**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO**  
**MAESTRÍA EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO**

**Adecuación constructiva mediante termoaislantes en losa de concreto, para mejorar el comportamiento térmico al interior de la vivienda de interés social.**

**TESIS**

Que para obtener el grado de Maestría en Arquitectura, Urbanismo y Diseño presenta:

**Gabriela de Jesus Bacelis Dorantes**

Aprobada por:



**Dra. Karen Estrella Martínez Torres**  
Directora de tesis



**Dr. Raúl Pavel Ruiz Torres**  
Co-director de tesis



**Dr. Marcos Eduardo González Treviso**  
Miembro del comité tutorial



**Dr. Julio César Rincón Martínez**  
Miembro del comité tutorial




**Dr. Francisco Fernández Melchor**  
Miembro del comité tutorial

Ensenada, Baja California, México. Enero 2023

## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Declaro que la tesis que se presenta contiene material original que no ha sido presentado para la obtención de un grado académico o diploma en esta u otra institución de educación superior. Asimismo, declaro que hasta donde yo sé no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona excepto donde se reconoce como tal a través de las citas.

Ensenada, B.C., 17 de enero de 2023



---

**Gabriela de Jesus Bacelis Dorantes**

## AVAL DE TERMINACIÓN DE TESIS

Fecha: 17 de enero de 2023

**DR. MIGUEL ENRÍQUE MARTÍNEZ ROSAS**  
Director de la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA  
Presente.-

Para dar cumplimiento al artículo 106 del ESTATUTO ESCOLAR DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA, en su TÍTULO CUARTO DE LOS TÍTULOS PROFESIONALES, GRADOS ACADÉMICOS Y DIPLOMAS, CAPÍTULO ÚNICO, sobre los requisitos para la obtención del grado de **Maestría en Arquitectura, Urbanismo y Diseño**, como directora de tesis en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento de Arquitectura y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño se emite la presente acta que avala que la estudiante:

### **GABRIELA DE JESUS BACELIS DORANTES**

ha concluido su tesis de grado titulada:

**ADECUACIÓN CONSTRUCTIVA MEDIANTE TERMOAISLANTE EN LOSA DE CONCRETO,  
PARA MEJORAR EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO AL INTERIOR DE LA VIVIENDA DE  
INTERÉS SOCIAL**

Lo anterior en virtud de que se realizaron las correcciones y recomendaciones del comité tutorial, por lo que ha sido aprobada para el proceso de presentación de examen de grado.

DIRECTORA DE TESIS **DRA. KAREN ESTRELLA TORRES MARTÍNEZ**

  
FIRMA

## DEDICATORIA

### **A Dios:**

Porque tus promesas siempre son ciertas.

“Te hare entender, y te enseñare el camino en que debes andar; Sobre ti fijaré mis  
ojos”

Salmos 32:8

### **A mi Madre:**

Porque eres mi fortaleza y mi inspiración. Mi compañera de aventuras, de  
desvelos, de retos y de travesuras. Tu vida es mi mayor ejemplo.

### **A mis Hermanos José María, Isabel y Caridad:**

Porque son mis palabras de aliento y de exhortación.

### **A mi sobrina Karime:**

Porque a tu corta edad me has enseñado la responsabilidad, la dedicación y el  
compromiso.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A CONACYT:**

Agradezco el haberme brindado la oportunidad de seguir sumando conocimientos y experiencias a mi formación a través de la investigación.

### **A mi Directora de Tesis, Dra. Karen Estrella Torres Martínez:**

Agradezco por su tiempo y guía, por su paciencia y confianza.

### **A mi Co-director de Tesis, Dr. Raúl Pavel Ruiz Torres:**

Gracias por su tiempo brindado, por sus enseñanzas y consejos.

### **Al comité tutorial, Dr. Marcos Eduardo González Treviso, Dr. Julio Cesar Rincón Martínez, Dr. Francisco Fernández Melchor:**

Gracias por sus asesorías y orientaciones.

### **A mis profesores:**

Gracias por ser parte del proceso que me llevó a la meta, toda mi admiración y respeto.

### **A mis amigos:**

A los que están cerca y a los que están lejos, a los amigos de siempre y a los nuevos amigos, gracias por compartir momentos y sabiduría.

## RESUMEN

A nivel mundial se ha observado una creciente demanda de energía para la climatización de edificios. La envolvente arquitectónica se considera un factor determinante en el consumo de energía y confort térmico, debido a que funciona como un intercambiador de temperatura, además de que las propiedades termo físicas y superficiales de los materiales determinan el comportamiento térmico de la envolvente. El objetivo de la investigación consistió en evaluar estrategias constructivas que permitan mejorar el rendimiento térmico de una losa de concreto de una vivienda de interés social en la ciudad de Ensenada, B.C. El desarrollo de la investigación consistió en dos etapas: la primera fue el monitoreo de parámetros climáticos mediante el uso de instrumentos; la segunda etapa consistió en la evaluación de escenarios mediante el programa de simulación térmico-energético *DesignBuilder*®. Los resultados del monitoreo evidenciaron que ambas viviendas presentaron un rendimiento térmico deficiente en el periodo invernal. Respecto a los escenarios simulados, se identificó que el número tres que corresponde a la colocación de termoaislante de 2 pulgadas en el exterior, presentó en ambos períodos un rendimiento térmico adecuado, con un decremento térmico menor al 40 % y un retraso térmico mayor al 50 % respecto al escenario de referencia. En invierno la oscilación promedio de la temperatura interior fue de 1.68 °C en contraste con la oscilación exterior de 3.25 °C y en verano la oscilación al interior fue de 3.37 °C en contraste con la oscilación exterior de 10.27 °C, esta diferencia es un indicativo de la estabilidad térmica. En conclusión, se demostró que el uso de termoaislantes mejora el rendimiento térmico de la losa de concreto en invierno y verano, por lo que se recomienda utilizar los materiales adecuados de acuerdo con el contexto climático y evaluar la eficiencia energética de las viviendas de interés social.

**Palabras clave:** Envolvente arquitectónica, Vivienda, Rendimiento térmico, Propiedades termo físicas, Aislantes.

## ABSTRACT

The latest data suggest that in the world has been an increasing energy demand for the air conditioning of buildings. The building envelope is considered a determining factor in energy consumption and thermal comfort since it functions as a temperature exchanger. The materials' thermophysical and surface properties determine the envelope's thermal performance. The research objective consisted of evaluating construction strategies to improve the thermal performance of a concrete slab of low-income housing in Ensenada, B.C. The research development consisted of two stages: the first was monitoring climatic parameters through the instruments used; the second stage consisted of evaluating scenarios through the thermal-energetic simulation program DesignBuilder®. The monitoring results showed that both houses presented poor thermal performance during winter. Concerning the simulated scenarios, it was identified that scenario number three, which corresponds to the placement of 2-inch thermal insulation on the exterior, presented an adequate thermal performance in both periods, with a thermal decrease of less than 40% and a thermal delay of more than 50% to the reference scenario. In winter, the average indoor temperature oscillation was 1.68 °C in contrast to the outdoor oscillation of 3.25 °C, and in summer, the indoor oscillation was 3.37 °C in contrast to the outdoor oscillation of 10.27 °C. This difference is an indication of thermal stability. In conclusion, thermal insulation improves the thermal performance of the concrete slab in winter and summer, so it is recommended to use the appropriate materials according to the climatic context and evaluate the energy efficiency of social housing.

**Keywords:** Building envelope, dwelling, thermal performance, thermophysical properties, insulation.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	VII
LISTADO DE ABREVIATURAS Y SIMBOLO .....	VIII
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>3</b>
1.1. Problema de investigación.....	4
1.2. Justificación .....	7
1.3. Antecedentes.....	11
1.3.1. Antecedentes Internacionales.....	11
1.3.2. Antecedentes nacionales.....	18
1.4. Pregunta de investigación e Hipótesis .....	23
1.5. Objetivos de investigación .....	23
1.5.1. Objetivo general.....	23
1.5.2. Objetivos específicos.....	23
1.6. Alcances y Limitaciones.....	24
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>25</b>
2.1. Cambio climático y demanda de energía.....	26
2.1.1 Demanda de energía en México y su impacto en el medio ambiente y la economía. ....	27
2.2. Clasificación de la vivienda en México.....	28
2.3. Factores que intervienen en el consumo de energía de las edificación..	30
2.4. La envolvente y sus componentes.....	31
2.4.1. Muros.....	31
2.4.2. Losas.....	32
2.5. La envolvente y su interacción con el ambiente exterior.....	33
2.5.1. Procesos de transferencias y ganancias de calor de la envolvente.	34
2.5.2. Propiedades termo físicas de la envolvente. ....	35
2.5.3. Propiedades superficiales de la envolvente.....	37

2.6.	Parámetros para evaluar el Rendimiento Termico de la envolvente.....	39
2.7.	Marco normativo respecto a la envolvente. ....	43
2.7.1.	Normativas internacionales. ....	43
2.7.2.	Normativas nacionales. ....	45
2.7.3.	Estrategias para la optimización de la envolvente.....	47
2.8.	Simulación térmica dinámica .....	50
2.8.1.	DesignBuilder .....	51
<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....</b>		<b>54</b>
3.1.	Diseño de la investigación. ....	55
3.1.1.	Unidad de análisis. ....	55
3.1.2.	Objeto de estudio.....	57
3.2.	Procedimiento Experimental .....	58
3.2.1.	Área de estudio.....	59
3.2.2.	Selección de muestra .....	60
3.2.3.	Días típicos.....	65
3.2.4.	Periodo de medición y simulación. Área de Estudio.....	70
3.2.5.	Recolección de datos in situ. ....	72
3.2.6.	Parámetros para simulación. ....	86
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>		<b>98</b>
4.1.	Evaluación del rendimiento térmico de la cubierta periodo invernal. ....	99
4.1.1.	Rendimiento térmico de la cubierta vivienda muestra con recubrimiento THERMAXX. ....	99
4.1.1.1.	<i>Análisis de las condiciones térmicas del ambiente, vivienda muestra. 102</i>	
4.1.2.	Rendimiento térmico de la cubierta vivienda testigo.....	104
4.1.3.	Análisis comparativo del rendimiento térmico entre la cubierta de la vivienda muestra y la vivienda testigo.....	105
4.2.	Validación del modelo.....	107
4.3.	Evaluación del rendimiento térmico de los escenarios simulados en el periodo estival. ....	109

4.3.1.	Rendimiento térmico del Escenario 1 – De referencia.....	109
4.3.2.	Análisis comparativo del rendimiento térmico entre el escenario de referencia y los escenarios 2, 3 y 4.....	111
4.3.3.	Rendimiento térmico del Escenario 3 - Propuesta con estrategia de termoaislante FOAMULAR.....	115
4.4.	Evaluación del rendimiento térmico del escenario seleccionado en el periodo invernal.....	117
4.4.1.	Rendimiento térmico del Escenario 3 - Propuesta con estrategia de termoaislante FOAMULAR.....	117
4.5.	Discusión.....	120
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.....</b>		<b>123</b>
1.1.	Evaluación del rendimiento térmico de las losa medidas <i>in situ</i> .....	124
1.2.	Evaluación del rendimiento térmico de los escenarios simulados.....	124
1.3.	Determinar la estrategia seleccionada que presente un mejor rendimiento y estabilidad térmica.....	126
1.4.	Futuras investigaciones.....	126
1.5.	Recomendaciones.....	127
<b>REFERENCIAS.....</b>		<b>128</b>
<b>APENDICES.....</b>		<b>139</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Resultado de la encuesta ENCEVI según porcentaje de aislamiento en las regiones climáticas.....	6
<b>Figura 2</b> Beneficios de los edificios sustentables o edificios verdes.....	10
<b>Figura 3</b> Comparativa del consumo de energía entre la envolvente original y la propuesta en las unidades de análisis. ....	12
<b>Figura 4</b> Resultados obtenidos con respecto a las pérdidas térmicas de la envolvente y al gasto de energía según estrategia. ....	13
<b>Figura 5</b> Resultados de las cargas de calefacción según estrategias aplicadas a la envolvente.....	14
<b>Figura 6</b> Diferencias en la transferencia de calor según configuración de muro. .	15
<b>Figura 7</b> Desempeño del aislamiento en muros y losas con respecto al uso y ahorro de energía.....	17
<b>Figura 8</b> Comparativo del tiempo de retraso de ambos modelos evaluados.....	19
<b>Figura 9</b> Modelo de vivienda construidas con sistema de encofrado de hormigón. ....	20
<b>Figura 10</b> Propuesta de ubicación del material de cambio de fase dentro de la losa. ....	21
<b>Figura 11</b> Porcentaje del consumo y emisiones en el 2017 del uso y construcción de los edificios.....	27
<b>Figura 12</b> Clasificación de los termoaislantes. ....	49
<b>Figura 13</b> Diagrama del proceso de la metodología para la simulación. ....	51
<b>Figura 14</b> Metodología de trabajo a través de módulos de análisis.....	53
<b>Figura 15</b> Diagrama del diseño de la investigación.....	55
<b>Figura 16</b> Diagrama del objeto de estudio.....	57
<b>Figura 17</b> Diagrama del diseño del experimento.....	58

<b>Figura 18</b> Mapa de la clasificación de bioclimas en el país. ....	59
<b>Figura 19</b> Datos climáticos de la ciudad de Ensenada de acuerdo con el archivo EPW del sitio. ....	60
<b>Figura 20</b> Ubicación del parque habitacional villas del prado I dentro de la zona urbana. ....	61
<b>Figura 21</b> Viviendas seleccionadas. ....	61
<b>Figura 22</b> Ubicación de las viviendas seleccionadas. ....	62
<b>Figura 23</b> Hoja de cálculo para determinar los días típicos. ....	66
<b>Figura 24</b> Grafica comparativa de la variable de temperatura del aire entre los días típicos históricos y el día medido in situ. ....	67
<b>Figura 25</b> Grafica comparativa de la variable de temperatura de aire entre el día típico medido in situ y el día típico para simulación. ....	68
<b>Figura 26</b> Día típico para la simulación de escenarios en el periodo estival. ....	69
<b>Figura 27</b> Consumo de la vivienda muestra equivalente en pesos y kWh. ....	70
<b>Figura 28</b> Análisis del recorrido solar en la vivienda muestra, del 8 de diciembre y 5 de enero. ....	71
<b>Figura 29</b> Diagrama del periodo de medición, validación y simulación, incluye el área de estudio. ....	72
<b>Figura 30</b> Instalación de los instrumentos al interior de los espacios de la vivienda muestra. ....	80
<b>Figura 31</b> Instalación de los instrumentos la cubierta exterior de la vivienda muestra. ....	82
<b>Figura 32</b> Instalación de los instrumentos al interior de los espacios de la vivienda testigo. ....	82
<b>Figura 33</b> Geometría de la vivienda y su contexto. ....	88

<b>Figura 34</b> Análisis de las temperaturas de las superficies interior y exterior de la losa de la vivienda muestra.....	100
<b>Figura 35</b> Análisis de las temperaturas del aire exterior e interior de la vivienda muestra.....	102
<b>Figura 36</b> Análisis de la temperatura de la superficie interior de la losa de la vivienda testigo.....	104
<b>Figura 37</b> Comparativo de la temperatura superficie interior de la losa de ambas viviendas.....	106
<b>Figura 38</b> Análisis comparativo de las temperaturas superficiales en interior y exterior de la losa de la vivienda muestra, datos in situ-simulación.....	108
<b>Figura 39</b> Análisis de las temperaturas del aire exterior e interior Escenario 1- De referencia.....	110
<b>Figura 40</b> Grafica comparativa de los A) DF y B) LT de los escenarios 1, 2, 3 y 4 para la losa.....	113
<b>Figura 41</b> Grafica comparativa de $T_{a_{ext}}$ y $T_{a_{int}}$ de los escenarios 1, 2, 3 y 4.....	114
<b>Figura 42</b> Análisis de las temperaturas del aire exterior e interior – Escenario 3.....	115
<b>Figura 43</b> Análisis de las temperaturas del aire exterior e interior – Escenario 3.....	118
<b>Figura 44</b> Análisis comparativo de las temperaturas del aire exterior e interior – Escenario De referencia y Escenario 3.....	119
<b>Figura 45</b> Análisis de las temperaturas del aire exterior e interior – Escenario 2.....	140
<b>Figura 46</b> Análisis de las temperaturas del aire exterior e interior – Escenario 4.....	140
<b>Figura 47</b> Grafica del error cuadrático medio o RMSE.....	142
<b>Figura 48</b> Calibración de termopares.....	143

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Comparativa del consumo de energía en kWh para climatización con y sin estrategia. ....	16
<b>Tabla 2</b> Casos de estudio. ....	21
<b>Tabla 3</b> Características de la vivienda en México según su clasificación. ....	29
<b>Tabla 4</b> Parámetros de diseño que afectan los requisitos energéticos del edificio. ....	30
<b>Tabla 5</b> Hallazgos en la rehabilitación de la envolvente. ....	32
<b>Tabla 6</b> Normas internacionales dirigidas a las edificaciones. ....	44
<b>Tabla 7</b> Normas mexicanas dirigidas a la envolvente. ....	45
<b>Tabla 8</b> Especificaciones de la envolvente opaca de la vivienda industrializada con sistema monolítico. ....	56
<b>Tabla 9</b> Definición de las variables independientes. ....	57
<b>Tabla 10</b> Especificaciones de la vivienda muestra. ....	63
<b>Tabla 11</b> Especificaciones de la vivienda testigo. ....	64
<b>Tabla 12</b> Tabla comparativa de los datos de la variable de temperatura exterior y su oscilación de los días típicos. ....	67
<b>Tabla 13</b> Tabla comparativa de los datos de la variable de temperatura exterior y su oscilación de los días típicos. ....	68
<b>Tabla 14</b> Detalles de la temperatura ambiente exterior. ....	70
<b>Tabla 15</b> Tabla de instrumentos seleccionados para el monitoreo in situ. ....	73
<b>Tabla 16</b> Especificaciones de la estación meteorológica. ....	74
<b>Tabla 17</b> Especificaciones del piranómetro. ....	75
<b>Tabla 18</b> Especificaciones termopar SD-TEMP-20. ....	75
<b>Tabla 19</b> Especificaciones del data logger HOBO modelo MX1104. ....	76

<b>Tabla 20</b> Especificaciones del data logger HOBO modelo U12-012.....	76
<b>Tabla 21</b> Especificaciones del data logger HOBO modelo MX1101 .....	77
<b>Tabla 22</b> Especificaciones del data logger HOBO modelo MX100.....	78
<b>Tabla 23</b> Especificaciones de los instrumentos instalados al interior de la vivienda muestra. ....	78
<b>Tabla 24</b> Especificaciones de los instrumentos instalados al exterior de la vivienda muestra. ....	81
<b>Tabla 25</b> Especificaciones de los instrumentos instalados al interior de la vivienda testigo. ....	83
<b>Tabla 26</b> Proceso para la instalación de los termopares. ....	84
<b>Tabla 27</b> Periodo de recolección de datos de cada instrumento. ....	85
<b>Tabla 28</b> Distribución de zonas térmicas y su simbología. ....	87
<b>Tabla 29</b> Propiedades termo físicas de los materiales del muro exterior de la vivienda Muestra. ....	89
<b>Tabla 30</b> Propiedades termo físicas de los materiales del muro interior de la vivienda Muestra. ....	90
<b>Tabla 31</b> Propiedades termo físicas de los materiales de la cubierta de la vivienda Muestra. ....	90
<b>Tabla 32</b> Propiedades termo físicas de los materiales del piso de la vivienda Muestra. ....	91
<b>Tabla 33</b> Propiedades termo físicas de los materiales seleccionados para estrategias de aislamiento. ....	93
<b>Tabla 34</b> Propiedades termo físicas de la cubierta, Escenario 1. ....	94
<b>Tabla 35</b> Propiedades termo físicas de la cubierta, Escenario 2. ....	95
<b>Tabla 36</b> Propiedades termo físicas de la cubierta, Escenario 3. ....	95
<b>Tabla 37</b> Propiedades termo físicas de la cubierta, Escenario 4. ....	96

<b>Tabla 38</b> Abreviatura de la nomenclatura en la descripción. ....	99
<b>Tabla 39</b> Tabla comparativa de los datos de la variable de temperatura y su oscilación del modelo in situ y simulado. ....	109
<b>Tabla 40</b> Tabla comparativa de los valores R y U de las tres estrategias para la losa con el escenario de referencia. ....	112
<b>Tabla 41</b> Tabla comparativa de los datos de la variable de Temperatura y su oscilación de los escenarios 1, 2, 3 y 4. ....	113
<b>Tabla 42</b> Datos observados o OBS y datos obtenidos de la simulación o SIM. ....	141
<b>Tabla 43</b> Tabla de resultados de la desviación estándar de la calibración de termopares. ....	144
<b>Tabla 44</b> Tabla de corrección de los datos obtenidos en la medición in situ de los termopares A y B. ....	145
<b>Tabla 45</b> Imágenes del interior y exterior de la losa, vivienda muestra, 3 de enero, 13:00 h .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Tabla 46</b> Imágenes del interior y exterior de la losa, vivienda muestra, 3 de enero, 22:00 h .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1</b>	Ecuación para obtener el retraso térmico del aire.....	40
<b>Ecuación 2</b>	Ecuación para obtener el retraso térmico de la superficie.....	41
<b>Ecuación 3</b>	Ecuación para obtener el decremento térmico del aire. ....	41
<b>Ecuación 4</b>	Ecuación para obtener el decremento térmico de la superficie.....	42

## LISTADO DE ABREVIATURAS Y SIMBOLO

Materiales de cambio de fase	PCM
Isla de calor urbana	ICU
Gases de efecto invernadero	GEI
Comisión nacional para el uso eficiente de la energía	CONUEE
Encuesta nacional sobre consumo de energéticos en viviendas particulares	ENCEVI
Organización de las naciones unidas	ONU
Objetivos de desarrollo sostenible	ODS
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>
Organización mundial de la salud	OMS
Poliestireno extruido	XPS
Poliestireno expandido	EPS
Poliuretano espuma	PUF
Sistema de información geográfica	SIG
Registro único de la vivienda	RUV
Grados centígrados	°C
Temperatura del aire	T <sub>a</sub>
Temperatura mínima	T <sub>min</sub>
Temperatura máxima	T <sub>max</sub>
Temperatura de la superficie	T <sub>s</sub>
Humedad relativa	HR
Velocidad del aire	V <sub>a</sub>
Conductividad térmica	$\lambda$
Calor específico	C <sub>p</sub>
Densidad	$\rho$
Retraso térmico	LT
Decremento térmico	DF
Transmitancia térmica	Valor U
Resistencia térmica	Valor R

## INTRODUCCIÓN

Un factor clave para resolver los fenómenos causados por la energía, es la envolvente de los edificios. Como mencionan Wang et al. (2019) a nivel global el problema de la energía es importante y más cuando se trata del sector de la construcción. Las edificaciones son catalogadas mundialmente como grandes consumidores de energía (Ré & Filippín, 2021). Actualmente, el planeta se enfrenta al fenómeno de temperaturas más cálidas y a la modificación del clima, como consecuencia de un desmedido uso de combustibles fósiles (Asfour, 2020) destinado a la producción de energía que se utiliza principalmente para mejorar las condiciones al interior de los edificios (Al-tamimi, 2022). Por este motivo, las autoridades y científicos han implementado iniciativas en el sector de la edificación, debido al ahorro potencial en el consumo de energía (Lagou et al., 2019; Sadineni et al., 2011). Diversos países han presentado normativas para regularizar la demanda de energía y reducir el impacto que produce, además de hacer más eficiente la envolvente (GABC, 2018).

Un incremento en la temperatura de las zonas urbanas es producido por el calentamiento global, lo que trae como consecuencia impactos en el confort térmico de los espacios interiores y exteriores (Živkovic et al., 2018). Para recuperar el nivel de confort es necesario climatizar de forma mecánica los edificios, al respecto Kaynakli (2012) menciona que para minimizar las cargas de calefacción y refrigeración de las áreas interiores es conveniente realizar un buen diseño de la envolvente arquitectónica, además de seleccionar adecuadamente los materiales y componentes de la edificación. Por otro lado, Wang et al. (2019), consideran que optimizar la envolvente de los edificios promueve ventajas como lo son minimizar el consumo de energía y restablecer ambientes interiores a condiciones de confort térmico. Lagou et al. (2019), consideran que las nuevas estrategias de construcción a través del uso de materiales con tecnología avanzada mejoran la eficiencia energética de la envolvente.

De acuerdo a lo anterior, es importante incorporar en la envolvente estrategias que permitan lograr la eficiencia energética para minimizar la energía excedente (Albatayneh, 2021). Varios estudios señalan que los termoaislantes y los materiales de cambio de fase (PCM) son estrategias utilizadas para optimizar la eficiencia de la

envolvente. Con respecto a los termoaislantes, estos minimizan las ganancias térmicas (Reyes et al., 2020), mejoran el confort térmico de los espacios (Wang et al., 2019) y reducen la demanda de energía (Al-tamimi, 2022). Por otro lado, los PCM pueden administrar la energía que captan (Al-yasiri & Szabó, 2022) y mejorar la eficiencia térmica de la envolvente (Triano et al., 2020). Estas estrategias contribuyen a disminuir las cargas de aire acondicionado de las edificaciones, aunque es importante destacar que las condiciones climáticas, el espesor y la ubicación de la estrategia deben ser consideradas para su uso adecuado, para esto la evaluación de estas a través de simuladores se convierte en una herramienta útil. Andarini (2014), señala que la simulación térmica es un instrumento importante para utilizar en las diferentes etapas del diseño y remodelación de los edificios, permitiendo examinar el desempeño energético a través de escenarios creados.

A partir del panorama general expuesto, se concluye que es pertinente atender la problemática de la energía y sus efectos ambientales de mayor y menor escala a través de una de las áreas de oportunidad como lo es la envolvente. Esta investigación tiene como objetivo mejorar el rendimiento térmico de la losa de una vivienda de interés social construida con el sistema de encofrado de concreto, aplicando barreras térmicas como estrategia constructiva para obtener una mayor estabilidad en la temperatura interior, esta intervención tendrá como resultado mejorar las condiciones térmicas al interior de la vivienda, reduciendo el uso de medios para la climatización del ambiente interior, lo que se traduce en un ahorro en el gasto de energía. Además, apoyara en los objetivos que plantean los programas enfocados en resolver los problemas de energía como lo son los objetivos de desarrollo sostenible y los programas nacionales estratégicos, energía y cambio climático, así como enfatizar en los beneficios del cumplimiento de las normas. Para realizar la investigación se planteó el uso de instrumentos de medición para la obtención de datos y la creación de escenarios con el uso de un simulador para la evaluación de propuestas. La investigación se presenta en cinco capítulos, el capítulo uno expone la problemática, el capítulo dos aborda el marco teórico, capítulo tres describe la metodología, el capítulo cuatro presenta los resultados y discusión y en el capítulo cinco se aborda la conclusión y recomendaciones para futuras investigaciones.

## CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

---



## 1.1. Problema de investigación

Un incremento en el gasto de energía, así como en la liberación de gases de efecto invernadero (GEI), en conjunto con un impacto negativo en la salud y el confort térmico del ser humano, son algunos de los problemas que provoca el aumento de la temperatura producida por la isla de calor urbano (ICU) según Bhargava et al. (2017). Actualmente, un porcentaje considerable de la energía es utilizada por el sector residencial (Albatayneh, 2021), mundialmente, la demanda va en crecimiento, con alrededor de un 1 % al año desde el 2000, esto como respuesta a la necesidad de mantener los espacios con temperaturas dentro de un rango térmico estable (Daioglou et al., 2022). Así mismo, “El confort térmico al interior de las viviendas es una necesidad permanente que hoy día se resuelve con cantidades crecientes de energía” (CONUEE, 2020, p. 3). Bhamare et al. (2019), señalan que la demanda de la climatización para la refrigeración de espacios se incrementó debido a la temperatura atmosférica resultado de la emisión de carbono y al calentamiento del planeta.

Actualmente, las edificaciones utilizan una gran cantidad de energía, sobre todo en naciones con mayor crecimiento (Sadineni et al., 2011). Los edificios contribuyen a los fenómenos de contaminación y calentamiento del planeta a través del consumo de energía destinado a la climatización a lo largo de su vida útil (Quimis et al., 2019). Un diseño inapropiado de los edificios puede ocasionar impactos ambientales, un aumento en la demanda de energía tiene como efectos un incremento en la producción y liberación de dióxido de carbono al ambiente (Sadeghi et al., 2018). De las emisiones de GEI mundialmente provocadas por la energía, el sector residencial es causante de alrededor de un 6.0 % (Daioglou et al., 2022).

Por otra parte, se considera a la envolvente edilicia como un elemento importante con respecto al gasto de energía y el confort térmico de los espacios interiores. La Comisión nacional para el uso eficiente de la energía nacional (CONUEE) (CONUEE, 2017) afirma que “Un elemento central que determina la cantidad de energía para confort térmico es la envolvente de la vivienda, es decir, el diseño y los materiales que componen muros, techos, ventanas y puertas” (p. 7). Otros autores coinciden en que la envolvente determina el consumo de energía utilizado para el

acondicionamiento térmico de un espacio (Sangwan et al., 2022). Collet et al. (1995), describen a la envolvente como “la piel del edificio [...] que actúa como un gran intercambiador de calor entre el clima exterior y las condiciones interiores del edificio” (p. 16). Albatayneh (2021), afirma que para disminuir el gasto de energía es necesario aplicar estrategias que optimicen la envolvente, ya que para mantener el interior con temperaturas cálidas o frías se requiere un porcentaje importante de energía.

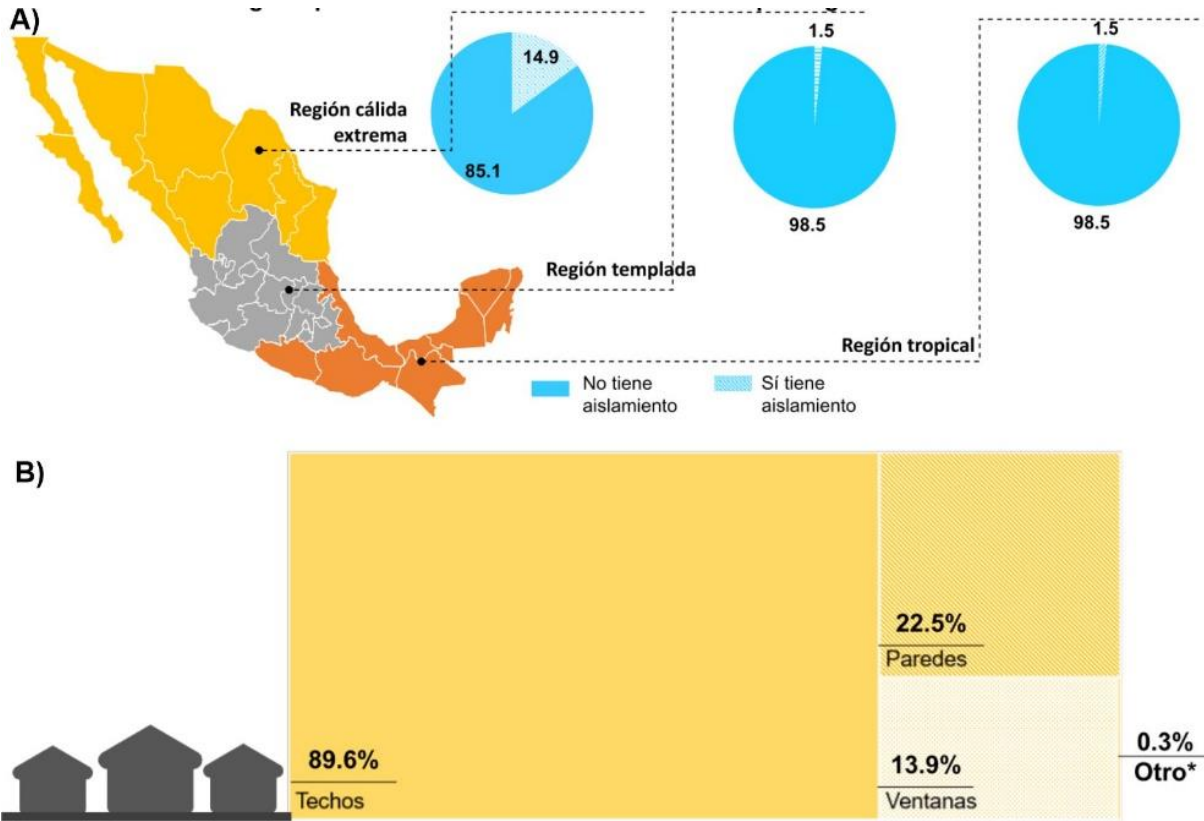
El desempeño de la envolvente y su interacción con el medio ambiente es clave para la generación de propuestas que coadyuven a la solución de la problemática. Con respecto a la carga térmica y el nivel de bienestar térmico de los edificios, son cuatro los factores que intervienen, i) la masa térmica, que tiene un impacto en la oscilación de la temperatura interior, ii) los aislantes que se relacionan con el nivel de conductividad, la envolvente es la que determina las ganancias o pérdidas de calor, iii) la absorción de la envolvente opaca con respecto a la radiación del sol y iv) la proporción del acristalamiento con los muros, las dimensiones de las ventanas se relacionan con las ganancias de calor (Zhu., 2016 en Lin et al., 2018). Es de suma importancia considerar que a lo largo del día y la noche la envolvente se encuentra expuesta a ganar y perder energía, por lo cual, el desempeño de los materiales que conforman el cerramiento es de suma importancia, la transferencia de calor permite generar condiciones ambientales confortables en el interior de los espacios (Collet et al., 1995). González (2004), señala que las variaciones en la temperatura de los espacios interiores sin climatización dependen de un porcentaje de los muros y losa como parte de la envolvente, esto sucede debido a la conductividad de los materiales que transfiere el calor captado.

La construcción de la vivienda en México se caracterizaba por considerar las condiciones ambientales de las regiones para determinar los sistemas constructivos y los materiales, pero en años recientes, la necesidad de la vivienda ha ido en aumento, por este motivo se ha recurrido a su industrialización, la construcción en serie ha promovido sistemas constructivos y materiales que permiten acortar el tiempo de elaboración, remplazando los modos de construcción tradicionales, muros de espesores más delgados y sistemas constructivos de encofrados son parte de los avances, aunque a estos cambios no se han agregado estrategias constructivas para la

eficiencia energética (Becerra-Santacruz & Lawrence, 2016). El uso del concreto de alta densidad, elevada capacidad térmica y baja resistencia al calor es el material que los desarrolladores de viviendas están utilizando en este modelo de construcción en serie como sistema monolítico por la ventaja en la reducción de tiempos de construcción (Rojas et al., 2016).

La falta de termoaislantes en la envolvente de las viviendas en México, se ve expuesta en una encuesta que se realizó, titulada Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas particulares (ENCEVI) que tenía entre sus objetivos determinar el porcentaje de aislante térmico en la envolvente en la vivienda, la encuesta concluyó que el porcentaje para la región cálida extrema fue menor al 15.0 % y que su uso predomina en la losa con un 89.6 %, con respecto a la región templada y la tropical el porcentaje fue menor al 2.0 % (Figura 1) (INEGI et al., 2018).

**Figura 1**  
 Resultado de la encuesta ENCEVI según porcentaje de aislamiento en las regiones climáticas.



Nota. A) Porcentaje de viviendas con aislamiento en la envolvente según región climática, B) Porcentaje de aislamiento según elemento de la vivienda en la región cálida extrema. Obtenido de "Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares" por INEGI (2018), ENCEVI, 2018.

Es importante mencionar que la encuesta evidencia que el uso de aislantes en la envolvente de la vivienda no suele ser una estrategia frecuente, esto confirma que los cerramientos quedan expuestos a las temperaturas del exterior y a la transferencia de estas temperaturas hacia el interior de acuerdo con la eficiencia de los materiales que la conforman. Cabe destacar que un factor importante a considerar es que la envolvente es un elemento permanente de la vivienda (CONUEE, 2017).

## **1.2. Justificación**

Mundialmente, un tema relevante es la demanda de energía y su impacto sobre el medio ambiente, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) dentro de la Agenda 2030 define 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (ONU, n.d.), de los cuales destacan tres que abordan aspectos del consumo energético y sus efectos producidos al planeta, el objetivo 7 destaca que el 60.0 % de las emisiones de gases que suscitan el incremento de temperaturas provienen de la energía, en el objetivo 11 se menciona que en todo el planeta las ciudades representan el 3.0 % del territorio, y que utilizan de un 60.0 % a un 80.0 % de energía y son causantes de un 75.0 % de liberación de carbono, en el objetivo 13 señalan que debido al continuo incremento de emisiones de GEI, se pronostica que la temperatura aumente 1.5 °C en todo el mundo, también se menciona que desde 1990 la liberación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) se elevó casi un 50.0 % y del 2000 al 2010 se presentó un aumento en las emisiones. Por lo anterior, es oportuno prestar atención a los elementos que intervienen en esta creciente demanda de energía y en los efectos provocados en el medio ambiente.

En el corto plazo se pronostica que los edificios incrementarán su demanda de energía como efecto del sobrecalentamiento y la expansión de las ciudades (Salihi et al., 2022). La intervención de la envolvente en los procesos de ganancia y pérdida, así como en la transferencia de calor resulta ser significativo en el consumo de la energía de las edificaciones, debido a que existe una conexión entre el desempeño del cerramiento arquitectónico y el gasto de energía. Diversos autores coinciden en que el rendimiento térmico del cerramiento arquitectónico tiene una correlación directa con la demanda energética (Yu et al., 2022) y que es indispensable adoptar estrategias que

optimicen el desempeño energético de la envolvente (Albatayneh, 2021; Ascione et al., 2019; Asfour, 2020; Salihi et al., 2022; Yu et al., 2022).

La evidencia indica que la envolvente arquitectónica es un elemento determinante con respecto al tema de energía, su importancia y su grado de intervención resulta necesario para elaborar estrategias de mejoramiento que favorezcan a la disminución de las cargas de refrigeración y calefacción. La evaluación del rendimiento térmico de las cubiertas de las viviendas permitirá ofrecer estrategias constructivas que favorezcan a la estabilidad térmica de los espacios interiores y permitirá disminuir la dependencia de sistemas de climatización.

Es importante destacar que de todos los elementos de la vivienda que intervienen en el consumo energético, la envolvente es la más importante debido a que es un elemento permanente, por lo que es importante tener consideraciones sobre las ganancias de calor desde el proceso de diseño que evitaren costos adicionales por modificaciones u adecuaciones a la envolvente (CONUEE, 2020). Por lo tanto, “El conocimiento de los materiales de construcción y su correcta selección, desde el punto de vista térmico, resulta de gran importancia cuando se busca reducir el consumo de energía” (González, 2004, p. 1). Los materiales de la envolvente deben actuar de forma que eviten ganancias y pérdidas desmedidas de calor, con el objeto de proporcionar confort térmico, cuidar la salud de los usuarios y apoyar en la economía evitando el consumo de energía para la climatización (CONAVI, 2017).

En la actualidad existe un conjunto de 69 países que cuentan con normativas dirigidas específicamente a las edificaciones, su aplicación se divide entre obligatorias y voluntarias, estas normas son consideradas importantes para mejorar la efectividad energética en los edificios (GABC, 2018). México cuenta con la normativa oficial mexicana NOM-020-ENER-2011 titulada Eficiencia energética en edificaciones. Envolvente de edificios para uso habitacional y la normativa oficial mexicana NOM-008-ENER-2011 titulada Eficiencia energética en edificaciones. Envolvente de edificios para no habitacional. La primera norma se aplica específicamente a los elementos constructivos como la losa y los muros así como a las ventanas y puertas, componentes que conforman la envolvente de los edificios, la aplicación de esta

normativa es un factor relevante para resolver la problemática que presentan los edificios con respecto a la demanda de energía utilizada para solucionar los requerimientos de confort térmico de los espacios (CONUEE, 2017).

La segunda norma se aplica a edificios que no son residenciales pero con el mismo objetivos de disminuir las cargas para refrigeración al reducir las ganancias de calor de la envolvente (Secretaria de Energía, 2001). Las viviendas que serán evaluadas en esta investigación forman parte del tipo de vivienda industrializada que de acuerdo con otras investigaciones se comienzan a reproducir en México sin consideraciones de las condiciones ambientales en donde se construyen, las implicaciones que se desarrollan a partir de las propiedades termo físicas del material de la envolvente y la falta de aplicación de las normas se convierten en un tema pertinente para desarrollar la siguiente investigación.

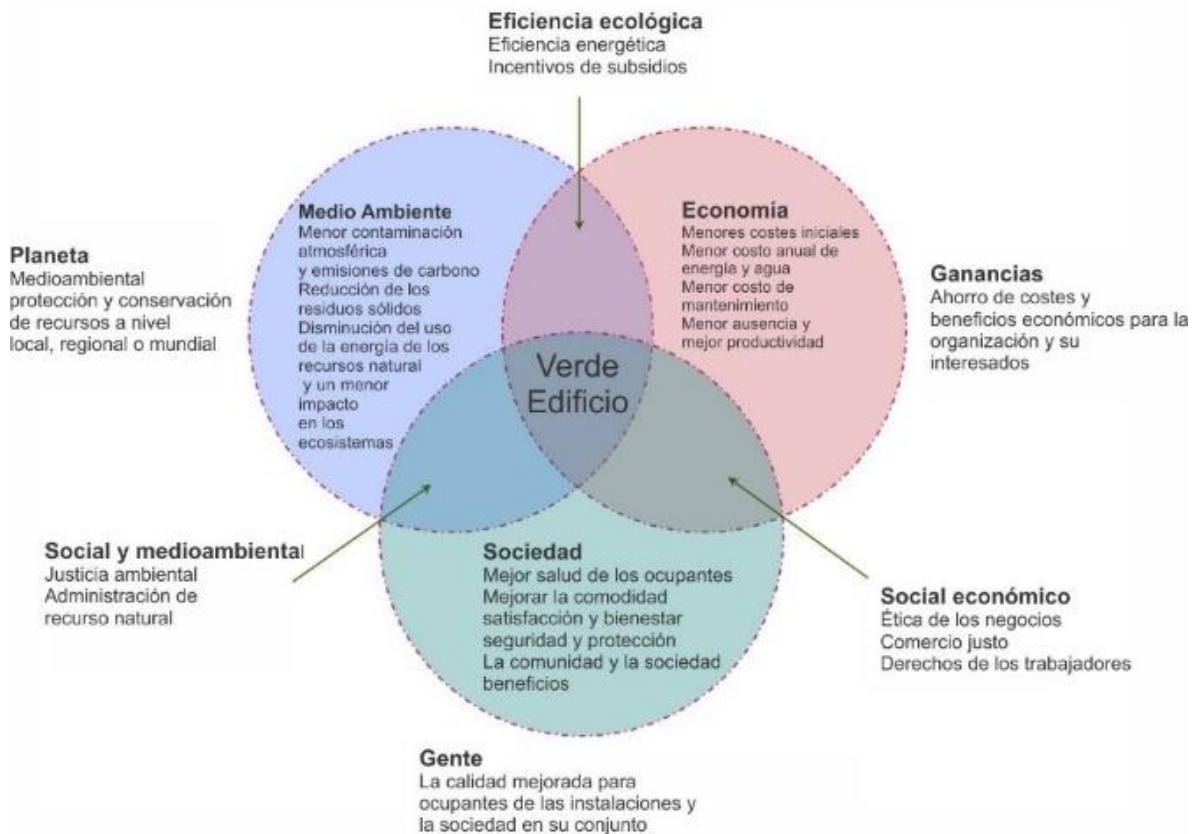
Arballo et al.(2016), señalan que “La generación de estrategias combinadas de eficiencia energética y confort térmico implican un mejoramiento en la calidad de vida de los usuarios en edificios (salud, rendimiento y productividad), como así también conduce a importantes ahorros de energía y emisiones” (p. [3]). Por lo tanto una estrategia, sería la selección adecuada de materiales aislantes (Wang et al., 2019). Kaynakli (2012), señala que el espesor del aislamiento está directamente relacionado con las cargas de aire acondicionado, a mayor espesor menor serán las cargas de calefacción y refrigeración. Igualmente los PCM actualmente se encuentran como la estrategia tecnológica en crecimiento para el almacenamiento térmico de la envolvente aplicados de forma pasiva o activa ya que se demostró las ventajas que tienen en la administración de la energía térmica (Al-yasiri & Szabó, 2022).

Con lo anterior se puede concluir que la optimización de la envolvente permite la reducción de ganancia y pérdidas térmicas (Ascione et al., 2019; Wang et al., 2019) lo que favorece en mitigación de las cargas de refrigeración y calefacción (Ascione et al., 2019; Yu et al., 2022) dando como resultado ambiente térmicamente estables al interior de los espacios (Wang et al., 2019) así como la disminución de la demanda energética (Albatayneh, 2021; Salihi et al., 2022; Yu et al., 2022), y la reducción en la emisión de GEI (Daioglou et al., 2022). La investigación se enfocará en las estrategias

constructivas a partir de termoaislantes, buscando mejorar el rendimiento térmico de las cubiertas, como consecuencia de esta mejora se podrá solucionar la problemática del exceso de energía destinado para la climatización, la habitabilidad de los espacios y los problemas de confort térmico.

Adicionalmente, la Organización Mundial de la Salud (OMS), OMS (2018) declara que la vivienda es considerada como un elemento de suma importancia para la salud, señala que mejorar las cualidades del ambiente permitirían evitar padecimientos así como elevar el nivel de vida y también favorecería a la mitigación del calentamiento global entre otros. Del mismo modo He (2019), apunta que las edificaciones sustentables o edificios verdes promueven beneficios a nivel medio ambiental social y económico además son eficientes en la reducción de emisiones de carbono, ya que su consumo de energía es menos que los edificios convencionales y proveen de espacios confortables y saludables (Figura 2).

**Figura 2**  
Beneficios de los edificios sustentables o edificios verdes.



*Nota. Traducido de "Towards the next generation of green building for urban heat island mitigation: Zero UHI impact building" por He (2019), Sustainable Cities and Society , 50 (101647).*

### **1.3. Antecedentes**

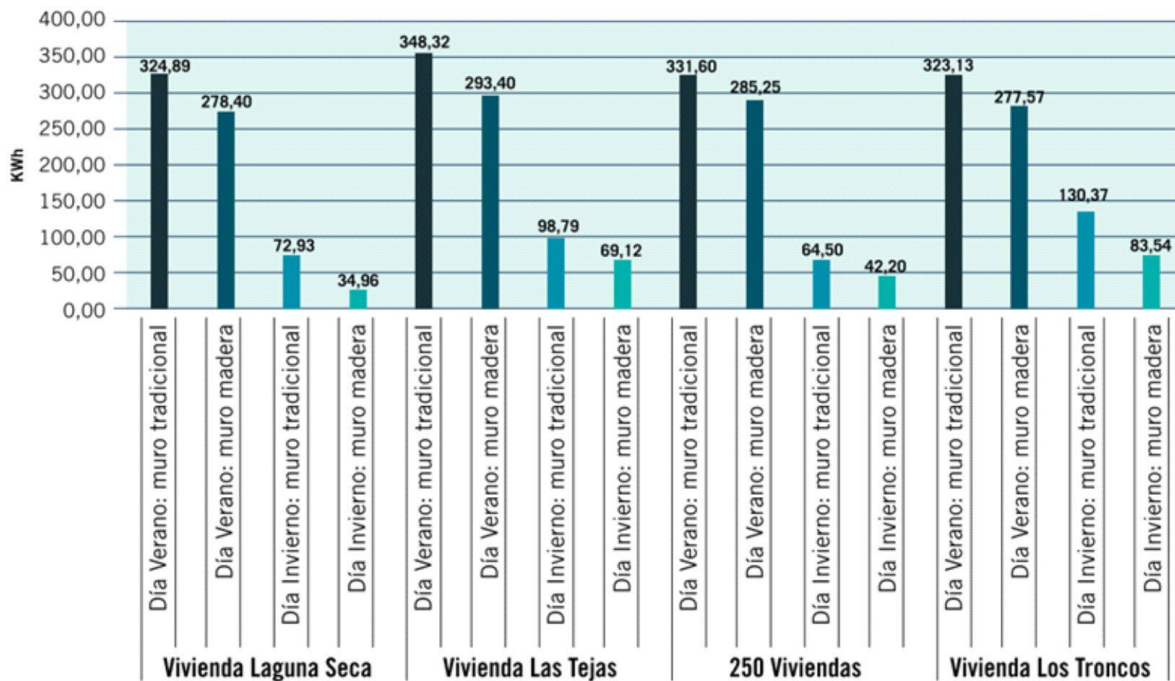
Un crecimiento acelerado en el uso de la energía se ha convertido en un común denominador a nivel mundial como consecuencia de los fenómenos ambientales. Los edificios en la actualidad ocupan cantidades mayores de energía, para cubrir con los requerimientos necesarios para mantener a los espacios interiores en un estado de confort térmico. Por otra parte, diversos autores han señalado a la envolvente como un elemento que interviene de manera directa en el consumo de energía de las edificaciones. A continuación, se presentan antecedentes de investigaciones internacionales y nacionales, relacionados con la optimización de la envolvente como factor determinante para la disminución de la demanda de energía.

#### **1.3.1. Antecedentes Internacionales.**

Alías & Jacobo (2011), efectuaron un estudio con el objetivo de evaluar la correlación entre los factores de diseño y las variables climáticas y cómo influyen estos en el consumo de energía. El estudio se realizó en las ciudades De Corrientes y Resistencia, Argentina, con un clima cálido-húmedo. La muestra consistió en diez viviendas de interés social. Se realizaron mediciones in situ con el uso de data logger y termistores, además se crearon escenarios de las propuestas usando como herramienta de informática el programa Quick II. La propuesta consistió en la modificación de la envolvente vertical con una Panelería de madera tipo sándwich cuyo interior contiene como aislante Poliestireno expandido de 75 mm. Se realizó un comparativo entre los dos tipos de envolvente para los dos días de diseño con la finalidad de determinar el uso de energía requerida para el confort térmico de las áreas (Figura 3). Esta investigación concluyó que los materiales de la envolvente, la orientación y la forma compacta son los aspectos que mayor influencia tiene en el consumo de energía, también se determinó que la estrategia propuesta para la envolvente vertical en comparación con la envolvente original requiere 15.0 % menos de energía para refrigeración, su índice por año con respecto al consumo por fachada disminuyó un 21.0 % en comparación con el cerramiento.

**Figura 3**

Comparativa del consumo de energía entre la envolvente original y la propuesta en las unidades de análisis.



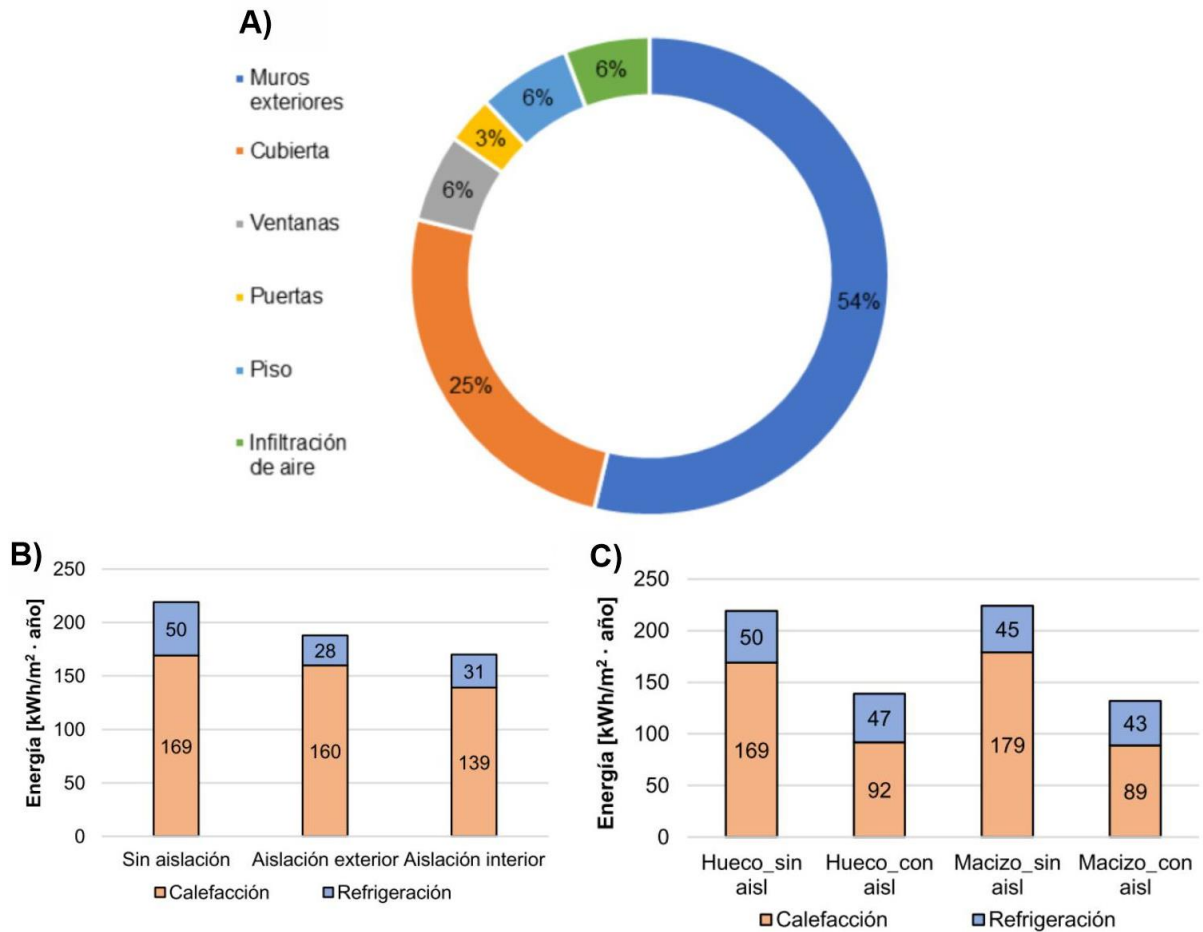
Nota. Obtenido de "Incidencia de la envolvente en el consumo eléctrico para mantener el bienestar higrotérmico en los espacios interiores" por Alías & Jacobo (2011), ARQUISUR REVISTA , 1, (76-89).

Rizzarello et al. (2018), realizaron una investigación con el objeto de evaluar el rendimiento térmico de la residencia para plantear estrategias constructivas a fin de obtener una disminución en el uso de energía. El estudio se realizó en la ciudad de Salta, Argentina, la muestra fue la vivienda social y su metodología consistió en analizar el desempeño térmico de la envolvente por medio de un escenario simulado en *free running* y posteriormente el análisis de estrategias, para esto se utilizó la herramienta de simulación SIMEDIF. Se concluyó que el 25.0 % de las pérdidas térmicas son en cubierta y el 54.0 % en muros (Figura 4). El aislamiento con espuma de poliuretano de 0.04 m de espesor en la cara externa de la losa es mejor con respecto a confort térmico y el aislamiento de lana de vidrio con un espesor de 0.05 m en la cara interior de la losa tiene una menor diferencia a favor en el ahorro de energía, 42.0 % en refrigeración y 18.0 % en calefacción. El aislamiento con espuma de poliuretano de 0.05 m de espesor en la cara externa de los muros reduce la demanda de calefacción un 46.0 % y refrigeración un 6.0 %. Una propuesta del sistema constructivo con muro de ladrillo macizo aplicando el mismo tipo de aislamiento reduce

un 14.0 % para refrigeración y 48.0 % para calefacción. Se determinó también que la orientación, las infiltraciones de aire, así como el color de las caras expuestas al exterior son factores importantes en el desempeño térmico y en el ahorro de energía para refrigeración y calefacción.

**Figura 4**

Resultados obtenidos con respecto a las pérdidas térmicas de la envolvente y al gasto de energía según estrategia.



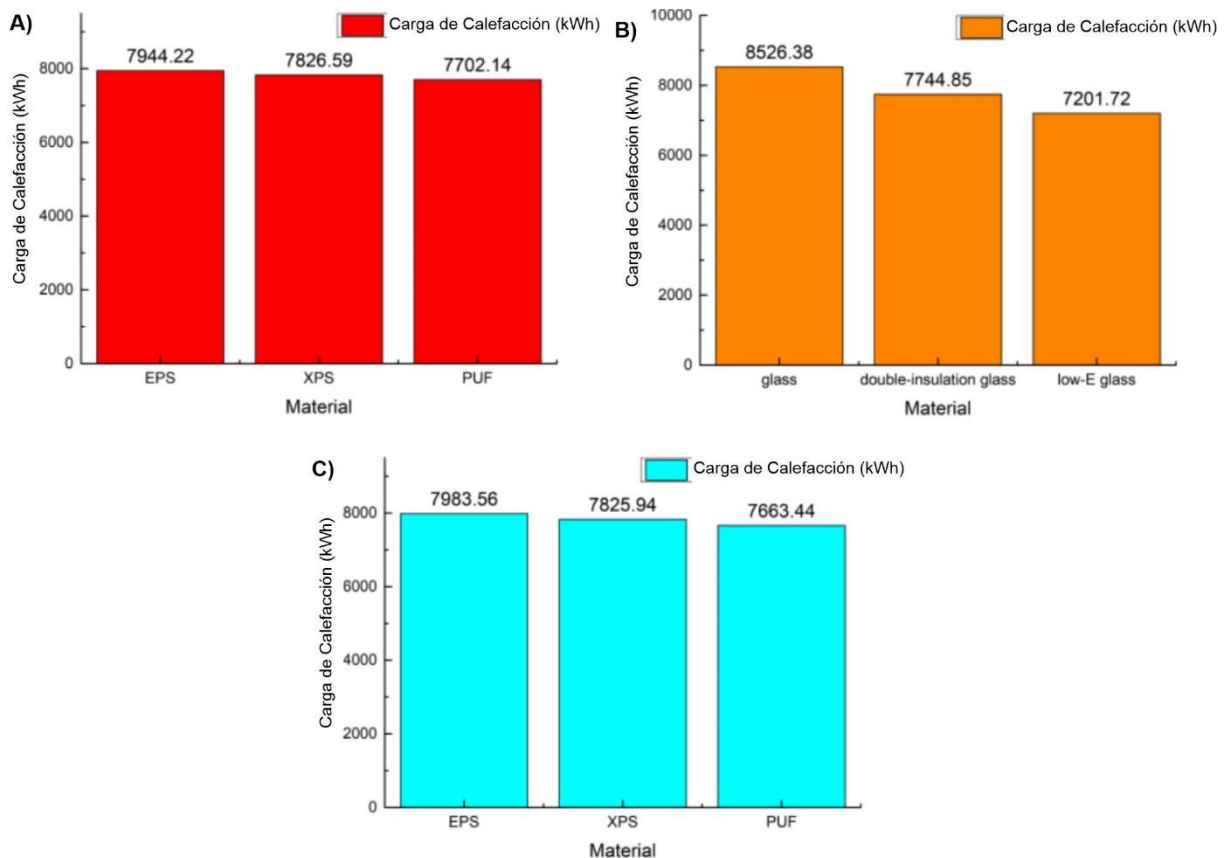
Nota. A) Porcentaje de las pérdidas de calor por elemento de la envolvente, B) Demanda de energía para calefacción y refrigeración según estrategia en losa C) Demanda de energía para calefacción y refrigeración según estrategia en muros. Obtenido de "Simulación computacional del comportamiento térmico de una vivienda social en Salta Capital" por Rizzarello et al.(2018), *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 42 (15-27).

Wang et al. (2019), efectuaron una investigación cuyo objetivo fue optimizar la envolvente térmica para minimizar las cargas de calefacción. El estudio se realizó en una vivienda rural en la ciudad de Xingtai al norte de China, cuyo clima es frío. Se utilizó el método de diseño experimental ortogonal, con la finalidad de realizar un menor número de simulaciones. Se utilizó el programa *DesignBuilder* para las

simulaciones. Los aislantes que se propusieron en paredes y losa fueron: poliestireno extruido (XPS) de 100 mm, el poliestireno expandido (EPS) de 100 mm y poliuretano espuma (PUF) de 100 mm. En ventanas exteriores se utilizó cristal de 6 mm, cristal de doble aislamiento 6/12/6 mm y cristal de baja emisividad 6/12/6 mm. El cálculo se realizó en el periodo de invierno. Se concluyó que la propuesta con menor carga de calefacción fue la combinación de estrategias para muros y losa con aislante PUF de 100 mm y el uso de cristal de baja emisividad 6/12/6 mm *Low E*, tal como se observa en las gráficas (Figura 5). Una vez determinado los materiales, la simulación indicó que la carga para calefacción fue de 6918.1 kWh. Los autores señalan que es importante considerar a las ventanas como elementos clave en el cálculo de cargas para calefacción.

**Figura 5**

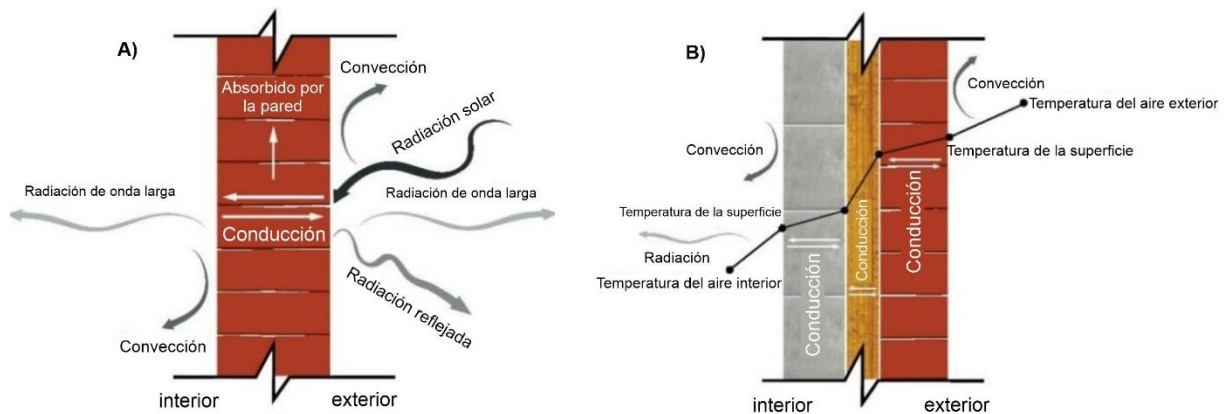
*Resultados de las cargas de calefacción según estrategias aplicadas a la envolvente.*



*Nota. A) Cargas de calefacción según el material aislante en muros, B) Cargas de calefacción según estrategia en ventanas C) Cargas de calefacción según el material aislante en losa. Traducido de "Thermal design optimization and analysis on heating load of rural buildings in northern China" por Wang et al.(2019), Journal of Building Engineering, 32, (101648).*

Jannat et al. (2020), llevaron a cabo una investigación cuyo objetivo fue analizar diferentes propuestas de sistemas constructivos y materiales de la envolvente vertical, así como la orientación y la forma, para determinar el desempeño térmico y la eficiencia energética de las propuestas. El estudio se realizó en Dhaka Bangladesh, con un clima monzónico subtropical. La muestra fue un modelo simulado. La herramienta de informática fue el simulador IES-VE. Los materiales evaluados fueron ladrillo cocido común, el bloque de hormigón celular, el bloque de hormigón pesado y el ladrillo no cocido y capas de aislamiento de 25, 40 y 50 mm. Se evaluaron el día crítico de invierno y de verano. Esta investigación concluyó que las propiedades termo físicas de los materiales de las paredes tienen una gran influencia en la cantidad de calor que se trasfiere al interior del espacio (Figura 6), de los materiales evaluados el bloque de hormigón celular presento los mejores resultados del desempeño. También se concluyó que aumentar el espesor de las paredes se obtuvo un mejoramiento en la masa térmica que resulto en una mayor eficiencia térmica del edificio. Así como las paredes combinadas que incluyen aislamiento contribuyen a la disminución del factor decreciente. La forma repercute en el uso de la energía, así como la orientación influye en el rendimiento térmico.

**Figura 6**  
Diferencias en la transferencia de calor según configuración de muro.



*Nota. A) Muro sólido y B) Muro con aislamiento. Traducido de "A Comparative Simulation Study of the Thermal Performances of the Building Envelope Wall Materials in the Tropics" por Jannat et al.(2020), Sustainability, 12 (4892).*

Lodete et al. (2020), realizaron una investigación, cuyo objetivo consistió en estimar el desempeño energético de una edificación bioclimática. La investigación se realizó en Brasil, en la ciudad de Ararangua, con un clima subtropical húmedo. La

metodología consistió en mediciones in situ y simulación de escenarios. Las herramientas utilizadas fueron, una estación meteorológica automática, un termohigrómetro, *data loggers* y como instrumento de simulación el programa eQUEST, el cual permitió realizar el comparativo entre el modelo bioclimático y el modelo sin estrategias. Las estrategias utilizadas fueron un muro de ladrillo con aislante lana de roca, fachada ventilada, techo vegetal y losa con aislamiento termo acústico que incluía loseta metálica con poliuretano cámara de aire sin ventilación y losa de EPS. Con este estudio se concluyó en primer lugar que las estrategias bioclimáticas presentan ventajas en el confort térmico como en la eficiencia energética, en segundo lugar, las estrategia permiten mantener una estabilidad térmica al interior de los espacios y por último en el comparativo realizado entre los dos modelos, el modelo bioclimático redujo la demanda de energía hasta un 25.0 % (Tabla 1).

**Tabla 1**

*Comparativa del consumo de energía en kWh para climatización con y sin estrategia.*

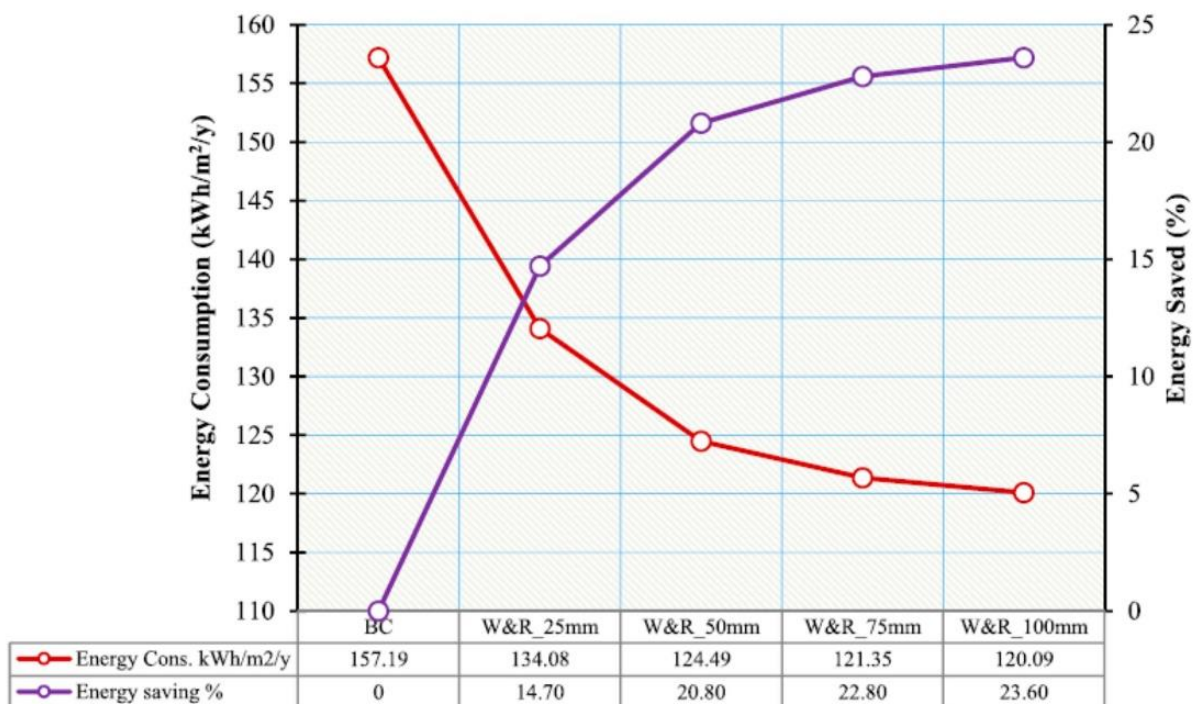
Mes	Refrigeración		Calefacción		Ventilación (Ventiladores)	
	Con estrategia	Sin estrategia	Con estrategia	Sin estrategia	Con estrategia	Sin estrategia
Enero	121.1	193.1	0.0	0.0	15.1	27.3
Febrero	130.1	214.7	0.0	0.0	15.9	29.8
Marzo	148.1	235.7	0.0	0.0	18.2	32.5
Abril	91.2	133.2	0.0	2.3	11.2	18.7
Mayo	58.9	69.4	1.5	19.5	7.4	11.7
Junio	19.7	14.2	4.3	56.9	2.8	9.0
Julio	13.7	4.4	5.7	59.1	2.2	8.0
Agosto	54.9	64.2	0.8	30.9	6.9	12.1
Septiembre	51.3	50.9	0.5	10.0	6.7	8.3
Octubre	78.4	96.6	0.1	2.9	9.9	13.7
Noviembre	134.7	199.8	0.0	0.0	16.8	27.8
Diciembre	148.5	251.4	0.0	0.0	18.6	35.5
Total	1,050.6	1,527.6	12.9	181.6	131.7	234.4

*Nota. Traducido de "Impact Analysis of Bioclimatic Strategies on the Thermoenergetic Performance of a Pilot Plant in Southern Brazil" por Lodete et al.(2020), Journal of Energy Engineering, 146 (05020003).*

Al-tamimi (2022), llevo a cabo una investigación cuyo objetivo consistió en estimar el desempeño de estrategias pasivas aplicadas a la envolvente para mejorar el desempeño térmico, así como el ahorro en el consumo de energía. La investigación se realizó en Arabia Saudita. Para la muestra se consideró un edificio con cuatro departamentos. La metodología estaba enfocada en la simulación de escenarios para cada estrategia, para esto se consideraron como aislante en muro y losa Poliestireno XPS de 25,50,75 y 100 mm de espesor, acristalamiento de 6mm, doble y triple de baja emisividad, dispositivos para sombrear y cubiertas verdes. Como herramienta de simulación térmica se utilizó el programa *DesignBuilder*. Se concluyó que la propuesta con mejor desempeño fueron en acristalamiento, vidrio *Low* e CLR 6 mm/13 mm de aire que proporción una disminución en el uso de la energía de 5.15 %, en aislamiento de muros y losas el espesor recomendado fue de 25 mm el cual reduce el consumo por año a 14.7 % (Figura 7).

**Figura 7**

*Desempeño del aislamiento en muros y losas con respecto al uso y ahorro de energía.*



*Nota. Obtenido de "Passive Design Strategies for Energy Efficient Buildings in the Arabian Desert" por Al-tamimi (2022), Frontiers in Built Environment, 7 (805603).*

Los autores señalan que espesores mayores de aislamiento son poco económicos y efectivo, los elementos de sombreado se señalan los de material de aluminio, en sentido verticales y horizontales de 60 cm que proporcionan una reducción de hasta 6.6 %. Las cubiertas verdes obtuvieron una reducción de 7.9 % al año. Los autores recomiendan que una conjunción de estrategia pasivas puede disminuir el consumo a 35.4 % de energía por año.

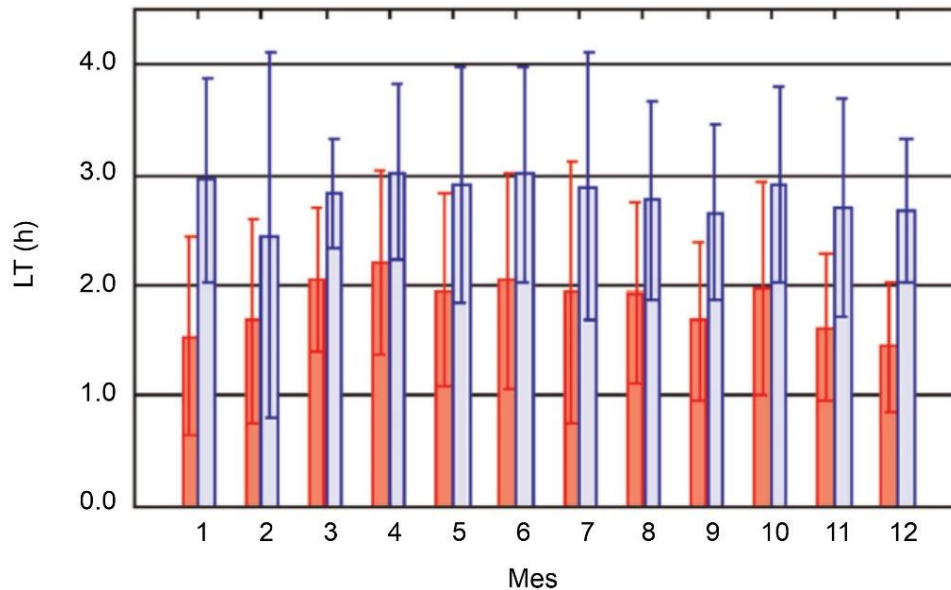
### 1.3.2. **Antecedentes nacionales**

Rojas et al. (2016), efectuaron un estudio con el objeto de contrastar el rendimiento térmico de dos edificios cuya envolvente es de concreto, y su sistema constructivo es monolítico, el estudio se realizó en la ciudad de Torreón Coahuila, el clima cálido-seco, el periodo fue de 12 meses. La muestra consistió en dos espacios a escala real, sin ningún tipo de climatización construidos con sistema meccano. Cada espacio contaba con diferente material de envolvente, el primero de concreto celular de 10 cm de espesor y el segundo de concreto de alta densidad de 8 cm con una capa exterior de aislamiento de 2 cm. La metodología consistió en realizar mediciones in situ y simulación de escenarios. Las herramientas utilizadas fueron estaciones meteorológicas para recolectar las variables climáticas del exterior y el interior y termopares para medir la temperatura superficial, para la simulación térmica se utilizó el programa *EnergyPlus*.

La investigación concluyó que la envolvente de concreto celular registra una oscilación en la temperatura ambiente interior mayor con respecto al otro modelo, El factor de decremento en el modelo con aislamiento resulto ser menor y el tiempo de retraso es mayor en comparación con el modelo de concreto celular (Figura 8), el promedio anual es de 0.47 y 2.8 h respectivamente, se concluye que el beneficio térmico del modelo aislado es óptimo en comparación con el modelo de concreto celular. Los autores destacan que un sistema constructivo de dos capas o más tiene mayor beneficio térmico.

**Figura 8**

Comparativo del tiempo de retraso de ambos modelos evaluados.



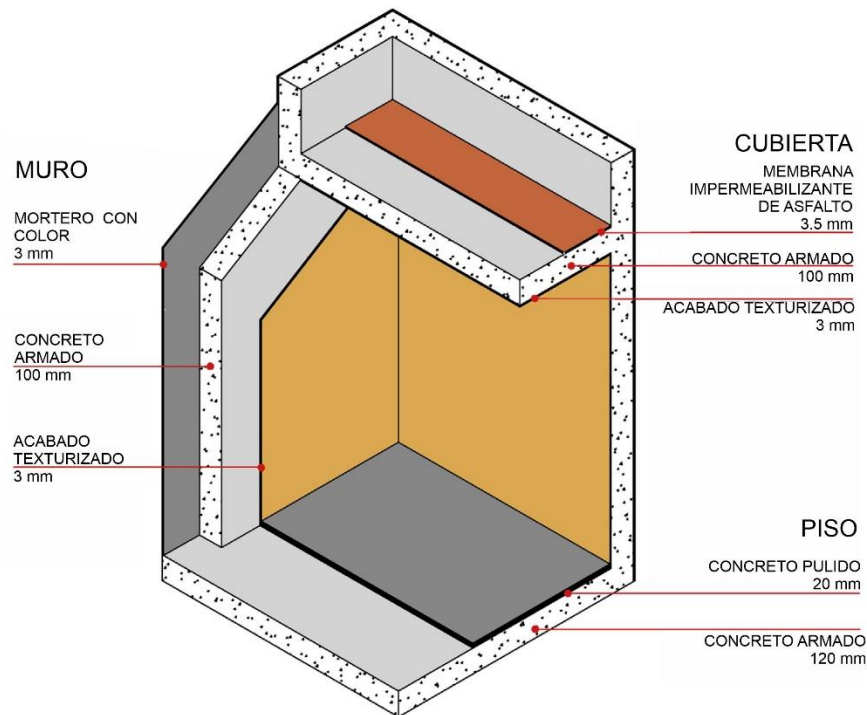
Nota. Traducido de "Thermal performance of two envelope systems: Measurements in non air-conditioned outdoor test cells and simulations" por Rojas et al.(2016), *Journal of Building Physics*, 39 (452-460).

Becerra-Santacruz & Lawrence (2016), realizaron una investigación cuyo objetivo fue evaluar la eficiencia energética, además del confort térmico en los sistemas constructivos prefabricados de hormigón. El estudio se efectuó en la ciudad de Morelia, México, donde se registra un clima templado cálido semihúmedo. La muestra estaba formada de 12 viviendas construidas con un sistema de encofrado de hormigón (Figura 9). El estudio se desarrolló en el periodo cálido y frío. La metodología consistió en mediciones in situ y la recolección de datos. Las herramientas utilizadas fueron encuestas longitudinales y transversales y HOBOT data loggers. Se evaluó el confort térmico y el rendimiento a partir de los indicadores los cuales fueron horas de malestar, porcentaje de horas de malestar, grados-horas de malestar, grados de malestar medio. Los resultados identificaron que debido a la baja resistencia térmica del hormigón de alta densidad utilizado para la envolvente de las viviendas el desempeño térmico es mínimo, también se observó que este tipo de envolvente exige el 50 % de tiempo de climatización para conseguir el confort térmico en el espacio interior, para ambos periodos, Los usuarios señalaron un alto nivel de insatisfacción con las condiciones térmicas del interior. Los autores señalan que se recopilaban pocos datos sobre el confort térmico de viviendas con este tipo de sistema y para futuras

investigaciones, considerar la ocupación y comportamiento de los usuarios, investigaciones que incluyan simulaciones y pruebas a escala real del rendimiento térmico. Menciona que es necesario realizar una contextualización de sistema de constructivo según la región climática.

**Figura 9**

*Modelo de vivienda construidas con sistema de encofrado de hormigón.*



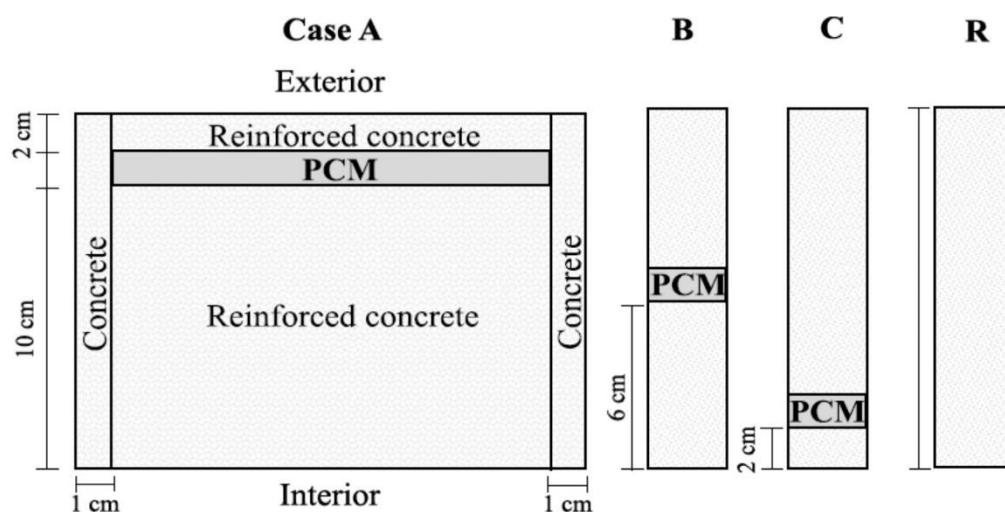
*Nota. Traducido de "Evaluation of the thermal performance of an industrialised housing construction system in a warm-temperate climate: Morelia, Mexico" por Becerra-Santacruz & Lawrence (2016), Building and Environment, 107 (135-153).*

Triano et al. (2020), llevaron a cabo un estudio cuya finalidad fue examinar el desempeño térmico de los PCM, en conjunto con los acabados reflectantes para determinar la disminución en el uso de energía, las ganancias de calor y las emisiones de dióxido de carbono. El estudio se efectuó en la ciudad de México, el clima cálido húmedo. La muestra consistió en una maqueta bidimensional de la losa de concreto y como estrategia se utilizó la Parafina como PCM de 35 (rango de temperatura de 29.0 a 36.0 °C) y 44 (rango de temperatura de 41.0 a 44.0 °C), se propuso tres espesores y tres ubicaciones de la capa de PCM dentro de la losa (Figura 10) así como los acabados con diferente absorción solar. La metodología fue a través de estudios

paramétricos y simuladores. La investigación concluyó que los valores de la temperatura máxima superficial interior de la losa fueron muy similares en todas las ubicaciones del PCM dentro de la losa. La mayor reducción en ganancias de calor y de cargas de refrigeración se obtuvo con la aplicación del acabado reflectante blanco. Se identificó una reducción de consumo de energía hasta un 45.0 % con la combinación del acabado y el PCM al centro de la losa.

**Figura 10**

*Propuesta de ubicación del material de cambio de fase dentro de la losa.*



*Nota. Obtenido de "Thermal behavior of a phase change material in a building roof with and without reflective coating in a warm humid zone" por Triano et al.(2020), Journal of Building Engineering, 32, (101648).*

A continuación, se presenta a modo de resumen los antecedentes, destacando las estrategias y el elemento de la envolvente optimizado en cada caso (Tabla 2).

**Tabla 2**  
*Casos de estudio.*

Autor/ año	Lugar	Periodo	Elemento de la envolvente	Estrategias constructivas
Al-tamimi 2022	Arabia Saudita	Periodo cálido	Losa, muros y ventanas.	Muro y losa Poliestireno XPS de 25,50,75 y 100 mm de espesor, acristalamiento de 6mm, doble y triple de baja emisividad, dispositivos para sombrear y cubiertas verdes

Jannat et al. 2020	Bangladesh	Periodo cálido y frío	Muros	Muros: Diferentes materiales, espesores y configuraciones de muros, se incluyó capas de aislamiento de 25, 40 y 50 mm, el artículo no menciona el tipo de aislamiento.
Lodete et al. 2020	Brasil	Periodo cálido y frío	Losa y muros	Muros: 1. ladrillo con lana de roca y yeso, 2. fachada ventilada, Losa: 1. techo vegetal 2. losa con aislamiento termo acústico que incluía loseta metálica con poliuretano cámara de aire sin ventilación y losa de EPS
Triano et al., 2020	México	Periodo cálido	Losas	PCM parafina de 35 (rango de temperatura de 29 a 36°C) y 44 (rango de temperatura de 41 a 44°C) y acabados reflectantes Gris (cemento Tolteca) y Banco (Comex reflectante)
Wang et al 2019	China	Periodo frío	Losa, muros y ventanas	Losas y Muros: aislante XPS de 100 mm, aislantes EPS de 100 mm y aislantes PUF de 100 mm, cara exterior. Ventanas: cristal de 6 mm, cristal de doble aislamiento 6/12/6 mm y cristal de baja emisividad 6/12/6 mm.  Losa: 1. Aislante espuma de poliuretano de 0.04 m cara exterior, 2. Aislante lana de vidrio de 0.05 m cara interior. Muros: 1. Aislante espuma de poliuretano de 0.05 m cara exterior. 2. Muro de ladrillo macizo y aislante espuma de poliuretano de 0.05 m.
Rizzarello et al 2018	Argentina	Periodo cálido y frío	Losa y muros	Losa y Muros: concreto de alta densidad de 8 cm con una capa exterior de aislamiento de 2 cm, el artículo no menciona el tipo de aislamiento.
Rojas et al 2016	México	Periodo cálido	Losa y muros	Paneles de madera tipo sándwich- Poliéstireno expandido 75 mm
Alías & Jacobo 2011	Argentina	Periodo cálido y frío	Muros	

## **1.4. Pregunta de investigación e Hipótesis**

A partir de la problemática que se expone en este trabajo de investigación y tomando como base los antecedentes se plantea la siguiente pregunta de investigación e Hipótesis.

A continuación, la pregunta de investigación.

¿Qué estrategia constructiva aplicada a la losa de concreto de una vivienda de interés social coadyuva en el mejoramiento de su rendimiento térmico y en la estabilidad térmica del ambiente en los espacios interiores?

La hipótesis se expresa de la siguiente manera.

La aplicación de termoaislante a la losa de concreto de la vivienda de interés social permitirá mejorar el rendimiento térmico, las propiedades termo físicas del aislante presentan una mayor resistencia a la transferencia de calor, lo que reduce los valores del decremento térmico y a su vez aumenta el retraso térmico, esto significa que la vivienda registrará temperaturas interiores estables.

## **1.5. Objetivos de investigación**

### **1.5.1. *Objetivo general***

Evaluar estrategias constructivas para la losa de concreto de una vivienda de interés social, que ayuden a mejorar el rendimiento térmico de la misma y favorezcan en la estabilidad de las temperaturas del ambiente interior de la vivienda.

### **1.5.2. *Objetivos específicos***

1. Evaluar el rendimiento térmico de la losa de dos viviendas de interés social con envolvente de concreto a través de la medición *in situ*.
2. Comparar los datos de la variable de temperatura recolectados de la medición *in situ* y contrastarlos con los obtenidos en el simulador con el objeto de validar el modelo que será utilizado para la creación de escenarios.

3. Analizar el rendimiento térmico de los escenarios propuestos en contraste con el escenario de referencia, utilizando el simulador DesignBuilder, en un ambiente con ventilación natural o *free running*
4. Determinar la estrategia constructiva con mejor rendimiento térmico y que aporte estabilidad en las temperaturas en los espacios interiores en el periodo estival e invernal, señalar el porcentaje de disminución de los parámetros de evaluación del escenario seleccionado en contraste con el escenario de referencia.

### **1.6. Alcances y Limitaciones**

El alcance que se plantea para esta investigación es precisar la estrategia constructiva para la losa de concreto de la vivienda de interés social que mejore el rendimiento térmico y permita estabilizar las temperaturas al interior de los espacios en el periodo invernal y estival.

Durante la realización de la investigación se identificaron limitaciones las cuales se enlistan a continuación.

1. La selección de la muestra fue restringida por lo que los alcances propuestos para el monitoreo de la envolvente *in situ* debieron ser replanteados, esto se debió a la condición de aislamiento y distanciamiento social en la que se encontraba la población a nivel mundial, como medida sanitaria impuesta por la situación de pandemia provocada por el virus SARS-COV2.
2. El periodo para realizar el monitoreo *in situ* debió ser ajustado de acuerdo con el tiempo de adquisición y entrega de los instrumentos para llevar a cabo las mediciones.
3. Para precisar los valores de las propiedades termo físicas de los materiales de construcción tales como la densidad, el calor específico y la conductividad se tuvo que recurrir a literatura, normativas y catálogos de origen nacional e internacional.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

---



La envolvente arquitectónica es un factor determinante para la estabilidad térmica de los espacios interiores en las edificaciones, además se considera como un elemento clave en el consumo de energía para la climatización. Analizar la interacción de este elemento con las condiciones ambientales externas, para conocer su comportamiento térmico y además identificar las instrucciones presentadas en las normativas, permitirá la elaboración de estrategias constructivas acertadas para su optimización. El siguiente marco teórico tiene con objetivo exponer los conceptos básicos referentes a la envolvente que servirán como sustento del tema de investigación.

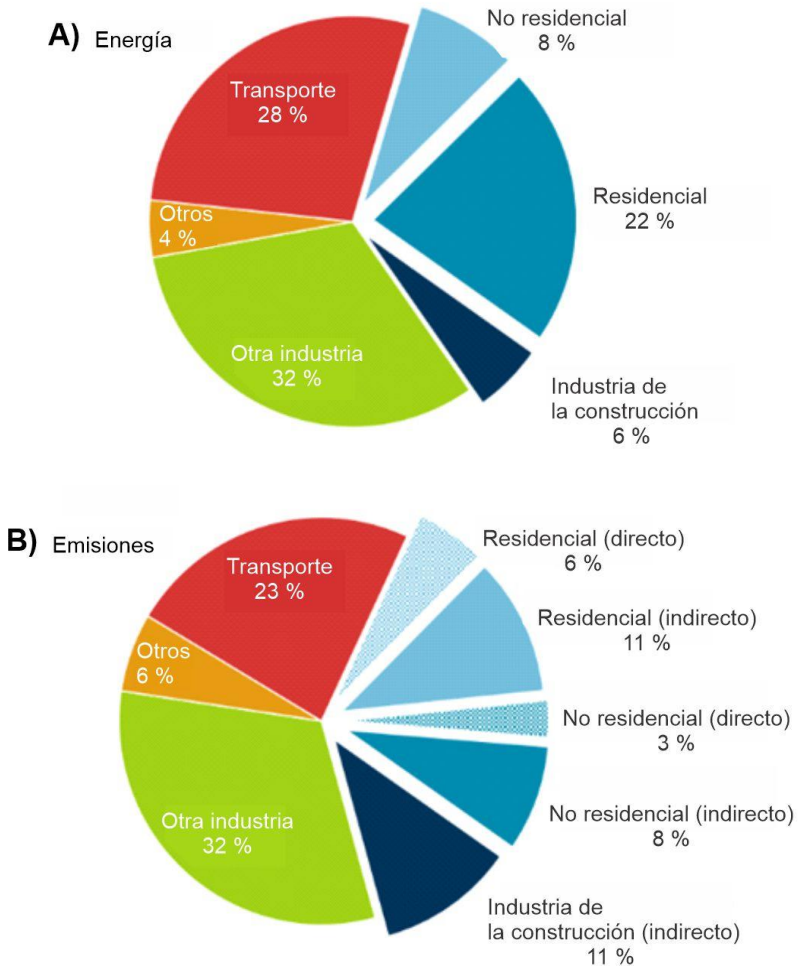
### **2.1. Cambio climático y demanda de energía**

Boccalatte et al. (2020), mencionan que las configuraciones del entorno construido en las zonas urbanas distorsionan el clima local provocando la creación de ICU; como consecuencia se obtiene un incremento en la temperatura del aire. El clima es un factor que influye en el consumo de energía eléctrica (Kumari et al., 2021). Ye et al. (2021), afirman que el calentamiento global afecta principalmente a las ciudades; la demanda de energía como resultado de su crecimiento y desarrollo es una de las causas, las ciudades se han convertido en los principales factores de consumo de energía ocupando dos tercios del consumo mundial, de igual manera son consideradas como grandes productores de GEI, generando el 70.0 % de las emisiones de todo el planeta. Santamouris (2014), señala que las zonas urbanas registran un incremento en sus temperaturas, como consecuencia a esto, se presenta un aumento en la demanda de energía para la climatización.

Lalesca et al. (2021), señalan que una significativa porción del uso de la energía total a nivel mundial es demandada por los edificios. Según La Alianza Global para los Edificios y la Construcción (GABC) en el 2017 el 36.0 % del consumo de energía final a nivel mundial fue utilizado para la construcción y el uso de los edificios, este mismo año se registró un 39.0 % de las emisiones de dióxido de carbono mundialmente como efecto de este consumo (GABC, 2018) (Figura 11). Fu et al. (2020), mencionan que los edificios encontraron en los equipos de aire acondicionados una ventaja que les permite no estar dependientes del clima exterior, pero el uso de estos equipos provoca

elevadas cargas de consumo de energía. El uso de equipo para enfriar el espacio ha tenido mayor demanda en periodos cálidos (Ghadami et al., 2021). Alpuche Cruz & Duarte Aguilar (2017), señalan que diseños desfavorables de viviendas en climas extremos promueven que el uso de equipos para climatizar los espacio tenga mayor demanda en cantidad y en uso.

**Figura 11**  
*Porcentaje del consumo y emisiones en el 2017 del uso y construcción de los edificios.*



*Nota. A) Porcentaje de energía con sector, B) Porcentaje de emisiones por sector. Traducido de “2018 Global Status Report: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector” por (GABC, 2018), Global Alliance for Buildings and Construction.*

**2.1.1 Demanda de energía en México y su impacto en el medio ambiente y la economía.**

De acuerdo con la CONUEE (2020), en México, el crecimiento de la demanda energética en el sector de las viviendas en el periodo de 1982 al 2020 fue de 5.2 veces,

según el tipo de clima, para regiones cálidas el crecimiento en el consumo ha sido de 6.6 veces mientras que en climas templado únicamente de 3.2, una de las causas de este aumento es la necesidad de espacios térmicamente estables, el factor de confort térmico ya no solo es una demanda para la región norte del país, de acuerdo con análisis a las tarifas, existe un incremento en las de las regiones del sur y las que colindan con el golfo. En Baja California el consumo de la energía eléctrica de 1990-2010, registro una tasa anual de crecimiento de 4.9 % (Muñoz Meléndez et al., 2012). Según la CONUEE (2018), la aplicación en 1996 de las normas para la eficiencia energética en equipos de uso para las viviendas permitió una disminución del consumo, pero hace referencia en hacer efectivas las normativas que tengan que ver con la envolvente pues de ella depende el porcentaje mayor del consumo de energía en la vivienda.

Con respecto al impacto en el medio ambiente en México, el sector de la vivienda en 1998 fue responsable del 9.0 % de las emisiones de CO<sub>2</sub> y se relacionan al consumo de energía (CONAFOVI, 2006), en el estado de Baja California para el 2010 las emisiones alcanzaron los 3.7 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> (Muñoz Meléndez et al., 2012). Con respecto a la economía esta problemática también tiene un impacto, en México el erario público al año aporta más de 40 mil millones de pesos para el subsidio del consumo eléctrico destinado para el confort térmico para las regiones de clima cálido (CONUEE, 2020). En Baja California en el 2012 el 37.0 % del gasto para la energía destinado por las familias era para el consumo de la electricidad utilizado para climatizar su vivienda (Muñoz Meléndez et al., 2012). En contraposición a lo anterior según Barrios et al. (2012), en México existen regiones con climas favorables que permiten conseguir el confort térmico con un proyecto de vivienda adecuado sin la necesidad de recurrir a equipos de acondicionamiento mecánico.

## **2.2. Clasificación de la vivienda en México.**

De acuerdo al código de edificación de vivienda (CEV) de México, el término de vivienda se define como el espacio físico donde las personas realizan sus actividades básicas, en este país la construcción de la vivienda se rige de acuerdo a la demanda, a las ofertas de financiamiento y a las políticas gubernamentales y se clasifica en

vivienda de interés social, media, residencial y residencial plus, la primera incluye, la económica, popular y tradicional, otra forma de dividir el tipo de vivienda es a partir de su precio total, incluyendo toda la gestión, su forma de construcción, es decir autoconstrucción o por medio de profesionales o desarrolladores o por la cantidad de viviendas que incluye un lote, es decir unifamiliar, hasta dos niveles o plurifamiliar, dúplex hasta dos niveles y condominios (CONAVI, 2017). A continuación, se presenta la Tabla 3 con las características de las viviendas de interés social, media, residencial y residencial plus.

**Tabla 3**

*Características de la vivienda en México según su clasificación.*

Promedios	Económica	Popular	Tradicional	Media	Residencial	Residencial Plus
Superficie construida promedio (en m <sup>2</sup> )	40	50	71	102	156	más de 188
Unidad de medida de actualización (UMA)	hasta 118	de 118.1 a 200	de 200.1 a 350	de 350.1 a 750	de 750.1 a 1,500	mayor de 1,500
Numero de cuartos y cajones de estacionamiento	1 baño Cocina Áreas de usos múltiples	1 baño Cocina Estancia-comedor De 1 a 2 recámaras 1 cajón de estacionamiento	1 y medio baño Cocina Estancia-comedor De 2 a 3 recámaras 1 cajón de estacionamiento	2 baños Cocina Sala Comedor De 2 a 3 recámaras Cuarto de servicio 1 a 2 cajones de estacionamiento	De 3 a 4 baños Cocina Sala Comedor De 3 a 4 recámaras Cuarto de servicio Sala familiar 2 a 3 cajones de estacionamiento	De 3 a 5 baños Cocina Sala Comedor De 3 a más recámaras De 1 a 2 cuartos de servicio Sala familiar Más de 3 cajones de estacionamiento Gimnasio Salón de juegos Jardín

*Nota. Obtenido de “Código de edificación de vivienda CEV, 3ra. Edición 2017” por (CONAVI, 2017).*

### 2.3. Factores que intervienen en el consumo de energía de las edificación.

De acuerdo con Nayak & Prajapatl (2006), la envolvente se relaciona con el entorno a través de sus componentes, su función es como la de un recubrimiento térmico, una selección optima de los componentes asegura la eficiencia energética del edificio, pero si la selección no es la adecuada, es posible tener filtraciones de calor. Según Bektas Ekici & Aksoy (2011), los parámetros que intervienen y afectan a la eficiencia de un edificio se dividen en dos grupos: los parámetros ambientales y los parámetros de diseño, con el conocimiento de los primeros y considerando la optimización de los segundos, puede alcanzarse la eficiencia energética, estos autores mencionan que dentro de los parámetros de diseño, en factor forma se incluye la relación de las fachadas, en el índice de transparencia se considera el porcentaje de la superficie de ventanas, la orientación considera el ángulo del azimut y en las propiedades termo físicas de los materiales de la envolvente se incluye la conductividad térmica y las propiedades ópticas de la superficie la transmitancia, la absorbencia y la reflectancia solar (Tabla 4). Los niveles de un edificio se relaciona con las pérdidas y ganancias térmicas del mismo, si el edificio es de un nivel la mayoría de las ganancias serán por medio de la losa, cuando se tiene más niveles la mayor ganancia ahora será por medio de la envolvente vertical es decir muros y acristalamientos (Nayak & Prajapatl, 2006).

**Tabla 4**

*Parámetros de diseño que afectan los requisitos energéticos del edificio.*

Parámetros Ambientales físicos	Parámetros de diseño artificial
Temperatura exterior horaria (°C)	Factor de forma del edificio
Radiación solar (W/m <sup>2</sup> )	Relación de transparencia
Dirección y velocidad del viento (m/s)	Orientación
	Propiedades termo-físicas de los materiales de construcción.
	La distancia entre edificios

*Nota. Obtenido de "Prediction of building energy needs in early stage of design by using ANFIS" por Bektas Ekici & Aksoy (2011), Expert Systems with Applications, 38 (5352-5358).*

## **2.4. La envolvente y sus componentes.**

La envolvente se integra por todo elemento que funciona como límite de una edificación, dividiendo el espacio interior del espacio exterior es decir del contexto natural o construido (Fu et al., 2020; Magadán et al., 2016; Pawar & Kanade, 2018; Sadineni et al., 2011). Se considera como un elemento que define la eficiencia del edificio de acuerdo al uso de los recursos de iluminación, ventilación y las cargas de aire acondicionado (Nayak & Prajapatl, 2006). De acuerdo a las características de los materiales que la conforman, se clasifica en transparente y opaca (Jannat et al., 2020; Nayak & Prajapatl, 2006). Según el ejemplo que proporcionan Nayak & Prajapatl (2006), una ventana de cristal que permite el acceso de la radiación y el aire si esta se encuentra abierta se considera como transparente, pero una pared de ladrillo se considera como envolvente opaca.

Otra forma de clasificar la envolvente la proporcionan Muhammad & Wonorahardjo (2020), estos autores la dividen en sólida y vacía, la envolvente se considera sólida cuando el flujo del calor o la luz del exterior no puede ser transferido al interior y se considera vacía cuando el calor o la luz puede ser transmitido al interior por medio de la transparencia del material. La envolvente incluye todo elemento que conforma el cerramiento como cubiertas, entrepisos, muros, ventanas, cimientos, aislamiento térmico, masa térmica y elementos que proyecten sombra (Fu et al., 2020; Pawar & Kanade, 2018; Sadineni et al., 2011). Cuando se trata de transferencia de calor del ambiente exterior hacia el interior, se consideran factores claves los muros y las losas (Barrios et al., 2012).

### **2.4.1. Muros.**

Tal como mencionan Sadineni et al. (2011), del total de la envolvente, los muros ocupan el mayor porcentaje, de ellos depende proporcionar confort térmico al espacio interior, dentro de sus propiedades termo físicas el valor R o resistencia térmica se considera como un factor determinante en el consumo de la energía. Los muros que forman parte de la envolvente exterior se encuentran sujetos a la radiación solar constante y de ellos depende un gran porcentaje de la transferencia de calor (Sangwan et al., 2022). Ellos captan un porcentaje considerable de radiación solar, según su

espesor y materiales, las ganancias térmicas pueden limitarse de acuerdo con los requisitos para el aire acondicionado (Nayak & Prajapatl, 2006). Así mismo, de su orientación dependerá la cantidad de calor que puedan ganar o perder, por lo que se recomienda tener consideración para obtener una mayor eficiencia energética (Jannat et al., 2020).

#### 2.4.2. **Losas.**

Dentro de los componentes de la envolvente, la losa se considera como el elemento que tiene mayor impacto en las condiciones térmicas del ambiente interior de los edificios, debido a sus dimensiones y su constante exposición a la radiación solar pueden absorber o ceder un gran porcentaje de calor (Sadineni et al., 2011). Nayak & Prajapatl (2006), señalan que la forma, el espesor y sus materiales determina su desempeño, estos factores pueden variar la cantidad de calor obtenido. Además, Rizzarello et al. (2018), enfatizan que la cubierta es un factor importante en las cargas de calefacción y refrigeración, debido a su interacción con la radiación del sol, las ganancias térmicas en invierno pueden reducir las cargas de calefacción, mientras que en verano puede resultar contraproducente para enfriar los espacios. Al-Obaidi et al. (2014), señalan que el 70% de ganancia de calor proviene de los techos en viviendas con clima tropical.

Como se mencionó en los índices anteriores, los muros y la losa que definen a la envolvente determinan las condiciones ambientales de los espacios interiores a través del desempeño de sus componentes, del mismo modo afectan de manera directa el consumo de energía. A continuación, se presentan los hallazgos de diversas investigaciones cuyo objetivo fue la rehabilitación de estos elementos en una edificación (Tabla 5).

**Tabla 5**  
*Hallazgos en la rehabilitación de la envolvente.*

Autor/Año/Lugar	Periodo	Resultados	Hallazgos
Cabeza et al 2010 Lleida, España	Estival Invernal	Una reducción hasta 64% en verano y 37% en invierno del consumo para los sistemas de climatización	El uso de los termoaislantes tiene como objetivo suministrar una resistencia al flujo de calor

Baniassadi et al 2018 Los Angeles, California.	Estival	La implementación de techos de alto albedo a nivel urbano registrar ahorro del 24 al 41% en gasto de energía para la refrigeración con ventilación natural las horas de discomfort se reducen hasta un 20%.	El valor R o nivel de aislamiento en la cubierta y la tasa de intercambio de aire son variables que garantizan el uso de techos con alto albedo.
Celis et al 2012 Chile	Invernal	La propuesta de aislamiento de la envolvente proporciona ahorros de un 20 a un 50% en la demanda de energía. El aislamiento al exterior demuestra tener mejor ventaja en el ahorro.	La envolvente es considerada como un elemento que marca una pauta importante en la eficiencia energética de una edificación.
García et al 2011 Mexicali, Baja California	Estival Invernal	De 7 sistemas constructivos evaluados, el sistema Foamblock comparado con el de referencia obtuvo mejores resultados de confort térmico, el gasto de energía, y el costo del uso de aire acondicionado en ambos periodos	Los materiales que componen la envolvente son un factor clave en el confort térmico y en el consumo de energía utilizada para acondicionar el ambiente interior.
Rojas et al 2016 Torreón Coahuila	Estival Invernal	Dos sistemas constructivos monolíticos de concreto, uno con aislante. Promedio anual DF 25% menor y LT 56% mayor en comparación con el de referencia.	Se demostró el efecto de más capas, reduce el factor de decremento y presenta un mejor rendimiento.
Barrios et al 2011		El rendimiento térmico depende de las condiciones ambientales, para habitaciones con aire acondicionado la losa monocapa de EPS, sin aire acondicionado losa multicapa con EPS al exterior de la capa.	El factor de decremento es menor y el retraso térmico es mayor en losas y muros multicapas. La posición del aislamiento se considera importante.
Rodriguez Miranda et al 2021		La estrategia propuesta fue modificación de ventanas, espesores de muro y losa, superficies con color blanco, se obtuvo una reducción del 77% anual en la energía para el acondicionamiento del aire.	La aplicación de arquitectura bioclimática en viviendas producidas en serie permitiría ahorros de energía y disminución del factor de discomfort.

## 2.5. La envolvente y su interacción con el ambiente exterior.

Un importante proveedor de ganancias térmicas en los edificios es la radiación solar (Triano et al., 2020). Como señala González (2004), los edificios se encuentran

expuestos a una incidencia solar constante, así como a los efectos de las temperaturas exteriores. Sadineni et al. (2011), mencionan que las condiciones del ambiente externo están en constante variación, por esta razón la envolvente resulta ser un elemento importante para mantener el ambiente térmico interior estable y autónomo de los sucesos ambientales del exterior. La piel arquitectónica tiene la habilidad de captar y almacenar el calor que provienen de la radiación solar, para después cederla al ambiente (Andoni & Wonorahardjo, 2018). La transmisión del calor está en proporción a sus dimensiones (Fu et al., 2020). Y el desempeño térmico de los materiales ante climas extremos es de suma importancia para obtener el confort térmico y minimizar la carga en el consumo de energía (Borbon-Almada et al., 2020). Según Barrios et al. (2012), un óptimo desempeño térmico de la envolvente opaca es aquella que facilita una estabilidad térmica al interior de los edificios sin el uso de equipos activos de acondicionamiento de las temperaturas o promoviendo un menor consumo en energía en la climatización del espacio.

#### **2.5.1. *Procesos de transferencias y ganancias de calor de la envolvente.***

De acuerdo con Bustamante & Rozas (2009), “La vivienda y sus elementos constructivos, en su interacción con el medio ambiente, se someten a una serie de fenómenos de transferencia, captación y almacenamiento de calor” (p. 50). Las ganancias de calor de la envolvente pueden ser diversas, esto depende de las características de sus componentes tales como sus dimensiones, las propiedades de los materiales, la orientación, el grado de inclinación, las propiedades superficiales y las condiciones de radiación proveniente del sol (Nayak & Prajapatl, 2006). La CONUEE (2020), afirma que existen cuatro factores que promueven las ganancias de calor, estos son la conducción térmica de los materiales, la cual se considera la variable más importantes, la irradiación solar que depende de la envolvente transparente, para esta se debe considerar la transmitancia del vidrio y el coeficiente de sombreado, la infiltración de aire por la envolvente y las cargas internas que depende del usuario y de los equipos del hogar.

Según Givoni (1976) en Jannat et al. (2020), la transferencia de calor sucede a través de la conducción, radiación y convección. Con respecto a la envolvente la transferencia de calor se lleva a cabo a través de los muros y losas, el intercambio de calor por conducción sucede por medio de las moléculas que están en contacto, el calor se transfiere de la temperatura mayor a la menor, los materiales tienen diferente grado de conductividad, con respecto al intercambio por convección en la envolvente es a partir de las superficies, la transferencia se realiza entre un fluido y la superficie con la que entra en contacto, el intercambio es del elemento de mayor temperatura al de menor, y con respecto a la transferencia por radiación, esta se relaciona con la temperatura del elemento que produce el intercambio, a mayor temperatura, mayor radiación, para esto no se requiere ningún elemento para que se produzca el intercambio, en el caso de la envolvente el factor que se considera es la exposición de la cara exterior con la atmósfera (Nayak & Prajapatl, 2006).

Jannat et al. (2020), explican cómo se lleva a cabo el proceso de transferencia en los muros, esto comienza durante el día cuando las paredes reciben la radiación del sol sobre la cara exterior, una sección de ella es absorbida y por conducción atraviesa el material hasta alcanzar la cara interior, por medio de la convección el calor se intercambia con el aire del interior así como por radiación a otros elementos, de estos procesos depende la estabilidad térmica, además estos autores enfatizan que existen factores que determinan la cantidad de calor y el sentido de transferencia, entre estos se encuentran las ganancias solares, las temperaturas interiores y exteriores, las propiedades térmicas y físicas de los materiales así como cuánta superficie de la envolvente se encuentra expuesta. Al interior de los espacios se produce un intercambio por radiación entre las superficies interiores, es decir entre paredes o paredes y losas (Nayak & Prajapatl, 2006).

### **2.5.2. *Propiedades termo físicas de la envolvente.***

Los materiales que conforman la envolvente se consideran elementos importantes para el desempeño térmico de las edificaciones, ellos son determinantes con respecto a la transferencia de calor, el decremento y el retraso térmico así como en el almacenamiento de energía (Nayak & Prajapatl, 2006). Según Givoni (1976) en

Jannat et al. (2020), las propiedades termo físicas de los materiales de la envolvente establecen la temperatura del ambiente interior así como las cargas para aire acondicionado, por lo tanto el confort térmico de los usuarios en ambientes climatizados o sin climatizar se ve influenciado por el rendimiento térmico de los materiales debido a sus propiedades.

La conductividad, la densidad y el calor específico son las propiedades termo físicas de los materiales que definen el rendimiento, las ganancias de calor y el impacto en el ambiente térmico interior de los espacios (Andoni & Wonorahardjo, 2018; González, 2004; Gunawardena et al., 2017; Muhammad & Wonorahardjo, 2020; Nayak & Prajapatl, 2006). Existe una correlación entre la conductividad térmica y la densidad, como consecuencia del aire que contienen es su interior los materiales, a mayor densidad mayor conductividad, de la misma forma la correlación se da entre la conductividad térmica y el calor específico, los materiales con mayor valor de conductividad presentan un valor menor del calor específico, para los materiales que son menos densos y menos conductivos como es el caso de los aislantes el calor específico es mayor (González, 2004). Además, las propiedades así como el espesor determinan el periodo de tiempo y la fluctuación del calor, ya que a mayor espesor de la envolvente opaca, densidad y resistencia al flujo de calor ocupara mayor tiempo para atravesar del exterior al interior (El et al., 2016).

Según Iranfar & Al-Din, (2020), del diseño de los materiales de la envolvente dependerá el equilibrio energético del edificio, por lo anterior realizar un cambio en ellos, se tiene probabilidades en reducir el uso de la climatización artificial. De acuerdo con Pomfret & Hashemi (2017), el incremento de la masa térmica en la envolvente permitiría disminuir el sobrecalentamiento y el malestar térmico en el interior del espacio.

A continuación, se describe cada una de las propiedades termo físicas que se consideran para esta investigación.

#### a) Conductividad.

“La *conductividad térmica* ( $\lambda$ ) expresa la capacidad del material para conducir el calor, y es por definición, el cociente de la densidad del flujo térmico y del gradiente de

temperatura ( $W/mK$ )” (González, 2004, p. 3). Muhammad & Wonorahardjo (2020), señala que el uso de materiales con un coeficiente elevado de conductividad en la envolvente provocara un mayor consumo de energía para refrigerar el espacio interior, debido a que esta propiedad permite la transferencia del flujo de calor del exterior al interior del espacio por medio de los procesos de radiación y conducción, estos autores exponen como ejemplo a los edificios con envolvente de concreto, los cuales registran elevados consumos de energía para cubrir con las cargas de refrigeración debido a la constante exposición de su envolvente opaca a la radiación solar. Gunawardena et al. (2017) indican que en conjunto la capacidad calorífica y la conductividad térmica son propiedades que influyen en las características de almacenamiento de los materiales.

b) Calor específico.

“El *calor específico* ( $C_p$ ) es la característica del material que expresa la cantidad de calor necesario (J) para aumentar un grado (1K) la temperatura de una unidad de masa (kg); se mide en  $J/kgK$ ” (González, 2004, p. 3). Un alto valor de la propiedad de calor específico y de densidad en el material provocará que actúe como almacenador del calor (Muhammad & Wonorahardjo, 2020). Esta se debe a que el calor específico determina el potencial del material para el almacenamiento (González, 2004).

c) Densidad.

“La *densidad* ( $\rho$ ), o masa volumétrica de un material, define el cociente entre la cantidad de masa (kg) que caracteriza el material y el volumen unitario ( $m^3$ ). Su valor se mide en  $kg/m^3$ ” (González, 2004, p. 3). En conjunto la densidad y el calor específico establecen la habilidad de un material para almacenar calor (Nayak & Prajapatl, 2006).

### 2.5.3. **Propiedades superficiales de la envolvente.**

De acuerdo con Nayak & Prajapatl (2006), las propiedades superficiales de los materiales son el color, la textura, la emisividad, la reflectividad, la rugosidad y la absorción, estas propiedades son consideradas como factores importantes en la transmisión del calor del exterior al interior de las edificaciones. La emisividad y el albedo son consideradas también propiedades radiativas (Gunawardena et al., 2017). Una de las ventajas de estas propiedades lo señalan Alchapar et al. (2012), con los

materiales fríos cuya característica son la alta reflectancia solar o albedo y alta emitancia infrarroja o emisividad, la aplicación de estos materiales en la envolvente de los edificios favorece a disminuir el nivel de calor que ingresa al interior de los espacios y regulan la temperatura ambiente. De acuerdo con Sadineni et al.(2011), los techos fríos tienen altos valores en reflectancia solar es decir reflectividad o albedo y en emitancia infrarroja es decir emisividad, estas propiedades permiten obtener menores temperaturas en las superficies de las losas, lo que favorece en disminuir el paso del calor al interior de los espacios, por este motivo son factores determinantes en el desempeño térmico, un caso contrario se puede observar en los techos metálicos sin acabados, tienen una emisividad de 0.25 aproximadamente y una reflectancia solar de 0.60 o más, los valores que presentan estas propiedades propician a que el material aumente su temperatura al no poder ceder las ganancias de calor. A continuación, se describe cada una de las propiedades que se consideran para esta investigación.

a) Emisividad.

“la emitancia infrarroja mide la capacidad de una superficie para liberar-a través de radiación infrarroja-el calor absorbido por el material, en relación con un cuerpo negro de igual temperatura” (Alchapar et al., 2012, p. 109). Al-Obaidi et al. (2014), define a la emitancia térmica como la capacidad que tiene una superficie para bajar su temperatura eliminando el calor como radiación infrarroja o térmica. Bhargava et al. (2017), define a la emitancia térmica como una propiedad importante de los materiales ya que de ella depende que las superficies permanezcan frescas. Según Sadineni et al. (2011), la mayor parte de los materiales utilizados para la edificación de losas se encuentra entre 0.85 o más de emisividad y los metales tiene un valor entre los 0.25.

b) Reflectancia solar o albedo.

“la reflectancia solar o albedo, mide la capacidad de un material de reflejar la radiación solar incidente, [...]. Es medida en una escala de 0 a 1 (o 0-100%)” (Alchapar et al., 2012). Al-Obaidi et al. (2014), define a la reflexión solar o albedo como el cambio de dirección que hace la radiación del sol después de haber tocado la superficie del material. Muhammad & Wonorahardjo (2020), indican que las propiedades superficiales de los materiales tales como el albedo ejercen influencia en el ambiente

termico interior y exterior de los edificios. Bhargava et al. (2017), menciona que es recomendable tener un mayor albedo en la envolvente y para ello depende el color del material, colores claros tiene mayor albedo y colores oscuros menor. Kandya & Mohan (2018), destacan que los materiales con cualidades reflectantes y de resistividad térmica son parte de las técnicas de mitigación de las islas de calor urbano. Al-Obaidi et al. (2014), señala que las técnicas reflexivas y radiativas facilitan la eliminación de calor en el interior del espacio ya que disminuye las ganancias de calor. De acuerdo con Sadineni et al. (2011), los materiales más comunes utilizados para la edificación de losas se encuentra entre 0.05 a 0.25 de reflectancia solar, existen revestimientos para losas que son reflectantes y elevan el valor a 0.60.

## **2.6. Parámetros para evaluar el Rendimiento Termico de la envolvente.**

Nayak & Prajapatl (2006), señalan que el rendimiento térmico se trata del modo de trasmisión de la energía exterior al interior del edificio y son varios los factores que interviene en este proceso, entre ellos los detalles de diseño del edificio, las propiedades de los materiales, las variables climáticas y los aspectos de uso, existen métodos de cálculo que pueden ser tipo dinámicos, estacionarios o de correlación, además, el rendimiento térmico permite calcular las cargas y dimensionamiento en aire acondicionado así como determina las diferencias de temperaturas y periodos de discomfort en un lapso de tiempo en edificios sin sistema de aire acondicionado. De acuerdo con Barrios et al. (2012), el método de evaluación del rendimiento térmico para edificios con aire acondicionado o estado estacionario son los parámetros de la transmitancia térmica o valor U y la resistencia térmica o valor R, estos autores señalan que mientras menor sea el valor U y mayor el valor R el rendimiento térmico será óptimo.

En el caso de los edificios sin aire acondicionado los parámetros de evaluación son el decremento térmico o *Decrement factor* (DF por sus siglas en inglés) y el retraso térmico o *Lag Time* (LT por sus siglas en inglés), de la temperatura del interior y la temperatura del sol-aire exterior (Barrios et al., 2011), así como la temperatura de la superficie interior y exterior de la losa, para ambos caso mientras el valor de DF sea menor y el valor de LT se mayor indicara un buen rendimiento térmico (Barrios et al.,

2012). La conductividad, el calor específico y la densidad establecen el decremento térmico y el retraso térmico, de acuerdo con las condiciones del clima es importante seleccionar materiales que permitan proveer un almacenamiento y retraso térmico, así como un decremento según lo que se requiera (Nayak & Prajapatl, 2006).

De acuerdo con Barrios et al. (2012), el desempeño térmico según el clima se puede expresar de la siguiente manera, en climas con temperaturas cálidas un valor menor en la temperatura de la superficie interior así como de la temperatura del aire interior indica un mejor rendimiento, el climas con temperaturas frías un valor mayor en la temperatura de la superficie interior y de la temperatura del aire interior es señal de un mejor desempeño.

#### a) Retraso térmico.

El tiempo de desfase de la corriente de calor se conoce como retraso térmico (Nayak & Prajapatl, 2006), se define también como el periodo entre la diferencia de tiempos en que la superficie interior y exterior alcanzan su máxima temperatura (Al-yasiri & Szabó, 2021) y también a la diferencia del tiempo en que se obtiene la temperatura máxima del aire interior y la temperatura máxima del sol-aire (Barrios et al., 2011). Jannat et al. (2020), mencionan que este desfase es el lapso que toma el flujo de calor pasar de la superficie exterior del elemento de la envolvente a la superficie interior, si se obtiene un LT mayor, significa que la temperatura interior tendrá un desfase en su fluctuación con respecto a la temperatura exterior. Olgyay (1963) y Givoni (1998) en Barrios et al. (2012), señalan que para obtener un rendimiento térmico óptimo el valor del retraso térmico debe ser mayor, pero recomiendan que en climas con temperaturas calidas y mayor nivel de humedad los LT deben ser pequeños. El valor óptimo para LT debe ser un número mayor sin superar las 12 horas (Barrios et al., 2011) A continuación se expone la ecuación del retraso térmico (Ecuación 1 y 2).

#### **Ecuación 1**

*Ecuación para obtener el retraso térmico del aire.*

$$LT = t(T_{in_{max}}) - t(T_{sa_{max}})$$

La ecuación se describe de la siguiente manera:  $LT$  se refiere al retraso térmico,  $t(T_{in_{max}})$  al tiempo en el que se obtiene la temperatura interior máxima y  $t(T_{sa_{max}})$  al tiempo en el que se obtiene la temperatura del aire exterior máxima (Barrios et al., 2011).

### **Ecuación 2**

*Ecuación para obtener el retraso térmico de la superficie.*

$$LT_s = t(T_{is_{max}}) - t(T_{os_{max}})$$

La ecuación se describe de la siguiente manera:  $LT_s$  se refiere al retraso térmico de la superficie,  $t(T_{is_{max}})$  al tiempo en el que se obtiene la temperatura máxima de la superficie interior y  $t(T_{os_{max}})$  al tiempo en el que se obtiene la temperatura máxima de la superficie exterior (Barrios et al., 2012).

### b) Decremento Térmico.

El decremento térmico se entiende como el descenso de la magnitud de las curvas de calor (Nayak & Prajapatl, 2006). Al-yasiri & Szabó (2021), lo definen con respecto a la envolvente en particular la losa, como la disminución de las fases de temperatura de la cara interior en contraste con las temperaturas de la cara exterior, un valor menor de DF es un indicador de mayor resistencia térmica ante las oscilaciones de las temperaturas del exterior. Puede expresarse también para la temperatura del aire interior y exterior, un valor menor en el decremento térmico es señal de un óptimo rendimiento, si DF obtiene un valor menor o igual a 0.10 entonces el retraso térmico no es significativo (Barrios et al., 2011). Aumentar el número de capas y aislamiento a los muros, permite disminuir el valor del DF, contar con un valor de DF menor permite mantener una estabilidad térmica al interior de los espacios (Jannat et al., 2020). A continuación, se expone la ecuación del retraso térmico (Ecuación 3 y 4).

### **Ecuación 3**

*Ecuación para obtener el decremento térmico del aire.*

$$DF = \frac{T_{in_{max}} - T_{in_{min}}}{T_{sa_{max}} - T_{sa_{min}}}$$

La ecuación se describe de la siguiente manera:  $DF$  se refiere al decremento térmico,  $T_{in_{max}}$  es la temperatura interior máxima,  $T_{in_{min}}$  es la temperatura interior mínima,  $T_{sa_{max}}$  es la temperatura del aire exterior máxima y  $T_{sa_{min}}$  es la temperatura del aire exterior mínima (Barrios et al., 2011).

#### **Ecuación 4**

*Ecuación para obtener el decremento térmico de la superficie.*

$$DF_s = \frac{T_{is_{max}} - T_{is_{min}}}{T_{os_{max}} - T_{os_{min}}}$$

La ecuación se describe de la siguiente manera:  $DF_s$  se refiere al decremento térmico de la superficie,  $T_{is_{max}}$  es la temperatura máxima de la superficie interior,  $T_{is_{min}}$  es la temperatura mínima de la superficie interior,  $T_{os_{max}}$  es la temperatura máxima de la superficie exterior y  $T_{os_{min}}$  es la temperatura mínima de la superficie exterior (Barrios et al., 2012).

#### c) Resistencia Térmica ó Valor R.

Jannat et al. (2020), señala que la resistencia térmica de los materiales está condicionada a que tan conductores de calor son y a su espesor. La Norma Mexicana NMX-C-460-ONNCCE-2009 define a la Resistencia térmica total de un elemento de la envolvente; Valor R como:

“Es la suma de las resistencias superficiales, internas y externas, y de las resistencias térmicas de las varias capas de los diversos materiales que componen al elemento de la envolvente, esta suma también es conocida como valor R. Es el inverso del coeficiente total de transmisión de calor K, sus unidades son  $m^2K/W$ .” (Federal, 2009).

Givoni (1974) en Muhammad & Wonorahardjo (2020), señala que la resistencia térmica es una propiedad termo físicas considerada como importante. Ya que es la capacidad de los materiales para rechazar el flujo de calor. Friess & Rakhshan (2017), recomiendan que incrementar la resistencia de conducción de calor en los muros es una estrategia para contrarrestar la transmisión por conducción. Además Nayak & Prajapatl (2006), señalan que para incrementar la resistencia térmica de los muros es

posible a través de la aplicación de termoaislantes, incrementar el espesor y aplicar colores claros aislantes a las superficies expuestas.

#### d) Transmitancia térmica ó Valor U.

De acuerdo con Jannat et al. (2020), describe a la transferencia térmica como al índice de transmisión del flujo de calor de un elemento de la envolvente que puede ser sencilla o integrada por varias capas, esto repartido por la desigualdad térmica del elemento, los autores señalan que esta propiedad es contraria en proporción a la resistencia térmica. La Norma Mexicana NMX-C-460-ONNCCE-2009 define al coeficiente total de transferencia de calor como:

“Es el flujo de calor o frío que pasa a través de 1 m<sup>2</sup> de un cuerpo de caras plano-paralelas con espesor de 1 m durante una hora, cuando entre las dos caras hay una diferencia de 1° C, se representa generalmente por la letra K, sus unidades son W/m<sup>2</sup>K.” (Federal, 2009).

El Valor U es un indicador del desempeño térmico de la envolvente (Nayak & Prajapatl, 2006). Friess & Rakhshan (2017), recomiendan que disminuir el valor U en los materiales ayuda a mitigar las perdidas por conducción en la envolvente. Según Jannat et al. (2020) el incrementar las capas de materiales aislantes en los muros obtiene como resultado la disminución de valor U y una mayor estabilidad en la temperatura interior.

### **2.7. Marco normativo respecto a la envolvente.**

Existen diversas normas nacionales e internacionales que determinan valores sobre las propiedades de los materiales que conforman la envolvente, estos valores permiten realizar estrategias de optimización a la envolvente con la finalidad de obtener los objetivos establecidos en habitabilidad, confort térmico y consumo energético.

#### **2.7.1. Normativas internacionales.**

La Organización Internacional de Normalización ISO es un organismo formado por individuos de entidades nacionales de normalización, pertenecientes a países en

crecimiento (Guillén et al., 2015). Estas normas están dirigidas al manejo del tema del ambiente y de la energía entre otros. A continuación, se presentan las normas que están dirigidas a la eficiencia energética de los edificios que proceden de esta organización (Tabla 6).

**Tabla 6**  
Normas internacionales dirigidas a las edificaciones.

Norma	Título	Objetivo
ISO 10456:2007	<i>Building materials and products- Hygrothermal properties- Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values.</i> (Materiales y productos de construcción. Propiedades higrotérmicas. Valores de diseño tabulados y procedimientos para determinar los valores térmicos declarados y de diseño)	Esta norma facilita tabuladores que contiene valores que se utilizan para el cálculo de transferencia de calor y humedad de materiales y productos para la construcción (ISO, n.d.).
ISO 13790:2008	<i>Energy performance of buidings- Calculation of energy use for space heating and cooling.</i> (Eficiencia energética de los edificios: cálculo del uso de energía para calefacción y refrigeración de espacios)	Esta norma facilita el proceso de cálculo dirigida al análisis de la energía para la refrigeración y calefacción, transferencias de calor, ganancia térmicas entre otras (ISO, n.d.).
ISO 13153:2012	<i>Framework of the design process for energy-saving single-family residential and small commercial buildings.</i> (Marco del proceso de diseño para edificios residencial unifamiliares y pequeños comerciales de ahorro de energía)	Esta norma tiene el objeto de dirigir preceptos de diseño que oriente a profesionales en la creación de proyectos que se involucren con el uso de energía (ISO, n.d.).
ISO 18292:2011	<i>Energy performance of fenestration systems for residential buildings- Calculation procedure.</i> (Eficiencia energética de los sistemas de ventanas para edificios residenciales. Procedimiento de cálculo)	Esta norma facilita el proceso para el cálculo del desempeño energético del acristalamiento en edificios de uso residencial (ISO, n.d.).

### 2.7.2. Normativas nacionales.

De acuerdo con el Código de edificación de vivienda (CONAVI, 2017), México posee cinco normas dirigidas a la envolvente, cuyo objetivo se dirige a la optimización del desempeño térmico. A continuación, se presentan cada una de ellas (Tabla 7).

**Tabla 7**  
*Normas mexicanas dirigidas a la envolvente.*

Norma	Titulo	Objetivo
NOM-018-ENER-2011	Aislantes Térmicos para Edificaciones. Características, y Métodos de prueba.	Es una norma oficial mexicana que tiene como objetivo establecer las propiedades y métodos de evaluación que debe ser cumplido por los productos, componentes y elementos termoaislantes de la envolvente de edificios (Secretaría de Energía, 2011a).
NMX-C-460-ONNCCE-2009	Industria de la Construcción-Aislante Térmico-Valor "R" para las envolventes de Vivienda por Zona Térmica para la República Mexicana-Especificación y Verificación.	Esta norma mexicana determina precisiones de la resistencia térmica tota o Valor R para su aplicación en la envolvente de las viviendas, con el objeto de optimizar la habitabilidad así como para minimizar la demanda de energía utilizada para climatizar los espacios interiores, según la zona térmica del estado donde se localice (DOF - Diario Oficial de la Federación, 2021).
NOM-020-ENER-2011	Eficiencia Energética en Edificaciones.- Envoltente de Edificios para uso habitacional.	Es una norma oficial mexicana que tiene como objetivo aligerar las cargas del sistema de refrigeración al restringir las ganancias de calor de la envolvente de edificios (Secretaría de Energía, 2011b).
NOM-008-ENER-2011	Eficiencia Energética en Edificaciones.- Envoltente de Edificios No Residenciales.	Es una norma oficial mexicana que tiene como objetivo aligerar las cargas del sistema de refrigeración al limitar las ganancias de calor de la

NOM-024-ENER-2012	Características Térmicas y Ópticas del Vidrio y Sistemas Vidriados para Edificaciones. Etiquetado y Métodos de Prueba.	<p>envolvente de edificios (Secretaría de Energía, 2001)</p> <p>Es una norma oficial mexicana acreditar los componentes de los elementos y sistemas de vidrio y el modo de inspección, para alcanzar un adecuado desempeño térmico en la envolvente (Secretaría de Energía, 2012).</p>
-------------------	--	--

a) NOM-020-ENER-2011 Eficiencia energética en edificaciones, Envolverte de edificios para uso habitacional.

Con el objeto de responder a la problemática del confort térmico y la demanda de energía para la climatización la CONUEE presenta diversas normativas entre las que se encuentra la NOM-020, la cual se dio a conocer y entro en vigencia desde el 2011(CONUEE, 2017). La norma mexicana tiene como objetivo aligerar las cargas del sistema de refrigeración al restringir las ganancias de calor de la envolvente de edificios, su aplicación es para edificaciones recientes y para las extensiones de edificios existentes, la norma contiene los valores del coeficiente global de transferencia de calor o Valor K de diferentes ciudades del país de acuerdo a un modelo de referencia, para la ciudad de Ensenada el valor K para techos y muros de un conjunto horizontal de hasta tres niveles que comparte muros es de 0.909 W/m<sup>2</sup>K (Secretaría de Energía, 2011b). Alpuche Cruz & Duarte Aguilar (2017), señalan que la normativa utiliza un modelo como referencia para el proceso de evaluación del edificio base, para que la norma se cumpla el edificio base debe referir ganancias de calor menores o iguales a las del edificio de referencia, la evaluación es sobre las ganancias de calor por radiación y por conducción en estado estacionario, una desventaja que menciona los autores es que la norma no considera climas extremos.

b) NMX-C-460-ONNCCE-2009 Industria de la Construcción-Aislante Térmico-Valor "R" para las envolventes de Vivienda por Zona Térmica para la República Mexicana-Especificación y Verificación.

El objetivo de esta norma es determinar la resistencia térmica o Valor R de la envolvente en edificaciones residenciales según a la zona térmica de su localización,

a fin de reducir el consumo de energía destinada para climatizar los espacio interiores y optimizar la habitabilidad de los mismos, la norma establece zonas térmica que se determinan de acuerdo a la clasificación climática de Köppen y los Grados-Días, a partir de estas zonas se establece un valor de resistencia térmica para los muros, las losas y los entrepisos ventilados, los valores se dividen en mínimo, habitabilidad y ahorro de energía, de acuerdo a la norma la ciudad de Ensenada se encuentra dentro de la zona térmica 3C, se considera con un clima Cs de acuerdo con la clasificación climática de Köppen, es decir un clima templado, por lo que los valores de resistencia que pide la norma para los elementos de la envolventes son, para losas, resistencia mínima de  $1.40 \text{ m}^2\text{K/W}$ , resistencia para habitabilidad de  $2.30 \text{ m}^2\text{K/W}$ , resistencia para ahorro de energía de  $2.80 \text{ m}^2\text{K/W}$  y para muros, resistencia mínima de  $1.00 \text{ m}^2\text{K/W}$ , resistencia para habitabilidad de  $1.23 \text{ m}^2\text{K/W}$ , resistencia para ahorro de energía de  $1.80 \text{ m}^2\text{K/W}$  (Federal, 2009). Esta norma forma parte de los principios de la norma NOM-020-ENER-2011(Ruiz Torres, 2019).

### **2.7.3. Estrategias para la optimización de la envolvente.**

La superficie exterior de la envolvente al estar expuesta a la radiación solar, absorberá la energía que incide sobre ella, lo que provocara la conducción del calor a través de los materiales que la constituyen hasta llegar a la superficie interior (Friess & Rakhshan, 2017; Iranfar & Al-Din, 2020), promoviendo un aumento en la temperatura del ambiente interior, ante esta situación se requerirá de climatizar el ambiente para mantener la temperatura dentro de la zona de confort. Autores como Bhamare et al. (2019), mencionan que desarrollar estrategias de enfriamiento pasivo ayudan al medio ambiente, disminuyen el consumo de energía y proporciona espacios confortables, utilizar disipadores de refrigeración ambiental entre los que se encuentran los materiales de construcción, el aire, el agua, el cielo nocturno, promoverá a la mitigación del aumento de la temperatura del edificio, un factor importante para la selección de la estrategia es considerar las condiciones climáticas del lugar, los limites espaciales y el rendimiento de la estrategia.

Reducir la transferencia de calor en la envolvente de los edificios es un hecho importante para minimizar el uso de climatización artificial al interior de los espacio, ya

que la envolvente actúa como una barrera térmica para el mantenimiento de las temperaturas interiores (Iranfar & Al-Din, 2020). Dos estrategias para disminuir la transferencia de calor por la envolvente pueden ser, primero un mayor aislamiento y segundo disminuir la cantidad de energía solar que absorbe (Friess & Rakhshan, 2017). Al-tamimi (2022), señala que cuando la envolvente de un edificio presenta un aislamiento adecuado se obtienen una reducción en la demanda de energía, aislar térmicamente la cara de la envolvente que se encuentra en contacto con el exterior minimiza las cargas de refrigeración en el periodo de un año en climas cálidos. Sadineni et al. (2011), señala que el 60.0 % de las pérdidas de calor se producen a través de las cubiertas por lo que aplicar aislantes en ellas propicia la disminución de las cargas de aire acondicionado, este ejercicio ha tenido gran relevancia en la actualidad.

#### a) Termoaislantes.

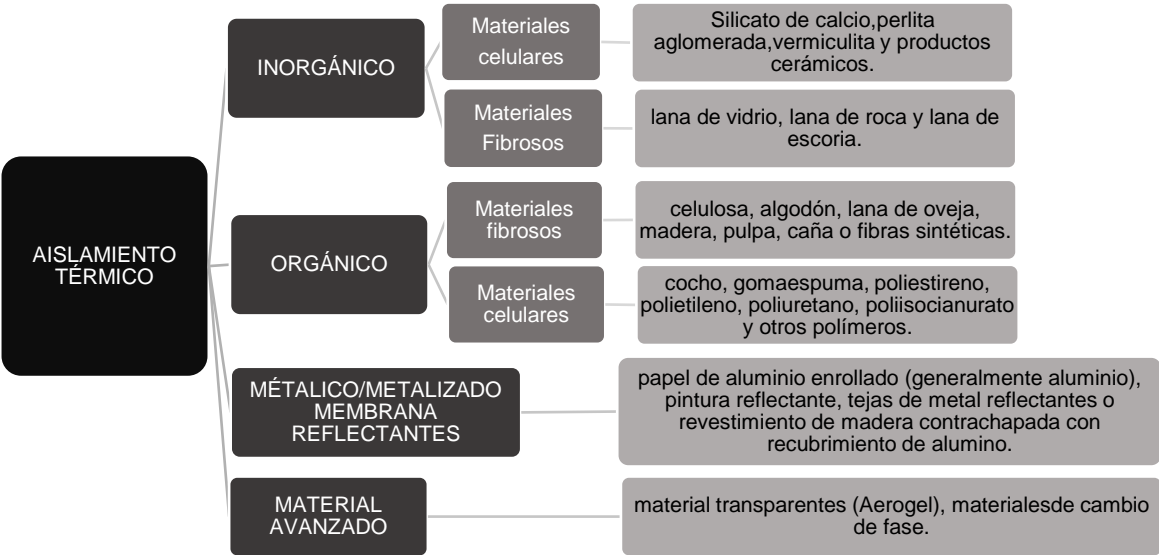
La función de los termoaislantes consiste en retrasar la transferencia de calor del interior o el exterior de las edificaciones producidas por conducción, convección o radiación, esto sucede debido a la alta resistencia al calor que es una de sus propiedades termo físicas (Sadineni et al., 2011). El rendimiento de un aislante es medido a través de la conductividad térmica y el valor R, a menor conductividad térmica y mayor valor R será mejor la efectividad del aislante (Chen et al., 2020). La conductividad baja, tiene la función de evitar la transferencia de calor, al aplicarlos a la envolvente funcionan como barreras (Guillén Guillén & Muciño Vélez, 2020). La conductividad térmica es la propiedad que tiene mayor influencia en su desempeño, esta propiedad depende de la densidad y porosidad del material así como la humedad que pueda contener y el desfase de la temperatura media (Kaynakli, 2012).

Sadineni et al. (2011), mencionan que para obtener un óptimo desempeño de los termoaislantes, estos deben aproximarse en la cara expuesta al calor, estos autores sugieren que para climas donde la calefacción es utilizada con mayor frecuencia el aislante debe colocarse en la cara de la envolvente que se encuentra al interior del espacio mientras que para climas donde las cargas de refrigeración son más comunes la aplicación del aislante debe ser en la cara que se encuentra expuesta

al exterior. Los espesores varían según las condiciones climáticas y la cuestión de pérdidas o ganancias de calor que se requiera, para climas cálidos proponen espesores para muros y losas de 25, 50, 75 y 100 mm (Al-tamimi, 2022), para templado cálido espesores de 50 mm en muros y 100 mm en losas (Ré & Filippín, 2021) para clima frío el espesor propuesto es de 100 mm para muros y losa (Wang et al., 2019).

Como mencionan Reyes et al. (2020), los aislantes son una estrategia importante para efecto de minimizar las ganancias térmicas, seleccionar adecuadamente el tipo de aislante para la envolvente en climas extremos permitirá obtener una reducción en el consumo de energía. Otros beneficios del uso de aislantes en la envolvente esta reducir la capacidad de los equipos de aire acondicionado (Sadineni et al., 2011). Así como conseguir un equilibrio en la temperatura interior de los edificios (Lodete et al., 2020). Los termoaislantes tiene presentaciones variadas, desde mantas de fibra mineral como la fibra de vidrio, de relleno como la lana de roca, agregado para el concreto como la perlita, paneles como el poliestireno, espumas como el poliuretano, bloques de hormigón aislado y materiales reflectantes como el papel aluminio, además se clasifican en inorgánicos, orgánicos, metálicos y material avanzado (Figura 12) (Sadineni et al., 2011).

**Figura 12**  
Clasificación de los termoaislantes.



Nota. Traducido de "Passive building energy savings: A review of building envelope components" por Sadineni et al(2011), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (3617-3631).

## 2.8. Simulación térmica dinámica

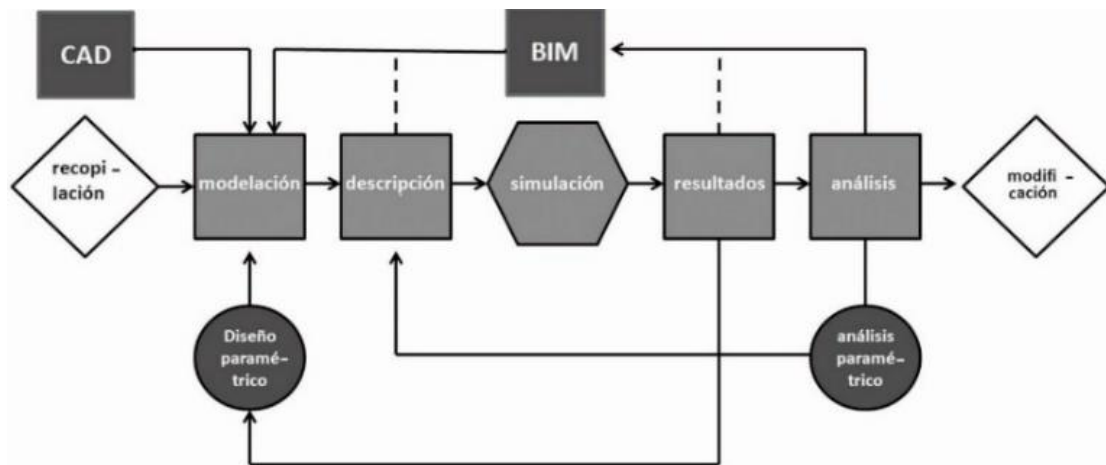
De acuerdo con Rizzarello et al. (2018), la simulación es un instrumento fundamental para el análisis del desempeño térmico de los edificios en un periodo de tiempo determinado, facilitando la comparación entre propuestas, en etapas iniciales del diseño o hasta su construcción, esto con el objeto de localizar la más adecuada para su entorno. Para realizar una correcta simulación el programa se debe ser configurado con datos del edificio, del clima y del usuario, partiendo de esta información, el simulador genera datos de la calidad del ambiente interior, el consumo de energía, ganancias de calor, ventilación, iluminación entre otros, los resultados son generados de forma gráfica o numérica (García-Alvarado et al., 2014). Como resultado se obtienen Modelos Energéticos de Edificios (BEM), los cuales se tratan de representación tridimensionales simples que describen el comportamiento con respecto a la transición del flujo de calor como resultado de diversos factores que intervienen como son el uso y especificaciones del edificio y el usuario así como las variables climáticas (Boccalatte et al., 2020). Una ventaja para reducir el tiempo de modelaje menciona Lobos et al. (2014), se encuentra en interpolar los archivos de los programas de *Building Information Modeling* (BIM por sus siglas en inglés) como son Revit, Archicad entre otros, al software de simulación ó *Building Performance Simulation* (BPS por sus siglas en inglés) como son Design Builder, Ecotec, Energy Plus entre otros.

García-Alvarado et al. (2014), afirman que existen diversos programas de simuladores que provienen de diversas instituciones, estos pueden clasificarse por su metodología, por su complejidad, así como el alcance de los objetivos, la investigación y la etapa de diseño, el proceso para realizar una simulación energética comienza al ingresar diversos parámetros al modelo y a partir de esta información el simulador realiza un procesamiento de datos dando como resultado las condiciones del ambiente interior así como la demanda de energía (Figura 13). Los aspectos positivos en el uso de simuladores están establecer estrategias de optimización de la calidad ambiental y también para la reducción en el consumo de energía, los modelos ofrecen información cuantitativa para estimar efectos así como propuestas adecuadas para el

acondicionamiento en la envolvente, la complejidad de la correlación entre las variables climáticas, el diseño de los edificios, la ventilación, la iluminación y los usuarios pueden ser comprendidos a través de simulación de modelos, estos permiten examinar su interacción (Borbon-Almada et al., 2020; García-Alvarado et al., 2014; Ghadami et al., 2021).

**Figura 13**

*Diagrama del proceso de la metodología para la simulación.*



*Nota. Obtenido de “Características relevantes de la simulación energética de viviendas unifamiliares” por García-Alvarado et al. (2014), Informes de la Construcción, Vol. 66 (533).*

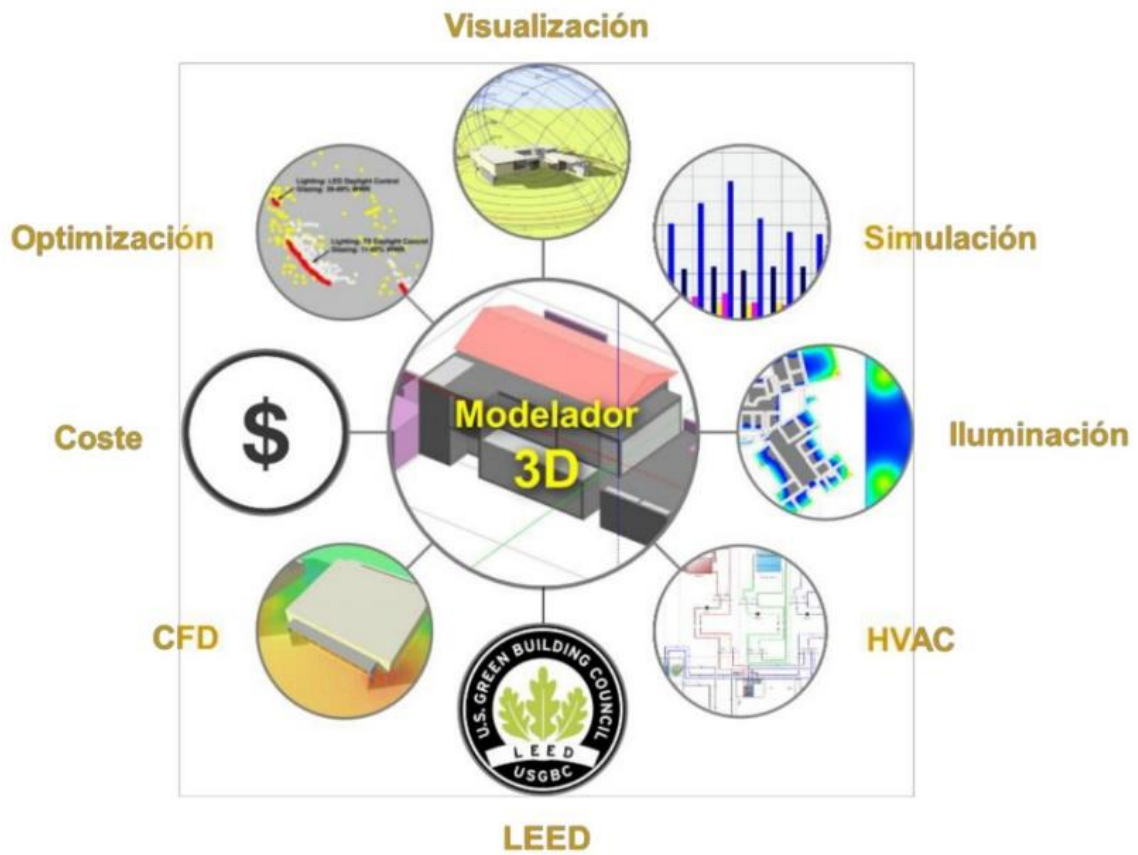
### 2.8.1. **DesignBuilder**

Es un programa diseñado especialmente para la simulación del ambiente y la energía de los edificios, entre los datos que proporciona se encuentran las cargas de aire acondicionado, de confort térmico, gasto de energía y emisiones de CO<sub>2</sub>, también analiza los efectos de la ventilación natural y el rendimiento de la iluminación artificial entre otros. El simulador cuenta con una metodología de trabajo que se compone de ocho módulos de evaluación a partir de un modelo tridimensional (Figura 14), el módulo de visualización, con tecnología *OpenGL*, ofrece imágenes realistas del modelo, el módulo EnergyPlus, con su motor de cálculo presenta simulaciones en tiempo real, este módulo puede ser utilizado para examinar los modelos con sistemas mecánicos de climatización o con ventilación natural, el módulo de iluminación natural, está diseñado para calcular y adecuar la luz natural dentro de las edificaciones, este módulo ofrece informes para certificaciones como LEED, en el módulo Coste se puede

generar un análisis de los costos de las partidas que incluye el comportamiento de un edificio con eficiencia energética, el módulo Optimización, ofrece toda un gama de propuestas gracias al uso de algoritmos evolutivos lo que permite obtener la estrategia que cumpla con los requerimientos ambientales y energéticos del edificio, el módulo HVAC ofrece análisis referentes a los sistemas de climatización, en el módulo LEED ofrece los parámetros para el cumplimiento de la certificación, el módulo CFD analiza el comportamiento de las temperaturas así como del movimiento del aire a modo de pronóstico (Ordoñez, 2014).

Cada módulo se encarga de evaluar un factor determinado, pero al mismo tiempo se complementan para un diagnóstico integral del desempeño del modelo, uno de los módulos utilizados contiene el motor de cálculo de EnergyPlus el cual permite llevar a cabo simulaciones dinámicas de un nivel avanzado y en tiempo real, DesignBuilder trabaja con archivos DXF (*Drawing Exchange Format*), PDF (*Portable Document Format*), BMP (*Windows Bitmap*), JPG (*JPEG*), PNG (*Portable Network Graphics*), GIF (*Graphics Interchange Format*) y TIFF (*Tagged Image File Format*) para facilitar el dibujo del modelo tridimensional y con archivos climatológicos de formato .epw (*EnergyPlus weather format*) de EnergyPlus y TMY (*Typical Meteorological Years*) para obtener los datos climáticos requeridos en la simulación (Ordoñez, 2014). Autores señalan que las ventajas que ofrece DesignBuilder es el análisis de la correlación entre las variaciones de los materiales de la envolvente y la eficiencia energética del edificio (Albatayneh, 2021). Permite realizar análisis del consumo de energía, la iluminación y el confort térmico de los edificios, entre otros (Pawar & Kanade, 2018). En cada fase del diseño DesignBuilder puede ser empleado, ofrece a su usuario la posibilidad de introducir información propia del diseño o utilizar las predeterminadas ya que cuenta con una base de datos, permite importar archivos BIM y ofrece resultados graficados de forma muy detallada (Attia, 2011).

**Figura 14**  
Metodología de trabajo a través de módulos de análisis.



Nota. Obtenido de "Manual de ayuda DesignBuilder en español" por (Ordoñez, 2014), Sol.arq Soluciones Arquitectonicas Sostenibles.

## CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

---



### 3.1. Diseño de la investigación.

El fenómeno que se estudia es de tipo correlacional entre variables que pueden ser medibles, los datos que se obtienen durante el proceso son de tipo numérico y los resultados deben ser analizados a través de medios estadísticos. Se requiere que el estudio contenga una estructura que incluya objetivos e hipótesis y que pueda llevarse a cabo dentro de ambientes controlados. Por estas características se determinó un enfoque cuantitativo para dirigir la investigación, de tipo experimental con un experimento tipo cuasi experimental (Figura 15).

**Figura 15**

*Diagrama del diseño de la investigación.*



*Nota. Elaboración propia de acuerdo con Hernández-Sampieri et al., 2017*

#### 3.1.1. **Unidad de análisis.**

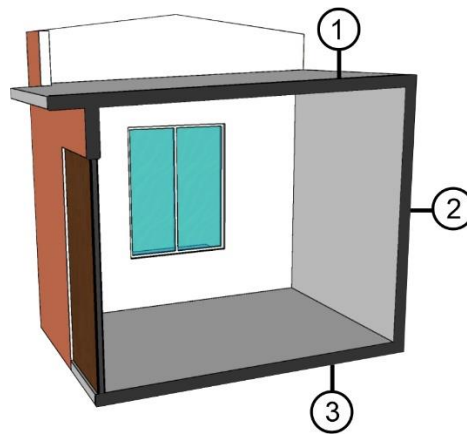
La unidad de análisis para la presente investigación fue una vivienda de tipo interés social construida en serie de forma industrializada con un sistema constructivo de encofrado de concreto elaborado con el sistema meccano. Becerra-Santacruz & Lawrence (2016), señalan que las edificaciones industrializadas se llevan a cabo a través de una línea de producción que consta de una serie de actividades similares que se van reproduciendo una y otra vez, lo que permite que la construcción sea factible y controlada, su sistema constructivo es monolítico lo que indica que el concreto se cuela en el molde que forman los muros y la losa conjuntamente, el valor de la transmitancia térmica o valor U que presenta la envolvente opaca de estas viviendas se encuentra entre 3 a 4 W/m<sup>2</sup>K. Rojas et al. (2016), mencionan que en México la elaboración de viviendas con este sistema constructivo ha ido en aumento debido a la ventaja que se obtiene en el tiempo de construcción, pero por el contrario presentan una desventaja la cual se encuentra en las propiedades termo físicas del material que se utiliza para la envolvente, que resulta ser un concreto de elevada

densidad el cual proporciona un valor menor en resistencia térmica y una alta capacidad térmica. Becerra-Santacruz & Lawrence (2016), mencionan que la medida para climatizar los espacios interiores de estas viviendas es a través de la ventilación natural y que su envolvente no presenta ningún tipo de aislamiento. A continuación, se describe el sistema constructivo del tipo de vivienda industrializada del conjunto habitacional donde se ubica la unidad de análisis (Tabla 8).

**Tabla 8**

*Especificaciones de la envolvente opaca de la vivienda industrializada con sistema monolítico.*

Modelo de vivienda industrializada con sistema monolítico



Simbología	Sistema	Sistema constructivo
		Materiales de la capa externa a la interna
1	Cubierta	1. Impermeabilización a base de sellador tapaporo, Brea y fibra de vidrio asfaltada y mineralizada. 2. Losa de concreto armado de 10 cm de espesor $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> armado con varilla del No.3 en ambos sentidos. 3. Textura Acrílica.
2	Muros	1. Sellador y pintura vinílica. 2. Muros de concreto armado de 10 cm de espesor $f'c=200$ kg/cm <sup>2</sup> armado con varilla del No.3 en ambos sentidos. 3. Textura Acrílica.
3	Piso	1. Firme de 10 cm de espesor $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> con malla electro soldada 6-6/10-10. 2. acabado concreto pulido.

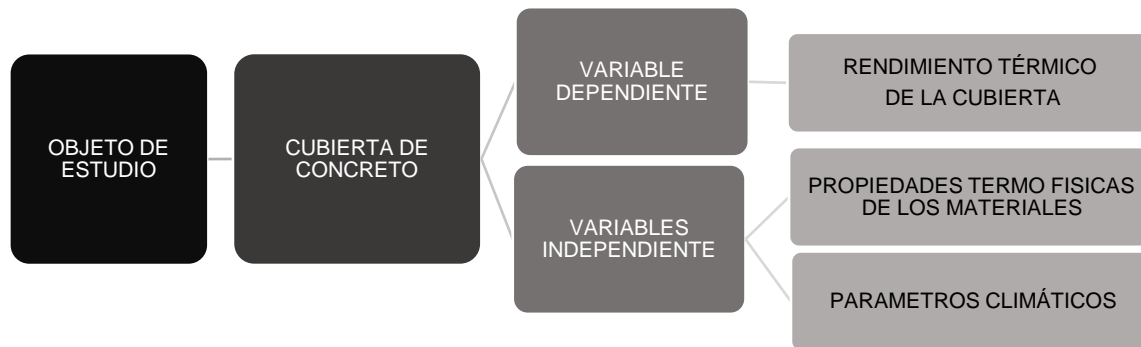
*Nota. Elaboración propia de acuerdo con ficha técnica.*

### 3.1.2. Objeto de estudio.

Para el objeto de estudio se consideró analizar la cubierta. Como se observó en el marco teórico, las propiedades termo físicas de los materiales que constituyen la envolvente junto con las condiciones climáticas son factores que intervienen en el comportamiento de la envolvente, este desempeño determina la estabilidad térmica de los espacios interiores y las cargas de aire acondicionado que se requieren para lograr condiciones de confort térmico, de acuerdo con esto se establece que las variables independientes del objeto son las propiedades termo físicas de los materiales y los parámetros climáticos y como variable dependiente se considera al rendimiento térmico de la cubierta (Figura 16). En la Tabla 9 se describen cada una de las variables independientes del objeto de estudio.

**Figura 16**

*Diagrama del objeto de estudio.*



**Tabla 9**

*Definición de las variables independientes.*

	Variables	Simbología	Unidad
Dependiente Envolvente	V1 Rendimiento térmico		
Independiente Propiedades termo físicas de los materiales	V2.1 Conductividad Térmica	$\lambda$	W/mK
	V2.2 Densidad	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>
	V2.3 Calor específico	$C_p$	J/kgK
	V2.4 Emisividad	$\varepsilon$	
	V2.5 Reflectancia solar o Albedo	$\rho$	
Independiente Variables Climáticas	V3.1 Temperatura del aire	$T_a$	°C
	V3.2 Temperatura de bulbo húmedo		°C
	V3.3 Humedad Relativa	HR	%
	V3.4 Velocidad de viento		m/s
	V3.5 Radiación solar		W/m <sup>2</sup>
	V3.6 Dirección del viento		

### 3.2. Procedimiento Experimental

El experimento se diseñó en ocho fases con la finalidad de conseguir los objetivos planteados en esta investigación. Para comenzar el proceso experimental la primera y segunda fase consistieron en determinar el objeto y área de estudio respectivamente, a continuación la selección de la muestra se llevó a cabo en la fase tres, en la cuarta y quinta fase se estableció el periodo de estudio y se determinaron los instrumentos para la medición y el programa de simulación para los escenarios, la instalación de los instrumentos se realizó en la sexta fase y también se determinaron las especificaciones para la medición y recolección de datos. La séptima fase se destinó para la simulación de los escenarios y la validación de los datos y por último la octava fase consistió en el análisis de los resultados (Figura 17).

**Figura 17**  
Diagrama del diseño del experimento.



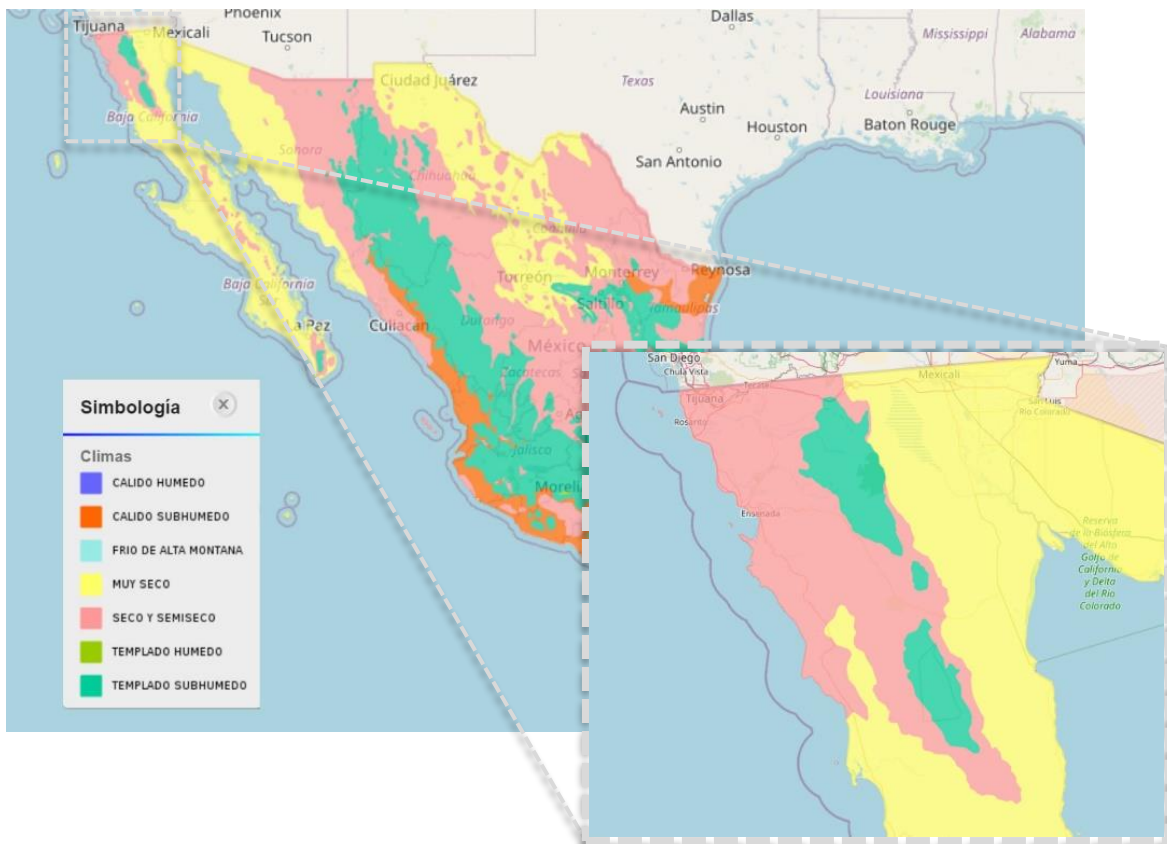
### 3.2.1. Área de estudio

El área de estudio fue la ciudad de Ensenada, la cual se encuentra ubicada en el municipio que recibe el mismo nombre, en el estado de Baja California. Su localización geográfica es al noroeste de la República Mexicana con coordenadas 31° 51' 30" latitud Norte y 116° 38' 00" longitud Oeste con una altitud de 16 msnm. Colinda al norte con los municipios de Playas de Rosarito, Tijuana, Tecate, Mexicali, al este con el Golfo de California, al sur con el Municipio de San Quintín, el Estado de Baja California Sur y al oeste con el Océano Pacífico.

De acuerdo con el Sistema de información geográfica (SIG) del Registro Único de la Vivienda (RUV), el estado de Baja California cuenta con tres tipos de bioclimas: Muy seco, Seco y Semiseco y Templado subhúmedo, la ciudad de Ensenada cuenta con un bioclima Seco y Semiseco tal como se observa en la Figura 18.

**Figura 18**

*Mapa de la clasificación de bioclimas en el país.*



*Nota. Imagen obtenida del Sistema de Información Geográfica (SIG) del Registro Único de la Vivienda (RUV) <https://geoespacial.ruv.org.mx/map>.*

La ciudad de Ensenada presenta condiciones de sobre calentamiento los meses de julio y agosto, registrando temperaturas máximas promedio de 24 °C, por lo que se considera a estos meses como los más cálidos, las condiciones de bajo calentamiento se presentan los meses de diciembre, enero y febrero, con temperaturas mínimas promedio de 12 °C, 13 °C y 13 °C respectivamente, estos meses son considerados como los más fríos. Las condiciones de humedad durante el año se mantienen dentro de una constante, el porcentaje de humedad relativa más alto durante el periodo estival se registra el mes de agosto con 67% y en el periodo invernal el porcentaje más bajo se registra en el mes de enero con 62%, los datos climatológicos se obtuvieron del programa *Climate Consultant 6.0* junto con el archivo *EPW* del sitio (Figura 19).

**Figura 19**

*Datos climáticos de la ciudad de Ensenada de acuerdo con el archivo EPW del sitio.*

<b>WEATHER DATA SUMMARY</b>		<b>LOCATION: ENSENADALOSENCINOS, - , -</b>											
		Latitude/Longitude: 31.904° North, 116.598° West, Time Zone from Greenwich -8											
		Data Source: MN7 999 WMO Station Number, Elevation 77 m											
<b>MONTHLY MEANS</b>	<b>JAN</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>APR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AUG</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DEC</b>	
Global Horiz Radiation (Avg Hourly)	330	376	461	506	502	491	507	501	480	425	346	305	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Avg Hourly)	527	478	522	544	470	451	472	488	533	543	505	471	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Avg Hourly)	97	127	142	151	183	176	176	167	144	124	105	103	Wh/sq.m
Global Horiz Radiation (Max Hourly)	665	779	965	1033	1087	1091	1094	1028	1044	850	799	629	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Max Hourly)	991	978	1023	1012	1008	989	986	999	1019	995	1011	976	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Max Hourly)	280	391	437	499	511	511	480	500	437	387	332	300	Wh/sq.m
Global Horiz Radiation (Avg Daily Total)	3355	4077	5456	6482	6865	6901	7026	6573	5862	4763	3587	3037	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Avg Daily Total)	5358	5162	6169	6955	6420	6337	6543	6378	6499	6076	5214	4692	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Avg Daily Total)	990	1380	1688	1948	2505	2476	2437	2207	1758	1392	1092	1026	Wh/sq.m
Global Horiz Illumination (Avg Hourly)	35274	40373	49521	54574	54715	53788	55926	55454	52791	46447	37611	32904	lux
Direct Normal Illumination (Avg Hourly)	48261	44484	49596	52432	44704	42766	45036	47786	52271	51439	48858	43114	lux
Dry Bulb Temperature (Avg Monthly)	13	13	15	16	19	21	24	24	23	19	16	12	degrees C
Dew Point Temperature (Avg Monthly)	5	6	8	9	12	14	17	17	16	12	8	5	degrees C
Relative Humidity (Avg Monthly)	62	65	66	64	64	66	66	67	66	63	62	64	percent
Wind Direction (Monthly Mode)	220	180	170	210	170	200	160	220	180	180	160	160	degrees
Wind Speed (Avg Monthly)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	m/s
Ground Temperature (Avg Monthly of 1 Depths)	17	15	15	15	17	18	20	21	21	21	20	18	degrees C

*Nota. Imagen obtenida del programa Climate Consultant 6.0*

### 3.2.2. Selección de muestra

La selección de las muestras se encontró con limitantes debido a las restricciones aplicadas a la población como medida de seguridad durante la pandemia. Las viviendas forman parte del parque habitacional Villas del Prado I, que se ubica en la zona Noroeste de la ciudad de Ensenada, dicho fraccionamiento colinda con la presa Emilio López Zamora (Figura 20).

**Figura 20**

*Ubicación del parque habitacional villas del prado I dentro de la zona urbana.*



*Nota. Imagen obtenida de Google Earth recuperada el 24 de mayo 2021.*

La muestra consistió en dos viviendas de interés social con envolvente opaca de concreto, construidas de forma industrializada con el sistema de meccano, la primera vivienda se denominó vivienda muestra, su envolvente opaca cuenta con una adecuación que consiste en un bloqueador nano-térmico de alta refractividad, el acceso a esta vivienda no presentó restricciones, la segunda vivienda a la que se le denominó vivienda testigo, su envolvente opaca no presentaba ninguna adecuación y el acceso fue restringido en algunas áreas (Figura 21).

**Figura 21**

*Viviendas seleccionadas.*

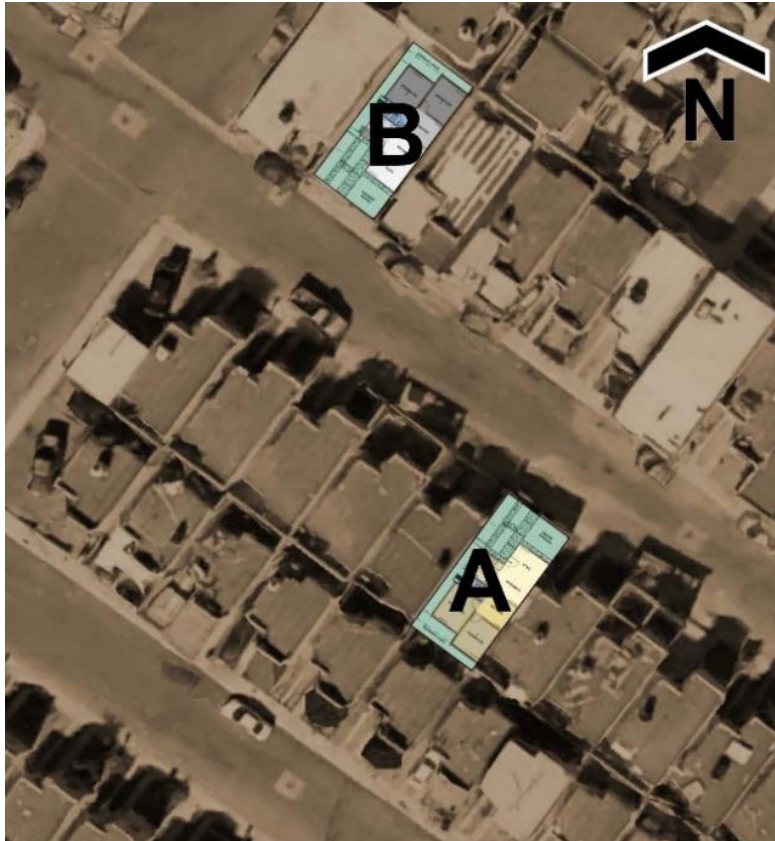


*Nota. A) Vivienda muestra B) Vivienda testigo. Fotografías capturadas el 21 de noviembre 2021. A) Vivienda muestra B) Vivienda testigo.*

Uno de los ajustes que se realizaron en la selección de las muestras fue que ambas viviendas contaran con la misma orientación, debido a las restricciones de acceso se trabajó con orientaciones opuestas (Figura 22), para poder cumplir con los objetivos del estudio se consideró evaluar el rendimiento de la cubierta para posteriormente realizar la comparación entre ambas.

**Figura 22**

*Ubicación de las viviendas seleccionadas.*



*Nota. A) Vivienda muestra B) Vivienda testigo. Imagen obtenida de Google Earth recuperada el 24 de mayo 2021.*

Las viviendas seleccionadas se encuentran emplazadas en un terreno de 7 m de frente y 15 m de largo y cuentan con 52 m<sup>2</sup> de construcción aproximadamente. A continuación, se describe las características de cada una, la Tabla 10 describe a la vivienda muestra y la Tabla 11 describe la vivienda testigo.

**Tabla 10**  
Especificaciones de la vivienda muestra.

Descripción de la vivienda A muestra



**Orientación:**  
Noreste

**Espacios:**  
Sala  
Comedor  
Cocina  
Estudio  
Habitación 1  
Habitación 2  
Baño

Envolvente

Materiales de la capa externa a la interna

**Cubierta:**

1. Bloqueador Térmico THERMAXX.
2. Impermeabilización.
3. Brea y fibra de vidrio asfaltada y mineralizada.
4. Losa de concreto armado de 10 cm de espesor  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> armado con varilla del No.3 en ambos sentidos.
5. Textura Acrílica.
6. Pintura Vinílica.

**Muros exteriores:**

1. Bloqueador Térmico THERMAXX.
2. Pintura vinílica.
3. Sellador.
4. Muros de concreto armado de 10 cm de espesor  $f'c=200$  kg/cm<sup>2</sup> armado con varilla del No.3 en ambos sentidos.
5. Textura Acrílica.
6. Pintura Vinílica.

**Muros interiores:**

1. Pintura vinílica.
2. Textura Acrílica.
3. Muros de concreto armado de 10 cm de espesor  $f'c=200$  kg/cm<sup>2</sup> armado con varilla del No.3 en ambos sentidos.
4. Textura Acrílica.
5. Pintura vinílica.

**Piso interior:**

1. Firme de 10 cm de espesor  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> con malla electro soldada 6-6/10-10.
2. Loseta.
3. Aislante-Bajo Piso plata 1/8 (descripción: espuma de polietileno con una película de Aluminio).
4. Piso laminado.

**Ventanas:**

1. Vidrio sencillo claro de 3 mm de espesor.

**Tabla 11**

*Especificaciones de la vivienda testigo.*

Descripción de la vivienda B testigo



**Orientación:**  
Suroeste

**Espacios:**  
Sala  
Comedor  
Cocina  
Habitación 1  
Habitación 2  
Baño

Envolvente

Materiales de la capa externa a la interna

**Cubierta:**

1. Impermeabilización.
2. Brea y fibra de vidrio asfaltada y mineralizada.
3. Losa de concreto armado de 10 cm de espesor  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> armado con varilla del No.3 en ambos sentidos.
4. Textura Acrílica.
5. Pintura Vinílica.

**Muros exteriores:**

1. Pintura vinílica.
2. Sellador.
3. Muros de concreto armado de 10 cm de espesor  $f'c=200$  kg/cm<sup>2</sup> armado con varilla del No.3 en ambos sentidos.
4. Textura Acrílica.
5. Pintura Vinílica.

**Muros interiores:**

1. Pintura vinílica.
2. Textura Acrílica.
3. Muros de concreto armado de 10 cm de espesor  $f'c=200$  kg/cm<sup>2</sup> armado con varilla del No.3 en ambos sentidos.
4. Textura Acrílica.
5. Pintura vinílica.

**Piso interior:**

1. Firme de 10 cm de espesor  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> con malla electro soldada 6-6/10-10.
2. Loseta.

**Ventanas:**

1. Vidrio sencillo claro de 3 mm de espesor.

### 3.2.3. **Días típicos.**

Otra de las limitaciones a las que se enfrentó esta investigación, fue la adquisición de los equipos. La fecha de entrega de los aparatos fue un motivo para replantear el periodo de monitoreo en el sitio, se tomó la decisión de medir únicamente en el periodo invernal, esta medición servirá para evaluar el rendimiento térmico en el periodo de invierno y permitirá validar el modelo que será utilizado para poder evaluar las estrategias constructivas en los dos periodos y de esta forma seleccionar la propuesta con el rendimiento térmico adecuado para invierno y verano. Para llevar a cabo estas tareas fue necesario establecer un día típico histórico, un día típico real, un día típico para validación y simulación en periodo invernal y un día típico para la simulación en periodo estival. A continuación, se describe el proceso de designación de cada uno de ellos.

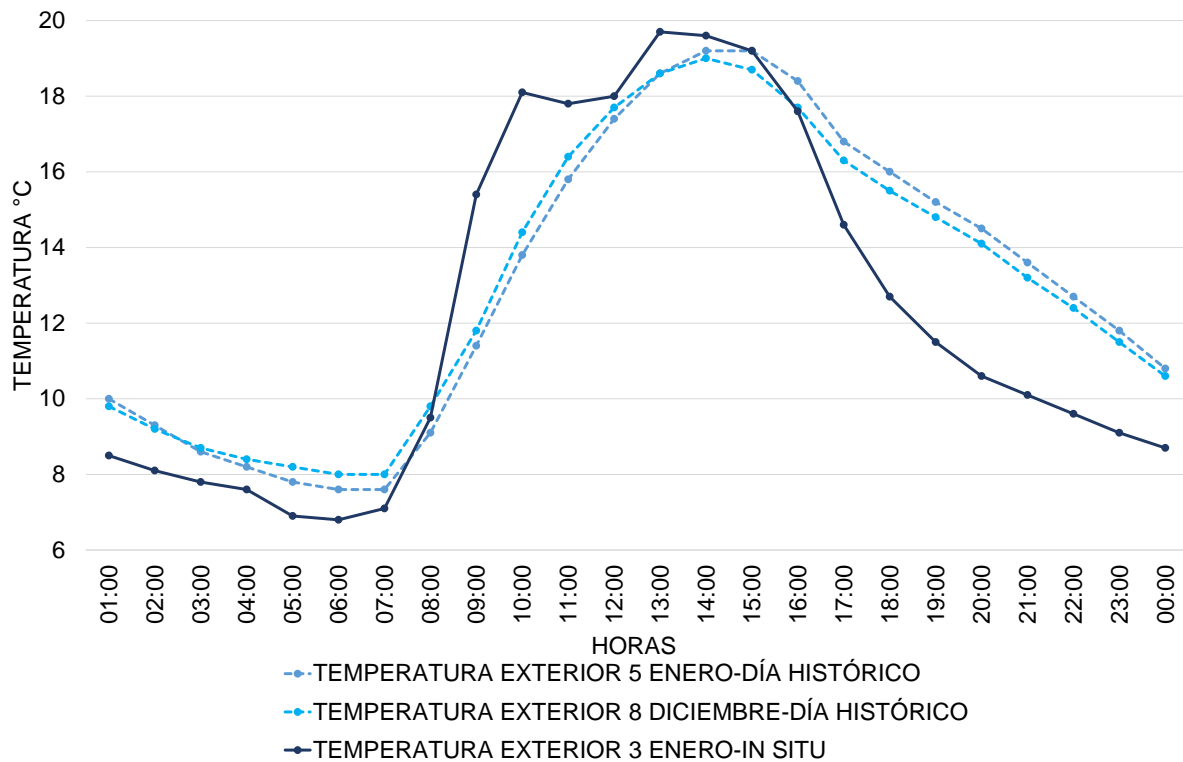
#### a) Día típico histórico a partir del archivo climático EPW.

El día típico histórico se obtuvo a partir de un archivo EPW generado con el programa *Meteonorm* con las coordenadas del emplazamiento de la vivienda clasificada como vivienda muestra, los datos proporcionados por este archivo fueron procesados a través del programa *DView 1.0.0* y la hoja de cálculo basada en la norma ANSI ASHRAE desarrollada por el Dr. Aníbal Luna. Como resultado se obtuvo que para el periodo invernal los días 8 de diciembre y 5 de enero son considerados como días típicos, esto quiere decir que son los días con las condiciones climáticas promedio de estos meses (Figura 23). Estos días típicos permitieron determinar el periodo de medición *in situ*, el periodo debía incluir ambas fechas, se determinó un espacio de 6 semanas comenzando del 6 de diciembre al 15 de enero.



**Figura 24**

Grafica comparativa de la variable de temperatura del aire entre los días típicos históricos y el día medido in situ.



**Tabla 12**

Tabla comparativa de los datos de la variable de temperatura exterior y su oscilación de los días típicos.

Día Típico	T <sub>max</sub>	T <sub>m</sub>	T <sub>min</sub>	Oscilación
5 enero (Histórico)	19.2	13.1	7.6	11.6
8 diciembre (Histórico)	19.0	13.0	8.0	11.0
3 enero ( <i>In situ</i> )	19.7	12.3	6.8	12.9

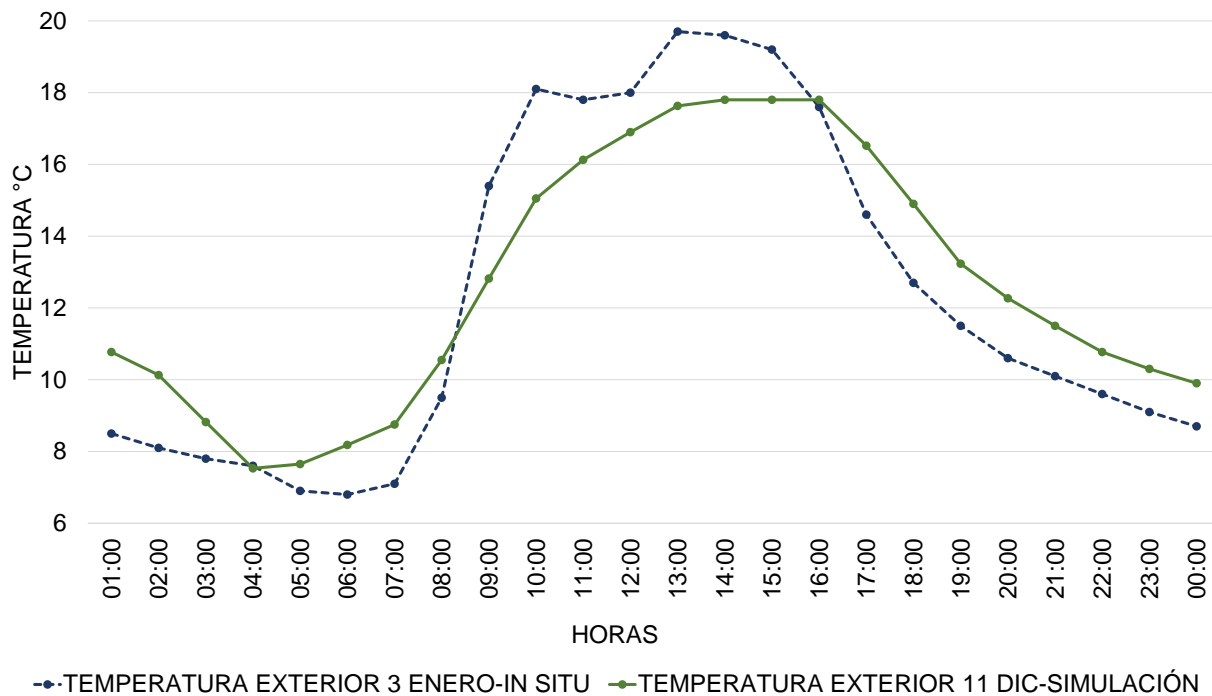
c) Día típico para validación y simulación del periodo invernal a partir del archivo climático TMYx.

Para la validación del modelo y simulación del periodo invernal se requirió determinar un día típico, para ello se utilizó un archivo TMYx de la ciudad de Ensenada el cual se obtuvo del sitio *Climate.OneBuilding.Org*. Este archivo contiene la información climática completa requerida por el simulador. Se procedió a localizar un día en el archivo EPW que contiene el archivo TMYx cuyas temperaturas coincidieran

con las del día típico real, los datos fueron procesados en el simulador *DesignBuilder®* y los resultados se compararon a través de gráficas, se contrastó la variable de temperatura del aire exterior de forma horaria del día medido *in situ* con los días con temperaturas más similares a este del archivo EPW, se obtuvo que el día 11 de diciembre presentaba un comportamiento similar al día medido *in situ*, así como la temperatura máxima ( $T_{max}$ ), mínima ( $T_{min}$ ), media ( $T_m$ ) y la oscilación de esta variable (Figura 25, Tabla 13).

**Figura 25**

Grafica comparativa de la variable de temperatura de aire entre el día típico medido *in situ* y el día típico para simulación.



**Tabla 13**

Tabla comparativa de los datos de la variable de temperatura exterior y su oscilación de los días típicos.

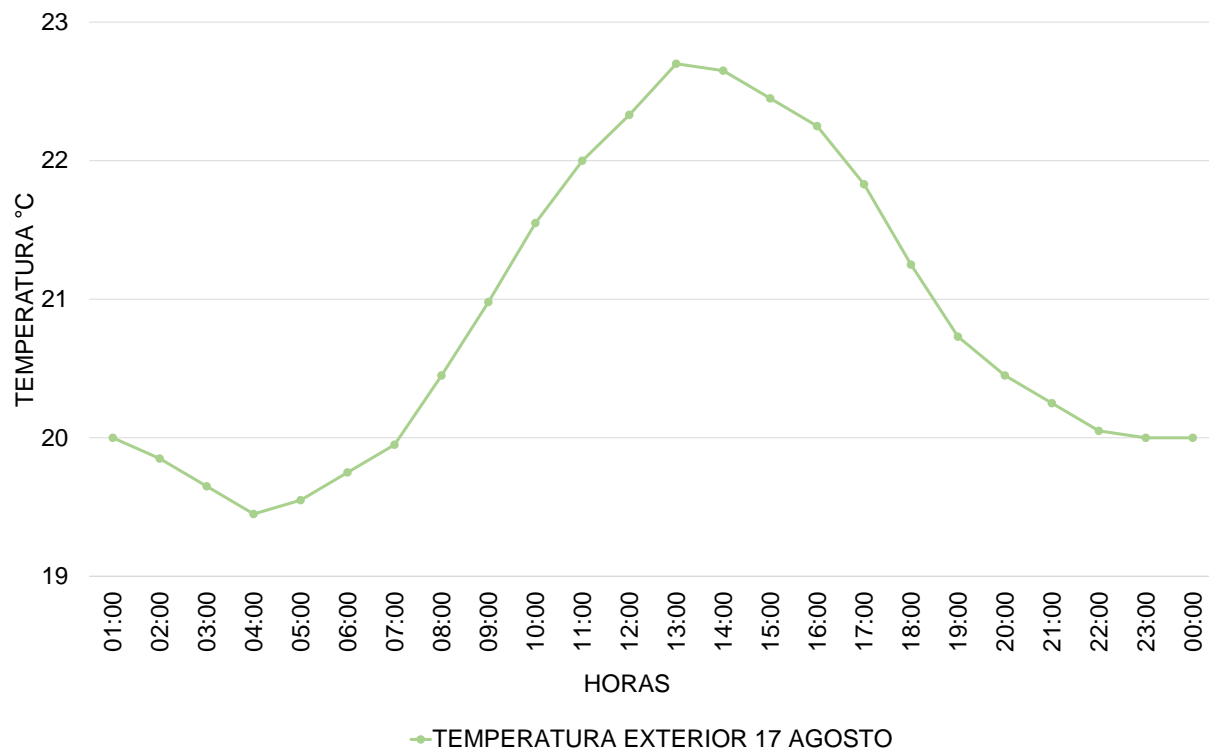
Día Típico	$T_{max}$	$T_m$	$T_{min}$	Oscilación
3 enero ( <i>In situ</i> )	19.7	12.3	6.8	12.9
11 diciembre (validación y simulación periodo invernal)	17.8	12.7	7.5	10.3

d) Día típico para simulación del periodo estival a partir del archivo climático TMYx.

Para la simulación del periodo estival se requirió determinar un día típico, para ello se utilizó un archivo TMYx de la ciudad de Ensenada el cual se obtuvo del sitio *Climate.OneBuilding.Org*. Este archivo contiene la información climática completa requerida por el simulador. Se realizó un análisis de las temperaturas exteriores a través del simulador utilizando un archivo EPW, que pertenece al conjunto de TMYx, se analizó el mes de agosto por ser el mes más cálido de este periodo, se compararon los datos en gráficas y se determinó el día 17 de agosto como el día típico por contener las condiciones ambientales más favorables para la simulación de los escenarios. A continuación, se presenta una gráfica con el comportamiento de las temperaturas y una tabla con la temperatura máxima ( $T_{max}$ ), mínima ( $T_{min}$ ), media ( $T_m$ ) y la oscilación de esta variable del día seleccionado (Figura 26, Tabla 14).

**Figura 26**

*Día típico para la simulación de escenarios en el periodo estival.*

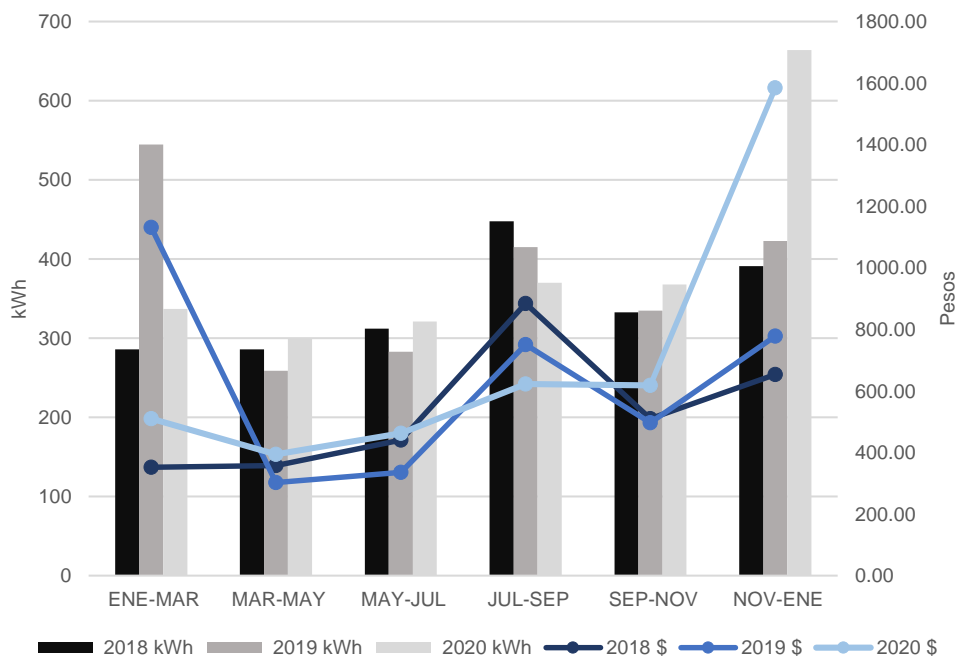


**Tabla 14***Detalles de la temperatura ambiente exterior.*

Día Típico	T <sub>max</sub>	T <sub>m</sub>	T <sub>min</sub>	Oscilación
17 agosto (simulación periodo estival)	22.70	20.84	19.45	3.25

### 3.2.4. *Periodo de medición y simulación. Área de Estudio.*

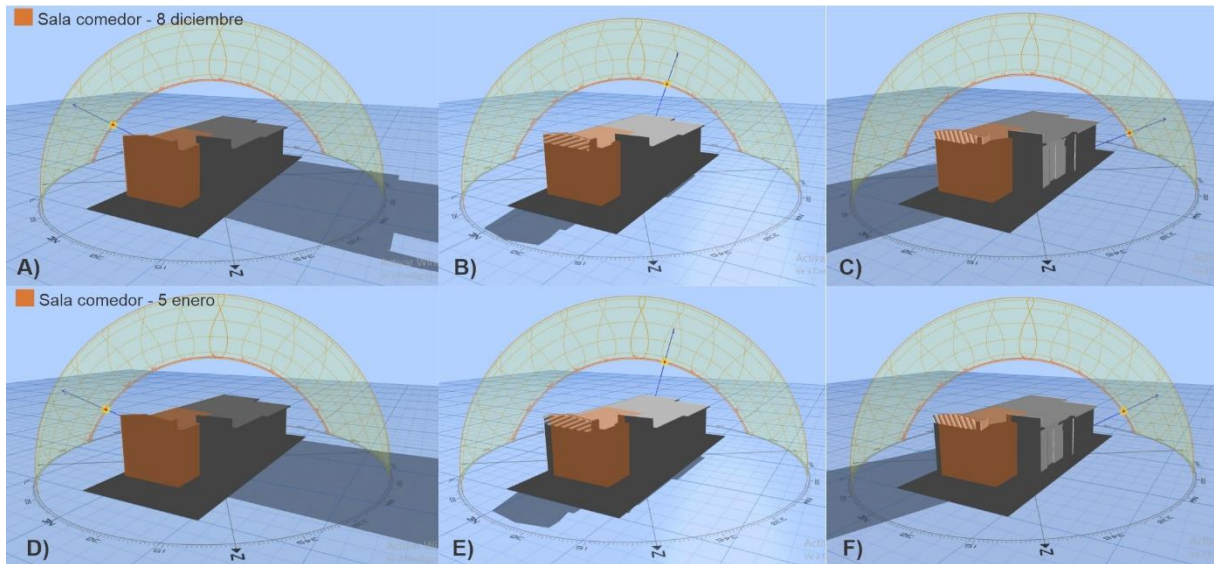
Un análisis realizado en el consumo de energía en el periodo del 2018 al 2020 de la unidad denominada vivienda muestra permitió identificar que los bimestres noviembre-enero y julio-septiembre presentan los mayores consumos (Figura 27), los dos primeros bimestres se encuentran dentro de la estación invernal cuando se registran temperaturas de bajo calentamiento en la ciudad, mientras que el bimestres julio-septiembre se encuentra dentro de la estación estival donde se localizan los meses con las temperaturas más cálidas. El aumento en el consumo en estos periodos podría ser indicativo del comportamiento térmico de la envolvente, lo que equivale a un mayor gasto de energía, como consecuencia del uso de equipos activos para conseguir el confort térmico dentro de los espacios.

**Figura 27***Consumo de la vivienda muestra equivalente en pesos y kWh.*

Un análisis del recorrido solar sobre la vivienda muestra, realizado en los dos meses más fríos del periodo invernal utilizando la aplicación Sunpath3d, permitió resaltar que, de todas las áreas de la vivienda, la sala-comedor presenta una desventaja con respecto a la captación de la radiación solar en la envolvente opaca, en particular la vertical (Figura 28). En esta área se realizan actividades tales como comer, estudiar, convivir y de entretenimiento, por lo cual se consideró pertinente realizar el estudio en este espacio, además, por ser un área menos privada facilitó el acceso en ambas viviendas.

**Figura 28**

*Análisis del recorrido solar en la vivienda muestra, del 8 de diciembre y 5 de enero.*



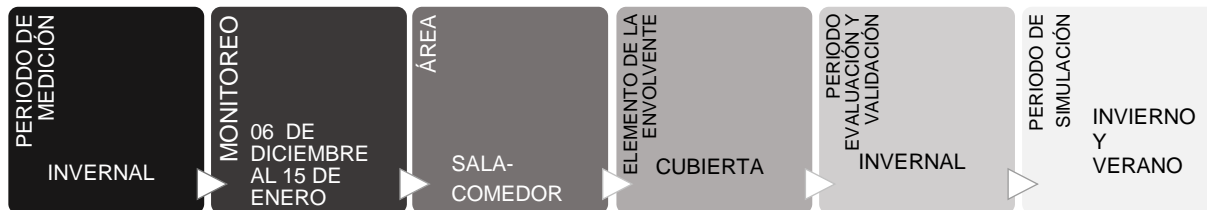
*Nota. Imágenes obtenidas de la página web Sunpath3d, del 8 de diciembre A) Horario 8:00 h, B) Horario 13:00 h, C) Horario 16:00 h y del 5 de enero D) Horario 8:00 h, E) Horario 13:00 h, F) Horario 16:00 h.*

El periodo de monitoreo se determinó a partir de la adquisición de los equipos como se mencionó en el subíndice 3.2.3, se determinó el periodo invernal para la medición en el sitio, evaluación del rendimiento térmico de la cubierta y validación del modelo, los días históricos sirvieron para delimitar un periodo de seis semanas, del 6 de Diciembre del 2021 al 15 de Enero del 2022, un análisis del consumo de energía fue un indicativo de evaluar propuestas en el simulador para ambos periodos, el área de estudio de acuerdo con el análisis del recorrido solar y las limitaciones de acceso de las viviendas, se concluyó en monitorear la sala-comedor. Y la orientación de las

dos viviendas determinó evaluar únicamente la cubierta del área seleccionada. A continuación, se describe dentro del diagrama los detalles (Figura 29).

**Figura 29**

*Diagrama del periodo de medición, validación y simulación, incluye el área de estudio.*










### 3.2.5. *Recolección de datos in situ.*

Para realizar el monitoreo en las unidades de análisis fue necesario determinar los instrumentos y la ubicación de cada uno, así como los detalles para la recolección de datos.

#### a) Instrumentos y especificaciones.

Los instrumentos fueron seleccionados según la norma ISO 7726, así como por los objetivos de la investigación y las limitaciones que se presentaron al momento de su adquisición. De acuerdo con lo que señala la norma ISO 7726 (International Standard, 1998) los instrumentos que miden la variable de la temperatura del aire ( $T_a$ ) deben cumplir con un rango de 10 °C a 40 °C y una precisión de  $\pm 0.5$  °C, con respecto a los instrumentos que miden la variable de la velocidad del aire ( $V_a$ ) deben cumplir con un rango de 0.05 m/s a 1 m/s y una precisión de  $\pm (0.05 + 0.05 V_a)$  m/s, y los instrumentos que miden la variable de la temperatura de la superficie ( $T_s$ ) deben cumplir con un rango de 0 °C a 50 °C y una precisión de  $\pm 1$  °C. Estas especificaciones la norma las señala para estudios de Clase C es decir para estudios de Confort, aunque no es el objetivo de esta investigación fueron utilizados como un parámetro. A continuación, se presenta la lista de los instrumentos determinados para el monitoreo *in situ* (Tabla 15).

**Tabla 15***Tabla de instrumentos seleccionados para el monitoreo in situ.*

	Instrumento	Cantidad	VARIABLES
	Estación Meteorológica ACURITE ATLAS	1	Temperatura del aire ( $T_a$ ) Humedad Relativa (HR) Velocidad y Dirección del aire
	Piranómetro MP-200	1	Radiación solar global
	Termopar SD-TEMP-20	3	Temperatura de la superficie ( $T_s$ )
	Data Logger HOBO MX1104	2	Temperatura del aire ( $T_a$ ) Humedad Relativa (HR) Entrada análoga
	Data Logger HOBO U12-012	1	Temperatura del aire ( $T_a$ ) Humedad Relativa (HR) Entrada análoga
	Data Logger HOBO MX1101	2	Temperatura del aire ( $T_a$ ) Humedad Relativa (HR)
	Data Logger HOBO MX100	1	Temperatura del aire ( $T_a$ )

A continuación, se detallan las especificaciones de cada uno de los instrumentos.

La estación AcuRite Atlas, se compone de dos elementos, la estación exterior y la pantalla HD para el interior, este instrumento permite monitorear condiciones ambientales exteriores e interiores, sus sensores permiten medir la temperatura, la humedad, la velocidad y dirección del viento, la precipitación, los rayos ultravioletas y la intensidad de luz. Los datos se recolectan en una memoria externa ubicada en la pantalla. Los rangos y precisiones se describen en la Tabla 16.

**Tabla 16**  
*Especificaciones de la estación meteorológica.*

ESTACIÓN METEOROLÓGICA ACURITE ATLAS	
Sensores de visualización en interiores	
Rango de Temperatura	32 °F a 122 °F, 0 °C a 50 °C
Rango de Humedad	1-100 % HR
Presión barométrica	16 a 32.50 inHg
Dispositivo para exteriores	
Rango	Precisión
Temperatura	
-40 °F a 158 °F (-40 °C a 70 °C)	±1 °F
Humedad	
1-100 % HR	±2 % HR
Velocidad del viento	
1-160 mph (0-257 km/h)	±1 mph ≤ 10 mph, ±10% >10 mph
Dirección del viento	
360°	±3 °
Precipitación	
0.1 inch intervals (mm)	±5 %
Índice UV	
0 a 15	±1
Intensidad de la luz	
120,000 Lumens	n/a
Iluminación	
hasta 25 millas de distancia (40 km)	n/a

El piranómetro modelo MP 200 es un medidor de la radiación solar, el cual puede ser usado de manera manual o programada, este instrumento puede almacenar hasta 99 mediciones, cada 48 mediciones equivalen a 24 horas. Los datos deben ser descargados cada 99 mediciones ya que es el límite que tiene el pirómetro para almacenar. Los rangos y precisiones se describen en la Tabla 17.

**Tabla 17**  
*Especificaciones del piranómetro.*

PIRANÓMETRO MP-200	
Calibración a 1000 W m-2	Inferior al 3 %
Repetibilidad (confiabilidad) de la medición	Inferior al 1 %
Tiempo de respuesta	Menos de 1 ms
Campo de visión	180 °
Rango espectral	360 a 1120 nm
Respuesta direccional (coseno)	± 5 % en un ángulo cenital de 75 °
Respuesta de temperatura	0.04 ± 0.04 % por C
Entorno de funcionamiento	0 a 50 C; menos del 90 % de humedad relativa sin condensación hasta 30 C; menos del 70 % de humedad relativa sin condensación de 30 a 50 C; los sensores separados pueden sumergirse en agua hasta una profundidad de 30 m

El Termopar modelo SD-TEMP-20 es un sensor que mide la temperatura del aire, agua y tierra. El termopar envía los datos registrados a un data logger HOBO de modelo MX1104 y MX1105. Los rangos y precisiones se describen en la Tabla 19.

**Tabla 18**  
*Especificaciones termopar SD-TEMP-20.*

TERMOPAR SD-TEMP-20	
Rango	-40 ° a 50 °C (-40 ° a 122 °F) en agua, -40 ° a 100 °C (-40 ° a 212 °F) en aire
Precisión	±0.15 °C de 0 ° a 50 °C (±0.27 °F de 32° a 122 °F), inserte la sonda 2.3 cm mínimo
Resolución	0.002 a 25 °C (0.003 a 77 °F)
Deriva	<0.1 °C (<0.2 °F) por año
Tiempo de respuesta en el aire	2 minutos típicos al 90 % en aire que se mueve a 1 m/s (2.2 mph)
Carcasa de la sonda	Punta de sensor recubierta de cobre
Dimensiones de la sonda	5.1 x 33 mm (0.2 x 1.3 pulgadas)
Longitud del cable	SD-TEMP-20: 5.1 m (20 pies)

El data logger HOBO o registrador de datos, modelo MX1104 contiene sensores para registrar datos de las variables de temperatura, humedad relativa, intensidad de luz. También cuenta con una entrada analógica para ser utilizada con un termopar modelo SD-TEMP-20. Los datos pueden ser transmitidos de forma inalámbrica a dispositivos móviles. Cuenta con una pantalla LCD en la cual se pueden observar datos en tiempo real. Los rangos y precisiones se describen en la Tabla 20.

**Tabla 19**  
*Especificaciones del data logger HOBO modelo MX1104*

HOBO MX Analog/Temp/RH/Light Data Logger (MX1104)	
Sensor de temperatura	
Rango	-20 ° a 70 °C (-4 ° a 158 °F)
Precisión	±0.21 °C de 0 ° a 50 °C (±0.38 °F de 32 ° a 122 °F)
Resolución	0.002 °C a 25 °C (0.004 °F a 77 °F)
Sensor de humedad relativa	
Rango	0 % a 100 % a -20 ° a 70 °C (-4 ° a 158 °F), La exposición a condiciones superiores al 95 % puede aumentar temporalmente el error máximo del sensor de HR en un 1 % adicional.
Precisión	± 2.5 % del 10 % al 90 % (típico) hasta un máximo de ± 3.5 %, incluida histéresis a 25 °C (77 °F); por debajo del 10 % y por encima del 90 % ± 5 % típico
Resolución	0.01 %

El data logger HOBO o registrador de datos modelo U12-012 contiene sensores para registrar datos de las variables de temperatura, humedad relativa, luz y cuenta con una entrada analógica para ser utilizada con un termopar modelo SD-TEMP-20. Los datos son transmitidos a través de un cable USD a la computadora. Los rangos y precisiones se describen en la Tabla 21.

**Tabla 20**  
*Especificaciones del data logger HOBO modelo U12-012*

HOBO MX Temp/RH/Light Data Logger (U12-012)	
Sensor de temperatura	
Rango	-20 ° a 70 °C (-4 ° a 158 °F)
Precisión	±0.35 °C de 0 ° a 50 °C (±0.63 °F de 32 ° a 122 °F)
Resolución	0.03 °C a 25 °C (0.05 °F a 77 °F)

Sensor de humedad relativa	
Rango	5 % a 95 %
Precisión	RH $\pm 2.5$ % del 10 % al 90 % de humedad típica, hasta un máximo de $\pm 4.5$ % incluyendo histéresis a 25 °C (77 °F); por debajo del 10 % y por encima del 90 % $\pm 5$ % típico
Resolución	0.05 %
Sensor de Iluminación	
Rango	Intensidad de luz: 1 a 3000 pie-velas (lúmenes / pie <sup>2</sup> ) típico; El valor máximo varía de 1500 a 4500 pie-velas (lúmenes / pie <sup>2</sup> )
Precisión	Diseñado para la medición en interiores de los niveles de luz relativos.

El data logger HOBO o registrador de datos modelo MX1101 contiene sensores para registrar datos de las variables de temperatura y humedad relativa. Los datos pueden ser transmitidos de forma inalámbrica a dispositivos móviles. Cuenta con una pantalla LCD en la cual se pueden observar datos en tiempo real. Los rangos y precisiones se describen en la Tabla 22.

**Tabla 21**  
Especificaciones del data logger HOBO modelo MX1101

HOBO MX Temp/RH Data Logger (MX1101)	
Sensor de temperatura	
Rango	-20 ° a 70 °C (-4 ° a 158 °F)
Precisión	$\pm 0.21$ °C de 0 ° a 50 °C ( $\pm 0.38$ °F de 32 ° a 122 °F)
Resolución	0.024 °C a 25 °C (0.04 °F a 77 °F)
Sensor de humedad relativa	
Rango	1 % a 90 % (sin condensación)
Precisión	Precisión $\pm 2$ % del 20 % al 80 % típico hasta un máximo de $\pm 4.5$ % incluyendo histéresis a 25 °C (77 °F); por debajo del 20 % y por encima del 80 % $\pm 6$ % típico
Resolución	0.01 %

El data logger HOBO o registrador de datos modelo MX100 contiene un sensor para registrar datos de la variable de temperatura. Los datos pueden ser transmitidos de forma inalámbrica a dispositivos móviles. Los rangos y precisiones se describen en la Tabla 23.

**Tabla 22***Especificaciones del data logger HOBO modelo MX100*

HOBO MX Temp/RH Data Logger (MX100)	
Sensor de temperatura	
Rango	-30 ° a 70 °C (-22 ° a 158 °F)
Precisión	±1.0 °C de -30 ° a -5 °C (±1.8 °F de -22 ° a 23 °F)
	±0.5 °C de -5 ° a 50 °C (±0.9 °F de 23 ° a 122 °F)
	±1.0 °C de 50 ° a 70 °C (±1.8 °F de 122 ° a 158 °F)
Resolución	0.04 °C (0.072 °F)

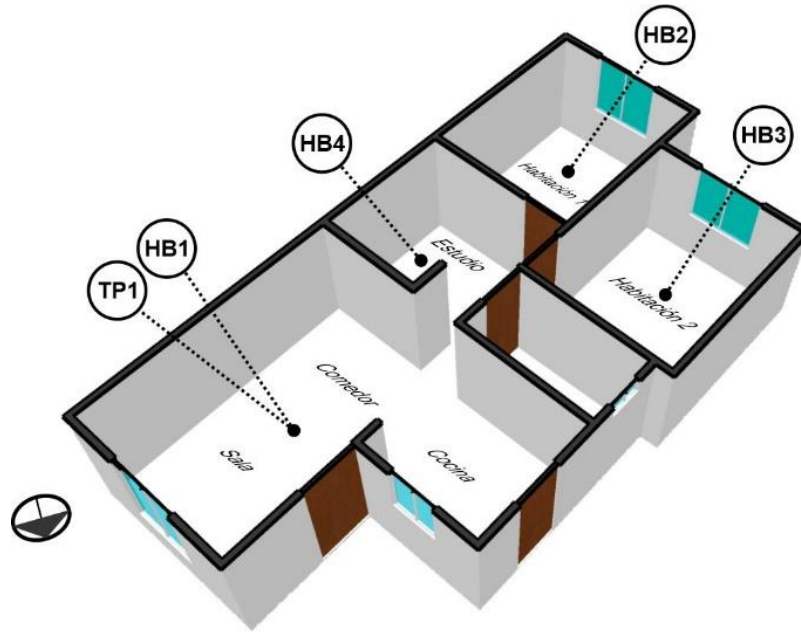
**b) Instalación *in situ*.**

La instalación de los instrumentos se llevó a cabo de acuerdo con lo que señala la norma ISO 7726. Con respecto a los instrumentos que miden la variable  $T_a$  menciona que las alturas recomendables para estudios de confort son 1.10 m para el usuario sentado y 1.70 m para el usuario de pie y que la colocación del equipo debe evitar toda fuente que emita calor por radiación (International Standard, 1998). Para este estudio se consideró colocar los instrumentos al centro geométrico del espacio a una altura de 1.30 m, siendo la altura total interior del espacio 2.60 m.

Al interior de la vivienda muestra se colocaron los registradores de datos para las variables de  $T_a$  y HR en la habitación 1, habitación 2 y estudio, en la sala-comedor por ser el área de estudio se colocó un registrador de  $T_a$  y un termopar en la parte inferior de la losa para medir la temperatura superficial (Figura 30). La Tabla 24 describe a detalle la instalación de los instrumentos dentro de esta vivienda.

**Tabla 23***Especificaciones de los instrumentos instalados al interior de la vivienda muestra.*

Instalación de instrumentos en Vivienda Muestra
---




---

### Sala y comedor

	Modelo: HOBO MX1104	Norma: ISO7726
Simbología: HB1	Variable: T <sub>a</sub> HR Piezas: 1	Especificaciones: al centro del espacio, 1.30 m de altura.  Fecha de instalación: 02 diciembre 2021
	Modelo: TERMOPAR SD-TEMP-20	Norma: ISO7726
Simbología: TP1	Variable: T <sub>s</sub> Piezas: 1	Especificaciones: superficie interior de la losa  Fecha de instalación: 02 diciembre 2021

---

### Habitación 1

	Modelo: HOBO MX1101	Norma: ISO7726
Simbología: HB2	Variable: T <sub>a</sub> HR Piezas: 1	Especificaciones: al centro del espacio, 1.30 m de altura.  Fecha de instalación: 02 diciembre 2021

---

### Habitación 2

	Modelo: HOBO MX1101	Norma: ISO7726
	Variable: T <sub>a</sub> HR	Especificaciones: al centro del espacio, 1.30 m de altura.

Simbología: HB3

Piezas: 1

Fecha de instalación: 02 diciembre 2021

Estudio



Modelo: HOBO MX100

Norma: ISO7726

Variable:  
 $T_a$

Especificaciones: al centro del espacio,  
1.30 m de altura.

Simbología: HB4

Piezas: 1

Fecha de instalación: 05 diciembre 2021

### Figura 30

Instalación de los instrumentos al interior de los espacios de la vivienda muestra.



Nota. A) Termopar instalado en losa y registrador de datos modelo MX1104 colocado en un tripie a una altura de 1.30 m al centro geométrico de la Sala comedor, B) Registrador de datos modelo MX1101 suspendido a una altura de 1.30 m al centro geométrico de la Habitación 1, C) Registrador de datos modelo MX100 suspendido a una altura de 1.30 m al centro geométrico del Estudio. Fotografías capturadas el 05 de diciembre 2021.

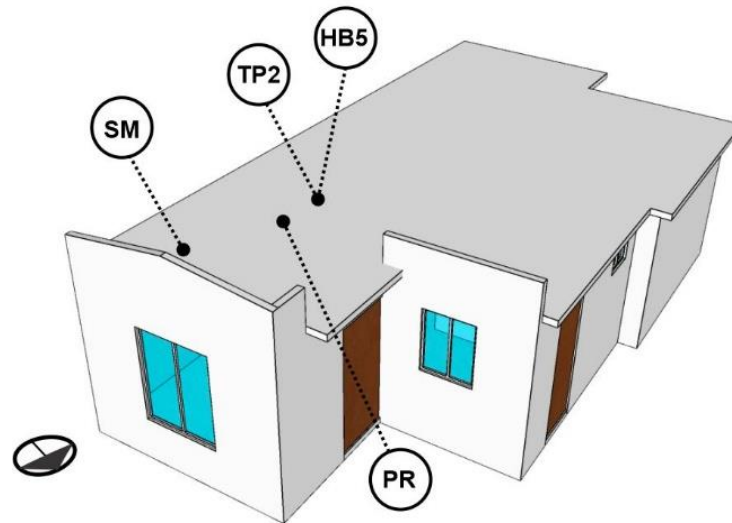
Al exterior de esta misma unidad de análisis se instaló una estación meteorológica la cual monitorea las condiciones ambientales del sitio de estudio, en la losa se instaló también un piranómetro para medir la radiación solar recibida en la losa y un registrador de datos junto con un termopar para medir la temperatura de la superficie exterior de la losa (Figura 31). En la Tabla 25 se especifica a detalle la instalación de cada instrumento.

**Tabla 24***Especificaciones de los instrumentos instalados al exterior de la vivienda muestra.*


---

 Instalación de instrumentos en Vivienda Muestra
 

---




---

 Cubierta exterior
 

---

	Modelo: ESTACIÓN METEOROLÓGICA ACURITE ATLAS Variable: $T_a$ HR Velocidad y dirección del aire Piezas: 1	Especificaciones: cubierta exterior, 5.60 m de altura.  Fecha de instalación: 02 septiembre 2021
Simbología: SM	Modelo: HOBO MX1104  Variable: $T_a$ HR Piezas: 1	Norma: ISO7726  Especificaciones: cubierta exterior  Fecha de instalación: 02 diciembre 2021
	Simbología: HB5	Norma: ISO7726  Especificaciones: superficie exterior de la losa  Fecha de instalación: 02 diciembre 2021
	Simbología: TP2	Modelo: TERMOPAR SD-TEMP-20 Variable: $T_s$ Piezas: 1
	Simbología: PR	PIRANÓMETRO MP-200 Variable: Radiación solar global  Piezas: 1  Fecha de instalación: 02 diciembre 2021

---

**Figura 31**

*Instalación de los instrumentos la cubierta exterior de la vivienda muestra.*



*Nota. Fotografía capturada el 05 de diciembre 2021.*

En la vivienda testigo se instaló en el área de la sala-comedor un registrador de datos junto con su termopar para medir la temperatura de la superficie interior de la losa, debido al número de equipos únicamente se monitoreo al interior, en la instalación del registrador se realizó una modificación en la altura a petición del usuario, el registrador se suspendió de la losa a una separación de 0.60 m de la misma, es decir a 2 m de altura. (Figura 32). La Tabla 26 describe a detalle la instalación de los instrumentos dentro de esta vivienda.

**Figura 32**

*Instalación de los instrumentos al interior de los espacios de la vivienda testigo.*



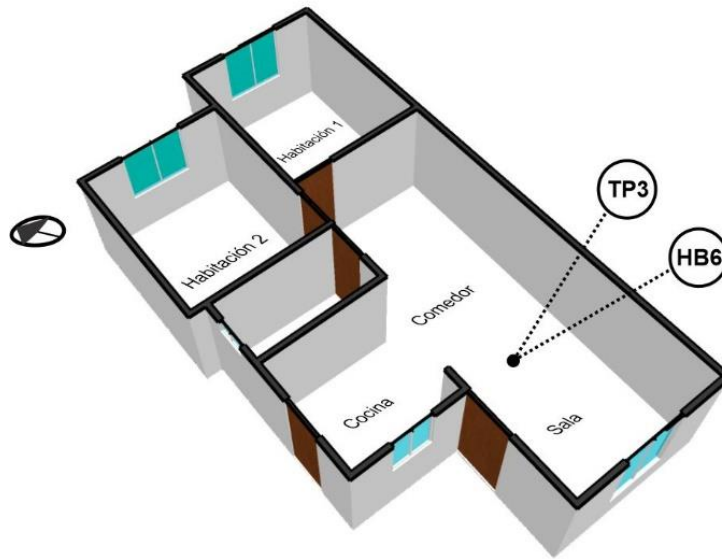
*Nota. Fotografía capturada el 06 de diciembre 2021.*

**Tabla 25***Especificaciones de los instrumentos instalados al interior de la vivienda testigo.*


---

 Instalación de instrumentos en Vivienda Testigo
 

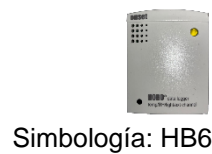
---




---

 Sala y comedor
 

---


 Modelo: HOBO U12-012  
 Variable:  
 $T_a$   
 HR

 Especificaciones: al centro del espacio,  
 2.00 m de altura.

Piezas: 1

Fecha de instalación: 06 diciembre 2021


 Modelo: TERMOPAR  
 SD-TEMP-20  
 Variable:  
 $T_s$   
 Piezas: 1

Norma: ISO7726

Especificaciones: superficie exterior de la losa

Fecha de instalación: 06 diciembre 2021

La instalación de los termopares se llevó a cabo de acuerdo a lo que indica la norma ISO 7726, se debe considerar que entre el sensor y la superficie se debe tener el mayor intercambio de calor, evitando cualquier interferencia con el medio ambiente circundante, para esto se debe aumentar el contacto ente el sensor y la superficie, la norma propone aplicar mayor presión del sensor contra la superficie, el uso de una pasta térmica y colocar un aislante para evitar cualquier intercambio de calor externo (International Stantard, 1998). En este estudio se tomó en cuenta lo señalado por la

norma, así como las recomendaciones de los expertos en el tema, el Dr. Gonzalo Bojórquez Morales<sup>2</sup>, el Dr. Aníbal Luna León y el Dr. Raúl Pavel Ruiz Torres<sup>3</sup>.

Para la instalación de los termopares en este caso de estudio se utilizó una placa de poliestireno de 3/4 pulgada, pasta térmica y cinta de aluminio. Como primer paso se realizó una pequeña ranura en la placa de poliestireno para colocar el termopar, a continuación, se le aplicó pasta térmica a la cara del termopar que estaría en contacto con la superficie y posteriormente se colocó y sujetó con la cinta de aluminio ejerciendo presión, por último, se cubrió por completo la placa aislante con la cinta de aluminio para evitar cualquier filtración de aire (Tabla 27).

**Tabla 26**

*Proceso para la instalación de los termopares.*

Materiales y pasos para la instalación de termopares		
Materiales		
Pasta Térmica. Placa de poliestireno de 3/4 pulgada. Cinta de aluminio.		
		
Proceso para la instalación		
Paso 1	Paso 2	Paso 3

<sup>2</sup> Dr Gonzalo Bojórquez Morales, profesor-investigador de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad Autónoma de Baja California, Investigador Nacional nivel 1, especializado en confort térmico, desarrollo de materiales y evaluación térmica de edificios.

<sup>3</sup> Dr Raúl Pavel Ruiz Torres, profesor universitario-investigador de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas, miembro del cuerpo académico COCOVI.









c) Proceso de recolección de datos.

Como se expuso en los primeros apartados de este capítulo, el periodo para el monitoreo se estableció del 6 de diciembre al 15 de enero. Cada uno de los instrumentos que se utilizaron se programó para la recolección de las mediciones. En el caso de los registradores de datos, se programó con un espacio de 10 min entre cada registro. Con respecto a la estación meteorología la medición fue en intervalos de 10 segundos, en este caso el margen estaba predeterminado por el equipo. El piranómetro registró mediciones cada 30 min, del mismo modo que la estación, el intervalo estaba predeterminado por el instrumento. Cada uno de los instrumentos contaba con memoria interna o externa para el almacenamiento de los datos. Una vez realizado las mediciones se procedió a la descarga y procesamiento. A continuación, la Tabla 28 se presenta los periodos determinados para cada instrumento

**Tabla 27**

*Periodo de recolección de datos de cada instrumento.*

Instrumento	Periodo de estudio	Periodo de recolección
	Estación Meteorológica ACURITE ATLAS	6 de diciembre al 15 enero Con margen de 10 seg
	Piranómetro MP-200	6 de diciembre al 15 enero Con margen de 30 min

	Termopar SD-TEMP-20	6 de diciembre al 15 enero	Con margen de 10 min
	Data Logger HOBOMX1104	6 de diciembre al 15 enero	Con margen de 10 min
	Data Logger HOBOU12-012	6 de diciembre al 15 enero	Con margen de 10 min
	Data Logger HOBOMX1101	6 de diciembre al 15 enero	Con margen de 10 min
	Data Logger HOBOMX100	6 de diciembre al 15 enero	Con margen de 10 min

### 3.2.6. **Parámetros para simulación.**

Para la creación de los escenarios en el programa de simulación *DesignBuilder®* se requirió introducir parámetros del sitio, del clima y del edificio, los cuales fueron utilizados para la simulación y la obtención de resultados. Se determinó realizar el análisis de simulación únicamente en la vivienda muestra ya que se contaba con mayores datos recolectados, así como acceso ilimitado.

#### a) Datos climáticos.

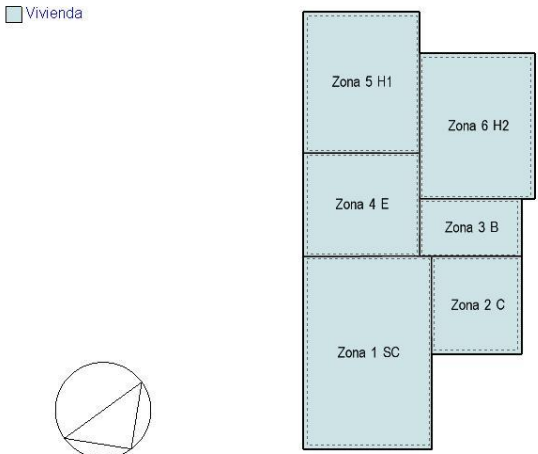
*DesignBuilder®* utiliza archivos de extensión EPW, que contiene los datos del clima de forma horaria, para representar las condiciones del medio ambiente exterior cuando se realizan las simulaciones (Ordoñez, 2014). Para este estudio se utilizó un archivo climático Años Meteorológicos Típicos o *Typical Meteorological Years* (TMYx por sus siglas en inglés) de la ciudad de Ensenada, el cual se obtuvo del sitio *Climate.OneBuilding.org*. El archivo TMYx es un conjunto de archivos de datos meteorológicos típicos de diferentes extensiones, incluye un archivo Formato Meteorológico EnergyPlus o *EnergyPlus Weather Format* (EPW por sus siglas en inglés) así como datos específicos de radiación y precipitación, la base de datos de estos archivos proviene de datos meteorológicos horarios actualizados hasta 2021 de

la Base de datos de superficie integrada o *Integrated Surface Database* (ISD por sus siglas en inglés, de NOAA de Estados Unidos), estos archivos son requeridos para la simulación de escenarios (*Climate.OneBuilding.Org*, 2022).

b) Geometría.

*DesignBuilder*® trabaja con una metodología de modelaje por bloques, en la opción de bloque de edificio se dibuja la geometría principal que contiene la envolvente y las zonas térmicas, mientras que en la opción de bloques de componentes se modelan los elementos arquitectónicos que no intervienen en el desempeño térmico y energético pero si generan sombras, el bloque de componentes son volúmenes sin zonas térmicas, aquí se incluye las edificaciones del contexto (Ordoñez, 2014). Para este estudio se realizó la geometría principal de la vivienda dentro del bloque de edificio, se obtuvo 6 zonas térmicas, la zona 1 que corresponde a la Sala comedor, la zona 2 a la cocina, la zona 3 al baño, la zona 4 al estudio, la zona 5 a la habitación 1 y la zona 6 a la habitación 2 (Tabla 31), en el bloque de componentes se realizaron todos los elementos secundarios como son los pretilos, voladizos, cubierta del pasillo de servicio, muros colindantes y pisos exteriores también se incluyó las viviendas colindantes (Figura 33). Se utilizó como auxiliar de dibujo un archivo Drawing Exchange Format (.DXF por sus siglas en inglés) creado en el programa AutoCAD.

**Tabla 28**  
*Distribución de zonas térmicas y su simbología.*

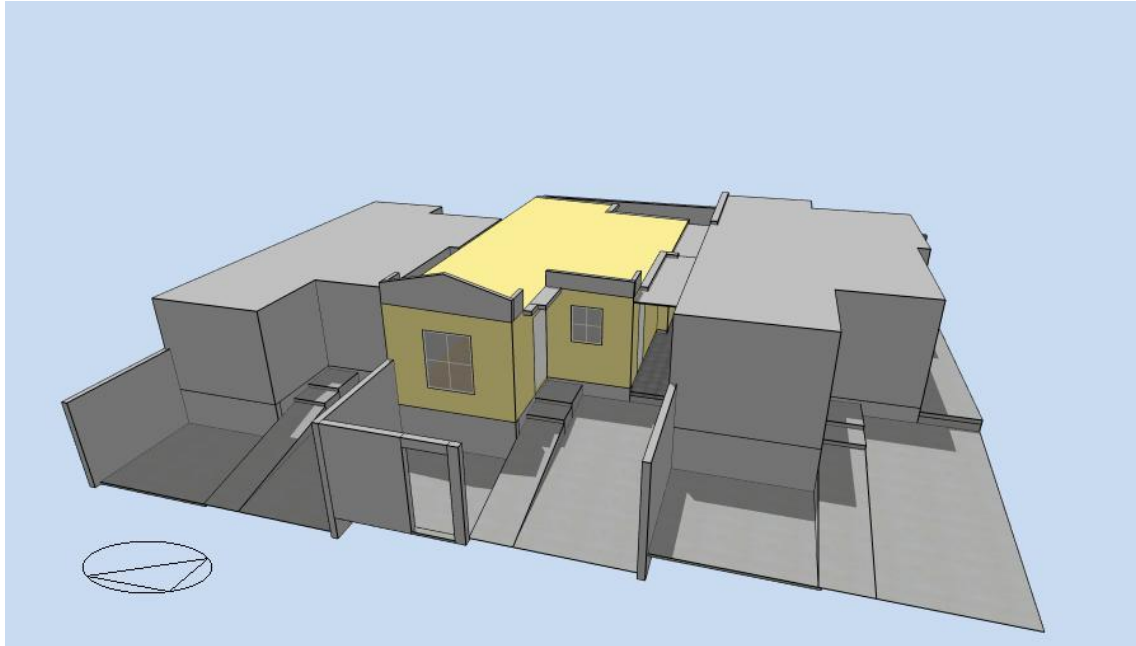
Planta de la vivienda muestra		Simbología	
		Áreas	Zonas térmicas
	Zona 5 H1	SC-Sala comedor	Zona 1
	Zona 6 H2	C- Cocina	Zona 2
	Zona 4 E	B-Baño	Zona 3
	Zona 3 B	E- Estudio	Zona 4
	Zona 2 C	H1- Habitación 1	Zona 5
	Zona 1 SC		

---

*Nota. Imagen elaborada a través de la interfaz gráfica del simulador DesignBuilder® 6.1.8.021*

**Figura 33**

*Geometría de la vivienda y su contexto.*



*Nota. Imagen elaborada a través de la interfaz gráfica del simulador DesignBuilder® v6.1.8.021*

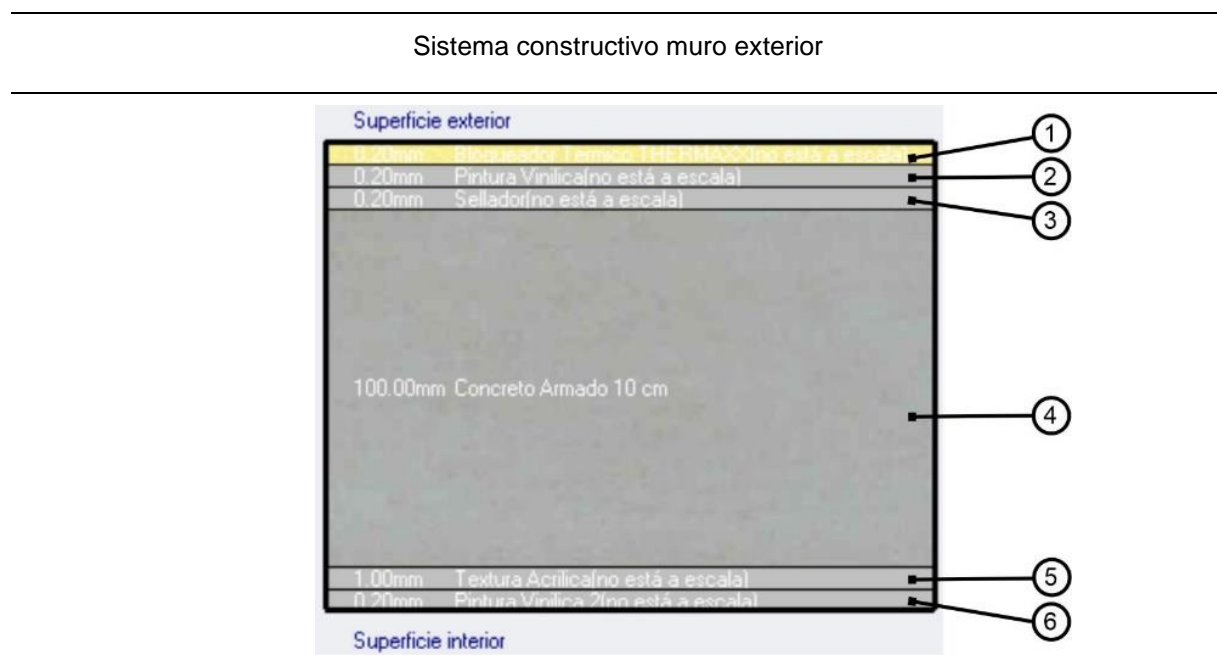
c) Caracterización de los materiales de la vivienda Muestra.

Las propiedades termo físicas así como las propiedades ópticas de los materiales de la envolvente son factores importantes para el desempeño térmico y su comportamiento con respecto a la radiación solar, por tal motivo es importante tener consideraciones en sus atributos en especial el grado de masa térmica y aislamiento, además de las propiedades de la superficie de los materiales expuestos al ambiente exterior e interior (Ordoñez, 2014). Para la simulación se requirió introducir al programa los valores de las propiedades termo físicas y superficiales de los materiales de la envolvente opaca, en específico el valor de la densidad, el calor específico, la conductividad, la emisividad y la absorptancia solar. Para la obtención de estos datos se recurrió a la norma NOM-020-ENER-2011, al Catálogo de elementos constructivos del Código técnico de la edificación, al artículo titulado Selección de materiales en la

concepción arquitectónica bioclimática del Dr. Eduardo Manuel González Cruz si como en fichas técnicas de materiales. Para la absorción solar se recurrió al programa *ReflectanceCalculator 3.1.0.4*, como parte de los resultados al colocar los valores de las propiedades el simulador proporciona el valor U y el valor R del sistema constructivo. A continuación, se especifican los materiales que componen la envolvente opaca vertical y horizontal junto con sus propiedades (Tabla 32, 33, 34, 35).

**Tabla 29**

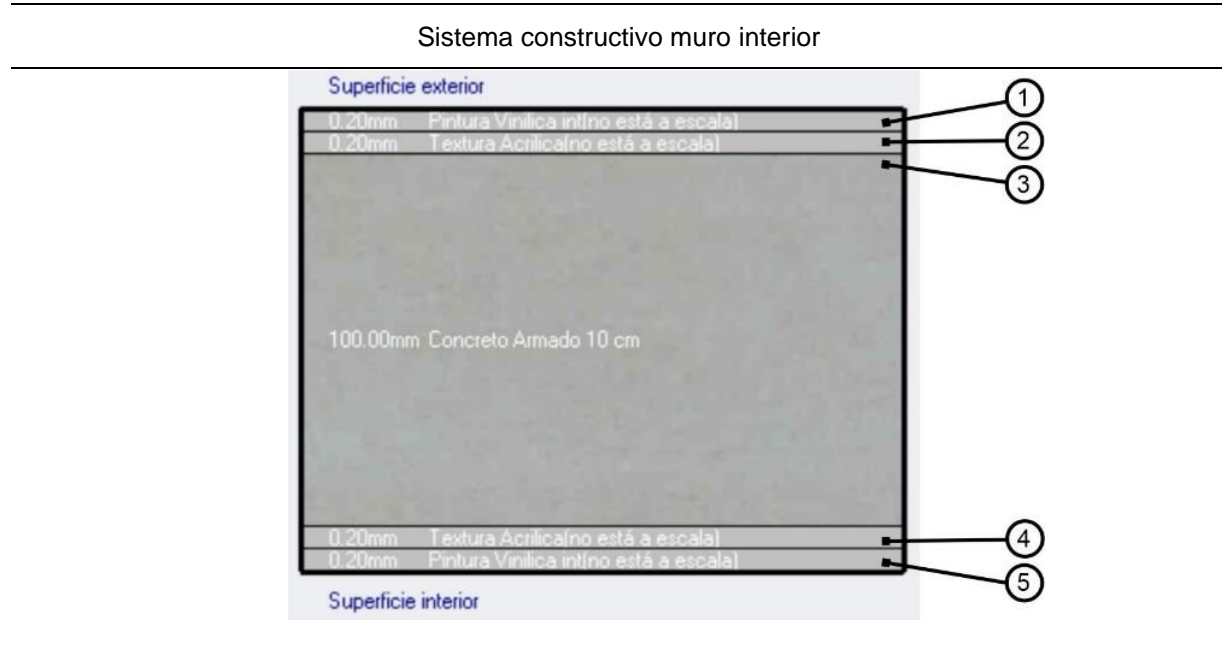
*Propiedades termo físicas de los materiales del muro exterior de la vivienda Muestra.*



Propiedades termo-físicas de los materiales

Capa (de la externa a la interna)	Material	Conductividad W/m-K	Calor específico J/kg-K	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Espesor m
1	Bloqueador Térmico THERMAXX	0.047	1675	50	0.0002032
2	Pintura Vinílica	0.2	1500	1050	0.0002032
3	Sellador	0.2	1500	1050	0.0002032
4	Concreto Armado	1.74	1000	2300	0.1
5	Textura Acrílica	0.2	1500	1050	0.001
6	Pintura Vinílica	0.2	1500	1050	0.0002032
Valor U				4.171 W/m <sup>2</sup> K	
Valor R				0.240 m <sup>2</sup> K/W	

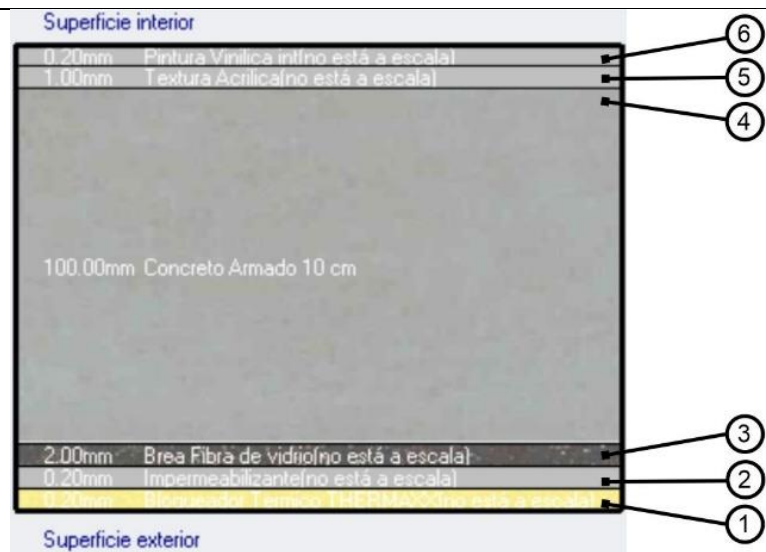
*Nota. Imagen elaborada a través de la interfaz gráfica del simulador DesignBuilder® v6.1.8.021*

**Tabla 30***Propiedades termo físicas de los materiales del muro interior de la vivienda Muestra.***Propiedades termo-físicas de los materiales**

Capa (de la externa a la interna)	Material	Conductividad W/m-K	Calor especifico J/kg-K	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Espesor m
1	Pintura Vinílica	0.2	1500	1050	0.0002032
2	Textura Acrílica	0.2	1500	1050	0.001
3	Concreto Armado	1.74	1000	2300	0.1
4	Textura Acrílica	0.2	1500	1050	0.001
5	Pintura Vinílica	0.2	1500	1050	0.0002032
Valor U				4.320 W/m <sup>2</sup> K	
Valor R				0.231 m <sup>2</sup> K/W	

*Nota. Imagen elaborada a través de la interfaz gráfica del simulador DesignBuilder® v6.1.8.021***Tabla 31***Propiedades termo físicas de los materiales de la cubierta de la vivienda Muestra.*

Sistema constructivo cubierta



Propiedades termo-físicas de los materiales

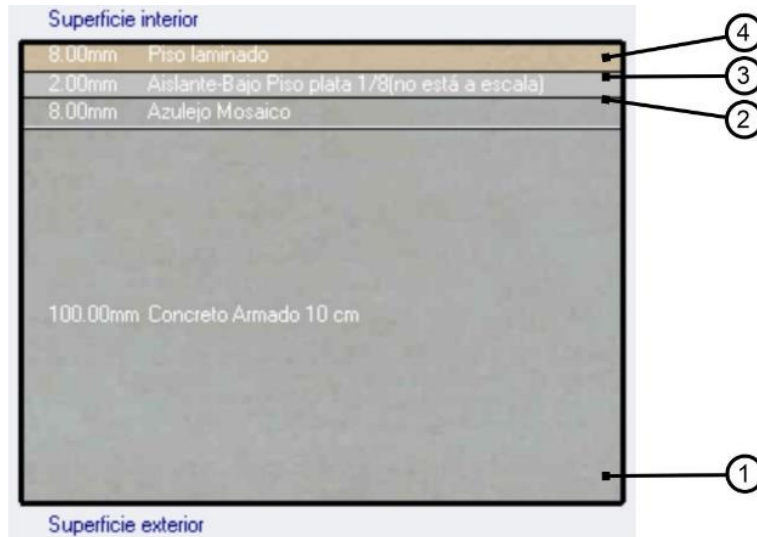
Capa (de la externa a la interna)	Material	Conductividad W/m-K	Calor específico J/kg-K	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Espesor m
1	Bloqueador Térmico THERMAXX	0.047	1675	50	0.0002032
2	Impermeabilización	0.2	1500	1050	0.0002032
3	Brea+fibra de vidrio asfaltada y mineralizada	0.17	1000	1050	0.002
4	Concreto Armado	1.74	1000	2300	0.1
5	Textura Acrílica	0.2	1500	1050	0.001
6	Pintura Vinílica	0.2	1500	1050	0.0002032
Valor U				2.853 W/m <sup>2</sup> K	
Valor R				0.350 m <sup>2</sup> K/W	

Nota. Imagen elaborada a través de la interfaz gráfica del simulador DesignBuilder® v6.1.8.021

**Tabla 32**

Propiedades termo físicas de los materiales del piso de la vivienda Muestra.

Sistema constructivo piso



Propiedades termo-físicas de los materiales

Capa (de la externa a la interna)	Material	Conductividad W/m-K	Calor especifico J/kg-K	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Espesor m
1	Concreto Armado	1.74	1000	2300	0.1
2	Tile	1.047	800	2000	0.008
3	Aislante-Bajo Piso plata 1/8 (descripción: espuma de polietileno con una película de Aluminio)	0.035	2300	30	0.002
4	Piso laminado	0.15	1600	500	0.008
Valor U				2.244 W/m <sup>2</sup> K	
Valor R				0.446 m <sup>2</sup> K/W	

Nota. Imagen elaborada a través de la interfaz gráfica del simulador DesignBuilder® v6.1.8.021

d) Especificación de los materiales empleados como estrategias.

De acuerdo con diversos autores citados dentro del marco teórico, los termoaislantes son considerados como estrategia constructiva para optimizar la envolvente opaca en las edificaciones, estos permiten retardar la transferencia de calor lo que favorece el desempeño térmico y el consumo de energía. El objetivo de esta investigación es evaluar el desempeño térmico de la losa como elemento de la envolvente con la aplicación de estrategias constructivas de mejoramiento, por consiguiente siguiendo la recomendación de los autores, una de las propuestas seleccionadas para la vivienda es un termoaislante que consiste en una placa de

poliestireno extruido de dos pulgada de espesor de la marca FOAMULAR® de Owens Corning, cuyas propiedades presenta una Valor R de cinco por cada pulgada de espesor en una temperatura de 24 °C, la temperatura máxima de resistencia es de 74 °C, evita la condensación y las filtraciones de agua y tiene un agregado que retrasar el fuego, además esta propuesta tiene la ventaja de poder ser aplicada en edificios terminados, la segunda propuesta consiste en un bloqueador nano térmico de marca TherMaxx, altamente refractivo, que crea sobre la superficie un acabado tipo espejo lo que permite reducir un 80 % la conductividad, también rechaza un 94 % de los rayos UV, este bloqueador favorece en la disminución del consumo de energía, su presentación es líquida, con microesferas y se puede aplicar sobre cualquier superficie, esta estrategia es con la que cuenta la vivienda muestra actualmente. A continuación, se presentan las propiedades termo físicas de ambas estrategias (Tabla 36).

**Tabla 33**

*Propiedades termo físicas de los materiales seleccionados para estrategias de aislamiento.*

Material	Conductividad W/m-K	Calor específico J/kg-K	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Espesor m
Bloqueador nano térmico THERMAXX	0.047	1675	50	0.0002032
Termoaislante de poliestireno extruido FOAMULAR	0.02587	1675	40.27	0.0508

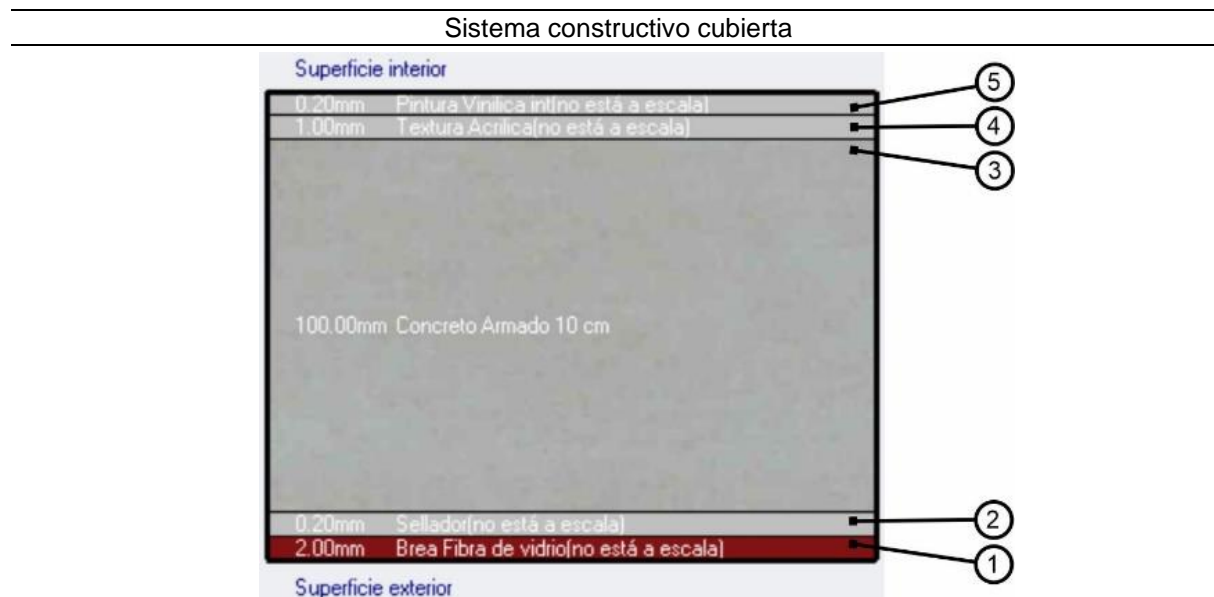
*Nota. Elaborada a partir de fichas técnicas de los productos.*

e) Caracterización de los materiales utilizados en la losa para los escenarios de simulación.

Se propuso simular cuatro escenarios con el objeto de analizar el rendimiento térmico de la losa aplicando diversas estrategias constructivas, la vivienda que se utilizó para crear el modelo de simulación fue la vivienda muestra con la diferencia de que se eliminó el piso laminado y los muros con acabado THERMAXX. El primer escenario corresponde al escenario de referencia (Tabla 37), este escenario no contaba con ninguna propuesta de mejoramiento y los resultados del rendimiento térmico de la cubierta de este escenario fue utilizado para comparar los resultados de las estrategias constructivas aplicadas en la cubierta en los otros escenarios, en el

segundo escenario se analizó el rendimiento de la cubierta con el bloqueador nano térmico THERMAXX (Tabla 38), en el tercer escenario se analizó el rendimiento de la cubierta con el termoaislantes de Poliéstireno extruido FOAMULAR de dos pulgadas (Tabla 39) y el ultimo escenario se analizó el rendimiento de la cubierta con la combinación del bloqueador y el termoaislante (Tabla 40), estas simulaciones se realizaron en el periodo estival. Cuando se obtuvo la estrategia constructiva con mejor rendimiento para este periodo, se evaluó también en el periodo invernal. A continuación, se especifican los materiales que componen las losas de los cuatro escenarios junto con sus propiedades termo físicas y sus coeficientes de transferencia y resistencia térmica.

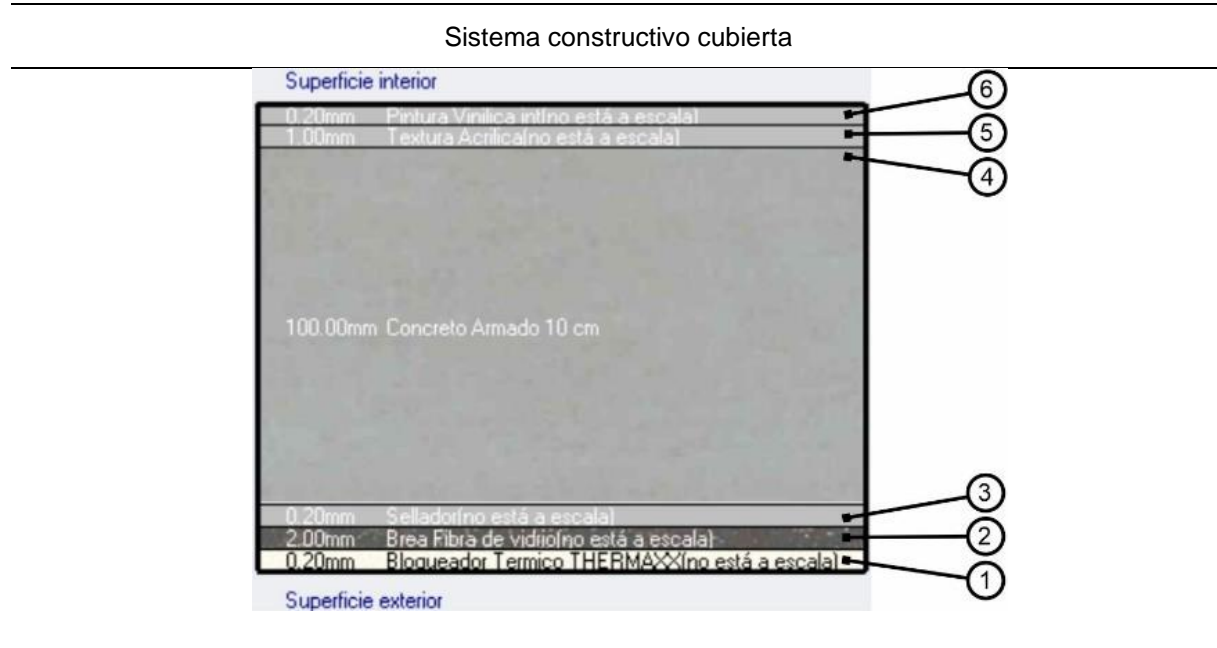
**Tabla 34**  
Propiedades termo físicas de la cubierta, Escenario 1.



Propiedades termo-físicas de los materiales

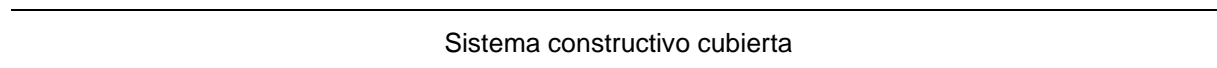
Capa (de la externa a la interna)	Material	Conductividad W/m-K	Calor específico J/kg-K	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Espesor m
1	Brea+fibra de vidrio asfaltada y mineralizada	0.17	1000	1050	0.002
2	Sellador	0.2	1500	1050	0.0002032
3	Concreto Armado	1.74	1000	2300	0.1
4	Textura Acrílica	0.2	1500	1050	0.001
5	Pintura Vinílica	0.2	1500	1050	0.0002032
Absortancia solar				0.46	
Emisividad				0.90	

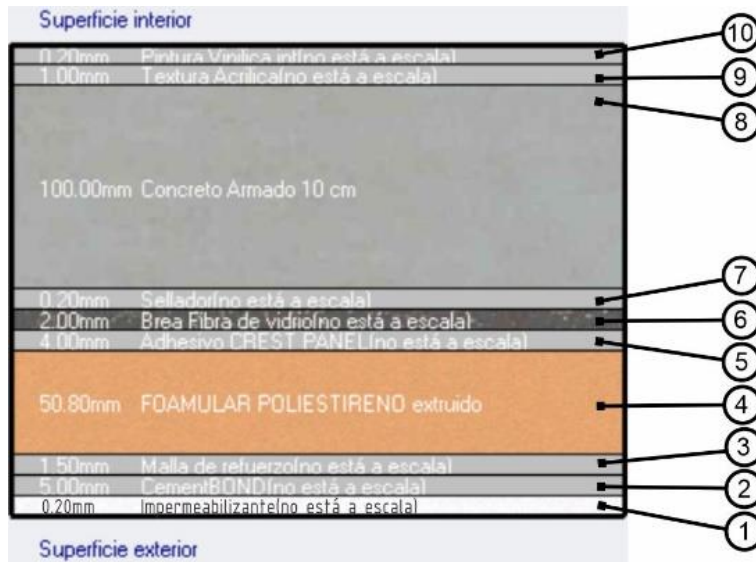
Nota. Imagen elaborada a través de la interfaz gráfica del simulador DesignBuilder® v6.1.8.021.

**Tabla 35***Propiedades termo físicas de la cubierta, Escenario 2.***Propiedades termo-físicas de los materiales**

Capa (de la externa a la interna)	Material	Conductividad W/m-K	Calor especifico J/kg-K	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Espesor m
1	Bloqueador Térmico THERMAXX	0.047	1675	50	0.0002032
2	Brea+fibra de vidrio asfaltada y mineralizada	0.17	1000	1050	0.002
3	Sellador	0.2	1500	1050	0.0002032
4	Concreto Armado	1.74	1000	2300	0.1
5	Textura Acrílica	0.2	1500	1050	0.001
6	Pintura Vinílica	0.2	1500	1050	0.0002032
Absortancia solar				0.031	
Emisividad				0.90	

*Nota. Imagen elaborada a través de la interfaz gráfica del simulador DesignBuilder® v6.1.8.021.*

**Tabla 36***Propiedades termo físicas de la cubierta, Escenario 3.*



Propiedades termo-físicas de los materiales

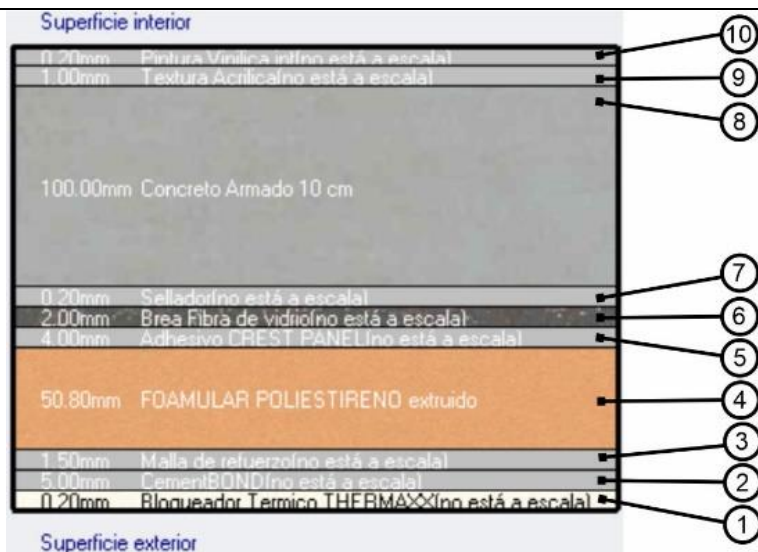
Capa (de la externa a la interna)	Material	Conductividad W/m-K	Calor específico J/kg-K	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Espesor m
1	Impermeabilizante	0.2	1500	1050	0.0002032
2	CementBOND	0.2047	1000	1334.97	0.005
3	Malla de refuerzo	0.2	1000	1000	0.0015
4	TERMOAISLANTE FOAMULAR 2"	0.02587	1675	40.27	0.0508
5	Adhesivo Crest Panel	0.2047	1000	1334.97	0.004
6	Brea+fibra de vidrio asfaltada y mineralizada	0.17	1000	1050	0.002
7	Sellador	0.2	1500	1050	0.0002032
8	Concreto Armado	1.74	1000	2300	0.1
9	Textura Acrílica	0.2	1500	1050	0.001
10	Pintura Vinílica	0.2	1500	1050	0.0002032
Absortancia solar				0.25	
Emisividad				0.90	

Nota. Imagen elaborada a través de la interfaz gráfica del simulador DesignBuilder® v6.1.8.021.

**Tabla 37**

Propiedades termo físicas de la cubierta, Escenario 4.

Sistema constructivo cubierta



Propiedades termo-físicas de los materiales

Capa (de la externa a la interna)	Material	Conductividad W/m-K	Calor especifico J/kg-K	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Espesor m
1	Bloqueador Térmico THERMAXX	0.047	1675	50	0.0002032
2	CementBOND	0.2047	1000	1334.97	0.005
3	Malla de refuerzo	0.2	1000	1000	0.0015
4	TERMOAISLANTE FOAMULAR 2"	0.02587	1675	40.27	0.0508
5	Adhesivo Crest Panel	0.2047	1000	1334.97	0.004
6	Brea+fibra de vidrio asfaltada y mineralizada	0.17	1000	1050	0.002
7	Sellador	0.2	1500	1050	0.0002032
8	Concreto Armado	1.74	1000	2300	0.1
9	Textura Acrílica	0.2	1500	1050	0.001
10	Pintura Vinílica	0.2	1500	1050	0.0002032
Absortancia solar				0.031	
Emisividad				0.90	

Nota. Imagen elaborada a través de la interfaz gráfica del simulador DesignBuilder® v6.1.8.021.

#### f) Caracterización del edificio.

Los modelos realizados en *DesignBuilder®* requieren de información sobre los edificios reales, se conocen como datos del modelo y estos permiten caracterizar el edificio simulado (Ordoñez, 2014). Los datos que se ingresaron al modelo del estudio fueron la ocupación de 3 usuarios, la densidad de ocupación con un valor de 0.0576, la tasa metabólica de 0.9 met, con una actividad de comer y beber, la vestimenta en invierno de 1 clo y en verano de 0.5 clo de acuerdo con la norma ISO 7730 y las renovaciones de aire se obtuvo un promedio de 6 ren/h.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---



#### 4.1. Evaluación del rendimiento térmico de la cubierta periodo invernal.

En los siguientes apartados se exponen los resultados obtenidos de la evaluación al rendimiento térmico de las losas de las viviendas muestra y testigo. Las gráficas presentan los datos recolectados por los instrumentos utilizados en la medición *in situ* que corresponden al día 3 de enero de 2022, fecha que se denominó día típico real. Para simplificar la nomenclatura en la descripción de los resultados se utiliza la siguiente abreviatura (Tabla 41).

**Tabla 38**

*Abreviatura de la nomenclatura en la descripción.*

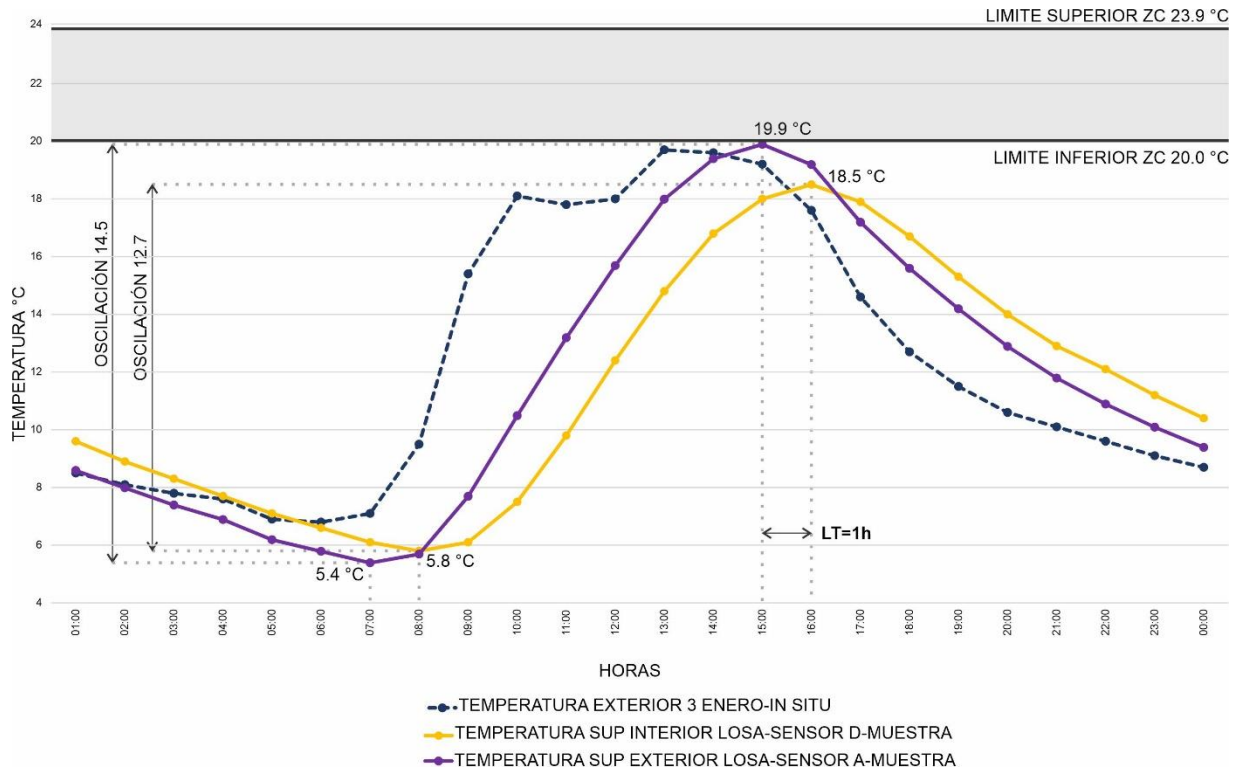
Nomenclatura	Abreviatura
Vivienda muestra	VM
Vivienda testigo	VT
Temperatura aire	Ta
Temperatura del aire interior	T <sub>aext</sub>
Temperatura del aire exterior	T <sub>aint</sub>
Temperatura de la superficie	Ts
Temperatura de la superficie exterior de la losa	T <sub>SintL</sub>
Temperatura de la superficie interior de la losa	T <sub>SextL</sub>
Retraso Térmico	LT
Decremento Térmico	DF
Zona térmica sala comedor	ZT <sub>sc</sub>
Zona de Confort Térmico	ZC

##### 4.1.1. ***Rendimiento térmico de la cubierta vivienda muestra con recubrimiento THERMAXX.***

La gráfica presenta un análisis de las temperaturas de la superficie exterior e interior de la losa de la zona térmica que corresponde a la sala-comedor de la vivienda muestra. A continuación, se describen los hallazgos.

**Figura 34**

Análisis de las temperaturas de las superficies interior y exterior de la losa de la vivienda muestra.



De acuerdo con la gráfica (Figura 34), la  $T_{s_{ext}L}$  que se representa con la línea continua en color violeta, registró una mínima de 5.4 °C y una máxima de 19.9 °C, con una oscilación de 14.5 °C, el promedio de la temperatura para este día se registró en 11.7 °C. La  $T_{s_{int}L}$  que se representa con la línea continua en color amarillo registró una mínima de 5.8 °C y una máxima de 18.5 °C, con una oscilación de 12.7 °C, el promedio de la temperatura para este día se registró en 11.4 °C.

Con respecto al rendimiento del elemento de la envolvente, se observó que la  $T_{s_{ext}L}$  mostró pérdidas de calor durante las primeras horas de la mañana como consecuencia de la baja  $T_{a_{ext}}$ , la mínima se registró a las 7:00 h, una hora después de haberse registrado la mínima exterior, a partir de este punto la  $T_{s_{ext}L}$  obtuvo ganancias de calor, proporcionados por la  $T_{a_{ext}}$ , la radiación solar y las propiedades termo físicas de los materiales de la envolvente, en especial las del concreto cuya conductividad es de 1.74 W/mK, densidad de 2300 kg/m<sup>3</sup> y calor específico de 1000 J/kgK, la máxima se registró a las 15:00 h, dos horas después de haberse registrado la máxima  $T_{a_{ext}}$ . La  $T_{s_{int}L}$  de igual manera mostró pérdidas de calor durante las primeras horas de la

mañana como consecuencia de las bajas temperaturas de la superficie exterior y de la  $T_{a_{ext}}$ , la mínima se registró a las 8:00 h, un horas después de haberse registrado la mínima de la superficie exterior, a partir de ese punto la  $T_{s_{int}L}$  obtuvo ganancias de calor proporcionadas por el comportamiento de la capa exterior y las propiedades de los materiales, en especial las del concreto el cual presenta una alta conductividad y densidad, la temperatura máxima se registró a las 16:00 h, un horas después de haberse registrado la máxima de la superficie exterior, a partir de este punto la  $T_{s_{int}L}$  descendió nuevamente.

Se observó que la  $T_{s_{ext}L}$  mantuvo constantemente valores por debajo de  $T_{a_{ext}}$ , eso significa que las ganancias por convección, radiación y conducción de la capa exterior se ven influenciadas por las propiedades superficiales del recubrimiento colocado a la cubierta, este acabado consiste en de un bloqueador nano térmico, altamente refractivo, cuyos valores de emisividad son 90 y de reflectividad solar 80, de acuerdo con la literatura, los valores altos en estas propiedades permiten mantener bajas temperaturas en la superficie de la losa y favorecen en disminuir el paso del calor al interior, estas cualidades la convierten en cubiertas frías; tomando como base lo anterior primeramente, la losa de la vivienda muestra se considera como un techo frío y en segundo lugar el comportamiento de su temperatura corresponde a sus propiedades superficiales. Por el contrario, la  $T_{s_{int}L}$  mantuvo sus valores en un rango mayor a  $T_{s_{ext}L}$ , pero por debajo de la  $T_{a_{int}}$ , esto es un indicativo de acuerdo al comportamiento de las curvas de la  $T_{s_{int}L}$  y la  $T_{a_{int}}$ , que las ganancias de la capa interior fueron proporcionadas por la  $T_{a_{int}}$ , de las 13:00 h a las 19:00 h; la envolvente cedió calor al aire interior, antes y después de este periodo sucedió lo inverso, lo que justifica el consumo elevado de energía.

Para evaluar el rendimiento térmico de la losa se determinaron los valores del decremento térmico y el retraso térmico, se obtuvo 0.87 y una hora respectivamente, de acuerdo con lo que menciona la literatura, un rendimiento térmico óptimo debe cumplir con un valor en DF menor y un valor de LT mayor sin superar las 12 h, además señala que si el valor de DF se encuentra más cercano al 0.10, el tiempo de retraso no es trascendente, analizando los resultados en este caso se expuso lo contrario, el valor DF es mayor, lo que indica una menor resistencia de la envolvente a las

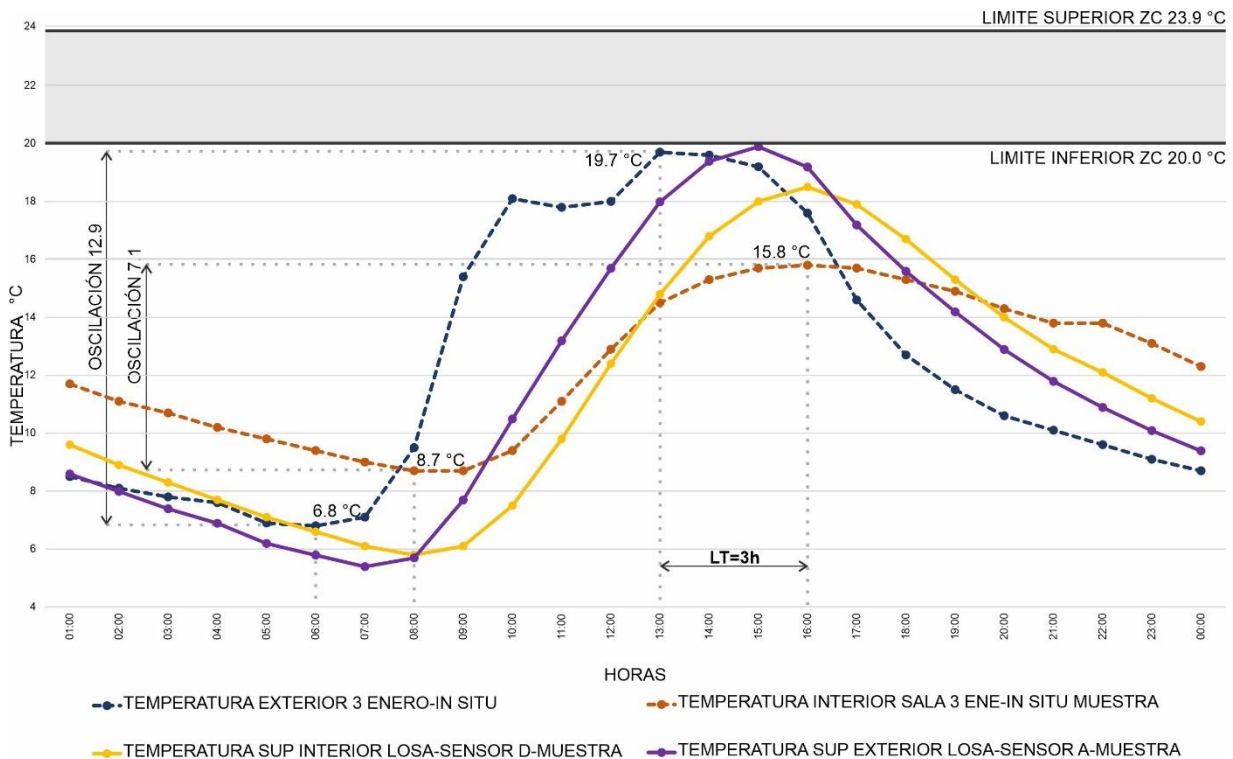
oscilaciones de las temperaturas del exterior; con respecto al LT su valor es menor, lo cual señala que el flujo de calor que es atravesado la superficie exterior hacia el interior solo requiere de una hora, evitando un retraso en las temperaturas máximas; estos resultados se ven influenciados por las propiedades termo físicas y superficiales de los materiales, así como por el espesor de la losa como señalan los autores, de acuerdo a estos resultados se puede concluir que la losa presentó un deficiente rendimiento térmico, lo que respondió al comportamiento de las temperaturas. También se evaluó a través de su valor R y su valor U, se obtuvo  $0.350 \text{ m}^2\text{K/W}$  y  $2.853 \text{ W/m}^2\text{K}$  respectivamente, este resultado demuestra la baja resistencia del sistema que fue confirmada con su deficiente rendimiento, además, no se cumplió con el valor R que es sugerido por la norma mexicana para habitabilidad.

#### 4.1.1.1. Análisis de las condiciones térmicas del ambiente, vivienda muestra.

La gráfica presenta un análisis de las temperaturas del ambiente exterior e interior de la zona térmica que corresponde a la sala-comedor de la vivienda muestra. A continuación, se describen los hallazgos.

**Figura 35**

Análisis de las temperaturas del aire exterior e interior de la vivienda muestra.



De acuerdo con la gráfica (Figura 35), la  $T_{a_{ext}}$  que se representa con la línea discontinua en color azul, registró una mínima de 6.8 °C y una máxima de 19.7 °C, con una oscilación de 12.9 °C, el promedio de la temperatura para ese día se registró en 12.3 °C. La  $T_{a_{int}}$  que se representa con la línea discontinua en color naranja registró una mínima de 8.7 °C y una máxima de 15.8 °C, con una oscilación de 7.1 °C, el promedio de la temperatura para este día se registró en 12.4 °C.

Se observa que la  $T_{a_{int}}$  mostró pérdidas de calor durante las primeras horas de la mañana, debido a las bajas  $T_{a_{ext}}$  y de la  $T_s$  de la envolvente, la mínima se registró a las 8:00 h, dos horas posteriores a la mínima exterior, a partir de ese punto la  $T_{a_{int}}$  presentó un aumento debido a las ganancias de calor como consecuencia del comportamiento de la envolvente en correlación de las  $T_{a_{ext}}$  así como de las ganancias de calor internas, la máxima se registró a las 16:00 h, tres horas posteriores a la máxima exterior, a partir de este punto la  $T_{a_{int}}$  descendió nuevamente aunque sus valores se mantuvieron por encima de la  $T_{a_{ext}}$ , se deduce que esta condición es resultado de las ganancias internas por el uso de equipos de calefacción y el bloqueo de la ventilación natural.

La  $T_{a_{int}}$  de la VM presentó una oscilación de 7.1 que equivale a 45% menor a la oscilación exterior, la amplitud entre las temperaturas es un indicador de inestabilidad térmica, los valores de DF y LT obtenidos fueron de 0.55 y tres horas respectivamente, de acuerdo con lo que menciona la literatura, un rendimiento térmico óptimo debe cumplir con un valor en DF menor y un valor de LT mayor sin superar las 12 h, además señala que si el valor de DF se encuentra más cercano al 0.10, el tiempo de retraso no es trascendente, analizando los resultados en este caso se expuso lo contrario, la VM presentó un deficiente rendimiento térmico debido a que el valor DF es mayor lo que indicó que la fluctuación de la  $T_{a_{int}}$  responde a la fluctuación de la  $T_{a_{ext}}$  provocando una inestabilidad térmica al interior del espacio, esto puede comprobarse con el valor de su oscilación, con respecto a LT el valor fue menor lo que señala que el desfase en el tiempo en el que se registró la máxima al interior con relación a la máxima exterior es mínimo, los valores obtenidos en los resultados son consecuencia del deficiente rendimiento térmico de la losa como se observó en la gráfica (Figura 34).

#### 4.1.2. Rendimiento térmico de la cubierta vivienda testigo.

La gráfica presenta un análisis de la temperatura de la superficie interior de la losa de la zona térmica que corresponde a la sala-comedor de la vivienda testigo. A continuación, se describen los hallazgos.

**Figura 36**

*Análisis de la temperatura de la superficie interior de la losa de la vivienda testigo.*



De acuerdo con la gráfica (Figura 36) la  $T_{sintL}$  que se representa con la línea continua en color café registró una mínima de 7.0 °C y una máxima de 21.4 °C, la cual se encuentra dentro de la ZC, la amplitud térmica fue de 14.4 °C, el promedio de la temperatura para este día se registró en 13.2 °C.

Con respecto al rendimiento del elemento de la envolvente, en la gráfica anterior se observó que la  $T_{sintL}$  presentó pérdidas de calor durante las primeras horas de la mañana como consecuencia de las bajas temperaturas de la  $T_{aext}$ , la mínima se registró a las 7:00 h, una hora posterior de registrarse la mínima de  $T_{aext}$ , a partir de ese punto la  $T_{sintL}$  obtuvo ganancias de calor proporcionadas por la  $T_{aext}$ , la radiación solar que recibió la superficie exterior de la losa, este día se registró una máxima de 644 W/m<sup>2</sup> y por las propiedades termo físicas de los materiales, en especial las del concreto cuya conductividad es de 1.74 W/mK, densidad de 2300 kg/m<sup>3</sup> y calor

específico de 1000 J/kgK, la temperatura máxima se registró a las 16:00 h, tres horas posteriores a la máxima  $T_{a_{ext}}$ , es importante destacar que la temperatura máxima de la superficie interior presentó un valor mayor a la temperatura máxima del aire exterior, la diferencia equivale a 1.7 °C, a partir de ese punto la  $T_{s_{intL}}$  descendió nuevamente aunque por encima de la  $T_{a_{ext}}$ , como resultado de las ganancias solares obtenidas durante la tarde, debido a que la zona térmica evaluada tiene una orientación suroeste.

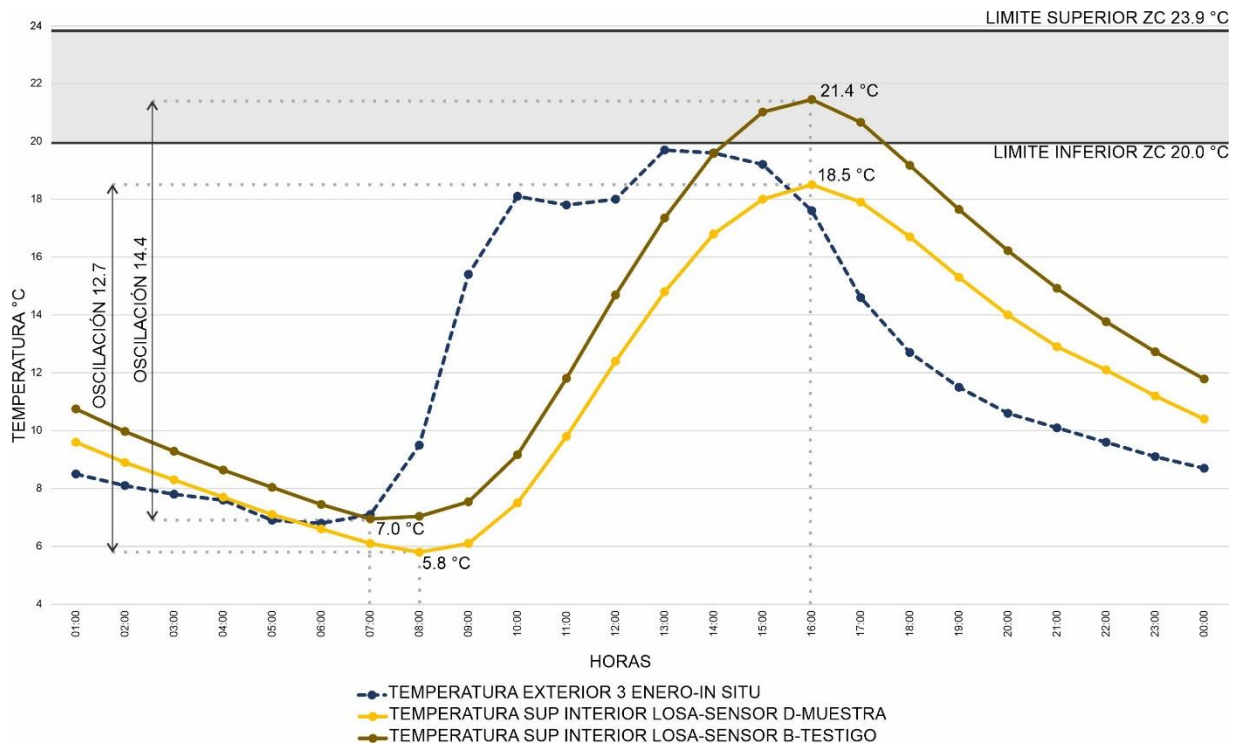
Debido al número de equipos adquiridos para esta investigación únicamente se monitoreo la cara interior de la losa en esta vivienda, al contar únicamente con los datos de la  $T_{s_{intL}}$  se procedió a evaluar el rendimiento térmico con el valor R del sistema constructivo que se obtuvieron del simulador. El valor U de este sistema fue de 2.863 W/m<sup>2</sup>K y el valor R de 0.349 m<sup>2</sup>K/W, de acuerdo con la literatura el valor U debe ser menor mientras que el valor R debe ser mayor para señalar un adecuado rendimiento térmico, además de acuerdo con la normativa el valor R para habitabilidad es de 2.30 m<sup>2</sup>K/W en la ciudad de Ensenada; comparando los valores obtenidos con lo que mencionan los autores así como con la norma, se determinó que el rendimiento térmico de la losa es deficiente, como consecuencia de las propiedades termo físicas de los materiales de la losa, en particular por la alta conductividad y la alta densidad del concreto, así como por su alto coeficiente de transferencia de calor y su baja resistencia térmica es decir su baja resistencia al flujo del calor. El deficiente rendimiento en la envolvente se puede observar también en la amplitud térmica de la temperatura de la superficie interior de la losa que se mantiene en un rango mayor que la del ambiente exterior, lo que señala que la temperatura interior fluctúa de acuerdo a la temperatura exterior.

#### 4.1.3. ***Análisis comparativo del rendimiento térmico entre la cubierta de la vivienda muestra y la vivienda testigo.***

La gráfica presenta un análisis comparando las temperaturas de la superficie interior de las losas de la zona térmica que corresponde a la sala y comedor de ambas viviendas. A continuación, se describen los hallazgos.

**Figura 37**

Comparativo de la temperatura superficie interior de la losa de ambas viviendas.



De acuerdo con la gráfica (Figura 37) la  $T_{sintL}$  de la VT que se representa con la línea continua en color café registró una mínima de 7.0 °C y una máxima de 21.4 °C, con una oscilación de 14.4 °C, el promedio de la temperatura para este día se registró en 13.2 °C, mientras que la  $T_{sintL}$  de la VM que se representa con la línea continua en color amarillo registró una mínima de 5.8 °C y una máxima de 18.5 °C, con una oscilación de 12.7 °C, el promedio de la temperatura para este día se registró en 11.4 °C.

Comparando el comportamiento de ambas losas, en la gráfica se observa que las temperaturas de la superficie interior de ambas losas presenta pérdidas de calor durante las primeras horas del día, la mínima para la superficie interior de la losa VT se registró a las 7:00 h y una hora después se registró la mínima para la superficie interior de la losa VM, a partir del punto mínimo las losas comienzan a presentar ganancia en la temperatura esto se relaciona con el aumento en la  $T_{aext}$ , así como por la radiación solar que reciben las superficies exteriores de las losas además por las propiedades de los materiales que las conforman, en especial las del concreto el cual presenta una alta conductividad y densidad, la temperatura máxima se registró a las 16:00 h en

ambas losas, a partir de este punto comienza la disminución de las temperaturas de ambas losas.

Como se expuso en las gráficas pasadas (Figura 34,36) el rendimiento térmico de ambas losas según los indicadores se considera como deficiente, pero en este comparativo se observó una constante diferencia entre las temperaturas, aun cuando ambas superficies horizontales reciben la misma cantidad de radiación solar, la superficie interior de la losa de la VM registro temperaturas bajas más que la losa de la VT, este suceso se debió a que la superficie exterior de esta losa VM cuenta con una adecuación como ya se había mencionado anteriormente que consiste en un recubrimiento frío el cual es un bloqueador nano térmico, altamente refractivo, lo que indica que sus valores de emisividad y reflectancia solar son altos, sus valores son 90 y 80 respectivamente, mientras que para la superficie de la losa exterior de la VT sus valores son emisividad 90 y de reflectancia solar 25.

De acuerdo con la literatura la emisividad y la reflectancia solar o albedo son propiedades superficial, la primera ayuda al material a ceder el calor por medio de radiación térmica y mientras que la segunda, es la capacidad que tiene el material para reflejar la radiación que recibe, tener valores altos en estas propiedades superficiales de los materiales propician a obtener temperaturas más bajas en la superficie exterior dando como resultado una menor transferencia de calor hacia el interior. Según lo mencionado se explica por qué las temperaturas de la superficie interior de la losa de la VM se mantuvieron por debajo de las temperaturas de la superficie interior de la losa de la VT, se puede concluir que para el periodo invernal y de acuerdo con la orientación de la vivienda, la losa de la VT presenta una mayor ventaja contra la adecuación de la losa y la orientación de la zona térmica de la VM, aunque ambas presentan un rendimiento térmico deficiente.

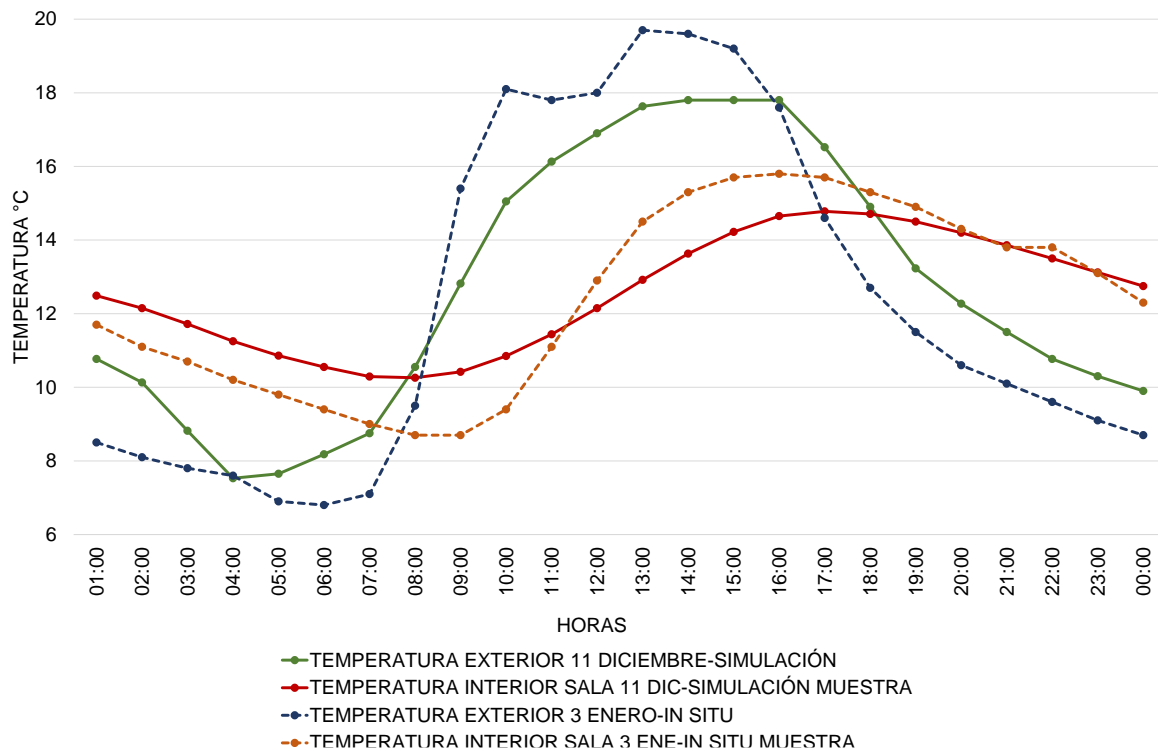
#### **4.2. Validación del modelo.**

Una comparación entre los datos recolectados de las mediciones in situ y los datos obtenidos del simulador resulta ser un factor determinante para la simulación de los modelos (Rojas et al., 2016). Con el objeto de validar el modelo realizado en el simulador se llevó a cabo un comparativo entre los resultados de las temperaturas

interior y exterior de la vivienda muestra obtenidos en la medición *in situ* y el modelo simulado. La simulación se realizó en el programa *DesignBulder®*, en el día seleccionado como típico del periodo invernal para validación y simulación que fue el 11 de diciembre, se aplicó al modelo simulado las características que se escriben en el inciso de parámetros para simulación del capítulo 3 Metodología. En la gráfica (Figura 38) se observa un comportamiento similar entre ambos resultados de temperaturas, la Tabla 42 contiene las temperaturas de máximas, mínimas, promedio, así como las oscilaciones de la variable. El cálculo del error cuadrático medio de la validación se encuentra en el apéndice B.

**Figura 38**

*Análisis comparativo de las temperaturas superficiales en interior y exterior de la losa de la vivienda muestra, datos in situ-simulación.*



**Tabla 39**

Tabla comparativa de los datos de la variable de temperatura y su oscilación del modelo in situ y simulado.

Día	T <sub>max</sub>	T <sub>m</sub>	T <sub>min</sub>	Oscilación
T <sub>aext</sub> 03 enero-in situ	19.70	12.28	6.80	12.90
T <sub>aext</sub> 11 diciembre-simulación	17.80	12.65	7.53	10.27
T <sub>aint</sub> 03 enero -in situ	15.80	12.38	8.70	7.10
T <sub>aint</sub> 11 diciembre-simulación	14.78	12.55	10.26	4.52

#### 4.3. Evaluación del rendimiento térmico de los escenarios simulados en el periodo estival.

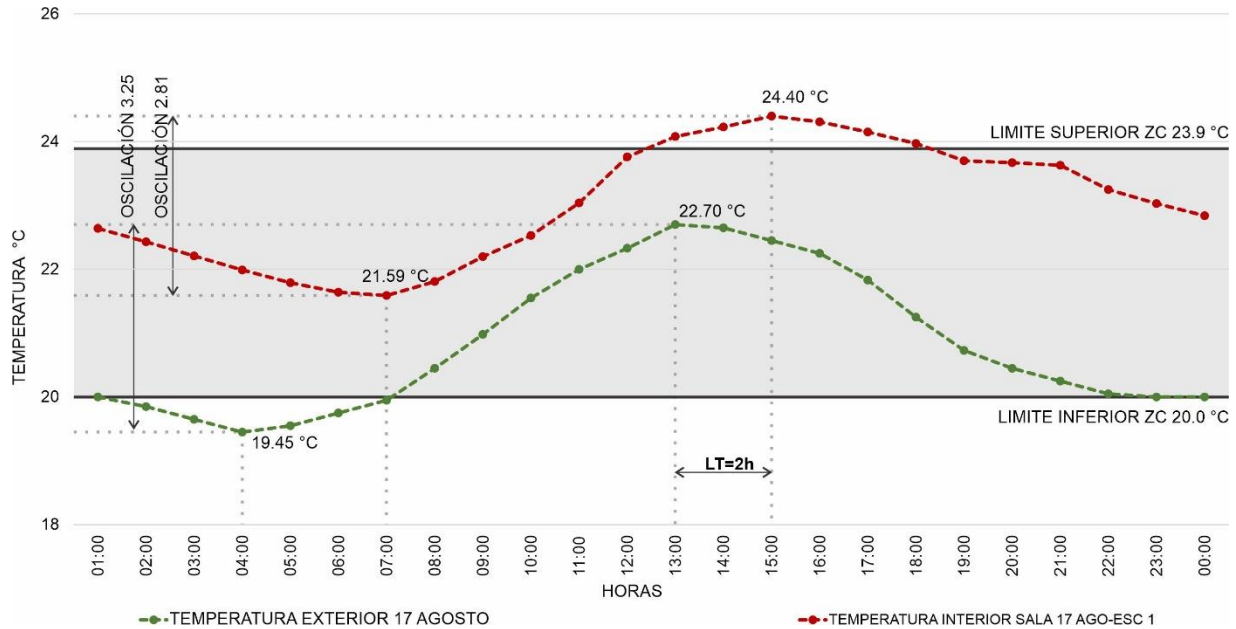
En los siguientes apartados se expondrán los resultados y hallazgos de las simulaciones realizadas en el modelo de la vivienda muestra en el periodo estival. Se realizaron cuatro escenarios, el primero se tomó como escenario de referencia y los tres restantes fueron los escenarios de las estrategias, el modelo de la vivienda se adecuó para que únicamente la losa contenga la intervención, esto quiere decir que el bloqueador nano térmico y el termoaislante se colocaron en la superficie exterior de la misma, las cargas internas no fueron consideradas y se analizó el rendimiento térmico de la losa a través del comportamiento de las temperaturas exteriores e interiores. Las simulaciones se realizaron en el programa *DesignBuilder®* v6.1.8.21 y los cuatro escenarios se evaluaron con ventilación natural o *free running*. La zona de confort se determinó a partir del modelo de confort del código energético de California, con un límite inferior de 20 °C y un límite superior de 23.9 °C y el día evaluado fue el 17 de agosto, el cual se determinó como día típico para simulación de este periodo. Para simplificar la nomenclatura en la descripción de los resultados y hallazgos se utilizará la abreviatura de la Tabla 41.

##### 4.3.1. Rendimiento térmico del Escenario 1 – De referencia.

La gráfica presenta un análisis de las temperaturas del ambiente exterior e interior de la zona térmica que corresponde a la sala y comedor de la vivienda A muestra. A continuación, se describen los hallazgos.

**Figura 39**

*Análisis de las temperaturas del aire exterior e interior Escenario 1- De referencia.*



De acuerdo con la gráfica (Figura 39), la  $T_{a_{ext}}$  que se representa con la línea discontinua en color verde, registró una mínima de 19.45 °C y una máxima de 22.70 °C, con una oscilación de 3.25 °C, el promedio de la temperatura para ese día se registró en 20.84 °C. La  $T_{a_{int}}$  que se representa con la línea discontinua en color rojo registró una mínima de 21.59 °C y una máxima de 24.40 °C, con una oscilación de 2.81 °C, el promedio de la temperatura para este día se registró en 23.04 °C. Se observó que la  $T_{a_{int}}$  mantiene temperaturas con valores mayores que la  $T_{a_{ext}}$ , durante todo el día, después del mediodía la  $T_{a_{int}}$  sobrepasó el límite superior de la ZC, la mínima se registró a las 7:00 h, tres horas posteriores a la mínima exterior y la máxima se registró a las 15:00 h, dos horas posteriores a la máxima exterior.

Para este escenario se propuso una losa de 10 cm de espesor de concreto con propiedades termo físicas de conductividad de 1.74 W/mK, densidad de 2300 kg/m<sup>3</sup> y calor específico de 1000 J/kgK y el acabado final impermeabilizante a base de breá más fibra de vidrio asfaltada y mineralizada a las que se le aplicó propiedades superficiales de absorción solar de 0.46 y una emisividad de 0.90, estos parámetros fueron utilizados para el simulador, se obtuvo para este sistema constructivo los valores U y R de 2.888 W/m<sup>2</sup>K y 0.346 m<sup>2</sup>K/W, respectivamente y los valores de DF y LT de 0.86 y dos horas respectivamente, para la evaluación de este sistema se

compararon los valores de los indicadores del rendimiento con lo que menciona la literatura. De acuerdo con los autores un rendimiento térmico óptimo debe cumplir con un valor en DF menor y un valor de LT mayor sin superar las 12 h, además de un valor U menor y valor R mayor, de acuerdo con la normativa el valor R para habitabilidad es de 2.30 m<sup>2</sup>K/W en la ciudad de Ensenada.

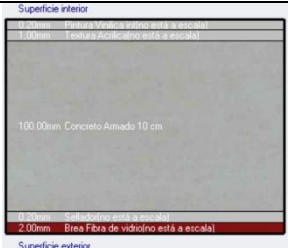
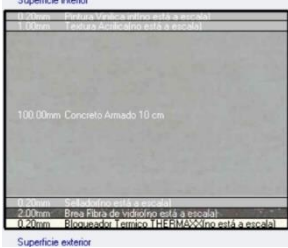

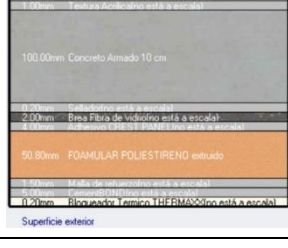
Analizando los resultados del escenario 1, el valor DF de las temperaturas del ambiente interior con respecto al exterior es alto, esto indica que la fluctuación y amplitud de la  $T_{a_{int}}$  responde a la fluctuación y amplitud de la  $T_{a_{ext}}$ , con respecto a LT el valor es menor lo que señala que el tiempo que se lleva en alcanzar la máxima al interior con respecto a la máxima exterior es tan solo de dos horas señalando un retraso térmico mínimo, esto lo respalda el resultado del valor R que se obtuvo en el sistema de la losa, lo que indica que este sistema tiene una menor resistencia al flujo de calor, los resultados obtenidos se correlacionan con las propiedades termo físicas y superficiales de losa. La conclusión para este escenario es que el sistema de la losa no cumple con la norma y se considera con un rendimiento térmico deficiente.

#### **4.3.2. *Análisis comparativo del rendimiento térmico entre el escenario de referencia y los escenarios 2, 3 y 4.***

Para seleccionar la estrategia que presente un rendimiento térmico óptimo en el periodo estival, se propuso simular tres escenarios en los cuales se probaron dos materiales en la superficie exterior de la losa, en el escenario 2 se aplicó el bloqueador nano térmico de marca TherMaxx, cuya característica es ser altamente refractivo y en el escenario 3 se aplicó un termoaislante que consiste en una placa de poliestireno extruido de dos pulgada de espesor de la marca FOAMULAR, además se simuló el escenario 4 donde se aplicó la combinación de las estrategias del escenario 2 y 3. Como señala la literatura los parámetros para evaluar el desempeño térmico son el DF, LT y Valor R, y a partir de estos lineamientos se hizo la selección de la estrategia con sobresaliente desempeño comparando sus resultados con el escenario de referencia. A continuación se presentan la tabla comparativa de las estrategias con los valores de resistencia térmica y de transmitancia térmica (Tabla 43).

**Tabla 40**

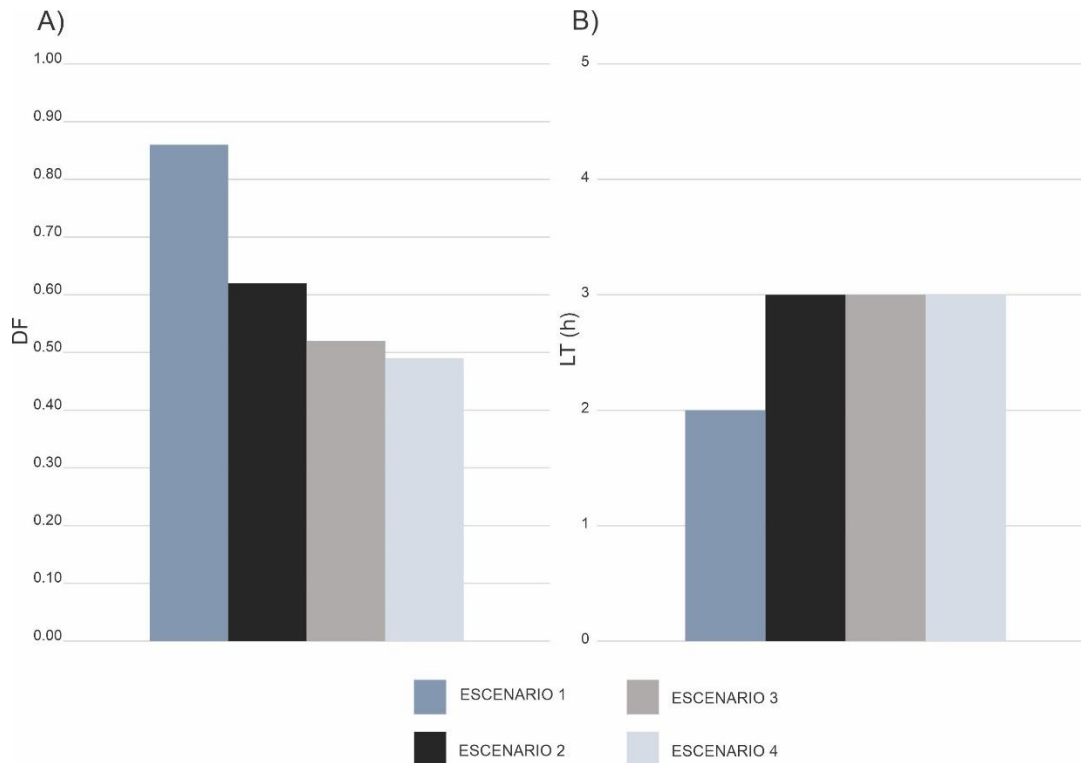
Tabla comparativa de los valores R y U de las tres estrategias para la losa con el escenario de referencia.

Escenario	Estrategia	Valor R	Valor U
<p>1</p> 	Sin estrategia	0.346 m²K/W	2.888 W/m²K
<p>2</p> 	Bloqueador nano térmico de marca TherMaxx	0.350 m²K/W	2.853 W/m²K
<p>3</p> 	Placa de poliestireno extruido de 2" pulgada de espesor de la marca FOAMULAR	2.362 m²K/W	0.423 W/m²K
<p>4</p> 	Bloqueador nano térmico de marca TherMaxx y Placa de poliestireno extruido de 2" pulgada de espesor de la marca FOAMULAR	2.366 m²K/W	0.423 W/m²K

A continuación, se presentan las gráficas comparativas (Figura 40) de los valores de DF y LT de las temperaturas del ambiente interior con respecto al exterior que obtuvo cada escenario.

**Figura 40**

Grafica comparativa de los A) DF y B) LT de los escenarios 1, 2, 3 y 4 para la losa.



A continuación, se presenta la gráfica comparativa (Figura 41) con los valores de  $T_{\text{aint}}$  que obtuvo cada escenario, también se presenta un cuadro comparativo con las temperaturas máximas, mínimas, promedio y la oscilación de cada escenario (Tabla 44).

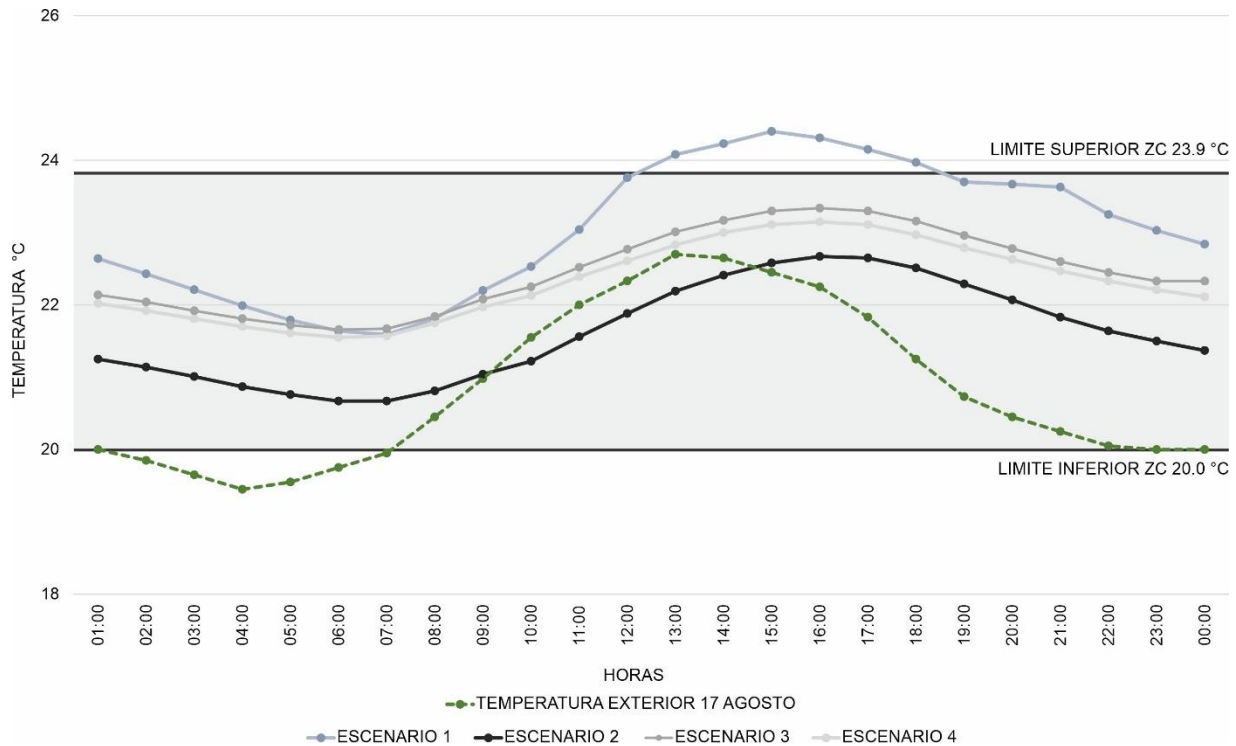
**Tabla 41**

Tabla comparativa de los datos de la variable de Temperatura y su oscilación de los escenarios 1, 2, 3 y 4.

Escenario	Tmax	Tm	Tmin	Oscilación
Temperatura exterior	22.70	20.84	19.45	3.25
Escenario 1 - De referencia	24.40	23.04	21.59	2.81
Escenario 2	22.67	21.61	20.67	2.00
Escenario 3	23.34	22.46	21.66	1.68
Escenario 4	23.15	22.32	21.55	1.60

**Figura 41**

Grafica comparativa de  $T_{ext}$  y  $T_{int}$  de los escenarios 1, 2, 3 y 4.



Primero se analizaron los resultados obtenidos del valor R en cada escenario y se comparó con la normativa. Según la NMX-C-460-ONNCCE-2009 señala que para la habitabilidad el valor R debe ser de 2.30 m<sup>2</sup>K/W en la ciudad de Ensenada, entonces contrastando lo que dice la norma con los valores obtenidos en cada escenario se observa que el número 3 y 4 son los únicos que cumplen con el valor solicitado. A continuación, se realizó un comparativo de los indicadores DF y LT de los escenarios 2, 3 y 4 con el escenario de referencia, con respecto a DF se determinó nuevamente que los escenarios número 3 y 4 obtuvieron los valores más bajos, comparando con el escenario de referencia el escenario 3 obtuvo un valor 40 % menor mientras que el escenario 4 fue un 43 % menor, con respecto a LT los escenarios 2, 3 y 4 obtuvieron un valor 50 % mayor al resultado del escenario de referencia. Por último, se observó en las temperaturas de los escenarios 3 y 4 presentan una menor dispersión de los datos y una menor oscilación lo que detona una mayor estabilidad en las temperaturas del ambiente interior, en contraste con la oscilación de los escenarios con respecto a la temperatura exterior, el escenario de referencia tiene una oscilación 14% menor, el escenario 3 es 48 % menor y el escenario 4 es 51 % menor. Con todos estos resultados

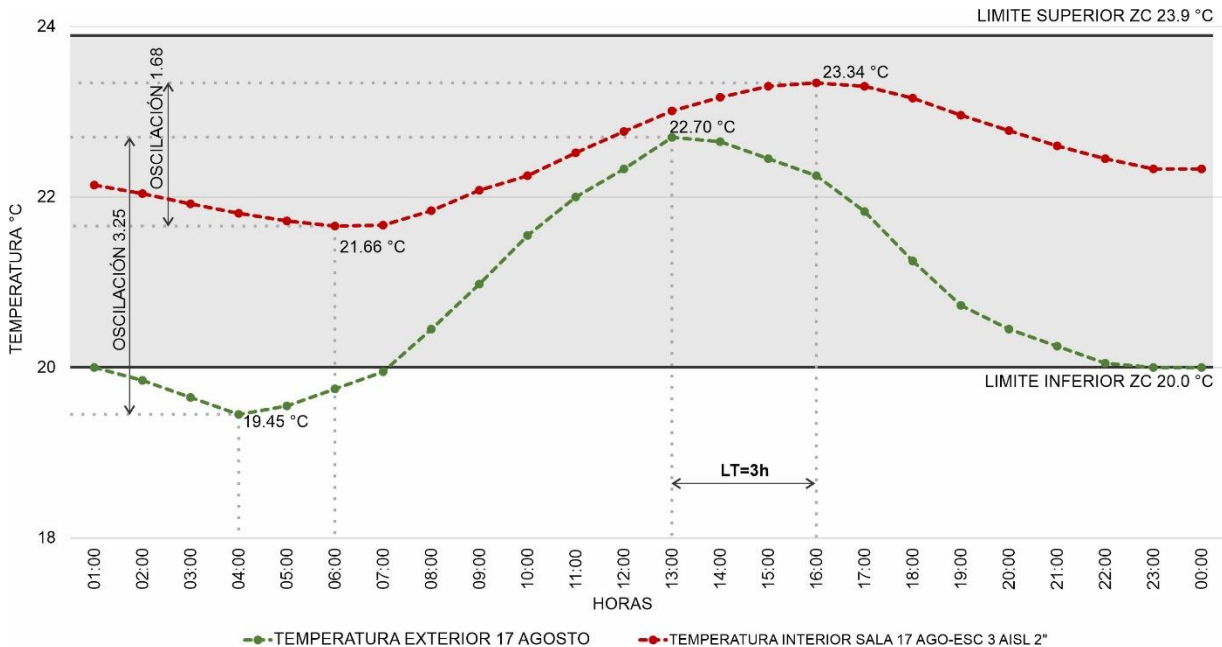
se concluyó que los escenarios 3 y 4 presentaron los resultados con un rendimiento térmico adecuado y estabilidad térmica, la diferencia entre los valores de los parámetros es mínima entre ambos escenarios, por lo que se aprobó el escenario 3 por costo beneficio, en conjunto todos sus resultados de este escenario señalan un óptimo rendimiento térmico. Las gráficas del comportamiento de las temperaturas de cada escenario se pueden observar en el Apéndice A.

#### 4.3.3. Rendimiento térmico del Escenario 3 - Propuesta con estrategia de termoaislante FOAMULAR.

La gráfica presenta un análisis de las temperaturas del ambiente exterior e interior en la zona térmica que corresponde a la sala y comedor de la vivienda A muestra. A continuación, se describen los hallazgos de la estrategia seleccionada.

**Figura 42**

*Análisis de las temperaturas del aire exterior e interior – Escenario 3.*



De acuerdo con la gráfica (Figura 42), la  $T_{a_{ext}}$  que se representa con la línea discontinua en color verde, registró una mínima de 19.45 °C y una máxima de 22.70 °C, con una oscilación de 3.25 °C, el promedio de la temperatura para ese día se registró en 20.84 °C. La  $T_{a_{int}}$  que se representa con la línea discontinua en color rojo registró una mínima de 21.66 °C y una máxima de 23.34 °C, con una oscilación de

1.68 °C, el promedio de la temperatura para este día se registró en 22.46 °C. Se observa que la  $T_{\text{int}}$  se mantiene constantemente por encima de la  $T_{\text{ext}}$ , dentro de la ZC, la mínima se registró a las 6:00 h, dos horas posteriores a la mínima exterior y la máxima se registró a las 16:00 h, tres horas posteriores a la máxima exterior.

Para este escenario se propuso una losa de 10 cm de espesor de concreto con propiedades termo físicas de conductividad de 1.74 W/mK, densidad de 2300 kg/m<sup>3</sup> y calor específico de 1000 J/kgK, una capa de termoaislante de 2 " en la superficie exterior con propiedades termo físicas de conductividad de 0.02587 W/mK, densidad de 40.27 kg/m<sup>3</sup> y calor específico de 1675 J/kgK, para el acabado final se propuso un impermeabilizante de base acrílica con propiedades superficiales de absorción solar de 0.25 y una emisividad de 0.90, estos parámetros fueron utilizados para el simulador, se obtuvo para este sistema constructivo los valores U y R de 0.423 W/m<sup>2</sup>K y 2.362 m<sup>2</sup>K/W y los valores de DF y LT de 0.52 y tres horas respectivamente.

Se determinó que el valor de DF es 40 % menor y LT es 50 % mayor a los resultados obtenidos en el escenario de referencia, un valor menor en DF es indicativo de una mayor resistencia a las fluctuaciones de las temperaturas exteriores, los que permite mantener una estabilidad en las temperaturas al interior del espacio tal como se observa en este escenario, las temperaturas al interior presentan una menor dispersión entre sus valores en contraste con la amplitud térmica de las temperaturas exteriores, como lo demuestran también los valores de oscilación que resulta ser 48% menor que la oscilación de las temperaturas exteriores, además la temperatura promedio al interior obtuvo un valor mayor en comparación con el exterior, estos indicativos señalan que la temperatura al interior del espacio presenta una estabilidad, la temperatura durante el día y la noche sufre menores variaciones y se mantienen dentro de la zona de confort, de acuerdo a los autores la estabilidad térmica es una respuesta característica en el uso del termoaislante, además señalan que incorporar un mayor número de capas al sistema constructivo el DF presentara una disminución lo que se pudo comprobar en este caso.

Un valor mayor en LT nos indica que el lapso de tiempo que tomara en atravesar el flujo de calor por la losa será mucho más amplio, retrasando la temperatura máxima

al interior, el valor R de 2.362 m<sup>2</sup>K/W obtenido en este escenario también señala la resistencia alta al flujo de calor que presenta el sistema constructivo de la losa, se puede concluir que estos resultados están relacionados con las propiedades termo físicas y superficiales de la losa y se considera como un óptimo rendimiento térmico.

#### **4.4. Evaluación del rendimiento térmico del escenario seleccionado en el periodo invernal.**

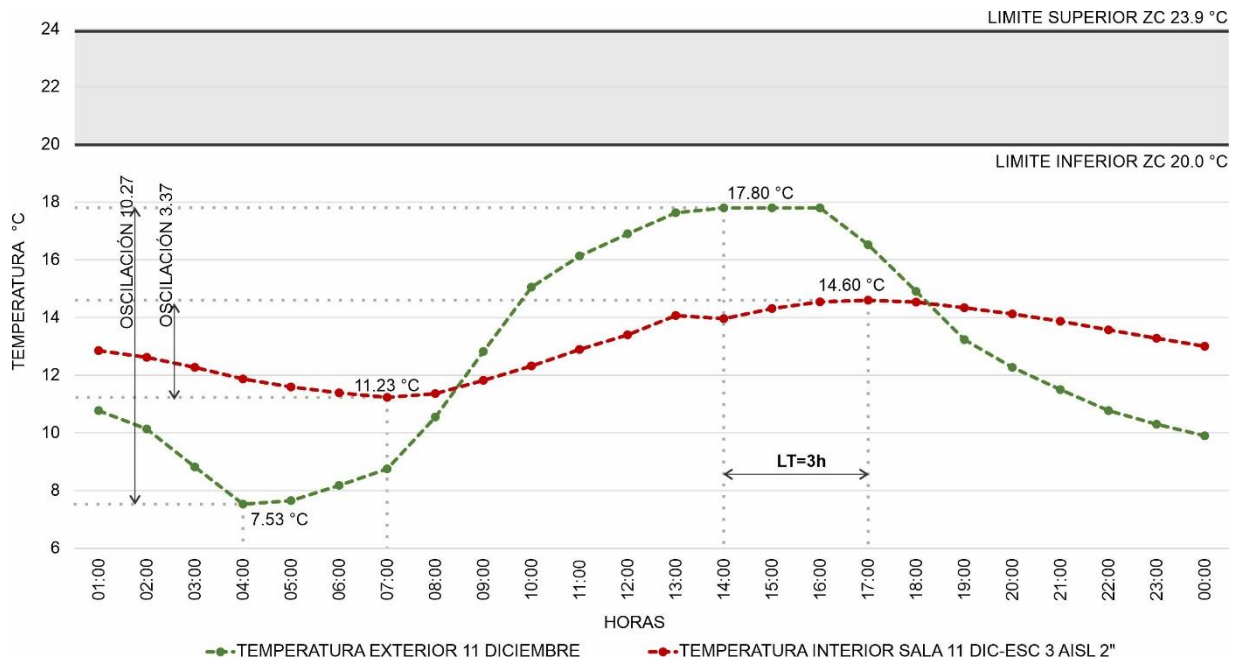
A continuación se expondrán los resultados y hallazgos de la simulación del escenario 3 en el periodo invernal, el elemento analizado de la envolvente opaca fue la losa, la simulación se realizó en el programa *DesignBuilder*®v6.1.8.21, el escenario se evaluó con ventilación natural o *free running*, el termoaislante se colocó en la superficie exterior de la losa y no se consideraron las cargas internas y se analizó el rendimiento térmico de la losa a través del comportamiento de las temperaturas exteriores e interiores. La zona de confort se determinó a partir del modelo de confort del código energético de California, con un límite inferior de 20 °C y un límite superior de 23.9 °C. El día evaluado fue el 11 de diciembre, el cual se determinó como día típico del periodo invernal. Para simplificar la nomenclatura en la descripción de los resultados y hallazgos se utilizará la abreviatura de la Tabla 36.

##### **4.4.1. Rendimiento térmico del Escenario 3 - Propuesta con estrategia de termoaislante FOAMULAR.**

La gráfica presenta un análisis de las temperaturas del ambiente exterior e interior de la estrategia seleccionada en periodo invernal, en la zona térmica que corresponde a la sala y comedor de la vivienda muestra. A continuación, se describen los hallazgos.

**Figura 43**

*Análisis de las temperaturas del aire exterior e interior – Escenario 3.*

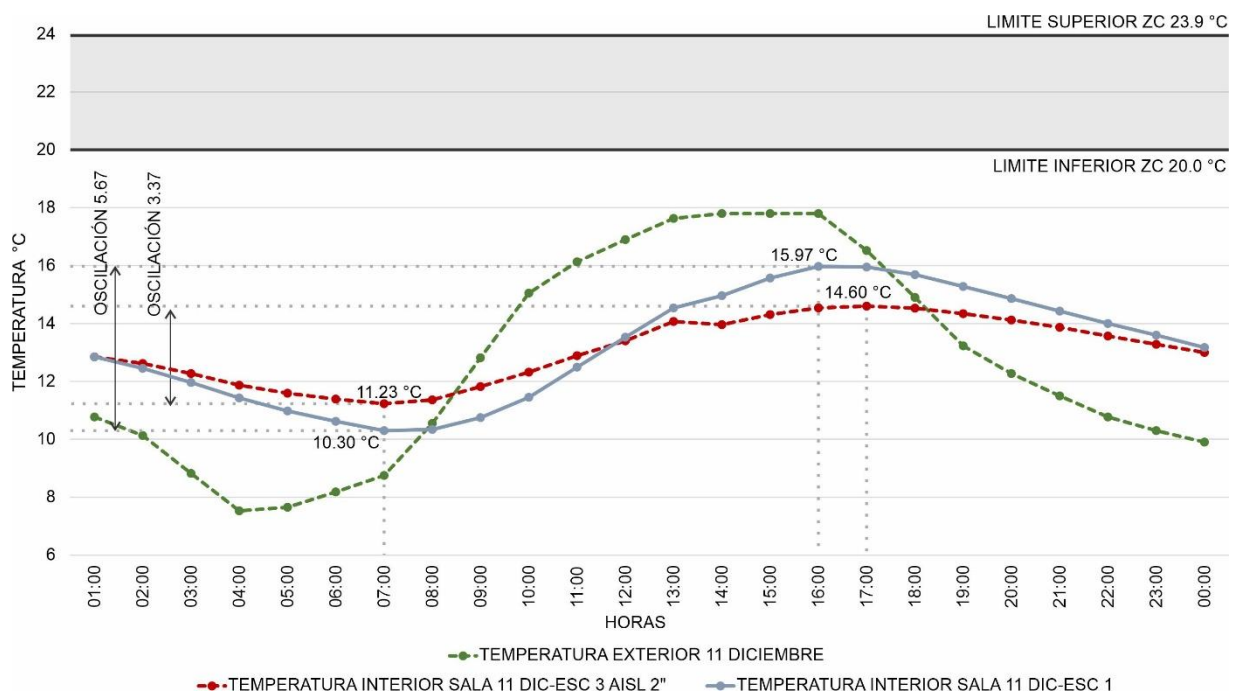


De acuerdo con la gráfica (Figura 43), la  $T_{a_{ext}}$  que se representa con la línea discontinua en color verde, registró una mínima de 7.53 °C y una máxima de 17.80 °C, con una oscilación de 10.27 °C, el promedio de la temperatura para ese día se registró en 12.65 °C. La  $T_{a_{int}}$  que se representa con la línea discontinua en color rojo registró una mínima de 11.23 °C y una máxima de 14.60 °C, con una oscilación de 3.37 °C, el promedio de la temperatura para este día se registró en 13.08 °C, la mínima se registró a las 7:00 h, tres horas posteriores a la mínima exterior y la máxima se registró a las 17:00 h, tres horas posteriores a la máxima exterior.

Se obtuvo para este sistema constructivo los valores U y R de 0.423 W/m<sup>2</sup>K y 2.362 m<sup>2</sup>K/W y los valores de DF y LT de 0.33 y tres horas respectivamente. Se determinó que el valor de DF es 40 % menor y LT es 50 % mayor a los resultados obtenidos en el escenario de referencia, un valor menor en DF es indicativo de una mayor resistencia a las fluctuaciones de las temperaturas exteriores, lo que permite mantener una estabilidad en las temperaturas al interior del espacio tal como se observa en este escenario, las temperaturas al interior presentan una menor dispersión

entre sus valores en contraste con la amplitud térmica de las temperaturas exteriores, como lo demuestran también los valores de oscilación que resulta ser 67 % menor que la oscilación de las temperaturas exteriores, además la temperatura promedio al interior obtuvo un valor mayor en comparación con el exterior, estos indicativos señalan que la temperatura al interior del espacio presenta una estabilidad, la temperatura durante el día y la noche sufre menores variaciones (Figura 44), de acuerdo a los autores la estabilidad térmica es una respuesta característica en el uso del termoaislante, además señalan que incorporar un mayor número de capas al sistema constructivo el DF presentara una disminución lo que se pudo comprobar en este caso.

**Figura 44**  
Análisis comparativo de las temperaturas del aire exterior e interior – Escenario De referencia y Escenario 3.



Un valor mayor en LT nos indica que el lapso de tiempo que tomara en atravesar el flujo de calor por la losa será mucho más amplio, retrasando la temperatura mínima y máxima al interior, el valor R de 2.362 m<sup>2</sup>K/W obtenido en este escenario también señala la resistencia alta al flujo de calor que presenta el sistema constructivo de la losa, para este periodo el valor R permitirá tener menores pérdidas de calor del interior

al exterior, se puede concluir que estos resultados están relacionados con las propiedades termo físicas y superficiales de la losa y se considera como un óptimo rendimiento térmico.

#### **4.5. Discusión.**

Los hallazgos obtenidos en esta investigación demuestran la importancia que tienen los materiales que conforman la envolvente, tal como menciona Nayak & Prajapatl (2006), ellos determinan el rendimiento térmico. Los resultados de este estudio demostraron que las cubiertas de ambas viviendas presentan rangos mayores en el decremento térmico y rangos menores en el retraso térmico, así como una resistencia térmica baja, al contrastar estos datos con lo que menciona la literatura el resultado que se obtiene es un deficiente rendimiento. Varios autores mencionan que entre las propiedades térmicas básicas de los materiales, la conductividad, la densidad y el calor específico son factores clave para obtener resultados positivos o negativos en el desempeño de la envolvente, la transferencia de calor y el almacenamiento (Andoni & Wonorahardjo, 2018; González, 2004; Gunawardena et al., 2017; Muhammad & Wonorahardjo, 2020; Nayak & Prajapatl, 2006). Por esta razón es importante recalcar los valores de las propiedades del concreto, material principal de las cubiertas de las viviendas evaluadas, la conductividad de 1.74 W/mK, densidad de 2300 kg/m<sup>3</sup> y calor específico de 1000 J/kgK confirman los valores obtenidos en esta evaluación, la densidad se relaciona con la conductividad, a mayor densidad, mayor conductividad (González, 2004).

Una cubierta de concreto con alta densidad y conductividad es indicativo de que la fluctuación de las temperaturas interiores se verán influenciadas por las fluctuaciones térmicas del exterior, suceso que se presentó en la evaluación de las cubiertas, con una oscilación de la temperatura exterior de 12.9 °C en contraposición con la oscilación de 14.4 °C de la superficie interior de la vivienda testigo y la oscilación de 12.7 °C de la superficie interior de la vivienda muestra. Una investigación realizada en Morelia, México con viviendas construidas con el mismo sistema constructivo y material, obtuvieron el mismo resultado debido a las propiedades termofísicas del concreto (Becerra-Santacruz & Lawrence, 2016). Las propiedades superficiales de los

materiales también marca una pauta en el rendimiento térmico, los materiales con alta reflectancia solar y alta emisividad se clasifican como materiales fríos, el uso de estos materiales en la envolvente disminuyen la transferencia de calor al interior de los espacios permitiendo un equilibrio en las temperaturas interiores (Alchapar et al., 2012). Analizando el comportamiento que tuvo las temperaturas interiores de la vivienda testigo se puede concluir que el bloqueador nano térmico aplicado a la cubierta y muros de la casa muestra y a los valores de sus propiedades superficiales, se considera como un material frío, esto se convierte en una desventaja para el periodo invernal ya que las temperaturas interiores se mantienen por debajo de la exterior y de la zona térmica en horarios que se podría tener ganancias de calor, esto se puede entender como mayor uso de sistemas de climatización para conseguir confort térmico este periodo.

El espesor también es un factor importante que junto con las propiedades termo físicas intervienen en el rendimiento térmico, un espesor y resistencia térmica mayor obtendrá un mayor retraso térmico (El et al., 2016), la cubierta de ambas viviendas tienen un espesor de 10 cm, esta dimensión en conjunto con las propiedades del concreto provocan una mayor transferencia de calor, como se puede observar en la cubierta de la vivienda testigo, la cual alcanza una temperatura máxima de la superficie interior mayor a la temperatura máxima exterior, la gráfica expone que las ganancias térmicas son mayores a diferencia de la casa muestra que tiene el bloqueador. La orientación es otro factor influyente en el rendimiento (Alías & Jacobo, 2011; Rizzarello, 2018), de igual forma la vivienda testigo expone este detalle, el espacio evaluado recibe mayor radiación en las horas vespertinas a diferencia del espacio evaluado en la vivienda muestra que la radiación recibida es únicamente matutina para el periodo invernal, la gráfica de la cubierta testigo registra temperaturas más altas por la tarde a diferencia de la otra vivienda.

La evaluación de las estrategias constructivas en los escenarios simulados presento hallazgos interesantes sobre las ventajas que ofrece el uso de termoaislantes, el más importante y que forma parte de los objetivos de esta investigación es la estabilidad térmica, que a su vez es señal de un buen rendimiento térmico, las estrategias pasivas como los aislantes promueven la estabilidad de las

temperaturas interiores (Lodete et al., 2020). Esto se observó en los 2 escenarios donde se propuso el termoaislante de poliestireno extruido, el escenario 3 y escenario 4 obtuvieron una oscilación de 1.68 y 1.60 respectivamente, la estabilidad significa que los valores de las temperaturas son menos dispersos evitando temperaturas extremas, las temperaturas se mantiene durante las noche frías de invierno cuando las temperaturas descienden en el exterior o durante los días calurosos cuando las temperaturas externas se elevan durante el verano, esto también implica una menor dependencia a los sistemas de climatización que a su vez trae un ahorro de energía. Una investigación realizada en Coahuila México con celdas, una de las cuales con el mismo sistema constructivo de las cubiertas evaluadas, pero con aislante y la otra con concreto celular, se identificó que la celda con aislante presentó un decremento térmico menor y un retraso térmico mayor, mientras que la celda hecha de concreto celular, presentó una mayor amplitud térmica. Aplicar aislantes a la envolvente es proveer de una mayor resistencia al flujo de calor (Cabeza et al., 2010). Además el efecto capas, que se refiere a engrosar la envolvente mediante la aplicación de otros materiales favorece a la disminución del decremento térmico y a elevar el retraso térmico, es decir que promueve un mejor rendimiento térmico y esto fue comprobados en los escenarios 3 y 4 donde obtuvieron en contraste con el escenario de referencia, un decremento térmico, el primero escenario un 40 % menor mientras que el segundo un 43 % menor, y con respecto a LT ambos escenarios obtuvieron un valor 50 % mayor al resultado del escenario de referencia.

## CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

---



### **1.1. Evaluación del rendimiento térmico de las losa medidas *in situ*.**

Como primer objetivo específico se planteó evaluar el rendimiento térmico de las losas de la vivienda muestra y la vivienda testigo a través de los datos obtenidos de los instrumentos utilizados en la medición *in situ* realizada en el periodo invernal. El resultado obtenido de esta evaluación demostró que ambas viviendas presentaron un deficiente rendimiento térmico, la vivienda muestra se evaluó a través de los parámetros DF, LT, valor R , los valores obtenidos las temperaturas del ambiente interior y exterior y del sistema constructivo fueron 0.55, tres horas y 0.350 m<sup>2</sup>K/W respectivamente, los valores se compararon con lo que los autores mencionan y el valor R se comparó con la norma NMX-C-460-ONNCCE-2009 lo que demostró no cumplirla, la vivienda testigo se evaluó a través del valor R debido a que únicamente se pudo monitorear la superficie interior de la losa por la falta de instrumentos, el resultado que se obtuvo fue 0.349 m<sup>2</sup>K/W, este valor se comparó con la norma NMX-C-460-ONNCCE-2009 lo que demostró no cumplirla.

Los resultados obtenidos de estas evaluaciones tienen una correlación con las variables climáticas y las propiedades termo físicas de las losas en especial las del concreto, con una conductividad de 1.74 W/mK, densidad de 2300 kg/m<sup>3</sup> y calor específico de 1000 J/kgK, también interviene el espesor de 10 cm de la losa, así como las propiedades superficiales de las losas, estas últimas demostraron a través de un comparativo entre el comportamiento de las temperaturas de la superficie interior de ambas losas, que el bloqueador nano térmico aplicado en la superficie exterior de la losa de la vivienda muestra debido a sus altos valores de emisividad y reflectancia solar, 90 y 80 respectivamente convierten a la losa en un techo frío por lo que se obtiene temperaturas menores que la temperatura de la vivienda testigo, la orientación de la vivienda B testigo es una ventaja en el periodo invernal para las temperaturas interiores.

### **1.2. Evaluación del rendimiento térmico de los escenarios simulados.**

Como segundo objetivo específico se planteó examinar el resultado del rendimiento térmico obtenido de las simulaciones de los escenarios propuestos y

contrastarlos con el escenario de referencia, la característica fue evaluar este rendimiento en un ambiente con ventilación natural o *free running*. Las estrategias propuestas para la intervención fueron un bloqueador nano térmico y un termoaislante de poliestireno extruido de 2 ", las estrategias se colocaron en la superficie exterior de la losa, se simularon 4 escenarios, el primero fue el de referencia el cual no presentaba ninguna intervención, el escenario 2 fue con el bloqueador, el escenario 3 con el termoaislante y el escenario 4 se combinaron las dos estrategias, la evaluación fue en el periodo estival. Se evaluó a través de los parámetros DF, LT, valor R. Los resultados obtenidos de esta análisis y evaluación demostraron que los escenarios 3 y 4 obtuvieron los mejores rendimientos y retrasos térmicos, así como estabilidad en las temperaturas interiores, comparando los resultados con el escenario de referencia el escenario 3 obtuvo un valor DF 40 % menos, mientras que el escenario 4 un 43 % menos, con respecto a LT los escenarios 3 y 4 obtuvieron un valor 50 % mayor al resultado del escenario de referencia. También se pudo comprobar que los valores R de ambos escenarios cumplen con la norma. Otro factor que permitió evaluar la estabilidad térmica son las oscilaciones de los escenarios el escenario 3 es 48 % menor y el escenario 4 es 51 % menor con respecto a la oscilación de las temperaturas exteriores.

Las diferencias fueron mínimas entre ambas estrategias por lo que se seleccionó la estrategia del termoaislante que corresponde al escenario 3 por costo beneficio. Los resultados obtenidos de estas evaluaciones tienen una correlación con las variables climáticas y las propiedades termo físicas de las losas, las del bloqueador nano térmico son conductividad de 0.047 W/mK, densidad de 50 kg/m<sup>3</sup> y calor específico de 1675 J/kgK además de sus propiedades superficiales emisividad de 90 y reflectancia solar 80, las del termoaislante son conductividad de 0.02587 W/mK, densidad de 40.27 kg/m<sup>3</sup> y calor específico de 1675 J/kgK,

La aportación de esta investigación fue evaluar la combinación de un termoaislantes y un bloqueador nano térmico que convierte a la losa en un techo frio aplicado en viviendas construidas con sistema de encofrado de concreto, la evaluación en el periodo de verano demostró un óptimo rendimiento y estabilidad térmicos.

### **1.3. Determinar la estrategia seleccionada que presente un mejor rendimiento y estabilidad térmica.**

Como tercer objetivo se planteó determinar la estrategia con mejor rendimiento térmico y que aporte estabilidad en las temperaturas en los espacios interiores en el periodo estival e invernal y señalar el porcentaje de disminución de los parámetros de evaluación del escenario con la estrategia seleccionada en contraste con el escenario de referencia. El escenario 3 se evaluó a través de los parámetros DF, LT, valor R, los resultados mostraron que el escenario presentaba un rendimiento térmico óptimo, así como una estabilidad térmica. La propuesta del escenario 3 con la estrategia del termoaislante obtuvo de resultado un porcentaje de DF 40% menor y LT 50% mayor con respecto al escenario de referencia en el periodo estival, los resultados en estos parámetros fueron los mismos en el periodo invernal. El valor R obtenido del sistema de 2.362 m<sup>2</sup>K/W cumple con la norma mexicana. La oscilación de las temperaturas interiores en verano fue 48% menor que las exteriores y para invierno fue un 67% menor.

El uso de termoaislantes como estrategia en el mejoramiento del rendimiento térmico de la envolvente presenta ventajas entre las que se encuentra la reducción de la amplitud térmica interior con respecto a la exterior, una mayor resistencia al intercambio de calor, la temperatura interior no fluctúa con relación a la exterior, un mayor retraso térmico, se pudo comprobar a través de la simulación térmica dinámica del escenario con esta propuesta lo que mencionan los autores y los casos de estudio citados. Las temperaturas interiores en el verano se mantuvieron dentro de la zona de confort térmica, mas no en invierno, pero las temperaturas presentan una menor variación durante el día y la noche. Los termoaislantes reducen el uso de sistemas de climatización (Lodete et al., 2020).

### **1.4. Futuras investigaciones.**

Con el objeto de continuar adaptando las viviendas construidas con el sistema de encofrado de concreto a las condiciones climáticas de su emplazamiento se exponen las siguientes propuestas para futuras investigaciones.

1. Proponer un concreto con baja conductividad y densidad, ampliar el espesor de la envolvente opaca o incorporar materiales de cambio de fase.

2. Evaluar los niveles de humedad en los espacios interiores.

3. Proponer sistemas pasivos de ganancia y control solar, así como ventilación natural que actúen de manera favorable en periodo invernal y estival y que permitan alcanzar o mantener las temperaturas estables dentro de la zona de confort, además que favorezcan a reducir el consumo de sistemas activos de climatización.

### **1.5. Recomendaciones.**

Para futuras investigaciones de viviendas construidas con sistema de encofrado de concreto se recomienda:

1. Contar con un mayor número de equipos para realizar la medición *in situ*, lo que permitirá llevar a cabo comprobaciones entre elementos de la envolvente o viviendas.

2. Realizar mediciones *in situ* en el periodo invernal y el periodo estival para realizar las evaluaciones en ambos periodos, además de hacer las validaciones del modelo con los datos del simulador.

3. Se recomienda el análisis de la envolvente opaca vertical debido a que cuenta con el mismo sistema constructivo de la cubierta, así como considerarla como parte de la optimización, ya que esta sección de la envolvente recibe un porcentaje importante de radiación solar.

## REFERENCIAS

- Al-Obaidi, K. M., Ismail, M., & Abdul Rahman, A. M. (2014). Passive cooling techniques through reflective and radiative roofs in tropical houses in Southeast Asia: A literature review. *Frontiers of Architectural Research*, 3(3), 283–297. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2014.06.002>
- Al-tamimi, N. (2022). Passive Design Strategies for Energy Efficient Buildings in the Arabian Desert. *Frontiers in Built Environment*, 7, 805603. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.805603>
- Al-yasiri, Q., & Szabó, M. (2021). Experimental evaluation of the optimal position of a macroencapsulated phase change material incorporated composite roof under hot climate conditions. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 45(March), 101121. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101121>
- Al-yasiri, Q., & Szabó, M. (2022). Energetic and thermal comfort assessment of phase change material passively incorporated building envelope in severe hot Climate : An experimental study. *Applied Energy*, 314(January), 118957. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118957>
- Albatayneh, A. (2021). Optimisation of building envelope parameters in a semi-arid and warm Mediterranean climate zone. *Energy Reports*, 7, 2081–2093. <https://doi.org/10.3390/buildings11020043>
- Alchapar, N. L., Correa, E. N., & Cantón, M. A. (2012). Índice De Reflectancia Solar De Revestimientos Verticales: Potencial Para La Mitigación De La Isla De Calor Urbana. *Ambiente Construído*, 12(3), 107–123. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212012000300008>
- Ali, M. H., & Abustan, I. (2014). A new novel index for evaluating model performance. *Journal of Natural Resources and Development*, 2002, 1–9. <https://doi.org/10.5027/jnrd.v4i0.01>
- Alías, H. M., & Jacobo, G. J. (2011). Eficiencia energética en viviendas sociales. Incidencia de la envolvente en el consumo eléctrico para mantener el bienestar

- higrotérmico en los espacios interiores. *Arquisur*, 1, 76–89.  
<https://doi.org/10.14409/ar.v1i1.925>
- Alpuche Cruz, M. G., & Duarte Aguilar, E. A. (2017). La NOM-020-ENER-2011 en viviendas económicas ubicadas en diferentes regiones climáticas de México. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, 1(1), 75–90.  
<https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i1.6>
- Andarini, R. (2014). The Role of Building Thermal Simulation for Energy Efficient Building Design. *Energy Procedia*, 47, 217–226.  
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.217>
- Andoni, H., & Wonorahardjo, S. (2018). A Review on Mitigation Technologies for Controlling Urban Heat Island Effect in Housing and Settlement Areas. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 152(1).  
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/152/1/012027>
- Arballo, B., Kuchen, E., Scientific, N., & Naranjo, Y. A. (2016). Evaluación de modelos de confort térmico para interiores. *VIII Congreso Regional de Tecnología de La Arquitectura – CRETA. Desarrollo Tecnológico Regionalmente Sustentable, October*, 10.
- Ascione, F., Bianco, N., Masi, R. F. De, Mastellone, M., & Vanoli, G. P. (2019). Phase Change Materials for Reducing Cooling Energy Demand and Improving Indoor Comfort: A Step-by-Step Retrofit of a Mediterranean Educational Building. *Energies*, 12, 3661.
- Asfour, O. S. (2020). A comparison between the daylighting and energy performance of courtyard and atrium buildings considering the hot climate of Saudi Arabia. *Journal of Building Engineering*, 30(February), 101299.  
<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101299>
- Attia, S. (2011). State of the Art of Existing Early Design Simulation Tools for Net Zero Energy Buildings : A Comparison of Ten Tools. *Architecture et Climat, Université Catholique de Louvain*.
- Baniassadi, A., Sailor, D. J., Crank, P. J., & Ban-weiss, G. A. (2018). Direct and indirect

- effects of high-albedo roofs on energy consumption and thermal comfort of residential buildings. *Energy & Buildings*, 178, 71–83. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.048>
- Barrios, G., Huelsz, G., Rechtman, R., & Rojas, J. (2011). Wall / roof thermal performance differences between air-conditioned and non air-conditioned rooms. *Energy & Buildings*, 43(1), 219–223. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.09.015>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.03.030>
- Becerra-Santacruz, H., & Lawrence, R. (2016). Evaluation of the thermal performance of an industrialised housing construction system in a warm-temperate climate: Morelia, Mexico. *Building and Environment*, 107, 135–153. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.07.029>
- Bektas Ekici, B., & Aksoy, U. T. (2011). Prediction of building energy needs in early stage of design by using ANFIS. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 5352–5358. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.10.021>
- Bhamare, D. K., Rathod, M. K., & Banerjee, J. (2019). Passive cooling techniques for building and their applicability in different climatic zones—The state of art. *Energy and Buildings*, 198, 467–490. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.06.023>
- Bhargava, A., Lakmini, S., & Bhargava, S. (2017). Urban Heat Island Effect: It's Relevance in Urban Planning. *Journal of Biodiversity & Endangered Species*, 05(02), 1–4. <https://doi.org/10.4172/2332-2543.1000187>
- Boccalatte, A., Fossa, M., Gaillard, L., & Menezo, C. (2020). Microclimate and urban morphology effects on building energy demand in different European cities. *Energy and Buildings*, 224, 110129. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110129>
- Borbon-Almada, A. C., Lucero-Alvarez, J., Rodriguez-Muñoz, N. A., Ramirez-Celaya, M., Castro-Brockman, S., Sau-Soto, N., & Najera-Trejo, M. (2020). Design and application of cellular concrete on a mexican residential building and its influence on energy savings in hot climates: Projections to 2050. *Applied Sciences*

(Switzerland), 10(22), 1–22. <https://doi.org/10.3390/app10228225>

Bustamante, W., & Rozas, Y. (2009). *Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social*. Ministerios de Vivienda y Urbanismo.

Cabeza, L. F., Castell, A., Medrano, M., Martorell, I., Pérez, G., & Fernández, I. (2010). Experimental study on the performance of insulation materials in Mediterranean construction. *Energy and Buildings*, 42(5), 630–636. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.10.033>

Celis, F., Escorcía, O., Díaz, M., García, R., & Echeverría, E. (2012). Incidencia de la forma y envolvente en el desempeño térmico de las viviendas del centro-sur de Chile. *Revista Hábitat Sustentable*, 2(2), 19–33.

Chen, Z., Hammad, A., Kamardeen, I., & Akbarnezhad, A. (2020). Optimising Embodied Energy and Thermal Performance of Thermal Insulation in Building Envelopes via an Automated Building Information Modelling (BIM) Tool. *Buikdings*, 10, 218.

*Climate.OneBuilding.Org*. (2022). <https://climate.onebuilding.org>

Collet, L., Maristany, A., & Leandra, A. (1995). *Diseño Bioclimático de Viviendas* (Primera Ed). Ediciones Eudecor SRL.

CONAFOVI. (2006). Guía para el Uso eficiente de la energía en la vivienda. In *Bosque*.

CONAVI, C. N. de V. (2017). Código de Edificación de Vivienda (CVE). In *Conavi* (3a Edición).

CONUEE, C. N. para el uso E. de E. (2017). *Costos y beneficios de la norma mexicana para envolvente de edificaciones residenciales (NOM-020- ENER)*. 1–24. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/234755/Impacto\\_NOM-020-junio-2017-FINAL.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/234755/Impacto_NOM-020-junio-2017-FINAL.pdf)

CONUEE, C. N. para el uso E. de E. (2018). Análisis de la evolución del consumo eléctrico del sector residencial entre 1982 y 2017 e impactos de ahorro de energía por políticas públicas. *Cuadernos de La Conuee*, 1.

CONUEE, C. N. para el uso E. de E. (2020). Eficiencia energética en el confort térmico

en viviendas de clima cálido en México. *Cuadernos de La Conuee*, 5.

Daioglou, V., Mikropoulos, E., Gernaat, D., & Vuuren, D. P. Van. (2022). Efficiency improvement and technology choice for energy and emission reductions of the residential sector. *Energy*, 243, 122994. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122994>

DOF - Diario Oficial de la Federación. (2021). *DECLARATORIA de vigencia de la Norma Mexicana NMX-C-460-ONNCCE-2009*.

El, F., Lafhaj, Z., Antczak, E., & Chapiseau, C. (2016). Dynamic thermal performance of three types of unfired earth bricks. *Applied Thermal Engineering*, 93, 377–383. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.09.009>

Federal, P. L. (2009). *Norma Mexicana NMX-C-460-ONNCCE-2009, Industria de la construcción-Aislamiento Térmico-Valor "R" para las envolventes de viviendas por zona térmica para la república Mexicana-Especificaciones y verificación*".

Friess, W. A., & Rakhshan, K. (2017). A review of passive envelope measures for improved building energy efficiency in the UAE. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72(November 2016), 485–496. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.026>

Fu, S. C., Zhong, X. L., Zhang, Y., Lai, T. W., Chan, K. C., Lee, K. Y., & Chao, C. Y. H. (2020). Bio-inspired cooling technologies and the applications in buildings. *Energy and Buildings*, 225, 110313. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110313>

GABC, G. A. for B. and C. (2018). *2018 Global Status Report: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*.

García-Alvarado, R., González, A., Bustamante, W., Bobadilla, A., & Muñoz, C. (2014). Características relevantes de la simulación energética de viviendas unifamiliares. *Informes de La Construcción*, 65(533). <https://doi.org/10.3989/ic.12.108>

García, A., Cadena, J. L., Bojórquez, G., Luna, A., & Vázquez, J. E. (2011). Confort Térmico y Consumo Energético por uso de Sistemas Constructivos para Muros, en Mexicali Baja California. *CTSNEs\_RES*.

- Ghadami, N., Siamaki, M., Pouresmaeil, H., Aghlmand, R., & Gheibi, M. (2021). *Assessing Energy Consumption , Optical Distributions , and Carbon Contaminations using the Design-Builder Simulation Model ( Case Study: A Sports Building , Mashhad , Iran )*. 5, 74–79.
- González, E. (2004). Selección De Materiales En La Concepción Arquitectónica Bioclimática. *ResearchGate, January*, 351564413.
- Guillén Guillén, C. A., & Muciño Vélez, A. (2020). Ahorro energético en vivienda social mediante la implementación de materiales regionales. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, 8, 59–80. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i8.142>
- Guillén, V., Quesada, F., López, M., Orellana, D., & Serrano, A. (2015). Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales. *Estoa*, 4(7), 59–67. <https://doi.org/10.18537/est.v004.n007.07>
- Gunawardena, K. R., McCullen, N., & Kershaw, T. (2017). Heat island influence on space-conditioning loads of urban and suburban office buildings. *Cities and Climate Conference 2017*, 1–13.
- He, B. J. (2019). Towards the next generation of green building for urban heat island mitigation: Zero UHI impact building. *Sustainable Cities and Society*, 50(di), 101647. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101647>
- INEGI, SENER, & CONUEE. (2018). *Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares. ENCEVI 2018. Presentación de Resultados*. 35.
- International Standard. (1998). *Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities ISO 7726* (Second edi, Vol. 1998).
- Iranfar, M., & Al-Din, S. S. M. (2020). The cognition of the architectural styles role on thermal performance in houses of semi-arid climates: Analysis of building envelope materials. *Civil Engineering and Architecture*, 8(5), 929–941. <https://doi.org/10.13189/cea.2020.080520>
- ISO. (n.d.). ISO. ISO STANDARDS ARE INTERNATIONALLY AGREED BY EXPERTS.

- Jannat, N., Hussien, A., Abdullah, B., & Cotgrave, A. (2020). A comparative simulation study of the thermal performances of the building envelope wall materials in the tropics. *Sustainability*, 12(12), 4892. <https://doi.org/10.3390/SU12124892>
- Kandya, A., & Mohan, M. (2018). Mitigating the Urban Heat Island effect through building envelope modifications. *Energy and Buildings*, 164, 266–277. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.01.014>
- Kaynakli, O. (2012). A review of the economical and optimum thermal insulation thickness for building applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 415–425. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.006>
- Kumari, P., Garg, V., Kumar, R., & Kumar, K. (2021). Impact of urban heat island formation on energy consumption in Delhi. *Urban Climate*, 36(December 2020), 100763. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100763>
- Lagou, A., Kylili, A., Šadauskienė, J., & Fokaides, P. A. (2019). Numerical investigation of phase change materials (PCM) optimal melting properties and position in building elements under diverse conditions. *Construction and Building Materials*, 225, 452–464. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.199>
- Lalesca, E., Martins, V., Martins, A., Ordenes, M., & Fossati, M. (2021). The influence of envelopes in the thermal performance of residential buildings , from the perspective of bioclimatic architecture. *Journal of Physics: Conference Series*, 2042, 012157. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2042/1/012157>
- Lin, Y., Zhou, S., Yang, W., & Li, C. (2018). *Design Optimization Considering Variable Thermal Mass , Insulation , Absorptance of Solar Radiation , and Glazing Ratio Using a Prediction Model and Genetic Algorithm*. 1, 1–15. <https://doi.org/10.3390/su10020336>
- Lobos, D., Wandersleben, G., & Castillo, L. S. (2014). *Mapeo de Interoperabilidad entre BIM y BPS Software (Simulación Energética) para Chile*. 1, 378–382. <https://doi.org/10.5151/despro-sigradi2013-0072>
- Lodete, T., Arns, G., & Marcelino, R. (2020). Impact Analysis of Bioclimatic Strategies on the Thermoenergetic Performance of a Pilot Plant in Southern Brazil. *Journal*

*of Energy Engineering*, 146(5), 05020003. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ey.1943-7897.0000704](https://doi.org/10.1061/(asce)ey.1943-7897.0000704)

Magadán, T. R., Laredo, C. G., Suarez, G. A., Cacabelos, Reyes Antón, Carrasco, P. P. J., & Álvarez, F. M. Á. (2016). Simulación mediante TRNSYS de la influencia de la envolvente térmica en la demanda energética en un Cuartel de la Armada y propuestas de actuación. *IV Congreso Nacional de I+D En Defensa y Seguridad 2016*, 322630705.

Muhammad, F., & Wonorahardjo, S. (2020). Building Material in the Perspective of Energy Efficiency and Thermal Environment in TOD Area. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 532(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/532/1/012021>

Muñoz Meléndez, G., Díaz González, E., Campbell Ramírez, H. E., & Quintero Nuñez, M. (2012). *Baja California: Perfil Energético 2010-2020. Propuesta y análisis de indicadores energéticos para el desarrollo de prospectivas estatales*. (Primera ed). Comisión Estatal de Energía de Baja California. <https://studylib.es/doc/6258557/baja-california--perfil-energético-2010-2020>

Nayak, J. K., & Prajapatl, J. A. (2006). Handbook On Energy Conscious Buildings. *Indian Institute of Technology, Bombay and Solar Energy Centre, Ministry of Non-Conventional Energy Sources*. [https://issuu.com/supplementarytechetv2035/docs/handbook\\_on\\_energy\\_conscious\\_buildings/395](https://issuu.com/supplementarytechetv2035/docs/handbook_on_energy_conscious_buildings/395)

OMS. (2018). Directrices de la OMS sobre vivienda y salud: Resumen de orientación. *Organización Mundial de La Salud*. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/279743/WHO-CED-PHE-18.10-spa.pdf?ua=1>

ONU. (n.d.). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Retrieved December 11, 2020, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

Ordoñez, A. (2014). Manual de ayuda DesignBuilder en español. *Sol.Arq Soluciones Arquitectónicas Sostenibles*, 417.

- Pawar, B. S., & Kanade, P. G. N. (2018). Energy Optimization of Building Using Design Builder Software. *International Journal of New Technology and Research*, 4(1), 69–73.
- Pomfret, L., & Hashemi, A. (2017). Thermal Comfort in Zero Energy Buildings. *Energy Procedia*, 134, 825–834. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.536>
- Quimis, C. E. L., Pezo, J. A. Mi., & Arévalo, J. J. P. (2019). Influencia de los materiales de la envolvente en el confort térmico de las viviendas. Programa Mucho Lote II, Guayaquil. *Universidad y Sociedad*, 303–309.
- Ré, G., & Filippín, C. (2021). Evaluación energética y rehabilitación de la envolvente edilicia de una escuela en zona bioambiental templada cálida , Argentina. *Informes de La Construcción*, 73, 563.
- Reyes, K., Romero, R., Sotelo, C., Luna, A., & Bojorquez, G. (2020). Passive Strategies For Energy-Efficient Building Envelopes For Housing Developments in Hot Arid Climates. *The Sustainable City XVI*, 249, 115–125. <https://doi.org/10.2495/SC200101>
- Rizzarello, F., Hongn, M., & Gea, M. (2018). SIMULACIÓN COMPUTACIONAL DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UNA VIVIENDA SOCIAL EN SALTA CAPITAL. *Energías Renovables y Medio Ambiente.*, 42, 15–27.
- Rodriguez Miranda, S., Martínez Alvarez, O., & González Nava, C. (2021). Evaluación por simulación dinámica del comportamiento térmico en una casa interés social con la incorporación de estrategias de arquitectura bioclimática en Guanajuato, México. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 22(1), 1–13. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2021.22.1.004>
- Rojas, J., Barrios, G., Huelsz, G., Tovar, R., & Jalife-Lozano, S. (2016). Thermal performance of two envelope systems: Measurements in non air-conditioned outdoor test cells and simulations. *Journal of Building Physics*, 39(5), 452–460. <https://doi.org/10.1177/1744259115591993>
- Ruiz Torres, R. P. (2019). Evaluación Del Sistema Termolosa Entre La Medición Experimental Y El Calculado Con La Nmx-C-460-Onncce-2009. *Vivienda y*

*Comunidades Sustentables*, 2019(6), 119–136.  
<https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i6.126>

Sadeghi, R., Mehrganaian, N., & Hosseikhah, H. (2018). Energy Performance Improvements in dwellings by Application of sustainable design using Designbuilder. *Internacional Conference of Advances in Science and Technology*, December 2018. <https://doi.org/10.1016/K.fdhht.2018.145>

Sadineni, S. B., Madala, S., & Boehm, R. F. (2011). Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3617–3631. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.014>

Salihi, M., El, M., Harmen, Y., Chhiti, Y., Chebak, A., M'Hamdi, F., Achak, M., Bentiss, F., & Jama, C. (2022). Evaluation of global energy performance of building walls integrating PCM : Numerical study in semi-arid climate in Morocco. *Case Studies in Construction Materials*, 16, e00979. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00979>

Sangwan, P., Mehdizadeh-rad, H., Wai, A., Atiq, M., & Chukwuka, R. (2022). Performance Evaluation of Phase Change Materials to Reduce the Cooling Load of Buildings in a Tropical Climate. *Sustainability*, 14, 3171.

Santamouris, M. (2014). On the energy impact of urban heat island and global warming on buildings. *Energy and Buildings*, 82, 100–113. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.022>

Secretaría de Energía. (2001). NORMA Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales. *Diario Oficial de La Federación*.

Secretaría de Energía. (2011a). NORMA Oficial Mexicana NOM-018-ENER-2011, Aislantes térmicos para edificaciones. Características y métodos de prueba. *Diario Oficial de La Federación*, 50, 23–59.

Secretaría de Energía. (2011b). NORMA Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones.- Envolvente de edificios para uso habitacional. *Diario Oficial de La Federación*.

Secretaría de Energía. (2012). NORMA Oficial Mexicana NOM-024-ENER-2012,

Características térmicas y ópticas del vidrio y sistemas vidriados. *Diario Oficial de La Federación*.

- Triano, J., Macias, E. V, Hernández, I., Aguilar, K. M., & Xamán, J. (2020). Thermal behavior of a phase change material in a building roof with and without reflective coating in a warm humid zone. *Journal of Building Engineering*, 32(August), 101648. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101648>
- Wang, W., Ge, X., & Xiong, H. (2019). Thermal design optimization and analysis on heating load of rural buildings in northern China. *E3S Web of Conferences ICBTE 2019*, 8, 1–5.
- Ye, B., Jiang, J., Liu, J., Zheng, Y., & Zhou, N. (2021). Research on quantitative assessment of climate change risk at an urban scale: Review of recent progress and outlook of future direction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110415. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110415>
- Yu, S., Hao, S., Mu, J., & Tian, D. (2022). Optimization of Wall Thickness Based on a Comprehensive Evaluation Index of Thermal Mass and Insulation. *Sustainability*, 14, 1143.
- Živkovic, P., Dimitrijevic, D., & Stevanovic, Ž. (2018). The Impact of the Building Envelope with the Green Living Systems on the Built Environment. *Thermal Science*, 22, 1033–1045.

## APENDICES

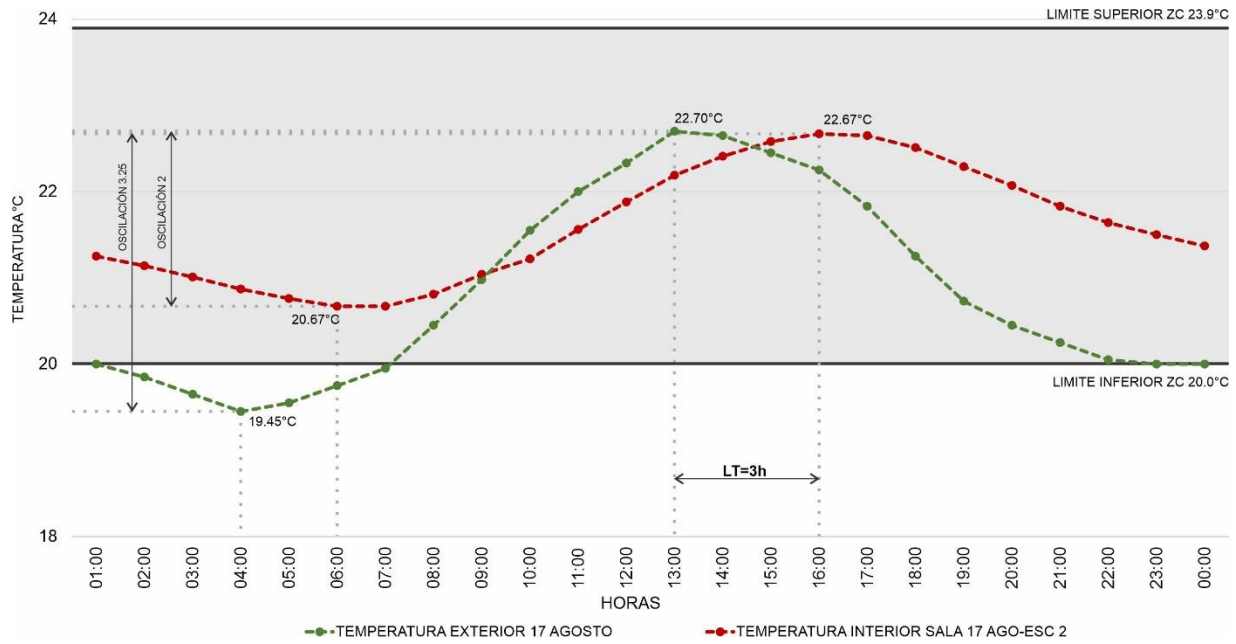
---

## Apéndice A

Este apéndice contiene las gráficas de los resultados obtenidos de la variable de temperaturas interior y exterior del escenario 2 (Tabla 46) y del escenario 4 (Tabla 47) evaluadas en el periodo estival.

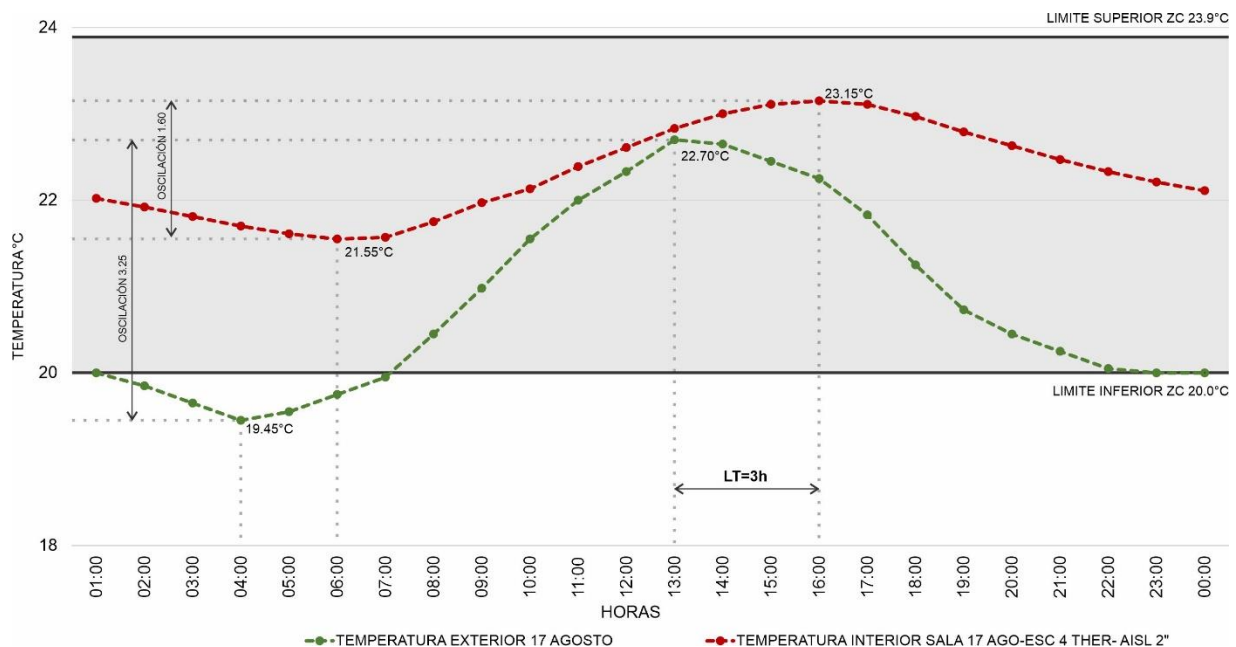
**Figura 45**

*Análisis de las temperaturas del aire exterior e interior – Escenario 2.*



**Figura 46**

*Análisis de las temperaturas del aire exterior e interior – Escenario 4.*



## Apéndice B

El error cuadrático medio o *Root Mean Square Error* (RMSE por sus siglas en inglés) también conocido como desviación cuadrática media de la raíz o *the root mean square deviation* (RMSD por sus siglas en inglés) permite realizar un cotejo entre los valores obtenidos en un modelo simulado y los obtenidos en una medición *in situ*, esto permite conocer cuál es el error entre estos valores. De acuerdo con [AgriMagrimetsoft.com/calculators](http://AgriMagrimetsoft.com/calculators) se obtuvo un RMSE de 1.053. Este apéndice contiene la tabla con los datos contrastados (Tabla 43) y la gráfica (Figura 48) del cálculo obtenido de RMSE. La segregación que se presenta entre los datos medidos en el sitio y los datos de la simulación, es lo que toma en consideración el error cuadrático medio, cero es el valor recomendable (Ali & Abustan, 2014).

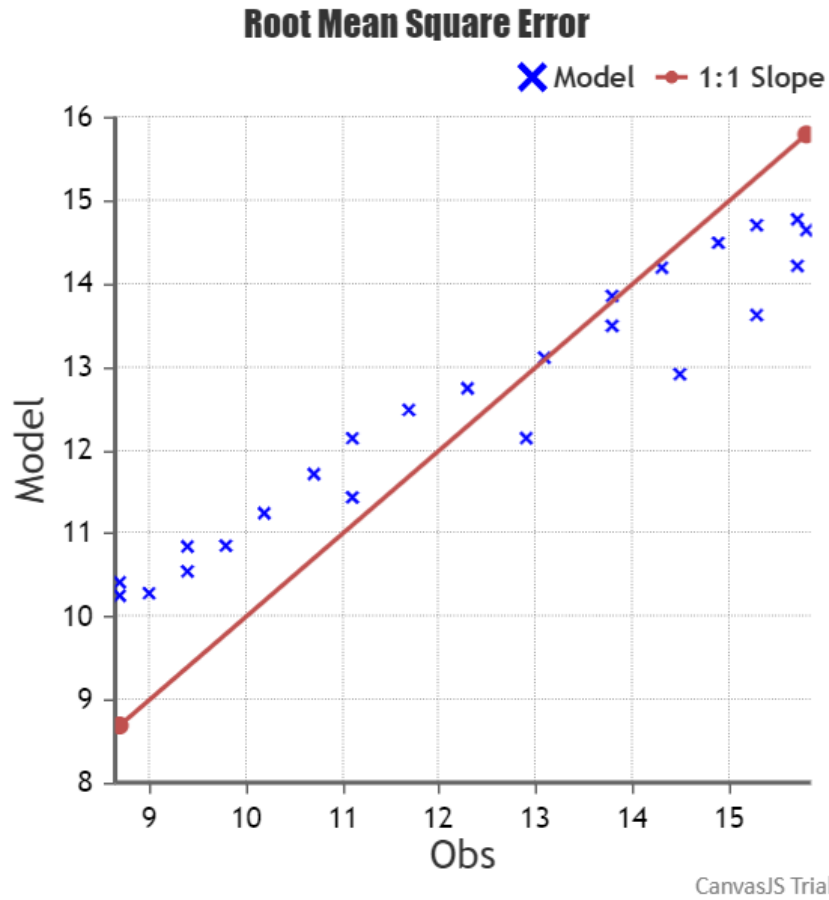
**Tabla 42**

*Datos observados o OBS y datos obtenidos de la simulación o SIM.*

OBS	SIM
11.7	12.49
11.1	12.15
10.7	11.72
10.2	11.25
9.8	10.86
9.4	10.55
9.0	10.29
8.7	10.26
8.7	10.42
9.4	10.85
11.1	11.44
12.9	12.15
14.5	12.92
15.3	13.63
15.7	14.22
15.8	14.65
15.7	14.78
15.3	14.71
14.9	14.50
14.3	14.20

13.8	13.86
13.8	13.50
13.1	13.12
12.3	12.75

**Figura 47**  
 Grafica del error cuadrático medio o RMSE.

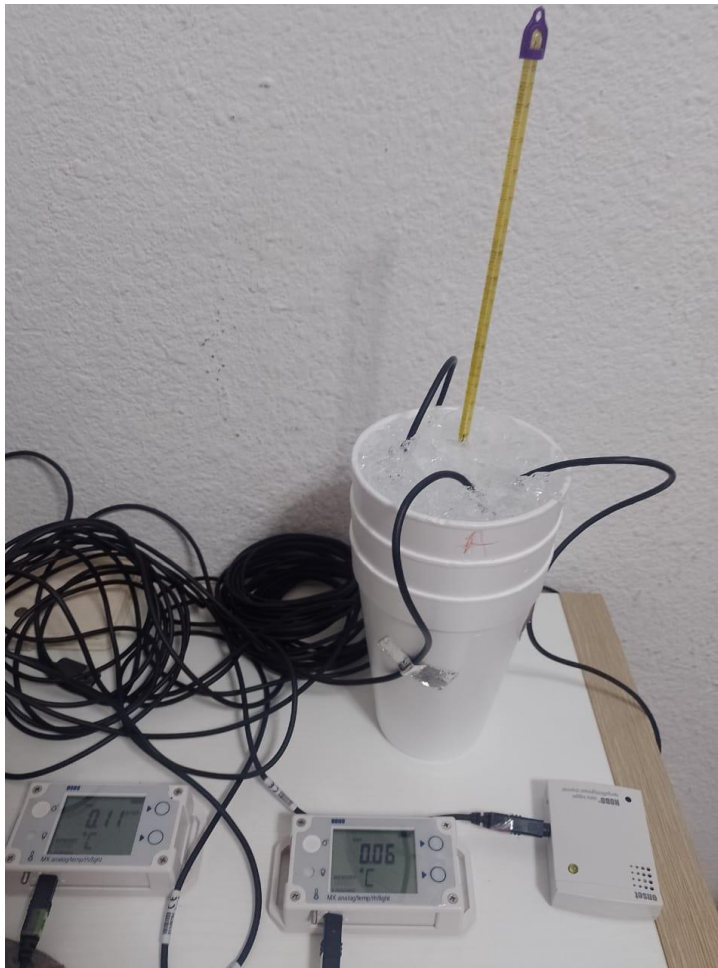


Nota. Imagen obtenida de AgriMetSoft (2019). Online Calculators. Available on: <https://agrimetsoft.com/calculators/Root%20Mean%20Square%20Error>

## Apéndice C

Este apéndice contiene el valor de la desviación estándar resultado de la calibración de los termopares utilizados en la medición de la superficie de la losa. La calibración se llevó a cabo con el uso de un termómetro, durante aproximadamente 30 minutos se recolectaron mediciones cada minuto del termómetro y de los tres termopares a través de los registradores de datos (Figura 49). El termopar A se utilizó para la medición de la superficie exterior de la losa de la vivienda muestra, el termopar D se utilizó para la medición de la superficie interior de la losa de la vivienda muestra y el termopar B se utilizó para la medición de la superficie interior de la vivienda testigo.

**Figura 48**  
*Calibración de termopares.*



Como se observa en la gráfica (Tabla 44) los termopares A y B obtuvieron un promedio diferente al marcado por el termómetro que se utilizó como referente. Por lo que a los resultados obtenidos con estos termopares les fue aplicada la corrección (Tabla 45).

**Tabla 43**

*Tabla de resultados de la desviación estándar de la calibración de termopares.*

HORA	TERMOMETRO	U12-012 TERMOPAR B CASA TESTIGO	DR MX1104 TERMOPAR D INT CASA MUESTRA	MX1104 TERMOPAR A EXT CASA MUESTRA
09:25 p. m.	0.06	-2.654	0.058	0.114
09:26 p. m.	0.06	-2.654	0.058	0.114
09:27 p. m.	0.06	-2.654	0.058	0.114
09:28 p. m.	0.06	-2.654	0.058	0.114
09:29 p. m.	0.06	-2.654	0.058	0.114
09:30 p. m.	0.05	-2.654	0.058	0.114
09:31 p. m.	0.05	-2.654	0.058	0.114
09:32 p. m.	0.05	-2.654	0.058	0.114
09:33 p. m.	0.05	-2.654	0.058	0.114
09:34 p. m.	0.05	-2.654	0.058	0.114
09:35 p. m.	0.06	-2.654	0.058	0.114
09:36 p. m.	0.06	-2.654	0.058	0.114
09:37 p. m.	0.06	-2.654	0.058	0.114
09:38 p. m.	0.06	-2.654	0.058	0.114
09:39 p. m.	0.06	-2.654	0.058	0.114
09:40 p. m.	0.07	-2.654	0.058	0.114
09:41 p. m.	0.07	-2.654	0.058	0.114
09:42 p. m.	0.07	-2.654	0.058	0.114
09:43 p. m.	0.07	-2.654	0.058	0.114
09:44 p. m.	0.07	-2.654	0.058	0.114
09:45 p. m.	0.07	-2.654	0.058	0.114
09:46 p. m.	0.07	-2.654	0.058	0.114
09:47 p. m.	0.07	-2.654	0.058	0.114
09:48 p. m.	0.07	-2.654	0.058	0.114
09:49 p. m.	0.07	-2.654	0.058	0.114
09:50 p. m.	0.07	-2.654	0.058	0.114
09:51 p. m.	0.07	-2.654	0.058	0.114
09:52 p. m.	0.07	-2.654	0.058	0.114
09:53 p. m.	0.07	-2.654	0.058	0.114
09:54 p. m.	0.07	-2.654	0.058	0.114
PROMEDIO	0.06	-2.65	0.06	0.11
DESVIACION ESTANDAR	0.007581	0.00000000000000225841	0.00000000000000002117	0.00000000000000004235

**Tabla 44**

*Tabla de corrección de los datos obtenidos en la medición in situ de los termopares A y B.*

VIVIENDA TESTIGO			VIVIENDA MUESTRA		
TEMPERATURA TERMOPAR B-LOSA INT SALA VT		CORRECCIÓN	TEMPERATURA TERMOPAR A - LOSA EXT SALA VM		CORRECCIÓN
HORA	°C	°C	HORA	°C	°C
01:00	8.1	10.7	01:00	8.7	8.6
02:00	7.3	10.0	02:00	8.1	8.0
03:00	6.6	9.3	03:00	7.5	7.4
04:00	6.0	8.6	04:00	7.0	6.9
05:00	5.4	8.0	05:00	6.3	6.2
06:00	4.8	7.5	06:00	5.9	5.8
07:00	4.3	7.0	07:00	5.5	5.4
08:00	4.4	7.0	08:00	5.8	5.7
09:00	4.9	7.5	09:00	7.8	7.7
10:00	6.5	9.2	10:00	10.6	10.5
11:00	9.2	11.8	11:00	13.3	13.2
12:00	12.0	14.7	12:00	15.8	15.7
13:00	14.7	17.3	13:00	18.1	18.0
14:00	16.9	19.6	14:00	19.5	19.4
15:00	18.4	21.0	15:00	20.0	19.9
16:00	18.8	21.4	16:00	19.3	19.2
17:00	18.0	20.7	17:00	17.3	17.2
18:00	16.5	19.2	18:00	15.7	15.6
19:00	15.0	17.6	19:00	14.3	14.2
20:00	13.6	16.2	20:00	13.0	12.9
21:00	12.3	14.9	21:00	11.9	11.8
22:00	11.1	13.8	22:00	11.0	10.9
23:00	10.1	12.7	23:00	10.2	10.1
00:00	9.1	11.8	00:00	9.5	9.4
MAXIMA	18.8	21.4	MAXIMA	20.0	19.9
PROMEDIO	10.6	13.2	PROMEDIO	11.8	11.6
MINIMA	4.3	7.0	MINIMA	5.5	5.4



**ARQUITECTURA  
URBANISMO Y DISEÑO**  
MAESTRÍA Y DOCTORADO  
*"Investigación de frontera en diseño"*

---

GABRIELA DE JESUS BACELIS DORANTES  
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA, FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y DISEÑO  
ENERO 2023