



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN URBANISMO
CAMPO DE CONOCIMIENTO: DESARROLLO INMOBILIARIO

ESQUEMA FINANCIERO PARA VIVIENDA BIOCLIMÁTICA EN MÉXICO

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN URBANISMO

PRESENTA:

ISABEL CONCEPCIÓN VALLEJO MARÍN

TUTOR:

DR. DAVID MORILLÓN GÁLVEZ

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN URBANISMO

Ciudad Universitaria, Ciudad de México, Noviembre, 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por haber proporcionado los recursos necesarios para la elaboración de esta tesis.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por haber brindado los conocimientos necesarios para la realización y conclusión del presente trabajo, así como a los profesores del Programa de Maestría y Doctorado en Urbanismo.

A mi tutor, Dr. David Morillón por sus asesoría y aportaciones.

A mis sinodales, Dr. José Diego Morales, Dra. Elizabeth Caracheo, Dra. Perla Fernández y Mtra. Estela Casillas por sus aportaciones y apoyo.

Al Dr. Luis A. Andrade Maciel, por su colaboración y aportaciones a este trabajo.

A mi familia y compañeros.

Contenido

Resumen	1
Introducción	3
1. Antecedentes.....	8
1.1. Acciones gubernamentales en materia de eficiencia energética en los edificios.	8
1.2. Arquitectura bioclimática.....	9
1.3. Estudios sobre costos de la arquitectura bioclimática	10
2. Marco jurídico-programático y conceptos principales	15
2.1. Arquitectura bioclimática.....	15
2.2. Modelo financiero y evaluación de proyectos	19
2.3. Acciones gubernamentales en materia de eficiencia energética en los edificios	22
3. Metodología	29
3.1. Estudio y definición de bioclimas representativos	31
3.2. Método para la simulación del comportamiento térmico de la vivienda.....	32
3.2.1. Cálculo de la ganancia de calor en una vivienda	32
3.2.2. Método de grados-día	33
3.2.3. Consumo energético de sistemas de climatización artificial, con base en método de grados-día	35
3.3. Modelo de financiamiento	35
4. Casos de estudio	38
4.1. Determinación de los bioclimas estudiados.....	38
4.2. Diseño de una vivienda convencional	39
4.3. Terreno	44
4.4. Caso de estudio: bioclima cálido húmedo	46
4.4.1. Análisis del bioclima	46
4.4.2. Evaluación del comportamiento térmico	56
4.4.3. Consumo energético de equipos de climatización artificial	70
4.4.4. Costos paramétricos y de materiales en la vivienda convencional y en la vivienda bioclimática	76
4.4.5. Resultados del modelo financiero	80
5. Resultados.....	84
5.1. Análisis del bioclima	84
5.2. Evaluación del comportamiento térmico de la vivienda convencional y bioclimática en cada bioclima	91

5.3. Consumo energético de equipos de climatización artificial.....	94
5.4. Costo energía eléctrica	97
5.5. Costos paramétricos y de materiales en la vivienda convencional y en la vivienda bioclimática.....	99
5.6. Resultados del modelo financiero	100
Conclusiones.....	104
Referencias bibliográficas.....	109
Bibliografía.....	114
Anexos	117

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Etapas de un proyecto	19
Ilustración 2. Estructura de un flujo de caja	20
Ilustración 3. Etapas para diseño de vivienda bioclimática	29
Ilustración 4. Metodología propuesta.	31
Ilustración 5. Regiones Ecológicas y ubicación de 67 ciudades	38
Ilustración 6. Localidades de estudio	39
Ilustración 7. Terreno en venta en Villahermosa, Tabasco	44
Ilustración 8. Viviendas colindantes al terreno en venta, Villahermosa	45
Ilustración 9. Carta bioclimática de Olgay, modificada por Szokolay para Villahermosa.....	49
Ilustración 10. Diagrama bioclimático de Givoni, modificado para Villahermosa (junio)	49
Ilustración 11. Bioclima cálido húmedo	51
Ilustración 12. Gráfica solar equidistante para el primer y segundo semestre del año, Villahermosa	54
Ilustración 13. Aleros y partesoles	55
Ilustración 14. Control solar fachadas sur y norte en el segundo semestre del año, Villahermosa	55
Ilustración 15. Esquema de un block de concreto hueco	56
Ilustración 16. Esquema de losa de concreto armado.....	58
Ilustración 17. Imagen de vidrio de 3 milímetros de espesor	59
Ilustración 18. Esquema de una puerta de viruta aglutinada	60
Ilustración 19. Orientación para vivienda bioclimática en Villahermosa.....	65
Ilustración 20. Esquema de la fachada sur de la vivienda bioclimática.....	65
Ilustración 21. Esquema de vigueta y bovedilla de concreto	66
Ilustración 22. Bioclima cálido seco	87
Ilustración 23. Bioclima templado	88
Ilustración 24. Bioclima semifrío.....	88
Ilustración 25. Terreno en venta en Mexicali, Baja California.....	156
Ilustración 26. Viviendas colindantes a terreno en venta, Mexicali.....	156
Ilustración 27. Terreno en venta, Ciudad de México	157
Ilustración 28. Viviendas colindantes a terreno en venta, CDMX.....	157

Ilustración 29. Terreno en venta en Tulancingo, Hidalgo.....	157
Ilustración 30. Viviendas colindantes a terreno en venta, Tulancingo	158

Índice de Gráficas

Gráfica 1. Zonas de confort ASHRAE	18
Gráfica 2. Zonas de confort de Givoni.....	18
Gráfica 3. Temperaturas promedio y extremas anuales para Villahermosa	46
Gráfica 4. TIR por proyecto de cada tipo de vivienda, por bioclima	101
Gráfica 5. Valor Presente Neto por cada proyecto de vivienda, por bioclima	102
Gráfica 6. Periodo de Recuperación de la Inversión por proyecto de vivienda, por bioclima	103

Índice de Tablas

Tabla 1. Intervalos de la sensación térmica con base en la PMV, de Fanger.....	17
Tabla 2. Ahorros económicos mínimos para participar en la Hipoteca Verde	25
Tabla 3. Condiciones financieras del programa Mejoramiento Sustentable.....	26
Tabla 4. Valores para el cálculo del flujo de calor a través de la envolvente (extracto)	30
Tabla 5. Clasificación de la vivienda de INFONAVIT	40
Tabla 6 .Clasificación del tipo de vivienda demandada, 2020	40
Tabla 7. Estimación de temperaturas horarias medias mensuales en Villahermosa	47
Tabla 8. Estimación de humedades relativas horarias medias mensuales para Villahermosa	48
Tabla 9. PMV para Villahermosa	50
Tabla 10. PET en grados centígrados para Villahermosa	51
Tabla 11. Horas de frío, confort y calor en Villahermosa	52
Tabla 12. Número de horas que requieren ganancia de calor o protección por semestre	54
Tabla 13. Valores para el cálculo del flujo de calor a través de la envolvente (extracto)	56
Tabla 14. Ganancias de calor por conducción y radiación para condiciones mínimas de confort, Villahermosa	62
Tabla 15. Ganancias de calor por conducción y radiación de una vivienda convencional, en Villahermosa	63
Tabla 16. Resumen de la simulación del comportamiento térmico de la vivienda convencional, para Villahermosa	64
Tabla 17. Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor de vigueta y bovedilla	67
Tabla 18. Ganancias de calor por conducción y radiación de una vivienda bioclimática, en Villahermosa	69
Tabla 19. Resumen de la simulación del comportamiento térmico de la vivienda bioclimática, para Villahermosa	70
Tabla 20. Especificaciones de un equipo de climatización	71
Tabla 21. Relación de potencia y consumo de energía de un equipo de climatización	71
Tabla 22. Grados-día de enfriamiento y de calentamiento anual	71
Tabla 23. Energía consumida para enfriamiento artificial, por unidad de superficie	72
Tabla 24. Energía consumida para calentamiento artificial.	73

Tabla 25. Energía eléctrica consumida anualmente para enfriamiento y calentamiento artificial (vivienda convencional).....	73
Tabla 26. Energía consumida para calentamiento artificial (vivienda bioclimática)	74
Tabla 27. Energía eléctrica consumida anualmente para enfriamiento y calentamiento artificial (vivienda bioclimática).....	74
Tabla 28. Tarifas CFE para cada localidad	75
Tabla 29. Tarifa de verano 2021 CFE, por localidad	75
Tabla 30. Cálculo del gasto anual para sistemas de climatización artificial en la vivienda	76
Tabla 31. Precio por metro cuadrado y por partida.....	77
Tabla 32. Costos de materiales	77
Tabla 33. Costos por sistema constructivo en techo y muros para una vivienda bioclimática en bioclima cálido húmedo	78
Tabla 34. Costo paramétrico de la vivienda bioclimática, bioclima cálido húmedo	78
Tabla 35. Comparación entre gasto anual en climatización artificial en un periodo de 20 años	78
Tabla 36. Indicadores de rentabilidad para proyecto de vivienda convencional en Villahermosa	81
Tabla 37. Indicadores de un proyecto de vivienda bioclimática en Villahermosa, Tabasco ...	82
Tabla 38. Cuadro resumen de recomendaciones de diseño bioclimático.....	89
Tabla 39. Comportamiento térmico de la vivienda convencional, para Mexicali	91
Tabla 40. Comportamiento térmico de la vivienda bioclimática, para Mexicali	92
Tabla 41. Comportamiento térmico de la vivienda convencional, para CDMX	92
Tabla 42. Comportamiento térmico de la vivienda bioclimática, para CDMX	92
Tabla 43. Comportamiento térmico de la vivienda convencional, para Tulancingo	93
Tabla 44. Comportamiento térmico de la vivienda bioclimática, para Tulancingo	93
Tabla 45. Comparación de ganancia de calor entre vivienda convencional y vivienda bioclimática, por cada bioclima.....	94
Tabla 46. Grados-día de enfriamiento y de calentamiento anual por localidad	95
Tabla 47. Energía consumida para enfriamiento y calentamiento artificial, por unidad de superficie, por localidad	95
Tabla 48. Energía eléctrica consumida anualmente para enfriamiento y calentamiento artificial, por localidad con base en método de grados-día (vivienda convencional)	96
Tabla 49. Energía eléctrica consumida anualmente para enfriamiento y calentamiento artificial, por localidad con base en método de grados-día (vivienda bioclimática)	96
Tabla 50. Cálculo del gasto anual para sistemas de climatización artificial en la vivienda, por localidad.....	97
Tabla 51. Costo paramétrico por metro cuadrado para vivienda bioclimática, por bioclima ..	99
Tabla 52. Comparación entre gasto anual en climatización artificial en un periodo de 20 años, por vivienda	99

Resumen

En México las principales fuentes de energía son productos derivados del petróleo (gasolina, diesel y gas), así como el carbón. La combustión de dichos energéticos genera Gases de Efecto Invernadero (GEI) que impactan directamente en el aumento de la temperatura del planeta, es decir al cambio climático. Las alteraciones en el clima han sido aceleradas en las últimas décadas por la actividad humana. Si se desea revertir esa tendencia es necesario tomar acciones para transitar hacia sistemas energéticos renovables, priorizando medidas que permitan ahorrar energía en diferentes sectores y áreas de la actividad humana.

El sector residencial como parte de los edificios (junto con el sector comercial y público) consume el 20 % aproximadamente de las emisiones totales del país (Balance Nacional de Energía, 2019). Si bien existen programas de apoyo que permiten mitigar la emisión de GEI, como las ecotecnologías, resulta necesario explorar otras opciones para reducir el consumo energético en la vivienda. Se ha demostrado que existe una relación directa y proporcional entre la demanda de energía y la emisión de contaminantes a la atmósfera. Es posible reducir el consumo de energía en la vivienda a través de la arquitectura bioclimática, junto con tecnologías eficientes en sistemas de climatización artificial y el uso de energías renovables, lo que lleva a la sustentabilidad energética o “cero energía”.

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo ahondar desde el desarrollo inmobiliario las posibilidades para aumentar la oferta de vivienda bioclimática que toma en cuenta sus condiciones climáticas, aprovechando su contexto.

Se parte de un análisis del bioclima de los principales climas del país. Este análisis permite identificar los requerimientos de climatización en cada caso de estudio y proponer una serie de estrategias de diseño bioclimático. Se parte de datos geográficos, como la altitud, latitud y longitud, así como del clima: temperatura, humedad relativa, el viento y la radiación. Con dichos datos se realiza el estudio del bioclima en los diagramas bioclimáticos de Olgyay y Givoni, para finalmente definir los requerimientos de climatización de la vivienda en cada clima y poder calcular los costos de estrategias en la vivienda bioclimática.

Después se realiza un análisis del comportamiento térmico de una vivienda convencional. El modelo de la vivienda convencional se toma de un modelo construido actualmente por una de las desarrolladoras más importantes. Se estima un gasto anual en climatización artificial para cada vivienda (convencional y bioclimática) y se hace una comparación. Asimismo, se propone una serie de estrategias en el diseño de la vivienda y se estiman los costos de dichas estrategias.

Estos costos se estiman y se proyectan en un modelo financiero que permite analizar los indicadores de rentabilidad de un proyecto de vivienda bioclimática, a partir de la comparación con una vivienda convencional.

Los indicadores de rentabilidad muestran que el proyecto para vivienda bioclimática supera en todos los casos al proyecto de vivienda convencional. Es decir, que la rentabilidad para llevar a cabo un proyecto de vivienda bioclimática es más atractiva como proyecto de inversión, que uno de vivienda convencional. Lo anterior se relaciona con los costos de construcción, siendo incluso más barato

construir una vivienda bioclimática que una convencional, utilizando materiales y sistemas constructivos adecuados al clima y que permiten el confort del usuario.

Introducción

Hoy en día se ponen de manifiesto retos ambientales que aunque no son nuevos, son recientes en su consideración dentro de las políticas de desarrollo urbano. Se ha cambiado el concepto de cambio climático para referirse a este fenómeno como una crisis climática, que se refiere al cambio en el clima, atribuido a las actividades humanas, que altera, entre otras cosas, la composición de la atmósfera (WWF, 2019).

Las alteraciones en el clima han sido aceleradas en las últimas décadas por la actividad humana. Si se desea revertir esa tendencia es necesario tomar acciones para transitar hacia sistemas energéticos limpios, priorizando medidas que permitan ahorrar energía en diferentes sectores de la economía. Estas medidas van desde lo general hasta lo particular, y en este trabajo se analiza la posibilidad de reducir los requerimientos de energía para climatización en una vivienda convencional y una bioclimática.

Las ciudades y las regiones tienen un papel fundamental en el fenómeno de la crisis climática. Actualmente más de la mitad de la población mundial radica en ciudades y según la Organización de las Naciones Unidas, se espera que la cifra aumente hasta 5 mil millones de personas para el año 2030 (ONU, 2019). Asimismo, la rápida urbanización ejerce presión sobre los recursos naturales (principalmente agua y energía). La población se ve afectada con la contaminación atmosférica que se genera en las urbes, debido a los problemas que genera en la salud física de los individuos.

La Organización de las Naciones Unidas organizó en septiembre del año 2015 la Cumbre del Desarrollo Sostenible en la que participaron más de 150 jefes de estado. En esta cumbre se aprobó la Agenda 2030, que contiene 17 objetivos (Objetivos de Desarrollo Sostenible, ODS). Estos representan los esfuerzos de los países para lograr un desarrollo sustentable para el año 2030 y están englobados en tres ejes: disminuir la pobreza, combatir la inequidad y frenar el cambio climático. Los objetivos están relacionados de tal manera que se debe avanzar en cada uno de ellos para lograr un desarrollo sustentable, es decir, que están interrelacionados.

El objetivo global número 11 se refiere a las ciudades y comunidades sustentables y se enfoca en lograr ciudades y asentamientos humanos seguros, resilientes y sustentables. Dentro de este objetivo general se encuentran otros particulares, de los cuales destacan el 11.3 Urbanización sustentable e inclusiva y 11.6 Reducir el impacto ambiental de las ciudades (ONU-Hábitat).

Para lograr el objetivo global mencionado resulta necesario reducir el consumo: de materiales, de agua y de energía en general. Es importante que el ambiente construido se adapte a las condiciones del terreno donde se encuentra, es decir a las condiciones hídricas, climáticas y topográficas. Es así como se pueden reducir los consumos y gasto de energía, y también se puede generar menos contaminación.

En el contexto internacional México ha participado en convenciones y congresos para manifestar el compromiso de mejorar el medio ambiente. Entre las más importantes, destaca el Acuerdo de París, el cual entró en vigor en 2016 y tiene como objetivo combatir el cambio climático y acelerar e intensificar las acciones y las inversiones necesarias para un futuro sustentable con bajas emisiones de carbono.

El sector residencial, comercial y público es responsable del 20% aproximadamente del consumo energético total nacional, precedido únicamente por el sector transporte e industrial (Balance Nacional de Energía, 2019).

Existe una relación directamente proporcional entre el crecimiento económico y la cantidad de energéticos que se utilizan, así como la emisión de contaminantes (Gómez-López, 2011). El sector residencial es uno de los mayores demandantes de energía en México, después del transporte y la industria (Islas, 2015).

Planteamiento del problema

México tiene un sistema energético que está basado principalmente en el uso de combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón), por lo que la cantidad de GEI producida en México por la quema de combustibles es alta en comparación con otros países (Islas et al, 2015).

El ritmo de consumo de los recursos asociados con la construcción, mantenimiento y uso de los edificios y ciudades, así como las emisiones de carbono que resultan de estas actividades, son insostenibles. Asimismo, existen insuficientes incentivos para la construcción de viviendas que consideran sus condiciones climáticas y cuando se llegan a construir, resultan demasiado costosas para el promedio de la población.

Por otra parte, para lograr condiciones confortables en las viviendas se utiliza energía convencional o no renovable, que es altamente contaminante. La vivienda convencional es una vivienda calurosa, por lo que se requiere una cantidad considerable de energía para equipos de climatización.

Justificación

En el cuarto artículo de la Constitución Política de México se establece la vivienda como un derecho al que todas las familias tienen. Sin embargo, bajo el sistema socioeconómico actual la vivienda es considerada una mercancía que se sujeta a los mecanismos del mercado, más que un derecho. La satisfacción de la demanda de vivienda se deja a los promotores inmobiliarios y el estado tiene un papel secundario. Desde esta perspectiva, el mercado de vivienda se enfrenta a diferentes causas que obstaculizan su disponibilidad, entre las cuales se encuentra la falta de financiamiento adecuado. Generalmente la vivienda que integra criterios de sustentabilidad es muy costosa, por lo que los grupos sociales con menor poder adquisitivo recurren a las soluciones de vivienda distintas, como la autoconstrucción o la vivienda en cooperativa (Solís, Robles y Rodríguez, 2020). Otro factor que dificulta el acceso a la vivienda convencional es el precio del suelo.

El suelo es un bien que es escaso, irreproducible e inamovible por lo que su mercado tiene características particulares. Debido a que el suelo es un bien valorizado por lo que se tenga en el futuro, es decir que depende de su posición relativa en la estructura urbana. En este contexto, los agentes que son propietarios de una porción de suelo tienen a especular con su renta, generando en consecuencia desplazamientos no voluntarios de la población. Por esta razón es necesaria la participación del Estado como un regulador del mercado inmobiliario, así como del acceso al suelo urbanizado. En el modelo financiero propuesto, el precio del suelo es un factor determinante para la toma de decisiones.

Asimismo, la participación del sector financiero o bancario es fundamental en la producción del espacio construido. Se requiere un Estado que regule el mercado y participe activamente en la toma de decisiones. De esta manera se generan condiciones propicias para la inversión inmobiliaria y de expansión y renovación de infraestructuras (Delgado, 2019).

El espacio construido requiere de la participación del sector bancario y financiero y también del estado, para establecer condiciones propicias a la inversión inmobiliaria. Sin embargo, es posible aumentar la eficiencia de los edificios construidos y los nuevos, tomando en cuenta componentes como el clima, diseño, materiales y tecnologías en su operación y mantenimiento.

En la construcción de un proyecto de vivienda convencional se busca tener la mayor rentabilidad posible. Como se dijo anteriormente, el precio del suelo impacta directamente en el precio final de la vivienda convencional, por lo que se busca reducir el costo en otros rubros, como en la construcción, utilizando materiales que tienen un alto impacto en el ambiente y no consideran el ciclo de vida de los edificios.

Por otra parte, el consumo de energía para la climatización depende principalmente del clima de la zona, la eficiencia de la tecnología utilizada y el diseño de la vivienda. Es necesario que el diseño de las viviendas corresponda a las necesidades de confort de las personas, modificando las tecnologías existentes, sin afectar el valor de la vivienda. Un ahorro de energía puede establecerse desde la etapa de diseño con criterios bioclimáticos, basado en las condiciones climáticas (CONAFOVI, 2006)

La edificación debe considerar el clima de la región, así como la orientación y el tipo de actividad a la que estará destinado, para brindar condiciones de confort. Una vez considerados estos elementos junto con una adecuada envolvente del edificio se puede reducir el consumo energético, sobre todo en los climas más extremos.

El uso de los sistemas pasivos de climatización puede considerarse o plantearse en el primer 20% de la fase de diseño, por lo que desde el principio se deben tener presentes los parámetros relacionados con los impactos ambientales y urbanos, al mantenimiento y a los costos durante el ciclo de vida del edificio. Algunas de las recomendaciones se centran en el diseño arquitectónico, como la forma del edificio, ventilación, iluminación, fachadas y techos con materiales adecuados al clima y la orientación del edificio (Ritchie y Thomas, 2009), entre otros. Sin embargo, no son utilizados a un nivel masivo en la construcción de las viviendas que se ofertan en el mercado.

El sector residencial cuenta con un potencial para construir viviendas confortables y que permita al usuario ahorrar energía destinada a climatización artificial. A nivel nacional se han diseñado políticas de vivienda con un enfoque sustentable, entendido como la promoción de vivienda que impacta lo menor posible en su medio ambiente, con perspectiva social y que sea accesible. Un ejemplo de estas políticas es el programa Hipoteca Verde.

Objetivos

General

- Proponer un esquema de financiamiento para vivienda bioclimática, en cuatro bioclimas representativos del país, cuya base es la comparación con un esquema de financiamiento para vivienda convencional.

Particulares

- Elaborar, comparar y contrastar esquemas financieros para viviendas bioclimática y convencional.
- Definir las estrategias de las viviendas para cada bioclima y considerar los costos de su ejecución.
- Calcular la ganancia de calor de una vivienda en cada bioclima analizado, comparando una vivienda bioclimática y convencional.
- Simular el comportamiento térmico de una vivienda convencional y una bioclimática.
- Elaborar y analizar indicadores en la elaboración de un modelo financiero de vivienda bioclimática y compararlos con los de la vivienda convencional.

Hipótesis

Es posible incentivar la construcción y el desarrollo de vivienda bioclimática desde el sector inmobiliario a través de esquemas de financiamiento que sean atractivos para desarrolladores, aumentando la oferta en el mercado de este tipo de vivienda.

Estructura

El presente trabajo se divide en cinco capítulos. En el primer capítulo se hace una revisión de los principales estudios sobre la arquitectura bioclimática y sus costos y la eficiencia energética en los edificios habitacionales, que son referencias y sirven como base para el presente trabajo. Se mencionan los trabajos más relevantes sobre el tema de arquitectura bioclimática, los costos que tiene el diseño bioclimático y la energía utilizada para equipos de climatización artificial. También se mencionan algunos trabajos sobre estudios comparativos entre una vivienda convencional y una bioclimática. La finalidad es proporcionar un estudio del estado del arte sobre dichos temas.

En el segundo capítulo se sientan las bases conceptuales y teóricas que permiten orientar el proceso de la investigación. Se parte de los principios teóricos de la arquitectura bioclimática y se revisan conceptos como el confort, la envolvente y sistemas pasivos. Por otra parte, se describen conceptos sobre el modelo de financiamiento, cómo se conforma y se describen sus características: el flujo de efectivo, estado de resultados e indicadores de rentabilidad. En la última parte del capítulo se mencionan algunas acciones gubernamentales y programas en los que se inscribe la vivienda bioclimática.

En el tercer capítulo se describe la metodología utilizada, que parte del estudio del bioclima, así como de la simulación del comportamiento térmico de una vivienda convencional.

Posteriormente se utiliza el método de grados-día que permite conocer la necesidad de climatización (enfriamiento o calentamiento) y con este dato se calcula con la eficiencia energética de un equipo de climatización dado, el consumo de energía eléctrica aproximada que se tiene en la vivienda

convencional. Conociendo las necesidades de climatización se proponen estrategias bioclimáticas para lograr condiciones de confort en la vivienda, que se incorporan a un modelo financiero para calcular la rentabilidad de la vivienda bioclimática.

El cuarto capítulo corresponde al caso de estudio. En primer lugar, se describe cómo se eligieron los bioclimas estudiados. Una vez establecidos, se describe la elección de la vivienda convencional y se describe su diseño arquitectónico. Asimismo, se detallan los terrenos elegidos en cada bioclima. En este capítulo se aplica la metodología propuesta en un caso de estudio: bioclima cálido húmedo.

En el quinto capítulo se exponen los resultados que se obtuvieron. En la primera parte se incluye el diagrama del bioclima de cada lugar y posteriormente las estrategias de climatización natural. Después se presenta la simulación del comportamiento térmico en la vivienda convencional y la bioclimática, por cada bioclima. Una vez obtenidos los resultados de requerimiento de energía para la climatización de la vivienda convencional, se calculan los costos de dicha vivienda y se incorporan en un modelo financiero para un proyecto de vivienda. Asimismo, se presenta el cálculo del costo de las estrategias bioclimáticas y se incorpora al precio de la vivienda bioclimática. Con estos datos, se corre el modelo por cada bioclima y se hace la comparación de los indicadores de rentabilidad entre una vivienda bioclimática y convencional.

La última parte trata sobre las conclusiones, recomendaciones y reflexiones finales. Se hace una revisión de los objetivos y la hipótesis y se confirma el cumplimiento y las aportaciones en cada actividad. Se plantean recomendaciones para futuros trabajos de investigación.

1. Antecedentes

El objetivo de este capítulo es hacer una revisión sobre los principales trabajos que se han realizado en el tema de diseño bioclimático y que son pertinentes para el trabajo de investigación. Por otra parte, también se incluyen las acciones gubernamentales promulgadas en materia de eficiencia energética de los edificios, así como programas federales de financiamiento para eficiencia energética en la vivienda.

1.1. Acciones gubernamentales en materia de eficiencia energética en los edificios.

En 2006 se publicó la Ley de Vivienda donde se establece que las viviendas deben considerar “...**la adecuación al clima con criterios de sustentabilidad, eficiencia energética y prevención de desastres, utilizando preferentemente bienes y servicios normalizados. Asimismo, promoverá el uso de energías renovables mediante las nuevas ecotecnologías aplicables a la vivienda, de acuerdo a las regiones bioclimáticas del país, utilizando equipos y sistemas normalizados en cualquiera de sus modalidades.**”

En 2011 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la NOM 020 ENER 2011. Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios para uso habitacional, cuyo objetivo es limitar la ganancia de calor de los edificios para uso habitacional a través de su envolvente, con objeto de racionalizar el uso de la energía de los sistemas de enfriamiento. Esta es la metodología que se utiliza como base para la propuesta del presente trabajo.

En 2013 se publicó la NMX AA 164 SCFI 2013. Edificación sustentable, criterios y requerimientos ambientales mínimos, donde se consideran aspectos de construcción del edificio, y también de su contexto físico. Entre los requisitos para cumplir esta Norma está el generar información periódica sobre el consumo de energía del edificio.

Por otra parte, las Reglas de Operación del Programa de Vivienda Social de la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) se publicaron en 2019, donde se define la vivienda como el espacio habitable que desde su diseño arquitectónico considera las necesidades básicas del ser humano y su contexto: urbano, comunitario y natural (SEDATU, 2020). Así se proporciona un bienestar general a sus habitantes, al mismo tiempo que se genera un ahorro económico para las familias. También se mitigan las emisiones de GEI y se consideran sistemas eficientes de agua y energía que contribuyan a la reducción del impacto ambiental. Lo que destaca de esta definición es que se rescata el aspecto del contexto del ser humano y también el concepto de generar bienestar.

Programas federales para eficiencia energética en la vivienda

En 2007 se creó el programa federal Hipoteca Verde cuyo objetivo es mejorar la calidad de vida de los acreditados mediante la disminución del gasto económico, al mismo tiempo que contribuye a la conservación del medio ambiente. Este programa ha sido el más exitoso en materia de ahorro de energía en las viviendas a nivel federal.

En 2016 se publicó la NAMA de vivienda y se refiere a la eficiencia energética en las construcciones que se basa en la integridad del desempeño de la vivienda. De esta manera los estándares están fijados para la demanda de la energía, lo cual se basa en el prototipo de vivienda

y también en la zona climática. Se considera una combinación entre sistemas pasivos, y el uso de equipos eléctricos eficientes de climatización.

El Programa de Mejoramiento Sustentable en viviendas comenzó en 2017 y se trata de un programa de la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) que opera junto con la Secretaría de Energía y el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), cuyo propósito es reducir el gasto en gas y electricidad en las viviendas, obteniendo crédito simple para adquirir las ecotecnologías.

1.2. Arquitectura bioclimática

El término bioclimático surgió en la década de los sesenta, con la publicación de los hermanos Olgay *Design with climate* (1963). En esta se estudiaron los aspectos del acondicionamiento de los espacios y criterios de confort. A partir de la metodología propuesta por los hermanos Olgay que se basa en la carta bioclimática, se han elaborado diferentes herramientas para establecer los rangos de confort.

En México el Ingeniero Ernesto Jáuregui contribuyó con los primeros trabajos sobre confort térmico y niveles de disconfort en el año 1967. También publicó los primeros estudios del bioclima en algunas ciudades mexicanas (Morillón, 2004).

Fanger publicó su libro *Thermal Comfort* en 1973 en el cual se incluía el método para calcular el confort, basado en su ecuación. Se calcularon dos índices: PMV (*Predicted Mean Vote* o voto medio estimado) y el porcentaje de personas insatisfechas, que se relacionan con los niveles de sensación térmica.

Por otra parte Baruch Givoni publicó en 1976 el libro *Man, Climate and Architecture* en el que se incluye su carta o diagrama bioclimático. El objetivo es determinar la estrategia de diseño bioclimático que se debe utilizar en función de las condiciones higrotérmicas del edificio en una época determinada del año.

En la década de los setenta en México, Everardo Hernández participó con trabajos sobre el aprovechamiento de la energía solar en la vivienda y sus proyectos se construyeron en algunos estados del país.

En 1982 Fernando Tudela publicó un libro llamado *Ecodiseño*, sobre conocimientos elementales de bioclima y diseño, editado por la Universidad Autónoma Metropolitana de Xochimilco.

Steven Szokolay en 1984 examinó las condiciones del confort térmico y la variabilidad de requerimientos de espacio y tiempo. En su publicación *Passive and low energy design for thermal and visual comfort* se incluye una carta bioclimática y se sugiere un método de escala móvil. Asimismo, se estudia el método de coincidencia de patrones para calentamiento solar pasivo y su relevancia para diseño de refrigeración pasiva.

Por su parte, Adalberto Tejeda publicó en 1988 *Clima, arquitectura y urbanismo en Veracruz y Xalapa*, y actualmente forma parte de la Universidad Veracruzana, además de presentar algunas herramientas

Posteriormente se han analizado los procesos de flujo de calor entre el entorno y el ser humano, por ejemplo, los estudios de Morillón y Mesa en 1997. Asimismo, Morillón desarrolla una metodología para

el diseño bioclimático que se publicó en el año 2000, y está basada en el manejo del clima como resultado de satisfacer las necesidades de confort térmico de las personas, maximizando la eficiencia energética en la edificación (Morillón y Ceballos, 2015)

1.3. Estudios sobre costos de la arquitectura bioclimática

Muchas veces se conceptualiza la arquitectura como una mercancía que implica un costo de oportunidad y por lo tanto se requiere recuperar la inversión lo más pronto posible. Si bien en algunos lugares no es posible lograr la totalidad de climatización natural, es posible disminuir los requerimientos de climatización artificial. Para demostrar que no necesariamente es más costosa que la vivienda tradicional, se han elaborado trabajos de investigación, entre los que destacan los siguientes.

Sámano y Morales publican en 1989 “Diseño térmico de la habitación” donde describen un método para lograr el diseño térmico óptimo de un edificio, atendiendo los aspectos de confort de los usuarios, considerando el ahorro de energía.

Un año más tarde, Sámano et al publicaron el trabajo “Estudio experimental y numérico del flujo de aire en techos y paredes de edificios construidos para operar en forma pasiva”, en el cual se presentan los resultados del flujo de aire generado en el hueco que se forma por bovedillas en los cubículos de un edificio de Temixco, Morelos.

Morillón, López y Rodríguez presentaron en 1999 un análisis comparativo de costos constructivos entre un diseño convencional y un diseño bioclimático. Este trabajo tuvo por objetivo presentar herramientas y criterios de costos de construcción, operación y mantenimiento de un proyecto. Se concluyó que los proyectos bioclimáticos presentan mayores ventajas económicas que los proyectos tradicionales (Morillón, López y Rodríguez, 1999).

En 2000, Romero, Morales y Sandez presentan su trabajo donde se analizan factores como el clima, la envolvente y el uso de los equipos de climatización artificial que consumen energía en la vivienda. El objetivo de dicho trabajo fue presentar el comportamiento del consumo energético doméstico de Mexicali, por lo que se limita a esta ciudad.

Un año más tarde Negrete y Morales (2001) proponen estrategias de climatización natural, así como un análisis de costo-beneficio de las estrategias propuestas en un modelo de vivienda ubicado en Monterrey, Nuevo León. Sin embargo, este estudio está limitado a esta localidad.

En 2003, González y Poujul comparan los aspectos térmico y económico para dos opciones de recubrimiento de techo, considerando el efecto en el costo energético de climatización artificial. Se concluye que el material de poliestireno es mejor en cuanto al costo-beneficio, sin embargo, no se exploran otras estrategias de sistemas pasivos. Asimismo, este trabajo es aplicado a un aula escolar, no a una vivienda.

Alfonso y Gan (2007) estudiaron las posibilidades de utilizar tecnologías y materiales de bajo costo, ya sea de corto o de largo plazo y que requieren mínimo mantenimiento, para satisfacer las necesidades de personas en un caso específico. En este trabajo establecen que para materializar las

condiciones óptimas de habitabilidad es necesaria el financiamiento de organismos gubernamentales y no gubernamentales para favorecer el progreso de los más necesitados.

Gonzalo et al (2007) realizaron un análisis de una vivienda de interés social en una provincia argentina, con el objetivo de mejorar las condiciones de habitabilidad en las mismas. En este estudio se realizaron propuestas de mejoramiento térmico y se determinó que éstas no incrementaron el costo final de las viviendas. El prototipo de vivienda propuesto fue menor al costo de la vivienda original en 2%, además del beneficio social de utilizar herramientas de fácil manejo y participación de la comunidad.

En 2009 Acuña estudia dos tipos de vivienda en la ciudad de Zacatecas, comparando los niveles de confort tomando en cuenta la temperatura, humedad e iluminancia. Se obtuvo que la vivienda bioclimática tiene un mejor desempeño en el monitoreo ambiental y el normativo. Sin embargo, su trabajo está limitado a un solo tipo de clima.

Widera (2014) hace un análisis de las distintas maneras de adaptación al clima en combinación con la tecnología aplicados a edificios bioclimáticos. Se presenta en su investigación tres casos de estudio que demuestran que los beneficios de la arquitectura bioclimática no exceden el presupuesto requerido en comparación con un edificio similar sin diseño bioclimático.

Barragán y Ochoa (2014) presentaron el diseño de una vivienda diseñada en el clima local, utilizando un software de simulación térmica. En este análisis se observa que es posible construir viviendas de tipo social con diseño bioclimático, bajo condiciones particulares, sin que represente un costo adicional en comparación a una vivienda sin diseño bioclimático.

Baniassadi et al publicaron en 2021 un trabajo donde se considera un caso de vivienda pública utilizando varias herramientas para calcular diferentes métricas económicas, ambientales y de salud asociadas con la eficiencia energética. En los resultados de esta investigación se muestra que en principio la recuperación de la inversión no es atractiva, se deben considerar otros ahorros. Los costos de salud podrían representar hasta el 40% de los ahorros directos de los servicios públicos. Sin embargo, este trabajo es aplicado en un caso de Estados Unidos.

En 2021 Griego et al investigaron las interacciones entre diversas medidas de eficiencia energética y medidas de confort térmico para edificios residenciales en Salamanca, Guanajuato, utilizando procedimientos de simulación y optimización. Los resultados del análisis sugieren que se requiere una combinación de electrodomésticos energéticamente eficientes, así como mayores niveles de aislamiento térmico de techos y paredes y calentamiento eficiente del agua para lograr un ahorro de 52% en energía anual para edificios nuevos. Sin embargo, este estudio está limitado al caso de Guanajuato.

Asimismo, Li et al (2021) presentan un modelo de optimización del confort basado en una simulación. Se establece un modelo para medir el consumo de energía y nivel de confort y se aplica un método de optimización. Los resultados muestran que hay cuatro parámetros particularmente sensibles a la eficiencia energética: el grosor del aislamiento térmico, el coeficiente de calor del techo, el coeficiente de ganancia de calor de la ventana y la relación ventana-pared. La combinación óptima puede

producir aproximadamente 4% de ahorro de energía, pero dicho estudio está aplicado a una escuela en China.

Por otra parte, Arias-Gavira et al publican en 2021 un modelo que permite estimar el ahorro de energía en edificios habitacionales y comerciales en cuatro áreas y los resultados indican que el potencial máximo de ahorro de energía es aproximadamente del 12% y el ahorro está limitado si no existen políticas para los edificios existentes. Sin embargo, esto se aplica únicamente para el caso de Colombia.

Estudios sobre comportamiento térmico

En 1999 Díaz y Morillón publicaron *Comportamiento térmico de la vivienda de interés social en diferentes regiones climáticas del país*, cuyo objetivo fue presentar el análisis térmico de la envolvente de una vivienda para diferentes ciudades del país, con la metodología de la entonces NOM 020 ENER 1998.

En el mismo año Chan, Romero y Luna publican su trabajo sobre estrategias de adecuación ambiental para viviendas en zonas áridas, donde se muestran los resultados de la aplicación de una simulación térmica mediante dos estrategias: aislamiento en la envolvente y cambio de material en los muros. Sin embargo, estas son las únicas estrategias que se analizan.

Posteriormente Canales y Morillón (2003) estudiaron viviendas con superficies similares y orientaciones distintas, y el cálculo del comportamiento térmico se basó en la metodología del anteproyecto de la Norma oficial NOM 020 ENER 2011. El objetivo de este trabajo fue analizar el bioclima de Pachuca para evaluar la vivienda de interés social y verificar si se lograba el confort en la vivienda, así como estimar el ahorro de energía para climatización.

Corral (2005) estudió el comportamiento térmico de las técnicas de adecuación ambiental aplicadas a una vivienda de tipo popular. Se plantea que no es posible plantear estrategias de adecuación a un edificio sin antes conocer el nivel económico, social y cultural del usuario. Los resultados arrojan que “...la aplicación de adecuación térmica permite reducir más del 50% la energía interna a retirar” (Corral, 2005). Este estudio está aplicado únicamente a la ciudad de Mexicali.

En 2020 Rosas Flores determina el consumo de energía de los equipos de climatización artificial en las localidades de México, clasificadas en tres regiones climáticas (extremadamente caluroso, templado y tropical). Asimismo, se determinó el espesor óptimo de aislamiento de las paredes y techos. Los resultados muestran que el 19% del consumo de energía en el sector residencial se destina a sistemas de climatización (13% para hogares urbanos y 6% para hogares rurales), mientras que el 95% de los hogares en México no cuentan con aislamiento térmico. Lo anterior es limitado para tres regiones climáticas.

Estudios sobre el método de grados-día

El método de grados-día es uno de los más utilizados para calcular el requerimiento térmico y con eso poder calcular el consumo energético que se destina a los sistemas de climatización artificial. Se definen como el requerimiento de grados (Celsius, Fahrenheit o Kelvin) para alcanzar el confort

térmico en un periodo de tiempo. Conocer los grados-día para climatización, así como la eficiencia de un equipo de climatización artificial permite estimar el gasto de energía de un cuarto o de una vivienda convencional.

Fuentes publicó en 2009 su trabajo “Modelo de análisis climático y definición de estrategias de diseño bioclimático para diferentes regiones de la República Mexicana” en el cual aplica el método de grados-día de enfriamiento y de calentamiento para los estados. Con esa información se logran mapear los grados-día de calentamiento y de enfriamiento de la República.

Posteriormente en 2015 Andrade Maciel publicó su trabajo “Diagnóstico y adecuación térmica de tienda de autoservicio para los Bioclimas de la República Mexicana: Impactos y Beneficios Energéticos y Ambientales”. En este trabajo se aplica el método de grados-día para conocer el requerimiento de enfriamiento y de calefacción y también calcular el consumo energético. Sin embargo, el edificio analizado es una tienda de autoservicio.

La Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) publicó en el año 2017 su “Manual de Fundamentos” que contiene los principios básicos del método de grados-día, de los cuales se toman las fórmulas para calcular los requerimientos de climatización para el presente trabajo.

Conclusiones

Desde 2006 se comenzó a considerar la adecuación al clima en la vivienda, con la publicación de la Ley de Vivienda, que incluye esta definición en el Artículo 71. En años posteriores este tema fue tomando mayor importancia y se publicaron Normas Oficiales y Mexicanas, como la NOM 020 ENER 2011 que permitieron construir edificaciones y viviendas energéticamente más eficientes y que consideran el contexto físico de la vivienda. Es hasta 2019 que en la legislación mexicana se incluyó la definición de la vivienda como espacio que considera su contexto urbano, comunitario y natural y se trata el tema del bienestar. Si bien en la legislación se consideró la importancia del clima en la vivienda, fue hasta 2007 que el programa federal Hipoteca Verde se impulsó por el Infonavit y ha sido el más exitoso. A parte de dicho programa federal existen otros programas que tienen menos tiempo de existencia, pero que ofrecen financiamientos para el usuario.

El diseño bioclimático es un método alternativo de construcción en el cual se toman en cuenta las condiciones locales climáticas. En México se ha desarrollado el tema desde finales de la década de los sesenta y actualmente tiene un papel importante en las instituciones académicas y gubernamentales, formando parte de los programas de posgrado o de diplomados y especialidades.

Existen trabajos de investigación que abordan los costos de vivienda con diseño bioclimático y lo comparan con una tradicional. En casi todos los casos se ha concluido que el diseño bioclimático no representa mayor inversión. Para lograr ahorros de energía es necesario que se conjugue el uso de la tecnología adecuada, con los materiales óptimos y renovables para cada zona y que se implemente desde la fase del diseño.

Por otra parte, los trabajos sobre arquitectura bioclimática se remontan a 1963, con la publicación de Olgay, mientras que en México profesionistas destacados como el Ingeniero Jáuregui o Everardo

Hernández publicaron trabajos sobre el confort térmico o el aprovechamiento de la energía solar en la vivienda. Es decir que en México se avanzaba a la par que a nivel mundial sobre el tema del bioclimatismo. La investigación en el tema se ha seguido desarrollando en el país hasta tener presencia en posgrados de varias universidades.

Sobre el costo de la arquitectura bioclimática se han escrito trabajos que toman casos de estudio, principalmente de climas extremos (cálidos o semifríos), o que hacen comparaciones entre diseños convencionales y bioclimáticos, sin embargo, no se encontraron trabajos donde se comparen proyectos de inversión que puedan ser aplicados a nivel nacional (a cualquier tipo de bioclima). En cuanto a los modelos de simulación existen trabajos que consideran la metodología de la NOM 020 ENER 2011, pero no proponen una metodología nueva.

Por último, el método de los grados-día es utilizado para analizar el confort térmico y localizar las necesidades de enfriamiento y de calentamiento y de esta manera poder calcular el consumo energético de los equipos de climatización artificial. Este método es útil si se desea conocer el gasto económico que se hace en una vivienda.

Existen trabajos especializados que abordan el tema del diseño bioclimático en la vivienda, especialmente lo que estudian los climas cálidos. Sin embargo, en este trabajo de investigación se pretende proponer un modelo financiero que compara dos proyectos de vivienda en condiciones similares, pero diferente en el diseño, y que puede ser aplicable a nivel nacional.

2. Marco jurídico-programático y conceptos principales

En este apartado, se presentan los conceptos y teorías que sustentan el presente trabajo de investigación, así como un marco jurídico, normativo y programático sobre el que se inscribe la vivienda bioclimática.

2.1. Arquitectura bioclimática

El objetivo de la arquitectura es diseñar lugares para proteger al ser humano de su medio ambiente. En el caso de la arquitectura bioclimática el objetivo es lograr un ambiente confortable, mediante la interacción energética con el medio ambiente. La arquitectura convencional tiene implícito el confort para sus habitantes, adecuándose históricamente a su contexto natural, social y cultural. Este proceso de adecuación se nota en la arquitectura vernácula. Como establecen Manzano et al (2015) la intención de la arquitectura vernácula es preservar los valores arquitectónicos de la construcción, mientras que se minimizan los consumos de energía.

La arquitectura bioclimática aprovecha los factores climáticos y ambientales del lugar, para lograr condiciones de bienestar y confort para los usuarios, haciendo un uso eficiente de la energía y recursos naturales, impactando menos en el entorno donde se ubica (Olgyay, 1963). De esta manera se puede decir que el diseño bioclimático es un método alternativo de construcción en el cual se toman en cuenta las condiciones locales climáticas con el objetivo de mejorar la eficiencia energética.

Envolvente

Para asegurar las condiciones de confort térmico, visual y acústico con el menor gasto energético, es necesario considerar el diseño de la envolvente de un edificio, que forma parte del diseño bioclimático. Una de las funciones más importantes que tiene la envolvente es el control de factores ambientales.

La envolvente se define como la totalidad de los elementos de un edificio que lo componen, que separa el ambiente interior del exterior. Se diseña con respecto a varios factores determinantes como ambientales, tecnológicos, socio culturales, funcionales y estéticos. (Oral, Yener, y Bayazit, 2004)

Los materiales de construcción son importantes para el confort del habitante, pero el diseñador del edificio debe tomar en cuenta otros factores también. Es decir, que se debe considerar la naturaleza del material, de dónde proviene y qué procesos fueron necesarios para su extracción, así como los procesos de manejo y manufactura y los procesos sociales asociados a estos.

La aplicación del aislamiento térmico en las viviendas representa un 20% de reducción en el consumo de energía y combinado con equipos mecánicos de climatización artificial de alta eficiencia, se puede reducir hasta el 40% de la energía (considerando el consumo promedio de electricidad utilizando aires acondicionados eficientes y la aplicación de aislamiento térmico es de 983kWh/año) (Islas et al, 2015). Esta es únicamente una alternativa para reducir las ganancias de calor del edificio, entre otras disponibles.

En el diseño bioclimático se deben considerar diferentes aspectos. El clima donde se inscribe el edificio es el punto de partida: desde el clima de la región, hasta los microclimas que se puedan presentar por los elementos naturales. Posteriormente se debe considerar la envolvente del edificio, que requiere considerar la temperatura, la humedad, la radiación solar, la fuerza y dirección del viento, entre otros elementos. Esto define en parte el confort térmico que se pueda lograr al interior del edificio.

Sistemas pasivos y consumo de energía

Algunos aspectos del diseño bioclimático tienen que ver con la disposición en el terreno del edificio, por ejemplo, su orientación con respecto a la radiación solar y al viento. Asimismo, intervienen factores como las condiciones del sitio, las corrientes del viento, la ventilación, y la envolvente del edificio.

Por otra parte, la productividad de las personas está relacionada directamente con el confort en el interior de los edificios, especialmente considerando que aproximadamente el 80% del tiempo las personas están dentro de un edificio (Manzano-Agugliario et al 2015). Aunque el consumo de energía está ligado a los costos de mantenimiento, pocas veces se considera un diseño bioclimático desde la concepción del proyecto.

Como se establece en el texto Bioclimática: *“Los sistemas pasivos se caracterizan por formar parte de la estructura misma de la edificación, aunque acoplados de tal manera a las características del medio ambiente que pueden captar, bloquear, transferir, almacenar o descargar energía en forma natural y casi siempre autorregulable, según el proceso de climatización implicado”* (Morillón, 1993). Asimismo, se señala que los sistemas pasivos interactúan con el medio físico por medio de sus componentes, lo cual no sucede con sistemas de climatización artificial. El diseño bioclimático emplea tecnologías apropiadas y principios que se basan en un enfoque en el clima y el medio ambiente.

Confort térmico

El cuerpo humano es homeotermo, lo que significa que sus funciones están restringidas a un rango estrecho de temperaturas entre los 36 y 38°C. (Auliciems, 1972). Esta constancia del ambiente se mantiene por medio de un equilibrio entre el calor metabólico y su disipación.

El método de Fanger considera la vestimenta de la persona, la temperatura, la humedad, el nivel de actividad, la temperatura radiante media y la velocidad del viento. Esto influye en la sensación de confort del ser humano con su entorno. Se calculan dos índices: PMV (Predicted Mean Vote o voto medio estimado) y el porcentaje de personas insatisfechas, que se relacionan con los niveles de sensación térmica. El primero estima la sensación térmica media del entorno y el segundo, el porcentaje de personas que se sentirán inconfortables. Se estiman siete niveles de sensación térmica: frío, fresco, ligeramente fresco, neutro, ligeramente caluroso y muy caluroso como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Intervalos de la sensación térmica con base en la PMV, de Fanger

PMV	Sensación Térmica
-3	Frío
-2	Fresco
-1	Ligeramente fresco
0	Neutro
+1	Ligeramente cálido
+2	Cálido
+3	Bochornoso

Fuente: Morillón, 2004

Es importante tomar en cuenta que influyen varios factores, como la temperatura del aire, la humedad en el ambiente, pero también influyen factores psicosociales, como la vestimenta, las actividades, la edad y el sexo. El confort puede ser subjetivo, dependiente de la persona que habite un lugar.

Sin embargo, existen diagramas que se han diseñado para determinar niveles de confort generales. Entre los más conocidos, está el diagrama de Victor Olgyay, que determina el nivel de confort en el exterior y también diseñó diagramas para el confort en el interior. Incluye un índice de confort térmico, calculado con la humedad relativa y la temperatura interior. Este fue adoptado por la ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering). Se distinguen zonas asociadas a sus técnicas respectivas para poder alcanzar la zona de confort. Similar a la de Olgyay, esta carta bioclimática considera la temperatura y la humedad.

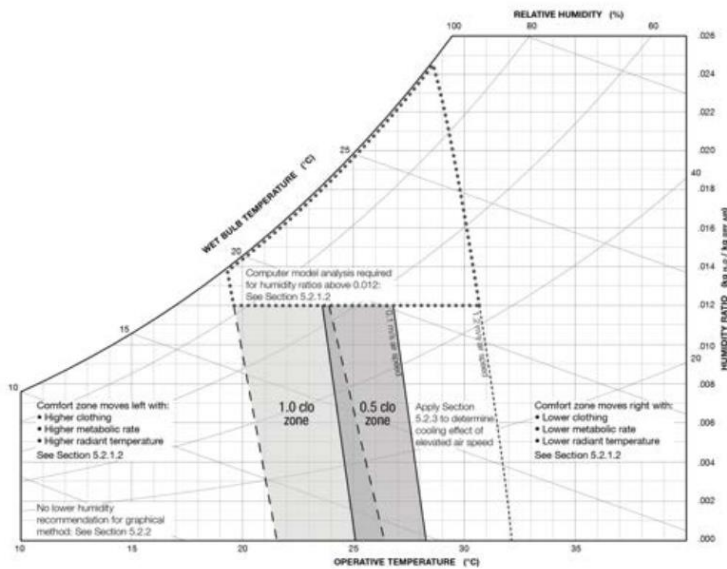
El objetivo de estos diagramas (conocidos como diagramas bioclimáticos o psicrométricos) es definir la zona de confort. Esta se puede definir como el rango de las condiciones climáticas en que la mayoría de las personas no sientan calor ni frío (Givoni, 1992).

Los diagramas bioclimáticos facilitan en análisis de las características climáticas de un lugar desde el punto de vista del confort humano. Presentan un esquema de las combinaciones entre temperatura y humedad en un punto determinado. Asimismo, pueden definir lineamientos para maximizar condiciones de confort cuando el edificio no tiene sistemas activos de climatización.

La zona de confort definida por la ASHRAE especifica los límites de la temperatura del aire y humedad para una persona sedentaria, para lo cual un sistema mecánico debe mantener el clima interior. Es decir, que está diseñado para evaluar una oficina con aire acondicionado, pero también se utiliza para evaluar el ambiente interior de edificios residenciales. Esto presenta limitaciones al momento de analizar las zonas de confort entre ciudades o regiones.

Como ejemplo se presenta un diagrama bioclimático con dos zonas de confort (para verano e invierno respectivamente).

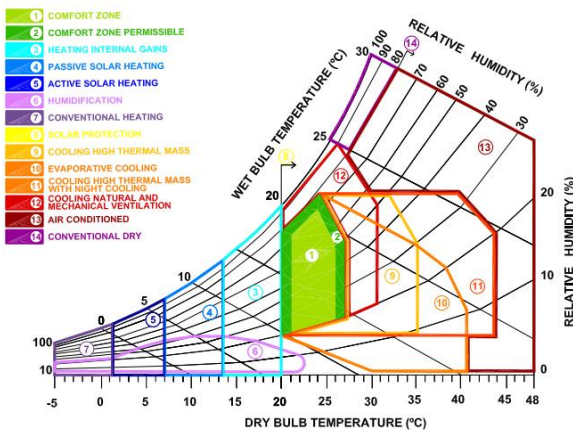
Gráfica 1. Zonas de confort ASHRAE



Fuente: Schiavon, S., Hoyt, T., & Piccioli, A. (2014)

En comparación, Baruch Givoni propone un diagrama que se divide en 14 zonas de confort, siendo deseables las zonas 1 y 2. Se consideran en los ejes la temperatura del bulbo seco y la humedad relativa. Las curvas representan la humedad relativa y la temperatura del bulbo húmedo y es necesario considerar la localización del edificio. Si se encuentra en las zonas 1 y 2 no será necesario implementar medidas de diseño pasivo; sin embargo, si se encuentra fuera de las zonas de confort, es posible implementar medidas arquitectónicas pasivas para mejorar el confort y minimizar el consumo de la energía (Givoni, 1992).

Gráfica 2. Zonas de confort de Givoni



Fuente: Givoni, B. (1992). Comfort, climate analysis and building design guidelines.

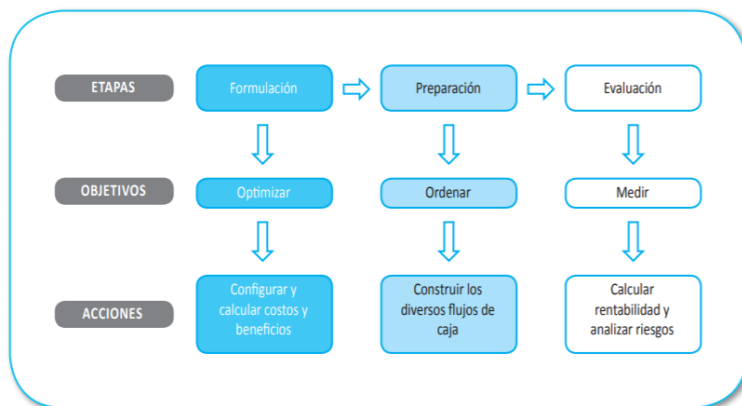
Como se puede observar, existen diferentes tipos de herramientas para elaborar el estudio del bioclima de un lugar. Entre las más usadas están las gráficas como el diagrama de Givoni o el diagrama de Olgyay, la gráfica solar, o los triángulos bioclimáticos, propuestos por Martin Evans. Existen también herramientas numéricas como la ecuación de Fanger, ecuaciones para la radiación solar y la PET (Physiological Equivalent Temperature). Asimismo, las tablas de Mahoney ofrecen una alternativa que combina las gráficas y las matemáticas. En este trabajo de investigación se toman los métodos de Olgyay y Givoni, así como la PMV (Predicted Mean Vote) para elaborar el diagrama del bioclima para cada caso.

2.2. Modelo financiero y evaluación de proyectos

Un modelo financiero es una representación simplificada del comportamiento de los proyectos de inversión. En esta representación se especifican los ingresos y egresos, en un periodo determinado de tiempo, así como la forma de financiamiento (aportes propios o créditos). Esto permite definir los recursos que se requieren en el proyecto. Ya que se identifican los costos y beneficios del proyecto se estima la rentabilidad del proyecto mediante indicadores clave (CEPEP, 2017).

La primera vez que se formalizaron los criterios, técnicas y metodologías para formular proyectos fue en el libro Manual de proyectos de desarrollo económico, publicado por la Organización de las Naciones Unidas en 1958 (Sapag, 2011). Cada proyecto tiene características propias y objetivos particulares, pero se puede establecer que un proyecto se compone de tres etapas: formulación, preparación y evaluación.

Ilustración 1. Etapas de un proyecto



Fuente: Sapag, 2011

La evaluación de proyectos es la última fase y es un instrumento que permite tomar decisiones de inversiones. A grandes rasgos, los resultados positivos hacen recomendar el proyecto y los resultados negativos, rechazarlos.

Flujo de efectivo

Según Córdoba Padilla (2011), el flujo de efectivo es un estado financiero que mide los movimientos de efectivo, excluyendo las operaciones que constituyen una salida de dinero. Su objetivo es analizar

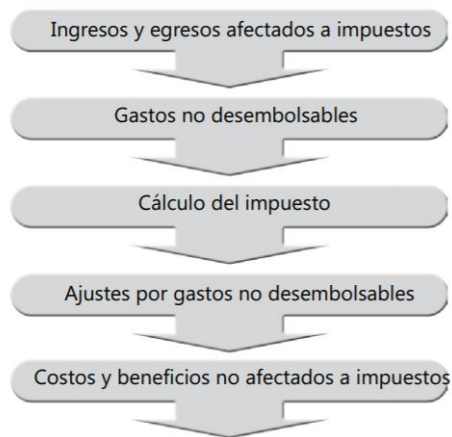
la viabilidad financiera de un proyecto y sirve para la toma de decisiones, ya que permite comparar las entradas y las salidas de dinero en el horizonte del proyecto.

Un flujo de efectivo se estructura en varias columnas que representan los momentos en que se generan los ingresos y egresos de un proyecto. Se compone de los ingresos de operación, egresos de operación y egresos de inversión.

Estructura general de un flujo de caja

La estructura general de un flujo de caja considera cinco aspectos:

Ilustración 2. Estructura de un flujo de caja



Fuente: Córdoba Padilla, 2011

Los ingresos y egresos afectados a impuestos incluyen todos los movimientos que pueden alterar el estado de pérdidas y ganancias. Los gastos no desembolsables se refieren a los que son posibles de agregar a la empresa con fines contables, como la depreciación. El cálculo del impuesto se aplica con una tasa sobre las utilidades que se obtengan. Debido a que los gastos no desembolsables no son una salida de caja, y fueron restados solamente para calcular los impuestos, se debe realizar un ajuste volviéndolos a sumar para anular su efecto directo en el flujo de caja. En los costos y beneficios no afectados a impuestos se deberán incluir aquellos movimientos de caja que no modifican la riqueza contable de la empresa y que por lo tanto no están sujetos a impuestos (Córdoba, 2011).

Estado de resultados e indicadores de rentabilidad

La finalidad del análisis del estado de resultados o de pérdidas y ganancias es calcular la utilidad neta y los flujos netos de efectivo del proyecto (Baca, 2001). También se le llama proforma, porque es una proyección de lo que se espera.

Una vez que se identifican y valoran los costos y beneficios del proyecto, se puede determinar su rentabilidad a través de indicadores. Entre los más utilizados están los siguientes.

Periodo de recuperación de la inversión (PRI)

Es el plazo de tiempo que se requiere para que los ingresos netos de una inversión recuperen el costo de dicha inversión. Es un método para evaluar proyectos de capital, que consiste en sumar los flujos futuros de efectivo de cada año hasta que el costo inicial del proyecto de capital quede por lo menos cubierto. Funciona como un indicador de riesgo del proyecto y entre más corto sea el periodo de recuperación, mayor será la liquidez del proyecto (Weston et al, 1987). Su objetivo es identificar el momento en que el inversionista está en condiciones de recuperar su inversión. El criterio establece que será preferido aquel proyecto que permita una más rápida recuperación de la inversión que aquel cuya recuperación es más lejana en el tiempo (CEPEP, 2017).

Valor Presente Neto (VPN)

Este se basa en las técnicas de flujo de efectivo descontado. El flujo de efectivo se puede definir como los desembolsos de inversión y los flujos netos de entrada de efectivo después de que un proyecto entra en operación.

El VPN es un método para evaluar las propuestas de inversión de capital mediante la obtención del valor presente de los flujos netos de efectivo en el futuro, descontando al costo de capital o a la tasa de rendimiento requerida. Si el VPN es positivo, el proyecto debe ser aceptado, pero si es negativo debe ser rechazado. Si se comparan dos proyectos, se debe elegir el que tenga el VPN más alto. Si el valor es 0 es indistinto si se lleva a cabo el proyecto o no (Weston et al 1987).

Tasa Interna de Retorno (TIR)

Es una tasa de descuento que hace que el valor presente de los flujos de entrada de un proyecto sea igual al valor presente de sus costos. La tasa interna de retorno es similar al rendimiento sobre un bono. Entre más alta sea esta tasa, mayor será la utilidad por lo que si se comparan dos proyectos, debe elegirse el que tenga la TIR más alta (Weston et al 1987).

Tasa de Rendimiento Mínima Aceptable (TREMA)

Es la tasa de descuento (costo de capital) a la que deberá exceder la tasa interna de retorno para que un proyecto pueda ser aceptado. En proyectos inmobiliarios se considera una TREMA de 20%.

2.3. Acciones gubernamentales en materia de eficiencia energética en los edificios

Por otra parte, en México existen instrumentos legales que regulan la materia medio ambiental que van desde la Constitución, leyes federales y estatales, reglamentos, normas oficiales y mexicanas, hasta los decretos y bandos municipales.

En el Artículo 71 la Ley de Vivienda vigente se establece que las viviendas deben considerar "...la adecuación al clima con criterios de sustentabilidad, eficiencia energética y prevención de desastres, utilizando preferentemente bienes y servicios normalizados. Asimismo, promoverá el uso de energías renovables mediante las nuevas ecotecnologías aplicables a la vivienda, de acuerdo con las regiones bioclimáticas del país, utilizando equipos y sistemas normalizados en cualquiera de sus modalidades."

Asimismo, en las Reglas de Operación del Programa de Vivienda Social de la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) publicadas en el Diario Oficial de la Federación el viernes 15 de marzo de 2019 se define la vivienda como el espacio habitable que desde su diseño arquitectónico considera las necesidades básicas del ser humano y su contexto: urbano, comunitario y natural (SEDATU, 2020). Así se proporciona un bienestar general a sus habitantes, al mismo tiempo que se genera un ahorro económico para las familias. También se mitigan las emisiones de GEI y se consideran sistemas eficientes de agua y energía que contribuyan a la reducción del impacto ambiental. Lo que destaca de esta definición es que se rescata el aspecto del contexto del ser humano y también el concepto de generar bienestar.

En este marco jurídico se encuentran también las Normas Oficiales y las Normas Mexicanas, que son las regulaciones técnicas que son de carácter obligatorio y voluntario, respectivamente. Estas Normas regulan productos, procesos o servicios.

Según lo establecido en la Ley de Metrología y Normalización vigente, las normas se dividen en dos: las oficiales y las normas mexicanas. Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) son de carácter obligatorio y tienen como finalidad establecer características y/o especificaciones que deban reunir procesos o productos, materias primas, o servicios cuando estos puedan constituir un riesgo para la seguridad de las personas o dañar la salud humana, animal, vegetal, el medio ambiente general y laboral, o para la preservación de recursos naturales; condiciones de salud, seguridad e higiene que se deben observar; las características y/o especificaciones, criterios y procedimientos que permitan proteger y promover el mejoramiento del medio ambiente y los ecosistemas, así como la preservación de los recursos naturales; apoyos a las denominaciones de origen para productos del país; y los demás que se requieran para normalizar productos, métodos, procesos, sistemas o prácticas industriales, comerciales o de servicios (Ley Federal sobre Metrología y Normalización, 2009).

Las Normas Oficiales Mexicanas deben contener su denominación y su clave o código, métodos de prueba, identificación del producto, bibliografía, entre otras. En su elaboración participan dependencias a quienes corresponda la regulación o control del producto. Para que se constituya una norma debe presentarse un anteproyecto de norma, el cual se somete a consulta pública por 60 días. Se estudian los comentarios recibidos y se aplican o se descartan y por último se publican en el Diario Oficial de la Federación.

Por otra parte, las Normas Mexicanas (NMX) son de aplicación voluntaria y toman como base normas internacionales, se deben incluir en el Programa Nacional de Normalización y deben estar basadas en el consenso de los sectores interesados.

En materia de eficiencia energética en la vivienda existen dos Normas que son importantes destacar. A continuación, se describen brevemente.

NMX AA 164 SCFI 2013. Edificación sustentable, criterios y requerimientos ambientales mínimos

Esta norma establece los criterios que se toman en cuenta para considerar a una edificación como "sustentable". Se consideran aspectos de construcción del edificio, y también de su contexto físico. Puede ser un solo edificio, o un conjunto, viviendas propias o arrendadas. Asimismo, se aplica a una o varias fases del proyecto, por ejemplo, al diseño, construcción, operación, mantenimiento, demolición, remodelación, renovación o acondicionamiento.

Entre los requisitos generales, se encuentra la generación de información periódicamente respecto al consumo de agua y energía, y también puede aplicarse a la generación de residuos. Esto servirá para monitorear equipos e instalaciones y verificar que funcionen eficientemente. De igual manera se establece que debe haber una calendarización para el mantenimiento de las instalaciones hidrosanitarias y de la cisterna para evitar fugas de agua. Para el riego y poda se recomienda utilizar fertilizantes y plaguicidas no nocivos. Respecto a los residuos sólidos, se deben separar, almacenar y disponer, en centros de acopio o empresas cercanas. Los calentadores de gas natural deben estar en un lugar abierto, o adecuarse con sistema de expulsión de gases. Se recomienda contar con un programa de mantenimiento anual y contar con información clara sobre la ubicación de salidas de emergencia, puntos de reunión, sistemas de alarma y sistemas de extinción de incendios, números telefónicos de emergencia, etc. (Economía, 2013).

La evaluación de la conformidad de la Norma Mexicana está contemplada a realizarse a petición a través de una unidad verificadora, tomando como referencia el Procedimiento de Evaluación de la conformidad de la Norma Mexicana. Esta norma es de carácter voluntaria y aunque en este trabajo de investigación no se profundiza en esta, se considera importante su inclusión ya que constituye otro instrumento de regulación y referencia para transitar hacia patrones más sustentables en la edificación.

NOM 020 ENER 2011. Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios para uso habitacional

El objetivo de la Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones.- Envolvente de edificios para uso habitacional, es limitar la ganancia de calor de los edificios para uso habitacional a través de su envolvente, con objeto de racionalizar el uso de la energía de los sistemas de enfriamiento. Aplica en todo el territorio nacional y a los edificios nuevos de uso habitacional, así como a ampliaciones. La norma optimiza el diseño desde el punto de vista del comportamiento térmico de su envolvente (techos, paredes, vanos, puertas, piso y superficies interiores, que conforman el espacio interior de un edificio para uso habitacional).

Asimismo, se considera el presupuesto energético como la comparación de las ganancias de calor a través de la envolvente entre los edificios para uso habitacional proyectado y de referencia. El edificio proyectado es el edificio para uso habitacional que se pretende construir y el edificio de referencia es aquel que, conservando la misma orientación, las mismas condiciones de colindancia y las mismas dimensiones en planta es utilizado para determinar un presupuesto energético máximo, con características de la envolvente definidas en la norma. Las paredes para el edificio de referencia se consideran con 90% parte opaca (muro) y 10% parte no opaca (transparente) y el techo como 100% de parte opaca.

Cuenta con una metodología para el cálculo del comportamiento térmico de un edificio proyectado y se compara con un edificio de referencia, que sirve como base para la metodología propuesta en este trabajo de investigación.

Programas federales para eficiencia energética en la vivienda

Por otra parte, existen programas y subsidios para la vivienda que cuenta con criterios de eficiencia energética y pueden aplicarse para vivienda nueva o para vivienda construida. Se consideran los siguientes programas porque están relacionados con la eficiencia energética, toman en cuenta su zona climática y por ofrecer financiamiento para lograr dicha eficiencia.

Hipoteca Verde

Hipoteca Verde es un programa del Infonavit creado en 2007, pensado en mejorar la calidad de vida de los acreditados mediante la disminución del gasto, al mismo tiempo que contribuye a la conservación del medio ambiente (uso eficiente de los recursos naturales y reducción de GEI) (INFONAVIT, 2018).

El programa se basa en otorgar un monto económico adicional al crédito que tiene el derechohabiente, para ser destinado a ecotecnologías, que son aquellas que disminuyen el consumo de energía y de agua. Al promover el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías, se contribuye a fomentar la innovación. Asimismo, se procura el confort de los habitantes en el interior de las viviendas y se fomenta la cultura de la sustentabilidad.

El programa Hipoteca Verde ha tenido un efecto en los mercados de ecotecnologías, ampliándolos y permitiendo que se introduzcan nuevos equipos, al mismo tiempo que los estándares de calidad aumentan y se vuelven más exigentes. Esto permite asegurar la eficiencia de los equipos. Es importante destacar que este programa ha sido exitoso, ganando el reconocimiento de organismos internacionales como la Organización de las Naciones Unidas, además de servir de ejemplo para otros países.

En los primeros tres años de implementación del programa, éste se enfocaba a los trabajadores que percibían un ingreso de hasta cuatro veces el salario mínimo (VSM), representando aproximadamente el 60% del total de los derechohabientes del Infonavit (INFONAVIT, 2018).

Los paquetes de ecotecnologías predefinidos se otorgan por zona climática. Conforme se actualizaba el programa se fue cambiando de paquetes fijos a la elección flexible de medidas,

cumpliendo un ahorro mínimo de acuerdo con los ingresos del derechohabiente. El programa ha ido evolucionando, verificando los ahorros que se generan por las ecotecnologías e incorporando electrodomésticos a este programa.

Actualmente, todos los créditos que otorga el Infonavit deben considerar viviendas con ecotecnologías, cumpliendo con algunos requisitos, como incorporar una combinación flexible de ecotecnologías específicas, de acuerdo con ahorros medidos, y garantizar un ahorro mínimo progresivo que está ligado al ingreso del trabajador. Esto conforma la línea base de eficiencia energética y ambiental, con la que se considera cumplido el ahorro mínimo de energía. En este trabajo de investigación se analiza el consumo energético de una vivienda y este programa es un referente importante ya que también se relaciona la parte económica.

Tabla 2. Ahorros económicos mínimos para participar en la Hipoteca Verde

Ingreso: Veces Salario Mínimo (VSM)	Ahorro mínimo mensual exigido (US\$)	Monto de Hipoteca Verde en VSM (US\$)
1.00-1.59	US\$ 7.4	Hasta 2 US\$ 302.5
1.60-3.99	US\$ 15.9	Hasta 10 US\$ 1,512.3
4.99-6.99	US\$ 18.5	Hasta 10 US\$ 1,512.3
7.00-11.00	US\$ 21.4	Hasta 15 US\$ 2,268.5
De 11.00 en adelante	US\$ 29.6	Hasta 20 US\$ 3,024.6

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Infonavit, 2018

Los criterios de calidad, seguridad y eficiencia de las tecnologías están en relación con su desempeño, y son criterios validados mediante el cumplimiento de normas oficiales y normas mexicanas, o a través de certificados emitidos por organismos normalizadores y certificadores. En estos instrumentos se especifica el nivel de eficiencia, así como la garantía y la vida útil.

Existen dos modalidades en la incorporación de ecotecnologías en el programa: vivienda nueva o vivienda usada, ampliación, reparación o construcción propia. En la primera modalidad, el desarrollador o el constructor es el responsable de seleccionar las ecotecnologías. En el segundo, el usuario es el encargado de seleccionar las ecotecnologías que cumplan con los ahorros mínimos establecidos.

Existen simuladores de ecotecnologías que tienen por objetivo que la persona pueda seleccionar atinadamente las ecotecnologías que le permitan cumplir con los ahorros requeridos. Se consideran el ingreso, la localización de la vivienda y el monto máximo aproximado de la Hipoteca Verde.

Programa de Mejoramiento Sustentable en vivienda existente

Es un programa de la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) que opera junto con la Secretaría de Energía y el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), cuyo propósito es reducir el gasto en gas y electricidad en las viviendas. Este programa desde 2017 Las personas interesadas pueden obtener un financiamiento de hasta 50 mil pesos en un plazo de cinco años. El pago se hace a través del Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE).

Este programa relaciona el ahorro de la energía con el financiamiento que se otorga, es decir que se busca el uso eficiente de la energía en la vivienda, generando ahorros para el usuario. En este trabajo de investigación se busca la manera de diseñar una vivienda que consuma la menor energía posible con arquitectura bioclimática.

Tabla 3. Condiciones financieras del programa Mejoramiento Sustentable

Importe máximo del proyecto	30 UMA (\$2,568.50) = \$77,055
Tipo de crédito	Crédito simple con interés ordinario y garantía prendaria
Tasa de interés	14-18% anual + IVA sobre saldos insolutos
Subsidio	CONAVI 30% del precio de las ecotecnologías
Incentivo energético	SENER 10% del precio de las ecotecnologías
Monto máximo de financiamiento	\$50,000
Forma de pago	A través de facturación del CFE
Plazo	5 años, con posibilidad de pago total anticipado, a través del FIDE

Fuente: fide.org.mx

Como se puede observar se trata de un financiamiento de corto plazo, y por un plazo de hasta cincuenta mil pesos. Lo anterior constituye una cantidad significativa para que las personas puedan comprar ecotecnologías que les permitan ahorrar energía en su vivienda, y sobre todo, tener ahorros económicos a largo plazo, es decir que la finalidad es generar bienestar en los habitantes, además de impactar menos en el medio ambiente.

Algunas ecotecnologías incluyen: aislantes térmicos, en ventanas, techos y pared; Ventana térmica; calentador solar; aire acondicionado eficiente; ventiladores de techo; focos led y un sistema fotovoltaico.

NAMA de vivienda

Las NAMAs (Nationally Appropriate Mitigation Action) o Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas son una serie de políticas y acciones que los países implementan como parte del compromiso para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Se definen como mecanismos de mercado que permiten incorporar el desarrollo sustentable dentro de las prioridades económicas nacionales.

La “NAMA para la vivienda sustentable” o NAMA de vivienda, se refiere a la eficiencia energética en las construcciones que se basa en la integridad del desempeño de la vivienda. De esta manera los estándares están fijos para la demanda de la energía, lo cual se basa en el prototipo de vivienda y también en la zona climática. Tanto desarrolladores como propietarios pueden elegir la combinación de intervenciones que resulten en el nivel buscado de ahorro de energía.

En México ya se cuentan con algunos programas de financiamiento adicional o subsidio para la vivienda encaminados a la reducción del consumo de energía eléctrica principalmente. Sin embargo, pueden estar limitados en el nivel de eficiencia logrado. Por esta razón se han implementado modelos con diferentes estándares de rendimiento para lograr distintos apoyos, por ejemplo, EcoCasa1, EcoCasa2 y EcoCasa Max.

EcoCasa 1 incorpora: 2.5cm de aislamiento en el techo y en el muro con mayor asoleamiento, pintura reflejante, uso de calentadores de gas de paso, calentamiento solar de agua, y aire acondicionado eficiente. Asimismo, considera aspectos domésticos eficientes, como iluminación e instalaciones eficientes en la cocina.

EcoCasa 2 tiene una mayor optimización a través del uso del aislamiento, ventanas mejor aisladas y electrodomésticos altamente eficientes.

EcoCasa Max optimiza todas las medidas, siendo el estándar más completo (CONAVI, 2012).

Se observa que en la NAMA de vivienda se consideran sistemas pasivos (aislamiento en la envolvente o el color de la pintura), así como el uso de equipos eléctricos eficientes. Con esta combinación de elementos (arquitectura bioclimática y uso de equipos eficientes) se puede disminuir el consumo de energía que se tenga en un hogar.

Estos instrumentos, programas y acciones general un marco jurídico en el cual se pueden desarrollar proyectos para vivienda bioclimática. Estos proyectos consideran costos y su proyección en el tiempo como se explica a continuación.

Conclusiones

La arquitectura bioclimática tiene como objetivo crear un ambiente confortable, mediante la interacción energética con el medio ambiente y se remonta a la arquitectura vernácula. Trata de aprovechar los factores climáticos y ambientales del lugar en que se inscribe la vivienda. Parte importante de aprovechar el clima es la ganancia de calor que se tiene por la porción de la envolvente, que separa el ambiente interior del exterior. Los materiales, así como los sistemas constructivos son fundamentales para determinar el bienestar al interior del edificio.

Por otra parte, el confort se puede definir como una condición en la cual se requiere un mínimo esfuerzo para mantener el balance térmico del cuerpo humano y existen diferentes técnicas que permiten calcularlo. Una de ellas es el diagrama de Olgyay que determina el nivel de confort en el exterior, así como en el interior. Incluye un índice de confort térmico, calculado con la humedad relativa y la temperatura interior y que es usado por la ASHRAE (Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado) de Estados Unidos. Los diagramas bioclimáticos presentan un esquema de las combinaciones entre temperatura y humedad en un punto determinado. Baruch Givoni propuso un diagrama que se divide en 14 zonas de confort. Si se garantizan las condiciones de confort al interior de un edificio, se pueden minimizar los gastos energéticos y económicos, ya que se podrían lograr niveles óptimos de confort con una mínima inversión.

Existen métodos gráficos, numéricos y una combinación de estos para determinar la sensación de confort. Se consideran la humedad relativa, la temperatura y el viento. Se distinguen zonas de confort y dependiendo de estas, se proponen estrategias para climatizar (con sistemas pasivos).

Por otra parte, un modelo financiero es una representación del comportamiento de un proyecto de inversión, en la cual se hacen simplificaciones y se proyecta en un periodo de tiempo. Cada proyecto

tiene especificidades distintas, pero en todos se incluyen los ingresos y egresos en un periodo de tiempo. Asimismo, se compone de tres partes que son la formulación, la preparación y la evaluación.

Esta evaluación permite tomar decisiones a los inversionistas y pueden ser resultados positivos o negativos. Una parte importante de la evaluación de los proyectos son los indicadores de rentabilidad, que permiten comparar entre dos o más proyectos. En este trabajo de investigación se consideran los indicadores utilizados y definidos por el Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos, como el Periodo de Recuperación, Valor Presente Neto y la Tasa Interna de Retorno.

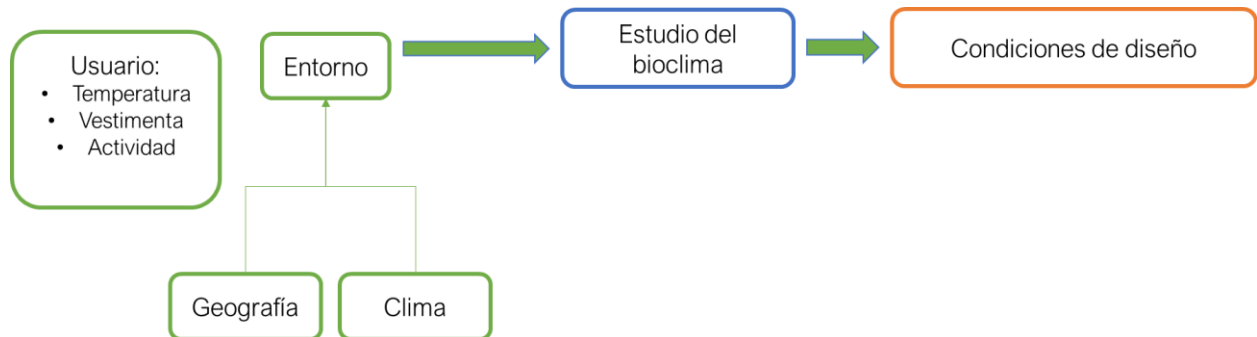
En cuanto al marco jurídico en el que se inscribe la vivienda bioclimática en México, es en las Reglas de Operación del Programa de Vivienda Social donde se define la vivienda como espacio que considera las necesidades del ser humano, para proporcionarle un bienestar. Sin embargo, existen Normas Oficiales y Mexicanas que consideran la eficiencia energética en edificios. Asimismo, existen programas para el financiamiento de ecotecnologías que permiten ahorros en las viviendas. Aunque limitados, existe suficientes instrumentos para el desarrollo de estas y nuevas herramientas que permitan el acceso para la vivienda bioclimática a un mayor número de personas.

3. Metodología

El objetivo de este capítulo es definir y comprender los procedimientos que permiten obtener resultados para un modelo financiero que compare dos proyectos de vivienda: convencional y bioclimática. Para la elaboración de dicho modelo se utilizan los datos obtenidos del estudio del bioclima y del comportamiento energético y gasto en sistemas de climatización artificial en los casos de estudio.

Se parte del estudio del bioclima, el cual toma datos climáticos y geográficos de cada lugar (latitud, longitud, altitud, temperatura y humedad relativa). En el presente trabajo se utilizarán las cartas bioclimáticas de Olgay y de Givoni, así como el cálculo de la PMV (Predicted Mean Vote) para la elaboración del diagrama del bioclima. Con dichos diagramas, se obtienen los requerimientos de climatización (enfriamiento o calentamiento) para obtener sensación de confort. Para esta parte del trabajo, se propone utilizar una metodología basada en el trabajo de Morillón (2000), con algunas adecuaciones para el tema de investigación.

Ilustración 3. Etapas para diseño de vivienda bioclimática



Fuente: elaboración propia

En la Ilustración anterior (3) se observa que, para tener un diagnóstico de las condiciones térmicas en un edificio, se requiere conocer las necesidades físicas de los usuarios, así como el entorno de la edificación (condiciones climáticas y geográficas). Con estos datos se proponen estrategias de diseño bioclimático lo cual permite, si se requiere, definir equipos de climatización artificial eficientes (la tecnología permite abaratar los procesos y los productos son más eficientes, requiriendo menos energía para funcionar).

Posteriormente y con base en la Tabla 1 de la Norma oficial NOM 020 ENER 2011, (modificada por la Resolución de 2016), se obtienen los valores para calcular el flujo de calor a través de la envolvente de la vivienda convencional.

Tabla 4. Valores para el cálculo del flujo de calor a través de la envolvente (extracto)

ESTADO	Ciudad	K de referencia (W/m²K)		CONDUCCION												RADIACION				Barrera para vapor						
				OPACA						TRANSPARENTE						TRANSPARENTE										
		Temperatura equivalente promedio te (°C)																								
		Hasta tres niveles y Conjunto horizontal con muros compartidos		Mas de tres niveles		T interior	Superficie interior	Techo	Muro masivo				Muro ligero				Tragaluz y domo	Ventanas				Factor de ganancia solar promedio FG (W/m²)				
Techo y muro		Techo	Muro	N	E				S	O	N	E	S	O	N	E		S	O	N	E	S	O			
AGUASCALIENTES	Aguascalientes	0.833	0.833	0.909	24	26	37	24	27	26	25	30	33	32	32	22	23	24	24	24	274	91	137	118	146	
	La Paz	0.714	0.714	0.833	25	31	45	31	34	32	33	36	40	38	39	26	27	28	29	29	322	70	159	131	164	SI
BAJA CALIF. SUR	Cabo S. Lucas	0.714	0.714	0.833	25	30	44	30	34	32	32	36	39	38	39	25	27	28	28	28	322	70	159	131	164	SI
	Esenada	0.909	0.909	0.909	24	25	35	22	25	24	23	28	31	30	30	20	22	22	22	23	322	70	159	131	164	SI
	Mexicali	0.625	0.625	0.714	25	34	50	36	40	37	38	41	45	43	45	29	30	32	32	32	322	70	159	131	164	
D. F.	México (a)	0.909	0.909	0.909	23	23	33	20	22	22	21	26	29	28	28	19	21	21	21	21	272	102	140	114	134	
HIDALGO	Pachuca	0.909	0.909	0.909	22	22	31	19	20	20	20	25	27	27	26	18	20	20	20	20	272	102	140	114	134	
	Tulancingo	0.909	0.909	0.909	23	23	32	19	21	21	20	25	28	27	27	19	20	20	20	21	272	102	140	114	134	
TABASCO	Villahermosa	0.714	0.714	0.833	25	32	46	32	36	34	34	38	42	40	41	27	28	29	30	30	272	102	140	114	134	SI
	Comalcalco	0.714	0.714	0.833	25	31	46	32	35	33	33	37	41	39	40	26	28	29	29	29	272	102	140	114	134	SI

Fuente: Resolución por la que se modifican los valores de coeficiente global de transferencia de calor (K) de la Tabla 1, se agregan definiciones y se acota la verificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones.- Envolverte de edificios para uso habitacional, publicada el 9 de agosto de 2011.

Asimismo, se calcula el coeficiente global de transferencia de calor (K) para los materiales y los sistemas constructivos empleados, cuyas fórmulas se toman de la metodología de la Norma mencionada. Asimismo, se calcula el factor de sombreado de las ventanas que requieren control solar.

Una vez conocido el coeficiente global de transferencia de calor se calcula la ganancia de calor de la vivienda convencional y se compara con las condiciones mínimas de confort requeridas, con el método descrito más adelante en el apartado 3.2.1 del presente trabajo. Si la vivienda convencional no cumple con los requerimientos mínimos de confort, se proponen estrategias para tener una vivienda bioclimática y se vuelve a calcular la ganancia de calor. Si la vivienda cumple con los requisitos mínimos de confort, se procede a calcular los costos de las estrategias propuestas.

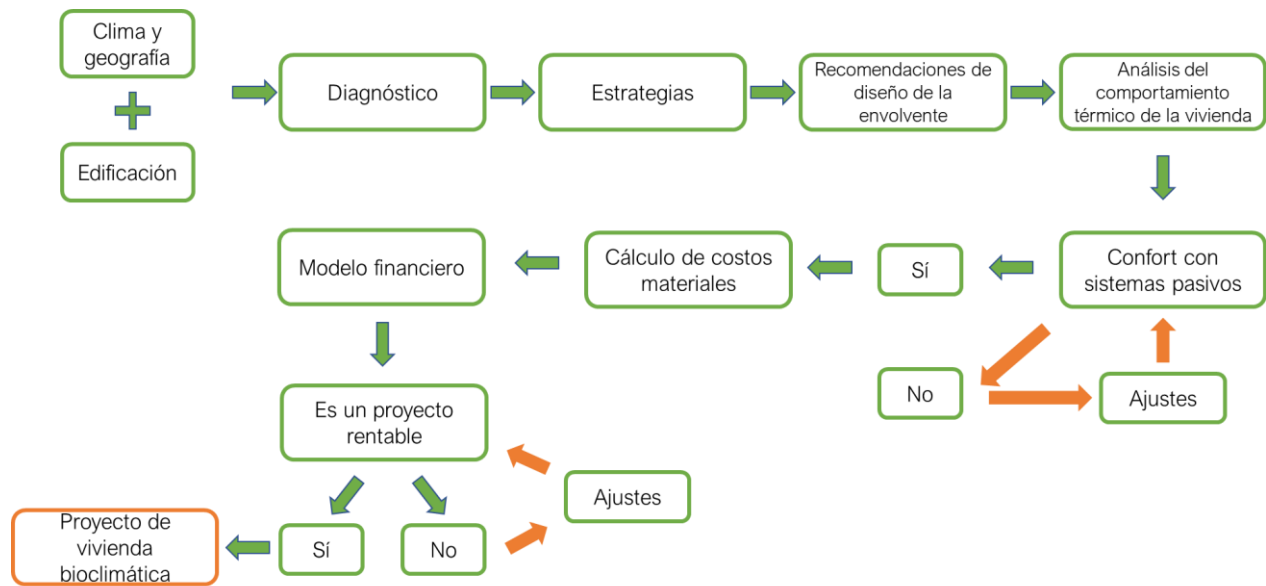
Por otra parte, se calcula la energía utilizada para equipos de climatización artificial, ya que ésta se requiere en algunos climas para lograr la sensación de confort. Para poder estimar el cálculo de energía utilizada en equipos de climatización artificial se parte de una estimación de los requerimientos térmicos, para lo cual se aplica el método de grados-día.

Asimismo, se conoce la ganancia de calor que tiene la vivienda en Watts térmicos. Sin embargo, es necesario calcular la energía en Watts eléctricos consumida en una vivienda que se destina a equipos de climatización artificial. Debido a que no existe una fórmula que relacione Watts térmicos con Watts eléctricos, se toma la eficiencia energética de un equipo de climatización disponible en el mercado.

Una vez conocido el coeficiente de relación entre Watts térmicos y eléctricos, se calcula el consumo energético que consume el sistema de climatización artificial. Lo anterior permite conocer la energía consumida en la vivienda convencional y bioclimática y comparar el consumo de ambas.

Finalmente, se procede a construir el modelo de financiamiento para ambos proyectos (vivienda convencional y bioclimática), incorporando los costos de las estrategias de la vivienda bioclimática en cada sitio. Los métodos propuestos se pueden observar en la siguiente Ilustración (4).

Ilustración 4. Metodología propuesta.



Fuente: elaboración propia

3.1. Estudio y definición de bioclimas representativos

En la primera parte de este apartado se justifica la elección de los bioclimas estudiados. Una vez establecidos, estos se analizan con la información geográfica y climática, posteriormente se definen estrategias y recomendaciones bioclimáticas para el anteproyecto.

Una vez que se cuenta con el anteproyecto se hace un análisis del comportamiento térmico del mismo para determinar si cumple con el confort, pasa a ser el proyecto de vivienda bioclimática, si no es el caso, se hacen las adecuaciones necesarias y se vuelve a realizar el análisis térmico.

Posteriormente se calcula el costo de los materiales y sistemas constructivos de la vivienda bioclimática vs. la vivienda convencional para con dichos datos integrar a un modelo de financiamiento. Finalmente se comparan los indicadores de rentabilidad entre proyectos de vivienda bioclimática y la convencional.

Existen modelos matemáticos y herramientas que permiten determinar las condiciones térmicas de una vivienda, condiciones relacionadas con las ganancias o pérdidas de calor en la envolvente de la vivienda. Las herramientas son programas que permiten hacer simulaciones periódicas para determinar el comportamiento de la vivienda a lo largo de todo un año y para cada hora o menos tiempo del día. Estas simulaciones termo energéticas son útiles para la etapa previa a la construcción, anteproyecto de la vivienda, para confort y ahorros económicos desde el diseño.

Existen diversas herramientas que permiten modelar y hacer simulaciones energéticas que en conjunto con los estudios sobre el diseño bioclimático permiten conocer el comportamiento térmico que presentan las viviendas. El uso de dichas herramientas es importante en el diseño de las viviendas para maximizar el confort de los usuarios, permiten al diseñador modificar el anteproyecto o la adecuación de la vivienda existente utilizando diferentes condiciones climáticas, requerimientos y

finés, como el ahorro de energía y en consecuencia la disminución en el pago de la electricidad y el gas.

3.2. Método para la simulación del comportamiento térmico de la vivienda

La importancia del uso de modelos y herramientas para la simulación del comportamiento térmico de las viviendas en su contexto climático y patrón de uso de esta radica en la estimación de los flujos de energía de la vivienda con el medio ambiente. Lo anterior sirve para comprender mejor las características de la envolvente y diseño, así como uso final de la energía.

Entre los programas de simulación del comportamiento térmico y energético de viviendas más utilizados se encuentran los siguientes:

Energy Plus. Es un programa utilizado para modelar tanto consumo de energía para calentamiento, enfriamiento, ventilación, iluminación y otras cargas, como para el uso del agua en edificios. Los elementos de simulación se representan por módulos.

Design Builder. Permite hacer simulaciones del comportamiento térmico de los edificios con sistemas pasivos o con sistemas activos. Utiliza un generador de modelos tridimensionales y se basa en el motor de simulación de Energy Plus. Es posible evaluar la ventilación natural del edificio. Asimismo, es posible calcular el consumo de energía y la emisión de gases contaminantes.

Open Studio. Es un programa gratuito y se basa en modelos creados en SketchUp, a partir de un modelo geométrico de la construcción. Se basa en el motor de cálculo Energy Plus.

Sin embargo, para las simulaciones energéticas del presente trabajo, se aplicará una metodología que se base en la Norma Oficial Mexicana NOM 020 ENER 2011 descrita en posteriores apartados. Lo anterior debido a que se tiene desconocimiento del manejo de los programas mencionados anteriormente.

El presente trabajo se basa en la metodología de la Norma Oficial Mexicana NOM 020 ENER 2011. En esta Norma hay un edificio proyectado y uno de referencia y la ganancia de calor del edificio proyectado debe ser menor al edificio de referencia para estar en cumplimiento de esta.

3.2.1. Cálculo de la ganancia de calor en una vivienda

Para comparar el comportamiento térmico de la vivienda convencional con el de la vivienda bioclimática se analizan las ganancias de calor. Para obtener dicho resultado se suman las ganancias de calor por conducción y las ganancias de calor por radiación y se expresa en Watts:

$$\text{Ganancia}_{\text{total}} \text{ (W)} = \text{ganancia}_{\text{conducción}} \text{ (W)} + \text{ganancia}_{\text{radiación}} \text{ (W)}$$

La ganancia de calor por conducción es el resultado de la suma de la ganancia de calor por conducción de los componentes de la envolvente, es decir el techo, muros y partes transparentes. Por otra parte, la ganancia de calor por radiación es la suma de las ganancias de calor por radiación en las partes transparentes de la envolvente, es decir ventanas o tragaluces.

Para calcular la ganancia de calor por conducción en una porción, se debe conocer tanto los materiales que se utilizan, como los sistemas constructivos. Cada componente tendrá un coeficiente global de transferencia de calor (valor K). Para calcular dicho valor, se toman en cuenta las áreas de

la porción y su orientación, la temperatura equivalente promedio de la orientación, y la temperatura interna del edificio. Estas fórmulas y valores se pueden consultar en la Tabla 1 de la NOM 020 ENER 2011.

Por otra parte, la componente puede ser homogénea (es decir que se compone de capas que son homogéneas térmicamente y perpendiculares al flujo de calor) o no homogénea. Dependiendo del sistema constructivo, se calcula el aislamiento térmico de la porción, considerando la superficie de la porción, espesor de los materiales, número de capas y el coeficiente de conductividad térmica de los materiales, así como la conductancia superficial interior y exterior. Para ambos casos se utilizan fórmulas que se pueden consultar en el Apéndice B de la NOM 020 ENER 2011.

La ganancia de calor por radiación considera la orientación de la componente, así como un coeficiente de sombreado, un factor de ganancia de calor y un coeficiente de sombreado del material que viene especificado por el fabricante del material. Para las condiciones mínimas de confort se considera el 90% de los muros de parte opaca y 10% parte transparente (ventanas). Para el techo se considera 100% parte opaca.

Una vez conocida la ganancia de calor de la vivienda convencional y la bioclimática, se pueden comparar y calcular el gasto de energía en equipos de climatización artificial que requiere cada una. Un método para determinar los requerimientos de climatización (enfriamiento o calentamiento) en la vivienda es el de grados-día.

3.2.2. Método de grados-día

El método de grados-día es el más utilizado en estudios de requerimientos térmicos a nivel internacional y con esos datos se calcula el consumo energético que se destina al sistema de climatización. Los grados-día se definen como el requerimiento de grados Celsius para alcanzar la zona de confort en un periodo de tiempo, para enfriamiento (GDenf) o para calentamiento (GDcal) y se determinan con las siguientes fórmulas:

Grados-día calentamiento

Para el cálculo generalmente se toma como temperatura base 18 °C. Esta temperatura es genérica y aplicable en casos en donde el objetivo es comparar este índice entre varias ciudades, porque de esta forma la comparación se hace bajo los mismos criterios (ASHRAE, 2017).

	Condición	Fórmula utilizada
1	$T_{max} < T_{base}$	$GD_{cal} = T_{base} - \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right)$
2	$T_{max} \geq T_{base}$	$GD_{cal} = \left(\frac{T_{base} - T_{min}}{2} \right) - \left(\frac{T_{max} - T_{base}}{4} \right)$
3	$(T_{max} + T_{min})/2 > T_{base}$	$GD_{cal} = \left(\frac{T_{base} - T_{min}}{4} \right)$
4	$T_{min} > T_{base}$	$GD_{cal} = 0$

donde:

GDcal = Grados-Día de calentamiento (déficit diario de temperatura) (°C)

Tmin = Temperatura mínima (°C)

Tmax = Temperatura máxima (°C)

Tbase = Temperatura base (mínima de confort) (18 °C)

Grados-día de enfriamiento

Para el cálculo generalmente se toma como temperatura base 26 °C. Esta temperatura es genérica y aplicable en casos en donde el objetivo es comparar este índice entre varias ciudades, porque de esta forma la comparación se hace bajo los mismos criterios (ASHRAE, 2017).

	Condición	Fórmula utilizada
1	$T_{min} > T_{base}$	$GD_{enf} = \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) - T_{base}$
2	$T_{min} \leq T_{base}$	$GD_{enf} = \left(\frac{T_{max} - T_{base}}{2} \right) - \left(\frac{T_{base} - T_{min}}{4} \right)$
3	$(T_{max} + T_{min})/2 < T_{base}$	$GD_{enf} = \left(\frac{T_{max} - T_{base}}{4} \right)$
4	$T_{max} < T_{base}$	$GD_{enf} = 0$

donde:

GDenf = Grados-Día de enfriamiento (superávit diario de temperatura) (°C)

Tmin = Temperatura mínima (°C)

Tmax = Temperatura máxima (°C)

Tbase = Temperatura base (máxima de confort) (26 °C)

La temperatura base se considera de 26°C para grados-día de enfriamiento y de 18°C para grados-día de calentamiento. Como se observa, es necesario conocer las temperaturas máximas y mínimas del lugar estudiado.

Por último, se debe estimar a partir de los grados-día de enfriamiento y calentamiento, el consumo energético de los sistemas mecánicos de climatización artificial.

3.2.3. Consumo energético de sistemas de climatización artificial, con base en método de grados-día

Para calcular el consumo energético que consumen los sistemas de climatización artificial en el periodo de un año, se utilizan las siguientes fórmulas (Keçebaş, 2012):

Para enfriamiento

$$E = 0.024 K * CDD / COP$$

Donde:

- E= energía para aire acondicionado por unidad de superficie, kWh/m²
- K= coeficiente global de transferencia de calor, W/m²K
- CDD= grado-día de enfriamiento anual
- COP= coeficiente de rendimiento

Para calentamiento

$$E = 0.024 K * HDD / \eta$$

Donde:

- E= energía para aire acondicionado por unidad de superficie, kWh/m²
- K= coeficiente global de transferencia de calor, W/m²K
- HDD= grado día de calentamiento anual
- n= eficiencia del calentador

Lo anterior permite conocer el requerimiento en kilowatts hora que se tiene por cada bioclima y se puede estimar el costo anual que se hará en estos sistemas de climatización mecánicos. Estas fórmulas se aplican una vez conocida la ganancia de calor de la vivienda que toma en cuenta a los materiales y sistemas constructivos.

3.3. Modelo de financiamiento

El modelo de financiamiento se basa en la estructura propuesta el Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP) en 2017, así como la metodología de Sapag (2011). Después se hacen algunas adecuaciones con base en trabajo de campo de acuerdo a un proyecto de vivienda, como el periodo de absorción y el precio de los terrenos, entre otros.

Primero se estiman los costos paramétricos de una vivienda de interés social que se obtienen del Instituto Mexicano de Ingeniería de Costos (IMIC) con datos de 2020. Se considera una vivienda en

un nivel con dos recámaras y un baño. En el precio por metro cuadrado se incluye lo siguiente: cimentación de losa de concreto armado de 10 cm de espesor, estructura de muro de 15cm de espesor de mampostería reforzada interiormente, losa plana de concreto armado, horizontal, con altura libre de piso a techo de hasta 3 metros, peralte 24cm, realizada con concreto $f_c=20\text{MPa}$ (200kg/cm^2), cancelería de fierro tubular con vidrio de 6mm, pisos de mosaico y aplanados interiores de yeso con pintura vinílica y acabados de baja calidad.

Posteriormente se estiman los costos y gastos vinculados a un desarrollo de vivienda que se incluyen en la propuesta de modelo, con las siguientes consideraciones.

Para el presente ejercicio se consideró una absorción de cinco por ciento, basado en un levantamiento de campo que se realizó en el año 2020 en la Alcaldía Benito Juárez, Ciudad de México. Por otra parte, existen condiciones globales que afectan este porcentaje, como la pandemia del coronavirus a principios de 2020. Sin embargo, debe considerarse que se trata de un modelo simplificado de la realidad por lo que no necesariamente refleja la absorción real ni específica de cada sitio.

Para el modelo financiero se consideraron cuatro terrenos en venta (abril 2021) disponibles en diferentes plataformas de Internet (Inmuebles24 y propiedades.com) para cada uno de las localidades estudiadas. Posteriormente se calculó el número de viviendas permitidas la misma densidad de construcción. Para hacer una comparación entre localidades, se parte de que cada predio tiene el mismo uso del suelo. Si se observan los predios colindantes a los analizados, se puede establecer que la densidad de las colonias es baja (vivienda unifamiliar, en uno o dos niveles, con un gran porcentaje de área libre, utilizada para estacionamiento o área verde).

Por lo anterior, se considera un estacionamiento por vivienda, y densidad baja (una vivienda por cada 100m^2 de terreno). Asimismo, se deja el 40% del área libre y la vivienda se desplanta en un nivel.

Los datos del modelo financiero son aproximados y sirven únicamente para fines comparativos, ya que normalmente los costos varían según las condiciones económicas del país y también dependen de la utilidad que se quiera tener.

Una vez que se tienen los costos paramétricos y los gastos que se tendrán, se construye un flujo de efectivo para un periodo determinado, dependiendo de cada localidad y se calculan los indicadores financieros de rentabilidad. Con base en estos indicadores, se aplican los ajustes necesarios y se vuelve a correr el modelo.

Finalmente se hace una comparación entre los indicadores de rentabilidad de proyectos con diseño bioclimático y sin diseño bioclimático.

Conclusiones

La metodología utiliza como base el estudio del bioclima para realizar un diagnóstico y permite proponer una serie de estrategias para el ahorro de energía. Existen diferentes herramientas para conocer el comportamiento térmico de un edificio, y en el presente trabajo se utilizó la metodología de la Norma NOM 020 ENER 2011, por no saber cómo aplicar otros programas de simulación energética. La vivienda convencional corresponde a un modelo que se construye actualmente y que corresponde a la demanda de vivienda en México en el último año.

Asimismo, se elige el método de grados-día que indican cuántos grados centígrados se necesitan para enfriar o calentar una vivienda para obtener una sensación de confort. Conociendo estos requerimientos es posible calcular un gasto económico en energía en un periodo determinado y hacer una comparación entre consumo y gasto. Por otra parte la simulación del comportamiento térmico de la vivienda convencional contra la bioclimática permite definir si se logran condiciones de confort en dichas viviendas.

El modelo de financiamiento se basa en la metodología del CEPEP (2017), adecuándolo a un proyecto de vivienda con base en una investigación de campo que se hizo en 2019 y se consideran los costos paramétricos del año 2020. Esto permitirá la comparación de la rentabilidad entre diferentes proyectos de vivienda bioclimática en los bioclimas. Con base en los resultados se podrá establecer si un proyecto de vivienda bioclimática es más o menos rentable que uno de vivienda convencional.

4. Casos de estudio

El objetivo de este capítulo es aplicar la metodología propuesta en un caso de estudio. Primero se justifica la elección de los bioclimas estudiados para este trabajo. Posteriormente se describe la oferta y la demanda de vivienda del último año para justificar el diseño de la vivienda convencional. Una vez que se define la vivienda convencional se calcula la ganancia de calor de la vivienda convencional y se proponen estrategias para una vivienda bioclimática. Después se calcula el costo de estas estrategias en el costo de la construcción, así como el gasto en energía eléctrica en cada vivienda (convencional y bioclimática). En la última parte, se incorporan los costos de las estrategias bioclimáticas en el modelo de financiamiento de la vivienda bioclimática y se presentan los indicadores de rentabilidad.

4.1. Determinación de los bioclimas estudiados

En México existe una gran variedad de climas, los cuales se clasifican dependiendo de la temperatura y humedad de la zona. La Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda en 2006 publicó una regionalización del país con base en las características ecológicas (Ilustración 5).

A partir de estas regiones ecológicas se identificaron tres tipos de climas principales, que son el cálido, templado y semifrío. A su vez, estos se pueden clasificar en función de la humedad en: húmedo, semihúmedo y seco.

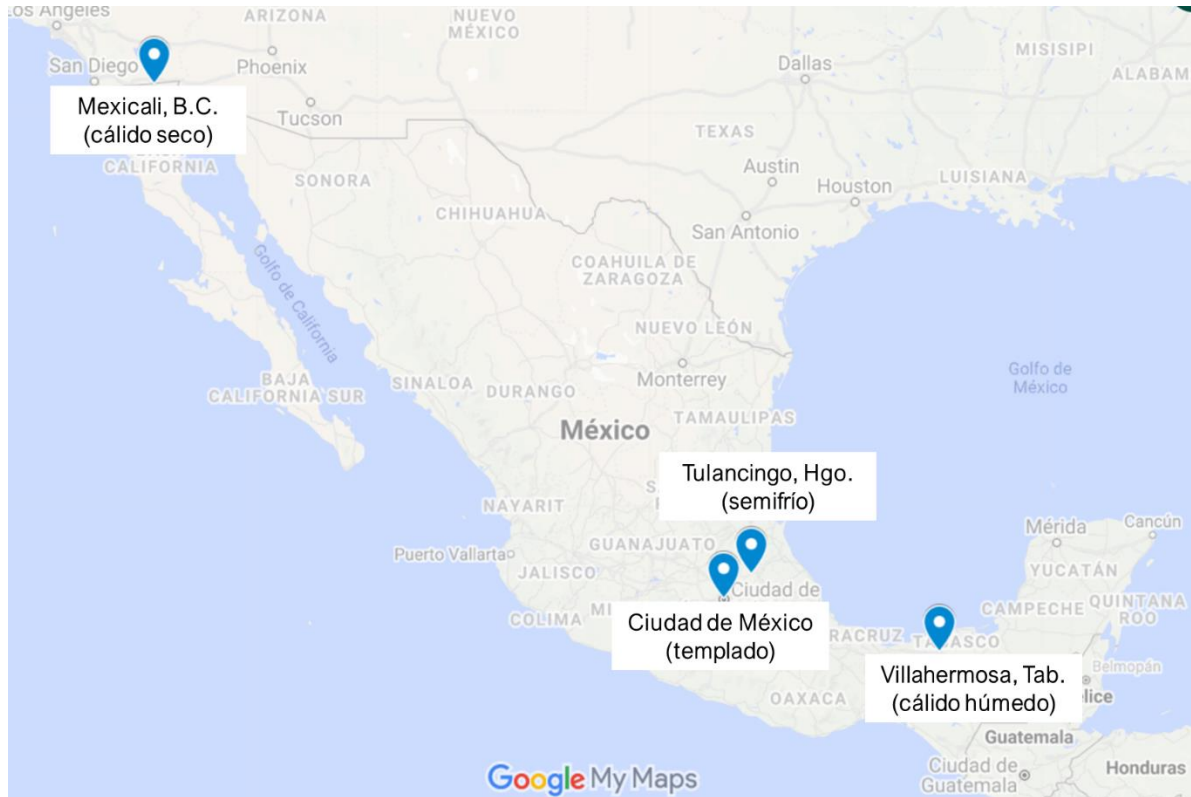
Ilustración 5. Regiones Ecológicas y ubicación de 67 ciudades



Fuente: Guía para el diseño de áreas verdes en desarrollos habitacionales (CONAFOVI, 2006)

Para el presente trabajo se tomarán como casos para estudio los siguientes bioclimas: cálido seco, cálido húmedo, templado y semifrío. En cada uno de los bioclimas se elige una un caso de estudio y se analiza.

Ilustración 6. Localidades de estudio



Google Maps, 2021

Fuente:

En este trabajo se toman los datos geográficos (latitud, longitud y altitud de cada ciudad). Posteriormente, se toman los promedios de las temperaturas máximas, mínimas y promedios que se han presentado en los últimos treinta años, con información de las normales climatológicas, publicadas por el Sistema Meteorológico de México.

Con los datos geográficos y climáticos se calculan las temperaturas y humedades horarias para cada mes y se introducen los datos en los diagramas bioclimáticos de Olgay y de Givoni y obtener así las horas de sensación de frío, calor y confort. Lo anterior es útil para calcular el número de horas anuales en las que se requiere enfriar, calentar o mantener la temperatura en la vivienda. Asimismo, se utiliza el software Biosol (desarrollado por Preciado y Morillón en 2010) para procesar los datos climatológicos y geográficos.

4.2. Diseño de una vivienda convencional

Para la elección de la vivienda convencional, se parte del análisis de la oferta y demanda de vivienda reciente (año 2020) en México. Primero se retoma la clasificación de la vivienda con base en su precio, propuesta por el Infonavit.

El Infonavit tiene una clasificación de la vivienda basada en su precio, en la cual se basa el otorgamiento de los créditos.

Tabla 5. Clasificación de la vivienda de INFONAVIT

Clase	Segmento	UMA		Pesos	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
1	Económica	<118	118	Hasta \$442,028	\$442,028
2.1	Popular B1	118	128	\$442,028	\$479,488
2.2	Popular B2	128	158	\$479,488	\$591,868
2.3	Popular B3	158	200	\$591,868	\$749,200
3	Tradicional	200	350	\$749,200	\$1,311,100
4	Media	350	750	\$1,311,100	\$2,809,500
5	Residencial	750	1500	\$2,809,500	\$5,619,000
6	Residencial Plus	1500	>1500	\$5,619,000	\$5,619,000 o más

UMA= Unidad de Medida y Actualización \$3,746

Fuente: INFONAVIT, 2017 actualizado con datos de 2020.

La vivienda de interés social se considera desde el segmento de vivienda económica, hasta el popular.

Oferta y demanda de vivienda en el año 2020

Durante el año 2020 se otorgaron 945,300 acciones de financiamiento, de las cuales, el Infonavit otorgó casi la mitad (475,245) y la banca 259,082. Las acciones restantes fueron otorgadas por Sociedad Hipotecaria Federal, la CONAVI y el Instituto de Vivienda (INVI). Es importante señalar que todos los créditos del Infonavit cuentan con Hipoteca Verde. (INFONAVIT, 2020).

En cuanto a vivienda nueva, la mayoría de las acciones se destinaron a vivienda de tipo popular, así como a económica y tradicional, como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 6. Clasificación del tipo de vivienda demandada, 2020

Clasificación	Acciones
No especificado	268,022
Popular	168,285
Económica	164,477
Tradicional	157,301
Media	116,700
Residencial	49,723
Residencial plus	20,792
Total	945,300

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Sistema Nacional de Información e Indicadores de Vivienda (SNIIV) 2020

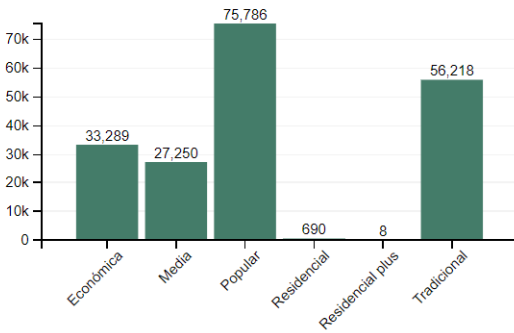
Por otra parte, se registraron en el mismo periodo 182,930 viviendas producidas, de las cuales 104,663 fueron de tipo popular hasta 158 (UMAs¹). Asimismo, el 46.11% de las viviendas ofertadas

¹ La Unidad de Medida y Actualización (UMA) es la referencia económica en pesos para determinar la cuantía del pago de las obligaciones y supuestos previstos en las leyes federales, y de las entidades federativas.

tienen una superficie de entre 45 y 60 m² y el 10.5% menos de 45m². El 74% de las viviendas son de tipo horizontal y únicamente el 26% de tipo vertical.

Se observa en la siguiente gráfica que el sector en el que se construyeron más viviendas fueron el popular y el tradicional. Se muestra por número de viviendas construidas.

Segmento



Fuente: SNIIV, 2020

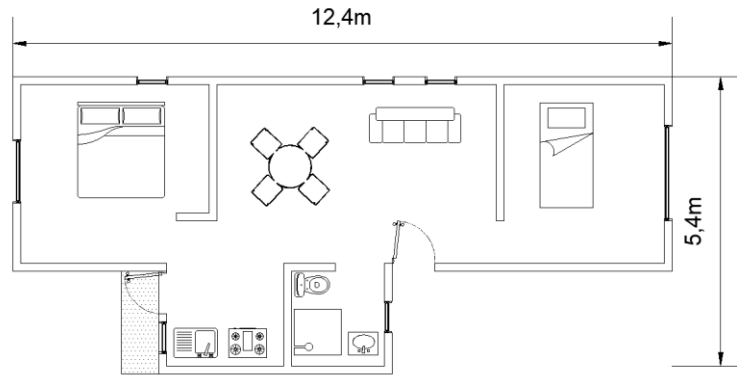
En suma, la oferta de vivienda en el año 2020 fue principalmente de tipo popular y tradicional (con un costo entre \$400,000 y \$1,400,000 pesos). El tipo de vivienda producida fue horizontal y con una superficie entre 45 y 60 metros cuadrados de construcción. Este tipo de vivienda es el que se toma en este trabajo como la vivienda convencional, por ser el más ofertado y demandado en el mercado

Conociendo el modelo de vivienda más demandado y construido en el año 2020, se elige un tipo de vivienda existente (Modelo Álamo), que corresponde a la compañía constructora de vivienda ARA, una de las principales constructoras en México. Se elige este tipo de vivienda por corresponder a las características de la demanda actual y porque se trata de un modelo real que se replica en algunos estados de la República, como Hidalgo, Tamaulipas, Sonora, Nuevo León y Estado de México.

Es una vivienda de 49 metros cuadrados desplantada en un nivel, que consta de dos recámaras, baño, cocina y estancia con sala y comedor. Asimismo, tiene espacio para un cajón de estacionamiento y se encuentra en un terreno de 90m².

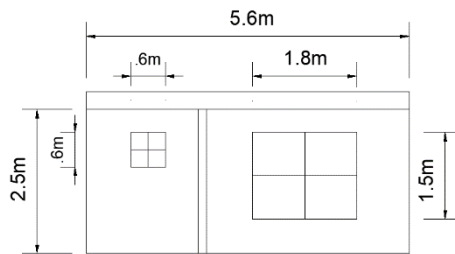
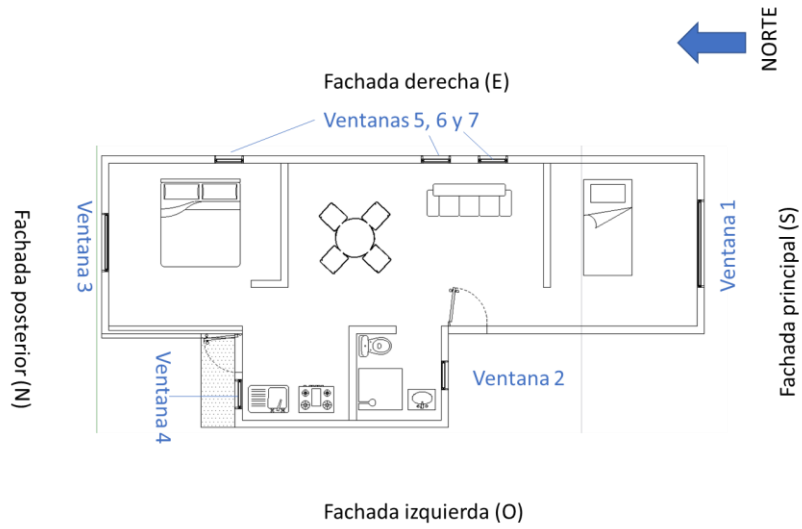
Desplante de la vivienda



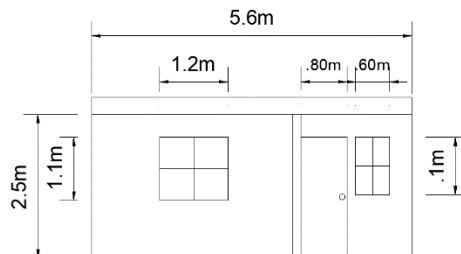


Fuente: Modelo Álamo, de Casas ARA y elaboración propia con base en mismo modelo.

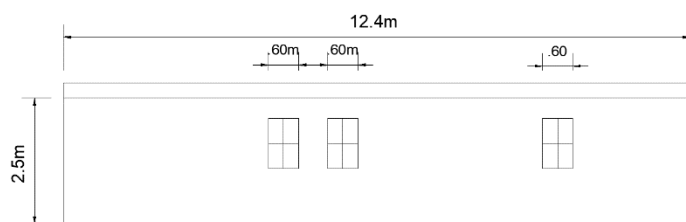
Vista esquemática de áreas de la vivienda convencional



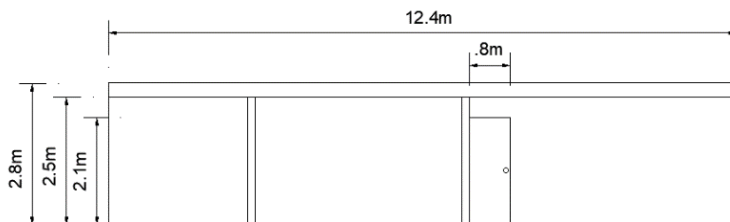
Fachada principal (S)



Fachada posterior (N)



Fachada derecha (E)



Fachada izquierda (O)

Fuente: elaboración propia con base en Modelo Álamo, de Casas ARA

A continuación, se calculan las superficies de los elementos de la envolvente de la vivienda, indicando el sistema constructivo.

Cuadro de superficies de los elementos de la envolvente

	Sistema constructivo	Área
Fachada principal (S)		m2
Muro	Block de concreto hueco 12cm	10.92
Ventana 1	Vidrio 3mm	2.70
Ventana 2	Vidrio 3mm	0.36
Fachada posterior (N)		
Muro	Block de concreto hueco 12cm	10.38
Ventana 3	Vidrio 3mm	1.32
Ventana 4	Vidrio 3mm	0.60
Puerta 2	Puerta de madera blanda	1.68
Fachada derecha (E)		
Muro	Block de concreto hueco 12cm	29.30
Ventana 5	Vidrio 3mm	0.60
Ventana 6	Vidrio 3mm	0.60
Ventana 7	Vidrio 3mm	0.60
Fachada izquierda (O)		
Muro	Block de concreto hueco 12cm	29.42
Puerta 1	Puerta de madera blanda	1.68
Techo	Concreto armado 10 cm	54.32

Fuente: elaboración propia

La orientación de la vivienda es sur-norte, es decir que la fachada principal tiene orientación al sur, y la posterior al norte. La fachada principal y la posterior tienen una superficie aproximada de 14 metros cuadrados, la ventana más grande se ubica en la fachada principal, todas las ventanas son de vidrio claro de 3 milímetros de espesor.

Cuenta con dos accesos, uno por la fachada oeste (que es el acceso principal) y por la fachada posterior (norte). Las ventanas se encuentran en la fachada este, y no tiene ventanas en la fachada oeste.

Una vez establecidas las superficies y conociendo el sistema constructivo de la envolvente es posible realizar la simulación del comportamiento térmico de la vivienda convencional.

En apartados posteriores, se aplica el método de la NOM 020 ENER 2011 y se analiza el comportamiento térmico de la envolvente. Después se definen los requerimientos de enfriamiento y calentamiento de la vivienda y por último se estima el consumo energético requerido por los sistemas mecánicos de climatización.

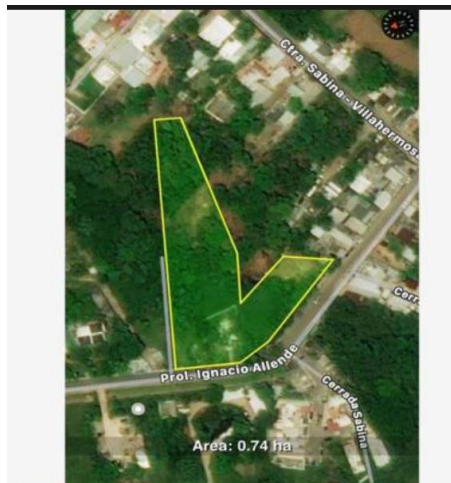
Los resultados de la evaluación del comportamiento térmico de la vivienda convencional se pueden consultar en el apartado 4.4.2 de este trabajo.

4.3. Terreno

En el modelo financiero se consideran terrenos para llevar a cabo el proyecto de vivienda convencional y bioclimática, que estaban disponibles en el mercado (hasta marzo de 2021). Se eligieron terrenos que forman parte de la zona urbana de las localidades estudiadas y que no tienen construcciones. A continuación se describe el terreno elegido para el bioclima cálido húmedo (Villahermosa).

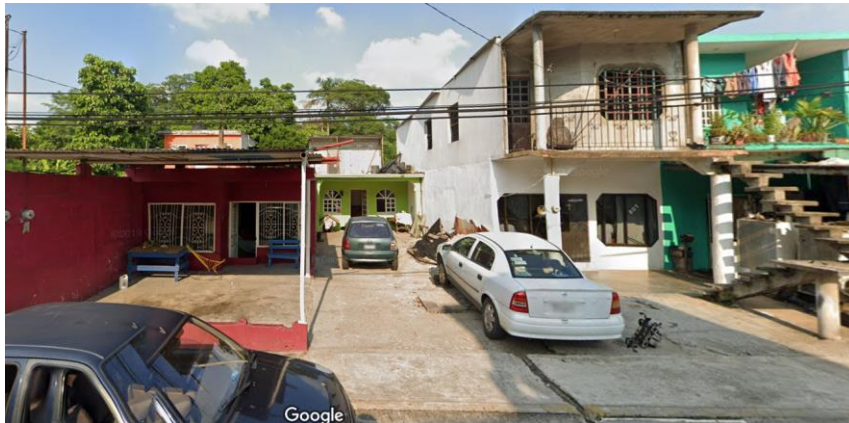
Se trata de un terreno de forma irregular ubicado en Avenida Principal, Colonia Sabina, en Villahermosa, Tabasco. Esta colonia se ubica aproximadamente a 6 kilómetros del centro de la ciudad.

Ilustración 7. Terreno en venta en Villahermosa, Tabasco



Fuente: <https://propiedades.com/inmuebles/terreno-habitacional-en-venta-villahermosa-centro-tabasco-19983102#area=villahermosa-centro-centro&tipos=terrenos-habitacionales-venta&orden=&pagina=1&paginas=1&pos=1>

Ilustración 8. Viviendas colindantes al terreno en venta, Villahermosa



Fuente: Google Maps, 2021

Tiene una superficie de 800m² aproximadamente y tiene un precio de \$2,000,000 pesos, por lo que resulta en un precio de \$2,500 pesos por metro cuadrado. El uso del suelo es habitacional, y los predios colindantes cuentan con viviendas en uno o dos niveles.

4.4. Caso de estudio: bioclima cálido húmedo

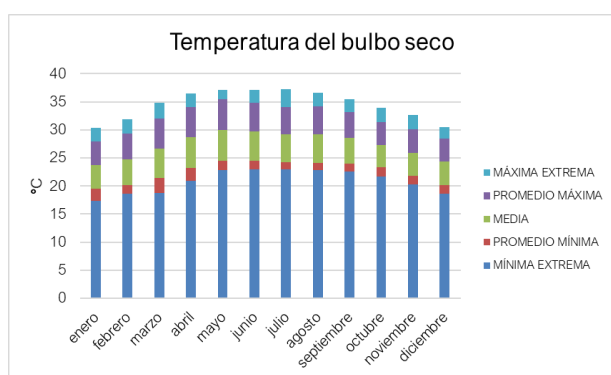
4.4.1. Análisis del bioclima

Localización y características climáticas²

La ciudad de Villahermosa, Tabasco se encuentra en el sureste del país. Se encuentra en la longitud 92° 55' 42" y latitud 17° 59' 48". El clima que tiene es cálido húmedo y tiene una altitud de 24 msnm.

La temperatura media anual es de 27.3°C, la temperatura máxima promedio es de 32.1°C (en mayo) y la mínima promedio es de 22.6°C (en diciembre y febrero). La precipitación anual es de 1,972 mm anuales y tiene 126 días con lluvia al año (Normal climatológica para Villahermosa, periodo 1981-2010).

Gráfica 3. Temperaturas promedio y extremas anuales para Villahermosa



Fuente: Elaboración propia con base en normales climatológicas periodo 1981-2010

Temperaturas y humedades horarias

A partir de los datos de temperaturas máximas y mínimas, se estiman las temperaturas horarias de la ciudad, quedando como muestra la tabla 7 a continuación.

² Los datos se tomaron de las normales climatológicas para el periodo de 1981 a 2010.

Tabla 7. Estimación de temperaturas horarias medias mensuales en Villahermosa

ESTIMACION DE TEMPERATURAS HORARIAS MEDIAS MENSUALES, A PARTIR DE MEDIAS EXTREMAS.												
Localidad	Villahermosa	Lat. (xx.x)	17.59	Long.(xxx.x)	92.55	Altitud (m)	24					
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Temp max	27.9	29.3	32.0	34.1	35.4	34.8	34.1	34.2	33.2	31.4	30.1	28.4
Temp min	19.5	20.2	21.4	23.2	24.5	24.5	24.2	24.1	24.0	23.3	21.8	20.2
Temp med	23.7	24.8	26.7	28.7	30.0	29.7	29.2	29.2	28.6	27.4	26.0	24.3
Hora min	6.5	6.3	6.1	5.8	5.6	5.5	5.5	5.7	6.0	6.2	6.4	6.5
Hora max	13.9	13.8	12.9	13.5	13.2	13.4	12.8	13.2	13.5	13.4	13.9	13.8
Hora (TSV)												
00:00	21.7	22.5	23.9	25.7	26.9	26.7	26.3	26.3	26.1	25.3	23.9	22.3
01:00	21.3	22.1	23.5	25.2	26.4	26.3	25.9	25.9	25.7	24.9	23.5	22.0
02:00	20.9	21.7	23.1	24.8	26.0	25.9	25.6	25.6	25.4	24.6	23.2	21.6
03:00	20.7	21.4	22.7	24.5	25.7	25.6	25.3	25.3	25.1	24.3	22.9	21.3
04:00	20.4	21.2	22.5	24.2	25.5	25.4	25.1	25.0	24.9	24.1	22.7	21.1
05:00	20.2	21.0	22.2	24.0	25.3	25.2	24.9	24.8	24.7	24.0	22.5	20.9
06:00	20.1	20.8	22.1	23.2	24.6	24.7	24.3	24.1	24.0	23.8	22.4	20.8
07:00	19.6	20.5	22.0	24.3	26.0	26.1	25.7	25.3	24.7	23.6	22.0	20.3
08:00	20.8	22.0	24.0	26.6	28.4	28.5	27.9	27.4	26.5	25.0	23.2	21.4
09:00	22.7	24.1	26.5	29.1	30.9	30.8	30.2	29.8	28.7	26.9	25.1	23.3
10:00	24.7	26.2	28.8	31.3	33.0	32.8	32.1	31.8	30.6	28.7	27.0	25.2
11:00	26.2	27.8	30.5	32.9	34.5	34.0	33.3	32.8	32.1	30.1	28.5	26.7
12:00	27.3	28.8	31.6	33.8	35.2	34.7	34.0	34.0	32.9	31.0	29.5	27.8
13:00	27.8	29.2	32.0	34.1	35.4	34.7	34.0	34.2	33.2	31.4	30.0	28.3
14:00	27.8	29.2	31.8	33.8	35.0	34.4	33.7	33.9	33.0	31.3	30.0	28.4
15:00	27.5	28.8	31.3	33.2	34.3	33.7	33.1	33.3	32.5	30.9	29.7	28.1
16:00	27.0	28.2	30.5	32.3	33.4	32.8	32.3	32.5	31.8	30.4	29.2	27.6
17:00	26.3	27.4	29.6	31.4	32.5	31.9	31.4	31.6	31.0	29.7	28.5	26.9
18:00	25.5	26.6	28.6	30.4	31.4	31.0	30.4	30.6	30.2	28.9	27.7	26.1
19:00	24.8	25.7	27.6	29.4	30.5	30.0	29.6	29.7	29.3	28.2	27.0	25.4
20:00	24.0	24.9	26.7	28.4	29.6	29.2	28.7	28.9	28.5	27.5	26.2	24.6
21:00	23.3	24.2	25.9	27.6	28.7	28.4	28.0	28.1	27.8	26.8	25.5	24.0
22:00	22.7	23.6	25.1	26.9	28.0	27.8	27.4	27.4	27.2	26.2	24.9	23.4
23:00	22.2	23.0	24.5	26.2	27.4	27.2	26.8	26.8	26.6	25.7	24.4	22.8

Fuente: Elaboración propia con programa Biosol

Como se aprecia en la tabla anterior, las temperaturas máximas se observan entre las doce y las dos de la tarde en todo el año, mientras que las mínimas son entre las cinco y las seis de la mañana en los meses de diciembre a febrero.

Con estos datos, se puede estimar las humedades relativas horarias a partir de las medias extremas, quedando como sigue.

Tabla 8. Estimación de humedades relativas horarias medias mensuales para Villahermosa

ESTIMACION DE HUMEDADES RELATIVAS HORARIAS MEDIAS MENSUALES, A PARTIR DE MEDIAS EXTREMAS.												
Localidad	Villahermosa	Lat. (xx.x)	17.59	Long.(xxx.x)	92.55	Altitud (m)	24					
Esta hoja de cálculo estima la H R media horaria mensual a partir de los valores promedio de máxima y de mínima.												
Los valores de H R max y H R min pueden ser calculados a partir de la media en el caso de no contar con los valores observados.												
¿Desea utilizar valores observados? (Si / No): No												
Si no cuenta con los valores de la H R media, éstos pueden ser estimados a partir de la temp. mínima.												
¿Cuenta con los valores observados? (Si / No): No												
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Temp max	27.9	29.3	32.0	34.1	35.4	34.8	34.1	34.2	33.2	31.4	30.1	28.4
Temp med	23.7	24.7	26.7	28.6	30.0	29.6	29.1	29.1	28.6	27.3	25.9	24.3
Temp min	19.5	20.2	21.4	23.2	24.5	24.5	24.2	24.1	24.0	23.3	21.8	20.2
H R med calc	82	81	78	76	74	76	77	77	79	83	83	83
Hora max	6.473	6.287	6.061	5.800	5.588	5.477	5.521	5.701	5.952	6.204	6.420	6.524
Hora min	13.883	13.787	12.891	13.470	13.178	13.387	12.771	13.201	13.542	13.374	13.920	13.774
Hora (TSV)												
00:00	91	91	88	87	85	87	88	88	89	91	91	91
01:00	93	92	90	89	87	88	90	89	90	93	93	93
02:00	94	94	92	91	88	90	91	91	92	94	94	94
03:00	95	95	93	92	89	91	92	92	93	95	95	95
04:00	96	96	94	93	90	92	93	93	94	96	96	96
05:00	97	97	95	94	91	92	94	93	94	97	97	97
06:00	98	98	95	97	93	94	96	96	97	98	98	98
07:00	99	99	96	93	88	89	91	92	94	99	99	100
08:00	94	93	88	84	80	80	82	83	87	93	94	95
09:00	86	84	78	74	71	71	73	74	79	84	87	87
10:00	78	75	69	66	63	64	66	67	71	77	79	80
11:00	72	69	63	60	58	59	61	61	65	71	73	73
12:00	67	64	59	57	55	57	59	58	62	67	69	69
13:00	65	63	57	56	55	57	58	58	61	65	67	67
14:00	65	63	58	57	56	58	60	59	61	66	67	66
15:00	66	64	60	59	59	61	62	61	63	67	68	68
16:00	68	67	63	62	62	64	65	64	66	70	70	70
17:00	71	70	66	66	65	67	69	68	69	73	73	73
18:00	75	74	70	70	69	71	72	71	73	76	76	76
19:00	78	77	74	74	72	74	76	75	76	79	79	79
20:00	81	80	77	77	75	78	79	78	79	82	82	82
21:00	84	83	81	80	78	80	82	81	82	85	85	85
22:00	87	86	84	83	81	83	84	83	84	87	87	87
23:00	89	89	86	85	83	85	86	86	87	90	89	89

Fuente: Elaboración propia con programa Biosol

Cartas bioclimáticas

Como se mencionó anteriormente existen diagramas para analizar la información climática de manera que permita identificar las horas de confort térmico, las horas de calor y las horas de frío. Los diagramas bioclimáticos son herramientas útiles para identificar gráficamente las horas en las que se presenta frío, confort y calor en determinada zona. Sin embargo, se debe considerar que existen condiciones particulares que no se toman en cuenta, por ejemplo, los efectos del viento. Lo que se hace es adaptar métricamente la carta bioclimática y los datos obtenidos se adaptan, corroboran y ajustan.

En la carta bioclimática de Olgyay se calculó el centro de la zona de confort para el mes de junio con la fórmula propuesta por Auliciems en 1981, que se calcula con temperatura media ambiente:

$$T_n = 17.6 + 0.31(T_{ma}), \text{ en } ^\circ\text{C}$$

Por lo que en el mes de junio existe una temperatura de confort de 26.8°C.

Ilustración 9. Carta bioclimática de Olgay, modificada por Szokolay para Villahermosa

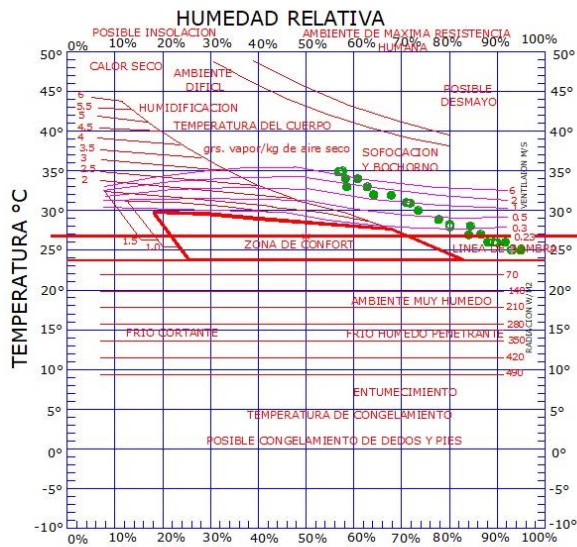


Diagrama de confort bioclimático en edificaciones (de Olgay, modificado por Szokolay), adaptado para las condiciones climáticas de Villahermosa, Tabasco para el mes de junio.

Fuente: Elaboración propia con base en la carta bioclimática de Olgay

Por otra parte, en la carta bioclimática de Givoni, se introducen los mismos datos de temperatura y humedad en el mes de junio, quedando la gráfica como se muestra a continuación.

Ilustración 10. Diagrama bioclimático de Givoni, modificado para Villahermosa (junio)

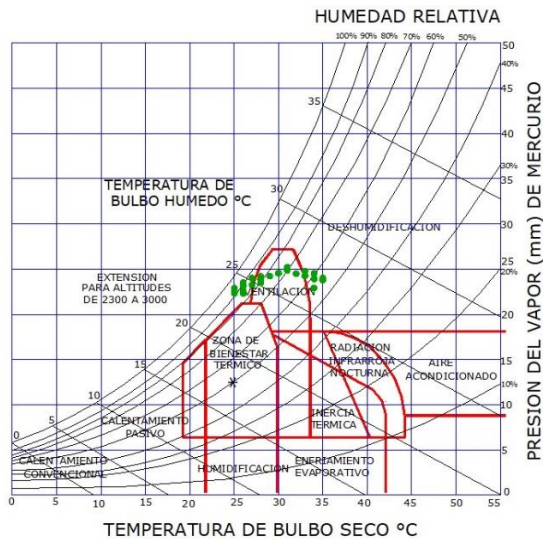


Diagrama de confort bioclimático en edificaciones (de B. Givoni), adaptado para las condiciones climáticas de Villahermosa, Tabasco.

Fuente: Elaboración propia con base en el diagrama de B. Givoni

Se observa en los diagramas anterior que en el mes de junio no hay horas de frío ni confort, y en la totalidad de las horas se presenta calor, por lo que deben buscarse soluciones de ventilación, entre otras estrategias.

Cálculo sensación térmica por PMV y PET

Por otra parte, se calculó el PMV (Predicted Mean Vote) horario para analizar las sensaciones térmicas. Propuesta por Fanger, el PMV es una estimación de la sensación de confort que experimenta un grupo de personas y que toma en cuenta la temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, radiación y la vestimenta del individuo, así como la actividad que se esté realizando (Morillón, 2004). Como se establece en el capítulo 1, los valores se relacionen con siete niveles de confort.

Tabla 9. PMV para Villahermosa

Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
00:00	0.1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
01:00	0.0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-0.4
02:00	-0.1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1
03:00	-0.1	-1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	-1
04:00	-0.1	-1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	-1
05:00	-0.2	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
06:00	-0.2	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1
07:00	-0.3	0	0	1	2	2	2	2	1	1	0	-1
08:00	-0.1	1	3	3	3	3	3	3	3	2	1	1
09:00	0.2	2	3	4	4	4	4	4	4	3	2	2
10:00	0.6	3	4	4	5	5	5	5	4	4	3	2
11:00	0.9	3	4	5	5	5	5	5	5	4	3	3
12:00	1.0	3	4	5	5	5	5	5	5	4	4	3
13:00	1.1	4	4	5	5	5	5	5	5	4	4	3
14:00	1.1	3	4	5	5	5	5	5	5	4	4	3
15:00	1.0	3	4	4	5	5	5	5	4	4	3	3
16:00	1.0	2	3	4	4	4	4	4	4	3	3	2
17:00	0.9	1	2	3	3	3	3	3	3	2	2	1
18:00	0.7	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1
19:00	0.6	0	1	1	2	2	1	1	1	1	1	0
20:00	0.5	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
21:00	0.4	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
22:00	0.3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
23:00	0.2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0

Fuente: Elaboración propia con base en cálculos del programa Rayman, 2020

Se puede observar que la mayoría de los valores son mayores a cero, indicando muchas horas de calor al año.

Asimismo, se calculó el PET (Physiological Equivalent Temperature) que es la temperatura equivalente al confort, por hora y mes.

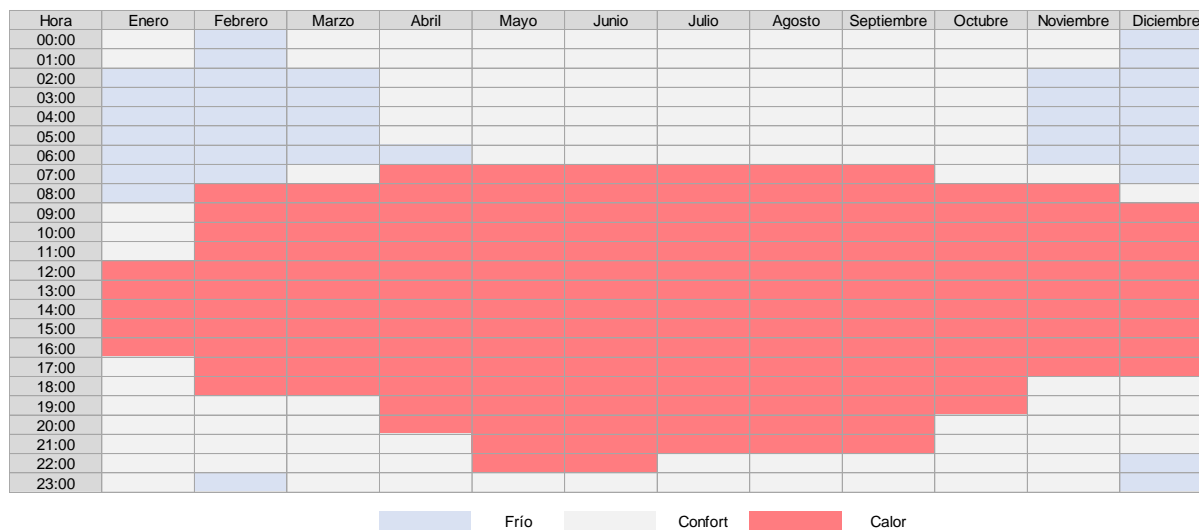
Tabla 10. PET en grados centígrados para Villahermosa

PET (Physiological Equivalent Temperature)													
(°C)													
Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
00:00	20	17.5	19	21.2	22.7	22.4	22	22	21.7	20.7	19	17.3	
01:00	19.7	17.1	18.6	20.6	22.1	22	21.5	21.5	21.2	20.3	18.6	17	
02:00	19.4	16.7	18.2	20.1	21.6	21.5	21.1	21.1	20.9	19.9	18.3	16.6	
03:00	19.2	16.4	17.8	19.8	21.2	21.1	20.8	20.8	20.5	19.5	18	16.3	
04:00	19	16.2	17.6	19.4	21	20.9	20.5	20.4	20.3	19.3	17.8	16.1	
05:00	18.8	16	17.2	19.2	20.7	20.7	20.3	20.2	20	19.2	17.6	15.8	
06:00	18.8	15.7	17.1	18.3	20.5	21.4	21	20.1	19.2	19	17.5	15.7	
07:00	18.4	17.9	21.4	26.3	29.6	30.3	29.9	28.9	27	23.9	19.9	16.9	
08:00	19.3	26.2	29.2	35	37.9	38.4	37.8	37	35.2	32	27.9	24.4	
09:00	20.8	32.7	37	41.3	43.7	44.1	43.6	43	41.3	37.9	34	30.7	
10:00	22.7	37.2	41.4	45	47.1	47.5	47	46.5	44.9	41.5	38	35	
11:00	23.9	39.7	43.7	46.7	48.4	48.6	48.2	47.9	46.5	43.4	40.4	37.6	
12:00	24.7	41	44.9	47.4	48.3	48.7	48.5	47.9	47	44.3	41.6	39.2	
13:00	25.1	41.3	45.4	48.1	49.4	49.4	49	49.1	47.7	44.9	42.1	39.4	
14:00	25.1	40.6	44.7	47.8	49.3	49.2	48.8	48.9	47.5	44.5	41.5	38.7	
15:00	24.9	38.1	42.5	45.8	47.5	47.3	46.8	46.9	45.5	42.4	39.2	36.2	
16:00	24.5	33.4	37.8	41.5	43.5	43.3	42.8	42.8	41.2	38.2	34.9	31.7	
17:00	23.9	25.9	30.3	34.5	37.1	37	36.4	36.1	34.3	31	27.6	24.4	
18:00	23.2	21.9	24.5	26.7	28.6	28.9	28.2	27.8	26.6	25	23.5	21.5	
19:00	22.6	21	23.4	25.6	26.9	26.3	25.9	26	25.5	24.2	22.7	20.7	
20:00	22	20.1	22.3	24.4	25.8	25.4	24.8	25	24.6	23.4	21.7	19.7	
21:00	21.4	19.3	21.3	23.5	24.8	24.4	24	24.1	23.7	22.5	20.9	19.1	
22:00	20.9	18.7	20.4	22.6	24	23.7	23.3	23.3	23	21.8	20.2	18.5	
23:00	20.4	18	19.7	21.8	23.3	23	22.6	22.6	22.3	21.2	19.6	17.8	

Fuente: Elaboración propia con base en cálculos del programa Rayman, 2020

Finalmente, estos datos sirven de base para analizar los requerimientos de climatización para la ciudad de Villahermosa que se pueden visualizar mejor en un diagrama del bioclima como se muestra a continuación.

Ilustración 11. Bioclima cálido húmedo



Fuente: Elaboración propia con base en cálculos del programa Rayman, 2020

Del anterior diagrama se observa que la mayoría de las horas existe calor o confort. Incluso en la mitad del año no se presenta el frío.

Tabla 11. Horas de frío, confort y calor en Villahermosa

Sensación	Horas al año	%
Frío	1,114	13%
Confort	3,115	36%
Calor	4,531	52%
Total	8,760	100%

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla anterior, la mayoría del tiempo (más de la mitad de las horas de año) se tiene sensación de calor. En estas horas es necesario enfriar la vivienda. Posteriormente se tiene 36% del tiempo sensación de confort, por lo que será necesario mantener la temperatura en la vivienda, mientras que menos del 15% de las horas al año se presenta sensación de frío.

Recomendaciones para el diseño bioclimático

En este apartado se proponen estrategias para protección y aprovechamiento del clima en el diseño de la vivienda y de esta manera, incidir directamente en el confort de los habitantes. Se dividen los requerimientos de climatización: enfriamiento con la ventilación, el sombreado, y la deshumidificación.

Ventilación

- Minimizar el tamaño de las ventanas de las fachadas este y oeste. Asimismo, procurar la ventilación cruzada, o que produzca un efecto de sifón.
- Doble altura, para permitir el movimiento del aire caliente hacia arriba.
- Construir terrazas con protección solar.
- Dejar espacio entre las viviendas, es decir, ubicar la vivienda sin colindancia con los vecinos.

Control solar

- Utilizar colores reflejantes en la envolvente, y en el interior colores claros para aprovechar al máximo la luz natural.
- Utilizar materiales con resistencia térmica en la envolvente, como lana de vidrio, plástico celular o celulosa. En el techo se pueden utilizar materiales de origen orgánico, como un material con tierra.
- Construir techos con doble cubierta.
- Orientar la vivienda de modo que se minimice la exposición solar. Se recomienda norte-sur. O noroeste-sureste.
- Proteger ventanas del sol con aleros en la fachada sur con ángulo de 50°, y partesoles con ángulo de 30°. En la fachada norte partesoles con ángulo de 20°.

- Sembrar árboles frondosos, altos y de hoja perenne que protejan las fachadas este, sur y oeste, pero que permitan el movimiento del viento.
- Utilizar vidrios tintados en ventanas o doble vidrio.
- Utilizar celosías en las fachadas con mayor exposición (sur, este y oeste) que pueden ser de madera, ladrillo o concreto.
- Para aprovechar la iluminación natural se pueden tener tragaluces, pero únicamente en la fachada norte y utilizando dispositivos de control solar.
- Construir el edificio con remetimientos.

Deshumidificación

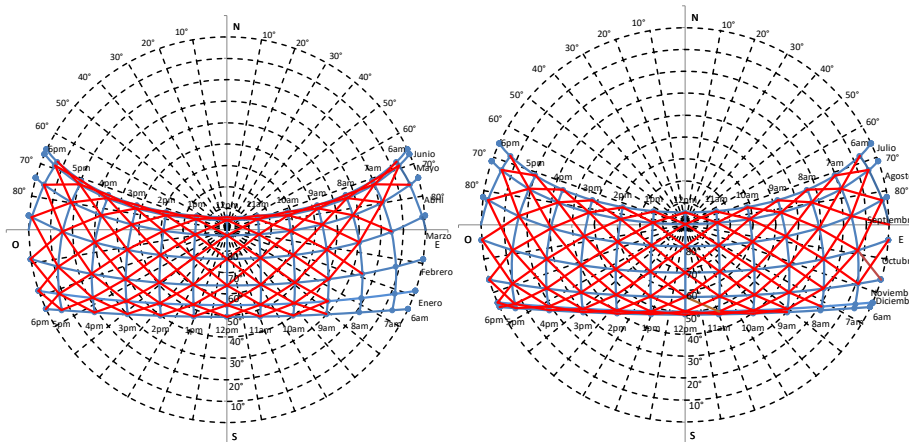
- Construir la vivienda dejando un espacio entre el suelo y la losa del piso, para fomentar la ventilación y evitar la humedad.
- Techos a dos aguas para que caiga el agua en los días de lluvia.
- Utilizar ventiladores y extractores mecánicos cuando sea necesario.
- Evitar vegetación dentro de la vivienda.
- De ser necesario, utilizar deshumidificadores naturales (con base de sal o yeso).

Control solar

Es muy importante cuando se proyecta una vivienda, que el diseñador esté familiarizado con las características del medio ambiente del entorno, ya que éstas influyen directamente en el confort de los usuarios. Una variable determinante en el confort térmico es la radiación solar, que puede ser directa o indirecta, y su análisis permite definir los requerimientos de enfriamiento o calefacción.

Utilizando el software Biosol, se generan dos gráficas solares que corresponden al primer y al segundo semestre del año. En estas gráficas se puede estudiar los requerimientos de control solar con número de horas y por mes en las que se requiere ganancia de calor o bien, protección solar.

Ilustración 12. Gráfica solar equidistante para el primer y segundo semestre del año, Villahermosa



Fuente: Elaboración propia con programa Biosol

Requerimientos de sombreado

De las gráficas anteriores se puede observar que, en los meses de enero a junio, se necesitará ganar calor durante 269 horas, correspondientes al amanecer, mientras que se necesita proteger del sol 2,084 horas. En los meses de julio a diciembre, se requiere ganancia de calor 153 horas y protección 2,239 horas. En total se necesitará ganar calor 422 horas (9%) y protección del sol 4,323 horas (91%).

Tabla 12. Número de horas que requieren ganancia de calor o protección por semestre

No. de horas que requieren ganancia de calor (T1) o protección (T2), semestre Enero-Junio							
Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	Total
T1	93	84	62	30	0	0	269
T2	310	280	341	360	403	390	2084

No. de horas que requieren ganancia de calor (T1) o protección (T2), semestre Julio-Diciembre							
Mes	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Total
T1	0	0	0	0	60	93	153
T2	403	403	390	403	330	310	2239

Fuente: Elaboración propia con programa Biosol

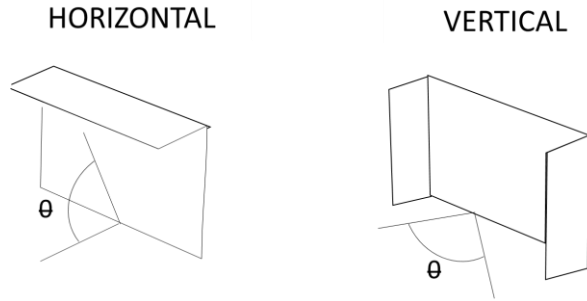
Prácticamente en todas las horas de luz se requiere protección del sol.

Elementos sombreadores (aleros, partesoles y remetimientos)

La radiación solar incide en el calentamiento de la vivienda, ya que parte de la energía se absorbe por la envolvente. Sin embargo, la radiación solar en una ventana pasa directamente al interior y casi el total, dependiente de las características del vidrio. Debido a esto se debe contar con dispositivos o elementos que controlen la entrada de la radiación solar.

Los elementos sombreadores pueden ser horizontales o verticales, llamados aleros y partesoles, respectivamente y combinaciones, como se observa en la Ilustración 13.

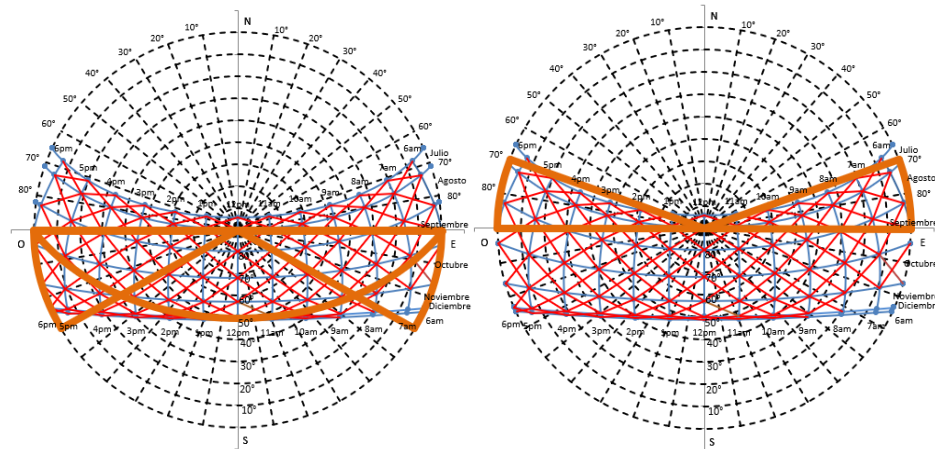
Ilustración 13. Aleros y partesoles



Fuente: Ingeniería de la energía solar para la sustentabilidad

Para el caso de Villahermosa se proponen aleros en la fachada sur con ángulo de 50° , y partesoles con ángulo de 30° . En la fachada norte se propone únicamente partesoles con ángulo de 20° .

Ilustración 14. Control solar fachadas sur y norte en el segundo semestre del año, Villahermosa



Fuente: Elaboración propia con programa Biosol

Con la implementación de estos dispositivos de control solar, y sumado a otras estrategias, como la vegetación, es posible proteger de la radiación solar, gran parte de las horas del segundo semestre.

Requerimientos de enfriamiento o calentamiento

Del análisis del bioclima se observa que en Villahermosa la mayor parte del año se presentan temperaturas elevadas y alta humedad. De esta manera se requieren estrategias que permitan a la edificación enfriamiento y deshumidificación. En los meses de abril a octubre se requiere deshumidificar y enfriar. Únicamente durante la madrugada en los meses de noviembre a febrero se requiere mantener el calor ganado durante el día.

4.4.2. Evaluación del comportamiento térmico

Utilizando la metodología descrita, se procede a hacer un análisis del comportamiento térmico de la vivienda convencional descrito en el apartado 4.2, obteniendo los siguientes resultados.

Primero se realiza el análisis de la vivienda convencional, con las características descritas anteriormente.

Con base en la Tabla 1 de la Norma oficial NOM 020 ENER 2011, (modificada por la Resolución de 2016), se obtienen los valores para calcular el flujo de calor a través de la envolvente de la vivienda convencional.

Tabla 13. Valores para el cálculo del flujo de calor a través de la envolvente (extracto)

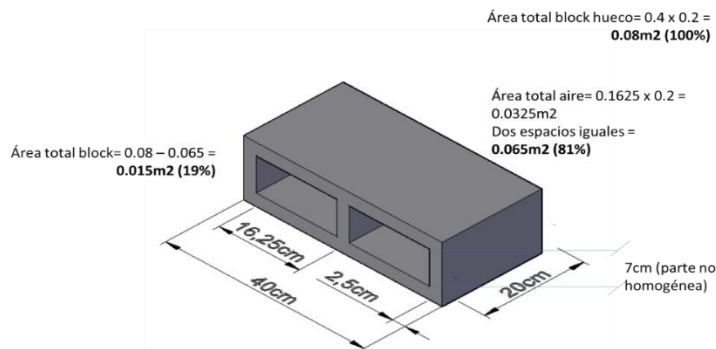
ESTADO	Ciudad	K de referencia (W/m ² K)		CONDUCCION										RADIACION				Barrera para vapor								
				OPACA					TRANSPARENTE					TRANSPARENTE												
		Temperatura equivalente promedio te (°C)																								
		Hasta tres niveles y Conjunto horizontal con muros compartidos		Mas de tres niveles		T _{masor}	Superficie interior	Techo	Muro masivo				Muro ligero				Tragaluz y domo		Ventanas				Factor de ganancia solar promedio FG (W/m ²)			
Techo y muro	Techo	Muro	N	E	S				O	N	E	S	O	N	E	S		O	N	E	S	O				
AGUASCALIENTES	Aguascalientes	0.833	0.833	0.909	24	26	37	24	27	26	25	30	33	32	32	22	23	24	24	24	272	102	140	114	134	
BAJACALIF. SUR	La Paz	0.714	0.714	0.833	25	31	45	31	34	32	33	36	40	38	38	26	27	28	29	29	322	70	159	131	164	Si
	Cabo S. Lucas	0.714	0.714	0.833	25	30	44	30	34	32	32	36	39	38	39	25	27	28	28	28	322	70	159	131	164	Si
	Eisenada	0.909	0.909	0.909	24	25	35	22	25	24	23	28	31	30	30	20	22	22	22	23	322	70	159	131	164	Si
BAJACALIFORNIA	Mexicali	0.625	0.625	0.714	25	34	50	36	40	37	38	41	45	43	45	29	30	32	32	32	322	70	159	131	164	
D. F.	México (a)	0.909	0.909	0.909	23	23	33	20	22	22	21	26	29	28	28	19	21	21	21	21	272	102	140	114	134	
HIDALGO	Pachuca	0.909	0.909	0.909	22	22	31	19	20	20	20	25	27	27	26	18	20	20	20	20	272	102	140	114	134	
	Tulancingo	0.909	0.909	0.909	23	23	32	19	21	21	20	25	28	27	27	19	20	20	20	21	272	102	140	114	134	
TABASCO	Villahermosa	0.714	0.714	0.833	25	32	46	32	36	34	34	38	42	40	41	27	28	29	30	30	272	102	140	114	134	Si
	Comitancaco	0.714	0.714	0.833	25	31	46	32	35	33	33	37	41	39	40	26	28	29	29	29	272	102	140	114	134	Si

Fuente: Resolución por la que se modifican los valores de coeficiente global de transferencia de calor (K) de la Tabla 1, se agregan definiciones y se acota la verificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones.- Envoltorio de edificios para uso habitacional, publicada el 9 de agosto de 2011.

Para el cálculo la simulación del comportamiento térmico en la vivienda es necesario conocer el coeficiente global de transferencia de calor (K) de los materiales y sistemas constructivos empleados en la envolvente de la vivienda. A continuación se presenta el cálculo del coeficiente K para los sistemas constructivos y materiales empleados.

Para el block de concreto hueco se obtienen el coeficiente global de transferencia de calor (K) como sigue.

Ilustración 15. Esquema de un block de concreto hueco



Fuente: elaboración propia con base en especificaciones de materiales.

3. Cálculo del Coeficiente Global de Transferencia de Calor de las Porciones de la Envolvente (*)

(Háganse tantas hojas como porciones diferentes de la envolvente se tengan)

3.1. Descripción de la Porción No Homogénea ^(a) block concreto hueco_12cm Número (**)

Componente de la envolvente Techo Pared Ligero

Área de la componente en m² (A) = x

Área que ocupa la componente no homogénea 1

Fracción de la combinación (F1) ^(b)

Área que ocupa la componente no homogénea 2

Fracción de la combinación (F2)

3.2. Aislamiento térmico parcial

Material (***)	Espesor (m)	Conductividad térmica (w/mK)	M Aislamiento térmico (m2K/W)
Convección exterior (****)	1.000	13.000	0.077
mortero de cemento-arena	0.010	0.63000	0.016
block concreto	0.050	1.110	0.045
aplanado de yeso	0.010	0.372	0.027
Convección interior	1.000	8.100	0.123

Para obtener el aislamiento térmico total, sumar la M de todos los materiales más la convección exterior e interior

M parcial m2K/W

[Formula $M_{parcial} = \Sigma M$]

3. Cálculo del Coeficiente Global de Transferencia de Calor de las Porciones de la Envolvente (*)

(Háganse tantas hojas como porciones diferentes de la envolvente se tengan)

3.3 Aislamiento Térmico parcial (Mparcial) 0.288

Fracción (F)	Material (***)	Grueso (m) g (****)	Conductividad térmica (w/mK)	g/
F1 0.188	block concreto	0.070	1.1100	0.063

$$\sum \frac{F_1}{M_{parcial} + (g / \lambda_m)} = \text{0.063}$$

0.534

F2 0.813	aire	0.070	0.0260	2.692
--	------	---	--	---

$$\sum_{i=1, j=1}^{n, m} \frac{F_i}{M_{parcial} + (g / \lambda_m)} = \text{0.806}$$

2.692

0.273

$$M = \frac{1}{\frac{F_1}{M_{parcial} + (g / \lambda_1)} + \frac{F_2}{M_{parcial} + (g / \lambda_2)} + \dots + \frac{F_n}{M_{parcial} + (g / \lambda_m)}} \quad M = \text{1.2400}$$

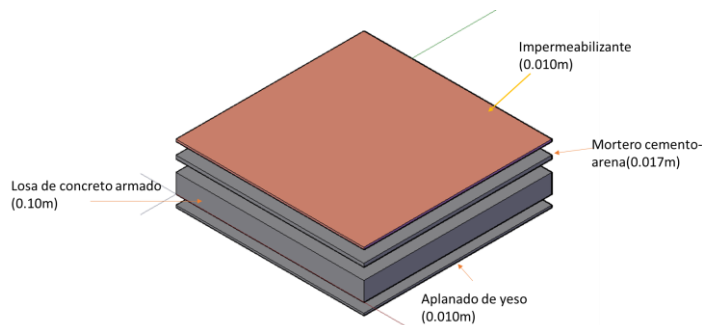
Coeficiente global de transferencia de calor de la porción (k)

[Formula $K = 1/M$] 0.8064

Fuente: elaboración propia con base en la herramienta de la Norma NOM 020 ENER 2011

Para la losa de concreto armado se obtienen los siguientes resultados.

Ilustración 16. Esquema de losa de concreto armado



Fuente: elaboración propia con base en especificaciones de materiales.

3. Cálculo del Coeficiente Global de Transferencia de Calor de las porciones de la Envolvente(*)

3.1. Descripción de la porción Número(**)

Componente de la envolvente Techo Pared

Material (***)	Espesor (m)	Conductividad térmica (w/mK) h o λ (***)	M Aislamiento térmico (m ² K/W) [1/(h o λ)]
Convección exterior (****)	1.000	13.000	0.077
impermeabilizante	0.010	0.170	0.059
mortero de cemento arena	0.017	0.630	0.027
losa concreto armado	0.100	1.740	0.057
aplanado de yeso interior	0.0100	0.3720	0.027
Convección interior	1.000	6.600	0.152
Para obtener el aislamiento térmico total, sumar la M de todos los materiales más la convección exterior e interior [Formula $M = \Sigma M$]			M <input type="text" value="0.3986"/> m ² K/W
Coeficiente Global de transferencia de calor de la porción (k) [Formula $K = 1/M$]			K <input type="text" value="2.5088"/> W/m ² K

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la Norma NOM 020 ENER 2011

Para el vidrio de 3mm se obtienen los siguientes resultados.

Ilustración 17. Imagen de vidrio de 3 milímetros de espesor



Fuente: <https://www.cristalamedida.com/vidrio/289/venta/197/vidrio-transparente-de-3-mm>

3. Cálculo del Coeficiente Global de Transferencia de Calor de las porciones de la Envolvente(*)

3.1. Descripción de la porción Número(**)

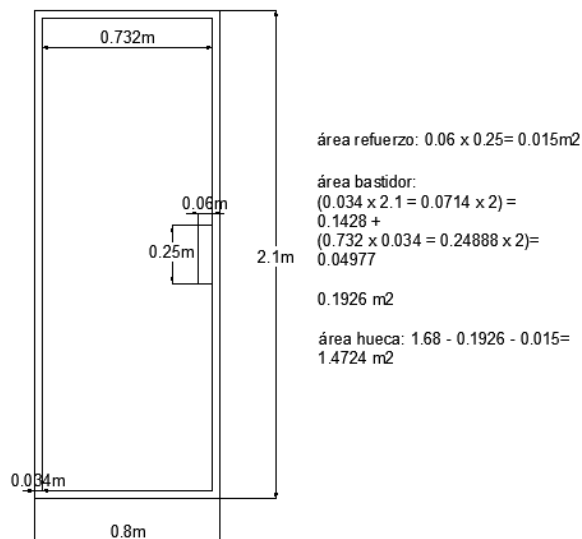
Componente de la envolvente Techo Pared

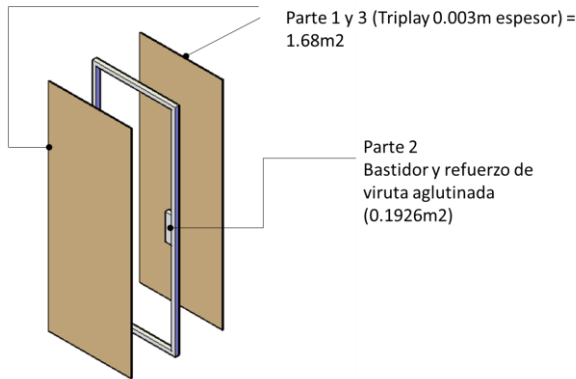
Material (***)	Espesor (m)	Conductividad térmica (w/mK) h o λ (***)	M Aislamiento térmico (m ² K/W) [1/(h o λ)]
Convección exterior (****)	1.000	<input type="text" value="13.000"/>	<input type="text" value="0.077"/>
<input type="text" value="Vidrio Claro"/>	<input type="text" value="0.003"/>	<input type="text" value="1.100"/>	<input type="text" value="0.003"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Convección interior	1.000	<input type="text" value="8.100"/>	<input type="text" value="0.123"/>
Para obtener el aislamiento térmico total, sumar la M de todos los materiales más la convección exterior e interior [Formula M= Σ M]			M <input type="text" value="0.2031"/> m ² K/W
Coeficiente Global de transferencia de calor de la porción (k) [Formula K= 1/M]			K <input type="text" value="4.9235"/> W/m ² K
			CS <input type="text" value="1.0000"/>

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la Norma NOM 020 ENER 2011

Para la puerta de viruta aglutinada se obtienen los siguientes resultados.

Ilustración 18. Esquema de una puerta de viruta aglutinada





Fuente: elaboración propia con base en especificaciones de fabricantes

3. Cálculo del Coeficiente Global de Transferencia de Calor de las Porciones de la Envolvente (*)

(Háganse tantas hojas como porciones diferentes de la envolvente se tengan)

3.3 Aislamiento Térmico parcial (Mparcial) 0.253

Fracción (F)	Material (***)	Grueso (m) g (****)	Conductividad térmica (w/mK)	g/
F1 0.124	viruta aglutinada	0.034	0.1630	0.209

$$\sum \frac{F_1}{M_{parcial} + (g / \lambda_m)} = \text{0.209} \quad \text{0.268}$$

F2 0.876	aire	0.034	0.0260	1.308
--	------	---	--	---

$$\sum \frac{F_1}{M_{parcial} + (g / \lambda_m)} = \text{1.308} \quad \text{0.562}$$

$$\sum_{i=1, j=1}^{n, m} \frac{F_i}{M_{parcial} + (g / \lambda_m)} = \text{0.830}$$

$$M = \frac{1}{\frac{F_1}{M_{parcial} + (g / \lambda_1)} + \frac{F_2}{M_{parcial} + (g / \lambda_2)} + \dots + \frac{F_n}{M_{parcial} + (g / \lambda_m)}} \quad M = \text{1.2053}$$

Coeficiente global de transferencia de calor de la porción (k)

[Formula $K = 1/M$] 0.8297

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la Norma NOM 020 ENER 2011

Una vez que se obtienen los coeficientes globales de transferencia de calor de los materiales y sistemas constructivos de la vivienda convencional, se calcula la ganancia de calor por conducción y radiación. Se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 14. Ganancias de calor por conducción y radiación para condiciones mínimas de confort, Villahermosa

$$\phi_{rci} = \sum_{j=1}^n [K_j \times A_{ij} \times (te - t)]$$

4.1.1.- Ganancias por conducción (partes opacas y transparentes)

Tipo y orientación de la porción de la envolvente	Coefficiente Global de Transferencia de Calor (W/m ² K) [K]	Area del edificio proyectado (m ²) [A]	Fracción de la componente [F]	Temperatura equivalente (°c) (te)	Temperatura interior °c (t)	Ganancia por Conducción Φ_{rci} (*) [K*A*F*(te-t)]
Techo	0.7140	54.3	1.00	46	25	814.474
Tragaluz y domo	5.9520		0.00	27	25	-
Muro Norte	0.7140	14.0	0.90	32	25	62.885
Ventana Norte	5.3190		0.10	28	25	22.308
Muro este	0.7140	31.1	0.90	36	25	219.833
Ventana este	5.3190		0.10	29	25	66.168
Muro sur	0.7140	14.0	0.90	34	25	80.852
Ventana Sur	5.3190		0.10	30	25	37.180
Muro oeste	0.7140	31.1	0.90	34	25	179.864
Ventana oeste	5.3190		0.10	30	25	82.710
Superficie inferior	0.7140	0.00	1.00	32	25	-
SUBTOTAL						1566.275

* Nota: Si los valores son negativos significa una bonificación, por lo que deben sumarse algebraicamente

$$\phi_{rsi} = \sum_{j=1}^m [A_{ij} \times CS_j \times FG_j \times SE_{ij}]$$

4.1.2. Ganancias por radiación (partes transparentes)

Tipo y orientación de la porción de la envolvente	Coefficiente de Sombreado (CS)	Area del edificio proyectado (m ²) [A]	Fracción de la componente [F]	Ganancia de Calor (W/m ²) [FG]	Ganancia por Radiación ϕ_{rs} (*) [CS*A*F*FG]
Tragaluz y domo	1.0000	54.3	0	272	-
Ventana norte	1.0000	14.0	0.1	102	142.596
Ventana este	1.0000	31.1	0.1	140	435.400
Ventana sur	1.0000	14.0	0.1	114	159.372
Ventana oeste	1.0000	31.1	0.1	134	416.740
SUBTOTAL					1154.108

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la norma NOM 020 ENER 2011

Tabla 15. Ganancias de calor por conducción y radiación de una vivienda convencional, en Villahermosa

4.2.1. Ganancias por conducción (partes opacas y transparentes)

Tipo y orientación de la porción de la envolvente (*)	Coeficiente Global de Transferencia de Calor (k)		Area (m2) [A]	Temperatura equivalente (°C) [te]	Temperatura interior (°C) [t]	Ganancia por Conducción ϕ_{pc} (****) [k*A*(te-t)]	
	Número de la porción (**)	Valor calculado (W/m ² K) (***)					
						Subtotal 1	-
						Subtotal 2	-
							-
Techo	1	2.5088	54.32	46	25		2861.824
Muro principal S	2	0.8064	10.92	34	25		79.255
Muro posterior N	3	0.8064	10.38	32	25		58.595
Muro izquierdo O	4	0.8064	29.42	34	25		213.525
Muro derecho E	5	0.8064	29.30	36	25		259.911
Puerta principal O	6	0.8297	1.68	41	25		22.302
Puerta posterior N	7	0.8297	1.68	38	25		18.120
Ventana 1 y 2 S	8	4.9235	3.06	30	25		75.330
Ventana 3 y 4 N	9	4.9235	1.92	28	25		28.359
Ventana 5, 6 y 7 E	10	4.9235	1.80	29	25		35.449
							-
						Subtotal	3652.672
						Total (Sumar todas las ϕ_{pc})	3652.672

4.2.2 Ganancias por radiación (partes transparentes)

Tipo y orientación de la porción de la envolvente (*)	Material (**)	Coeficiente de Sombreado (CS) (***)	Area (m2) [A]	Ganancia de Calor (W/m2) [FG]	Factor de Sombreado ext. [SE] (****)		Ganancia por Radiación ϕ_{pr} [CS*A*FG*SE]
					Numero	Valor	
Ventana 1 y 2 S	Vidrio 3mm	1	3.06	114	0	1	348.840
Ventana 3 y 4 N	Vidrio 3mm	1	1.92	102	0	1	195.840
Ventana 5, 6 y 7 E	Vidrio 3mm	1	1.8	140	0	1	252.000
							Total (Sumar todas las ϕ_{pr})
							796.680

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la norma NOM 020 ENER 2011

Se observa que la mayor ganancia de calor por conducción la vivienda convencional es en el techo. Por otro lado, la ganancia de calor por radiación es menor que lo requerido en las condiciones mínimas confortables.

Por último, se hace una comparación de la ganancia de calor entre la vivienda convencional y las condiciones mínimas confortables.

Tabla 16. Resumen de la simulación del comportamiento térmico de la vivienda convencional, para Villahermosa

	Ganancia por Conducción (W)	Ganancia por Radiación (W)	Ganancia Total (W)
			$\phi r = \phi rc + \phi rs$ $\phi p = \phi pc + \phi ps$
Condiciones mínimas confort	(ϕrc) 1566.27	(ϕrs) 1154.11	(ϕr) 2720.38
Vivienda convencional	(ϕpc) 3652.67	(ϕps) 796.68	(ϕp) 4449.35
Cumplimiento			
Si ($\phi r > \phi p$)	<input type="checkbox"/>		No ($\phi r < \phi p$) <input checked="" type="checkbox"/>
			Ahorro de Energía -64%

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la norma NOM 020 ENER 2011

Como se indica en el resultado, la ganancia total de calor es la suma de la ganancia de calor por radiación y por conducción. Si esta cifra es mayor en la vivienda convencional que las condiciones mínimas para confort, se tiene una vivienda “caliente”. Una vez realizado el cálculo se observa que la vivienda convencional gana más calor que el necesario para condiciones de confort, excediendo estas condiciones en 64%.

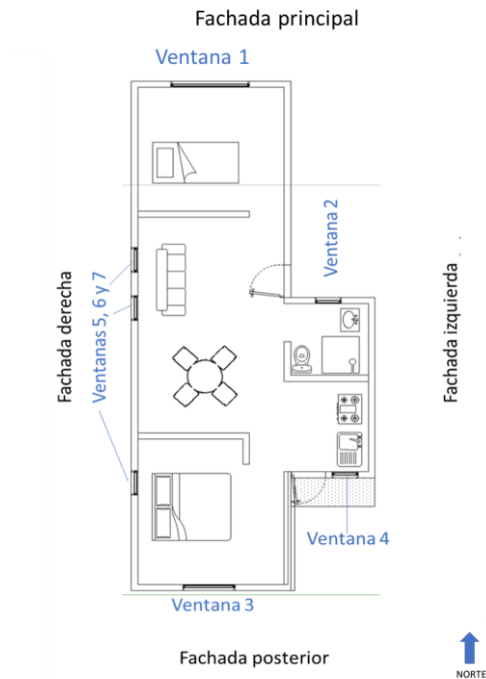
Vivienda bioclimática

Para el caso de Villahermosa la vivienda bioclimática debe tener las siguientes características.

Orientación

La fachada principal con orientación al norte, de esta manera se presentará menos ganancia de calor.

Ilustración 19. Orientación para vivienda bioclimática en Villahermosa

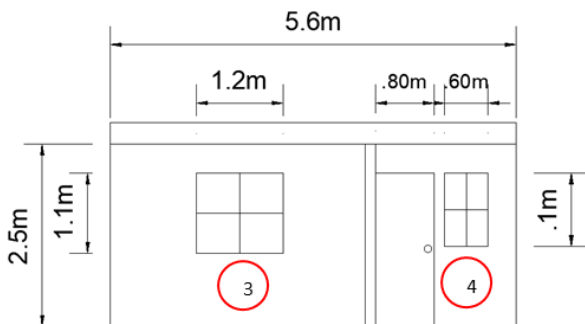


Fuente: elaboración propia

Control solar

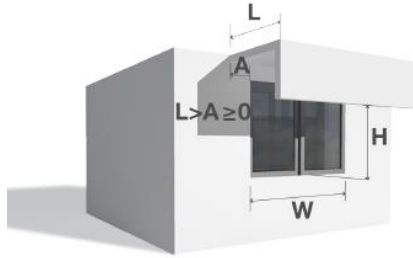
Como se observó en el estudio del bioclima, que en el clima cálido húmedo es necesario proteger del sol durante ciertas horas del día. Para lo anterior debe tener el diseño de aleros en las ventanas del sur (ventanas 3 y 4).

Ilustración 20. Esquema de la fachada sur de la vivienda bioclimática



Fuente: esquema de elaboración propia

Para la ventana 3 el alero debe de ser de 50 cm de proyección y 30 cm en sentido vertical. Para la ventana 4 un alero de 30cm de longitud y 30cm en sentido vertical, por lo que los datos quedan como sigue:



L= Distancia de proyección del volado
 A= Distancia de la extensión del volado
 H= Distancia del borde inferior del volado al borde inferior de la ventana

	ventana 3	ventana 4
W	1.2	0.6
H	0.8	0.7
L	0.5	0.3

Fuente: Guía Rápida de Cálculo de la NOM-020-ENER-2011

Con la Tabla 3 de la NOM 020 ENER 20211, se obtiene un factor de corrección de sombreado exterior (SE) para la ventana 3 de 0.63 y para la ventana 4 de 0.76. Estos valores se aplican en la ganancia de calor por radiación del edificio proyectado.

Sistema constructivo en el techo de la vivienda bioclimática

Se propone utilizará un sistema de vigueta y bovedilla, para el cual se hace el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor (K).

Ilustración 21. Esquema de vigueta y bovedilla de concreto

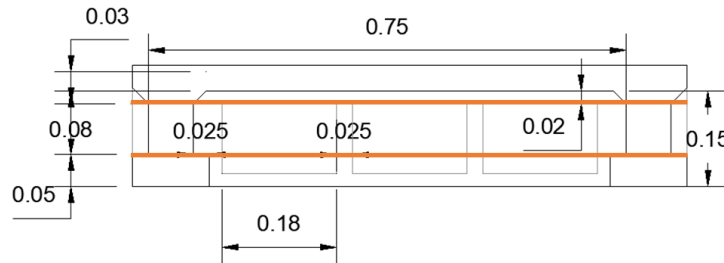
no homogéneo 1 (esp. 0.08)

fracción vigueta:
 $0.07 \times 0.25 = 0.0175 \text{ m}^2$

fracción bovedilla:
 $0.14 \times 0.25 = 0.035 \text{ m}^2$

fracción aire:
 $0.18 \times 0.25 = 0.045$
 $\times 3 = 0.135 \text{ m}^2$

área superficie:
 $0.75 \times 0.25 = 0.1875 \text{ m}^2$



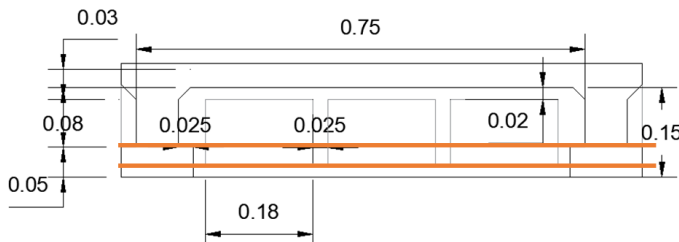
no homogéneo 2 (esp. 0.03)

fracción vigueta:
 $0.12 \times 0.25 = 0.03 \text{ m}^2$

fracción bovedilla:
 $0.09 \times 0.25 = 0.0225 \text{ m}^2$

fracción aire:
 $0.18 \times 0.25 = 0.045$
 $\times 3 = 0.135 \text{ m}^2$

área superficie:
 $0.75 \times 0.25 = 0.1875 \text{ m}^2$



Fuente: elaboración propia con base en especificaciones de fabricantes

Tabla 17. Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor de vigueta y bovedilla

3. Cálculo del Coeficiente Global de Transferencia de Calor de las Porciones de la Envolvente (*)

(Háganse tantas hojas como porciones diferentes de la envolvente se tengan)

3.1. Descripción de la Porción No Homogénea ^(a) Vigueta y bovedilla de concreto Número (**)

Componente de la envolvente Techo Pared

Área de la componente en m² (A) = x

Área que ocupa la componente no homogénea 1

Fración de la combinación (F1) ^(b)

Área que ocupa la componente no homogénea 2

Fración de la combinación (F2)

Área que ocupa la componente no homogénea 3

Fración de la combinación (F3)

3.2. Aislamiento térmico parcial

Material (***)	Espesor (m)	Conductividad térmica (w/mK)	M Aislamiento térmico (m2K/W)
Convección exterior (****)	1.000	<input type="text" value="13.000"/>	<input type="text" value="0.077"/>
<input type="text" value="impermeabilizante"/>	<input type="text" value="0.010"/>	<input type="text" value="0.17000"/>	<input type="text" value="0.059"/>
<input type="text" value="mortero cemento arena"/>	<input type="text" value="0.010"/>	<input type="text" value="0.630"/>	<input type="text" value="0.016"/>
<input type="text" value="concreto armado"/>	<input type="text" value="0.040"/>	<input type="text" value="1.740"/>	<input type="text" value="0.023"/>
<input type="text" value="bovedilla de concreto"/>	<input type="text" value="0.040"/>	<input type="text" value="1.110"/>	<input type="text" value="0.036"/>
<input type="text" value="aplanado de yeso"/>	<input type="text" value="0.010"/>	<input type="text" value="0.372"/>	<input type="text" value="0.027"/>
Convección interior	1.000	<input type="text" value="6.600"/>	<input type="text" value="0.152"/>

Para obtener el aislamiento térmico total, sumar la M de todos los materiales más la convección exterior e interior

M parcial m2K/W

[**Formula** $M_{\text{parcial}} = \sum M$]

3. Cálculo del Coeficiente Global de Transferencia de Calor de las Porciones de la Envolvente (*)

(Háganse tantas hojas como porciones diferentes de la envolvente se tengan)

3.3 Aislamiento Térmico parcial (Mparcial)

0.389

Fracción (F)	Material (***)	Grueso (m) g (****)	Conductividad térmica (w/mK)	g/	
F1	vigüeta concreto	0.030	1.7400	0.017	$\sum \frac{F_i}{M_{parcial} + (g / \lambda_m)} =$
		0.080	1.7400	0.046	
				0.063	
					0.2064
F2	bovedilla concreto	0.030	1.1100	0.027	$\sum \frac{F_i}{M_{parcial} + (g / \lambda_m)} =$
		0.080	1.1100	0.072	
				0.099	
					0.382
F3	aire	0.030	0.0260	1.154	$\sum \frac{F_i}{M_{parcial} + (g / \lambda_m)} =$
		0.080	0.0260	3.077	
				4.231	
					0.156
$\sum_{i=1, j=1}^{n, m} \frac{F_i}{M_{parcial} + (g / \lambda_m)} =$					0.745
$M = \frac{1}{\frac{F_1}{M_{parcial} + (g / \lambda_1)} + \frac{F_2}{M_{parcial} + (g / \lambda_2)} + \dots + \frac{F_n}{M_{parcial} + (g / \lambda_m)}}$					M= 1.3430

Coefficiente global de transferencia de calor de la porción (k)

[Formula K = 1/M]

0.7446

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la norma NOM 020 ENER 2011

Se obtiene el valor de 0.74w/mK para el sistema constructivo de vigüeta y bovedilla de concreto.

Ventilación natural

Como se observó en el apartado 4.4.1 Análisis del bioclima cálido húmedo, en esta localidad se tienen 3,115 horas con confort, que equivalen al 36% del total anual. En estas horas, es suficiente con mantener el confort mediante la ventilación cruzada, el diseño de la vivienda bioclimática lo permite, el costo esta estrategia es cero pesos.

Con las estrategias descritas, se procede a calcular la ganancia de calor de la vivienda bioclimática.

Tabla 18. Ganancias de calor por conducción y radiación de una vivienda bioclimática, en Villahermosa

4.2.1. Ganancias por conducción (partes opacas y transparentes)

Tipo y orientación de la porción de la envolvente (*)	Coeficiente Global de Transferencia de Calor (k)		Area (m2) [A]	Temperatura equivalente (°C) [te]	Temperatura interior (°C) [t]	Ganancia por Conducción ϕ_{pc} (****) [K*A*(te-t)]	
	Número de la porción (**)	Valor calculado (W/m ² K) (***)					
						Subtotal 1	-
						Subtotal 2	-
							-
Techo vigueta y bovedilla de cd	1	0.7446	54.32	46	25		849.409
Muro principal N	2	0.8064	10.92	32	25		61.643
Muro posterior S	3	0.8064	10.38	34	25		75.336
Muro izquierdo E	4	0.8064	29.42	36	25		260.975
Muro derecho O	5	0.8064	29.30	34	25		212.654
Puerta principal E	6	0.8297	1.68	42	25		23.696
Puerta posterior S	7	0.8297	1.68	40	25		20.908
Ventana 1 y 2 N	8	4.9235	3.06	28	25		45.198
Ventana 3 y 4 S	9	4.9235	1.92	30	25		47.266
Ventana 5, 6 y 7 O	10	4.9235	1.80	30	25		44.312
							-
						Subtotal	1641.398
						Total (Sumar todas las ϕ_{pc})	1641.398

4.2.2 Ganancias por radiación (partes transparentes)

Tipo y orientación de la porción de la envolvente (*)	Material (**)	Coeficiente de Sombreado (CS) (***)	Area (m2) [A]	Ganancia de Calor (W/m2) [FG]	Factor de Sombreado ext. [SE] (****)		Ganancia por Radiación ϕ_{pr} [CS*A*FG*SE]	
					Numero	Valor		
Ventana 1 y 2 N	Vidrio 3mm	1	3.06	102	0	1	312.120	
Ventana 3 S	Vidrio 3mm	1	1.32	114	0	0.638	95.931	
Ventana 4 S	Vidrio 3mm	1	0.6	114	0	0.76	51.984	
Ventana 5, 6 y 7 O	Vidrio 3mm	1	1.8	134	0	1	241.200	
							-	
							Total (Sumar todas las ϕ_{pr})	701.235

Fuente: elaboración propia con base en herramienta de la norma NOM 020 ENER 2011

Se observa que la mayor ganancia de calor por conducción de la vivienda bioclimática es en el techo. Por otro lado, aplicando el factor de sombreado exterior, la ganancia de calor por radiación es menor que las condiciones de confort mínimas requeridas.

Por último, se compara la ganancia de calor total entre la vivienda bioclimática y las condiciones mínimas de confort requeridas.

Tabla 19. Resumen de la simulación del comportamiento térmico de la vivienda bioclimática, para Villahermosa

	Ganancia por Conducción (W)	Ganancia por Radiación (W)	Ganancia Total (W)
			$\phi r = \phi rc + \phi rs$ $\phi p = \phi pc + \phi ps$ (W)
Condiciones mínimas confort	(ϕrc) 1566.27	(ϕrs) 1154.11	(ϕr) 2720.38
Vivienda bioclimática	(ϕpc) 1641.40	(ϕps) 701.24	(ϕp) 2342.63
Cumplimiento			
Si ($\phi r > \phi p$)	X		No ($\phi r < \phi p$)
			Ahorro de Energía
			13.89%

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la norma NOM 020 ENER 2011

Una vez realizado el cálculo se observa que la vivienda bioclimática cumple con las condiciones mínimas de confort, superándolas en más del 13%.

4.4.3. Consumo energético de equipos de climatización artificial

En este apartado se calculan la energía utilizada para la climatización, utilizando el método de grados-día.

Como no existe una ecuación que relacione los Watts térmicos con el consumo en Watts eléctricos, se recurre a las especificaciones de los sistemas de climatización mecánica. Para el presente ejercicio se considera el siguiente equipo:

Tabla 20. Especificaciones de un equipo de climatización

Equipo	Mirage Magnum Inverter 17
SEER	17
Enfriamiento	
Capacidad (max) Btu/h	13,000 Btu/h
Consumo W (max)	1,200 W
EER	3.17
Calentamiento	
Capacidad (max) Btu/h	13,800 Btu/h
Consumo (max) W	1,200 W
COP	3.37

Fuente: https://mirage.egnyte.com/dl/SLrfVhySPH/Mirage_Magnum_17_Inverter.pdf, consultado en abril de 2021

La Relación de Eficiencia Energética Estacional (o SEER por sus siglas en inglés: Seasonal Energy Efficiency Ratio) se refiere a la relación del enfriamiento total de un equipo de aire acondicionado tipo dividido en watts térmicos (Wt), transferidos del interior al exterior, durante un año de uso, dividido entre la potencia eléctrica total suministrada al equipo en watts eléctricos (We) durante el mismo lapso³. La EER (Energy Efficiency Ratio) es el rendimiento o eficiencia que tiene el aire acondicionado en modo frío, y el COP (Coefficient of Performance) es la eficiencia que tiene la calefacción.

Con estos factores, se calcula el consumo de energía en una hora, con una relación de la potencia entre el coeficiente de eficiencia (SEER), considerando que $1\text{Btu/h} = 0.293071\text{ W}^4$:

Tabla 21. Relación de potencia y consumo de energía de un equipo de climatización

	Potencia Btu/h	Potencia kW	SEER	Consumo equipo kWh
Enfriamiento	13,000.00	3.81	17	0.22
Calefacción	13,800.00	4.04	17	0.24

Fuente: Elaboración propia con base en especificaciones técnicas del equipo

Una vez conocido el consumo energético de un equipo de climatización, se procede a hacer el cálculo de grados-día para determinar las necesidades de climatización.

Con las fórmulas descritas en el apartado 4.4 correspondientes al cálculo de grados-día, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 22. Grados-día de enfriamiento y de calentamiento anual

Bioclima	Ciudad	Grados día de enfriamiento anual (°C)	Grados día de calentamiento anual (°C)
Cálido húmedo	Villahermosa, Tabasco	879.60	0.00

Fuente: Elaboración propia con base en metodología de Fuentes, 2009

³ Norma Oficial Mexicana NOM-023-ENER-2018, Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo dividido, descarga libre y sin conductos de aire. Límites, métodos de prueba y etiquetado.

⁴ Idem

En cuanto al consumo energético, se utilizan las fórmulas descritas en el apartado 4.5 Consumo energético, y se obtienen los siguientes resultados:

Para el caso de enfriamiento, se considera la siguiente fórmula:

$$E = 0.024 K * CDD / COP$$

Para calcular la energía para enfriamiento por unidad de superficie, se considera el coeficiente K de 2.25 para la vivienda convencional (resulta del promedio de la K del techo y muros: techo 2.50, muro principal 2.86, muro posterior 2.18, muro izquierdo 0.81 y muro derecho 2.86⁵). El valor CDD corresponde a los grados día de enfriamiento; el COP es el coeficiente de rendimiento, resultante de dividir el valor EER del equipo de climatización (este caso de 3.17) entre 3.412.

K= 2.25

CDD= 879.60

COP= 0.929

Aplicando la fórmula se tiene lo siguiente:

$$E = (0.024) * (2.25) * (879.6 / 0.929)$$

$$E = 51.12 \text{ kWh/m}^2$$

Es decir que se requieren 51.12 Kilowatts/hora para enfriar un metro cuadrado de superficie.

Tabla 23. Energía consumida para enfriamiento artificial, por unidad de superficie

Bioclima	Ciudad	Grados-día enfriamiento anual	Energía para enfriamiento kWh/m2
Cálido húmedo	Villahermosa, Tabasco	879.60	51.12

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de la energía para el calentamiento se utiliza la siguiente fórmula:

$$E = 0.024 K * HDD / \eta$$

Donde el coeficiente K es igual a 2.25 para la vivienda convencional, el valor de HDD son los grados-día de enfriamiento y η es la eficiencia del calentador (considerada de 80%). En este caso no hay grados día para calentamiento, por lo que el resultado es 0.

⁵ Estos valores se pueden consultar en las tablas correspondientes a la ganancia de calor por conducción de la vivienda convencional de Villahermosa

Tabla 24. Energía consumida para calentamiento artificial.

Bioclima	Ciudad	Grados-día calentamiento anual	Energía para calentamiento kWh/m2
Cálido húmedo	Villahermosa, Tabasco	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Considerando la superficie total de la vivienda se calcula el consumo de energía eléctrica de los equipos de climatización artificial en el periodo de un año.

Tabla 25. Energía eléctrica consumida anualmente para enfriamiento y calentamiento artificial (vivienda convencional)

Bioclima	Ciudad	Energía para enfriamiento kWh/m2	Superficie a climatizar (m2)	Energía eléctrica consumida al año (kWh)
Cálido húmedo	Villahermosa, Tabasco	51.12	49	2,505

Bioclima	Ciudad	Energía para calentamiento kWh/m2	Superficie a climatizar (m2)	Energía eléctrica consumida al año (kWh)
Cálido húmedo	Villahermosa, Tabasco	0	49	0

Fuente: elaboración propia

Después se replica el ejercicio para calcular la energía consumida con la vivienda bioclimática, cuyo coeficiente K se calcula de 1.84 (resulta del promedio de la K del techo y muros: techo 0.745, muro principal 2.86, muro posterior 2.18, muro izquierdo 0.81 y muro derecho 2.86⁶). El valor CDD corresponde a los grados día de enfriamiento; el COP es el coeficiente de rendimiento, resultante de dividir el valor EER del equipo de climatización (este caso de 3.17) entre 3.412.

$$K= 1.84$$

$$CDD= 879.60$$

$$COP= 0.929$$

Aplicando la fórmula se tiene lo siguiente:

$$E= (0.024) * (1.84) * (879.6/0.929)$$

$$E= 41.81 \text{ kWh/m}^2$$

Es decir que se requieren 41.81 Kilowatts/hora para enfriar un metro cuadrado de superficie.

⁶ Estos valores se pueden consultar en las tablas correspondientes a la ganancia de calor por conducción de la vivienda bioclimática de Villahermosa

Para el cálculo de la energía para el calentamiento se utiliza la siguiente fórmula:

$$E = 0.024 K * HDD/\eta$$

Donde el coeficiente K es igual a 1.84 para la vivienda convencional, el valor de HDD son los grados-día de enfriamiento y n es la eficiencia del calentador (considerada de 80%). En este caso no hay grados día para calentamiento, por lo que el resultado es 0.

Tabla 26. Energía consumida para calentamiento artificial (vivienda bioclimática)

Bioclima	Ciudad	Grados-día calentamiento anual	Energía para calentamiento kWh/m2
Cálido húmedo	Villahermosa, Tabasco	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se calcula el gasto de la energía eléctrica en el periodo de un año.

Tabla 27. Energía eléctrica consumida anualmente para enfriamiento y calentamiento artificial (vivienda bioclimática)

Bioclima	Ciudad	Energía para enfriamiento kWh/m2	Superficie a climatizar (m2)	Energía eléctrica consumida al año (kWh)
Cálido húmedo	Villahermosa, Tabasco	41.81	49	2,049

Bioclima	Ciudad	Energía para calentamiento kWh/m2	Superficie a climatizar (m2)	Energía eléctrica consumida al año (kWh)
Cálido húmedo	Villahermosa, Tabasco	0.00	49	0

Fuente: elaboración propia

Como se observa, con la vivienda bioclimática, se logra reducir la cantidad de energía eléctrica para equipos de climatización artificial (2,505 se reduce a 2,049) únicamente con sistemas pasivos de diseño bioclimático.

Costo energía eléctrica

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) es la entidad de gobierno encargada de controlar, generar, transmitir y comercializar energía eléctrica en México. La energía eléctrica tiene un costo clasificado por tipos de tarifas. Para hogares, se divide en doméstica y doméstica de alto consumo (DAC). Se considera que un servicio es de alto consumo cuando registra un consumo mensual promedio superior al límite de alto consumo definido para su localidad.

Las tarifas domésticas se dividen como sigue:

Tarifa 1. Se aplica a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo conectadas individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda.

Tarifa 1A. Se aplica en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 25°C como mínimo.

Tarifa 1B. Se aplica en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 28°C como mínimo.

Tarifa 1C. Se aplica en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 30°C como mínimo.

Tarifa 1D. Se aplica en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 31°C como mínimo.

Tarifa 1F. Se aplica en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 33°C como mínimo⁷.

De acuerdo con lo anterior, a las ciudades analizadas les corresponden las siguientes tarifas.

Tabla 28. Tarifas CFE para cada localidad

Bioclima	Ciudad	Temperatura media mensual verano	Tipo Tarifa CFE
Cálido húmedo	Villahermosa, Tabasco	30°C	1C
Cálido seco	Mexicali, Baja California	33°C	1F
Templado	CDMX	20°C	1
Semifrío	Tulancingo, Hidalgo	17°C	1

Fuente: elaboración propia

A Villahermosa le corresponde la tarifa 1F. Asimismo, los tipos de consumo se dividen en básico (hasta 300kWh), intermedio (300-900kWh) y excedente (más de 900kWh) y también por época del año (verano y no verano).

Con base en lo anterior se toman los precios de la tarifa de verano, por ser la época que presenta mayor sensación de calor.

Tabla 29. Tarifa de verano 2021 CFE, por localidad

Ciudad	Tipo Tarifa CFE	Tarifa verano (\$/kWh)
Villahermosa, Tabasco	1C	0.78
Mexicali, Baja California	1F	0.88
CDMX	1	0.65
Tulancingo, Hidalgo	1	0.88

Fuente: elaboración propia con base en tarifas CFE (costo por temporada y por tipo de tarifa)

⁷ Información recuperada de <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRECasa/Tarifas/Tarifa1F.aspx>

Como se puede observar en las tablas anteriores, entre más caluroso sea en verano el clima, tiene un subsidio mayor; en este caso Villahermosa paga 0.78 pesos por kilowatt/hora consumido.

Posteriormente se calcula el gasto en sistemas de climatización, considerando la energía requerida por unidad de superficie (tomadas de las tablas 25 y 27 respectivamente) tanto para enfriamiento como para calentamiento.

Tabla 30. Cálculo del gasto anual para sistemas de climatización artificial en la vivienda

Convencional

Ciudad	Promedio tarifa \$/kWh	Total kWh consumidos por año (enfriamiento y calentamiento)			Gasto anual climatización
		enf	cal	Total	
Villahermosa, Tabasco	0.78	2,505	0	2,505	\$1,956.31

Bioclimática

Ciudad	Promedio tarifa \$/kWh	Total kWh consumidos por año (enfriamiento y calentamiento)			Gasto anual climatización
		enf	cal	Total	
Villahermosa, Tabasco	0.78	2,049	0	2,049	\$1,600.03

Fuente: elaboración propia

El ahorro con la vivienda bioclimática es de \$356.28 pesos anuales, sin embargo, estos son 100% para enfriamiento, ya que no se requiere calentar la vivienda. Considerando el coeficiente de transferencia de calor (K) de la vivienda bioclimática, se observa que se necesita menos energía por unidad de superficie para calentar o enfriar, por lo que los gastos en energía eléctrica disminuyen. El gasto anual en energía eléctrica de la vivienda bioclimática disminuye en un 20% aproximadamente, en comparación con el gasto anual de la vivienda convencional.

4.4.4. Costos paramétricos y de materiales en la vivienda convencional y en la vivienda bioclimática

Con información del Instituto Mexicano de Ingeniería de Costos (Costos paramétricos 2020), se consideró como base una vivienda unifamiliar de 49m² construidos en un nivel, con un baño. Se consideran las siguientes características para la vivienda convencional:

- Cimentación de losa de concreto armado de 10 cm de espesor
- Estructura de muro de bloque hueco de 12cm de espesor.
- Losa plana de concreto armado, horizontal, con altura libre de piso a techo de hasta 3 m, peralte 24 cm, realizada con concreto $f_c=20$ MPa (200 kg/cm²)
- Cancelería de fierro tubular con vidrio claro de 3mm
- Pisos de mosaico y aplanados interiores de yeso con pintura vinílica
- Acabados de baja calidad

Tabla 31. Precio por metro cuadrado y por partida

Partida	Importe a costo directo	% del C. D.	Costo directo/m2	P.U. por m2 (incluye 28% indirectos y utilidad)	\$/m2 del VRN
1 Cimentación	\$32,717	12.05%	\$668	\$855	\$983
2 Estructura	\$59,968	22.09%	\$1,224	\$1,567	\$1,801
3 Fachadas y techados	\$28,530	10.51%	\$582	\$745	\$857
4 Albañilería y acabados	\$107,099	39.45%	\$2,186	\$2,798	\$3,217
5 Inst. hidráulicas y sanitarias	\$20,471	7.54%	\$418	\$535	\$615
6 Instalaciones eléctricas	\$22,680	8.35%	\$463	\$592	\$681
TOTAL	\$271,464	100%	\$5,540	\$7,091	\$8,155

Fuente: elaboración propia con base en costos paramétricos IMIC 2020

El precio por metro cuadrado de la vivienda convencional es de \$8,155 pesos (incluyendo el Valor de Reposición Nuevo, costos directos e indirectos, de proyecto, así como permisos y licencias).

A continuación, se observan los costos de los materiales que conforman la estructura de una vivienda. Se toman como base ventanas de vidrio claro de 3 milímetros, losa de concreto armada para el techo, y muros de bloque de concreto hueco o lisos. También se incluyen los costos de los sistemas constructivos en el techo (vigüeta y bovedilla). Estos costos incluyen la mano de obra y se toman del catálogo de tecnologías de la Comisión Nacional del Uso Eficiente de la Energía con precios actualizados al 2021.

Tabla 32. Costos de materiales

Techo	\$/m2
Losa de vigüeta y bovedilla EPS 10cm	\$683.00
Losa de vigüeta y bovedilla concreto	\$665.15
Línea base	\$/m2
Ventanas (vidrio claro 3mm)	\$0.00
Techo (losa concreto armada)	\$777.43
Muros (bloque de concreto hueco 12cm)	\$196.63
Elemento sombreador de concreto (60cm)	\$406.00

Fuente: Catálogo CONUEE y generador de precios

Como se observa los paneles de material aislante para muros tienen distinto tipo de grosor y el sistema constructivo de vigüeta y bovedilla de concreto es más económico que la losa de concreto armada.

Costos de estrategias

Tomando en cuenta las estrategias de la vivienda bioclimática que se detallaron en el apartado 5.2 Evaluación del comportamiento térmico de la vivienda en cada bioclima, se calculan los costos de éstas en el precio final de la vivienda bioclimática.

Tabla 33. Costos por sistema constructivo en techo y muros para una vivienda bioclimática en bioclima cálido húmedo

Sistema constructivo	\$/m2	área a intervenir (m2)	Total
Muros			
Block de concreto hueco 12cm	\$197.00	90.16	\$17,761.52
Techo			
Losa de vigueta y bovedilla	\$665.00	54.32	\$36,122.80
Control solar			
Elemento sombreador de concreto	\$676.00	1.4	\$946.40
TOTAL			\$54,830.72
\$/m2			\$1,118.99

Fuente: elaboración propia

Se sustituye ese valor en la partida de estructura y se obtiene un precio por metro cuadrado de \$8,001 pesos, \$154 pesos más barato por metro cuadrado, que la vivienda convencional.

Tabla 34. Costo paramétrico de la vivienda bioclimática, bioclima cálido húmedo

Partida	Importe a costo directo	% del C. D.	Costo directo/m2	P.U. por m2 (incluye 28% indirectos y utilidad)	\$/m2 del VRN
Cimentación	\$32,717	12%	\$668	\$855	\$983
Estructura	\$54,831	21%	\$1,119	\$1,432	\$1,647
Fachadas y techados	\$28,530	11%	\$582	\$745	\$857
Albañilería y acabados	\$107,099	40%	\$2,186	\$2,798	\$3,217
Inst. hidráulicas y sanitarias	\$20,471	8%	\$418	\$535	\$615
Instalaciones eléctricas	\$22,680	9%	\$463	\$592	\$681
TOTAL	\$266,327	100%	\$5,435	\$6,957	\$8,001

Fuente: elaboración propia

Considerando la Tabla 30 “Cálculo del gasto anual para sistemas de climatización artificial en la vivienda”, y considerando las tarifas mencionadas, se calcula el gasto energía eléctrica para climatización en un periodo de 20 años, que es el periodo máximo de un financiamiento hipotecario que otorga el INFONAVIT. Para este cálculo simple no se considera la inflación anual.

Tabla 35. Comparación entre gasto anual en climatización artificial en un periodo de 20 años

Ciudad	Gasto anual climatización artificial		Gasto climatización artificial de 20 años		Diferencia (ahorro)
	convencional	bioclimática	convencional	bioclimática	
Villahermosa, Tabasco	\$1,956	\$1,600	\$39,126	\$32,001	\$7,126

Fuente: elaboración propia

Como se observa, el gasto en energía para climatización artificial es mayor para la vivienda convencional que para la bioclimática, teniendo un ahorro en el largo plazo de más de siete mil pesos.

4.4.5. Resultados del modelo financiero

En este apartado se muestran los resultados de correr un modelo financiero de vivienda convencional y uno de vivienda bioclimática. Se basa en las características descritas anteriormente, y considerando los terrenos y particularidades de cada lugar.

Este modelo financiero se basa en el propuesto por el CEPEP (2017) y se hacen las siguientes adecuaciones, basadas en un levantamiento de campo hecho en 2020.

Los costos se calculan como sigue: legales y de gestión 0.20% sobre las ventas; fiscales, 0.05% sobre las ventas y técnicos 0.04% sobre el costo de obra. El terreno considera un costo de mercado por metro cuadrado (basado en los terrenos elegidos), un 6% sobre el valor de la escritura y \$10,000 pesos de prediales por bimestre. Las licencias consideran un costo de \$10,000 pesos por estudios preliminares, manifestación de construcción \$674.5 por metro cuadrado de construcción, Director Responsable de Obra y corresponsables \$75 por metro cuadrado de construcción y otros \$15,000 pesos por vivienda (algunos de estos precios se basan en el código financiero, pero pueden variar). Para concepto de estudios y diseños se considera el 3% sobre el costo de construcción para el proyecto arquitectónico, el 2% para ingenierías y 1.5% para otros. En la construcción se considera un precio por metro cuadrado de \$8,650 pesos por metro cuadrado de vivienda, \$3,000 pesos por metro cuadrado de estacionamiento y \$1,500 pesos por metro cuadrado para áreas comunes (lo anterior basado en costos paramétricos del IMIC, 2020). Los imprevistos se consideran como el 5% sobre el costo de la obra.

En cuando a gastos se considera un costo de gerencia de 2.5% sobre el costo de la construcción, para la dirección el 1.5% sobre las ventas totales, la prima del promotor es el 1% sobre las ventas totales; la publicidad y las comisiones son el 2.7% sobre las ventas totales, los costos financieros son aproximadamente el 7% sobre las ventas totales y otros gastos \$7,000 pesos por vivienda.

Para la tasa de descuento bancaria se considera la Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio (TIIE) a 28 días (5% aproximadamente hasta marzo de 2021) más un margen de intermediación de 4% y un seguro de 0.5%, que da como resultado una tasa fija de 9.5% anual.

Por otra parte, la tasa de descuento para calcular el Valor Presente Neto se calculó con un WACC (Weighted Average Cost of Capital) o Costo Promedio Ponderado del Capital, por lo que varía entre cada proyecto, encontrándose entre el 10.5 y el 12% anual.

Asimismo, el perfil de deuda para el crédito puente se considera en diferentes plazos para cada ciudad, por el tamaño del proyecto. El monto requerido es igual al costo de la obra, con una amortización mensual y con una gracia hasta el pago de la amortización, es decir, en los últimos periodos del proyecto.

Villahermosa

En un terreno de 800m² de superficie, y considerando que se puede construir una vivienda cada 100m² de terreno, con espacio para un estacionamiento, se contempla un proyecto de ocho viviendas unifamiliares en un nivel.

El horizonte del proyecto es de 12 meses, con un periodo de obra de seis meses y ventas en ocho meses. El precio de venta por vivienda es de \$1,150,000 pesos. Lo anterior resulta en una Tasa Interna de Retorno (TIR) anual de 26.43%. La TREMA (Tasa de Rendimiento Mínima Aceptable) para proyectos inmobiliarios se considera del 20% por lo que entre más alta sea la TIR mayor será el beneficio del proyecto. Asimismo, el Valor Presente Neto es de \$3,402,976 por lo que el proyecto es rentable. El mes de recuperación de la inversión es el mes 11 (Consultar el Anexo 8 para más detalle del flujo de efectivo).

Tabla 36. Indicadores de rentabilidad para proyecto de vivienda convencional en Villahermosa

Indicadores de rentabilidad	
TIR	
Capital inicial	-\$3,050,278
TIR mensual	2.20%
TIR anual	26.43%
Valor Presente Neto	
Capital de riesgo total	\$3,050,278
Tasa mensual para descontar	0.95%
Valor presente neto	\$3,402,976
Costo-beneficio descontado	\$352,698
% utilidad descontado	11.56%
PRI	
Capital de riesgo total	\$3,050,278
Flujo acumulado mes 11	\$1,823,611
Flujo acumulado mes 12	\$2,961,921
Periodo de recuperación de la inversión	Mes 11

Fuente: elaboración propia

Si se sustituye el precio de construcción con precio de construcción de la vivienda bioclimática para esta localidad (\$8,001 en lugar de \$8,155 por metro cuadrado), los indicadores aumentan: la TIR anual es de 27.86%, el VPN \$3,441,582 pesos y el mes de recuperación de la inversión es el mes 12.

Tabla 37. Indicadores de un proyecto de vivienda bioclimática en Villahermosa, Tabasco

Indicadores de rentabilidad	
-----------------------------	--

TIR	
Capital inicial	-\$3,050,278
TIR mensual	2.32%
TIR anual	27.86%

Valor Presente Neto	
Capital de riesgo total	\$3,050,278
Tasa mensual para descontar	0.95%
Valor presente neto	\$3,441,582
Costo-beneficio descontado	\$391,304
% utilidad descontado	12.83%

PRI	
Capital de riesgo total	\$3,050,278
Flujo acumulado mes 11	\$3,000,752
Flujo acumulado mes 12	\$3,807,486
Periodo de recuperación de la inversión	Mes 12

Fuente: elaboración propia

Se observa que el proyecto de vivienda bioclimática es más rentable en este caso que el de vivienda convencional, aunque el Periodo de Recuperación de la Inversión aumenta en un mes. Por otra parte, el valor final de la vivienda convencional es mayor que lo considerado por el Infonavit como vivienda popular (hasta \$749,200), pero esto se debe al valor del suelo principalmente.

Conclusión

En este capítulo se establecen los cuatro bioclimas de estudio: cálido húmedo, cálido seco, templado y semifrío. Asimismo, se describió la clasificación de la vivienda que hace el Infonavit, en términos de su costo, la vivienda social se considera desde el mínimo hasta \$749,000 pesos aproximadamente, correspondiendo a la vivienda que se elige como convencional.

Por otra parte, se describe cómo se elige la vivienda convencional, con base en los créditos otorgados en el último año (2020). Estos fueron más de 900,000, y el Infonavit fue la institución que otorgó más (casi la mitad), seguido de la Sociedad Hipotecaria Federal, la Conavi y el Instituto de Vivienda. Por otra parte, las viviendas ofrecidas tienen un costo de hasta \$1,311,000 pesos aproximadamente. Lo anterior indica una correspondencia proporcional entre la oferta y la demanda de vivienda. Sin embargo, los créditos otorgados y el número de viviendas construidas es desigual.

Asimismo, se define el terreno elegido para el bioclima cálido húmedo (Villahermosa) para correr el modelo financiero de la vivienda convencional y bioclimática. Dicho terreno se encuentran dentro de la zona urbana y el precio corresponde al precio actual del mercado (hasta marzo de 2021).

Por otra parte, se aplica la metodología propuesta en el caso de estudio del bioclima cálido húmedo. Del estudio del diagrama del bioclima se observa que la sensación de calor predomina, por lo que el requerimiento es de enfriamiento.

Para la vivienda convencional se calcula el coeficiente global de transferencia de calor para los materiales y los sistemas constructivos utilizados en la vivienda convencional, con lo que se calcula la ganancia de calor de la vivienda convencional, cuya ganancia no cumple con las condiciones mínimas de confort. Posteriormente se proponen estrategias para una vivienda bioclimática y esta última sí cumple las condiciones de confort mínimas.

Asimismo, se calculó el gasto en energía eléctrica de ambas viviendas, partiendo del estudio de los grados-día necesarios para obtener confort térmico. Conociendo estos datos y considerando la eficiencia energética de un equipo de climatización artificial, así como la tarifa vigente de la Comisión Federal de Electricidad, es posible calcular el gasto eléctrico y económico que se hace para enfriar o calentar artificialmente la vivienda.

Los costos de las estrategias de la vivienda bioclimática se incorporan a un costo paramétrico de construcción del proyecto y se corre un modelo financiero que considera dicho costo. Con parámetros iguales, se hace una comparación de los indicadores de rentabilidad del proyecto de vivienda convencional contra el proyecto de vivienda bioclimática: la rentabilidad es mayor para el proyecto de vivienda bioclimática en dos de tres indicadores (Valor Presente Neto y Tasa Interna de Retorno). El tercer indicador (Periodo de Recuperación de la Inversión) es menor en el proyecto de vivienda bioclimática, pero únicamente por un mes de diferencia; es decir que los beneficios son más grandes para construir vivienda bioclimática que vivienda convencional.

5. Resultados

Este apartado tiene por objetivo presentar los resultados del análisis de los cuatro bioclimas analizados, a partir de sus características geográficas y climáticas para posteriormente formular una serie de estrategias de diseño bioclimático.

5.1. Análisis del bioclima

Cálido húmedo

(Para consultar los resultados del bioclima cálido húmedo ver apartado 4.4.1)

Cálido seco

Requerimientos de climatización

Debido a que existe una sensación de calor durante casi todo el año, con excepción de los meses de diciembre a febrero y por las madrugadas, es necesario contar con estrategias de climatización para perder el calor durante los meses más cálidos y ganar el mismo en la temporada fría.

Se requiere entonces durante la mañana un calentamiento que perdure hasta la noche y evitar las pérdidas de calor, en los meses más fríos. Por el contrario, en los meses de marzo a octubre, se requiere evitar las ganancias solares, así como enfriar el ambiente durante todas las horas del día (Ver Anexo 1 para más detalle).

Localización y características climáticas

Mexicali es la capital del estado Baja California y se encuentra en el noroeste del país. Se encuentra en la longitud 115° 28' 04" y latitud 32° 39' 48". El clima predominante es cálido seco y la temperatura media anual es de 23.7 °C. La altitud es de 3 msnm.

La temperatura máxima promedio es de 31.4° (la máxima es en abril) y la mínima promedio es de 16.1° (mínima en enero). La precipitación anual es de 73.3 mm anuales y tiene 16 días con lluvia al año.

Temperaturas y humedades horarias

Las temperaturas más altas se registran entre las dos y las cuatro de la tarde en los meses de abril a octubre. Las temperaturas más bajas se registran entre las cinco y las siete de la mañana en los meses de noviembre a marzo.

El porcentaje de humedad más alto corresponde a los meses de septiembre y octubre entre las cinco y las siete de la mañana. Las humedades más bajas son entre las dos y las cuatro de la tarde. La humedad es menor de 65% casi todo el año, con excepción de los meses de septiembre y octubre.

Se puede establecer que se necesita calentar el ambiente durante la noche y la madrugada, mientras que por la tarde se requiere pérdida de calor, con excepción de julio y agosto, cuando todo el tiempo se requiere perder calor. De esta manera se necesitarán estrategias que permitan almacenar el calor ganado durante el día, sobre todo los meses de noviembre a febrero.

Requerimientos de sombreado

En los meses de enero a junio, se necesitará ganar calor 783 horas, mientras que se necesita proteger del sol 1,570 horas. En los meses de julio a diciembre, se requiere ganancia de calor 643 horas y protección 1,749 horas. En total se necesitará ganar calor 1,426 horas (30%) y protección del sol 3,319 horas (70%).

Elementos sombreadores (aleros, partesoles y remetimientos)

Para el caso de Mexicali, se recomiendan elementos sombreadores para las fachadas sur y oeste. Se puede proteger la fachada norte con partesoles a 15°. En la fachada suroeste se recomiendan aleros a 40° y partesoles a 40°.

Casi todas las horas que se debe de proteger del sol están cubiertas, sin embargo, quedan algunas que no se protege, debido a que las dimensiones del alero y el partesol serían muy grandes, por lo que deben buscarse combinar con otras estrategias de protección del sol.

Templado

Requerimientos de climatización

Se presenta sensación de confort y calor durante las horas del día y en la tarde, pero se requiere ganar calor y retenerlo durante el invierno, ya sea directa o indirectamente. En las horas de confort se requiere ventilación natural para mantenerlo y en los meses de verano se requiere evitar ganar calor por radiación directa, ventilar y enfriar por evaporación (Ver Anexo 2 para más detalle).

Localización y características climáticas

La ciudad de México se ubica en la zona centro-sur del país y es la ciudad más grande en término de sus habitantes. Se encuentra en la longitud 99° 08' 53" y latitud 19° 18' 12". El clima predominante es templado subhúmedo y la temperatura media anual es de 17.5 °C. La altitud es de 2,256 msnm.

La temperatura máxima promedio es de 24.8° (la máxima es en abril) y la mínima promedio es de 10.1° (mínima en enero). La precipitación anual es de 816.9 mm anuales y tiene 94 días con lluvia al año.

Las temperaturas más altas se dan entre las doce del día y la una de la tarde, durante todo el año. Las horas más frías son entre las cinco y las siete de la mañana. Los meses más fríos son de octubre a marzo y los más calurosos de abril a septiembre. La temperatura más alta es de poco más de 28°C en el mes de abril. La más baja es de 6°C en enero.

Las humedades más altas se presentan entre las cinco y las siete de la mañana, mientras que las más bajas, de menos de 40% se presentan por la tarde, entre la una y las dos de la tarde. Las humedades más altas corresponden a los meses de julio, agosto y septiembre, con porcentajes de humedad entre 60 y 70 por ciento aproximadamente.

Requerimientos de sombreado

En los meses de enero a junio, se necesitará ganar calor 723 horas, mientras que se necesita proteger del sol 1,630 horas. En los meses de julio a diciembre, se requiere ganancia de calor 1,012 horas y protección 1,380 horas. En total se necesitará ganar calor 1,735 horas (37%) y protección del sol 3,010 horas (63%).

Elementos sombreadores (aleros, partesoles y remetimientos)

Para el caso de la Ciudad de México se pueden utilizar elementos sombreadores, aunque no son necesarios, para las fachadas sur y oeste. Se recomiendan aleros a 50° y partesoles a 30°. Asimismo, se puede proteger la fachada norte con partesoles a 15°.

El primer semestre del año es cuando se requiere mayor protección del sol. Estos mecanismos deben combinarse con otras estrategias para lograr un control solar óptimo. Sin embargo, pueden omitirse con una orientación adecuada de la vivienda.

Semifrío

Requerimientos de climatización

En este bioclima se presenta la mayoría del tiempo una sensación de frío, que perdura en algunos meses hasta el mediodía. Debido a esto se requieren estrategias de calentamiento pasivo para las edificaciones. El calentamiento puede ser directo en las mañanas o indirecto por las tardes.

Asimismo, debe tener una buena hermeticidad para evitar los vientos nocturnos o invernales (Ver Anexo 3 para más detalle).

Localización y características climáticas

Tulancingo se encuentra en el estado de Hidalgo y es una de sus ciudades más importantes. Se encuentra en la zona centro del país. Se encuentra en la longitud 98° 21' 27" y latitud 20° 05' 03". El clima predominante es semiseco templado y la temperatura media anual es de 15.6 °C. La altitud es de 2,207 msnm.

La temperatura máxima promedio es de 23° (la máxima es en abril) y la mínima promedio es de 8.3° (mínima en enero). La precipitación anual es de 194.9 mm anuales y tiene 90 días con lluvia al año.

Las temperaturas más altas se registran entre las doce y las trece horas, mientras que las más bajas son entre las cinco y las seis horas. También se puede observar que los meses que concentran las temperaturas más altas son marzo, abril y mayo. Sin embargo, temperaturas no exceden los 27°C.

Las humedades más altas se dan en la madrugada, entre las cinco y las seis de la mañana, mientras que las menores humedades se concentran entre las 12:00 pm y las 2:00 pm. El porcentaje de humedad es menor del 66% en todo el año, registrando los meses de julio a octubre, las humedades más altas.

Se observa que en esta ciudad se requiere calentar los ambientes y mantener ese calor durante el día y la noche, con algunas horas de confort o calor por la tarde. Asimismo, se requiere evitar la humedad en el interior para que se mantenga el calor.

Requerimientos de sombreado

En los meses de enero a junio, se necesitará ganar calor 903 horas, mientras que se necesita proteger del sol 1,450 horas. En los meses de julio a diciembre, se requiere ganancia de calor 1,257 horas y protección 1,135 horas. En total se necesitará ganar calor 2,160 horas (45%) y protección del sol 2,585 horas (55%).

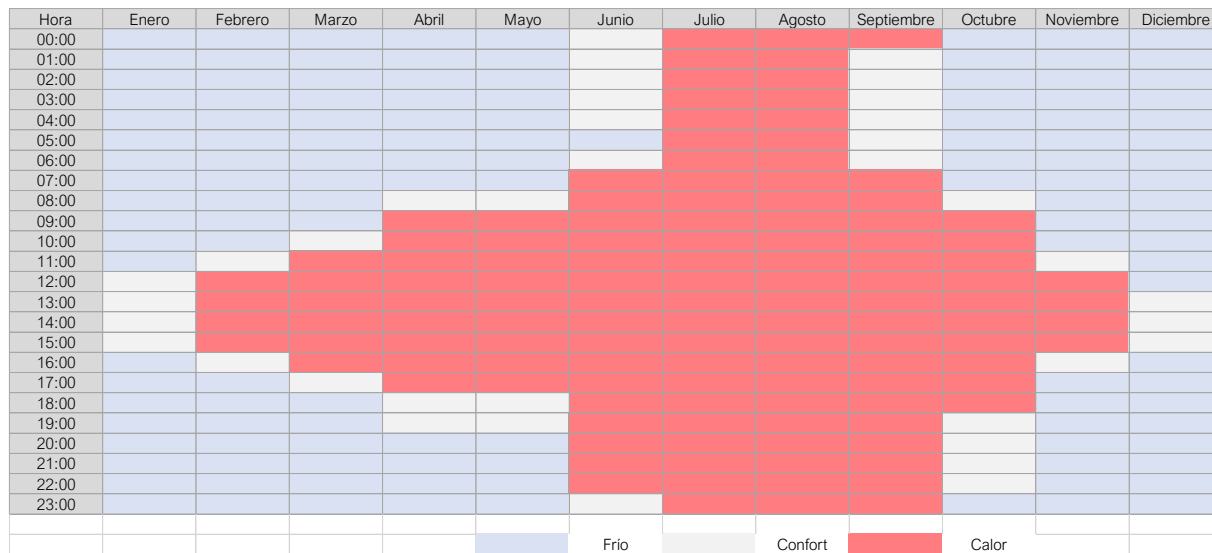
Elementos sombreadores (aleros, partesoles y remetimientos)

Para el caso de Tulancingo, no se considera necesario tener elementos sombreadores, ya que prácticamente durante todo el día se requiere tener radiación solar para calentar los ambientes. Sin embargo, se pueden poner aleros y partesoles en las fachadas sur y oeste. a 70° y 20° respectivamente. Se debe aprovechar el calor que se tiene en las fachadas sur y oeste para usarlo por las noches.

Se presentan a continuación los diagramas de los bioclimas presentados.

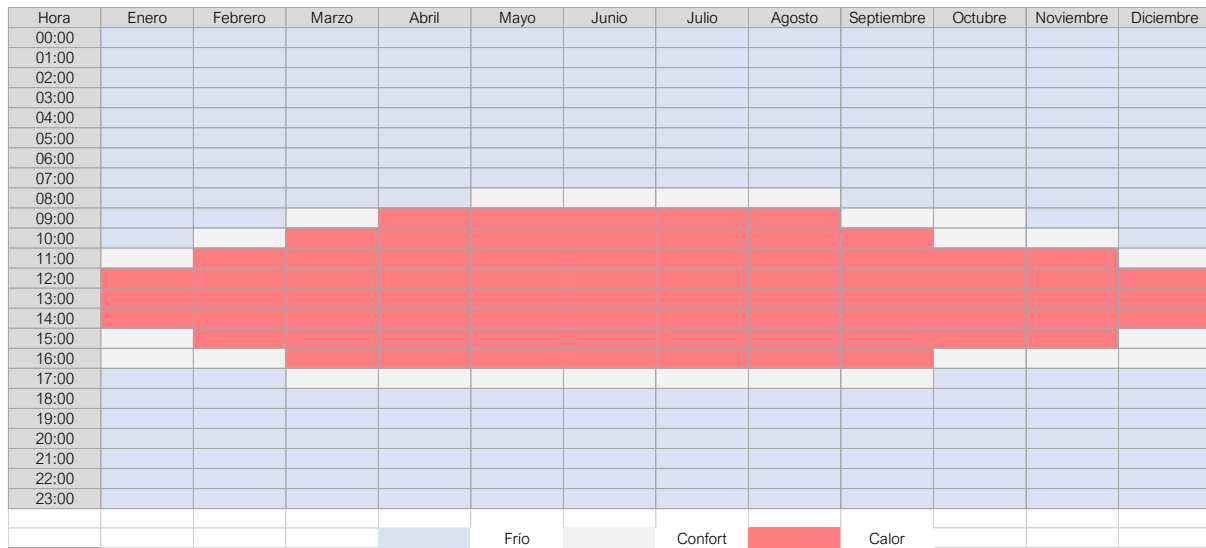
(Para consultar el diagrama del bioclima cálido húmedo, ver Ilustración 11)

Ilustración 22. Bioclima cálido seco



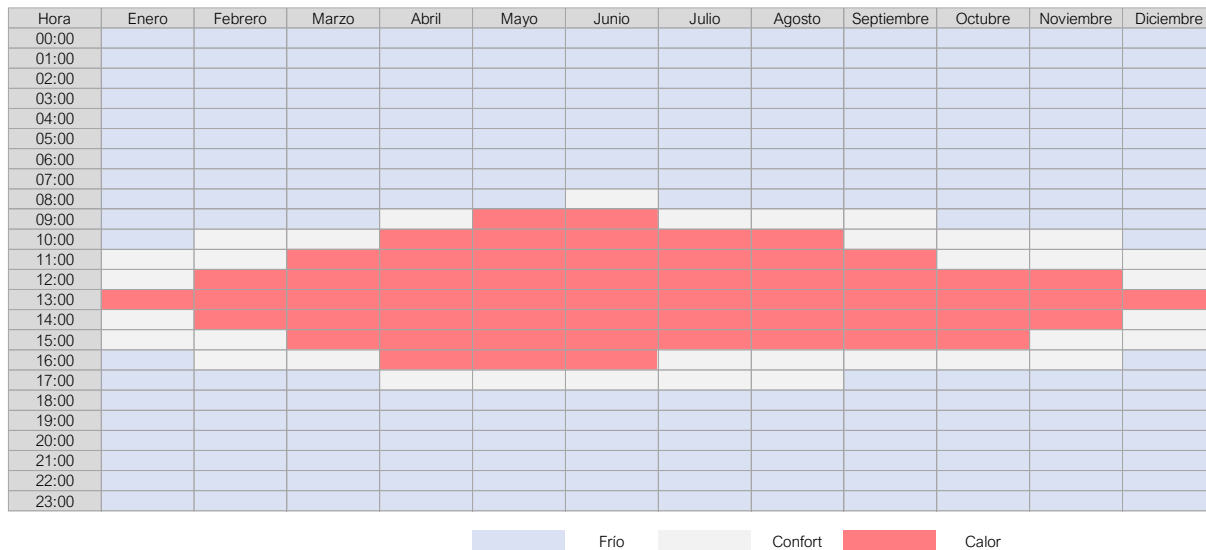
Fuente: Elaboración propia con base en cálculos del programa Rayman, 2020

Ilustración 23. Bioclima templado



Fuente: Elaboración propia con base con base en cálculos del programa Rayman, 2020

Ilustración 24. Bioclima semifrío



Fuente: Elaboración propia con base con base en cálculos del programa Rayman, 2020

Para el bioclima cálido seco, se observa que la mayoría del tiempo existe una sensación de calor (3,785 horas al año) o frío (3,852 horas al año) y hay pocas horas con confort (1,123 horas al año). Las horas de calor durante todo el día se presentan en los meses de julio y agosto.

En el bioclima templado la mayoría de las horas se presenta frío (5,685 horas al año) o calor (2,282 horas al año), con pocas horas de confort (793 horas al año).

En el bioclima semifrío la mayoría de las horas se presenta frío (5,963 horas al año), con pocas horas de confort (1,062 horas al año) y de calor (1,735 horas al año).

Cuadro resumen por bioclima y elemento de diseño bioclimático

A partir de las estrategias de climatización para los casos de estudio, se propone el siguiente cuadro:

Tabla 38. Cuadro resumen de recomendaciones de diseño bioclimático

Bioclima / Elemento	Cálido húmedo	Cálido seco	Templado	Semifrío	Costo adicional
Ventilación	Cruzada o que produzca efecto de sifón	Cruzada, evitando infiltraciones de aire	Unilateral, o cruzada en verano	Unilateral, evitando la ventilación cruzada o corrientes de aire	Ninguno
Tipo de ventana	Corredera o guillotina	Oscilobatientes o proyectantes	De abatir, o proyectante	Oscilobatientes o proyectantes	Depende del diseño
Ubicación en el lote	Separada de las colindancias	Colindante con viviendas vecinas	Separada de las colindancias	Colindante con viviendas vecinas	Ninguno
Vegetación en el exterior	Árboles frondosos de hoja perenne	Árboles frondosos de hoja perenne	Árboles de hoja caduca	Árboles de hoja caduca	Ninguno
Vegetación en el interior	No se recomienda	En patios interiores para dar sombra y humedecer el ambiente	No es necesaria	No se recomienda, a menos que se un invernadero	Depende del tipo de árbol o arbusto
Altura de la edificación	Doble altura o mínimo 2.7 m	Doble altura o mínimo 2.7 m	Entre 2.4 y 2.7 m	Entre 2.3 y 2.4 m	Ninguno
Materiales de la envolvente	Exteriores e interiores ligeros y aislante térmico	Exteriores ligeros, interiores masivos y aislante térmico	Exteriores e interiores masivos	Exteriores e interiores masivos	Depende del material utilizado para aislar
Color y textura de muros exteriores	Muy claros y lisos	Muy claros y rugosos	Opacos y rugosos o lisos	Opacos y lisos	Ninguno
Acondicionamiento mecánico adicional	Aire acondicionado	Aire acondicionado	No es necesario	Calefacción	Depende del equipo utilizado
Configuración de la vivienda	Abierta	Compacta	Compacta	Compacta	Ninguno

Bioclima / Elemento	Cálido húmedo	Cálido seco	Templado	Semifrío	Costo adicional
Control solar	Elementos sombreadores en todas las fachadas	Elementos sombreadores en fachadas sur, este y oeste	Elementos sombreadores en caso de que se requiera en fachadas sur y oeste	No son necesarios los elementos sombreadores	Depende del área a proteger
Orientación óptima	Norte-sur o noroeste sureste	Norte-sur o noroeste sureste	Este-oeste o noreste-suroeste	Este-oeste o noreste-suroeste	Ninguno

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la tabla que la mayoría de las intervenciones no representan un sobre costo en el precio final de la construcción, como la orientación, la altura, el color de los muros, el tipo de vegetación elegida, o la ubicación en el lote. Sin embargo, si se implementan, se tendrán beneficios para los usuarios que impactan directamente en su confort.

5.2. Evaluación del comportamiento térmico de la vivienda convencional y bioclimática en cada bioclima
 Utilizando la metodología descrita en el capítulo 3, se procede a hacer un análisis del comportamiento térmico de la vivienda convencional, obteniendo los siguientes resultados.

(Para consultar resultados de bioclima cálido húmedo ver apartado 4.4.2)

Cálido seco

La vivienda convencional tiene un sistema constructivo en muros de block de concreto hueco, losa de concreto armado en el techo, y vidrio claro en ventanas de 3mm. Tiene una ganancia de calor total de 5,353 Watts, mientras que para las condiciones mínimas de confort se debería tener una ganancia máxima de 3,125 Watts (Consultar Anexo 4 para más detalle). Lo anterior significa que la vivienda convencional es una vivienda caliente, que requiere de enfriamiento artificial para lograr condiciones de confort.

Tabla 39. Comportamiento térmico de la vivienda convencional, para Mexicali

	Ganancia por Conducción (W)	Ganancia por Radiación (W)	Ganancia Total (W)
Condiciones mínimas confort	1840.26	1285.53	3125.79
Vivienda convencional	4532.48	821.46	5353.94

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la NOM 020 ENER 2011

La ganancia de calor es mayor por conducción que por radiación. Sin embargo, como se observó anteriormente es necesario contar con control solar. En el caso del clima cálido seco, se proponen las siguientes estrategias para el diseño bioclimático.

Orientación. Se propone la orientación principal al norte, para evitar las ganancias de calor en los muros sur y este.

Control solar. Construir aleros en la fachada posterior (sur) para evitar ganancias de calor por radiación durante la tarde, de 50 y 30 cm respectivamente. Con estos datos se obtiene un factor de sombreado exterior (SE) para la ventana 3 de 0.59 y para la ventana 4 de 0.71.

Sistema constructivo. Como la mayor ganancia de calor por conducción se da en el techo, se propone un sistema de vigueta y bovedilla, además de que es más económico, es un sistema que absorbe menos calor que la losa de concreto armada.

Ventilación. Del diagrama de bioclima se observa que existe confort 1,123 horas al año, es decir el 13% del tiempo. Si se aprovechan estas horas para mantener el confort mediante la ventilación, es posible generar ahorro de energía de sistemas de climatización artificial. Este elemento no tiene ningún costo extra para el desarrollador.

Con las estrategias bioclimáticas descritas, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 40. Comportamiento térmico de la vivienda bioclimática, para Mexicali

	Ganancia por Conducción (W)	Ganancia por Radiación (W)	Ganancia Total (W)
Condiciones mínimas confort	1840.26	1285.53	3125.79
Vivienda bioclimática	2128.07	668.09	2796.16

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la NOM 020 ENER 2011

El diseño bioclimático permite cumplir con las condiciones mínimas de confort en la vivienda.

Templado

La vivienda convencional tiene una ganancia de calor de 1,998 Watts, mientras que las condiciones mínimas de confort calculadas son de 1,439W (Consultar Anexo 4 para detalle) por lo que la vivienda convencional es más caliente que las condiciones confortables.

Tabla 41. Comportamiento térmico de la vivienda convencional, para CDMX

	Ganancia por Conducción (W)	Ganancia por Radiación (W)	Ganancia Total (W)
Condiciones mínimas confort	275.78	1154.11	1429.89
Vivienda convencional	1202.17	796.68	1998.85

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la NOM 020 ENER 2011

La ganancia de calor es mayor por conducción que por radiación. En este caso no es necesario contar con control solar, sino tratar de aprovecharlo.

Orientación. Se propone cambiar la orientación principal al oeste, para ganar de calor e iluminación en los muros sur, este y oeste.

Sistema constructivo. Como la mayor ganancia de calor por conducción se da en el techo, se propone cambiar a un sistema de vigueta y bovedilla de concreto.

Ventilación. Del diagrama del bioclima se observa que existe confort 793 horas al año, es decir el 9% del tiempo. Con ventilación unilateral o cruzada es suficiente para mantener la sensación del confort durante estas horas.

Con las estrategias mencionadas, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 42. Comportamiento térmico de la vivienda bioclimática, para CDMX

	Ganancia por Conducción (W)	Ganancia por Radiación (W)	Ganancia Total (W)
Condiciones mínimas confort	261.77	1054.81	1316.59
Vivienda bioclimática	229.48	884.04	1113.52

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la NOM 020 ENER 2011

Con diseño bioclimático se gana menos calor por la envolvente, que en la vivienda convencional.

Semifrío

La vivienda convencional tiene una ganancia de calor de 1,761 Watts, mientras que las condiciones mínimas confortables requieren 1,275 (Consultar Anexo 4 para más detalle), es decir, que es una vivienda 38% más caliente que lo requerido para el confort.

Tabla 43. Comportamiento térmico de la vivienda convencional, para Tulancingo

	Ganancia por Conducción (W)	Ganancia por Radiación (W)	Ganancia Total (W)
Condiciones mínimas confort	121.23	1154.11	1275.34
Vivienda convencional	965.19	796.68	1761.87

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la NOM 020 ENER 2011

La ganancia de calor es mayor por conducción que por radiación. En este caso no es necesario contar con control solar, sino tratar de aprovecharlo para calentar las superficies.

Orientación. Se propone cambiar la orientación principal al oeste, para ganar de calor e iluminación en los muros sur, este y oeste.

Sistema constructivo. Como la mayor ganancia de calor por conducción se da en el techo, se propone cambiar a un sistema de vigueta y bovedilla. Asimismo, se propone una porción de 0.5 metros cuadrados con vitrobloc, para ganar calor e iluminación.

Ventilación. Del diagrama del bioclima se observa que existe confort 1,062 horas al año, es decir el 12% del tiempo. Con ventilación unilateral o cruzada es suficiente para mantener la sensación del confort durante estas horas.

Con las estrategias mencionadas, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 44. Comportamiento térmico de la vivienda bioclimática, para Tulancingo

	Ganancia por Conducción (W)	Ganancia por Radiación (W)	Ganancia Total (W)
Condiciones mínimas confort	98.12	1054.81	1152.93
Vivienda bioclimática	113.54	1011.83	1125.36

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la NOM 020 ENER 2011

Cabe mencionar que las condiciones mínimas para el confort difieren a las anteriores, ya que se considera en este caso el material y sistema constructivo de vitrobloc (Consultar Anexo 4 para detalle). En cualquier caso, la vivienda bioclimática en el caso del clima semifrío, cumple con las condiciones mínimas de confort y se supera en 2.3%.

Tabla 45. Comparación de ganancia de calor entre vivienda convencional y vivienda bioclimática, por cada bioclima.

Bioclima	Ganancia por conducción (W)	Ganancia por radiación (W)	Ganancia total (W)
Cálido húmedo			
Condiciones mínimas confort	1,566.27	1,154.11	2,720.38
Vivienda convencional	3,652.67	796.68	4,449.35
Vivienda bioclimática	1,641.40	701.24	2,342.64
Cálido seco			
Condiciones mínimas confort	1,840.26	1,285.53	3,125.79
Vivienda convencional	4,532.48	821.46	5,353.94
Vivienda bioclimática	2,128.07	668.09	2,796.16
Templado			
Condiciones mínimas confort	275.78	1,154.11	1,429.89
Vivienda convencional	1,202.17	796.68	1,998.85
Vivienda bioclimática	229.48	884.04	1,113.52
Semifrío			
Condiciones mínimas confort	121.23	1,154.11	1,275.34
Vivienda convencional	965.19	796.68	1,761.87
Vivienda bioclimática	113.54	1,011.83	1,125.37

Fuente: Elaboración propia

En los cuatro bioclimas analizados se observa que la ganancia por radiación es menor que las condiciones mínimas requeridas confortables. Sin embargo, es recomendable en los climas cálidos contar con elementos sombreadores que permitan generar una sensación de confort. Por otra parte, el sistema constructivo de vigueta y bovedilla en el techo reduce significativamente la ganancia de calor por esta superficie, especialmente en los climas cálidos. El sistema constructivo de block de concreto hueco permite reducir la ganancia de calor por conducción en los muros, y el vidrio claro de 3 milímetros hace cumplir con las condiciones mínimas de confort, aunque es recomendable un vidrio tintado o un sistema alternativo como el doble vidrio para los climas extremos. En este ejercicio no se ahonda en este tipo de sistema debido a que presenta un costo mayor en comparación al vidrio sencillo.

El análisis del comportamiento térmico permite conocer la ganancia de calor de una vivienda a través de su envolvente y cumplir con las condiciones mínimas de confort requeridas. El método utilizado es una herramienta útil enfocada al diseño de la envolvente, pero para análisis más rigurosos o que requieran mayor detalle, es deseable usarla en conjunto con otros programas de modelación.

5.3. Consumo energético de equipos de climatización artificial

Una vez conocido el consumo energético de un equipo de climatización, se procede a hacer el cálculo de grados-día para determinar las necesidades de climatización.

Con las fórmulas descritas en el apartado 3.2.2 correspondientes al cálculo de grados-día, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 46. Grados-día de enfriamiento y de calentamiento anual por localidad

Bioclima	Ciudad	Grados día de enfriamiento anual (°C)	Grados día de calentamiento anual (°C)
Cálido húmedo	Villahermosa, Tabasco	879.60	0.00
Cálido seco	Mexicali, Baja California	1,040.18	543.29
Templado	CDMX	35.10	817.00
Semifrío	Tulancingo, Hidalgo	2.28	1,321.50

Fuente: Elaboración propia con base en metodología de Fuentes, 2009

Se observa que la mayor parte de los grados día corresponden al bioclima cálido seco, seguido del clima semifrío. Con dichos datos, se procede a calcular la energía consumida por unidad de superficie, y se obtienen los siguientes resultados

Tabla 47. Energía consumida para enfriamiento y calentamiento artificial, por unidad de superficie, por localidad

Bioclima	Ciudad	Grados-día enfriamiento anual	Energía para enfriamiento kWh/m²
Cálido húmedo	Villahermosa, Tabasco	879.60	51.12
Cálido seco	Mexicali, Baja California	1,040.18	60.46
Templado	CDMX	35.10	2.04
Semifrío	Tulancingo, Hidalgo	2.28	0.12

Bioclima	Ciudad	Grados-día calentamiento anual	Energía para calentamiento kWh/m²
Cálido húmedo	Villahermosa, Tabasco	0.00	0.00
Cálido seco	Mexicali, Baja California	543.29	36.67
Templado	CDMX	817.90	55.14
Semifrío	Tulancingo, Hidalgo	1,321.50	89.2

Fuente: Elaboración propia

Una vez que se conoce la cantidad de energía consumida por aire acondicionado por unidad de superficie, se determina el consumo al año de una vivienda por cada bioclima, considerando una superficie de la vivienda de 49m².

Tabla 48. Energía eléctrica consumida anualmente para enfriamiento y calentamiento artificial, por localidad con base en método de grados-día (vivienda convencional)

Bioclima	Ciudad	Energía para enfriamiento kWh/m ²	Superficie a climatizar (m ²)	Energía eléctrica consumida al año (kWh)
Cálido húmedo	Villahermosa, Tabasco	51.12	49	2,505
Cálido seco	Mexicali, Baja California	60.46	49	2,963
Templado	CDMX	2.04	49	100
Semifrío	Tulancingo, Hidalgo	0.12	49	6

Bioclima	Ciudad	Energía para calentamiento kWh/m ²	Superficie a climatizar (m ²)	Energía eléctrica consumida al año (kWh)
Cálido húmedo	Villahermosa, Tabasco	0	49	0
Cálido seco	Mexicali, Baja California	36.67	49	1,797
Templado	CDMX	55.14	49	2,702
Semifrío	Tulancingo, Hidalgo	89.2	49	4,371

Fuente: elaboración propia

Finalmente, se replica el ejercicio para calcular la energía consumida con la vivienda bioclimática y se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 49. Energía eléctrica consumida anualmente para enfriamiento y calentamiento artificial, por localidad con base en método de grados-día (vivienda bioclimática)

Bioclima	Ciudad	Energía para enfriamiento kWh/m ²	Superficie a climatizar (m ²)	Energía eléctrica consumida al año (kWh)
Cálido húmedo	Villahermosa, Tabasco	41.81	49	2,049
Cálido seco	Mexicali, Baja California	49.44	49	2,423
Templado	CDMX	1.67	49	82
Semifrío	Tulancingo, Hidalgo	0.12	49	6

Bioclima	Ciudad	Energía para calentamiento kWh/m ²	Superficie a climatizar (m ²)	Energía eléctrica consumida al año (kWh)
Cálido húmedo	Villahermosa, Tabasco	0.00	49	0
Cálido seco	Mexicali, Baja California	29.98	49	1,469
Templado	CDMX	45.09	49	2,209
Semifrío	Tulancingo, Hidalgo	83.25	49	4,079

Fuente: elaboración propia

Como se observa, con la vivienda bioclimática, se logra reducir la cantidad de energía eléctrica para equipos de climatización artificial en todas las localidades. Para el bioclima cálido seco se reduce la cantidad de energía eléctrica consumida al año por climatización artificial en 868kWh; para el bioclima cálido húmedo se reduce en 456kWh (considerando que no se requiere calentar, solamente enfriar);

para el bioclima templado se reduce en 511kWh; para el bioclima semifrío se reduce la energía eléctrica consumida anual en 292kWh.

5.4. Costo energía eléctrica

A los bioclimas analizados les corresponden las siguientes tarifas de acuerdo con lo establecido en la tabla 28 Tarifas CFE de este trabajo. El tipo de tarifa está relacionado con la temperatura media mensual en verano de cada bioclima.

Se consideran los precios de la tarifa de verano, por ser la época que presenta mayor sensación de calor que son los que indica la tabla 29 de este trabajo.

Entre más caluroso sea en verano el clima, tiene un subsidio mayor, por lo que Mexicali es la localidad que menos paga por kilowatt/hora. Por el contrario, Tulancingo y la Ciudad de México tienen la tarifa 1 por lo que son las que más pagan por kilowatt/hora.

Posteriormente se calcula el gasto en sistemas de climatización, considerando la energía requerida por unidad de superficie (tomadas de las Tablas 48 y 49) tanto para enfriamiento como para calentamiento.

Tabla 50. Cálculo del gasto anual para sistemas de climatización artificial en la vivienda, por localidad

Convencional

Ciudad	Promedio tarifa \$/kWh	Total kWh consumidos por año (enfriamiento y calentamiento)			Gasto anual climatización
		enf	cal	Total	
Villahermosa, Tabasco	0.78	2,505	0	2,505	\$1,956.31
Mexicali, BC	0.88	2,963	1,797	4,759	\$4,173.97
CDMX	0.65	100	2,702	2,802	\$1,818.38
Tulancingo, Hidalgo	0.88	6	4,371	4,377	\$3,838.35

Bioclimática

Ciudad	Promedio tarifa \$/kWh	Total kWh consumidos por año (enfriamiento y calentamiento)			Gasto anual climatización
		enf	cal	Total	
Villahermosa, Tabasco	0.78	2,049	0	2,049	\$1,600.03
Mexicali, BC	0.88	2,423	1,469	3,892	\$3,412.92
CDMX	0.65	82	2,209	2,291	\$1,487.01
Tulancingo, Hidalgo	0.88	6	4,079	4,085	\$3,582.66

Fuente: elaboración propia

El gasto anual en climatización más grande corresponde a Mexicali. Este bioclima presenta sensación de calor o de frío 87% del año (ver Anexo 1 para más detalle). Se puede observar en la tabla anterior que con la vivienda bioclimática se puede ahorrar hasta 867kWh al año en comparación con la vivienda convencional, significando un ahorro de \$761.00 pesos anuales en esta ciudad. En el caso de Villahermosa, el ahorro con la vivienda bioclimática es de \$356.28 pesos anuales, sin embargo, estos son 100% para enfriamiento, ya que no se requiere calentar la vivienda. Para el caso de la Ciudad de México, la vivienda bioclimática permite ahorrar \$331 pesos anualmente en comparación con la vivienda convencional. En el caso de Tulancingo, se tiene un ahorro de \$255.69 pesos, que son destinados al calentamiento de la vivienda.

Sin embargo, considerando el coeficiente de transferencia de calor (K) de la vivienda bioclimática, se observa que se necesita menos energía por unidad de superficie para calentar o enfriar, por lo que los costos disminuyen notablemente.

Como se observa en la tabla 50, el gasto anual en energía eléctrica de la vivienda bioclimática disminuye en un 20% aproximadamente, en comparación con el gasto anual de la vivienda convencional.

Por otra parte, los beneficios ambientales son mayores en la vivienda bioclimática, en la medida en que se reducen las emisiones de GEI a la atmósfera.

5.5. Costos paramétricos y de materiales en la vivienda convencional y en la vivienda bioclimática

En cuanto a los costos paramétricos se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 51. Costo paramétrico por metro cuadrado para vivienda bioclimática, por bioclima

Bioclima	Costo paramétrico por m2	
	Convencional	Bioclimática
Cálido húmedo	\$8,155	\$8,001
Cálido seco		\$8,001
Templado		\$7,972
Semifrío		\$8,035

Fuente: elaboración propia

Para el clima cálido húmedo y para el seco, se obtiene un precio por metro cuadrado de \$8,001 pesos, mientras que, para clima templado, se obtiene un precio por metro cuadrado de \$7,972 pesos (\$183 pesos menos por metro cuadrado que la vivienda convencional) y para el clima semifrío se obtiene un precio por metro cuadrado de \$8,035 pesos (\$120 pesos menos por metro cuadrado que la vivienda convencional) (Consultar Anexo 5 para más detalle).

En todos los casos el precio por unidad de superficie para construir vivienda bioclimática es menor que el precio de la vivienda convencional. Además de ocupar materiales y sistemas constructivos más ligeros, resultan en costos más baratos.

Costo adicional de la vivienda bioclimática vs. costo de la energía eléctrica

Considerando la Tabla 50 “Cálculo del gasto anual para sistemas de climatización artificial en la vivienda, por localidad”, y considerando las tarifas mencionadas, se calcula el gasto energía eléctrica para climatización en un periodo de 20 años, que es el periodo máximo de un financiamiento hipotecario que otorga el INFONAVIT. Para este cálculo simple no se considera la inflación anual.

Tabla 52. Comparación entre gasto anual en climatización artificial en un periodo de 20 años, por vivienda

Ciudad	Gasto anual climatización artificial		Gasto climatización artificial de 20 años		Diferencia (ahorro)
	convencional	bioclimática	convencional	bioclimática	
Villahermosa, Tabasco	\$1,956	\$1,600	\$39,126	\$32,001	\$7,126
Mexicali, BC	\$4,174	\$3,413	\$83,479	\$68,258	\$15,221
CDMX	\$1,818	\$1,487	\$36,368	\$29,740	\$6,627
Tulancingo, Hidalgo	\$3,838	\$3,583	\$76,767	\$71,653	\$5,114

Fuente: elaboración propia

Mexicali presenta un ahorro a largo plazo de más de quince mil pesos. Por otra parte, en la Ciudad de México la energía para climatización artificial es para calentar la vivienda. Sin embargo, si se aprovechan las horas de confort con la ventilación natural, esta cifra puede disminuir y tendría un ahorro aproximado de ocho mil pesos en veinte años. En Villahermosa es necesario enfriar la vivienda

bastantes horas al día, reflejando un ahorro en veinte años de más de siete mil pesos. La vivienda bioclimática en Tulancingo es el que menor ahorro representa, debido al diseño de la vivienda que permite ganar calor cuando se requiere (para este ejercicio no se tomó en cuenta la inflación, por lo que se estima que los ahorros reales sean más altos).

Los climas cálidos (seco y húmedo) son los que más energía consumen para enfriamiento artificial. A pesar de que las tarifas de electricidad están subsidiadas, el gasto en energía eléctrica anual es alto. Por otra parte, en el clima semifrío se requiere de calentamiento artificial por lo que también presenta un consumo significativo de energía.

5.6. Resultados del modelo financiero

En este apartado se describen los resultados obtenidos en el modelo de financiamiento para el proyecto de vivienda convencional, y se comparan con los resultados del proyecto de vivienda bioclimática por cada bioclima.

(Para consultar los resultados del modelo financiero en Villahermosa (cálido húmedo) ver apartado 4.4.5)

Mexicali (cálido seco)

En un terreno de 617m² de superficie, y considerando que se puede construir una vivienda cada 100m² de terreno, con espacio para un estacionamiento, se contempla un proyecto de seis viviendas convencionales unifamiliares en un nivel.

Si se considera un precio de \$950,000 pesos por vivienda convencional, pero se aumenta la densidad para construir diez viviendas convencionales en lugar de seis, se tiene un monto total de venta de \$9,500,000 pesos. En un periodo de trece meses, la TIR anual de este proyecto es de 29.17% y el VPN es de \$2,591,536 pesos. El PRI es el mes 13.

Considerando el costo de construcción de la vivienda bioclimática (\$8,001 pesos por m²) se obtiene una TIR de 31.39%, VPN de \$2,642,532 pesos y el PRI es igual, es decir el mes 13 (Consultar anexos 7 y 8 para ver más detalle).

Ciudad de México (templado)

En un terreno de 9,937m² de superficie, y considerando que se puede construir una vivienda convencional cada 100m² de terreno, con espacio para un estacionamiento, se contempla un proyecto de 99 viviendas convencionales unifamiliares en un nivel.

El horizonte del proyecto es de 24 meses, con un periodo de obra de quince meses y ventas de 20 meses. El precio de venta por vivienda convencional es de \$1,100,000 pesos, con un monto total por venta de viviendas convencionales de \$108,900,000 pesos. Considerando los parámetros expuestos en apartados anteriores, se obtiene una Tasa Interna de Retorno (TIR) anual de 23.24%. Asimismo, el Valor Presente Neto es de \$30,751,491 por lo que se considera que el proyecto es rentable. El mes de recuperación de la inversión es el mes 23.

Si se sustituye el precio por metro cuadrado construido por el valor de la vivienda con diseño bioclimático (\$7,972 pesos), se obtiene una TIR de 24.37%, el VPN es de \$31,322,268 pesos y el Periodo de Recuperación de la Inversión es el mismo (mes 23) (Consultar anexos 7 y 8 para ver más detalle).

Tulancingo (semifrío)

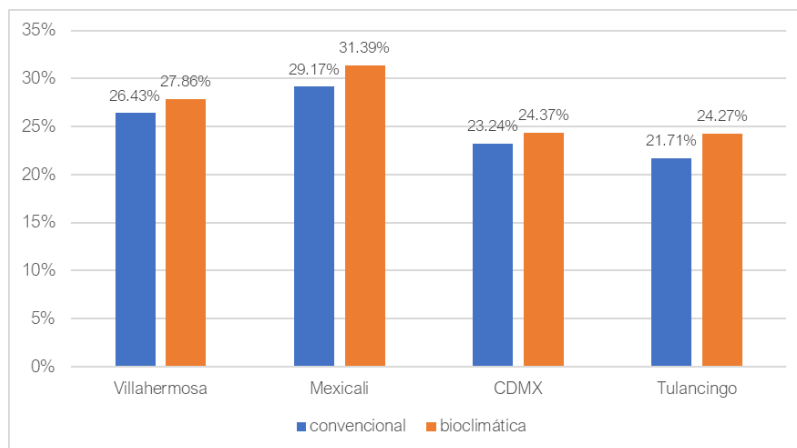
En un terreno de 1,042m² de superficie, con espacio para un estacionamiento por vivienda, se contempla aprovechar la superficie máxima de construcción que permite hasta 28 viviendas.

Para un proyecto de vivienda tradicional y considerando un precio de venta de \$800,000 pesos por vivienda, se obtiene un monto total de ventas de \$22,400,000. El periodo del proyecto es de 23 meses con ventas en 20 meses. La TIR es de 21.71%, el VPN es de \$5,298,410 y el PRI es el mes 22.

Para la vivienda con diseño bioclimático se obtiene una TIR de 24.27%, VPN de \$5,485,854 y el PRI es el mes 23 (Consultar Anexos 7 y 8 para más detalle).

En la siguiente gráfica se pueden comparar las Tasas Internas de Retorno entre los proyectos de vivienda en cada bioclima.

Gráfica 4. TIR por proyecto de cada tipo de vivienda, por bioclima

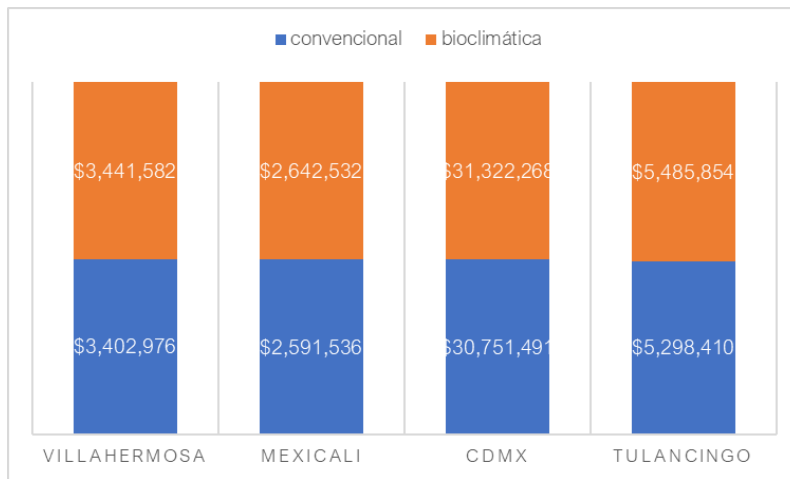


Fuente: elaboración propia

La Tasa Interna de Retorno anual aumenta en todos los casos para las viviendas bioclimáticas (entre 1 y 3%) con respecto a la vivienda convencional. La TIR más alta corresponde al proyecto más grande (Ciudad de México), mientras que la menor corresponde a Tulancingo, por manejar los precios más bajos de los cuatro casos de estudio. Sin embargo, todas son mayores que la Tasa Mínima de Rendimiento Aceptable, haciendo viables estos proyectos.

Por otra parte, el Valor Presente Neto de los proyectos es positivo, por lo que son rentables. Se muestra en la siguiente gráfica los VPN por localidad y por proyecto.

Gráfica 5. Valor Presente Neto por cada proyecto de vivienda, por bioclima

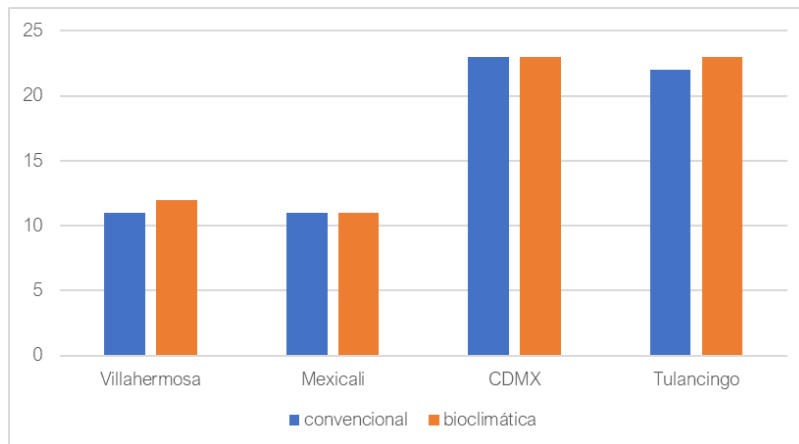


Fuente: elaboración propia

El Valor Presente Neto (VPN) de los proyectos de vivienda convencional son menores en todos los casos con respecto a la vivienda bioclimática, el mayor VPN se presenta en la Ciudad de México y el menor en Mexicali, debido al número de viviendas (convencionales o bioclimáticas) construidas y al periodo de la obra. Esto significa que en todos los casos es más rentable construir vivienda bioclimática.

Por último, se puede observar en la siguiente gráfica el Periodo de Recuperación por cada proyecto por localidad.

Gráfica 6. Periodo de Recuperación de la Inversión por proyecto de vivienda, por bioclima



Fuente: elaboración propia

Se observa que los periodos de recuperación son los mismos para los proyectos de vivienda convencional y bioclimática en los casos de Mexicali y Ciudad de México, mientras que en Tulancingo y Villahermosa aumentan en un mes.

Una vez integradas las variables en el modelo financiero se establece que, aunque el modelo está limitado en algunos aspectos como los plazos de los proyectos o el porcentaje real de absorción (es decir, la tasa de venta de las viviendas disponibles en un mercado específico durante un período de tiempo determinado) de las ventas, es útil para hacer la comparación entre la vivienda bioclimática y la vivienda tradicional.

Respecto al precio de la vivienda convencional, los terrenos elegidos se encuentran dentro de la zona urbana en los cuatro casos de estudio. El costo del terreno impacta de manera directa en el precio final de las viviendas convencionales y bioclimáticas, elevándolo por encima de lo considerado por el Infonavit como vivienda de interés social (hasta \$749,200), y dificultando o imposibilitando el acceso a estas viviendas para la mayoría de la población. De otra manera, necesitarían subir los montos de los créditos otorgados. Debido a la desigualdad en el acceso y aunque ya se han implementado medidas como la NAMA de vivienda, es necesario seguir fortaleciendo los organismos existentes, por ejemplo, el Instituto de Vivienda en la Ciudad de México.

Finalmente, es posible construir vivienda bioclimática con un esquema financiero adecuado a las necesidades del desarrollador y del usuario, y su construcción no implica sobre costo, sino por el contrario, genera ahorros que se traducen en beneficios para el desarrollador. Asimismo, los ahorros de energía a largo plazo son benéficos para el usuario, sin olvidar que el confort dentro de la vivienda mejora significativamente, especialmente en los climas más extremos.

Conclusiones

Los indicadores utilizados indican que, en condiciones iguales y tomando en cuenta tres indicadores de rentabilidad, en todos los casos es más rentable construir vivienda de tipo bioclimática que vivienda convencional. En el caso del bioclima cálido húmedo la Tasa Interna de Retorno (TIR) para la vivienda bioclimática es 1.43% mayor que para la vivienda convencional. Para el bioclima cálido seco se obtiene una 2.25% mayor de TIR para la vivienda bioclimática. En el caso del bioclima templado, la TIR es 1.13% mayor para la vivienda bioclimática que para vivienda convencional y para el bioclima semifrío la TIR es 2.56% mayor para la vivienda bioclimática.

En cuanto al Valor Presente Neto (VPN) en todos los casos el indicador es más rentable para la vivienda bioclimática que para la convencional: para el bioclima cálido seco se tiene un VPN mayor por \$32,606 pesos; para el bioclima cálido seco se tiene un valor mayor por \$50,997 pesos; para el bioclima templado se tiene un valor mayor por \$570,177 pesos y para el bioclima semifrío se obtiene un VPN mayor por \$547,444 pesos.

El Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) es el mismo para los casos del bioclima cálido seco (Mexicali) y templado (Ciudad de México): mes 13 y 23 respectivamente, mientras que para el caso de Villahermosa y Tulancingo el PRI para la vivienda bioclimática es mayor por un mes de recuperación entre los proyectos de vivienda convencional y bioclimática.

De lo anterior, se puede establecer que con esquemas financieros atractivos para inversionistas y desarrolladores y proyectos adecuados a los usuarios, es posible incentivar la construcción de vivienda bioclimática.

La construcción de vivienda bioclimática no implica un costo extra en comparación con una vivienda convencional. Por el contrario, se observó en todos los casos que se generan ahorros para el habitante a largo plazo y para el desarrollador inmobiliario es más rentable, ya que los indicadores financieros aumentan en todos los casos. Asimismo, los beneficios económicos generados son para el usuario en la etapa de operación de la vivienda.

En la etapa de operación de la vivienda también se generan ahorros con la vivienda bioclimática. Es decir que la cantidad de dinero destinada a pagar el consumo de energía de los equipos de climatización disminuye en la vivienda bioclimática: en el bioclima cálido húmedo se genera un ahorro de \$7,126 pesos en un periodo de 20 años, mientras que en el bioclima cálido seco el ahorro asciende a \$15,221 pesos. Para el bioclima templado se genera un ahorro en este plazo de \$6,627 pesos y para el bioclima semifrío el ahorro es de \$5,114 pesos en el mismo periodo.

Por otra parte, se estableció que un modelo financiero es una representación simplificada de las condiciones reales de un proyecto inmobiliario y se proyecta en un periodo de tiempo. El modelo propuesto permite comparar entre proyectos similares y el resultado en los indicadores permite tomar decisiones de inversión. El modelo propuesto se basa en un existente, pero se modifica de acuerdo a las especificaciones de un proyecto de vivienda y con las condiciones específicas de cada sitio.

La metodología propuesta se basa en el diagnóstico del bioclima para conocer las necesidades de climatización de cada lugar. Posteriormente se simula la ganancia de calor de la vivienda

convencional. Esta se elige de acuerdo con la oferta y la demanda del último año (2020) y se proponen estrategias para una vivienda bioclimática. Una vez conocido el comportamiento de la ganancia de calor por la envolvente de la vivienda bioclimática, se procede a calcular los costos de dichas estrategias. Estos datos se integran en un modelo financiero en cada bioclima y se hace una comparación de los indicadores financieros entre los ambos proyectos de vivienda. Dicho modelo se basa en los lineamientos del CEPEP, haciendo adecuaciones para un proyecto de vivienda.

Desde el sector gubernamental se necesita desarrollar en conjunto con la academia, más instrumentos jurídicamente vinculantes para los desarrolladores de vivienda. Es decir, obligar a que cumplan con los lineamientos para vivienda bioclimática, como parte de las características básicas que deben tener las viviendas. Si bien en México se comenzó en 2007 con el programa de Hipoteca Verde, este tiene únicamente quince años de funcionamiento y aunque ha sido bastante exitoso, es necesario contar con más herramientas avocadas a los demás aspectos de las edificaciones, como el diseño bioclimático, ya que este programa del Infonavit se enfoca principalmente a la implementación de ecotecnologías en la vivienda que le permiten al usuario ahorrar dinero.

En cuanto al costo, la construcción de vivienda bioclimática en comparación con una convencional no implica un mayor desembolso inicial para el comprador. Además, el ahorro de energía en sistemas de climatización artificial representa un ahorro en la vida útil de la vivienda, además de los beneficios ambientales. Por otra parte, el desarrollador inmobiliario puede utilizar de los programas existentes de incentivos financieros.

Los beneficios de la vivienda bioclimática son claros, pero su incorporación a la agenda nacional implica un esfuerzo de evaluación y trabajo continuo y conjunto, por ejemplo contar con Normas Oficiales o programas de financiamiento diseñados desde el gobierno en conjunto con la academia y especialistas.

Limitaciones del trabajo de investigación

Es importante considerar que la vivienda bioclimática abarca muchos aspectos. En este trabajo, el análisis principal está enfocado en la envolvente del edificio, así como en la ventilación natural y la orientación de la vivienda.

Si bien se proponen algunas estrategias para el diseño bioclimático basadas en el análisis del bioclima, su implementación no se analizó totalmente por cuestiones de tiempo y vale la pena ahondar en este tema en futuros trabajos de investigación.

El análisis financiero se realizó para una vivienda bioclimática en un modelo que es útil para comparar proyectos similares en localidades distintas. Es un modelo que permite comparar dos tipos de proyecto distinto y con base en los indicadores, tomar decisiones basadas en la rentabilidad de los proyectos. En este trabajo se tomaron cuatro bioclimas, pero puede ser aplicable a nivel nacional si se conocen las condiciones geográficas y climáticas del lugar que se desea estudiar.

Sin embargo, se debe considerar el comportamiento de los mercados inmobiliarios de cada localidad. Es decir, que el mercado del suelo y de vivienda tienen particularidades únicas, así como una planeación del territorio que son distintas en cada lugar. Incluso en una misma demarcación como la

Ciudad de México existe una clara diferenciación en los precios de la vivienda en diferentes zonas, por ejemplo, entre el oriente y el poniente, siendo este último la zona más cara. Por otra parte, la escala del análisis también es importante ya que los datos se pueden disgregar según sea el interés del estudio.

Se debe analizar con más detalle la normatividad urbana de los terrenos elegidos para contar con un modelo más específico. Para este trabajo se partió de una basada en lo que predomina en cada zona: número de niveles y área libre de construcción, para poder hacer una comparación entre las localidades. Como ejercicio comparativo funciona ya que se parten de los mismos supuestos. Sin embargo, es muy importante que se analice con mayor detalle cuál es la normatividad en materia de desarrollo urbano aplicable en cada predio, tanto su zonificación vigente, como los instrumentos de desarrollo urbano que le apliquen. Esta escala de análisis permite proponer estrategias mucho más adecuadas para la elaboración del modelo financiero.

Los instrumentos de desarrollo urbano se aplican en la ejecución de proyectos, obras, acciones o inversiones para promover proyectos específicos. Con base en su finalidad se agrupan en instrumentos de planeación, de acceso al suelo, de control o de gestión, de fomento o de financiamiento. Algunos instrumentos de fomento son las facilidades administrativas (desregulación o simplificación administrativa), estímulos y reducciones fiscales (Como la Norma 26 en la Ciudad de México), o la transferencia de potencialidades.

A partir de las herramientas y la información disponibles es posible hacer un análisis adecuado de los requerimientos de climatización para cada lugar. En este trabajo se estudiaron los principales climas del país, sin embargo, debe tomarse en cuenta que las estrategias de diseño bioclimático dependen de condiciones climáticas específicas. Las estrategias de diseño bioclimático pueden depender de variables geográficas, por ejemplo la altitud, la orografía o la presencia de cuerpos de agua. Asimismo, se analizó el consumo energético de un edificio con base en la envolvente, pero el análisis puede ser más complejo si se toman en cuenta aspectos como la iluminación o la geotermia. Se observó que la energía consumida por los sistemas mecánicos de climatización está en función del comportamiento térmico de la envolvente del edificio.

Este trabajo se enfoca en el acceso a la vivienda en el mercado formal institucional. Sin embargo, solamente no toda la población puede acceder de esta manera a la vivienda, por lo que es necesario buscar otras formas de construir vivienda bioclimática, ya sea mediante la publicación de manuales para su construcción, o talleres y capacitaciones. Asimismo, se analiza únicamente la vivienda nueva, pero debe tomarse en cuenta que también existe el retrofit, o la adecuación para vivienda existente, como el presente trabajo puede servir de base para las estrategias para la vivienda nueva.

Actualmente la política de desarrollo sigue estando basada en el consumo de combustibles fósiles. Sin embargo, México cuenta con una gran capacidad para mitigar los GEI, así como de reducir sus residuos sólidos y la contaminación del agua. Se cuenta con un catálogo de contribuciones nacionales, que permite identificar los sectores que más contaminan y que consumen energía, y por lo tanto con este tipo de documentos es posible tomar decisiones sobre las medidas de mitigación y de prevención de riesgos.

Por otra parte, en la Ciudad de México se cuenta con el Programa de Acción Climática de la Ciudad de México (PACCCM) 2014-2020, que coordina e impulsa acciones para disminuir riesgos ambientales, sociales y económicos que son provocados por el cambio climático. El objetivo de este instrumento es identificar las acciones que sean prioritarias para reducir emisiones de GEI y de adaptación a los efectos del cambio climático en la Ciudad de México.

Este trabajo presenta una serie de estrategias que permiten aprovechar el bioclima en la vivienda y de esta manera se pueda hacer un uso eficiente de la energía, minimizando costos en la energía para la climatización artificial.

Se observó que el uso de la energía en la vivienda puede mitigarse en tres aspectos: reducir la demanda de energía (mediante el diseño bioclimático), reducir el consumo de energía (utilizando equipos eficientes de climatización cuando sea necesario) y aprovechar la ventilación natural de la vivienda, así como su orientación para minimizar la ganancia de calor por radiación.

Reflexiones y recomendaciones finales

En México desde la década de los setenta, se han publicado un número de trabajos sobre el diseño bioclimático que se ha ido integrando al ámbito académico y gubernamental. Desde la propuesta de Olgay en 1963, hasta la implementación de programas federales como la Hipoteca Verde, México ha ido avanzando en el tema de la vivienda bioclimática, y es un tema en continuo desarrollo: el país cuenta con un marco legal que considera la eficiencia energética en los edificios habitacionales.

El modelo de vivienda convencional más ofertado y demandado y que se construye actualmente en el país, no cumple con los requisitos mínimos de confort. Sin embargo, es posible diseñar esquemas de financiamiento para proyectos de vivienda bioclimática que incentiven su producción ya que su construcción no implica mayor costo que una vivienda convencional; por el contrario, genera mayores ahorros. Esto se puede lograr mediante esquemas de financiamiento de proyectos adecuados a las necesidades de los usuarios y que tengan una rentabilidad mayor en comparación a un proyecto de vivienda convencional.

Es necesario que el sector de la construcción se integre a un plan integral para la transición hacia el uso de energías renovables y de máxima eficiencia energética. Lo anterior se puede conseguir mediante una normatividad jurídicamente vinculante para los constructores y desarrolladores de vivienda e incentivos económicos o fiscales en el mercado.

Los programas existentes en materia de sustentabilidad en la vivienda han sido exitosos, en especial Hipoteca Verde que ha ganado reconocimiento internacional y ha servido de ejemplo para otros países del sur global. Sin embargo, la mayoría son programas de aplicación voluntaria, además de ser escasos. Es necesario incorporar los aportes técnicos de los especialistas para desarrollar instrumentos (como manuales o normas específicas) que permitan incorporar estrategias para el diseño bioclimático en los hogares nuevos y también existentes, por ejemplo el presente trabajo de investigación.

El campo de aplicación del diseño bioclimático es muy extenso y es aplicable a cualquier edificio, para el uso que se requiera. Las necesidades que se tienen en una vivienda bioclimática son de confort térmico, ahorro de energía y mitigación de GEI.

El modelo propuesto se puede adecuar a otros proyectos de edificios comerciales, de servicio o turísticos. El principio sobre el que se basa es el mismo: el ahorro de energía supera la inversión inicial, además de las condiciones de confort generadas para los usuarios.

La escasez de normatividad obligatoria, el desconocimiento de los subsidios existentes, la falta de interés por el tema de la sustentabilidad (por no reconocer el valor ambiental en términos económicos) han sido un obstáculo para masificar la construcción de vivienda bioclimática. Sin embargo, es posible superar estos obstáculos mediante el trabajo conjunto entre expertos y desarrolladores y sobre todo del compromiso que se tenga desde el gobierno hasta los sectores privados.

Con el presente trabajo se logró construir un modelo financiero que permite comparar entre la rentabilidad de un proyecto de vivienda convencional con uno de vivienda bioclimática. Se demostró que además de no tener ningún costo adicional que la vivienda convencional, la vivienda bioclimática permite ahorrar dinero (destinado a climatizar artificialmente la vivienda). Lo anterior es independiente de los beneficios medioambientales que conlleva el ahorro de energía en la vivienda y el bienestar que se genera en los usuarios (sensación de confort térmico).

Referencias bibliográficas

Acuña, A. (2009). *Estudio comparativo de los costos de inversión, operación y rentabilidad de una vivienda con principios bioclimáticos y una convencional, en un clima semifrío seco*. (Maestría). Universidad Autónoma Metropolitana. México

Arias-Gavira, J., Valencia, V., Olaya Y., Arango-Amburo, S. (2021). Simulación del efecto de edificios sostenibles y estándares de eficiencia energética en el consumo de electricidad en cuatro ciudades de Colombia: un enfoque de dinámica de sistemas. *Journal of Cleaner Production*. 314, 128041. Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128041>

AHSRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). (2017). *Manual de Fundamentos*, ed. Estados Unidos

Andrade Maciel, L. (2015). *Diagnóstico y Adecuación Térmica de Tienda de Autoservicio para los Bioclimas de la República Mexicana: Impactos y Beneficios Energéticos y Ambientales*. (Maestría). México: Instituto Politécnico Nacional.

Baca, G. (2001). *Evaluación de proyectos*. Ciudad de México: McGraw-Hill

Baniassadi, A., Heusinger, J., Gonzalez, P. I., Weber, S., y Samuelson, H. W. (2021). Co-beneficios de la eficiencia energética en edificios residenciales. *Energy*, 238, 121768. Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121768>

Barragán, A., Ochoa, P. (2014). Estudio de caso: Diseño de viviendas ambientales de bajo costo, Cuenca (Ecuador). *Maskana*. (5), 1.

Canales, M., Morillón, D. (2003). Evaluación bioclimática de la vivienda de interés social, caso Pachuca, Hidalgo. *Memoria XXIII Semana Nacional de Energía Solar*.

Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos, CEPEP. (2017) *Indicadores de rentabilidad*. Boletín número V. México. Recuperado de: https://www.cepep.gob.mx/work/models/CEPEP/metodologias/boletines/indicadores_rentabilidad.pdf

Chan D., Romero R., Luna A., (1999). *Evaluación térmica de estrategias de adecuación ambiental para viviendas en zonas áridas y su impacto en el ahorro de energía eléctrica*. UABC: 49. México

Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda (2006). *Guía para el uso eficiente de la energía en la vivienda*. Primera edición. Ciudad de México.

Comisión Nacional de Vivienda. (2008). *Programa Específico para el Desarrollo Habitacional Sustentable ante el Cambio Climático*. Ciudad de México: Biotechnick.

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, Secretaría de Energía. (2017). *Catálogo de tecnologías, Tecnologías energéticamente eficientes para la envolvente térmica de las edificaciones*.

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (2020). *Herramienta Cálculo NOM-008*. Recuperado de: https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/herramienta-calculo-nom_008?state=published.

CONAVI. (2012). *NAMA Apoyada para la Vivienda Sustentable en México. Acciones de mitigación y Paquetes Financieros*. En SEMARNAT (Ed.). Ciudad de México.

Córdoba, M., (2011). *Formulación, evaluación y proyectos*. 2da ed. Bogotá: Ecoe Ediciones.

Corral, M. (2005). *Comportamiento térmico de técnicas de adecuación ambiental en vivienda para sectores de bajos ingresos en Mexicali, B. C.* UABC: 121. México

Cype Ingenieros, S.A. (2021). Generador de precios de la construcción de CYPE Ingenieros. México. Recuperado de: <http://www.mexico.generadordeprecios.info/>

Delgado, G. C. (2019). *Asentamientos Urbanos Sustentables y Resilientes: Retos y Oportunidades para la Transformación urbana en California y Baja California*. México: Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades. México: UNAM.

Díaz, R., Morillón, D. (1999). Comportamiento térmico de la vivienda de interés social en diferentes regiones climáticas del país. *Memoria XXIII Semana Nacional de Energía Solar*. Energy Design Tools. Recuperado de: <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/>

Energy Plus. Recuperado de: <https://energyplus.net/>

Ficha técnica modelo Mirage Magnum Inverter 17, recuperado de: https://mirage.egnyte.com/dl/SLrfVhySPH/Mirage_Magnum_17_Inverter.pdf

Fuentes, V. (2009). *Modelo de análisis climático y definición de estrategias de diseño bioclimático para diferentes regiones de la República Mexicana*. (Doctorado). México: Universidad Autónoma Metropolitana.

Givoni, B. (1992). Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Buildings*, 18(1), 11-23. doi:10.1016/0378-7788(92)90047-k

Gómez-López, C. (2011). Crecimiento económico, consumo de energía y emisiones contaminantes en la economía mexicana. *Revista Fuente* Año, 3(9). México.

González, O., Poujul, F. (2003). *Comparación técnico-económica del uso de dos recubrimientos en el techo de un aula en clima cálido-seco*. Universidad Autónoma de Baja California Sur: 49.

Gonzalo, G.E., Ledesma, S.L., Nota V.M., Martínez, C.F., Ríos Cáceres, E. (2007). Propuesta de adecuación bioclimática de vivienda de interés social en San Pedro de Colalao, Tucumán. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* (11).

Griego, D., Krarti, M., Hernández-Guerrero, A. (2012). Optimización de medidas de eficiencia energética y confort térmico para edificios residenciales en Salamanca, México. *Energía y Edificios*, 54, 540-549. Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.02.019>

INFONAVIT. (2012). *Manual explicativo del programa "Vida Integral Infonavit: Vivienda Sustentable"* Recuperado de: <http://portal.infonavit.org.mx/wps/wcm/connect/605a49e8-ab12-428b-b796-97a99e389ae/Manual+Vida+Integral+Infonavit+Vivienda+Sustentable.pdf?MOD=AJPERES>

INFONAVIT. (2018). *Hipoteca Verde*. Recuperado de: <https://portal.infonavit.org.mx> › infonavit › content_home_hipoteca_verde

INFONAVIT. (2019). *Historia*. Octubre 2019, de Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores Recuperado de: https://portal.infonavit.org.mx/wps/wcm/connect/infonavit/el+instituto/el_infonavit/historia

INFONAVIT. (2019a). *Atributos de la Vivienda Sustentable*. Recuperado de: <http://portal.infonavit.org.mx/wps/wcm/connect/605a49e8-ab12-428b-b796-f97a99e389ae/Manual+Vida+Integral+Infonavit+Vivienda+Sustentable.pdf?MOD=AJPERES>

INFONAVIT. (2019b). *Proveedores Externos*. Recuperado de: <https://portal.infonavit.org.mx/wps/wcm/connect/infonavit/proveedores+externos/desarrolladores/programas+del+infonavit+para+desarrolladores/programas+del+infonavit+para+desarrolladores>

Islas, J., Manzini, F., Macías, P., y Grande, G. (2015). *Hacia un sistema energético mexicano bajo en carbono* (1ra ed., pp. 17, 26, 28, 40, 184, 204). México: Reflexio ediciones.

Keçebaş, A. (2012). Determination of insulation thickness by means of exergy analysis in pipe insulation. *Energy Conservation and Management*, 58, 76-83. Turquía. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.01.009>

Li, Q., Zhang, Lia., Zhang, Lim., Wu, X. (2021). Optimización de la eficiencia energética y el confort térmico en el retrofit de edificios. *Energy*. 237, 121509. Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121509>

Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F. G., Sabio-Ortega, A., y García-Cruz, A. (2015). Revisión de estrategias de arquitectura bioclimática para lograr el confort térmico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 736-755. DOI:10.1016/j.rser.2015.04.095

Morillón, D. (1993). *Bioclimática*. Sistemas pasivos de climatización. Guadalajara, Jalisco, México: Universidad de Guadalajara.

Morillón, D., López, M., Rodríguez, L. (1999). Análisis comparativo de costos de construcción entre un diseño convencional y un diseño bioclimático. *Memoria XXIII Semana Nacional de Energía Solar*. México

Morillón, D. (2000). *Metodología para el Diseño Bioclimático*. Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), México.

Morillón, D. (2004). *Atlas del bioclima de México*. Serie Investigación y Desarrollo, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Morillón, D., Ceballos, F.J. (2015). *Metodología para la sustentabilidad energética de los edificios, Vivienda net zero energy*. 1ra ed. Ciudad de México: Instituto de Ingeniería, UNAM.

Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones.- envolvente de edificios para uso habitacional. Diario Oficial de la Federación, 9 de agosto de 2011.

Negrete, A., Morales, D. (2001). *Estrategias de acondicionamiento natural para el ahorro de energía en el sector residencial*. Universidad Nacional Autónoma de México: 11. México

Normales climatológicas, periodo 1981-2010. Servicio Meteorológico Nacional, México, 2020.

Nuevo Atlas Nacional de México. (2017). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía.

Olgay, V. (1963.) *Design with climate*. Princeton University Press, Princeton.

ONU-Hábitat. (2019). Goal 11 in Action. 17 de enero, 2019, de ONU-Hábitat Recuperado de: <https://www.globalgoals.org/11-sustainable-cities-and-communities>

Oral, G. K., Yener, A. K., & Bayazit, N. T. (2004). Building envelope design with the objective to ensure thermal, visual, and acoustic comfort conditions. *Building and Environment*, 39(3), 281-287. Elsevier DOI: [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(03\)00141-0](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(03)00141-0)

Preciado, O., y Morillón, D. (2010), BIOSOL: Software para el estudio del bioclima, control solar e iluminación natural, *Memorias de la IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES_CLA) y XVII Simposio Peruano de Energía Solar (XVIIISPES)*, Cusco, Perú.

Resolución por la que se modifican los valores de coeficiente global de transferencia de calor (K) de la Tabla 1, se agregan definiciones y se acota la verificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones.- Envoltente de edificios para uso habitacional, publicada el 9 de agosto de 2011. Diario Oficial de la Federación. 4 de octubre de 2016.

Ritchie, A. y Thomas, R. (2009). *Sustainable Urban Design*. Nueva York: Taylor and Francis.

Romero R., Diego Morales D., Sandez A., (2000). *Consumo de energía eléctrica en el sector residencial en México: caso Mexicali*, B.C. UACM-UNAM: 815. México

Rosas-Flores, J.A., Rosas-Flores, D. (2020). Ahorro de energía potencial y mitigación de emisiones por aislamiento para edificios residenciales en México. *Energía y edificios*, 209, 209698. Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109698>

Sámano D., Álvarez G., Vázquez B., Morales J.D. (1990). *Estudio experimental y numérico del flujo de aire en techos y paredes de edificios construidos para operar en forma pasiva*. Temixco, Morelos. Informe del proyecto No. P220CCOR 892381. México

Sámano, D., Morales D. (1989). *Diseño térmico de la habitación*. Universidad Nacional Autónoma de México: 122. México.

Sapag Chain, N. (2011). *Proyectos de inversión*. 2da ed. Ciudad de México: Pearson Educación.

Schiavon, S., Hoyt, T., y Piccioli, A. (2014). Aplicación web para la visualización y el cálculo del confort térmico según la norma ASHRAE 55. *Building Simulation*, 7(4), 321-334. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12273-013-0162-3>.

Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. (2020). Acuerdo por el que se modifican las Reglas de Operación del Programa de Vivienda Social para el ejercicio fiscal 2020, publicadas el 4 de febrero de 2020.

Secretaría de Energía. (2011). *NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones. Envolvente de edificios para uso habitacional*. Recuperado de: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5203931&fecha=09/08/2011

Secretaría de Energía (2020). *Balance Nacional de Energía 2019* (p. 145). México.

Secretaría del Medio Ambiente. (2014) *Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014-2020*. Ciudad de México.

Servicio Meteorológico Nacional (1971-2000), *Normales Climatológicas*, Comisión Nacional del Agua, México. Recuperado de: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado> .

Sistema Nacional de Información e Indicadores de Vivienda (SNIIV). (2021). *Estadística de financiamientos a la vivienda*. Recuperado de: <https://sniiv.conavi.gob.mx/reportes/financiamientos.aspx>

Solís Santamaría, D., Robles Parra, J., & Rodríguez Preciado, J. (2020). Condiciones de mercado y vivienda sustentable. *Vivienda y Comunidades Sustentables*. México. DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i7.131>

Sousa Ramírez, G. (2011). *Rehabilitación térmica, energética y ambiental para la sustentabilidad de la vivienda en México*. (Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México

Szokolay, S. (1984) *Energetics in Design – Passive and low design for thermal and visual comfort*. Universidad de Queensland, Australia. Actas de la Conferencia Internacional sobre Ecotecnologías Pasivas y de Baja Energía Aplicadas a la Vivienda. Pergamon Press, Nueva York, 1984.

Van Der Heijden, J. (2017). *Innovations in Urban Climate Governance. Voluntary Programs for low-carbon buildings and cities*. Nueva York: Cambridge University Press.

Weston, J. F., Brigham, E. F., y Gómez-Mont, J. (1987). *Fundamentos de administración financiera*: Nueva Editorial Interamericana. México.

Widera, B. (2014). *La arquitectura bioclimática como oportunidad para los países en desarrollo*. 30a Conferencia Internacional PLEA: Hábitat sustentable para sociedades en desarrollo. En: Universidad CEPT, Ahmedabad, India. DOI: 10.13140/RG.2.1.2162.5768. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/276936256_Bioclimatic_architecture_as_an_opportunity_for_developing_countries/citation/download

World Wild Fund for Nature. (2019). *Cambio climático y energía*. Octubre 2019. Recuperado de: https://www.wwf.org.mx/que_hacemos/cambio_climatico_y_energia/

Zhang, X., Shen, L., y Wu, Y. (2011). Estrategia verde para obtener una ventaja competitiva en el desarrollo de viviendas: un estudio de China. *Journal of cleaner production*, 19 (2-3), 157-167. Elsevier.

Bibliografía

Acuerdo por el que la Comisión Reguladora de Energía determina continuar con la extensión de la vigencia del periodo tarifario inicial del Servicio Público de Transmisión y Distribución de energía eléctrica. Diario Oficial de la Federación, México: 15 de enero de 2020. Recuperado de: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5583943&fecha=15/01/2020

Alfonso, M. A., Gan, A. C. (2007). Diseño de una vivienda bioclimática con un sistema alternativo de energía. *Quinta conferencia Latinoamericana y del Caribe para la Ingeniería y la Tecnología*. Colombia

Almanza, R., Ángeles, L., Durán, D., Galileo, I., Méndez, F. Morales, A., ... Toledo, J.A. (2010). *Ingeniería de la energía solar para la sustentabilidad*. Serie Investigación y Desarrollo. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. México

Auliciems, A. (1972). *The Atmospheric Environment: A study of comfort and performance*. Toronto, Canadá: University of Toronto.

Auliciems, A. (1990) *Psychophysiological criteria for global zones of building design*. 1990. En: Proceedings 9th International Society of Biometeorology Conference.

Andrade Vallejo, A. (2007). *Diagnóstico del comportamiento térmico, energético y ambiental de la vivienda de interés social en México: una retrospectiva y prospectiva 2001-2012*. (Maestría). México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Asif, M., & Muneer, T. (2005). *Energy supply, its demand and security issues for developed and emerging economies*. Elsevier.

Barral, G. (2019). Diccionario Económico. Octubre 2019, de Expansión. España. Recuperado de: <https://www.expansion.com/diccionario-economico/encaje-bancario.html>

Bovill, C. (2015). *Sustainability in Architecture and Urban Design* (T. a. Francis Ed.). Nueva York: Taylor and Francis.

BSHF, Building and Social Housing Foundation. (2013). *Vivienda Sustentable en México y Latinoamérica: La Hipoteca Verde*. En World Housing Awards (Ed.), (pp. 40).

Cámara de Diputados. (1994). Crónica Parlamentaria. México. Septiembre 2019. Recuperado de: <http://cronica.diputados.gob.mx/Iniciativas/53/19.html>

Casals, X. G. (2006). Analysis of building energy regulation and certification in Europe: Their role, limitations, and differences. *Energy and Buildings*, 38(5), 381-392. Recuperado de: 10.1016/j.enbuild.2005.05.004

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, Secretaría de Energía. (2017). Guía Rápida de Cálculo de la NOM-020-ENER-2011, México.

Fuentes Pérez, C., Celis Flores, D., & Aranda Jiménez, Y. (2017). Estrategias de adaptabilidad y clasificación bioclimática al interior de la vivienda tradicional. *Revista de Arquitectura IMED*, 6(1), México: 22-48. DOI: <https://doi.org/10.18256/2318-1109/arqimed.v6n1p22-48>.

Gallego, L. (2013). *Diagnóstico y adecuación del comportamiento térmico de escuelas en distintas zonas climáticas en México*. (Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México.

Galván, P. (2004). Optimización del diseño térmico de un edificio a través de su envolvente, para reducir su ganancia de calor. (Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México.

Google Earth. Consultado en abril, 2020.

Higueras, E. (2006). *Urbanismo Bioclimático*. Barcelona, España: Gustavo Gili.

Honjo, T. (2009). *Thermal Comfort in Outdoor Environment*. Investigación ambiental global. Universidad de Chiba.13.

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. (2017) *¿Qué son las soluciones basadas en la naturaleza?* Recuperado de: <https://www.iucn.org/node/28778>

Islas, J. (4 de mayo 2021). *Desplegando el potencial de las energías renovables y del ahorro y uso eficiente de la energía*. Presentado para la Academia de Ingeniería, México.

Ley Federal sobre Metrología y Normalización. Diario Oficial de la Federación, 1 de julio de 1992.

López Rodríguez, F., Cuadros Blazquez, F., Segador Vegas, C. P., Ruiz Celma, A., Mena Nieto, A., Soutullo Castro, S., . . . García Sanz-Calcedo, J. (2011). *Edificio Peter: Un Ejemplo de Construcción Bioclimática y de Integración de Energías Renovables*. Dyna Ingeniería e Industria, 86(3), 212-221. DOI:10.6036/3911

Milán Ávila, G. (comp.). (1999). *La Sustentabilidad y las Ciudades hacia el Siglo XXI*. Puebla, Puebla: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Moreno Sánchez, J. (2010). *Beneficios económico-sociales al aplicar un proyecto de vivienda sustentable en el noroeste del país* (Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México.

Norma Oficial Mexicana NOM-023-ENER-2018, Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo dividido, descarga libre y sin conductos de aire. Límites, métodos de prueba y etiquetado. Diario Oficial de la Federación, 17 de julio de 2018.

Organización de las Naciones Unidas. (octubre de 2019). Obtenido de Objetivos del Desarrollo Sostenible. Recuperado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Pérez Castro, H., Flores, J., y López, A. (2013). Análisis de la ventilación inducida en un espacio habitable, mediante un sistema de chimenea hidro-solar. *Revista de la construcción*, 12(2), 127-138. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2013000200010>.

Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. (2019). Diario Oficial de la Federación. Recuperado de: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5565599&fecha=12/07/2019

Ramírez Flores, N. (2013). *Potencial estimado de ahorro de energía por la automatización de sistemas de control solar en viviendas*. (Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México.

Rubio-Bellido, C., Pulido-Arcas, J. A., y Cabeza-Lainez, J. M. (2015). Adaptation Strategies and Resilience to Climate Change of Historic Dwellings. *Sustainability*, 7(4), 3695-3713. doi:10.3390/su7043695.

Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. (2018). *La Política Nacional de Vivienda cumple 5 años de dar resultados positivos al país*. Septiembre, 2019, de Gobierno de México. Recuperado de: <https://www.gob.mx/sedatu/prensa/la-politica-nacional-de-vivienda-cumple-5-anos-de-dar-resultados-positivos-al-pais-sedatu>

Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. (2019). *Para contribuir a la pacificación del país, impulsa Sedatu nueva Política Nacional de Vivienda*. Recuperado de: <https://www.gob.mx/sedatu/prensa/para-contribuir-a-la-pacificacion-del-pais-impulsa-sedatu-nueva-politica-nacional-de-vivienda>

Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. (2019). *Programa Nacional de Vivienda 2019-2024*. Recuperado de: <https://www.gob.mx/sedatu/documentos/programa-nacional-de-vivienda-2019-2024>

Secretaría de Economía. (2013). *Norma Mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013. Edificación Sustentable Criterios y Requerimientos Ambientales Mínimos*. México. Recuperado de: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/DO3156.pdf>

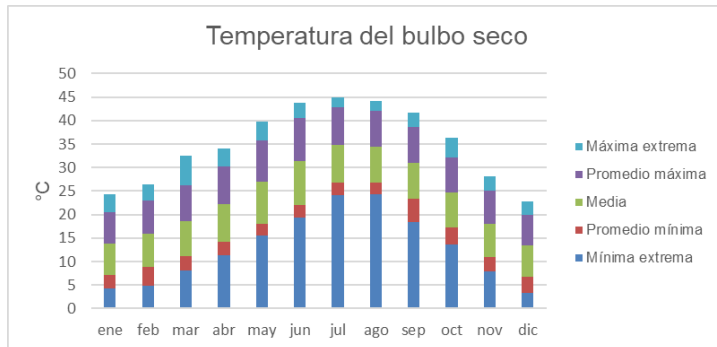
Sociedad Hipotecaria Federal. (2016). *Historia de Sociedad Hipotecaria Federal*. Octubre, 2019, de Gobierno de México. Recuperado de: <https://www.gob.mx/shf/acciones-y-programas/historia-de-sociedad-hipotecaria-federal>

United States Green Building Council. (2019). *Green Building Leadership*. Recuperado de: <https://new.usgbc.org/leed>

Vérut Von Ilberg, C. (2021). Edificaciones Sustentables para un Planeta en Riesgo. *Séptimo congreso nacional y tercero internacional Justicia Espacial, Sostenibilidad y Género*. Asociación Mexicana de Arquitectas y Urbanistas, A. C. México

Anexo 1. Análisis del bioclima cálido seco: Mexicali

Temperaturas promedio y extremas anuales para Mexicali



Fuente: Elaboración propia con base en normales climatológicas

Estimación de temperaturas horarias mensuales en Mexicali

ESTIMACION DE TEMPERATURAS HORARIAS MEDIAS MENSUALES, A PARTIR DE MEDIAS EXTREMAS.												
Localidad	Mexicali	Lat. (xx.x)	32.39	Long.(xxx.x)	115.28	Altitud (m)	3	ago	sep	oct	nov	dic
Temp max	20.500	22.900	26.200	30.200	35.700	40.600	42.900	42.000	38.700	32.100	25.000	20.000
Temp min	7.100	8.800	11.140	14.100	18.100	22.100	26.700	26.700	23.300	17.200	11.000	6.800
Temp med	13.8	15.9	18.7	22.2	26.9	31.4	34.8	34.4	31.0	24.7	18.0	13.4
Hora min	6.954	6.576	6.121	5.599	5.170	4.943	5.033	5.401	5.903	6.408	6.846	7.058
Hora max	14.584	16.076	14.371	14.979	14.050	14.193	15.283	15.401	16.033	16.088	16.216	15.808
Hora (TSV)												
00:00	11.1	12.7	15.9	18.7	22.7	26.7	30.8	30.9	27.9	22.2	15.1	10.8
01:00	10.3	11.9	15.0	17.8	21.8	25.8	30.0	30.1	27.1	21.3	14.3	10.0
02:00	9.6	11.2	14.3	17.1	21.1	25.1	29.4	29.4	26.4	20.5	13.6	9.4
03:00	9.1	10.7	13.7	16.5	20.5	24.5	28.8	28.9	25.8	19.9	13.0	8.8
04:00	8.6	10.3	13.2	16.0	20.0	24.0	28.4	28.4	25.3	19.3	12.6	8.4
05:00	8.3	9.9	12.7	15.6	19.6	22.1	28.0	28.1	24.9	18.9	12.2	8.0
06:00	8.0	9.7	12.4	14.1	18.3	22.5	27.0	26.8	23.3	18.5	11.9	7.7
07:00	7.1	8.8	11.3	14.8	19.7	24.3	28.4	27.7	23.7	17.3	11.0	7.5
08:00	7.3	9.4	12.6	16.9	22.5	27.5	31.1	29.9	25.2	18.1	11.3	7.0
09:00	8.6	11.2	15.0	19.9	26.0	31.3	34.4	32.8	27.9	20.3	12.8	8.1
10:00	11.0	14.1	18.0	23.2	29.5	34.8	37.6	35.9	31.0	23.2	15.4	10.4
11:00	13.9	17.1	21.0	26.1	32.3	37.6	40.1	38.6	34.0	26.2	18.5	13.2
12:00	16.7	19.8	23.4	28.3	34.3	39.5	41.8	40.5	36.3	28.7	21.3	16.0
13:00	18.8	21.7	25.1	29.6	35.3	40.3	42.6	41.5	37.8	30.6	23.4	18.2
14:00	20.1	22.8	25.9	30.0	35.5	40.3	42.7	41.8	38.5	31.7	24.7	19.5
15:00	20.6	23.0	26.0	29.8	34.9	39.6	42.1	41.5	38.4	31.9	25.1	20.1
16:00	20.3	22.5	25.5	29.0	33.8	38.3	41.0	40.6	37.8	31.6	24.7	19.9
17:00	19.5	21.5	24.6	27.8	32.4	36.8	39.7	39.5	36.8	30.8	23.9	19.2
18:00	18.4	20.2	23.4	26.4	30.9	35.1	38.3	38.1	35.5	29.6	22.7	18.1
19:00	17.1	18.8	22.0	24.9	29.3	33.4	36.8	36.7	34.1	28.3	21.3	16.8
20:00	15.7	17.3	20.6	23.5	27.7	31.8	35.3	35.3	32.7	27.0	19.9	15.4
21:00	14.4	16.0	19.3	22.1	26.2	30.3	34.0	34.0	31.3	25.6	18.5	14.1
22:00	13.2	14.7	18.0	20.8	24.9	28.9	32.8	32.8	30.1	24.3	17.2	12.9
23:00	12.1	13.6	16.9	19.7	23.7	27.7	31.7	31.8	28.9	23.2	16.1	11.8

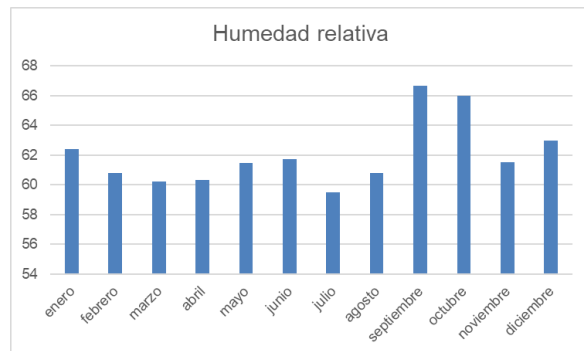
Fuente: Elaboración propia utilizando Biosol

Estimación de humedades relativas horarias medias mensuales para Mexicali

ESTIMACION DE HUMEDADES RELATIVAS HORARIAS MEDIAS MENSUALES, A PARTIR DE MEDIAS EXTREMAS.												
Localidad	Mexicali	Lat. (xx.x)	32.39	Long.(xxx.x)	115.28	Altitud (m)	3					
Esta hoja de cálculo estima la H R media horaria mensual a partir de los valores promedio de máxima y de mínima.												
Los valores de H R max y H R min pueden ser calculados a partir de la media en el caso de no contar con los valores observados.												
¿Desea utilizar valores observados? (Sí / No): No												
Si no cuenta con los valores de la H R media, éstos pueden ser estimados a partir de la temp. mínima.												
¿Cuenta con los valores observados? (Sí / No): No												
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Temp max	20.5	22.9	26.2	30.2	35.7	40.6	42.9	42.0	38.7	32.1	25.0	20.0
Temp med	13.8	15.8	18.8	22.1	26.9	31.3	34.8	34.4	31.0	24.6	18.0	13.4
Temp min	7.1	8.8	11.4	14.1	18.1	22.1	26.7	26.7	23.3	17.2	11.0	6.8
H R med calc	62	61	60	60	61	62	59	61	67	66	62	63
H R max calc	84	83	82	83	86	86	80	81	90	89	83	85
H R min calc	41	39	38	37	37	37	39	41	44	43	40	41
Hora max	6.954	6.576	6.121	5.599	5.170	4.943	5.033	5.401	5.903	6.408	6.846	7.058
Hora min	14.584	16.076	14.371	14.979	14.050	14.193	15.283	15.401	16.033	16.088	16.216	15.808
Hora (TSV)												
00:00	71	71	68	70	73	74	70	70	76	74	70	71
01:00	74	73	71	73	75	76	72	72	78	77	73	74
02:00	76	75	73	75	77	78	73	74	81	79	75	76
03:00	78	77	75	77	79	80	75	75	82	81	77	78
04:00	79	78	76	78	80	81	76	76	84	83	78	80
05:00	80	79	78	79	82	86	77	77	85	84	79	81
06:00	81	80	79	83	85	85	80	81	90	85	80	82
07:00	84	83	82	81	81	80	76	78	89	89	83	82
08:00	83	81	78	75	74	72	69	73	84	86	82	84
09:00	79	75	71	67	64	62	60	65	76	80	78	80
10:00	71	66	62	57	54	53	52	57	67	71	70	73
11:00	62	57	53	49	47	45	46	50	58	61	60	64
12:00	53	48	46	43	41	40	42	45	51	53	51	54
13:00	46	42	41	39	38	38	39	42	46	47	45	47
14:00	42	39	39	38	38	38	39	41	44	44	41	43
15:00	40	39	39	38	39	40	41	42	44	43	40	41
16:00	41	40	40	41	42	43	44	44	46	44	41	42
17:00	44	43	43	44	46	47	47	47	49	47	43	44
18:00	47	47	47	48	51	52	51	51	53	50	47	48
19:00	52	52	50	52	55	56	54	55	57	54	51	52
20:00	56	56	55	57	59	61	58	58	62	59	56	56
21:00	60	60	58	61	63	65	62	62	66	63	60	61
22:00	64	64	62	64	67	68	65	65	69	67	64	65
23:00	68	68	65	67	70	71	67	68	73	71	67	68

Fuente: Elaboración propia utilizando Biosol

Humedad relativa media mensual, Mexicali



Fuente: Elaboración propia

Cartas bioclimáticas

Considerando las temperaturas y humedades horarias, se elaboran dos cartas bioclimáticas.

En la carta bioclimática de Olgay se calculó el centro de la zona de confort para el mes de junio con la fórmula propuesta por Auliciems en 1981, que se calcula con temperatura media ambiente:

$$T_n = 17.6 + 0.31(T_{ma}), \text{ en } ^\circ\text{C}$$

Por lo que en el mes de junio existe una temperatura de confort de 27.3 °C.

Carta bioclimática de Olgay, modificada por Szokolay para Mexicali (junio)

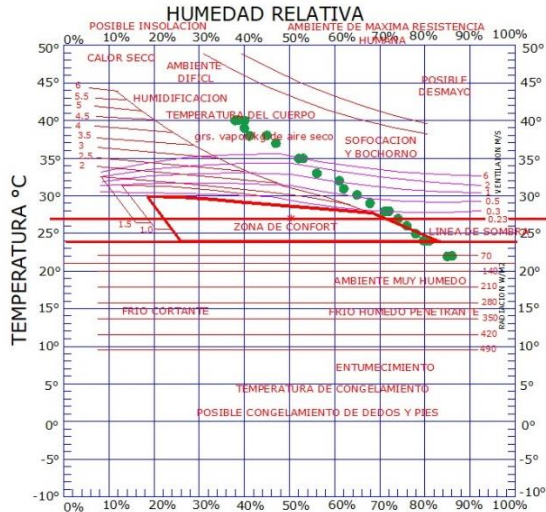


Diagrama de confort bioclimático en edificaciones (de Olgay, modificado por Szokolay), adaptado para las condiciones climáticas de Mexicali, Baja California.

Fuente: Elaboración propia con base en la carta bioclimática de Olgay.

Por otra parte, en la carta bioclimática de Givoni, se introducen los mismos datos de temperatura y humedad en el mes de junio, quedando la gráfica como se muestra a continuación.

Diagrama bioclimático de Givoni, modificado para Mexicali

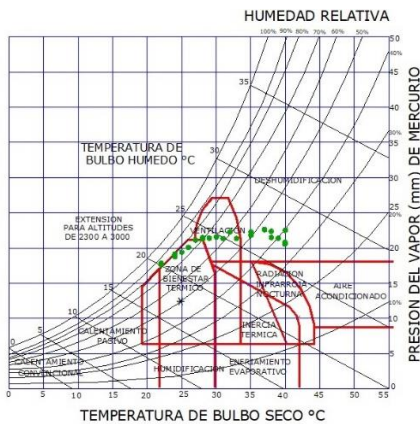


Diagrama de confort bioclimático en edificaciones (de B. Givoni), adaptado para las condiciones climáticas de Mexicali, B.C.

Fuente: Elaboración propia con base en el diagrama de Givoni

Se observa en los diagramas anteriores que durante el mes de junio únicamente hay algunas horas de confort, muy pocas horas de frío en la madrugada, y el resto del día se presenta calor.

Cálculo sensación térmica por PMV y PET

Se calculó el PMV (Predicted Mean Vote) horario para analizar las sensaciones térmicas.

PMV para Mexicali

PMV (Predicted Mean Vote)												
Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
00:00	-3	-2.6	-1.9	-1.3	-1.3	0.7	1.6	1.7	1	-0.4	-2.1	-3.1
01:00	-3.2	-2.8	-2.1	-1.5	-1.5	0.5	1.5	1.5	0.8	-0.6	-2.3	-3.2
02:00	-3.3	-3	-2.3	-1.6	-1.6	0.3	1.3	1.3	0.6	-0.8	-2.4	-3.4
03:00	-3.4	-3.1	-2.4	-1.7	-1.7	0.2	1.2	1.2	0.5	-0.9	-2.5	-3.5
04:00	-3.6	-3.2	-2.5	-1.8	-1.8	0.1	1.1	1.1	0.4	-1.1	-2.6	-3.6
05:00	-3.6	-3.3	-2.6	-1.9	-1.9	-0.4	1	1	0.3	-1.1	-2.7	-3.7
06:00	-3.7	-3.3	-2.7	-2.3	-2.3	0.3	1.4	1.1	0	-1.2	-2.8	-3.7
07:00	-3.9	-3.5	-2.5	-1.2	-1.2	1.6	2.6	2.3	1	-1	-2.9	-3.8
08:00	-3.3	-2.5	-1.4	0	0	2.9	3.8	3.5	2.1	0.1	-2	-3.3
09:00	-2.3	-1.5	-0.3	1.2	1.2	4.1	4.9	4.5	3.2	1.1	-1.1	-2.4
10:00	-1.4	-0.5	0.7	2.1	2.1	5.1	5.8	5.4	4.2	2	-0.1	-1.5
11:00	-0.6	0.4	1.5	2.8	2.8	5.7	6.3	6	4.9	2.8	0.7	-0.7
12:00	0.1	1	2	3.3	3.3	6	6.7	6.4	5.4	3.4	1.3	-0.1
13:00	0.5	1.3	2.4	3.6	3.6	6.2	6.9	6.6	5.7	3.8	1.7	0.3
14:00	0.5	1.4	2.4	3.6	3.6	6.2	6.9	6.7	5.8	3.9	1.8	0.4
15:00	0.2	1	2.1	3.3	3.3	5.9	6.6	6.4	5.5	3.6	1.6	0.2
16:00	-0.5	0.3	1.4	2.6	2.6	5.3	6	5.8	4.9	3	0.9	-0.5
17:00	-1.2	-0.7	0.3	1.6	1.6	4.3	5.1	4.9	3.9	1.9	-0.2	-1.3
18:00	-1.5	-1	-0.3	0.4	0.4	3.1	3.9	3.6	2.7	1.2	-0.5	-1.5
19:00	-1.7	-1.3	-0.6	0.1	0.1	2.1	3	3	2.3	0.9	-0.8	-1.8
20:00	-2	-1.7	-0.9	-0.2	-0.2	1.8	2.6	2.6	2	0.6	-1.1	-2.1
21:00	-2.3	-1.9	-1.2	-0.5	-0.5	1.5	2.4	2.4	1.7	0.3	-1.4	-2.4
22:00	-2.6	-2.2	-1.5	-0.8	-0.8	1.2	2.1	2.1	1.5	0	-1.6	-2.6
23:00	-2.8	-2.4	-1.7	-1	-1	0.9	1.8	1.9	1.2	-0.2	-1.9	-2.9

Fuente: Elaboración propia con base en cálculos del programa Rayman, 2020

Asimismo, se calculó el PET (Physiological Equivalent Temperature) que es la temperatura equivalente al confort, por hora y mes.

PET en grados centígrados para Mexicali

PET (Physiological Equivalent Temperature)												
(°C)												
Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
00:00	4.9	6.6	10.1	13.2	17.5	22.2	27.3	27.4	23.8	17	9.2	4.5
01:00	4.1	5.8	9.1	12.2	16.6	21.1	26.3	26.4	22.8	16.1	8.4	3.7
02:00	3.3	5.1	8.4	11.5	15.8	20.3	25.6	25.6	22	15.2	7.7	3.1
03:00	2.8	4.5	7.8	10.9	15.2	19.6	24.9	25	21.2	14.6	7	2.5
04:00	2.3	4.1	7.3	10.3	14.7	19	24.4	24.4	20.6	14	6.6	2.1
05:00	2	3.7	6.7	9.9	14.3	17	23.9	24	20.2	13.5	6.2	1.6
06:00	1.6	3.5	6.4	8.4	15	21.3	26.9	25.2	18.7	13.1	5.9	1.3
07:00	0.7	2.6	7.6	14.7	22.8	29.8	34.8	32.9	25.7	15.1	5.4	1.1
08:00	4.6	8.6	14.7	22.2	30.9	37.9	42.3	40.2	33.1	21.6	11.2	4.6
09:00	10.1	14.5	20.9	29.3	37.7	44.8	48.5	46.3	39.6	28.1	16.5	9.8
10:00	15.1	19.8	26.8	34.8	42.9	49.7	53.1	51	44.9	33.8	21.7	14.6
11:00	19.4	24.7	31.4	38.7	46.1	52.7	55.8	54.1	48.7	38.2	26.6	18.7
12:00	23.1	28.2	34.4	41.3	48.2	54.5	57.3	56	51.3	41.3	30.2	22.2
13:00	25	30	36.1	42.7	49.5	55.7	58.5	57.3	52.9	43.2	32.3	24.4
14:00	25.1	30	36	42.6	49.6	55.8	58.6	57.5	53.2	43.5	32.6	24.5
15:00	22.7	27.5	33.8	40.7	47.8	54	56.9	55.9	51.4	41.7	30.5	22.3
16:00	17.9	22.3	29.1	36.4	43.9	50.1	53.2	52.1	47.4	37.4	25.7	17.8
17:00	13.5	16	21.6	29.4	37.6	44.2	47.5	46.3	40.9	30.4	18.7	13.2
18:00	12.4	14.4	17.9	21.3	29.3	36.2	40	38.3	33	25.4	17.1	12.1
19:00	11.1	12.9	16.4	19.6	25.1	30.2	34.2	34.1	31.1	23.8	15.7	10.7
20:00	9.6	11.4	15	18.2	23.2	28.3	32.5	32.5	29.4	22.3	14.2	9.3
21:00	8.3	10	13.6	16.7	21.4	26.6	31	31	27.8	20.6	12.8	8
22:00	7.1	8.7	12.3	15.3	19.8	24.9	29.6	29.6	26.4	19.2	11.4	6.8
23:00	5.9	7.6	11.1	14.2	18.6	23.4	28.3	28.4	24.9	18	10.3	5.6

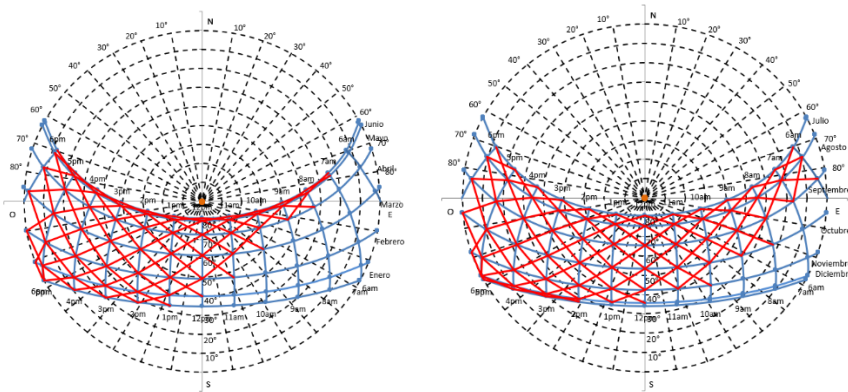
Fuente: Elaboración propia con base en cálculos del programa Rayman, 2020

Horas de frío, confort y calor en Mexicali

Sensación	Horas al año	%
Frío	3,852	44%
Confort	1,123	13%
Calor	3,785	43%
Total	8,760	100%

Fuente: Elaboración propia

Gráfica solar equidistante para el primer y segundo semestre del año, Mexicali



Fuente: Biosol

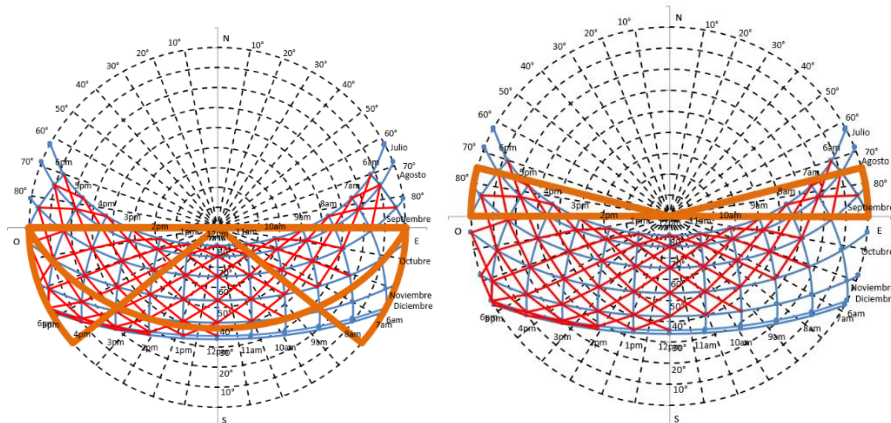
Número de horas que requieren ganancia de calor o protección por semestre

No. de horas que requieren ganancia de calor (T1) o protección (T2), semestre Enero-Junio							
Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	Total
T1	248	168	155	120	62	30	783
T2	155	196	248	270	341	360	1570

No. de horas que requieren ganancia de calor (T1) o protección (T2), semestre Julio-Diciembre							
Mes	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Total
T1	0	0	60	124	180	279	643
T2	403	403	330	279	210	124	1749

Fuente: Biosol

Control solar fachadas sur y norte en el segundo semestre del año



Fuente: Biosol

Recomendaciones para el diseño bioclimático en Mexicali

En este apartado se sugieren algunas estrategias para el mejor aprovechamiento del clima en el diseño del edificio y de esta manera, incidir directamente en el confort de los habitantes. Se dividen por los requerimientos de climatización: de ventilación, de sombreado, y de calefacción

Ventilación

Es importante aislar la vivienda y evitar infiltraciones de aire, por lo que se recomienda instalar ventanas que tengan poca permeabilidad, como las oscilobatientes o las proyectantes.

Construir la vivienda colindante con las vecinas y evitar las corrientes de aire.

Construir patios interiores cuando sea posible, con elementos de agua, como fuentes o espejos.

Construir a doble altura.

Se pueden construir chimeneas eólicas o captadores de viento.

Control Solar

Utilizar materiales que almacenen el calor (materiales masivos) en la envolvente.

Utilizar pinturas claras en techos, y materiales con alto índice de reflectancia solar. Asimismo, pinturas claras en el interior de la vivienda.

Sembrar árboles de hoja caduca sobre todo en las fachadas sur y oeste.

Ubicar las ventanas de mayor tamaño en las fachadas norte y sur y minimizar el tamaño de las ventanas de las fachadas este y oeste.

Utilizar vidrios tintados.

Elementos sombreadores necesarios en las fachadas sur y oeste. Se recomiendan partesoles a 15° y en la fachada suroeste aleros a 40° y partesoles a 40°.

Se recomienda la orientación de la vivienda norte-sur, o bien noroeste-sureste.

Techos planos o con poca pendiente, con un material aislante.

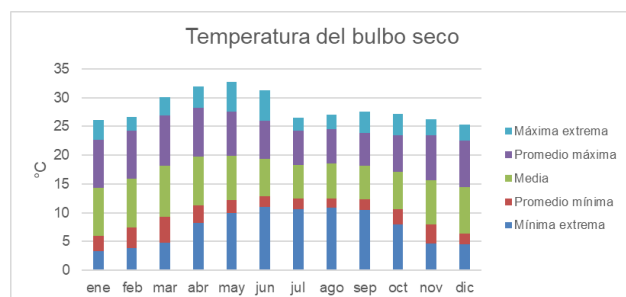
Calefacción

Construir parte de la vivienda bajo el nivel del piso.

Para viviendas unifamiliares, utilizar calefacción por geotermia.

Anexo 2. Análisis del bioclima templado: Ciudad de México

Temperaturas promedio y extremas anuales para CDMX



Fuente: Elaboración propia con base en normales climatológicas

Estimación de temperaturas horarias mensuales en CDMX

ESTIMACION DE TEMPERATURAS HORARIAS MEDIAS MENSUALES, A PARTIR DE MEDIAS EXTREMAS.												
Localidad	CDMX	Lat. (xx.x)	19.18	Long.(xxx.x)	99.08	Altitud (m)	2256					
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Temp max	22.70	24.20	26.90	28.20	27.50	26.00	24.30	24.50	23.90	23.50	23.40	22.50
Temp min	6.00	7.50	9.30	11.30	12.20	12.80	12.40	12.50	12.30	10.60	8.00	6.40
Temp med	14.35	15.85	18.10	19.75	19.85	19.40	18.35	18.50	18.10	17.05	15.70	14.45
Hora min	6.52	6.31	6.07	5.78	5.55	5.43	5.47	5.67	5.95	6.22	6.46	6.58
Hora max	13.93	13.81	12.90	13.45	13.14	13.34	12.72	13.17	13.54	13.39	13.96	13.83
Hora (TSV)												
00:00	10.4	11.7	13.5	15.1	15.5	15.6	14.9	15.1	15.0	13.8	12.0	10.7
01:00	9.6	10.9	12.7	14.4	14.9	15.0	14.4	14.6	14.5	13.2	11.2	9.9
02:00	8.9	10.3	12.1	13.8	14.3	14.6	14.0	14.2	14.1	12.7	10.6	9.2
03:00	8.3	9.7	11.5	13.3	13.9	14.2	13.7	13.9	13.7	12.3	10.1	8.7
04:00	7.9	9.3	11.1	12.9	13.6	13.9	13.4	13.6	13.4	11.9	9.7	8.2
05:00	7.5	8.9	10.7	12.6	13.3	13.7	13.2	13.4	13.2	11.7	9.3	7.8
06:00	7.2	8.6	10.4	11.3	12.4	13.1	12.6	12.6	12.3	11.4	9.1	7.5
07:00	6.2	8.0	10.3	13.0	14.4	15.0	14.3	14.0	13.2	11.1	8.3	6.6
08:00	8.5	10.7	13.6	16.6	17.8	18.0	17.0	16.5	15.5	13.3	10.5	8.6
09:00	12.2	14.6	17.8	20.5	21.4	21.1	19.7	19.4	18.2	16.3	14.0	12.2
10:00	16.1	18.3	21.6	24.0	24.3	23.5	21.9	21.7	20.7	19.2	17.5	15.9
11:00	19.3	21.3	24.4	26.4	26.3	25.1	23.4	23.4	22.5	21.4	20.4	19.0
12:00	21.4	23.2	26.2	27.8	27.3	25.9	24.2	24.3	23.5	22.8	22.3	21.2
13:00	22.5	24.1	26.8	28.1	27.4	25.9	24.2	24.5	23.9	23.4	23.2	22.2
14:00	22.6	24.0	26.6	27.7	26.9	25.4	23.8	24.1	23.7	23.3	23.3	22.4
15:00	22.0	23.4	25.7	26.8	25.9	24.5	23.0	23.4	23.0	22.8	22.7	21.9
16:00	21.0	22.2	24.4	25.4	24.7	23.4	22.0	22.4	22.2	21.9	21.7	20.9
17:00	19.6	20.8	22.9	23.9	23.3	22.2	21.0	21.3	21.1	20.8	20.5	19.6
18:00	18.1	19.3	21.3	22.4	21.9	21.0	19.9	20.2	20.1	19.6	19.1	18.1
19:00	16.5	17.7	19.7	20.8	20.5	19.8	18.8	19.2	19.0	18.4	17.6	16.6
20:00	15.0	16.3	18.2	19.4	19.3	18.8	17.8	18.2	18.0	17.3	16.3	15.2
21:00	13.7	14.9	16.8	18.1	18.1	17.8	16.9	17.2	17.1	16.2	15.0	13.9
22:00	12.4	13.7	15.5	17.0	17.1	16.9	16.2	16.4	16.3	15.3	13.9	12.7
23:00	11.3	12.6	14.4	16.0	16.2	16.2	15.5	15.7	15.6	14.5	12.9	11.6

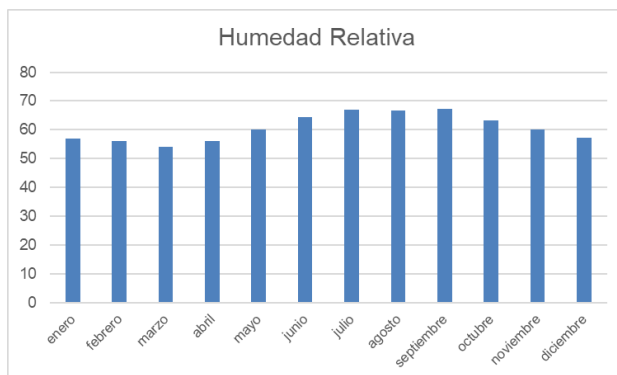
Fuente: Elaboración propia utilizando Biosol

Estimación de humedades horarias relativas CDMX

ESTIMACION DE HUMEDADES RELATIVAS HORARIAS MEDIAS MENSUALES, A PARTIR DE MEDIAS EXTREMAS.												
Localidad	CDMX	Lat. (xx.x)	19.18	Long.(xxx.x)	99.08	Altitud (m)	2256					
Esta hoja de cálculo estima la H R media horaria mensual a partir de los valores promedio de máxima y de mínima.												
Los valores de H R max y H R min pueden ser calculados a partir de la media en el caso de no contar con los valores observados.												
¿Desea utilizar valores observados? (Sí / No): No												
Si no cuenta con los valores de la H R media, éstos pueden ser estimados a partir de la temp. mínima.												
¿Cuenta con los valores observados? (Sí / No): No												
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Temp max	22.7	24.2	26.9	28.2	27.5	26.0	24.3	24.5	23.9	23.5	23.4	22.5
Temp med	14.3	15.8	18.1	19.8	19.8	19.4	18.3	18.5	18.1	17.1	15.2	14.5
Temp min	6.0	7.5	9.3	11.3	12.2	12.8	12.4	12.5	12.3	10.6	8.0	6.4
H R med calc	57	56	54	56	60	65	67	67	67	63	60	57
H R max calc	80	79	77	79	83	86	88	87	88	84	85	80
H R min calc	33	33	32	34	38	43	46	46	47	42	36	34
Hora max	6.519	6.315	6.066	5.781	5.548	5.425	5.474	5.672	5.947	6.223	6.461	6.575
Hora min	13.929	13.815	12.896	13.451	13.138	13.335	12.724	13.172	13.537	13.393	13.961	13.825
Hora (TSV)												
00:00	68	67	66	68	73	77	79	78	78	74	72	68
01:00	70	70	68	70	75	79	81	80	80	76	74	70
02:00	72	71	70	72	76	80	82	81	82	77	76	72
03:00	74	73	71	73	78	81	83	83	83	79	78	74
04:00	75	74	72	74	79	82	84	84	84	80	79	75
05:00	76	75	73	75	79	83	85	84	85	81	80	76
06:00	77	76	74	78	82	85	87	87	88	81	81	77
07:00	80	78	74	74	76	79	81	82	85	83	84	80
08:00	73	70	66	65	66	69	72	73	77	75	77	74
09:00	63	60	55	54	56	59	62	64	67	66	66	64
10:00	52	49	45	45	47	51	54	56	58	56	54	53
11:00	43	41	38	38	41	46	49	50	52	49	45	44
12:00	37	36	33	35	38	43	47	47	48	45	39	38
13:00	34	33	32	34	38	43	46	46	47	43	36	35
14:00	34	34	32	35	39	45	48	47	48	43	36	35
15:00	35	35	35	38	42	48	51	50	50	45	38	36
16:00	38	39	38	41	46	51	54	53	53	48	41	39
17:00	42	42	42	45	50	55	58	57	57	51	45	43
18:00	46	47	46	49	54	59	62	61	60	55	50	47
19:00	51	51	50	53	58	63	65	64	64	59	54	51
20:00	55	55	54	57	62	67	69	68	68	63	58	55
21:00	59	59	58	60	65	70	72	71	71	66	62	59
22:00	62	62	61	64	68	73	75	74	74	69	66	62
23:00	65	65	64	66	71	75	77	76	76	72	69	65

Fuente: Elaboración propia utilizando Biosol.

Humedad relativa media mensual, CDMX



Fuente: Elaboración propia

Cartas bioclimáticas

Considerando las temperaturas y humedades horarias, se elaboran dos cartas bioclimáticas.

En la carta bioclimática de Olgay se calculó el centro de la zona de confort para el mes de junio con la fórmula propuesta por Auliciems en 1981, que se calcula con temperatura media ambiente:

$$T_n = 17.6 + 0.31(T_{ma}), \text{ en } ^\circ\text{C}$$

Por lo que en el mes de junio existe una temperatura de confort de 23.6°C para la ciudad de México.

Carta bioclimática de Olgay, modificada por Szokolay para CDMX (mes de junio)

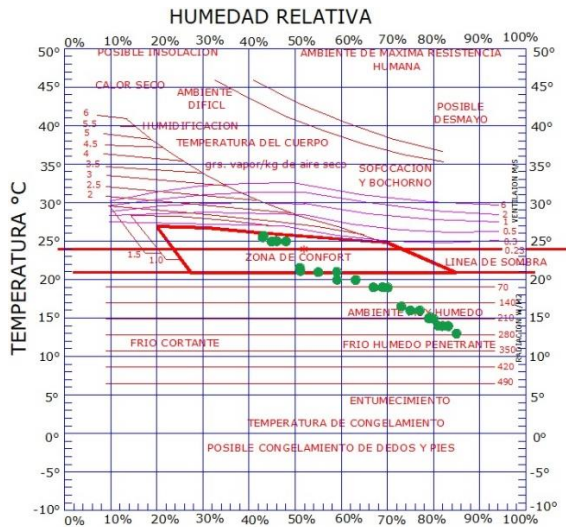


Diagrama de confort bioclimático en edificaciones (de Olgay, modificado por Szokolay), adaptado para las condiciones climáticas de Ciudad de México.

Fuente: Elaboración propia con base en la carta bioclimática de Olgay.

Por otra parte, para el diagrama de Givoni se consideró el mismo mes, quedando como sigue.

Diagrama bioclimático de Givoni, modificado para CDMX

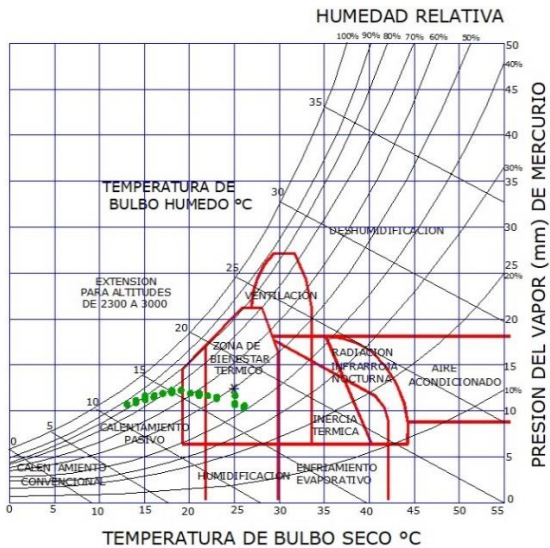


Diagrama de confort bioclimático en edificaciones (de B. Givoni), adaptado para las condiciones climáticas de Ciudad de México.

Fuente: Elaboración propia con base en el diagrama de Givoni

Cálculo sensación térmica por PMV y PET

Se calculó el PMV (Predicted Mean Vote) horario para analizar las sensaciones térmicas.

PMV para CDMX

Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
00:00	-3.2	-2.9	-2.5	-2.1	-2	-1.9	-2.1	-2.1	-2.1	-2.4	-2.7	-3.1
01:00	-3.4	-3.1	-2.7	-2.3	-2.1	-2.1	-2.2	-2.2	-2.2	-2.5	-3	-3.3
02:00	-3.5	-3.2	-2.8	-2.4	-2.3	-2.2	-2.3	-2.3	-2.3	-2.6	-3.1	-3.4
03:00	-3.6	-3.3	-2.9	-2.5	-2.3	-2.3	-2.4	-2.3	-2.4	-2.7	-3.2	-3.5
04:00	-3.7	-3.4	-3	-2.6	-2.4	-2.3	-2.4	-2.4	-2.4	-2.8	-3.3	-3.7
05:00	-3.8	-3.5	-3.1	-2.6	-2.5	-2.4	-2.5	-2.4	-2.5	-2.8	-3.4	-3.7
06:00	-3.9	-3.6	-3.2	-2.9	-2.5	-2.2	-2.3	-2.4	-2.7	-2.9	-3.4	-3.8
07:00	-3.9	-3.3	-2.5	-1.6	-1.1	-0.8	-1	-1.1	-1.5	-2.2	-3.2	-3.8
08:00	-2.5	-1.9	-1	-0.1	0.3	0.5	0.3	0.1	-0.2	-1	-1.9	-2.5
09:00	-1.2	-0.5	0.4	1.2	1.5	1.5	1.2	1.1	0.8	0.1	-0.6	-1.2
10:00	-0.1	0.5	1.4	2	2.1	2.1	1.8	1.7	1.4	0.9	0.3	-0.1
11:00	0.7	1.2	2	2.5	2.5	2.3	2	2	1.8	1.4	1	0.6
12:00	1.2	1.6	2.4	2.7	2.5	2.3	2	2	1.9	1.7	1.4	1.1
13:00	1.4	1.8	2.5	2.9	2.7	2.5	2.2	2.2	2.1	1.8	1.6	1.3
14:00	1.3	1.7	2.5	2.8	2.7	2.5	2.2	2.2	2.1	1.8	1.6	1.2
15:00	0.9	1.3	2.1	2.5	2.4	2.2	1.9	2	1.8	1.5	1.2	0.9
16:00	0.1	0.6	1.3	1.8	1.8	1.6	1.3	1.4	1.2	0.9	0.5	0.1
17:00	-1	-0.6	0.2	0.7	0.8	0.7	0.5	0.5	0.2	-0.1	-0.6	-1
18:00	-1.5	-1.3	-0.8	-0.5	-0.5	-0.5	-0.7	-0.8	-1	-1.1	-1.3	-1.5
19:00	-1.9	-1.6	-1.1	-0.9	-0.9	-1	-1.3	-1.2	-1.2	-1.4	-1.6	-1.9
20:00	-2.2	-1.9	-1.5	-1.2	-1.2	-1.3	-1.5	-1.4	-1.4	-1.6	-1.9	-2.1
21:00	-2.5	-2.2	-1.8	-1.5	-1.4	-1.5	-1.7	-1.6	-1.6	-1.9	-2.2	-2.4
22:00	-2.8	-2.5	-2	-1.7	-1.6	-1.7	-1.8	-1.8	-1.8	-2.1	-2.4	-2.7
23:00	-3	-2.7	-2.3	-1.9	-1.8	-1.8	-2	-1.9	-1.9	-2.2	-2.6	-2.9

Fuente: Elaboración propia con base en cálculos del programa Rayman, 2020

Asimismo, se calculó el PET (Physiological Equivalent Temperature) que es la temperatura equivalente al confort, por hora y mes.

PET en grados centígrados para CDMX

Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
00:00	4.1	5.5	7.4	9.2	9.7	9.9	9.1	9.4	9.2	7.9	6.1	4.4
01:00	3.2	4.6	6.6	8.5	9.1	9.3	8.6	8.8	8.7	7.3	5	3.5
02:00	2.5	4	6	7.9	8.5	8.8	8.2	8.4	8.3	6.7	4.4	2.8
03:00	1.9	3.4	5.3	7.3	8	8.4	7.9	8.1	7.9	6.3	3.9	2.3
04:00	1.4	3	4.9	6.9	7.7	8.1	7.6	7.8	7.6	5.9	3.5	1.8
05:00	1	2.5	4.5	6.6	7.4	7.9	7.4	7.6	7.4	5.7	3	1.3
06:00	0.7	2.2	4.2	5.2	7.4	9	8.6	7.8	6.5	5.4	2.8	1
07:00	1.1	4.1	8.3	13	15.8	17.1	16.4	15.6	13.7	9.7	4.8	1.7
08:00	8.9	12.3	16.9	21.7	24	24.9	23.9	23	21	17	12.3	9.1
09:00	16	19.5	24.7	29.2	30.8	31	29.6	29.1	27.2	23.4	18.9	16
10:00	21.9	25.5	30.6	34.2	34.7	34.4	32.8	32.5	31	28.1	24.5	21.6
11:00	26.5	29.6	34	36.5	36.2	35.6	34	33.9	32.7	30.7	28.4	26
12:00	29.1	31.9	35.9	37.7	36.3	35.5	34	33.8	33.3	32.1	30.6	28.8
13:00	30.2	32.8	36.8	38.5	37.5	36.5	34.9	35.1	34.3	33	31.6	29.7
14:00	29.5	32.1	36.3	38.4	37.6	36.6	35	35.3	34.5	32.8	31.2	29.3
15:00	26.9	29.7	34	36.6	36	35	33.4	33.8	32.8	31	29	26.8
16:00	22	24.7	29.2	32.1	32.1	31.2	29.7	29.9	28.9	26.8	24.3	22
17:00	15	17.3	21.5	24.9	25.7	25.2	23.8	23.6	22.1	19.7	17.4	15.2
18:00	12	13.4	15.5	16.8	17.3	17.2	16.1	15.7	14.6	13.9	13.2	12.1
19:00	10.4	11.7	13.9	15.1	14.9	14.2	13.2	13.6	13.4	12.7	11.7	10.5
20:00	8.9	10.3	12.3	13.7	13.7	13.1	12.2	12.6	12.4	11.5	10.3	9.1
21:00	7.5	8.8	10.9	12.3	12.4	12.2	11.2	11.5	11.4	10.4	9	7.7
22:00	6.1	7.6	9.5	11.2	11.4	11.2	10.5	10.7	10.6	9.4	7.9	6.5
23:00	5	6.4	8.4	10.2	10.5	10.5	9.8	10	9.9	8.6	6.8	5.3

Fuente: Elaboración propia con base en cálculos del programa Rayman, 2020

Del diagrama del bioclima se observa que la mayoría de las horas se presenta frío o calor, con pocas horas de confort.

Horas de frío, confort y calor en CDMX

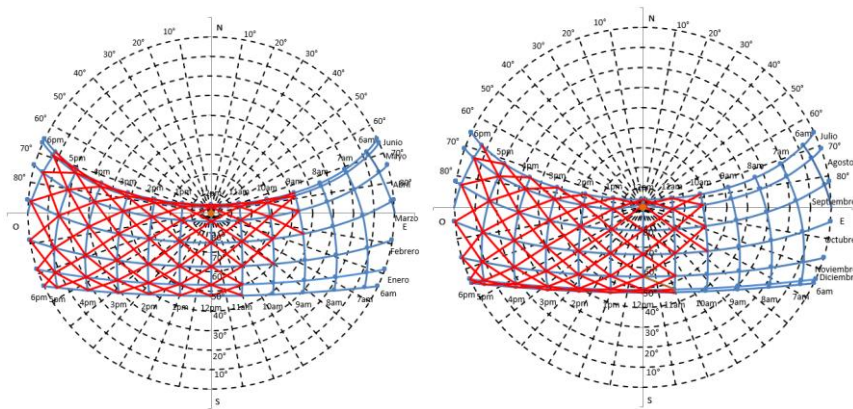
Sensación	Horas al año	%
Frío	5,685	65%
Confort	793	9%
Calor	2,282	26%
Total	8,760	100%

Fuente: Elaboración propia

Control solar

Utilizando el software Biosol, se generan dos gráficas solares que corresponden al primer y al segundo semestre del año. De estas gráficas se puede conocer y visualizar el número de horas por mes en las que se requiere ganancia de calor o bien, protección solar (en rojo).

Gráfica solar equidistante para el primer y segundo semestre del año, CDMX



Fuente: Biosol

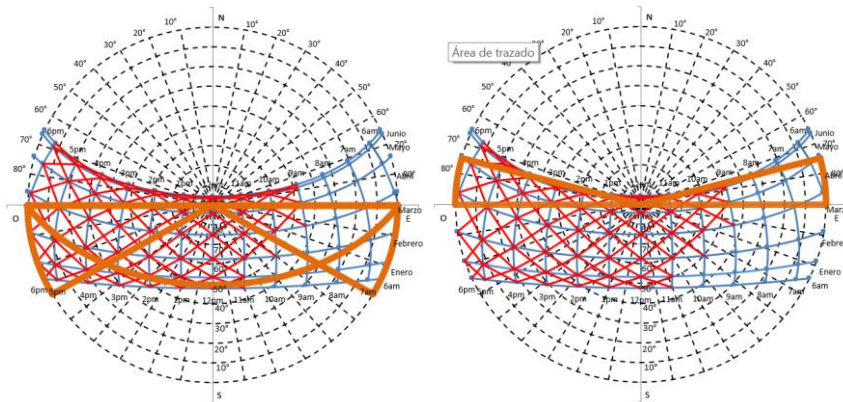
Número de horas que requieren ganancia de calor o protección por semestre

No. de horas que requieren ganancia de calor (T1) o protección (T2), semestre Enero-Junio							
Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	Total
T1	186	140	124	90	93	90	723
T2	217	224	279	300	310	300	1630

No. de horas que requieren ganancia de calor (T1) o protección (T2), semestre Julio-Diciembre							
Mes	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Total
T1	155	155	150	186	180	186	1012
T2	248	248	240	217	210	217	1380

Fuente: Biosol

Control solar fachadas sur y norte en el primer semestre del año



Fuente: Biosol

Recomendaciones para el diseño bioclimático en Ciudad de México

Se dividen las estrategias conforme al requerimiento: de ventilación, de control solar y de calefacción.

Ventilación

Ubicar la vivienda en medio del lote, para procurar la ventilación.

En la vivienda puede ser unilateral, o cruzada con ventanas de buen sellado, por ejemplo, abatibles.

Se recomienda construir las ventanas al nivel de los habitantes.

Altura de entepiso entre 2.3 y 2.5 metros.

Patios al interior de la vivienda que puedan tener elementos de agua.

Control solar

Orientar la vivienda en el eje este-oeste o noreste-suroeste con elementos sombreadores en las fachadas principales.

Árboles de hoja caduca en las fachadas sur y este y de hoja perenne en fachada oeste.

Techos inclinados y con materiales aislantes en la cubierta. Se pueden aprovechar para instalar techos verdes con vegetación que requiera poco mantenimiento.

Los aleros y partesoles se recomiendan en las fachadas sur y oeste, junto con el uso de la vegetación para mayor protección.

Tragaluces orientados hacia la fachada norte y con protección solar.

Procurar ventanas grandes en fachadas este y sur con control solar para aprovechar iluminación natural y mínimas en la fachada oeste.

Calefacción

Utilizar materiales masivos en la envolvente, como concreto, ladrillo u hormigón para almacenar las ganancias de calor en el día y liberarlo en la noche. En el exterior utilizar un material aislante (como poliestireno).

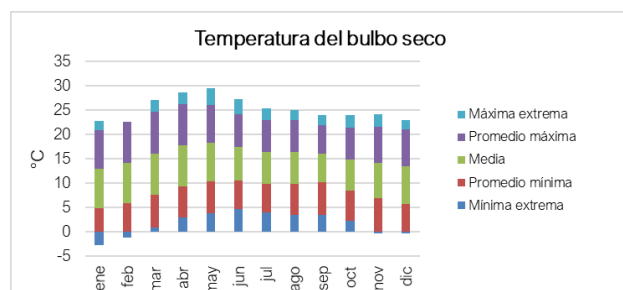
Procurar vivienda compacta, en forma de cubo

Evitar infiltraciones de aire por las noches en ventanas y puertas.

Evitar los remetimientos en las fachadas.

Anexo 3. Análisis del bioclima semifrío: Tulancingo

Temperaturas promedio y extremas anuales para Tulancingo



Fuente: Elaboración propia con base en normales climatológicas

Estimación de temperaturas horarias mensuales en Tulancingo

ESTIMACION DE TEMPERATURAS HORARIAS MEDIAS MENSUALES, A PARTIR DE MEDIAS EXTREMAS.												
Localidad	Tulancingo	Lat. (xx.x)	20.05	Long.(xxx.x)	98.21	Altitud (m)	2207					
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	díc
Temp max	20.900	22.500	24.600	26.200	26.100	24.200	22.900	22.900	21.800	21.300	21.500	21.100
Temp min	4.900	5.900	7.500	9.300	10.300	10.500	9.800	9.800	10.100	8.400	6.800	5.700
Temp med	12.9	14.2	16.1	17.8	18.2	17.4	16.4	16.4	16.0	14.9	14.2	13.4
Hora min	6.545	6.331	6.070	5.770	5.525	5.397	5.448	5.656	5.944	6.234	6.484	6.604
Hora max	13.955	13.831	12.900	13.440	13.115	13.307	12.698	13.156	13.534	13.404	13.984	13.854
Hora (TSV)												
00:00	9.1	10.1	11.6	13.1	13.7	13.4	12.6	12.7	12.8	11.6	10.6	9.8
01:00	8.3	9.3	10.8	12.4	13.0	12.8	12.0	12.1	12.3	11.0	9.9	9.0
02:00	7.7	8.7	10.2	11.8	12.5	12.4	11.6	11.7	11.9	10.5	9.3	8.4
03:00	7.1	8.1	9.7	11.3	12.1	12.0	11.2	11.3	11.5	10.1	8.8	7.9
04:00	6.7	7.7	9.2	10.9	11.7	11.7	10.9	11.0	11.2	9.7	8.4	7.4
05:00	6.3	7.3	8.9	10.6	11.4	11.4	10.7	10.7	11.0	9.5	8.1	7.1
06:00	6.0	7.0	8.6	9.3	10.5	10.8	10.0	9.9	10.1	9.2	7.8	6.8
07:00	5.1	6.4	8.5	11.1	12.7	12.9	12.0	11.4	11.0	8.9	7.0	5.8
08:00	7.2	9.0	11.7	14.6	16.2	16.0	14.9	14.3	13.3	11.1	9.1	7.8
09:00	10.8	12.9	15.7	18.6	19.8	19.1	17.9	17.3	16.1	14.1	12.4	11.1
10:00	14.5	16.6	19.4	22.0	22.8	21.6	20.4	19.9	18.5	17.0	15.8	14.7
11:00	17.5	19.6	22.2	24.4	24.9	23.3	22.0	21.7	20.3	19.2	18.6	17.7
12:00	19.6	21.5	23.9	25.8	25.9	24.1	22.7	22.6	21.4	20.6	20.4	19.8
13:00	20.7	22.4	24.5	26.1	26.0	24.1	22.8	22.8	21.8	21.2	21.3	20.8
14:00	20.8	22.3	24.3	25.7	25.5	23.6	22.3	22.5	21.6	21.2	21.4	21.0
15:00	20.3	21.7	23.5	24.8	24.5	22.6	21.5	21.7	20.9	20.6	20.9	20.6
16:00	19.3	20.5	22.2	23.4	23.2	21.5	20.4	20.6	20.1	19.7	19.9	19.6
17:00	18.0	19.1	20.7	21.9	21.7	20.3	19.2	19.4	19.0	18.6	18.7	18.3
18:00	16.5	17.6	19.2	20.3	20.3	19.0	18.0	18.2	17.9	17.4	17.4	17.0
19:00	15.0	16.1	17.6	18.8	18.9	17.8	16.8	17.1	16.9	16.2	16.0	15.5
20:00	13.6	14.6	16.1	17.4	17.6	16.7	15.7	16.0	15.9	15.1	14.7	14.2
21:00	12.3	13.3	14.8	16.1	16.4	15.6	14.8	15.0	15.0	14.0	13.5	12.9
22:00	11.1	12.1	13.5	15.0	15.3	14.8	13.9	14.1	14.1	13.1	12.4	11.7
23:00	10.0	11.0	12.5	14.0	14.4	14.0	13.2	13.3	13.4	12.3	11.5	10.7

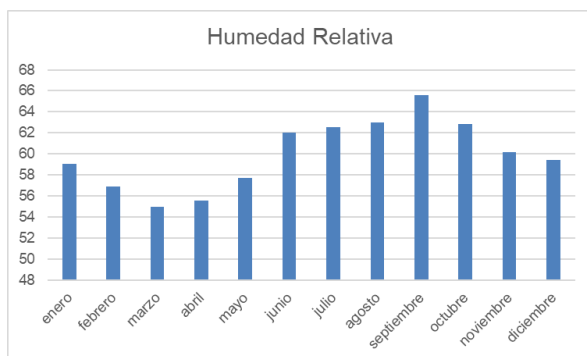
Fuente: Elaboración propia utilizando Biosol

Estimación de humedades horarias relativas de Tulancingo

ESTIMACION DE HUMEDADES RELATIVAS HORARIAS MEDIAS MENSUALES, A PARTIR DE MEDIAS EXTREMAS.												
Localidad	Tulancingo	Lat. (xx.x)	20.05	Long.(xxx.x)	98.21	Altitud (m)	2207					
Esta hoja de cálculo estima la H R media horaria mensual a partir de los valores promedio de máxima y de mínima.												
Los valores de H R max y H R min pueden ser calculados a partir de la media en el caso de no contar con los valores observados.												
¿Desea utilizar valores observados? (Sí / No): No												
Si no cuenta con los valores de la H R media, éstos pueden ser estimados a partir de la temp. mínima.												
¿Cuenta con los valores observados? (Sí / No): No												
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Temp max	20.9	22.5	24.6	26.2	26.1	24.2	22.9	22.9	21.8	21.3	21.5	21.1
Temp med	12.9	14.2	16.1	17.7	18.2	17.3	16.4	16.3	16.0	14.9	14.1	13.4
Temp min	4.9	5.9	7.5	9.3	10.3	10.5	9.8	9.8	10.1	8.4	6.8	5.7
H R med calc	59	57	55	56	58	62	63	63	66	63	60	59
H R max calc	83	80	78	78	80	84	84	84	86	84	83	83
H R min calc	35	34	32	33	35	40	42	42	45	42	37	36
Hora max	6.545	6.331	6.070	5.770	5.525	5.397	5.448	5.656	5.944	6.234	6.484	6.604
Hora min	13.955	13.831	12.900	13.440	13.115	13.307	12.698	13.156	13.534	13.404	13.984	13.854
Hora (TSV)												
00:00	70	69	67	68	70	75	75	75	76	73	71	70
01:00	73	71	69	70	72	76	76	77	78	75	73	72
02:00	75	73	71	72	74	78	78	78	80	77	75	74
03:00	76	74	72	73	75	79	79	79	81	78	77	76
04:00	78	75	73	74	76	80	80	80	82	79	78	77
05:00	79	76	74	75	77	81	81	81	83	80	79	78
06:00	79	77	75	78	79	83	83	84	86	81	80	79
07:00	82	79	75	74	73	76	77	79	83	82	82	82
08:00	76	71	67	64	63	66	67	70	75	75	76	76
09:00	65	61	56	53	53	56	58	60	65	65	65	66
10:00	54	50	46	44	45	48	50	51	57	56	55	55
11:00	45	42	39	38	39	43	45	45	50	49	47	46
12:00	39	36	34	34	36	41	42	42	47	44	41	40
13:00	36	34	32	33	36	41	42	42	46	42	38	37
14:00	36	34	33	34	37	42	43	43	46	42	38	36
15:00	37	36	35	37	40	45	46	46	48	44	39	38
16:00	40	39	39	40	44	49	50	49	51	47	42	41
17:00	44	43	43	44	48	53	53	53	55	51	46	45
18:00	48	47	47	49	52	57	57	57	59	55	50	49
19:00	53	52	51	53	56	61	61	61	62	58	54	53
20:00	57	56	55	57	60	64	65	64	66	62	58	57
21:00	61	60	58	60	63	67	68	67	69	65	62	61
22:00	64	63	62	63	66	70	70	70	72	69	65	64
23:00	68	66	64	66	68	73	73	73	74	71	68	68

Fuente: Elaboración propia utilizando Biosol.

Humedad relativa media mensual, Tulancingo



Fuente: Elaboración propia

Cartas bioclimáticas

Considerando las temperaturas y humedades horarias, se elaboran dos cartas bioclimáticas.

En la carta bioclimática de Olgay se calculó el centro de la zona de confort para el mes de junio con la fórmula propuesta por Auliciems en 1981, que se calcula con temperatura media ambiente:

$$T_n = 17.6 + 0.31(T_{ma}), \text{ en } ^\circ\text{C}$$

Por lo que en el mes de junio existe una temperatura de confort de 23 °C.

Carta bioclimática de Olgay, modificada por Szokolay para Tulancingo (junio)

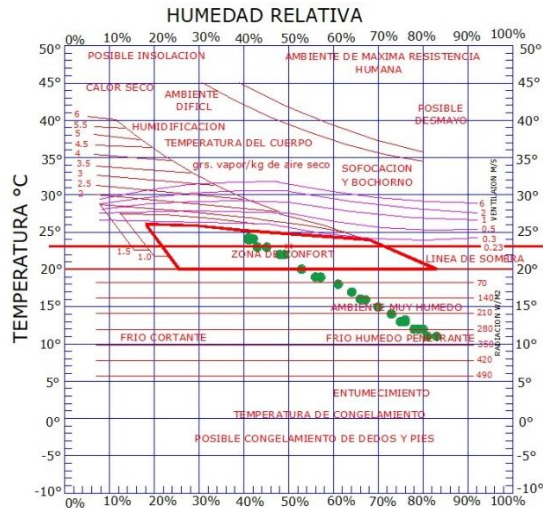


Diagrama de confort bioclimático en edificaciones (de Olgay, modificado por Szokolay), adaptado para las condiciones climáticas de Tulancingo, Hidalgo.

Fuente: Elaboración propia con base en la carta bioclimática de Olgay.

Para el diagrama de Givoni se consideran los mismos datos para el mes de junio, resultado una gráfica como se muestra a continuación.

Diagrama bioclimático de Givoni, modificado para Tulancingo

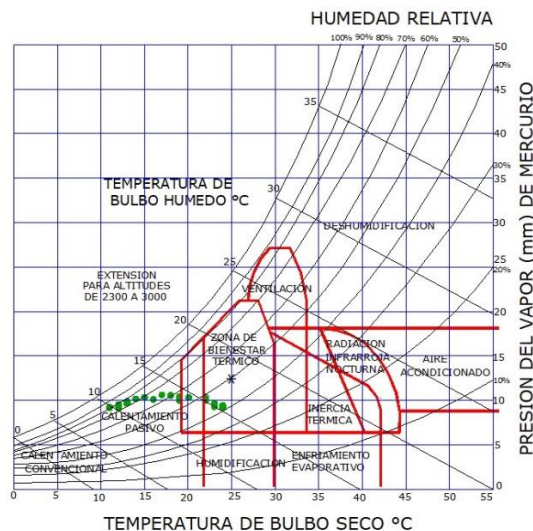


Diagrama de confort bioclimático en edificaciones (de B. Givoni), adaptado para las condiciones climáticas de Tulancingo, Hidalgo.

Fuente: Elaboración propia con base en el diagrama de Givoni

Se observa en los diagramas anteriores que la mayoría de las horas en el mes de junio se presentan condiciones de frío y solamente en algunas horas existe confort.

Cálculo sensación térmica por PMV y PET

Se calculó el PMV (Predicted Mean Vote) horario para analizar las sensaciones térmicas.

PMV para Tulancingo

PMV (Predicted Mean Vote)												
Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
00:00	-3.5	-3.2	-2.9	-2.6	-2.4	-2.5	-2.6	-2.6	-2.6	-2.9	-3.1	-3.3
01:00	-3.6	-3.4	-3.1	-2.7	-2.6	-2.6	-2.8	-2.8	-2.7	-3	-3.3	-3.5
02:00	-3.8	-3.6	-3.2	-2.8	-2.7	-2.7	-2.9	-2.8	-2.8	-3.1	-3.4	-3.6
03:00	-3.9	-3.7	-3.3	-3	-2.8	-2.8	-3	-2.9	-2.9	-3.2	-3.5	-3.7
04:00	-4	-3.8	-3.4	-3	-2.9	-2.8	-3	-3	-2.9	-3.3	-3.6	-3.8
05:00	-4.1	-3.9	-3.5	-3.1	-2.9	-2.9	-3.1	-3.1	-3	-3.3	-3.7	-3.9
06:00	-4.1	-3.9	-3.6	-3.4	-3	-2.7	-2.9	-3	-3.2	-3.4	-3.7	-4
07:00	-4.1	-3.7	-2.9	-2	-1.5	-1.3	-1.5	-1.7	-2	-2.7	-3.5	-4
08:00	-2.8	-2.3	-1.4	-0.5	-0.1	0	-0.2	-0.4	-0.7	-1.5	-2.2	-2.7
09:00	-1.5	-0.9	-0.1	0.7	1.1	1	0.8	0.6	0.3	-0.4	-1	-1.5
10:00	-0.5	0.1	0.9	1.6	1.8	1.6	1.4	1.3	0.9	0.4	0	-0.4
11:00	0.3	0.8	1.5	2	2.1	1.9	1.6	1.6	1.3	0.9	0.6	0.3
12:00	0.7	1.2	1.9	2.3	2.2	1.9	1.6	1.6	1.4	1.2	1	0.8
13:00	1	1.4	2	2.4	2.3	2	1.8	1.8	1.6	1.3	1.2	1
14:00	0.9	1.3	1.9	2.4	2.3	2	1.8	1.8	1.6	1.3	1.1	0.9
15:00	0.5	0.9	1.6	2	2.1	1.7	1.5	1.5	1.3	1	0.8	0.6
16:00	-0.2	0.2	0.8	1.3	1.4	1.2	0.9	0.9	0.7	0.4	0.1	-0.2
17:00	-1.4	-1	-0.3	0.3	0.5	0.3	0	0	-0.3	-0.7	-1	-1.3
18:00	-1.9	-1.6	-1.3	-1	-0.8	-1	-1.2	-1.3	-1.5	-1.6	-1.7	-1.8
19:00	-2.2	-2	-1.6	-1.3	-1.3	-1.5	-1.7	-1.7	-1.7	-1.9	-2	-2.1
20:00	-2.5	-2.3	-1.9	-1.6	-1.6	-1.8	-2	-1.9	-1.9	-2.1	-2.2	-2.4
21:00	-2.8	-2.6	-2.2	-1.9	-1.8	-2	-2.2	-2.1	-2.1	-2.4	-2.5	-2.6
22:00	-3	-2.8	-2.5	-2.2	-2.1	-2.2	-2.4	-2.3	-2.3	-2.6	-2.7	-2.9
23:00	-3.3	-3.1	-2.7	-2.4	-2.3	-2.3	-2.5	-2.5	-2.5	-2.7	-2.9	-3.1

Fuente: Elaboración propia con base en cálculos del programa Rayman, 2020

Asimismo, se calculó el PET (Physiological Equivalent Temperature) que es la temperatura equivalente al confort, por hora y mes.

PET en grados centígrados para Tulancingo

PET (Physiological Equivalent Temperature) (°C)												
Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
00:00	2.7	3.7	5.3	7	7.7	7.5	6.6	6.7	6.8	5.5	4.3	3.4
01:00	1.8	2.9	4.5	6.3	7	6.8	5.9	6.1	6.3	4.8	3.6	2.6
02:00	1.2	2.3	3.9	5.7	6.5	6.4	5.5	5.6	5.9	4.3	3	2
03:00	0.6	1.6	3.4	5.1	6	6	5.1	5.2	5.5	3.9	2.4	1.4
04:00	0.2	1.2	2.8	4.7	5.6	5.7	4.8	4.9	5.2	3.5	2	0.9
05:00	-0.3	0.8	2.5	4.4	5.3	5.4	4.6	4.6	4.9	3.3	1.7	0.6
06:00	-0.6	0.5	2.2	3	5.3	6.6	5.8	4.9	4.1	2.9	1.4	0.3
07:00	-0.3	2.2	6.2	11	13.9	14.9	14	12.8	11.3	7.2	3.2	0.7
08:00	7.4	10.3	14.8	19.3	22	22.4	21.2	20.2	18.4	14.6	10.7	8.1
09:00	14.4	17.6	22.1	26.8	28.8	28.5	27.3	26.4	24.5	20.6	17.1	14.8
10:00	19.9	23.3	27.9	31.7	32.8	32	30.9	30.2	28.3	25.3	22.4	20.1
11:00	24.2	27.5	31.4	34.1	34.5	33.3	32.2	31.7	30	28	26.2	24.4
12:00	26.9	29.8	33.2	35.3	34.6	33.1	32	31.6	30.8	29.4	28.3	27
13:00	28	30.7	33.9	36.1	35.7	34.3	33.1	32.9	31.8	30.3	29.3	28
14:00	27.3	30	33.5	36	35.9	34.3	33.1	33.2	31.9	30.2	28.9	27.5
15:00	24.7	27.5	31.2	34.1	34.2	32.6	31.5	31.6	30.1	28.2	26.7	25.1
16:00	19.8	22.4	26.4	29.6	30.3	28.9	27.7	27.6	26.2	23.9	22	20.3
17:00	13.1	15.3	18.9	22.4	23.7	22.9	21.6	21.2	19.5	17.3	15.3	13.6
18:00	10.3	11.5	13.3	14.5	15.5	15.1	14.1	13.6	12.2	11.5	11.4	10.9
19:00	8.8	10	11.6	13	13.1	12	10.9	11.3	11.1	10.2	9.9	9.3
20:00	7.4	8.4	10.1	11.5	11.8	10.9	9.8	10.1	10	9.1	8.6	8
21:00	6	7.1	8.7	10.2	10.5	9.7	8.9	9.1	9.1	8	7.3	6.7
22:00	4.8	5.8	7.3	9	9.4	8.9	7.9	8.1	8.2	7	6.2	5.4
23:00	3.6	4.7	6.3	8	8.4	8.1	7.2	7.3	7.4	6.2	5.3	4.4

Fuente: Elaboración propia con base en cálculos del programa Rayman, 2020

Horas de frío, confort y calor en Tulancingo

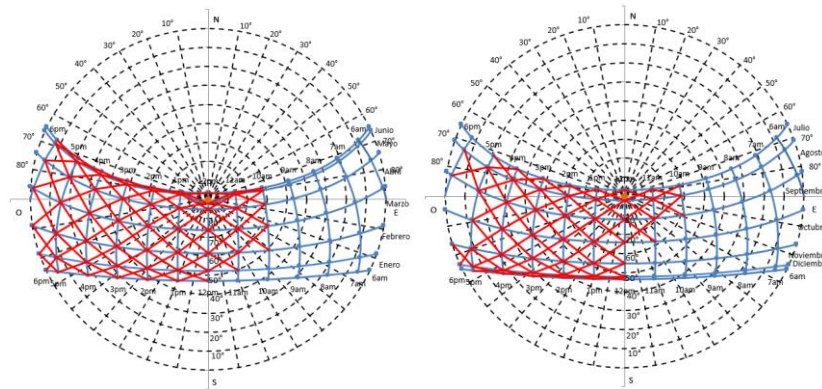
Sensación	Horas al año	%
Frío	5,963	68%
Confort	1,062	12%
Calor	1,735	20%
Total	8,760	100%

Fuente: Elaboración propia

Control solar

Utilizando el software Biosol, se generan dos gráficas solares que corresponden al primer y al segundo semestre del año. De estas gráficas se puede conocer y visualizar el número de horas por mes en las que se requiere ganancia de calor o bien, protección solar.

Gráfica solar equidistante para el primer y segundo semestre del año, Tulancingo



Fuente: Biosol

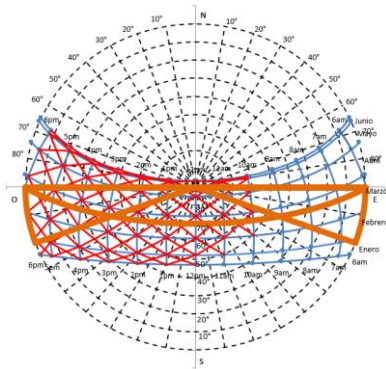
Número de horas que requieren ganancia de calor o protección por semestre

No. de horas que requieren ganancia de calor (T1) o protección (T2), semestre Enero-Junio							
Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	Total
T1	217	168	124	120	124	150	903
T2	186	196	279	270	279	240	1450

No. de horas que requieren ganancia de calor (T1) o protección (T2), semestre Julio-Diciembre							
Mes	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Total
T1	186	155	210	248	210	248	1257
T2	217	248	180	155	180	155	1135

Fuente: Biosol

Control solar fachada sur en el primer semestre del año



Fuente: Biosol

Recomendaciones para el diseño bioclimático en Tulancingo

En este apartado se sugieren algunas estrategias para el mejor aprovechamiento del clima en el diseño del edificio y de esta manera, incidir directamente en el confort de los habitantes. Se dividen por los requerimientos de climatización: de calefacción pasiva, de control solar y de ventilación.

Ventilación

Se recomienda plantar árboles de hoja caduca, para que se renueve el aire que entra a la vivienda, sobre todo en la fachada oeste, y no se recomienda vegetación en el interior, a menos que sea un invernadero.

Construir con altura de piso a techo de 2.3 o 2.4 metros.

Ventanas ubicadas en la parte alta del muro y de dimensiones medianas o grandes.

Minimizar la ventilación cruzada, o únicamente por la tarde en los meses más calurosos.

Control Solar

Orientar la vivienda en el eje este-oeste o noreste-suroeste y colindante con otras viviendas.

Construir la vivienda en forma de cubo para minimizar pérdidas de calor.

Construir las ventanas al ras del muro, es decir sin remetimientos ni salientes.

Configuración compacta de la vivienda para evitar las pérdidas de calor.

Para los muros exteriores se puede utilizar colores opacos.

Se pueden construir invernaderos que generen calor en el interior de las viviendas. Asimismo, se pueden tener tragaluces en las fachadas sur y este.

No son necesarios aleros ni partesoles, pero se pueden ubicar en la fachada sur.

Calefacción

Calefacción por geotermia.

Utilizar materiales masivos en muros y techo que permitan almacenar el calor ganado durante el día.

Sellar las infiltraciones de puertas y ventanas, o tener ventanas de baja permeabilidad al aire, como las proyectantes, de abatir u oscilobatientes.

Anexo 4. Simulaciones de comportamiento térmico por bioclima

Cálido seco

Condiciones mínimas de confort

$$\phi_{rci} = \sum_{j=1}^n [K_j \times A_{ij} \times (te - t)]$$

4.1.1.- Ganancias por conducción (partes opacas y transparentes)

Tipo y orientación de la porción de la envolvente	Coefficiente Global de Transferencia de Calor (W/m ² K) [K]	Area del edificio proyectado (m ²) [A]	Fracción de la componente [F]	Temperatura equivalente (°c) (te)	Temperatura interior °c (t)	Ganancia por Conducción Φ_{rci} (*) [K*A*F*(te-t)]
Techo	0.6250	54.3	1.00	50	25	848.750
Tragaluz y domo	5.9520		0.00	29	25	-
Muro Norte	0.6250	14.0	0.90	36	25	86.501
Ventana Norte	5.3190		0.10	30	25	37.180
Muro este	0.6250	31.1	0.90	40	25	262.406
Ventana este	5.3190		0.10	32	25	115.795
Muro sur	0.6250	14.0	0.90	37	25	94.365
Ventana Sur	5.3190		0.10	32	25	52.052
Muro oeste	0.6250	31.1	0.90	38	25	227.419
Ventana oeste	5.3190		0.10	32	25	115.795
Superficie inferior	0.6250	0.00	1.00	34	25	-
SUBTOTAL						1840.262

* Nota: Si los valores son negativos significa una bonificación, por lo que deben sumarse algebraicamente

4.1.2. Ganancias por radiación (partes transparentes)

$$\phi_{rsi} = \sum_{j=1}^m [A_{ij} \times CS_j \times FG_j \times SE_{ij}]$$

Tipo y orientación de la porción de la envolvente	Coefficiente de Sombreado (CS)	Area del edificio proyectado (m ²) [A]	Fracción de la componente [F]	Ganancia de Calor (W/m ²) [FG]	Ganancia por Radiación ϕ_{rs} (*) [CS*A*F*FG]
Tragaluz y domo	1.0000	54.3	0	322	-
Ventana norte	1.0000	14.0	0.1	70	97.860
Ventana este	1.0000	31.1	0.1	159	494.490
Ventana sur	1.0000	14.0	0.1	131	183.138
Ventana oeste	1.0000	31.1	0.1	164	510.040
SUBTOTAL					1285.528

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la NOM 020 ENER 2011

Vivienda convencional

Ganancias por conducción (partes opacas y transparentes)

Tipo y orientación de la porción de la envolvente (*)	Coeficiente Global de Transferencia de Calor (k)		Area (m2) [A]	Temperatura equivalente (°C) [te]	Temperatura interior (°C) [t]	Ganancia por Conducción ϕ_{pc} (****) [K*A*(te-t)]
	Número de la porción (**)	Valor calculado (W/m ² K) (***)				
					Subtotal 1	-
					Subtotal 2	-
						-
Techo	1	2.5088	54.32	50	25	3406.934
Muro principal S	2	0.8064	10.92	37	25	105.674
Muro posterior N	3	0.8064	10.38	36	25	92.078
Muro izquierdo O	4	0.8064	29.42	38	25	308.425
Muro derecho E	5	0.8064	29.30	40	25	354.424
Puerta principal O	6	0.8297	1.68	45	25	27.878
Puerta posterior N	7	0.8297	1.68	41	25	22.302
Ventana 1 y 2 S	8	4.9235	3.06	32	25	105.462
Ventana 3 y 4 N	9	4.9235	1.92	30	25	47.266
Ventana 5, 6 y 7 E	10	4.9235	1.80	32	25	62.036
					Subtotal	4532.478
Total (Sumar todas las ϕ_{pc})						4532.478

Ganancias por radiación (partes transparentes)

Tipo y orientación de la porción de la envolvente (*)	Material (**)	Coeficiente de Sombreado (CS) (***)	Area (m2) [A]	Ganancia de Calor (W/m2) [FG]	Factor de Sombreado ext. [SE] (****)		Ganancia por Radiación ϕ_{pr} [CS*A*FG*SE]
					Numero	Valor	
Ventana 1 y 2 S	Vidrio 3mm	1	3.06	131	0	1	400.860
Ventana 3 y 4 N	Vidrio 3mm	1	1.92	70	0	1	134.400
Ventana 5,6 y 7 E	Vidrio 3mm	1	1.8	159	0	1	286.200
							-
Total (Sumar todas las ϕ_{pr})							821.460

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la NOM 020 ENER 2011

Resumen de la simulación del comportamiento térmico de la vivienda convencional, Mexicali

	Ganancia por Conducción (W)	Ganancia por Radiación (W)	Ganancia Total $\phi r = \phi rc + \phi rs$ $\phi p = \phi pc + \phi ps$ (W)
Condiciones mínimas confort	(ϕrc) 1840.26	(ϕrs) 1285.53	(ϕr) 3125.79
Vivienda convencional	(ϕpc) 4532.48	(ϕps) 821.46	(ϕp) 5353.94
Cumplimiento			
Si ($\phi r > \phi p$)	<input type="text"/>		No ($\phi r < \phi p$) <input type="text" value="X"/>
			Ahorro de Energía -71%

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la NOM 020 ENER 2011

Vivienda bioclimática

Ganancias por conducción (partes opacas y transparentes)

Tipo y orientación de la porción de la envolvente (*)	Coeficiente Global de Transferencia de Calor (k)		Area (m2) [A]	Temperatura equivalente (°C) [te]	Temperatura interior (°C) [t]	Ganancia por Conducción ϕ_{pc} (****) [K*A*(te-t)]
	Número de la porción (**)	Valor calculado (W/m ² K) (***)				
					Subtotal 1	-
					Subtotal 2	-
						-
Techo (vigüeta y b. de concreto)	1	0.7446	54.32	50	25	1011.202
Muro principal N	2	0.8064	10.92	36	25	96.868
Muro posterior S	3	0.8064	10.38	37	25	100.448
Muro izquierdo E	4	0.8064	29.42	40	25	355.875
Muro derecho O	5	0.8064	29.30	38	25	307.167
Puerta principal E	6	0.8297	1.68	45	25	27.878
Puerta posterior S	7	0.8297	1.68	43	25	25.090
Ventana 1 y 2 N	8	4.9235	3.06	30	25	75.330
Ventana 3 y 4 S	9	4.9235	1.92	32	25	66.172
Ventana 5, 6 y 7 O	10	4.9235	1.80	32	25	62.036
						-
					Subtotal	2128.066
					Total (Sumar todas las ϕ_{pc})	2128.066

Ganancias por radiación (partes transparentes)

Tipo y orientación de la porción de la envolvente (*)	Material (**)	Coeficiente de Sombreado (CS) (***)	Area (m2) [A]	Ganancia de Calor (W/m2) [FG]	Factor de Sombreado ext. [SE] (****)		Ganancia por Radiación ϕ_{pr} [CS*A*FG*SE]
					Numero	Valor	
Ventana 1 y 2 N	Vidrio 3mm	1	3.06	70	0	1	214.200
Ventana 3 S	Vidrio 3mm	1	1.32	131	0	0.595	102.887
Ventana 4 S	Vidrio 3mm	1	0.6	131	0	0.71	55.806
Ventana 5,6 y 7 O	Vidrio 3mm	1	1.8	164	0	1	295.200
							-
							Total (Sumar todas las ϕ_{pr})
							668.093

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la NOM 020 ENER 2011

Resumen de la simulación del comportamiento térmico de la vivienda bioclimática, Mexicali

	Ganancia por Conducción (W)	Ganancia por Radiación (W)	Ganancia Total $\phi r = \phi rc + \phi rs$ $\phi p = \phi pc + \phi ps$ (W)
Condiciones mínimas confort	(ϕrc) 1840.26	(ϕrs) 1285.53	(ϕr) 3125.79
Vivienda bioclimática	(ϕpc) 2128.07	(ϕps) 668.09	(ϕp) 2796.16
Cumplimiento	Si ($\phi r > \phi p$) X		No ($\phi r < \phi p$)
			Ahorro de Energía 10.55%

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la NOM 020 ENER 2011

Templado

Condiciones mínimas de confort

$$\phi_{rci} = \sum_{j=1}^n [K_j \times A_{ij} \times (te - t)]$$

Ganancias por conducción (partes opacas y transparentes)

Tipo y orientación de la porción de la envolvente	Coefficiente Global de Transferencia de Calor (W/m ² K) [K]	Area del edificio proyectado (m ²) [A]	Fracción de la componente [F]	Temperatura equivalente (°c) (te)	Temperatura interior °c (t)	Ganancia por Conducción Φ_{rci} (*) [K*A*F*(te-t)]
Techo	0.9090	54.3	1.00	33	23	493.769
Tragaluz y domo	5.9520		0.00	19	23	-
Muro Norte	0.9090	14.0	0.90	20	23	- 34.311
Ventana Norte	5.3190		0.10	21	23	- 14.872
Muro este	0.9090	31.1	0.90	22	23	- 25.443
Ventana este	5.3190		0.10	21	23	- 33.084
Muro sur	0.9090	14.0	0.90	22	23	- 11.437
Ventana Sur	5.3190		0.10	21	23	- 14.872
Muro oeste	0.9090	31.1	0.90	21	23	- 50.886
Ventana oeste	5.3190		0.10	21	23	- 33.084
Superficie inferior	0.9090	0.00	1.00	23	23	-
SUBTOTAL						275.780

Si los valores son negativos significa una bonificación, por lo que deben sumarse algebraicamente

Ganancias por radiación (partes transparentes)

$$\phi_{rsi} = \sum_{j=1}^m [A_{ij} \times CS_j \times FG_j \times SE_{ij}]$$

Tipo y orientación de la porción de la envolvente	Coefficiente de Sombreado (CS)	Area del edificio proyectado (m2) [A]	Fracción de la componente [F]	Ganancia de Calor (W/m2) [FG]	Ganancia por Radiación ϕ_{rs} (*) [CS*A*F*FG]
Tragaluz y domo	1.0000	54.3	0	272	-
Ventana norte	1.0000	14.0	0.1	102	142.596
Ventana este	1.0000	31.1	0.1	140	435.400
Ventana sur	1.0000	14.0	0.1	114	159.372
Ventana oeste	1.0000	31.1	0.1	134	416.740
SUBTOTAL					1154.108

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la NOM 020 ENER 2011

Vivienda convencional

Ganancias por conducción (partes opacas y transparentes)

Tipo y orientación de la porción de la envolvente (*)	Coeficiente Global de Transferencia de Calor (k)		Area (m2) [A]	Temperatura equivalente (°C) [te]	Temperatura interior (°C) [t]	Ganancia por Conducción ϕ_{pc} (****) [K*A*(te-t)]
	Número de la porción (**)	Valor calculado (W/m ² K) (***)				
					Subtotal 1	-
					Subtotal 2	-
						-
Techo	1	2.5088	54.32	33	23	1362.774
Muro principal S	2	0.8064	10.92	22	23	- 8.806
Muro posterior N	3	0.8064	10.38	20	23	- 25.112
Muro izquierdo O	4	0.8064	29.42	21	23	- 47.450
Muro derecho E	5	0.8064	29.30	22	23	- 23.628
Puerta principal O	6	0.8297	1.68	28	23	6.969
Puerta posterior N	7	0.8297	1.68	26	23	4.182
Ventana 1 y 2 S	8	4.9235	3.06	21	23	- 30.132
Ventana 3 y 4 N	9	4.9235	1.92	21	23	- 18.906
Ventana 5, 6 y 7 E	10	4.9235	1.80	21	23	- 17.725
						-
					Subtotal	1202.165
Total (Sumar todas las ϕ_{pc})						1202.165

Ganancias por radiación (partes transparentes)

Tipo y orientación de la porción de la envolvente (*)	Material (**)	Coeficiente de Sombreado (CS) (***)	Area (m2) [A]	Ganancia de Calor (W/m2) [FG]	Factor de Sombreado ext. [SE] (****)		Ganancia por Radiación ϕ_{pr} [CS*A*FG*SE]
					Numero	Valor	
Ventana 1 y 2 S	Vidrio 3mm	1	3.06	114	0	1	348.840
Ventana 3 y 4 N	Vidrio 3mm	1	1.92	102	0	1	195.840
Ventana 5, 6 y 7 E	Vidrio 3mm	1	1.8	140	0	1	252.000
							-
Total (Sumar todas las ϕ_{pr})							796.680

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la NOM 020 ENER 2011

Resumen de la simulación del comportamiento térmico de la vivienda convencional, CDMX

	Ganancia por Conducción (W)	Ganancia por Radiación (W)	Ganancia Total $\phi r = \phi rc + \phi rs$ $\phi p = \phi pc + \phi ps$ (W)
Condiciones mínimas confort	(ϕrc) <input type="text" value="275.78"/>	(ϕrs) <input type="text" value="1154.11"/>	(ϕr) <input type="text" value="1429.89"/>
Vivienda convencional	(ϕpc) <input type="text" value="1202.17"/>	(ϕps) <input type="text" value="796.68"/>	(ϕp) <input type="text" value="1998.85"/>
Cumplimiento			
	Si ($\phi r > \phi p$) <input type="text"/>	No ($\phi r < \phi p$) <input type="text" value="X"/>	
			Ahorro de Energía -39.79%

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la NOM 020 ENER 2011

Vivienda bioclimática

Ganancias por conducción (partes opacas y transparentes)

Tipo y orientación de la porción de la envolvente (*)	Coeficiente Global de Transferencia de Calor (k)		Area (m2) [A]	Temperatura equivalente (°C) [te]	Temperatura interior (°C) [t]	Ganancia por Conducción ϕ_{pc}^{****} [K*A*(te-t)]
	Número de la porción (**)	Valor calculado (W/m ² K) (***)				
					Subtotal 1	-
					Subtotal 2	-
						-
Techo vigueta y bovedilla de concreto	1	0.7446	54.32	33	23	404.481
Muro principal O	3	0.8064	10.92	21	23	- 17.612
Muro posterior E	4	0.8064	10.38	22	23	- 8.371
Muro izquierdo N	5	0.8064	29.42	20	23	- 71.175
Muro derecho S	6	0.8064	29.30	22	23	- 23.628
Puerta principal N	7	0.8297	1.68	26	23	4.182
Puerta posterior E	8	0.8297	1.68	29	23	8.363
Ventana 1 y 2 O	9	4.9235	3.06	21	23	- 30.132
Ventana 3 y 4 E	10	4.9235	1.92	21	23	- 18.906
Ventana 5, 6 y 7 S	11	4.9235	1.80	21	23	- 17.725
					Subtotal	229.476
Total (Sumar todas las ϕ_{pc})						229.476

Ganancias por radiación (partes transparentes)

Tipo y orientación de la porción de la envolvente (*)	Material (**)	Coeficiente de Sombreado (CS) (***)	Area (m2) [A]	Ganancia de Calor (W/m2) [FG]	Factor de Sombreado ext. [SE] (****)		Ganancia por Radiación ϕ_{pr} [CS*A*FG*SE]
					Numero	Valor	
Ventana 1 y 2 O	Vidrio 3mm	1	3.06	134	0	1	410.040
Ventana 3 y 4 E	Vidrio 3mm	1	1.92	140	0	1	268.800
Ventana 5, 6 y 7 S	Vidrio 3mm	1	1.8	114	0	1	205.200
							-
Total (Sumar todas las ϕ_{pr})							884.040

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la NOM 020 ENER 2011

Resumen de la simulación del comportamiento térmico de la vivienda bioclimática, CDMX

	Ganancia por Conducción (W)	Ganancia por Radiación (W)	Ganancia Total (W)
			$\phi r = \phi rc + \phi rs$ $\phi p = \phi pc + \phi ps$
Condiciones mínimas confort	(ϕrc) 261.77	(ϕrs) 1054.81	(ϕr) 1316.59
Vivienda bioclimática	(ϕpc) 229.48	(ϕps) 884.04	(ϕp) 1113.52
Cumplimiento			
	Sí ($\phi r > \phi p$) X	No ($\phi r < \phi p$)	
			Ahorro de Energía 15.42%

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la NOM 020 ENER 2011

Semifrío

Condiciones mínimas de confort

$$\phi_{rci} = \sum_{j=1}^n [K_j \times A_{ij} \times (te - t)]$$

Ganancias por conducción (partes opacas y transparentes)

Tipo y orientación de la porción de la envolvente	Coficiente Global de Tranferencia de Calor (W/m ² K) [K]	Area del edificio proyectado (m ²) [A]	Fracción de la componente [F]	Temperatura equivalente (°C) (te)	Temperatura interior °C (t)	Ganancia por Conducción Φ_{rci} (*) [K*A*F*(te-t)]
Techo	0.9090	54.3	1.00	32	23	444.392
Tragaluz y domo	5.9520		0.00	19	23	-
Muro Norte	0.9090	14.0	0.90	19	23	- 45.748
Ventana Norte	5.3190		0.10	20	23	- 22.308
Muro este	0.9090	31.1	0.90	21	23	- 50.886
Ventana este	5.3190		0.10	20	23	- 49.626
Muro sur	0.9090	14.0	0.90	21	23	- 22.874
Ventana Sur	5.3190		0.10	20	23	- 22.308
Muro oeste	0.9090	31.1	0.90	20	23	- 76.329
Ventana oeste	5.3190		0.10	21	23	- 33.084
Superficie inferior	0.9090	0.00	1.00	23	23	-
SUBTOTAL						121.229

Si los valores son negativos significa una bonificación, por lo que deben sumarse algebraicamente

Ganancias por radiación (partes transparentes)

$$\phi_{rsi} = \sum_{j=1}^m [A_{ij} \times CS_j \times FG_j \times SE_{ij}]$$

Tipo y orientación de la porción de la envolvente	Coficiente de Sombreado (CS)	Area del edificio proyectado (m ²) [A]	Fracción de la componente [F]	Ganancia de Calor (W/m ²) [FG]	Ganancia por Radiación ϕ_{rs} (*) [CS*A*F*FG]
Tragaluz y domo	1.0000	54.3	0	272	-
Ventana norte	1.0000	14.0	0.1	102	142.596
Ventana este	1.0000	31.1	0.1	140	435.400
Ventana sur	1.0000	14.0	0.1	114	159.372
Ventana oeste	1.0000	31.1	0.1	134	416.740
SUBTOTAL					1154.108

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la NOM 020 ENER 2011

Vivienda convencional

Ganancias por conducción (partes opacas y transparentes)

Tipo y orientación de la porción de la envolvente (*)	Coeficiente Global de Transferencia de Calor (k)		Area (m2) [A]	Temperatura equivalente (°C) [te]	Temperatura interior (°C) [t]	Ganancia por Conducción $\phi_{pc}(\text{****})$ [K*A*(te-t)]
	Número de la porción (**)	Valor calculado (W/m ² K) (***)				
					Subtotal 1	-
					Subtotal 2	-
						-
Techo	1	2.5088	54.32	32	23	1226.496
Muro principal S	2	0.8064	10.92	21	23	- 17.612
Muro posterior N	3	0.8064	10.38	19	23	- 33.483
Muro izquierdo O	4	0.8064	29.42	20	23	- 71.175
Muro derecho E	5	0.8064	29.30	21	23	- 47.257
Puerta entrada O	6	0.8297	1.68	27	23	5.576
Puerta posterior N	7	0.8297	1.68	25	23	2.788
Ventanas 1 y 2 S	8	4.9235	3.06	20	23	- 45.198
Ventanas 3 y 4 N	9	4.9235	1.92	20	23	- 28.359
Ventanas 5,6 y 7 E	10	4.9235	1.80	20	23	- 26.587
						-
					Subtotal	965.189
					Total (Sumar todas las ϕ_{pc})	965.189

Ganancias por radiación (partes transparentes)

Tipo y orientación de la porción de la envolvente (*)	Material (**)	Coeficiente de Sombreado (CS) (***)	Area (m2) [A]	Ganancia de Calor (W/m2) [FG]	Factor de Sombreado ext. [SE] (****)		Ganancia por Radiación ϕ_{pr} [CS*A*FG*SE]
					Numero	Valor	
Ventana 1 y 2 S	Vidrio 3mm	1	3.06	114	0	1	348.840
Ventana 3 y 4 N	Vidrio 3mm	1	1.92	102	0	1	195.840
Ventana 5,6 y 7 E	Vidrio 3mm	1	1.8	140	0	1	252.000
							-
							Total (Sumar todas las ϕ_{pr})
							796.680

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la NOM 020 ENER 2011

Resumen de la simulación del comportamiento térmico de la vivienda convencional, Tulancingo

	Ganancia por Conducción (W)	Ganancia por Radiación (W)	Ganancia Total $\phi r = \phi rc + \phi rs$ $\phi p = \phi pc + \phi ps$ (W)
Condiciones mínimas confort	(ϕrc) 121.23	(ϕrs) 1154.11	(ϕr) 1275.34
Vivienda convencional	(ϕpc) 965.19	(ϕps) 796.68	(ϕp) 1761.87
Cumplimiento			
	Si ($\phi r > \phi p$) <input type="text"/>	No ($\phi r < \phi p$) <input type="text" value="X"/>	
			Ahorro de Energía -38.15%

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la NOM 020 ENER 2011

Condiciones mínimas para el confort (considerando orientación principal al oeste)

$$\phi_{rci} = \sum_{j=1}^n [K_j \times A_{ij} \times (t_e - t)]$$

Ganancias por conducción (partes opacas y transparentes)

Tipo y orientación de la porción de la envolvente	Coefficiente Global de Transferencia de Calor (W/m ² K) [K]	Area del edificio proyectado (m ²) [A]	Fracción de la componente [F]	Temperatura equivalente (°c) (te)	Temperatura interior °c (t)	Ganancia por Conducción Φ_{rci} (*) [K*A*F*(te-t)]
Techo	0.9090	54.32	1.00	32	23	444.392
Tragaluz y domo	5.9520		0.00	19	23	-
Muro Norte	0.9090	31.1	0.90	19	23	- 101.772
Ventana Norte	5.3190		0.10	20	23	- 49.626
Muro este	0.9090	14.0	0.90	21	23	- 22.874
Ventana este	5.3190		0.10	20	23	- 22.308
Muro sur	0.9090	31.1	0.90	21	23	- 50.886
Ventana Sur	5.3190		0.10	20	23	- 49.626
Muro oeste	0.9090	14.0	0.90	20	23	- 34.311
Ventana oeste	5.3190		0.10	21	23	- 14.872
Superficie inferior	0.9090	0.00	1.00	23	23	-
SUBTOTAL						98.117

Si los valores son negativos significa una bonificación, por lo que deben sumarse algebraicamente

Ganancias por radiación (partes transparentes)

$$\phi_{rsi} = \sum_{j=1}^m [A_{ij} \times CS_j \times FG_j \times SE_{ij}]$$

Tipo y orientación de la porción de la envolvente	Coefficiente de Sombreado (CS)	Area del edificio proyectado (m ²) [A]	Fracción de la componente [F]	Ganancia de Calor (W/m ²) [FG]	Ganancia por Radiación ϕ_{rs} (*) [CS*A*F*FG]
Tragaluz y domo	1.0000	54.3	0	272	-
Ventana norte	1.0000	31.1	0.1	102	317.220
Ventana este	1.0000	14.0	0.1	140	195.720
Ventana sur	1.0000	31.1	0.1	114	354.540
Ventana oeste	1.0000	14.0	0.1	134	187.332
SUBTOTAL					1054.812

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la NOM 020 ENER 2011

Vivienda bioclimática

Ganancias por conducción (partes opacas y transparentes)

Tipo y orientación de la porción de la envolvente (*)	Coeficiente Global de Transferencia de Calor (k)		Area (m2) [A]	Temperatura equivalente (°C) [te]	Temperatura interior (°C) [t]	Ganancia por Conducción ϕ_{pc}^{****} [K*A*(te-t)]
	Número de la porción (**)	Valor calculado (W/m ² K) (***)				
					Subtotal 1	-
					Subtotal 2	-
						-
Techo vigueta y bovedilla	1	0.7446	53.8502	32	23	360.884
Tragaluz (vitroblock)	2	3.1433	0.4698	32	23	13.291
Muro principal O	3	0.8064	10.92	20	23	- 26.418
Muro posterior E	4	0.8064	10.38	21	23	- 16.741
Muro izquierdo N	5	0.8064	29.42	19	23	- 94.900
Muro derecho S	6	0.8064	29.30	21	23	- 47.257
Puerta principal N	7	0.8297	1.68	25	23	2.788
Puerta posterior E	8	0.8297	1.68	28	23	6.969
Ventana 1 y 2 O	9	4.9235	3.06	21	23	- 30.132
Ventana 3 y 4 E	10	4.9235	1.92	20	23	- 28.359
Ventana 5, 6 y 7 S	11	4.9235	1.80	20	23	- 26.587
					Subtotal	113.537
Total (Sumar todas las ϕ_{pc})						113.537

Ganancias por radiación (partes transparentes)

Tipo y orientación de la porción de la envolvente (*)	Material (**)	Coeficiente de Sombreado (CS) (***)	Area (m2) [A]	Ganancia de Calor (W/m2) [FG]	Factor de Sombreado ext. [SE] (****)		Ganancia por Radiación ϕ_{pr} [CS*A*FG*SE]
					Numero	Valor	
Ventana 1 y 2 O	Vidrio 3mm	1	3.06	134	0	1	410.040
Ventana 3 y 4 E	Vidrio 3mm	1	1.92	140	0	1	268.800
Ventana 5, 6 y 7 S	Vidrio 3mm	1	1.8	114	0	1	205.200
Tragaluz	Vitroblock	1	0.4698	272	0	1	127.786
							-
Total (Sumar todas las ϕ_{pr})							1011.826

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la NOM 020 ENER 2011

Resumen de la simulación del comportamiento térmico de la vivienda bioclimática, Tulancingo

	Ganancia por Conducción (W)	Ganancia por Radiación (W)	Ganancia Total $\phi r = \phi rc + \phi rs$ $\phi p = \phi pc + \phi ps$ (W)
Condiciones mínimas confort	(ϕrc) 98.12	(ϕrs) 1054.81	(ϕr) 1152.93
Vivienda convencional	(ϕpc) 113.54	(ϕps) 1011.83	(ϕp) 1125.36
Cumplimiento	Si ($\phi r > \phi p$) X		No ($\phi r < \phi p$)
			Ahorro de Energía 2.39%

Fuente: elaboración propia con la herramienta de la NOM 020 ENER 2011

Anexo 5. Costos por unidad de superficie de sistemas constructivos de vivienda bioclimática, por bioclima

Cálido seco

Sistema constructivo	\$/m2	área a intervenir (m2)	Total
Muros			
Block de concreto hueco 12cm	\$197.00	90.16	\$17,761.52
Techo			
Vigueta y bovedilla de concreto	\$665.00	54.32	\$36,122.80
Control solar			
Elemento sombreador de concreto	\$676.00	1.4	\$946.40
TOTAL			\$54,830.72
\$/m2			\$1,118.99

Fuente: elaboración propia

Partida	Importe a costo directo	% del C. D.	Costo directo/m2	P.U. por m2 (incluye 28% indirectos y utilidad)	\$/m2 del VRN
Cimentación	\$32,717	12%	\$668	\$855	\$983
Estructura	\$54,831	21%	\$1,119	\$1,432	\$1,647
Fachadas y techados	\$28,530	11%	\$582	\$745	\$857
Albañilería y acabados	\$107,099	40%	\$2,186	\$2,798	\$3,217
Inst. hidráulicas y sanitarias	\$20,471	8%	\$418	\$535	\$615
Instalaciones eléctricas	\$22,680	9%	\$463	\$592	\$681
TOTAL	\$266,327	100%	\$5,435	\$6,957	\$8,001

Fuente: elaboración propia

Templado

Sistema constructivo	\$/m2	área a intervenir (m2)	Total
Muros			
Block de concreto hueco 12cm	\$197.00	90.16	\$17,761.52
Techo			
Losa de vigueta y bovedilla de concreto	\$665.00	54.32	\$36,122.80
TOTAL			\$53,884.32
\$/m2			\$1,099.68

Fuente: elaboración propia

Partida	Importe a costo directo	% del C. D.	Costo directo/m2	P.U. por m2 (incluye 28% indirectos y utilidad)	\$/m2 del VRN
Cimentación	\$32,717	12%	\$668	\$855	\$983
Estructura	\$53,884	20%	\$1,100	\$1,408	\$1,619
Fachadas y techados	\$28,530	11%	\$582	\$745	\$857
Albañilería y acabados	\$107,099	40%	\$2,186	\$2,798	\$3,217
Inst. hidráulicas y sanitarias	\$20,471	8%	\$418	\$535	\$615
Instalaciones eléctricas	\$22,680	9%	\$463	\$592	\$681
TOTAL	\$265,380	100%	\$5,416	\$6,932	\$7,972

Fuente: elaboración propia

Semifrío

Sistema constructivo	\$/m2	área a intervenir (m2)	Total
Muro			
Block de concreto hueco 12cm	\$197.00	90.16	\$17,761.52
Techo			
Vigueta y bovedilla de concreto	\$665.15	53.66	\$35,694.54
Vitroblock	\$3,856.73	0.6561	\$2,530.40
TOTAL			\$55,986.46
\$/m2			\$1,142.58

Fuente: elaboración propia

Partida	Importe a costo directo	% del C. D.	Costo directo/m2	P.U. por m2 (incluye 28% indirectos y utilidad)	\$/m2 del VRN
Cimentación	\$32,717	12%	\$668	\$855	\$983
Estructura	\$55,986	21%	\$1,143	\$1,463	\$1,682
Fachadas y techados	\$28,530	11%	\$582	\$745	\$857
Albañilería y acabados	\$107,099	40%	\$2,186	\$2,798	\$3,217
Inst. hidráulicas y sanitarias	\$20,471	8%	\$418	\$535	\$615
Instalaciones eléctricas	\$22,680	8%	\$463	\$592	\$681
TOTAL	\$267,483	100%	\$5,459	\$6,987	\$8,035

Fuente: elaboración propia

Anexo 6. Terrenos

Mexicali. Terreno de forma irregular en la Calle Ucrania, Colonia Villanova, con una superficie aproximada de 617m². Esta colonia se encuentra aproximadamente a 4km del centro geográfico de la ciudad.

Ilustración 25. Terreno en venta en Mexicali, Baja California



Fuente: [https://www.inmuebles24.com/propiedades/terreno-en-venta-617-m-sup2--a-colo-\\$1-083-172.85-59682698.html](https://www.inmuebles24.com/propiedades/terreno-en-venta-617-m-sup2--a-colo-$1-083-172.85-59682698.html)

Tiene un precio de \$1,083,000 pesos, resultado en un precio por metro cuadrado de \$1,755 pesos. En la colonia hay vivienda horizontal de un nivel, con un cajón de estacionamiento.

Ilustración 26. Viviendas colindantes a terreno en venta, Mexicali



Fuente:

Google Maps, 2021

Ciudad de México. El terreno se encuentra sobre la calle Miguel Negrete, en la Alcaldía Tláhuac, y tiene una superficie de 9,937.23m². Esta colonia se encuentra aproximadamente a 18km del centro geográfico de la Ciudad de México.

Tiene un precio de \$15,000,000 pesos por lo que resulta en un precio por metro cuadrado de \$1,510 pesos. Este es el terreno más grande de los cuatro, y por lo tanto resulta en un negocio más grande y prolongado en el tiempo.

Ilustración 27. Terreno en venta, Ciudad de México



Fuente: <https://www.inmuebles24.com/propiedades/terreno-alcaldia-tlahuac-53521865.html>

Alrededor existen viviendas unifamiliares con comercio en planta baja, y también unidades habitacionales, como la que se muestra en la siguiente ilustración (28):

Ilustración 28. Viviendas colindantes a terreno en venta, CDMX



Fuente: Google Maps, 2021

Tulancingo. El terreno se encuentra sobre la Calle De Lucerna, Colonia Francisco I. Madero (aproximadamente a un kilómetro del centro geográfico de la ciudad).

Ilustración 29. Terreno en venta en Tulancingo, Hidalgo



Fuente: <https://www.inmuebles24.com/propiedades/terreno-a-pocas-cuadras-del-centro-de-tulancingo-59116156.html>

Tiene una superficie de 1,042m² y un costo de \$1,850,000 pesos, por lo que el precio por metro cuadrado resulta de \$1,775 pesos. En la colonia predomina el uso habitacional con comercio en la planta baja y alturas de uno a tres niveles.

Ilustración 30. Viviendas colindantes a terreno en venta, Tulancingo



Fuente: Google Maps, 2021

Anexo 7. Tablas de indicadores por proyecto, por localidad

Mexicali

Vivienda convencional

Indicadores de rentabilidad

TIR	
Capital inicial	-\$2,227,901
TIR mensual	2.43%
TIR anual	29.17%

Valor Presente Neto	
Capital de riesgo total	\$2,227,901
Tasa mensual para descontar	0.91%
Valor presente neto	\$2,591,536
Costo-beneficio descontado	\$363,635
% utilidad descontado	16.32%

PRI	
Capital de riesgo total	\$2,227,901
Flujo acumulado mes 12	\$2,048,097
Flujo acumulado mes 13	\$2,881,727
Periodo de recuperación de la inversión	Mes 13

Fuente: elaboración propia

Vivienda bioclimática

Indicadores de rentabilidad

TIR	
Capital inicial	-\$2,227,901
TIR mensual	2.62%
TIR anual	31.39%

Valor Presente Neto	
Capital de riesgo total	\$2,227,901
Tasa mensual para descontar	0.91%
Valor presente neto	\$2,642,532
Costo-beneficio descontado	\$414,631
% utilidad descontado	18.61%

PRI	
Capital de riesgo total	\$2,227,901
Flujo acumulado mes 12	\$2,091,038
Flujo acumulado mes 13	\$2,939,517
Periodo de recuperación de la inversión	Mes 13

Ciudad de México

Vivienda convencional

Indicadores de rentabilidad

TIR	
Capital inicial	-\$25,365,482
TIR mensual	1.94%
TIR anual	23.24%

Valor Presente Neto	
Capital de riesgo total	\$25,365,482
Tasa mensual para descontar	0.92%
Valor presente neto	\$30,751,491
Costo-beneficio descontado	\$5,386,009
% utilidad descontado	21.23%

PRI	
Capital de riesgo total	\$25,365,482
Flujo acumulado mes 22	\$19,583,131
Flujo acumulado mes 23	\$31,179,831
Periodo de recuperación de la inversión	Mes 23

Fuente: elaboración propia

Vivienda bioclimática

Indicadores de rentabilidad

TIR	
Capital inicial	-\$25,365,482
TIR mensual	2.03%
TIR anual	24.37%

Valor Presente Neto	
Capital de riesgo total	\$25,365,482
Tasa mensual para descontar	0.92%
Valor presente neto	\$31,322,268
Costo-beneficio descontado	\$5,956,786
% utilidad descontado	23.48%

PRI	
Capital de riesgo total	\$25,365,482
Flujo acumulado mes 22	\$19,979,856
Flujo acumulado mes 23	\$31,889,722
Periodo de recuperación de la inversión	Mes 23

Tulancingo

Vivienda convencional

Indicadores de rentabilidad

TIR	
Capital inicial	-\$4,631,623
TIR mensual	1.81%
TIR anual	21.71%

Valor Presente Neto

Capital de riesgo total	\$4,631,623
Tasa mensual para descontar	0.89%
Valor presente neto	\$5,298,410
Costo-beneficio descontado	\$666,787
% utilidad descontado	14.40%

PRI

Capital de riesgo total	\$4,631,623
Flujo acumulado mes 21	\$3,471,933
Flujo acumulado mes 22	\$6,876,596
Periodo de recuperación de la inversión	Mes 22

Vivienda bioclimática

Indicadores de rentabilidad

TIR	
Capital inicial	-\$4,631,623
TIR mensual	2.02%
TIR anual	24.27%

Valor Presente Neto

Capital de riesgo total	\$4,631,623
Tasa mensual para descontar	0.89%
Valor presente neto	\$5,485,854
Costo-beneficio descontado	\$854,231
% utilidad descontado	18.44%

PRI

Capital de riesgo total	\$4,631,623
Flujo acumulado mes 21	\$3,487,808
Flujo acumulado mes 22	\$7,028,593
Periodo de recuperación de la inversión	Mes 23

Fuente: elaboración propia

Estado de Resultados
Proyecto Villahermosa, Tab.

Anexo 8. Flujos de efectivo por proyecto e indicadores de rentabilidad

PROYECTO VIVIENDA CONVENCIONAL: Villahermosa

Datos del proyecto	
Monto por venta de viviendas	\$9,200,000
Núm. de viviendas	8
V. Viv. Individual	\$1,150,000
Enganche	20%
VENTAS TOTALES	\$9,200,000
Costo de obra	\$4,697,598
Tasa anual (TIIE + margen + 0.5)	9.50%
Tasa mensual	0.79%
Capital de inversión	\$3,050,278
Absorción	5%
Unidades vendidas por mes	1.00
Periodo de ventas	8
Periodo del proyecto	12
Periodo obra	6

Concepto / Periodo	Meses													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12
Número de enganches recibidos	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	8
Número de viviendas escrituradas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	3	8
Avance de obra					5%	10%	15%	20%	25%	25%				100%
REINVERSIÓN DE FLUJO	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$233,020	\$404,540	\$570,482	\$728,986	\$878,192	\$1,018,101	\$1,823,611	\$2,961,921	\$8,618,854
(+) Ingresos														
Enganches 20%					\$0	\$230,000	\$230,000	\$230,000	\$230,000	\$230,000	\$230,000	\$230,000	\$230,000	\$1,840,000
Individualizaciones 80%											\$1,840,000	\$2,760,000	\$2,760,000	\$7,360,000
Disposición del crédito (ministraciones) 51.06%		\$0	\$0	\$0	\$234,880	\$469,760	\$704,640	\$939,520	\$1,174,400	\$1,174,400	\$0	\$0	\$0	\$4,697,598
Aportacion de capital (inversionista)	\$26,680	\$281,199	\$281,199	\$281,199	\$287,781									\$1,158,060
Terreno (inversionista)	\$2,180,000													\$2,180,000
(+) Ingresos Totales	\$2,206,680	\$281,199	\$281,199	\$281,199	\$522,661	\$699,760	\$934,640	\$1,169,520	\$1,404,400	\$1,404,400	\$2,070,000	\$2,990,000	\$2,990,000	\$17,235,658
(-) Costos														
Preliminares	\$26,680													\$26,680
Terreno	\$2,180,000													\$2,180,000
Licencias		\$141,268	\$141,268	\$141,268										\$423,804
Estudios y Diseño		\$87,030	\$87,030	\$87,030										\$261,089
Construcción	\$0	\$0	\$0	\$0	\$234,880	\$469,760	\$704,640	\$939,520	\$1,174,400	\$1,174,400	\$0	\$0	\$0	\$4,697,598
Total Costos	\$2,206,680	\$228,298	\$228,298	\$228,298	\$234,880	\$469,760	\$704,640	\$939,520	\$1,174,400	\$1,174,400	\$0	\$0	\$0	\$7,589,171
(-) Gastos														
Administración														
Supervision														
Gerencia		\$8,368	\$8,368	\$8,368	\$8,368	\$8,368	\$8,368	\$8,368	\$8,368	\$8,368	\$8,368	\$8,368	\$8,368	\$100,419
Dirección		\$11,500	\$11,500	\$11,500	\$11,500	\$11,500	\$11,500	\$11,500	\$11,500	\$11,500	\$11,500	\$11,500	\$11,500	\$138,000
Prima Promotor		\$7,667	\$7,667	\$7,667	\$7,667	\$7,667	\$7,667	\$7,667	\$7,667	\$7,667	\$7,667	\$7,667	\$7,667	\$92,000
Ventas														
Publicidad		\$5,367	\$5,367	\$5,367	\$5,367	\$5,367	\$5,367	\$5,367	\$5,367	\$5,367	\$5,367	\$5,367	\$5,367	\$64,400
Comisiones		\$15,333	\$15,333	\$15,333	\$15,333	\$15,333	\$15,333	\$15,333	\$15,333	\$15,333	\$15,333	\$15,333	\$15,333	\$184,000
Otros		\$4,667	\$4,667	\$4,667	\$4,667	\$4,667	\$4,667	\$4,667	\$4,667	\$4,667	\$4,667	\$4,667	\$4,667	\$56,000
Total Gastos		\$52,902	\$52,902	\$52,902	\$52,902	\$52,902	\$52,902	\$52,902	\$52,902	\$52,902	\$52,902	\$52,902	\$52,902	\$634,819
(-) Egresos totales	\$2,206,680	\$281,199	\$281,199	\$281,199	\$287,781	\$522,661	\$757,541	\$992,421	\$1,227,301	\$1,227,301	\$52,902	\$52,902	\$52,902	\$8,223,990

Estado de Resultados
Proyecto Villahermosa, Tab.

Vivienda convencional

Indicadores de rentabilidad

TIR	
Capital inicial	-\$3,050,278
TIR mensual	2.20%
TIR anual	26.43%

Valor Presente Neto

Capital de riesgo total	\$3,050,278
Tasa mensual para descontar	0.95%
Valor presente neto	\$3,402,976
Costo-beneficio descontado	\$352,698
% utilidad descontado	11.56%

PRI

Capital de riesgo total	\$3,050,278
Flujo acumulado mes 11	\$1,823,611
Flujo acumulado mes 12	\$2,961,921
Periodo de recuperación de la inversión	Mes 11

ESTRUCTURA DE LA INVERSIÓN

Ingresos por ventas	
Viviendas	\$9,200,000
COSTOS	
Terreno	\$2,180,000
Preliminares	\$26,680
Licencias y permisos	\$423,804
Estudios y diseños	\$261,089
Construcción	\$4,697,598
TOTAL COSTOS (inversión)	\$7,589,171
GASTOS	
Administración	\$330,419
Ventas	\$248,400
Financieros	\$176,649
Otros	\$56,000
TOTAL GASTOS	\$811,468
Inversión total (Costos+Gastos)	\$8,400,640
Utilidad antes de impuestos	\$799,360

Estado de resultados
Proyecto Villahermosa, Tab.

PROYECTO VIVIENDA BIOCLIMÁTICA: Villahermosa

Datos del proyecto	
Monto por venta de viviendas	\$9,200,000
Núm. de viviendas	8
V. Viv. Individual	\$1,150,000
Enganche	20%
VENTAS TOTALES	\$9,200,000
Costo de obra	\$4,634,212
Tasa anual (TIE + margen + 0.5)	9.50%
Tasa mensual	0.79%
Capital de inversión	\$3,050,278
Absorción	5%
Unidades vendidas por mes	1.00
Periodo de ventas	8
Periodo del proyecto	12
Periodo obra	6

Meses

Concepto / Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Número de enganches recibidos	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	8
Número de viviendas escrituradas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	3	8
Avance de obra					5%	10%	15%	20%	25%	25%				100%
REINVERSIÓN DE FLUJO	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$229,876	\$401,471	\$567,564	\$726,318	\$875,901	\$1,016,312	\$1,838,170	\$3,000,752	\$8,656,364
(+) Ingresos														
Enganches 20%					\$0	\$230,000	\$230,000	\$230,000	\$230,000	\$230,000	\$230,000	\$230,000	\$230,000	\$1,840,000
Individualizaciones 80%											\$1,840,000	\$2,760,000	\$2,760,000	\$7,360,000
Disposición del crédito (ministraciones) 50.37%		\$0	\$0	\$0	\$231,711	\$463,421	\$695,132	\$926,842	\$1,158,553	\$1,158,553	\$0	\$0	\$0	\$4,634,212
Aportación de capital (inversionista)	\$26,680	\$281,199	\$281,199	\$281,199	\$284,612									\$1,154,890
Terreno (inversionista)	\$2,180,000													\$2,180,000
(+) Ingresos Totales	\$2,206,680	\$281,199	\$281,199	\$281,199	\$516,323	\$693,421	\$925,132	\$1,156,842	\$1,388,553	\$1,388,553	\$2,070,000	\$2,990,000	\$2,990,000	\$17,169,102
(-) Costos														
Preliminares	\$26,680													\$26,680
Terreno	\$2,180,000													\$2,180,000
Licencias		\$141,268	\$141,268	\$141,268										\$423,804
Estudios y Diseño		\$87,030	\$87,030	\$87,030										\$261,089
Construcción	\$0	\$0	\$0	\$0	\$231,711	\$463,421	\$695,132	\$926,842	\$1,158,553	\$1,158,553	\$0	\$0	\$0	\$4,634,212
Total Costos	\$2,206,680	\$228,298	\$228,298	\$228,298	\$231,711	\$463,421	\$695,132	\$926,842	\$1,158,553	\$1,158,553	\$0	\$0	\$0	\$7,525,785
(-) Gastos														
Administración														
<i>Supervisión</i>														
Gerencia		\$8,368	\$8,368	\$8,368	\$8,368	\$8,368	\$8,368	\$8,368	\$8,368	\$8,368	\$8,368	\$8,368	\$8,368	\$100,419
Dirección		\$11,500	\$11,500	\$11,500	\$11,500	\$11,500	\$11,500	\$11,500	\$11,500	\$11,500	\$11,500	\$11,500	\$11,500	\$138,000
Prima Promotor		\$7,667	\$7,667	\$7,667	\$7,667	\$7,667	\$7,667	\$7,667	\$7,667	\$7,667	\$7,667	\$7,667	\$7,667	\$92,000
Ventas														
Publicidad		\$5,367	\$5,367	\$5,367	\$5,367	\$5,367	\$5,367	\$5,367	\$5,367	\$5,367	\$5,367	\$5,367	\$5,367	\$64,400
Comisiones		\$15,333	\$15,333	\$15,333	\$15,333	\$15,333	\$15,333	\$15,333	\$15,333	\$15,333	\$15,333	\$15,333	\$15,333	\$184,000
Otros		\$4,667	\$4,667	\$4,667	\$4,667	\$4,667	\$4,667	\$4,667	\$4,667	\$4,667	\$4,667	\$4,667	\$4,667	\$56,000
Total Gastos		\$52,902	\$52,902	\$52,902	\$52,902	\$52,902	\$52,902	\$52,902	\$52,902	\$52,902	\$52,902	\$52,902	\$52,902	\$634,819
(-) Egresos totales	\$2,206,680	\$281,199	\$281,199	\$281,199	\$284,612	\$516,323	\$748,033	\$979,744	\$1,211,454	\$1,211,454	\$52,902	\$52,902	\$52,902	\$8,160,604
UTILIDAD BRUTA de OPERACIÓN	\$0	\$0	\$0	\$0	\$231,711	\$177,098	\$177,098	\$177,098	\$177,098	\$177,098	\$2,017,098	\$2,937,098	\$2,937,098	\$9,008,498

Estado de resultados
Proyecto Villahermosa, Tab.

Vivienda bioclimática

Indicadores de rentabilidad

TIR	
Capital inicial	-\$3,050,278
TIR mensual	2.32%
TIR anual	27.86%

Valor Presente Neto

Capital de riesgo total	\$3,050,278
Tasa mensual para descontar	0.95%
Valor presente neto	\$3,441,582
Costo-beneficio descontado	\$391,304
% utilidad descontado	12.83%

PRI

Capital de riesgo total	\$3,050,278
Flujo acumulado mes 11	\$3,000,752
Flujo acumulado mes 12	\$3,807,486
Periodo de recuperación de la inversión	Mes 12

ESTRUCTURA DE LA INVERSIÓN

Ingresos por ventas	
Viviendas	\$9,200,000
COSTOS	
Terreno	\$2,180,000
Preliminares	\$26,680
Licencias y permisos	\$423,804
Estudios y diseños	\$261,089
Construcción	\$4,634,212
TOTAL COSTOS (inversión)	\$7,525,785
GASTOS	
Administración	\$330,419
Ventas	\$248,400
Financieros	\$174,266
Otros	\$56,000
TOTAL GASTOS	\$809,085
Inversión total (Costos+Gastos)	\$8,334,870
Utilidad antes de impuestos	\$865,130

Vivienda convencional

Indicadores de rentabilidad

TIR	
Capital inicial	-\$2,227,901
TIR mensual	2.43%
TIR anual	29.17%

Valor Presente Neto

Capital de riesgo total	\$2,227,901
Tasa mensual para descontar	0.91%
Valor presente neto	\$2,591,536
Costo-beneficio descontado	\$363,635
% utilidad descontado	16.32%

PRI

Capital de riesgo total	\$2,227,901
Flujo acumulado mes 12	\$2,048,097
Flujo acumulado mes 13	\$2,881,727
Periodo de recuperación de la inversión	Mes 13

ESTRUCTURA DE LA INVERSIÓN

Ingresos por ventas	
Viviendas	\$9,500,000
COSTOS	
Terreno	\$1,196,459
Preliminares	\$27,550
Licencias y permisos	\$527,255
Estudios y diseños	\$318,237
Construcción	\$5,510,948
TOTAL COSTOS (inversión)	\$7,580,448
GASTOS	
Administración	\$359,899
Ventas	\$256,500
Financieros	\$231,230
Otros	\$70,000
TOTAL GASTOS	\$917,629
Inversión total (Costos+Gastos)	\$8,498,077
Utilidad antes de impuestos	\$1,001,923

Vivienda bioclimática

Indicadores de rentabilidad

TIR	
Capital inicial	-\$2,227,901
TIR mensual	2.62%
TIR anual	31.39%

Valor Presente Neto	
Capital de riesgo total	\$2,227,901
Tasa mensual para descontar	0.91%
Valor presente neto	\$2,642,532
Costo-beneficio descontado	\$414,631
% utilidad descontado	18.61%

PRI	
Capital de riesgo total	\$2,227,901
Flujo acumulado mes 12	\$2,091,038
Flujo acumulado mes 13	\$2,939,517
Periodo de recuperación de la inversión	Mes 13

ESTRUCTURA DE LA INVERSIÓN

Ingresos por ventas	
Viviendas	\$9,500,000
COSTOS	
Terreno	\$1,196,459
Preliminares	\$27,550
Licencias y permisos	\$527,255
Estudios y diseños	\$318,237
Construcción	\$5,431,715
TOTAL COSTOS (inversión)	\$7,501,215
GASTOS	
Administración	\$359,899
Ventas	\$256,500
Financieros	\$227,906
Otros	\$70,000
TOTAL GASTOS	\$914,304
Inversión total (Costos+Gastos)	\$8,415,520
Utilidad antes de impuestos	\$1,084,480

Vivienda convencional

Indicadores de rentabilidad

TIR	
Capital inicial	-\$25,365,482
TIR mensual	1.94%
TIR anual	23.24%

Valor Presente Neto

Capital de riesgo total	\$25,365,482
Tasa mensual para descontar	0.92%
Valor presente neto	\$30,751,491
Costo-beneficio descontado	\$5,386,009
% utilidad descontado	21.23%

PRI

Capital de riesgo total	\$25,365,482
Flujo acumulado mes 22	\$19,583,131
Flujo acumulado mes 23	\$31,179,831
Periodo de recuperación de la inversión	Mes 23

ESTRUCTURA DE LA INVERSIÓN

Ingresos por ventas	
Viviendas	\$108,900,000
COSTOS	
Terreno	\$15,990,629
Preliminares	\$315,810
Licencias y permisos	\$5,130,825
Estudios y diseños	\$2,989,994
Construcción	\$54,262,100
TOTAL COSTOS (inversión)	\$78,689,358
GASTOS	
Administración	\$3,872,498
Ventas	\$2,940,300
Financieros	\$5,150,604
Otros	\$693,000
TOTAL GASTOS	\$12,656,401
Inversión total (Costos+Gastos)	\$91,345,759
Utilidad antes de impuestos	\$17,554,241

Estado de resultados
Ciudad de México

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	99
0	0	0	0	0	0	0	0	33	33	33	99
8%	6%	3%	2%	1%							100%
\$5,173,649	\$5,582,881	\$5,966,339	\$6,336,910	\$6,698,889	\$7,056,573	\$7,414,256	\$7,771,939	\$8,129,623	\$19,583,131	\$31,179,831	
\$1,100,000	\$1,100,000	\$1,100,000	\$1,100,000	\$1,100,000	\$1,100,000	\$1,100,000	\$1,100,000	\$1,100,000	\$1,100,000	\$1,100,000	
\$4,340,968	\$3,255,726	\$1,627,863	\$1,085,242	\$542,621	\$0	\$0	\$0	\$29,040,000	\$29,040,000	\$29,040,000	
\$5,440,968	\$4,355,726	\$2,727,863	\$2,185,242	\$1,642,621	\$1,100,000	\$1,100,000	\$1,100,000	\$30,140,000	\$30,140,000	\$30,140,000	\$188,527,582
\$4,340,968	\$3,255,726	\$1,627,863	\$1,085,242	\$542,621	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$315,810
\$4,340,968	\$3,255,726	\$1,627,863	\$1,085,242	\$542,621	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$15,990,629
\$4,340,968	\$3,255,726	\$1,627,863	\$1,085,242	\$542,621	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$5,130,825
\$4,340,968	\$3,255,726	\$1,627,863	\$1,085,242	\$542,621	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$2,989,994
\$4,340,968	\$3,255,726	\$1,627,863	\$1,085,242	\$542,621	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$54,262,100
\$4,340,968	\$3,255,726	\$1,627,863	\$1,085,242	\$542,621	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$78,689,358
\$47,917	\$47,917	\$47,917	\$47,917	\$47,917	\$47,917	\$47,917	\$47,917	\$47,917	\$47,917	\$47,917	\$1,149,998
\$68,063	\$68,063	\$68,063	\$68,063	\$68,063	\$68,063	\$68,063	\$68,063	\$68,063	\$68,063	\$68,063	\$1,633,500
\$45,375	\$45,375	\$45,375	\$45,375	\$45,375	\$45,375	\$45,375	\$45,375	\$45,375	\$45,375	\$45,375	\$1,089,000
\$31,763	\$31,763	\$31,763	\$31,763	\$31,763	\$31,763	\$31,763	\$31,763	\$31,763	\$31,763	\$31,763	\$762,300
\$90,750	\$90,750	\$90,750	\$90,750	\$90,750	\$90,750	\$90,750	\$90,750	\$90,750	\$90,750	\$90,750	\$2,178,000
\$28,875	\$28,875	\$28,875	\$28,875	\$28,875	\$28,875	\$28,875	\$28,875	\$28,875	\$28,875	\$28,875	\$693,000
\$312,742	\$312,742	\$312,742	\$312,742	\$312,742	\$312,742	\$312,742	\$312,742	\$312,742	\$312,742	\$312,742	\$7,505,798
\$4,653,710	\$3,568,468	\$1,940,605	\$1,397,984	\$855,363	\$312,742	\$312,742	\$312,742	\$312,742	\$312,742	\$312,742	\$86,195,155
\$787,258	\$787,258	\$787,258	\$787,258	\$787,258	\$787,258	\$787,258	\$787,258	\$29,827,258	\$29,827,258	\$29,827,258	\$102,332,427

Estado de resultados
Ciudad de México

\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$5,547,740	\$5,547,740	
\$ 378,026	\$ 403,800	\$ 416,688	\$ 425,279	\$ 429,575	\$ 429,575	\$ 429,575	\$ 429,575	\$ 429,575	\$ 286,383	\$ 143,192	\$ -	\$5,150,604
									\$ 18,087,367	\$ 18,087,367	\$ 18,087,367	\$54,262,100
\$ 378,026	\$ 403,800	\$ 416,688	\$ 425,279	\$ 429,575	\$ 429,575	\$ 429,575	\$ 429,575	\$ 429,575	\$ 18,373,750	\$ 18,230,558	\$ 18,087,367	\$59,412,704
\$5,031,736	\$3,972,268	\$2,357,292	\$1,823,263	\$1,284,938	\$742,317	\$742,317	\$742,317	\$742,317	\$18,686,492	\$18,543,300	\$23,947,848	\$151,155,599
\$5,582,881	\$5,966,339	\$6,336,910	\$6,698,889	\$7,056,573	\$7,414,256	\$7,771,939	\$8,129,623	\$19,583,131	\$31,179,831	\$37,371,983		\$37,371,983
\$409,232	\$383,458	\$370,571	\$361,979	\$357,683	\$357,683	\$357,683	\$357,683	\$11,453,508	\$11,596,700	\$6,192,152		
\$5,582,881	\$5,966,339	\$6,336,910	\$6,698,889	\$7,056,573	\$7,414,256	\$7,771,939	\$8,129,623	\$19,583,131	\$31,179,831	\$37,371,983		
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
\$409,232	\$383,458	\$370,571	\$361,979	\$357,683	\$357,683	\$357,683	\$357,683	\$11,453,508	\$11,596,700	\$6,192,152		

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
\$5,440,968	\$4,355,726	\$2,727,863	\$2,185,242	\$1,642,621	\$1,100,000	\$1,100,000	\$1,100,000	\$30,140,000	\$30,140,000	\$30,140,000		
\$5,031,736	\$3,972,268	\$2,357,292	\$1,823,263	\$1,284,938	\$742,317	\$742,317	\$742,317	\$599,125	\$455,933	\$312,742		
\$409,232	\$383,458	\$370,571	\$361,979	\$357,683	\$357,683	\$357,683	\$357,683	\$29,540,875	\$29,684,067	\$29,827,258		
\$5,582,881	\$5,966,339	\$6,336,910	\$6,698,889	\$7,056,573	\$7,414,256	\$7,771,939	\$8,129,623	\$37,670,498	\$67,354,565	\$97,181,823		
\$4,340,968	\$3,255,726	\$1,627,863	\$1,085,242	\$542,621	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0		
\$72,177,906	\$75,433,632	\$77,061,495	\$78,146,737	\$78,689,358	\$78,689,358	\$78,689,358	\$78,689,358	\$78,689,358	\$78,689,358	\$78,689,358		
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$5,547,740		

Vivienda bioclimática

Indicadores de rentabilidad

TIR	
Capital inicial	-\$25,365,482
TIR mensual	2.03%
TIR anual	24.37%

Valor Presente Neto

Capital de riesgo total	\$25,365,482
Tasa mensual para descontar	0.92%
Valor presente neto	\$31,322,268
Costo-beneficio descontado	\$5,956,786
% utilidad descontado	23.48%

PRI

Capital de riesgo total	\$25,365,482
Flujo acumulado mes 22	\$19,979,856
Flujo acumulado mes 23	\$31,889,722
Periodo de recuperación de la inversión	Mes 23

ESTRUCTURA DE LA INVERSIÓN

Ingresos por ventas	
Viviendas	\$108,900,000
COSTOS	
Terreno	\$15,990,629
Preliminares	\$315,810
Licencias y permisos	\$5,130,825
Estudios y diseños	\$2,989,994
Construcción	\$53,329,981
TOTAL COSTOS (inversión)	\$77,757,238
GASTOS	
Administración	\$3,872,498
Ventas	\$2,940,300
Financieros	\$5,062,126
Otros	\$693,000
TOTAL GASTOS	\$12,567,924
Inversión total (Costos+Gastos)	\$90,325,162
Utilidad antes de impuestos	\$18,574,838

Estado de resultados
Ciudad de México

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	99
0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	33	33	99
10%	8%	6%	3%	2%	1%							100%
\$4,747,834	\$5,197,336	\$5,613,062	\$6,003,457	\$6,381,186	\$6,750,470	\$7,115,533	\$7,480,596	\$7,845,659	\$8,210,721	\$19,979,856	\$31,889,722	
\$1,100,000	\$1,100,000	\$1,100,000	\$1,100,000	\$1,100,000	\$1,100,000	\$1,100,000	\$1,100,000	\$1,100,000	\$1,100,000	\$1,100,000	\$1,100,000	
\$5,332,998	\$4,266,398	\$3,199,799	\$1,599,899	\$1,066,600	\$533,300	\$0	\$0	\$0	\$29,040,000	\$29,040,000	\$29,040,000	
\$6,432,998	\$5,366,398	\$4,299,799	\$2,699,899	\$2,166,600	\$1,633,300	\$1,100,000	\$1,100,000	\$1,100,000	\$30,140,000	\$30,140,000	\$30,140,000	\$187,595,463
\$5,332,998	\$4,266,398	\$3,199,799	\$1,599,899	\$1,066,600	\$533,300	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$315,810
\$5,332,998	\$4,266,398	\$3,199,799	\$1,599,899	\$1,066,600	\$533,300	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$15,990,629
\$5,332,998	\$4,266,398	\$3,199,799	\$1,599,899	\$1,066,600	\$533,300	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$5,130,825
\$47,917	\$47,917	\$47,917	\$47,917	\$47,917	\$47,917	\$47,917	\$47,917	\$47,917	\$47,917	\$47,917	\$47,917	\$1,149,998
\$68,063	\$68,063	\$68,063	\$68,063	\$68,063	\$68,063	\$68,063	\$68,063	\$68,063	\$68,063	\$68,063	\$68,063	\$1,633,500
\$45,375	\$45,375	\$45,375	\$45,375	\$45,375	\$45,375	\$45,375	\$45,375	\$45,375	\$45,375	\$45,375	\$45,375	\$1,089,000
\$31,763	\$31,763	\$31,763	\$31,763	\$31,763	\$31,763	\$31,763	\$31,763	\$31,763	\$31,763	\$31,763	\$31,763	\$762,300
\$90,750	\$90,750	\$90,750	\$90,750	\$90,750	\$90,750	\$90,750	\$90,750	\$90,750	\$90,750	\$90,750	\$90,750	\$2,178,000
\$28,875	\$28,875	\$28,875	\$28,875	\$28,875	\$28,875	\$28,875	\$28,875	\$28,875	\$28,875	\$28,875	\$28,875	\$693,000
\$312,742	\$312,742	\$312,742	\$312,742	\$312,742	\$312,742	\$312,742	\$312,742	\$312,742	\$312,742	\$312,742	\$312,742	\$7,505,798
\$5,645,740	\$4,579,140	\$3,512,540	\$1,912,641	\$1,379,341	\$846,041	\$312,742	\$312,742	\$312,742	\$312,742	\$312,742	\$312,742	\$85,263,036
\$787,258	\$787,258	\$787,258	\$787,258	\$787,258	\$787,258	\$787,258	\$787,258	\$787,258	\$29,827,258	\$29,827,258	\$29,827,258	\$102,332,427

Estado de resultados
Ciudad de México

\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$5,853,919	\$5,853,919
\$ 337,757	\$ 371,532	\$ 396,864	\$ 409,530	\$ 417,974	\$ 422,196	\$ 422,196	\$ 422,196	\$ 422,196	\$ 281,464	\$ 140,732	\$ -	\$5,062,126
									\$ 17,776,660	\$ 17,776,660	\$ 17,776,660	\$53,329,981
\$ 337,757	\$ 371,532	\$ 396,864	\$ 409,530	\$ 417,974	\$ 422,196	\$ 422,196	\$ 422,196	\$ 422,196	\$ 18,058,124	\$ 17,917,392	\$ 17,776,660	\$58,392,107
\$5,983,496	\$4,950,672	\$3,909,404	\$2,322,171	\$1,797,315	\$1,268,237	\$734,937	\$734,937	\$734,937	\$18,370,866	\$18,230,134	\$23,943,321	\$149,509,061
\$5,197,336	\$5,613,062	\$6,003,457	\$6,381,186	\$6,750,470	\$7,115,533	\$7,480,596	\$7,845,659	\$8,210,721	\$19,979,856	\$31,889,722	\$38,086,401	\$38,086,401
\$449,502	\$415,726	\$390,394	\$377,729	\$369,285	\$365,063	\$365,063	\$365,063	\$365,063	\$11,769,134	\$11,909,866	\$6,196,679	
\$5,197,336	\$5,613,062	\$6,003,457	\$6,381,186	\$6,750,470	\$7,115,533	\$7,480,596	\$7,845,659	\$8,210,721	\$19,979,856	\$31,889,722	\$38,086,401	
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
\$449,502	\$415,726	\$390,394	\$377,729	\$369,285	\$365,063	\$365,063	\$365,063	\$365,063	\$11,769,134	\$11,909,866	\$6,196,679	

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
\$6,432,998	\$5,366,398	\$4,299,799	\$2,699,899	\$2,166,600	\$1,633,300	\$1,100,000	\$1,100,000	\$1,100,000	\$30,140,000	\$30,140,000	\$30,140,000	
\$5,983,496	\$4,950,672	\$3,909,404	\$2,322,171	\$1,797,315	\$1,268,237	\$734,937	\$734,937	\$734,937	\$594,205	\$453,473	\$312,742	
\$449,502	\$415,726	\$390,394	\$377,729	\$369,285	\$365,063	\$365,063	\$365,063	\$365,063	\$29,545,795	\$29,686,527	\$29,827,258	
\$5,197,336	\$5,613,062	\$6,003,457	\$6,381,186	\$6,750,470	\$7,115,533	\$7,480,596	\$7,845,659	\$8,210,721	\$37,756,516	\$67,443,042	\$97,270,301	
\$5,332,998	\$4,266,398	\$3,199,799	\$1,599,899	\$1,066,600	\$533,300	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
\$67,091,242	\$71,357,640	\$74,557,439	\$76,157,338	\$77,223,938	\$77,757,238	\$77,757,238	\$77,757,238	\$77,757,238	\$77,757,238	\$77,757,238	\$77,757,238	
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$5,853,919	

Vivienda convencional

Indicadores de rentabilidad

TIR	
Capital inicial	-\$4,631,623
TIR mensual	1.81%
TIR anual	21.71%

Valor Presente Neto

Capital de riesgo total	\$4,631,623
Tasa mensual para descontar	0.89%
Valor presente neto	\$5,298,410
Costo-beneficio descontado	\$666,787
% utilidad descontado	14.40%

PRI

Capital de riesgo total	\$4,631,623
Flujo acumulado mes 21	\$3,471,933
Flujo acumulado mes 22	\$6,876,596
Periodo de recuperación de la inversión	Mes 22

ESTRUCTURA DE LA INVERSIÓN

Ingresos por ventas	
Viviendas	\$22,400,000
COSTOS	
Terreno	\$2,056,523
Preliminares	\$64,960
Licencias y permisos	\$1,458,314
Estudios y diseños	\$832,563
Construcción	\$14,074,293
TOTAL COSTOS (inversión)	\$18,486,653
GASTOS	
Administración	\$880,217
Ventas	\$604,800
Financieros	\$1,252,696
Otros	\$196,000
TOTAL GASTOS	\$2,933,712
Inversión total (Costos+Gastos)	\$21,420,365
Utilidad antes de impuestos	\$979,635

Estado de resultados
Tulancingo, Hgo.

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3
							0	0	22	22
5%	5%	4%								100%
\$2,053,521	\$2,199,040	\$2,338,988	\$2,474,478	\$2,609,969	\$2,745,460	\$2,880,951	\$3,176,442	\$3,471,933	\$6,876,596	\$40,975,751
\$320,000	\$320,000	\$320,000	\$320,000	\$320,000	\$320,000	\$480,000	\$480,000	\$480,000	\$480,000	\$7,040,000
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$14,080,000	\$14,080,000	\$28,160,000
\$703,715	\$703,715	\$562,972	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$14,074,293
										\$2,575,100
										\$2,056,523
\$1,023,715	\$1,023,715	\$882,972	\$320,000	\$320,000	\$320,000	\$480,000	\$480,000	\$14,560,000	\$14,560,000	\$53,905,916
										\$64,960
										\$2,056,523
										\$1,458,314
\$703,715	\$703,715	\$562,972	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$832,563
\$703,715	\$703,715	\$562,972	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$14,074,293
										\$18,486,653
\$13,922	\$13,922	\$13,922	\$13,922	\$13,922	\$13,922	\$13,922	\$13,922	\$13,922	\$13,922	\$320,217
\$14,609	\$14,609	\$14,609	\$14,609	\$14,609	\$14,609	\$14,609	\$14,609	\$14,609	\$14,609	\$336,000
\$9,739	\$9,739	\$9,739	\$9,739	\$9,739	\$9,739	\$9,739	\$9,739	\$9,739	\$9,739	\$224,000
\$6,817	\$6,817	\$6,817	\$6,817	\$6,817	\$6,817	\$6,817	\$6,817	\$6,817	\$6,817	\$156,800
\$19,478	\$19,478	\$19,478	\$19,478	\$19,478	\$19,478	\$19,478	\$19,478	\$19,478	\$19,478	\$448,000
\$8,522	\$8,522	\$8,522	\$8,522	\$8,522	\$8,522	\$8,522	\$8,522	\$8,522	\$8,522	\$196,000
\$73,088	\$73,088	\$73,088	\$73,088	\$73,088	\$73,088	\$73,088	\$73,088	\$73,088	\$73,088	\$1,681,017
										\$0
\$776,802	\$776,802	\$636,059	\$73,088	\$73,088	\$73,088	\$73,088	\$73,088	\$73,088	\$73,088	\$20,167,669
										\$0
\$246,912	\$246,912	\$246,912	\$246,912	\$246,912	\$246,912	\$406,912	\$406,912	\$14,486,912	\$14,486,912	\$33,738,247

Estado de resultados
Tulancingo, Hgo.

\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$4,199,669	\$0
											\$4,199,669
											\$0
											\$0
\$ 101,394	\$ 106,965	\$ 111,421	\$ 111,421	\$ 111,421	\$ 111,421	\$ 111,421	\$ 111,421	\$ 111,421	\$ 23,876	\$ 63,669	\$1,252,696
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 11,058,373	\$ 11,058,373	\$22,116,746
\$ 101,394	\$ 106,965	\$ 111,421	\$ 111,421	\$ 111,421	\$ 111,421	\$ 111,421	\$ 111,421	\$ 111,421	\$ 11,082,249	\$ 10,994,704	\$23,369,442
											\$0
\$878,196	\$883,767	\$747,481	\$184,509	\$184,509	\$184,509	\$184,509	\$184,509	\$184,509	\$11,155,337	\$15,267,461	\$47,736,781
											\$0
\$2,199,040	\$2,338,988	\$2,474,478	\$2,609,969	\$2,745,460	\$2,880,951	\$3,176,442	\$3,471,933	\$6,876,596	\$6,169,135	\$6,169,135	\$47,144,886
\$145,519	\$139,948	\$135,491	\$135,491	\$135,491	\$135,491	\$295,491	\$295,491	\$3,404,663	-\$707,461	-\$707,461	\$6,169,135
\$2,199,040	\$2,338,988	\$2,474,478	\$2,609,969	\$2,745,460	\$2,880,951	\$3,176,442	\$3,471,933	\$6,876,596	\$6,169,135	\$6,169,135	\$47,144,886
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		
\$145,519	\$139,948	\$135,491	\$135,491	\$135,491	\$135,491	\$295,491	\$295,491	\$3,404,663	-\$707,461		

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		
\$1,023,715	\$1,023,715	\$882,972	\$320,000	\$320,000	\$320,000	\$480,000	\$480,000	\$14,560,000	\$14,560,000		
\$878,196	\$883,767	\$747,481	\$184,509	\$184,509	\$184,509	\$184,509	\$184,509	\$96,964	\$9,418		
\$145,519	\$139,948	\$135,491	\$135,491	\$135,491	\$135,491	\$295,491	\$295,491	\$14,463,036	\$14,550,582		
\$2,199,040	\$2,338,988	\$2,474,478	\$2,609,969	\$2,745,460	\$2,880,951	\$3,176,442	\$3,471,933	\$17,934,969	\$32,485,551		
\$703,715	\$703,715	\$562,972	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0		
\$17,219,967	\$17,923,681	\$18,486,653	\$18,486,653	\$18,486,653	\$18,486,653	\$18,486,653	\$18,486,653	\$18,486,653	\$18,486,653		
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$4,199,669	

Vivienda bioclimática

Indicadores de rentabilidad

TIR	
Capital inicial	-\$4,631,623
TIR mensual	2.02%
TIR anual	24.27%

Valor Presente Neto

Capital de riesgo total	\$4,631,623
Tasa mensual para descontar	0.89%
Valor presente neto	\$5,485,854
Costo-beneficio descontado	\$854,231
% utilidad descontado	18.44%

PRI

Capital de riesgo total	\$4,631,623
Flujo acumulado mes 21	\$3,487,808
Flujo acumulado mes 22	\$7,028,593
Periodo de recuperación de la inversión	Mes 23

ESTRUCTURA DE LA INVERSIÓN

Ingresos por ventas	
Viviendas	\$22,400,000
COSTOS	
Terreno	\$2,056,523
Preliminares	\$64,960
Licencias y permisos	\$1,458,314
Estudios y diseños	\$832,563
Construcción	\$13,901,421
TOTAL COSTOS (inversión)	\$18,313,781
GASTOS	
Administración	\$880,217
Ventas	\$604,800
Financieros	\$1,237,309
Otros	\$196,000
TOTAL GASTOS	\$2,918,326
Inversión total (Costos+Gastos)	\$21,232,107
Utilidad antes de impuestos	\$1,167,893

Estado de resultados
Tulancingo, Hgo.

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3
							0	0	22	22
5%	5%	4%								100%
\$2,058,626	\$2,205,390	\$2,346,652	\$2,483,511	\$2,620,370	\$2,757,230	\$2,894,089	\$3,190,949	\$3,487,808	\$7,028,593	\$41,233,415
\$320,000	\$320,000	\$320,000	\$320,000	\$320,000	\$320,000	\$480,000	\$480,000	\$480,000	\$480,000	\$7,040,000
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$14,080,000	\$14,080,000	\$28,160,000
\$695,071	\$695,071	\$556,057	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$13,901,421
										\$2,575,100
										\$2,056,523
\$1,015,071	\$1,015,071	\$876,057	\$320,000	\$320,000	\$320,000	\$480,000	\$480,000	\$14,560,000	\$14,560,000	\$53,733,044
										\$64,960
										\$2,056,523
										\$1,458,314
\$695,071	\$695,071	\$556,057	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$832,563
\$695,071	\$695,071	\$556,057	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$13,901,421
										\$18,313,781
\$13,922	\$13,922	\$13,922	\$13,922	\$13,922	\$13,922	\$13,922	\$13,922	\$13,922	\$13,922	\$320,217
\$14,609	\$14,609	\$14,609	\$14,609	\$14,609	\$14,609	\$14,609	\$14,609	\$14,609	\$14,609	\$336,000
\$9,739	\$9,739	\$9,739	\$9,739	\$9,739	\$9,739	\$9,739	\$9,739	\$9,739	\$9,739	\$224,000
\$6,817	\$6,817	\$6,817	\$6,817	\$6,817	\$6,817	\$6,817	\$6,817	\$6,817	\$6,817	\$156,800
\$19,478	\$19,478	\$19,478	\$19,478	\$19,478	\$19,478	\$19,478	\$19,478	\$19,478	\$19,478	\$448,000
\$8,522	\$8,522	\$8,522	\$8,522	\$8,522	\$8,522	\$8,522	\$8,522	\$8,522	\$8,522	\$196,000
\$73,088	\$73,088	\$73,088	\$73,088	\$73,088	\$73,088	\$73,088	\$73,088	\$73,088	\$73,088	\$1,681,017
										\$0
\$768,159	\$768,159	\$629,145	\$73,088	\$73,088	\$73,088	\$73,088	\$73,088	\$73,088	\$73,088	\$19,994,797
										\$0
\$246,912	\$246,912	\$246,912	\$246,912	\$246,912	\$246,912	\$406,912	\$406,912	\$14,486,912	\$14,486,912	\$33,738,247

Estado de resultados
Tulancingo, Hgo.

\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$4,256,147	\$0	\$4,256,147
\$ 100,148	\$ 105,651	\$ 110,053	\$ 110,053	\$ 110,053	\$ 110,053	\$ 110,053	\$ 110,053	\$ 110,053	\$ 23,583	\$ 62,887	\$1,237,309	\$0
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 10,922,545	\$ 10,922,545	\$21,845,090	\$0
\$ 100,148	\$ 105,651	\$ 110,053	\$ 110,053	\$ 110,053	\$ 110,053	\$ 110,053	\$ 110,053	\$ 110,053	\$ 10,946,128	\$ 10,859,658	\$23,082,399	\$0
\$868,307	\$873,810	\$739,197	\$183,141	\$183,141	\$183,141	\$183,141	\$183,141	\$183,141	\$11,019,216	\$15,188,892	\$47,333,344	\$0
\$2,205,390	\$2,346,652	\$2,483,511	\$2,620,370	\$2,757,230	\$2,894,089	\$3,190,949	\$3,487,808	\$7,028,593	\$6,399,700	\$47,633,115	\$6,399,700	\$47,633,115
\$146,764	\$141,262	\$136,859	\$136,859	\$136,859	\$136,859	\$296,859	\$296,859	\$3,540,784	-\$628,892	\$6,399,700	\$47,633,115	\$47,633,115
\$2,205,390	\$2,346,652	\$2,483,511	\$2,620,370	\$2,757,230	\$2,894,089	\$3,190,949	\$3,487,808	\$7,028,593	\$6,399,700	\$47,633,115	\$47,633,115	\$47,633,115
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23			
\$146,764	\$141,262	\$136,859	\$136,859	\$136,859	\$136,859	\$296,859	\$296,859	\$3,540,784	-\$628,892			

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23			
\$1,015,071	\$1,015,071	\$876,057	\$320,000	\$320,000	\$320,000	\$480,000	\$480,000	\$14,560,000	\$14,560,000			
\$868,307	\$873,810	\$739,197	\$183,141	\$183,141	\$183,141	\$183,141	\$183,141	\$96,670	\$10,200			
\$146,764	\$141,262	\$136,859	\$136,859	\$136,859	\$136,859	\$296,859	\$296,859	\$14,463,330	\$14,549,800			
\$2,205,390	\$2,346,652	\$2,483,511	\$2,620,370	\$2,757,230	\$2,894,089	\$3,190,949	\$3,487,808	\$17,951,138	\$32,500,937			
\$695,071	\$695,071	\$556,057	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0			
\$17,062,653	\$17,757,724	\$18,313,781	\$18,313,781	\$18,313,781	\$18,313,781	\$18,313,781	\$18,313,781	\$18,313,781	\$18,313,781			
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$4,256,147		