

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente

Reconocimiento de validez oficial de estudios de nivel superior según acuerdo secretarial 15018, publicado en el Diario Oficial de la Federación del 29 de noviembre de 1976.

Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano
Maestría en Proyectos y Edificación Sustentables



Simulación de prototipo de torre de enfriamiento en la vivienda popular para regular el confort térmico en la ZMG

TRABAJO RECEPCIONAL que para obtener el **GRADO** de
MAESTRA EN PROYECTOS Y EDIFICACIÓN SUSTENTABLES

Presenta: **ARQ. ROSA MARÍA CHÁVEZ CAMACHO**

Tutor **DR. ADOLFO PRECIADO QUIROZ**

Cotutor **DR. NAYAR CUITLAHUAC GUTIÉRREZ ASTUDILLO**

Tlaquepaque, Jalisco. agosto de 2022.

Resumen

La vivienda autoconstruida ha sido durante años una práctica muy común que ha permitido adquirir viviendas a un bajo costo inicial, sin embargo, ha traído como consecuencia espacios con inconformidad térmica, acústica y problemas futuros. En la mayoría estos problemas vienen de un mal diseño arquitectónico y mala selección de materiales, provocando que en la búsqueda de soluciones se implemente la colocación de equipos de alto consumo energético (ventiladores, aire acondicionado).

Es por ello que se propone la investigación de la vivienda tipo en la ZMG de dos niveles en relación con su comportamiento térmico y confort durante diferentes épocas del año, para proponer la implementación de un prototipo de torre de enfriamiento integrado a la fachada vertical, para regular el confort térmico dentro de la vivienda, mediante la simulación numérica en el software Design Builder.

Se estudiaron diferentes tamaños de torres, con diferentes aberturas según la posición y tamaño, encontrando así que la más eficiente se encontraba a la altura de la actividad del espacio que se deseaba regular. Además, a pesar de que el estudio se enfocara a un espacio, este aportaba la reducción de temperatura en toda la vivienda 0.87°C y 3.06°C en la habitación de estudio y el aumento de renovación de aire para toda la vivienda, factor que beneficia en general el comportamiento térmico de la casa.

Es por ello que se considera que la implementación de torres en viviendas ya construidas es una buena alternativa para la regulación de temperatura interna y reducción de consumo energético, abonando así a la sustentabilidad desde los tres ámbitos que abarca: económico, social y ambiental

Palabras clave: Confort térmico; torres de enfriamiento; vivienda autoconstruida, biomimetismo; viento; sustentabilidad.

Abstract

Self-built housing has been for years a very common practice that has allowed acquiring homes at a low initial cost, however, it has brought as a consequence spaces with thermal and acoustic nonconformity and future problems. Most of these problems come from a bad architectural design and poor selection of materials, causing that in the search for solutions the placement of high energy consumption equipment (fans, air conditioning).

This is why we propose the investigation of the typical house in the ZMG in relation to its thermal behavior and comfort during different times of the year, to propose the implementation of a prototype of a cooling tower integrated to the vertical facade, to regulate the thermal comfort inside the house, through the numerical simulation in the Design Builder software.

Different sizes of towers were studied, with different openings depending on the position and size, finding that the most efficient was at the height of the activity of the space to be regulated. In addition, even though the study was focused on one space, it contributed to the reduction of temperature in the whole house by 0.87°C and 3.06°C in the study room and the increase of air renewal for the whole house, a factor that benefits the overall thermal performance of the house.

For this reason, it is considered that the implementation of towers in houses already built is a good alternative for the regulation of internal temperature and reduction of energy consumption, thus contributing to sustainability from the three areas covered: economic, social and environmental.

Keywords: thermal comfort; cooling towers; self-built housing; biomimicry; wind; sustainability.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco y dedico esta investigación a Dios y a mi madre por su apoyo y amor incondicional en todo momento

A mi tutor Dr. Adolfo Preciado y co-tutor Dr. Nayar Gutierrez, por compartir sus conocimientos, su paciencia, apoyo y dedicación durante todo este proceso

A mis compañeros de maestría, por esas noches de desvelo y apoyo, risas y consejos en los momentos más difíciles

Al Mtro. Francisco Álvarez, Dr. Aníbal Luna, Dr. Víctor Arvizu y al D.P.E.A. Antonio Penagos, por su tiempo y asesorías en diferentes temas para concluir de una mejor manera la investigación

Y al CONACYT por haberme otorgado la beca y al ITESO por haberme permitido realizar mis estudios de maestría.

ÍNDICE

Resumen.....	II
Abstract	III
Agradecimientos	IV
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Relación de la problemática con la sustentabilidad	4
1.4 Delimitación del objeto de desarrollo e innovación	8
1.5 Diseño metodológico	9
1.5.1 Pregunta general de la investigación	10
1.5.2 Hipótesis	11
1.5.3 Objetivo general	11
1.5.4 Objetivos Particulares	11
1.6 Contenido del TOG	12
2 ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS.....	14
2.1 Introducción	14
2.2 Arquitectura bioclimática	15
2.3 Biomimetismo	20
2.3.1 Termitero Africano	22
2.3.2 Telas de araña	23
2.3.3 Nidos de aves	25
2.4 Torres de enfriamiento	28
2.5 Muros Trombe	33
2.6 Energía eólica	35
2.7 comparativa entre sistemas pasivos	36
2.8 Resumen	38
3. CARACTERIZACIÓN CLIMATOLÓGICA Y CONSTRUCTIVA DE LA VIVIENDA TRADICIONAL EN LA ZMG	40
3.1. Introducción	40
3.2. Climatología	41
3.2.1. Parámetros de confort en la ZMG	44

3.2.2.	Análisis de climatológico anual en la ZMG	45
3.2.3.	Estrategias Bioclimáticas para la ZMG	52
3.3.	Caracterización y problemática de la vivienda tradicional en la ZMG	53
3.3.1.	Antecedentes	53
3.3.2.	Clasificación de vivienda en la ZMG	55
3.3.3.	Vivienda de estudio	56
3.4.	Características térmicas de los materiales	58
3.4.1.	Conceptos básicos	58
3.4.2.	Materiales exteriores (envolvente)	64
3.4.3.	Materiales interiores (acabados)	65
3.5.	Conclusiones	66
4	CARACTERIZACIÓN DE LA VIVIENDA DE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE CONFORT TÉRMICO	67
4.1	Introducción	67
4.2	Descripción general y ubicación de la vivienda de estudio	68
4.2.1	Ubicación geográfica de la vivienda de estudio	68
4.2.2	Climatología de la vivienda de estudio	69
4.3	Caracterización del sistema constructivo y materiales de la vivienda de estudio	71
4.3.1	Descripción arquitectónica de la vivienda de estudio	72
4.4	Monitoreo de temperatura y humedad de la vivienda de estudio	73
4.4.1	Monitoreo anual de la vivienda de estudio	76
4.4.2	Graficas horarias-anales por espacio en la vivienda de estudio	79
4.5	Confort térmico	81
4.5.1	Selección de confort térmico	81
4.6	Conclusiones	85
5	SIMULACIÓN ENERGÉTICA DEL CASO DE ESTUDIO	87
5.1	Introducción	87
5.2	Modelado numérico estado actual	88
5.2.1	Proceso de modelado	88
5.2.2	Análisis de resultados	94
5.3	Modelado numérico intervención (Torre de enfriamiento)	98
5.3.1	Proceso de modelado	99
5.4	Comparativa de modelo base y torre de enfriamiento	104

5.5	Conclusiones	108
6	CONCLUSIONES GENERALES Y PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN FUTURA	110
6.1	Conclusiones generales	110
6.2	Propuesta de investigación futura	113
ANEXOS	115
	Anexo 1.- Ahorro energético y costo beneficio del prototipo	115
	Anexo 2.- Cartas de vinculación	120
Referencias	123

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

Durante años se ha hablado de que *“la arquitectura debe ser considerada como la disciplina encargada del ecodiseño de los espacios”* (Fuentes, 2004, pp. 18), sin embargo, nos hemos encontrado con una gran problemática de viviendas autoconstruidas que descuidan el confort térmico de las edificaciones.

Esta problemática ha dado como resultado una gran cantidad de viviendas que satisfacen o cubren la demanda de adquirir un espacio donde vivir, incorporado nuevas edificaciones como una forma de vida o supervivencia. Sin embargo, se queda de lado las consecuencias futuras e impactos sociales, económicos y ambientales que pueden llegar a generar.

Al tener esta creencia de supervivencia se deja de lado que una vivienda *“delimita los espacios que el hombre necesita para desarrollar su vida cotidiana... en condiciones de confort necesarias para tal fin”* (Núñez et al., 2014). Lo anterior da como resultado espacios con ineficiencia energética, ganancias o pérdidas de calor significativas para el confort térmico, baja renovación de aire, materiales precarios con altos costos de mantenimiento, ineficiencia lumínica, entre otros; generando así edificaciones que consumen mayor energía y con ello generan mayor impacto ambiental.

Es por ello que se propone la investigación de una vivienda autoconstruida en la zona metropolitana de Guadalajara (ZMG), donde se profundizara en los valores de temperatura, humedad, conductividad térmica, resistencia térmica y confort, para definir los valores de temperatura ideales que debiera de tener la casa/habitación al implementar el prototipo de torre de enfriamiento.

El objeto de innovación de este proyecto será el diseño de una torre de enfriamiento mediante la realización de modelos numéricos, a través del software Design Builder. Se analizarán sus diferentes escenarios en relación a los materiales y orientaciones, dando opciones o posibilidades de adaptación del prototipo a las viviendas autoconstruidas.

Además, ofrecerá la posibilidad de tener un mayor confort térmico interior, mediante la selección de materiales eficientes, de bajo costo y ligeros.

1.2 Planteamiento del problema

Uno de los principales problemas de la sustentabilidad y desarrollo de Jalisco, es el crecimiento de la vivienda no planificada ya que es una de las necesidades básicas de la humanidad y por ende estamos destinados a buscar un espacio donde vivir, que se convierte en una forma de vida y supervivencia. A partir del 2010 “el incremento de las viviendas se volvió superior al de los habitantes” (IIEG, 2010, pp. 213), índice que comenzó a generar dudas en cuanto al desarrollo de las comunidades e inquietudes dentro de los alcances y problemas que esto traería debido a su crecimiento descontrolado. Esto se representa en la [Figura 1.1](#) donde se muestra el incremento de personas en Jalisco en relación al aumento de viviendas de los años 2005, 2010 y 2020.

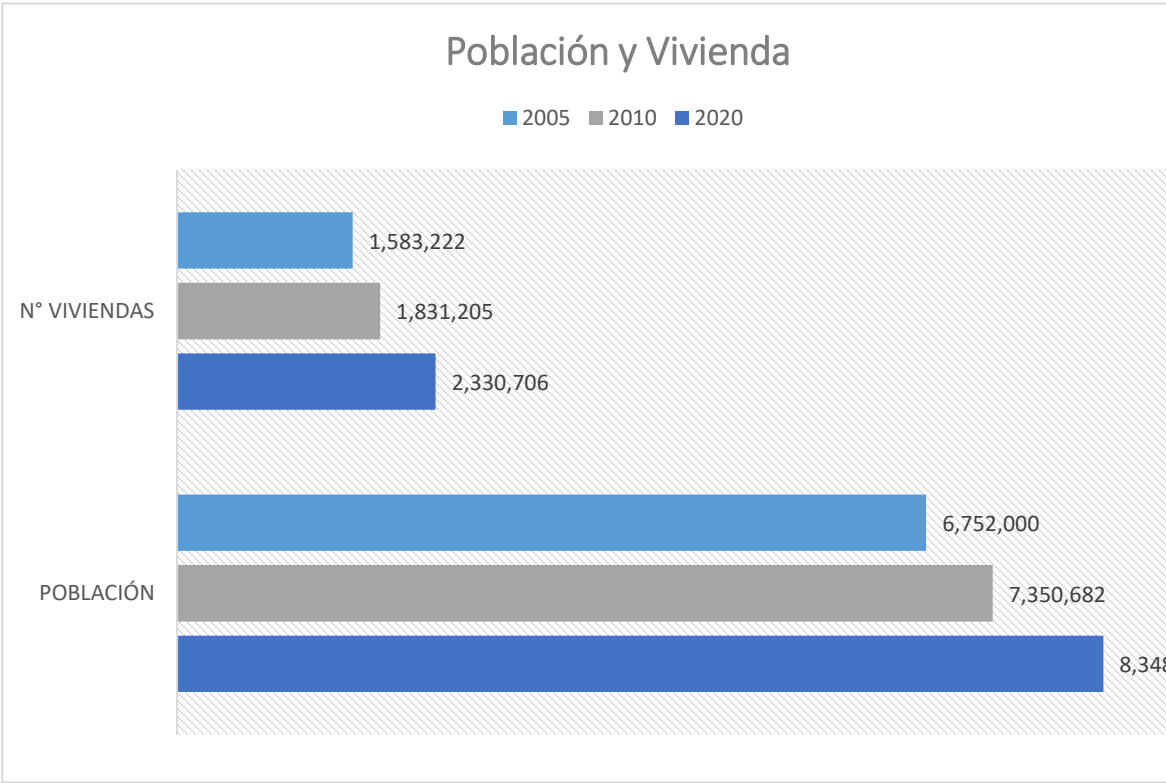


Figura 1.1 Crecimiento de vivienda y poblacional (2005, 2010 y 2020)
Fuente: elaboración propia con datos de [INEGI \(2020\)](#).

Si se analiza el factor de ocupantes por casa según la población, observaremos que el índice de ocupación va disminuyendo y con esto podemos decir que los roles dentro de la vivienda van cambiando. Para el 2005 había 4.26 ocupantes por unidad habitacional, mientras que para el 2020 se tiene un 3.58 ocupantes, esto indica que cada vez van cambiando más los roles de ocupación de vivienda.

Por otro lado, se analizó la forma de adquisición de una unidad privativa, ya que se cree que gran parte del problema es la forma de construcción, debido al bajo estudio que esta presenta antes de ser edificada. En la [Figura 1.2](#) se muestra que para el 2008 la vivienda autoconstruida representaba un valor del 26% del total de las viviendas construidas en Jalisco (le pagaron a un albañil), mientras que en el 2018 represento un 55% (la construyo el mismo, la mando a construir). Estos valores no influyen en la información relacionada con “los valores no especificados”, entonces se puede decir que el total de viviendas construidas mediante la autoconstrucción ha ido aumentando, trayendo como consecuente mayor consumo energético y de recursos.

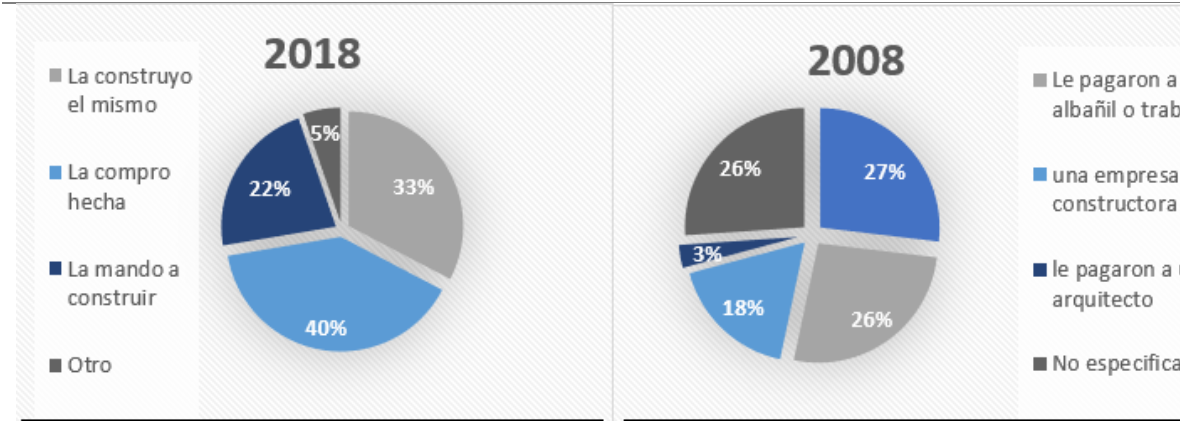


Figura 1.2 Adquisición de vivienda 2008 y 2018
 Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (2008)

Esta situación se vuelve cada vez más preocupante, debido a que la mayoría de las edificaciones no cuentan con un estudio de arquitectura bioclimática o desarrollo sostenible según su entorno y necesidades, generando así mayor consumo de energía que a su vez se traduce en más emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Entonces

podemos decir que *“con el medio edificado actual... solo caben tres soluciones; retornar a los controles ecológicos naturales, desarrollar unos nuevos o proyectar alguna combinación nueva”* (Yeang, 1995).

Esto debería de generar una relación directa entre la construcción y los ecosistemas, donde se debería de buscar su desarrollo entorno a un pensamiento sustentable, que responda a necesidades de los usuarios, pero siempre cuidando el ecosistema.

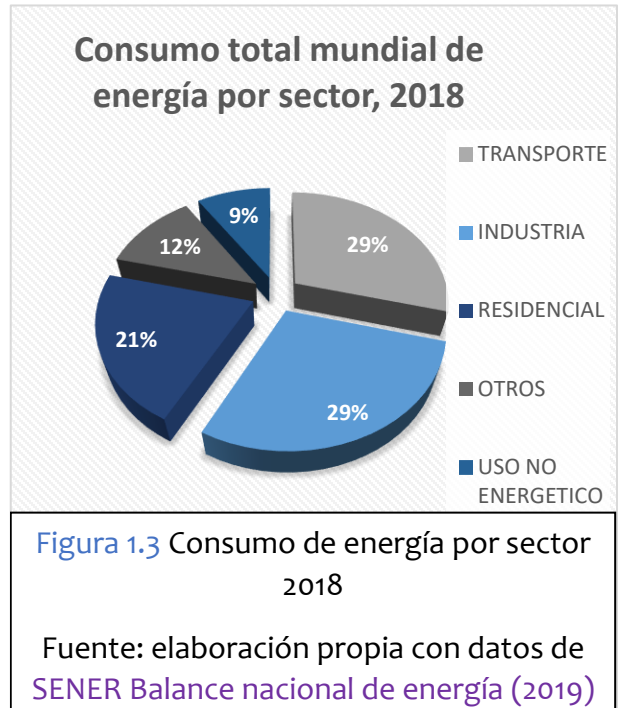
Entonces cada vez se vuelve más importante realizar esta relación de contexto-vivienda ya que, al no ser tomado en cuenta desde el principio, el usuario comienza a tener déficit en su calidad de vida. Donde las principales consecuencias se encuentra el confort térmico interior de la vivienda, trayendo como consecuente futuro la regulación del mismo mediante la incorporación de equipos electrónicos de altos consumos energéticos, adaptaciones arquitectónicas que generan mayor consumo de recursos y mayores emisiones de CO₂.

Tomando en cuenta lo anterior, se propone la implementación de una torre de enfriamiento para regular el confort térmico dentro de la vivienda autoconstruida, a través de su integración en la fachada vertical. Mejorando los aspectos de diseño bioclimático de la misma para generar un mayor confort y eficiencia energética de la vivienda, aumentando con ello la calidad de vida de los usuarios.

1.3 Relación de la problemática con la sustentabilidad

Dentro de la agenda 2030 para el desarrollo Sostenible mundial, *“se plantean 17 objetivos con 169 metas... que abarcan las esferas económica, social y ambiental”* (ONU, 2015), donde es fundamental implementar acciones sustentables que se transformen en un estilo de vida para los habitantes. Esto ayudara a contribuir a un crecimiento sustentable dentro de la comunidad donde vivimos, dando opciones futuras a la réplica del modelo en diferentes comunidades y diseños de vivienda.

El consumo energético a nivel mundial, repartido por sectores, es dividido en cuatro categorías como principales, donde para el año 2018 la vivienda tenía uno de los mayores porcentajes de consumo energético, como se muestra en la [Figura 1.3](#), buscando así la disminución del consumo energético dentro de la misma. Alrededor del 81.24% de la energía eléctrica producida en el país, es generada mediante recursos no renovables ([Ramos & Montenegro, 2011](#)), factor que impacta directamente al medio ambiente con la emisión de mayor número de GEI.

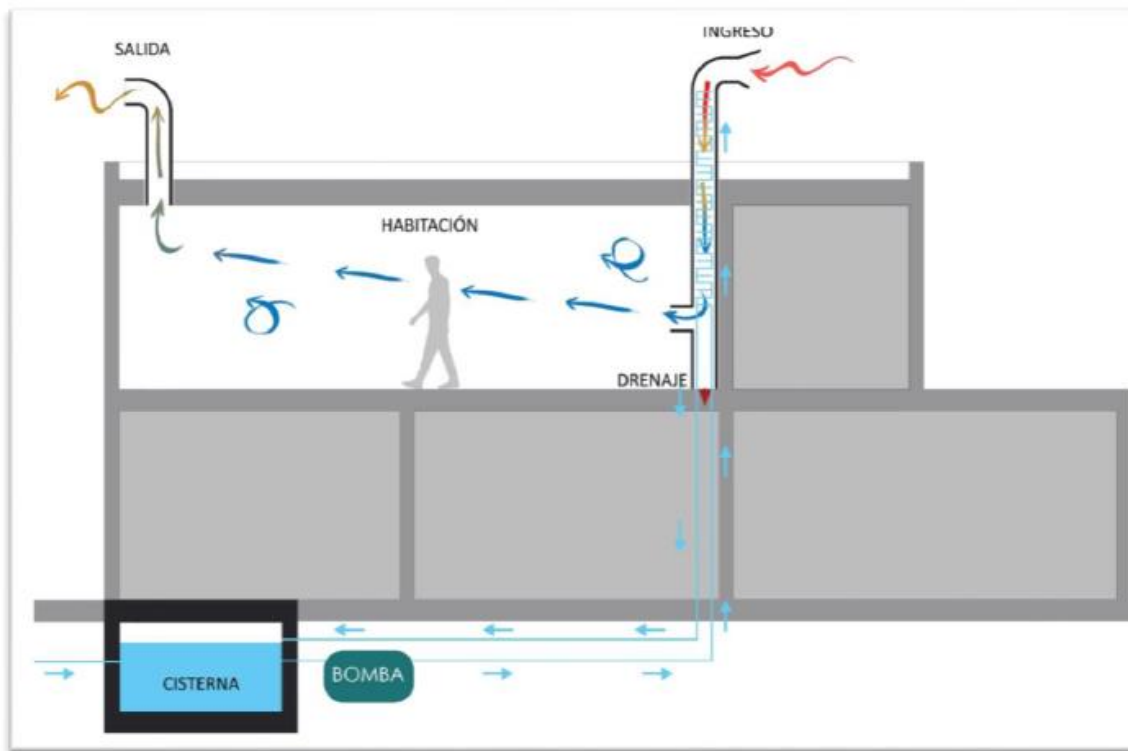


Además, cabe señalar que, debido al cambio climático, las construcciones de casas habitación, van requiriendo cada vez mayor número de adaptaciones en la mismas, teniendo un “consumo excesivo de energía como consecuencia de un mal diseño en la vivienda” ([CONAVI S. , 2008](#)). Lo anterior trae como consecuencia la necesidad de implementar un sistema que ayude a regular la temperatura interna de la vivienda, que a su vez ayude a disminuir el consumo de energía eléctrica y reducción de GEI generados por el consumo eléctrico de estas.

Es por ello que la propuesta TOG propone la simulación de un prototipo de torre de enfriamiento, incorporada en una fachada vertical de la vivienda autoconstruida. Donde mediante la implementación de sistemas pasivos, impulsados por energía solar, ayude al proceso de renovación de aire dentro del espacio y a su vez ayude a regular el confort térmico interior.

En el TOG de [Briceño \(2018\)](#), se llevó a cabo el estudio sobre una “torre de enfriamiento habitacional híbrido”, donde se estudia la forma de captar el aire e introducirlo a una habitación, mediante huecos en la losa de azotea.

La torre de enfriamiento tiene un sistema que mediante un serpentín de agua que pasa por el ducto de inyección de aire, ayuda a refrescar el viento que ingresa a la habitación y con esto ayuda a refrescar el ambiente y dar una sensación térmica de confort, el detalle de funcionamiento se representa en la [Figura 1.4](#).



[Figura 1.4](#) Esquema de sistema de torre de viento para enfriamiento híbrido
Fuente: (Briceño, 2018, pp. 93)

Por otro lado, [Soberanes \(2016, pp. 139\)](#), realizó un estudio con un esquema mas amplio, que incluye el recorrido de inyección de aire de una casa habitación, desde que entra a la vivienda hasta que sale, esto se muestra en la [Figura 1.5](#).

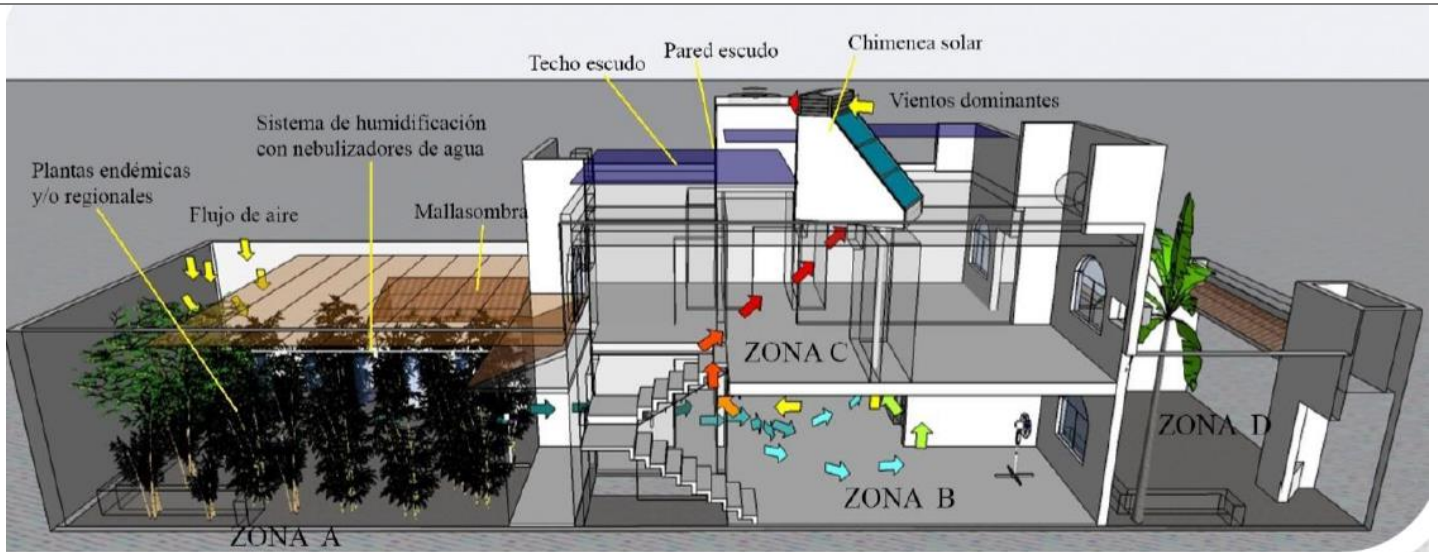


Figura 1.5 Sistema experimental de acondicionamiento térmico
Fuente: (Soberanes, 2016)

Soberanes (2016) estudió el comportamiento de confort de la vivienda, con variantes como vegetación, malla sombra, ventiladores y chimenea solar. Dando como resultado una chimenea solar como el objeto de innovación para mejorar el confort de la vivienda, representado en la Figura 1.6.

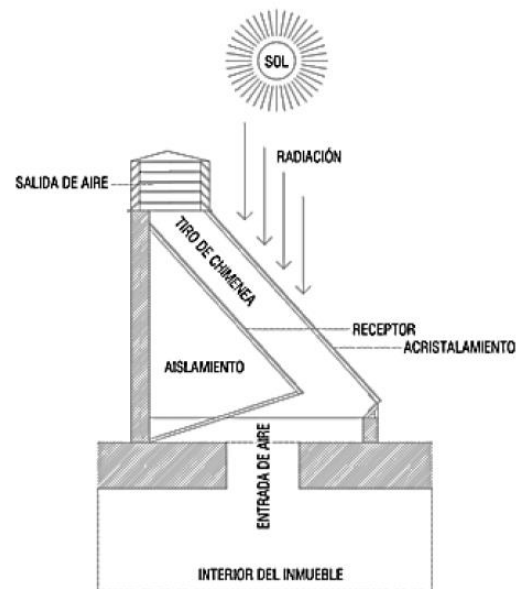


Figura 1.6 Chimenea Solar con inclinación de 45°
Fuente: Soberanes (2016, pp 132)

El primer caso se estudió, analizo el prototipo mediante el Software Computational Fluid Dynamics Simulation (CFD), arrojando datos de disminución de temperatura de 8.5°C y 10.5°C (Briceño, 2018, pp. 140), mientras que en el segundo caso comprobado en sitio (según sus diferentes variantes), demostró tener una disminución de temperatura máxima 10°C, (Soberanes, 2016, pp. 309).

Entonces podemos decir que la implementación de un prototipo de torre de enfriamiento es funcional para la vivienda, pero que es necesario estudiar sus diferentes **variantes de orientación, selección de materiales, funcionamiento y flujo de aire.**

Cabe señalar que la selección de materiales con alta eficiencia energética y un ciclo de vida largo, que ayuden a disminuir las ganancias o pérdidas de calor, es importante para el éxito del prototipo. Donde además debe abonar a la sustentabilidad mediante el ahorro energético y económico de la vivienda. Esto con la finalidad de que sea una alternativa que brinde a las viviendas de escasos recursos, una mejor calidad de vida y confort térmico.

Al contribuir con aspectos de sustentabilidad mediante el ahorro energético y calidad de vida, el proyecto puede contribuir a los Programas Nacionales Estratégicos del CONACYT (PRONACE), en los aspectos de Energía asequible y no contaminante; industria, innovación y estructura; y ciudades y comunidades sostenibles.

1.4 Delimitación del objeto de desarrollo e innovación

Los resultados de la investigación se ubican en el campo disciplinario de la arquitectura bioclimática, eficiencia energética, ganancia y pérdida de calor, el biomimetismo y ciencia de los materiales en relación con su comportamiento físico y mecánico dentro de la vivienda.

Además, mediante el estudio de sistemas de renovación de aire interior de los espacios como termiteros, muros trombe y torres de enfriamiento, se realizará la propuesta de simulación un prototipo de torre de enfriamiento, con estructura ligera y prefabricada, para encontrar el modelo más funcional y sustentable.

El prototipo podrá tener variantes de orientación, material, ubicación, dimensiones, puntos de inyección y extracción de aire, uso de energía eólica y solar. Pero siempre deberá buscar la reducción térmica de la edificación y aumento de confort del usuario final.

Teniendo como principal objeto de estudio la vivienda autoconstruida, debido a que, dentro de la población con adquisición de vivienda, es el sector que predomina y tiene una tendencia de crecimiento. Siendo uno de los grupos con menor poder adquisitivo y más afectado por la mala implementación de la arquitectura bioclimática.

1.5 Diseño metodológico

El TOG se plantea dentro de la modalidad de [Proyecto de Investigación aplicada](#), mediante la línea de generación y aplicación de conocimiento (LGAC), [Soluciones espaciales al hábitat inmediato](#).

Se abordará a través de un modelo híbrido de dos metodologías: la [metodología interpretativa](#) y la [metodología positivista](#), dando una visión objetiva y enfocada al objeto de estudio, mediante la observación y medición de datos.

La metodología **positivista o cuantitativa** se desarrolla mediante un enfoque científico, esta busca la recolección de datos como el monitoreo del clima, investigación de diferentes usos de ecotecnias, consumo eléctrico de la vivienda promedio, entre otras, dando como resultado graficas para comparar el sistema actual con el propuesto.

Mientras que en la metodología **interpretativa o cualitativa** buscará desarrollar el modelo dentro de una comunidad y cultura específica, describiendo los resultados obtenidos en relación del usuario y el espacio.

El cruce de las dos metodologías ayudara a que se interpreten de una mejor manera los resultandos, dando así soluciones a un contexto específico y problemática.

Cabe señalar que la recolección de datos mediante el [monitoreo de temperatura y humedad](#) deberá realizarse en el interior y exterior de la vivienda, teniendo información durante mínimo tres estaciones del año (verano, invierno y otoño).

Al mismo tiempo se deberá de recolectar los mismos datos de la estación meteorológica más cercana, para tenerlos como referencia del contexto.

Los datos recabados en el monitoreo interno y externo de la vivienda y el contexto deberán de ser comparados con los resultados presentados en el modelo numérico.

En el **modelo numérico** es importante analizar las diferentes variantes como materiales, orientación, dimensiones, humedad y diferentes estaciones del año, además de considerar la radiación solar según la estación del año, para tener resultados más reales.

Al terminar las comparaciones, se propondrá la graficación de datos, para seleccionar de manera adecuada el prototipo más eficiente y funcional, donde una vez seleccionado se analizará el costo beneficio.

Otra parte importante una vez seleccionado el prototipo, será la comparativa del sistema con un sistema convencional como ventilador o equipo de aire acondicionado, para conocer si realmente es un prototipo que aporte a la sustentabilidad, o que ahorro energético brindaría en caso de implementarlo para omitir el uso de alguno de los anteriores.

1.5.1 Pregunta general de la investigación

Dentro de la investigación surgen dudas sobre ¿Qué esperar de la simulación del prototipo de torre de enfriamiento, que elementos debe contener, que materiales son los que tienen mayor eficiencia térmica para el prototipo?, ¿cuál sería el resultado esperado y qué efectos tendrá en la vivienda autoconstruida? En base a esta pregunta principal se desglosan preguntas de desarrollo como:

- ¿Cómo funciona una torre de enfriamiento y que materiales o elementos debe de tener para su optimo desempeño?
- ¿Qué materiales ligeros pueden sustituir los elementos de una torre de enfriamiento, en base a su costo y eficiencia energética, para ser utilizado en una vivienda autoconstruida sin afectar la estructura?

- ¿Dónde se llevará a cabo la realización de prototipo de torre de enfriamiento y cuál sería la temperatura confort a esperar?
- ¿Qué aportara este sistema a la sustentabilidad de la vivienda autoconstruida?
- ¿Qué materiales tienen mayor eficiencia energética y menor ganancia de calor?
- ¿Cuál será la durabilidad de la torre de enfriamiento?

1.5.2 Hipótesis

La necesidad de tener una casa en la actualidad se ve estrechamente relacionada con el costo que esta le traerá al usuario adquirirla. Dando como resultado viviendas autoconstruidas que en la mayoría de los casos carecen de un diseño de arquitectura bioclimática, con mala selección de materiales y orientaciones. Esto a su vez se ve reflejado con espacios de bajo confort térmico y problemas de mantenimiento futuro.

La implementación de un sistema ligero de torre de enfriamiento en la fachada vertical dará la oportunidad de regular térmicamente la vivienda o habitaciones menos favorables. Al mismo tiempo esto ayudara a disminuir el gasto energético que estos espacios requieren debido a la ganancia de calor que tienen. Ofreciendo así espacios de mayor confort térmico sin necesidad de utilizar climatización durante mayores temporadas.

1.5.3 Objetivo general

Implementar un prototipo de torre de enfriamiento en vivienda popular para regular el confort térmico interno con el uso de una estructura ligera en la fachada vertical para la renovación de aire mediante un sistema pasivo.

1.5.4 Objetivos Particulares

- Realizar una investigación sobre el estado del arte en torres de enfriamiento, biomimetismo, bioclimática, muros trombe, energía eólica, eficiencia energética de materiales y radiación solar.
- Identificar la vivienda para el caso de estudio, describir sus características de materiales, sistema constructivo, dimensiones, ubicación y orientación.

- Monitoreo de temperatura y humedad en la vivienda de estudio durante diferentes estaciones del año para comparar los resultados de la implementación del sistema.
- Investigar materiales con relación a su transmisión y ganancia de calor (masas térmicas, temperatura promedio).
- Analizar diferentes modelos numéricos con un software comercial para estudiar la eficiencia del sistema y ver los posibles escenarios, con variantes en materiales, dimensiones y orientación.
- Analizar el flujo de aire, mediante la simulación numérica, identificando así el modelo con mayor aporte.
- Seleccionar el modelo más eficiente, para analizar el impacto de confort y energético que puede llegar a tener.
- Estudiar el costo beneficio del sistema y retorno de inversión.
- Comparar los resultados obtenidos con los de un sistema convencional de enfriamiento como ventilador de techo o aire acondicionado.

1.6 Contenido del TOG

Capítulo 1 Introducción. - se da una perspectiva general del TOG, donde se plantea la problemática, la relación del trabajo con la sustentabilidad, palabras claves para el contexto del proyecto, justificación e importancia del proyecto, objetivos generales, particulares, hipótesis y metodología.

Capítulo 2 estrategias bioclimáticas o estado del arte. - explica los conceptos básicos y fundamentales del TOG, de donde surge la idea, funcionamiento y aplicación de la Torre de enfriamiento con relación a la arquitectura bioclimática, termitero africano, muro tromble, eficiencia energética, ganancias de calor por medio de materiales y estrategias de ventilación o renovación de aire.

Capítulo 3 caracterización climatológica y constructiva de la vivienda tradicional de la ZMG. – en este capítulo se realiza un análisis del clima en la ZMG, identificando los prototipos de vivienda con relación al código de edificación de vivienda y las

características fisicoquímicas de los materiales con relación a su comportamiento térmico en la vivienda.

Capítulo 4 descripción de la vivienda de estudio. - se explica la ubicación y características de la vivienda seleccionada, junto con la caracterización de los materiales que la componen, así como muros y losa. Además, se muestra el monitoreo de temperatura y humedad que se realizó durante un año en el espacio de estudio, espacio de referencia y patio de la vivienda. Por consiguiente se seleccionó el rango de confort deseado, en base a la fórmula de confort por Auliciems.

Capítulo 5 simulación energética de la vivienda de estudio y torres de enfriamiento. – se analizan diferentes modelos numéricos tridimensionales de la vivienda en su estado original y con la propuesta de implementación de torre de enfriamiento. Esto con la finalidad de comparar los diferentes escenarios en términos de ganancia energética, rendimiento, eficiencia, ventajas y desventajas.

Dentro de los principales resultados en este apartado, se analiza la semana crítica de calor en la vivienda y sus variables con el modelo implementado y sin el modelo.

Capítulo 6 conclusiones generales. - se presenta un resumen del trabajo realizado, comparativa del costo beneficio del proyecto, retorno de inversión, los principales hallazgos y propuestas futuras de investigación.

2 ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS

2.1 Introducción

Este capítulo da una introducción a las diferentes formas de regular el confort térmico en las edificaciones, entre ellas se destaca la arquitectura bioclimática, el biomimetismo, torres de enfriamiento, muros trombe y energía eólica. Cabe señalar que existen más estrategias y sistemas para llegar a regular la temperatura en las edificaciones, sin embargo, las antes mencionadas son las más representativas dentro de este TOG.

Estos sistemas en la actualidad llegan a ser considerados como sistemas anticuados y nada modernos, ya que se han implementado desde hace años. Sin embargo, es importante retomar las técnicas, ya que son sistemas que brindan confort térmico, con un consumo bajo de energía o nulo en alguno de ellos.

Con la **arquitectura bioclimática**, se da a conocer sistemas, materiales y estrategias que ayudan a retardar la entrada de calor a la vivienda y a su vez apoyan a la renovación de aire dentro de la misma.

En el concepto de **biomimetismo** se puede observar como a través del comportamiento de la naturaleza, se pueden crear sistemas funcionales, estructurales y climáticos, que ayudan a la renovación del aire y creación de estructuras recíprocas.

Las **torres de enfriamiento** se presentan como un sistema de renovación y enfriamiento de aire, mediante una forma pasiva, que no requiere un consumo de energías y además puede ser implementado en diferentes lugares.

El **muro Trombe** estudia el proceso de renovación de aire para el enfriamiento de la vivienda, cabe señalar que este puede ser utilizado en lugares fríos y calientes. Dentro de este sistema es importante cuidar la orientación y selección de materiales, para que llegue a ser eficiente.

La **energía eólica**, se plantea como un elemento auxiliar para el sistema de renovación de aire, ya que la torre de enfriamiento y el muro Trombe pueden funcionar por si solos,

pero es necesario implementar otro elemento al sistema para estudiar su eficiencia y variante ante este elemento.

Entonces, la investigación de los sistemas anteriores nos dará un panorama más amplio de cómo debería de funcionar la torre de enfriamiento, que elementos pueden llegar a ser variantes dentro del sistema y cuales pueden llegar a hacer más eficiente el prototipo.

2.2 Arquitectura bioclimática

La arquitectura bioclimática tiene una “relación entre el clima, la arquitectura y los seres vivos” (Neila-González, 2004), algunos autores la han llegado a nombrar como “climatización natural de la arquitectura” (Tudela, Ecodiseño, 1982, pág. 15), debido a su relación con la creación de espacios a partir de las propiedades climatológicas del lugar. Otros autores la denominan como “la fusión de conocimientos adquiridos por la arquitectura tradicional durante siglos, con las técnicas avanzadas en el confort” (Garzon, 2011).

Entonces en base a lo anterior debemos de entender a la **arquitectura bioclimática** como un conjunto de factores relacionados entre sí, que nacen a partir de un lugar específico, un clima, materiales, orientaciones y características específicas del lugar, además ayudan a regular el confort térmico e higrotérmico de la vivienda y el usuario, sin utilización de energía eléctrica y cuidando el medio ambiente.

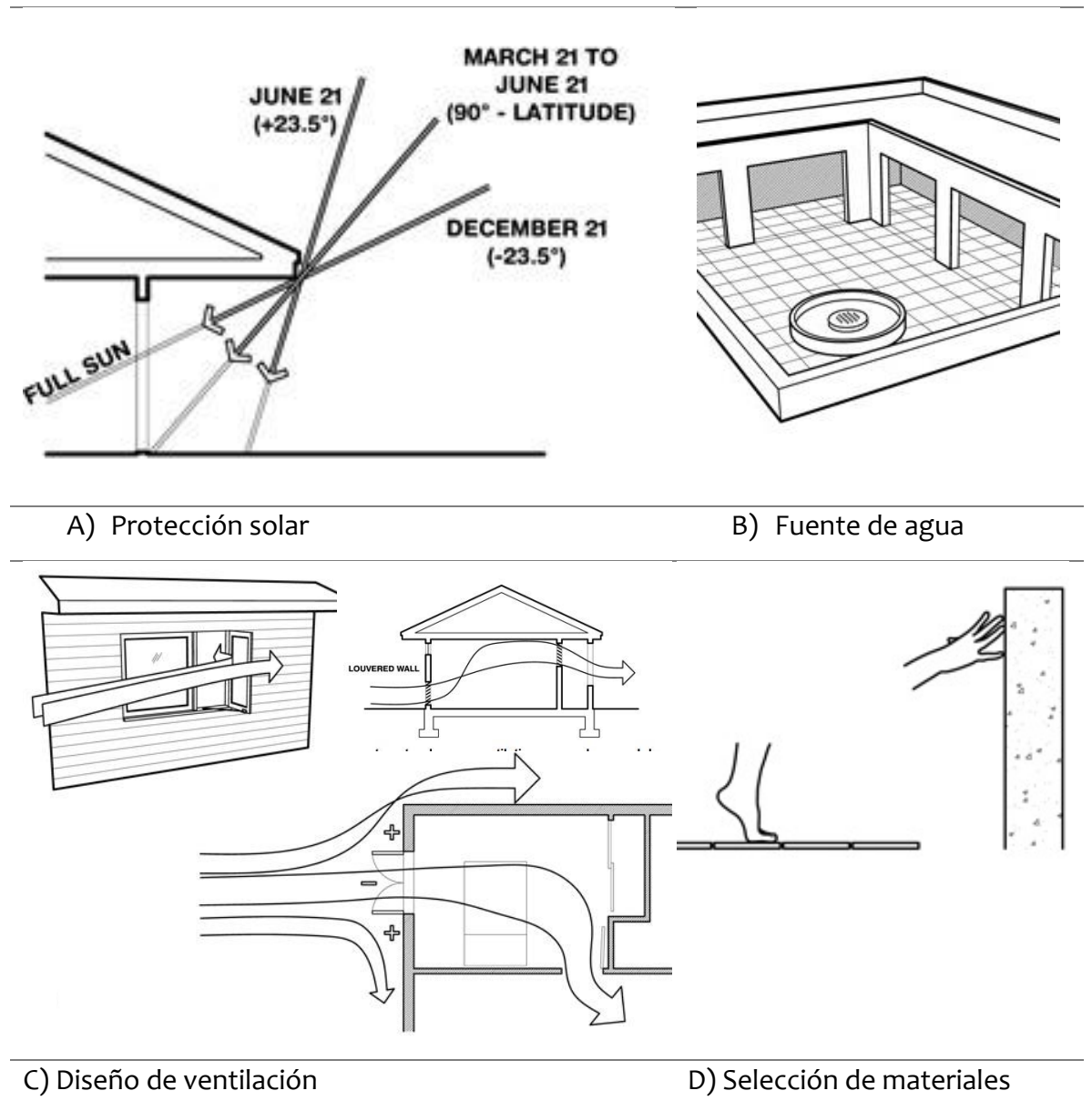
Uno de los objetivos de la arquitectura bioclimática es la generación de confort higrotérmico, por lo cual es importante incluir aspectos geográficos, clima, humedad y precipitación; Al momento de diseñar cualquier edificación de enfoque bioclimático.

Además del **confort higrotérmico**, se busca la satisfacción de parámetros “ambientales... como biológicos-físicos, sociológicas y psicológicas” (Serra, 1999, pág. 13), dando como resultado un confort subjetivo, estrechamente relacionado con el usuario y objetivos del espacio.

Algunos de los elementos o estrategias más utilizadas dentro de la arquitectura bioclimática son: la captación o protección solar, ventilación cruzada, aislamiento

térmico, fuentes de agua, ubicación y forma de la edificación y utilización de materiales de la zona.

En la [Figura 2.1](#) se muestran **estrategias bioclimáticas**, de las más utilizadas para el enfriamiento interno de la vivienda.



[Figura 2.1](#) Estrategias bioclimáticas
Fuente: [\(Climate Consultant , 2020\)](#)

En la [Figura 2.1 A](#), muestra la protección solar de la edificación a través de voladizos, donde según la estación del año permite el bloqueo o ingreso del sol al interior. La [Figura 2.1 B](#), muestra la estrategia de enfriamiento, mediante la colocación de una fuente de agua en un patio interno y céntrico de la vivienda, este hace que todo el viento que ingresa a través del patio tenga una menor temperatura que la exterior. La [Figura 2.1 C](#), nos muestra el diseño de ventilación dentro de la vivienda que, si esta es adecuada, el viento fluye de una manera óptima y natural para renovar la ventilación interna y enfriar el espacio. Y por último, La [Figura 2.1 D](#), muestra como la selección de materiales es importante, esto debido a que un buen material ayudara a que el calor entre en mayor o menor tiempo a la vivienda.

Existen muchas más estrategias bioclimáticas para el enfriamiento interno de la vivienda, sin embargo, estas cuatro se mencionan como importantes, debido a que son las variables que podemos utilizar dentro del modelo de torre de enfriamiento.

Las estrategias bioclimáticas, pueden llegar a tener ventajas y desventajas, dependiendo de la zona geográfica que se encuentre la vivienda, ya que, si no son bien estudiadas, pueden llegar a ser contraproducentes. Trayendo como consecuente espacios fríos todo el año o espacios calurosos y esto a su vez se transmite en mayor consumo energético para regular la temperatura interna de las edificaciones.

Se dice que existen tres pilares de para la transformación de la arquitectura bioclimática es *“la captación de la energía, su acumulación y su distribución”* (Neila-González, 2004). Por lo cual, es importante tener estos tres elementos presentes para obtener resultados efectivos en la edificación de la arquitectura bioclimática.

Además, debemos considerar que existen sistemas de **captación de energía**, para las edificaciones sustentables, dentro de estas, sobresalen: la captación directa, la captación directa con lazo convectivo, captación retardada por acumulación y la captación directa con acumulación y lazo convectivo. Esto se representa mejor en la [Figura 2.2](#).

En la [Figura 2.2 A](#), nos muestra como la entrada del sol es directa, se observa que al momento de ingresar la energía es aprovechada y distribuida en el interior, esta puede

ingresar tanto por muro como por la azotea. La [Figura 2.2 B](#), muestra la captación directa con acumulación, la energía solar se acumula e ingresa de una forma acumulada y no controlada. La [Figura 2.2 C](#), muestra la captación retardada por acumulación, esta se presenta con elementos verticales o horizontales, en la imagen se muestra de forma vertical, introduciendo el calor de una forma diferida al interior. Por último, la [Figura 2.2 D](#), señala el funcionamiento de la captación directa con acumulación y lazo convectivo, a diferencia del sistema anterior, este distribuye de una forma más homogénea el calor captado durante el día.

La diferencia entre cada una es como la energía es aprovechada y como cada sistema retarda el calor introducido a la vivienda. Siendo así los últimos dos sistemas los óptimos para el modelo de torre de enfriamiento, ya que si bien, se busca como enfriar el espacio interior, se debe cuidar el aspecto de sobre enfriamiento durante la noche.

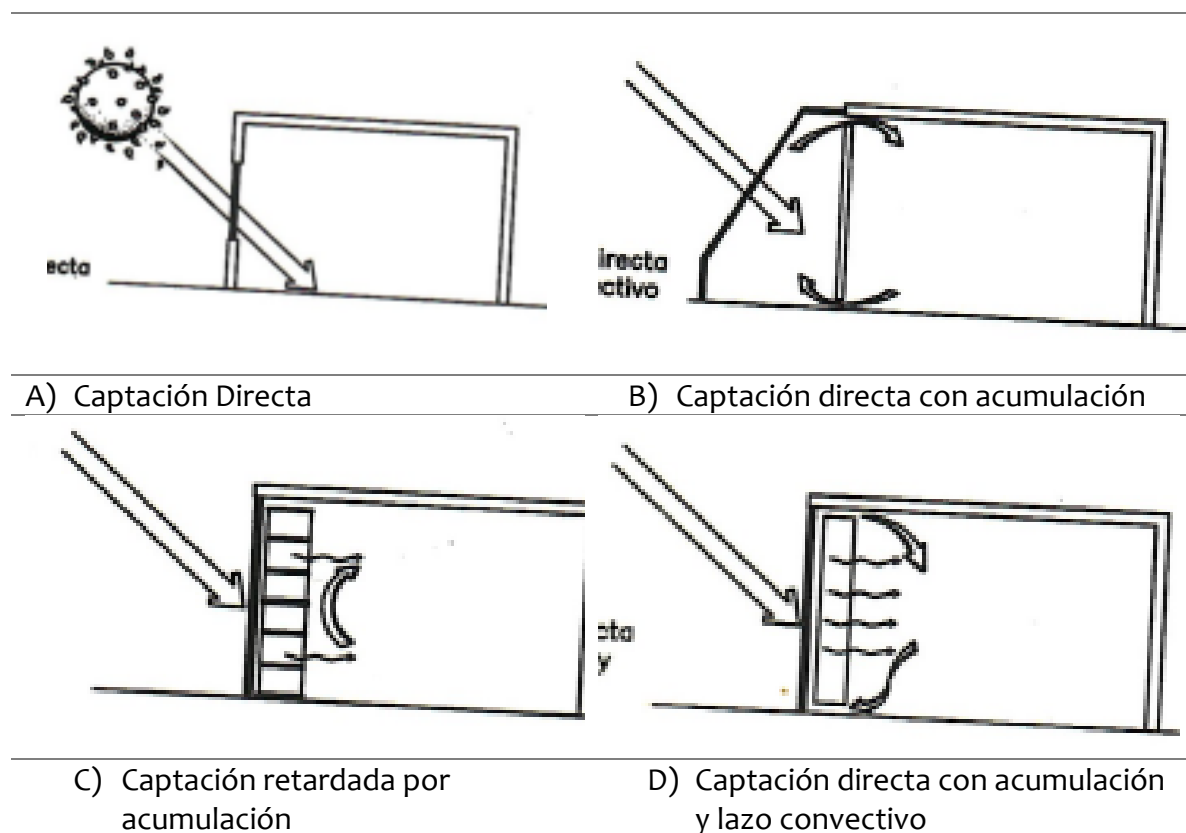
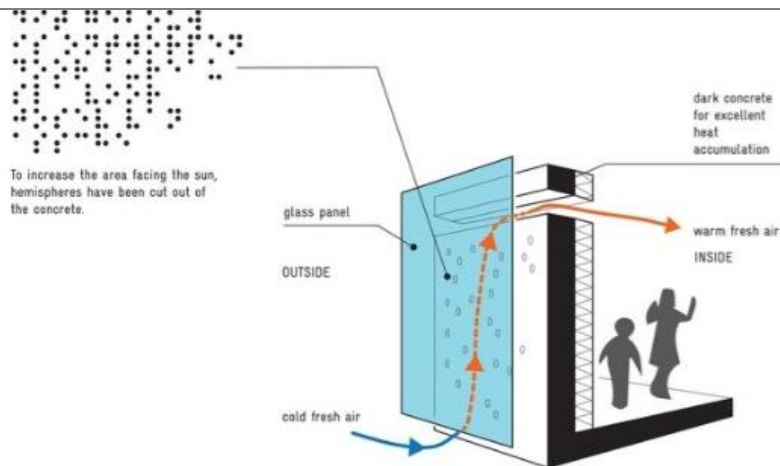


Figura 2.2 Captación de energía
Fuente: (Neila-González, 2004)

Al combinar estos sistemas, se pueden tener mejores resultados y ser implementados tanto en lugares fríos como calientes, pero es necesario hacer un estudio del comportamiento de estos en relación con los materiales propuestos.

Algunos de los sistemas compuestos de captación de energía son: los muros Trombe, lecho de grava bajo el suelo, efecto invernadero, colectores solares, caldera francesa, entre otros. En la [Figura 2.3](#) se muestran el muro Trombe, como parte de un sistema mixto, donde interviene la captación solar y sistema de ventilación.

En la [Figura 2.3](#) se observa cómo funciona el **muro trombe** y sus elementos. Este muro consta de dos capas, la primera que es un cristal expuesto al sol, preferentemente en la fachada sur, la segunda es el vacío de aire entre la primera y tercera capa y la tercera capa es un muro de mampostería. El flujo de aire fresco ingresa en la parte inferior del muro, circula por la capa vacía e ingresa en la parte superior del muro de mampostería. Llevando así aire fresco al interior del espacio.



[Figura 2.3](#) Muro Trombe
Fuente: [\(Cao, 2020\)](#)

Sin embargo, los elementos de captación de energía, selección de materiales para la edificación y renovación de aire, van quedando de lado al momento de diseñar edificaciones caprichosas o modernas, no se realizan estudios previos de la zona, dando como resultado viviendas de alto consumo energético y disfuncionales.

Esto pasa debido a que se tiene la creencia que son sistemas obsoletos o antiguos, sin embargo, el diseño bioclimático es una gran alternativa para la sustentabilidad. Esto es debido a que brindan un ahorro económico, mediante el ahorro energético.

En base a lo anterior, podemos decir que la sociedad puede llegar a rechazar la idea de arquitectura bioclimática, debido a que esta integra aspectos elementales que se han utilizado desde años atrás, por lo cual se puede considerar como una arquitectura clásica o tradicional y poco moderna. Siendo así un modelo que va en contra del concepto de modernización o avance que se cree tener hoy en día. Sin embargo, es importante volver a retomar todas estas estrategias y perfeccionarlas con la tecnología que tenemos hoy en día, mediante la selección de materiales adecuados, con mejores eficiencias energéticas y mayores resultados a las edificaciones.

Dentro del TOG es importante tener en cuenta estas estrategias, en relación con la ubicación geográfica y características meteorológicas, para obtener un caso de estudio más sustentable. Además, nos dará pauta de algunas variantes que puedan ser implementadas dentro del prototipo como: ubicación, orientación, selección de materiales con relación a su transmitancia de calor, implementación de humedad y tipo de ventilación. Todo esto dará como resultado un prototipo eficiente y sustentable para las viviendas autoconstruidas.

2.3 Biomimetismo

Otra estrategia de climatización de forma natural y eficiente es la implementación del biomimetismo en la arquitectura moderna, ya que llega a desarrollar estrategias de diseño basado en la naturaleza. *“Aristóteles estaba convencido que la naturaleza no hace nada sin un propósito, idea que se alinea con... la biomimesis” (Fiorentino, 2021).*

Algunos autores como Pawlyn (2011), mencionan al biomimetismo como *“el diseño inspirado en la función de la biología”*, que además puede dar la pauta a la creación de ciudades regenerativas y sustentables.

Otra definición de biomimetismo según Gutiérrez (2016) es la que relaciona la arquitectura con el diseño basado en la naturaleza, *“este se puede asociar a procesos*

constructivos que se asemejan a la naturaleza por geometría, por material, por proceso, por principio conceptual o por la combinación de las anteriores” (pp. 189) y lograr espacios confortables y funcionales.

Por otro lado [Baumeister \(2013\)](#) define el biomimetismo como “la tecnología de la biología” (pp. 7). Siendo así la naturaleza una forma de vida y una ciencia de la cual podemos llegar a aprender diferentes procesos, sistemas y métodos de desarrollo en diferentes áreas.

Dentro de los principios o patrones más reconocidos de la biomimesis, que podrían ayudar a visualizar, proyectar y evaluar proyectos y diseños, se encuentran los llamados “bioprincipios”, según [Fiorentino \(2021\)](#) se encuentran los siguientes:

- *La energía del sol como principal*
- *Solo se utiliza la energía necesaria*
- *La forma sigue la función*
- *Todo es reciclado, no hay desperdicio*
- *Recompensa la cooperación entre especies*
- *Diversidad y resiliente*
- *Demanda local “know-local”*
- *Límites de excesos en el sistema*
- *Eficacia y eficiencia*

Entonces en base a lo anterior podemos decir que el **biomimetismo** va más allá de la réplica de formas, sistemas, diseño, tecnologías o procesos; es toda una rama de estudio que puede llegar a generar un nuevo estilo de vida relacionado con ciudades, arquitectura y objetos, que a su vez podrían tener la capacidad de ser regenerativos, sustentables y amigables con el medio ambiente. Ya que dentro de sus principios señala la reutilización de lo que se tiene en el contexto inmediato y el funcionamiento del sistema por su misma estructura.

Sin embargo la biomimesis “no es considerada una disciplina de diseño todavía... es solo considerada como una disciplina emergente” (Fiorentino, 2021), por lo cual es una epistemología que aun tiene muchos campos de estudio e investigación, que puede ser aplicado en diferentes disciplinas.

Algunos casos de estudio basados en el biomimetismo, tienen relacion con la estructura y funcionamiento de la misma, sistema de enfriamiento o calefaccion, y recoleccion de agua.

2.3.1 Termitero Africano

Un caso de estudio de refrigeración mediante la evaporacion es el **termitero Africano**, que se muestra en la **Figura 2.4**. “Las termitas necesitan una temperatura constante de 30°... estas son capaces de mantener la temperatura interior con una osilacion de 1°c” (Huerta, 2017).

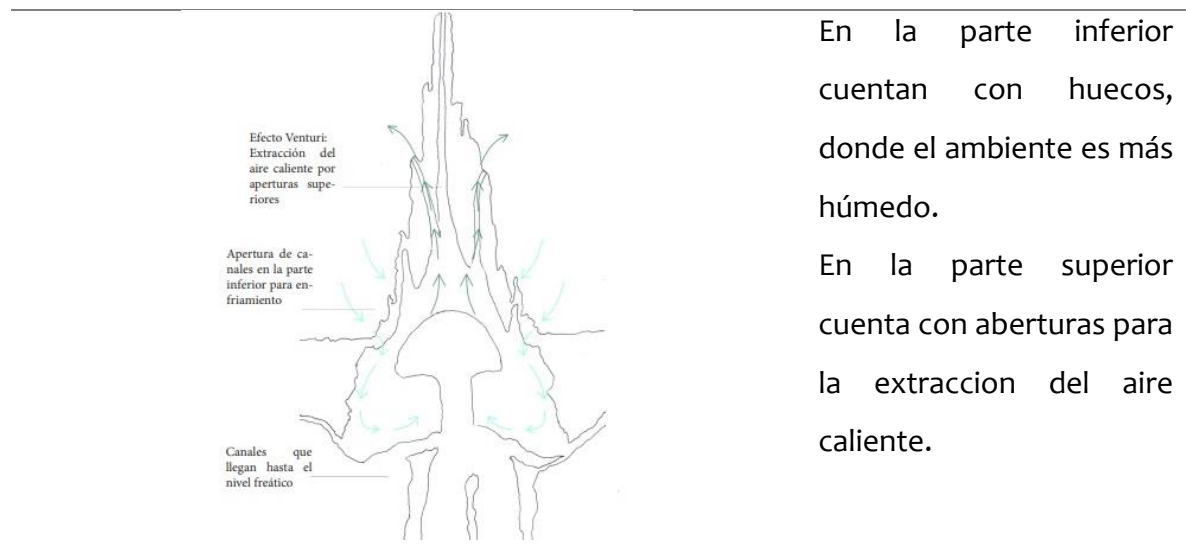
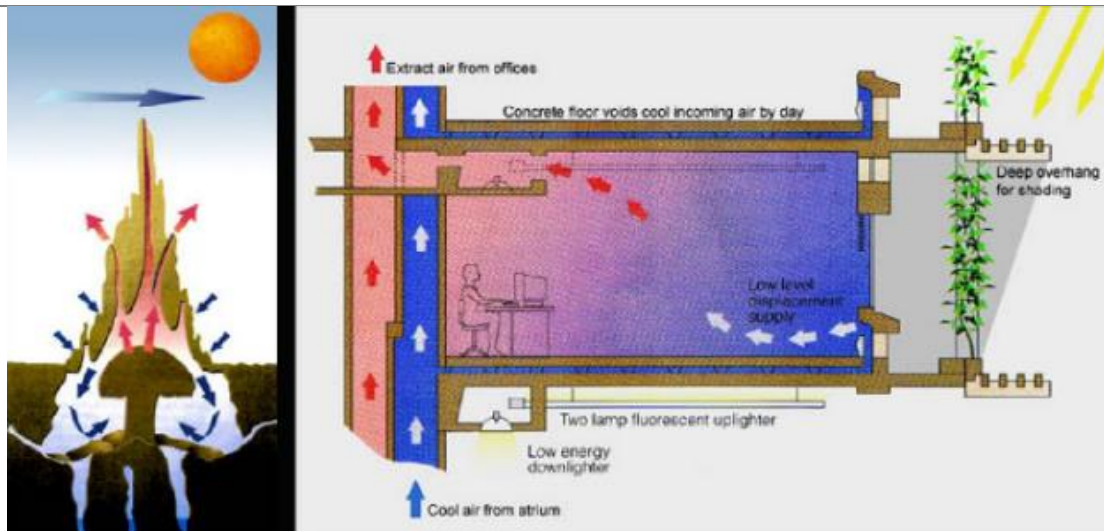


Figura 2.4 Termitero Australiano
Fuente: (Huerta, 2017)

Ademas, los termiteros “tienen una orientacion perfecta de norte a sur y mantienen una temperatura optima... independientemente de las condiciones exteriores... y cuentan con cubiertas impermeables” (Gutierrez, 2016).

Dentro de este sistema, cabe señalar que las termitas, “no quieren un ambiente hermético; quieren que el aire fluya en su edificación” (Klein, 2019), esto se representa en

la [Figura 2.5](#), que representa esquemas de estudio para la edificación del Eastgate Centre en el año 1996.



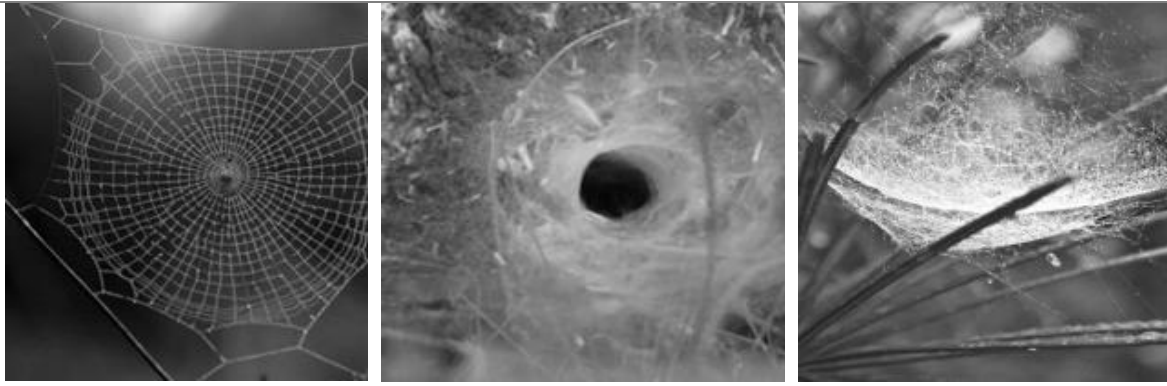
[Figura 2.5](#) Renovación de aire del termitero, estudios para el edificio Eastgate Centre
Fuente: (Pearce, s.f.)

Entonces podemos decir que la implementación del sistema de enfriamiento y renovación de aire de los termiteros africanos en edificaciones modernas es una gran alternativa para regular el confort térmico de las edificaciones y reducir el consumo de energía eléctrica para el enfriamiento de los mismo.

2.3.2 Telas de araña

La **tela de araña** está formada “por unas fibras proteicas que la araña hila a través de sus siete glándulas” (Huerta, 2017), dando como resultado estructuras tensadas. Estas a su vez pueden ser clasificadas según su geometría y materialidad.

Las telarañas pueden ser clasificadas en tres: orbicular, tubulares o mallas, estas se muestran en la [Figura 2.6](#), además de la forma, cambia el material con el que están hechas.



A) Estructura orbicular

B) Estructura tubular

C) Estructura de malla

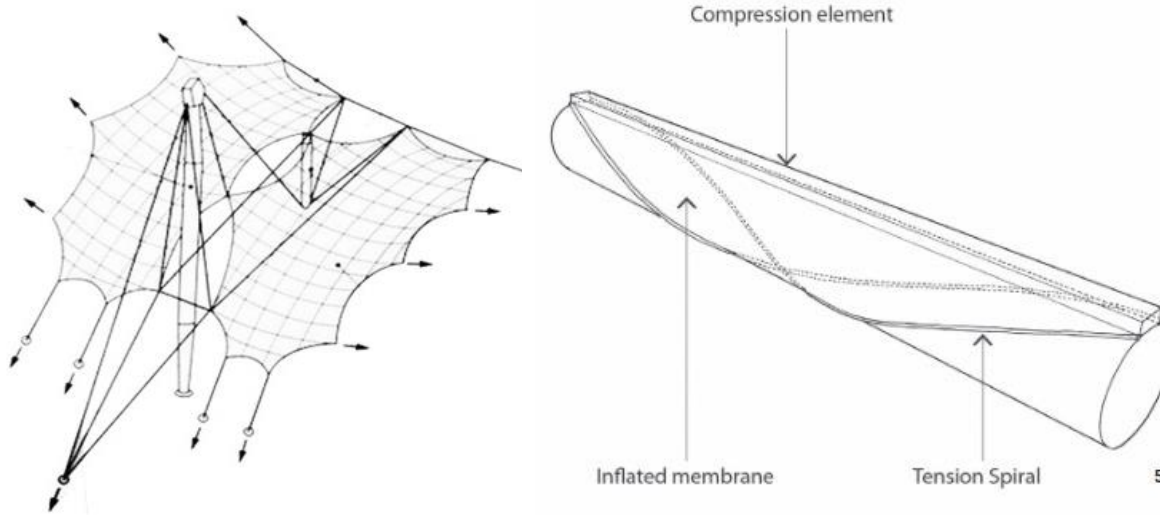
Figura 2.6 Tipos de tela de araña

Fuente: (Huerta, 2017)

Frei Otto “a través del instituto de estructuras ligeras, publicó 32 volúmenes basados en el diseño de estructuras creados en la naturaleza... como las telas de araña” (Pawlyn, 2011), demostrando así la relación existente entre “lo biológicamente fabricado y nuestra ingeniería” (Pawlyn, 2011).

Entre estos sistemas destaco el estadio olímpico de Múnich, realizado en 1972. El estadio cuenta con una membrana “formada por un tejido de poliéster, que se estabiliza a través de una red de cables más pequeños” (Huerta, 2017).

El esquema de esta se muestra en la Figura 2.7, en la imagen A, se muestra la malla principal, está se sostiene mediante tirantes anclados al terreno y cables al borde. Al mismo tiempo la estructura trabaja mediante la compresión y tensión de materiales, teniendo en el interior una capa de aire para obtener mejores capacidades, esto se ilustra mejor en la Figura 2.7 B.



A) malla de recubrimiento estructural
Fuente: (Huerta, 2017)

B) funcionamiento de la estructura
Fuente: (Pawlyn, 2011)

Figura 2.7 Criterio estructural del estadio olímpico de Múnich

Al conocer esta opción de sistema estructural, podemos decir que el estudio de la naturaleza en relación con la estructura arquitectónica es una gran alternativa, con grandes posibilidades para la implementación de las nuevas construcciones. Que si se emplean de una manera adecuada nos ayudan a tener grandes claros y capacidades de resistencia para obtener estructuras utópicas.

2.3.3 Nidos de aves

Los nidos suelen ser construidos por diferentes especies de animales, los más comunes son: “insectos, arácnidos, miriápodos y crustáceos” (Pawlyn, 2011). Estos nidos, pueden ser creados con “materiales como telas de araña, lanas, pelos de animales o fibras de plantas” (Huerta, 2017).

Dentro de los animales destacados están las aves llamadas “*Ploceus cucullatus*” que se muestra en la [Figura 2.8](#), esta especie “emplea más de 6 tipologías de nudos... con trayectorias circulares, semillaves, enganches, ataduras, nudos corredizos y nudos fijos” (Huerta, 2017). Además, llegan a implementar técnicas de tejido.

El nido se mantiene unido mediante “secreciones corporales como saliva, capullo de huevo, seda de araña...” (Pawlyn, 2011).



[Figura 2.8](#) *Ploceus cucullatus*
Fuente: (Pawlyn, 2011)

Los nidos se pueden transmitir en la construcción mediante estructuras recíprocas, ya que un elemento sostiene a otro de manera natural. Uno de los elementos más destacados basados en los nidos es el puente de Luxmore por Jaime McCulloch, que se muestra en la [Figura 2.9](#), el teatro de marionetas Seiwa Bunraku de Kazuhiro Ishii y el estadio nacional de Pekín, también conocido como “nido de pájaro” que se muestra en la [Figura 2.10](#).



[Figura 2.9](#) Puente de Luxmore
Fuente: (Pawlyn, 2011)

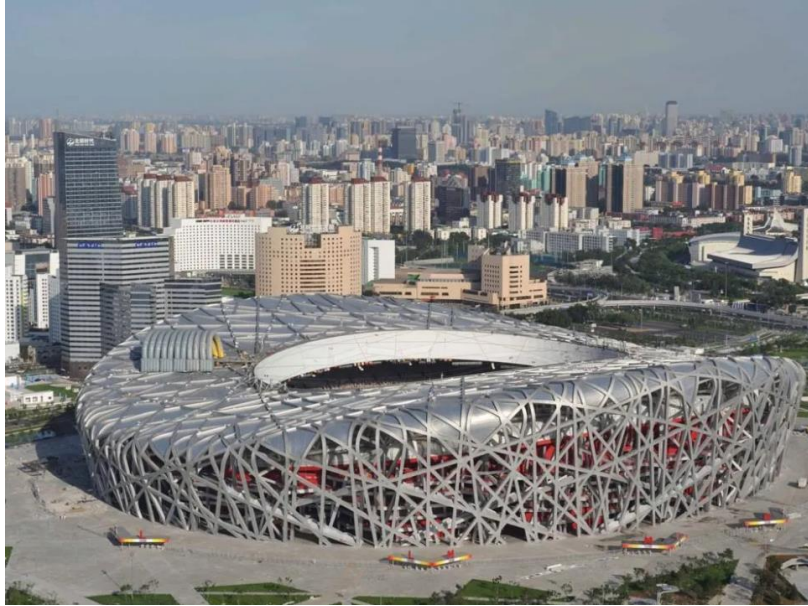


Figura 2.10 Estadio nacional de Pekín

Fuente: (VCRL, 2017)

Al cubrir claros entre un elemento y otro, se cumple el principio de estructuras recíprocas, estos elementos se apoyan uno sobre otro para trabajar mediante la tensión y forma conjunta.

Existen más estructuras recíprocas, que no necesariamente cumplen con el esquema de los nidos, sin embargo, podemos decir que el estudio de este elemento puede llegar a dar pauta a estructuras con grandes claros y capacidades. Además, estas estructuras pueden ser modificadas mediante diferentes elementos de sujeción o adhesión para adquirir mayor resistencia y durabilidad.

El biomimetismo dentro del TOG, amplía la forma de ver el sistema de torre de enfriamiento. Destacando el caso de estudio de los termiteros, ya que se puede apreciar una forma natural de renovar el aire dentro de la vivienda, sin necesidad de utilizar energía eólica, además nos da la variante de humedad dentro del mismo.

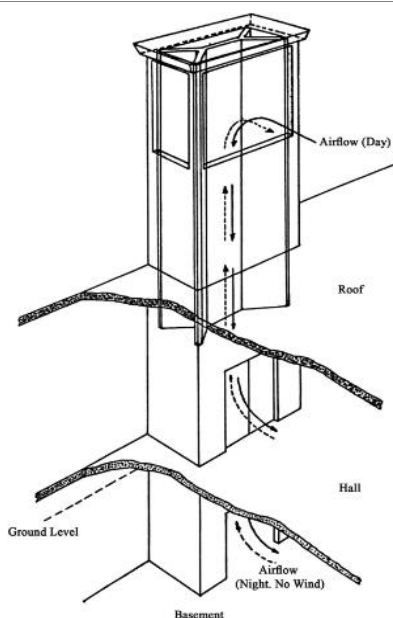
En la cuestión de la estructura de la torre de enfriamiento, nos da parámetros de estructura y materiales alternativos para la fabricación de esta, ampliando el panorama a la utilización de materiales naturales y sustentables.

2.4 Torres de enfriamiento

Durante mucho tiempo, “*las torres de enfriamiento se han utilizado para mantener las edificaciones frescas con una circulación de aire natural*” (Mehdi et al. 2014). Este sistema ha sobresalido especialmente en el medio oriente y Egipto, por lo cual “*es considerado uno de los emprendimientos más significativos de la ingeniería creativa y arquitectura iraní*” (Briceño Benard, 2018, pp. 31).

Los Baudgeers o Torres de viento, se han ido cambiando según la región y el clima donde se realicen, en algunos lugares se ha implementado canales subterráneos para ayudar a humedecer el viento y refrescar un poco más el interior. Sin embargo, el sistema sigue funcionando mediante la presión que ejercen las diferentes temperaturas dentro de la vivienda.

Por otro lado, el diseño de las torres ha ido cambiando y evolucionando, según el clima dominante y necesidades de renovación de viento interior. Trayendo como consecuente, la búsqueda de un cambio en el diseño exterior, siendo así torres cada vez más estéticas y armónicas al contexto, pero sin perder la funcionalidad que estas aportan a la edificación.



La [Figura 2.11](#) muestra el funcionamiento de la torre de viento sin el flujo de aire exterior. Este sistema funciona “*como una chimenea durante la noche, donde circula el viento por las puertas y ventanas*” (Mehdi et al. 2014), posteriormente todo este aire es expulsado en los pisos subsecuentes de la vivienda.

Sin embargo, cabe señalar que este sistema funciona solamente durante la mañana, ya que es cuando el viento está fresco y permite refrescar la vivienda.

[Figura 2.11](#) Funcionamiento de Baudgeer

Fuente: (Mehdi et al., 2014)

En base a lo anterior, podemos decir que la torre de enfriamiento y la chimenea solar, podrían llegar a ser elementos similares, ya que su funcionamiento está enfocado a la renovación de aire. Además, Funciona igual que “la chimenea de humo, pero eliminando el aire caliente” (Neila-González, 2004).

Las torres de viento convencionales están compuestas por distintas partes y pueden llegar a tener diferentes variaciones. La Figura 2.12 muestra las partes de un bawdeger tradicional y su funcionamiento.

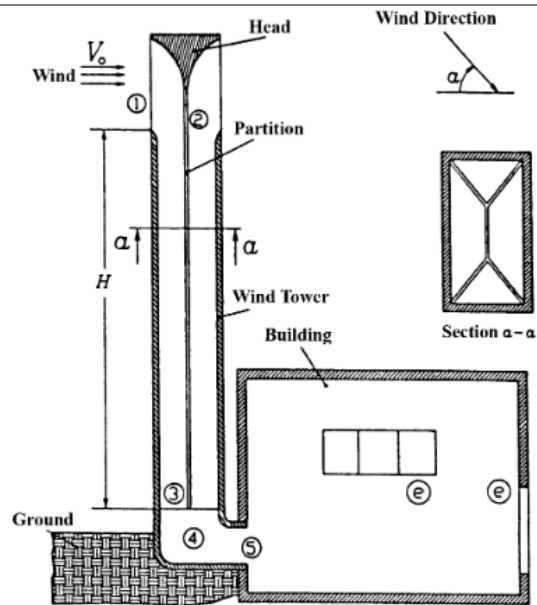


Figura 2.12 Partes de una torre convencional de enfriamiento







Fuente: (Mehdi et al., 2014)

Dentro de las diferentes variantes de tipo de torres de enfriamiento en el medio oriente, encontramos seis como sobresalientes, donde su principal variante es el clima y ubicación geográfica. Además, dentro de las variantes culturales, se encuentran las variantes de diseño como: altura, inclinación, espacios a ventilar, dimensiones y variaciones en la implementación de evaporación, estas se muestran más a detalle en la Tabla 2.1 que habla sobre la forma de enfriamiento en el medio oriente, mediante prototipos de torres de enfriamiento.

La Tabla 2.1 nos muestra que el ingreso de aire en la mayoría viene del norte, esto es definido por la región, que las medidas mínimas son de 0.50m y máximas de 1.20m, la mejor orientación que se debería de tener es en diagonal, el techo puede tener una inclinación entre 30 y 45°, en los lugares de clima caliente y húmedo es recomendable implementar enfriamiento mediante agua o humedad, que el viento puede circular en

diferentes direcciones y el sistema puede funcionar para favorecer a un espacio o a varios.

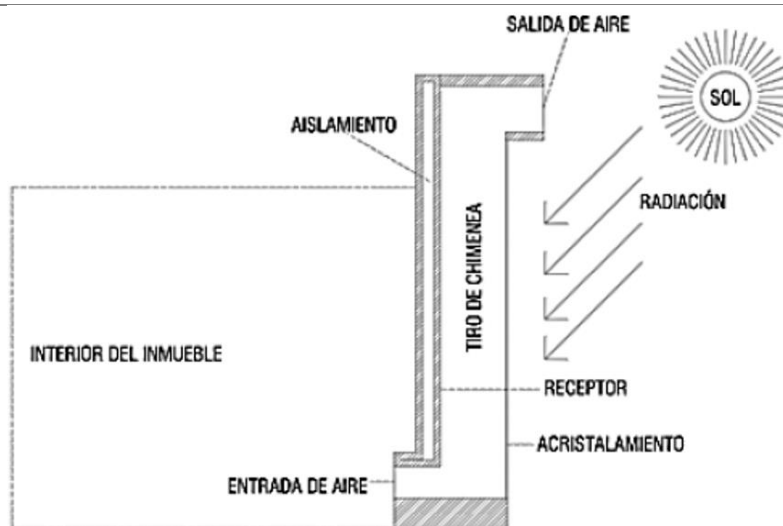
Tabla 2.1 Tipos de torre de enfriamiento en el medio Oriente

						
	Iran's arid zone	Persian gulf	Iraq	Egypt	Pakistan	Afghan
Climatic zone	Hot and dry	Hot and humid	Hot and dry	Hot and dry	Hot and humid	Dry and sem
Air direction	Northeast	Breeze	Northwest	Northwest	Southwest	North
Shape of cross section	Square/ rectangle	Square	Rectangle	Rectangle	Square	Square
Average dimensions (m)	0.5×0.8 0.7×1.1	1×1	0.5×0.15 1.20×0.60	–	1×1	1×1
Height (m)	3–5	3–5	1.80–2.10	One story above roof	5 and above	1.5 from roof
Direction according to the airblow	Diagonal	Diagonal	Ordinary	Ordinary	Diagonal	Ordinary
Ceiling of the Baudgeer	45° slope	30° slope	45° slope	30° slope	45° slope	30° slope
Ventilated spaces	Dinning plus basement	Dinning plus others	Only basement	Dinning plus one room	All rooms	All rooms
Airblow	Multi-sided	Multi-sided	One-, two-sided	One-sided	One-sided	One-sided
Evaporative cooling	Sometimes	Never	Sometimes	Sometimes	Never	Never

Fuente : (Mehdi et al., 2014)

Entonces podemos decir que la torre de enfriamiento puede ser implementada en cualquier tipo de clima cálido y tiene variantes para ser controlada y brindar la mayor eficiencia posible.

En los casos anteriores se señala que la chimenea solar o Torre de enfriamiento, son elementos aplicados generalmente en la fachada, que en su mayoría contienen los mismos elementos de funcionamiento. Los componentes básicos que esta debe contener son: acristalamiento, receptor, aislamiento, tiro de chimenea, salida de aire y entrada de aire. Esto se muestra mejor en la [Figura 2.13](#).



[Figura 2.13](#) componentes de la chimenea solar
Fuente: (Soberanes, 2016)

Estos elementos arquitectónicos pueden estar fabricados con diferentes materiales, que permitan tener alta conductividad. Dentro de las torres más eficientes son las metálicas o muros de materiales cerámicos con espesores grandes.

En este sistema la extracción del viento es importante, mediante la succión del aire caliente. Este puede ser más eficiente si se implementa *“la boca de la chimenea en dirección contraria a los vientos dominantes o... empleando remates con dispositivos de veleta”* (Neila-González, 2004), o mediante aspirador eólico.

Sin embargo, la selección de **extracción de aire** varía según el sistema implementado en cada edificación, los diferentes tipos de extracción se muestra en la **Figura 2.14**, en la **imagen A**, muestra la extracción en un punto específico; en la **imagen B**, esta puede llegar a tener variantes según la entrada del viento en el momento, adaptándose a la orientación; mientras que la **imagen C**, muestra un sistema más amplio y con mayor extracción de aire, debido a su capacidad.

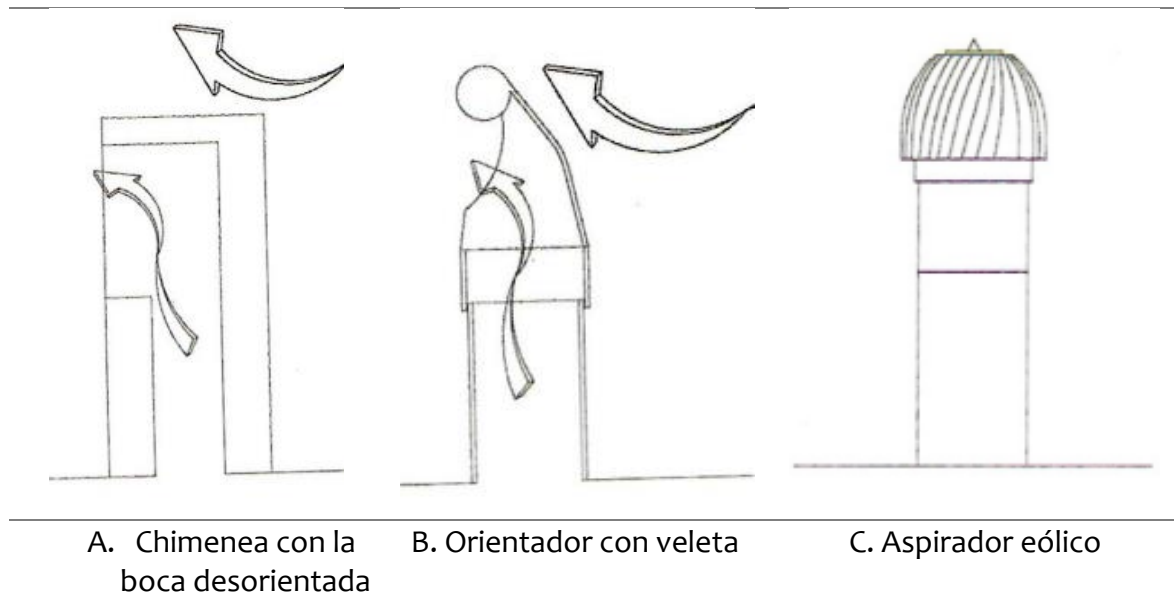


Figura 2.14 Formas de succión en la chimenea solar

Fuente: (Neila-González, 2004)

Los más eficientes son los del aspirador eólico, ya que generan una corriente de aire acelerada. Mientras que los sistemas de ventilación inducida tienen una circulación de aire más forzada, haciéndola más lenta.

Otro punto para cuidar dentro de estos sistemas es la humedad, debido a que llega a afectar significativamente la temperatura de confort. Durante el verano, “lo más adecuado sería reducir la humedad ambiente” (Neila-González, 2004), para poder llegar a una temperatura de comodidad del usuario.

El estudio de las Torres de enfriamiento o chimeneas solares dentro del TOG, orienta a la integración del sistema de torre de enfriamiento en cuestiones de función, diseño y materialidad. Abre el panorama a la posible integración de agua como variante, para un mejor desempeño del enfriamiento. Además de dar una visión más amplia en diseño,

dimensiones, entradas y salidas de circulación de aire. En la parte del funcionamiento, extiende las posibilidades de integración del sistema a viviendas de uno, dos o más niveles.

2.5 Muros Trombe

El **muro trombe** es considerado “un sistema de captación solar pasivo... orientado hacia la posición del sol más favorable” (Franco, 2011), este sistema se compone de la captación directa del sol y la convección, con la finalidad de renovar el ambiente interior. Este tipo de muros es ideal tanto como para invierno como para el verano, se compone de “una pequeña cámara de vidrio o plástico y un muro de alta inercia térmica” (Núñez et al., 2014).

Este sistema nace a partir de la creación de una vivienda experimental, “es básicamente un invernadero... que consta de una pequeña masa de aire confinada” (Neila-González, 2004), entre dos volúmenes. En la Figura 2.15 se muestra un esquema general de estas dos capas, junto con el flujo de aire que tiene. En el muro interior tiene dos aberturas para regular el flujo del viento, una en la parte inferior y otra en la parte superior y el muro externo.

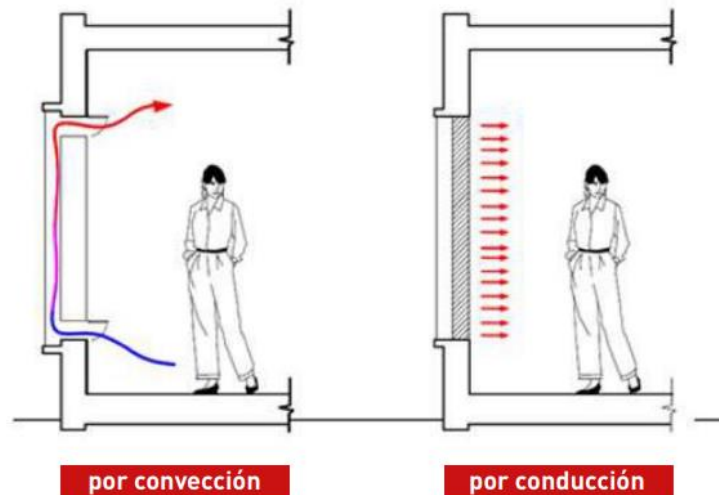


Figura 2.15 Muro Trombe y flujo de aire

Fuente: (Durán, S.F.)

Este sistema puede llegar a tener diferentes variantes, como los materiales, alturas y color. Sin embargo, dentro de lo recomendado sería el cristal como muro exterior y el muro interior de ladrillo con un espesor aproximado de 30 a 40 cm y pintado en color negro para captar más radiación solar. Además de las aberturas antes mencionadas (una en la parte inferior y otra en la parte superior), que pueden llegar a variar de tamaño y material.

El cierre o abertura de las ventanas, debe ser manejado de una forma cuidadosa, ya que estas determinaran el flujo de aire frío, caliente y la conservación de este dentro del espacio. En la [Figura 2.16](#) se muestra un ejemplo de cómo bloquear o abrir estos huecos para enfriar o calefaccionar el espacio.

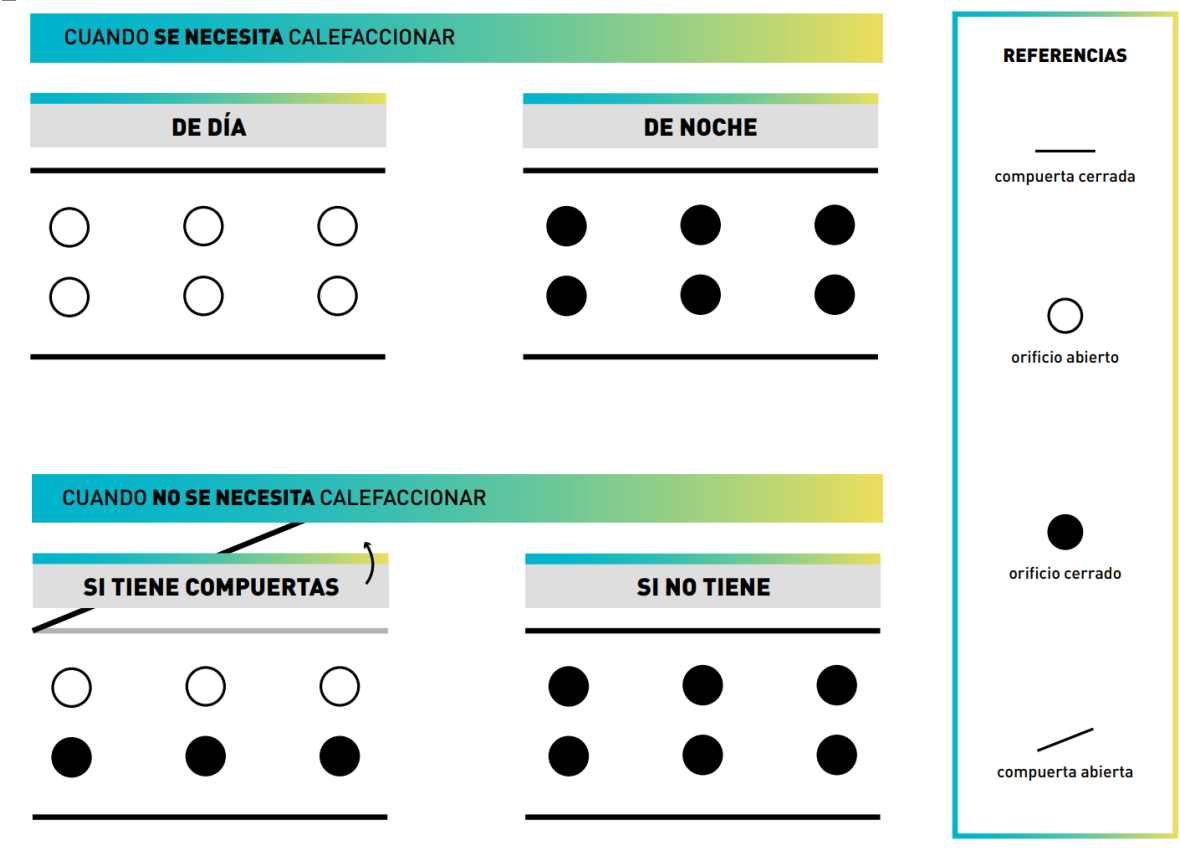


Figura 2.16 Acondicionamiento de tapas y compuertas
Fuente: (Durán, S.F.)

Dentro de las desventajas que encontramos en este sistema es el espesor y densidad, la orientación casi obligada para la captación solar, el conocimiento del funcionamiento del cierre y apertura de huecos y el diseño del sistema en relación con espesores de todas las capas.

Entonces podemos decir que los puntos estratégicos para el funcionamiento de este sistema son: el estudio de la radiación solar y la transferencia de calor dentro del sistema, junto con la entrada y salida de viento. Que es una gran opción para lugares de frío y calor, pero es necesario conocer cómo funciona el sistema, ya que de ello depende el enfriamiento o calefacción del espacio.

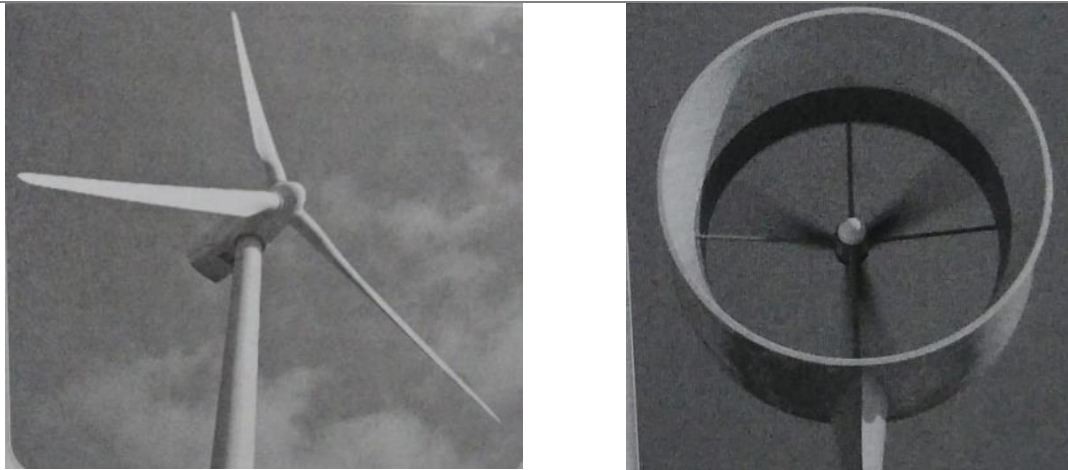
2.6 Energía eólica

El uso de energías renovables cada vez está más presente en las construcciones y la vida diaria, debido a que son energías que se renuevan por si solas y son prácticamente infinitas, trayendo como beneficio un bajo impacto ambiental y menor gasto económico en las viviendas.

Una de las energías renovables más destacada es la **energía eólica**, esta se ha utilizado principalmente en viviendas, “*trabaja perfectamente en entornos urbanos, con poco y mucho viento*” (Meléndez, 2017). Entonces, podemos decir que la implementación de este tipo de energía en la vivienda es totalmente factible y benéfica.

Sin embargo, uno de los problemas de este tipo de energía son: la constante del viento y los obstáculos que este pudiera llegar a tener en su entorno inmediato. Es por ello por lo que antes de implementar este sistema se requiere la realización de cálculos y estudios de flujos de viento.

Dentro de la energía eólica existen diferentes formas de captar el viento y convertirlo en energía, algunos sistemas son: aerogeneradores de eje horizontal, vertical o modular, turbinas eólicas, turbinas cerca de edificios o a través de estos, ver [Figura 2.17](#).



A. Aerogenerador eje vertical

B. Turbinas mini eólicas

Figura 2.17 Sistemas de captación de energía eólica

Fuente: (Meléndez, 2017)

Pero como ya se mencionó anteriormente, es necesario someter a cálculos y pruebas mediante modelos numéricos a través de algún software, para comprobar su eficiencia. Lo anterior es necesario, debido a que *“si el diámetro es muy grande, la aceleración del viento será desigual y no se pueden aplicar las ganancias de potencias”* (Meléndez, 2017).

Por ende, podemos decir que la implementación de la energía eólica es una gran alternativa para la generación de energía, que puede trabajar con bajo flujo de aire y existen diferentes sistemas que nos pueden ayudar a implementar en diferentes proyectos según su dimensión.

2.7 comparativa entre sistemas pasivos

la arquitectura bioclimática y sus estrategias pasivas son una gran alternativa para regular la temperatura interior de la vivienda y renovar el aire dentro de la misma. Algunas de estas estrategias funcionan para climas fríos y calientes, solo es importante conocer cómo funcionan y que se necesita para cada una de ellas.

La Tabla 2.2 menciona las estrategias que servirán para el estudio del funcionamiento de la torre de enfriamiento, resaltando la función de cada sistema, para que tipo de clima es apto y que orientación se recomienda.

Tabla 2.2 Estrategias bioclimáticas



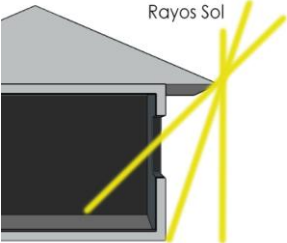
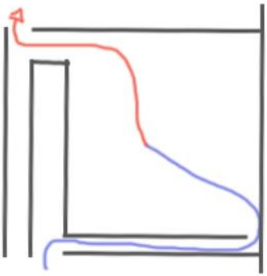
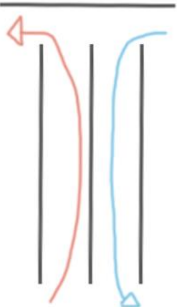
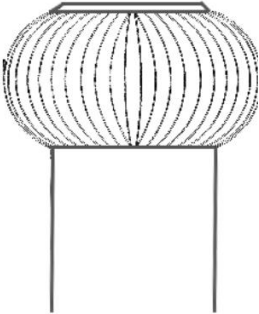
Estrategia	Esquema	Ambiente	Material	Orientación / ubicación	Función
Muro trombe		Frio Calor	Cristal Aislante Compuertas de entrada y salida de aire	Al sur	Regula la temperatura interna, transmitiendo aire frío o caliente
Fuente de Agua		Calor	Material pétreo Agua	Patio central	Enfría en viento que ingresa a la vivienda
Protección solar			NA	Fachadas	Permite entrada o bloqueo solar
Termitero Africano		Calor	NA	Lateral de la edificación Con entrada y Salida de aire	Renovación de aire

Tabla 2.2 Estrategias bioclimáticas (Continuación)

Torre de enfriamiento		Calor húmedo Calor seco	Material pétreo Con entrada y salida de aire	Sur Inclinación en losa	Regular temperatura
Chimenea eólica		Calor	Metálico	Losa	Succión de aire caliente

Se representan las estrategias que pueden ayudar a regular el calor dentro de la vivienda, destacando así sistemas que controlan la entrada y salida de aire, teniendo variantes como el recorrido que este tiene al ser inyectado y succionado. Además, podemos rescatar que la variante de implementación de agua llega a ser importante para el prototipo propuesto, ya que nos puede dar mayores valores de confort.

Todas las estrategias son pasivas y no requieren de la utilización de energía eléctrica, por lo cual también abonan a la sustentabilidad del proyecto.

2.8 Resumen

La arquitectura bioclimática y el biomimetismo no son sinónimo de arquitectura clásica o antigua, cada concepto contiene un gran desarrollo y estudio de sistemas básicos de funcionamiento en la arquitectura. Debemos empezar a integrar y recuperar estos conocimientos para abordar el construir edificaciones más sustentables y funcionales, con bajo impacto social, económico y ambiental.

Además cabe señalar que del término de arquitectura bioclimática, podemos encontrar diferentes técnicas, sistemas y materiales que nos ayudaran a tener una vivienda más sustentable, sin embargo es importante definir que impacto queremos generar o cambiar.

Cuando se tenga seleccionado los objetivos se espera tener dentro de la vivienda, debemos de buscar ecotecias que nos funcionen y así estudiar el comportamiento dentro de la vivienda.

Este capítulo, dentro del TOG, rescata el sistema de torres de enfriamientos, muro tromble, termitero africano y energía eólica, como una parte importante para la realización del prototipo. Esto sucede a que son sistemas que funcionan para regular la temperatura interna, mediante sistemas pasivos y con variantes similares como: orientación, implementación de agua, utilización de cristales y materiales aislantes.

Entonces, podemos decir que para el TOG es importante la **renovación del aire** mediante sistemas pasivos, se pueden agregar **variantes** como el **agua** para obtener mejores resultados, la selección de **materiales** es una parte importante para el éxito del proyecto y que la **energía eólica** puede llegar a ser un componente de aceleramiento.

Por lo cual, el agua, viento y materiales serán las variantes que se utilizarán en el modelo numérico del prototipo. Se deberá de estudiar su eficiencia energética y comparar con costo-beneficio para elegir que es más funcional en las viviendas de bajos recursos.

3. CARACTERIZACIÓN CLIMATOLÓGICA Y CONSTRUCTIVA DE LA VIVIENDA TRADICIONAL EN LA ZMG

3.1. Introducción

La **Zona Metropolitana de Guadalajara** (ZMG), está ubicada en el Occidente de México, está integrada por un conjunto de municipios conurbados en la ciudad de Guadalajara, destacando entre ellos seis municipios.

Sin embargo, para el caso de estudio nos enfocaremos a los datos climatológicos de Guadalajara y Zapopan, Jalisco. Esto debido a que son los municipios más cercanos de la vivienda de estudio.

Dentro de los aspectos de estudios se deberá considerar estudiar las **condiciones climatológicas** como temperaturas mínimas, máximas, vientos dominantes, precipitación, radiación, humedad, flujo de aire, topografía, etc. para conocer el comportamiento del clima inmediato.

Al conocer el comportamiento del contexto inmediato, se describirán las principales estrategias bioclimáticas que se pueden implementar en la **vivienda** en relación a sus **características fisicoquímicas y constructivas**, para conocer las características de confort que pueden brindar.

Posteriormente se debe comprender como es que las propiedades físicas y químicas de los materiales de la envolvente (calor, conducción, transmitancia, reflectancia solar, convección, masa térmica, etc.) intervienen en el **confort de la vivienda**, mediante el intercambio de energía y la velocidad en la que lo hace.

Dando como resultado el análisis puntual de materiales y la interacción y transmisión de calor entre ellos en las diferentes fachadas a través del día (diurno y nocturno) y la forma en la que se va disipando en la envolvente.

Lo anterior ayudará al diseño de la torre de enfriamiento y selección de materiales, ya que se conocerá el comportamiento térmico de la edificación para saber que estrategias o características se necesitan.

3.2. Climatología

Para realizar un estudio de clima es necesario conocer las clasificaciones existentes del clima, comportamiento de la “*temperatura con sus valores medios y sus variaciones... humedad... latitud*” (Serra Florensa & Coch Roura, 1995).

Estos puntos se podrían considerar como los principales para estudiar y relacionar con la envolvente y las estrategias bioclimáticas más representativas y funcionales para tener una mayor eficiencia y mejor confort higrotérmico.

Este capítulo se enfoca en la investigación climatológica de la ciudad de Guadalajara, Jalisco. Donde se obtendrá información de las normales climatológicas de CONAGUA de la estación meteorológica número 14169, con una latitud: 20°43'13" N, Longitud: 103°23'31" W y Altura 1,560.00 msnm (CONAGUA, 2022). Se selecciona esta estación, debido a que se encuentra operando y es cercana a la vivienda de estudio. Cabe señalar que la interpretación de esta información se carga en varias plataformas mediante un archivo epw.

El **Área Metropolitana de Guadalajara** (AMG) llamada también ZMG, forma parte de la región centro del estado de Jalisco y “*está conformada por nueve municipios: San Pedro Tlaquepaque, Tonalá, Zapopan, Tlajomulco de Zúñiga, El salto, Juanacatlán, Ixtlahuacán de los membrillos, Guadalajara y Zapotlanejo*” (IMEPLAN, 2015), estos a su vez están conformados por 3,265.46km² como lo muestra la [Figura 3.1](#).

La vivienda de estudio esta está localizada al **noroeste de la ZMG**, en la colonia San Francisco en el municipio de Zapopan, Jalisco. (La localización exacta se presenta en el capítulo 4).

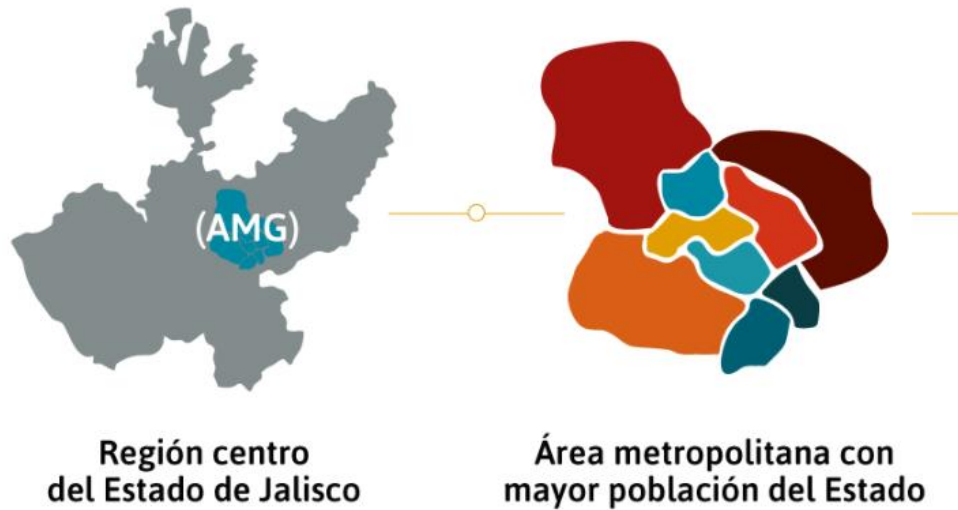


Figura 3.1 Delimitación del Área Metropolitana de Guadalajara (AMG)

Fuente: (IMEPLAN 2015)

Si estos valores los relacionamos a la **clasificación climática** mundial según **Köppen-Geiger** para las claves climáticas de la región de Guadalajara, el clima corresponde a **Csa**. Donde la primera letra indica el tipo de clima, la segunda indica el régimen de lluvias y precipitación y la tercera el comportamiento de temperaturas en el verano.

Para el caso de Guadalajara estos valores representan lo siguiente:

C indica que el clima es cálido debido a la latitud media, la media del mes más frío oscila entre -3°C y la del mes más cálido supera los 10°C .

s indica un verano seco, “donde la precipitación del mes más seco del verano es inferior a la tercera parte de la precipitación del mes más húmedo” (proyectos, 2022)

a indica un verano caluroso, donde se superan los 22°C en el mes más cálido.

Si estos datos lo relacionamos con la **Tabla 3.1**, que representa los valores de temperatura media mensual y precipitación mensual, se puede relacionar más fácilmente la clasificación de Köppen. Estos valores son el resultado del vaciado de datos de la información de la estación meteorológica N° 14169, en la hoja de cálculo **BAT (2013)**.

Tabla 3.1 promedio mensual de temperaturas y precipitación total en Guadalajara

Fuente: Hoja de Cálculo (BAT, 2013)

VARIABLES CLIMATOLÓGICAS	AÑOS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL	
TEMPERATURA MEDIA	°C	10	16.4	18.4	20.2	22.7	24.3	23.7	21.9	21.7	20.7	18.8	16.9	20.63	PROMEDIO
PRECIPITACIÓN TOTAL	mm	10	18.7	10	2.8	3.2	20.1	216.8	209.1	176.1	57.1	12.6	7.2	1006.5	ANUAL

La temperatura media mensual, representan los valores promedio mensuales y después de esos valores se representa un valor promedio anual (ver Figura 3.2). Mientras que los valores de precipitación son los totales mensuales y estos se suman para representar el valor anual (ver Figura 3.3). Cabe señalar que para tener información más certera se recomienda consultar fuentes que tengan datos de por lo menos 10 años para estos valores o más.

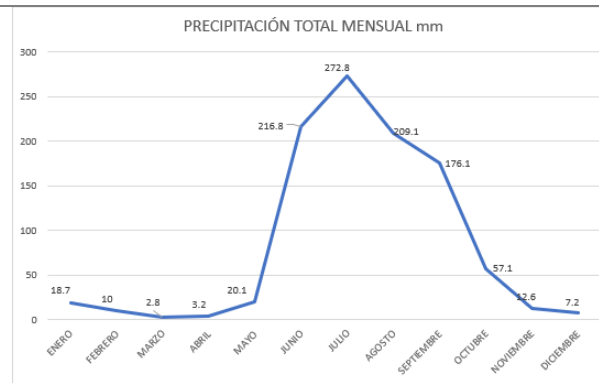
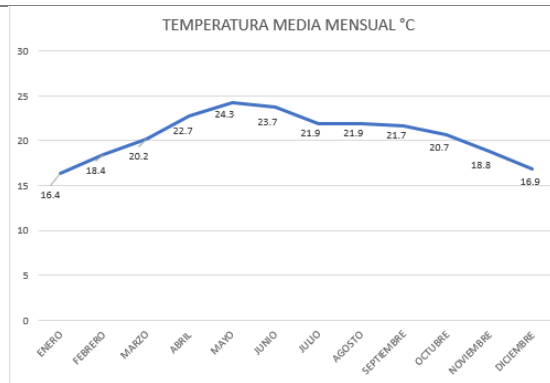


Figura 3.2 Temperatura Media Mensual en Guadalajara

Fuente: hoja de cálculo (BAT, 2013)

Figura 3.2 Precipitación mensual total en Guadalajara

Fuente: hoja de cálculo (BAT, 2013)

Para el estudio de la zona, es importante considerar el comportamiento de la zona y relacionarlo con el confort térmico. Ya que este definirá los valores deseados. Por lo cual se realizará un cruce de datos climatológicos, en base a la zona de confort.

3.2.1. Parámetros de confort en la ZMG

El confort térmico es un término psicológico de la percepción o satisfacción que tienen las personas en relación con la temperatura de un espacio, sin embargo, este tiene rangos de satisfacción en relación con el clima de estudio, la tasa metabólica de la actividad del espacio y valores de arropamiento.

Estos valores se relacionaron para desarrollar “los índices de confort” más importantes por la ASHRAE: “índice de sobrecarga calórica, temperatura de globo húmedo, temperatura de globo de bulbo húmedo, índice de sudoración, temperatura efectiva, índice de viento helado e índice de fanger” (Gamboa et al., 2011).

Entonces, para poder seleccionar los rangos de confort deseados, en relación con la ubicación geográfica se debe desarrollar “la fórmula propuesta por Auliciems para determinar la temperatura de confort” deseada (Fuentes, 2004).

- $T_n = 17.6 + 0.31 T_m$
- $Z_c = T_n \pm 2.5 \text{ }^\circ\text{C}$

Donde:

T_n = Temperatura Neutra

T_n^- = Temperatura inferior de Confort

T_{n+} = Temperatura Superior de Confort

Z_c = Zona de Confort

T_m = Temperatura media anual o mensual

En base a la fórmula de Auliciems, se realizó la [Tabla 3.2](#) que calcula los valores mínimos y máximos de confort en relación con el promedio mensual de temperaturas, mismos que se representan gráficamente en la [Figura 3.3](#).

Entonces estos valores serán los determinados como mínimos y máximos para el confort en la ZMG. Y si salimos de este rango ya se considerará una situación de disconfort.

Tabla 3.2 Valores mínimos y máximos de Confort

Fuente: (BAT, 2013)

Mes	Tm	Tn	Tn-	Tn+
Enero	16.4	22.684	20.184	25.184
Febrero	18.4	23.304	20.804	25.804
Marzo	20.2	23.862	21.362	26.362
Abril	22.7	24.637	22.137	27.137
Mayo	24.3	25.133	22.633	27.633
Junio	23.7	24.947	22.447	27.447
Julio	21.9	24.389	21.889	26.889
Agosto	21.9	24.389	21.889	26.889
Septiembre	21.7	24.327	21.827	26.827
Octubre	20.7	24.017	21.517	26.517
Noviembre	18.8	23.428	20.928	25.928
Diciembre	16.9	22.839	20.339	25.339

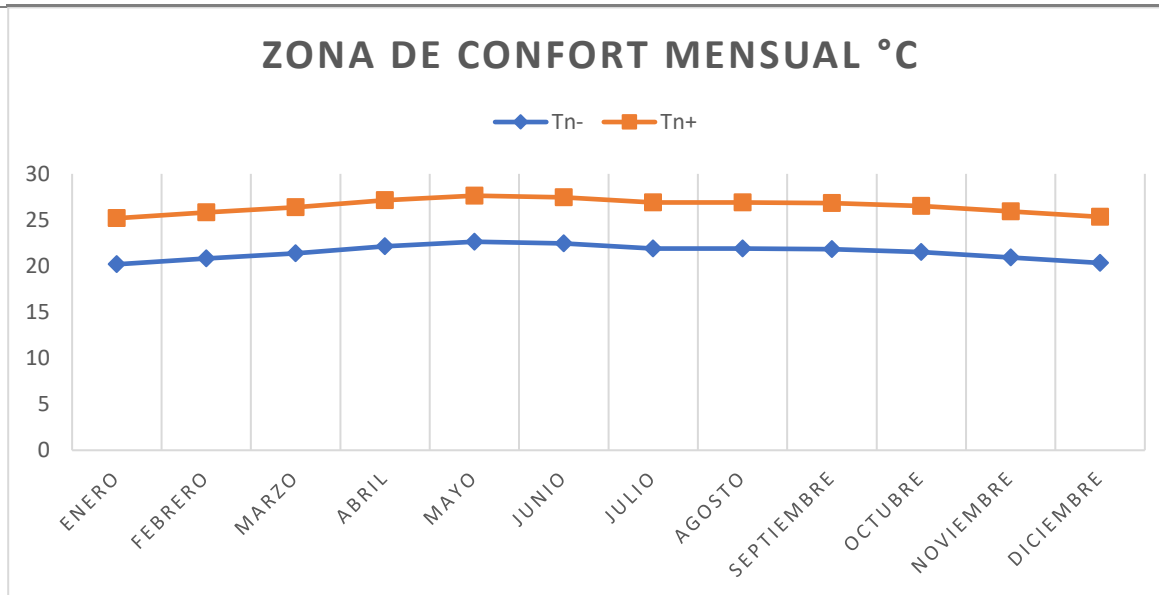


Figura 3.3 Valores mensuales de confort en Guadalajara

Fuente: (BAT, 2013)

3.2.2. Análisis de climatológico anual en la ZMG

El análisis de **temperatura mensual-anual** se representa en la **Figura 3.4** con valores mínimos y máximos, durante cada mes y un promedio mensual anual al final. El color

verde se representan los valores mínimos y máximos extremos mensuales, en amarillo los valores promedio mensuales y en blanco el promedio mensual. Esta Figura a su vez representa en una línea gris la zona de confort de una forma mensual-anual, y nos dice que solo el mes de julio la temperatura y el confort son ideales. Sin embargo, cabe señalar que el confort higrotérmico se debe relacionar con más parámetros como humedad y viento.

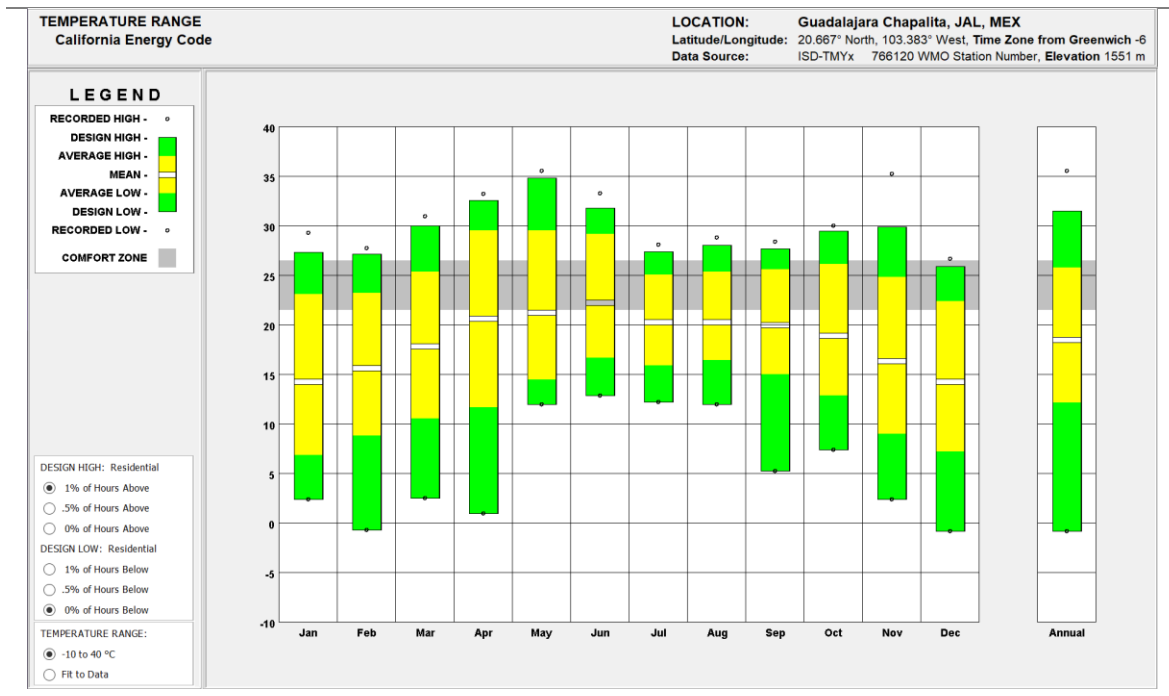


Figura 3.3 Rangos de temperatura anual y Confort

Fuente: (Climate Consultant, 2022)

Por lo cual es necesario también conocer la **humedad del sitio**, ya que, se dice que “la temperatura de la zona de confort térmico disminuye 0.8 °C por cada 10% de incremento en la humedad relativa” (Fuentes & Rodríguez, 2004).

Entonces para hacer un cruce de datos entre la humedad y temperatura de la zona, esto se muestra en la Figura 3.4 de una forma anual, mensual - horaria. La línea verde representa el valor de humedad, la amarilla los valores de temperatura y la franja gris la zona de confort.

Se aprecia que, a mayor temperatura, se tiene menor humedad relativa y mientras menor temperatura existe mayor humedad. Esto está relacionado a que mientras más cercanía entre humedad y temperatura, se tiene un mayor **disconfort** en los usuarios, esto sucede en los meses de **abril a junio**.

Los horarios durante el año debemos de cuidar más, para este caso se observa que entre las **8:00am y 4:00pm** es cuando se presentan los mayores cambios.

Para el caso de Guadalajara no se considera que se tienen valores balanceados de humedad con relación a la temperatura, sin embargo, la implementación de fuentes como estrategia bioclimática, puede ayudar a enfriar los espacios específicos.

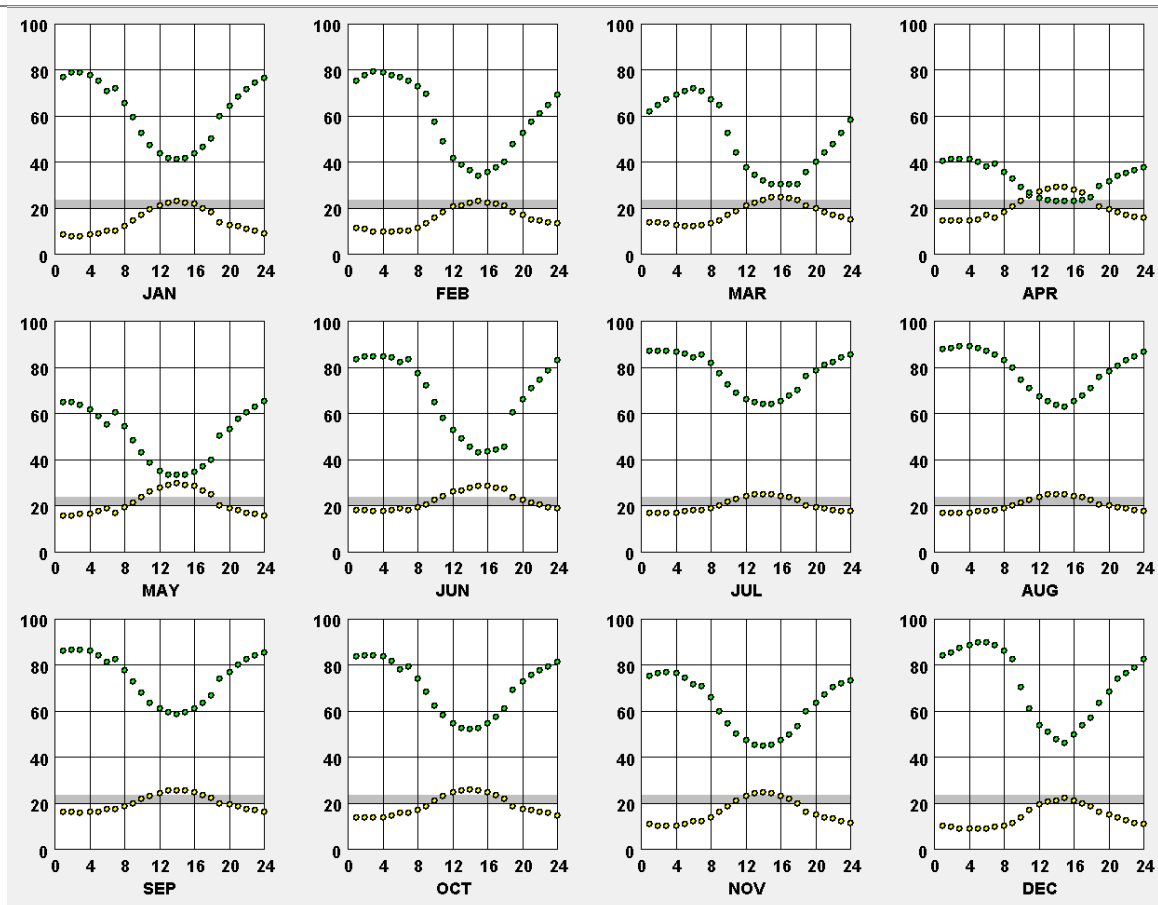


Figura 3.4 Rangos de temperatura y humedad anual

Fuente: (Climate Consultant, 2022)

Como tercera variante se presenta el estudio de los **vientos dominantes**, de forma mensual, a través de todo el año. Es importante, debido a que nos da un parámetro de donde debemos de captar el viento y como realizara el flujo o recorrido en el edificio.

La **Figura 3.5** nos muestra en color marrón las **horas** que el viento llega, de azul a rojo, la **temperatura** en la que ingresa, en verdes la **humedad** y de naranja a amarillo la **velocidad**. Cabe señalar que Guadalajara cuenta con entrada de viento en todas las **orientaciones**, sin embargo, esto se debe de interpretar de una manera mensual, para conocer las estrategias de cada mes.

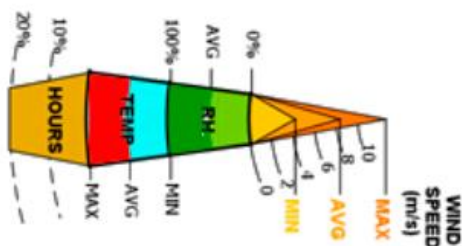
El comportamiento de viento de **forma mensual** en todo el año nos señala que en mayo y junio si se puede captar viento del oeste, pero cuidando que no entre el viento caliente del norte y sur, por lo cual se puede colocar obstáculos de forma vertical en la fachada para evitar la entrada de estos vientos calientes.

También nos muestra que los vientos dominantes van de **este a oeste**, con una velocidad promedio de 4 a 10 m/s, donde la temperatura de viento se encuentra entre los 0-20°C y la humedad de este está entre 30-70%.

Estos valores nos indican que el viento que se capta es ideal y puede llegar a regular el confort interno de los espacios, sin necesidad de modificar la humedad y temperatura, sin embargo, la **velocidad del viento** si debe de ser un factor que cuidar, ya que los valores son un poco altos y si se capta directamente, podría llegar a ser molesto a alguna actividad.

Para el caso de estudio con la intervención de Torre de enfriamiento, esto es importante, ya que se debe buscar captar viento para regular el confort térmico de la habitación, por lo cual este parámetro debe de representarse en las simulaciones de los siguientes capítulos.

Simbología



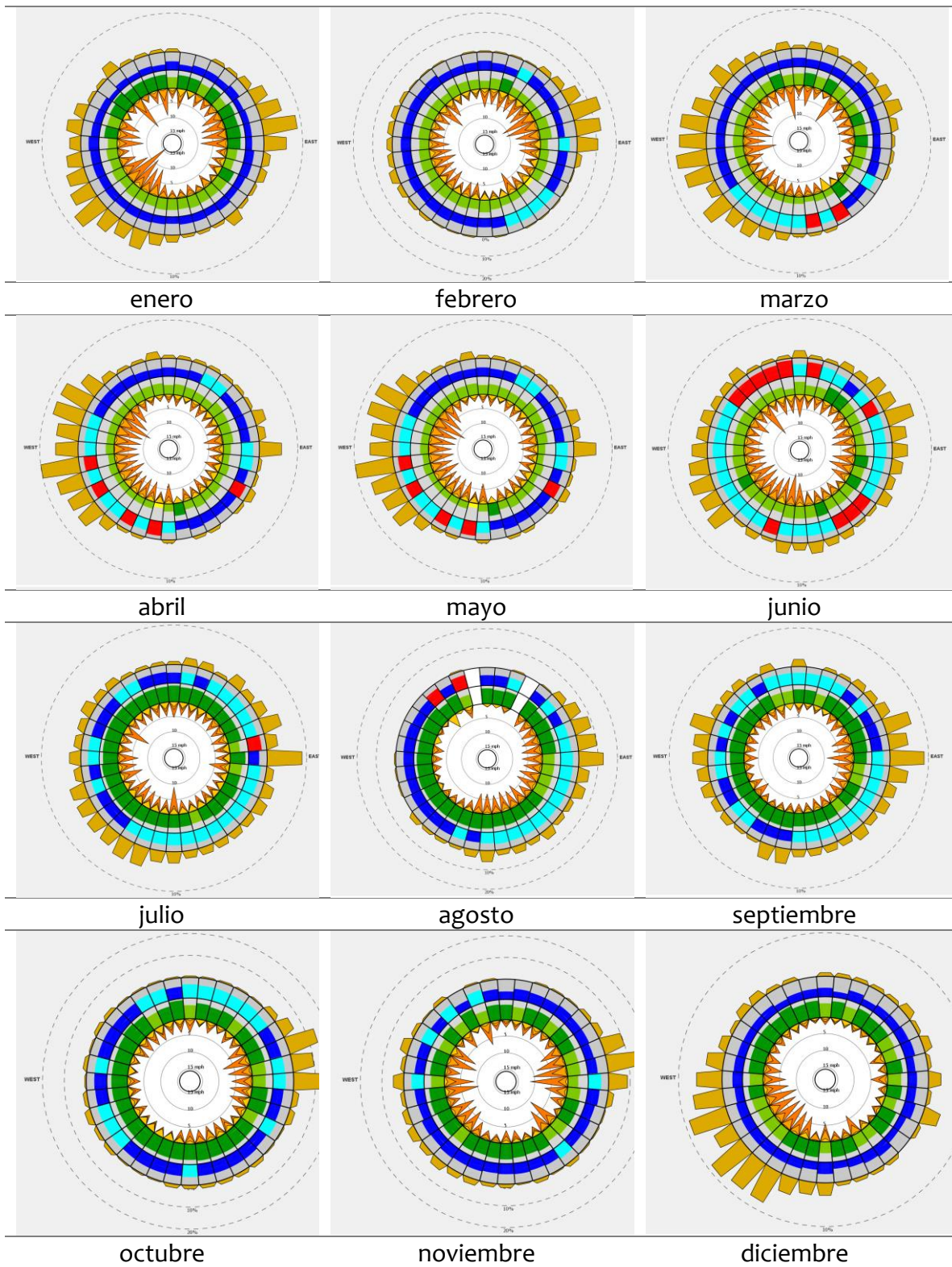
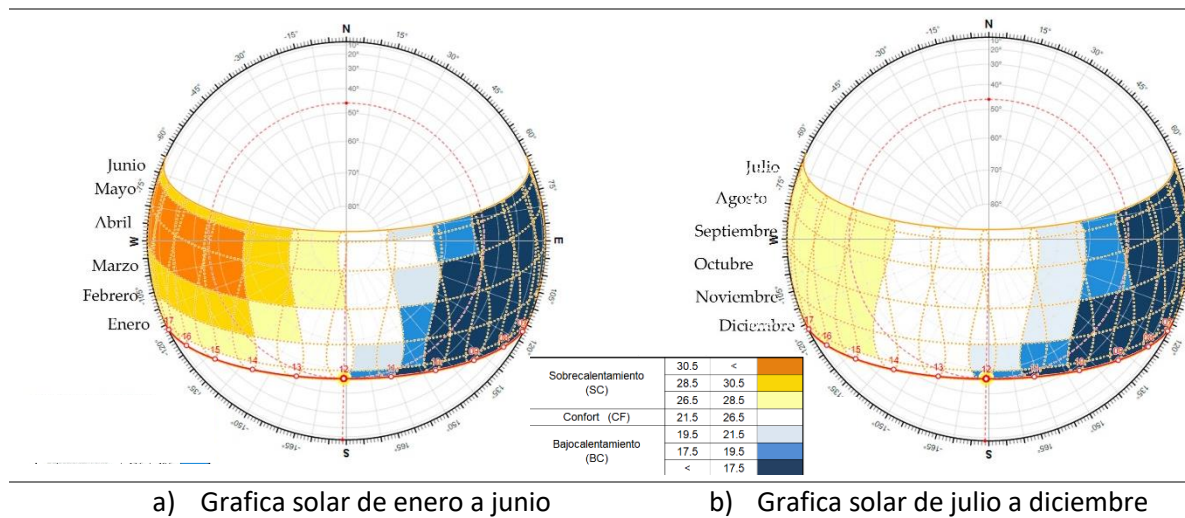


Figura 3.5 Rosa de los vientos mensual
 Fuente: (Climate Consultant, 2022)

Por otro lado, si se analizan los datos de **temperatura** anual, de una forma mensual-horaria, a través de una **gráfica solar**, se podría apreciar más fácilmente las fachadas que reciben mayor temperatura, en que horario y orientación.

La **Figura 3.6 a y b**, muestra este análisis, donde señala que los horarios más calientes en relación con las orientaciones solares. A partir 2:00pm a 5:00pm, en la fachada oeste de los meses de abril y mayo, se presenta un sobrecalentamiento y de ahí siguen los meses de febrero y junio.



a) Grafica solar de enero a junio

b) Grafica solar de julio a diciembre

Figura 3.6 Grafica solar anual

Fuente: elaboración propia con datos del (BAT, 2022)

Una vez hecho el análisis de sitio, de forma anual y mensual, podemos conocer el comportamiento del contexto inmediato y en base a eso seleccionar estrategias puntuales para la generación de confort en los espacios interiores.

Una herramienta para este estudio es la **carta psicométrica de chart**, en la que destacan estrategias para generar el confort en la edificación. La **Figura 3.7** muestra diez **estrategias** como las mejores, para provocar el **confort**. Sin embargo, las últimas dos deberían de descartarse, ya que generan el consumo de energía eléctrica.

En el listado que sale en el lado izquierdo, muestra los porcentajes de satisfacción que brindaría el implementar la estrategia y después se simula en la gráfica, donde los puntos verdes simulan confort y los rojos discomfort.

La **torre de enfriamiento** se encuentra en la estrategia de ventilación natural, e incrementaría un **17%** el **confort** en el espacio, por lo cual podría ser una buena estrategia para implementar en la ZMG

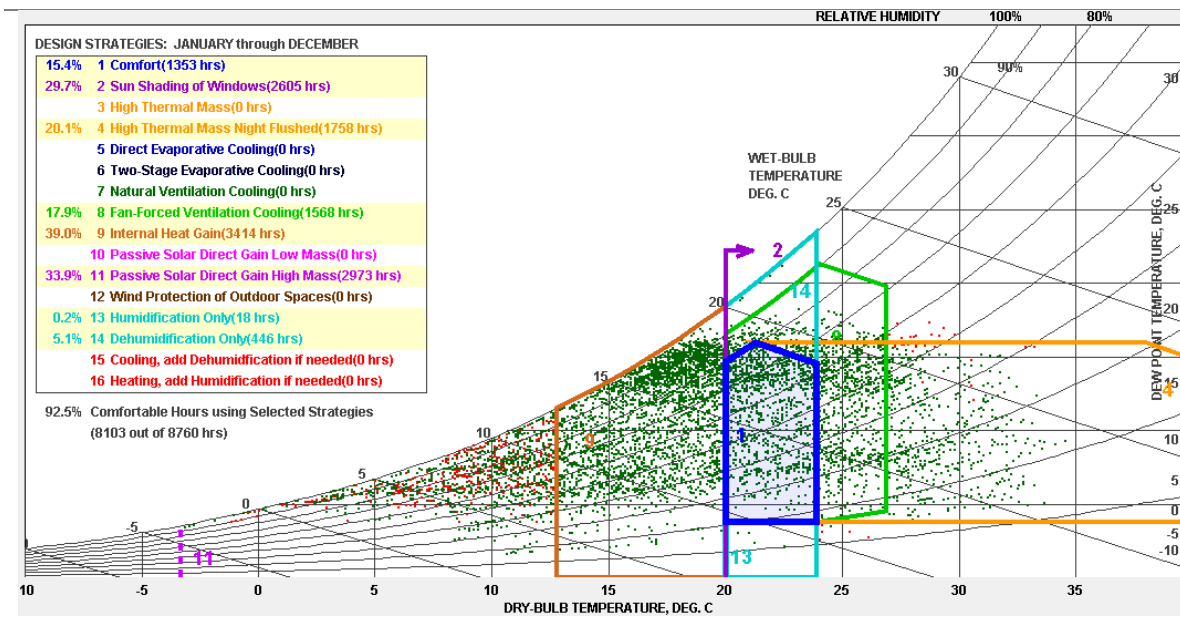


Figura 3.7 Estrategias bioclimáticas en Guadalajara

Fuente: (Climate Consultant, 2022)

3.2.3. Estrategias Bioclimáticas para la ZMG

Sin embargo, en los últimos años las edificaciones en general no han tomado en cuenta las estrategias que pueden llegar a implementar, para aumentar y favorecer los espacios interiores de las viviendas, las ganancias y pérdidas de calor que provocan los materiales, las estrategias aislantes de los mismos, entre otras. Por lo cual se consideró realizar un apartado de estrategias bioclimáticas para la ZMG.

Para lograr el confort térmico, se tomó en cuenta la carta psicrométrica, y algunas recomendaciones por Heywood (2016), para el clima templado que tiene Guadalajara. Estas se muestran en la [Tabla 3.3](#)

[Tabla 3.3](#) Estrategias pasivas para la ZMG, enfocadas a la vivienda de estudio

Estrategia	Acción	variante
Protección solar	colocar volados, parasoles	tamaño, ubicación, material
Reducción de filtraciones de aire	masa térmica	materiales de envolvente
Reflexión solar	cambio de colores o materiales en fachada y losa	materiales, color
Materiales con masa térmica alta		materiales de envolvente
Renovación de aire	calcular la renovación de aire en los espacios	tamaño de ventana, entrada y salida de aire
Chimenea solar	diseño y colocación de chimenea	materiales, tamaño y ubicación

Por lo cual, la torre de enfriamiento o chimenea solar llega a ser una de las estrategias pasivas, más relevantes en el clima de ZMG, para regular el confort térmico de la vivienda.

3.3. Caracterización y problemática de la vivienda tradicional en la ZMG

La ZMG ha ido experimentando grandes cambios en relación con su densidad poblacional y la planeación de desarrollo urbano, trayendo consigo problemas de urbanismo y edificación (Orozco Ochoa, 2015). Dentro de los problemas de edificación destaca la forma de construcción y adquisición de vivienda.

La clasificación de vivienda en la ZMG es importante, debido a que se debe conocer cómo se está edificando y que características físicas y químicas tienen. Ya que esto determinara el estudio bioclimático de las edificaciones, su eficiencia energética y de confort interior de la misma.

Las viviendas se analizarán mediante una investigación mixta, entre cualitativa y cuantitativa. Donde además se estudiarán las variables de las edificaciones en relación con el nivel socioeconómico como vivienda de interés social (casas en serie) y vivienda residencial. Partiendo de que “la construcción de vivienda depende de *“las fuerzas de vivienda en el mercado y la fuente de financiamiento”* (CONAVI, 2017).

3.3.1. Antecedentes

A finales del siglo XIX el crecimiento poblacional de la ZMG comienza a generar una **demanda de adquisición de vivienda**, donde además del cambio de materiales en las edificaciones, hay cambios en la mano de obra, procesos de producción y adquisición de materiales. Con esto la construcción comienza a industrializarse y a ser más rápida, provocando una mala planeación urbanística y desigualdad de adquisición de vivienda, donde la oferta y demanda empieza a ser significativa, (Figura 3.6). Por lo cual se impulsó la creación de la ley federal de la vivienda en 1983, *“para poder crear vivienda a bajo costo”* (Jimenez, 1998).

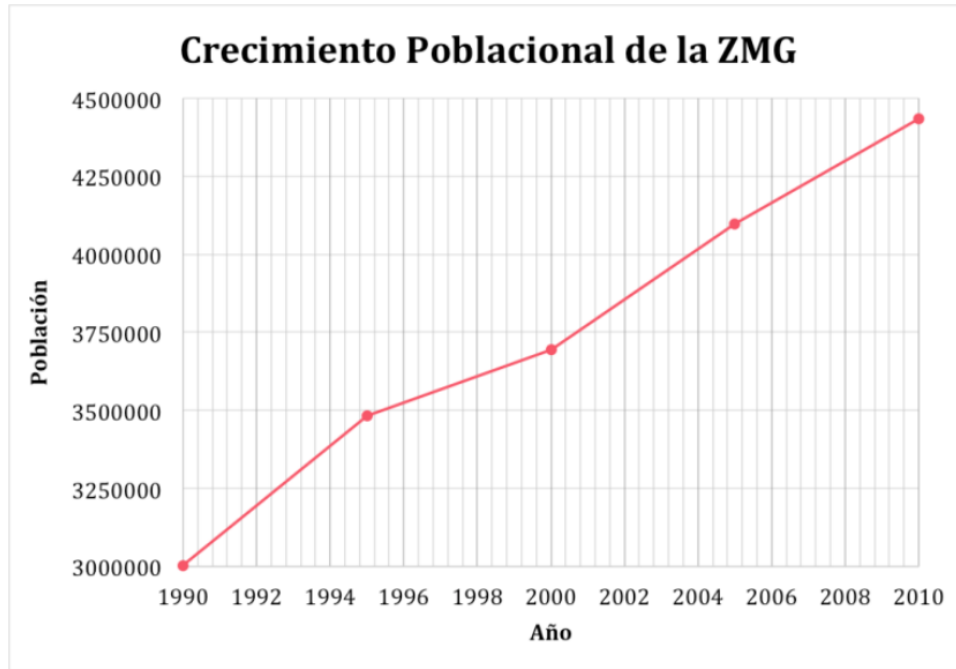


Figura 3.6 Crecimiento poblacional de la ZMG

Fuente: (Padilla, 2016)

El segundo cambio significativo en la edificación de vivienda es cuando la tipología de la arquitectura vernácula comienza a ser olvidada y se le da más importancia a la estética y a la importación de materiales, generando así espacios de discomfort térmico y con alto consumo energético. Este cambio se comienza a generar viviendas nuevas, con apoyos económicos de instituciones y se comienza a olvidar la arquitectura vernácula de la ZMG, dejando de lado las características bioclimáticas de la zona.

Algunas de las principales características de la arquitectura vernácula o popular, que se comienza a dejar de lado son: la forma de las edificaciones, la creación de patios centrales, techo a dos aguas, bóveda de cuña, utilización de materiales de la zona (adobe, piedra, teja), etc. Dando como resultado un déficit en la funcionalidad de las nuevas construcciones por la creencia de que lo antiguo es obsoleto debido a que es “no es reproducida por profesionales” (Del Rio et al., 2006). Al tener una mayor demanda de vivienda y un cambio de tipología de arquitectura vernácula a arquitectura industrializada, el uso de suelo se comienza a explotar significativamente. Sin embargo, ante esta variante surgen dos tipologías básicas en la ciudad, las llamadas casas de interés social o en serie y las casas residenciales.

3.3.2. Clasificación de vivienda en la ZMG

A inicios de la década de los 90's, "las unidades habitacionales de interés social... eran financiadas por organismos públicos" (Universidad de Guadalajara, 2013). Sin embargo, con la crisis económica que vivía el país, estos apoyos se comenzaron a quitar (Moreno, 1995). Por lo cual, la adquisición de vivienda se comenzó a clasificar por un aspecto económico de adquisición.

Posteriormente la comisión nacional de vivienda (CONAVI) crea el **código de edificación de vivienda**, donde describe algunos parámetros para regular la calidad de los edificios. En la que clasifica las viviendas en edificaciones que "depende en gran medida de las fuerzas del mercado y las políticas de las fuentes de financiamiento" (CONAVI, 2017).

En base a lo anterior, se tomará la **clasificación de viviendas en la ZMG**, por tipo de adquisición monetaria, forma de producción, superficie y número de cuartos, tomando como base la **Tabla 3.4** que presenta la **CONAVI (2017)**.

Tabla 3.3 Clasificación de vivienda por precio promedio

Fuente: (CONAVI, 2017)

Promedios	Económica	Popular	Tradicional	Media	Residencial	Residencial Plus
Superficie construida promedio	30 m2	42.5 m2	62.5 m2	97.5 m2	145 m2	225 m2
Costo promedio:						
Veces Salario Mínimo Mensual del D.F (VSMMDF)	Hasta 118	De 118.1 a 200	De 200.1 a 350	De 350.1 a 750	De 750.1 a 1,500	Mayor de 1,500
Número de cuartos	Baño Cocina Área de usos múltiples	Baño Cocina Estancia-comedor De 1 a 2 recámaras	Baño Cocina Estancia-comedor De 2 a 3 recámaras	Baño ½ baño Cocina Sala Comedor De 2 a 3 recámaras Cuarto de servicio	De 3 a 5 baños Cocina Sala Comedor De 3 a 4 recámaras Cuarto de Servicio Sala familiar	De 3 a 5 baños Cocina Sala Comedor De 3 a más recámaras De 1 a 2 cuartos de servicios Sala familiar

3.3.3. Vivienda de estudio

El caso de estudio es considerado una **vivienda de nivel medio**, debido a los metros cuadrados de construcción y al número de cuartos que tiene. Esta cuenta con 122.94m² de construcción y se divide en dos niveles. (ver **Figura 3.7**)



Figura 3.7 Fachada principal de la vivienda de estudio

El **programa arquitectónico** de la vivienda es de tres recamaras, una sala familiar, sala, comedor, cocina, dos y medio baño y cuarto de estudio.

El **sistema constructivo** de la vivienda es de muros de ladrillo rojo, con acabado de mortero-arena al interior y exterior y losa de vigueta y bovedilla, con ladrillo rojo, acabado mortero-arena al interior y al exterior impermeabilizante elastomérico.

La altura libre es de 2.30m en cada nivel y una losa de 30cm de espesor. Resultando así una altura máxima de 6.20m, debido a dos elementos sobresalientes en el área del baño de planta alta y la circulación vertical.

Las **ventanas** son de herrería, con cristales claros de 6mm, la **puerta principal** es de herrería con aislante y la del patio es de herrería y cristal. Los **acabados** al exterior cuentan con una textura rugosa y al interior se conserva un apalillado fino.

La **iluminación** que cuenta la vivienda es tipo leed, el **sistema de agua** es mediante cisterna y tinaco, con equipos tradicionales (no eficientes para el ahorro de agua), y cuenta con calentador solar hídrico.

En la **Figura 3.8 y 3.9** representan los espacios mediante colores que simbolizan las actividades principales: área de descanso en color azul, espacios de circulación en color amarillo, espacios de actividades (lectura, estar sentado, viendo tv) en verde, verde aqua los baños y naranja la cocina. En el alzado se agregó el color gris que representa fachadas exteriores.

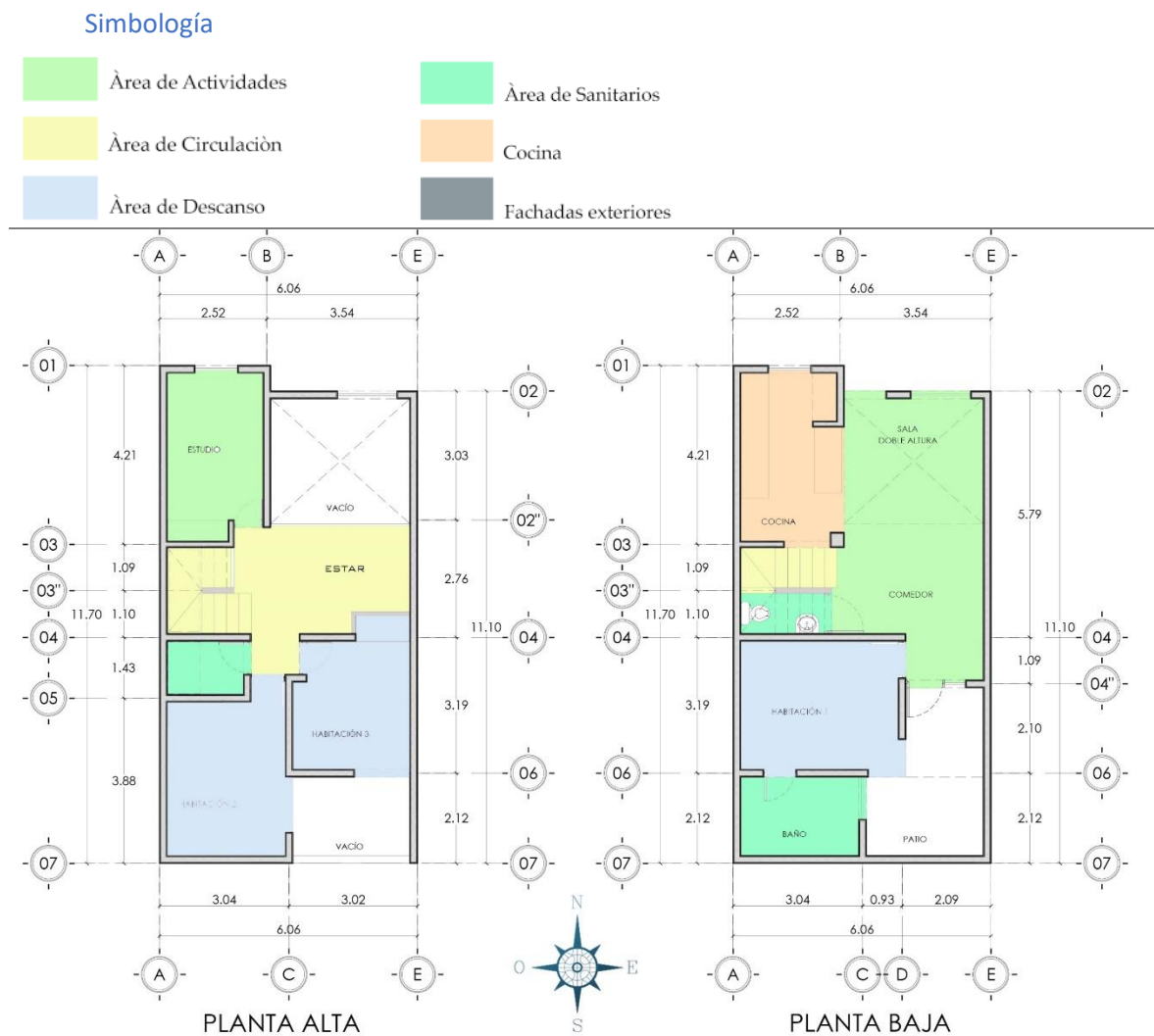


Figura 3.8 Planta alta y planta baja de la vivienda de estudio

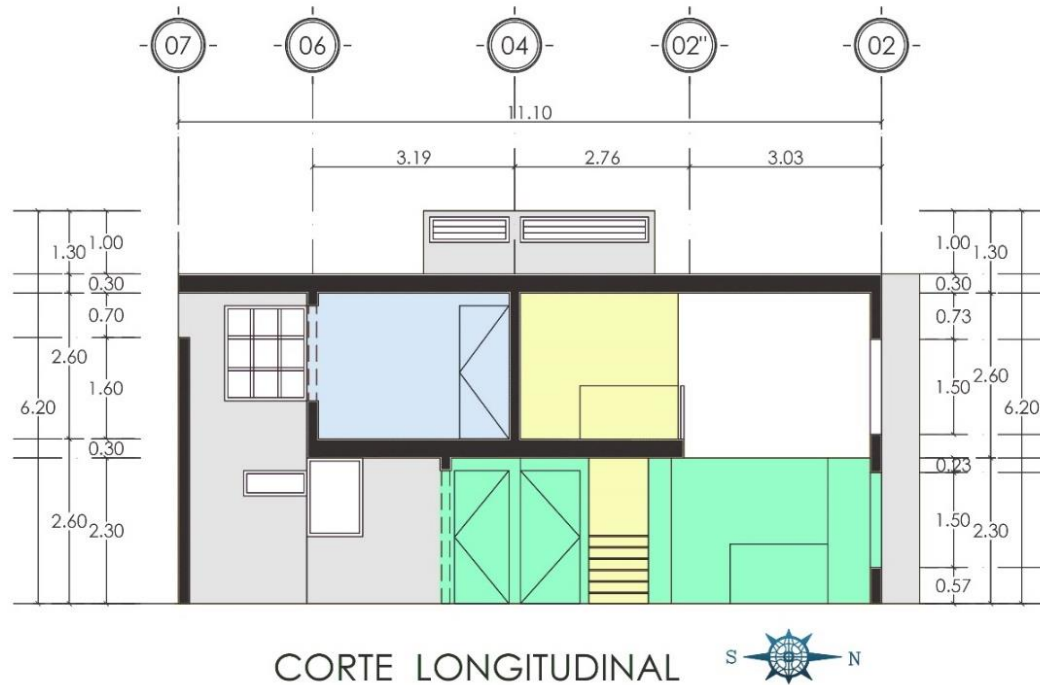


Figura 3.9 Corte Longitudinal

3.4. Características térmicas de los materiales

Los **materiales** y **sistemas constructivos** tienen propiedades térmicas por si solos, que ayudan a transmitir calor o a retardar el proceso, esto mediante la evaluación de “*la velocidad con la que se propaga la energía térmica a través del cuerpo*” (Tudela, *Ecodiseño de asentamientos humanos en zonas calidas*, 1982).

Estas características se pueden apreciar en las dos caras de un cuerpo, donde la cara exterior recibe una temperatura y esta se transmite a través del cuerpo en un tiempo determinado, hasta llegar a la otra cara. Pero para conocer estos valores y el comportamiento, es importante conocer algunas propiedades físicas de los materiales.

3.4.1. Conceptos básicos

Para entender el proceso de transformación de energía en los materiales, es necesario conocer algunos conceptos básicos para sus cálculos. Entre estos destacan los siguientes:

1. Densidad

Este se refiere a la cantidad de masa o volumen de los materiales, en relación con su peso.

Formula: kg/m^3

2. Calor específico

“Es la cantidad de energía calorífica necesaria para elevar un grado centígrado la temperatura de un gramo del material” (Serra Florensa & Coch Roura, 1995)

Mientras más grande sea el valor del calor específico, se necesita mayor energía para aumentar la temperatura.

Se mide en: $\text{J/kg}^\circ\text{C}$

Fórmula: $Q=m \cdot c \cdot \Delta t$

Donde:

Q = cantidad de calor

m = masa

c = calor específico

Δt = variación de temperatura (t_2-t_1)

También existe el calor específico volumétrico, este depende de la presión del aire y otros factores como la humedad.

3. Conductividad Térmica

Es la propiedad de los materiales, que permite transferir u oponerse a la transferencia de calor de otros materiales.

Se mide en: $\text{W/m}\cdot\text{k}$

Fórmula: $W/(k \cdot m) = m \cdot c$

Donde:

W = watts

k=kelvin

c=Celsius

m = metro

4. Coeficiente global de transferencia de calor

Es la intensidad total de la transferencia de calor de un material a otro. Se puede dar mediante la convección o conducción.

Se mide en: $u=1/Rt$

Valor: $w/m^2 \cdot k$

5. Transmitancia térmica

Es la cantidad de calor que fluye por unidad de tiempo y superficie. Mientras mas resistencia tengan los materiales, menor es la cantidad que se pierde a través de ella.

Se mide en: $U=1/Rt$

Fórmula:

U = transmitancia térmica (W/m^2k)

Rt =resistencia térmica total del elemento compuesto por capas (m^2k/W)

$Rt = R_{si}+R_1+R_2+R_3+R_n+R_{se}$

R_{si} = Resistencia Térmica Superficial Interior

R_{se} = Resistencia Térmica Superficial Exterior

R_1, R_2, R_3, R_n = Resistencia Térmica de cada capa, se obtiene de acuerdo

Formula: $R=e/\lambda$

Donde:

e =espesor del material (m)

λ = conductividad térmica del material (W/km)

$m^2 \cdot k/w$

6. Reflectancia solar

Es el valor porcentual de la energía radiante que se refleja a través de los materiales o superficies como techos, pavimentos, terrazas, muros...

Se compara con la temperatura de una superficie bajo radiación solar con respecto a una blanca ($SRI =100$) y de una superficie estándar negra ($SRI =0$)

Se mide en: ISR (incidencia de radiación solar)

Formula : $T (b-T_s)/T(b-T_w) \times 100$

Donde:

T_b= temperatura estacionaria de la superficie negra

T_w= temperatura estacionaria de la superficie blanca

T_s = temperatura de la superficie del material del cual se necesita conocer su SRI

Algunos de los valores más representativos de los materiales de construcción se muestran en la [Tabla 3.5](#)

Tabla 3.5 Características térmicas de los materiales

Características térmicas de materiales							
	Densidad	Calor específico	Calor específico volumétrico	Conductividad	Resistividad	Admisividad	Difusividad
	kg /m ³	J/kg °C	kg/m ³ °C	10 ⁻³ W/m °C	10 ⁻³ m °C/W	KJ ² /s m ⁴ °C ²	10 ⁻⁶ m ² /s
material							
aire	1.2	1180	1.4	26	38460	0.036	18570
roca							
granito	2700	1030	2780	1920	520	5340	690
caliza	2500	910	2270	1530	650	3480	670
arenisca	2000	730	1460	1290	770	1880	880
arena seca	1520	810	1230	500	2000	610	410
arcilla seca	1600	800	1280	450	2220	580	350
adobe	1500	1480	2220	580	1720	1290	260
yeso	700	840	590	280	3570	160	470
mortero-cemento-arena	2130	890	1890	1400	710	2650	740
mampostería tabique							
ligera	1600	900	1440	560	1780	1210	390
mediana	1800	920	1660	730	1370	2030	440
densa	2000	1070	2140	950	1050	120	440
Vermiculita	700	880	620	190	5260	120	310
vidrio	2600	900	2340	720	1390	1120	310
asfalto	1700	1140	1940	580	1720	174500	300
acero	7760	450	3490	50000	20	492000	14300
aluminio	2700	910	2460	200000	5	295900	81300

Tabla 3.5 Características térmicas de los materiales (Continuación)

Características térmicas de materiales							
	Densidad	Calor específico	Calor específico volumétrico	Conductividad	Resistividad	Admisividad	Difusividad
	kg /m ³	J/kg °C	kg/m ³ °C	10 ⁻³ W/m °C	10 ⁻³ m °C/W	KJ ² /s m ⁴ °C ²	10 ⁻⁶ m ² /s
concreto en general	2100	840	1760	1000	1000		570
agregado						1300	
ligero	1800	1000	1800	720	1390	2640	400
medio	2200	1000	2200	1200	830	3600	540
denso	2400	1000	2400	1500	670		620
madera	600	1210	730	140	7140	100	190
Fibra de Madera	250	1080	280	50	20000	14	180
Triplay	560	1400	780	140	7140	110	180
Tablero de aglomerado	800	1400	1120	150	6670	170	130
Placa de corcho	140	1800	250	50	20500	12	200
Lamina de asbesto-cemento	1500	900	1350	360	2780	490	270
Lana mineral	140	750	100	37	27030	4	370
Fibra de vidrio	100	650	65	42	23810	2.7	650
Poliestireno expandido	30	1700	50	33	30300	1.7	660

Fuente: (Tudela, 1982)

3.4.2. Materiales exteriores (envolvente)

Estos son los que se encuentran expuestos a la radiación solar, viento y elementos del contexto, es significativo conocer su conductividad y masa térmica, ya que, a partir de eso y los espesores podemos determinar el confort interno de los espacios.

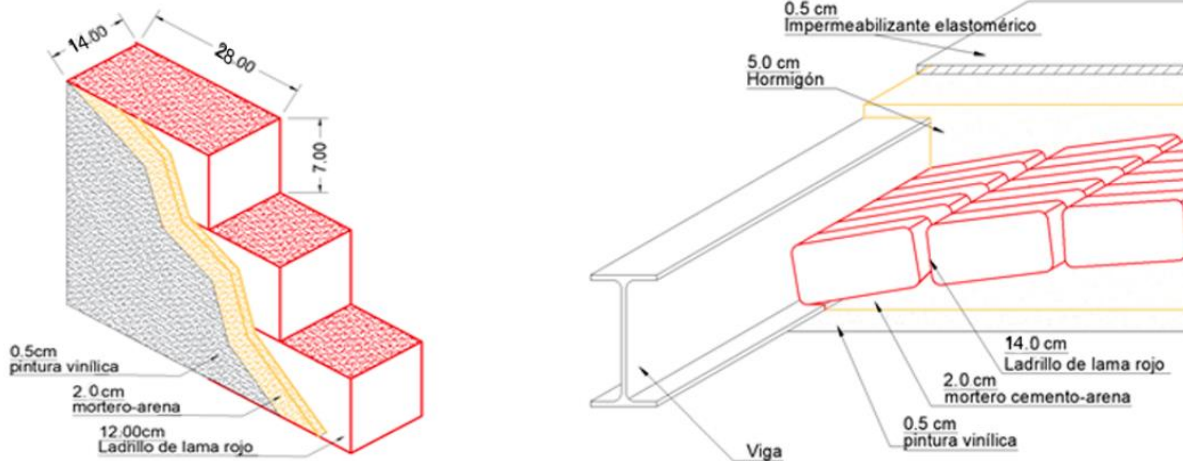
En la vivienda de estudio destacan: **muros** de ladrillo rojo con revestimiento de mortero-arena y pintura vinílica. La **losa** se caracteriza por ser bóveda de cuña, con ladrillo rojo, vigas metálicas IPR a cada metro, hormigón (jalcreto) en azotea para dar pendiente y capa de compresión de 5cm de espesor en entrepiso y azotea con malla electrosoldada y concreto e impermeabilizante elastomérico blanco.

El **sistema constructivo** de muros y losa se representa gráficamente en la **Figura 3.10 a y b**, donde se busca representar todas sus **capas** con espesores. Y en la **Tabla 3.6** que representa los **valores térmicos** que tienen.

Tabla 3.6 valores térmicos de los materiales de la vivienda de estudio

Fuente: (Tudela, 1982)

Sistema Constructivo	Material unidad	Rugosidad	Espesor cm	Conductividad W/m·K	Densidad kg/m ³	Calor específico J/Kg·K	Absortancia %
Muro de ladrillo rojo, con acabado mortero-arena al interior y exterior	Mortero		2	1	1800	1000	0.25
	Ladrillo rojo		14	0.7	1970	800	0.88
		Media					
	Mortero		2	1	1800	1000	0.25
		Total	18	2.7	5570	2800	1.38-1.449
Losa de Vigueta y Bovedilla, con ladrillo rojo, acabado mortero-arena y capa de compresión	Capa exterior de aire		1	0.9653	1.2	1.4	
	Capa de compresión		5	0.72	1800	1000	
	Ladrillo rojo	Media	14	0.21	1600-	900	
	Mortero-Arena		2	1.4	2130	890-1000	
	Capa interior de aire		1	0.9653	1.2	1.4	
		Total	27	4.2606	5532.4	2792.8	0.7



a) Muro de carga de mampostería

b) Losa de azotea

Figura 3.10 materiales de la envolvente

Estos elementos pueden variar según el sistema constructivo, materiales y espesores de cada vivienda. Pero siempre se debe de tener en cuenta las capas que estos tienen para realizar el cálculo correcto del **valor R** para poder conocer el **valor u**.

3.4.3. Materiales interiores (acabados)

Estos se encuentran en el interior de la vivienda y tienen poco contacto con el exterior. Sin embargo, son significativos para conocer la receptividad de calor que se introducirá a la vivienda. Sin embargo, no son valores que afectan de manera significativa la simulación en el modelo numérico.

El caso de estudio cuenta con piso cerámico, en muros tiene acabado de mortero-arena en todos los espacios con acabado apalillado y terminado de pintura vinílica, los baños se encuentran recubiertos de azulejo en un 80% del espacio y la cocina cuenta con azulejo en un 20%.

3.5. Conclusiones

El estudio climatológico de la ZMG nos ayuda a conocer el comportamiento del contexto en relación a la edificación, por lo cual nos permite seleccionar estrategias bioclimáticas para lograr un mejor confort en la edificación. Es por ello que se considera como el primer acercamiento para el estudio de diseño o intervención en las edificaciones.

La recolección de datos climatológicos nos muestra que Guadalajara goza de un clima confortable en la mayoría de sus meses, sin embargo, esto se debe relacionar con el comportamiento interno de la vivienda.

Una de las estrategias que se considera factible para la zona, es la colocación de torre de enfriamiento, por lo cual se puede decir que la búsqueda de confort mediante esta estrategia está justificada.

Por otro lado, Cabe señalar que en los últimos años la ZMG ha crecido demográficamente y esto demanda mayor número de viviendas. Por lo que la forma de adquisición y mantenimiento de la vivienda ha ido cambiando, dando como resultado viviendas con valores altos de discomfort, debido al mal diseño o mala selección de materiales (térmicamente).

Por otro lado, el estudio del comportamiento fisicoquímico de los materiales es importante, debido a que nos dan parámetros de transmitancia y conductividad del exterior al interior y viceversa. Dando como resultado espacios confortables en mayor número de horas.

Entonces, se puede decir que el análisis en este capítulo aporta algunas bases para la búsqueda de confort, a partir de: estrategias bioclimáticas, comportamiento térmico de la envolvente y su relación con el contexto inmediato.

4 CARACTERIZACIÓN DE LA VIVIENDA DE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE CONFORT TÉRMICO

4.1 Introducción

Para poder realizar una comparativa de estudio y conocer si la hipótesis de que la torre de enfriamiento puede regular la temperatura interna de la vivienda, y saber si esto genera una reacción positiva o negativa, es importante conocer el contexto inmediato en relación con la vivienda de estudio. Para conocer estas comparativas, será importante obtener los datos del contexto inmediato y relacionarlo al monitoreo de la vivienda, saber cuál es el comportamiento que tiene la vivienda durante diferentes estaciones del año. Además de cruzar toda esta información para conocer los puntos más altos y bajos de calor y humedad.

El análisis de **temperatura y humedad** de la vivienda se realizará a través de equipos marca Hobo®, modelo U12-013, que estarán ubicados en el interior y exterior de la vivienda, estos equipos monitorearán cada 30min la temperatura y humedad del espacio donde se encuentran. Al conocer estos valores, se compararán con la estación climatológica más cercana para tener las primeras estimaciones de posibles materiales a utilizar y posibles resultados.

Además, es importante conocer el contexto en el que se encuentra la vivienda de estudio, ya que, a partir de las características climatológicas como la temperatura mínima, máxima y promedio; precipitación, tipo de clima, altitud, latitud sobre el nivel del mar, podemos hacer referencia a los valores de confort esperados.

Los datos deben ser obtenidos por estaciones meteorológicas dentro de la ZMG (Zona metropolitana de Guadalajara), preferentemente la más cercana al caso de estudio y estos datos deberán de ser comparados con los valores del patio de la vivienda de estudio, ya que ambos harán referencia a los valores externos y con ello hacer referencia a los valores que se están teniendo dentro de la vivienda y localizar los valores de confort.

4.2 Descripción general y ubicación de la vivienda de estudio

La descripción de la vivienda de estudio es fundamental para el desarrollo del confort esperado, se deben de conocer sus características climatológicas internas para ser relacionadas con el contexto inmediato, esto como descripción del contexto de la vivienda. Por la parte del contexto inmediato, es importante conocer los valores de temperatura y humedad de la zona y relacionarlos con el monitoreo del patio, ya que nos dará un parámetro de la zona en relación con la vivienda.

4.2.1 Ubicación geográfica de la vivienda de estudio

La vivienda de estudio está localizada al norte de la ZMG, así como lo muestra la [Figura 4.1](#), en la colonia San Francisco en el municipio de Zapopan, Jalisco.

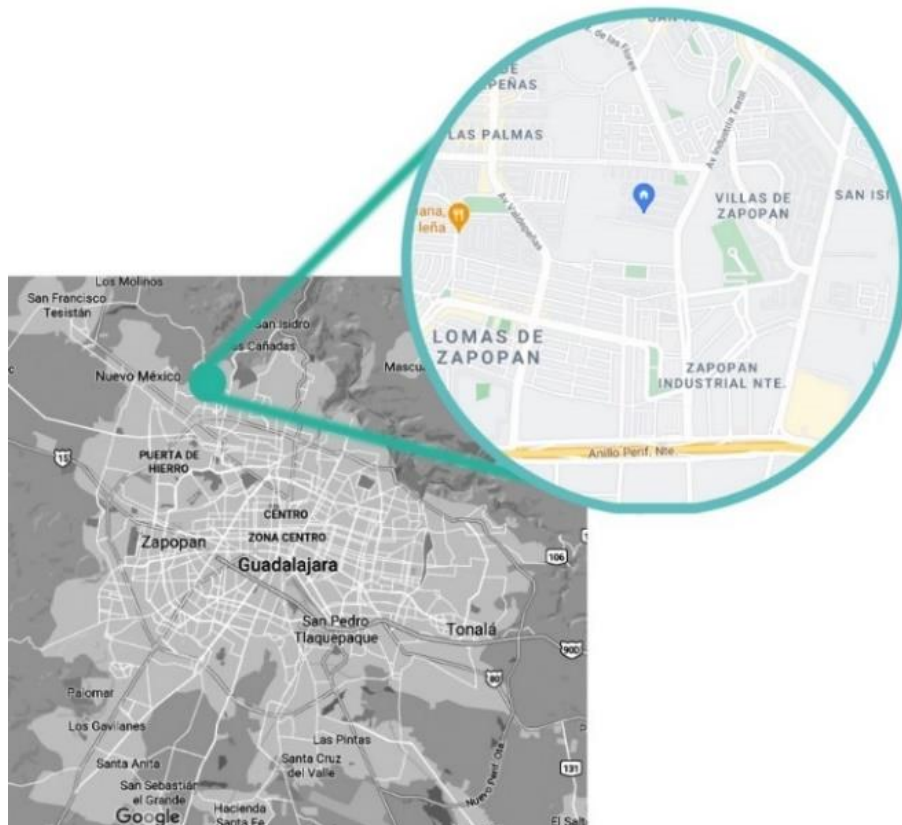


Figura 4.1 Ubicación de la vivienda de estudio, dentro de la ZMG
Fuente : (Google Maps, 2022)

4.2.2 Climatología de la vivienda de estudio

Debido a la cercanía con el bosque del centinela y al recubrimiento de piedra en las calles de la colonia, se conserva un microclima estable con oscilaciones entre 10°-12°C entre mínimos y máximos. La ubicación se muestra en la [Figura 4.2](#) donde al norte está el bosque y el cuadro morado es la colonia con empedrado. Además, cabe señalar que es una zona que cuenta con varios parques cercanos y arbolado en camellones de las avenidas principales.

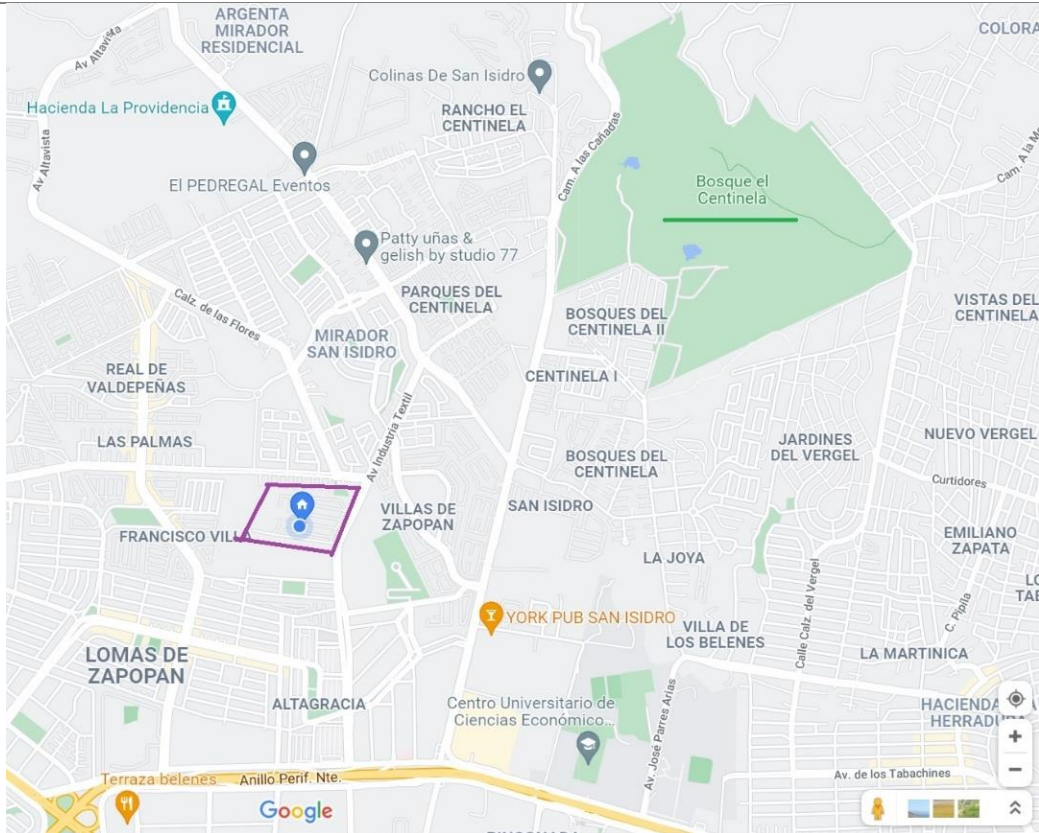


Figura 4.2 Relación del contexto inmediato

Fuente: (Google Maps, 2022)

se seleccionaron dos estaciones meteorológicas para el estudio de la vivienda, la primera es la estación n°14169 de la estación meteorológica de la CONAGUA y la segunda es la estación ubicada en Bosques Vallarta. Se seleccionaron estas dos, debido a su cercanía con la vivienda de estudio.

La estación de bosques Vallarta, llega a tener oscilaciones entre 24°-28°C, que nos muestran rangos más elevados entre mínimos y máximos, en comparación a la temperatura del

contexto inmediato. En la [Figura 4.3](#) se muestran estos valores graficados en mínimos, máximos y promedio, donde los valores que dicen patio son los registrados por el equipo Hobo®, mientras que los valores que dicen estación son la de la estación meteorológica de Bosques Vallarta. Los datos son durante los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre del año 2021; debido a que son los meses con mayores temperaturas.

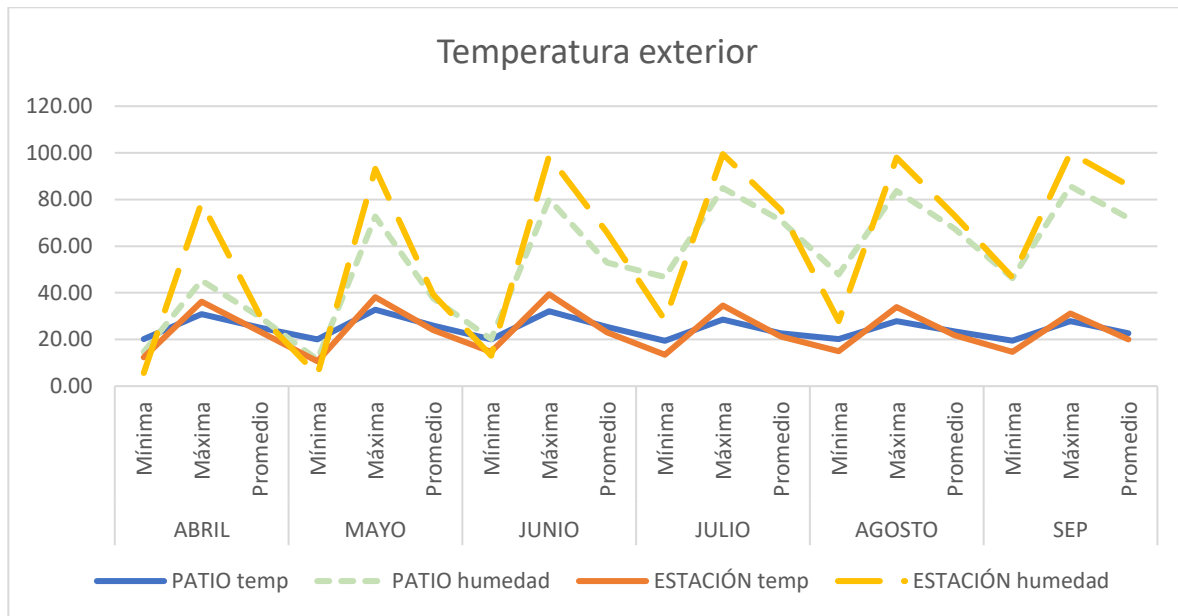


Figura 4.3 Temperatura exterior / contexto y vivienda

En base a lo anterior y según la [CONUEE \(2020\)](#), donde la clasificación climática de Köppen en relación de la temperatura y precipitaciones, se considera un **clima templado**, cuando la temperatura media mensual del mes más frío es entre -3° y 18°C , esto lo comparamos con el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la [CONAGUA \(2021\)](#) del estado de Jalisco del periodo 1951-2010 y nos da un promedio anual de 12.8°C , teniendo como mínimo 8.4°C en el mes de enero y 15.8°C en Julio, factor que nos indica que estamos dentro del rango de un clima templado.

Además, debido a que “la humedad relativa no es un dato registrado” ([Navarro Urquia, 2020](#)) con regularidad, se pueden calcular de forma indirecta como lo sugiere [Navarro](#) en su TOG:

- $RH = 98.4554 - (2.618 * O_sT)$
- $O_sT = T_{\max} - T_{\min}$

Donde:

RH = humedad relativa

OsT = oscilación de temperatura

Tmax = Temperatura máxima mensual

Tmin = Temperatura mínima mensual

Obteniendo los siguientes valores según los datos registrados en el [Bioclimarq \(2016\)](#), relacionados con los valores más comunes de confort relacionados con la vestimenta y ventilación, se sugiere el llenado de la hoja de cálculo del [Bioclimarq \(2016\)](#), para conocer los valores relativos de humedad del contexto y así poder compararlos con los de la vivienda de estudio y con los datos recabados en [Weather Spark \(2021\)](#), ya que hasta el momento es la única fuente de información que cuenta con valores de humedad en un periodo largo de tiempo, sin embargo tiene un vacío en la metodología de la información.

Entonces, podemos decir que el primer acercamiento para encontrar los rangos de confort interna de la vivienda de estudio, se pueden comparar con la estación meteorológica más cercana y los datos de [Weather Spark \(2021\)](#).

4.3 Caracterización del sistema constructivo y materiales de la vivienda de estudio

Otra característica importante dentro del caso de estudio, es la descripción de los materiales de la vivienda, ya que en muchos de los casos el comportamiento de estos en relación a las ganancias o pérdidas de calor, influye en la sensación térmica del interior. Además es importante conocer sus características estructurales para poder tener información para la implementación del prototipo.

En este apartado se hablará de la descripción arquitectónica y materiales de la vivienda, estos son los más relevantes, debido a que es lo que involucra principalmente la arquitectura bioclimática, por ende deberían de ser los primeros factores de estudio en cualquier edificación.

Los volúmenes arquitectónicos de la vivienda son importantes, debido a que estos nos generan sombras, entradas de luz, flujo de ventilación, ganancias o pérdidas de calor, por lo cual es nuestro primer acercamiento al caso de estudio y análisis del mismo.

Como segunda instancia están los materiales, estos son importantes debido a que la selección de un material de la zona, con capacidades térmicas y volúmenes, nos irán determinando la temperatura promedio interior y al mismo tiempo los puentes térmicos que existen en la edificación.

4.3.1 Descripción arquitectónica de la vivienda de estudio

El **programa arquitectónico** de la vivienda se presentó en el capítulo 3, en el apartado de la vivienda de estudio, donde se presenta un plano arquitectónico dividido por áreas y se dio una descripción general de las características de la envolvente y los acabados de la vivienda.

Dentro de los principales factores o variantes que se tiene en las condiciones térmicas de la vivienda encontramos *“las características físicas de la envolvente arquitectónica y las condiciones climáticas del exterior”* (Silva et al., 2018), es por ello por lo que la descripción arquitectónica de la vivienda y el estudio de su envolvente es importante.

La vivienda cuenta con un **sistema constructivo** tradicional de ladrillo rojo de lama en sus muros y vigueta y bovedilla en la losa. Los valores térmicos de los materiales se presentan en la Tabla 3.5 y el desglose del comportamiento en conjunto como sistema constructivo se analiza en el capítulo 5.

La **volumetría de contexto** es importante, debido a que los elementos colindantes nos representarán sombras o transmitirán calor de una forma indirecta. Por lo cual en la Figura 4.4 se representa el contexto inmediato de la vivienda. Donde del lado derecho del caso de estudio se muestra que existe una vivienda de un nivel, del lado izquierdo y posterior se encuentran viviendas de dos niveles. Todas las viviendas en la parte posterior colindan con patios, y además hay un terreno solo por la parte posterior izquierda.

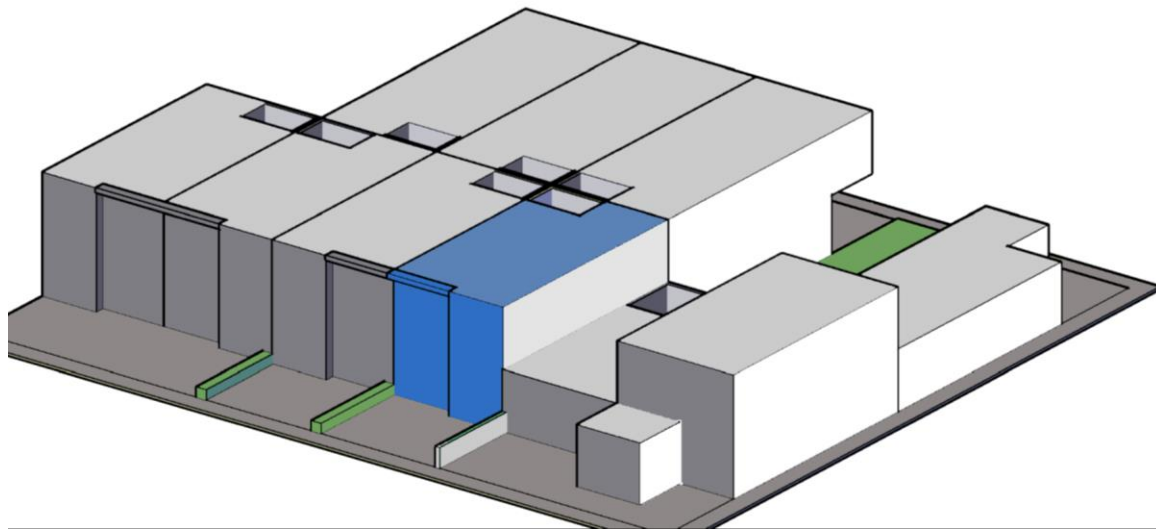


Figura 4.4 Contexto inmediato de la vivienda

Como ya se mencionó anteriormente, el reconocimiento del área de estudio es importante e indispensable, para conocer el comportamiento térmico de una edificación. Ya que, a partir de esto, se comienzan a desarrollar las estrategias bioclimáticas en relación con su comportamiento en conjunto.

4.4 Monitoreo de temperatura y humedad de la vivienda de estudio

Para la **comparación** y **validación** de **datos**, se propone como mínimo el monitoreo de temperatura y humedad de mínimo en dos estaciones del año, para así poder tener una comparativa con la simulación en Design Builder.

El **monitoreo** se realizó en tres lugares diferentes dentro de la vivienda de estudio: dos equipos al interior de la vivienda (recámara de estudio y recamará de referencia), y uno al exterior para conocer el contexto inmediato (patio).

La descripción climatológica de la vivienda de estudio es fundamental para la interpretación de resultados finales. Ya que se debe conocer el escenario actual de temperatura mínima, máxima y promedio, rango de confort y humedad, para ser comparados con el comportamiento en el modelo numérico.

En este apartado, debemos entender que la **temperatura** es la representación de la energía calorífica, y puede ser representada y medida mediante °C(Celsius), °F(Fahrenheit), °K(Kelvin) o °R(Rankine). Cabe señalar que varias “estaciones meteorológicas registran únicamente la temperatura máxima y mínima presentada durante el día” (Fuentes, 2004, pág. 47), es por ello que se tomaran estos valores como representativos en el monitorio.

Los **valores mínimos** corresponden al valor mínimo por día y posteriormente de estos mínimos saldrá el valor mínimo por mes, los **valores máximos** serán los valores más altos registrados durante el día y después de estos valores saldrá el valor máximo por mes, por consiguiente, para los **valores de humedad** mínimo y máximos.

La recolección de los valores de **temperatura y humedad**, servirán como valores de estudio para la **validación** de información en la vivienda sin modificaciones. Por consiguiente, a tener valores paramétricos para la **comparación** con el prototipo instalado. Para el caso del contexto se tomarán estos valores y se compararán con la estación climatológica más cercana, que en este caso sería la estación ubicada en Bosques Vallarta o la indicada por la CONAGUA.

La **medición de temperatura** se realizará con equipos marca **Hobo®**, modelo U12-013, este se muestra en la **Figura 4.5**. Estos se programarán para registrar datos de temperatura y humedad relativa a cada 30min, los equipos deben de ser colocados en zonas interiores sin exposición a la intemperie y uno al exterior para referenciar al contexto.



Figura 4.5 Equipo de monitoreo

Se localizarán tres equipos dentro de la vivienda, el primero será ubicado en la recamará de estudio, el segundo en la recamará de referencia y el tercero en el patio interior de la vivienda.

Para la recolección de datos, se recomienda “medir la temperatura de bulbo seco al centro del espacio” (Silva et al., 2018), correspondiente a la actividad principal de este, para la búsqueda de confort de la actividad principal del mismo.

Por lo cual los **equipos de las recamaras** estarán colocados a 0.60m, a la altura de las camas, mientras que para el caso del **patio** se colocara a una altura de 1.25m a partir del nivel de piso. Las ubicaciones exactas de los equipos dentro de la vivienda de estudio, se muestra en la **Figura 4.6**.

Es importante cuidar que estos no tengan contacto directo con el sol, ya que los resultados podrían variar significativamente y podrían no ayudar a la validación de información.

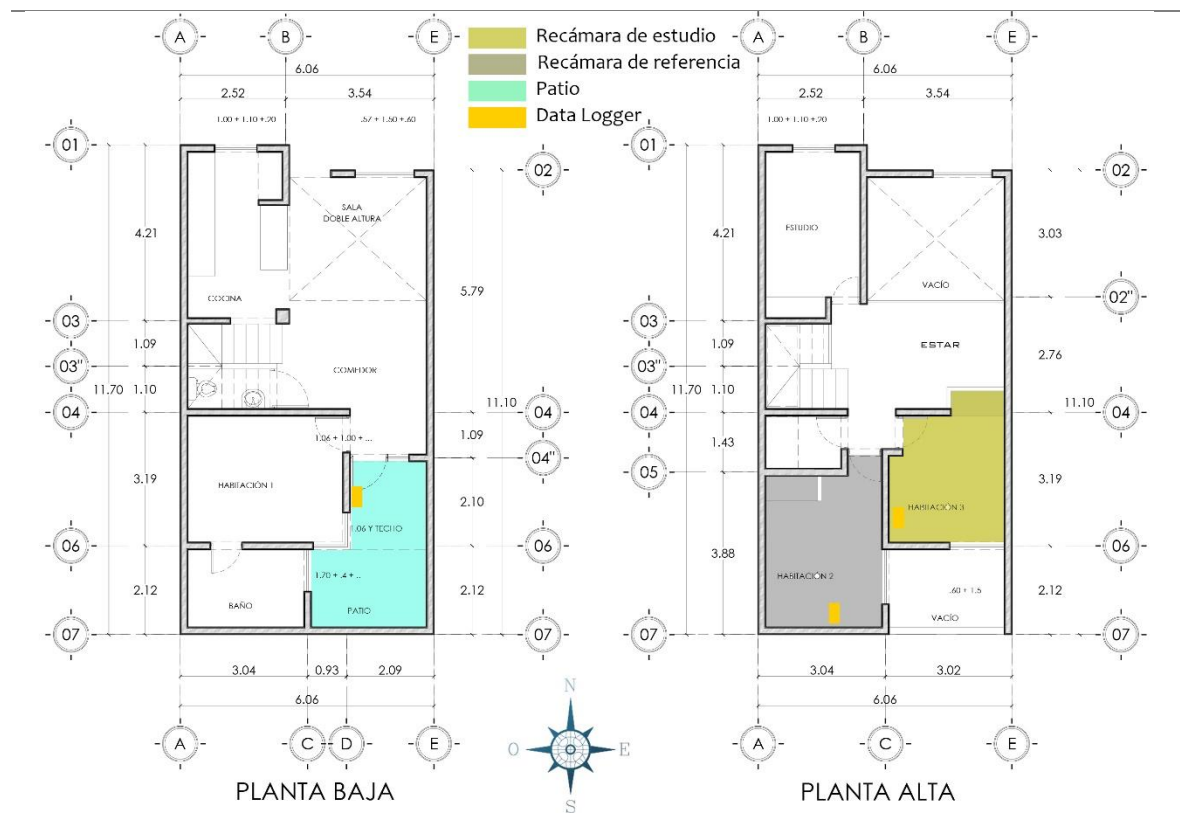
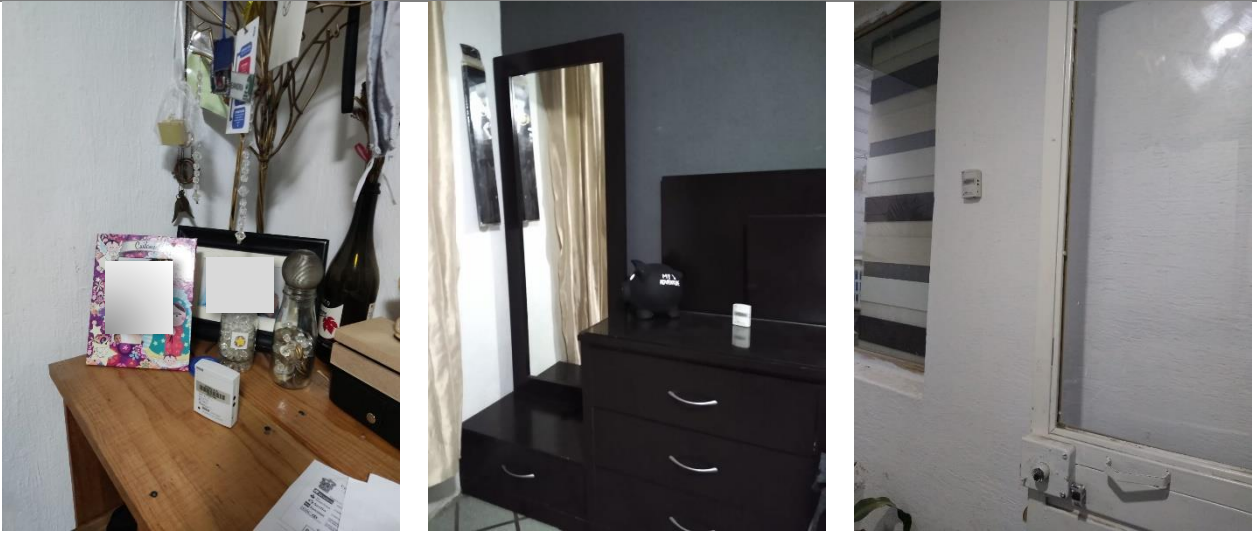


Figura 4.6 Ubicación de equipos de monitoreo dentro de la vivienda

En la **Figura 4.7** se muestra la colocación de equipos en los espacios de la vivienda, donde la **Figura 4.7 a**, se representa la ubicación del equipo de monitoreo en la recamara de estudio, en la **Figura 4.7 b**, se representa la ubicación en la recamara de referencia y en la **Figura 4.7 c**, se representa la ubicación del equipo de monitoreo en el patio.



a) recamara de estudio

b) recamara de referencia

c) patio

Figura 4.7 colocación de equipos de monitoreo en la vivienda

Dentro de los actuales supuestos se encuentra que la recamara de estudio tiene un confort desfavorable durante todas las temporadas del año, entonces se pretende regular la temperatura mediante la implementación de una torre de enfriamiento y como subsecuente brindar un mayor confort térmico.

4.4.1 Monitoreo anual de la vivienda de estudio

Como ya se comentó, se monitoreo la vivienda durante un año, comenzando en el mes de abril del 2021 y terminando en marzo del 2022. La [Tabla 4.1](#) representa esta recolección de datos con sus valores mínimos, máximos y promedios por semana, para la realización de cruce de datos futuros.

Cabe señalar que toda la información esta recopilada por día, con un intervalo de tiempo de 30min entre cada medición.

Tabla 4.1 Valores promedio, mínimos y máximos de la vivienda de estudio (anual-mensual)

MES	VALOR	Temperatura °C			Humedad %		
		rec estudio	rec referencia	patio	rec estudio	rec referencia	patio
abr-2021	mínimo	24.56	24.39	20.65	14.61	14.73	12.87
	máximo	30.37	30.24	31.28	46.66	45.32	54.05
	promedio	27.19	27.40	25.38	30.43	29.82	32.13
may-2021	mínimo	24.15	24.27	20.10	14.39	12.75	11.31
	máximo	31.26	34.02	32.77	59.32	58.64	72.76
	promedio	27.73	28.19	26.03	35.10	34.39	37.46
jun-2021	mínimo	21.82	21.80	19.82	22.28	21.32	20.12
	máximo	30.52	34.47	31.59	70.59	70.61	81.32
	promedio	25.86	26.46	24.22	54.09	53.11	60.04
jul-2021	mínimo	21.92	22.01	19.44	48.01	49.21	46.74
	máximo	26.99	28.05	28.49	76.12	74.26	84.96
	promedio	24.24	24.87	22.73	65.27	63.76	71.32
ago-2021	mínimo	22.35	22.30	20.15	46.70	47.74	47.83
	máximo	27.06	27.19	27.80	74.61	71.66	83.66
	promedio	24.78	25.55	23.41	63.33	60.91	67.93
sep-2021	mínimo	21.89	22.42	19.53	48.36	53.88	46.18
	máximo	26.99	26.43	27.90	76.61	75.91	85.70
	promedio	24.14	24.22	22.69	65.50	66.29	71.78
oct-2021	mínimo	22.35	22.61	19.60	38.81	34.92	35.48
	máximo	27.21	26.43	27.24	73.88	86.43	85.68
	promedio	24.54	24.26	22.84	58.70	60.65	64.66
nov-2021	mínimo	21.06	20.56	17.01	24.31	24.61	19.68
	máximo	26.06	26.45	25.57	66.31	63.17	76.73
	promedio	23.60	23.65	21.14	44.84	43.98	49.29
dic-2021	mínimo	18.56	18.82	14.19	26.87	24.20	25.50
	máximo	27.01	25.38	23.62	63.83	60.68	73.57
	promedio	22.45	22.34	19.75	43.66	43.08	48.98
ene-2022	mínimo	19.51	19.96	16.08	25.86	26.58	26.63
	máximo	26.28	25.57	24.07	56.52	59.50	71.88
	promedio	22.21	22.58	19.74	41.60	42.52	46.42
feb-2022	mínimo	18.75	19.67	15.82	24.12	24.71	22.83
	máximo	28.20	27.55	27.58	53.74	46.89	58.53
	promedio	23.10	23.49	21.04	37.54	37.10	40.73
mar-2022	mínimo	22.20	22.75	18.03	13.73	12.98	11.32
	máximo	27.95	28.87	30.14	50.54	46.72	52.14
	promedio	25.17	25.76	23.42	27.99	27.46	29.71

La [Tabla 4.1](#) representa los valores mínimos anuales de color azul rey, los máximos anuales de color rojo para temperatura y humedad, siguiendo así los valores mínimos y máximos de los demás espacios en color azul cielo y naranja.

Esto se muestra de una forma más sintetizada en la [Tabla 4.2](#), donde se hace el resumen anual y en la [Figura 4.8](#) donde se representa gráficamente el comportamiento de temperatura ([Figura 4.8 a](#)) y humedad ([Figura 4.8 b](#))

Tabla 4.2 Valores promedio, mínimos y máximos de la vivienda de estudio (anual)

MES	VALOR	Temperatura °C			Humedad %		
		rec estudio	rec referencia	patio	rec estudio	rec referencia	patio
ANUAL	mínimo	18.56	18.82	14.19	13.73	12.75	11.31
	máximo	31.26	34.47	32.77	76.61	86.43	85.70
	promedio	24.58	24.90	22.70	47.34	46.92	51.70

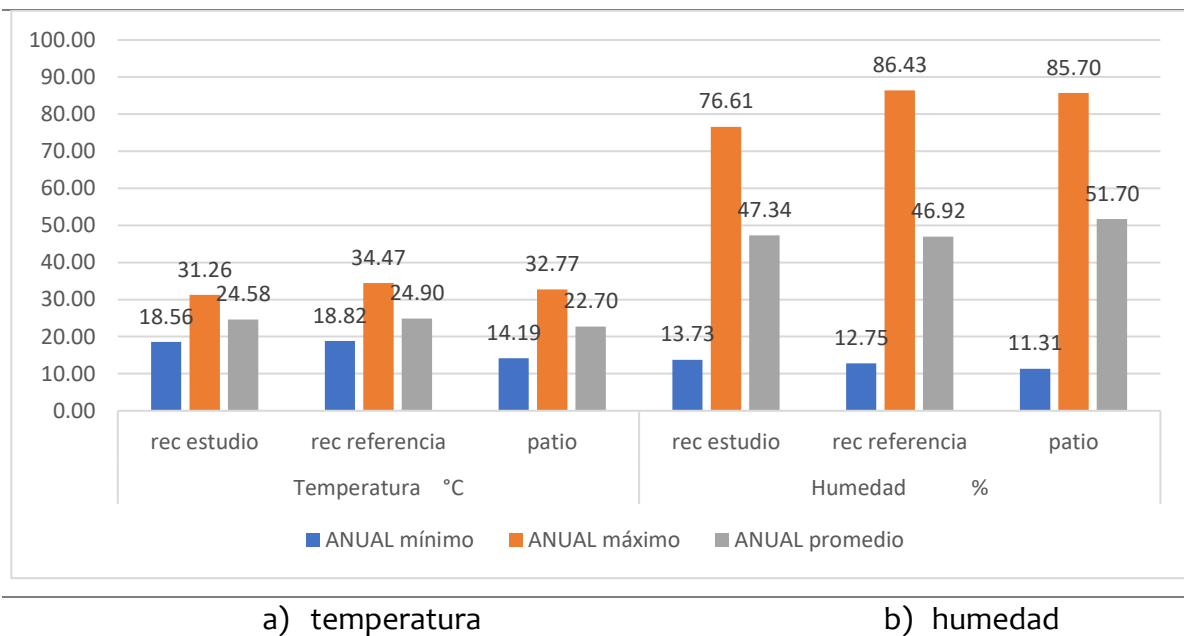


Figura 4.8 Comportamiento anual de la vivienda

Este análisis nos sirve para identificar el comportamiento de una manera general, donde observamos que la recámara con mayores valores máximos de temperaturas y humedad es la de referencia. Pero si tomamos los valores promedios se aprecia una temperatura más alta en la recámara de referencia, pero la humedad más alta en la recámara de estudio.

Por lo cual, se puede decir que la humedad llega a verse directamente relacionada con la percepción de confort del del usuario, generando así una incomodidad térmica y sofocamiento en el espacio.

Esta sensación de bochorno es difícil de mitigar y solo se consigue “*si se genera un movimiento del aire... que provoca perdida por convección y evaporación de la transpiración del cuerpo*” (Serra, 1999). Por lo cual se debe de buscar una ventilación adecuada del espacio.

4.4.2 Graficas horarias- anuales por espacio en la vivienda de estudio

Por último, se realizaron graficas horarias de la temperatura obtenida en el espacio, esto con la finalidad de identificar el horario más afectado y la temporada. Para conocer si los espacios están habitados o no y como está afectando esto a la vivienda.

La [Tabla 4.3](#) representa el comportamiento de temperatura en el monitoreo que se hizo en el patio y la [Tabla 4.4](#) muestra el comportamiento de la estación en Bosques Vallarta. Para este caso, ambas tienen un comportamiento similar, donde la temperatura en tiempos de calor (abril a septiembre) comienza a aumentar a las 10:00 am y disminuye a las 7:00pm.

Sin embargo, los valores de mayor temperatura se presentan en la estación de bosques Vallarta, lo cual valida la información de que la vivienda tiende a tener un microclima debido a las condiciones del contexto.

Tabla 4.3 Gráfica horaria patio

	PATIO																										
	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00		
ABRIL	24.273	23.818	23.519	23.144	22.792	22.481	22.079	21.795	22.073	22.848	23.898	24.962	26.238	28.061	29.724	30.094	29.4	28.89	28.402	27.672	26.889	26.047	25.311	24.766	24.531		
MAYO	24.857	24.475	24.167	23.906	23.549	23.23	22.995	22.864	23.058	23.795	24.745	25.798	26.912	28.517	29.911	30.473	29.857	29.514	29.035	28.511	27.841	26.994	26.133	25.54	25.041		
JUNIO	23.468	23.227	22.953	22.748	22.573	22.465	22.349	22.283	22.503	22.994	23.656	24.301	24.944	25.757	26.674	27.049	26.682	26.253	25.959	25.414	24.785	24.244	23.941	23.653	23.484		
JULIO	21.899	21.732	21.478	21.335	21.19	21.051	20.892	20.801	20.966	21.504	22.176	22.931	23.588	24.388	25.251	25.879	25.253	24.529	24.199	23.647	23.25	22.811	22.459	22.194	22.109		
AGOSTO	22.787	22.556	22.356	22.175	21.986	21.834	21.688	21.591	21.732	22.23	22.79	23.455	24.094	24.949	25.817	25.96	25.963	25.375	25.003	24.533	24.051	23.81	23.456	23.148	22.878		
SEPTIEMBRE	22.128	21.961	21.777	21.605	21.418	21.25	21.086	20.957	21.087	21.576	22.198	22.738	23.537	24.44	25.146	25.278	24.626	23.989	23.676	23.282	22.961	22.711	22.506	22.302	22.177		
OCTUBRE	22.296	22.088	21.872	21.729	21.571	21.355	21.154	20.953	21.04	21.509	22.134	22.722	23.772	24.763	25.498	25.225	24.78	24.338	24.013	23.628	23.366	23.026	22.758	22.52	22.435		
NOVIEMBRE	20.825	20.544	20.273	19.955	19.682	19.372	19.07	18.787	18.911	19.504	20.249	20.99	21.986	23.046	23.752	23.493	23.231	23.102	22.742	22.397	22.082	21.77	21.413	21.097	20.947		
DICIEMBRE	19.634	19.296	18.938	18.611	18.29	17.99	17.668	17.311	17.246	17.886	18.62	19.441	20.387	21.379	21.904	21.794	21.784	21.6	21.289	21.024	20.735	20.445	20.196	19.922	19.739		
ENERO	19.438	19.125	18.813	18.521	18.193	17.882	17.598	17.314	17.193	17.766	18.519	19.331	20.154	21.155	21.957	22.2	21.892	21.771	21.497	21.182	20.89	20.527	20.167	19.799	19.656		
FEBRERO	20.531	20.224	19.909	19.571	19.261	18.964	18.634	18.307	18.182	18.762	19.503	20.381	21.36	22.973	24.243	24.463	23.795	23.457	23.099	22.701	22.292	21.808	21.357	20.961	20.813		
MARZO	22.473	22.044	21.696	21.335	20.989	20.596	20.243	19.852	19.904	20.654	21.634	22.711	24.214	26.165	27.748	28.066	26.972	26.498	26.096	25.476	24.824	24.096	23.459	22.939	22.723		

Tabla 4.4 Gráfica horaria Bosques Vallarta

BOSQUES VALLARTA																										
	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	
ABRIL	#####	18.161	17.453	16.726	15.926	15.559	14.917	16.064	19.709	22.838	25.468	27.498	29.136	30.404	31.054	32.108	32.297	31.826	30.31	26.765	24.262	22.649	21.195	20.088	19.633	
MAYO	19.865	19.19	18.353	17.771	17.209	16.715	16.343	17.597	20.266	23.066	25.378	27.381	29.174	30.503	31.927	33.048	32.756	32.467	30.785	29.112	25.777	24.081	22.716	21.399	20.311	
JUNIO	19.255	18.944	18.593	18.191	17.774	17.508	17.344	17.89	19.108	20.86	22.534	24.477	26.18	27.239	28.296	28.946	28.481	27.744	26.718	24.75	22.756	20.891	20.279	19.733	19.47	
JULIO	18.395	18.113	17.871	17.242	17.091	16.983	16.81	16.668	16.941	18.488	20.533	22.765	24.312	26.073	27.238	28.322	29.212	28.923	26.226	24.145	21.53	20.237	19.155	18.724	18.494	
AGOSTO	19.186	18.708	18.23	17.931	17.635	17.475	17.347	17.176	17.514	19.084	21.036	22.988	24.799	26.517	27.642	28.05	28.197	28.711	27.768	25.799	23.54	21.382	20.531	20.08	19.457	
SEPTIEMBRE	18.74	18.418	18.214	17.855	17.53	17.266	17.006	16.877	17.122	18.957	20.536	22.912	24.635	25.823	27.103	27.902	27.506	26.63	24.611	22.88	20.787	19.861	19.246	18.967	18.739	
OCTUBRE	18.261	18.009	17.434	17.123	16.733	16.523	16.132	15.979	16.165	18.259	20.784	23.215	25.178	26.938	27.896	28.583	29.041	28.549	26.732	24.03	21.456	20.343	19.434	18.731	18.433	
NOVIEMBRE	16.461	15.652	15.218	14.498	13.999	13.537	13.101	12.932	12.9	15.856	18.892	21.314	23.54	25.611	27.177	28.042	28.591	28.622	26.919	22.792	19.734	18.772	17.753	17.035	16.776	
DICIEMBRE	16.075	15.398	14.624	13.847	13.142	12.663	12.303	11.917	11.5	13.712	17.5	20.219	22.936	24.97	26.368	26.97	27.6	27.486	26.386	22.603	19.326	18.07	17.16	16.47	16.261	
ENERO	16.027	15.08	14.378	13.761	13.186	12.568	11.8	11.544	11.321	12.63	16.924	19.608	22.171	24.133	25.139	25.85	26.362	26.314	25.479	23.386	20.031	18.72	17.936	16.974	16.556	
FEBRERO	16.344	15.411	14.75	14.041	13.296	12.652	12.204	11.738	11.39	14.014	17.629	20.283	22.742	24.594	25.821	26.595	27.165	27.465	27.004	25.497	21.685	19.919	18.803	17.553	17.007	
MARZO	18.667	17.55	16.927	16.11	14.839	14.117	13.199	13.049	12.113	16.493	20.507	23.729	26.327	28.193	29.514	29.619	30.769	31.209	29.943	28.865	24.707	22.44	20.743	19.267	18.697	

La **Tabla 4.5** representa los valores de la recamara de estudio y la **Tabla 4.6** los de la recamara de referencia. Estas tienen un comportamiento muy similar, sin embargo, es importante señalar que el calor que reciben en la temporada más caliente se mantiene durante todo el día. Esto nos indica que la envolvente no tiene materiales aislantes y permite el paso de calor fácilmente, pero no lo deja salir de la misma manera.

Por lo cual se debe estudiar las características de los materiales en la simulación numérica.

Tabla 4.5 Gráfica horaria recamara de estudio

RECAMARA DE ESTUDIO																										
	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	
ABRIL	27.695	27.712	27.613	27.487	27.329	27.169	26.743	26.348	26.01	25.909	25.909	25.897	26.002	26.255	26.737	27.318	27.822	28.326	28.482	28.327	28.032	27.755	27.654	27.631	27.667	
MAYO	28.169	28.208	28.215	28.136	28.016	27.863	27.444	26.994	26.709	26.534	26.522	26.551	26.643	26.866	27.22	27.681	28.21	28.427	28.781	28.77	28.654	28.451	28.179	28.037	28.185	
JUNIO	26.316	26.265	26.17	26.068	25.947	25.819	25.592	25.33	25.133	25.011	25.005	25.087	25.201	25.329	25.524	25.804	26.144	26.42	26.577	26.583	26.42	26.224	26.086	26.11	26.15	
JULIO	24.507	24.537	24.491	24.383	24.287	24.183	23.981	23.791	23.55	23.468	23.455	23.477	23.622	23.821	24.07	24.357	24.721	24.948	24.973	24.898	24.715	24.59	24.536	24.518	24.523	
AGOSTO	25.112	25.078	25.021	24.93	24.803	24.673	24.496	24.266	24.038	23.944	23.972	24.024	24.146	24.32	24.543	24.663	25.025	25.341	25.53	25.47	25.285	25.143	25.119	25.122	25.118	
SEPTIEMBRE	24.479	24.4	24.305	24.189	24.059	23.936	23.796	23.657	23.492	23.39	23.385	23.559	23.818	24.087	24.406	24.655	24.853	24.773	24.64	24.537	24.464	24.477	24.47	24.474	24.454	
OCTUBRE	24.748	24.685	24.599	24.508	24.407	24.28	24.168	24.029	23.873	23.755	23.758	23.786	23.898	24.148	24.514	24.929	25.231	25.394	25.271	25.094	24.951	24.9	24.845	24.785	24.772	
NOVIEMBRE	23.807	23.822	23.797	23.754	23.68	23.589	23.472	23.296	22.969	22.747	22.676	22.725	22.879	23.192	23.646	24.06	24.441	24.581	24.351	24.151	24.007	23.876	23.81	23.763	23.77	
DICIEMBRE	22.584	22.6	22.57	22.49	22.377	22.231	22.069	21.854	21.403	21.152	21.078	21.204	21.444	21.918	22.659	23.287	23.844	23.956	23.622	23.219	22.93	22.744	22.615	22.544	22.502	
ENERO	22.326	22.273	22.164	22.053	21.912	21.751	21.581	21.403	21.091	20.848	20.778	20.935	21.187	21.623	22.345	22.98	23.622	23.898	23.682	23.255	22.864	22.64	22.463	22.385	22.369	
FEBRERO	23.319	23.298	23.168	22.983	22.78	22.559	22.337	22.095	21.726	21.478	21.425	21.563	21.808	22.311	23.195	24.02	24.6	24.96	24.857	24.44	24.089	23.834	23.595	23.454	23.463	
MARZO	25.322	25.378	25.331	25.222	25.056	24.865	24.652	24.384	23.94	23.67	23.591	23.584	23.733	24.202	24.927	25.673	26.329	26.722	26.793	26.522	26.194	25.852	25.597	25.378	25.303	

Tabla 4.6 Gráfica horaria recamara de referencia

RECAMARA REFERENCIA																										
	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	
ABRIL	27.034	26.813	26.649	26.436	26.202	25.979	25.686	25.453	25.485	26.36	27.297	27.97	28.264	28.378	28.596	28.842	29.133	29.099	28.824	28.425	28.043	27.706	27.435	27.275	27.151	
MAYO	27.925	27.828	27.71	27.569	27.384	27.18	26.925	26.697	26.69	27.781	28.152	28.464	28.557	28.676	28.886	29.228	29.49	29.548	29.444	29.158	28.821	28.442	28.084	27.971	27.965	
JUNIO	26.504	26.425	26.319	26.193	26.079	25.877	25.705	25.565	25.576	26.209	26.602	26.651	26.662	26.665	26.784	26.979	27.105	27.173	27.057	26.789	26.508	26.343	26.314	26.36	26.346	
JULIO	24.736	24.638	24.551	24.475	24.385	24.226	24.069	23.948	23.933	24.361	24.835	25.158	25.307	25.333	25.377	25.595	25.682	25.575	25.43	25.184	25.042	24.971	24.914	24.88	24.867	
AGOSTO	25.672	25.587	25.478	25.352	25.227	25.055	24.871	24.704	24.611	24.954	25.311	25.625	25.781	25.812	25.869	25.919	26.024	26.109	26.079	25.922	25.796	25.755	25.713	25.708	25.673	
SEPTIEMBRE	24.295	24.255	24.204	24.167	24.109	24.04	23.955	23.884	23.841	23.865	24.003	24.118	24.262	24.342	24.43	24.486	24.505	24.406	24.381	24.323	24.306	24.296	24.291	24.27	24.261	
OCTUBRE	24.301	24.258	24.222	24.177	24.122	24.06	23.993	23.901	23.874	23.975	24.155	24.284	24.424	24.467	24.462	24.52	24.491	24.453	24.415	24.382	24.385	24.359	24.336	24.329	24.315	
NOVIEMBRE	23.54	23.445	23.358	23.293	23.096	22.942	22.746	22.527	22.481	23.054	23.846	24.238	24.391	24.499	24.633	24.717	24.66	24.483	24.193	23.925	23.775	23.67	23.598	23.555	23.555	
DICIEMBRE	22.226	22.135	21.996	21.866	21.738	21.581	21.417	21.261	21.154	21.522	22.067	22.477	22.777	23.062	23.347	23.45	23.433	23.23	22.929	22.638	22.51	22.392	22.313	22.239	22.191	
ENERO	22.29	22.282	22.247	22.174	22.073	21.959	21.835	21.687	21.539	21.687	22.262	22.702	22.94	23.111	23.278	23.422	23.432	23.311	23.145	22.87	22.644	22.472	22.367	22.328	22.347	
FEBRERO	23.424	23.372	23.281	23.164	23.001	22.823	22.624	22.408	22.208	22.49	23.169	23.632														

4.5 Confort térmico

El confort térmico es un término psicológico de la percepción o satisfacción que tienen las personas en relación con la temperatura de un espacio, sin embargo, este tiene rangos de satisfacción en relación con las temperaturas mínimas y máximas promedio por día y mes. Entonces es importante conocer cuáles serán los rangos de confort considerados para el TOG, debido a que serán los valores ideales para alcanzar cuando se implemente el prototipo de torre de enfriamiento.

A través de varios estudios, investigadores llegaron a desarrollar “los índices de confort” más importantes por la ASHRAE: “índice de sobrecarga calórica, temperatura de globo húmedo, temperatura de globo de bulbo húmedo, índice de sudoración, temperatura efectiva, índice de viento helado e índice de fanger” (Gamboa et al., 2011).

Sin embargo, para efectos del TOG se tomarán rangos de temperatura y humedad como valores únicos para las comparativas.

4.5.1 Selección de confort térmico

Para poder seleccionar los rangos de confort deseados, con relación a la ubicación geográfica se debe desarrollar “la fórmula propuesta por Auliciems para determinar la temperatura de confort” (Fuentes, 2004)

- $T_n = 17.6 + 0.31 T_m$
- $Z_c = T_n \pm 2.5 \text{ } ^\circ\text{C}$

Donde:

T_n = Temperatura neutra

T_m = Temperatura media anual o mensual

Z_c = Zona de confort

T_{n+} = Temperatura superior de confort

T_{n-} = Temperatura inferior de confort

La zona de confort tiene una variante de 5°C , que se dividen entre la temperatura media anual o mensual, dando así un promedio para calcular la temperatura superior de confort con los valores promedios más 2.5°C y los valores inferiores de confort con la resta de 2.5°C .

Los valores de **confort** del **contexto** en base a los datos de la **estación** bosques Vallarta y el monitoreo realizado en el **patio** de la vivienda, se muestran en la [Tabla 4.7.](#) y la [Tabla 4.8.](#)

En ambos casos se consideraron los meses de abril a mayo del año 2021 y de enero a marzo del 2022, esto debido a que es el tiempo que se realizó el monitoreo en la vivienda, por lo cual se pueden considerar parámetros a comparar.

Cabe señalar que se podría hacer una tercera tabla con los valores de la estación

meteorológica N° 14169 de la **CONAGUA (2021)**, sin embargo, no se tomaron en cuenta, porque son valores que integran 30 años de monitoreo, y los valores promedio cambian significativamente en el contexto.

Tabla 4.7 Temperatura de confort con valores de la estación meteorológica Bosques Vallarta

Temperatura de confort - Estación meteorológica				
Mes	Tm	Tn	Tn-	Tn+
abril	23.41	24.86	22.36	27.36
mayo	24.07	25.06	22.56	27.56
junio	22.33	24.52	22.02	27.02
julio	21.30	24.20	21.70	26.70
agosto	21.77	24.35	21.85	26.85
septiembre	21.11	24.14	21.64	26.64
octubre	21.32	24.21	21.71	26.71
noviembre	19.52	23.65	21.15	26.15
diciembre	18.71	23.40	20.90	25.90
enero	18.36	23.29	20.79	25.79
febrero	19.12	23.53	21.03	26.03
marzo	22.19	24.48	21.98	26.98

Tabla 4.8 Temperatura de confort con valores del monitoreo en patio de la vivienda

Temperatura de confort – Hobo patio				
Mes	Tm	Tn	Tn-	Tn+
abril	25.38	25.47	22.97	27.97
mayo	26.03	25.67	23.17	28.17
junio	24.22	25.11	22.61	27.61
julio	22.73	24.65	22.15	27.15
agosto	23.41	24.86	22.36	27.36
septiembre	22.69	24.64	22.14	27.14
octubre	22.84	24.68	22.18	27.18
noviembre	21.14	24.15	21.65	26.65
diciembre	19.75	23.72	21.22	26.22
enero	19.74	23.72	21.22	26.22
febrero	21.04	24.12	21.62	26.62
marzo	23.42	24.86	22.36	27.36

Si estos valores los representamos de una manera más gráfica, se puede observar que los valores del monitoreo de la vivienda están por debajo de los de la estación, factor que reconoce que se debe buscar un confort interno. Esto se muestra en la [Figura 4.9](#).

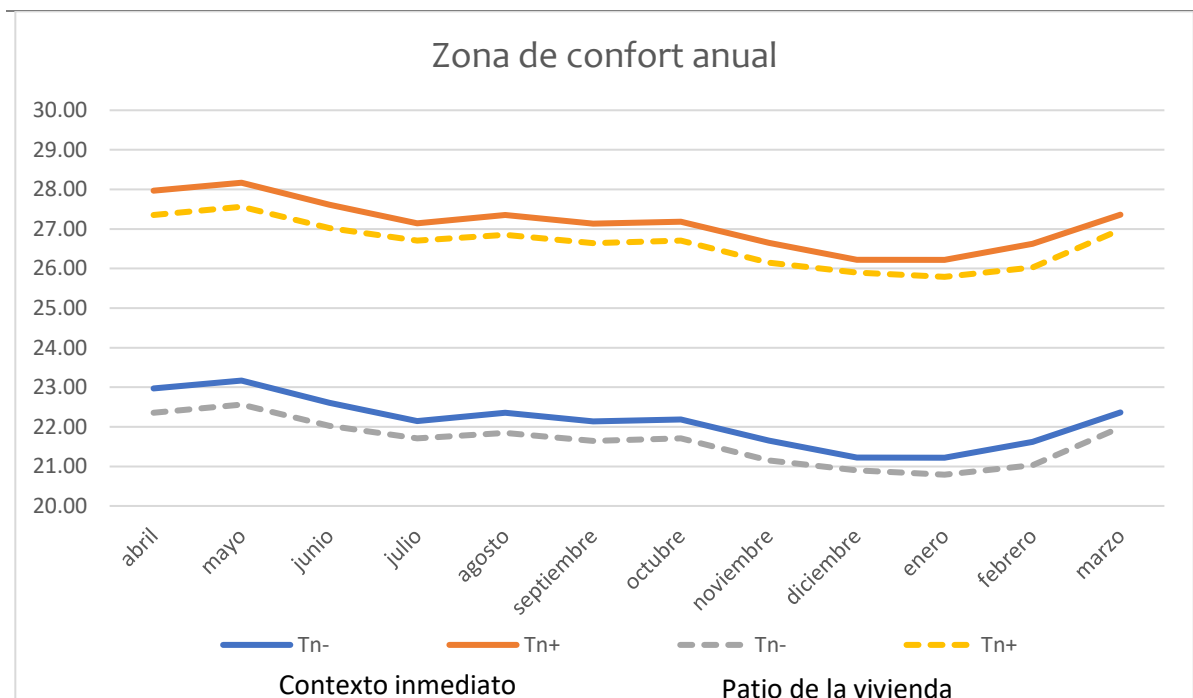


Figura 4.9 promedios mínimos y máximos de confort en la vivienda, en relación con el contexto inmediato

Por consiguiente, se realizó la misma comparativa para identificar los valores de confort de la recámara de estudio, la recámara de referencia y el patio de esta, en la [Figura 4.10](#). Cabe señalar que son los tres espacios que se monitorearon durante un año.

En esta grafica podemos observar que la recamara de estudio no es la recamara de mayor temperatura, sin embargo, si es identificada como la de mayor sensación de disconfort por los usuarios. Por lo cual se debe analizar el fenómeno que está sucediendo en estas habitaciones.

También se observa que los valores de confort de las recámaras están por arriba de los promedios del patio. Y si esto se relaciona con la [Figura 4.5](#), donde el patio ya estaba sobre los valores de confort del contexto, se puede identificar que las habitaciones están muy por arriba de lo indicado en la estación Bosques Vallarta.

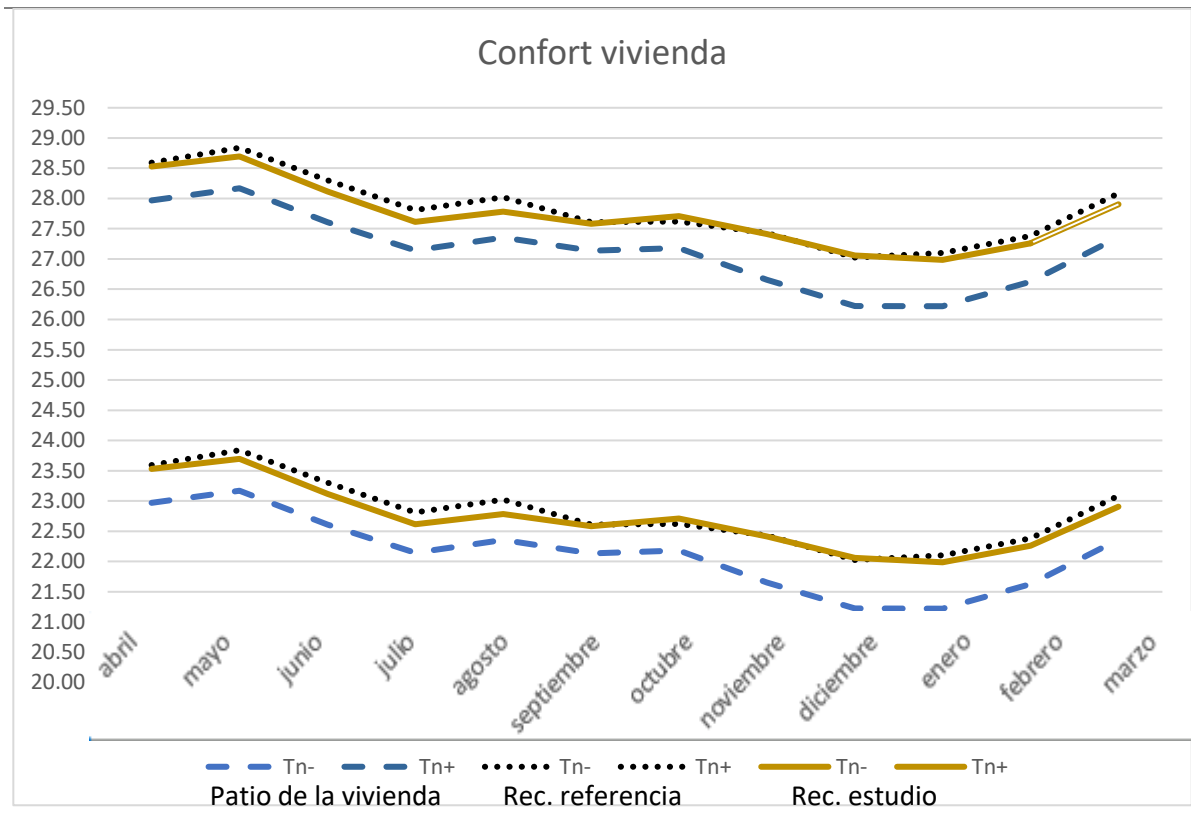


Figura 4.10 promedios mínimos y máximos de confort en la vivienda

Los valores nos indican una oscilación de 1-2°C que podría no llegar a ser significativo, sin embargo, al incorporar el elemento de la humedad, la sensación térmica de los espacios cambia y se representa psicológicamente como valores más cambiantes y fuera de los rangos de confort.

Estos resultados nos representan un primer acercamiento en la justificación del TOG, donde la búsqueda de confort esta validada y la selección del área de estudio se justifica en relación al contexto, mas no al espacio más caliente.

4.6 Conclusiones

Dentro de los resultados encontrados al comparar la temperatura externa a través del patio y su comparación con los valores de la estación meteorológica bosques Vallarta, se observa que **la zona de estudio tiene un microclima** con oscilación de temperaturas entre 10° y 12°C factor que nos indica que los valores de disconfort térmico están relacionados con el diseño bioclimático de la vivienda y selección de materiales, por lo cual la propuesta de torre de enfriamiento como anexo a la fachada puede resultar una ecotecnia bastante útil.

También se observa que las **recamaras** monitoreadas, **sobresalen de los rangos de confort** en relación con el contexto, por lo que se debe de buscar estabilizar la temperatura para lograr un mayor confort.

Por consiguiente, el valor de la **humedad relativa** es un factor importante en la vivienda de estudio, ya que la sensación térmica de calor prevalece en la habitación de menor temperatura, pero mayor humedad. Una de las estrategias recomendadas es la **generación de ventilación eficiente y renovación de aire adecuada**, parámetro que la torre de enfriamiento deberá de aumentar significativamente.

Otro factor que se deberá estudiar en la simulación numérica es el **comportamiento de la envolvente**, ya que se demostró que la vivienda guarda el calor que recibe durante periodos largos. Y esto debería de mitigarse mediante algún aislante o la misma renovación de aire.

El monitoreo de una recamara con las mismas condiciones, sombreado, horas sol, forma y materiales, habría ayudado a la validación de información de la recamara de estudio. Sin

embargo, las viviendas consecuentes no son iguales y se tuvo que buscar otra forma de tener referencias de temperaturas, que en este caso es la recamara de referencia.

La **desventaja** que se tiene en este tipo de monitoreo es que, si el equipo es obstruido con objetos, las ventanas se encuentran cerradas o abiertas, o hay obstáculos para monitorear la temperatura adecuadamente, los valores pueden llegar a variar y no representar lo que se busca.

Por lo cual esta información se deberá de validar en la simulación numérica, para comprobar el comportamiento de la vivienda y las habitaciones estudiadas. Además de aportar valores cuantitativos para verificar a la inversa el comportamiento en relación al clima y materiales.

5 SIMULACIÓN ENERGÉTICA DEL CASO DE ESTUDIO

5.1 Introducción

El objetivo particular de este capítulo corresponde a la simulación térmica que se presenta en el caso de estudio y la comparación de este ya intervenido mediante la implementación de una torre de enfriamiento. En ambos casos se hace énfasis en los valores seleccionados para la simulación y las posibles variantes que este podría llegar a tener, en los materiales, ubicación y dimensión de la torre.

El modelo numérico se realizó en el software **Design Builder®** Para estudiar el comportamiento térmico y de confort en la vivienda, integrando valores de cargas térmicas de materiales de la envolvente y el consumo energético de la misma.

Se seleccionó este software debido a que tiene una plataforma “*que funciona como núcleo y un conjunto de módulos de análisis acoplados a él*” (DESIGN BUILDER, 2022). Donde se consideran 9 núcleos: visualización, simulación, optimización, iluminación, costo, CFD, HVAC, LEED y Scripting. Lo anterior hace que este software sea una plataforma bastante completa.

Algunos de los parámetros que se integraron son: las actividades por espacio (watts), tipo de iluminación y consumo (leed-watts), conductividad y espesores de los materiales (°C-p), y análisis de viento mediante dinámica computacional de fluidos (m/s) (CFD, *computational fluid dynamics*).

Estos elementos trabajan en conjunto para dar información sobre la dirección y velocidad del viento, comportamiento térmico por espacios y actividades, presión y consumo energético.

El estudio se realizó en dos escenarios principales, el primero es el estado actual de la vivienda que se presenta en el apartado 5.2 de “**modelado numérico estado actual**” y el segundo el intervenido mediante la torre de enfriamiento en el apartado 5.3 de “**modelado numérico intervención**”.

Los escenarios secundarios ayudan a representar las posibles variantes que el modelo pudiera llegar a tener, o el proceso que se llevó para la selección de la mejor propuesta.

5.2 Modelado numérico estado actual

Para este apartado es necesario contar con la información climatológica de la zona de estudio en un archivo .epw, los valores de conductividad, espesor, reflectancia y transmitancia de los materiales de la envolvente, planos arquitectónicos y características de la ventanería y puertas.

5.2.1 Proceso de modelado

Para el comienzo de la simulación, se cargó el archivo .epw de Guadalajara, correspondiente a la estación meteorológica n° 14169 (CONAGUA, 2022) y se configuró la orientación de la edificación con relación al norte.

Posteriormente se creó un edificio nuevo, donde se separaron las áreas de planta baja, planta alta mediante bloques diferentes y componentes estándar de los elementos de sombreado. Esto se muestra en la volumetría de la Figura 5.1.

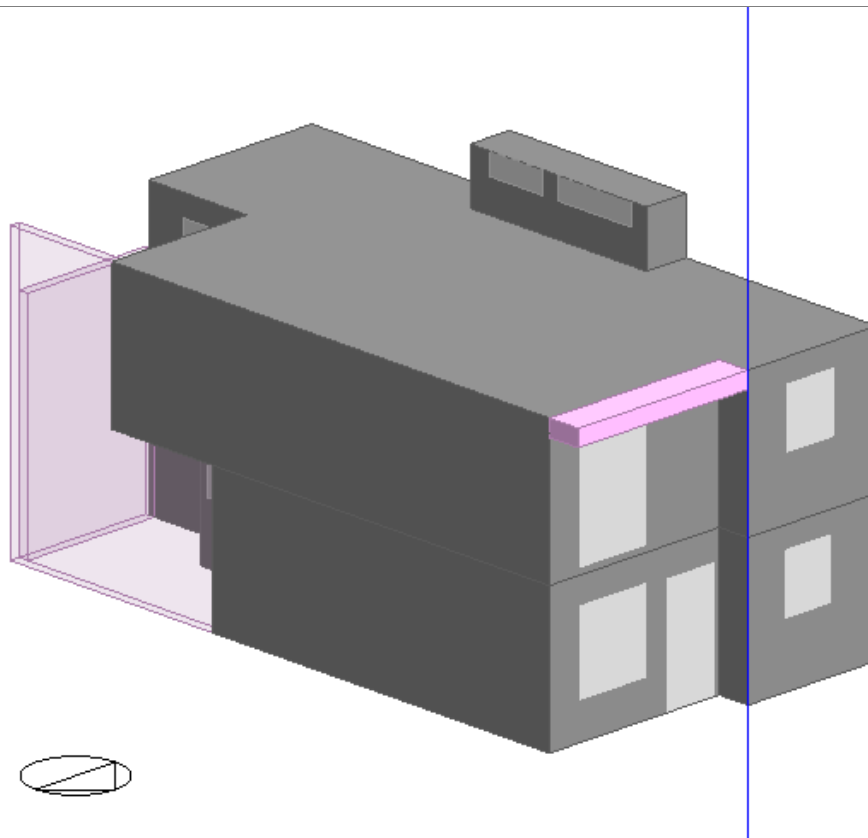


Figura 5.1 Volumetría caso de estudio (estado actual)

Fuente: (Design Builder, 2022)

Cuando ya se tiene la volumetría completa, se separa el interior por áreas con la herramienta de “partitions”. Esta se divide en dos áreas: “virtual partition y standar”, donde virtual partition representa espacios que no tienen muros físicos y el estándar simula las divisiones existentes.

Después se seleccionan las actividades de los espacios e iluminación, con relación a la “asociación americana de ingenieros de calefacción, refrigeración y aire acondicionado” (ASHRAE). Cabe señalar que para el caso de estudio se deben conectar dos áreas mediante “hole + merge”, para compartir la misma carga térmica, este último aplica para el caso de la sala a doble altura y la escalera.

Las áreas se muestran en la Figura 5.2, donde se separó por actividades.

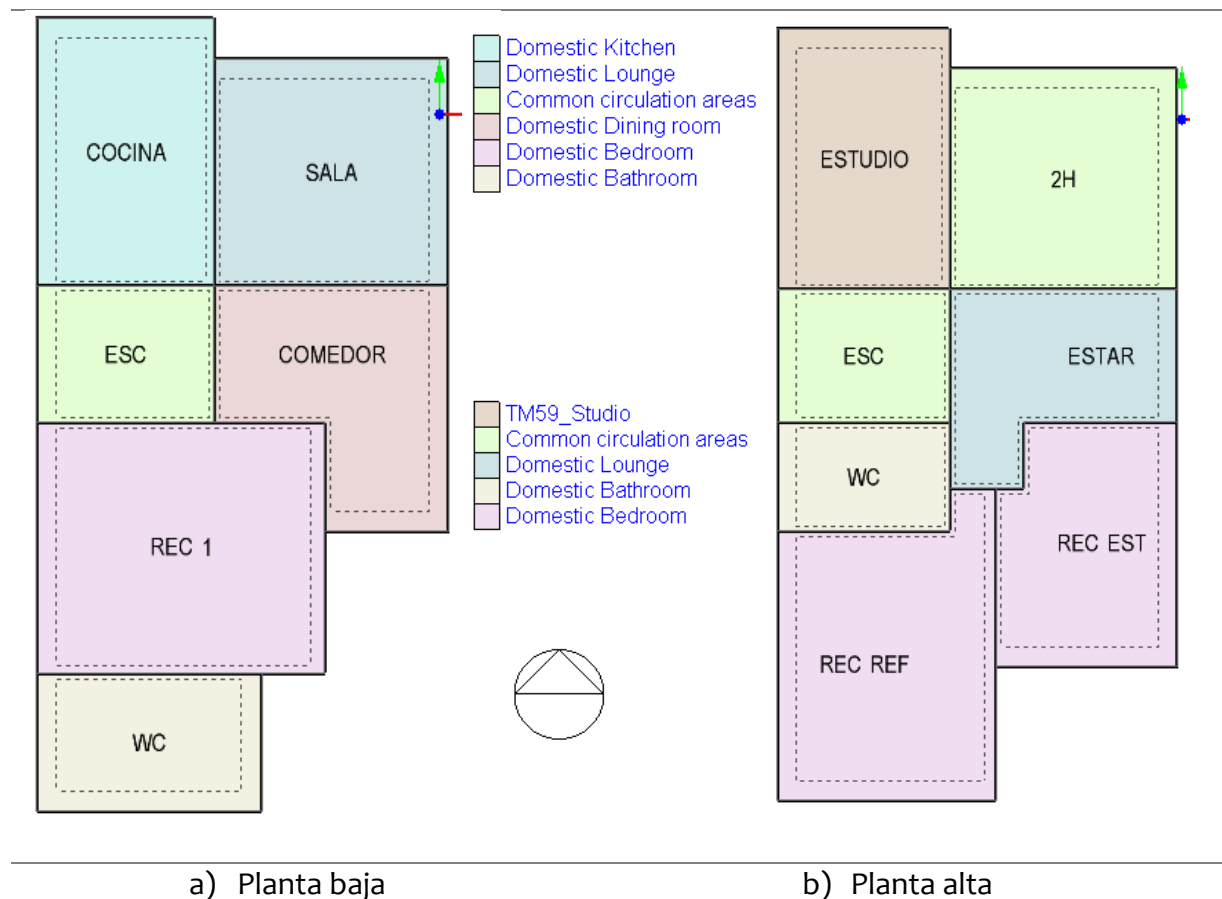


Figura 5.2 actividades e iluminación del caso de estudio
Fuente: (Design Builder, 2022)

Posteriormente, se cargan las **propiedades de los materiales**, donde para el caso de estudio se realizaron tablas con los valores representativos del **sistema constructivo** de losa y muros. Estos se deben analizar con cuatro elementos como principales (espesor, conductividad, densidad y calor específico), para que el programa nos calcule el **valor u** y el **valor r**.

Cabe señalar que el **“valor u”** representa *“el número de BTU’s para fluir en un pie cuadrado de la envolvente en una hora”* (Brown, 1994) (un BTU es la cantidad energía que se necesita para aumentar la temperatura de una libra). Mientras que el **“valor r”** representa *“la cantidad de calor que fluye a través de los materiales del edificio... el número de horas que necesita un BTU para fluir a través de un pie cuadrado”* (Brown, 1994).

Por lo cual estos valores son importantes en el comportamiento del edificio, debido a que su capacidad de almacenar o transmitir calor, influye directamente en el confort del interior de la vivienda. Donde, si el **“valor u”** es más grande, el paso del calor es más fácil, mientras que, si este es más chico, el paso del calor es más complicado.

Para el caso de los **muros**, se muestra la **Tabla 5.1**, con las capas de exterior a interior, y al final con el valor total de **“u”** y **“r”** del sistema constructivo. Estos valores nos indican que las propiedades del muro dejan pasar el calor rápidamente y permiten que el frío se escape de la misma manera, por lo cual se podría proponer la implementación de algún aislante en la fachada sur y oeste, que son las que reciben mayor radiación. Este aislante podría ser implementado mediante una pasta, algún material adosado o impermeabilizante.

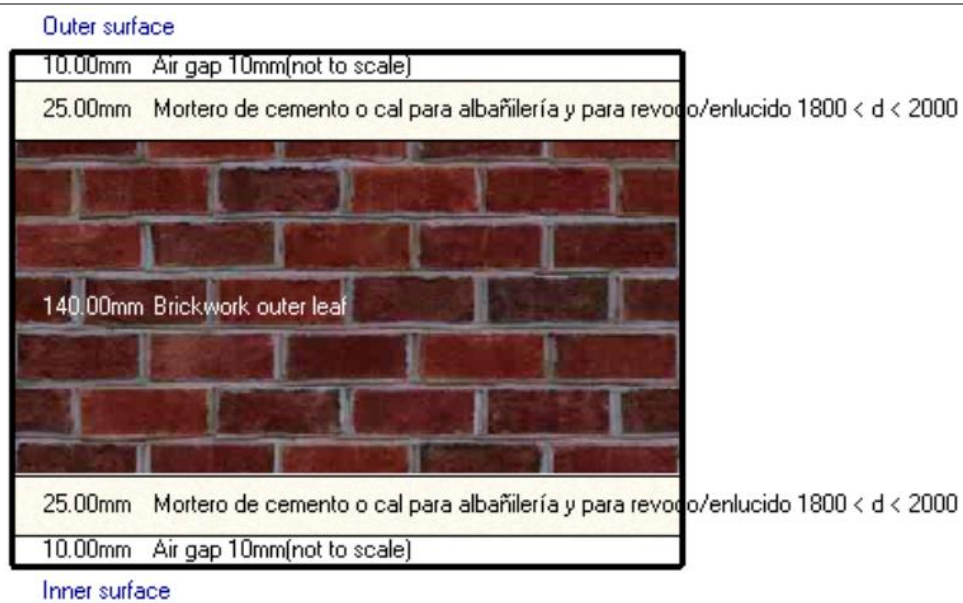
Tabla 5.1 Muros existentes

Material capas	Rugosidad	Espesor cm	Conductividad W/m·K	Densidad kg/m ³	Calor específico J/Kg·K
Aire		1	0.9653	1.2	1.4
Mortero		2.5	1.3	1900	1000
Ladrillo rojo	Media	14	0.77	1700	840
Mortero		2.5	1	1800	1000
Aire		1	0.9653	1.2	1.4
Total		20	5.0006	5402.4	2842.8

Valor u	1.449	$W/m^2 \cdot K$
Valor r	0.69	$m^2 \cdot K/W$

La [Tabla 5.1](#) se representará gráficamente, se mostraría como la [Figura 5.3](#), donde se representan los materiales de exterior al interior. Ya que esta es la manera en la que intervienen en el comportamiento térmico de la vivienda.

Esta gráfica es obtenida después de cargar los valores de la [Tabla 5.1](#) y corresponde a las capas que tienen los muros de la vivienda de estudio.



[Figura 5.3](#) materiales de la envolvente del muro
Fuente: ([Design Builder, 2022](#))

La [Tabla 5.2](#) muestra los valores de la [losa](#) de vigueta y bovedilla y al igual que la [Tabla 5.1](#), al final muestra los valores “ u ” y “ r ” del sistema completo. Al igual que el muro tiene un valor alto en el valor u , por lo cual se podría implementar un aislamiento en la azotea para reducir este valor y tener mayor confort.

Tabla 5.2 Losa de vigueta y bovedilla

Material capas	Rugosidad	Espesor cm	Conductividad W/m·K	Densidad kg/m ³	Calor específico J/Kg·K
Capa exterior de aire		1	0.9653	1.2	1.4
Capa de compresión	Media	5	1.22	1800	1000
Ladrillo rojo		21	0.21	1500	840
Mortero-Arena		2	1.3	1900	1000
Capa interior de aire		1	0.9653	1.2	1.4
Total		30	4.6606	5202.4	2842.8
Valor u		1.36	W/m ² ·K		
Valor r		0.736	m ² ·K/W		

La visualización representativa de las capas de la losa se muestra en la Figura 5.4, donde debido al por comportamiento físico que el programa carga en la simulación no se consideró la viga de acero en la representación y simulación. Ya que, al momento de considerarla, este lo tomaba como una capa más y no como una parte del sistema constructivo.

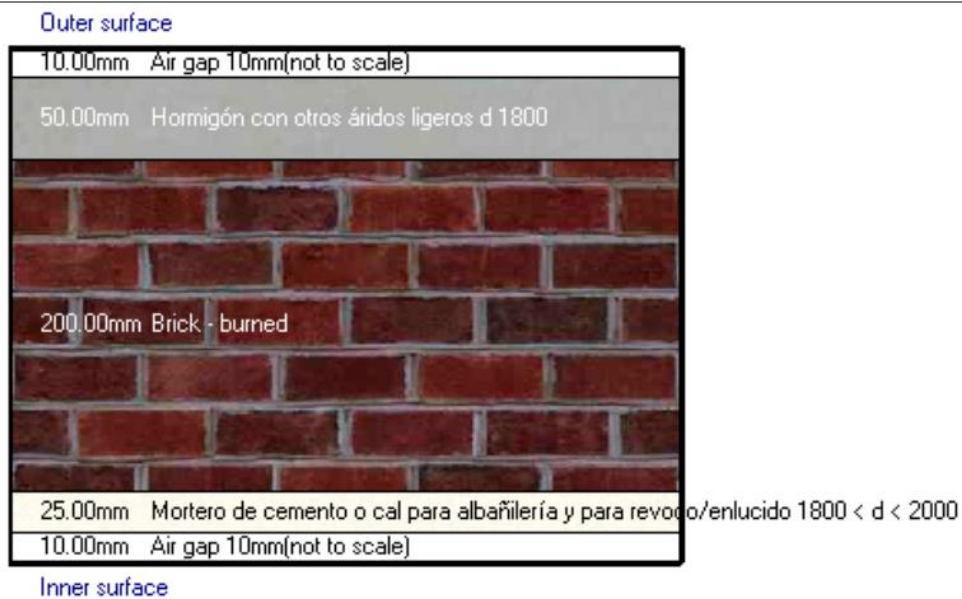


Figura 5.4 materiales de la envolvente losa

Fuente: (Design Builder, 2022)

Y finalmente se configura el HVAC (“heating ventilating and air conditioning”) y ventilación natural, este parámetro es importante porque determinará valores para la simulación CFD. Esto se configura en la opción de “model options” a nivel edificio y se selecciona HVAC “none” y ventilación natural calculada.

Cabe señalar que la ventilación natural se puede calcular en base a la renovación de aire del espacio, sin embargo, se dejará el predeterminado que calcula el software. Esto debido a que se quiere comparar que el edificio base se esté comportando de acuerdo al estado actual, ya que, si se calcula, los resultados deseados forzarán al programa.

Una vez modelada la volumetría principal del caso de estudio, se anexaron las edificaciones colindantes, mediante bloques adiabáticos. La función de estos bloques adiabáticos es transmitir el calor que estos guardan hacia la edificación de estudio, por lo cual son importantes en la simulación. Esto se representa gráficamente en la Figura 5.5. donde en gris se representa la vivienda bajo estudio y a la derecha se muestra la vivienda vecina de un nivel, a la izquierda y la parte posterior se dibujaron las viviendas vecinas existentes de dos niveles, con los patios de cada una.

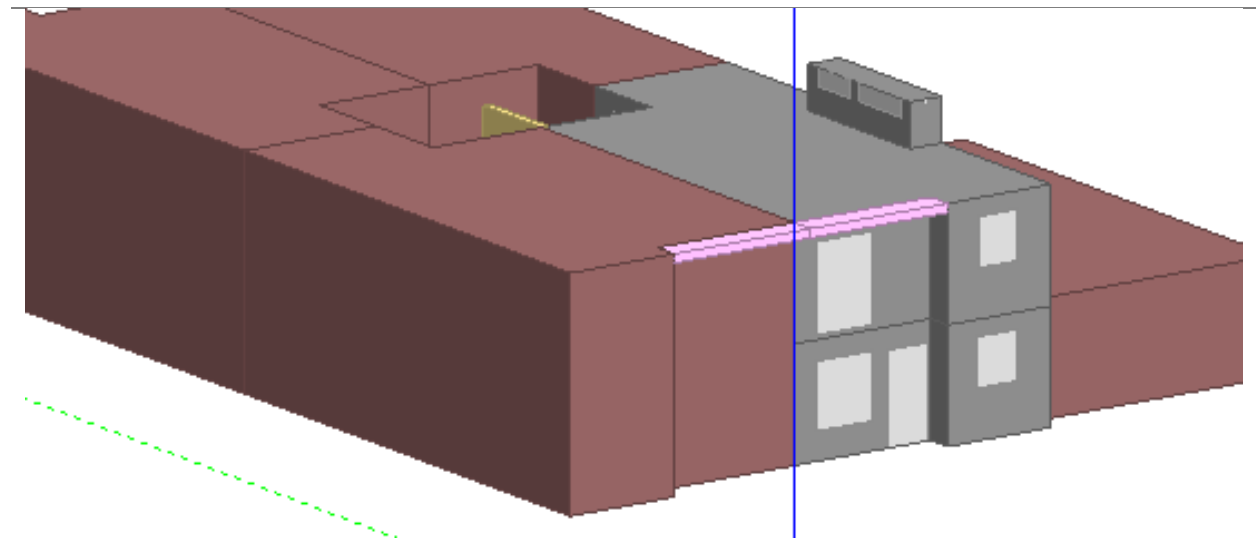


Figura 5.5 volumetría caso de estudio y edificaciones colindantes
Fuente: (Design Builder, 2022)

5.2.2 Análisis de resultados

Una vez terminado el llenado de información del modelo, se realiza la simulación del edificio base, para conocer su comportamiento actual y conocer las variaciones que puede tener.

Primero se realiza un **análisis anual**, para conocer los meses de mayor discomfort en relación con la temperatura, humedad y radiación solar de la edificación. Estos resultados se representan en la **Figura 5.6**. donde la primera gráfica de arriba hacia abajo representa la **temperatura** interior, exterior y radiación solar. La segunda gráfica muestra el porcentaje de **humedad**, y la tercera las **horas de discomfort** que se tienen en cada mes.

El **mes de mayor temperatura** se grafica en **mayo**, con **29.56°C** al interior y al exterior con **22.45°C**. además, se muestra que la temperatura se comporta de forma similar a la radiación solar. Cuando comienza la temporada de lluvias, ambos parámetros comienzan a bajar, sin embargo, el rango de confort sigue aumentando.

Por lo cual la estrategia implementada **buscará reducir** la **temperatura** del aire y el **porcentaje** de horas de **discomfort**.

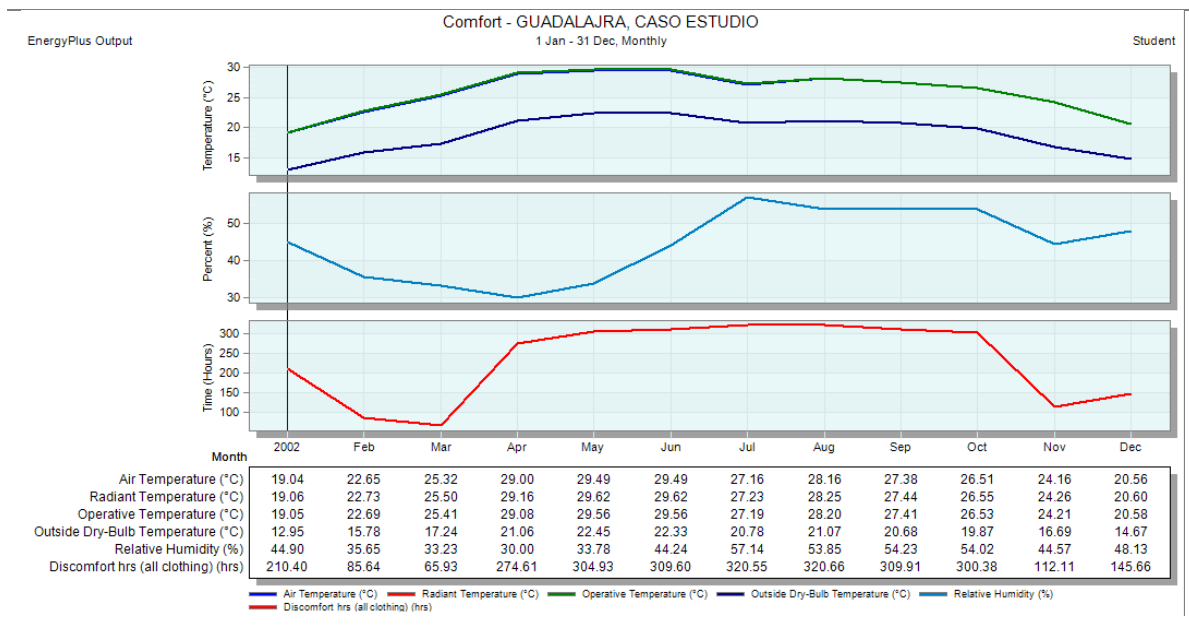


Figura 5.6 confort mensual-anual en el caso de estudio

Fuente: (Design Builder, 2022)

El software selecciona por sí mismo la **semana extrema más calurosa** (summer Design week), que para este caso es del **13 al 19 de mayo**. Por lo cual se analizarán los resultados puntuales en este periodo por medio de esta herramienta numérica y por medio del monitoreo respectivamente. Los resultados para el comportamiento de **Design Builder®** se muestran en la **Tabla 5.3**

Tabla 5.3 temperaturas de la semana más caliente de la vivienda de estudio

Fuente: Elaboración propia con datos de **Design Builder (2022)**

	Temperatura °C								
	Temp ext	23.70	24.02	24.77	24.26	20.59	24.78	24.58	
Dia		13	14	15	16	17	18	19	
Total software		29.57	29.69	30.57	30.99	29.43	29.1	29.97	
Promedio día		29.59	29.71	30.59	31.02	29.45	29.19	29.98	
Cocina		29.31	29.43	30.33	30.76	29.31	29.28	30.02	29.78
Comedor		29.02	29.15	30.01	30.39	28.93	28.92	29.64	29.44
Escaleras		29.44	29.57	30.48	30.88	29.26	29.17	30.05	29.84
Rec. 1		29.03	29.18	29.86	30.30	29.09	28.58	29.25	29.33
Sala		29.22	29.34	30.26	30.64	29.05	29.11	29.90	29.65
Wc		29.28	29.43	30.06	30.53	29.33	29.47	29.21	29.62
Estar		29.67	29.77	30.67	31.08	29.56	29.33	30.21	30.04
Estudio		29.87	29.94	31.01	31.50	29.83	29.49	30.46	30.30
Rec Estudio		29.90	29.98	30.97	31.36	29.59	29.17	30.13	30.16
Rec Referencia		30.63	30.73	31.67	32.11	30.12	29.41	30.63	30.76
Wc		30.15	30.26	31.19	31.70	29.89	29.19	30.31	30.38
Mínimo		29.02	29.15	29.86	30.30	28.93	28.58	29.21	29.33
Máximo		30.63	30.73	31.67	32.11	30.12	29.49	30.63	30.76
Promedio		29.59	29.71	30.59	31.02	29.45	29.19	29.98	29.93

Se analizaron los resultados de la semana más caliente, de una forma diaria-semanal de la vivienda y separada por espacios. Donde el color rojo representa el espacio más caliente y el azul el más frío.

Para conocer el comportamiento de la vivienda, se analizó cada espacio por separado, donde se rescata el análisis puntual de las recámaras más calientes, que se denominará recámara de estudio y recámara de referencia. Dicha recámara de estudio se encuentra orientada a la fachada sur y la de referencia a la fachada oeste.

Al realizar el estudio puntual de estas habitaciones, nos percatamos de que la **temperatura** más alta se presenta en la **recámara de referencia**, mientras que en la **recámara de estudio** se presentan las mayores **humedades**. Esto se muestra en la **Figura 5.7**, donde se grafica mediante una forma radial en base a los días de calor extremo, durante una semana. Los valores representados son los promedios diarios en humedad y temperatura.

En base al comportamiento de temperatura y humedad, se cree que la relación de **discomfort** está directamente relacionado. Ya que “**a mayor humedad del aire, genera más sensación de calor**” (Serra, 1999). Por lo cual se deberá mitigar este fenómeno.

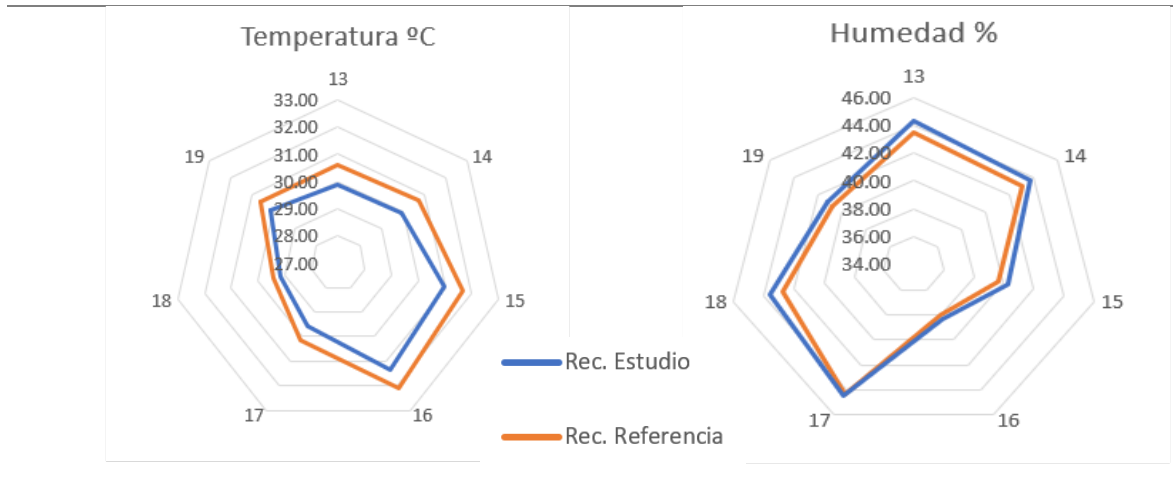


Figura 5.7 temperatura y humedad de la recámara de estudio y referencia

Fuente: Elaboración propia con datos de [Design Builder \(2022\)](#)

Al comparar los valores de la semana más crítica en simulación, con los de la semana más crítica del monitoreo, obtenemos resultados similares, donde la temperatura más alta se mantiene en la recámara de referencia, pero la humedad es más alta en la recámara de estudio.

Este fenómeno hace que la recámara de estudio tenga mayores niveles de discomfort para el usuario y la validación de información relacionada con estos escenarios.

Los resultados del monitoreo en la vivienda se presentan en la [Figura 5.8](#), donde se tomó en cuenta el día más caliente del año monitoreado (28 de mayo 2021) para seleccionar la semana más crítica.

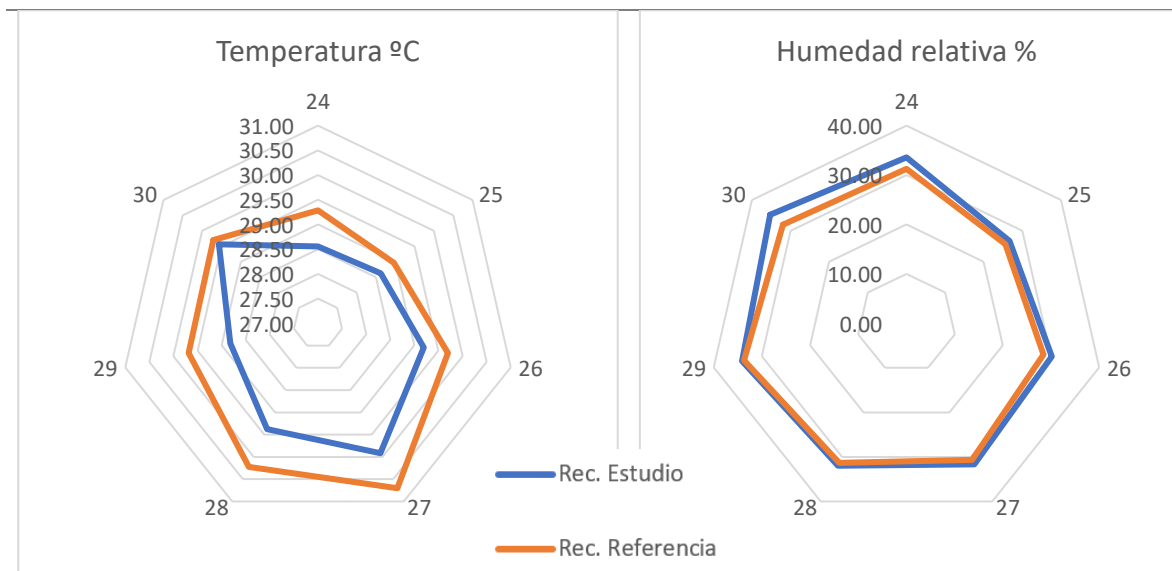


Figura 5.8 temperatura y humedad de la recámara de estudio y referencia del monitoreo anual

Al comprobar los valores de temperatura y humedad durante el año y la semana más caliente del mismo (Figura 5.8), observamos el mismo comportamiento en el modelo de simulación numérica y el monitoreo de la vivienda (ver Figura 5.7)

Por lo cual se puede decir que el edificio base corresponde a lo existente y será el punto comparativo de la torre de enfriamiento que se diseñó.

Además, nos indica que los parámetros principales que se deben de regular son: temperatura, humedad y viento. De modo que el prototipo de torre tome en cuenta estas variables.

Por lo cual también se realizó un corte del comportamiento del viento que se representa en la Figura 5.9 donde el espacio está representado por flechas que indican el flujo del viento, donde la menor velocidad está representada en azul rey (0.0m/s) y la velocidad máxima (0.18 m/s) se representa en color rojo.

La vivienda tiende a tener un comportamiento de vientos dominantes de 0.0 m/s (color azul rey), factor que altera el confort de la vivienda. Y solamente en las zonas donde hay ventanas esta velocidad aumenta, pero no se distribuye al espacio.

Por lo cual se puede llegar a tener una sensación de sofocación en la vivienda en general.

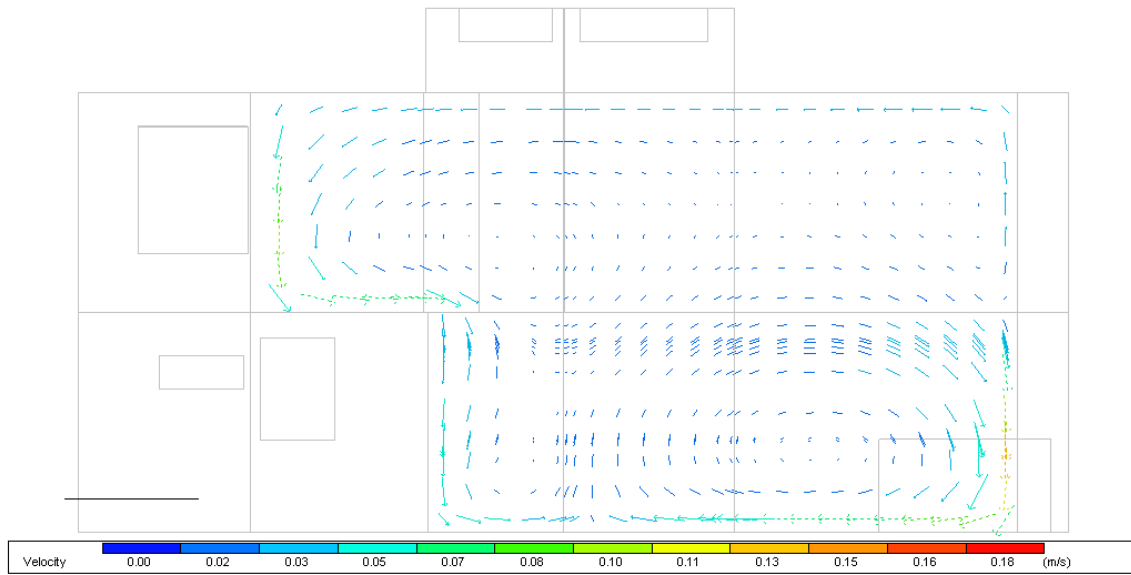


Figura 5.9 comportamiento del viento en la vivienda de estudio

Fuente: (Design Builder, 2022)

5.3 Modelado numérico intervención (Torre de enfriamiento)

Para la simulación energética del modelo modificado, se tomó como referencia el edificio base (estado actual de la vivienda) y se anexo el volumen de la torre de enfriamiento, en la fachada posterior correspondiente a la recámara de estudio (ver Figura 5.10)



Figura 5.10 fachada posterior de la vivienda de estudio

Para iniciar con algunas **variantes de la torre**, se tomó en cuenta los parámetros de diseño desarrollados en la tesis doctoral de León Vázquez (2017), donde estudio diferentes tamaños, aberturas, entradas y salidas de aire.

En la tesis mencionada, concluye que la mejor entrada de aire es en el espacio donde se desea buscar el confort entre un 75 a 90% de la altura; la altura de la torre ayudará al incremento de la velocidad del aire; y la superficie de salida no deberá ser menor a la superficie de entrada.

5.3.1 Proceso de modelado

Se tomó como base el modelo de estado actual, donde se conservaron parámetros de actividades, materiales de construcción, tipo de ventilación, aberturas e iluminación.

Posteriormente se diseñaron diferentes **modelos de torre**, tomando como base la tesis de León Vázquez (2017). Las variaciones que se estudiaron fueron las dimensiones de entrada y salida de aire, alturas de la torre, ancho de la misma y ubicación.

Además, se tomó en cuenta los cálculos de la hoja de **cálculo para la renovación de aire y ventilación unilateral** de Fuentes Freixanet (2004). Esto se considera debido a que *“los sistemas de ventilación natural son diseñados principalmente para conocer la calidad del aire y reducir el sobrecalentamiento en los edificios”* (CIBSE, 2005).

Al realizar estos cálculos, se encontró que la dimensión de entrada de viento para la recámara de estudio debería ser de 2.27m² y si pasamos este parámetro a la torre de enfriamiento, encontramos que es la apertura más eficiente y efectiva para el caso de estudio.

Sin embargo, otro factor que se busca cuidar en la torre es que proporcione un **movimiento** mayor de **viento** en la habitación. Ya que *“al hacer pasar el viento sobre los ocupantes y al remover el aire caliente del espacio, se logra una mejor **climatización del espacio**”* (CIBSE, 2005).

El modelo de torre que resultó más eficiente se presenta en la **Figura 5.11**, que tiene las siguientes **dimensiones**: 1.4m de ancho por .50m de profundidad y 3.00m de altura. Dos aberturas de 1.40 x 0.752m, para la inyección y extracción de aire al interior de la habitación. Además, un hueco en la parte superior de 1.4 x 0.50m para el cambio de aire de la torre.

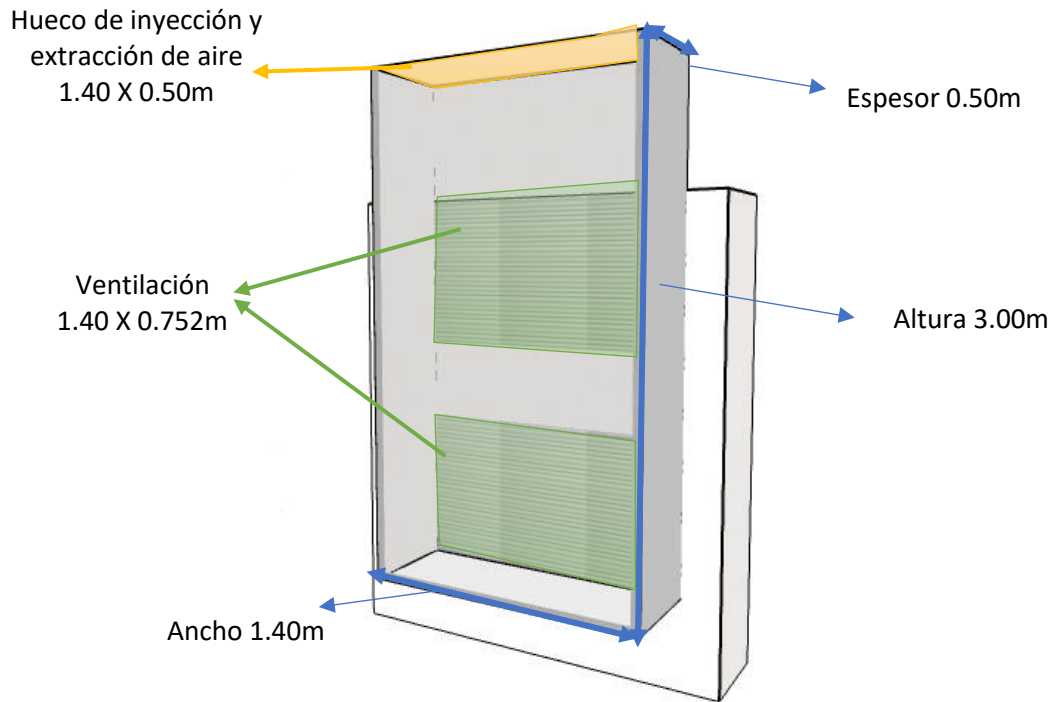


Figura 5.11 volumetría torre de enfriamiento adosada a ventana
Fuente: (Design Builder, 2022)

Por consiguiente, se presenta el funcionamiento interno de la torre en la Figura 5.12

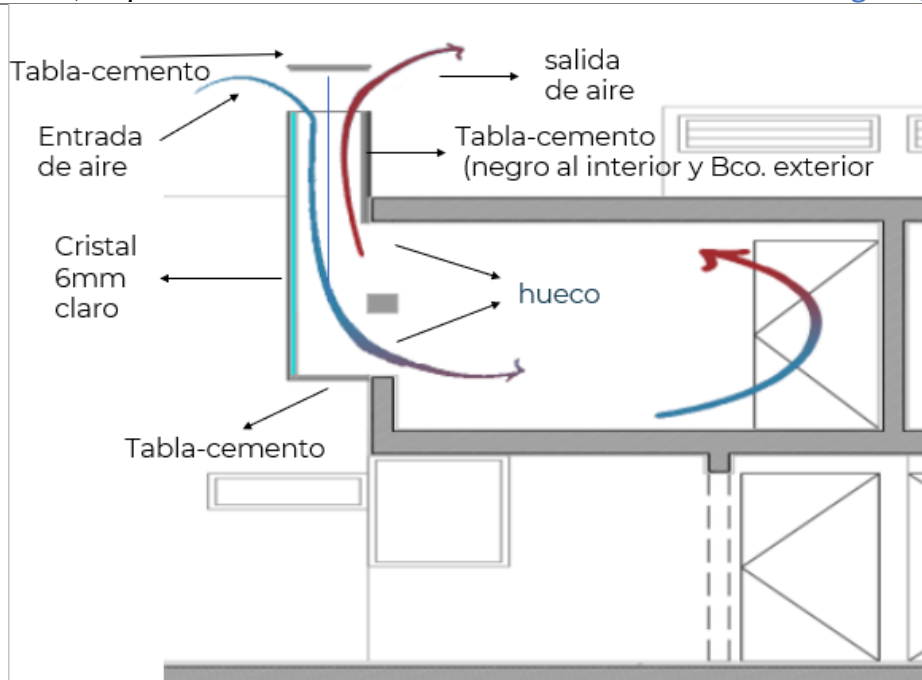


Figura 5.12 funcionamiento de la torre
Fuente: (Design Builder, 2022)

Los **materiales** con los que se propone la torre: son perfiles metálicos, hoja de tabla cemento y un cristal claro de 6mm. El muro que se encuentra frente al cristal se propone pintarlo de color negro, para que a través de la absorción ayude a tener mayor temperatura en el ducto de la torre y provocar mayor movimiento del viento.

El modelo numérico propuesto con la torre de enfriamiento se presenta en la **Figura 5.13**, donde se observa la integración de la torre a la fachada sur, donde se encuentra la habitación con mayores temperaturas (recámara de estudio)

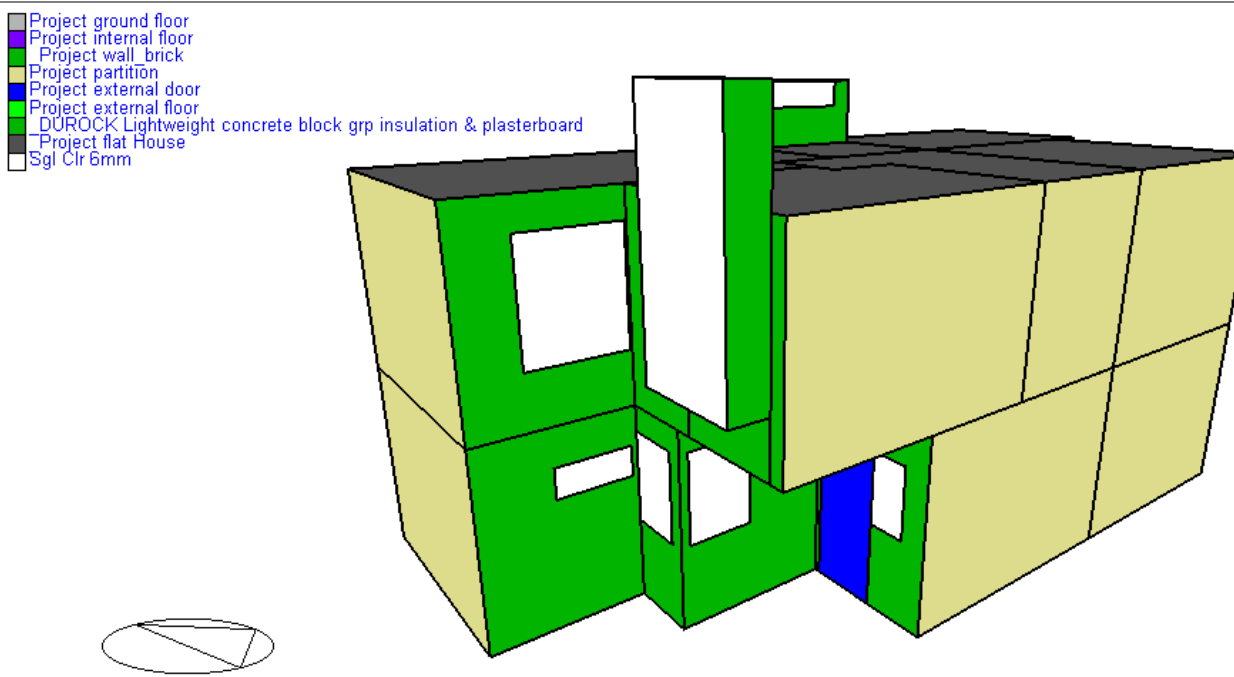


Figura 5.13 Modelo numérico con torre de enfriamiento

Fuente: (Design Builder, 2022)

Al igual que la vivienda base, en la vivienda modificada también se analizaron los espacios por separado, dando como resultado lo presentado en la **Tabla 5.4**, donde se muestra en cambio de temperatura en todos los espacios.

Tabla 5.4 temperaturas de la semana más caliente en el modelo modificado

Fuente: Elaboración propia con datos de (Design Builder, 2022)

En esta tabla se observa que la temperatura más **caliente** sigue siendo la recámara de referencia y la más **fría** la torre de enfriamiento, después la recámara de estudio, que era la más caliente en el modelo base, según la **Figura 5.8**

		Temperatura °C							
Temp ext		23.70	24.02	24.77	24.26	20.59	24.78	24.58	
Día		13	14	15	16	17	18	19	
Total software		28.68	28.8	29.76	30.15	28.44	28.38	29.26	
Promedio dia		28.71	28.65	29.79	30.19	28.47	28.39	29.28	Prom
Cocina		28.80	28.93	29.87	30.30	28.77	28.76	29.57	29.29
Comedor		28.35	28.48	29.40	29.78	28.18	28.27	29.08	28.79
Escaleras		28.86	28.98	29.94	30.35	28.62	28.60	29.54	29.27
Recamara 1		28.15	28.32	29.08	29.52	28.24	27.88	28.60	28.54
Sala		28.66	28.78	29.74	30.13	28.43	28.56	29.40	29.10
Wc		28.32	28.49	29.16	29.65	28.54	27.79	28.49	28.63
Estar		28.96	29.06	30.03	30.43	28.75	28.66	29.62	29.36
Estudio		29.55	29.64	30.73	31.23	29.53	29.18	30.19	30.01
Rec Estudio		27.02	25.15	28.37	28.37	25.59	27.25	27.93	27.10
Rec Referencia		29.62	29.72	30.73	31.17	29.24	28.69	29.84	29.86
Wc		29.51	29.63	30.60	31.12	29.29	28.67	29.83	29.81
Mínimo		27.02	25.15	28.37	28.37	25.59	27.25	27.93	27.10
Máximo		29.62	29.72	30.73	31.23	29.53	29.18	30.19	30.01
Promedio		28.71	28.65	29.79	30.19	28.47	28.39	29.28	29.07

Entonces si relacionamos los datos obtenidos en la **Tabla 5.3** con los de la **Tabla 5.4** se observa un cambio de temperatura en todos los espacios, beneficiando el de mayor discomfort planteado en la problemática (recámara de estudio).

La **velocidad del viento** aumenta en el comportamiento de la vivienda y a comparación de la **Figura 5.9**, la velocidad se distribuye en el espacio y no solo en la zona de ventanas.

A diferencia del comportamiento del viento con la vivienda sin la torre de enfriamiento, en la **Figura 5.14** se muestra un comportamiento con más movimiento, donde los valores más frecuentes son de 0.03 m/s en toda la vivienda, mientras que anteriormente el flujo era de 0.0 m/s. La velocidad máxima en la vivienda se sigue conservando en 0.18 m/s.

Mientras que el comportamiento del viento dentro de la recámara de estudio se presentan velocidades de entre 0.03 a 0.08 m/s, lo cual hace que el espacio sea más comfortable, debido a la mayor renovación y movimiento del aire.

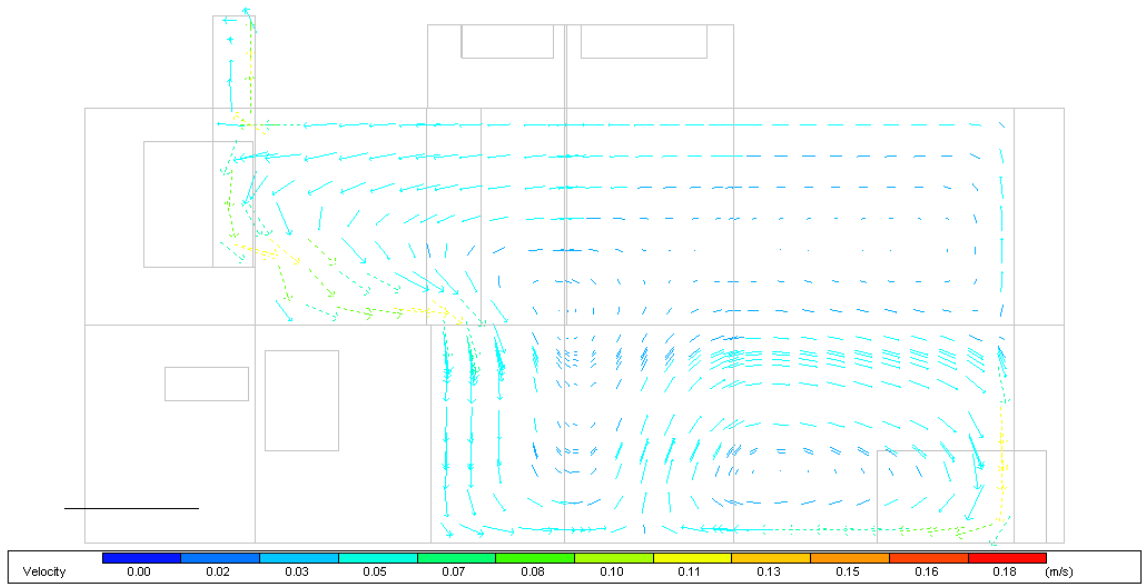


Figura 5.14 Flujo del viento en sección
Fuente: (Design Builder, 2022)

5.4 Comparativa de modelo base y torre de enfriamiento

La Comparativa de la Figura 5.15 se realiza el día 16 de mayo, que vendría siendo el día más caliente de la semana crítica, este se presenta en los dos escenarios: en el estado actual y el estado modificado. Con la implementación de la torre de enfriamiento todos los espacios representan variaciones, sobresaliendo el de la recámara de estudio con un cambio de temperatura de 2.99°C de diferencia.

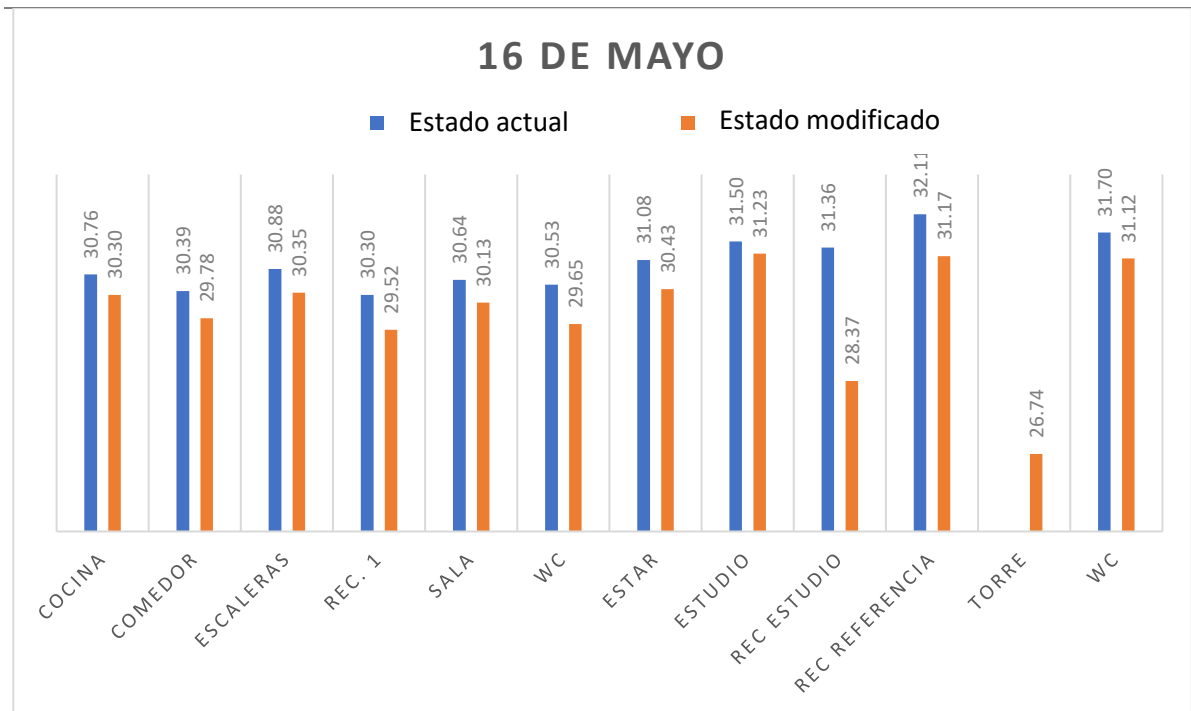


Figura 5.15 comparativa de temperaturas estado actual al estado modificado de los espacios en la vivienda

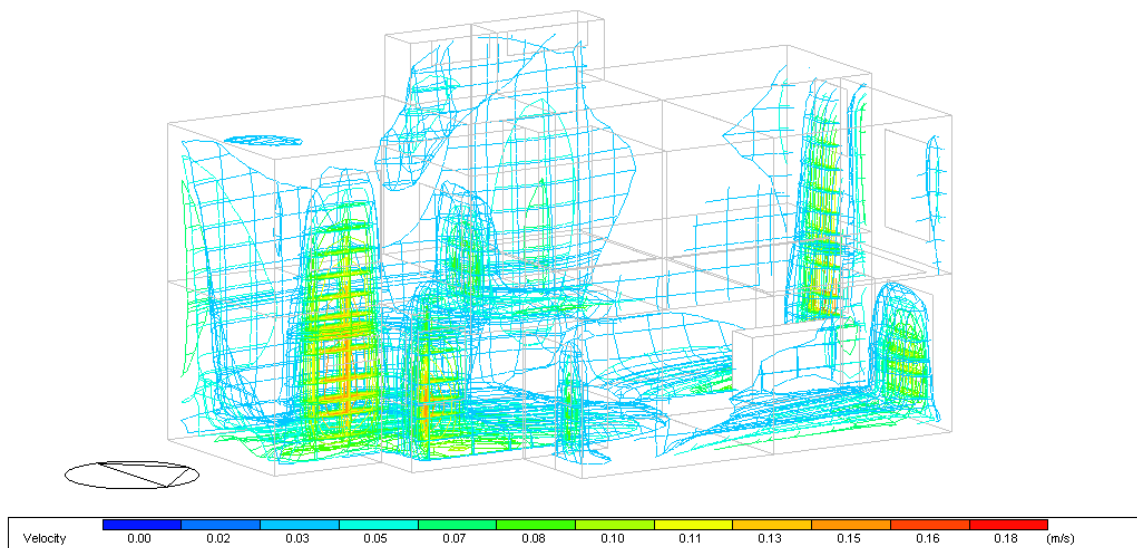
Fuente: (Design Builder, 2022)

Comparando las Figura 5.9 con la Figura 5.14, se observa que la velocidad del aire dentro del espacio aumenta y se distribuye de una manera más uniforme con la implementación del prototipo de torre.

Por consiguiente, se hace la comparativa de velocidad de viento en una forma volumétrica, partiendo de los valores con velocidad 0.03 a 0.18 m/s. Se quitaron los valores 0.0 m/s debido a que la imagen era más difícil de visualizar. Esto se representa de una forma tridimensional en la Figura 5.16 y 5.17.

La [Figura 5.16](#) muestra el comportamiento en la [vivienda de estudio en el estado actual](#), donde se muestra un flujo menor al de la [Figura 5.17](#), se observa que la zona de ventanas entra el viento con una velocidad mayor de 0.18 m/s (color rojo), y conforme va distribuyéndose en el espacio esta disminuye ([Figura 5.14](#)).

Este flujo tiende a ser más lento mientras más recorre el interior de la vivienda, en la parte baja de la misma tiene mayor fluidez y en el alta se llega a estancar o a ser nulo el movimiento.



[Figura 5.16](#) flujo volumétrico del viento estado actual
Fuente: ([Design Builder, 2022](#))

Mientras que en la [Figura 5.14](#) muestra el comportamiento del viento con la implementación de la [torre de enfriamiento](#), donde el flujo más continuo en el interior de la vivienda, aumentando la velocidad en planta alta, favoreciendo significativamente la recámara de estudio, donde se llega a alcanzar velocidades de 0.05 m/s.

Por lo cual la colocación de la torre de enfriamiento no solo ayuda a disminuir la temperatura en la vivienda, sino que también ayuda a incrementar la velocidad del viento.

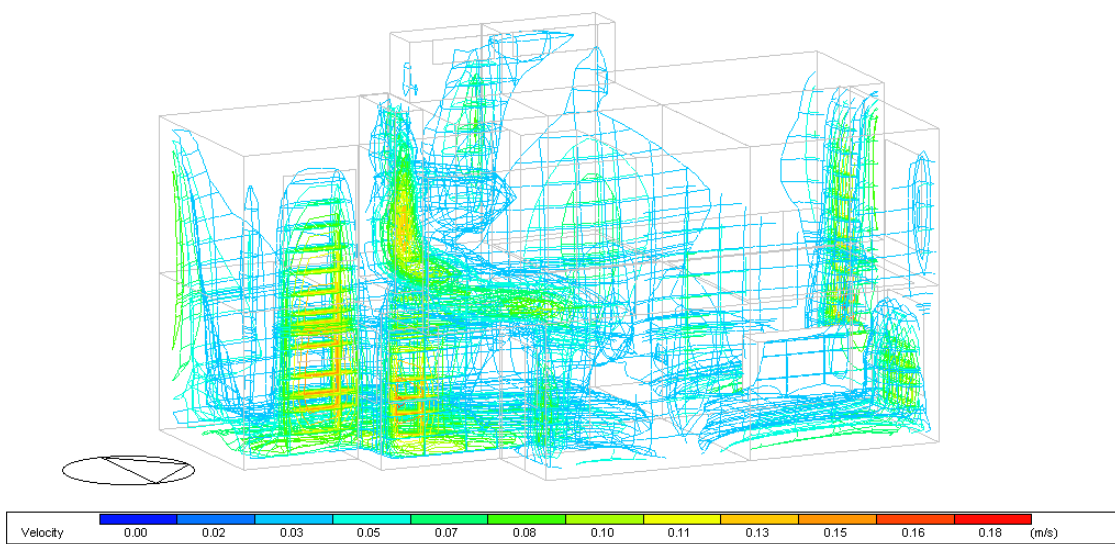


Figura 5.17 flujo volumétrico del viento estado modificado

Fuente: (Design Builder, 2022)

Por otro lado, Design Builder® también nos realiza una visualización del espacio con gráficos de colores que representan las temperaturas del espacio. (ver Figura 5.18 y 5.19)

La Figura 5.18, representa el **estado actual de la vivienda**, el día 16 de mayo (considerado el de mayor calor) donde muestra temperaturas entre los 30.3°C hasta 32.11°C, donde el espacio de menor temperatura se representa en color azul rey, pasando así a otras tonalidades de azules, los de temperatura media se representan en verde y amarillo y los más calientes en naranja y rojo. Cabe señalar que el espacio más caliente de la vivienda es la recámara de referencia que se muestra en color rojo, posteriormente es la recámara de estudio y el cubo de escaleras.

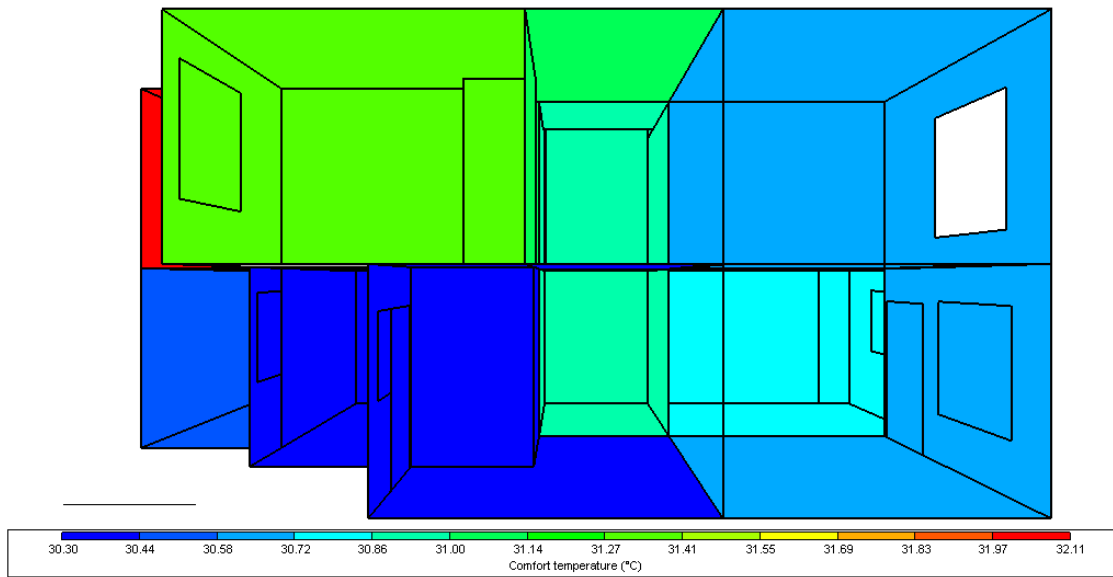


Figura 5.18 Temperatura interior estado actual

Fuente: (Design Builder, 2022)

Mientras que la [Figura 5.19](#) representa el comportamiento de la **vivienda ya modificada** (con la torre de enfriamiento), donde los valores cambian de 26.5°C a 31.5°C, por lo cual la implementación de la torre ayuda a la disminución de temperaturas **promedio** diario, donde la **disminución es de 0.61°C**. En este caso la recámara más caliente sigue siendo la de referencia, pero la recámara de estudio cambia a ser el espacio más fresco de la vivienda. El cubo de escaleras se sigue manteniendo en un porcentaje medio y la planta baja disminuye.

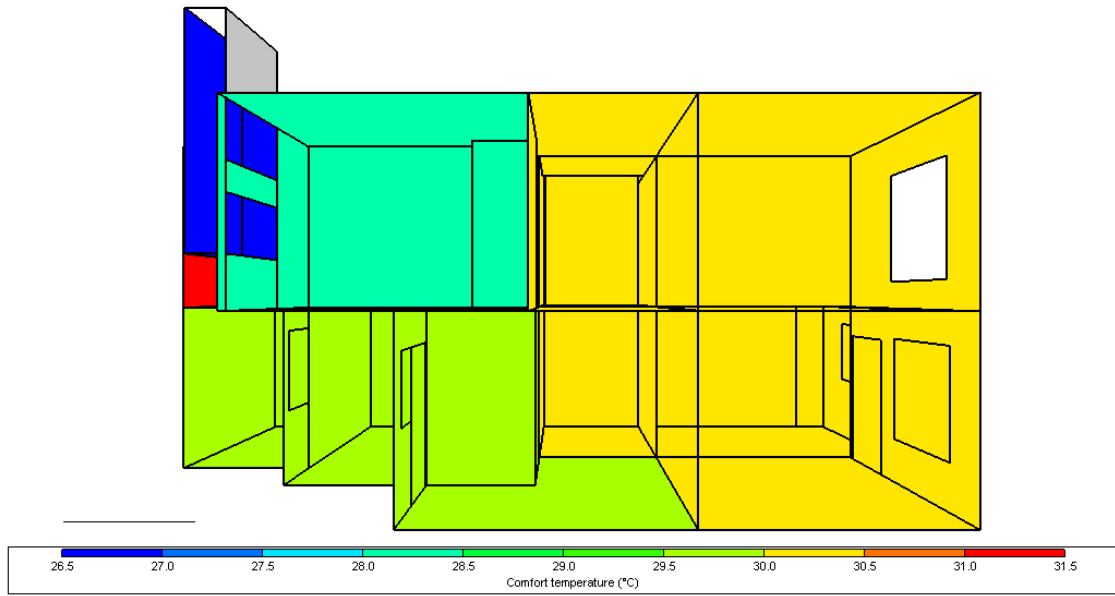


Figura 5.19 Temperatura interior estado modificado

Fuente: (Design Builder, 2022)

5.5 Conclusiones

El software de simulación numérica es una herramienta importante para la validación de información y la previsión de escenarios posibles. Nos ayuda a comprobar las variaciones que se pueden tener y escoger la mejor opción antes de ser implementada.

Para el caso de estudio se compararon los resultados de la semana crítica monitoreada con la semana crítica que calcula el software, para poder validar el comportamiento e información de la vivienda.

Se tenía la hipótesis de que la recámara de estudio sería la única que cambiaría su temperatura, sin embargo, en la comprobación de temperaturas de la [Tabla 5.4](#) se comprobó que todos los espacios tenían diferentes variaciones, teniendo un promedio de **0.87°C en toda la vivienda**. Por lo cual se considera que la implementación de la torre beneficia a toda la vivienda.

Cabe señalar que la **recámara de estudio** donde se implementó el prototipo de torre de enfriamiento ayudó a disminuir la temperatura **3.06°C** promedio en la semana crítica, y

aumentó la velocidad del viento en toda la habitación de **0.03 a 0.05 m/s**, factor que beneficia a la sensación del confort térmico.

También se realizaron simulaciones donde se agregó **aislante a la cubierta superior**, donde la vivienda se ve beneficiada con 0.5°C , y al ser un valor menor al que nos ofrece la torre de enfriamiento, no se presentaron los resultados.

Además, se consideró colocar otra capa **aislante** al segundo nivel de la vivienda en la **fachada oeste**, que es la que tiene mayor radiación solar, pero esta simulación no resultó favorecida, ya que en lugar de disminuir la **temperatura** la **aumentaba** y salía contraproducente para la vivienda. Si este comportamiento lo relacionamos a la composición de la envolvente que guarda la temperatura varias horas, el aislante en muro puede estar provocando un retardo mayor para su salida en lugar de impedir el ingreso del mismo.

Entonces se puede decir que la **torre de enfriamiento** es una buena estrategia para las viviendas ya construidas, debido a que ayudan a regular la temperatura y no se realizan modificaciones grandes a la vivienda, ayudan a **reducir la temperatura** y **aumentar** la **velocidad del aire**.

Sin embargo, se considera que el prototipo de torre se pudo haber implementado en otras ubicaciones de la vivienda o incluso en colocar dos torres en lugar de una, previendo que esto trajera una mayor conformidad térmica.

6 CONCLUSIONES GENERALES Y PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN FUTURA

En este capítulo se realiza un resumen general de los resultados obtenidos durante la investigación, donde se comprueba la obtención de confort en la vivienda mediante la implementación de una torre de enfriamiento, correspondiente así al objetivo general del TOG. Además, se hace una recapitulación de propuestas de investigación futura, para complemento de la investigación.

Se considera importante la búsqueda de confort en las viviendas autoconstruidas, debido a que son las que presentan mayor porcentaje de construcción en los últimos años, por lo cual la propuesta integra una torre de enfriamiento que no altere la estructura ni requiera mano de obra especializada para que sea replicada con facilidad.

Por lo cual el planteamiento del TOG busca resolver la problemática de disconfort térmico y crear espacios más confortables, en las viviendas populares de la ZMG, mediante la implementación de un prototipo de torre de enfriamiento.

6.1 Conclusiones generales

Durante el **proceso de investigación**, se encontraron algunas investigaciones relacionadas con el confort en la vivienda mediante torres de enfriamiento como la de **Briceño (2018)**, **Soberanes (2016)** y **León (2013)**. Cada una tenía un enfoque en búsqueda del confort, en diferentes tipos de clima, donde todas tuvieron resultados positivos.

En dos de las investigaciones reconocen que el colocar la torre con **materiales** ligeros es bueno, debido a que no se necesita reforzar la vivienda, implementando así una torre hecha con tabla cemento y cristal, con orientación al sur para captar el sol, el muro interior de color negro y una abertura en la parte superior.

También se comprobó que la **entrada** más satisfactoria de **aire** es a la altura de la actividad que se desea buscar confort, así como lo decía **León (2017)**.

Por lo cual se tomaron estos parámetros como iniciales para el estudio del comportamiento de la torre. Sin embargo, se considera que la colocación de la torre en diferentes puntos de la vivienda hubiera traído comparativas interesantes.

Por otro lado, en la revisión del **estado del arte**, se tomaron en cuenta temas como el biomimetismo, termiteros, torres de enfriamiento e investigación de estrategias bioclimáticas, que se toma como referencia para el diseño de la torre de enfriamiento.

Cabe señalar que varias de estas estrategias rescatan el diseño del espacio en consideración de la ventilación como relación al confort y temperatura del espacio. Donde se hacen énfasis en la búsqueda de una **renovación de aire** y una vez obtenido brindan el confort térmico. Es por ello por lo que en la simulación también se toma en cuenta el comportamiento del viento.

Otro factor importante que ayudó a la toma de decisiones es la descripción **climatología del sitio** donde se implementará el prototipo, ya que en base a estas características se deberá esperar un comportamiento o resultados en el modelo.

Además de relacionar el clima con las características de la vivienda y el entorno inmediato que este tiene, ya que se demuestra que la vivienda está dentro de una zona con un microclima.

y como último factor antes de la simulación, es importante conocer el **comportamiento de la envolvente**, relacionado con los valores de aislamiento y resistencia térmica, para conocer porque se comporta de cierta manera la edificación y que intervenciones requiere.

Una vez analizados todos estos puntos, se realizó el **modelo numérico** en el software Design Builder®, donde se obtuvieron resultados favorables para regular el confort térmico y aumentar la renovación de aire en el espacio.

Los resultados esperados para el caso de estudio consistían en lograr la **temperatura de confort** que se estableció en la **Tabla 3,2**, donde la **temperatura** mínima de confort en mayo es de 22.63°C y la máxima es de 27.63°C.

Sin embargo, se toma en cuenta los valores de zona de confort en relación a los resultados del **monitoreo**, donde nos indica valores de rangos de confort más altos para el mes de mayo, que oscilan entre los **23.17°C y 28.17°C**.

Ambas comparativas se muestran en la [Figura 6.1](#), donde se toma en cuenta los valores promedios de la **semana crítica** seleccionada por Design Builder® y los promedios de temperatura de confort de la estación climatológica y del monitoreo en sitio.

En ella se observa que la recámara de estudio si está llegando a estos parámetros de confort deseados. Los demás espacios no llegan, pero si bajan los °C de la temperatura de los espacios.

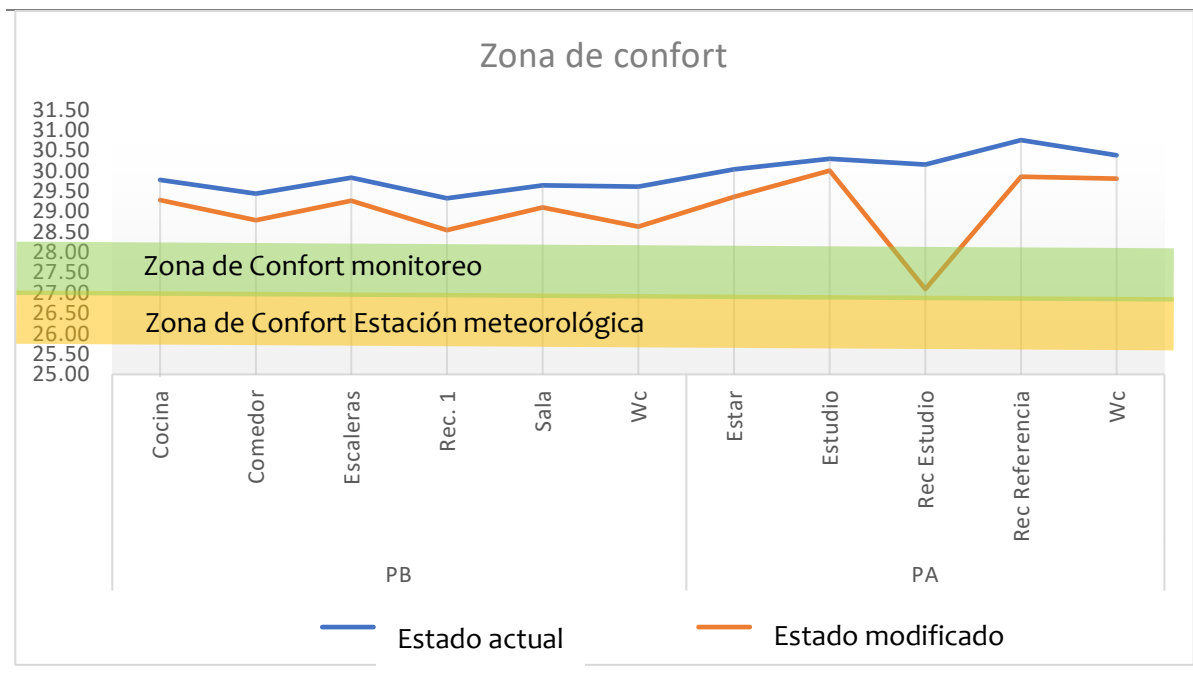


Figura 6.1 Rangos de confort esperados

Entonces se puede considerar que además de colocar la torre de enfriamiento, se puede colocar un **aislante** térmico en la azotea, para que nos brinde **0.5°C** más a todos los espacios y alcanzar este rango de confort en toda la vivienda.

También se realizó la propuesta de colocación de **aislante a la fachada oeste**, que es la que recibe mayor radiación, sin embargo, esto resulto contraproducente, ya que almacenaba el calor y **augmentaba la temperatura** promedio de los espacios en la vivienda.

Además, se analizó que esta implementación no afectara en la **época de invierno**, factor que cumple, ya que, al no existir una diferencia significativa de temperaturas en el interior del exterior, la renovación de aire no se da en el mismo flujo, manteniendo así un promedio de 1°C en el ambiente sin afectar o aumentar el frío en la vivienda.

Por lo cual se puede concluir que la colocación de una torre de enfriamiento en una vivienda ya existente en la ZMG es factible y ayuda a regular la temperatura interna de la vivienda y a aumentar la renovación y circulación de aire en el espacio. Ayudando así a llegar a la temperatura confort sin la utilización de energía eléctrica.

6.2 Propuesta de investigación futura

Para complementar el trabajo, se proponen las siguientes líneas de investigación, para complementar la investigación y proponer la torre de enfriamiento como una ecotecnia factible y económicamente viable en el mercado, para la regulación del confort en las viviendas populares de la ZMG.

Algunas de estas consideraciones como **propuestas futuras** son las siguientes:

- Analizar el prototipo por medio de una simulación numérica con la implementación de **energía eólica y velocidades del viento**
En el TOG se reconoce una eficiencia en el confort térmico, debido a la renovación de aire del espacio, por lo cual la implementación de energía eólica podría ayudar a tener mayor velocidad de viento y un mejor aprovechamiento en la vivienda.
- Implementación de **agua** en el prototipo
La relación de la humedad con la temperatura y el confort térmico es otra variante que puede abonar o perjudicar al prototipo, por lo cual se sugiere la realización de algún modelo que considere incluirla y ver la eficiencia que podría brindar.
Sin embargo, esta adaptación podría llegar a generar un costo bastante considerable, por el tema de suministro de agua, energía requerida y materiales eficientes para su eficiencia deseada.
- Analizar el **costo beneficio** de la propuesta
El costo beneficio es importante, debido a que la torre de enfriamiento se plantea colocar en viviendas ya existentes, en familias de bajos recursos, por lo cual el costo de adquisición es importante y este debe de estar directamente relacionado al beneficio que ofrece, durabilidad y mantenimiento futuro del sistema.

- ¿Qué tan fácil es **colocar el sistema en diferentes tipos de vivienda** en la ZMG y altura? Es importante conocer el alcance que este sistema podría llegar a tener, ya que el prototipo se plantea colocar en un segundo nivel, entonces ¿Qué pasaría si este prototipo se coloca en planta baja o en un tercer nivel?, ¿Qué parámetros deberían de modificarse para que sea eficiente?
- **Simulación energética** del prototipo, con un análisis más detallado **de equipos, espacios, ocupación, horarios y actividades** de cada uno. Cabe señalar que el software Design Builder, tiene la capacidad de programación de cada espacio, sin embargo, por el factor del tiempo, no se realizó la programación de la vivienda. El impacto que la programación hubiera arrojado sería la simulación más exacta del modelo y su comportamiento.
- **Colocación de prototipo** a escala real en una vivienda del modelo numérico. Este último punto, es importante debido a que se comprobaría físicamente el comportamiento del modelo numérico ya como prototipo experimental y los resultados obtenidos. Y al mismo tiempo la percepción de las personas de adquirir un modelo similar. Se deberá de conocer su durabilidad en la intemperie y conocer el comportamiento en épocas de lluvia. Proceso constructivo, análisis de costo de materiales e instalación. Cabe señalar que el prototipo se estima con un ciclo de vida de 10 años, presentado en la [Tabla A.1](#) donde se realizó la comparativa de costo beneficio.

Estas estrategias podrían llegar a ser complementarias del trabajo de investigación, donde al ser integradas, el prototipo podría llegar a tener mayor alcance en las viviendas populares y en diferentes zonas climáticas, según las necesidades.

Llegando a ser así una ecotecnia para regular el confort de las viviendas populares, a un bajo costo energético e impacto ambiental.

Anexo 1.- Ahorro energético y costo beneficio del prototipo

Cabe señalar que, el prototipo de torre de enfriamiento busca ser una alternativa para el confort térmico, sin generar el consumo de energía eléctrica. Es por ello que la comparativa de costo beneficio y ahorro energético es importante, para validar su eficacia y viabilidad.

Los factores a analizar son: costo inicial, costo de mantenimiento anual, ahorro económico, ahorro energético y disminución de CO₂, y estos a su vez se compararán con un sistema de aire acondicionado.

Primero se analizó el **costo** que requiere **adquirir** el proyecto contra el costo que tendrá un equipo de aire acondicionado para la habitación crítica:

Costo inicial de torre de enfriamiento \$14,500. - pesos

Costo inicial de equipo de aire acondicionado \$9,199. – pesos

Posteriormente se analizó el **gasto energético** que tendría, para el caso de la torre de enfriamiento, no tendría ningún costo adicional, mientras que para el equipo de aire acondicionado si se considera.

Gasto energético en aire acondicionado:

Si partimos de que los **meses** de **abril, mayo y junio** son los **más calientes** en la zona de estudio y la vivienda de estudio, se considerara que son los meses donde se usara el aire acondicionado con una frecuencia constante.

La información anterior se relacionó con la **Tabla 4.5**, de las temperaturas horarias de la recámara de estudio y el **horario de ocupación**, donde se seleccionaron **14 horas diarias**, por 91 días de los meses de abril, mayo y junio, dando un total de **1275hrs** de uso de aire acondicionado **al año**.

El **aire acondicionado** que se seleccionó tiene un consumo de **5watts por hora**, por lo cual, si multiplicamos el total de horas por watts, nos da el **consumo energético anual**:

$$1275\text{hrs} \times 5\text{watts} = 6370\text{watts}$$

Si esos watts los convertimos a dinero, considerando que $1\text{watts} = \$1.06$, gastaríamos lo siguiente:

$$6370\text{watts} \times \$1.06 = \$1397.58 \text{ pesos anuales}$$

Por lo cual este será el costo anual de energía eléctrica que se consideraría para el caso de gastos del equipo de aire acondicionado.

Posteriormente se estima un costo anual de **mantenimiento** para ambos sistemas, en la **torre** de enfriamiento se consideran **\$700.-** anuales y en el **aire acondicionado** **\$1,200. –**

Una vez capturada toda la información, de los gastos de adquisición, mantenimiento y ahorro, se realizó la **Tabla A.1**. En esta se muestra la información de la torre y del aire acondicionado de un año a veinte años.

Para el caso de la **torre** solo se considera costo inicial, mantenimiento anual, ahorro energético anual y un gasto mayor a los 10 años, mientras que para el **aire acondicionado** se considera costo inicial, mantenimiento anual y gasto de luz en el periodo de discomfort.

Tabla A.1 Comparativa económica de torre y aire acondicionado

INVERSIÓN	Torre			Aire Acondicionado		
	Mat + Mo	gasto anual	ahorro	Mat + Mo	Luz	gasto anual
Adquisición	\$ 13,300.00			\$ 7,399.00		
Instalación	\$ 1,200.00	\$ 14,500.00	-\$ 1,397.58	\$ 1,800.00	\$ 1,397.58	\$ 10,596.58
1° año	\$ 700.00	\$ 15,200.00	-\$ 2,795.16	\$ 1,200.00	\$ 1,397.58	\$ 13,194.16
2° año	\$ 700.00	\$ 15,900.00	-\$ 4,192.74	\$ 1,200.00	\$ 1,397.58	\$ 15,791.74
3° año	\$ 700.00	\$ 16,600.00	-\$ 5,590.32	\$ 1,200.00	\$ 1,397.58	\$ 18,389.32
4° año	\$ 700.00	\$ 17,300.00	-\$ 6,987.90	\$ 1,200.00	\$ 1,397.58	\$ 20,986.90
5° año	\$ 700.00	\$ 18,000.00	-\$ 8,385.48	\$ 1,200.00	\$ 1,397.58	\$ 23,584.48
6° año	\$ 700.00	\$ 18,700.00	-\$ 9,783.06	\$ 1,200.00	\$ 1,397.58	\$ 26,182.06
7° año	\$ 700.00	\$ 19,400.00	-\$ 11,180.64	\$ 1,200.00	\$ 1,397.58	\$ 28,779.64
8° año	\$ 700.00	\$ 20,100.00	-\$ 12,578.22	\$ 1,200.00	\$ 1,397.58	\$ 31,377.22
9° año	\$ 700.00	\$ 20,800.00	-\$ 13,975.80	\$ 1,200.00	\$ 1,397.58	\$ 33,974.80
10° año	\$ 1,500.00	\$ 22,300.00	-\$ 15,373.38	\$ 1,200.00	\$ 1,397.58	\$ 36,572.38
11° año	\$ 700.00	\$ 23,000.00	-\$ 16,770.96	\$ 1,200.00	\$ 1,397.58	\$ 39,169.96
12° año	\$ 700.00	\$ 23,700.00	-\$ 18,168.54	\$ 1,200.00	\$ 1,397.58	\$ 41,767.54
13° año	\$ 700.00	\$ 24,400.00	-\$ 19,566.12	\$ 1,200.00	\$ 1,397.58	\$ 44,365.12
14° año	\$ 700.00	\$ 25,100.00	-\$ 20,963.70	\$ 1,200.00	\$ 1,397.58	\$ 46,962.70
15° año	\$ 700.00	\$ 25,800.00	-\$ 22,361.28	\$ 1,200.00	\$ 1,397.58	\$ 49,560.28
16° año	\$ 700.00	\$ 26,500.00	-\$ 23,758.86	\$ 1,200.00	\$ 1,397.58	\$ 52,157.86
17° año	\$ 700.00	\$ 27,200.00	-\$ 25,156.44	\$ 1,200.00	\$ 1,397.58	\$ 54,755.44
18° año	\$ 700.00	\$ 27,900.00	-\$ 26,554.02	\$ 1,200.00	\$ 1,397.58	\$ 57,353.02
19° año	\$ 700.00	\$ 28,600.00	-\$ 27,951.60	\$ 1,200.00	\$ 1,397.58	\$ 59,950.60
20° año	\$ 700.00	\$ 29,300.00	-\$ 29,349.18	\$ 1,200.00	\$ 1,397.58	\$ 62,548.18

Cabe señalar que, en el año 20, la inversión de la torre se cubriría totalmente, mientras que, para el caso del aire acondicionado al no tener un ahorro, solo representa un gasto continuo año tras año.

Por lo cual la torre de enfriamiento es una alternativa adecuada para regular el confort, pero con una recuperación de inversión a largo plazo.

Sin embargo, la vida útil de la torre de enfriamiento es considerada de 10 años, es por ello que en la Tabla A.1 en el año 10 se considera un gasto más alto de mantenimiento que los demás

años, sin embargo, se considera que, con un buen mantenimiento, esta pueda llegar a durar más tiempo.

Por otro lado, si estos resultados se representan en una [tabla de retorno de inversión](#), esta recuperación se ve reflejada un periodo mayor, debido a que este considera el valor presente neto, TIR, tasa de descuento y un incremento en el costo de energía.

Dando como resultado un [retorno de inversión en 30.06 años](#), donde el valor presente neto (VPN), se considera mayor a \$0.- por lo cual el proyecto es viable, así mismo se considera que si la TIR es igual o mayor a la tasa de descuento, el proyecto sigue siendo viable.

Tabla A.2 Retorno de inversión

conceptos		0
Ahorros / FLUJO MONETARIO		-\$ 14,500.00
VP / VALOR PRESENTE		
crystal		-\$ 9,000.00
panel cemento		-\$ 4,300.00
instalacion		-\$ 1,200.00
Costos totales / TORRE		-\$ 14,500.00
VPN		\$ 603.23
Tiempo de recuperación de la Inversión		-\$ 10,081.72
TIR		6.65%
tasa de descuento		30.06
	6.5%	
Escenario 1	\$	-
Escenario 2	\$	-
Ahorro / que dejo de pagar	\$	1,397.58
var anual precios cfe		
		3.84%

Si se tuvieran dos tipos de torres, estas se analizarían de la misma manera y las que tuvieran mayores porcentajes en la TIR o VPN, o menor tiempo de recuperación, sería la más viable.

Por otro lado, otra manera de interpretar los resultados y saber si el proyecto esta abonando algo a la sustentabilidad, se pueden realizar cálculos de emisión de dióxido de carbono y a su vez convertirlo en áreas verdes.

El proyecto ahorra [6370watts](#) que equivalen a [3.18 ton de dióxido de carbono](#) (SEMADET, 2022). Estos resultados convertidos a equivalentes, según la EPA, 2022 (Agencia de protección ambiental de Estados Unidos), se representan en la [Figura A.1](#)



Figura A.1 equivalencia de emisiones CO₂
Fuente: EPA (2022)

Con estos valores, nos damos cuenta de que no solo ayuda a un ahorro económico y energético en la vivienda, si no que ayuda al medio ambiente.

Anexo 2.- Cartas de vinculación

Se presentan algunas de las cartas de vinculación, de las asesorías que se tuvieron con los expertos durante el proceso del TOG

Zapopan, Jalisco a 10 de mayo de 2022

A quien corresponda
Programa de becas nacionales CONACYT

Por medio de la presente hago constar que, durante el semestre de enero-mayo 2022 se tuvo contacto con la alumna de maestría en proyectos y edificación sustentables del Instituto Tecnológicos y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), **Rosa María Chavez Camacho**. Donde se apoyó con asesorías, relativas a complementar la investigación para su trabajo de obtención de grado (TOG), con el título:

“Implementación de prototipo de torre de enfriamiento para regular el confort térmico en la ZMG”

El contacto se realizó de manera virtual, mediante la plataforma meet, donde se asesoró en el proceso de la simulación numérica mediante el software Design Builder, para establecer parámetros de simulación del caso de estudio e interpretar resultados de salida.

Se escribe la presente a petición de la interesada, para los fines establecidos por ésta

Atentamente,



Dr. Aníbal Luna león
Profesor-Investigador

Universidad Autónoma de Baja California
Facultad de Arquitectura y Diseño

Dr. Aníbal Luna León

Zapopan, Jalisco a 10 de mayo de 2022

A quien corresponda


Programa de becas nacionales CONACYT

Por medio de la presente hago constar que, durante el proceso de la maestría desde el año 2021 al 2022, se asesoró en varias ocasiones a la alumna de maestría en proyectos y edificación sustentables del Instituto Tecnológicos y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), **Rosa María Chavez Camacho**. Donde se apoyo con algunas asesorías, relativas a complementar la investigación para su trabajo de obtención de grado (TOG), con el título *Implementación de prototipo de torre de enfriamiento para regular el confort térmico en la ZMG*.

El contacto se realizó de manera virtual y presencial, donde se asesoro a la interesada sobre temas de: procesos y selección de metodología que se utilizó en el TOG de Ileana Briceño, sobre *“prototipo de torre de viento para enfriamiento hibrido en clima cálido”*, además se tuvieron diferentes asesorías relacionadas con el tema de *ventilación y renovación de aire*, durante los últimos semestres de la maestría, además de complementar la información con algunas tablas de Excel para la realización de cálculos.

Se escribe la presente a petición de la interesada, para los fines establecidos por esta.

Atentamente,



Mtro. Francisco Alvarez Partida
Profesor – Investigador Universidad Iteso.

Mtro. Francisco Alvarez



A quien corresponda

Programa de becas nacionales CONACYT

Por medio de la presente hago constar que, durante el semestre de enero-mayo 2022 se tuvo contacto con la alumna de maestría en proyectos y edificación sustentables del Instituto Tecnológicos y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), *Rosa María Chávez Camacho*. Donde se apoyo con algunas asesorías, relativas a complementar la investigación para su trabajo de obtención de grado (TOG), con el título *Implementación de prototipo de torre de enfriamiento para regular el confort térmico en la ZMG*.

El contacto se realizo de manera virtual, mediante la plataforma de Teams, donde se asesoró a la interesada sobre el proceso y tomas de decisiones del TOG llamado *sistema experimental de acondicionamiento termico mediante manejo microclimatico para la vivienda en Culiacan*.

Se escribe la presente a petición de la interesada, para los fines establecidos por esta

Atentamente,

ATTE.

D.P.E.A. Antonio Penagos Arenas



PENAGOS
Arte Arquitectura
Sustentable

Referencias

- Baumeister, D. (2013). *Biomimicry resource handbook*. Misoula, MT USA: Biomimicry.
- Bioclimarq (2016)
- Briceño Benard, I. (2018). *Prototipo de sistema de torre de viento para enfriamiento habitacional híbrido en clima cálido*. Tlaquepaque.
- Brown, G. (1994). *Sol, luz y viento*. México: Trillas.
- Cao, L. (05 de Septiembre de 2020). ¿Cómo funciona un muro Trombe? *ArchDaily*. Obtenido de https://www.archdaily.mx/mx/946740/como-funciona-un-muro-trombe?ad_source=search&ad_medium=search_result_all
- CIBSE. (2005). *Natural ventilation un non-domestic buildings*. Carbon trust.
- Climate Consultant . (16 de January de 2020).
- CONAGUA. (9 de Marzo de 2022). Normales Climatológicas . Guadalajara, Jalisco, México. Obtenido de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>
- CONAVI. (2017). *Código de Edificación de vivienda*. México: Secretaria de desarrollo agrario, territorial y urbano .
- CONAVI, S. (2008). *Desarrollo habitacional sustentable ante el cambio climático*. Obtenido de http://centro.paot.org.mx/documentos/conavi/Programa_Especifico_de_Desarrollo_Habitacion_al_Sustentable_ante_el_Cambio_Climatico.pdf
- CONUEE. (2020). *Clasificación de climas y su aplicación a la norma para envolventes de la vivienda: notas para su discusión* . México.
- Del Rio López, D., Anaya, S., & Bravo, T. (2006). *Entre adobe, zacate y tejas*. Guadalajara, Jalisco: Secretaría de Cultura . Obtenido de <https://sc.jalisco.gob.mx/sites/sc.jalisco.gob.mx/files/14entreadobesy.pdf>
- DESIGN BUILDER. (15 de Abril de 2022). *DESIGN BUILDER*. Obtenido de <https://www.designbuilder-lat.com/caracteristicas/descripcion-general>
- Durán, G. E. (S.F.). Muro Trombe. *Habitar Sustentable*.
- EPA. (24 de Julio de 2022). Obtenido de <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/calculador-de-equivalencias-de-gases-de-efecto-invernadero#results>
- Florentino, C. (August de 2021). *Biomimicry: una epistemología en construcción*. Obtenido de Researchgate: https://www.researchgate.net/publication/354183083_Biomimicry_una_epistemologia_en_construccion
- Franco, J. (5 de enero de 2011). Obtenido de <https://www.archdaily.mx/mx/02-68622/en-detalle-muro-trombe>

- Fuentes, V. (2004). *Clima y arquitectura*. México: UAM Azcapotzalco.
- Fuentes, V., & Rodríguez, M. (2004). *Ventilación natural, cálculos básicos para arquitectura*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Gamboa H., J. D., Rosillo P., M. E., Herrera C., C. A., Lopez B., O., & Iglesias, V. (2011). *Confort ambiental en vivienda de interes social en Cali*. Cali, Colombia : Universidad del Valle .
- Garzon, B. (2011). *Arquitectura bioclimática*. Nobuko. Obtenido de <https://elibro-net.ezproxy.iteso.mx/es/ereader/iteso/77681?page=18>
- Google Maps. (2022). Recuperado el enero de 2022, de <https://www.google.com.mx/maps/place/20%C2%B045'02.0%22N+103%C2%B023'36.2%22W/@20.7497744,-103.392727,17.17z/data=!4m6!3m5!1s0x8428af861d6203e3:0xaa42c3765e3dacb9!7e2!8m2!3d20.7505501!4d-103.3933901>
- Gutierrez, N. C. (2016). Biomimetismo: Principios naturales para la construcción sustentable. En *Aportes a la sustentabilidad, Una mirada desde la gestión del territorio y los recursos naturales* (págs. 180-197). Guadalajara.
- Heywood, H. (2016). *101 reglas básicas para una arquitectura de bajo consumo energético*. España: Gustavo Gili.
- Huerta, L. (13 de Junio de 2017). Técnicas Biomiméticas aplicadas a la arquitectura. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de https://oa.upm.es/47500/1/TFG_Huerta_de_Fernand_Lucia.pdf
- IIEG, Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco. (2010). *Diez Problemas de la Población en Jalisco: Una Perspectiva Sociodemográfica*. Guadalajara.
- IMEPLAN. (2015). Obtenido de <https://www.imeplan.mx/en/ciudad>
- INEGI. (2008). *Viviendas Particulares Habitadas*. México.
- INEGI. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Jimenez, P. (1998). *Simplificación administrativa y promoción de vivienda popular social*. México, Toluca: Instituto de Administración pública del estado de México AC.
- Klein, J. (29 de marzo de 2019). *New York Times*. Obtenido de <https://www.nytimes.com/es/2019/03/29/espanol/termitas-diseno-construcciones.html>
- León Vázquez (2013). Parámetros de diseño de la chimenea solar. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona
- León Vázquez (2017). La chimenea solar. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona
- Mehdi N., Dehghani-sanij, & Sayigh, A. (2014). *Wind Towers : Architecture, Climate and Sustainability*. Brighton, UK: Springer. Obtenido de <https://search-ebshost->

com.ezproxy.iteso.mx/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=792131&lang=es&site=ehost-live&scope=site

- Meléndez, S. J. (2017). *Fachadas con energía renovable*. México: Trillas.
- Moreno, E. (1995). *La vivienda en la zona metropolitana de Guadalajara*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- Navarro Urquia, J. (enero de 2020). Análisis del desempeño térmico, hidrológico y estructural del material de tezontle sobrepuesto en las azoteas de vivienda existente en el Área Metropolitana de Guadalajara. Tlaquepaque, Jalisco, México. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11117/6286>
- Neila-González, F. J. (2004). *Arquitectura Bioclimática*. Madrid: Munilla-Lería.
- Núñez, R., Aramburu, F., & Botrán, C. (2014). *Bioclimática, sostenibilidad y ahorro de energía: Manual de Acondicionamiento Térmico*. España: CEU.
- ONU. (25 de Septiembre de 2015). Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
- Orozco Ochoa, A. (2015). *Area metropolitana de Guadalajara, Expansión urbana*. México: IMEPLAN.
- Padilla, A. (19 de Abril de 2016). *Aire en la ZMG*. Obtenido de <https://airedelazmg.wordpress.com/2016/04/19/como-crece-la-zmg/>
- Pawlyn, M. (2011). *Biomimicry in Architecture*. London: RIBA.
- Pearce, M. (s.f.). Obtenido de <http://www.mickpearce.com/Eastgate.html>
- proyectos, S. y. (febrero de 2022). *Simulaciones y proyectos*. Obtenido de <https://www.simulacionesyproyectos.com/blog-ingenieria-arquitectura/clasificacion-climatica/#:~:text=Creada%20inicialmente%20por%20el%20climat%C3%B3logo,las%20temperaturas%20y%20las%20precipitaciones>
- Ramos, L., & Montenegro, M. (18 de enero de 2011). La generación de energía eléctrica en México. México. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222012000400012
- SEMADET, S. d. (2022). *Calculadora de emisiones*. Obtenido de <https://siga.jalisco.gob.mx/calculadoraCO/consulta2.htm>
- SENER. (2020). *Balance Nacional de Energía 2019*. México.
- Serra Florensa, R., & Coch Roura, H. (1995). *Arquitectura y energía natural*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Serra, R. (1999). *arquitectura y climas*. Barcelona: Gustavi Gili, SA.
- Silva Treviño, C. J., Esparza López, C. J., & Ojeda Sanchez, J. A. (2018). Análisis experimental de medios porosos en cubiertas de concreto para un clima cálido sub-húmedo. *2do congreso internacional sobre sustentabilidad en los hábitats*. Guadalajara.

Soberanes, A. H. (Noviembre de 2016). Sistema Experimental de Acondicionamiento Térmico Mediante Manejo Microclimático para Vivienda de Culiacán”. Tlaquepaque, Jalisco, Mexico: REI ITESO.

Tudela, F. (1982). *Ecodiseño* . México.

Tudela, F. (1982). *Ecodiseño de asentamientos humanos en zonas calidas*. México: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

Universidad de Guadalajara. (2013). Vivienda social en la zona metropolitana de Guadalajara. *GEOCALLI*, 27.

VCRL. (6 de marzo de 2017). *Taringa*. Obtenido de https://www.taringa.net/+info/10-edificios-impresionantes-inspirados-en-la-naturaleza_ui9bv

Yeang, K. (1995). *Proyectar con la naturaleza*. Barcelona: Gustavo Gil, SA.