

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



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

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

## ***TÉCNICAS DE ADECUACIÓN AMBIENTAL PARA OPTIMIZAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN VIVIENDA DE CONSTRUCCIÓN EN SERIE EN UN CLIMA CÁLIDO SECO EXTREMOSO***

**T E S I S**

para obtener el grado de

**MAESTRA EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO**

Presenta

**KARMINA DAMARIS REYES BARAJAS**

Directora de Tesis

**DRA. RAMONA ALICIA ROMERO MORENO**

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

JUNIO DEL 2021



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



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

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

## **TÉCNICAS DE ADECUACIÓN AMBIENTAL PARA OPTIMIZAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN VIVIENDA DE CONSTRUCCIÓN EN SERIE EN UN CLIMA CÁLIDO SECO EXTREMOSO**

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

PRESENTA  
**KARMINA DAMARIS REYES BARAJAS**

Correo electrónico UABC: [karmina.reyes@uabc.edu.mx](mailto:karmina.reyes@uabc.edu.mx)  
Correo personal: [karmina\\_r25@hotmail.com](mailto:karmina_r25@hotmail.com)  
Identificador ORCID: 0000-0003-2255-8139

Director de tesis: Dra. Ramona Alicia Romero Moreno  
Identificador ORCID: 0000-0002-5853-02-29

Comité tutorial:

Dr. Gonzalo Bojórquez Morales  
Identificador ORCID: 0000-001-9303-9278

Dr. Alejandro Adolfo Lambert Arista  
Identificador ORCID: 0000-0002-9241-6374

Código QR vinculado al repositorio virtual del MyDAUD

Mexicali B.C, junio de 2021

## **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.

Mexicali, Baja California a 26 de mayo de 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Karmina Damaris Reyes Barajas', written in a cursive style.

**KARMINA DAMARIS REYES BARAJAS**

---

Nombre y firma del estudiante

## AVAL DE TERMINACIÓN DE TESIS

Fecha: 28 de mayo de 2021

DR. ALEJANDRO JOSÉ PEIMBERT DUARTE  
Director de la Facultad de 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 director de tesis en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento de Arquitectura y Medio Ambiente de la Facultad de Arquitectura y Diseño Se emite la presente acta que avala que la estudiante:

### **KARMINA DAMARIS REYES BARAJAS**

ha concluido su tesis de grado titulada:

#### **TÉCNICAS DE ADECUACIÓN AMBIENTAL PARA OPTIMIZAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN VIVIENDA DE CONSTRUCCIÓN EN SERIE EN UN CLIMA CÁLIDO SECO EXTREMOSO**

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.

**DRA. RAMONA ALICIA ROMERO MORENO**

DIRECTORA DE TESIS

FIRMA

*A mi madre Nélica, por su ejemplo de perseverancia, dedicación y entrega al trabajo,  
por el apoyo y amor incondicional.*

*A mi hermana Athziry y mi abuelita María del Carmen, por la paciencia, el  
amor y apoyo incondicional en todo momento.*

*Mis tíos, Elia y Jorge, por el apoyo en cada proyecto.*

## AGRADECIMIENTOS

Al cuerpo académico de la **Universidad Autónoma de Baja California**, a mi directora de tesis la **Dra. Ramona Alicia Romero Moreno**, por compartir sus amplios conocimientos, su amabilidad, sinceridad y siempre disposición y entrega para lograr el presente trabajo. Al resto de mi comité tutorial, el **Dr. Gonzalo Bojórquez Morales**, por su amabilidad, apoyo y disposición, al **Dr. Alejandro Adolfo Lambert Arista** y la **Dra. María Cristina Cabello Matud** por los valiosos comentarios y aportes al trabajo. A los docentes: la **Dra. Adriana Margarita Arias Vallejo**, **Dr. Osvaldo Leyva Camacho**, **Dr. Aníbal Luna León**, **Dr. Daniel Antonio Olvera García** por el conocimiento y apoyo durante el curso, y especialmente a la **Dra. Cristina Sotelo Salas**, por su constante apoyo y motivación, los comentarios y observaciones en cada trabajo, el conocimiento compartido, su disposición, tiempo y amistad.

Gracias a mis compañeros: **Aarón, Alejandra, Alicia, Helia, Óscar** y **Sofía**, por el apoyo, aprendizaje y experiencias durante el proceso. A **Kattia**, por el tiempo y conocimiento compartido, por la invaluable compañía, el apoyo, las palabras de aliento...“¡Gracias totales!”. Agradezco profundamente a mis amigos: **Carolina Pérez, Carolina Vázquez, Daniel Araiza, Daniel Castro, Gibran, Khalil** y su esposa **Alejandra**, y a **Gyssel** y su esposo el **Ing. César Ayala** e hijo **Axel**, por el apoyo incondicional, el tiempo, la risas y también, por comprender ausencias ¡mil gracias, chicos! A **Eglys, Fabiola, Frida, Germán, Marisol** y **Min Ji** porque pese a la distancia he contado con su apoyo y amistad.

Por último, gracias al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)** por el apoyo económico brindado para realizar los estudios y por impulsar y seguir fomentando la investigación científica.

## RESUMEN

### “TÉCNICAS DE ADECUACIÓN AMBIENTAL PARA OPTIMIZAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN VIVIENDA DE CONSTRUCCIÓN EN SERIE EN UN CLIMA CÁLIDO SECO EXTREMOSO”

El sector residencial es responsable del 22% del consumo total de energía y el 17% de emisiones de carbono en el mundo. Por tanto, las viviendas requieren medidas que reduzcan estas cifras sin afectar las condiciones de vida de sus habitantes. En México, los sistemas constructivos más utilizados son energéticamente ineficientes, y afectan negativamente las condiciones de confort térmico y consumo energético. El objetivo de la investigación fue evaluar las técnicas de adecuación ambiental aplicables a la vivienda con base en criterios de optimización energética, térmica y económica, en una zona de clima cálido seco extremo, en particular con el uso de aislamiento térmico y la fachada ventilada opaca en muros. Se tomó un modelo de vivienda construida en serie. Se realizaron simulaciones térmico-dinámicas con el programa Design Builder®, para evaluar el caso base sin técnicas y posteriormente con mejoras en los sistemas constructivos, adicionalmente, se utilizaron los criterios de valor presente neto y costo-beneficio. Los resultados mostraron diferencias en la temperatura operativa interior, demanda energética y costos monetarios; como un incremento de horas en confort térmico (305 horas, 13.6%), ahorro energético en ganancias térmicas de 4,000 kWh (46%) y ahorro económico de \$ 60,000 pesos mexicanos (25%).

**Palabras clave:** Técnicas de adecuación ambiental, Envolvente energéticamente eficiente, Vivienda de construcción en serie, Clima cálido seco extremo y Costo-beneficio.

## ABSTRACT

### “ENVIRONMENTAL ADAPTATION TECHNIQUES FOR ENERGY EFFICIENCY OPTIMIZATION IN MASS BUILT HOUSING IN HOT ARID CLIMATE”

The residential sector is responsible for 22% of total global energy consumption and 17% of carbon emissions. Therefore, housing requires measures which reduce energy consumption and carbon emissions without affecting the living conditions of its inhabitants. In Mexico, the most widely used construction systems are energy inefficient, since they negatively affect thermal comfort conditions and energy consumption. The objective of the research was to evaluate the environmental adaptation techniques applicable to housing based on energy, thermal and economic optimization criteria, in an area of hot arid climate, particularly with the use of thermal insulation and opaque ventilated façades. A model of a mass-built house was used. Building energy simulation was carried out with the Design Builder® program, the benchmark case was evaluated without adaptation techniques, and subsequently with the proposed improvements to the building envelope. Net present value and benefit cost analysis were carried out. Results showed differences in indoor operating temperature, energy demand and costs; such as an increase in thermal comfort hours (305 hours, 13.6%), energy savings in thermal gains of 4,000 kWh (46%) and economic savings \$ 60,000 Mexican currency (25%).

**Keywords:** Environmental adaptation techniques, Energy efficient housing, Mass built housing, hot arid climate, Cost-benefit analysis.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1a. Proyecto Magic Box .....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 1b. Perspectiva Magic Box .....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 2a. Proyecto Casa SML .....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 2b. Configuración Casa SML .....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 3. Proyecto CASA .....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 4. Proyecto Casa Uruguay.....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 5a. Proyecto Azalea.....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 5b. Interior proyecto Azalea .....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 6a. Carta psicrométrica de la ciudad de Mexicali.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 6b. Técnicas de adecuación ambiental para la ciudad de Mexicali.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 7. Aislamiento térmico en muro.....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 8. Fachada ventilada opaca con cámara de aire .....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 9. Esquema del diseño de investigación .....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 10. Fraccionamientos de viviendas de construcción en serie, Mexicali, Baja California .....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 11a. Caso Base: Planta arquitectónica y fachada principal.....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 11b. Sistema constructivo del CB.....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 12a. Representación de técnicas A y B en los casos de estudio .....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 12b. Representación de técnica C en los casos de estudio .....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 13. Representación de la técnica B en programa Design Builder ®.....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 14a. Desempeño energético de los casos de estudio; Ganancias de calor.....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 14b. Desempeño energético de los casos de estudio; Energía a retirar .....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 15. Desempeño de confort térmico en casos de estudio .....</b>	<b>82</b>

<b>Figura 16. Ahorros de consumo energético respecto al CB.....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 17a. Ahorros del valor presente neto respecto al CB.....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 17b. Costos totales de los casos de estudio respecto al CB .....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 18. Porcentaje de costo - beneficio de los casos de estudio .....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 19. Comparativa de variables analizadas en los casos de estudio .....</b>	<b>91</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1. Estrategias bioclimáticas de control .....</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 2. Aislamiento térmico en la envolvente de la vivienda, según el Código de Energía de California.....</b>	<b>39</b>
<b>Tabla 3. Áreas de la envolvente del prototipo de vivienda .....</b>	<b>57</b>
<b>Tabla 4. Casos de estudio.....</b>	<b>60</b>
<b>Tabla 5a. Coeficiente global de transferencia de calor (valor U).....</b>	<b>65</b>
<b>Tabla 5b. Propiedades termofísicas de los sistemas constructivos .....</b>	<b>65</b>
<b>Tabla 5c. Consideraciones del simulador .....</b>	<b>66</b>
<b>Tabla 5d. Modelo de Confort PMV .....</b>	<b>67</b>
<b>Tabla 6a. Consideraciones de la evaluación económica (VPN).....</b>	<b>70</b>
<b>Tabla 6b. Beneficio/costo: Valores de los casos de estudio .....</b>	<b>70</b>
<b>Tabla 7a. Ganancias de calor, técnica A .....</b>	<b>75</b>
<b>Tabla 7b. Energía a retirar, técnica A.....</b>	<b>75</b>
<b>Tabla 7c. Ganancias de calor y energía a retirar, técnica B.....</b>	<b>76</b>
<b>Tabla 7d. Ganancias de calor y energía a retirar, técnica C .....</b>	<b>76</b>
<b>Tabla 8a. Condiciones de confort térmico en el CB.....</b>	<b>80</b>
<b>Tabla 8b. Confort térmico en técnica A .....</b>	<b>80</b>
<b>Tabla 8c. Confort térmico en técnica B.....</b>	<b>81</b>
<b>Tabla 8d. Confort térmico en técnica C .....</b>	<b>81</b>
<b>Tabla 9. Costo - beneficio de los casos de estudio.....</b>	<b>88</b>

## LISTA DE ENLACE DE FIGURAS

**Figura 2a. Proyecto Casa SML.** <https://www.archdaily.mx/mx/02-47794/solar-decathlon-europe-casa-sml-ceu-uch-team-valencia>

**Figura 2b. Configuración Casa SML.** <https://www.archdaily.mx/mx/02-47794/solar-decathlon-europe-casa-sml-ceu-uch-team-valencia>.

**Figura 3. Proyecto CASA.**

[https://www.comunicacionfi.unam.mx/mostrar\\_notas.php?id\\_noticia=347](https://www.comunicacionfi.unam.mx/mostrar_notas.php?id_noticia=347).

**Figura 4. Proyecto Casa Uruguay.** , <https://marcapaisuruguay.gub.uy/la-casa-uruguay-ganadora-de-solar-decathlon-2015/>.

**Figura 5a. Proyecto Azalea.** <https://disenarparalavida.com/azalea-la-barraca-mas-eficiente/>.

**Figura 5b. Interior Proyecto Azalea.** <https://disenarparalavida.com/azalea-la-barraca-mas-eficiente/>.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>i</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>ii</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>iv</b>
<b>LISTA DE ENLACE DE FIGURAS</b> .....	<b>v</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1. ANTECEDENTES</b> .....	<b>4</b>
<b>1.1. Antecedentes causales</b> .....	<b>4</b>
<b>1.2. Estado del Arte</b> .....	<b>9</b>
<b>1.3. Casos análogos</b> .....	<b>15</b>
<b>2. ASPECTOS PRELIMINARES</b> .....	<b>24</b>
<b>2.1 Planteamiento del problema</b> .....	<b>24</b>
<b>2.2 Preguntas de investigación</b> .....	<b>25</b>
<b>2.3 Justificación</b> .....	<b>26</b>
<b>2.4 Objetivos general y específicos</b> .....	<b>27</b>
<b>2.5 Metas</b> .....	<b>27</b>
<b>2.6 Alcances y limitaciones</b> .....	<b>28</b>
<b>2.7 Hipótesis</b> .....	<b>29</b>
<b>3. FUNDAMENTOS</b> .....	<b>30</b>
<b>3.1 Diseño bioclimático</b> .....	<b>30</b>
<b>3.1.1 Diagnóstico bioclimático</b> .....	<b>32</b>
<b>3.1.2 Técnicas para minimizar el flujo de calor conductivo</b> .....	<b>34</b>
<b>3.1.3 Técnicas de adecuación ambiental</b> .....	<b>37</b>

<b>3.2 Eficiencia energética</b> .....	<b>41</b>
<b>3.2.1 Normativa de eficiencia energética en la envolvente</b> .....	<b>42</b>
<b>3.2.2 Confort térmico</b> .....	<b>46</b>
<b>3.3 Métodos de evaluación</b> .....	<b>47</b>
<b>3.3.1 Evaluación térmico-energética</b> .....	<b>47</b>
<b>3.3.2 Evaluación económica</b> .....	<b>49</b>
<b>Valor presente neto</b> .....	<b>49</b>
<b>Costo-Beneficio</b> .....	<b>50</b>
<b>4. MÉTODO</b> .....	<b>51</b>
<b>4.1 Diseño de Investigación</b> .....	<b>51</b>
<b>4.2. Casos de estudio</b> .....	<b>53</b>
<b>4.2.1. Caso Base</b> .....	<b>55</b>
<b>4.2.2. Criterios de selección de técnicas de adecuación ambiental en caso base</b> .....	<b>58</b>
<b>4.2.3. Casos de estudio: Caso Base modificado con técnicas de adecuación ambiental</b> .....	<b>59</b>
<b>4.3 Condiciones de la evaluación</b> .....	<b>62</b>
<b>4.3.1 Condiciones de la simulación térmico – energética</b> .....	<b>62</b>
<b>4.3.2 Condiciones de la evaluación económica</b> .....	<b>68</b>
<b>4.4 Procesamiento de datos</b> .....	<b>71</b>
<b>4.4.1 Procesamiento de datos térmico – energético</b> .....	<b>71</b>
<b>4.4.2 Factibilidad económica</b> .....	<b>72</b>
<b>5. RESULTADOS</b> .....	<b>73</b>
<b>5.1 Resultados térmico-energéticos</b> .....	<b>73</b>
<b>5.1.1 Consumo energético: ganancia de calor y energía a retirar</b> .....	<b>73</b>
<b>5.1.2 Confort térmico: PMV</b> .....	<b>79</b>

<b>5.2 Evaluación económica</b> .....	<b>83</b>
<b>5.2.2 Valor presente neto (VPN)</b> .....	<b>85</b>
<b>5.2.3 Costo – beneficio</b> .....	<b>88</b>
<b>5.3 Interrelación de resultados</b> .....	<b>89</b>
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>92</b>
<b>6.1 Conclusiones</b> .....	<b>92</b>
<b>6.2 Recomendaciones</b> .....	<b>96</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>99</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>103</b>
<b>Anexo 1. Tabla de casos de estudio Estado del Arte.</b> .....	<b>103</b>
<b>Anexo 2. Tabla de normativas y códigos de conservación de energía y confort térmico.</b> .....	<b>107</b>
<b>Anexo 3. Valores para el cálculo de flujo de calor a través de la envolvente.</b> .....	<b>112</b>
<b>Anexo 4. Informe de plagio</b> .....	<b>113</b>



## INTRODUCCIÓN

A nivel global, los edificios y el sector de construcción son responsables del 36% del uso final de energía global y el 39% de las emisiones de carbono (International Energy Agency & UN Environment Programme, 2019), por lo que la edificación se vuelve un sector que requiere contar con medidas que permitan en lo posible disminuir los consumos energéticos, sin sacrificar la calidad de vida de sus ocupantes.

Los porcentajes registrados se deben a diversos factores, tales como la región climática, las necesidades de los usuarios, es decir, el tipo de iluminación requerida, los sistemas de climatización (enfriamiento y/o calefacción) empleados para obtener un ambiente confortable al interior de la vivienda, la eficiencia de los equipos electrodomésticos y los sistemas constructivos empleados en la envolvente. De este último, un elemento de suma influencia para que se den estas cifras es el aislamiento térmico, pues el Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2018) menciona que solo el 22.5% de las viviendas en clima cálido extremo cuenta con aislamiento en muros, mientras que el 89.6% cuentan en techos, lo que influye en la alza de la demanda energética, esto ocurre especialmente en regiones del país con el tipo de clima mencionado anteriormente.

Así pues, para lograr combatir esta problemática es necesaria la aplicación de las estrategias de adecuación bioclimática. En el caso de climas cálidos secos extremos o cálidos secos, la ideal es la de *minimizar el flujo de calor conductivo*, dentro de esta estrategia existen técnicas como el aislamiento y la cámara de aire, dichas técnicas resultan eficientes debido a que pueden ser aplicadas en cualquier parte de la envolvente, es decir, en cubiertas, suelos y/o muros. Además, según La Roche (2017), si existe una diferencia significativa de temperatura de bulbo seco entre el exterior e interior de la vivienda y el objetivo es disminuir



los altos consumos energéticos y lograr mejores condiciones habitabilidad térmica, estas dos técnicas resultan efectivas.

Autores como Barbosa e Ip (2016); Sotelo-Salas, Esparza-López, y Escobar-Del Pozo (2019), muestran que la técnica de fachadas ventiladas o dobles fachadas, en clima cálido seco tienen un impacto térmico al interior de la vivienda, debido a las pérdidas por convección que se produce en la cámara de aire a través del muro de la vivienda y el muro de la doble fachada, y que a su vez, mejoran la calidad de aire interior, lo cual genera un ambiente térmico confortable para los habitantes (Barbosa e Ip, 2014), lo que se traduce en una reducción en la demanda de energía por enfriamiento. La profundidad de dicha cavidad puede variar según el diseño y, sobre todo, del impacto térmico y energético que se quiera obtener. Sin embargo, estos autores analizaron únicamente el efecto de dicha técnica sin considerar el sistema constructivo del muro doble.

Por consiguiente, se optó por realizar investigación para determinar la estrategia y las técnicas bioclimáticas para mejorar la eficiencia energética y confort térmico en las viviendas de lugares que cuenten con un clima cálido seco extremo, específicamente el caso de la ciudad de Mexicali, esto con la finalidad de que sirvan como recomendaciones de diseño. Esto se logrará mediante el análisis y las evaluaciones térmicas que ofrece el programa Design Builder®, además, una evaluación económica de la aplicación de dichas técnicas en la vivienda, para obtener como producto final uno o varios casos de estudio térmico-energético-económico que sean óptimos para el usuario.

Para ello, a continuación, se presenta en el capítulo uno los *Antecedentes* de la investigación, el cual comprende los *Antecedentes causales*, el *Estado del Arte* y los *Casos Análogos*. En el capítulo dos se desarrollaron los *Aspectos preliminares*, tales como el planteamiento del problema, la justificación, los objetivos, metas, alcances, limitaciones e



**FAD**  
Facultad de  
Arquitectura  
y Diseño



**FCITEC**  
Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología  
Universidad de San Carlos

**MYDAUD**  
MAESTRIA Y DOCTORADO  
EN ARQUITECTURA,  
URBANISMO Y DISEÑO

hipótesis. El capítulo tres muestra los *Fundamentos*, donde se visualiza toda aquella información que sustente el trabajo, como el *Diseño Bioclimático*, en donde se presenta el *Diagnóstico Bioclimático*, las *Técnicas para Minimizar el Flujo de Calor Conductivo* y las *Técnicas de Adecuación Ambiental* analizadas en el presente trabajo (*Resistencia térmica y Fachada ventilada opaca con cámara de aire*); en otro apartado del mismo capítulo se aborda la *Eficiencia Energética*, con las normativas existentes para cumplir con ella y las del confort térmico y, por último, los *Métodos de Evaluación* para la simulación térmico – energética y para la económica. Posteriormente, en el capítulo cuatro se presenta el *Método*, allí se explica la evaluación térmica, energética y económica que se empleó en el trabajo de investigación para los casos de estudio. Mientras que el capítulo cinco corresponde a los *Resultados*, se muestra lo obtenido en cada uno de los análisis. En el capítulo seis se muestran las *Conclusiones*, y en el siguiente las *Recomendaciones*, en seguida las *Referencias* utilizadas en la investigación y, para concluir, se encuentran los *Anexos*.



## 1. ANTECEDENTES

El objetivo del capítulo de *Antecedentes* es presentar los motivos, ya sean sucesos históricos, autores o proyectos por los cuales se llevó a cabo la investigación sobre ese tema en específico, primero desde lo que dice el autor y luego desde el punto de vista o postura propia (Schmelkes, 1998). En este capítulo se muestran los antecedentes causales, el Estado del Arte y ejemplos de algunos casos análogos.

### 1.1. Antecedentes causales

En el 2015 la Organización de Naciones Unidas (ONU) aprobó la Agenda 2030, en donde presentó los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, esto con el propósito de los países y sus sociedades emprendan un nuevo camino con el que mejorar la vida de todos, sin dejar a nadie atrás.

Esta investigación se enfocó en atender el Objetivo 7 el de *garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos*, y el Objetivo 11 de *ciudades y comunidades sostenibles*. El primero, tiene como meta para el 2030, garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos para todos; además, pretende aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas y duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética; mientras que el segundo, se enfoca en la calidad del aire y suelo.

Para mejorar la tasa de eficiencia energética en la edificación existen normativas, códigos y/o estándares que promueven la conservación de energía. En el ámbito internacional, está el estándar "Passivhaus" en Alemania (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2011), el Código Técnico de Edificación en España (Ministerio de vivienda, 2006), el "California Energy Code" (<https://up.codes/viewer/california/ca-energy-code-2019>), el



“Green Building Standards Code” (<https://www.hcd.ca.gov/building-standards/calgreen/docs/hcdshl615c.pdf>) y el estándar “Leadership in Energy and Environmental Design [LEED]” en Estados Unidos, entre otros.

Esta última considera que para lograr un cambio energético en la vivienda y/o edificaciones, se debe mejorar la eficiencia energética en toda la edificación, a través de un mejor rendimiento energético, es decir, en reducir la infiltración de aire, la incorporación de aislamientos, sistemas de distribución de refrigeración y calefacción, correcta elección de ventanas así como de electrodomésticos, de la iluminación y aplicación del uso de energías renovables (Guillén et. al., 2015).

En México también existen normativas y códigos, como el Código de Conservación de Energía en la Vivienda (CEV) y Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energética en edificios residenciales (NOM-020-ENER-2011) y no residenciales (NOM-008-ENER-2001).

Tal es el caso del CEV, el cual creó por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), allí se especifica que toda vivienda deberá contar con aislamiento térmico, esto de acuerdo a la zona bioclimática del sitio, que en el caso de Mexicali corresponde a la zona de Muy seco. Respecto a la envolvente del edificio, en el código se establecen los valores de transmitancia térmica (valor U) y el valor R que debe cumplir cada uno de los componentes del sistema constructivo en la vivienda, es decir, cubierta, muros y suelo.

Además, así como en la LEED, el CEV en la parte seis que lleva por nombre Sustentabilidad, propone estrategias para la eficiencia energética. Allí se menciona que el uso eficiente de energía en la vivienda es representado por la correcta elección de equipos electrodomésticos y de sistemas de climatización. Para los sistemas de aire acondicionado se seleccionarán los de alta eficiencia, las características con las que debe cumplir el sistema



están establecidas en las Normas Oficiales Mexicanas de eficiencia energética, tales como las NOM-011-ENER-2006, NOM-026-ENER-2015 y NOM-021-ENER/SCFI-2008.

Por otra parte, y conforme a lo establecido por los ODS, especialmente los objetivos antes mencionados, sobre proveer acceso a todos los habitantes de las ciudades y comunidades de energía asequible, segura, moderna y sostenible, es fundamental incluir la arquitectura bioclimática para lograr cumplir con las metas estipuladas, pues este estilo promueve la incorporación del medio ambiente con la Arquitectura, sin alterar las condiciones naturales del sitio, es decir, busca integrar de manera armónica la vegetación y el clima de la ciudad con el diseño arquitectónico.

Debido a estas medidas establecidas por la ONU, y lo estipulado en las normativas es que se han realizado investigaciones más específicas para comprobar el aumento de eficiencia energética, principalmente en las viviendas, pues la mayoría de éstas no cuenta con la calidad térmica mínima permisible, así mismo lo mencionó Mercado et al. (2010), en su investigación, en donde analizó la vivienda con mediciones in-situ, para el caso base, y con la aplicación de diferentes técnicas, mediante un programa de simulación. También realizaron una evaluación energética de acuerdo a un balance térmico, simulando técnicas ambientales como las mencionadas anteriormente, además del uso de cortinas exteriores e interiores, pérgolas verdes diseñadas para permitir captación solar en invierno. Con esas evaluaciones obtuvieron que es posible contar con condiciones de confort térmico al interior de la vivienda, pues registraron hasta un 35.6% en ahorro de energía.

Otro caso del estudio fue realizado por Marincic et al. (2011), la cual se basó en evaluar las condiciones térmicas y energéticas de las viviendas recién construidas. Para el estudio tomaron una muestra de 25 viviendas de las cuales analizaron la orientación apropiada para sombreado y ventilación, el nivel de infiltración, color de la envolvente, alturas



interiores, si existía algún sistema pasivo o de ahorro de energía adicional. Con esto llegaron a la conclusión de que el 100% de las viviendas cuenta con un color en el techo adecuado, el 50% de los casos analizados tienen alturas interiores suficientes, una orientación favorable para la correcta ventilación y el color en los muros es favorable, mientras que la orientación adecuada para disminuir la captación solar, la vegetación y número de niveles resulta insuficiente. Es decir, que solo la mitad de las viviendas cuentan con una orientación apropiada para contribuir al ahorro de energía y obtener mejores condiciones de habitabilidad térmica.

Asimismo, Calderón et al. (2011), llevó a cabo una investigación para reducir el consumo eléctrico y CO<sub>2</sub> en las viviendas en climas áridos aplicaron sistemas de ahorro y aislamiento térmico, ellos se basaron en normativas y programas de vivienda como el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica [FIDE] (2004), Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda [CONAFOVI] y Comisión Nacional para el Ahorro de Energía [CONAE] (2006). Allí consideraron variables climáticas, el consumo eléctrico para aplicarlos en las simulaciones de las dos viviendas seleccionadas, a su vez realizaron un análisis de costo beneficio, con estas evaluaciones se comprobó que, si la vivienda cuenta con un buen aislamiento, de aproximadamente 3.5 pulgadas, el consumo eléctrico puede reducir el 49.34%, mientras que de CO<sub>2</sub> 1.06 toneladas por vivienda.

Mientras que en la investigación realizada por Zaragoza-Fernández et al. (2014) también evaluaron casos de estudio de viviendas ya existentes (cuatro viviendas), en base a lo estipulado en las normativas españolas; dos de ellas construidas bajo normativas antiguas y las otras dos con la normativa vigente. Con base a los resultados, los autores determinaron que los casos construidos bajo la normativa antigua son menos herméticos pero cuentan con una calidad de aire buena, mientras que los construidos con la normativa vigente son más



herméticos, sin embargo, no cuentan con una calidad de aire apropiada, y en ninguno de los dos casos consiguen estar en confort térmico, por lo que proponen la implementación de aislamiento térmico en las áreas acristaladas de la vivienda, ya que resultó la técnica más eficaz para la rehabilitación de la eficiencia energética, pues obtuvieron un ahorro anual aproximado de 1302.4 kW.

Por otra parte, Wegertseder et al. (2014) proponen en su investigación la incorporación del sistema de edificación pasiva al diseño arquitectónico, con el fin de crear un diseño altamente eficiente, capaz de ahorrar hasta el 80% de energía. Para el caso de estudio se tomó como prototipo la vivienda social, el sistema constructivo utilizado en este tipo de viviendas es de baja eficiencia térmica. Para el análisis se realizaron simulaciones con el programa Design Builder, basados en los estándares establecidos en el Passivhaus en Chile, en donde se considera que la envolvente térmica de la vivienda es prioridad para limitar la demanda energética. Los resultados obtenidos fueron favorables, pues se obtuvo, con la vivienda mejorada, una reducción de 82% en la demanda de energía en comparación con la vivienda actual.

Por último, un caso de estudio llevado a cabo en la ciudad de Mexicali, fue realizado por Gutiérrez et al. (2014), la investigación fue sobre técnicas que se pueden aplicar en el diseño para crear un confort térmico al interior de la vivienda y del impacto energético y térmico de las técnicas bioclimáticas en las viviendas de bajos ingresos para lugares con un clima cálido seco. Ellas obtuvieron resultados a través de diagnósticos bioclimáticos y propuestas de diseño arquitectónico con técnicas pasivas de enfriamiento en las que identificaron las estrategias de mayor impacto en la vivienda, realizaron evaluaciones con programas de simulación térmica y otros de interpretación de datos, la comprobación de las



estrategias, dicho diagnóstico se basó en los métodos y propuestas planteadas por Dorcherty y Szokolay en 1999.

Finalmente, y tras la información previamente mostrada, el propósito de la presente investigación es obtener la estrategia, las técnicas específicas y costo – beneficio, para el usuario, que puedan aplicarse en la vivienda de construcción en serie, todo esto basado en los reglamentos, códigos y normativas establecidas para la ciudad, la región y zona de estudio.

## 1.2. Estado del Arte

El propósito del diseño bioclimático en las edificaciones es el de proporcionar a los usuarios mejores condiciones de habitabilidad térmica en las mismas, esto sin comprometer al medio ambiente que lo rodea. Por lo que, se puede observar que en climas cálidos secos extremos, como Mexicali, en la mayoría de los casos no se cumplen; además, para tratar de obtener un ambiente confortable es necesario e indispensable el uso de sistemas de enfriamiento, los cuales generan un costo energético elevado, por ello se analizaron casos de estudio en los que se hace uso de técnicas de adecuación bioclimática que mejoran notablemente la demanda de consumo energético y el confort térmico al interior de la vivienda (Comisión Nacional de Vivienda [CONAVI], 2013).

Una de las características principales fue evaluar la configuración arquitectónica de la vivienda, tal y como lo hicieron Suárez y Fragoso (2016), en donde analizaron la normativa de la vivienda social existente con un modelo base, del cual se implementaron distintas estrategias pasivas como la compacidad, materialidad de la envolvente, control solar, acumulación solar y ventilación, con la finalidad de reducir la demanda de energía, las emisiones de CO<sub>2</sub> y promover condiciones de confort térmico al interior de la misma. Esas estrategias las evaluaron mediante un programa de simulación para un clima mediterráneo.



Con los resultados los autores determinaron que, con las consideraciones del diseño bioclimático como el aumento de espesor en el aislamiento, el uso de vidrios con baja emisividad y una adecuada protección solar en la vivienda, se logra reducir la demanda de calefacción de 3-6 kWh/m<sup>2</sup> y la de refrigeración entre 5-6 kWh/m<sup>2</sup>, además, estas tres mejoras en la envolvente se pueden implementar tanto para futuras edificaciones como para las existentes.

Otro caso de estudio en donde evalúan principalmente la configuración de la vivienda es la llevada a cabo por Friess y Rakhshan (2017). Ellos muestran que a través de un diseño bioclimático bien aplicado existe un beneficio energético en las edificaciones. El estudio fue de carácter cualitativo, ya que las cifras presentadas las obtuvieron a través del análisis de artículos y libros, entre otros. A través de ese análisis mostraron que, en el caso residencial, con la correcta orientación del edificio, en caso que sea para viviendas nuevas, y aislamiento térmico se puede reducir el consumo energético a un 20%, y hasta de un 55% en la demanda de enfriamiento, al considerar la abertura apropiada para las ventanas; mientras que con el uso de la ventilación natural afirman que es posible reducir hasta un 30% de la energía por enfriamiento en ciudades con clima cálido. Por lo que, estas técnicas se podrían implementar en la ciudad de Mexicali.

Por otro lado, Farouh y Amer (2016) analizaron seis casos residenciales internacionales en clima cálido seco en los que se aplicaron técnicas de diseño bioclimático pasivas e híbridas para la reducción de costos de energía, así como para promover el uso eficiente de la misma. Mediante la evaluación, establecieron que el uso de estrategias tales como la orientación, el tamaño de apertura de las ventanas, el sombreado y el uso de aislamiento térmico pueden llegar a reducir hasta un 30% la demanda de energía. Sin embargo, para evitar la transferencia de calor en la envolvente de la vivienda y lograr reducir



las ganancias de calor, se debe considerar también la forma y tipología del edificio, el diseño de la envolvente, las técnicas de ventilación y enfriamiento, la selección adecuada de los materiales y la vegetación que tendrá la vivienda. Sin embargo, la mayoría de estas mejoras se tendrían que considerar, preferentemente, para las nuevas viviendas, a excepción del sombreado, el aislamiento térmico y la vegetación.

Asimismo, Oliveira Fernández et al. (2018) evaluaron tres estrategias pasivas del diseño bioclimático; el uso de la ventilación natural, el techo verde y el aprovechamiento de la iluminación natural, en un clima tropical. Dichas evaluaciones las realizaron a través del programa de simulación EnergyPlus, del cual obtuvieron que el uso de la técnica de ventilación natural fue la de mejor solución, pues aumentaba la eficiencia energética en la vivienda, con ahorros hasta del 17% en consumo de energía total.

Además de estas técnicas los autores afirman que el uso de fachadas ventiladas o dobles muros en la envolvente de la vivienda para ciudades con climas cálidos, como Mexicali, presentan diferencias favorables en el ahorro de energía y, a su vez, contribuye en la calidad térmica interior, así lo establece Rubiano Martín (2016), en su investigación. También dice que debido al uso de aparatos eléctricos el calor aumenta al interior de la vivienda, lo cual provoca el uso indispensable de sistemas de enfriamiento para mitigar la situación. Para el análisis tomó de referencia la norma ISO 7730, estándares británicos y europeos, y utilizó la fórmula para el cálculo aproximado de confort térmico, tomada de ANSI-ASHRAE 55. Como resultado estableció que para que la estrategia funcione de forma óptima, la capa exterior debe ser de un material rígido de buen aislamiento térmico, mientras que la interior puede ser materiales como el vidrio, el mármol y la cerámica. Asimismo, esta mejora se puede aplicar tanto en nuevas viviendas como en las existentes para promover la rehabilitación energética.



**FAD**  
Facultad de  
Arquitectura  
y Diseño



**FCITEC**  
Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología  
Universidad de San Juan de los Rios

**MYDAUD**  
MAESTRIA Y DOCTORADO  
EN ARQUITECTURA,  
URBANISMO Y DISEÑO

Por otra parte, Luciani-Mejia et al. (2018) también mostraron el efecto y beneficio, entre ellos la implementación en viviendas existentes, de la implementación de la técnica de adecuación bioclimática de fachada ventilada opaca con cámara de aire, además de la fachadas con dispositivos de sombreado y la masa térmica, en un clima tropical húmedo. Para llevar a cabo el análisis de estas técnicas se apoyaron en un programa de simulación. En los resultados obtuvieron tres casos ideales de confort térmico, en los que se consideraba desde el material del sistema constructivo, separación en la cámara de aire y hasta el acabado del material en el muro expuesto, con base a esto determinaron que la mejor opción fue la propuesta con cámara de aire, ya que conservó temperaturas internas cercanas a las mínimas del día durante el período de evaluación e incluso con un costo mínimo respecto a las otras técnicas.

Para esta técnica de diseño bioclimático existen dos alternativas de aplicación, mismas que fueron evaluadas en la investigación de Berli et al. (2018), en donde presentaron los beneficios térmicos y energéticos del uso de estas dobles fachadas. Evaluaron, mediante programas de simulación, el desempeño térmico de la técnica mencionada anteriormente, con las dos alternativas de la doble fachada con cámara de aire cerrada (juntas cerradas) y con cámara de aire conectada con el exterior, esto lo compararon con el caso base, el cual no contaba con la cámara de aire. En los resultados obtuvieron que la mejor opción, en el período cálido, es el caso de la cámara de aire con conexión al exterior, ya que esta no genera humedad. Mientras que en las condiciones de período frío la más conveniente resultó la de juntas cerradas, debido a que obtuvieron cifras más altas de ahorro de energía, con una reducción de energía térmica de hasta el 85%. Sin embargo, estos resultados fueron para condiciones climáticas diferentes a las de la ciudad de Mexicali.



Sin embargo, el estudio de Sotelo-Salas et al. (2019) fue evaluado en la ciudad de Mexicali. En su trabajo mostraron el efecto térmico de sistemas pasivos de enfriamiento que tienen la fachada ventilada opaca en el muro de la envolvente. Para esto tomaron de referencia un caso base en donde evaluaron la estrategia con sus diferentes configuraciones, es decir, con diferentes distancias entre el muro de la doble fachada y el muro de la envolvente del edificio, en otras palabras, con distintas dimensiones en la cámara de aire. Las evaluaciones las realizaron con un programa de simulación para dinámica de fluidos computacionales. Como resultados, obtuvieron que el mejor caso en la cámara de aire fue el evaluado con el espesor de 0.3 m, en donde llegaron a obtener diferencias de hasta los 18°C. Otro aspecto que determinaron fue, de las tres variables analizadas, la de mayor impacto térmico en la fachada ventilada, es la velocidad del viento, sin embargo, recomiendan que esta técnica se analice, de manera conjunta, elementos como la chimenea solar o un ventilador mecánico, con el fin de obtener mayores diferencias de temperatura operativa interior. Además de los beneficios térmicos, esta técnica tiene otra aportación de valor, pues resulta buena opción en la rehabilitación energética de las viviendas existentes.

Por otra parte, estas diferencias y efectos energéticos y térmicos que presentan la implementación de las estrategias y técnicas de adecuación bioclimática tienen distinto impacto y enfoque, esto depende de las condiciones ambientales en las que se analicen. Por lo tanto, la zona climática de la ciudad y el período de evaluación deben tenerse presente para su estudio.

Por otro lado, tras la afectación mundial en la calidad del ambiente es que se han incluido en las normativas la sección energética y la bioclimática para ser aplicadas en todo tipo de vivienda y con el fin de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por el sector residencial, a través de aplicación de estrategias bioclimáticas y de energías renovables, con el



fin de optimizar el uso eléctrico y, a su vez, obtener un beneficio económico. Por lo antes mencionado, en México se han establecido normativas y créditos dirigidos exclusivamente a la vivienda, tanto para su construcción total como para ampliación, en las que se debe basar el usuario para llevar a cabo dicha edificación.

Tal es el caso del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT), con su Programa de Hipoteca Verde (INFONAVIT, 2016) propone que además de obtener la vivienda, ésta cuente con la aplicación de tecnologías eficientes, mismas que permitan la disminución del consumo eléctrico, de gas y agua, para que esto se vea reflejado en el gasto de estos servicios, también propone que para disminuir el consumo energético se implementen luminarias tipo LED, es decir, ahorradoras y aislantes térmicos en techos.

Sin embargo, para lograr una propuesta como el crédito de Hipoteca Verde de INFONAVIT, tuvieron que basarse en una serie de normativas y códigos establecidos para la edificación de tipo habitacional, uno de ellos fue el CEV, elaborado por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE).

Este código describe algunos lineamientos, basados en la normativa nacional, para que la vivienda en México logre cumplir con un diseño sustentable y mejore las condiciones de vida de los usuarios. Algunas de estas recomendaciones son equipos electrodomésticos y sistemas de climatización que cumplan con la eficiencia energética, considerar el valor U del sistema constructivo utilizado en la envolvente de la vivienda que establecen para cada ciudad de la república mexicana (anexo 3), el uso de energías renovables, áreas verdes, iluminación natural, el tratamiento y ahorro de agua entre otros. En cuanto al diseño arquitectónico; la correcta aplicación de la ventilación en la vivienda a través de ventanas, así como el uso de



iluminación natural. Sin embargo, no se describen ni menciona ningún método que se puede aplicar para las estrategias bioclimáticas en el diseño.

Es el mismo caso para el reglamento de edificaciones para la ciudad de estudio, Mexicali; en éste no existe una sección específica para la construcción de las edificaciones sustentables, lo único con lo que cuenta es con una serie de requisitos para la implementación de iluminación y ventilación en la vivienda.

Finalmente, se puede apreciar que si bien existen normativas y códigos para la conservación de energía y confort térmico en la vivienda éstos no establecen específicamente cual o cuales estrategias y/o técnicas se pueden implementar para cumplir con lo que se estipula en dichos normas y códigos, por lo que la presente investigación pretende determinar dichas técnicas.

### **1.3. Casos análogos**

Los casos análogos son proyectos que tienen similitudes con otros, es decir, existe alguna relación de semejanza entre los trabajos. En esta investigación se presentarán casos de viviendas con la aplicación de técnicas bioclimáticas para disminuir el consumo energético y aumentar el confort térmico en la misma que formaron parte de las competencias de *Solar Decathlon*, estos no solo incluyen el tratamiento de la envolvente, sino integra el uso de fuentes renovables de energía y equipos electrodomésticos eficientes.

#### **Magic Box**

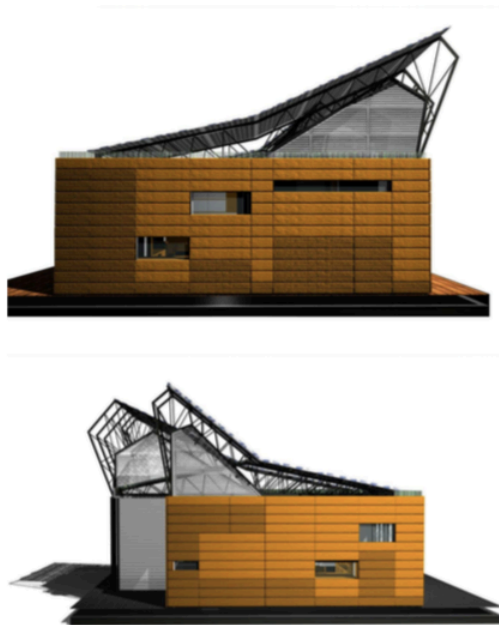
Magic Box es el proyecto ganador del *Solar Decathlon 2005*, fue propuesto por el equipo español de la *Universidad Politécnica de Madrid (UPM)*. Es una unidad habitacional de 70 m<sup>2</sup>, cuenta con patio y una cubierta verde, en el diseño se promueve la ventilación



natural cruzada con la posición de las ventanas y la forma de la cubierta (figura 1a), además, implementaron la técnica de fachada ventilada, la cual fue compuesta por placas de cerámica huecas, sin embargo, en la fachada sur colocaron pequeños invernaderos para la captación de calor (figura 1b). Asimismo, incluyeron un sistema de captador solar en la cubierta para cubrir la demanda de energía, poder producir agua caliente y contribuir con la calefacción cuando sea necesario. Todo esto permite que la vivienda esté en un ambiente confortable al interior, cuente con una adecuada iluminación natural, produzca su propia energía y por lo tanto el consumo energético sea nulo (Neila et al., 2005).

### **Figura 1a.**

*Proyecto Magic Box*

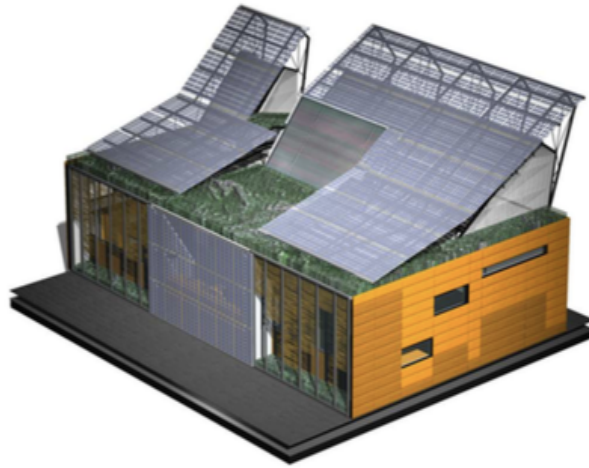


*Nota.* Alzados este y oeste de Magic Box. Tomado de *Proyecto Solar Decathlon* (p. 3), por Neila, J. y Bedoya C., 2005.



**Figura 1b.**

*Perspectiva Magic Box*



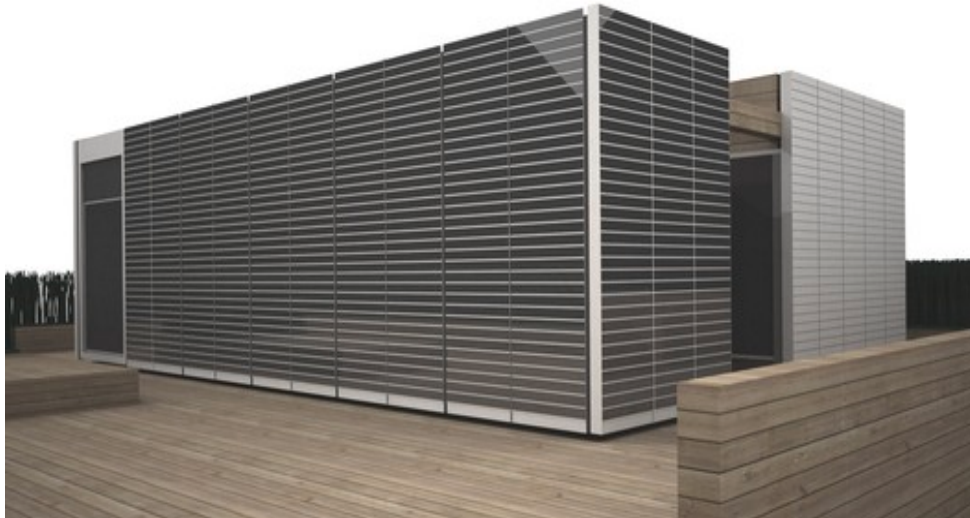
*Nota.* Perspectiva exterior de Magic Box. Tomado de *Proyecto Solar Decathlon* (p. 8), por Neila, J. y Bedoya C., 2005.

### **Casa SML**

La Casa SML fue un proyecto presentado en el *Solar Decathlon 2010*, por la *Universidad CEU Cardenal Herrera*. La vivienda es modular, en su fachada sur cuenta con una doble piel la cual está revestida por paneles fotovoltaicos (figura 2a), los muebles se integran entre la estructura de la doble fachada ventilada, pues tiene dos franjas laterales de 0.60m de ancho las cuales están adosadas a 0.30m de grosor de las fachadas (figura 2b), lo que permite mejorar las condiciones térmicas y acústicas al interior de la vivienda, además, para el sistema de climatización existe consumo energético alguno, esto gracias al sistema frío solar que implementaron en el techo.

**Figura 2a.**

*Proyecto Casa SML*

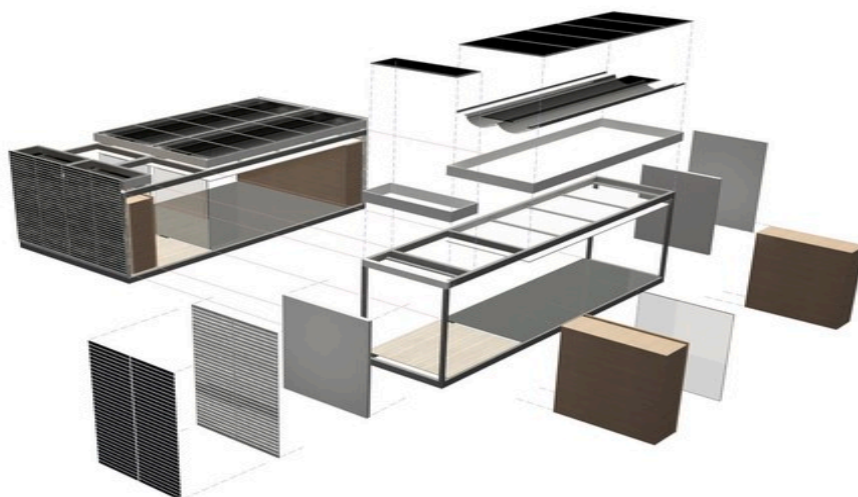


*Nota. Adaptado de Solar Decathlon Europe: Casa SML / CEU UCH Team Valencia*

[Fotografía], por Alejandro Concha, 2010a, <https://www.archdaily.mx/mx/02-47794/solar-decathlon-europe-casa-sml-ceu-uch-team-valencia>. Obra de Dominio Público.

**Figura 2b.**

*Configuración Casa SML*





*Nota.* Adaptado de *Solar Decathlon Europe: Casa SML / CEU UCH Team Valencia*

[Fotografía], por Alejandro Concha, 2010b, <https://www.archdaily.mx/mx/02-47794/solar-decathlon-europe-casa-sml-ceu-uch-team-valencia>. Obra de Dominio Público.

### **Proyecto CASA**

Este proyecto fue realizado por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) para el *Solar Decathlon Europe 2014*. La estructura empleada fue de material ligero y modular, esta configuración se aplicó en cada espacio de la vivienda. En la cubierta añadieron sistemas vivos, es decir, cubiertas vegetales, además, integraron paneles fotovoltaicos (figura 3) y sistemas de captación de agua, esto con un sistema textil de tres capas, además, de ser diseñado principalmente para azoteas, así se describe el proyecto en el portal de arquitectura de la UNAM (<https://arquitectura.unam.mx/casa.html>).

### **Figura 3.**

*Proyecto CASA*





*Nota.* Adaptado de *Casa UNAM abre sus puertas en Universum* [Fotografía], por Mario

Nájera Corona y Antón Barbosa, 2015,

[https://www.comunicacionfi.unam.mx/mostrar\\_noticia.php?id\\_noticia=347](https://www.comunicacionfi.unam.mx/mostrar_noticia.php?id_noticia=347). Obra de Dominio

Público.

### **Casa Uruguaya**

La propuesta de esta vivienda fue diseñada para responder a distintos climas, ya que implementaron una piel externa, es decir, una segunda piel la cual aísla el ambiente interior del exterior, con ello genera entre los muros un microclima. Implementaron la técnica de la fachada ventilada, esto genera sombras en todas las fachadas y por lo tanto, esto provocaría una disminución de temperatura de bulbo seco del aire entre la muros expuestos al medio ambiente y los muros de la vivienda, para así obtener mejores condiciones de habitabilidad térmica al interior.

El material utilizado para su construcción fue la madera, esta proviene de los bosques de esta misma ciudad, es decir, es un recurso natural el cual no genera costo extra en su traslado. Este recurso es de bajo impacto ambiental y alta resistencia, por ello fue seleccionada. Asimismo, hicieron uso de paneles fotovoltaicos, equipos electrodomésticos de alta eficiencia y la implementación de sistemas para la reutilización de aguas (figura 4).

### **Figura 4.**

*Proyecto Casa Uruguaya*



*Nota.* Adaptado de *La Casa Uruguaya ganadora del Solar Decathlon 2015* [Fotografía], por Uruguay Natural, 2015, <https://marcapaisuruguay.gub.uy/la-casa-uruguaya-ganadora-de-solar-decathlon-2015/>. Obra de Dominio Público.

### **Proyecto Azalea**

Propuesta realizada por un equipo de la Universidad Politécnica de Valencia para el *Solar Decathlon Europe 2019*, además fue uno de los ganadores de tal competencia.

El diseño de la vivienda fue inspirado en la barraca valenciana, ésta cuenta con una sola planta de 70 m<sup>2</sup> y está dividida por dos áreas. Como técnicas y sistemas propuestos para lograr el la energía nula y mayor confort en la vivienda, implementaron la fachada ventilada, la reutilización de aguas grises, sistema mecánico para el abatimiento de las ventanas y paneles solares (figura 5a). Para la estructura hicieron uso de la madera laminada, mientras que en la envolvente utilizaron tableros de contrachapado e incluyeron planes de corcho triturado al interior de los módulos (figura 5b).

### **Figura 5a.**

*Proyecto Azalea*



*Nota.* Adaptado de *Azalea: la barraca más eficiente* [Fotografía], por David García Díez, 2020a, <https://disenarparalavida.com/azalea-la-barraca-mas-eficiente/>. Obra de Dominio Público.

**Figura 5b.**

*Interior proyecto Azalea*





**FAD**  
Facultad de  
Arquitectura  
y Diseño



**FCITEC**  
Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología  
Universidad de Sevilla

**MYDAUD**  
MAESTRIA Y DOCTORADO  
EN ARQUITECTURA,  
URBANISMO Y DISEÑO

*Nota.* Adaptado de *Azalea: la barraca más eficiente* [Fotografía], por David García Díez, 2020b, <https://disenarparalavida.com/azalea-la-barraca-mas-eficiente/>. Obra de Dominio Público.

Con los casos anteriores se observa que se puede cumplir con el objetivo de promover la eficiencia energética y el confort térmico en las viviendas sin el uso de sistemas de aire acondicionado, si bien estos proyectos incluyeron otras técnicas como el uso de energías renovables tales como los paneles solares, el objetivo no es imposible cumplir.



## 2. ASPECTOS PRELIMINARES

Aquí se presenta la problemática de la investigación, así como la justificación, alcances y limitaciones para realizarla, asimismo, se describen las preguntas de investigación y los objetivos que se cumplirán. Por último, la hipótesis que se pretende comprobar al culminar la investigación.

### 2.1 Planteamiento del problema

En México el crecimiento poblacional, el crecimiento demográfico, y el incremento de nivel de vida conllevan el aumento de una demanda energética, especialmente en sus edificaciones. Pues el sector de construcción representó 17% del consumo total final de energía en México; sin embargo, el uso energético en este sector podría incrementarse en un 150% hasta el 2050 (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2020).

Por consiguiente, la edificación se vuelve un sector que requiere contar con medidas que permitan en lo posible disminuir los consumos energéticos, esto sin sacrificar la calidad de vida de sus ocupantes. Dichos consumos eléctricos, son consecuencia del mal uso de equipos como la iluminación, el aire acondicionado y electrodomésticos para llevar a cabo las diferentes funciones de espacios para habitar, para el trabajo, para los servicios, etc.

Así pues, debido a que las condiciones climáticas de la ciudad de Mexicali, temperaturas superiores a los 40°C, la extensa población y el uso de equipos de acondicionamiento ambiental para mantener un ambiente confortable en las edificaciones, especialmente los de refrigeración (aire acondicionado) en el período cálido con 59% del uso final de consumo de energía, llevan a colocarlo en el primer lugar como el mayor consumidor en Baja California (CONAVI, 2013). Además, en ocasiones, el diseño de la envolvente de las



viviendas no responde a las condicionantes climáticas del lugar, lo que origina una mayor demanda de los equipos antes mencionados.

Por lo que, sino se realiza un cambio y/o implementación de las normas y códigos de eficiencia energética en las futuras edificaciones esto generará un alto impacto ambiental, pues se estima que para el 2050 el consumo de energía correspondiente al sector residencial sea del 80% (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2015, como se citó en Secretaría de Energía [SENER], 2016). Sin embargo, la IEA asegura que si se implementan estas acciones de eficiencia energética se podría contribuir a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> hasta con un 49%, y con un 35% en el consumo de energía (SENER et al., 2017).

Así pues, por lo anterior y por lo que aprobó la ONU en la Agenda 2030, específicamente en Objetivo 7 y 11, sobre el desarrollo sostenible como una medida para erradicar este problema, es que es fundamental determinar nuevas medidas, estrategias y técnicas para la implementación de las viviendas existentes y el diseño de futuras. Lo que quiere decir que se aprovechará de mejor manera las condiciones climatológicas de la ciudad, se utilizarán sistemas constructivos eficientes para el diseño y aplicación de las técnicas con el propósito de beneficiar a los habitantes térmica, energética e incluso económicamente.

## **2.2 Preguntas de investigación**

### General

¿Cuáles técnicas de adecuación ambiental (TAA) son óptimas para promover la eficiencia energética de la envolvente, aumentar las condiciones de habitabilidad térmica en el interior y obtener un ahorro económico en el costo del consumo energético en las viviendas de zonas con clima cálido seco extremo?



### Específicas

¿Cuáles TAA promueven las menores ganancias de calor en la envolvente de la vivienda en el período cálido?

¿Cómo se deben aplicar las TAA para mejorar la eficiencia energética y confort térmico en la vivienda?

¿Cuál (es) de las TAA son económicamente favorables?

### **2.3 Justificación**

La investigación que se llevará a cabo tiene como propósito determinar técnicas y estrategias de adecuación ambiental, esto mediante lo estipulado en el diagnóstico bioclimático de la ciudad para la evaluación de dichas técnicas. Asimismo, con los resultados de las evaluaciones, se determinará el o los casos de estudio que mayor beneficio presenten para los usuarios. Con ello también se logrará aportar nuevas ideas y criterios de diseño para las normas ambientales que atañen a la construcción de viviendas en la ciudad y, a su vez, contribuir en la mejora de la calidad de vida de sus habitantes.

Los resultados de la investigación podrán ser utilizados por los desarrolladores de vivienda, arquitectos, estudiantes; así como por instancias gubernamentales para la toma de decisiones, ya que podrán aportar criterios para su consideración en futuras reglamentaciones de eficiencia energética para las viviendas.

Los criterios se enfatizan para las viviendas ya existentes, sin embargo, podrán tomarse como referencias para diagnósticos de nuevas construcciones.



## 2.4 Objetivos general y específicos

Objetivo general: Evaluar las técnicas de adecuación ambiental aplicables a la vivienda con base en criterios de optimización energética, térmica y económica en una zona de clima cálido seco extremoso.

### Objetivos específicos:

- Visualizar las técnicas de adecuación ambiental en las viviendas de Mexicali a partir del análisis del clima de la ciudad.
- Evaluar las técnicas de adecuación ambiental para mejorar la eficiencia energética de la envolvente y las condiciones de confort térmico en las viviendas.
- Determinar la viabilidad económica de las técnicas de adecuación ambiental.

## 2.5 Metas

El trabajo de investigación tiene las siguientes metas:

1. Identificación de normativas que establecen recomendaciones acerca del consumo energético y del confort térmico en la vivienda.
2. Identificación de estrategias favorables para las condiciones climáticas del lugar mediante diagnóstico bioclimático de la ciudad de Mexicali.
3. Determinación de la estrategia adecuada para optimizar el consumo energético en las viviendas de interés social en Mexicali.
4. Identificación de condiciones de confort térmico y consumo energético de la vivienda seleccionada con el apoyo de programas de simulación térmico-energética.
5. Análisis del desempeño térmico y energético de la vivienda seleccionada y de los casos con la aplicación de técnicas de adecuación bioclimática en la vivienda.



6. Identificación del costo – beneficio de la aplicación de las técnicas

seleccionadas en la vivienda de construcción en serie.

7. Realización de un análisis comparativo sobre los resultados obtenidos en las simulaciones y del costo – beneficio de cada caso de estudio.

8. Determinación del caso óptimo para las viviendas de construcción en serie en Mexicali.

## 2.6 Alcances y limitaciones

Para la elaboración de la investigación se presentan los alcances de la misma. Con este trabajo se logrará conocer la estrategia y técnicas de adecuación bioclimática aplicables a las viviendas de construcción en serie en climas cálidos secos o secos extremosos, para aumentar la eficiencia energética y el confort térmico y, a su vez, contar con el costo – beneficio de ellas, es decir, se tendrá como producto final el o los casos óptimos de la aplicación de las técnicas de adecuación bioclimática en relación con el costo-beneficio, térmico y energético.

Por otro lado, una de las limitaciones de la presente investigación es la disponibilidad del programa de simulación y/o la facilidad económica para poder adquirirlo. Otro aspecto importante, es el período de evaluación de las técnicas empleadas, pues ya que en la ciudad de Mexicali se presenta una situación crítica debido a que cuenta con un clima cálido seco extremo se determinó analizar el período cálido, pues en regiones con clima cálido el uso de equipos de climatización para refrigeración presenta mayor demanda del consumo energético que la calefacción en período en el frío (CONAVI, 2013; Luna, 2016).



## 2.7 Hipótesis

La aplicación de TAA en la envolvente de la vivienda permite mejorar el desempeño energético y térmico hasta un 30% de la misma en una zona de clima cálido seco extremo y brinda un ahorro económico hasta del 20% al usuario. Las técnicas de aislamiento térmico y de fachada ventilada opaca en la envolvente de la vivienda en un clima cálido seco permiten ahorros energéticos y económicos, y aumenta las condiciones de habitabilidad térmica.



### 3. FUNDAMENTOS

Los fundamentos de una investigación es aquella revisión bibliográfica sobre el tema a investigar, de la cual se realiza una síntesis teórica analítica y crítica (Vara-Horna, 2012). Asimismo, Schmelkes (1998) establece que este capítulo debe incluir toda la información teórica necesaria para fundamentar la investigación.

Así pues, a continuación, se presentará la información relevante a la presente investigación sobre los temas de diseño bioclimático, eficiencia energética y métodos de evaluación.

#### 3.1 Diseño bioclimático

En 1963, los hermanos Olgyay propusieron el término de diseño bioclimático con el fin de relacionar los vínculos entre la vida y el clima para aplicarlos al diseño. Pocos años más tarde Givoni (1969, como se citó en Cortés, 2014) propuso algo similar basándose en la carta psicrométrica.

Por lo que, en la arquitectura bioclimática se consideran aspectos para cumplir en lo posible con el propósito de este estilo de Arquitectura, la cual busca proporcionar un ambiente confortable al interior de la vivienda apeándose, a medida de lo posible, a crear diseños que se integren al medio ambiente que lo rodea de manera armónica, es decir, sin alterar ni dañar las condiciones naturales. Actualmente, además de los aspectos mencionados, se considera que es fundamental incluir la eficiencia energética en las viviendas, esto beneficia ampliamente a los usuarios, pues mejora las condiciones de vida; económicamente y en cuanto a confort térmico.



Además, Watson (1992) establece que uno de los factores que más afecta en la demanda de energía y en las condiciones de confort en la vivienda son las cargas internas, es decir, la ocupación, la luminaria utilizada y los equipos electrodomésticos de baja eficiencia, sin embargo, esto puede representar menores porcentajes si se propone para el diseño una envolvente con alta eficiencia energética. Para ello Watson diseño una tabla de estrategias de control (tabla 1), con el objetivo de mostrar cuales son más efectivas según el período climático en el que se quiera enfocar o más bien, en el período que resulte crítico para el lugar de diseño.

**Tabla 1.**

*Estrategias bioclimáticas de control*

			Conducción	Convección	Radiación	Evaporación
<b>Estrategias de control</b>	Invierno	Promover ganancia			Promover ganancia solar	
		Resistencia de pérdida	Minimizar el flujo de calor conductivo	Minimizar el flujo de aire externo		
				Minimizar infiltración		
	Verano	<b>Resistencia de ganancia</b>	<b>Minimizar el flujo del calor conductivo</b>	Minimizar infiltración	Minimizar ganancia solar	
		Promover pérdida	Promover el enfriamiento de tierra	Promover ventilación	Promover enfriamiento radiante	Promover enfriamiento evaporativo



*Nota.* Adoptado del libro Climatic Building Design: Energy-Efficient Building Principles and Practice (Watson y Labs, 1983).

Con base en lo anterior y de acuerdo a Szokolay (2008) menciona que uno de los principales problemas para climas cálidos secos o desérticos, es el sobrecalentamiento, ya que genera un aire muy seco, motivo por el cual es fundamental hacer uso de estrategias y técnicas de adecuación ambiental para tratar de mitigar el problema al interior de la vivienda.

### **3.1.1 Diagnóstico bioclimático**

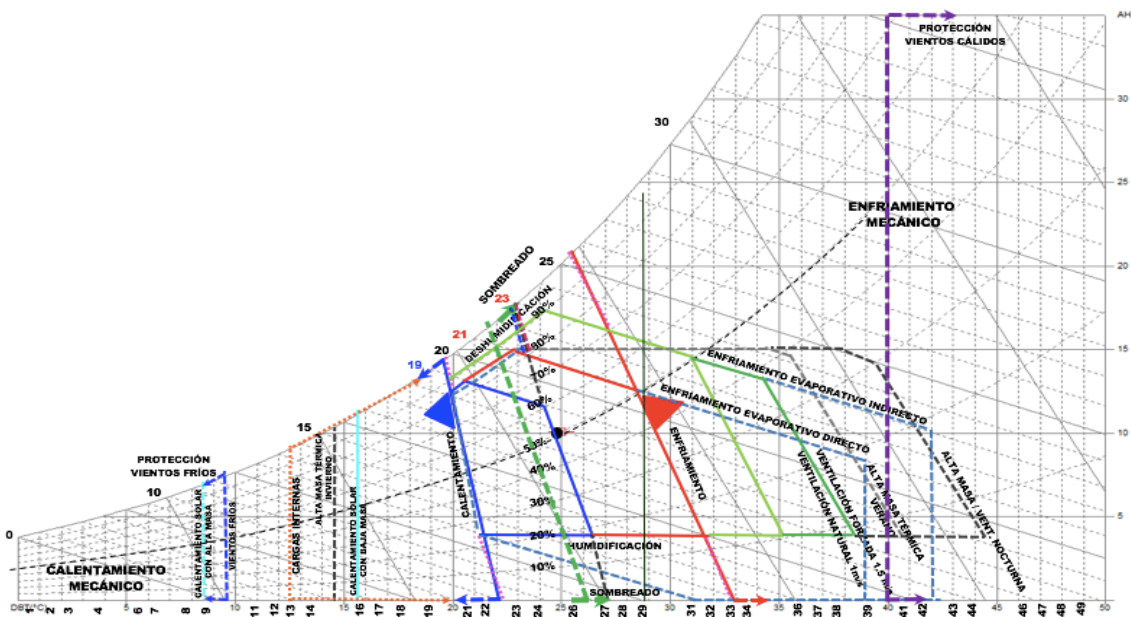
Se entiende como diagnóstico bioclimático al estudio realizado para el análisis climático de la ciudad y/o sitio a investigar. Mediante este estudio se pueden identificar las estrategias y técnicas de adecuación ambiental necesarias para aumentar las condiciones de confort térmico al interior de las edificaciones. Estos estudios se pueden llevar a cabo mediante la carta psicrométrica propuesta por Szokolay o bien con herramientas como el programa Climate Consultant 6.0 ®.

En el 2016 Luna, realizó un diagnóstico bioclimático de la ciudad de Mexicali, allí presentó los resultados obtenidos de las técnicas de adecuación ambiental en la carta psicrométrica (figura 6a). En la carta se observa que las técnicas de mayor efectividad en la vivienda mexicalense serían las resultantes del período cálido, pues como se ha mencionado es el período crítico de la ciudad. Estas técnicas son el *enfriamiento por climatización artificial*, la de *enfriamiento evaporativo indirecto*, *sombreado de ventanas y de la vivienda*, por último, la *masa térmica*.

Por otra parte, en el mismo análisis Luna (2016), presentó una gráfica con cada una de las técnicas de adecuación bioclimática analizadas en ambos períodos, cálido y frío, allí se puede apreciar de manera más clara lo mencionado anteriormente acerca de las técnicas que tendrían mayor impacto en la vivienda (figura 6b).

**Figura 6a.**

*Carta psicrométrica de la ciudad de Mexicali*

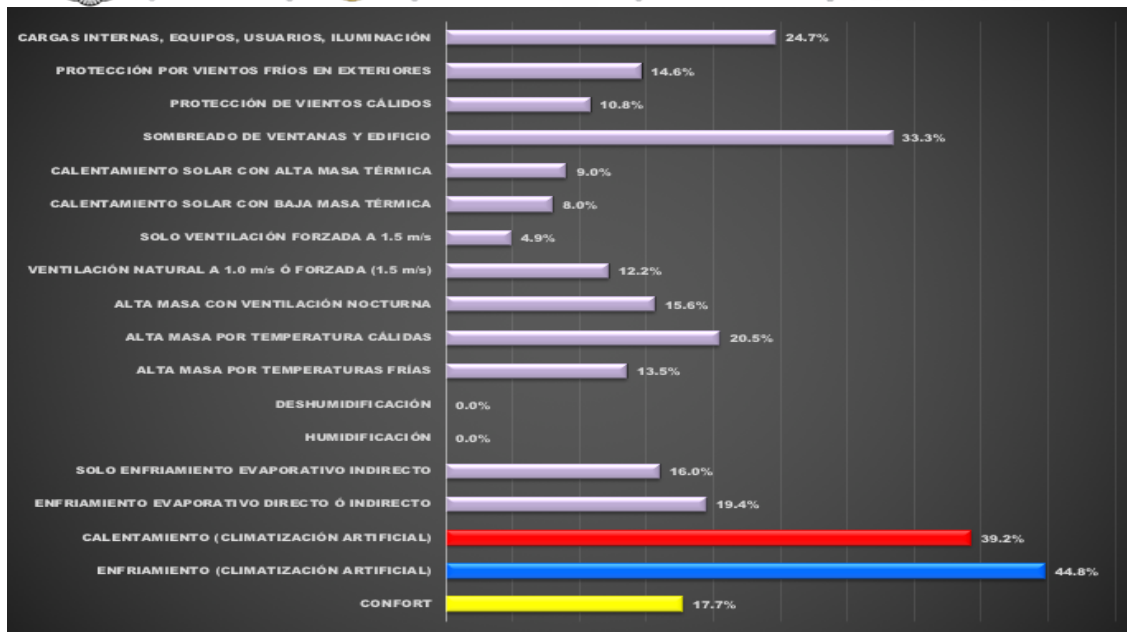


*Nota.* Adaptado de *Psicrométrica* [Ilustración], por Luna, 2020a, Análisis climático:

Técnicas de adecuación para la edificación y espacios abiertos. Obra de Dominio Público.

**Figura 6b.**

*Técnicas de adecuación ambiental para la ciudad de Mexicali*



*Nota.* Adaptado de *Psicrométrica* [Ilustración], por Luna, 2020b, Análisis climático: Técnicas de adecuación para la edificación y espacios abiertos. Obra de Dominio Público.

Así pues, se observa que la principal preocupación para los habitantes de la ciudad de Mexicali es proveer enfriamiento al interior de las viviendas. Por lo que, claramente las estrategias que se deben emplear para ciudades con tipo de clima cálido seco o cálido seco extremo son todas aquellas que eviten la ganancia de calor.

### 3.1.2 Técnicas para minimizar el flujo de calor conductivo

Para lograr entender los efectos que se producen mediante el uso de estrategias y técnicas de adecuación ambiental, primero es importante conocer los fenómenos de transferencia de calor que se dan en todas las edificaciones.



**FAD**  
Facultad de  
Arquitectura  
y Diseño



**FCITEC**  
Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología  
Unidad académica de las Palmas

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

Así con base en la tabla 1, se determinó que, para una región climática catalogada como cálida seca extremosa, la mejor opción era a través de minimizar el flujo de calor conductivo, para así evitar mayores ganancias de calor en la vivienda.

Por otra parte, la estrategia para minimizar el flujo de calor conductivo consiste en el proceso de transferencia de calor a través de los materiales sólidos de construcción, a esto se le conoce como *conducción térmica*, en la cual la energía térmica se transmite de partícula a partícula dentro del material.

La transmisión térmica, es realmente una expresión de potencia térmica, y tiene las unidades de  $W/m^2\text{°C}$ . “Q” generalmente corresponde a la energía térmica total, mientras que la transmisión térmica se representa por “q”. El flujo de calor, puede ser definido por la transmisión térmica a través de una unidad de área.

Otro fenómeno que se da es la conductancia (C), se define como la tasa de tiempo del flujo de calor a través del área de superficie de un cuerpo de una de sus caras a la otra, para una diferencia de temperaturas entre ellas. Cuando la diferencia de temperatura ocurre entre caras opuestas del muro o la sección del techo, el calor fluirá desde el lado caliente hasta el lado frío, para tratar de igualar el desequilibrio térmico. Mientras las caras de mantengan a temperaturas diferentes y constantes, el flujo de calor entre las caras también se mantendrá constante.

Por otro lado, la conductancia del material homogéneo se obtiene al dividir la conductividad del material entre su espesor (ancho). La conductancia de la sección de un muro o techo se obtiene sumando las resistencias de cada capa.



Otro aspecto importante es la conductividad ( $k$ ), pues esta es la conductancia del material. Esta se define por el tiempo del flujo de calor a través del área y del espesor de un material homogéneo, es decir, cuando la diferencia de temperaturas se mantiene entre sus caras.

Además de considerar la conductividad de un material es fundamental conocer la *resistencia térmica* ( $R$ ) o *valor*  $R$  de este, pues como ya se mencionó, para obtener la conductancia de un sistema constructivo se debe sumar la resistencia de cada material o capa.

Estas resistencias son aditivas, por lo que la resistencia total de la sección de un edificio, como ya se explicó anteriormente, es la suma de todas las resistencias de cada componente de las secciones. Sin embargo, la conductancia no es aditiva, y para poder obtener la conductancia de cada sección, primero se debe obtener la resistencia total ( $R_t$ ).

Por lo que a estas conductancias se conocen como *la superficie* o *las conductancias de película*, y generalmente son representadas por los símbolos  $h_o$  y  $h_i$  para los coeficientes exteriores e interiores, respectivamente. Para los valores de  $h_o$  depende de la velocidad del viento y para  $h_i$  depende la orientación de la superficie.

Mientras que, el *coeficiente global de transferencia de calor*, la *transmitancia térmica* o, mejor conocido como, *valor*  $U$ , es el inverso del *valor*  $R$ , es decir, entre más grande sea el *valor*  $R$  de un material, menor será su *valor*  $U$ .

También dentro de cada una de estas variables existen numerosas oportunidades o sub-estrategias para reducir las pérdidas y ganancias de calor conductivas. Por ejemplo:



reducir la superficie del área, la cual reduce el flujo de calor. Las sub-estrategias relacionadas a esta medida consisten en minimizar la relación superficie – volumen y en reducir el área de los elementos de la envolvente, los altamente conductivos, como las ventanas y las puertas.

Sin embargo, puede resultar ineficiente en términos de relación superficie – volumen, aunque por otro lado este factor puede compensarse al aumentar la resistencia térmica de la piel del edificio (envolvente). Esta situación es aprovechada y deseada con frecuencia, ya que con ella se puede aumentar la captura de brisas, aprovechar de la mejor manera la vista y otras condiciones que presente el sitio, esto claro, se debe tomar en cuenta en el diseño para las futuras construcciones.

### **3.1.3 Técnicas de adecuación ambiental**

Con base a lo ya antes mencionado, unas de las técnicas de adecuación ambiental más convenientes y fundamentales para lograr promover la eficiencia energética en la vivienda, así como condiciones de confort en la misma son el aislamiento térmico, la fachada ventilada (muro doble o cámara de aire), masa térmica, orientación, entre otros.

#### **Resistencia térmica**

Es un material que presenta una alta resistencia al flujo de calor, es decir, es utilizado como barrera para evitar pérdidas de calor. Para que el material se considere como aislante ese debe contar con una conductividad térmica baja, por lo que existen diferentes materiales que se pueden implementar, como la fibra de vidrio, poliestireno expandido, poliuretano, capas de aire, entre otros (figura 7).

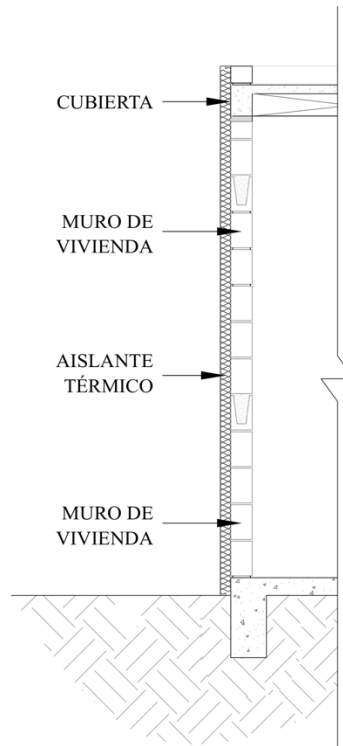


La resistencia térmica o aislamiento térmico también se le conoce como *valor R*, estos tienen valores específicos para las diferentes zonas climáticas de la ciudad. Para la ciudad de Mexicali, la zona climática correspondiente es la CZ15RV2, para esa zona el *California Energy Code 2019* establece los valores R con los que debe tener la envolvente de la vivienda (tabla 2), para así cumplir con los requerimientos energéticos y térmicos (California Building Standards Commission [CBSC], 2019).

La función que cumplen estos aislantes térmicos en zonas de altas temperaturas es la de reducir las pérdidas de calor, pues estos retrasan el flujo de calor que se da mediante dos cuerpos o elementos con diferente temperatura. Por lo que su uso resulta altamente recomendable para el ahorro de energía, lo que se traduce a un ahorro económico, también para reducir la cantidad de CO<sub>2</sub> que producen los edificios y, por supuesto, para mantener las temperaturas internas estables (CONUEE, 2009). Para cumplir con lo anterior, en México, la NOM-020-ENER-2011 determinó un valor mínimo específico para cada estado de la república y, además, estableció que con ese valor U en la envolvente, la vivienda estará en condiciones confortables en su interior (anexo 3).

### **Figura 7.**

*Aislamiento térmico en muro*



**Tabla 2.**

*Aislamiento térmico en la envolvente de la vivienda, según el Código de Energía de California*

Aislamiento térmico			
Envolvente	Especificaciones		Valor R
Cubierta	Opción B (sección 150.1 (c) 9A)	Aislamiento debajo de la cubierta del techo (con espacio de aire)	R-19
		Aislamiento en cubierta	R-38
		Barrera radiante	NR <sup>1</sup>
	Opción B (sección 150.1 (c) 9B)	Aislamiento en cubierta	R-38
		Barrera radiante	REQ <sup>2</sup>
Muros	Por encima de la pendiente	Muro de masa (interior)	R-13
		Muro de masa (exterior)	R-8.0
	Por debajo de la pendiente	Por debajo del grado (interior)	R-13
		Por debajo del grado (exterior)	R-10
Piso	Losa perímetro		NR <sup>1</sup>
	Elevado		R-19
	Hormigón elevado		R-4.0



**FAD**  
Facultad de  
Arquitectura  
y Diseño



**FCITEC**  
Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología  
Unidad de los Polígonos

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

*Nota.* Elaborado a partir del CBSC (2019). <sup>1</sup> NR= No Requirement. <sup>2</sup> REQ= Se quieren ventiladores para toda la vivienda que sean energéticamente eficientes.

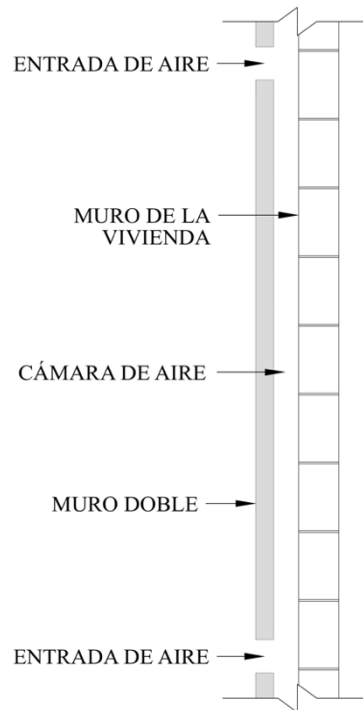
### **Fachada ventilada con cámara de aire.**

La fachada ventilada tiene como objetivo generar una barrera de humedad para proteger el ambiente interior. Amortigua el efecto de la radiación solar directa sobre los cerramientos opacos, al disminuir las demandas de refrigeración en verano.

Plantea la construcción de una capa exterior, paralela a la fachada, que genera una cámara de aire intermedia. En esa cámara se produce una corriente por convección que funciona como una ventilación para la humedad y como colchón térmico para la climatización interior (figura 8).

### **Figura 8.**

*Fachada ventilada opaca con cámara de aire*



### 3.2 Eficiencia energética

El consumo energético juega un papel importante en la correcta selección de las técnicas de adecuación ambiental que se aplicaran en la vivienda, pues como ya se mencionó, uno de los principales objetivos de la arquitectura bioclimática es reducir los consumos de energía. Asimismo, CONAFOVI (2006) y Poveda (2007), dicen que la eficiencia energética consiste en buscar medios que permitan, a medida de lo posible, disminuir la energía que se consume en la prestación de los servicios al generar así no solo ahorros energéticos sino económicos para la población.



### 3.2.1 Normativa de eficiencia energética en la envolvente

Se define que la eficiencia energética en las edificaciones corresponde a la optimización, el consumo y el uso racional de energía en sus edificaciones, sin comprometer la calidad de vida de los habitantes, y al pensar a gran escala, de generaciones futuras. Por lo que, este apartado se describen las normas que se deben cumplir para reducir el consumo energético y así contar con una vivienda energéticamente eficiente mediante su envolvente.

Uno de estos códigos es el Código de Conservación de Energía para las Edificaciones en México [IECC-MÉXICO], el cuál propone estrategias para empezar a reducir los porcentajes de CO<sub>2</sub> y de consumo de energía, como:

Fortalecer las acciones que promuevan el uso de materiales y equipos eficientes, así como de la arquitectura bioclimática, en la construcción o remodelación de edificaciones, incluyendo programas de financiamientos.

Reforzar la aplicación de normas de eficiencia y reglamentos de construcción de aseguren la integración de inmuebles adecuadamente diseñados al parque de vivienda y de las edificaciones de uso comercial e industrial. Con esto podrán alcanzarse niveles de intensidad energética similares a los de las economías más productivas.

Esto con el fin de contribuir a la disminución de generación de CO<sub>2</sub>, de GEI y consumo energético al aportar una mejora al medio ambiente a nivel mundial, y al cumplir así con el Objetivo 7 propuesto en la Agenda 2030 por la ONU, que habla de la energía asequible y no contaminante.



Además del IECC-MÉXICO, existen otros códigos y normativas mexicanas para la eficiencia energética tales como el CEV, las Normas Oficiales Mexicanas (NOM-020 y NOM-018) por el Diario Oficial de Federación (DOF); así como libros y artículos publicados por la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) y la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI).

El CEV presentan lineamientos de diseño sustentable para la vivienda en México basados en la normativa nacional con el fin de mejorar la calidad de vida de los usuarios. Para el diseño sustentable de la vivienda se consideran los elementos de la envolvente, equipos y sistemas que cumplan con la eficiencia energética, energías renovables, áreas verdes, iluminación natural, el tratamiento y ahorro de agua entre otros.

Se menciona que una de las acciones que se puede llevar a cabo para mitigar el impacto ambiental es la selección correcta del terreno donde se construirá la vivienda, esto sin exponer la seguridad de los habitantes ni de la edificación.

En cuanto a los materiales de construcción, la selección se realizará de acuerdo a la zona bioclimática establecida, y deberán considerar que el uso de materiales reciclados, la reutilización de ellos, que sean, preferentemente, locales y/o que sean modulares, así como el uso correcto de los materiales naturales y poner especial atención en materiales con algún componente dañino para no afectar la salud del usuario a largo plazo.

También se considerará la parte económica, es decir, el costo-beneficio de la aplicación o uso del material seleccionado, el color, las propiedades acústicas y térmicas



con las que cuente el material, y si este no es de fabricación local será necesario considerar el traslado de este, desde su extracción hasta el emplazamiento de la obra.

En el caso de la selección de materiales, pinturas y/o revestimientos reflectivos estos deberán cumplir con los valores establecidos en el índice de reflexión solar (IRS).

Para la calidad ambiental interior y confort menciona que el interior de la vivienda debería contar con un confort térmico y para que esto sea así se tiene que considerar lo ya antes mencionado, la iluminación, la calidad acústica, el aire y las temperaturas referentes.

Asimismo, menciona que, para las edificaciones existentes, si se realizará alguna ampliación esta deberá apearse y cumplir con las normativas vigentes. Y se utilizarán los materiales de construcción establecidos por la norma que se encuentre vigente en el momento de la construcción. Además, se deberá revisar que la vivienda se encuentre en buen estado, si no es el caso será necesario el mantenimiento de dicha vivienda y en este caso el remplazo de equipos o reparaciones a realizar deberán seguir los requerimientos de las normas vigentes a la hora de estos cambios.

En cuanto al diseño arquitectónico las recomendaciones que mencionan son la correcta aplicación de la ventilación en la vivienda a través de ventanas, siempre y cuando esto se determine mediante los vientos predominantes para así lograr un flujo en los espacios, y si a su vez se colocan ventanas cruzadas esto mejorará la circulación del aire. También se considera que si se siguen las recomendaciones antes mencionadas esto contribuye a la disminución de energía eléctrica, ya que con una correcta iluminación al interior de la vivienda ayudaría a reducir el número de luminarias, y adicional a esto, si la



**FAD**  
Facultad de  
Arquitectura  
y Diseño



**FCITEC**  
Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología  
Unidad de los Politécnicos

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

ventana elegida es de alta eficiencia esta ayudaría reducir la entrada de calor, con lo que disminuiría también la carga térmica y por lo tanto el consumo eléctrico en la vivienda.

Por otra parte, en la sección de ventilación en la vivienda, este recomienda que la orientación de las ventanas se implemente de acuerdo a los vientos predominantes del lugar de emplazamiento y que estas estén encontradas, lo que se busca con esta técnica se obtener un alto flujo de aire en los espacios y una ventilación cruzada en la que el aire fresco circule de manera natural sin necesidad de la incorporación de equipos mecánicos. Las ventanas y lucernarios, o tragaluz como generalmente se conoce en México, juegan un papel importante debido a que con la implementación de estos elementos habría un ahorro de energía considerable a través de la disminución de luminarias en la vivienda, ya que se obtendría luz natural en la vivienda el mayor tiempo posible, y a su vez, si la incorporación de ventanas es la adecuada, es decir, se seleccionan vidrios con una alta eficiencia, ayudaría en la disminución de carga térmica en cada uno de los espacios. Los valores térmicos para la selección de vidrios en las ventanas se basan también respecto a la zona bioclimática (SEDATU y CONAVI, 2017).

Así pues, para lograr una mayor eficiencia energética en las edificaciones, especialmente en el sector residencial, se deben cumplir con las especificaciones que establecen en los códigos y normativas mencionadas anteriormente. Sin embargo, para las estrategias bioclimáticas en el diseño arquitectónico no se describen ni menciona ningún método que se puede aplicar para la obtención de estas.

Lo mismo ocurre en el Reglamento de Edificaciones para la ciudad de Mexicali, pues no se establece ningún método para la aumentar la eficiencia energética en la



vivienda, sin embargo, especifica lo mínimo requerido para fomentar la correcta iluminación y ventilación.

En su sección dos, de iluminación y ventilación, indica que para las edificaciones de tipo habitacional para la ventilación deberá ser el 30% y para la iluminación deberá proporcionarse el 10%, no menos de 0.75 m<sup>2</sup>. Sin embargo, en los espacios o áreas de servicio se indica que la iluminación podrá ser artificial o natural. Para la ventilación deberá proporcionarse el 50% o hacerlo mediante un sistema de extracción mecánica, para brindar iluminación natural podrá ser mediante domos o tragaluces, considerando el 2% de la superficie del piso en el espacio que se aplicarán.

### **3.2.2 Confort térmico**

El confort térmico presenta el mismo caso que el del consumo energético, pues en las normas y códigos antes mencionados se establece que la solución es implementar lo que se especifica para la eficiencia energética, es decir, que si se cumple con lo estipulado, los habitantes estarán en un ambiente confortable.

Tal es el caso de la NOM-020-ENER-2011, pues menciona que “la normalización para la eficiencia energética en edificios para uso habitacional representa un esfuerzo encaminado a mejorar el diseño térmico de edificios, y lograr la comodidad de sus ocupantes con el mínimo consumo de energía” (DOF, 2011b, p.3).

Sin embargo, para medir el confort térmico existe un norma de la International Organization for Standardization [ISO], la ISO 7730, la cual cuenta con un modelo llamado *Predicted Mean Vote [PMV]*. Este es usado mundialmente para el análisis del confort



térmico en las edificaciones, ya que evalúa las diferentes variables que existen en el ambiente térmico interior con un cierto número personas para así obtener la media de sensación térmica, estas variables son: *humedad del aire interior, metabolismo, vestimenta, velocidad, temperatura del aire interior y temperatura radiante media interior*. Para obtener los valores del PMV está establecida una escala de sensación térmica neutral que va desde el -3 al 3, donde el -3 se considera como *muy frío* y el 3 como *muy caliente*.

### **3.3 Métodos de evaluación**

Para poder realizar las evaluaciones mediante simulación térmico-energética es necesario conocer los diversos programas que existen, así como su funcionamiento, pues siempre habrá uno más apropiado para el tipo de análisis que se vaya a realizar. Tal es el caso de la presente investigación, pues existen diversos programas, como OpenStudio, ECOTECH, EnergyPlus, Design Builder®, entre otros. Por otro lado, en el análisis de factibilidad económica se utilizaron fórmulas de ingeniería económica para poder determinar el costo de las técnicas propuestas y así conocer si existe con costo-beneficio por ellas.

#### **3.3.1 Evaluación térmico-energética**

Para llevar a cabo las evaluaciones de la estrategia y las técnicas de adecuación bioclimática seleccionadas, se optó por utilizar el programa de simulación térmico-dinámica Design Builder® debido a las amplias funciones con las que cuenta.



En el programa Design Builder® se pueden realizar simulaciones a nivel residencial muy completas, como evaluar las condiciones de confort térmico, realizar evaluaciones de diseño de refrigeración (tamaño del equipo de aire acondicionado) para conocer la capacidad de enfriamiento (toneladas) que requiere la vivienda, la calidad de iluminación natural con la que cuenta el edificio, así como determinar el nivel de iluminación necesario. Además, se puede obtener el costo de la estrategia y/o técnica que se evalúa, resultados de CO<sub>2</sub>, así como simulaciones de dinámica de fluidos computacionales CFD, por sus siglas en inglés, mediante EnergyPlus (García-Haro et al., 2011).

Los resultados de las simulaciones se pueden obtener a nivel del edificio completo o por zona, lo que permite obtener resultados de refrigeración sensible de zona (energía a retirar), ganancias de calor, nivel de lux, consumos energéticos y cualquier otro dato por un área en específico. Todo esto se puede evaluar en diferentes períodos, como el de verano, semana extrema de verano, semana típica, período de invierno, semana extrema y típica de invierno, anual o por día en específico, incluso se pueden visualizar de manera mensual u horaria. Por otra parte, las unidades que manejan estos resultados son desde temperaturas en grados centígrados (°C), kilowatts (kW) y kilowatts hora (kWh).

Asimismo, el simulador es capaz de evaluar un sinfín de estrategias y técnicas, como el aislamiento térmico en cualquier área de la envolvente, muros trombe, sistemas de sombreado, iluminación y ventilación natural, fachada ventilada con cámara de aire, sombreado, entre otras.



### 3.3.2 Evaluación económica

La evaluación económica describe los métodos de evaluación que toman en cuenta el valor del dinero a través del tiempo, algunos de estos métodos son la tasa de rendimiento y el valor presente neto (VPN) (Baca, 2013).

Por lo tanto, la finalidad del estudio realizado de factibilidad económica de las técnicas de adecuación bioclimática, aislamiento térmico y fachada ventilada con cámara de aire, fue analizar el costo monetario, en pesos mexicanos, que implicaría la aplicación de las técnicas evaluadas, esto mediante el uso de fórmulas como la del VPN y beneficio-costo; si bien existen diversas fórmulas, se optó por estas dos, pues eran las más apropiadas para el trabajo de investigación, ya que estas involucraban valores con los que ya se había trabajado previamente en la investigación, tales como el costo total de consumo energético. Con base a esto y con el apoyo de los resultados de los casos simulados se logrará conocer los ahorros, costos totales y el porcentaje de costo beneficio de las técnicas propuestas.

#### **Valor presente neto**

Como ya se describió anteriormente, el VPN es un método de evaluación económica que se calcula por una cantidad de años determinados. Este método es el resultado del valor monetario de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial o bien comparar las ganancias con todos los desembolsos para producir dichas ganancias. Por lo que, si el resultado del VPN es mayor a cero significa que tal proyecto, investigación y/o técnica evaluada presenta ganancias y por ello se recomienda su uso y/o aplicación (Baca, 2013).



**FAD**  
Facultad de  
Arquitectura  
y Diseño



**FCITEC**  
Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología  
Unidad de los Pájaros

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

## Costo-Beneficio

El análisis de costo – beneficio o beneficio-costo, es un estudio de retorno de las inversiones realizadas, de aspectos sociales y hasta ambientales (Arévalo et al., 2016). Sin embargo, Baca (2013) menciona que el costo-beneficio es otro método para la evaluación económica de cualquier tipo de proyecto.

Este método consiste en dividir los costos monetarios del proyecto entre los beneficios económicos que se obtendrían. Así pues, el propósito de este método es que además de recuperar el desembolso realizado en la inversión inicial se obtenga una ganancia que compense los efectos inflacionarios. Entonces, se dice que un proyecto es recomendado solo si el resultado del beneficio-costo es mayor o igual a uno, pues esto representaría que los beneficios del proyecto siempre serán mayores que los costos del mismo.



## 4. MÉTODO

El método es el proceso mediante el cual el trabajo de investigación se desarrolla para poder cumplir con los objetivos y comprobar la hipótesis planteada. Este capítulo muestra el diseño de la investigación; describe los casos de estudio, a partir de un caso base (CB) y sus modificaciones (implementación de técnicas de adecuación ambiental); las condicionantes para la evaluación térmica por medio de simulación y la evaluación económica; y finalmente, se presenta el procesamiento de datos.

### 4.1 Diseño de Investigación

El presente trabajo tiene un enfoque de estudio cuantitativo, según Hernández et al. (2014) en éste se deben de medir las variables y los resultados se analizan mediante métodos estadísticos (números), además, para su desarrollo debe seguir un proceso secuencial, es decir, que no se puede saltar ninguna fase.

Por otra parte, para el método de evaluación se optó por la simulación, esto debido a los objetivos planteados y la factibilidad del análisis de las técnicas; si bien éstas también se podrían haber evaluado de forma experimental, debido a la cantidad y tipos de técnicas de adecuación ambiental para minimizar el flujo de calor conductivo no resultaba económicamente viable esta opción.

Asimismo, el período de estudio seleccionado fue el cálido (mayo – octubre), esto debido a las condiciones climáticas de la ciudad de Mexicali mencionadas en la sección 3.1.1 y a la estrategia de control elegida, por lo tanto, la temporalidad de la investigación es



**FAD**  
Facultad de  
Arquitectura  
y Diseño



**FCITEC**  
Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología  
Unidad de los Politécnicos

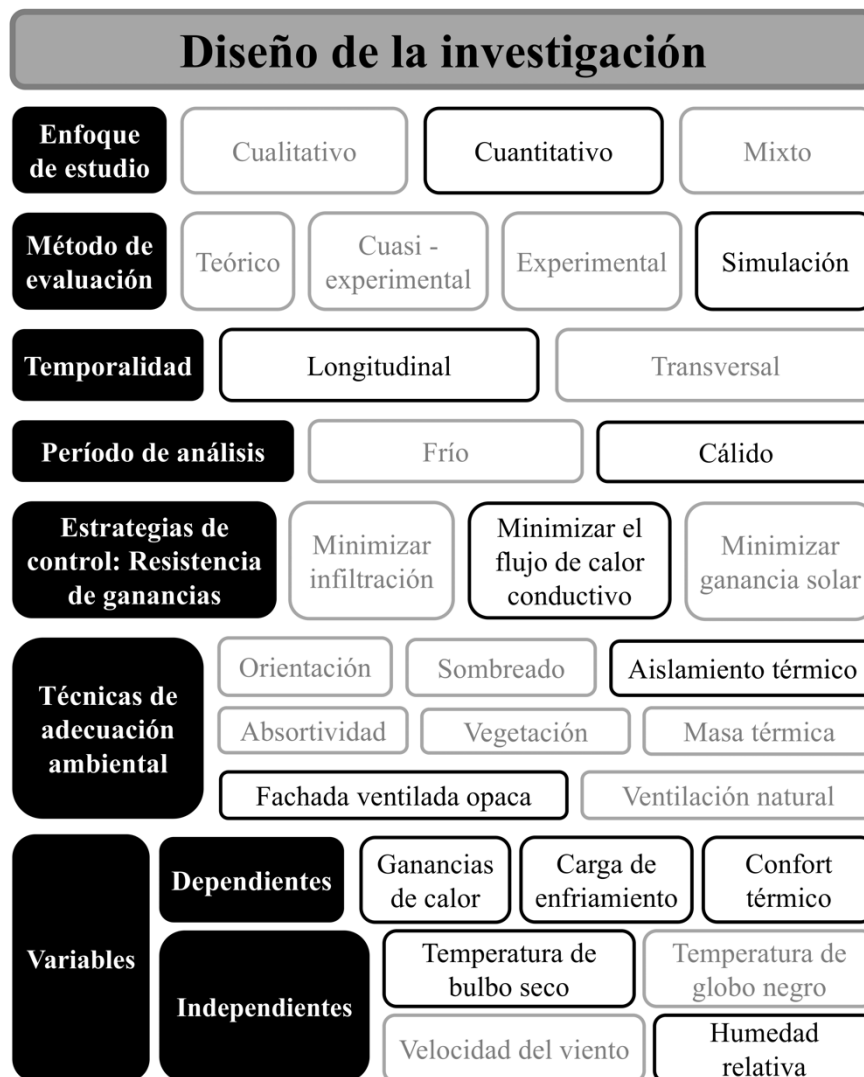
**MYDAUD**  
MAESTRÍA Y DOCTORADO  
EN ARQUITECTURA,  
URBANISMO Y DISEÑO

longitudinal, pues la evaluación por medio de las simulación térmico-dinámica fue durante todo el período antes mencionado, con el propósito de observar el comportamiento de las variables como la temperatura de bulbo seco y el confort térmico en este lapso (Hernández et al., 1997) (figura 9).

Para ello, fue necesario conocer las condiciones climáticas de la ciudad de Mexicali, esto fue a través del diagnóstico bioclimático, con ello se determinó la estrategia a utilizar y, con un análisis teórico, las técnicas con las que se trabajó. Posteriormente, se seleccionó el objeto de estudio y, una vez obtenido eso, se establecieron los métodos de evaluación, con lo que se optó por utilizar el programa de simulación térmico-dinámica para el análisis de las técnicas de adecuación ambiental (TAA) de fachada ventilada opaca (FVO) y aislamiento térmico (caso base o CB y 12 casos de estudio con la aplicación de las TAA). De allí se obtuvieron resultados de consumo energético y de confort térmico. Después, se realizó una evaluación económica a través de dos métodos: valor presente neto (VPN) y beneficio-costos. Finalmente, se determinó el caso óptimo en relación térmico-energético-económico para el usuario, es decir, el caso con el que se obtuvo mayor beneficio.

### **Figura 9.**

*Esquema del diseño de investigación*



#### 4.2. Casos de estudio

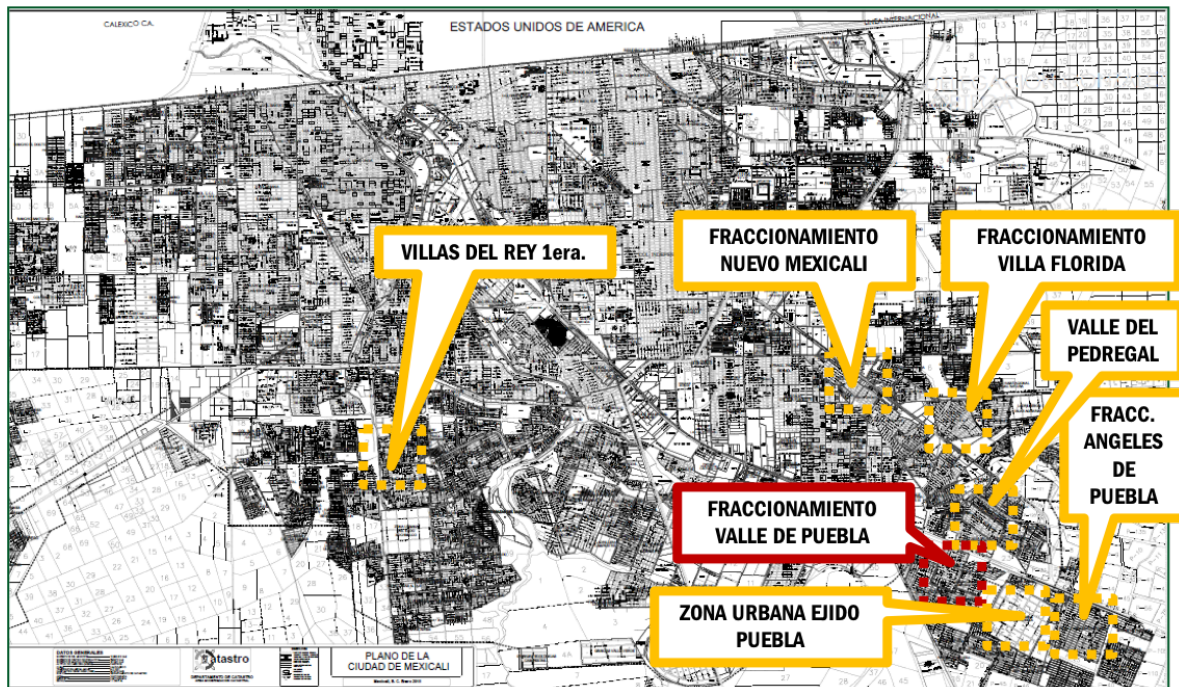
Los casos de estudio fueron seleccionados de los modelos de vivienda de construcción en serie en la ciudad de Mexicali, Baja California; se identificaron aquellos fraccionamientos con vivienda para familias de bajos ingresos, ubicados en la zona suroeste y sureste de la ciudad (figura 10).



De los fraccionamientos identificados se seleccionó el de mayor crecimiento, denominado Valle de Puebla, el cual en el 2010 contaba con más de 10,000 viviendas (INFONAVIT, 2015). Actualmente el fraccionamiento cuenta con ocho secciones, tal y como se indica en *Heraldo* (<https://www.heraldo.com.mx/baja-california/mexicali/mexicali/>), adicionalmente se encuentra el fraccionamiento Parajes de Puebla, en donde existen modelos de vivienda unifamiliar de 38 m<sup>2</sup> y 41 m<sup>2</sup>. Se seleccionó un modelo de vivienda de 41 m<sup>2</sup> como prototipo representativo, que será el caso base (CB) y se solicitaron los planos ejecutivos al desarrollador de vivienda RUBA Residencial, con el propósito de conocer a detalle las especificaciones de la vivienda, tales como el tipo de sistema constructivo utilizado, las dimensiones, área de construcción, entre otras aspectos.

### Figura 10.

*Fraccionamientos de viviendas de construcción en serie, Mexicali, Baja California*





**FAD**  
Facultad de  
Arquitectura  
y Diseño



**FCITEC**  
Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología  
Unidad de los Polímeros

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

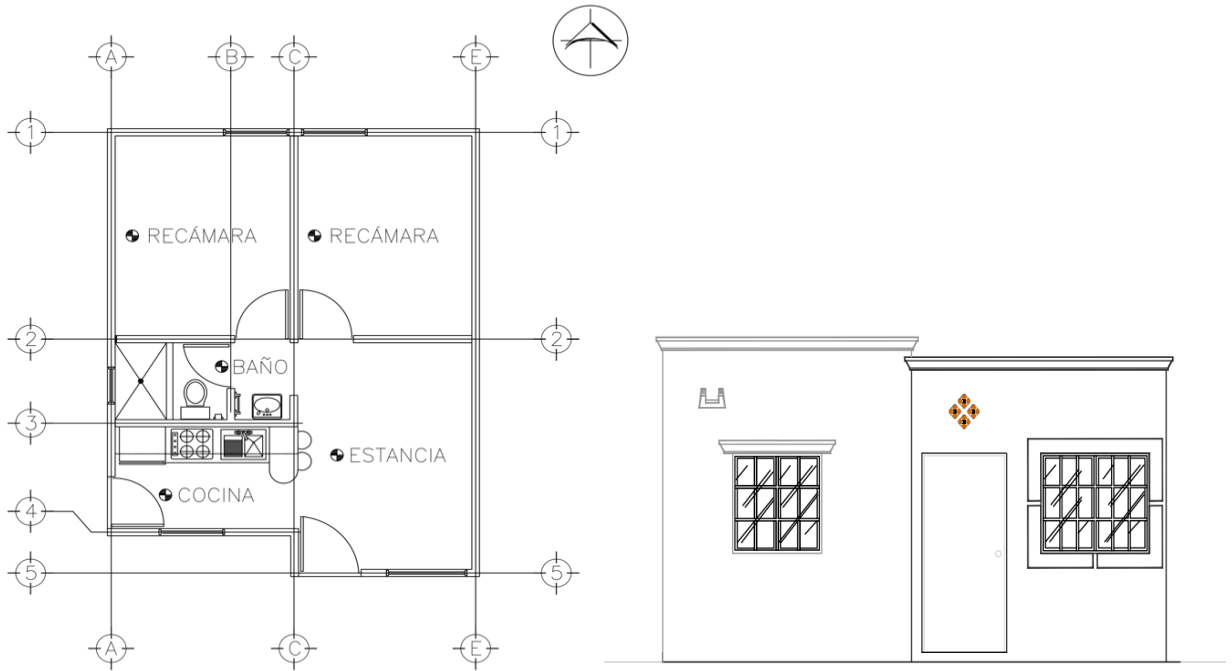
#### 4.2.1. Caso Base

Se consideró como Caso Base el tipo de vivienda unifamiliar, de un solo nivel, ubicado en un terreno de 120.05 m<sup>2</sup> con una superficie de construcción de 41.24 m<sup>2</sup>, adosada en uno de sus lados al límite de propiedad, con fachada principal en la orientación sur. La vivienda cuenta con dos recámaras, un baño completo, área de sala – comedor y la cocina (figura 11a).

Por otra parte, el sistema constructivo es el predominante en el mercado inmobiliario local, el cual consta de muros de bloque de concreto de 0.12 x 0.20 x 0.40 m con celdas coladas a cada 0.61 m con concreto  $f_c=140 \text{ kg/cm}^2$ . Mientras que la cubierta es de vigueta y bovedilla de 0.17m (figura 11b) a base de concreto  $f_c=200 \text{ kg/cm}^2$  y acero de refuerzo #3 (0.0071 m); recubierta con malla de refuerzo de fibra de vidrio y dos capas de emplaste floteado, acabado fino y recubierto con pintura elastomérica. En la tabla 3 se muestran las áreas de la envolvente del prototipo de vivienda que influyeron en el estudio de las técnicas de la vivienda.

**Figura 11a.**

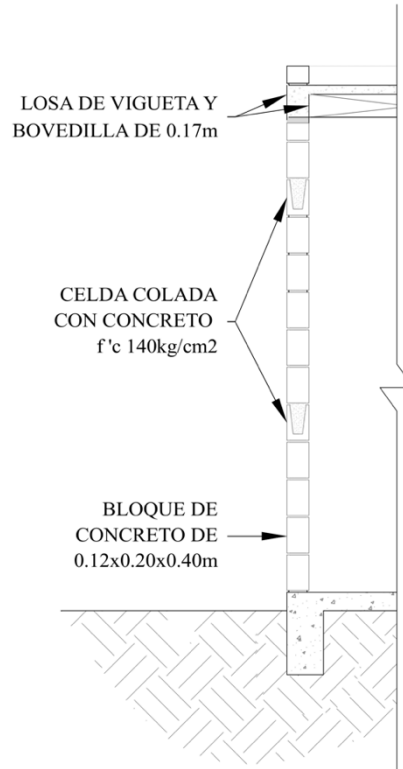
*Caso Base: Planta arquitectónica y fachada principal*



*Nota.* Elaboración a partir de los planos arquitectónicos RUBA Residencial, 2011.

**Figura 11b.**

*Sistema constructivo del CB*



**Tabla 3.**

*Áreas de la envolvente del prototipo de vivienda*

Orientación	Muros (m <sup>2</sup> )	Ventanas (m <sup>2</sup> )	Total (m <sup>2</sup> )
Norte	15.47	2.20	17.67
Sur	14.02	2.38	16.40
Este	22.04	N/A	22.04
Oeste	20.25	0.37	22.62
Total	72.15	4.95	77.10
Área de techos	41.24 m <sup>2</sup>		



*Nota.* En la tabla se observa que los muros son los que tienen mayor m<sup>2</sup> de toda la envolvente, por ello las técnicas que aplicaron en esas zonas.

#### **4.2.2. Criterios de selección de técnicas de adecuación ambiental en caso base**

Para la selección de las TAA, se llevó a cabo una revisión teórica acerca de las estrategias y técnicas favorables para las viviendas en climas cálidos, cálidos secos y, especialmente, en cálidos secos extremos en donde resultó que la mejor estrategia de control para estos tipos de clima es la de *resistencia de ganancias* (Watson y Labs, 1983), y debido a las condiciones climáticas obtenidas a través del diagnóstico bioclimático de Mexicali (sección 3.1.1) se determinó aplicar técnicas que minimizaran el flujo de calor conductivo.

De la misma revisión realizada se obtuvo el anexo 1, del cual se observó que, por los beneficios energéticos y térmicos, las técnicas que se utilizan frecuentemente son: la orientación, el sombreado, la ventilación natural, ventilación cruzada, ventilación nocturna, fachadas ventiladas con cámara de aire, absortividad, aislamiento térmico, vegetación, infiltración, masa térmica, entre otras. Si bien existe una amplia variedad para la mejora de la vivienda, algunas son propiamente del diseño inicial, por lo tanto, éstas se descartaron, debido a que la presente investigación busca incidir no solo en construcciones futuras sino también en las existentes.



**FAD**  
Facultad de  
Arquitectura  
y Diseño



**FCITEC**  
Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología  
Unidad de los Politécnicos

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

Por otra parte, en las normas y códigos para la eficiencia energética y/o conservación de energía como la NOM-020-ENER-2011, el CEV, el IECC - México, mencionan que para poder cumplir con condiciones de confort térmico y disminuir los consumos energéticos es necesario y fundamental el uso del aislamiento térmico, por ello, esta fue una de las técnicas seleccionadas, además, presenta resultados de ahorro de energía entre 20 y 35.5% (Farouh y Amer, 2016; Friess y Rakhshan, 2017; Mercado et al., 2010).

Así pues, la FVO con cámara de aire es una técnica que puede ser aplicada tanto en la construcción de futuras viviendas como en la existente, además, con la correcta aplicación (selección de sistema constructivo en el muro doble y espesor adecuado) puede llegar a reducir la temperatura de bulbo seco en la cámara de aire hasta 18 °C (Barbosa e Ip, 2014; Berli et al., 2018; Luciani-Mejia et al., 2018; Rubiano-Martín, 2016; Sotelo-Salas et al., 2019).

Por lo tanto, la selección de las TAA para la aplicación en el CB y su evaluación, fueron el aislamiento térmico y la fachada ventilada opaca con cámara de aire.

#### **4.2.3. Casos de estudio: Caso Base modificado con técnicas de adecuación ambiental**

Las TAA se aplicaron en las superficies verticales de la envolvente de la vivienda, por tener una mayor área expuesta al impacto del clima, como se observó en la Tabla 3. En la tabla 4 se presenta el caso base modificado con la aplicación de aislamiento térmico (Técnica A) y la fachada ventilada opaca con cámara de aire (Técnica B). En la técnica A se aplicó una capa de 0.0254 m (1") de poliestireno expandido sobre muro de bloque de



concreto; mientras que en la técnica B, además de los diferentes espesores en la cámara de aire (0.10 m, 0.15 m, 0.20 m, 0.25, 0.30 y 0.35 m), se eligió el sistema constructivo del muro doble, el cual fue un sistema ligero de tablaroca con muros a base de estructura tubular rectangular PTR de 0.0762 m (3") a cada 0.60 m (24") en ambos sentidos, hoja de yeso de 1.22 m (4') por 2.43 m (8') de 0.0127m (½") en la cara interior, aislante térmico de fibra de vidrio en rollo, y acabado exterior hoja de cemento fibrado 0.0127m (½") (durock), allí mismo se propusieron rejillas para la circulación del aire natural dentro de la cámara de aire (figura 12a).

Finalmente, la técnica C fue con la combinación de las técnicas A y B; en un caso con la opción que presentó mayores beneficios del B y la más castigada de la A y el otro caso, con la opción de mayores ahorros de ambas técnicas (figura 12b).

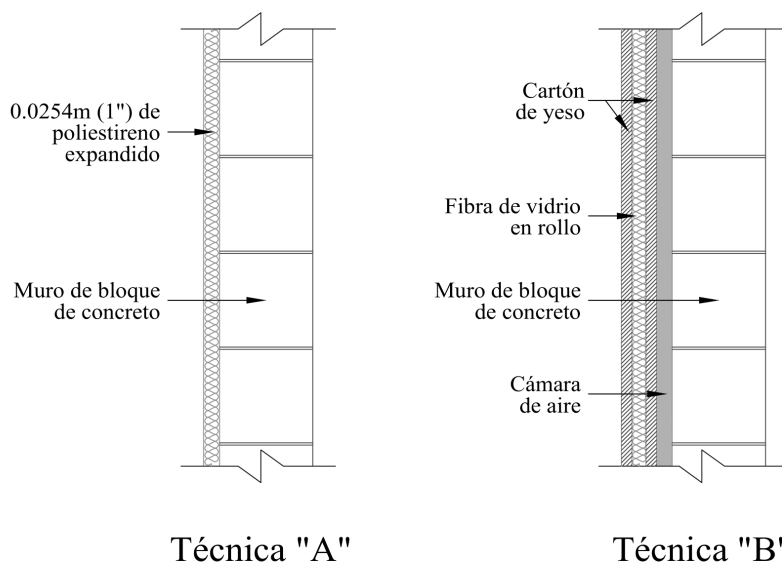
#### **Tabla 4.**

*Casos de estudio*

Nombre	Descripción
CB	Caso Base.
A	Caso Base con técnica de aislamiento de poliestireno expandido.
A1	Caso Base con 0.0254 m de aislamiento con orientación sur.
A2	Caso Base con 0.0254 m de aislamiento con orientación oeste.
A3	Caso Base con 0.0254 m de aislamiento con orientación norte.
A4	Caso Base con 0.0254 m de aislamiento con orientación este.
B	Caso Base con técnica de cámara de aire.
B1	Caso Base con separación de 0.10 m.
B2	Caso Base con separación de 0.15 m.
B3	Caso Base con separación de 0.20 m.
B4	Caso Base con separación de 0.25 m.
B5	Caso Base con separación de 0.30 m.
B6	Caso Base con separación de 0.35 m.
C	Caso Base con combinación de técnica A y B.
C1	Caso Base con (A1 y B6).
C2	Caso Base con (A4 y B6).

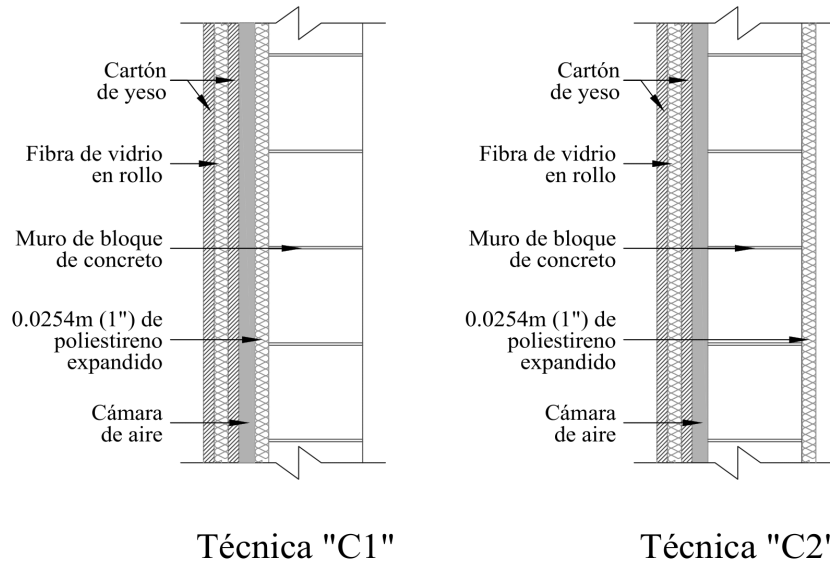
**Figura 12a.**

*Representación de técnicas A y B en los casos de estudio*



**Figura 12b.**

*Representación de técnica C en los casos de estudio*



### 4.3 Condiciones de la evaluación

En este apartado se describirán todas las variables, archivos, fórmulas, programas, modelos, características y todo lo necesario para llevar a cabo las evaluaciones de simulación térmico-energética, así como la evaluación de factibilidad económica que se realizó para la presente investigación.

#### 4.3.1 Condiciones de la simulación térmico – energética

Se utilizó el programa de simulación térmico-dinámica Design Builder® versión 5.4.0.021, (sección 3.3.1 del capítulo 3.3 *Métodos de Evaluación*). Los datos ingresados en la *Plantilla de Sitio* fueron el archivo meteorológico EPW CZ15RV2 de El Centro, CA,



proporcionado por el Dr. Luna y, en el apartado *Datos Climáticos para Diseño de Refrigeración* en la sección *Temperaturas Nominales Mensuales*, se registraron las cifras de *Temperaturas Nominales de Bulbo Seco* y *Temperaturas Coincidentes de Bulbo Húmedo Medias* que vienen en el mismo EPW de la ciudad. Se estableció como período de evaluación el correspondiente a la fase cálida de Mexicali, el cual comprende de mayo a octubre. Además, se crearon los nuevos cerramientos (sistemas constructivos) que se utilizaron en el proyecto, se programaron plantillas de actividades de los usuarios, de equipos electrodomésticos, de iluminación y del sistema de refrigeración, allí se especificó hora y tiempo de uso durante las 24 horas del día, esto mediante el uso del programa *CARGA\_ELEC\_Eq-Ilu\_Actual* (Luna, 2020).

Para la evaluación, el simulador térmico – dinámico requirió las especificaciones de los sistemas constructivos, es decir, el valor U que se utilizó en cada uno de los casos de estudio (tabla 5a). Dichos valores, el del CB y la técnica A, se obtuvieron mediante el programa Design Builder ®, esto fue al registrar las propiedades termofísicas de los materiales, tales como la conductividad térmica (W/m °C), el calor específico (J/kg °C) y la densidad (kg/m<sup>2</sup>) y el espesor de cada capa, así con esos datos el simulador calculó el valor U (tabla 5b).

Asimismo, se consideró el efecto de las cargas internas, tales como equipos electrodomésticos, actividades de los usuarios, iluminación artificial, equipo de enfriamiento (tabla 5c) programadas previamente para el CB seleccionado mediante el programa *CARGA\_ELEC\_Eq-Ilu\_Actual* (Luna, 2020). Además, las simulaciones



realizadas para el evaluar el confort térmico se analizaron con ventilación natural, esto con la finalidad de mostrar el impacto que presentó cada técnica en confort térmico al interior de la vivienda, mientras que para el consumo energético si se tomó en cuenta el uso del aire acondicionado (HVAC, por sus siglas en inglés).

Por otra parte, la técnica A (aislamiento térmico) se evaluó la capa de 0.0254 m de poliestireno expandido en cada una de las orientaciones básicas; mientras que la técnica B solo se aplicó en la orientación crítica de la técnica A (sur), en el análisis se consideró el sistema constructivo del muro doble (cartón de yeso de 0.12m con fibra de vidrio en rollo) la cámara de aire considerada por el simulador como otra zona inhabitable por la que circulaba el aire exterior, este fenómeno se dio por medio de las rejillas implementadas en la parte superior e inferior del muro doble (figura 13).

Por último, en la técnica C se evaluó la combinación de la A y la B, es decir, se tomó en cuenta el aislamiento térmico y la fachada ventilada opaca con cámara de aire. Esto, con la finalidad de lograr una comparación de las dos técnicas para visualizar la mejor opción en ahorro de consumo energético y en el aumento de las condiciones habitabilidad térmica de la vivienda.

Por lo que, lo anterior permitió obtener resultados de desempeño térmico - energético y de condiciones de habitabilidad térmica en función de energía a retirar (refrigeración sensible de zona), ganancias de calor por muro ( $\text{kW}/\text{m}^2$ ) y confort térmico, este último fue con base al modelo Predicted Mean Vote (PMV).

Para el análisis de los datos, en especial los de confort térmico, se tuvieron que ingresar los datos obtenidos por el simulador a una hoja de cálculo diseñada por Luna



(2019), para presentar datos en la escala establecida por el modelo PMV (tabla 5d) de la norma ISO-7730 (International Organization for Standardization [ISO], 2005).

**Tabla 5a.**

*Coefficiente global de transferencia de calor (valor U)*

Nombre	Sistema constructivo	Valor "U" (W/m <sup>2</sup> °C)
CB	Muro de bloque de concreto de 0.12m, celda colada.	2.932*
	Techo de vigueta y bovedilla 0.17m	0.860*
A	Muro de bloque de concreto 0.12m con una capa de poliestireno expandido 0.0254 m (1")	0.988*
B	Muro de cartón de yeso de 0.12 m con fibra de vidrio en rollo y cámara de aire (espesor variable)	0.424**

*Nota.* \* Valor U obtenidos del simulador Design Builder ®. \*\* Valor obtenido del programa Estimación de valor R<sub>U</sub> y Flujo de Calor (Luna, 2019b).

**Tabla 5b.**

*Propiedades termofísicas de los sistemas constructivos*



Nombre	Sistema constructivo*		Espesor (m)	Propiedades termofísicas		
				Conductividad térmica	Calor específico	Densidad
				W/m °C	J/kg °C	Kg/m <sup>3</sup>
CB	Cubierta**	Pintura elastomérica flexible	0.0030	0.050	1500	70
		Vigueta y bovedilla	0.17	0.21	1207	794
		Yeso	0.020	0.43	1000	1200
	Muro	Mortero cemento – arena	0.010	0.8200	840	1680
		Bloque de concreto con celda colada	0.12	1.0100	837	1824
		Cartón de yeso	0.010	0.2500	1000	900
A	Muro	Mortero cemento – arena	0.010	0.8200	840	1680
		Poliestireno expandido	0.0254	0.0370	1450	16
		Bloque de concreto con celda colada	0.12	1.0100	837	1824
		Cartón de yeso	0.010	0.2500	1000	900
B	Muro	Cartón de yeso y fibra de vidrio en rollo ***	0.12	0.0569	1060	653
		Cámara de aire	R-0.16192****			

*Nota.* Técnica A: Aislamiento térmico (0.0254m de poliestireno expandido). Técnica B: Fachada ventilada opaca (FVO) con cámara de aire. \*El orden de los materiales que conforman el sistema constructivo está colocado de la capa externa a la interna. \*\* Se utilizó la misma cubierta en el caso A y B. \*\*\* Sistema constructivo empleado en el muro doble. \*\*\*\* Corresponde a la resistencia térmica del material.

**Tabla 5c.**

*Consideraciones del simulador*

Nombre	Tipo	Cantidad	Consumo energético total *
Usuarios	Personas	4	4,027 W
Equipos electrodomésticos	Quemador de estufa	2	
	Microondas	1	
	Cafetera	1	
	Licuada	1	



	Televisión	3	19,742 W
	Teléfono inalámbrico	1	
	Cargador de celular	5	
	Modem	1	
	Laptops	1	
	Extractor de aire para baño	1	
	Secador de pelo	1	
	Rasuradora eléctrica	1	
Luminaria	Foco incandescente de 100 W	5	2,550 W
	Foco incandescente de 60 W	2	
Aire acondicionado	Mini split de 3.28 CoP **	3	18,736.7 W

*Nota.* \* El consumo de energía total es por el período cálido, de mayo a octubre. \*\* CoP es el Coeficiente de rendimiento.

**Tabla 5d.**

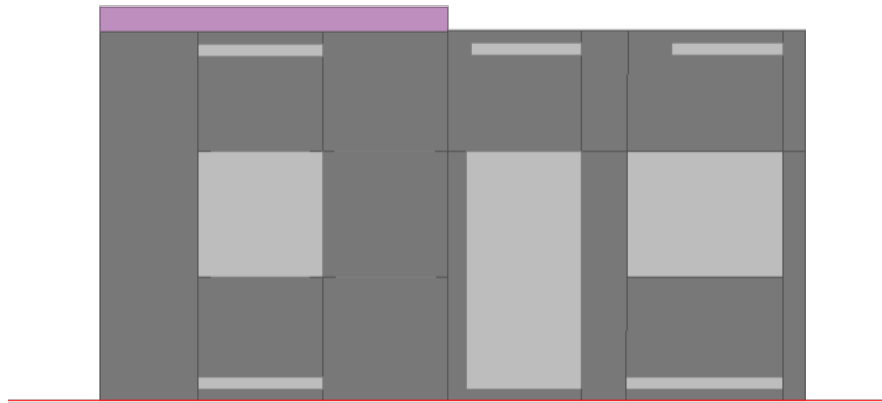
*Modelo de Confort PMV*

Modelo	Norma	Escala de confort	
PMV	ISO-7730	< -3	Muy frío
		-3 a -2	Frío
		-2 a -1	Ligeramente frío
		-1 a -0.5	Confortablemente frío
		-0.5 a 0.5	Confort
		0.5 a 1	Confortablemente caliente
		1 a 2	Ligeramente caliente
		2 a 3	Caliente
		> 3	Muy caliente



**Figura 13.**

*Representación de la técnica B en programa Design Builder ®*



#### **4.3.2 Condiciones de la evaluación económica**

La evaluación económica de los casos de estudio se hizo con base en lo expuesto en las secciones 3.3.2 y 3.3.2.1. Para realizar el análisis se utilizó el criterio del Valor Presente Neto (VPN), con este se puede llevar a cabo la toma de decisión sobre la factibilidad del proyecto, ya que contempla los ingresos y egresos futuros, y se obtienen resultados con el cambio de moneda actual (Baca, n.d.). Para obtener el VPN es necesario el Flujo Neto de Efectivo (FNE), el cual corresponde a la ganancia neta que se obtiene después de los impuestos del año.

Aunado a lo anterior, se consideraron otros aspectos tales como, el costo total de la inversión inicial que tendrá que realizar el usuario en cada una de las técnicas propuestas, el costo del mantenimiento menor (dos años y medio) y mayor (cinco años) para cada sistema



constructivo empleado (tabla 6a), el período de estudio (cálido: mayo-octubre), la tasa de inflación anual (4%), los costos obtenidos del consumo de energía eléctrica de cada caso de estudio y los años de vida útil de la vivienda (30 años). Como ya se ha mencionado anteriormente, se utilizó la fórmula del valor presente neto, la cual es:

$$VPN = -P + \frac{FNE}{1 + i^n} + \frac{FNE}{1 + i^n} + \dots \quad [1]$$

En donde  $P$  corresponde a la inversión inicial,  $FNE$  al flujo neto de efectivo del año  $n$  (ganancia neta después de los impuestos del año) e  $i$  es la tasa de inflación anual (Baca, 2013).

Así pues, para obtener el dato del costo de consumo de energía se recurrió al apoyo de programas como el *COSTO de energía CFE 2019* (Luna, 2019a), mientras que la tasa de inflación anual se obtuvo del Índice Nacional de Precios al Consumidor (INEGI, 2020) y los costos de inversión inicial de los materiales y/o sistemas constructivos así como del mantenimiento mayor y menor de un catálogo de precios unitarios con base en los costos que se manejan actualmente en el mercado en la ciudad de Mexicali, B.C.

Asimismo, se utilizó la fórmula de beneficio-costo, esto por los motivos mencionados en la sección 3.3.2.2 y con la finalidad de conocer factibilidad de la aplicación de cada una de las técnicas, es decir, si éstas presentaban algún beneficio económico futuro o si no existía tal. La fórmula utilizada para esto fue:

$$Relación\ B/C = \frac{Valor\ presente\ de\ los\ ingresos}{Valor\ presente\ de\ los\ costos} \quad [2]$$



Lo que en la investigación representa la división del total del VPN sobre el costo total de los mantenimientos de cada una de las técnicas (tabla 6b).

**Tabla 6a.**

*Consideraciones de la evaluación económica (VPN)*

Costos (pesos mexicanos)					
Muros		Sistemas constructivos			
		Inversión inicial		Mantenimiento	
Orientación	Área (m <sup>2</sup> )	Poliestireno expandido <sup>1</sup>	Tablaroca <sup>2</sup>	Mayor <sup>3</sup>	Menor <sup>4</sup>
Norte	15.47	3,545.56	9,220.12	1,856.40	1,284.01
Sur	14.02	3,213.24	8,355.92	1,682.40	1,163.66
Este	22.04	5,051.34	13,135.84	2,644.80	1,829.32
Oeste	20.25	4,641.09	12,069.00	2,430.00	1,680.75

*Nota.* <sup>1</sup> El costo de poliestireno expandido sobre muro existente por m<sup>2</sup> es de \$229.19. <sup>2</sup> El costo por m<sup>2</sup> de tablaroca con aislamiento de fibra en rollo sobre muro es de \$596.00. <sup>3</sup> Emplastes, reposición de esquineros, reparación de grietas (material y mano de obra) \$120.00 (por m<sup>2</sup> de muro). <sup>4</sup> Pintura con resanes, calafateado de grietas (material y mano de obra) \$83.00 por m<sup>2</sup> de muro.

**Tabla 6b.**

*Beneficio/costo: Valores de los casos de estudio*

Nombre	Valor Presente Neto (VPN) total	Costo total de mantenimientos
A1	\$ 35,324.58	\$ 15,393.96
A2	\$ 49,292.85	\$ 22,234.50
A3	\$ 29,552.53	\$ 16,986.06
A4	\$ 61,496.02	\$ 24,199.92



B1	\$ 32,319.70	\$ 15,393.96
B2	\$ 21,356.46	
B3	\$ 19,535.58	
B4	\$ 19,355.38	
B5	\$ 18,957.07	
B6	\$ 18,738.94	
C1	\$ 14,539.39	\$ 39,593.88
C2	\$ 53,139.53	

*Nota.* Los precios son en moneda mexicana.

#### 4.4 Procesamiento de datos

Para el manejo de los resultados obtenidos en cada una de las evaluaciones se utilizaron diferentes herramientas y programas. con ello se logró el manejo adecuado para poder analizar, procesar y finalmente presentar los resultados.

##### 4.4.1 Procesamiento de datos térmico – energético

Los resultados energéticos obtenidos de las simulaciones realizadas fueron del período cálido, por lo que se mostraron datos de los seis meses de verano (mayo a octubre), esto mediante gráficas y tablas, al dejar ver de manera clara el caso favorable y el crítico de cada técnica simulada.

Mientras que los resultados de confort térmico se analizaron de manera distinta, se requirieron evaluaciones anuales, debido a que una vez obtenidos los datos éstos se exportaron a una hoja de cálculo proporcionada por Luna (2019), en la cual era necesario



ingresar las cifras arrojadas por el simulador de la variable de confort PMV, así de esta forma se logró obtener los porcentajes de confort en el período de verano de cada una de las técnicas simuladas, y con estos mismos datos se realizaron las gráficas de las condiciones de confort logradas al interior de la vivienda.

#### **4.4.2 Factibilidad económica**

En el caso del análisis de factibilidad económica, como ya se mencionó, se utilizaron dos criterios, pero para ello fue necesario obtener primero los resultados de consumo energético, esto se logró mediante el programa Design Builder® y el programa *COSTO de energía CFE 2019*, con ello se convirtieron los resultados de kWh en pesos mexicanos. Una vez que se obtuvieron los costos de consumo energético se hizo uso de la fórmula VPN, allí se utilizaron los mismos valores para cada uno de los casos de estudio para la tasa de inflación anual y en los años de vida útil, mientras que el monto de consumo energético y el de costo de la inversión inicial varían según el tipo de técnica implementada. Todos los valores y datos obtenidos se vaciaron al programa *TABLA GENERAL FV 5.0* (Luna y Olvera, 2020), el cual consta de una hoja de cálculo programada con las fórmulas del VPN y el beneficio/costo, de tal manera se logró obtener los resultados de cada uno de los casos de estudio propuestos.

Finalmente, se trabajó en las gráficas y tablas de los diferentes resultados obtenidos, esto con el propósito de mostrar el impacto de cada uno de los casos de estudio sobre el caso base (CB).



## 5. RESULTADOS

En este capítulo se muestran los resultados de los casos de estudio evaluados con las técnicas de adecuación bioclimática presentados anteriormente: ganancias de calor por muro (kWh), energía a retirar o refrigeración sensible de zona (kWh) y confort térmico (%), así como los resultados de la evaluación económica, valor presente neto (VPN) y beneficio-costo, ambos en moneda mexicana.

### 5.1 Resultados térmico-energéticos

A continuación, mediante tablas y figuras, se presenta lo obtenido en el desempeño energético (5.1.1) y confort térmico (5.1.2) con la aplicación de las Técnicas de Adecuación Ambiental (TAA) de aislamiento térmico y fachada ventilada opaca con cámara de aire.

#### 5.1.1 Consumo energético: ganancia de calor y energía a retirar

Los resultados de ganancias de calor se presentaron únicamente en muros, esto debido a que, como se mostró en la tabla 3, los muros representan más  $m^2$  que cualquier otra zona de la envolvente. En la tabla 7a se muestran los resultados obtenidos en kWh de las simulaciones de la técnica A, se observa que en el CB se obtuvo una ganancia total por muros cerca de los 10,000 kWh y además, el caso crítico fue el A1, es decir, si se agrega la capa de 0.0254m de poliestireno expandido en el muro de la vivienda con orientación sur, se obtendrá una reducción mínima (13%) de ganancias de calor, respecto al CB, que con el resto de los casos.



Mientras que en la tabla 7b, se muestra la energía a retirar, refrigeración sensible de zona o carga de enfriamiento, aquí se consideraron todas las cargas interna de la vivienda (CB) que se describieron en la tabla 5a. Lo que dio como resultado de la mejor opción el caso A4 con 2,467.14 kWh (14%) menos de energía a retirar que en el CB y más castigado el A3 con únicamente 1,051.97 kWh (6%).

Por otro lado, en la tabla 7c se muestran los resultados que se obtuvieron, tanto de ganancias de calor como de energía a retirar, en la técnica B. Se observa que, en ganancias de calor por muro respecto al CB, el B6 (mejor caso) redujo poco más 2,000 kWh (21%), y el crítico, el B1 con 1,962.88 kWh (20%) menos. Mientras que, en la carga de enfriamiento se obtuvo que el mejor fue el B1 con 1,330 kWh (8%) menos de energía a retirar y el crítico el B6 con solo 834.93 kWh (5%). Sin embargo, al comparar el CB con el todos los seis casos de estudio de la técnica B resultó que no hubo diferencia significativa, pues los ahorros representaban entre el 5% y 8%.

Asimismo, en la tabla 7d se observan los resultados de la evaluación de la técnica C, de allí se expresa que con base a los resultados del CB, con la aplicación de la técnica C2 reduce más de 4,000 kWh (46%) de ganancias de calor por muro y por carga de enfriamiento son 3,332.22 kWh (19%) menos que en el CB, mientras que el C1 redujo únicamente 2061.46 kWh (21%) en ganancias de calor, es decir, lo mismo algunos casos de la técnica B (B5 y B6), y de energía a retirar solo 795.37 kWh (5%), lo que representa el mismo porcentaje de ahorro que el B2 al B6.



Finalmente, en la figura 14a se muestran los resultados de ganancias de calor y en la figura 14b los de energía a retirar (carga de enfriamiento) por muro con la aplicación de cada técnica obtenidos de cada uno de los casos de estudio evaluados.

**Tabla 7a.**

*Ganancias de calor, técnica A*

Nombre	Ganancias por muro (kWh)	m <sup>2</sup>	Ganancia calor /m <sup>2</sup> de muro
CB	9,988.56	72.15	-
A1	8,716.27	14.02	621.52
A2	7,889.90	20.25	389.57
A3	8,908.25	15.47	575.84
A4	7,444.92	22.04	332.30

*Nota.* Técnica A (0.0254m poliestireno expandido): A1 en muro sur, A2 oeste, A3 norte y A4 este.

**Tabla 7b.**

*Energía a retirar, técnica A*

Nombre	Carga de enfriamiento (kWh)
CB	-17,337.63
A1	-16,113.77
A2	-15,339.30
A3	-16,285.66
A4	-14,870.49



**Tabla 7c.**

*Ganancias de calor y energía a retirar, técnica B*

Nombre	Ganancias por muro (kWh)	Carga de enfriamiento (kWh)
B1	8,025.68	-16,007.1
B2	8,0001.74	-16,411.7
B3	7,977.8	-16,480.3
B4	7,956.3	-16,483.8
B5	7,934.36	-16,496.1
B6	7,911.76	-16,502.7

*Nota.* Técnica B (FVO): B1 espesor de cámara de aire de 0.10m, B2 0.15m, B3 0.20m, B4 0.25m, B5 0.30 y B6 0.35m

**Tabla 7d.**

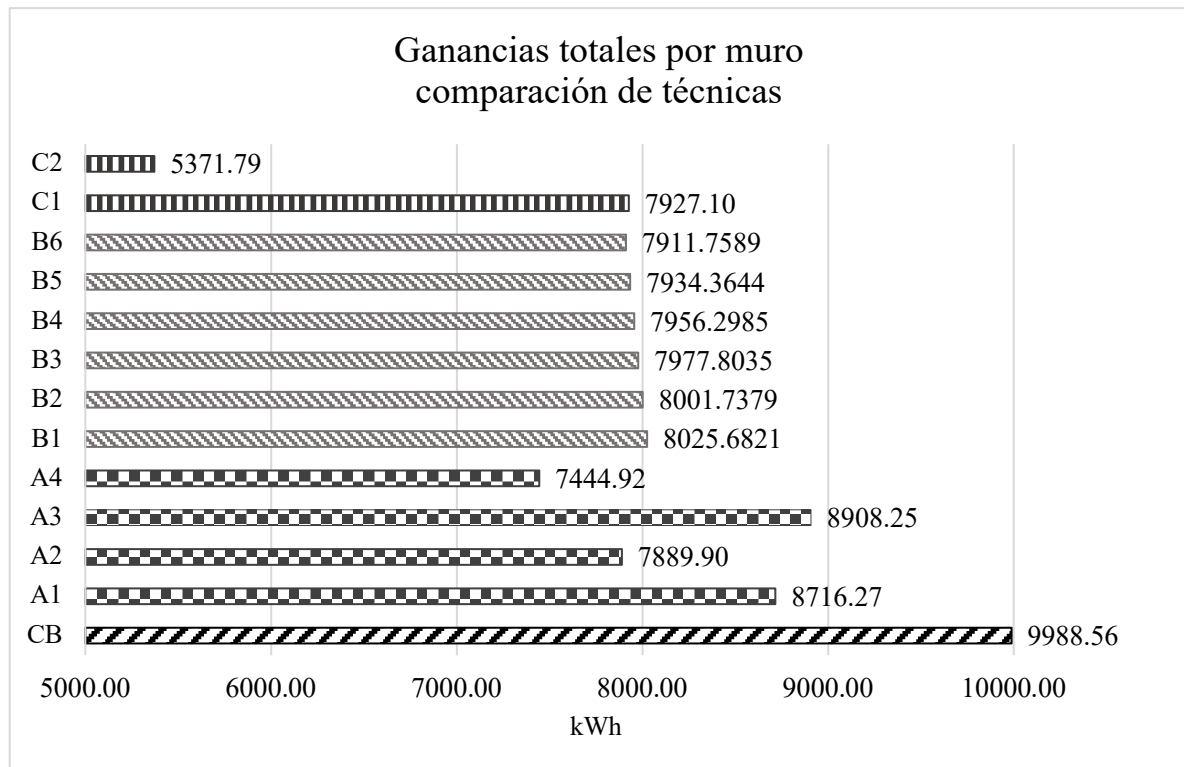
*Ganancias de calor y energía a retirar, técnica C*

Nombre	Ganancias por muro (kWh)	Carga de enfriamiento (kWh)
CB	9,988.56	-17,337.63
C1	7,927.10	-16,542.26
C2	5,371.79	-14,005.41




*Nota.* Técnica C (combinación de A y B): C1 con A1 y B6, C2 con A4 y B6.

**Figura 14a.**

*Desempeño energético de los casos de estudio; Ganancias de calor*

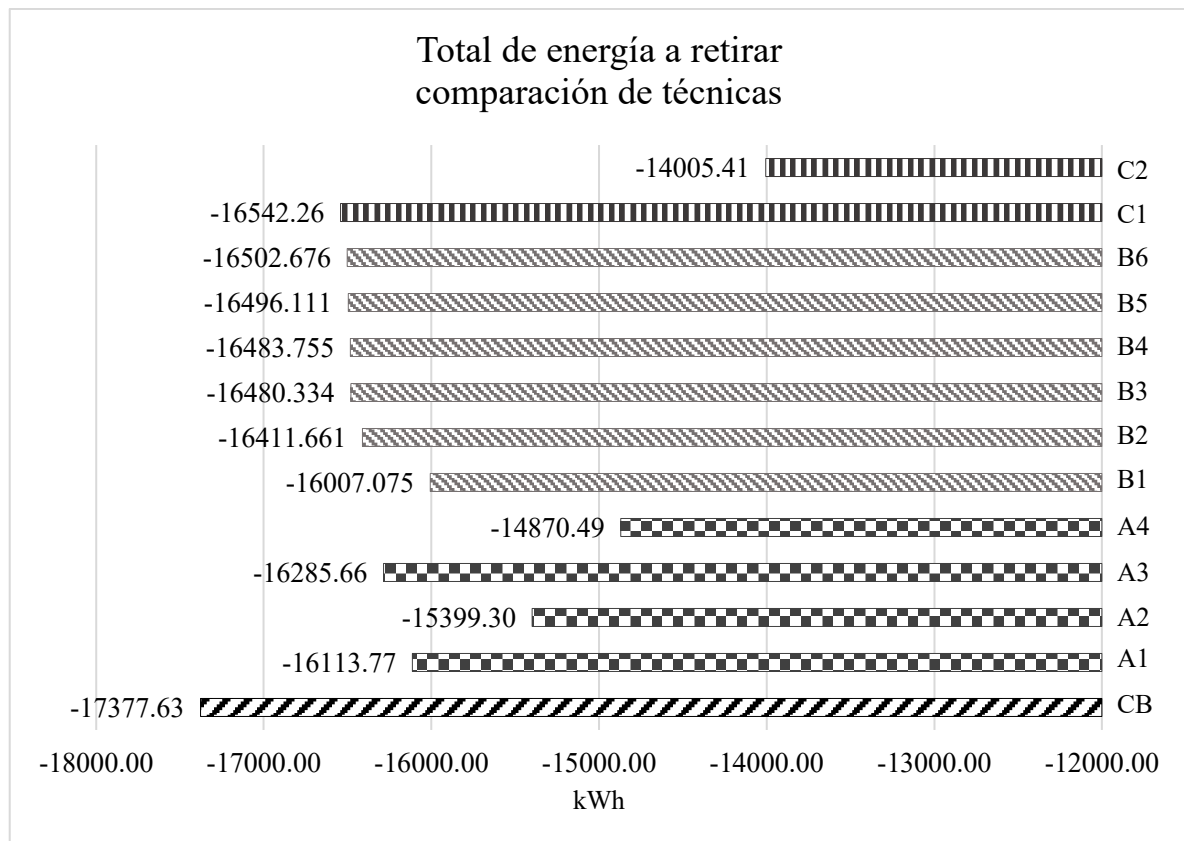


*Nota.*




-  Técnica A (0.0254m poliestireno expandido): A1 en muro sur, A2 oeste, A3 norte y A4 este;
-  Técnica B (FVO): B1 espesor de cámara de aire de 0.10 m, B2 de 0.15 m, B3 de 0.20 m, B4 de 0.25 m, B5 de 0.30 y B6 de 0.35 m;
-  Técnica C (combinación de A y B): C1 con A1 y B6, C2 con A4 y B6.

**Figura 14b.**

*Desempeño energético de los casos de estudio; Energía a retirar*



*Nota.*

-  Técnica A (0.0254m poliestireno expandido): A1 en muro sur, A2 oeste, A3 norte y A4 este;
-  Técnica B (FVO): B1 espesor de cámara de aire de 0.10 m, B2 de 0.15 m, B3 de 0.20 m, B4 de 0.25 m, B5 de 0.30 y B6 de 0.35 m;
-  Técnica C (combinación de A y B): C1 con A1 y B6, C2 con A4 y B6.



### 5.1.2 Confort térmico: PMV

En la evaluación de confort térmico del CB se obtuvo que, en el período cálido la vivienda está a 100% (4399 horas) de confort térmico, esto si se toma en cuenta que el período cálido en las viviendas mexicalenses se mantiene el HVAC siempre encendido (tabla 8a). Sin embargo, si se considera únicamente el uso de la ventilación natural, esto con el propósito de mostrar el efecto de cada una de técnicas en condiciones naturales, se obtiene un 17.8% (269 hroas) de confort térmico en el CB, únicamente en el período cálido.

Por otro lado, la técnica A (aislamiento térmico) presentó un mayor confort térmico de 4.5% a 5.6% respecto al CB, los mejores casos fueron el A2 y el A4 ambos con 31% de mejora en la vivienda con el período cálido (tabla 8b).

En la tabla 8c se muestran los resultados de la técnica B, en donde el caso crítico fue el B2 (0.15m de cámara de aire) con 4.8% de confort térmico al interior de la vivienda en el período cálido más que el CB, y el mejor caso fue el B6 (0.35m de cámara de aire) con 12.2% de mayor confort térmico, mismo que representa 70% de mejora de habitabilidad térmica respecto al CB, por lo que, se concluyó que este caso de estudio es mejor respecto a la técnica A.

Por último, los resultados de la técnica C se observan en la tabla 8d. Estos casos de estudio resultaron las mejores opciones de todas las técnicas evaluadas, pues se obtuvo en el C1 12.7% y en el C2 13.6% mayor confort térmico que en el CB, es decir, mejoran la habitabilidad térmica de la vivienda un 71% y 76%, respectivamente.



Por lo que se determinó que, para obtener mejores condiciones de habitabilidad térmica en la vivienda, la mejor opción es utilizar la técnica C2, es decir, una apropiada combinación de las técnicas de aislamiento térmico y de fachada ventilada opaca (FVO) brinda a los usuarios mayor porcentaje de confort térmico al interior de la vivienda en el período cálido (figura 15).

**Tabla 8a.**

*Condiciones de confort térmico en el CB*

Casos de estudio	Horas de confort en verano	Confort térmico (%)
CB con HVAC	4399	100
CB con ventilación natural	269	17.8

**Tabla 8b.**

*Confort térmico en técnica A*

Nombre	Horas de confort en verano	Confort térmico (%)
CB	269	17.8
A1	360	22.5
A2	385	23.4
A3	358	22.3
A4	394	23.4

*Nota.* Técnica A (0.0254m poliestireno expandido): A1 en muro sur, A2 oeste, A3 norte y A4 este.



**Tabla 8c.**

*Confort térmico en técnica B*

Nombre	Horas de confort en verano	Confort térmico (%)
B1	368	23.3
B2	350	22.6
B3	556	29.6
B4	565	29.9
B5	563	30
B6	575	30.2

*Nota.* Técnica B (FVO): B1 espesor de cámara de aire de 0.10m, B2 0.15m, B3 0.20m, B4 0.25m, B5 0.30 y B6 0.35m

**Tabla 8d.**

*Confort térmico en técnica C*

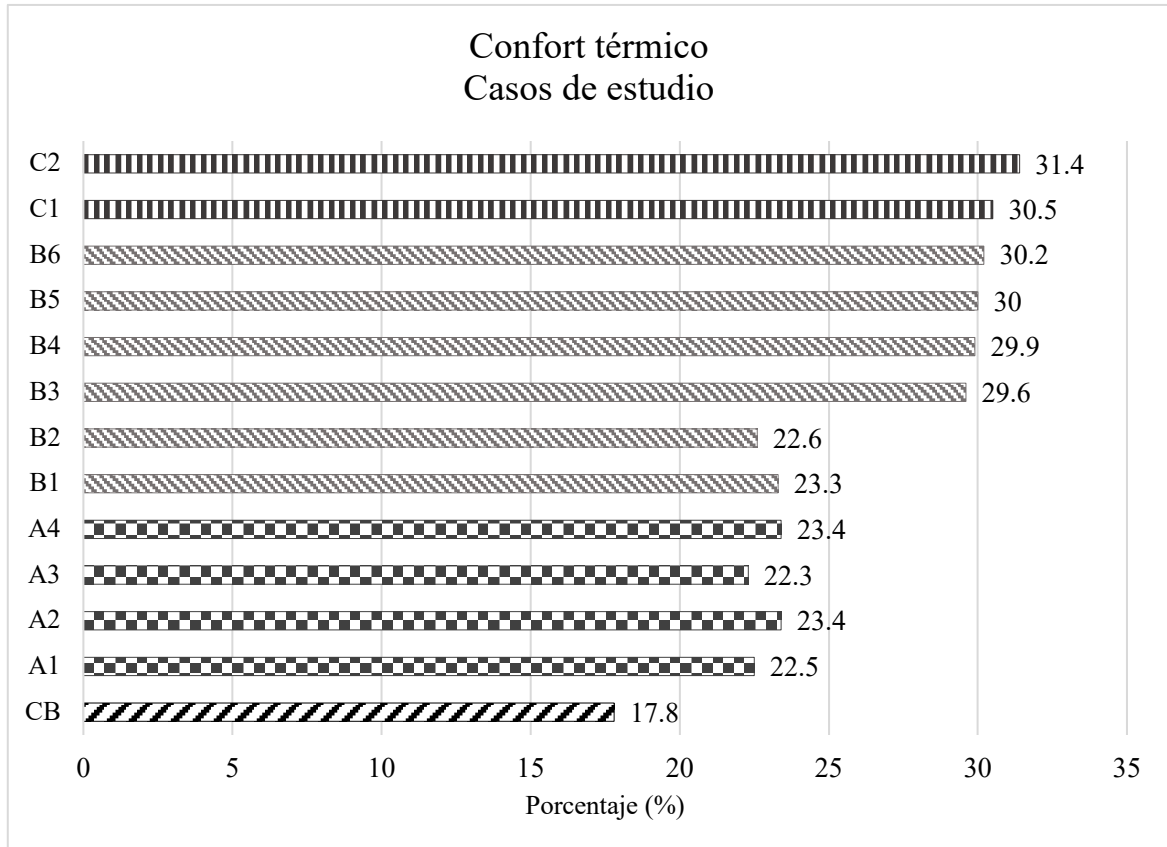
Nombre	Horas de confort en verano	Confort térmico (%)
CB	269	17.8
C1	572	30.5
C2	574	31.4

*Nota.* Técnica C (combinación de A y B): C1 con A1 y B6, C2 con A4 y B6.






**Figura 15.**

*Desempeño de confort térmico en casos de estudio*



*Nota.*

-  Técnica A (0.0254m poliestireno expandido): A1 en muro sur, A2 oeste, A3 norte y A4 este;
-  Técnica B (FVO): B1 espesor de cámara de aire de 0.10 m, B2 de 0.15 m, B3 de 0.20 m, B4 de 0.25 m, B5 de 0.30 y B6 de 0.35 m;
-  Técnica C (combinación de A y B): C1 con A1 y B6, C2 con A4 y B6.



## 5.2 Evaluación económica

Con todas las técnicas propuestas se presentan ahorros de consumo energético respecto al caso base (CB), tal y como se mostró en el apartado 5.1.1, por lo que cualquier técnica que se desee aplicar en la vivienda resultará favorable en cuestión económica, sin embargo, para determinar la mejor opción se utilizaron los valores de las variables mencionadas en la sección 4.3.2, con el propósito de obtener el VPN de cada uno de los casos de estudio.

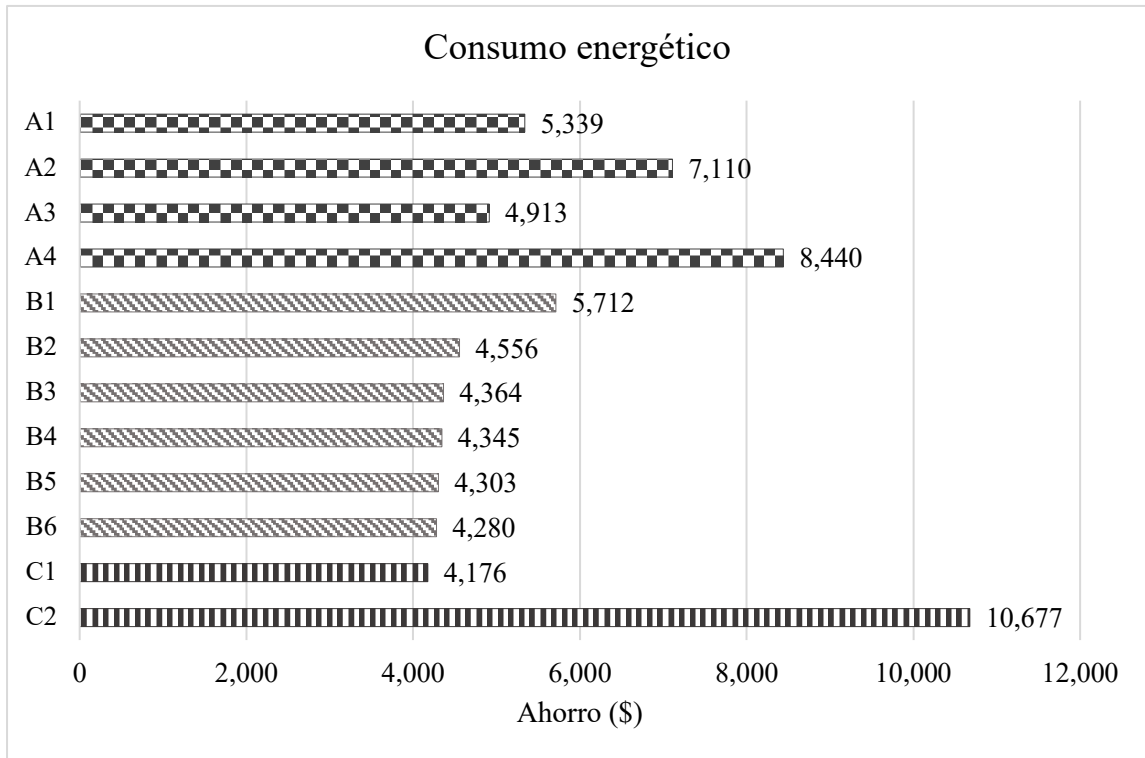
### 5.2.1 Ahorro económico en consumo energético

La obtención de estos resultados fue mediante el programa de *Costo de Energía CFE\_2019* (Luna, 2019), el cual se describió en la sección 4.3.2 del apartado de método. Los ahorros monetarios (pesos mexicanos) anuales durante el período cálido que se obtuvieron con la implementación de los casos de estudio son los que se muestran en la figura 16, la mejor opción, como en los resultados mostrados anteriormente, fue el C2 con 4%, mientras que los casos de menor ahorro fueron el A1, A3 y del B1 al B6 con el 2% de ahorro económico anual por el consumo de energía eléctrica.





Figura 16.

Ahorros de consumo energético respecto al CB



Nota.

 Técnica A (0.0254m poliestireno expandido): A1 en muro sur, A2 oeste, A3 norte y A4 este;

 Técnica B (FVO): B1 espesor de cámara de aire de 0.10 m, B2 de 0.15 m, B3 de 0.20 m, B4 de 0.25 m, B5 de 0.30 y B6 de 0.35 m;

 Técnica C (combinación de A y B): C1 con A1 y B6, C2 con A4 y B6.



### 5.2.2 Valor presente neto (VPN)

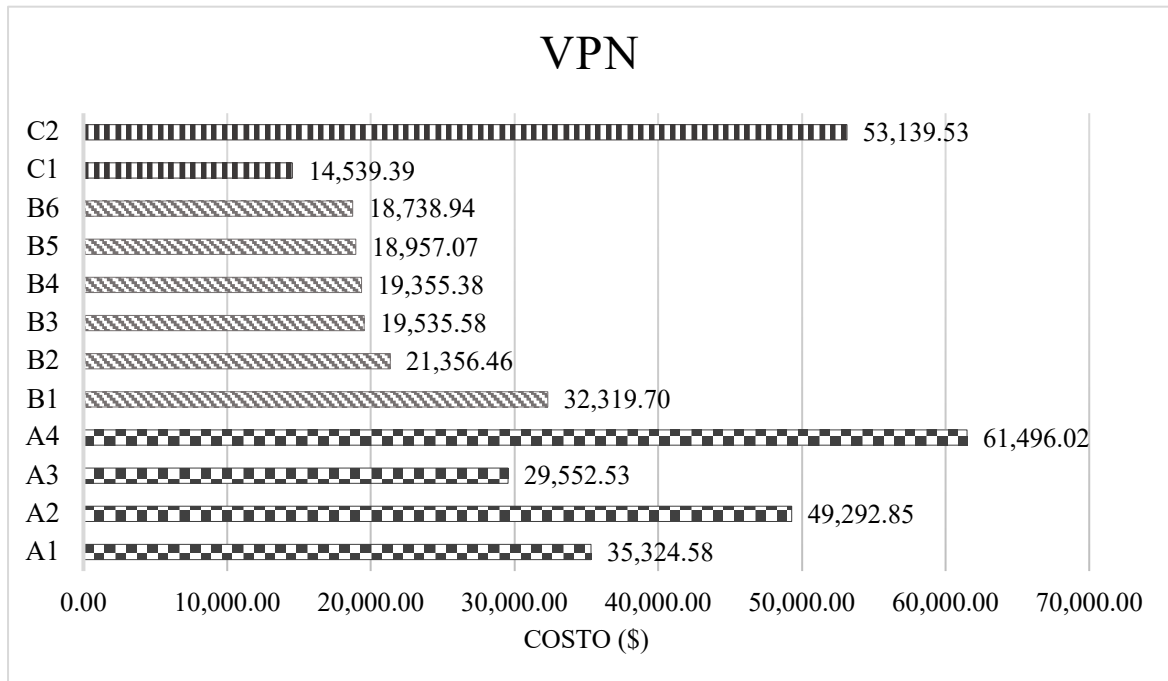
En la figura 17a se observan los ahorros en pesos mexicanos que se obtendrían con cada técnica en un período de vida útil de la vivienda de 30 años con mantenimientos menores (cada dos años y medio) y mayores (cada cinco años). En el caso de mayor beneficio, el A4, se obtuvo un ahorro de más de \$ 60,000 pesos mexicanos (25%) y en el crítico (C1) poco más de \$ 14,000 pesos mexicanos (6%), por lo que, en la evaluación del VPN la técnica A (aislamiento térmico) presenta mayor impacto económico para el usuario.

Por otra parte, en la figura 17b se presentan los costos totales respecto al CB, si no se aplicara ninguna técnica, es decir, tal y como se entregan las viviendas, el gasto del CB sería de 245,898.02 pesos mexicanos, con las mismas consideraciones de mantenimientos y vida útil antes mencionadas. Asimismo, se observa que aún en el análisis de costo – beneficio la mejor opción es el caso A4, pues el usuario ahorraría cerca el 25% respecto al CB, es decir, que si aplica la técnica A4, el usuario pagaría un total de \$ 184,402.00 pesos mexicanos por el consumo de energía eléctrica, es decir, el servicio de luz y el de los manteamientos (menores y mayores) pertinentes en los muros de la vivienda, esto claro, durante los años de vida útil de la vivienda antes mencionados.






**Figura 17a.**

*Ahorros del valor presente neto respecto al CB*



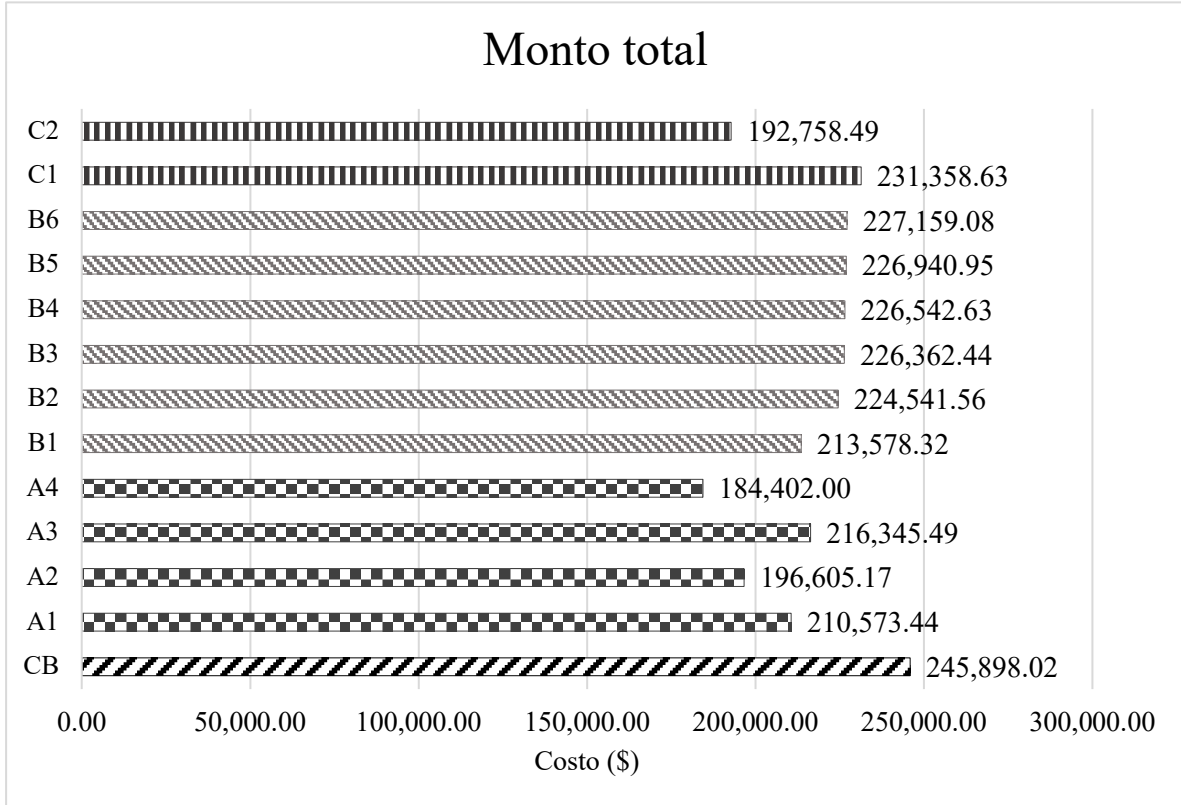
*Nota.*

-  Técnica A (0.0254m poliestireno expandido): A1 en muro sur, A2 oeste, A3 norte y A4 este;
-  Técnica B (FVO): B1 espesor de cámara de aire de 0.10 m, B2 de 0.15 m, B3 de 0.20 m, B4 de 0.25 m, B5 de 0.30 y B6 de 0.35 m;
-  Técnica C (combinación de A y B): C1 con A1 y B6, C2 con A4 y B6.





**Figura 17b.**

*Costos totales de los casos de estudio respecto al CB*



*Nota.*

 Técnica A (0.0254m poliestireno expandido): A1 en muro sur, A2 oeste, A3 norte y A4 este;

 Técnica B (FVO): B1 espesor de cámara de aire de 0.10 m, B2 de 0.15 m, B3 de 0.20 m, B4 de 0.25 m, B5 de 0.30 y B6 de 0.35 m;

 Técnica C (combinación de A y B): C1 con A1 y B6, C2 con A4 y B6.



### 5.2.3 Costo – beneficio

Por otra parte, en la tabla 9 se muestra el costo-beneficio de cada caso de estudio, en dicha tabla se observa que, de acuerdo a lo establecido en la sección 3.3.2.2 sobre las consideraciones del estudio de costo-beneficio, todas las opciones, a excepción del C1, se considera son factibles para aplicarlas en las viviendas de construcción en serie de climas cálidos, cálidos secos y cálidos secos extremosos.

En tal sentido, y al observar los resultados que se obtuvieron de costo-beneficio se podría considerar, al igual que en los resultados VPN y de costos totales, que el caso A4 representa la mejor opción, pues obtuvo 13% de beneficio económico para el usuario en comparación con el resto de los casos de estudio, mientras que el caso más castigado serían el C1 solo con el 5% sobre los otros (figura 18).

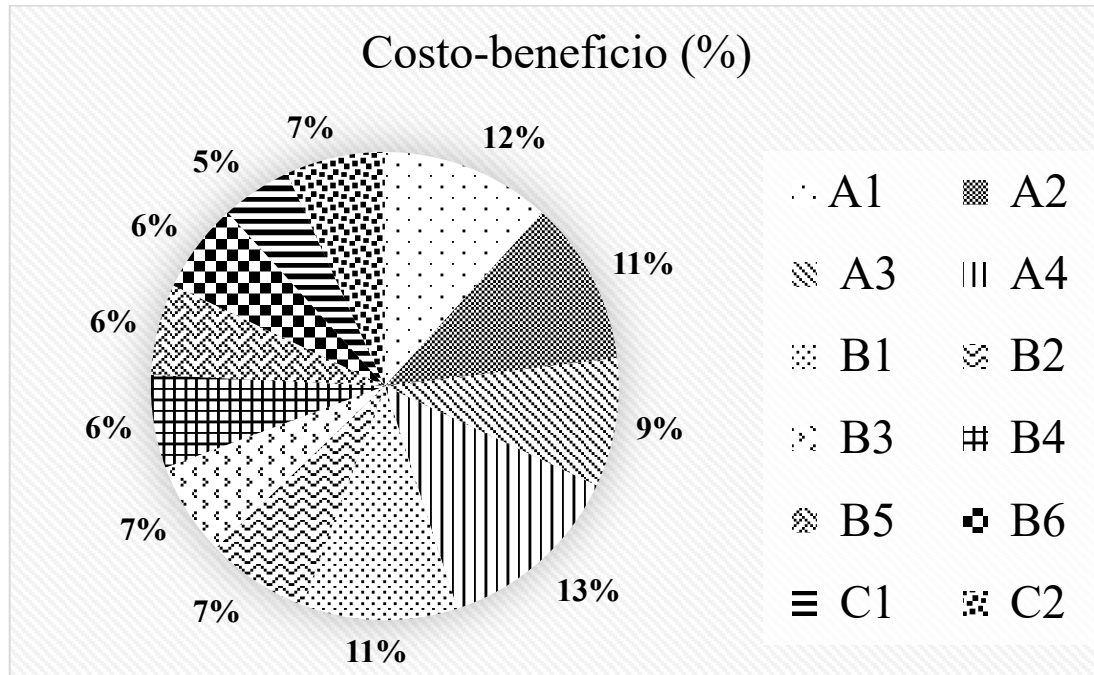
#### Tabla 9.

*Costo - beneficio de los casos de estudio*

Nombre	Costo – Beneficio
A1	2.29
A2	2.22
A3	1.74
A4	2.54
B1	2.10
B2	1.39
B3	1.27
B4	1.26
B5	1.23
B6	1.22
C1	0.94
C2	1.34

**Figura 18.**

*Porcentaje de costo - beneficio de los casos de estudio*



*Nota.* Técnica A (0.0254m poliestireno expandido): A1 en muro sur, A2 oeste, A3 norte y A4 este; Técnica B (FVO): B1 espesor de cámara de aire de 0.10m, B2 0.15m, B3 0.20m, B4 0.25m, B5 0.30 y B6 0.35m; Técnica C (combinación de A y B): C1 con A1 y B6, C2 con A4 y B6.

### 5.3 Interrelación de resultados

Como se mostró en los apartados anteriores, existen beneficios para los usuarios en todos los casos, es decir, en consumo energético, confort térmico y factibilidad económica.



**FAD**  
Facultad de  
Arquitectura  
y Diseño



**FCITEC**  
Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología  
Unidad académica de las Palmas

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

Dado que los resultados se presentaron por separado, se muestra una gráfica comparativa de los tres factores analizados.

En la figura 19 se muestran los porcentajes de ahorro respecto al caso base (CB) de las cinco variables analizadas en la investigación, estas son las ganancias de calor por muro, carga de enfriamiento, confort térmico, VPN y costo – beneficio. Se observa que si bien existen dos técnicas: A4 y C2, que sobresalen de las demás por el beneficio que representan sobre el CB, éstas son en diferentes variables, es decir, el caso A4 es la mejor opción en cuanto al costo-beneficio, pues presentó 2.54% de beneficio, con 1.20 % más que el C2. Sin embargo, el caso C2 es la mejor opción en consumo energético y para mejorar las condiciones de habitabilidad térmica; pues presenta 45% más en confort térmico, 26% menos de ganancias de calor por muro y 4% en cargas de enfriamiento que el A4.

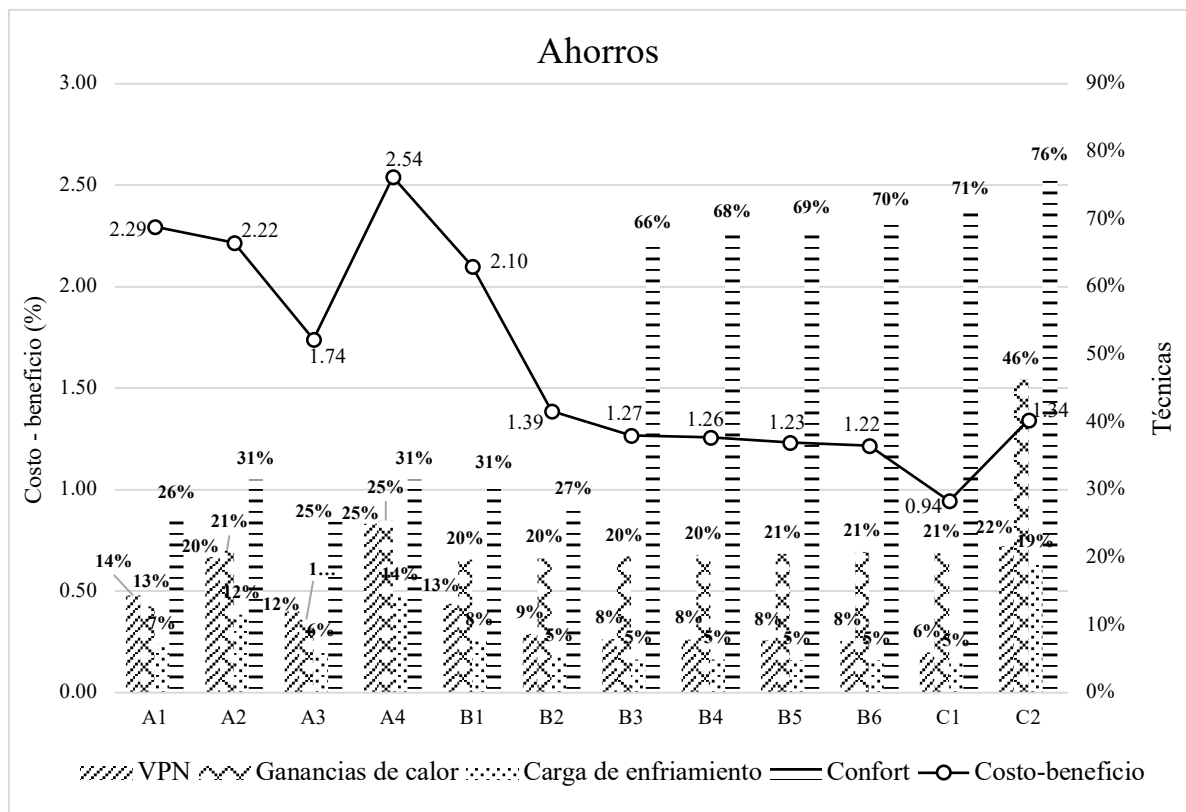
Por lo anterior, se demuestra que tanto el aislamiento térmico como la fachada ventilada opaca (FVO) tienen amplios beneficios térmicos y energéticos en las viviendas de construcción en serie de climas cálidos, cálidos secos y cálidos secos extremos. Esto es debido a que la aplicación de la FVO en los muros evita el sobrecalentamiento por la radiación solar directa en los muros y, por lo tanto, éstos generan menores ganancias de calor, así mismo sucede con el aislamiento térmico, pues la función de ambos es minimizar el flujo de calor conductivo. Además, en la tabla 5, se observa que el valor U de los casos de estudio en cada técnica es inferior que el del CB, por lo tanto, la resistencia térmica es mayor, es decir, es menor el flujo de calor que pasa a través de los muros. Así pues, como ya se mencionó anteriormente, el caso C2, que está compuesto por la combinación del A4



(0.0254m de poliestireno expandido en muro este) y B6 (0.35m de cámara de aire) se determinó como la mejor opción térmico – energética.

Figura 19.

Comparativa de variables analizadas en los casos de estudio



Nota. Técnica A (0.0254m poliestireno expandido): A1 en muro sur, A2 oeste, A3 norte y A4 este; Técnica B (FVO): B1 espesor de cámara de aire de 0.10m, B2 0.15m, B3 0.20m, B4 0.25m, B5 0.30 y B6 0.35m; Técnica C (combinación de A y B): C1 con A1 y B6, C2 con A4 y B6.



## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones es el apartado en el que se describe el proceso mediante el cual se cumplieron los objetivos, así como la comprobación de la hipótesis y, también, como se atendieron las preguntas de investigación. Por otra parte, las recomendaciones plantean futuras investigaciones.

### 6.1 Conclusiones

Para determinar las técnicas de adecuación ambiental (TAA) óptimas para promover la eficiencia energética de la envolvente, aumentar las condiciones de habitabilidad térmica en el interior y, a su vez, obtener un ahorro económico en las viviendas de zonas con clima cálido seco extremoso, se llevó a cabo una revisión teórica de investigaciones realizadas para mejorar las condiciones térmicas de las viviendas en climas cálidos.

De las TAA más empleadas fueron la ventilación natural, ventilación cruzada, ventilación nocturna, sombreado, orientación, masa térmica, aislamiento térmico y fachada ventilada opaca (FVO), sin embargo, debido a los resultados que presentaron dichas investigaciones se optó por evaluar las técnicas de aislamiento térmico y FVO, pues se estableció que el uso del aislamiento térmico en las viviendas puede llegar a reducir más del 30% de consumo energético, además, que es en las Normas Oficiales Mexicanas, códigos y estándares mexicanos recomiendan que para obtener condiciones de confortables al interior es fundamental su aplicación. Por otra parte, la implementación de la FVO



mostró que con el sistema y configuración correcta de esta técnica puede presentar una diferencia de temperatura hasta de 18°C entre el exterior e interior de la vivienda.

La propuesta de TAA para optimizar la eficiencia energética en viviendas, a partir de la realización de una investigación de enfoque cuantitativo, apoyada en las técnicas de simulación térmica en conjunto con criterios de factibilidad económica resultó pertinente para el logro de los objetivos de la investigación.

Por lo que, con esta investigación se determinó que para un mayor beneficio del usuario se deben analizar todos los criterios (ganancia de calor, energía a retirar, PMV, el valor presente neto y los criterios de beneficio-costos) de forma conjunta y no aislada, es decir, llevar a cabo una evaluación de interrelación de resultados, tal y como se muestra en la sección 5.3, para poder visualizar y seleccionar el caso óptimo.

Por otra parte, aun cuando puedan existir diferentes TAA resultantes de los diagnósticos bioclimáticos, donde se espera que para una zona de clima cálido seco sea la masa térmica la estrategia predominante, el conjuntar otras opciones que por lo general forman parte de la normativa de eficiencia energética en la envolvente (aislamiento térmico), con otros criterios que no predominan en la normativa (sombreado por fachadas con ventilación) permitieron ampliar las opciones de técnicas a utilizarse.

En el estudio de la envolvente de la vivienda, sobre todo, cuando es de un nivel, resulta más significativo estudiar los muros que el techo de la misma, en función del área total expuesta al impacto del clima.



Así pues, en la evaluación de los casos de estudio realizados se optimizaron las técnicas de aislamiento térmico y FVO en el prototipo de vivienda seleccionado (caso base [CB]). En la técnica A (aislamiento térmico) con cuatro casos, fue mediante el análisis de la orientación óptima, esto para descubrir cual evitaba mayores ganancias de calor, con esto se obtuvo entre el 13% y 25% de ahorros respecto al CB, mientras que el confort térmico al interior aumento entre 26% y 31%. Por los resultados anteriores, se determinó que la técnica B (FVO con variación de espesor en la cámara de aire) se aplicara en el muro con orientación sur, y para mejorarlas se realizó un cambio de espesor, el cual rondó entre los 0.10m y 0.35m (aumentó 0.05m en cada uno), las seis opciones evaluadas mostraron ahorros en ganancias de calor del 20% y 21% y mayor confort térmico entre el 27% y 70% respecto al CB. Finalmente, la optimización de los casos de estudio evaluados con la técnica C (combinación de técnica A y B) fue precisamente la integración de ambas en las dos opciones propuestas, el C1 (A1 y FVO con 0.35m en cámara de aire [B6]) y C2 (A1 y B6), el ahorro en ganancias de calor fue de 21% y 46% y el aumento de confort térmico de 71% a 76%, respectivamente.

Asimismo, se obtuvo que en todos los casos de estudio evaluados hubo un ahorro económico del costo final del consumo energético durante la vida útil de la vivienda, en los resultados se contempló el costo monetario por la inversión inicial y los mantenimientos pertinentes de cada una de las 12 opciones (A1 – A4, B1 – B6, C1 y C2), estos ahorros fueron entre el 6% y 22%, lo que quiere decir que, la aplicación de cualquier caso de estudio propuesto es económicamente factible.



Por otro lado, particularmente, en los resultados presentados se observa que cualquier técnica que se implemente en la vivienda resulta favorable tanto en ahorros de consumo energético, como en confort térmico y a excepción del C1, el resto de los casos de estudio también resultan favorables económicamente para el usuario. Sin embargo, no todos los casos de estudio presentan diferencias significativas respecto al CB, es decir, en algunos casos existen ahorros mínimos de 1000 kWh en consumo energético, 4.5% de confort térmico y cerca de los 19,000 pesos mexicanos en costos por mantenimientos y por el servicio de electricidad (durante los 30 años de vida útil de la vivienda).

Tal es el caso de las evaluaciones realizadas con la técnica B, pues estas muestran ahorros (energéticos y económicos) y mejoras en el comportamiento térmico, sin embargo en ganancias de calor por muro no en todos los casos se obtuvo mejores resultados que con la técnica A, pues ahorros fueron de 1900 a 2055 kWh, en cargas de enfriamiento de 800 a 1330 kWh, mientras que en el confort térmico y en la evaluación económica (ahorro) si tuvo diferencias significativas, con 4.8 a 12.4% y 19,000 a 32,000 pesos mexicanos, respectivamente.

Por consiguiente, se determinó que la opción con mayores beneficios es la utilizado en el caso C2, la cual es la combinación de la cámara de aire con espesor de 0.35m y del aislamiento térmico en el muro este (B6 y A4, respectivamente), pues con la aplicación de esta técnica se logró reducir más de 4,000 kWh de ganancias de calor por muro y poco más de 3,000 kWh en la carga de enfriamiento, respecto al CB. Asimismo, es el mejor caso para el confort, ya que logró aumentar 13.6% de confort térmico al interior de la vivienda. Mientras que en el costo-beneficio, la mejor resultó la A4, sin embargo, respecto consumo energético y confort no brinda mejoras significativas, además que en cuanto a costo con el



C2 solo es de 8,300 pesos mexicanos más que en el A4, por lo que no existe diferencia económica significativa, pero si en consumo de energía y confort. En consecuencia, se determina como la opción de mayor beneficio, en comparación con todos los aspectos evaluados, el caso de estudio C2.

Finalmente, se demuestra de manera clara que la implementación de técnicas de adecuación bioclimática como el aislamiento térmico y la fachada ventilada opaca tienen un impacto favorable para los usuarios de las viviendas en climas cálidos, cálidos secos y cálidos secos extremos, pues presentaron hasta el 76% de aumento de confort térmico, cerca del 50% en ahorros energéticos (ganancias de calor por muro y energía a retirar), ahorros económicos del 22%. Esto beneficia de manera considerable a los habitantes, pues estas TAA mejoran las condiciones de habitabilidad térmica de la vivienda, lo que consecuentemente provocan un ahorro en el consumo de energía eléctrica mismo que se ve reflejado en ahorro económico.

Finalmente, con base en lo anterior se observa que el presente estudio pudo responder las preguntas de investigación, logró los objetivos planteados y, además, comprobó la hipótesis de que las TAA aplicadas en la envolvente de la vivienda mejoran hasta 30% el desempeño térmico y energético y, a su vez, brindan poco más del 20% de ahorro económico al usuario.

## **6.2 Recomendaciones**

De las conclusiones obtenidas de los resultados se determina que es recomendable el estudio de más técnicas de adecuación bioclimática como la masa térmica, el sombreado,



y si se harán viviendas nuevas, considerar ampliamente la orientación favorable, es decir, aprovechar los vientos predominantes y promover la ventilación cruzada, todas estas técnicas se encuentran dentro de la estrategia de minimizar el flujo de calor conductivo, ya que para las ciudades con climas cálidos resulta la estrategia más eficiente.

Además, sería pertinente evaluar las de aislamiento térmico y FVO con otras condiciones y/o configuraciones. Por ejemplo, con diferentes tipos de aislamiento y, como el poliestireno extruido, poliuretano, lana de roca y no solo el más vendido en el mercado, incluso con diferentes espesores, el mismo caso sería para la FVO, evaluar diferentes sistemas constructivos para el doble muro, y estas mismas evaluarlas en diferentes orientaciones, así con esto determinar el material óptimo para cada técnica.

Otro estudio que resultaría ampliamente favorable, es evaluar dichas técnicas en campo, es decir, con monitoreo térmico, mediante instrumentos como sensores de temperatura de bulbo seco, temperatura de globo negro, humedad relativa, anemómetro, entre otros. Así pues, con esto conocería el impacto de las técnicas de forma real, ya que se registrarían los efectos y condiciones físicas ambientales en tiempo. Así como la implementación de sistemas pasivos de enfriamiento en los muros de la envolvente de la vivienda, es decir, en este caso en la FVO, esto representaría mayor impacto térmico en la vivienda, pues la función de esta técnica es enfriar el aire exterior que ingresa en la cámara de aire, lo que provoca una conducción de calor menor en el muro directo de la vivienda.

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



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

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

## **TÉCNICAS DE ADECUACIÓN AMBIENTAL PARA OPTIMIZAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN VIVIENDA DE CONSTRUCCIÓN EN SERIE EN UN CLIMA CÁLIDO SECO EXTREMOSO**

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

PRESENTA  
**KARMINA DAMARIS REYES BARAJAS**

Correo electrónico UABC: [karmina.reyes@uabc.edu.mx](mailto:karmina.reyes@uabc.edu.mx)

Correo personal: [karmina\\_r25@hotmail.com](mailto:karmina_r25@hotmail.com)

Identificador ORCID: 0000-0003-2255-8139

Director de tesis: Dra. Ramona Alicia Romero Moreno

Identificador ORCID: 0000-0002-5853-02-29

Comité tutorial:

Dr. Gonzalo Bojórquez Morales

Identificador ORCID: 0000-001-9303-9278

Dr. Alejandro Adolfo Lambert Arista

Identificador ORCID: 0000-0002-9241-6374

Mexicali B.C, junio de 2021.



## REFERENCIAS

- Arévalo, K., Pastrano, E., y Armijos, V. (2016). Relación beneficio – costo por tratamiento en la producción orgánica de las hortalizas (Cilantro, Lechuga, Cebolla Roja, Cebolla de Rama) en el cantón Santo Domingo de Los Colorados. *Revista Publicando*, 3(7), 503–528.
- Baca, Gabriel. (2013). Evaluación de Proyectos. In *Administración de SEP, Clases de 10mo. Nivel, Universidad Politécnica Salesiana (UPS), Escuela de Eléctrica*.
- Baca, Guillermo. (n.d.). *Ingeniería Económica*.
- Barbosa, A. (2015, 21 octubre). *Prototipo de Casa UNAM* [Fotografía]. Portal de comunicación FI.  
[https://www.comunicacionfi.unam.mx/imagenes\\_noticias/OT331\\_gde.jpg](https://www.comunicacionfi.unam.mx/imagenes_noticias/OT331_gde.jpg)
- Barbosa, S., e Ip, K. (2014). Perspectives of double skin façades for naturally ventilated buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 1019–1029.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.192>
- Barbosa, S., e Ip, K. (2016). Predicted thermal acceptance in naturally ventilated office buildings with double skin façades under Brazilian climates. *Journal of Building Engineering*, 7, 92–102. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2016.05.006>
- Berli, M. E., Brondino, A., y Di Paolo, J. (2018). Predicción de la reducción del impacto térmico en un edificio con doble pared. *Ingenius*, (20), 39–47.  
<https://doi.org/10.17163/ings.n20.2018.04>
- Calderón, R., Arredondo, J. A., Gallegos, R., y Mayagoitia, F. (2011). Electrical consumption and co2 reduction using saving systems and thermal insulation applied to dwellings in arid lands of Mexico. *Informacion Tecnologica*, 22(2), 69–78.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642011000200008>
- California Building Standards Commission. (2019). California Energy Code 2019 - Subchapter 8: Low-Rise Residential Buildings — Performance and Prescriptive Compliance Approaches. [https://up.codes/viewer/california/ca-energy-code-2019/chapter/8/low-rise-residential-buildings-performance-and-prescriptive-compliance-approache#table\\_150.1-A](https://up.codes/viewer/california/ca-energy-code-2019/chapter/8/low-rise-residential-buildings-performance-and-prescriptive-compliance-approache#table_150.1-A)
- California Building Standards Commission, & International Code Council. (2019). *2016 California green building standards code : CALGreen : California code of regulations, Title 24, Part 11*.
- CONAFOVI. (2006a). Guía para el uso eficiente de la energía en la vivienda. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53).  
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- CONAFOVI. (2006b). *USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN LA VIVIENDA*.
- CONAVI. (2013). *Proyecto piloto de aislamiento térmico para viviendas en la ciudad de Mexicali, B.C. (777)*, 200.
- Concha, A. (2010a, junio 9). *Proyecto «Casa SML»* [Fotografía]. ArchDaily.  
[https://images.adsttc.com/media/images/55e6/5ebb/2347/5ddd/1700/0674/medium\\_jpg/propuesta-a-01.jpg?1441160883](https://images.adsttc.com/media/images/55e6/5ebb/2347/5ddd/1700/0674/medium_jpg/propuesta-a-01.jpg?1441160883)
- Concha, A. (2010b, julio 9). *Configuración proyecto «Casa SML»* [Fotografía]. ArchDaily.  
[https://images.adsttc.com/media/images/55e6/5ee5/2347/5ddd/1700/0677/medium\\_jpg/smlhouse-ceu-uch-team-r4.jpg?1441160926](https://images.adsttc.com/media/images/55e6/5ee5/2347/5ddd/1700/0677/medium_jpg/smlhouse-ceu-uch-team-r4.jpg?1441160926)



**FAD**  
Facultad de  
Arquitectura  
y Diseño



**FCITEC**  
Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología  
Universidad de las Américas

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

- CONUEE. (2009). *Beneficios del aislamiento térmico en la industria*. 1–52.
- Cortés, O. A. (2014). *Métodos de Diseño Ambiental en Arquitectura*. (May 2013), 1–22.
- D.O.F. (2020). “*Hacia una transición energética soberana de México*” 2019.
- Diario Oficial. (2001). Norma Oficial Mexicana NOM-008-Ener-2001, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53, 42.  
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Diario Oficial. (2011a). Norma Oficial Mexicana NOM-018-ENER-2011, aislantes térmicos para edificaciones, características y métodos de prueba. *Metrología*, 11.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.885193>
- Diario Oficial. (2011b). *Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones.- Envolvente de edificios para uso habitacional*. 53(9), 47.  
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Farouh, H., y Amer, L. (2016). Passive and Hybrid Techniques for Low Cost Energy Efficient Housing in Hot Dry Climate. *Journal of Al-Azhar University Engineering Sector*, 11(41), 1265–1274. <https://doi.org/10.21608/aej.2016.19314>
- FIDE. (2004). Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica. Retrieved December 16, 2019, from [http://www.fide.org.mx/?page\\_id=17183](http://www.fide.org.mx/?page_id=17183)
- Friess, W. A., y 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>
- Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. (2011). Guía del estándar Passivhaus, Edificios de consumo energético casi nulo. *Fenercom*, 209.
- García, D. (2020a, octubre 16). *Interior proyecto Azalea* [Fotografía]. Diseñar para la vida. <https://diseñarparalavida.com/wp-content/uploads/2020/10/img2411.jpg>
- García, D. (2020b, octubre 16). *Proyecto Azalea* [Fotografía]. Diseñar para la vida. [https://diseñarparalavida.com/wp-content/uploads/2020/10/UPV\\_PK7\\_ProjectImage8\\_2019-10-25-768x432.jpg](https://diseñarparalavida.com/wp-content/uploads/2020/10/UPV_PK7_ProjectImage8_2019-10-25-768x432.jpg)
- García-Haro, A., Cadena-Ramírez, J. L., Bojórquez, G., Luna, A., y Vázquez, E. (2011). Confort Térmico y Consumo Energético por uso de Sistemas Constructivos para Muros, en Mexicali Baja California. *Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California*, (March 2017), 6.
- Guillén, V., Quesada, F., López, M., Orellana, D., y Serrano, A. (2015). Energetic efficiency in residential buildings. *Estoa*, 4(7), 59–67.  
<https://doi.org/10.18537/est.v004.n007.07>
- Gutiérrez, T., Romero, R., y Sotelo, C. (2014). Thermal energy impact of bioclimatic techniques applied to low-income housing in a hot dry climate. *Energy Procedia*, 57, 1743–1752. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.163>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C., y Baptista, P. (1997). *Metodología de la investigación*.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta edición).
- INEGI. (2018). *Encuesta Nacional Sobre Consumo De Energéticos En Viviendas Particulares*. 28.  
<http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2018/EstSociodemo/>



**FAD**  
Facultad de  
Arquitectura  
y Diseño



**FCITEC**  
Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología  
Universidad de las Américas

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

ENCEVI2018.pdf

- INFONAVIT. (2015). *Plan Maestro Para La Regeneración De La Unidad Habitacional “ Valle De Puebla .”*
- INFONAVIT. (2016). *Manual Explicativo Vivienda Ecológica Hipoteca Verde*. 1–85.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (INEGI). (2020). *Índice nacional de precios al consumidor*.
- International Code Council [ICC] y Calidad y Sustentabilidad en la Edificación A.C. México [CASEDI]. (2016). *Código de Conservación de Energía para las Edificaciones de México [IECC - MÉXICO]*.
- International Energy Agency, & UN Environment Programme. (2019). *2019 global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*.  
[https://webstore.iea.org/download/direct/2930?filename=2019\\_global\\_status\\_report\\_for\\_buildings\\_and\\_construction.pdf](https://webstore.iea.org/download/direct/2930?filename=2019_global_status_report_for_buildings_and_construction.pdf)
- International Organization for Standardization [ISO]. (2005). *Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. 60.
- La Roche, P. (2017). *Carbon-Neutral Architectural Design*.  
<https://doi.org/10.5040/9781472596178-bed-a068>
- Luciani-Mejia, S., Velasco-Gomez, R., y Hudson, R. (2018). Eco-envolventes: Análisis del uso de fachadas ventiladas en clima cálido-húmedo. *Revista de Arquitectura*, 20(2), 62–77. <https://doi.org/10.14718/revarq.2018.20.2.1726>
- Luna, A. (2016). *Análisis climático: Técnicas de adecuación para las edificaciones y espacios abiertos*.
- Luna, A. (2019a). *COSTO de Energía CFE 2019*.
- Luna, A. (2019b). *Estimación de Valor R\_U y Flujo de Calor\_1Sep19*.
- Luna, A. (2020). *CARGA\_ELEC\_Eq-Ilu\_Actual*.
- Luna, A. (2020a, junio 16). Carta psicrométrica de la ciudad de Mexicali [Ilustración]. En *Análisis climático. Técnicas de adecuación para la edificación y espacios abiertos*.
- Luna, A. (2020b, junio 16). Técnicas de adecuación ambiental para la ciudad de Mexicali [Ilustración]. En *Análisis climático: Técnicas de adecuación para la edificación y los espacios abiertos*.
- Luna, A., y Olvera, D. (2020). *TABLA GENERAL FV 5.0*.
- Marincic, I., Ochoa, J. M., Alpuche, M. G., Duarte, A., Vargas, L., González, I., y Barrera, I. (2011). La Construcción actual de viviendas en Hermosillo y su adecuación al clima por medios pasivos. *Memorias Del XXXV Congreso Nacional de Energía Solar. ANES*, (October 2015), 189–193.
- Mercado, M. V., Esteves, A., y Filippín, C. (2010). Comportamiento termico-energético de una vivienda social de la ciudad de Mendoza, Argentina TT - Thermal-energy efficiency of a social house in the city of Mendoza, Argentina. *Ambiente Construido*, 10(2), 87–100. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212010000200006>
- Ministerio de vivienda. (2006). *Código Técnico de la Edificación [CTE]*.
- Neila, J., Camaño, E., Egido, M., García, A., Magdalena, L., y Jiménez, J. (2005). *Proyecto Solar Decathlon, Magic Box*. 159–168.
- Oliveira Fernández, L., Chebel Labaki, L., Matheus, C., y Lantelme, E. (2018).



**FAD**  
Facultad de  
Arquitectura  
y Diseño



**FCITEC**  
Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología  
Unidad de los Valles

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

- Procedimiento para análisis del desempeño termoenergético y económico de estrategias pasivas para la adaptación de un edificio en Brasil. *Revista Ingeniería de Construcción*, 33(3), 251–262. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732018000300251>
- Poveda, M. (2007). Eficiencia Energética: Recurso no aprovechado. *Latin American Energy Organization*, 25.
- Proyecto Casa Uruguay*. (2015, 16 diciembre). [Fotografía]. Uruguay Natural. <https://marcapaisuruguay.gub.uy/wp-content/uploads/2015/12/casaaaa.jpg>
- Rubiano-Martín, M. A. (2016). La fachada ventilada y el confort climático: un instrumento tecnológico para edificaciones de clima cálido en Colombia. *Dearq Revista de Arquitectura / Journal of Architecture*, (18), 138–145. <https://doi.org/10.18389/dearq18.2016.08>
- Rubiano, M. A. (2016). La fachada ventilada y el confort climático: un instrumento tecnológico para edificaciones de clima cálido en Colombia. *Dearq Revista de Arquitectura / Journal of Architecture*, (18), 138–145. <https://doi.org/10.18389/dearq18.2016.08>
- Schmelkes, C. (1998). *Manual para la presentación de anteproyectos e informes de investigación: (tesis)* (p. 201). p. 201.
- Secretaría de Energía. (2016). *Marco Político de Largo Plazo para la Eficiencia Energética*.
- SEDATU, y CONAVI. (2015). Código De Edificación De La Vivienda. *Conavi*, 1–586.
- SEDATU, y CONAVI. (2017). *Código de Edificación de Vivienda*.
- SENER, CONUEE, IEA, CASEDI, WRI MÉXICO, GIZ, ... INEVV. (2017). *Hoja de Ruta para el Código y Normas de Eficiencia Energética para Edificaciones en México* (p. 38). p. 38.
- Sotelo-Salas, C., Esparza-López, C. J., y Escobar-Del Pozo, C. (2019). *Comportamiento Térmico de fachada ventilada opaca en clima cálido seco extremo. 3*. <https://doi.org/10.35429/JAD.2019.10.3.20.28>
- Suárez, R., y Fragozo, J. (2016). Estrategias pasivas de optimización energética de la vivienda social en clima mediterráneo. *Informes de La Construcción*, 68(541). <https://doi.org/10.3989/ic.15.050>
- Szokolay, S. V. (2008). Introduction to architectural science: the basis of sustainable design. In *Journal of the American College of Radiology : JACR* (Vol. 8). <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2010.08.020>
- Vara-Horna, A. (2012). *7 pasos para una tesis exitosa*. 451.
- Watson, D. (1992). *BIOCLIMATIC DESIGN Principles and Practices*. 1–30.
- Watson, D., y Labs, K. (1983). *Climatic building design: Energy-efficient building principles and practice*.
- Wegertseder, P., Schmidt, D., Hatt, T., Saelzer, G., y Hempel, R. (2014). Barreras y oportunidades observadas en la incorporación de estándares de alta eficiencia energética en la vivienda social chilena. *Arquitectura y Urbanismo*, XXXV(3), 37–49.
- Zaragoza-Fernández, S., Tarrío-Saavedra, J., Naya, S., López-Beceiro, J., y Álvarez-García, A. (2014). Estimación del impacto de acciones en la rehabilitación de la eficiencia energética en la edificación residencial. *DYNA (Colombia)*, 81(186), 200–207. <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n186.39930>



## ANEXOS

### Anexo 1. Tabla de casos de estudio Estado del Arte.

Autor	Año	Tipo de estudio	Tipo de clima	Ubicación	Tipo de espacio	Período de estudio	Estrategia o Dispositivo	Beneficio/Aportación	Limitaciones/Recomendaciones
Friess y Rakhshan	2017	Descriptivo	Cálido	Emiratos Árabes Unidos (EAU).	Residencial	N/A	*Ventilación natural. *Aislamiento térmico. *Apertura de ventanas. *Orientación.	*Orientación y aislamiento reducen un 20% de consumo energético. *Orientación, aislamiento y apertura de ventanas reducen 55% de demanda de enfriamiento. * Ventilación natural reducen un 30% de la energía por enfriamiento.	Los autores realizaron una investigación bibliográfica de las estrategias mencionadas. Sin embargo, no realizaron simulaciones o trabajos experimentales para comprobar el efecto de las mismas.
Mercado, Esteves, y Filippín	2010	Mixto; In-situ y simulación	Árido	Mendoza, Argentina	Residencial	verano e invierno	*Ventilación nocturna. *Cortinas interiores y exteriores. *Pérgolas verdes. *Ventilación cruzada. *Aislamiento térmico.	* El uso de estas técnicas muestra que es posible reducir hasta un 35.6% en ahorro de energía.	Las simulaciones realizadas únicamente fueron con la aplicación de las técnicas de adecuación ambiental, es decir, la condición de la vivienda existente solo fue evaluada por monitoreo térmico y no por simulación, sin embargo, los datos obtenidos en el monitoreo los ingresaron al simulador para evaluar con esos datos la vivienda propuesta.
Luciani-Mejía, Velasco-Gomez, y Hudson	2018	Mixto; simulación y mediciones	Tropical húmedo	Girardot, Cundinamarca, Colombia	Prototipo; Contruido: 3.10 x 3.10 x 3.10 m. Y simulado: 3 x 3 x 3 m.	invierno	*Fachadas ventiladas con cámara de aire. *Fachadas con dispositivos	*La mejor propuesta fue la evaluada con cámara de aire, debido a que conservó	Si bien realizaron simulaciones con las estrategias mencionadas, para determinar



							de sombreado. * Masa térmica.	temperaturas internas cercanas a las mínimas del día, además de que implicar un bajo costo en mano de obra.	cual modelo era ideal, estas no las implementaron en el prototipo contruido.
Zaragoza - Fernández, Tarrío-Saavedra, Naya, López-Beceiro, y Álvarez-García	2014	Monitoreo térmico	N/A	España	Residencial	N/A	*Orientación. *Cámara de aire. *Ventanas dobles.	* Proponen aislamiento térmico en áreas acristaladas, ya que se obtuvo un ahorro anual de 1302.3 kW.	El trabajo fue evaluado mediante monitoreo térmico de viviendas, existentes, con y sin aplicación de estrategias bioclimáticas, con base a eso determinaron la mejor opción. Por lo que no evaluaron ni hicieron recomendaciones de nuevas estrategias.
Suárez y Fragosó	2016	Simulación	Mediterráneo	Sevilla, España	Residencial	Anual	*Compacidad *Materialidad de la envolvente. *Ventilación. *Control solar. *Acumulación solar.	* El uso de aislamiento, vidrios con baja emisividad y protección solar reducen de 3-6 kWh/m2 de la demanda de calefacción, mientras que en la demanda de refrigeración entre 5-6 kWh/m2.	Las recomendaciones propuestas para la mejora de la vivienda se basan en los resultados obtenidos en las simulaciones y en lo establecido en la normativa vigente, haciendo siempre referencia a la deficiencia entre la normativa anterior con la actual.
Marincic et al.	2011	Descriptivo	Cálido seco	Hermosillo, Sonora	Residencial	N/A	*Orientación. *Sombreado. *Ventilación. *Infiltración. *Absortividad *Altura interior.	*100% de las viviendas evaluadas cuentan con color de techo adecuado. *50% tienen alturas interiores suficientes. *Orientación, ventilación y color en muros en las viviendas fue catalogado como favorable. *Orientación para	La investigación realizada fue mediante trabajo bibliográfico, comparando cada una de las características de las viviendas evaluadas para determinar las deficiencias de las viviendas y posteriormente realizar recomendaciones para mejorarlas, sin embargo, no se llevó a cabo ninguna



								disminuir la captación solar, la vegetación y el número de niveles resultó insuficiente.	comprobación ya sea experimental o mediante algún simulador.
Rubiano Martín	2016	Descriptivo	Cálido	Colombia	Residencial	N/A	*Fachada ventilada.	* Para el óptimo funcionamiento de la estrategia es necesario que la capa exterior sea de material rígido con buen aislamiento térmico, y el interior de materiales como el vidrio, mármol o cerámica.	A pesar de la amplia investigación bibliográfica las recomendaciones que realizaron no fueron sustentadas con resultados numéricos, sino en base a investigaciones realizadas por otros autores.
Farouh y Amer	2016	Descriptivo	Cálido seco	Internacional	Residencial	N/A	*Orientación. *Apertura de ventanas. *Sombreado. *Aislamiento térmico. *Tipología del edificio. *Ventilación. *Vegetación.	* La correcta orientación, tamaño de apertura de ventanas, sombreado y aislamiento reducen hasta el 30% de demanda de energía. *Para disminuir ganancias de calor y la transferencia de calor en la envolvente, se debe tomar en cuenta la forma del edificio, técnicas de enfriamiento, selección correcta de materiales, y diseño de la envolvente.	No realizaron investigación experimental o de simulación, solo bibliográfica.



Berli, Brondino, y Di Paolo	2018	Simulación	N/A	Santa Fe de la Vera Cruz, Argentina	Comercial	cálido y frío	* Doble fachada con cámara de aire cerrada. * Doble fachada con cámara de aire conectada con el exterior.	*La mejor opción, para el período cálido, es la cámara de aire con conexión al exterior por que no genera humedad. *La doble fachada con cámara de aire cerrada fue mejor para el período frío, porque presentó 85% de reducción de energía térmica.	Únicamente fue evaluada la estrategia de doble fachada, con dos alternativas, es decir, solo dos técnicas fueron analizadas sin contemplar y/o recomendar otras técnicas.
Oliveira Fernández, Chebel Labaki, Matheus, y Lantelme	2018	Simulación	Tropical	Ciudad de Campinas, Brasil	Comercial	Anual y verano	*Ventilación natural. * Techo verde. *Iluminación natural.	*Con la ventilación natural se puede ahorrar hasta 17% del consumo de energía total.	A pesar de haber realizado simulaciones, estas no las hicieron para determinar la mejor estrategia en cuanto a eficiencia energética o confort térmico, sino para poner un método sencillo de elección de estrategias respecto al desempeño termico-energético y económico.
Sotelo-Salas, Esparza-López, y Escobar-Del Pozo	2019	Simulación	Cálido seco extremo	Mexicali, Baja California	Residencial	verano	* Fachada ventilada opaca.	*Diferencia hasta 18°C con 0.3 m en la cámara de aire.	Recomiendan, para un mayor beneficio, la combinación de técnicas como la chimenea solar o ventilador mecánico, sin embargo estas no fueron evaluadas.
Gutiérrez, Romero, y Sotelo	2014	Simulación	Cálido seco extremo	Mexicali, Baja California	Residencial	verano	*Masa térmica. *Protección de ganancias solares. *Ventilación cruzada.	*Sin la aplicación de técnicas de diseño pasivo la vivienda consume hasta 30% más de energía.	Las autoras recomiendan, para lugares con este tipo de clima, el uso de técnicas de diseño pasivo en la vivienda, ya que muestran una mejora significativa en la calidad térmica interior de la vivienda.



**Anexo 2. Tabla de normativas y códigos de conservación de energía y confort térmico.**

Normativas	¿Qué evalúa?	¿Qué criterio utiliza?	¿Cómo lo evalúan?
NOM-020-ENER-2011	Envoltente térmica para edificios residenciales	Limitar la ganancia de calor de los edificios para el uso habitacional a través de su envoltente, con objeto de racionalizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento para así proveer confort a los usuarios.	Utilizan un método de cálculo para el presupuesto energético. Calcula las ganancias de calor por medio de la envoltente al tener un edificio de referencia y el que se proyectará. Clasifica las partes de la envoltente del edificio para obtener la óptima orientación. Muestran tabla del factor de corrección de sombreado exterior. Calculan el coeficiente global de transferencia de calor a través de una ecuación.
NOM-018-ENER-2011	Aislantes térmicos para edificaciones	Establece los métodos de prueba para evaluar la conductividad o resistencia térmica, la densidad aparente, permeabilidad al vapor de agua, la absorción de humedad y absorción de agua, que se indiquen en los materiales homogéneos con el fin de incrementar el ahorro de energía y preservar los recursos energéticos a través de la utilización de mejores materiales.	Realizan un método de prueba para determinar la densidad aparente, conductividad térmica, permeabilidad al vapor de agua y la absorción de humedad y absorción de agua. Se deberá llevar a cabo y cumplir con lo establecido en el Procedimiento para la Evaluación de la Conformidad (PEC).



<p>NOM-024-ENER-2012</p>	<p>Características térmicas y ópticas del vidrio y sistemas vidriados para edificaciones</p>	<p>En toda edificación se deben certificar las características ópticas y térmicas de los vidrios y sistemas vidriados, así como, los métodos de prueba para su verificación, con el fin de asegurar el comportamiento térmico de la envolvente de los edificios, con el fin de incrementar el ahorro de energía y preservar los recursos energéticos a través de la utilización de mejores materiales.</p>	<p>Utiliza métodos de prueba para evaluar la transmitancia visible, el coeficiente de ganancia de calor solar, el coeficiente de sombreado, el coeficiente global de transferencia de calor y el coeficiente visible térmico. Evalúa la transmitancia espectral, la reflectancia espectral especular y la exterior. Se realiza la medición de emisividad.</p>
<p>NMX-C-460-ONNCCE-2009</p>	<p>Industria de la Construcción - Aislamiento Térmico - Valor "R" para las Envolventes de Vivienda por Zona Térmica para la República Mexicana - Especificaciones y Verificación</p>	<p>Establece las especificaciones de resistencia térmica total (Valor "R") que aplican en las envolventes de las viviendas para mejorar las condiciones de habitabilidad y para disminuir la demanda de energía utilizada para acondicionar térmicamente su interior, de acuerdo a la zona térmica del estado en que se ubique.</p>	<p>Se identifica la zona térmica y el propósito del aislamiento. Determina el valor "R" de cada componente de la envolvente. Realiza una memoria de cálculo para el diseño de cada aislamiento estructurado.</p>
<p>Código de Edificación de Vivienda (CEV 2017)</p>	<p>Planeación y diseño urbano. Diseño del edificio. Aspectos estructurales. Construcción del edificio. <b>Sustentabilidad;</b> Consideraciones generales, Aplicabilidad, Selección del sitio, Diseño y</p>	<p>Establece una línea base para el diseño y la edificación de viviendas seguras, habitables, accesibles y sustentables en un contexto urbano ordenado y equilibrado; a través de la inclusión de los criterios técnicos más actuales</p>	<p>La selección de materiales se realizará de acuerdo a la zona bioclimática establecida. En el caso de los materiales como pinturas y/o revestimientos reflectivos, éstos deberán cumplir con los valores</p>



	<p>desarrollo del sitio, <b>Materiales de construcción,</b> <b>Eficiencia energética,</b> Energía renovable, Conservación, Calidad y eficiencia en el uso del agua, Gestión de los residuos, Áreas verdes, <b>Calidad ambiental interior y confort,</b> Comisionamiento, <b>Edificaciones existentes.</b> Instalaciones mecánicas. Instalaciones hidráulicas y sanitarias. Instalaciones eléctricas.</p>	<p>contemplados en las Normas Oficiales Mexicanas, Normas Mexicanas y en las mejores prácticas aplicadas en el país. Presentan lineamientos de diseño sustentable para la vivienda en México basados en la normativa nacional con el fin de mejorar la calidad de vida de los usuarios. Para el diseño sustentable de la vivienda se consideran los elementos de la envolvente, equipos y sistemas que cumplan con la eficiencia energética, energías renovables, áreas verdes, iluminación natural, el tratamiento y ahorro de agua entre otros.</p>	<p>establecidos en el índice de reflexión solar (IRS). El uso eficiente de energía en la vivienda es representado por la correcta elección de equipos electrodomésticos y de sistemas de climatización, es decir, que sean de alta eficiencia. En cuanto a la envolvente se basará en lo establecido por la NOM-020, así como la NOM-018 en el caso de los aislantes térmicos.</p>
<p>Guía para el uso eficiente de la energía (CONAFOVI)</p>	<p>Consideraciones generales sobre la energía en la vivienda. Áreas de oportunidad para la eficiencia energética en la vivienda. Recomendaciones bioclimáticas para el diseño de la vivienda. Guía para el usuario.</p>	<p>Establece criterios y lineamientos generales para que la producción y operación de una vivienda que utilice en forma más eficiente la energía eléctrica.</p>	<p>Evalúa el bioclima de la región, a través de diagramas psicrométricos establecidos bajos los criterios de los autores como Givoni y Olgyay o métodos numéricos de confort como el de Fanger para obtener estrategias de diseño bioclimático aplicables en las futuras viviendas y con estas poder disminuir el consumo energético.</p>



<p>Código de Conservación de Energía para las Edificaciones de México (IECC-MÉXICO 2017)</p>	<p>Eficiencia energética en edificaciones no residenciales. <b>Eficiencia energética en edificaciones residenciales.</b></p>	<p>Regula el diseño y construcción de edificaciones para el uso efectivo y la conservación de energía durante toda la vida útil de cada edificación, además provee la flexibilidad del uso de enfoques y técnicas innovadoras para lograr el uso efectivo de energía.</p>	<p>En la sección de aislamiento térmico establece que se debe basar en la NOM-018. Para la envolvente, los sistemas vidriados y reflectancia solar es el mismo caso, dice que se deben basar en lo establecido por las Normas Mexicanas y las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes.</p>
<p>Reglamento de Edificaciones para el Municipio de Mexicali</p>	<p>Disposiciones generales. Restricciones a los usos del suelo. Vía pública y bienes de uso común. Recuperación de la vía pública. Condicionantes de diseño. Requerimientos especiales. Infraestructura en la vía pública. Acondicionamiento ambiental e instalaciones de las edificaciones. <b>Iluminación y ventilación.</b> Hidosanitaria y pluvial. De combustibles. Previsiones contra incendio. Estacionamientos. Rampas vehiculares. Requerimientos de accesibilidad y comunicación. Puertas. Rampas y escaleras. Acceso a la salida. La salida. Salida exterior. Gradas y butacas. Elevadores. Seguridad e</p>	<p>Se aplicarán aquellas que garanticen mayor seguridad, higiene, funcionamiento y acondicionamiento en la materia.</p>	<p>Para vanos y/o ventanas, cuando éstos brinden iluminación deberá corresponder a el área de piso del espacio en donde se integrará. Para las edificaciones de tipo habitacional para la ventilación deberá ser el 30% y para la iluminación deberá proporcionarse el 10%, no menos de 0.75 m<sup>2</sup>. Sin embargo, en los espacios o áreas de servicio se indica que la iluminación podrá ser artificial o natural. Para la ventilación deberá proporcionarse el 50% o hacerlo mediante un sistema de extracción mecánica, para brindar iluminación natural podrá ser mediante domos o tragaluces, considerando el 2% de la superficie del piso</p>



	<p>higiene en las construcciones. Trámites administrativos. Inspección y vigilancia. Responsables.</p>		<p>en el espacio que se aplicarán.</p>
PASSIVHAUS	<p>Combina un elevado confort interior con un consumo de energía muy bajo y un precio asequible, gracias al máximo cuidado de la envolvente del edificio y a un sistema de ventilación controlada.</p>	<p>Se aplicarán aquellas que garanticen mayor seguridad, higiene, funcionamiento y acondicionamiento en la materia.</p>	<p>Establece el valor máximo de coeficiente de transferencia de calor (valor U) dependiendo de la zona climática, el aislamiento permitido al exterior y el interior, así como el color de pintura permitida, lo mismo ocurre en las ventanas, y para la ventilación natural optima establecen cierto porcentaje permisible. Evalúan las pérdidas y ganancias de calor, monitorean la construcción de la edificación para disminuir las infiltraciones de aire generadas por una mala instalación, un sellado incorrecto, entre otros. Se basa en el climograma de Olgyay. Obtienen la conductividad térmica del material a través de la utilización de la fórmula, al contemplar la resistencia térmica y la densidad; calculan también la transmitancia térmica</p>



### Anexo 3. Valores para el cálculo de flujo de calor a través de la envolvente.

Estado	Ciudad	K de referencia (W/m <sup>2</sup> K)			Conducción								Radiación				Barrera para vapor
		Hasta tres niveles y conjunto horizontal con muros compartidos	Más de tres niveles		Opaca				Transparente				Transparente				
					Temperatura equivalente promedio te (°C)												
					T interior	Superficie interior	Techo	Muro masivo		Muro ligero		Tragaluz y domo	Ventanas		Factor de ganancia solar promedio FG (W/m <sup>2</sup> )		
N	E	S	O	N				E	S	O	Tragaluz y domo		N	E	S	O	
Techo y muro	Techo	Muro															
Baja California	Ensenada	0.909	0.909	0.909	24	25	35	22 25 24 23	28 31 30 30	20	28 31 30 30	322	70 159 131 164	Sí			
	Mexicali	0.476	0.476	0.556	25	34	50	36 40 37 38	41 45 43 45	29	41 45 43 45	322	70 159 131 164				
	Tijuana	0.714	0.714	0.909	23	26	37	24 27 25 25	30 33 32 32	22	30 33 32 32	322	70 159 131 164	Sí			



## Anexo 4. Informe de originalidad

NOMBRE DEL CURSO

NOMBRE DEL ALUMNO

Reyes Barajas Karmina Damaris

NOMBRE DEL ARCHIVO

1125630 – Reyes Barajas Karmina Damaris

SE HA CREADO EL INFORME

31 may 2021

### Resumen

Fragmentos marcados	6	0,8 %
Fragmentos citados o entrecuillados	3	0,6 %

### Coincidencias de la Web

uabc.mx	1	0,3 %
redalyc.org	3	0,3 %
localglobalideas.com	1	0,3 %
dof.gob.mx	2	0,2 %
eleconomista.es	1	0,1 %
books.google.com	1	0,1 %

1 de 9 fragmentos

Fragmento del alumno MARCADO

**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...

### Mejor coincidencia en la Web

**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...

Representaciones sociales de los jóvenes universitarios [http://arquitectura.mx/uabc.mx/WEB\\_MyDPDS/files/2016-MELENDERZ-CARDENAS-JESUS-ANTONIO.pdf](http://arquitectura.mx/uabc.mx/WEB_MyDPDS/files/2016-MELENDERZ-CARDENAS-JESUS-ANTONIO.pdf)

2 de 9 fragmentos

Fragmento del alumno MARCADO

...total global energy consumption and 17% of carbon emissions. **Therefore, housing requires measures which reduce energy consumption and carbonemissions without affecting the living conditions of its**

[Mejor coincidencia en la Web](#)



**FAD**  
Facultad de  
Arquitectura  
y Diseño



**FCITEC**  
Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología  
Unidad de los Politécnicos

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

Therefore, housing requires measures which reduce energy consumption and carbon emissions without affecting the living conditions of its occupants. In Mexico, the most commonly used construction...

The Sustainable City XIV [https://books.google.com/books?id=N\\_oQEAAAQBAJ&pg=PA115&lpg=PA115&dq=therefore+housing+requires+measures+which+reduce+energy+consumption+carbon+emissions+without+affectin+&sig=ACfU3U1R\\_lv8bJmLb1trKfSR6Z-Ak63hMg&hl=en](https://books.google.com/books?id=N_oQEAAAQBAJ&pg=PA115&lpg=PA115&dq=therefore+housing+requires+measures+which+reduce+energy+consumption+carbon+emissions+without+affectin+&sig=ACfU3U1R_lv8bJmLb1trKfSR6Z-Ak63hMg&hl=en)

3 de 9 fragmentos

Fragmento del alumno MARCADO

Anexo 3. **Valores para el cálculo de flujo de calor a través de la envolvente.** 112

[Mejor coincidencia en la Web](#)

1. Tabla de **valores para el Cálculo del Flujo de Calor a Través de la Envolvente A.**

NORMA Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011, Eficiencia ... - DOF  
<http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4459/sener1/sener1.htm>

1 de 9 fragmentos

Fragmento del alumno MARCADO

**En el 2015** la Organización de **Naciones Unidas (ONU) aprobó la Agenda 2030**, en donde presentó los 17 Objetivos de **Desarrollo Sostenible**, esto con el propósito de **los países y sus sociedades emprendan...**

[Mejor coincidencia en la Web](#)

**En 2015 Naciones Unidas (ONU) aprobó la Agenda 2030** sobre el **Desarrollo Sostenible**, "una oportunidad para que **los países y sus sociedades emprendan un nuevo camino con el que mejorar la vida de todos...**

España, entre los 30 mejores países en el camino a los ODS ... <https://www.eleconomista.es/especial-medio-ambiente/noticias/10897948/11/20/Espana-entre-los-30-mejores-paises-en-el-camino-a-los-ODS-.html>

2 de 9 fragmentos

Fragmento del alumno MARCADO

La fachada ventilada tiene como **objetivo generar una barrera de humedad para proteger el ambiente interior**. Amortigua el efecto de la radiación solar directa sobre...

[Mejor coincidencia en la Web](#)

01). Si bien su **objetivo** original es el de **generar una barrera de humedad para proteger el ambiente interior**, también tiene la ventaja de amortiguar el efecto de la radiación solar directa sobre los...

La fachada ventilada <https://www.redalyc.org/pdf/375/37528909016.pdf>

3 de 9 fragmentos

Fragmento del alumno MARCADO

el efecto de la radiación solar directa sobre los cerramientos opacos, **al disminuir las demandas de refrigeración en verano**. Plantea la construcción de una capa exterior, paralela a la fachada, que...

[Mejor coincidencia en la Web](#)

Si bien su objetivo original es el de generar una barrera de humedad para proteger el ambiente interior, también tiene la ventaja de amortiguar **el efecto de la radiación solar directa sobre los...**

La fachada ventilada <https://www.redalyc.org/pdf/375/37528909016.pdf>

4 de 9 fragmentos

Fragmento del alumno CITADO



En esa cámara se produce una corriente por convección que funciona como una ventilación para la humedad y como colchón térmico para la climatización interior (figura 8).

[Mejor coincidencia en la Web](#)

intermedia. **En esa cámara se produce una corriente por convección que funciona tanto como una ventilación para la humedad y como colchón térmico para la climatización interior.** Sus partes...

La fachada ventilada <https://www.redalyc.org/pdf/375/37528909016.pdf>

---

5 de 9 fragmentos

Fragmento del alumno [ENTRECOMILLADO](#)

Fortalecer las acciones que promuevan el uso de materiales y equipos eficientes, así como de la arquitectura bioclimática, en la construcción o remodelación de edificaciones, incluyendo programas de...

[Mejor coincidencia en la Web](#)

La segunda línea estratégica sobre planeación urbana de la ENE establece tres acciones relacionadas con el logro de una ciudad sustentable: 1) realizar una planeación de espacios públicos enlazando el...

Diálogos entre la Reforma Urbana y la Reforma Energética. Una ... <https://www.localglobalideas.com/dialogos-entre-la-reforma-urbana-y-la/>

---

6 de 9 fragmentos

Fragmento del alumno [CITADO](#)

la normalización para la eficiencia energética en edificios para uso habitacional representa un esfuerzo encaminado a mejorar el diseño térmico de edificios, y lograr la comodidad de sus ocupantes...

[Mejor coincidencia en la Web](#)

La normalización para la eficiencia energética en edificios para uso habitacional representa un esfuerzo encaminado a mejorar el diseño térmico de edificios, y lograr la comodidad de sus ocupantes con...

Diario Oficial de la Federación - DOF [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=35203931&fecha=09/08/2011](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=35203931&fecha=09/08/2011)

---