

DISEÑO DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL CON CRITERIOS PASIVOS.

CASO DE ESTUDIO VILLAHERMOSA

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE ARQUITECTO PRESENTA:

LORENA BATA ALBERTOS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ARQUITECTURA, CIUDAD UNIVERSITARIA
LABORATORIO DE ENTORNOS SOSTENIBLES (LES)

CDMX, OCTUBRE 2023

COMITÉ TUTORIAL

TUTOR PRINCIPAL | M. en I. Sean Rodolfo Sebastián
Vilchis Martínez

ASESORES | Dra. Adriana Lira Oliver
Dra. Maribel Jaimes Torres





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

El más grande de los libros, es decir, el universo,
permanece abierto ante nuestros ojos.

LEONARDO DA VINCI

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis fue realizada en el Laboratorio de Entornos Sostenibles de la Facultad de Arquitectura de la UNAM, instancia a quien se agradece las facilidades técnicas para llevar a cabo este proyecto.

A Rodolfo por tu excelente trabajo como asesor, maestro y amigo. Tu paciencia y dedicación para ayudarme a desarrollar este documento es sólo una pequeña muestra de la gran vocación que tienes como académico.

A Adriana, desde la primera clase que tuve contigo has sido una inspiración no sólo como arquitecta y académica si no como persona. Lograste hacer que el laboratorio sea un espacio de aprendizaje, dedicación, humor negro, estrés compartido y muchas risas. Eres un ejemplo a seguir.

A mis padres les doy las gracias por darme su amor incondicional y sabiduría en todo momento y por aguantar mi bellísimo carácter. Han sido un gran apoyo en todo este viaje.

Al guapo de mi hermano que siempre ha sido mi cómplice y confidente, has estado a mi lado en cada paso que he dado. Te quiero y admiro muchísimo.

A mis presonas favoritas, mis amigos, Aline, Juan, Beatriz, Natalia, Andrea y Estefany, ustedes siempre me han acompañado en todas mis buenas y malas ideas, con risas, lágrimas y mucho vodka. Todos ustedes siempre han sido y serán parte de mi familia.

Y finalmente a Karina, el día que te fuiste no sólo perdí una amiga, perdí también una hermana. Fuiste una parte importante en mi vida durante muchos años, siempre te recordaré con cariño.

RESUMEN

Este trabajo de investigación tuvo como propósito atender a lo pactado en el Acuerdo de París por la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en donde México se comprometió a tomar acciones para ayudar a mitigar el calentamiento global de manera que se entre éstas acciones, el gobierno elaboró programas enfocados a viviendas sociales de bajo consumo energético.

En este sentido, se realizó una investigación para poder ubicar una ciudad de la República mexicana que cuente con un clima desfavorable la cual fue la ciudad de Villahermosa ya que cuenta con una temperatura muy alta así como con un porcentaje de humedad mayor. Posteriormente, se analizaron las estrategias bioclimáticas que se pudieran implementar para elaborar el diseño de una vivienda de interés social que contara con una temperatura agradable térmicamente sin necesidad de hacer uso de equipos de aire acondicionado y de esta manera, tener un bajo consumo energético. Por último, se realizó un estudio de asoleamiento, y 2 simulaciones térmicas para comprobar si el diseño podía ayudar a que la vivienda lograra permanecer con una temperatura de comodidad térmica el mayor tiempo posible.

En el proceso de comprobación, se analizaron los 6 días con clima más crítico durante el año junto con las fechas de los solsticios y equinoccios en donde se observó que el diseño de la vivienda junto con los elementos propuestos (colindancias, vegetación y orientación) ayudan a que las fachadas de la

vivienda se encuentren sombreadas durante los meses con temperaturas altas y durante los meses de enero, febrero y diciembre cuyas temperaturas son bajas, la fachada principal tenga incidencia solar durante todo el día. En las simulaciones con las ventanas cerradas, la vivienda tiene un amortiguamiento térmico de más del 50% en la mayoría de los días analizados y durante los meses más fríos (enero y diciembre) el edificio se encuentra dentro del intervalo de comodidad térmica de la ubicación. En la simulación con las ventanas abiertas se encontró que la vivienda cuenta con un mayor número de horas de comodidad térmica y un desfase térmico durante 9 de los 10 días analizados.

Como trabajo futuro se propone realizar un estudio de este prototipo de vivienda con mayor profundidad en donde las simulaciones incluyan a los equipos necesarios para habitar el edificio, a los usuarios y que estos tengan control sobre las ventanas; también es necesario mejorar el diseño en cuanto a diferentes sistemas constructivos, ubicación de las ventanas, vegetación; analizar la influencia de la humedad en el edificio y de ser necesario la implementación de equipos de aire acondicionado y como éste aumenta el consumo energético.

ABSTRACT

The purpose of this research work was to comply with what was agreed in the Paris Agreement by the United Nations Framework Convention on Climate Change where Mexico promised to take actions to help mitigate global warming so that among these actions, the government developed programs focused on low energy consumption social housing.

In this sense, an investigation was carried out to be able to locate a city of the Mexican Republic that has an unfavorable climate, which was the city of Villahermosa since it has a very high temperature as well as a higher percentage of humidity. Subsequently, the bioclimatic strategies that could be implemented to develop the design of a social housing that would have a pleasant thermal temperature without the need to use air conditioning equipment and thus have low energy consumption were analyzed. Finally, a study of sunlight was carried out, and 2 thermal simulations to verify if the design could help the house to remain at a thermal comfort temperature for as long as possible.

In the verification process, the 6 days with the most critical weather during the year were analyzed together with the dates of the solstices and equinoxes where it was observed that the design of the house together with the proposed elements (adjacent buildings, vegetation and orientation) help Due to the fact that the facades of the house are shaded during the months with high temperatures and during the months of January, February and December when temperatures are

low, the main facade has solar incidence throughout the day. In the simulations with the windows closed, the house has a thermal buffer of more than 50% in most of the days analyzed and during the coldest months (January and December) the building is within the thermal comfort interval of the location. In the simulation with the windows open, it was found that the dwelling has a greater number of hours of thermal comfort and a thermal lag during 9 of the 10 days analyzed.

As future work, it is proposed to carry out a study of this housing prototype in greater depth where the simulations include the necessary equipment to inhabit the building, the users and that they have control over the windows; it is also necessary to improve the design in terms of different construction systems, location of windows, vegetation; analyze the influence of humidity in the building and, if necessary, the implementation of air conditioning equipment and how it increases energy consumption.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
ÍNDICE	8
1 INTRODUCCIÓN	12
2 ANTECEDENTES	13
2 1 Convención Marco de Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático	13
2 1.1 Acuerdo de París	
2 2 Programas de vivienda de interés social enfocados en bajo consumo energético	14
2 2.1 Namas y nama de vivienda sustentable	
2 2.2 INFONAVIT	
2 2.3 SHF	
2 3 Gobierno Suizo	16
2 4 Consumo energético actual en vivienda en México	16
3 MARCO TEÓRICO	18
3 1 Variables climáticas	18
3 1.1 Temperatura	
3 1.2 Humedad	
3 1.3 Viento	
3 1.4 Radiación solar	
3 1.5 Presión atmosférica	
3 2 Comodidad térmica	23
3 2.1 ASHRAE	
3 3 Propiedades físicas de los materiales	24
3 3.1 Propiedades termofísicas	
3 3.2 Propiedades ópticas	
3 3.3 Elementos transparentes y opacos	
3 4 Procesos de transferencia de calor en edificios	25

3 4.1	Transferencia de calor por conducción	
3 4.2	Transferencia de calor por convección	
3 4.3	Transferencia de calor por radiación	
3 5	Mecánica de la ventilación natural	26
3 5.1	Principios básicos	
3 5.2	Flujo de aire sobre la superficie exterior y fuerzas de arrastre	
3 5.3	Mecánica de la ventilación en vanos	
3 6	Estrategias bioclimáticas	28
4	ANÁLISIS DE ESTADO DE ARTE	29
4 1	Propuestas de viviendas análogas	29
4 1.1	Vivienda vernácula	
4 1.2	Reinterpretación de la arquitectura vernácula	
4 1.3	Arquitectura vernácula en México	
4 2	Tipo de vivienda actual	31
4 2.1	Entrevistas	
4 2.2	Vivienda en Villahermosa	
4 3	Mejoramiento de vivienda	32
4 3.1	Casas INFONAVIT	
5	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	34
5 1	Conclusión del estado de arte	34
5 2	Pregunta de investigación	34
5 3	Hipótesis	35
5 4	Objetivos general y específicos	35
5 4.1	Objetivo General	
5 4.2	Objetivos Específicos	
5 5	Justificación	35
5 5.1	Características ambientales	
5 5.2	Características socioeconómicas	
6	METODOLOGÍA	38
6 1	Etapas de investigación y análisis	38
6 1.1	Análisis de variables climáticas	
6 1.2	Hoja de isorequeriminetos	

6 2	Etapa de desarrollo	43
6 2.1	Diseño del edificio	
6 2.2	Propuesta del terreno	
6 2.3	PROPIEDADES GEOMÉTRICAS Y DISEÑO ARQUITECTÓNICO	
6 2.4	Análisis de estrategias bioclimáticas aplicables	
6 3	Etapa de comprobación	48
6 3.1	Estudio de asoleamiento	
6 3.2	Transferencia de calor	
6 3.3	Análisis de ventilación natural	
6 4	Resultados a obtener	51
7	RESULTADOS	52
7 1	Estudio de asoleamiento	52
7 1.1	16 de enero, día más fresco del año	
7 1.2	26 de enero, día más nublado del año	
7 1.3	15 de febrero, día con más viento del año	
7 1.4	10 de marzo, día más brillante del año	
7 1.5	20 de marzo, equinoccio de primavera	
7 1.6	28 de mayo, día más cálido del año	
7 1.7	21 de junio, solsticio de verano	
7 1.8	03 de septiembre, día con menos viento en el año	
7 1.9	22 de septiembre, equinoccio de otoño	
7 1.10	21 de diciembre, solsticio de invierno	
7 2	Simulación térmica	60
7 2.1	16 de enero, día más fresco del año	
7 2.2	26 de enero, día más nublado del año	
7 2.3	15 de febrero, día con más viento del año	
7 2.4	10 de marzo, día más brillante del año	
7 2.5	20 de marzo, equinoccio de primavera	
7 2.6	28 de mayo, día más cálido del año	
7 2.7	21 de junio, solsticio de verano	
7 2.8	03 de septiembre, día con menos viento en el año	
7 2.9	22 de septiembre, equinoccio de otoño	
7 2.10	21 de diciembre, solsticio de invierno	
7 3	Simulación de ventilación natural	63
7 3.1	16 de enero, día más fresco del año	
7 3.2	26 de enero, día más nublado del año	
7 3.3	15 de febrero, día con más viento del año	

7 3.4	10 de marzo, día más brillante del año	
7 3.5	20 de marzo, equinoccio de primavera	
7 3.6	28 de mayo, día más cálido del año	
7 3.7	21 de junio, solsticio de verano	
7 3.8	03 de septiembre, día con menos viento en el año	
7 3.9	22 de septiembre, equinoccio de otoño	
7 3.10	21 de diciembre, solsticio de invierno	
7 4	Resumen de resultados	74
7 5	Discusión	74
7 5.1	Día más fresco del año, 16 de enero	
7 5.2	Día más nublado del año, 26 de enero	
7 5.3	Día con más viento del año, 15 de febrero	
7 5.4	Día más brillante del año, 10 de marzo	
7 5.5	Equinoccio de primavera, 20 de marzo	
7 5.6	Día más cálido del año, 28 de mayo	
7 5.7	Solsticio de verano, 21 de junio	
7 5.8	Día con menos viento en el año, 03 de septiembre	
7 5.9	Equinoccio de otoño, 22 de septiembre	
7 5.10	Solsticio de invierno, 21 de diciembre	
8	CONCLUSIÓN	76
	APÉNDICE	80
	BIBLIOGRAFÍA	94
	REFERENCIAS	97

Este trabajo de investigación tuvo como objetivo desarrollar el diseño de una vivienda de interés social que fuera de bajo consumo energético por medio de un diseño pasivo con el fin de reducir el gasto económico generado por el uso de equipos de ventilación mecánica, de esta manera, también reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y ayudar a frenar un poco el calentamiento global.

El proyecto se dividió en dos partes; la primera consistió en hacer un estudio en donde se pudiera determinar qué ciudad de la república mexicana cuenta con un clima cálido húmedo desfavorable en donde existe la probabilidad de que el consumo energético sea mayor debido al uso de equipos de aire acondicionado.

Posteriormente se hizo la recopilación de la información climatológica con la que se analizó cuáles son las fechas con las temperaturas más críticas durante el año y cuál sería la temperatura ideal al interior de una vivienda. Al mismo tiempo, se aplicó el archivo climático en las cartas psicrométricas de cada fecha para determinar que estrategias bioclimáticas serían aplicables al diseño arquitectónico de la vivienda.

La segunda parte del proyecto consistió en realizar el diseño de la vivienda haciendo uso de sistemas pasivos, realizar un estudio de asoleamiento y finalmente, simulaciones energéticas que comprobaran si se contaba con un mayor número de horas de comodidad térmica al interior de la vivienda.

2 |

Debido al cambio climático, ha sido necesario que los gobiernos de los países tomen la iniciativa para implementar acciones que ayuden a mitigar el calentamiento global sin poner en riesgo la economía de los habitantes. A lo largo de este capítulo se describen brevemente algunos tratados que se han llevado a cabo a nivel global y las acciones que se han implementado en México para cumplir con estos tratados. Posteriormente se explica la participación del gobierno a suizo para apoyar a México económicamente en diferentes ámbitos con un solo proyecto y finalmente se mostrará un estudio realizado para estimar el consumo energético en cada municipio y, junto con los datos climáticos, saber qué municipios tienen mayor necesidad de usar ventilación mecánica.

De esta manera, para este documento se desarrolla una propuesta de diseño de vivienda que sea de bajo consumo energético.

2 | 1 CONVENCION MARCO DE NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMATICO

El avance del cambio climático y el calentamiento global han tomado mayor importancia debido a que la situación ha llegado a un punto en el que ya no es reversible. Por tal motivo, se están tratando de implementar diversas medidas para disminuir la velocidad en que ambos fenómenos modifican el medio ambiente. Con el fin de reducir la rapidez en que el

ANTECEDENTES

cambio del clima en la Tierra se está dando; en 1992, en la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), se reconoce éste problema y se toma como objetivo estabilizar las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que es una de las causas que contribuyen al calentamiento global, en un periodo de tiempo en donde los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio sin afectar la producción de alimentos ni el desarrollo económico. (Naciones Unidas, 1992) (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s. f.)

A partir de esta convención, las 195 Partes de la Convención (naciones y territorios), han realizado una conferencia llamada la Conferencia de las Partes (COP) la cual es un órgano que se encarga de supervisar y ver que se apliquen los puntos tratados en la convención, así como tomar decisiones de cómo se debe abordar el tema.

2 | 1.1 ACUERDO DE PARÍS

El 21er período de sesiones de la COP (COP 21), celebrado en París, Francia en 2015, fue histórico por su resultado ya que se alcanzó el primer acuerdo global de cambio climático, de carácter jurídicamente vinculante, por el que todos los países se comprometieron a participar en las reducciones globales de GEI. (Naciones Unidas, 2015).

En este acuerdo, llamado Acuerdo de París, se establece como

objetivo principal evitar el aumento de la temperatura media global del planeta de manera que ésta no supere los 2 °C respecto a los niveles preindustriales. Sin embargo, esta meta no es lo suficientemente ambiciosa por lo que se alienta a las Partes a que procuren limitar el aumento a 1.5°. Para lograr este objetivo, se abordan varios puntos clave entre los cuales destacan el compromiso de los 195 países de proporcionar informes cada cinco años a partir de 2020, de los planes de acción que van a llevar a cabo, de manera que cada país fija sus propias metas en cuanto a la manera de cómo van a hacer frente al cambio climático. Esto se debe a que las normas aplicadas por algunos países pueden ser inadecuadas y representar un costo económico y social injustificado para otros países, en particular los países en desarrollo. Por otra parte, también se toma en cuenta que históricamente la mayor parte de las emisiones de GEI han sido por parte de los países desarrollados y que las emisiones de los países en desarrollo son relativamente reducidas; por lo tanto, los primeros deben tener responsabilidad y liderazgo y apoyar de manera financiera a los segundos. (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico , s. f.).

2 | 2 PROGRAMAS DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL ENFOCADOS EN BAJO CONSUMO ENERGÉTICO

2 | 2.1 NAMAS Y NAMA DE VIVIENDA SUSTENTABLE

Dentro del Plan de Acción de Bali, adoptado en 2007 en el marco de la Conferencia de las Partes 13 (COP13) de la CMNUCC y la tercera Reunión de las Partes del Protocolo de Kioto (CMP3), se formularon las Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMA) que son acciones a las que los diferentes países se comprometen a cumplir para reducir las emisiones de GEI. Estas NAMAs ayudan a conocer las iniciativas que se están desarrollando en los países y, al registrarlas, la COP puede supervisar qué es lo que se está haciendo, las fechas en que se están llevando a cabo las acciones y también se pueden canalizar los posibles apoyos por parte de otros países. (INECC, 2018).

En México en el año 2007, comenzó un programa piloto de financiamiento que consiste en ayudar a disminuir el consumo de energía eléctrica, gas y agua. El apoyo que brindan estos programas está dirigido a un sector limitado del mercado de vivienda nueva, aparte de que logran niveles modestos de eficiencia por lo que desde el 2009, el Gobierno de México ha

impulsado la iniciativa del desarrollo de un modelo de vivienda sustentable que, posteriormente para el 2013, dio lugar a el desarrollo de la primer NAMA de Vivienda Sustentable por la CONAVI (Comisión Nacional de Vivienda), con el apoyo de la Cooperación Alemana al Desarrollo (GIZ) GmbH; esta NAMA promueve el desarrollo de vivienda nueva con diseño bioclimático para que, de esta manera se puedan mitigar las emisiones de GEI al proveer un financiamiento adicional para mejorar la eficiencia energética y disminuir el consumo de combustibles fósiles y del agua. Lo cual se logra a través de la implementación de ecotecnologías, mejoras en el diseño arquitectónico y la utilización de materiales constructivos eficientes. Sin embargo, para que se logren los resultados deseados, se requieren fondos adicionales con los que el gobierno de México no cuenta, por lo tanto, es necesario el financiamiento climático y donantes internacionales que ayuden a apalancar la inversión privada. (CONAVI, 2013).

2 | 2.2 INFONAVIT

El Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT) es un instituto que vincula la participación del gobierno con las empresas y sus trabajadores para financiar créditos hipotecarios entre los que se encuentra la Hipoteca Verde que es un crédito extra para que los trabajadores puedan adquirir ecotecnologías que se puedan implementar en las viviendas para que, de esta manera disminuyan su consumo energético, de agua y gas dando como resultado una mejor calidad de vida para los derechohabientes al disminuir su gasto familiar y al mismo tiempo se optimizan los recursos y se mitigan las emisiones de CO₂ al medio ambiente. (INFONAVIT I. d., 2020) (SEMARNAT, s. f.)

Existió un apoyo del Gobierno Federal llamado Subsidio Ésta es tu Casa el cual es un monto excedente sumado al crédito otorgado por INFONAVIT el cual permite a las familias de menor ingreso (<2.6 veces el salario mínimo) adquirir una vivienda sustentable. Sin embargo, este programa fue suspendido. (SEMARNAT, s. f.)

Posteriormente el INFONAVIT, para mejorar la Hipoteca Verde, creó el Sisevive-Ecocasa (Sistema de Evaluación de la Vivienda Verde) que permite evaluar cualquier vivienda ubicada en México en donde se toma en cuenta integralmente: elementos del diseño, el clima, la orientación, las características constructivas y tecnologías. (INFONAVIT I. N., 2014)

Asimismo, teniendo como premisa el confort térmico y el consumo racional de agua, el sistema otorga una mejor cali-

ficación a aquellas viviendas que tienen una menor demanda de energía y agua respecto a una vivienda de referencia. De esta manera, es posible saber qué viviendas son más confortables y de cuánto es el ahorro energético, de agua y de gas. La calificación va de la letra A a la letra G (Fig. 1.); entre más alta sea la calificación (A es la más alta), mayor será el ahorro energético lo cual hará que se emitan menos GEI.

El método de cálculo del Sisevive-Ecocasa se basa en la comparación de la vivienda a construir respecto a una vivienda diseñada y equipada de manera convencional a la cual se denomina línea base. Por lo tanto, la calificación final se calcula en función del diseño arquitectónico, sistemas constructivos, materiales y tecnologías incorporados a la nueva vivienda. (Sociedad Hipotecaria Federal (SHF), INFONAVIT, Registro Único de Vivienda (RUV), 2015)

2 | 2.3 SHF

A partir del 2013, la Sociedad Hipotecaria Federal (SHF) en conjunto con organismos internacionales creó un programa llamado EcoCasa que es un financiamiento para la oferta de vivienda sustentable para contribuir con el compromiso de cambio climático que tiene México con los Programas de vivienda Sustentable que promueven los Organismos Nacionales de Vivienda (ONAVIs). (SHF, 2018)

El portafolio de SHF, está formado por 4 esquemas que permitan a los desarrolladores lograr sus metas los cuales son: EcoCasa, NAMA facility, RENTA y LAIF (Fig. 2.).



Fig. 1. Escala de calificación de Sisevive-Ecocasa. (Sociedad Hipotecaria Federal (SHF), INFONAVIT, Registro Único de Vivienda (RUV), 2015)

- ECO CASA

A través del Passivhaus Institut (PHI) se calculó para México el balance de energía del 'desempeño integral de la vivienda', cuya escala se puede ajustar según el tamaño de unidad, basándose en las regiones bioclimáticas del país, para tres tipos de vivienda: vivienda unifamiliar aislada, vivienda unifamiliar adosada, y vivienda multifamiliar vertical. De igual forma, se desarrollaron para cada tipo de construcción y región

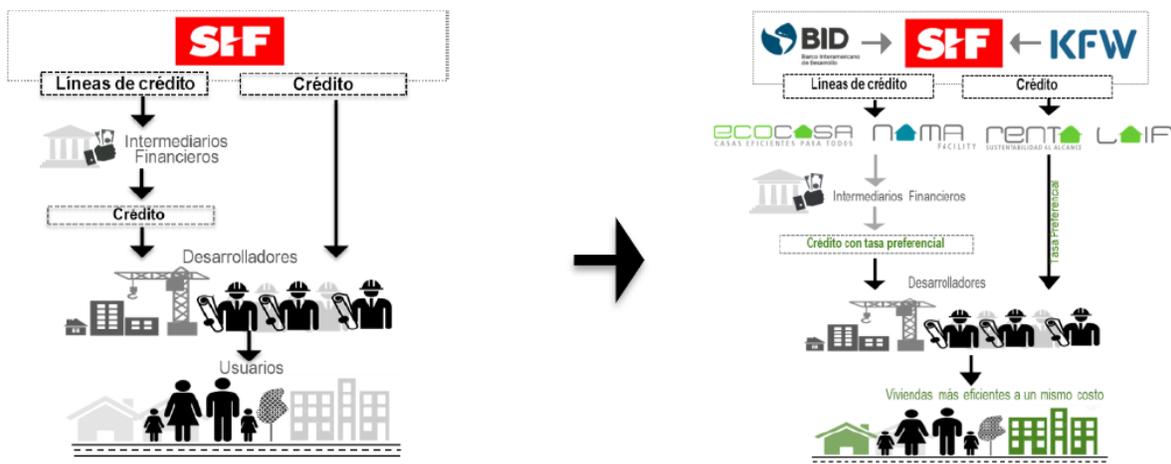


Fig. 2. Comparativa de programas de crédito. (SHF, 2018)

climática, tres valores primarios o ‘estándares’ objetivo de eficiencia, denominados Eco Casa 1, Eco Casa 2 y Eco Casa Max. En donde en el primero se tiene reflejada la eficiencia energética basada en el esquema de Hipoteca Verde, el segundo representa una mayor eficiencia al utilizar aislantes en los muros y electrodomésticos altamente eficientes. Por último, se encentra la Eco Casa Max o Eco Casa 3 que optimiza las medidas anteriores junto con un diseño arquitectónico pasivo que reduce considerablemente la demanda de energía en las viviendas. (CONAVI, 2013)

- NAMA FACILITY

El principal objetivo es facilitar la incorporación de Desarrolladores Pequeños y Medianos (DPyMEs) al mercado de vivienda baja en carbono, mediante con subsidios y apoyo técnico y la eliminación de barreras de inversión y a un mejor acceso a fuentes de financiamiento para la construcción entre 8,000 y 11,000 viviendas que alcancen por lo menos un 20% de reducciones de CO₂e en comparación con una vivienda línea base. (SHF S. H., Gobierno de México, 2018)

- RENTA

Como parte del Programa EcoCasa II y III, la Vivienda en Renta (Vivienda Vertical Sustentable), promueve la implementación de Criterios de Sustentabilidad entre inversionistas y desarrolladores que construyan Vivienda Intra-Urbana en Renta. El potencial de mitigación en este tipo de viviendas resulta muy relevante, pues los consumos energéticos son mayores.

El primer proyecto de vivienda vertical en renta fue aprobado en la Ciudad de México con 35% de reducción de emisiones de CO₂ en comparación con la línea base y el segundo proyecto aprobado en Hermosillo, Sonora, con reducción del 64%. (SHF S. H., Gobierno de México, 2018)

- LAIF

Como parte del programa Eco Casa, el esquema LAIF (Fondo de Inversión de América Latina de la Unión Europea) consiste en un paquete de incentivos financieros y asistencia técnica para apoyar a los desarrolladores de vivienda con el diseño y la construcción de casas eficientes. En general, los criterios de Casa Pasiva están adaptados a todas las condiciones climáticas mundiales, siendo plenamente aplicables a los climas y tradiciones constructivas mexicanos. Los Criterios Casa Pasiva tienen décadas de aplicación en edificios en todo el mundo y ofrecen un sólido punto de partida para el control de calidad de las Medidas de Eficiencia Energética. (SHF S. H., Gobierno de México, 2018) (LAIF, 2013)

2 | 3 GOBIERNO SUIZO

Con el fin de dar seguimiento al Acuerdo de París, y tomando como referencia la NAMA de Vivienda Sustentable, la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, dependencia del gobierno suizo, abrió la licitación “Fortaleciendo capacidades para la eficiencia energética en edificios en América Latina” con ésta, se elegirá un proyecto que reduzca el consumo de energía y provea comodidad térmica en nuevos edificios en zonas climáticas cálidas en Colombia, México, Perú y posiblemente Ecuador. Dicho proyecto debe cumplir con cuatro objetivos específicos que son:

- Creación y fortalecimiento de capacidades en el diseño de edificios
- Creación y fortalecimiento de capacidades tecnológicas
- Creación y fortalecimiento de capacidades de regulación
- Intercambio de conocimientos dentro y entre los cuatro países, así como a nivel global. (COSUDE, 2019).

Para el proyecto de México, Ernst Basler + Partner (EBP es una empresa suiza de consultoría, planificación y construcción) propone dos objetivos para que el proyecto tenga éxito:

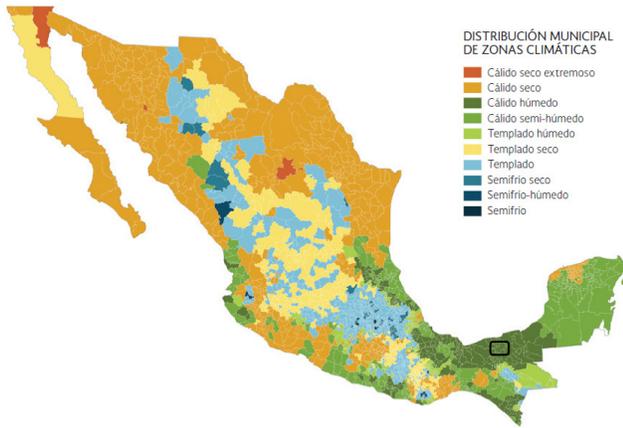
- Proyectos piloto que permitan la aplicación de conocimientos en contextos locales particulares y la amplia difusión de mejores prácticas en el país.
- Estrechas colaboraciones con socios locales del sector público y privado que tengan un genuino interés en el tema y capacidades importantes en áreas relevantes.

Para lograr dichos objetivos proponen colaborar en diferentes ámbitos entre los cuales, la Universidad Nacional Autónoma de México apoyaría en la educación y formación de arquitectos, ingenieros y albañiles. (EBP, 2019)

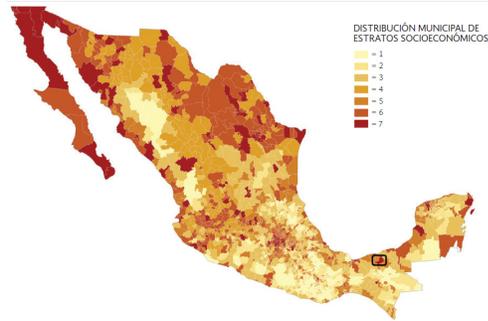
2 | 4 CONSUMO ENERGÉTICO ACTUAL EN VIVIENDA EN MÉXICO

Debido a la ubicación de la República Mexicana, ésta cuenta con diferentes climas y subclimas a lo largo del territorio; de los cuales los más extremos son los climas cálidos de los cuales, el seco que se encuentra principalmente al norte del país y el cálido húmedo en la parte de sureste. (Gráfica 1.) Es principalmente en estos climas, en donde el uso de equipos acondicionado de aire (EAA) aumenta considerablemente, lo cual representa un reto de la política pública para la eficiencia energética en México. Según la Comisión Nacional para el

Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), cerca del 30% del consumo energético en el sector residencial es destinado



Gráfica. 1. Grafica de colores falsos de la República Mexicana con la distribución municipal de las zonas climáticas. (González Osorio & Beele, 2016).



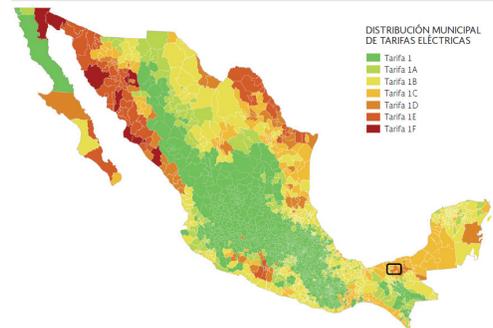
Gráfica. 2. Grafica de colores falsos de la República Mexicana con la distribución municipal de estratos socioeconómicos. (González Osorio & Beele, 2016).

para el confort en las zonas de clima cálido.

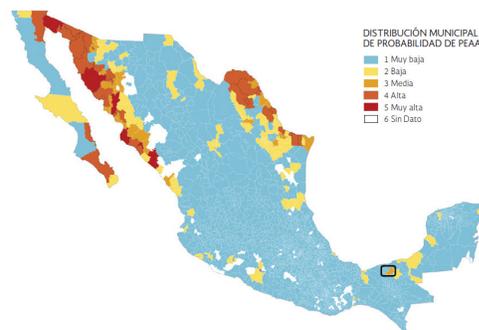
Debido a que existe una carencia de información, en el Estudio de Caracterización del uso de Aire Acondicionado en Vivienda de interés Social se analizaron datos estadísticos de los municipios que conforman la República Mexicana en cuanto al clima, los estratos económicos y las tarifas del consumo energético con los cuales se desarrolló un modelo que permitió establecer la probabilidad que tiene una vivienda de contar con equipo de acondicionamiento de aire o ventilador. Con dicho modelo, se hizo una simulación del número de viviendas que contarán con equipos de climatización en los años 2035 y 2050. (González Osorio & Beele, 2016)

Con la información que proporcionó dicho estudio, se puede observar que los ingresos (Gráfica 2.) y la tarifa eléctrica (Gráfica 3.) son los que determinan el uso de equipos de climatización. En el caso de la zona con un clima cálido húmedo, el municipio de Villahermosa, Tabasco es el que cuenta con una mayor probabilidad de la presencia de EAA en las viviendas (Gráfica 4.). (González Osorio & Beele, 2016)

Fuente: Elaboración propia basada en [Inegi 2015]



Gráfica. 3. Grafica de colores falsos de la República Mexicana con la distribución municipal de tarifas eléctricas. (González Osorio & Beele, 2016).



Gráfica. 4. Grafica de colores falsos de la República Mexicana con la distribución municipal de probabilidad de EAA. (González Osorio & Beele, 2016).

Con el fin de sentar las bases fundamentales teóricas sobre las cuales se sustenta este proyecto, en este capítulo se definen los términos que serán empleados a partir de la siguiente sección del documento que está enfocada en el diseño de la vivienda, el estudio y las simulaciones que comprueben su eficiencia.

3 | 1 VARIABLES CLIMÁTICAS

El medio ambiente cuenta con diferentes elementos que son fundamentales para definir el tipo de clima que existe en una determinada región, de esta manera, dichos elementos tienen diferentes propiedades. Por tal motivo, las diferentes variables climáticas están relacionadas entre sí.

3 | 1.1 TEMPERATURA

La temperatura es una propiedad de los materiales que indica la cantidad de calor sensible que contiene almacenado dicho material, a mayor cantidad de calor, mayor va a ser su temperatura. Normalmente, la temperatura se mide en grados Fahrenheit (°F) en el sistema inglés de medidas o también puede ser grados Celsius o centígrados (°C) siendo ésta la unidad en el sistema internacional (SI). Ambas escalas son definidas por sus puntos de ebullición y fusión (congelamiento) del agua, por lo que se les conocen como escalas de temperatura relativas.

El instrumento que se utiliza para medir la temperatura es el termómetro y su funcionamiento toma como base la ley cero de la termodinámica la cual explica que dos cuerpos en contacto tienden a mantener un equilibrio térmico; de esta manera, cuando el termómetro se encuentra en equilibrio con un objeto, cambia alguna de sus propiedades la cual es la que se mide.

Para este trabajo, la temperatura va a hacer referencia a la cantidad de calor del aire, la cual está directamente relacionada con la situación geográfica del lugar, es decir, la latitud y la altitud.

Existen dos tipos de mediciones de la temperatura en el ambiente: de bulbo seco y de bulbo húmedo. La temperatura de bulbo seco mide el calor sensible que se encuentra en el aire mientras que la temperatura de bulbo húmedo es el resultado de cómo influye la humedad del aire en la temperatura, es decir, la humedad del aire lo refresca de cierta manera por lo tanto la temperatura cambia. (Çengel, 2009) (Rolle, 2006)

3 | 1.2 HUMEDAD

La humedad es la cantidad de agua que se encuentra en los cuerpos, en el caso del aire, éste está compuesto por diferentes gases que se encuentran en el ambiente como lo son el nitrógeno, oxígeno y otros en diferentes cantidades, éstos en conjunto se consideran como una mezcla uniforme

y homogénea llamada aire seco con propiedades definidas. Sin embargo, el aire busca encontrarse en equilibrio con su entorno, el cual por lo general es agua en forma de vapor, de manera que el aire seco en equilibrio con la humedad (aire atmosférico), se logra cuando la velocidad de evaporación del agua es igual a la velocidad de condensación del vapor de agua.

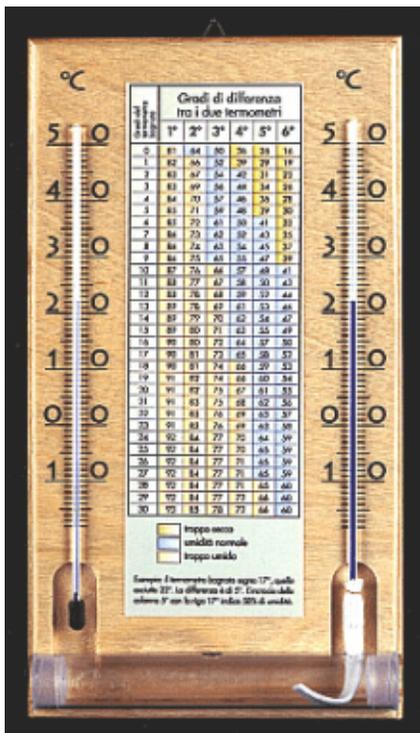


Fig. 3. Psicrómetro con una tabla de doble entrada: temperatura “seca” a la izquierda, y diferencia de temperatura arriba. (editorial, 2019)

La humedad absoluta o específica (ω), es la cantidad de humedad que se encuentra en una unidad de aire seco. Considerando que el aire seco carece de vapor de agua, su humedad es de cero, pero conforme se agrega vapor de agua, la humedad absoluta va a aumentar hasta llegar al punto de saturación; posterior a este punto, el vapor que se agregue se va a condensar.

La humedad relativa (β), es la cantidad de humedad que el aire contiene con respecto a la cantidad máxima que puede contener antes de que se condense el vapor de agua. Si se considera que el aire seco tiene una humedad de cero y la humedad del aire saturado es 1; la humedad relativa es el porcentaje de humedad que contiene el aire atmosférico a una determinada temperatura. De esta manera, la humedad relativa puede variar cuando la temperatura cambie, pero la humedad absoluta permanece constante.

Para conocer la humedad del aire, se pueden utilizar diferentes instrumentos y posteriormente, se hace un cálculo basado en el proceso de saturación adiabática.

Otra manera de medir la humedad es utilizando un termómetro de mecha húmeda el cual es un termómetro de mercurio con el bulbo cubierto con un paño de algodón empapado de agua. Su funcionamiento consiste en la evaporización del agua que contiene el bulbo y de esta manera su temperatura disminuye con respecto a la temperatura del termómetro de bulbo seco; así, la temperatura que muestra no es del aire seco si no del aire atmosférico. Por lo general, se coloca en una base junto con un termómetro de bulbo seco para poder medir ambas temperaturas simultáneamente, a este instrumento se le conoce como psicrómetro. (Lifeder, 2021)

3 | 1.3 VIENTO

Llamamos viento al movimiento del aire en la superficie terrestre, este movimiento se produce por la radiación del sol en conjunto con el movimiento de rotación de la Tierra.

El viento se origina por la diferencia de temperaturas en la atmósfera; ésto se debe a que, en la zona ecuatorial la radiación solar llega con mayor intensidad que en las zonas de los polos. Esto implica una diferencia energética que busca encontrar un equilibrio de manera que, ignorando el movimiento de rotación, el aire menos denso (caliente) asciende en el Ecuador aumentando su presión hasta llegar al límite de

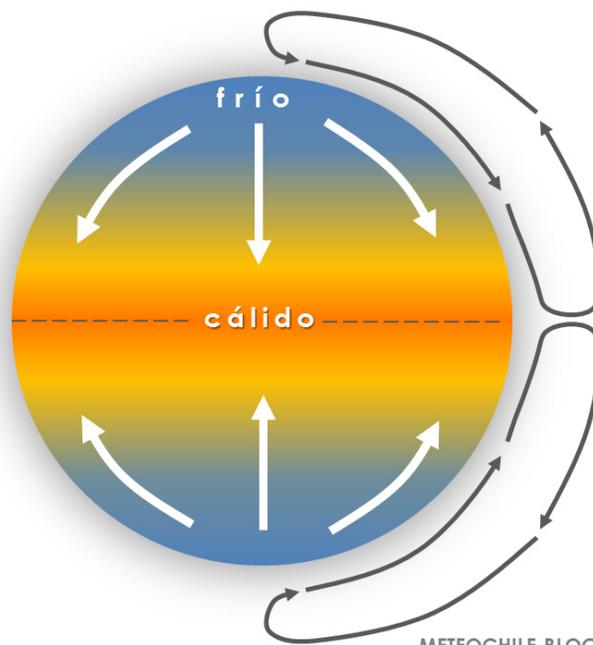


Fig. 4. Celda de circulación directa, asumiendo calentamiento diferencial, ausencia de rotación planetaria y superficie acuática. (Vasquez, 2019)

la tropósfera, en donde circula hacia los polos aumentando su densidad (perdiendo temperatura) en el trayecto y conforme regresa hacia el ecuador a la altura de la superficie vuelve a ganar temperatura. Sin embargo, por el movimiento de rotación, el aire se desvía hacia la izquierda en el hemisferio sur y hacia la derecha en el hemisferio norte formando así tres grandes células de circulación llamadas célula de Hadley, célula de Ferrel y célula polar; a esta fuerza se le llama "Coriolis". (Vasquez, 2019)

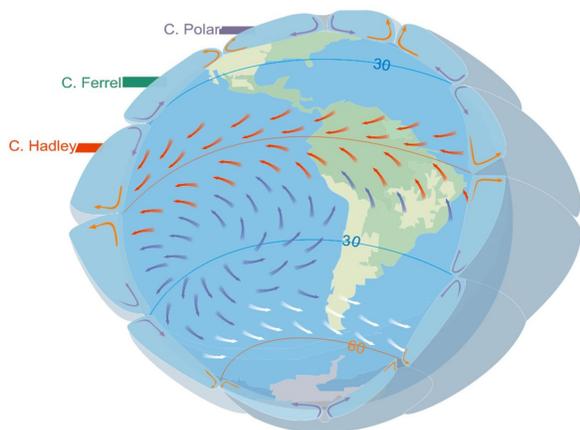


Fig. 5. Esquema representativo de la Tierra con la ubicación de las principales celdas de circulación: Hadley, Ferrel y Polar. (Wikimedia, 2023)

Las características principales del viento son su dirección y su velocidad. La primera, nos dice de dónde procede el viento; y la segunda, depende de la diferencia de presión atmosférica entre dos puntos de este modo entre mayor sea la diferencia, mayor será la intensidad del viento. Para medir dichas características, se utiliza una veleta que indica la dirección y un anemómetro que indica la velocidad del viento. (Programa educativo sobre el Mediterráneo y su litoral)



Fig. 6. Anemómetro digital de paletas. (abonitos.mx)

3 | 1.4 RADIACIÓN SOLAR

- Radiación electromagnética y espectro solar

La radiación es transferencia de energía a través de ondas electromagnéticas; ésta se produce directamente desde una fuente y se transmite hacia fuera en todas las direcciones. En este sentido, la radiación solar, es la energía que se produce por la fusión nuclear del hidrógeno en el núcleo del sol y

es emitida por la superficie solar. Gracias a que las ondas electromagnéticas se pueden propagar en el vacío, éstas viajan en el espacio interplanetario hasta llegar a la Tierra. (Ministerio del medio ambiente, y el medio rural y marino., s.f.)

La longitud y frecuencia de las ondas electromagnéticas determinan su energía, su visibilidad y su poder de penetración; cuanto menor sea la longitud de una onda, mayor será su energía. Al conjunto de éstas se le conoce como espectro electromagnético que se extiende desde longitudes de onda corta (frecuencias muy altas), que se expresan con nanómetros (nm) y equivalen a una millonésimas de metro o en micrómetros (μm) que equivalen a una millonésima de metro como los rayos gama hasta longitudes de onda larga

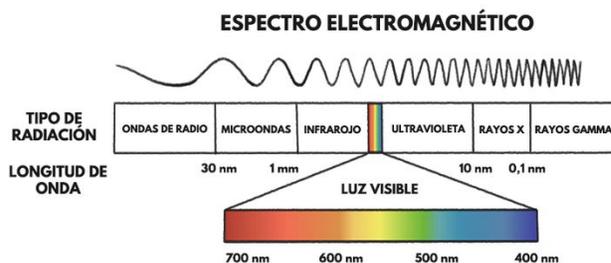


Fig. 7. Espectro electromagnético. (ViLab, 2023)

de muchos kilómetros (frecuencias muy bajas) como las ondas de radio. (Fig. 7.).

Las ondas que son emitidas por el Sol forman el espectro solar y son de longitud corta, principalmente en la banda del ultravioleta (7%), visible (43%) e infrarrojo cercano (49%). (IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, s.f.)

1. La radiación ultravioleta (UV) La radiación con las longitudes de onda más corta se denomina radiación ultravioleta, ésta es la más energética emitida por el Sol. A su vez, la radiación ultravioleta se divide en tres tipos:

- Ultravioleta A o UVA: Atraviesan fácilmente la atmósfera, alcanzando toda la superficie terrestre ($\lambda = 315 \text{ nm} - 400 \text{ nm}$).
- Ultravioleta B o UVB: Longitud de onda corta. Tiene mayor dificultad para atravesar la atmósfera. Llegan con más facilidad a la zona ecuatorial que en latitudes elevadas ($\lambda = 280 \text{ nm} - 315 \text{ nm}$).
- Ultravioleta C o UVC: Longitud de onda corta. No atraviesan la atmósfera. Son absorbidos por la capa de ozono ($\lambda = 100 \text{ nm} - 280 \text{ nm}$). (Planas, 2015)

2. La radiación visible (VIS) corresponde a la radiación que puede percibir la sensibilidad del ojo humano, se le conoce como luz e incluye los colores: violeta (420 nm), azul (480 nm), verde (520 nm), amarillo (570 nm), naranja (600 nm) y rojo (700 nm). La luz de color violeta es más energética que la luz de color rojo, porque tiene una longitud de onda más pequeña. (IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, s.f.)

3. La radiación infrarroja (IR) Se encuentra entre el espectro de luz visible y las microondas ya que su longitud de onda es mayor que la luz roja y es inferior a la de las microondas. La radiación infrarroja también se conoce como radiación térmica por lo tanto, se percibe como calor. Ésta es emitida por cualquier cuerpo con una temperatura mayor a 0 Kelvin es decir, -273.15°C . Al igual que los rayos UV, la radiación infrarroja se clasifica en tres tipos:

- A. Infrarrojo cercano (IR-A, $\lambda = 780 \text{ nm} - 1400 \text{ nm}$) se refiere a la parte del espectro infrarrojo que ese encuentra más próximo a la luz visible.
- B. Infrarrojo medio (IR-B, $\lambda = 1.4 \mu\text{m} - 3.0 \mu\text{m}$).
- C. Infrarrojo lejano (IR-C, $\lambda = 3.0 \mu\text{m} - 1.0 \mu\text{m}$). (Ltd, s.f.)

- Radiancia e irradiancia

La radiancia es la medida radiométrica que describe la cantidad de luz que pasa a través o es emitida de un área particular, e incide en un ángulo dado en una dirección específica ($\text{W}/\text{m}^2 \text{ sr}$).

La irradiancia es la energía radiada en una unidad de tiempo que entra o sale en una determinada área (W/m^2). (LES - Laboratorio de Edificación Sostenible, 2017)

- Radiación directa, difusa y global

La radiación que llega a la superficie terrestre se le conoce como radiación solar global y ésta se divide en dos partes; la radiación directa o especular que es la que atraviesa la atmósfera hasta la superficie sin sufrir un cambio en su trayectoria y la radiación difusa la cual llega de manera dispersa debido a aerosoles, es reflejada por las nubes o las moléculas del aire y las partículas en suspensión la absorben; de manera que ésta es difundida en todas direcciones (Fig. 8.) (Energy Efficiency & Renewable Energy, s. f.).

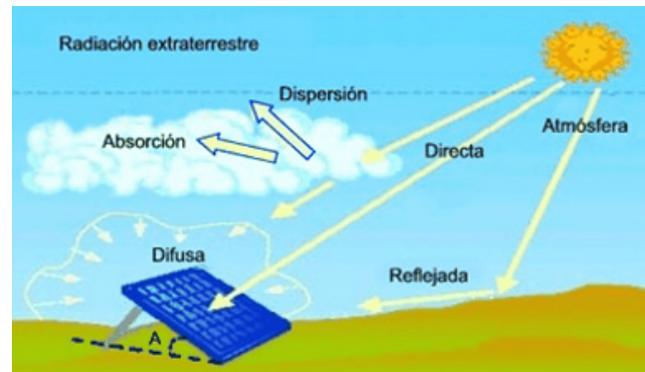


Fig. 8. Dispersión, reflexión y absorción de la luz. (IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, s.f.)

- Efectos climáticos de la radiación solar

El clima que se encuentra en las diferentes regiones del planeta es originado por la energía que llega del Sol; sin embargo, ésta se reparte de manera desigual ocasionando que el clima sea cálido en donde llega más energía a la superficie y frío en donde llega menos. El ángulo en el que incide la radiación solar en la superficie del planeta varía en función de la latitud, de manera que la energía que llega perpendicularmente se absorbe con mayor facilidad pues llega de manera directa por lo cual el clima es más cálido. Conforme la radiación llega en un ángulo más cerrado, ésta atraviesa más atmósfera perdiendo calor. Estas variaciones de temperatura ocasionan que la presión atmosférica también sea diferente formando así las corrientes de viento.

Debido a que la Tierra gira en una órbita alrededor del Sol y a su vez tiene un eje de inclinación, el ángulo en que llega la radiación solar cambia en cada época del año, por lo tanto, la cantidad de energía que recibe la superficie es distinta a lo largo del año generando las estaciones. (AstroMía, s. f.)

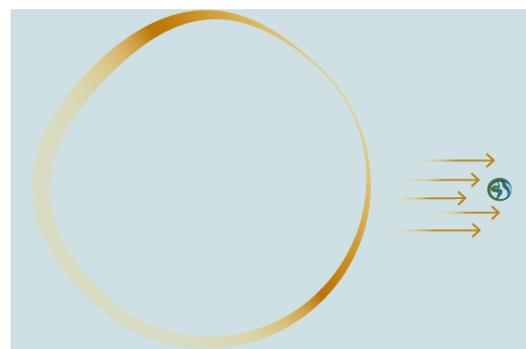


Fig. 9. Incidencia de la radiación en el planeta. Elaboración propia.

3 | 1.5 PRESIÓN ATMOSFÉRICA

La presión (p) es la fuerza perpendicular que ejerce un fluido, ya sea en estado líquido o gaseoso, sobre una superficie; en el caso de los materiales sólidos, esta fuerza se conoce como esfuerzo. La unidad de medida de la presión son los pascales (Pa) que representan una fuerza continua sobre una unidad de área, ésta se mide en newtons (N) por metro cuadrado (m^2). Debido a que los pascales son unidades muy pequeñas, las unidades derivadas de éstos se utilizan con mayor frecuencia siendo éstas el *kilopascal* ($1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa}$) y el *megapascal* ($1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$). (Çengel, 2009) (Enciclopedia Concepto, 2021)

La presión es una fuerza compresiva que en cualquier punto del fluido es la misma en todas direcciones (principio de Pascal). Sin embargo, en un fluido en reposo (el cual ejerce una presión denominada “estática”), esta fuerza varía con respecto a la profundidad debido a que las capas superiores del fluido descansan sobre las capas inferiores y este “peso extra” se equilibra aumentando la presión en sentido horizontal, de tal manera que la forma en la que se contiene un fluido no influye en su presión pero si cambia debido a la distancia vertical. (Çengel, 2009)

Todos los cuerpos del planeta están sometidos a la presión de la atmósfera (también conocida como presión barométrica), esto se debe a que todos los gases de la atmósfera tienen un peso y ejercen una fuerza hacia la superficie de la tierra y todos los elementos que están en ella. Por lo tanto, la presión

atmosférica cambia dependiendo de la altura donde se mide (Fig. 10.) y las condiciones climáticas.

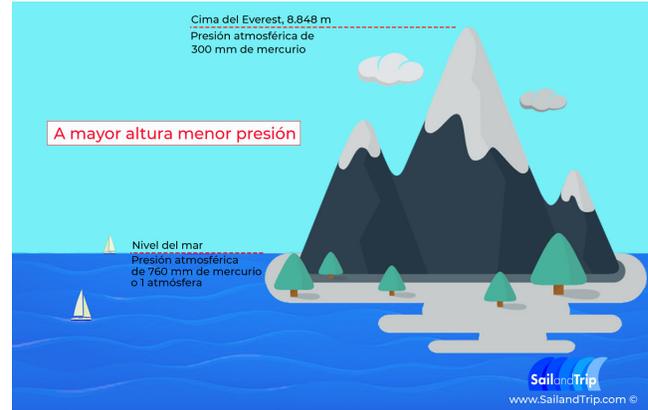


Fig. 10. Presión atmosférica a diferentes alturas (Trip, 2016)

Dentro de un sistema termodinámico, delimitado por su respectiva frontera, pueden existir variaciones internas de presión que no son consecuencia directa de la influencia de la atmósfera, sino de fenómenos internos derivados de cambios locales de temperatura, de desplazamiento interior de aire, etc. Si estos cambios locales se miden con un instrumento calibrado de tal suerte que la presión medida en la atmósfera será cero y los cambios interiores de presión resultan sensados, estos cambios de presión son los denominados presión manométrica. Al considerar los cambios de presión aunados y concatenados con los de la atmósfera, se verá un cambio de presión total (el cambio de presión manométrica

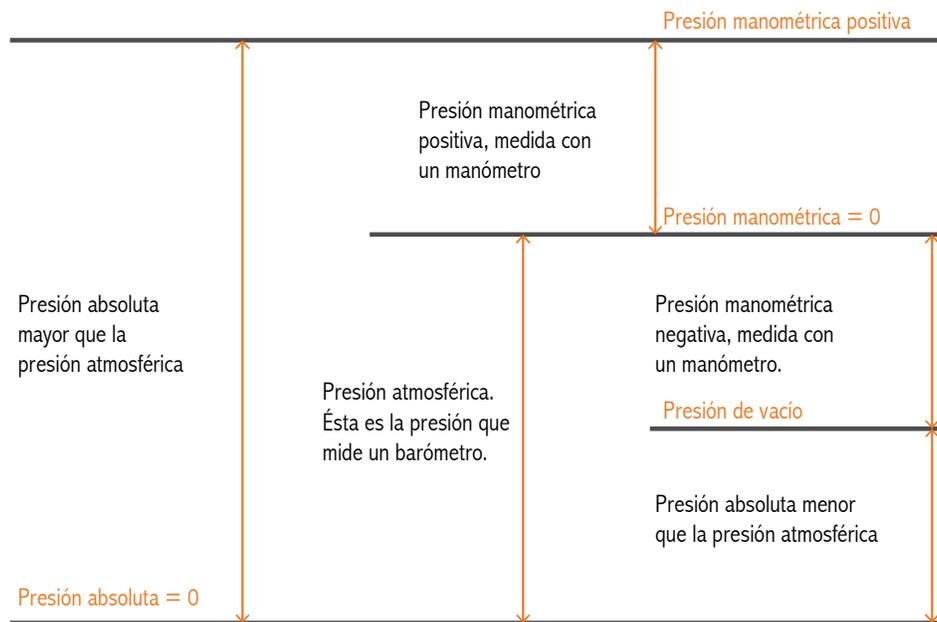


Fig. 11. Relaciones entre la presión absoluta y la presión relativa. Elaboración propia basada en (Çengel, 2009)

más el cambio de presión atmosférica o barométrica). Al resultado de la suma de estos dos tipos de presiones se le llama presión absoluta y se mide respecto al vacío absoluto, es decir, presión de cero absoluto. (Enciclopedia Concepto, 2021) (Enciclopedia Concepto, 2021) (Çengel, 2009)

Se define también una presión relativa local distinta en un sistema cerrado que resulta de que la mayoría de los dispositivos de medición de presión, se calibran a cero en la atmósfera (presión manométrica).

El vacío es una presión manométrica menor a la de la atmósfera y para medirla, se necesitan medidores de vacío, conocidos como vacuómetros, que indican la diferencia entre el valor desconocido y la presión atmosférica. (Çengel, 2009)

3 | 2 COMODIDAD TÉRMICA

El término comodidad higrotérmica se refiere a un estado mental en el que el cuerpo humano se siente satisfecho con la temperatura y humedad del medio ambiente. Los seres humanos tenemos un sistema de adaptación con el medio ambiente el cual nos ayuda a mantenernos en equilibrio con el mismo. La función de este sistema consiste en transferir la energía que el cuerpo recibe y transforma de los alimentos al ambiente, ya sea en ambientes fríos en donde el cuerpo pierde más calor o en los cálidos en donde el cuerpo no libera suficiente calor; en ambos escenarios, la sensación de un ambiente frío o caliente, conducen a un malestar; sin embargo, esta condición de satisfacción puede variar dependiendo de cada individuo debido a diferentes factores como pueden ser la actividad que se está realizando, el aislamiento que la ropa puede proporcionar, entre otros. (AcademiaLab, s.f.).

Lograr esta comodidad higrotérmica es importante para el ser humano pues de lo contrario, en circunstancias excesivas puede llegar a ser mortal. Los edificios ayudan a modificar las condiciones del ambiente para reducir el esfuerzo del cuerpo para mantenerse en equilibrio y que continúe con su funcionamiento correctamente. (AcademiaLab, s.f.)

Como ya se ha mencionado anteriormente, lograr una temperatura y humedad óptima para varios usuarios es complicado pues existen varios factores a considerar los cuales se dividen en dos categorías; los factores personales que dependen completamente de cada ocupante (metabolismo, ropa, actividad) y los factores ambientales que son las variables climáticas. En los modelos estadísticos de confort se realizan estudios en edificios en donde se encuestan a los ocupantes para recopilar la mayor cantidad de datos que

puedan ayudar a generar una estadística de éstos factores. A partir de los datos recopilados, se han generado modelos adaptativos que expresan la relación entre ambos factores. Estos modelos, tienen como objetivo predecir las respuestas térmicas, fisiológicas y psicológicas de los ocupantes y así, lograr que las temperaturas al interior de los edificios sean satisfactorias, en relación con las temperaturas del exterior. (AcademiaLab, s.f.) (Seiscubos, MODELOS DE CONFORT, 2019)

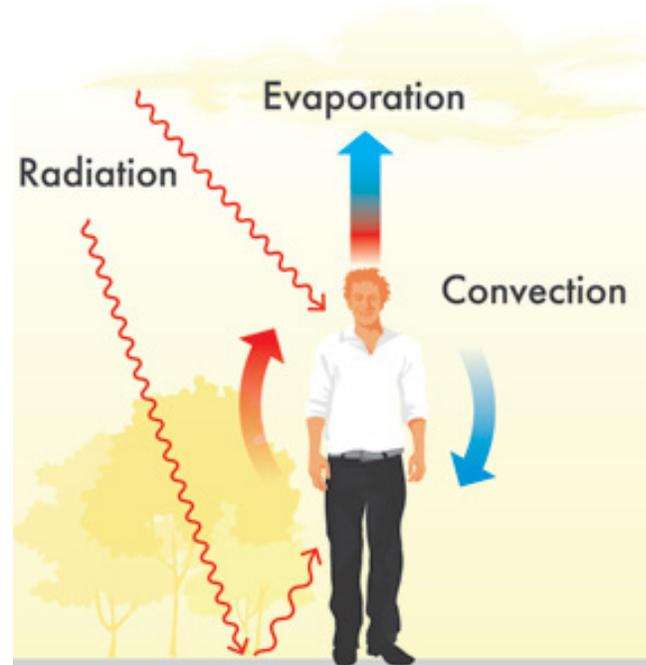


Fig. 12. Adaptación térmica humana. (Lab, s.f.)

Con el objetivo de que un mayor número de ocupantes se encuentre en este estado de satisfacción térmica, las temperaturas de comodidad térmica se extienden hacia arriba y hacia abajo para establecer el intervalo o zona de comodidad térmica. Esta zona de comodidad, varía dependiendo del autor y de las actividades que se realicen dentro del edificio por lo que pueden ser de aproximadamente $\pm 1.75^{\circ}\text{C}$ a $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$. (Seiscubos, MODELOS ESTADÍSTICOS DE CONFORT, 2019)

3 | 2.1 ASHRAE

ASHRAE (Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado) es una asociación global que impulsa el bienestar humano mediante la investigación, el desarrollo de estándares y publicaciones y la formación continua para la aplicación de tecnologías sostenibles en las edificaciones. (CHAPTER, ASHRAE SPAIN CHAPTER, s.f.)

Entre las normas que ha publicado, se encuentra el estándar ANSI/ASHRAE 55-2017 que fue publicado por primera vez en 1966 y ha sido actualizado cada 3 años. Este estándar tiene como objetivo establecer las condiciones térmicas aceptables para los ocupantes de los edificios y está dirigido principalmente para adultos cuya actividad física es sedentaria durante más de 15 minutos. El estándar considera dos enfoques para las condiciones de comodidad de los edificios; por un lado los que están ventilados de manera natural y controlada por sus ocupantes y por otro los que requieren ventilación mecánica. (CHAPTER, ASHRAE SPAIN CHAPTER, s.f.) (Seiscubos, ESTANDAR ASHRAE 55, 2019)

Otra norma que es importante mencionar es ANSI/ASHRAE ANSI 62.1 en donde el principal objetivo es garantizar una calidad de aire al interior de los edificios de manera óptima para los ocupantes. De esta manera, proporciona tasas mínimas de ventilación, proporciona procedimientos y métodos para cumplir con los requisitos mínimos de ventilación y calidad de aire y sirve de guía para mejorar la calidad del aire en edificios existentes. (CHAPTER, ASHRAE SPAIN CHAPTER, s.f.). Por otra parte, el estándar 62.2 se refiere a los requerimientos de ventilación en las viviendas con ocupantes no transitorios en donde se describen los requerimientos mínimos para lograr una calidad de aire aceptable por medio del escape mecánico local y el control de la fuente. (Agudelo, 2022)

3 | 3 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES

A todas las características que tienen los materiales se les denominan propiedades, éstas pueden ser intensivas lo que significa que no dependen de la cantidad de masa del objeto como lo son la densidad, el punto de ebullición, presión, entre otras; también existen las propiedades extensivas las cuales si dependen de la cantidad de masa del objeto, el peso, el volumen, masa son algunos ejemplos de éstas. (Çengel, 2009)

3 | 3.1 PROPIEDADES TERMOFÍSICAS

Entre las propiedades intensivas, se encuentran las propiedades físicas de los materiales que son las características que se pueden observar en los materiales, sin que éstos cambien su estructura; por lo tanto son visibles y se pueden medir. Un ejemplo de estas propiedades es la densidad de un material la cual es la cantidad de masa que se encuentra en un determinado espacio y se mide en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3). (Significados.com, s.f.)

Las propiedades térmicas de los materiales son la respuesta de los materiales cuando se les aplica energía térmica; una de estas propiedades es el calor específico el cual es la cantidad de calor que se necesita aplicar a un material determinado para que éste aumente un grado su temperatura y se expresa en joule por kilogramo por Kelvin ($\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$). (Consulting, Infinitia Industrial Consulting, 2022). Otra propiedad térmica es la conductividad térmica que determina la velocidad en que el calor pasa a través de un material y se expresa como $W/(\text{m}\cdot\text{K})$. (Coluccio-Leskow, 2021)

3 | 3.2 PROPIEDADES ÓPTICAS

Las propiedades ópticas de los materiales son una respuesta de la manera en cómo interactúan éstos con la radiación electromagnética, particularmente la radiación visible del espectro. De esta manera, cuando la luz incide en un material (dependiendo de la densidad molecular de éste), podemos percibir que se refleja una parte de la energía, se absorbe otra parte de la cual un porcentaje es emitido por el material y finalmente transmite el resto. Por lo tanto, si se suma la reflectancia, transmitancia y absortancia es equivalente a la energía incidente. (Consulting, Infinitia Industrial Consulting, 2021)

3 | 3.3 ELEMENTOS TRANSPARENTES Y OPACOS

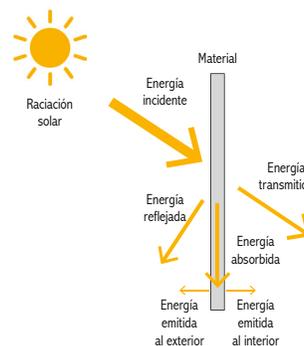


Fig. 13. Incidencia de radiación solar en los materiales. Elaboración propia

En cuanto a términos ópticos, los materiales se pueden clasificar en transparentes, traslúcidos y opacos en donde la diferencia se encuentra en la cantidad de energía que el material permite que pase a través de él, siendo los elementos transparentes los que más energía permiten pasar y los opacos, los que menos; por ejemplo, un vidrio puede ser un material transparente y un ladrillo uno opaco pues este último no permite el paso de la luz (Zapata, 2021).

3 | 4 PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN EDIFICIOS

La energía puede cruzar la frontera de un sistema cerrado de dos maneras: calor y trabajo. Se puede pensar que la definición de calor es una de las primeras que entendió la humanidad debido a que éste genera una sensación de calidez; sin embargo, esta definición es incorrecta en términos técnicos pues está basada en teorías antiguas en donde se consideraba que el calor era una especie de fluido. A pesar de esto, el término calor, difícilmente será sustituido por energía térmica ya que requiere menos tiempo y esfuerzo para escribirlo, decirlo y entenderlo.

La energía térmica se define como la energía que hace vibrar y rotar a los átomos y moléculas de un cuerpo. La transferencia de esta energía aparece cuando existe una diferencia de temperatura entre un sistema cerrado y el medio que lo rodea. La dirección en que esta energía se transfiere siempre será del cuerpo con mayor temperatura al de menor temperatura y terminará cuando ambos se encuentren en equilibrio térmico es decir a la misma temperatura o hasta que el sistema esté aislado con el medio; en ambas circunstancias es un proceso adiabático pues la transferencia de energía es mínima o nula. A diferencia de un proceso isotérmico, que es donde la temperatura se mantiene constante; si en el proceso adiabático se aplica una fuerza en el sistema, ésta puede cambiar el contenido de energía y por lo tanto, su temperatura (Rolle, 2006) (Çengel, 2009).

El calor se identifica con el símbolo Q ; el calor por unidad de masa, con q y su unidad de energía es el Joule (J). Los mecanismos mediante los cuales se puede transferir el calor son por conducción, convección o radiación.

3 | 4.1 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN

La conducción se da cuando las partículas de un cuerpo con mayor temperatura están en contacto directo con las de otro cuerpo de menor temperatura. La conducción se puede dar en sólidos, líquidos y gases; en éstos dos últimos, la conducción se debe al movimiento que se genera en el fluido; en cambio en los sólidos se debe a la vibración de las moléculas y el transporte de energía. Algunos sólidos tienen la capacidad de conducir el calor con mayor rapidez que otros, a esto se le denomina conductividad térmica (K). (Rolle, 2006) (Çengel, 2009)

3 | 4.2 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN

La transferencia de calor por convección se da cuando un sólido está en contacto con un fluido que se encuentra en movimiento; el sólido transfiere el calor hacia el fluido adyacente mediante un movimiento molecular (conducción), el movimiento de este fluido ocasiona que el fluido con mayor temperatura sea sustituido por uno con menor temperatura por convección. Por lo tanto, si no existiera éste movimiento, la transferencia entre un sólido y el fluido sería solamente por conducción. (Rolle, 2006) (Çengel, 2009)

3 | 4.3 TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN

El tercer proceso de transferencia de calor es por radiación que se basa en la radiación (infrarroja o térmica) de la energía electromagnética. La radiación que emiten los cuerpos en forma de temperatura, se debe a los cambios que existen en la configuración de los átomos y moléculas. La gran diferencia con la que cuenta la radiación térmica a comparación con los demás tipos de radiación del espectro electromagnético es que ésta es la única que está relacionada con la temperatura.

A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor es decir, se puede transmitir en el vacío por ejemplo, la radiación que emite el Sol. (Rolle, 2006) (Çengel, 2009)

3 | 5 MECÁNICA DE LA VENTILACIÓN NATURAL

3 | 5.1 PRINCIPIOS BÁSICOS

Se les llama fluidos a aquellas sustancias cuyas moléculas se atraen débilmente, por tal motivo, no tienen una estructura firme que le dé una forma definida como sucede con los sólidos y que comienzan a deformarse rápidamente (en el tiempo) por acción de un esfuerzo cortante; por tal motivo, los fluidos pueden ser incompresibles o líquidos (agua, aceites, alcohol), o bien, fluidos compresibles o gases (aire, vapor de agua, dióxido de carbono); la diferencia entre éstos es que las moléculas de los gases se encuentran más separadas lo que hace que sean compresibles y los líquidos no. (Álvarez, 2021)

- Propiedades generales de los fluidos

Las principales propiedades que tienen los fluidos en general son su densidad, volumen, presión, tensión superficial, viscosidad, expansión térmica. De estas últimas, la viscosidad es la característica que tienen las moléculas de los fluidos a no adherirse entre sí, de manera que se mueven deslizándose por lo tanto, a mayor viscosidad, mayor resistencia a deformarse. Un ejemplo es el shampoo, en donde se puede observar una dificultad para fluir. Esta propiedad puede variar si se aplica calor dando como resultado que la viscosidad disminuya como es el caso de la miel. (Cervantinos, s.f.) (Significados.com, s.f.)

En el caso de la expansión o dilatación térmica, esta propiedad está ligada a un cambio de temperatura el cual ocasiona que las partículas se agiten provocando que la distancia de separación entre ellas sea mayor y así, aumente su volumen. Al proceso contrario se le conoce como contracción térmica. En el caso de los gases, este proceso es más evidente debido a que la fuerza de cohesión entre sus partículas es más débil que en los otros estados de la materia. (Fernández, s.f.)

- Principio de continuidad

El principio de continuidad es un caso del principio de la conservación de la materia en donde se considera que la materia no se crea ni se destruye; en la dinámica de fluidos, establece que el caudal del fluido que entra en un conducto de diámetro constante será la misma cantidad que salga. De esta manera, el caudal es el resultado de multiplicar la superficie de la sección transversal del conducto por la velocidad con la que fluye el fluido. Sin embargo, para que el caudal permanezca constante en un conducto es de diámetro variable,

la velocidad debe aumentar si la superficie de sección disminuye y disminuir si la sección aumenta (por lo general se considera que un fluido es incompresible) (Connor, Thermal Engineering, 2019).

- Primera ley de la termodinámica (balance de energía)

También conocida como el principio de conservación de la energía, establece que, del mismo modo que el principio de continuidad, la energía no se crea ni se destruye de manera que, si se le aplica energía a un sistema, por muy poca que ésta sea, se convertirá en energía interna en un trabajo que realice el sistema. Un ejemplo, es el motor de un automóvil; en donde el combustible cuenta con energía potencial que al comprimirse y con una chispa, produce energía térmica la cual se transforma en energía mecánica. (Çengel, 2009)

3 | 5.2 FLUJO DE AIRE SOBRE LA SUPERFICIE EXTERIOR Y FUERZAS DE ARRASTRE

- Fuerzas de arrastre de un fluido sobre superficies sólidas

El arrastre es una fuerza que se opone a que cualquier objeto se mueva aunque éste ya se encuentre en movimiento. Por lo tanto, una fuerza de arrastre es aquella que ejerce un fluido en movimiento sobre un objeto. Esta fuerza depende de muchas cosas entre las cuales están las propiedades físicas del objeto, por ejemplo la forma, el tamaño, la orientación, etc. Pero también depende de algunas propiedades del fluido como pueden ser su densidad, su velocidad. Para expresar esto, se cuenta con la ecuación de arrastre. (Connor, Thermal Engineering, 2019)

3 | 5.3 MECÁNICA DE LA VENTILACIÓN EN VANOS

Sabiendo cómo se comportan los fluidos, se puede estudiar la manera en que el aire se va a comportar frente a un edificio, de esta manera, los aspectos más importantes son la presión y la velocidad con la que el aire incide en un edificio.

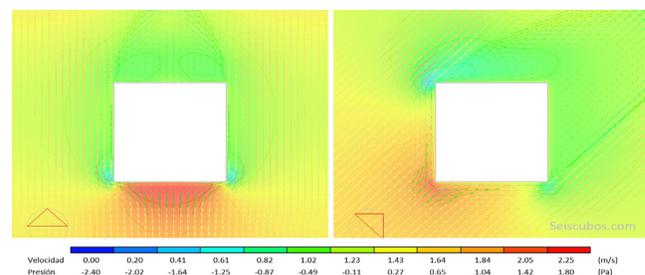


Fig. 14. Efecto del viento al impactar un volumen de forma frontal (izquierda) y sesgada. (Gracia, seiscubos, 2019)

La forma más simple de ventilación natural es la ventilación cruzada en donde se observa por dónde incide el viento con mayor velocidad y presión, y así, el viento va a fluir alrededor del volumen creando zonas de turbulencia y zonas con baja presión como se puede observar en la figura. (Gracia, s.f.) (Gracia, seiscubos, 2019)

Considerando la imagen anterior, la ubicación de los vanos en los edificios y sus tamaños son importantes para facilitar el flujo del aire a través del edificio.

En el caso de que existan obstáculos que impidan la ventilación cruzada, como sucede en las zonas urbanas, se pueden utilizar estrategias de ventilación cruzada con altura o ventilación vertical. (Gracia, seiscubos, 2019)

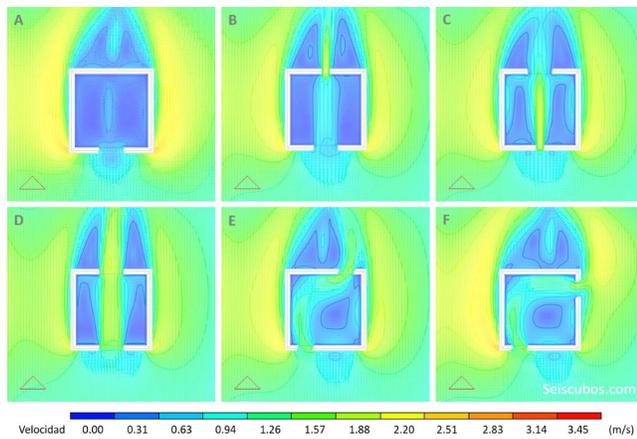


Fig. 15. Ventilación cruzada en planta, con diferentes configuraciones de aberturas. (Gracia, seiscubos, 2019)

En cuanto a la ventilación cruzada con altura, ésta se refiere a abrir un vano en la planta baja en la parte inferior y otro en la planta alta en la parte superior del edificio, así se aprovecha el movimiento del aire por diferencia de temperatura. (Gracia, seiscubos, 2019)

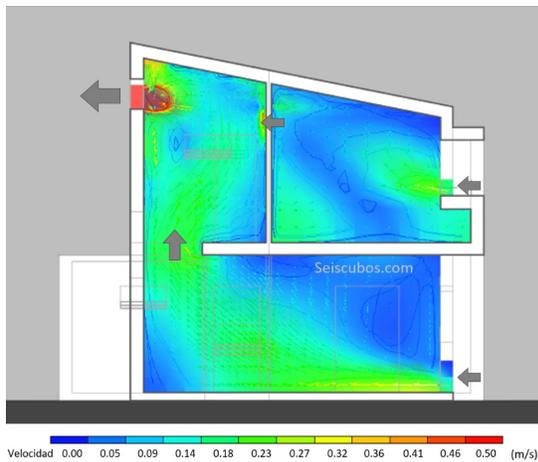


Fig. 16. Ventilación cruzada en sección, aprovechando las presiones de viento y el efecto chimenea. (Gracia, seiscubos, 2019)

Siguiendo el mismo principio, la ventilación vertical tiene dos sistemas principales: las torres de ventilación y los atrios ventilados.

Las torres de ventilación pueden ser de captación, extracción o con doble función.

En la imagen A, se muestra cómo fluye el aire alrededor de un edificio que tiene obstáculos. En las imágenes B, C y D se muestra de manera gráfica cómo funcionan las torres de ventilación. (Gracia, seiscubos, 2019)

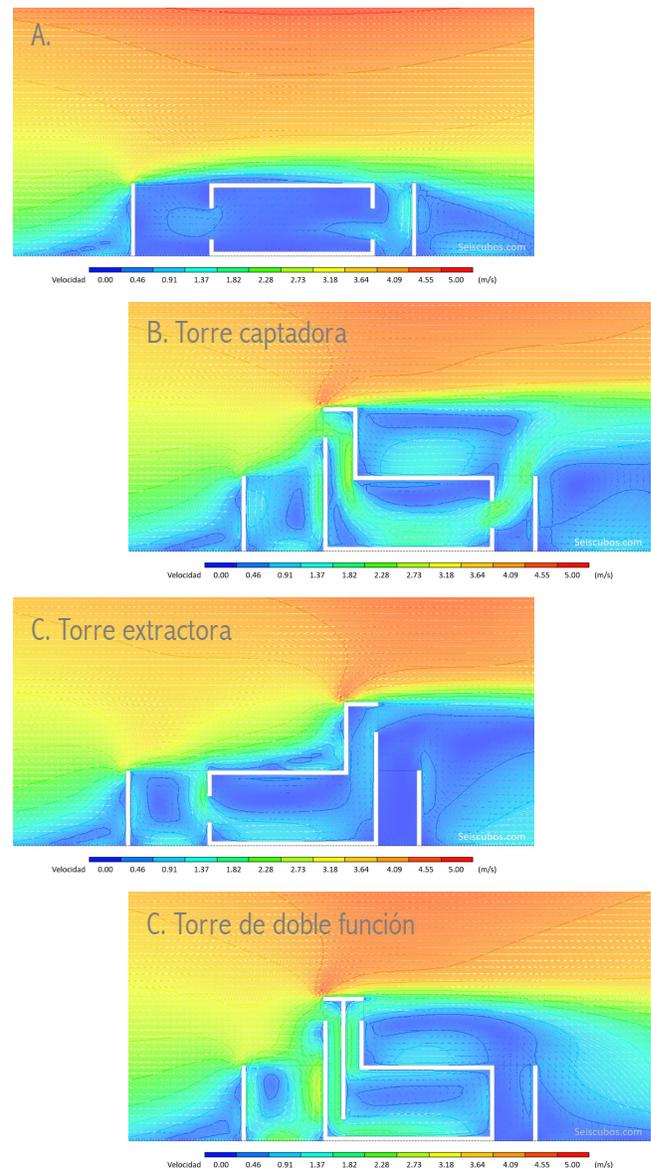


Fig. 17. Ventilación natural con obstáculos. (Gracia, seiscubos, 2019)

3 | 6 ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS

Una de las ramas de la arquitectura es la bioclimática debido a que emplea estrategias que aprovechen las condiciones del clima, ubicación, orientación, vegetación, ventilación, etc. para reducir el impacto ambiental al disminuir el empleo de energía para crear espacios confortables.

Para seleccionar las estrategias necesarias para determinada ubicación y tomando en cuenta el uso que se le dará a la edificación, es necesario realizar un estudio del clima en donde se analice la temperatura, humedad, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento, precipitación y radiación solar; este análisis se puede hacer con la ayuda de una carta psicrométrica para así poder determinar qué estrategias serán necesarias para proporcionar comodidad higrotérmica, lumínica o acústica. Las estrategias que resultan de la carta psicrométrica con base en el clima de Villahermosa son las siguientes:

1. Zona de confort
2. Zona de confort permisible
3. Ganancias internas
4. Calefacción solar pasiva
5. Calefacción solar activa
6. Humidificación
7. Calefacción convencional
8. Protección solar
9. Alta masa térmica
10. Enfriamiento evaporativo
11. Masa térmica y ventilación nocturna
12. Ventilación natural o mecánica
13. Aire acondicionado
14. Deshumidificación convencional

GRAFICO PSICROMETRICO DE GIVONI

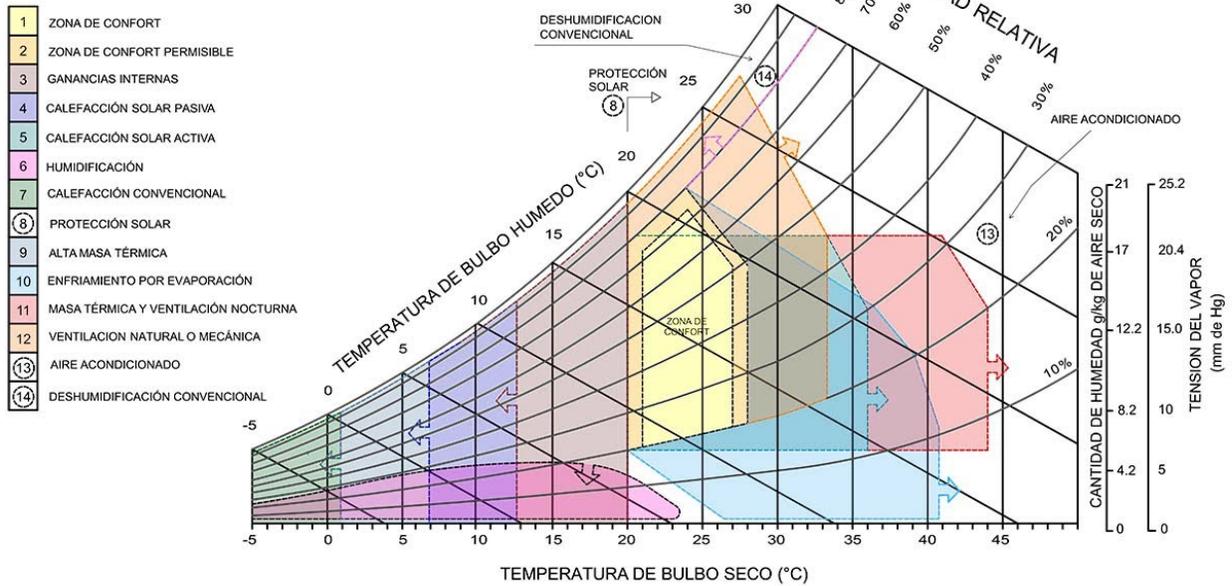


Fig. 18. Carta bioclimática de Givoni. (Pittman, 2020)

4 |

Para tener una mayor comprensión de las estrategias que se han utilizado en climas cálidos, en esta sección se presenta un análisis del estado de arte de viviendas anteriormente proyectadas y/o construidas y la manera en que esas técnicas se han implementado en la actualidad. Posteriormente se analizaron las viviendas de la actualidad en diferentes zonas cálidas de Latinoamérica por medio de entrevistas en donde los usuarios explicaron su experiencia con los sistemas constructivos comerciales que fueron utilizados; de igual manera, se muestran viviendas de la ciudad de Villahermosa que, como se vio en el capítulo 2, es la ciudad que tiene el clima más caluroso y con mayor humedad de la República Mexicana. Por último, en este capítulo se muestran dos propuestas que se hicieron a INFONAVIT para viviendas de interés social y dos municipios del estado de Tabasco.

Con estos proyectos se aprecian las soluciones que se han implementado en diferentes lugares y que han servido como guía para realizar el diseño de la vivienda tomando en cuenta sistemas constructivos y materiales de la región.

4 | 1 PROPUESTAS DE VIVIENDAS ANÁLOGAS

El conocimiento de la arquitectura vernácula permite comprender la lógica de respuesta a las condiciones climáticas locales a partir de los recursos disponibles, por lo cual resulta

ANÁLISIS DE ESTADO DE ARTE

esencial para la labor de diseño. Si bien es cierto que en la actualidad, la arquitectura vernácula no es reproducible en su totalidad debido a que, tanto las necesidades como la tecnología han cambiado; rescatar su esencia en cuanto a estrategias y/o materiales para adecuarlos a las actuales circunstancias, es la base para una buena solución arquitectónica. (Couret, 2018)

4 | 1.1 VIVIENDA VERNÁCULA

La arquitectura vernácula, es una manera en la que las generaciones pasadas solucionaron sus necesidades en determinadas regiones. Con ésta, se puede analizar cómo ha evolucionado la arquitectura en respuesta a los cambios que han vivido tanto la sociedad como la misma arquitectura en sus sistemas constructivos. Las viviendas vernáculas utilizan materiales propios de la región.

Como se puede observar en la Fig. 19. en el caso de la vivienda vernácula en un clima cálido húmedo, la planta es regular y la estructura está formada por troncos enterrados en el piso y un armazón de varas horizontales recubierta de arcilla llamado bahareque, con una altura de hasta 1.30 m., de esta manera el aire puede pasar libremente entre los huecos de las varas en la parte superior. El techo, que puede ser de dos aguas o cuatro que permite la evacuación de la lluvia, tiene aproximadamente el doble de la altura de los muros. Dos de los muros que se encuentran en lados



Fig. 19. Vivienda vernácula de clima cálido húmedo. (Franco, 2016)

opuestos, cuentan con huecos en la parte superior para que el aire caliente circule hacia la parte de afuera de la vivienda. La cubierta se construye con palma o zacate debido a que es un material que se encuentra en las zonas con este clima y que se descomponen lentamente, tienen características impermeables y si se acomodan de manera que forman una capa gruesa del material, tienen propiedades de aislamiento térmico (Franco, 2016). En algunas partes, la vivienda se eleva sobre pilotes para evitar la afectación por inundaciones y la ascensión del agua por capilaridad.

En la actualidad la reinterpretación de la arquitectura vernácula muestra la manera en cómo ha evolucionado en cuanto a los materiales que se emplean. Si bien ya no se usan fibras vegetales consideradas por los habitantes como materiales pobres y de baja durabilidad, lo que ahora se utiliza en los muros son celosías para favorecer la ventilación natural. En cuanto a las cubiertas, comúnmente se utilizan láminas acanaladas de acero galvanizado o losa de concreto que tiene una respuesta adversa ya que, debido a sus propiedades térmicas, aumenta la temperatura al interior sin embargo, éstas son soluciones más costosas y duraderas lo cual hace que los habitantes las prefieran como símbolo de estatus social. (Couret, 2018).

4 | 1.2 REINTERPRETACIÓN DE LA ARQUITECTURA VERNÁCULA

En una plática que dio el arquitecto Benjamín García Saxe en TEDxPuraVidaSalon en el 2015, explica que en la actualidad

“Innovar no es necesariamente con tecnología, sino volver a entender las cosas que hemos perdido en el pasado.”

existen edificaciones con certificaciones a nivel internacional que indican que son sostenibles pero que, en realidad no lo son debido a que no generan su propia energía de manera inteligente y requieren más energía para su funcionamiento. El arquitecto comenta que las edificaciones pueden reinterpretar la arquitectura del pasado con tecnología actual para dar solución a las necesidades tomando en cuenta la comodidad de los usuarios tanto térmica como lumínica y anímicamente. (García Saxe, 2015).

En la casa que el arquitecto diseñó para su mamá en Guanacaste, Costa Rica (Fig. 20.), aplica estrategias pasivas para solucionar las necesidades de comodidad térmica en donde las condiciones del entorno fueron tomadas en cuenta para el diseño pues debido al clima se escogieron los materiales y el sistema constructivo. (Saxe, 2010)



Fig. 20. Vivienda: Un Bosque para una Admiradora de la Luna. (Saxe, 2010)

Una de las soluciones que se usaron para lograr una ventilación natural fue el “efecto chimenea” (Fig. 21.). La vivienda está formada por muros de bambú cortados en diagonal de manera que permiten el libre flujo de aire y una apertura en la parte superior de la cubierta por donde el aire caliente pueda salir siendo empujado por el aire que entra por los muros favoreciendo el efecto de flotación, característico de los sistemas de chimeneas de ventilación; la entrada del aire a través de los muros substituye el aire caliente que sale de

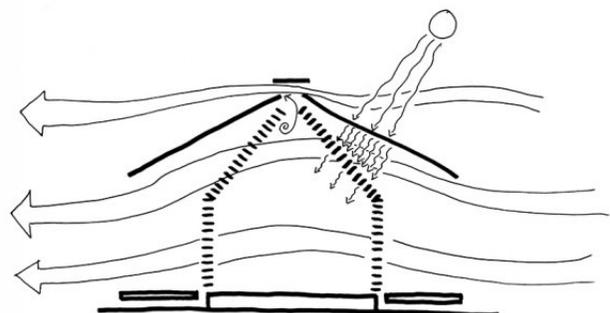


Fig. 21. Diagrama del efecto chimenea en la vivienda. (Saxe, 2010)

la chimenea. El edificio se encuentra por encima del nivel de piso gracias a una base de concreto que sostiene la estructura de acero la cual carga una plantilla de bambú. Dicha base funciona para amortiguar la radiación solar en el suelo y protege la estructura metálica y el interior de la vivienda en caso de una inundación.

El edificio está formado por dos módulos independientes que fueron construidos por separado en tiempos diferentes debido a la falta de recursos. La necesidad de construir la vivienda de manera modular, proporciona la libertad de hacer una expansión en el futuro y debido a que el costo fue relativamente bajo por cada módulo, este modelo de vivienda podría funcionar como una alternativa para diseñar viviendas de interés social en Costa Rica. (Anónimo, 2012) (proyectobaq, 2017)

4 | 1.3 ARQUITECTURA VERNÁCULA EN MÉXICO

En la República Mexicana existen iniciativas para aplicar criterios de arquitectura vernácula al igual que arquitectura participativa para resolver las dificultades de vivienda de manera que los mismos habitantes de las diferentes comunidades puedan aprender la metodología para poder resolver sus necesidades aplicando sistemas constructivos con los recursos que se encuentran en la región.

Al mismo tiempo, existen despachos que utilizan estrategias bioclimáticas en el diseño de sus edificios para así lograr una comodidad al interior de los espacios en diferentes ámbitos como lo pueden ser térmicamente, lumínicamente, acústicamente, etc.

Sin embargo, estos despachos se enfocan en el clima cálido seco que se ubica al norte de la República Mexicana lo cual probablemente se deba a que es una zona con una mejor situación económica debido a su cercanía con la frontera a Estados Unidos.

4 | 2 TIPO DE VIVIENDA ACTUAL

En varias ciudades, se ha producido un proceso involutivo de pérdida de los valores de la arquitectura vernácula como resultado de la copia de modelos foráneos no adecuados los cuales se consideran como un símbolo de estatus social a pesar de no ser tan eficientes en todas las regiones.

4 | 2.1 ENTREVISTAS

Con base en un análisis realizado en diferentes países con climas similares¹, se encontró que la tendencia constructiva para las viviendas de la zona urbana es con muros de tabique recubierto con acabados de colores claros y losa de concreto para los pisos; las cubiertas son de lámina blanca con vigas de madera o losa de concreto que en ocasiones tiene de acabado final elementos cerámicos como la teja. La mayoría de los techos tienen una pendiente que permite el flujo de la lluvia. También se encontró que las viviendas que cuentan con mayor altura de entrepiso son térmicamente más confortables que las de menor altura. De igual manera, se procura usar vegetación para cubrir las fachadas de la incidencia solar. (Fig. 22.)



Fig. 22. Viviendas de Barranquilla - Atlántico, Colombia. Fotografía: Gisella Maria Manjarrés Villamizar

En algunas zonas, principalmente alejadas de la zona urbana, las viviendas se desplantan por encima del nivel del suelo para permitir que, tanto el viento como el agua fluyan y de esta manera, no solo la temperatura baje un poco sino que también se puede evitar humedad al interior.

¹ Información recopilada a través de encuestas realizadas en octubre, 2019

4 | 2.2 VIVIENDA EN VILLAHERMOSA

En un análisis realizado con un recorrido virtual en la plataforma Google Maps², se encontró que las edificaciones en la ciudad de Villahermosa son principalmente de tabique con concreto y techos de lámina, lo cual probablemente responda a la rapidez para construir y la facilidad de distribución de los materiales. Cuentan con vanos amplios cubiertos por volados que en ocasiones son ineficientes.

Debido al asentamiento urbano, la vegetación ha sido desplazada en algunas zonas de la ciudad por lo cual, las fachadas reciben la radiación solar directamente. Algunas viviendas cuentan con patios techados de usos múltiples ya sea en la planta baja o en la planta alta en donde realizan diversas actividades. Otras viviendas tienen sus accesos porticados.



Fig. 23. Viviendas de la ciudad de Villahermosa. Fuente: Google Maps octubre, 2019

4 | 3 MEJORAMIENTO DE VIVIENDA

4 | 3.1 CASAS INFONAVIT

El INFONAVIT (Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores), creó el Centro de Investigación para el Desarrollo Sustentable (CIDS) en donde diversos despachos arquitectónicos han desarrollado prototipos de autoproducción asistida para diferentes climas específicos de la república mexicana que sirven como referencia para quienes quieren

² Información recopilada por medio de recorrido virtual a través de Google Maps en octubre, 2019

comenzar o reconstruir su vivienda.

Uno de los proyectos que se realizaron para el estado de Tabasco fue en el municipio Nacajuca por el despacho TRAZO CREATIVO Arquitectura & Diseño. En donde proponen una vivienda de una planta regular con un pórtico que sirve de vestíbulo para el acceso, un espacio amplio al interior donde se encuentra la sala, comedor y cocina; y que por las noches también cumple la función de habitación (Fig. 24.). En la parte trasera del volumen se encuentra el baño y por fuera está el área de servicio. Los materiales que se utilizaron fueron

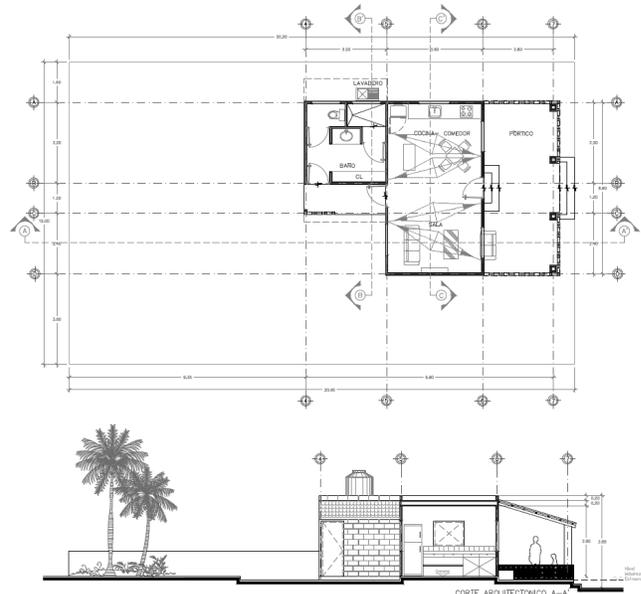


Fig. 24. Planta y corte de prototipo de autoproducción asistida en el municipio de Nacajuca. (TRAZO CREATIVO Arquitectura & Diseño., 2019)



Fig. 25. Renders de prototipo de autoproducción asistida en el municipio de Nacajuca. (TRAZO CREATIVO Arquitectura & Diseño., 2019)

celosía para los muros medios del pórtico. Las cubiertas inclinadas con que cuenta la vivienda están ubicadas en la parte del pórtico y el patio de servicio, tienen una pendiente del 30% y están construidas con vigas de madera y teja roja. (Fig. 25.) (TRAZO CREATIVO Arquitectura & Diseño., 2019)

Para la segunda propuesta que se realizó para el CIDS sobre el caso de estudio del estado de Tabasco, se ubicó en el municipio de Teapa por el Taller de arquitectos CMD. La vivienda está formada por tres niveles que se conectan entre sí con una escalera exterior. La planta baja es abierta y está formada por los espacios públicos; el primer espacio está conformado por la sala comedor y el segundo espacio es donde se encuentran la cocina y el baño; en los niveles superiores están ubicadas las recámaras (Fig. 26.) Los materiales de construcción para esta vivienda fueron vigas de concreto recubiertas con madera para los pisos, algunos de los muros son de tabique que, dependiendo de la ubicación, algunos cuentan con un aparejo en celosía y en otros casos está a sogá; otros muros son de varas de madera que permiten el flujo del aire. La cubierta está a dos aguas con vigas de acero y lamina blanca. (Taller CMD, 2019)



Fig. 26. Planta y renders de prototipo de autoproducción asistida en el municipio de Teapa, Tabasco. (Taller CMD, 2019)

5 |

Con la información obtenida en los capítulos anteriores se explica la problemática que existe a nivel global y la manera en cómo los arquitectos pueden abordar el tema. De esta manera, en este capítulo se muestra las estadísticas y herramientas de apoyo que ha realizado el gobierno en el estado de Tabasco y de la ciudad de Villahermosa que ayudan a tener un mayor entendimiento de las fortalezas que tiene la ciudad y los desafíos que enfrenta para lograr cumplir con los objetivos que el país se ha propuesto.

5 | 1 CONCLUSIÓN DEL ESTADO DE ARTE

A través del tiempo, la arquitectura ha evolucionado conforme las nuevas tecnologías lo han permitido. Antiguamente, las soluciones a las dificultades ocasionadas por el clima se daban por medio de estrategias pasivas; en la actualidad, la arquitectura vernácula muestra soluciones regionales a las necesidades de los habitantes, por lo tanto, es una buena referencia para saber qué estrategias se utilizaban y por qué.

Haciendo un análisis de los sistemas constructivos en diferentes países con climas similares, se puede observar que las soluciones que se utilizan responden a la arquitectura vernácula, sin embargo, utilizan diferentes materiales debido a que son más fáciles de adquirir³. En la ciudad de Villahermosa, las viviendas cuentan con grandes vanos cubiertos con

³ Información recopilada a través de encuestas realizadas en octubre, 2019

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

volados, patios techados y/o pórticos en los accesos por lo tanto se puede deducir que existe una necesidad de sombra⁴.

Finalmente, en INFONAVIT, en el CIDS se han desarrollado prototipos de autoproducción asistida para diferentes regiones de la República Mexicana, en el estado de Tabasco existen dos propuestas que sirven como análisis para entender la distribución de los espacios, sin embargo, dichas propuestas se realizaron para zonas rurales de manera que las estrategias bioclimáticas no responden a una vivienda en una ciudad como lo es Villahermosa pues los materiales utilizados son diferentes.

5 | 2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

La República Mexicana cuenta con una ubicación privilegiada, por lo cual, ésta tiene una gran variedad de climas y subclimas con necesidades diferentes para lograr tener una comodidad térmica al interior de las viviendas y la manera de solucionar dichas necesidades se debe de abordar con diferentes criterios.

Debido a que la ciudad de Villahermosa, Tabasco se encuentra el clima cálido húmedo (González Osorio & Beele, 2016), los habitantes se ven en la necesidad de instalar sistemas de acondicionamiento mecánico en las viviendas para que éstas cuenten con una comodidad térmica adecuada para

⁴ Información recopilada por medio de recorrido virtual a través de Google Maps en octubre, 2019

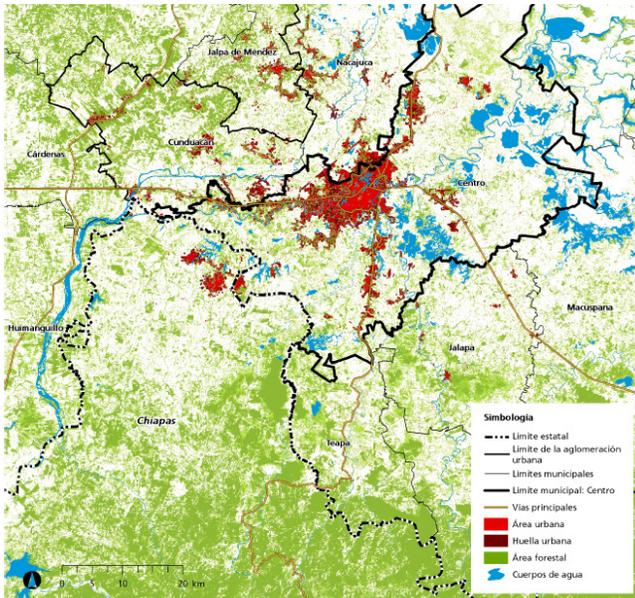


Fig. 28. Delimitación de la aglomeración urbana de Villahermosa. (ONU-Habitat, 2018)

El CPI se conforma en seis dimensiones y 20 subdimensiones que en conjunto para el municipio de Centro, indican que éste tiene una prosperidad de 52.70 (Fig. 29.), el cual está por debajo de la media nacional (53.74). Por lo tanto, para Centro, existen dimensiones que contribuyen con el desarrollo del municipio, pero hay otras que lo limitan de manera que es necesario priorizar los peores resultados, fortalecer los resultados moderados, y consolidar los resultados sólidos (Tabla 1.). (ONU-Habitat, 2018)

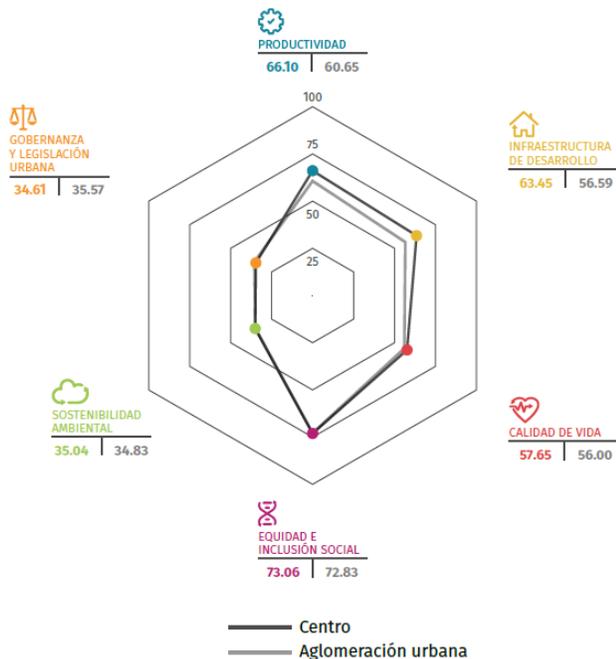


Fig. 29. Resultados por dimensión. (ONU-Habitat, 2018)

RESULTADOS CPI	FACTORES DEL ESTADO DE PROSPERIDAD	NIVEL DE INTERVENCIÓN
● 80-100	Muy sólidos	Consolidar políticas urbanas ●
● 70-79	Sólidos	
● 60-69	Moderadamente sólidos	Fortalecer políticas urbanas ●
● 50-59	Moderadamente débiles	
● 40-49	Débiles	Priorizar políticas urbanas ●
● 0-39	Muy débiles	

Tabla 1. Escalas de prosperidad urbana y niveles de intervención. (ONU-Habitat, 2018)

5 | 5.1 CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES

De acuerdo con el CPI, una de las dimensiones a la que es necesario prestar atención es la sustentabilidad ambiental en donde explican que las ciudades deben tener un equilibrio entre el crecimiento económico y el medio ambiente. Esta dimensión de sustentabilidad se divide en tres subdimensiones y seis indicadores. Para el municipio de centro, el resultado es de 35.04 el cual se desglosa en la Tabla 2. de manera que los resultados que se acercan a 100 son los que tienen un impacto positivo a diferencia de los que se acercan a cero. (ONU-Habitat, 2018)

SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL	AGLOMERACIÓN URBANA	
	MUNICIPIO CENTRO	VILLAHERMOSA
	35.04	34.83
CALIDAD DEL AIRE	50.33 ●	54.5 ●
Número de estaciones de monitoreo	37.5 ●	50 ●
Concentraciones de material particulado	67.43 ●	67.43 ●
Concentración de CO ₂	46.08 ●	46.08 ●
MANEJO DE RESIDUOS	54.79 ●	49.99 ●
Recolección de residuos sólidos	81.03 ●	74.19 ●
Tratamiento de aguas residuales	28.54 ●	25.8 ●
ENERGÍA	0 ●	0 ●
Proporción de generación de renovable	0 ●	0 ●

Tabla 2. Índice de Sostenibilidad Ambiental. (ONU-Habitat, 2018)

Por lo tanto, como se puede ver en la tabla 2, la calidad del aire, el manejo de los residuos sólidos y la generación de energía renovable tienen un impacto negativo en el desarrollo municipal.

5 | 5.2 CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS

• Demografía

En cuanto a la población; la aglomeración en el municipio de Centro, en el año 2015 registró 684 847 habitantes de los cuales 333 999 son de género masculino y 350 848 de género femenino siendo el último, el que predomina; sin embargo, en el periodo 2000-2015 tuvo la tasa más baja de crecimiento media anual (TCMA) poblacional de la aglomeración (1.8 %), pero se espera que en 2030 alcance los 770 760 habitantes. Por otro lado, Centro tuvo una TCMA de viviendas de 3.2 %, la más baja de la aglomeración; sin embargo, se mantiene como primero por su densidad habitacional de 1740 viv/ km²; su densidad urbana fue de 5034 hab/ km² y obtuvo el índice de urbanización más alto de 82.2 %. En este sentido, cabe mencionar que la ciudad de Villahermosa es la cabecera municipal y principal ciudad de la aglomeración. (ONU-Habitat, 2018)

• Actividad económica

La principal actividad económica del estado es la minería debido al tipo de suelo con que cuenta con 257,130 millones de pesos, el comercio con 38,570 y en tercer lugar están los servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles con 29,069 millones de pesos. (INEGI, 2017)

• Infraestructura

El resultado que el municipio de Centro alcanzó (Tabla 3.) fue de 63.4 lo cual significa que su prosperidad urbana es relativamente positiva, sin embargo, es necesario priorizar las políticas urbanas en a la subdimensión de infraestructura de comunicación pues tuvo un resultado de 34.31; de igual manera, los indicadores que corresponden a la longitud de transporte masivo (35.91) y densidad vial (27.23) tuvieron resultados bajos. (ONU-Habitat, 2018)

INFRAESTRUCTURA DE DESARROLLO	MUNICIPIO		AGLOMERACIÓN URBANA	
	Centro		Villahermosa	
	63.45		56.59	
INFRAESTRUCTURA DE VIVIENDA	78.61	●	75.69	●
Vivienda durable	85.6	●	80.53	●
Acceso a agua mejorada	95.3	●	91.4	●
Espacio habitable suficiente	100	●	100	●
Densidad poblacional	33.56	●	30.83	●
INFRAESTRUCTURA SOCIAL	85.04	●	76.04	●
Densidad de médicos	85.04	●	76.04	●
INFRAESTRUCTURA DE COMUNICACIONES	34.31	●	31.82	●
Acceso a internet	25.18	●	20.19	●
Velocidad de banda ancha promedio	43.44	●	43.44	●
MOVILIDAD URBANA	62.46	●	57.12	●
Longitud de transporte masivo	35.91	●	25.19	●
Fatalidades de tránsito	89.02	●	88.35	●
FORMA URBANA	56.82	●	42.28	●
Densidad de la interconexión vial	87.65	●	70.95	●
Densidad vial	27.23	●	9.47	●
Superficie destinada a vías	55.58	●	46.42	●

Tabla 3. Índice de Infraestructura de Desarrollo. (ONU-Habitat, 2018)

Para llevar a cabo la fase de diseño de prototipo de este proyecto, los pasos a seguir se dividen en tres etapas importantes; la primera consiste en realizar una investigación para definir una ciudad de estudio y realizar una investigación extensa de las características propias del sitio que ayudarán a conocer aspectos importantes como la vegetación que nos ayudará a saber qué tipo de plantas son más propensas a sobrevivir el clima sin necesidad de invertir en su mantenimiento, conocer la fauna, también es un dato importante ya que da una idea del tipo de protecciones contra fauna nociva que se pueda emplear desde el diseño. Saber si en el relieve se cuenta con pendientes ayuda a decidir cuál es la conformación del diseño ideal, la geología ayuda a decidir el tipo de estructura que se necesita aplicar, y el tipo de suelo indica la cimentación.

En la segunda etapa, se debe utilizar toda la investigación realizada para la elaboración del diseño arquitectónico aplicando las estrategias pasivas, considerando las normas de construcción, los espacios que se necesitan para una familia típica de la ciudad, la distribución ideal de cada espacio, los materiales que serán utilizados y los sistemas constructivos.

Por último, se debe realizar una comprobación por medio de un estudio de asoleamiento y ejecución de simulaciones computacionales que permitan saber cómo se va a comportar el edificio a lo largo del año frente a las adversidades del clima. En esta parte, se indican, los pasos que se deben seguir y

todos los datos que se introducen en los simuladores.

6 | 1 ETAPA DE INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS

Para poder definir la ubicación del caso de estudio, se analizaron los climas de la República Mexicana para así poder encontrar las zonas que cuentan con un clima cálido húmedo. Posteriormente, con el Estudio de Caracterización del uso de Aire Acondicionado en Vivienda de interés Social, se identificaron los municipios que tienen mayor probabilidad de adquirir equipos de aire acondicionado y con estos datos, se concluyó que la ciudad de Villahermosa es el sitio indicado para realizar el estudio del presente documento. (González Osorio & Beele, 2016)

Una vez definido el sitio del caso de estudio, se analizaron los factores más significativos con que cuenta el medio ambiente siendo éstos los siguientes (Centro, 2018):

- Relieve

El estado de Tabasco forma parte de la llanura costera del Golfo sur de México en un 94.6%. El terreno ha sido modificado debido a la actividad sísmica originada por el material rocoso de las Sierras de Chiapas y Guatemala. El terreno también cuenta con minerales que fueron generados por cuencas marinas y lacustres que se acumulan en la llanura.

- Geología

El municipio de Centro se asienta predominantemente sobre arenisca y rocas sedimentarias proveniente de la Era Cenozoica; asimismo, las fallas y fracturas más cercanas se encuentran a 50 km del municipio de Teapa, donde inicia la cadena montañosa que caracteriza a la Región de la Sierra (Galindo, 2015).

- Suelo

El tipo de suelo más abundante para el estado de Tabasco es el Gleysol, pues los suelos en que se asienta el municipio de Centro son de textura arcillosa: principalmente Gleysoles y en menor proporción se encuentran Vertisoles, Luvisoles y Acrisoles (Galindo, 2015).

Los tipos de suelo que más abundan en el municipio son de contextura arcillosa: principalmente Gleysoles y Acrisoles, otros son Solonchaks, Histosoles, Cambisoles y Lixisoles, que también se encuentran representados en poco porcentaje en el territorio.

- Agua

El estado de Tabasco se encuentra en la región 30 hidráulica Grijalva-Usumacinta. Gran parte del municipio de Centro se encuentra en la cuenca Río Grijalva-Villahermosa. Aproximada-

mente 13 hectáreas del territorio del municipio están formadas por lagos siendo estos el 6.4% del terreno. De los cuerpos lagunares que se encuentran en el municipio, once forman parte de la configuración urbana de la ciudad debido a que la población se ha establecido a sus alrededores. El mayo de estos cuerpos de agua es la Laguna de las Ilusiones ubicada en las colonias de Villahermosa con una extensión de 194 ha.

- Vegetación

En gran parte del municipio, la vegetación predominante son los pastos, pues sirven para consumo del ganado bovino y, estratégicamente, en determinadas zonas cuenta con árboles que proporcionan sombra.

6 | 1.1 ANÁLISIS DE VARIABLES CLIMÁTICAS

Se generó el archivo climático de la ciudad de Villahermosa con el programa Meteororm 7.2. Con éste, usando el programa computacional Climate Consultant 6.0, se obtienen los datos de temperatura de bulbo seco, humedad relativa, vientos, precipitación y radiación solar (Tabla 4.). Así mismo, se obtuvo la rosa de vientos anual (Fig. 30); de esta manera se encontró que los vientos dominantes provienen del sur y del suroeste, con una velocidad promedio de aproximadamente 4 m/s con una temperatura entre 27 y 38 °C; con una humedad relativa principalmente mayor a 70%.

RESUMEN DE DATOS CLIMÁTICOS													
	ENE	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Wh/m ²
RADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL (MEDIA DIARIA)	3,676	4,275	5,516	6,215	6,029	5,863	6,162	5,669	5,208	4,392	4,088	3,320	Wh/sq.m
RADIACIÓN NORMAL DIRECTA (MEDIA DIARIA)	3,377	3,250	4,338	5,012	4,186	4,271	4,813	4,148	3,868	3,417	3,509	2,737	Wh/sq.m
RADIACIÓN DIFUSA (MEDIA DIARIA)	1,775	2,288	2,558	2,609	2,961	2,758	2,721	2,692	2,523	2,053	2,029	1,811	Wh/sq.m
ILUMINACIÓN GLOBAL HORIZONTAL (MEDIA HORARIA)	36,770	41,628	51,350	55,711	52,446	50,419	53,321	50,593	48,558	42,770	41,068	33,917	lux
ILUMINACIÓN NORMAL DIRECTA (MEDIA HORARIA)	27,617	24,705	32,961	36,160	27,529	28,890	32,614	29,037	28,518	27,185	28,486	22,718	lux
TEMPERATURA DE BULBO SECO (MEDIA MENSUAL)	23	24	27	28	29	29	29	29	28	27	25	24	°C
HUMEDAD RELATIVA (MEDIA MENSUAL)	79	77	70	69	69	74	71	74	79	79	81	80	%
DIRECCIÓN DEL VIENTO	260	260	250	250	250	240	160	260	240	200	250	270	Grados
VELOCIDAD DEL VIENTO	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	m/s
TEMPERATURA DEL SUELO	26	26	26	36	26	27	28	28	28	28	28	27	°C

Tabla 4. Resumen de datos climáticos. Información obtenida del archivo climático con Climate Consultant 6.0

Finalmente, se obtuvo la carta psicrométrica anual (Fig. 31.) con la cual se puede observar qué estrategias de diseño son necesarias para la ubicación dada.

Como resultado de esta carta, se encontró que las estrategias de diseño pasivo que se pueden aplicar en la ciudad de Villahermosa son las que se muestran en la Tabla 5.

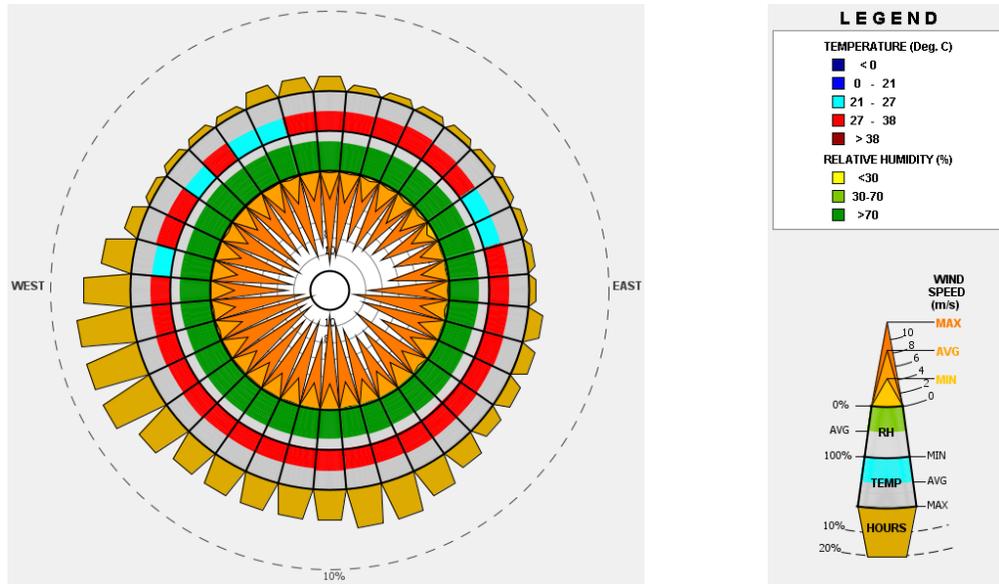


Fig. 30. Rosa de vientos anual. Cd Villahermosa. Información obtenida del archivo climático con Climate Consultant 6.0

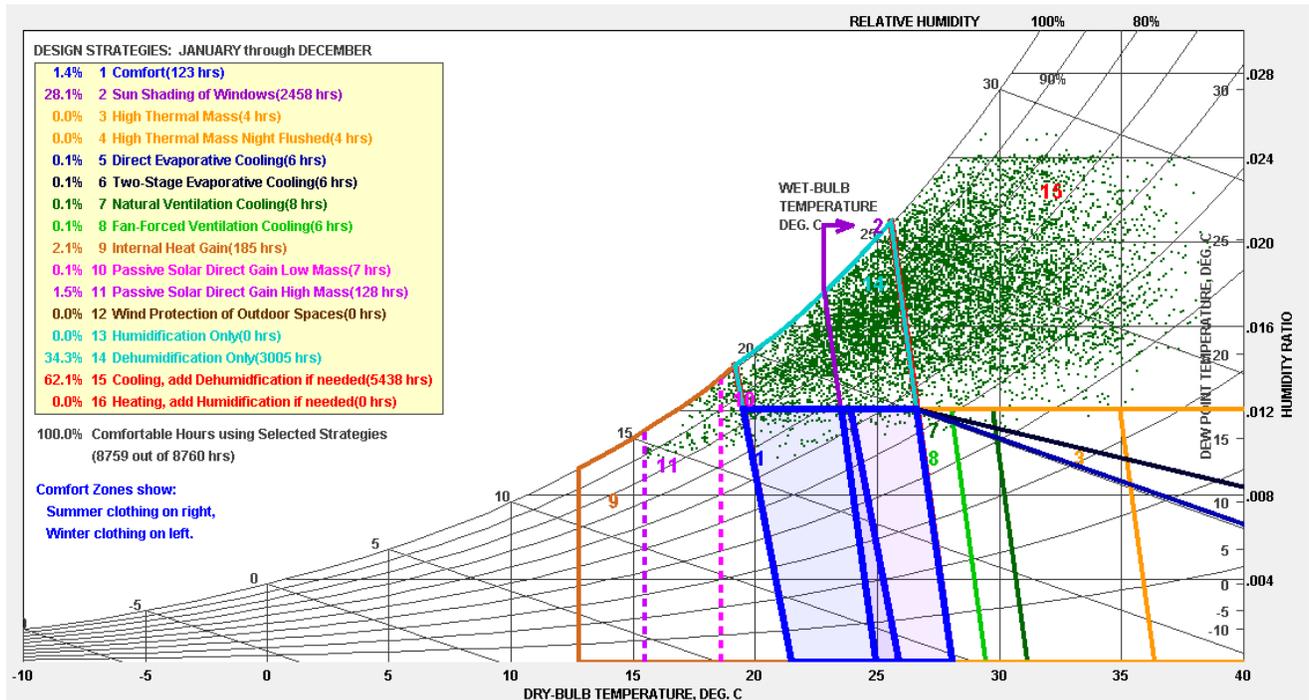


Fig. 31. Carta psicrométrica anual. Cd Villahermosa. Información obtenida del archivo climático con Climate Consultant 6.0

Anteriormente se usaba una construcción ligera con paredes que se pudieran abrir y porches sombreados al aire libre, elevados sobre el suelo.



Usaban techos altos y ventanas altas (francesas) operables protegidas por profundos voladizos y verandas.



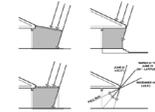
Los porches y patios con mosquitero pueden proporcionar un enfriamiento pasivo y confortable mediante ventilación y pueden prevenir problemas de insectos.



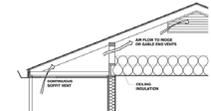
Emplear vegetación (arbustos, árboles, paredes cubiertas de hiedra) especialmente en el oeste para minimizar la ganancia de calor (si las lluvias de verano apoyan el crecimiento de las plantas nativas).



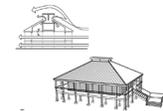
Los salientes de las ventanas (diseñados para esta latitud) o los parasoles operables (toldos que se extienden en verano) pueden reducir o eliminar el aire acondicionado.



En climas húmedos, los áticos bien ventilados con techos inclinados funcionan bien para evitar el estancamiento de la lluvia y se pueden extender para proteger entradas, porches, terrazas, áreas de trabajo al aire libre.



Si el suelo está húmedo, eleve el edificio por encima del suelo para minimizar la humedad y maximizar la ventilación natural debajo del edificio.



Minimice o elimine el acristalamiento con orientación oeste para reducir el aumento de calor en la tarde de verano y otoño.



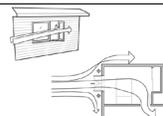
Las zonas de amortiguación al aire libre sombreadas (porche, patio) orientadas a la brisa predominante pueden extender las áreas de vida y trabajo en climas cálidos o húmedos.



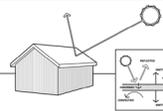
Oriente la mayor parte del vidrio hacia el norte, sombreado por aletas verticales, en climas muy cálidos, porque esencialmente no hay necesidades solares pasivas.



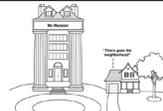
El plano de construcción largo y estrecho puede ayudar a maximizar la ventilación cruzada en climas templados y cálidos y húmedos.



Una buena ventilación natural puede reducir o eliminar el aire acondicionado en climas cálidos, si las ventanas están bien sombreadas y orientadas a la brisa predominante.



Use materiales de construcción de colores claros y techos frescos (con alta emisividad) para minimizar la ganancia de calor conducida.



Mantenga el edificio pequeño (tamaño correcto) porque el área de piso excesiva desperdicia energía de calefacción y refrigeración.



Tabla 5. Estrategias aplicables al clima cálido húmedo. Información obtenida del archivo climático con Climate Consultant 6.0

6 | 1.2 HOJA DE ISOREQUERIMIENTOS

Con el fin de lograr que los espacios internos fueran habitables con una sensación de comodidad térmica; se usaron datos de la temperatura media horaria de cada mes y tomando como referencia la temperatura ambiental promedio mensual (T_{amb}), se calculó la temperatura de neutralidad térmica (T_n) con el modelo adaptativo de la norma ASHRAE 55 con la siguiente ecuación:

$$T_n = 0.31T_{amb} + 17.8$$

El intervalo de temperaturas de comodidad térmica se encuentra entre la temperatura mínima ($T_{c\min}$) y la temperatura máxima ($T_{c\max}$). El cálculo de este intervalo consta de aumentar y disminuir 2.5 °C de la temperatura de neutralidad térmica con lo que se obtiene un intervalo de comodidad térmica permisible de 5 °C para cada mes del año (Tabla 6); de esta manera, se observa que en la ciudad de Villahermosa, que el intervalo de comodidad térmica se encuentra de los 23 a los 29°C sin embargo, estas temperaturas sólo están presentes durante 2 ó 3 horas al día. (Morillón Gálvez, 2004)

HORA	TEMPERATURA (°C)											
	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.
0	22	23	24	25	25	25	25	25	25	25	24	22
1	21	22	24	24	25	25	24	25	24	25	23	21
2	21	22	23	24	24	25	24	24	24	24	23	21
3	21	21	23	23	24	24	24	24	24	24	23	21
4	20	21	23	23	24	24	23	24	24	23	22	21
5	20	21	22	23	24	24	23	23	23	23	22	20
6	19	20	21	23	23	24	23	23	23	22	21	20
7	20	20	21	23	24	23	23	24	23	23	22	22
8	21	22	23	26	26	24	26	26	26	24	23	24
9	24	25	26	29	30	26	29	30	29	27	26	27
10	26	28	29	33	33	30	32	33	33	30	29	30
11	29	31	32	35	36	33	34	35	35	33	31	31
12	31	33	34	36	37	35	36	37	36	34	33	32
13	32	34	35	37	37	36	36	37	37	35	34	32
14	32	34	35	36	37	37	36	36	36	36	34	32
15	31	33	35	35	36	36	35	35	35	35	34	31
16	30	32	34	34	34	35	33	34	34	34	33	30
17	29	31	32	32	33	34	32	32	32	33	32	29
18	28	30	31	31	31	32	30	31	31	32	30	27
19	27	28	30	29	30	31	29	30	29	30	29	26
20	26	27	28	28	29	30	28	28	28	29	28	25
21	25	26	27	27	28	28	27	27	27	28	27	24
22	24	25	26	26	27	27	26	26	26	27	26	23
23	23	24	25	25	26	26	25	26	26	26	25	23
PROMEDIO	25	26	28	29	29	29	28	29	29	28	27	26
T _N	26	26	26	27	27	27	27	27	27	27	26	26
T _{MIN}	23	23	24	24	24	24	24	24	24	24	24	23
T _{MAX}	28	28	29	29	29	29	29	29	29	29	29	28

CALOR
CONFOT TÉRMICO
FRÍO

Tabla 6. Tabla de isorequerimientos. (Morillón Gálvez, 2004)

6 | 2 ETAPA DE DESARROLLO

6 | 2.1 DISEÑO DEL EDIFICIO

El diseño de la vivienda se hizo considerando que sería para una familia con 4 integrantes de manera que el programa arquitectónico está conformado por los siguientes espacios enlistados y descritos en a Tabla 7.

Una vez teniendo el programa arquitectónico, se analizan los espacios de manera que éstos respondan a las necesidades de función, circulación y privacidad de los usuarios para distribuirlos y posteriormente hacer el diseño arquitectónico (Diagrama 1, Diagrama 2, Diagrama 3).

ZONA	LOCAL	ACTIVIDAD	NO. DE USUARIOS	MOBILIARIO	LADO MÍNIMO (M.)	ÁREA (M ²)	ALTURA DESEADA (M.)	ORIENTACIÓN
1. SOCIAL	1.1 Sala	Convivir Platicar	4	Sillones Mesa	1.90	7.00	2.7	Suroeste
	1.2 Comedor	Comer Conversar	4	Mesa Sillas	2.40	7.00	2.7	Noreste
2. PRIVADA	2.1 Recámara 1	Dormir Descansar	2	Cama Buró	2.90	9.00	3.2	Noreste
	2.2 Recámara 2	Dormir Descansar	2	Cama Buró	2.90	8.00	3.2	Noreste
3. SERVICIOS	3.1 Cocina	Cocinar	2	Alacena Fregadero	1.90	6.00	2.7	Noreste
	3.2 Cuarto de servicio	Lavar	2	Lavadero	1.90	6.00	2.7	Noreste
	3.3 Patio trasero	Descansar Hacer jardinería	5	Mesas Sillas Estantes	2.00	13.40	-	Noreste
	3.4 Baño	Asearse	1	Regadera WC Lavabo	1.90	4.00	2.9	Suroeste
4. CIRCULACIONES	4.1 Vestíbulo inferior	-	-	-	1.90	4.00	2.7	Suroeste
	4.2 Vestíbulo superior	-	-	-	1.00	3.00	2.9	Suroeste
	4.3 Escaleras	-	-	-	1.80	6.00	5.8	Suroeste

Tabla 7. Programa arquitectónico. Elaboración propia.

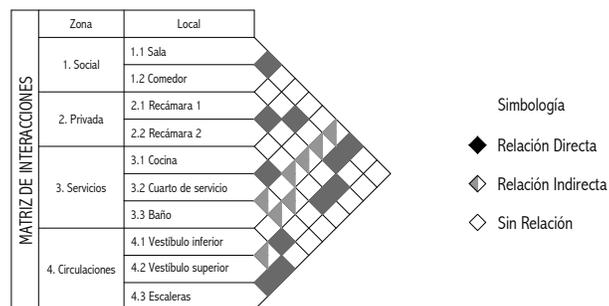


Diagrama 1. Matriz de relaciones. Elaboración propia.

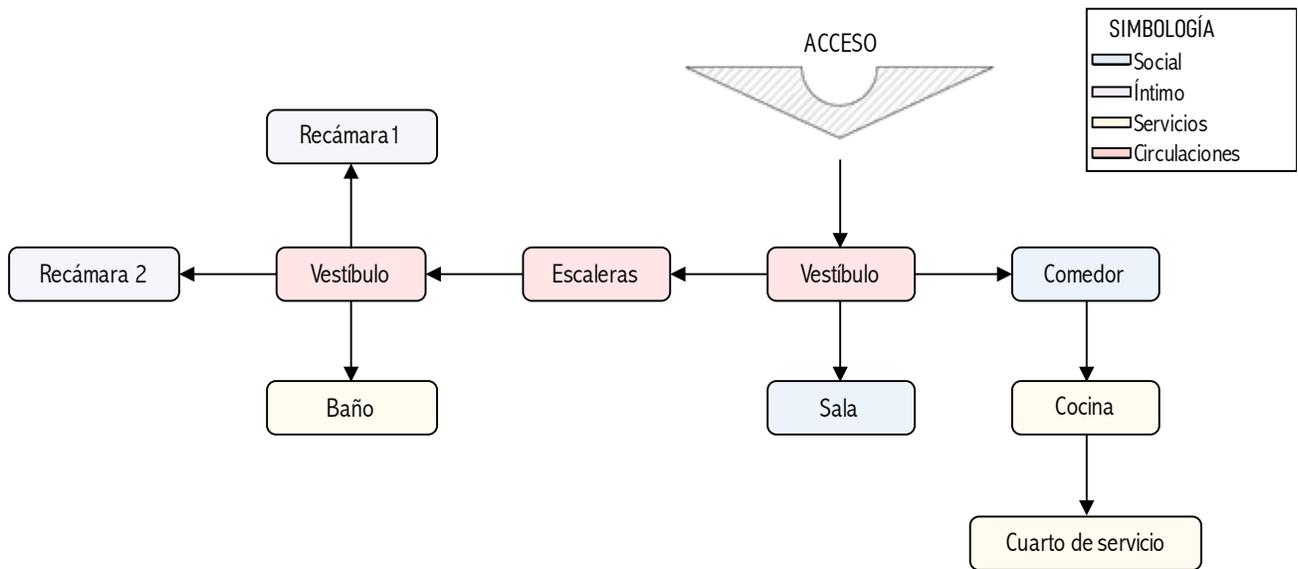


Diagrama 2. Diagrama de relaciones. Elaboración propia.

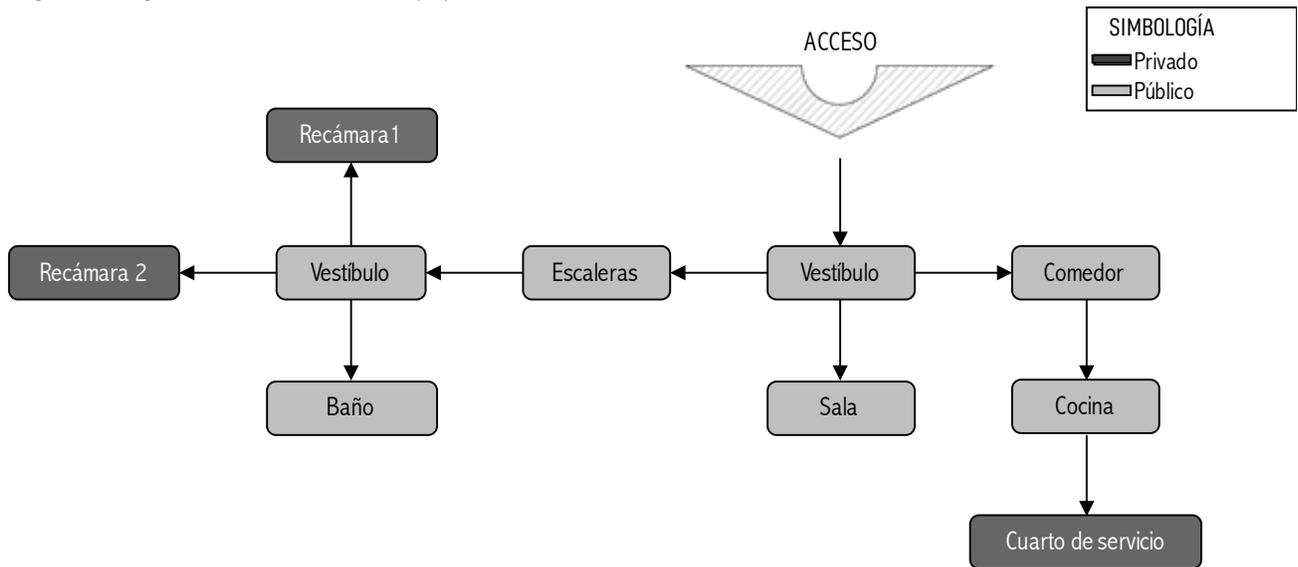


Diagrama 3. Diagrama de privacidad. Elaboración propia.

Con todo lo anterior, se llegó a la conclusión de que la vivienda debería diseñarse en dos niveles para separar la parte íntima de la parte pública. El área vestibular del acceso permite dirigir a los habitantes por un lado a los espacios públicos y por otro hacia las escaleras y de esta manera, se evitan las circulaciones cruzadas. En la planta alta también se dispuso de un pequeño espacio que ayuda a vestibular para dirigir hacia los espacios íntimos. Atendiendo a la matriz de relaciones, los espacios se dispusieron de manera consecutiva dependiendo de la relación que existe entre uno y otro.

6 | 2.2 PROPUESTA DEL TERRENO

Para facilitar el desarrollo de esta investigación, se propuso un terreno hipotético que fuera plano y tuviera las medidas

mínimas de superficie que pide la normativa (90 m²). Así mismo, se consideró que los proyectos de vivienda social por lo general se diseñan con edificios colindantes exactamente iguales en las partes laterales y posterior de las viviendas. Para facilitar el diseño del proyecto, se consideró que el terreno tuviera una superficie de 91 m² de los cuales 7 m corresponden al frente y 13 m corresponden al largo; esto, debido a que utilizar medidas con números fraccionarios puede complicar el modelado del edificio en los programas de simulación y medidas diferentes a las propuestas podrían dificultar la disposición de los espacios internos en conjunto con el patio ya que éste debe medir al menos 2.5 m entre la colindancia y el edificio para poder proporcionar iluminación suficiente a los espacios internos.

6 | 2.3 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS Y DISEÑO ARQUITECTÓNICO

Se ha propuesto que el volumen del edificio en su eje longitudinal esté orientado al norte pues los vientos dominantes provienen del sur-suroeste, de esta manera es posible favorecer la ventilación cruzada.

Para ubicar el volumen, se planteó un patio trasero de 2.5 m. (medida mínima según las normas de diseño arquitectónico) que provea de ventilación e iluminación en los espacios traseros; este patio, puede ser utilizado tanto para servicio como para áreas verdes, sin embargo, no se propuso vegetación de gran altura para no ocasionar problemas en los cimientos debido a sus raíces. En la parte frontal se propone un espacio que se pueda dedicar para vegetación de gran fronda con la finalidad de proveer de sombra la fachada frontal y de esta manera, impedir la transferencia del calor. Las escaleras de acceso a la vivienda sobresalen un peldaño del volumen para que el acceso tenga un espacio vestibular sombreado antes de entrar a la vivienda al mismo tiempo que facilite abrir y cerrar la puerta.

Para la distribución de los niveles del edificio y recordando que la ciudad de Villahermosa tiene un clima cálido húmedo y es propensa a sufrir inundaciones debido a las fuertes lluvias que se manejan, se ha propuesto que el volumen se eleve medio nivel (1.35 m.) tanto para evitar inundaciones como para que el aire amortigüe el calor proveniente del suelo y así, el piso de la vivienda permanezca fresco. De igual manera se consideró que las viviendas típicas son de dos niveles de los cuales la parte privada se encuentra en la planta alta y los espacios públicos en la planta baja (Fig. 32) en donde la altura de los entresijos se propuso que fuera de 2.70 m. para la planta baja y de 3 m. para la planta alta con la finalidad de que el aire caliente se desplace hacia arriba debido a que tiene una menor densidad que el aire frío.

En cuanto a la envolvente del edificio, se propuso un muro en celosía en la fachada sur donde se encuentra el cubo de la escalera para que la vivienda se encuentre ventilada en todo momento; de igual manera, el muro en la zona norte del cuarto de servicio es de tipo celosía para mantener ventilado el espacio donde se encuentra ubicado el calentador de gas. Por otra parte, la cubierta se diseñó a dos aguas para evitar



Fig. 32. Plantas de zonificación por tipo de espacio. Elaboración propia con Autodesk Revit.

estancamientos del agua en temporada de lluvias; ésta a su vez, sobresale del volumen (1.50 m.) para que proporcione sombra a la fachada y a los balcones durante la mayor parte del año y de esta manera, el calor que se transmita sea con menor intensidad en verano, sin embargo, en la temporada de invierno, los volados no impiden la incidencia solar.

Gracias al análisis de los edificios de la ciudad, es posible comprender que culturalmente las familias acostumbran tener patios abiertos en el nivel superior de manera que éste esté techado formando parte del volumen; en este proyecto se propuso tener un espacio vestibular a modo de sala de estar en la planta alta que cuenta con una puerta amplia que sirve para controlar el flujo del aire al interior y que abra hacia un balcón que sobresale (1.5 m.) de manera que el mismo ayuda a proporcionar sombra a la parte inferior de la fachada sur. De la misma manera, se propusieron balcones para las recamaras que se encuentran en la parte posterior de la vivienda y que sombrean la parte baja de la fachada norte.

Se propusieron vanos amplios para las ventan y que éstas sean corredizas para que le sea posible a los usuarios regular la entrada de aire.

Los espacios se definieron considerando a una familia de cuatro personas de manera que la vivienda se diseñó con dos recámaras, un baño completo y una estancia en la planta alta. Los espacios públicos que se encuentran en la planta baja son: un medio baño, una sala-comedor, la cocina y un espacio abierto de servicio. En el caso de los baños, para reducir costos en mantenimiento y consumo energético, se

propuso que ambos contaran con ventilación e iluminación natural; aunque debido a la distribución de los espacios, el baño de la planta baja tiene una iluminación indirecta (para mayor detalle de los planos arquitectónicos, consultar el Apéndice 1). El proyecto de la vivienda se modeló en el programa computacional Autodesk Revit versión 2018 (Fig. 33).

6 | 2.4 ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS APLICABLES

Debido a la temperatura y humedad que se maneja en la ciudad de Villahermosa, es necesario utilizar materiales que tengan tanto baja densidad (ρ) y conductividad térmica (K) como alto calor específico (C_e) para que dichos materiales no transfieran el calor del ambiente hacia el interior de la vivienda.

Los materiales que se propusieron para la vivienda, a pesar de que no son la mejor solución, fueron muros de ladrillo y losa de concreto armado ya que los habitantes los prefieren para así demostrar un mejor estatus económico. De esta manera, la losa de azotea y los volados cuentan con un recubrimiento impermeable en la parte que da al exterior y aplanado de yeso al interior con una capa de pintura blanca. Las losas de entrepiso tienen loseta cerámica en la parte superior y aplanado de yeso con una capa de pintura blanca en la parte inferior y el suelo del patio es firme de concreto a excepción del área verde. En cuanto a los muros, se propusieron con recubrimiento de yeso en ambas caras y una capa de pintura beige al exterior de la vivienda y una capa blanca al interior;

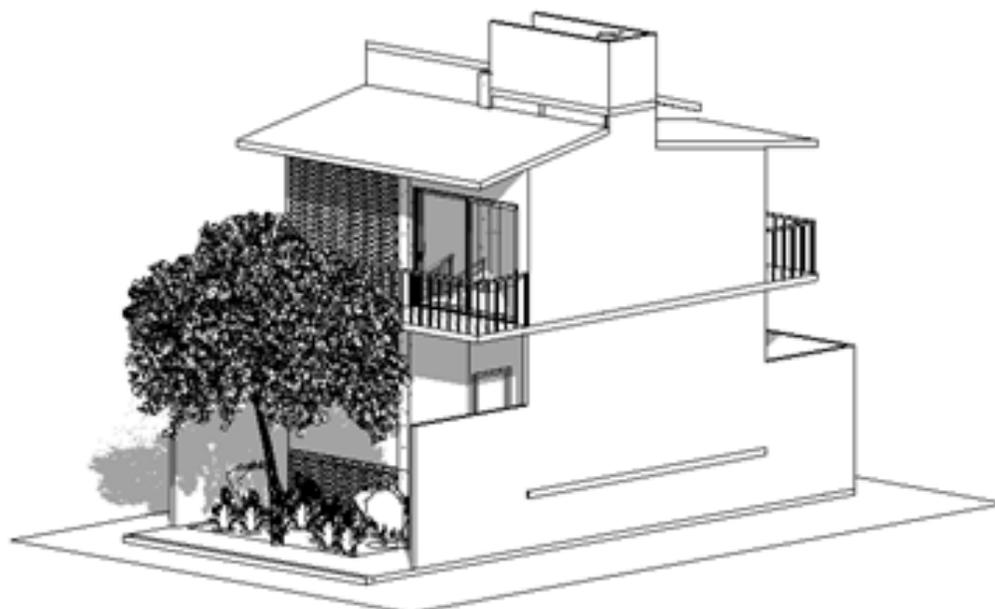


Fig. 33. Volumetría del diseño de la vivienda. Elaboración propia con Autodesk Revit.

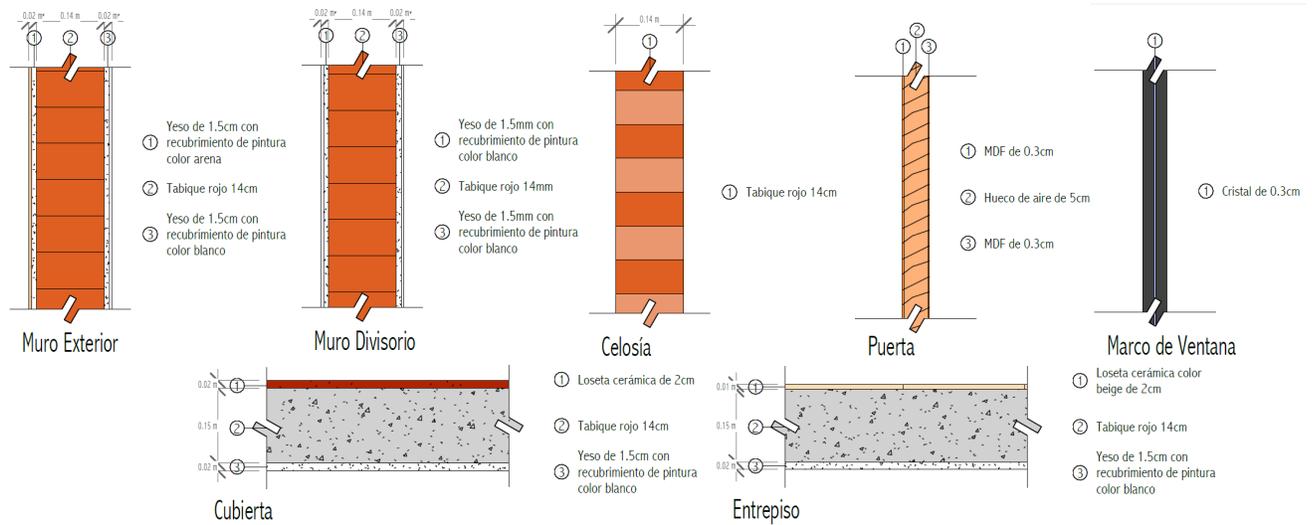


Diagrama 4. Sistemas constructivos. Elaboración propia con Autodesk Revit.

esto debido a que la pintura blanca ayuda a mantener una buena iluminación al interior y la pintura beige del exterior refleja la radiación solar que recibe. Por otra parte, los muros en celosía son de ladrillo aparente debido a que su única función es contribuir a la ventilación interna. Las ventanas son de cristal comercial de 3 mm con un marco de aluminio color negro y finalmente, las puertas son de panel de madera de MDF con una capa de pintura color arena (Diagrama 4).

En la Tabla 8 se encuentran los valores termofísicos (ICCL, 2007) de los materiales que se utilizaron, en la Tabla 9. se muestran los valores ópticos de los mismos y finalmente, con el programa computacional Window, se obtuvieron los datos térmicos y ópticos de los cristales para las ventanas (Tabla 10)

MATERIAL	ABSORTANCIA (α)	EMISIVIDAD IR (ϵ)
IMPERMEABLE GRIS	0.3	0.8
LADRILLO APARENTE	0.63	0.93
CONCRETO	0.6	0.88
PAVIMENTO	0.93	0.89
PINTURA BLANCA	0.3	0.8
PINTURA BEIGE	0.3	0.8
PINTURA ARENA	0.3	0.8
PINTURA NEGRA	0.98	0.98

Tabla 9. Propiedades ópticas de los materiales. (Çengel, Termodinámica, 2009) (Çengel, Transferencia De calor y masa, 2007)

MATERIAL	DENSIDAD (ρ)	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (K)	CALOR ESPECÍFICO (C_p)
CONCRETO ARMADO	2300	1.4	880
LADRILLO APARENTE	2300	0.85	1000
YESO	600	0.3	1000
LOSETA CERÁMICA	2300	1.3	840
CRISTAL	2500	1	750
ALUMINIO	2800	160	880
PANEL DE MADERA MDF	450	0.14	1700
ASFALTO	2115	0.062	920

Tabla 8. Propiedades termofísicas de los materiales. (ICCL, 2007)

PROPIEDADES DE VIDRIO COMERCIAL DE 3 MM	
COLOR	Transparente
ESPELOR	3.048 mm
TRANSMITANCIA SOLAR	0.834
REFLECTANCIA SOLAR FRONTAL	0.075
REFLECTANCIA SOLAR POSTERIOR	0.075
TRANSMITANCIA VISIBLE	0.899
REFLECTANCIA VISIBLE FRONTAL	0.083
REFLECTANCIA VISIBLE POSTERIOR	0.083
TRANSMITANCIA INFRARROJA	0
EMITANCIA INFRARROJA FRONTAL	0.84
EMITANCIA INFRARROJA POSTERIOR	0.84

Tabla 10. Propiedades térmicas y ópticas de vidrio comercial de 3 mm. Obtenido de IGDB con LBNL Window.

6 | 3 ETAPA DE COMPROBACIÓN

La etapa de comprobación está formada por tres partes las cuales consisten en un estudio de asoleamiento, una simulación térmica dinámica y una simulación mediante dinámica de fluidos computacional. Es importante señalar que debido a que en el diseño de la vivienda se consideró que, siendo las casas de interés social, se construirían una seguida de la otra con dirección este/oeste; tanto en el estudio de asoleamiento como en las simulaciones térmica y de ventilación, se colocaron volúmenes que representaran dichas colindancias para hacer un análisis más completo.

Para la comprobación del consumo energético se calcularon las fechas críticas a lo largo del año con el programa Autodesk Ecotect, las cuales corresponden al día más fresco, el más nublado, el más y el menos ventoso, el más brillante y el más cálido del año, así como los días en que son los equinoccios y los solsticios dando como resultado las siguientes fechas de análisis, una vez teniendo estas fechas, se analizó el horario con mayor temperatura. Finalmente, se utilizaron los datos de la presión atmosférica tomando en cuenta las fechas indicadas ya que ésta es una entrada de presión y ayuda a calcular de manera más exacta la humedad del sitio. (Tabla 11).

CASO DE ESTUDIO	FECHA	PRESIÓN ATMOSFÉRICA (Pa)
1. DÍA MÁS FRESCO	16 de enero	102200
2. DÍA MÁS NUBLADO	26 de enero	101800
3. DÍA CON MÁS VIENTO	15 de febrero	101300
4. DÍA MÁS BRILLANTE	10 de marzo	101300
5. EQUINOCCIO DE PRIMAVERA	20 de marzo	101900
6. DÍA MÁS CÁLIDO	28 de mayo	101100
7. SOLSTICIO DE VERANO	21 de junio	101300
8. DÍA CON MENOS VIENTO	3 de septiembre	101300
9. EQUINOCCIO DE OTOÑO	22 de septiembre	101500
10. SOLSTICIO DE INVIERNO	21 de diciembre	101900

Tabla 11. Fechas de análisis y presión atmosférica de los días de estudio. (Meteored, s.f.)

6 | 3.1 ESTUDIO DE ASOLEAMIENTO

El estudio de asoleamiento es un análisis de cómo incide la radiación solar en las fachadas de la vivienda. Para este estudio, se utilizó el programa computacional Autodesk Revit

en donde se tomaron como referencia los días más críticos del año mencionados anteriormente. (Tabla 12).

FECHA	AMANECER	ATARDECER
16 DE ENERO	6:46	17:57
26 DE ENERO	6:46	18:02
15 DE FEBRERO	6:40	18:11
10 DE MARZO	6:24	18:19
20 DE MARZO	6:16	18:22
28 DE MAYO	5:36	18:41
21 DE JUNIO	5:37	18:49
03 DE SEPTIEMBRE	5:37	18:24
22 DE SEPTIEMBRE	6:00	18:08
21 DE DICIEMBRE	6:38	17:40

Tabla 12. Análisis de horarios de amanecer y atardecer en ciudad de Villahermosa. Elaboración propia a partir de datos de asoleamiento obtenidos con Autodesk Revit.

Considerando los horarios en que amaneció y atardeció en los días críticos del año 2018, se tomó como promedio que el horario con incidencia solar sería entre las 6 horas y las 18 horas; en dicho intervalo de tiempo, se analizaron 3 horarios siendo éstos a las 9 horas, las 12 horas y las 15 horas.

6 | 3.2 TRANSFERENCIA DE CALOR

La simulación térmica dinámica consiste en calcular cómo se transmiten los flujos de calor del exterior a través de los sistemas constructivos hacia cada uno de los espacios internos de la vivienda. De esta manera, es posible saber cuál es la temperatura durante cada hora a lo largo del año y así poder determinar si ésta se encuentra dentro del intervalo de comodidad térmica.

Para analizar la transferencia de calor del diseño arquitectónico, se hace el modelado de la propuesta en el programa computacional Design Builder pues en éste, se puede realizar la volumetría computacional y después, se convierte el modelo gráfico obtenido en un descriptor por coordenadas de la volumetría del edificio diseñado para realizar la simulación con el programa Energy Plus versión 9.1.0 para obtener parámetros de desempeño energético del edificio.

- Modelado energético con Design Builder

En la etapa del modelado energético fue necesario simplificar los huecos de la celosía para reducir la cantidad de elementos (pequeños) para que se exportara adecuadamente el archivo de manera que se hicieron huecos verticales alargados que

correspondieran a la misma área de huecos que tiene la celosía. (Fig. 34) (para detalles del modelado, consultar el Apéndice 2).

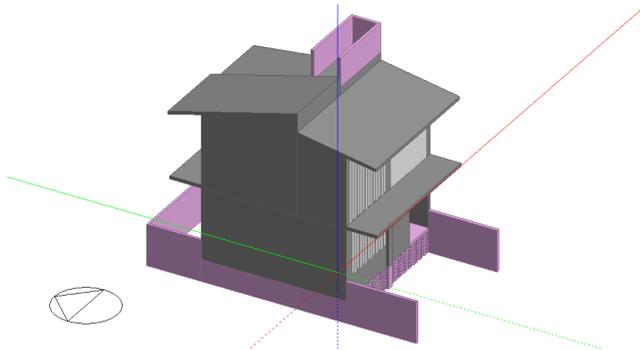


Fig. 34. Modelo 3D. Elaboración propia con Design Builder.

También fue necesario considerar las colindancias debido a que éstas cubren las fachadas este y oeste por lo que la transferencia del calor no proviene del ambiente. Por lo tanto en el modelo se tomaron en cuenta sólo como obstáculos y no como elementos a analizar. (Fig. 35). En esta parte, se indican los vanos con que cuenta el modelo y en el caso de las ventanas, se señala de qué material y espesor están conformados los marcos así como las divisiones.

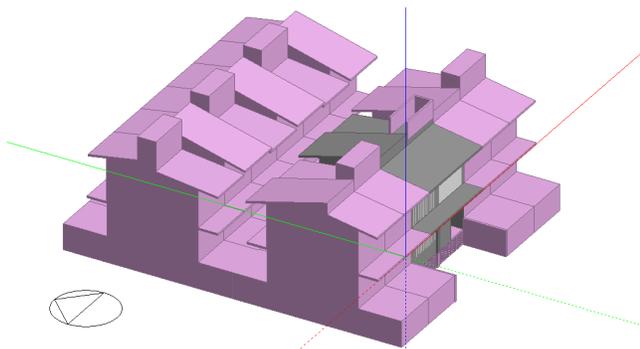


Fig. 35. Modelo 3D. Elaboración propia con Design Builder.

- Simulación térmica dinámica (DTS) con EnergyPlus

Localización

Se indican la latitud (17.986 Norte), longitud (92.939 Oeste), zona horaria (-6 h) y altitud (20 m.s.n.m) que se encuentran en el archivo climático.

- Elementos de los sistemas constructivos

Se ingresan los materiales que conforman los sistemas constructivos (Diagrama 4) con las propiedades térmicas y ópticas respectivamente según lo indica la Tabla 8 y la Tabla 9. Se agrega un hueco de aire que corresponde al hueco que existe en las puertas, así como las propiedades de un cristal comercial (Tabla 10).

Se indican las capas de los sistemas constructivos (Diagrama

4) empezando de la capa exterior (1) hacia la interior (3). En el caso del entresijo se agrega dos veces; uno que indiquen las capas del sistema desde la planta alta hacia la planta baja y el otro en reversa, es decir, de la planta baja hacia la planta alta (Entresijo_rev).

- Zonas térmicas y superficies

Se indica que el volumen y área de los espacios (zonas) de la vivienda se auto calculen. Se indica qué sistemas constructivos corresponden a los elementos que conforman cada zona de la simulación tomando en cuenta cual sería la capa interior y la exterior. Finalmente se indican si los vanos que se encuentran son puertas o ventanas. En el caso de las ventanas, se especifican las propiedades térmicas y ópticas del marco de la ventana incluyendo las propiedades del hueco de aire.

6 | 3.3 ANÁLISIS DE VENTILACIÓN NATURAL

La simulación de la ventilación consiste en analizar el comportamiento del viento tomando en cuenta la temperatura, presión, velocidad y dirección del viento tanto en la parte externa como en la parte interna del edificio. La simulación se realizó en dos partes las cuales consistieron en modelar la volumetría del aire en AutoCAD 2018 y posteriormente se realizó una simulación con dinámica de fluidos computacional (CFD) en ANSYS Fluent.

- Preprocesamiento: Modelado y discretización de la volumetría del aire

El modelado se realizó en AutoCAD debido a que es necesario simplificar los elementos de detalle que conforman el volumen (Fig. 36). Para hacer el modelo se consideraron todas las colindancias como se muestra en la Fig. 37. Para facilitar la simulación se estandarizaron las medidas de los espacios

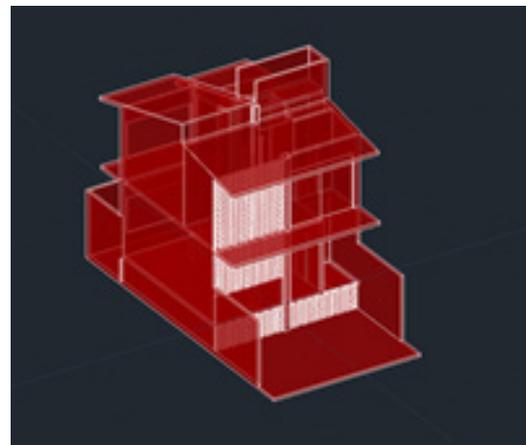


Fig. 36. Modelo del volumen simplificado. Elaboración propia con AutoCAD.

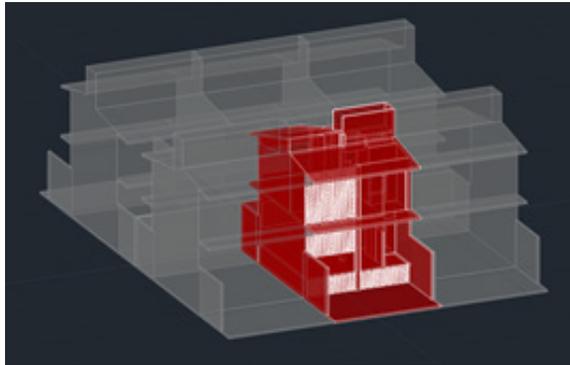


Fig. 37. Modelo con colindancia. Elaboración propia con AutoCAD.

por donde hay un flujo de aire a 15 cm. que es la medida de los ladrillos, misma que se dio al espacio entre colindancias. El volumen que se analizó fue el que conforma el aire que se encuentra dentro de la vivienda y fuera de ella hasta 5 metros; a este volumen se llama Dominio (Fig. 38). Una vez teniendo el modelo 3D, se exporta en formato .SAT para que sea compatible con el programa ANSYS Fluent.

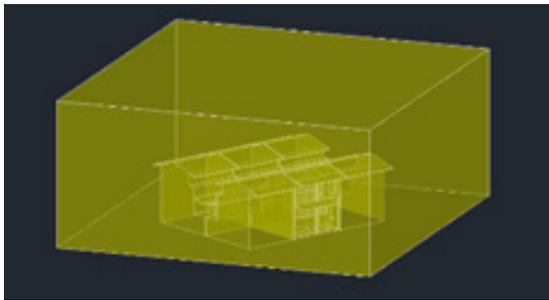


Fig. 38. Dominio. Elaboración propia con AutoCAD.

- Simulación de Dinámica de Fluidos computacional (CFD) con ANSYS Fluent

La simulación de CFD consiste en cinco etapas; la primera parte es la geometría la cual es ajustar los detalles después de importar el archivo .SAT como son la orientación del edificio, la escala y el etiquetado de las superficies que contendrán las condiciones de frontera del análisis.

La segunda etapa, el mallado, consiste en discretizar el dominio computacional a simular con la finalidad de que el programa de CFD pueda realizar los cálculos (ANSYS Fluent emplea el método de volumen finito, lo que implica que el dominio deberá dividirse en varios elementos de volumen o celdas para que el proceso de cálculo se realice gradualmente en todo el dominio). La malla generada se realizó en ANSYS Mechanical con la siguiente información (Tabla 13).

En la etapa de la configuración, se introducen los datos de la ecuación que se van a utilizar para realizar el procesamiento de la simulación de dinámica de fluidos computacional (CFD)

TIPO DE MALLA		ELEMENTOS DE MALLA	
MÉTODO	Mallado cartesiano (hexaédrico)	CALIDAD DE CELDAS	0.97739 ±2.0086e-002
TAMAÑO	0.15 m.	SESGO DE CELDAS	2.3975e-003± 3.1186e-002
		NODOS	7420134
		ELEMENTOS	7200334

Tabla 13. Configuración para generar malla. Elaboración propia.

con ANSYS Fluent según lo que se indica.

A continuación se describen los parámetros de simulación y los datos de alimentación de la simulación, desde los generales, hasta las condiciones de frontera del caso de estudio.

General

- Formulación temporal: Análisis de estado transitorio.
- Aceleración de la gravedad: -9.81 m/s² sobre el eje Y.

Modelos

- Ecuación de energía/balance de calor: Activado.
- Modelado de turbulencia: Modelo de simulación de grandes turbulencias (LES) con esquema de cálculo a escala de submalla de Smagorinsky-Lilly.
- Modelo de radiación: Modelo superficie a superficie (S2S) con carga solar.

En la calculadora solar se indicaron la latitud (17.9878°), longitud (-92.9192°) y zona horaria (-6 h) y el día a calcular que en este caso son las fechas que se indicaron como caso de estudio en los horarios respectivos; para orientar el edificio, es necesario señalar el norte en el eje de Z y el este en el eje X. Posteriormente se indica la fecha de la simulación para las nueve fechas estudiadas y el horario de inicio de simulación (este último punto se profundiza en la presentación de las condiciones de frontera). (Tabla 11).

Materiales

Se indica que la densidad del aire seguirá la ley del gas ideal y se asignan las propiedades termofísicas de los materiales que serán empleados. (Tabla 8).

Condiciones operativas

En la sección de condiciones de operación, se indica la presión atmosférica para cada caso de estudio (para mayor detalle de las condiciones meteorológicas, consultar la Tabla 11 y la densidad operativa (cero).

Condiciones de frontera

Antes de indicar las condiciones de frontera, es importante tomar en cuenta que, para cada caso de estudio, es necesario analizar la dirección del viento y su velocidad (para mayor detalle del resumen de las rosas de vientos, consultar la Tabla 11.

Dependiendo del tipo de frontera, se indican los datos de la Tabla 14:

Al ser la simulación ejecutada en condiciones de proceso físico en estado transitorio, se procedió a realizar la simulación en ciclos de 24 horas correspondientes a cada uno de los días de análisis (en períodos de las 0 a las 23 horas). Para lograr esto, se empleó un pseudo-script que contenía una tabla transitoria, esto es, un perfil de temperaturas y velocidades por cada hora de tiempo de flujo de la simulación con indicación de no periodicidad. Este pseudo-script o perfil se ingresaba en un archivo “.prof” directamente en Fluent. Con estas temperaturas y velocidades se indicaron las condiciones de frontera en las caras indicadas como entrada de velocidad en la Tabla 11.

Los datos climáticos para general el perfil para el análisis CFD con ANSYS Fluent, se obtuvieron mediante la conversión a Excel del archivo de información climatológica (EPW) que se empleó para la simulación térmica dinámica. En el Apéndice 3 se presenta el detalle de cada perfil o tabla transitoria.

En el entendido de una simulación de un proceso en estado transitorio, el modelo de radiación con carga solar se con-

figuró con la hora de cálculo del vector solar iniciando a las 0 horas del día de estudio, esto para que en cada paso de tiempo de simulación se actualice la posición del Sol a lo largo del día de estudio mencionado.

Configuración del motor de cálculo.

Se empleó el motor de cálculo de segregación de operadores escalares y vectoriales (SIMPLE) con algoritmos de segundo orden para la solución de la ecuación de energía y velocidad de flujo, de fuerzas de cuerpo ponderadas para presión, de diferencia central para cantidad de movimiento y de segundo orden implícita para la discretización de tiempo. Se emplearon los factores de subrelajación que venían indicados por defecto en Fluent.

La solución se ejecutó con el cálculo de las ecuaciones configurado a 60 pasos de 60 segundos a 10 iteraciones por paso.

6 | 4 RESULTADOS A OBTENER

Una vez teniendo ambas simulaciones, es posible analizar con gráficas de colores falsos, que describen las variables físicas y mecánicas del aire de los espacios, si el diseño arquitectónico con criterios pasivos puede ayudar a que en las viviendas puedan prescindir de ventilación mecánica, así como también información del comportamiento térmico de los espacios y su desempeño energético.

ZONA	TIPO DE CONDICIÓN	CONFIGURACIÓN
ATMÓSFERA	Entrada de presión	Tiene una presión de 0.001 y la temperatura correspondiente al caso de estudio (Anexo 1. Tabla de temperaturas y presión atmosférica de los días de estudio. (Meteored, s.f.))
CARAS NORTE, ESTE, SUR Y OESTE DEL MODELO	Entrada de velocidad	Las velocidades del aire así como sus temperaturas se proveyeron en una tabla transitoria tipo pseudo-script denominada “Profile” o perfil, la cual consta de los datos de temperatura y velocidad de viento por cada hora de análisis en los días de caso de estudio para la simulación de ventilación.
ELEMENTOS ADIABÁTICOS PARTICIONES Y ENTREPISOS	Pared	No tiene transferencia de calor ni interacción con el sol
ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS[1]	Pared	Se indica que la condición térmica es por convección con un coeficiente de transferencia de calor de 13 W/m ² -K (acorde a la NOM-020-ENER-2011) y la temperatura del caso de estudio (Anexo 1. Tabla de temperaturas y presión atmosférica de los días de estudio. (Meteored, s.f.)), se indica en la conducción de la estructura los materiales de las capas que lo conforman y los espesores de cada uno (Imagen 6. Sistemas constructivos.); finalmente en la sección de radiación, se indican las propiedades ópticas de la capa exterior de los elementos en donde la radiación directa visible es la emisividad y la Absortancia es IR (Tabla 6. Propiedades ópticas de los materiales.)

Tabla 14. Datos de las condiciones de frontera. Elaboración propia.

1 Tanto las particiones como los entrepisos cuentan con transferencia de calor, pero debido a que no se conocen las condiciones de frontera al interior y es preciso simplificar el problema, se asumen como adiabáticas.

En este capítulo, se realiza un estudio de asoleamiento para mostrar la manera en que incide la radiación del sol en las fachadas principal y la posterior en donde se considera la vegetación propuesta para proporcionar mayor exactitud en el estudio.

Posteriormente, en la simulación térmica se puede comparar con gráficas los datos de la temperatura de cada espacio del interior del edificio a lo largo del día durante los días con clima más extremo y en los solsticios y equinoccios. En esta simulación se consideran las ventanas cerradas con la finalidad de poder analizar el comportamiento de la envolvente del edificio con base en las características termofísicas de los sistemas constructivos y así entender cómo se da la transferencia de calor por conducción y radiación a través de los materiales sin tomar en cuenta otros factores como son la transferencia de calor por convección.

Por último, en la simulación de ventilación se obtendrán por un lado, gráficas de colores falsos en donde se representa la velocidad del flujo del aire a través de los vanos y por otra parte, se podrá observar la temperatura de los espacios al interior en donde se podrá comprender la manera en que se transfiere el calor por convección en el edificio.

7 | 1 ESTUDIO DE ASOLEAMIENTO

En las figuras que se muestran en el estudio, se puede observar gráficamente la orientación del edificio junto con sus colindancias y el recorrido del sol desde el amanecer hasta el atardecer.

7 | 1.1 16 DE ENERO, DÍA MÁS FRESCO DEL AÑO

En el día más fresco, a las 9 horas, la incidencia del sol en la fachada sur es relativamente poca por lo que el único espacio que cuenta con iluminación es la estancia.

Durante el día más fresco se observa que en la fachada sur, la incidencia solar es en la parte inferior de cada uno de los niveles tanto en la mañana como en la tarde; sin embargo, a las 12 horas la incidencia solar es mínima. Por otra parte, en la fachada norte no hay incidencia solar durante el día (Fig. 39, Fig. 40, Fig. 41).

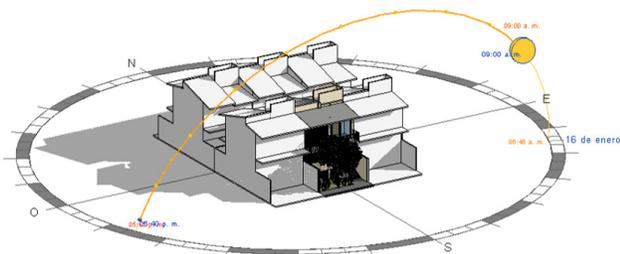


Fig. 39. Asoleamiento en el día más fresco del año a las 9 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.

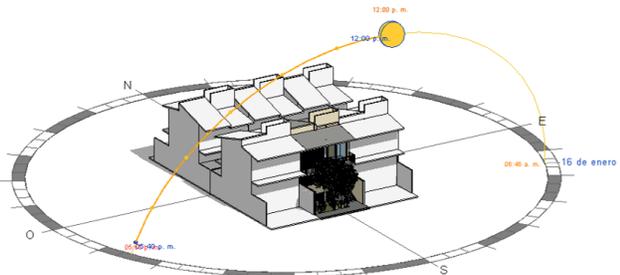


Fig. 40. Asoleamiento en el día más fresco del año a las 12 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.

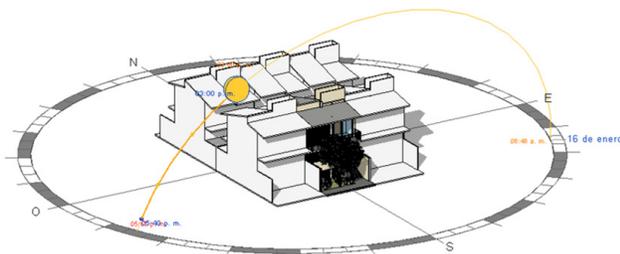


Fig. 41. Asoleamiento en el día más fresco del año a las 15 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.

7 | 1.2 26 DE ENERO, DÍA MÁS NUBLADO DEL AÑO

En la fachada norte en el día más nublado no se presenta incidencia solar durante el día; a diferencia de la fachada sur que cuenta con una incidencia en la parte baja de cada nivel a las 9 y 15 horas, a las 12 horas del día la incidencia solar de cada nivel en la parte baja de cada nivel es mínima (Fig. 42, Fig. 43, Fig. 44).

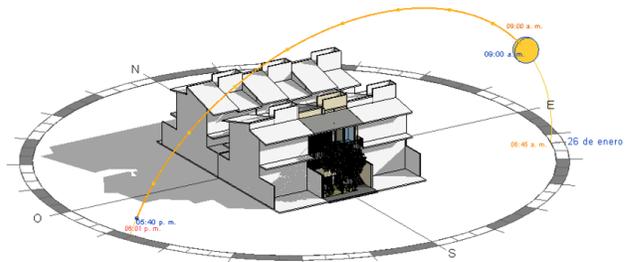


Fig. 42. Asoleamiento en el día más nublado del año a las 9 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.

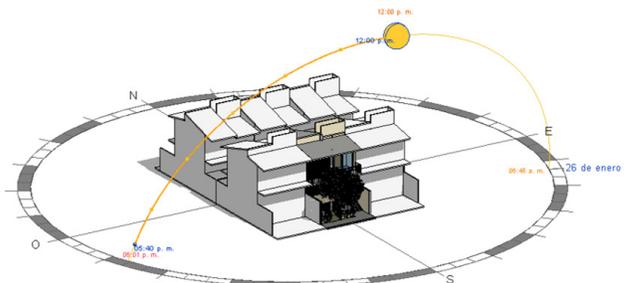


Fig. 43. Asoleamiento en el día más nublado del año a las 12 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.

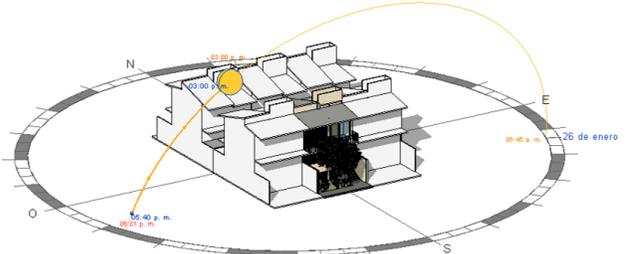


Fig. 44. Asoleamiento en el día más nublado del año a las 15 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.

7 | 1.3 15 DE FEBRERO, DÍA CON MÁS VIENTO DEL AÑO DEL AÑO

En el día con más viento del año, la radiación solar tiene poca incidencia a las 12 horas. A las 9 y 15 horas, la incidencia es en la parte baja de cada nivel en la fachada sur y en la fachada norte, no se presenta incidencia solar (Fig. 45, Fig. 46, Fig. 47).

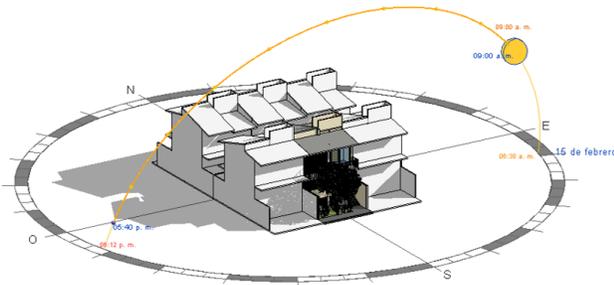


Fig. 45. Asoleamiento del día con más viento del año a las 9 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.

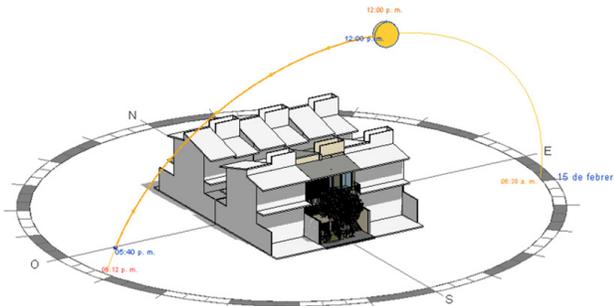


Fig. 46. Asoleamiento en el día con más viento del año a las 12 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.

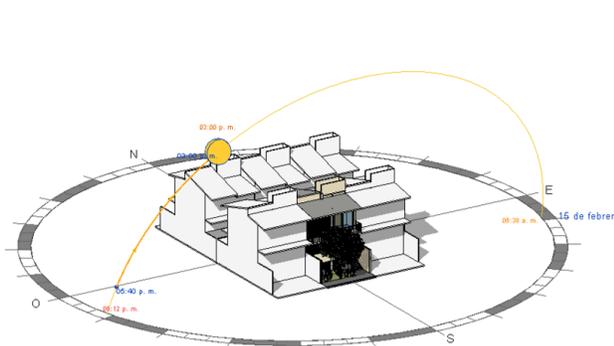


Fig. 47. Asoleamiento en el día con más viento del año a las 15 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.

7 | 1.4 10 DE MARZO, DÍA MÁS BRILLANTE DEL AÑO

Durante el día más brillante, el sol tiene muy poca incidencia en la zona del vestíbulo (fachada sur) a las 9 horas; a las 12 horas en la misma zona vestibular, la radiación es aún menor y a las 15 horas, la es mayor en la zona de la circulación vertical (fachada sur). En el resto de la fachada sur y en la fachada norte, los volados no permiten la incidencia solar (Fig. 48, Fig. 49, Fig. 50).

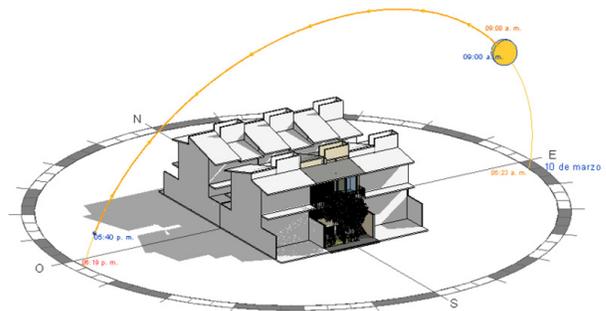


Fig. 48. Asoleamiento en el día más brillante del año a las 9 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.

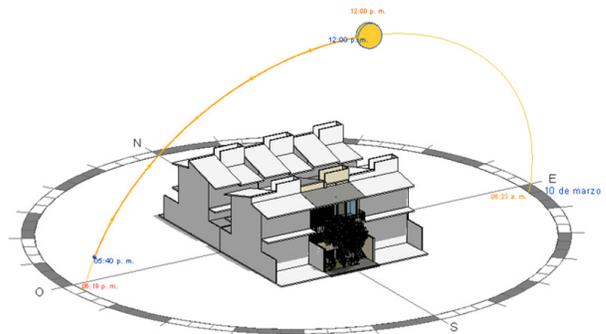


Fig. 49. Asoleamiento del día más brillante del año a las 12 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.

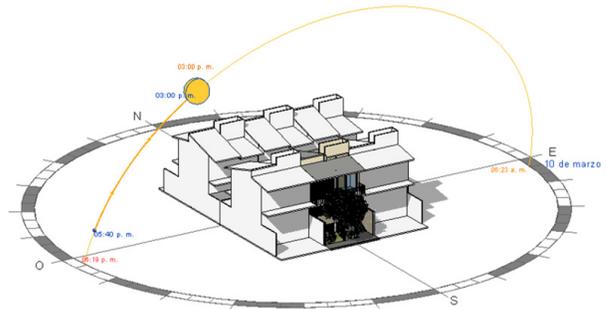


Fig. 50. Asoleamiento del día más brillante del año a las 15 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.

7 | 1.5 20 DE MARZO, EQUINOCCIO DE PRIMAVERA

Durante el equinoccio de primavera, la radiación solar solamente incide en el vestíbulo (fachada sur) a las 9 y 12 horas del día y en las escaleras (fachada sur) a las 15 horas. El resto de la vivienda se encuentra protegida del sol (Fig. 51, Fig. 52, Fig. 53, Fig. 54, Fig. 55, Fig. 56).

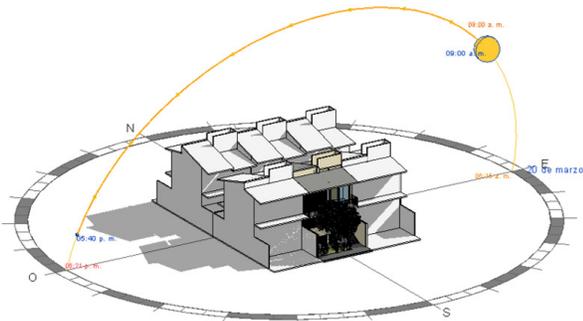


Fig. 51. Asoleamiento en el equinoccio de primavera a las 9 horas (fachada sur). Elaboración propia con Autodesk Revit.

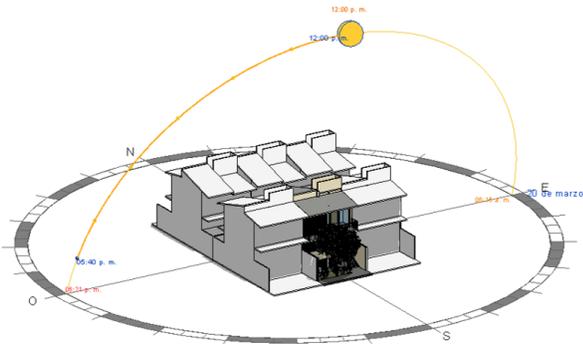


Fig. 52. Asoleamiento en el equinoccio de primavera a las 12 horas (fachada sur). Elaboración propia con Autodesk Revit.

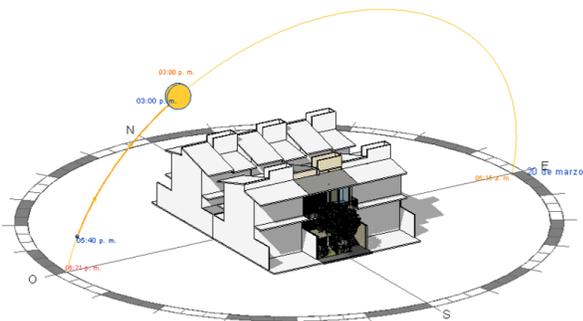


Fig. 53. Asoleamiento en el equinoccio de primavera a las 15 horas. (fachada sur) Elaboración propia con Autodesk Revit.

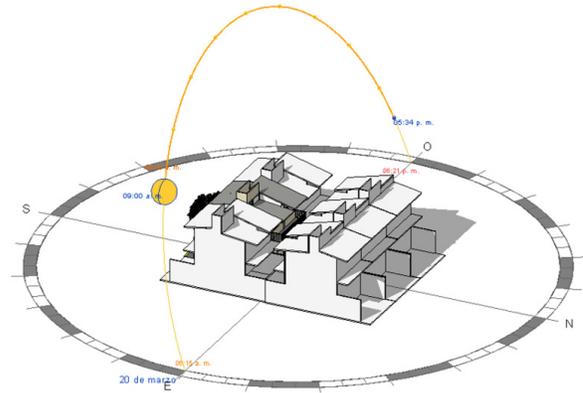


Fig. 54. Asoleamiento en el equinoccio de primavera a las 9 horas. (fachada norte) Elaboración propia con Autodesk Revit.

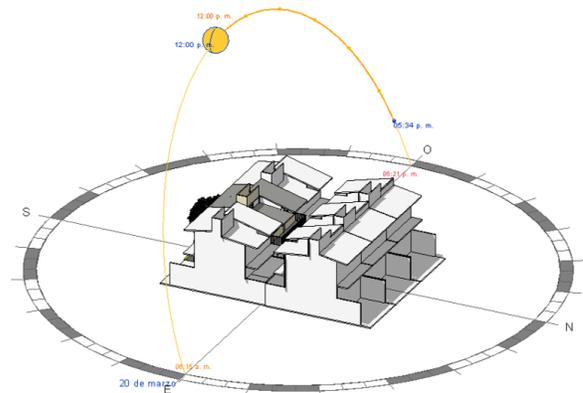


Fig. 55. Asoleamiento en el equinoccio de primavera a las 12 horas. (fachada norte) Elaboración propia con Autodesk Revit.

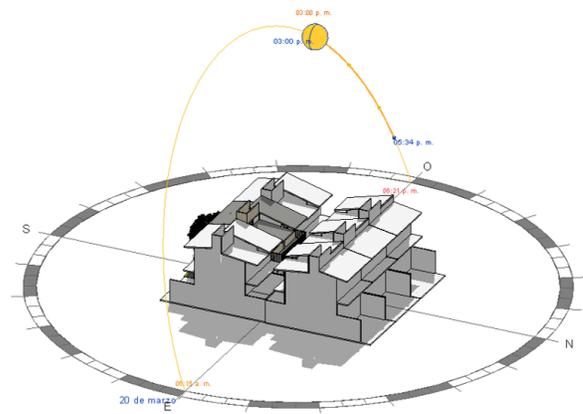


Fig. 56. Asoleamiento en el equinoccio de primavera a las 15 horas. (fachada norte) Elaboración propia con Autodesk Revit.

7 | 1.6 28 DE MAYO, DÍA MÁS CÁLIDO DEL AÑO

En el día más cálido del año se observó que, como se muestra en las imágenes (Fig. 57, Fig. 58, Fig. 59, Fig. 60, Fig. 61, Fig. 62), debido al diseño de la vivienda, en ninguna de las fachadas hay incidencia solar en ninguno de los horarios analizados. Sin embargo, en la fachada norte desde el amanecer hasta aproximadamente las 7 horas y de las 17 horas hasta el atardecer, si hubo radiación solar.

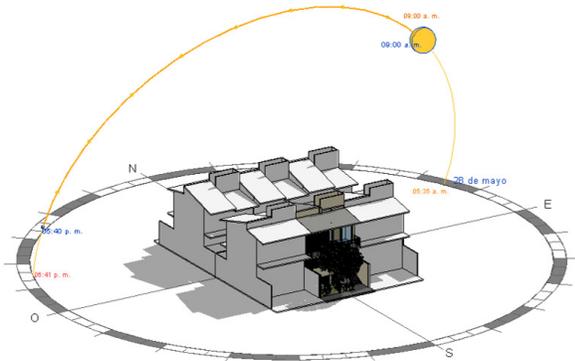


Fig. 57. Asoleamiento en el día más cálido del año a las 9 horas. (fachada sur) Elaboración propia con Autodesk Revit.

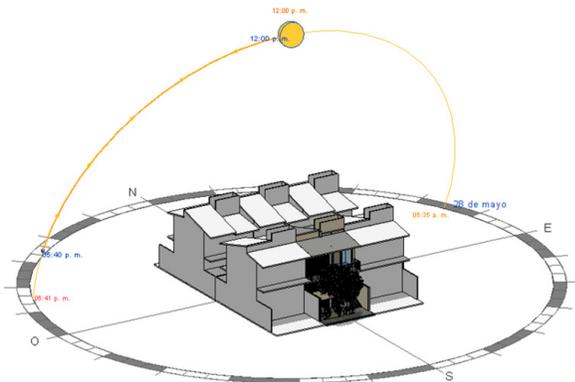


Fig. 58. Asoleamiento en el día más cálido del año a las 12 horas. (fachada sur) Elaboración propia con Autodesk Revit.

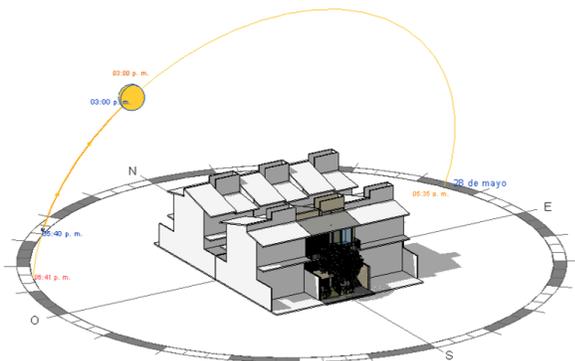


Fig. 59. Asoleamiento en el día más cálido del año a las 15 horas. (fachada sur) Elaboración propia con Autodesk Revit.

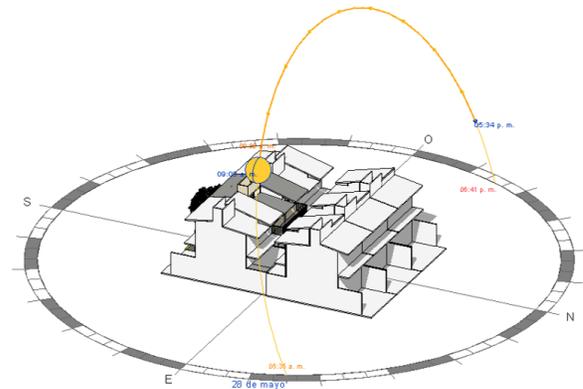


Fig. 60. Asoleamiento en el día más cálido del año a las 9 horas. (fachada norte) Elaboración propia con Autodesk Revit.

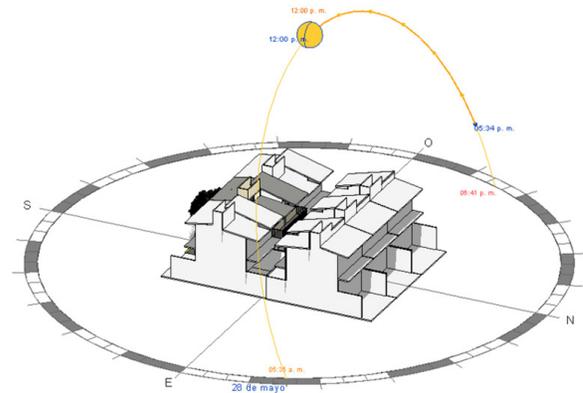


Fig. 61. Asoleamiento en el día más cálido del año a las 12 horas. (fachada norte) Elaboración propia con Autodesk Revit.

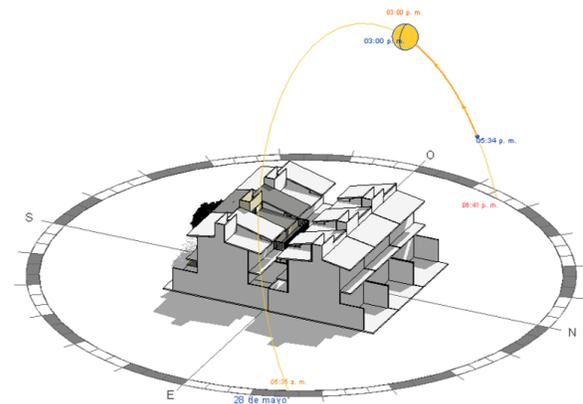


Fig. 62. Asoleamiento en el día más cálido del año a las 15 horas. (fachada norte) Elaboración propia con Autodesk Revit.

7 | 1.7 21 DE JUNIO, SOLSTICIO DE VERANO

Durante el solsticio de verano, la incidencia solar durante el día ocurre principalmente durante el amanecer hasta aproximadamente las 7:30 horas en la fachada norte y desde las 17:30 horas en la misma fachada hasta el anochecer de manera que en los horarios analizados, se observa que no hay radiación solar (Fig. 63, Fig. 64, Fig. 65, Fig. 66, Fig. 67, Fig. 68.).

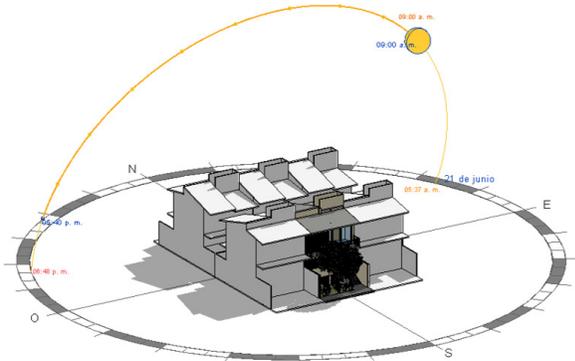


Fig. 63. Asoleamiento en el solsticio de verano a las 9 horas. (fachada sur) Elaboración propia con Autodesk Revit.

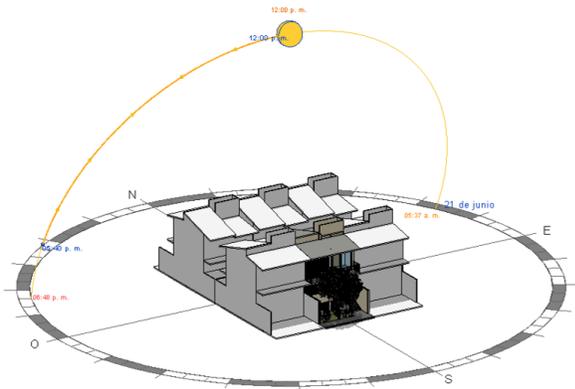


Fig. 64. Asoleamiento en el solsticio de verano a las 12 horas. (fachada sur) Elaboración propia con Autodesk Revit.

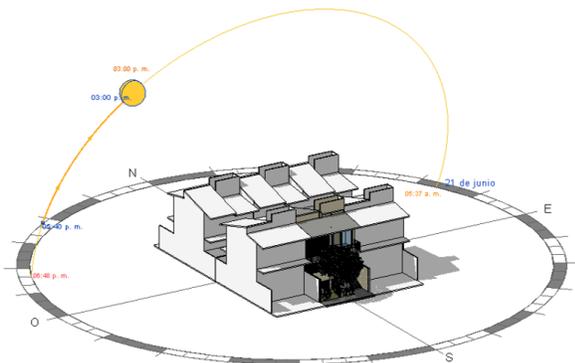


Fig. 65. Asoleamiento en el solsticio de verano a las 15 horas. (fachada sur) Elaboración propia con Autodesk Revit.

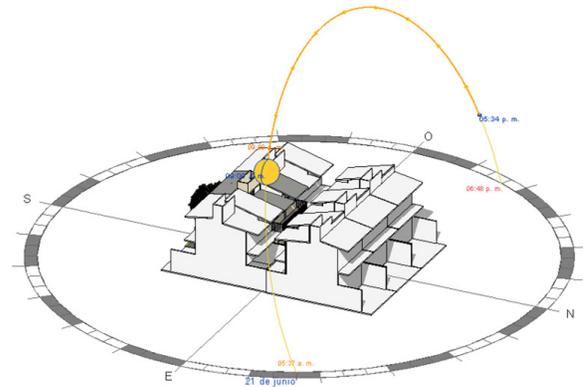


Fig. 66. Asoleamiento en el solsticio de verano a las 9 horas. (fachada norte) Elaboración propia con Autodesk Revit.

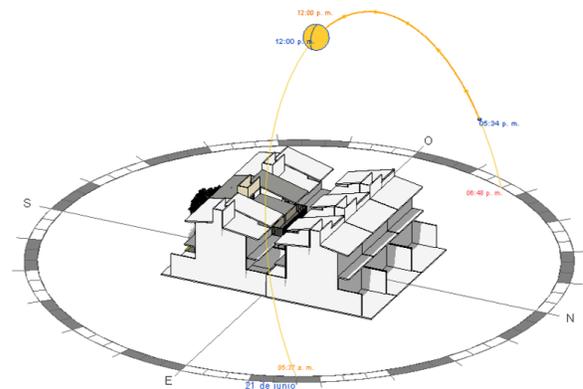


Fig. 67. Asoleamiento en el solsticio de verano a las 12 horas. (fachada norte) Elaboración propia con Autodesk Revit.

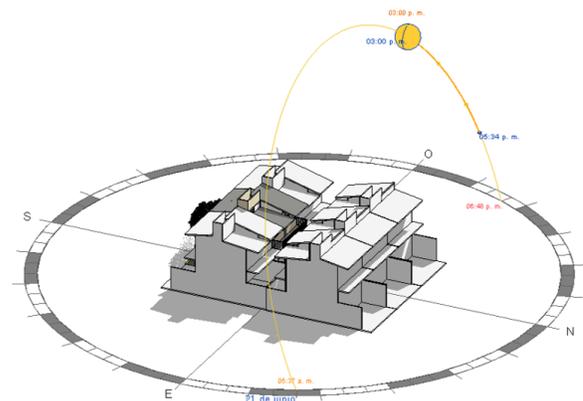


Fig. 68. Asoleamiento en el solsticio de verano a las 15 horas. (fachada norte) Elaboración propia con Autodesk Revit.

7 | 1.8 03 DE SEPTIEMBRE, DÍA CON MENOS VIENTO EN EL AÑO

En el día con menos viento, la incidencia solar ocurre en la fachada norte por un breve tiempo después del amanecer y en la misma fachada de las 17:30 horas hasta el atardecer de manera que a lo largo del día, el sol no incide en las fachadas

durante los horarios de mayor temperatura (Fig. 69, Fig. 70, Fig. 71, Fig. 72, Fig. 73, Fig. 74).

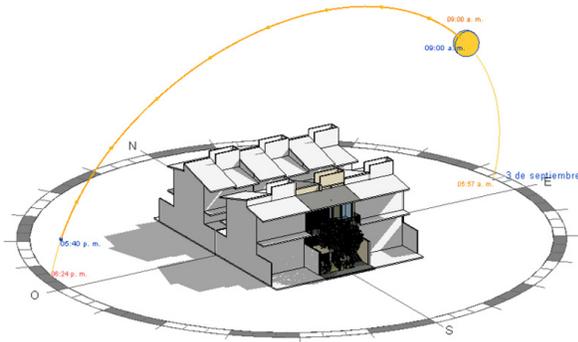


Fig. 69. Asoleamiento en el día con menos viento a las 9 horas. (fachada sur) Elaboración propia con Autodesk Revit.

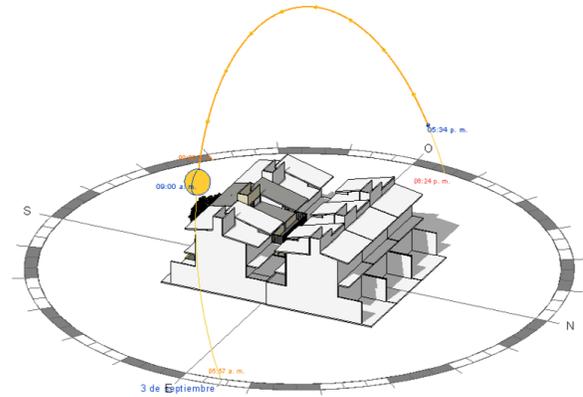


Fig. 72. Asoleamiento en el día con menos viento a las 9 horas. (fachada norte) Elaboración propia con Autodesk Revit.

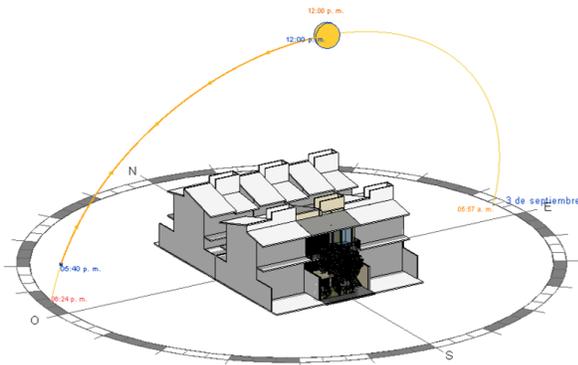


Fig. 70. Asoleamiento en el día con menos viento a las 12 horas. (fachada sur) Elaboración propia con Autodesk Revit.

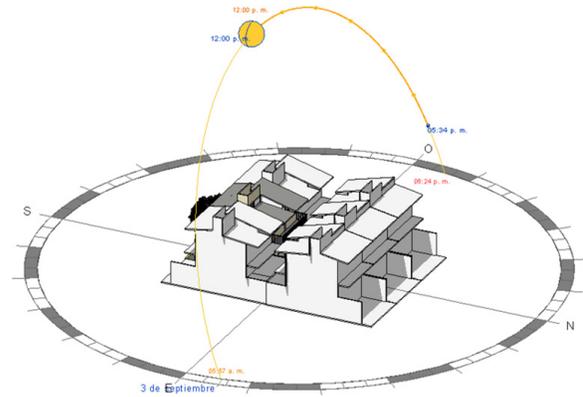


Fig. 73. Asoleamiento en el día con menos viento a las 12 horas. (fachada norte) Elaboración propia con Autodesk Revit.

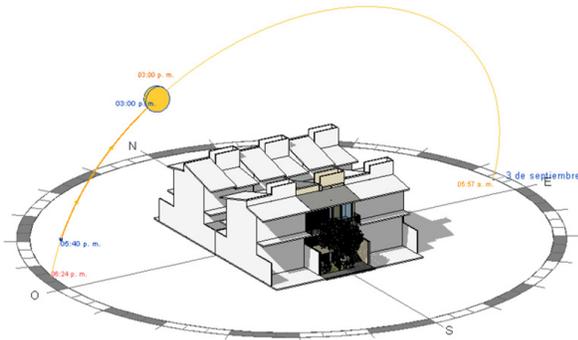


Fig. 71. Asoleamiento en el día con menos viento a las 15 horas. (fachada sur) Elaboración propia con Autodesk Revit.

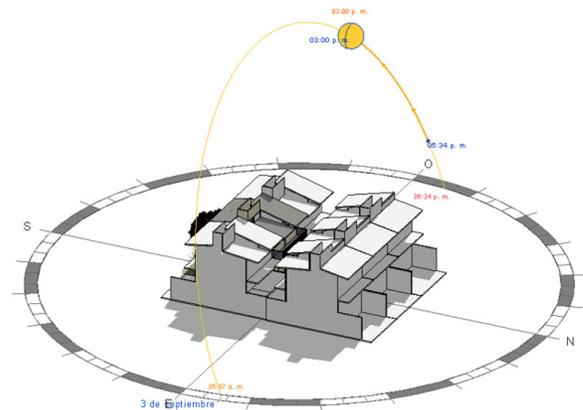


Fig. 74. Asoleamiento en el día con menos viento a las 15 horas. (fachada norte) Elaboración propia con Autodesk Revit.

7 | 1.9 22 DE SEPTIEMBRE, EQUINOCCIO DE OTOÑO

Durante el equinoccio de otoño, la incidencia solar es solamente en la fachada sur; a las 9 horas es en la parte inferior de cada uno de los niveles de la vivienda, a las 12 horas es casi nula y a las 15 horas es en la parte baja de la fachada de cada nivel (Fig. 75, Fig. 76, Fig. 77).

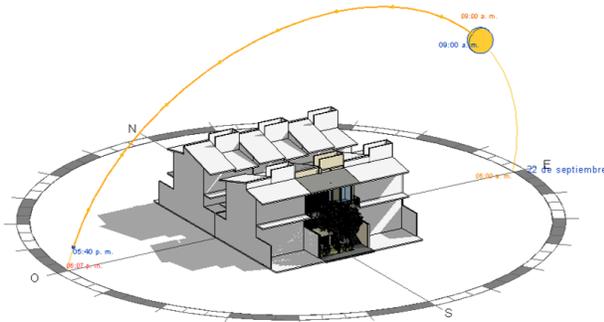


Fig. 75. Asoleamiento en el equinoccio de otoño a las 9 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.

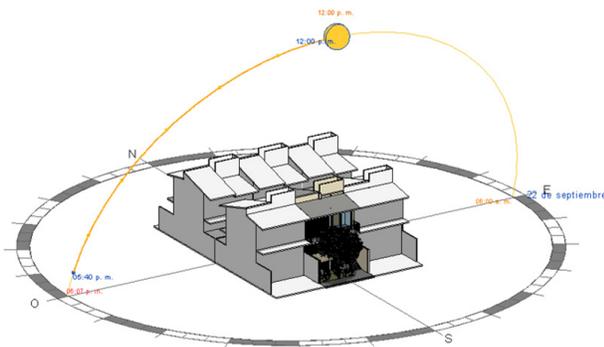


Fig. 76. Asoleamiento en el equinoccio de otoño a las 12 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.

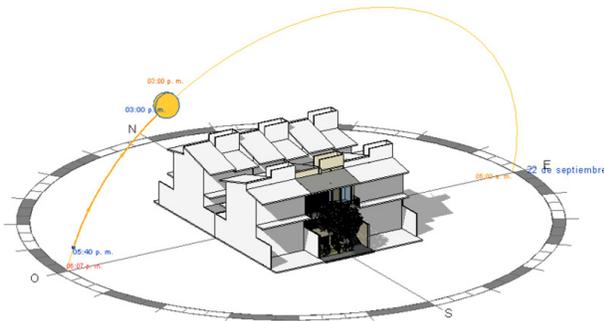


Fig. 77. Asoleamiento en el equinoccio de otoño a las 15 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.

7 | 1.10 21 DE DICIEMBRE, SOLSTICIO DE INVIERNO

En el solsticio de invierno el sol incide en la fachada sur. Conforme se acerca el medio día el ángulo en que inciden los rayos solares es casi perpendicular a las cubiertas, por lo tanto, durante este periodo es cuando los muros en fachada reciben menor incidencia solar. Por el contrario, en los horarios cercanos al amanecer 6:00h y atardecer 19:00h la incidencia es mayor (Fig. 78, Fig. 79, Fig. 80).

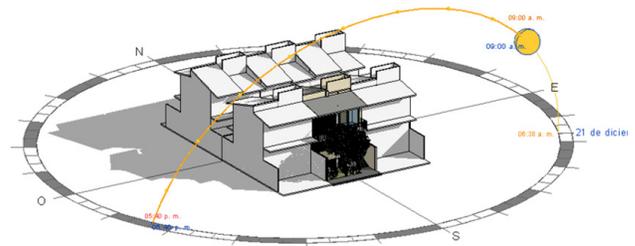


Fig. 78. Asoleamiento del solsticio de invierno a las 9 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.

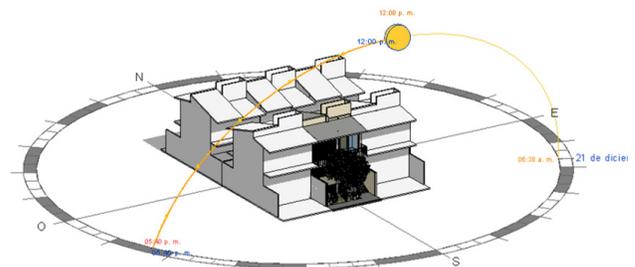


Fig. 79. Asoleamiento del solsticio de invierno a las 12 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.

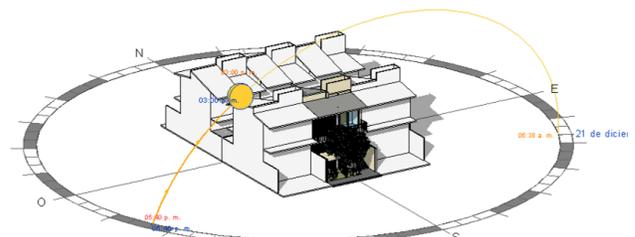


Fig. 80. Asoleamiento del solsticio de invierno a las 15 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.

Como se pudo observar en el estudio de asoleamiento, a lo largo del año la radiación solar que reciben las fachadas es mínima gracias al diseño lo cual se explicará con mayor detalle en el capítulo correspondiente a la discusión de los resultados.

7 | 2 SIMULACIÓN TÉRMICA

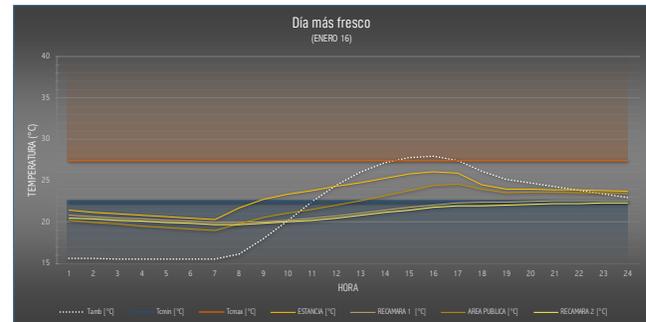
En los resultados de la simulación térmica se muestran gráficas que contienen una serie de datos que representan las temperaturas analizadas en donde la línea naranja junto con el área sombreada en naranja, representan el límite de la temperatura máxima que se encuentra fuera del intervalo de comodidad térmica y la línea azul junto con el área sombreada en azul, representan la temperatura mínima que se encuentra por debajo del intervalo del comodidad térmica mismo intervalo. Los datos de la línea blanca punteada muestran la variación de la temperatura del ambiente a lo largo del día. Las líneas amarillas representan la variación de las temperaturas de los espacios habitables de la vivienda los cuales son las dos recámaras, la estancia y el área pública que está formada por la sala, el comedor y la cocina. El espacio que se encuentra entre las líneas azul y naranja corresponde al intervalo de comodidad térmica el cual varía dependiendo del día que se analiza debido a que la temperatura del ambiente cambia constantemente.

Cabe mencionar que en esta simulación sólo se analiza la temperatura transmitida al interior de la vivienda a través de los sistemas constructivos y sin considerar la ventilación, es decir, la simulación se realizó con las ventanas cerradas.

Como síntesis, se indican las horas de comodidad térmica con que cuenta la vivienda y el ambiente, así como el amortiguamiento térmico el cual se calcula dividiendo la amplitud (temperatura máxima menos la temperatura mínima) de la temperatura del interior de la vivienda entre la amplitud de la temperatura ambiente en un ciclo de 24 horas. De igual manera, se indica el desfase térmico el cual es el resultado de restar la temperatura máxima del interior menos la temperatura máxima del ambiente en un ciclo de 24 horas.

7 | 2.1 16 DE ENERO, DÍA MÁS FRESCO DEL AÑO

En la gráfica que se obtuvo de la temperatura del día más fresco, se puede observar que existe un efecto de amortiguamiento térmico en los espacios interiores dando como resultado que las oscilaciones de la temperatura no sean tan drásticas a lo largo del día. En cuanto a las horas de comodidad térmica, se observa que la estancia es la que cuenta con un mayor número de horas (15 horas), seguida del área pública con 11 horas y las recámaras tienen una temperatura por debajo de la ideal durante casi 20 horas del día.



Gráfica. 5. Resultados de la temperatura de los espacios en el día más fresco. Elaboración propia a partir de los resultados de Energy plus.

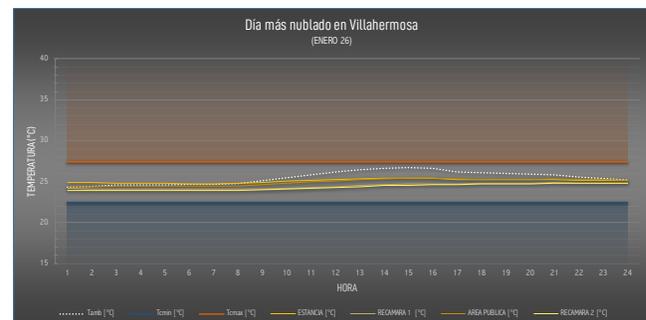
Horas de comodidad térmica al interior de la vivienda: (Estancia 16 horas, área pública 12 horas, recámara uno 6 horas).

Amortiguamiento térmico: 42%

Desfaseamiento: 0 horas

7 | 2.2 26 DE ENERO, DÍA MÁS NUBLADO DEL AÑO

Durante el día más nublado se observa que tanto la temperatura del ambiente como la de los espacios interiores no cuentan con grandes oscilaciones de temperatura y se encuentran dentro del intervalo de comodidad térmica a lo largo del día.



Gráfica. 6. Resultados de la temperatura de los espacios en el día más nublado. Elaboración propia a partir de los resultados de Energy plus.

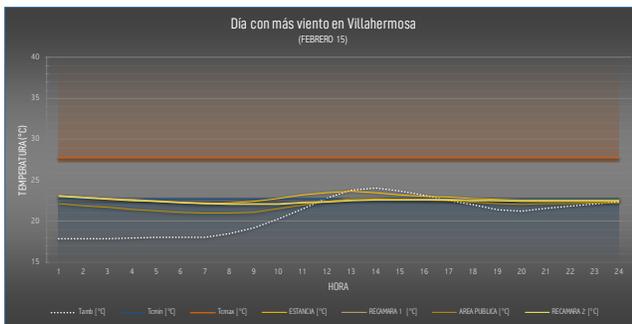
Horas de comodidad térmica al interior de la vivienda: 24 horas

Amortiguamiento térmico: 34%

Desfasamiento: 0 horas

7 | 2.3 15 DE FEBRERO, DÍA CON MÁS VIENTO DEL AÑO

Durante el día con más viento, se puede observar que la temperatura del ambiente tiene una variación mayor en comparación con los espacios internos de manera que sólo son 4 horas las que están dentro del intervalo de comodidad térmica. En cuanto a los espacios interiores, el amortiguamiento de la temperatura a lo largo del día es aceptable, sin embargo, la temperatura está en su mayoría en el nivel mínimo o por debajo del intervalo de comodidad térmica en donde la estancia es el único espacio que cuenta con 12 horas con una temperatura agradable y los demás espacios habitables cuentan sólo con 2 ó 3 horas.



Gráfica. 7. Resultados de la temperatura de los espacios en el día con más viento. Elaboración propia a partir de los resultados de Energy plus.

Horas de comodidad térmica al interior de la vivienda: 3 horas

Amortiguamiento térmico: 56%

Desfasamiento: -1 horas

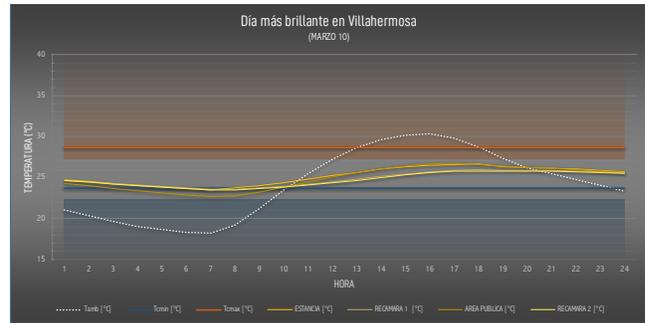
7 | 2.4 10 DE MARZO, DÍA MÁS BRILLANTE DEL AÑO

A lo largo del día más brillante, se observa que la temperatura del ambiente cuenta con nueve horas dentro del intervalo de comodidad térmica con una separación de cinco horas (de las 13 a las 18 horas) debido a la variación de la temperatura a diferencia de los espacios al interior que tienen un amortiguamiento térmico aceptable y durante todo el día cuentan con temperaturas ideales a excepción de área pública que durante la mañana en donde la temperatura baja durante cinco horas.

Horas de comodidad térmica al interior de la vivienda: 22 horas

Amortiguamiento térmico: 66%

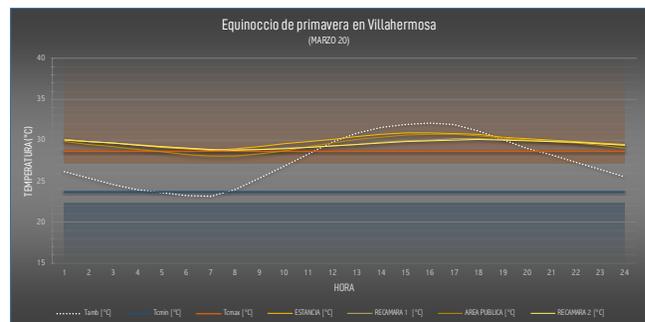
Desfasamiento: 1 hora



Gráfica. 8. Resultados de la temperatura de los espacios en el día más brillante. Elaboración propia a partir de los resultados de Energy plus.

7 | 2.5 20 DE MARZO, EQUINOCIO DE PRIMAVERA

En el equinoccio de primavera, la temperatura del ambiente cuenta con nueve horas de comodidad térmica, sin embargo, éstas no son constantes a lo largo del día. En cuanto a los espacios internos, sólo el área pública cuenta con cinco horas de comodidad durante la mañana, el resto del día así como los demás espacios durante todo el día están por encima de la temperatura ideal aunque no tienen gran variación de temperatura.



Gráfica. 9. Resultados de la temperatura de los espacios en el equinoccio de primavera. Elaboración propia a partir de los resultados de Energy plus.

Horas de comodidad térmica al interior de la vivienda: 0 horas

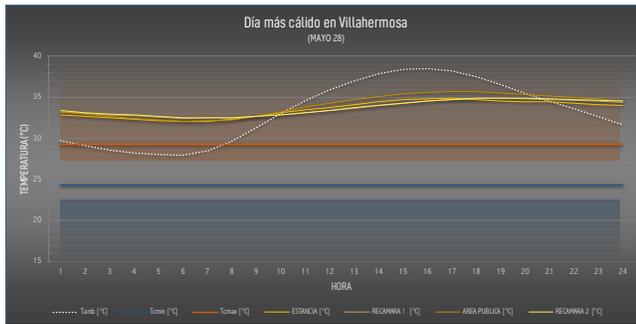
Amortiguamiento térmico: 70%

Desfasamiento: 0 horas

7 | 2.6 28 DE MAYO, DÍA MÁS CÁLIDO DEL AÑO

Durante el día más cálido del año, la temperatura del ambiente más baja es durante la mañana con seis horas dentro de lo ideal del intervalo de comodidad térmica y el resto del día está por encima de los límites de comodidad térmica, sin embargo, debido a la amplia variación de la temperatura, de las 11 a las 20 horas (9 horas) la temperatura es mayor a 35° C lo cual está 6° C por encima del intervalo de comodidad térmica. En cuanto a los cuatro espacios al interior de la vivienda, todos tienen un buen amortiguamiento térmico dando como resultado que la temperatura se encuentre entre 32° C

y 36° C aunque éstas no se encuentran dentro del intervalo de comodidad térmica.



Gráfica. 10. Resultados de la temperatura de los espacios en el día más cálido. Elaboración propia a partir de los resultados de Energy plus.

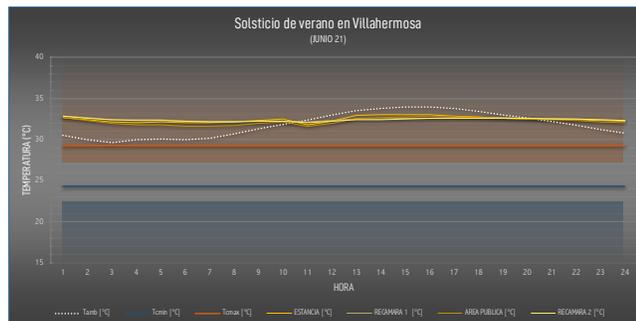
Horas de comodidad térmica al interior de la vivienda: 0 horas

Amortiguamiento térmico: 65%

Desfasamiento: 2 hora

7 | 2.7 21 DE JUNIO, SOLSTICIO DE VERANO

Durante el solsticio de verano se observa que la variación de temperatura en el ambiente es ligera con altas temperaturas que van de 30° C a 34° C y los espacios internos entre 31° C y 33° C. Cualquiera de estos casos, la temperatura es elevada con respecto al intervalo de comodidad térmica el cual es de 24° C a 29° C.



Gráfica. 11. Resultados de la temperatura de los espacios en el solsticio de verano. Elaboración propia a partir de los resultados de Energy plus.

Horas de comodidad térmica al interior de la vivienda: 0 horas

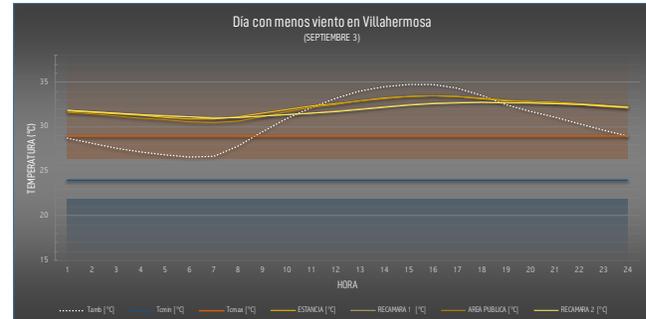
Amortiguamiento térmico: 66%

Desfasamiento: -1 hora

7 | 2.8 03 DE SEPTIEMBRE, DÍA CON MENOS VIENTO EN EL AÑO

Durante el día con menos viento, la temperatura de los espacios de la vivienda no tienen variaciones tan abruptas amplias en comparación con la temperatura del ambiente la cual varía

entre 26° C y 35° C. de manera que sólo durante el amanecer se cuenta con temperaturas dentro del intervalo de comodidad térmica. En cuanto a los espacios internos, los cuatro se encuentran por encima del intervalo de comodidad térmico a lo largo de todo el día.



Gráfica. 12. Resultados de la temperatura de los espacios en el día con menos viento. Elaboración propia a partir de los resultados de Energy plus.

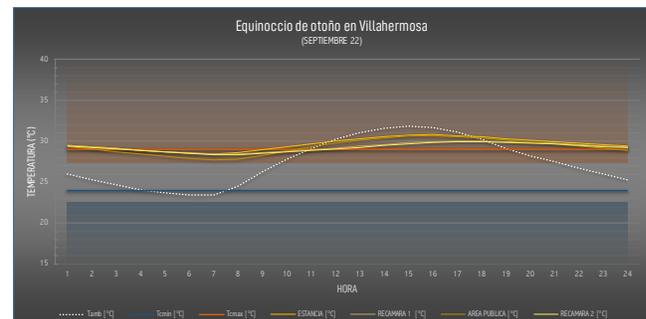
Horas de comodidad térmica al interior de la vivienda: 0 horas

Amortiguamiento térmico: 62%

Desfasamiento: 1 hora

7 | 2.9 22 DE SEPTIEMBRE, EQUINOCCIO DE OTOÑO

En el equinoccio de otoño, en los espacios interiores la curva de la temperatura se ve aplanada con respecto a la del ambiente que tiene una variación entre los 23° C y 32° C por lo que cuenta con nueve horas con una temperatura ideal. Durante el amanecer, todos los espacios internos se encuentran dentro del intervalo de comodidad térmica con aproximadamente 7 horas y a lo largo del día se encuentran por encima de la temperatura máxima.



Gráfica. 13. Resultados de la temperatura de los espacios en el equinoccio de otoño. Elaboración propia a partir de los resultados de Energy plus.

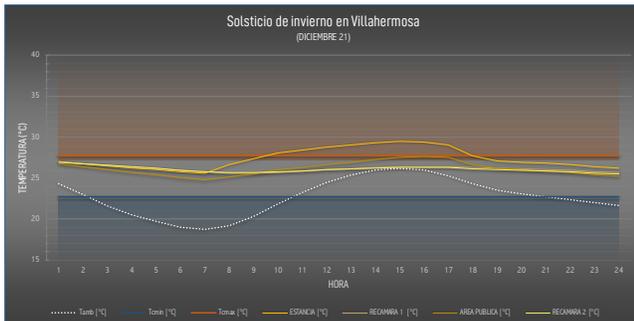
Horas de comodidad térmica al interior de la vivienda: 8 horas

Amortiguamiento térmico: 63%

Desfasamiento: 1 hora

7 | 2.10 21 DE DICIEMBRE, SOLSTICIO DE INVIERNO

En el solsticio de invierno, la temperatura del ambiente cuenta con 11 horas dentro del intervalo de comodidad térmica y el resto del tiempo, la temperatura más baja es de 18.5° C. En cuanto a los espacios internos, en general tienen un amortiguamiento aceptable ya que éste contribuye a que los espacios se encuentren dentro del intervalo de comodidad térmica las 24 horas del día a excepción de la estancia, la cual se eleva 2° C por encima de este intervalo durante 8 horas con una temperatura máxima de 29.5° C.



Gráfica. 14. Resultados de la temperatura de los espacios en el solsticio de invierno. Elaboración propia a partir de los resultados de Energy plus.

Horas de comodidad térmica al interior de la vivienda: 24 horas

Amortiguamiento térmico: 37%

Desfasamiento: 0 horas

7 | 3 SIMULACIÓN DE VENTILACIÓN NATURAL

Para la simulación de ventilación natural, se analizaron las gráficas de contornos y vectoriales con escala de colores falsos que resultaron de la simulación con los vanos abiertos en donde se muestra la velocidad del viento y la temperatura en diferentes planos (plantas alta y baja, dos cortes longitudinales y dos cortes transversales). Con el objetivo de simplificar los resultados de ésta investigación, se utilizaron las gráficas de la simulación térmica para determinar el horario con la temperatura de ambiente más baja y la más alta de cada día de análisis y posteriormente, se analiza el comportamiento del viento y la temperatura en las plantas altas y bajas (a 1.50 m. de distancia del nivel de piso); para mayor detalle, los cortes longitudinales se encuentran en el Apéndice 4. En el caso de los días en que se cuentan con varias horas con la misma temperatura baja, se consideraron las gráficas que se acercaron más a la hora en que amanece debido a que ese es el momento con menor exposición al sol.

Al igual que en la simulación anterior, se plantea una síntesis al final del análisis de cada día indicando las horas de comodidad térmica y las horas de desfasamiento térmico que tiene la vivienda.

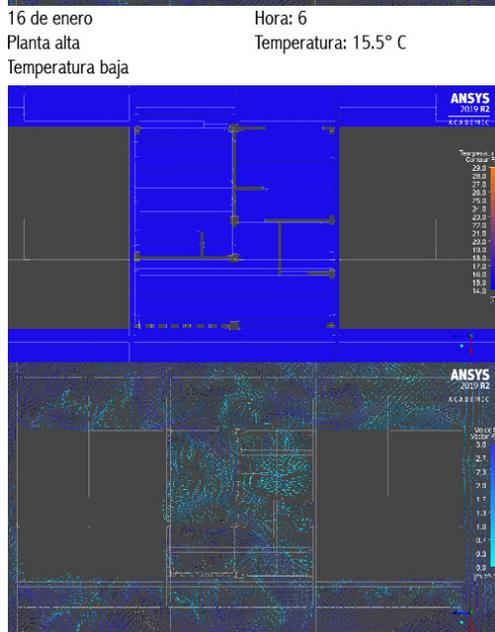
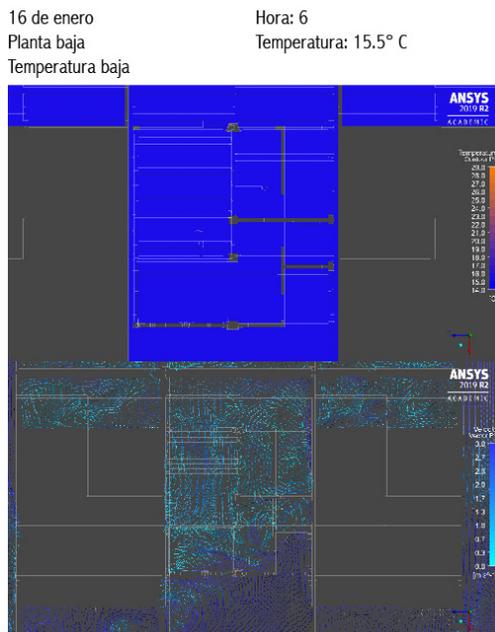
7 | 3.1 16 DE ENERO, DÍA MÁS FRESCO DEL AÑO

Durante del día más fresco, se encontró que de las 4 horas a las 7 horas la temperatura es la más baja siendo de 15.5° C y; debido a que el amanecer da lugar a las 6:46 horas, se consideró la gráfica inmediata anterior para hacer el análisis.

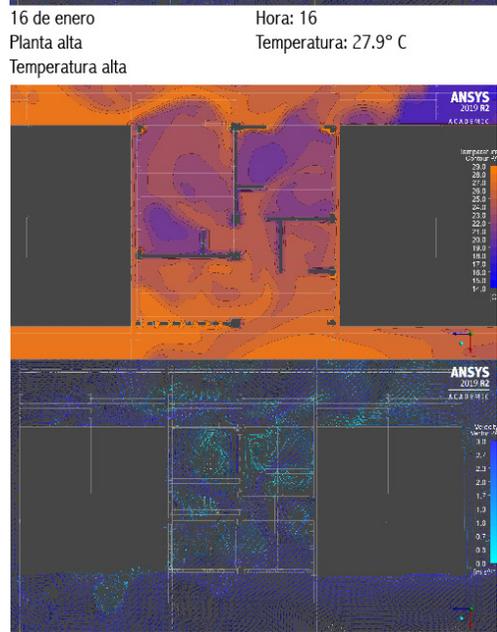
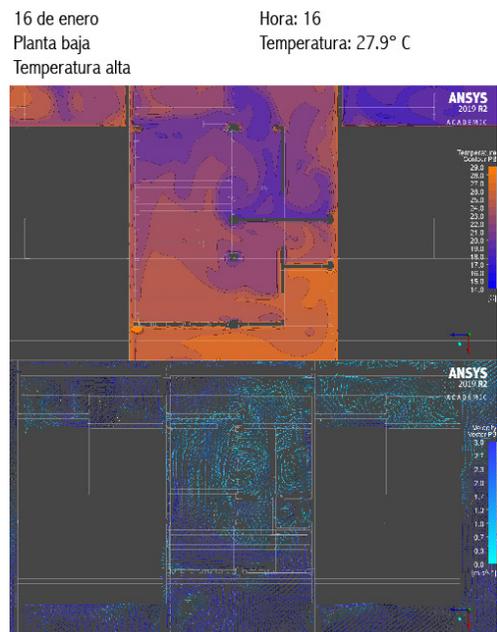
Como se puede observar en las gráficas, en la planta baja, debido a los muros de colindancia, el aire proviene con mayor velocidad de la parte sur del edificio (donde se encuentra el muro en celosía) y pierde velocidad a través de los espacios internos; sin embargo, los vanos del baño que comunican el acceso del edificio con el cuarto de servicio, proporcionan un flujo de aire hacia el patio trasero que favorece el movimiento del aire dentro del edificio. En la planta alta el aire proviene principalmente del noroeste por lo que éste ingresa por la recámara principal; una parte circula dentro de la recámara frenando el aire que entra por la ventana y la otra parte se dirige hacia el pasillo y sale por la estancia. La ventilación principal de la estancia proviene de las escaleras desde la planta baja. (Gráfica. 15).

A las 16 horas se presentó la temperatura más alta del día

con 27.9° C. Como se puede observar en la gráfica de temperatura, en la planta baja las temperaturas son un poco menores que en la planta alta debido a que la incidencia solar por la parte de arriba sólo da en la planta alta la cual protege a la planta baja de la radiación solar. Debido a la dirección del aire y a su velocidad, se puede observar que el aire se calienta en la zona suroeste y entra a la vivienda por los vanos calentando el aire frío que se encuentra estancado en los espacios de la fachada norte (Gráfica 16).



Gráfica. 15. Gráfica de colores falsos durante el día más fresco con la temperatura más baja. Elaboración propia con Ansys Fluent.



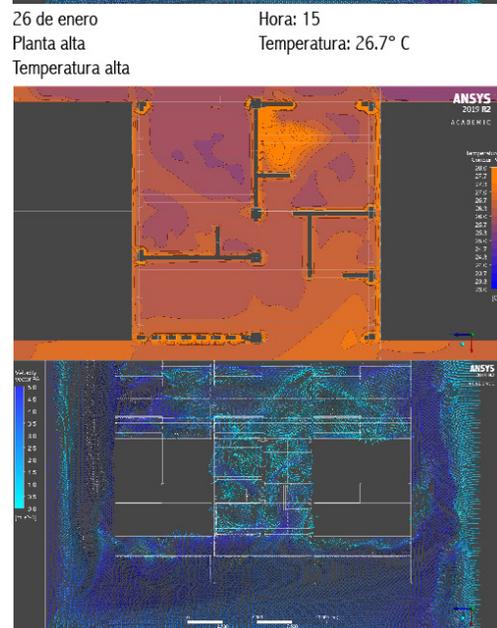
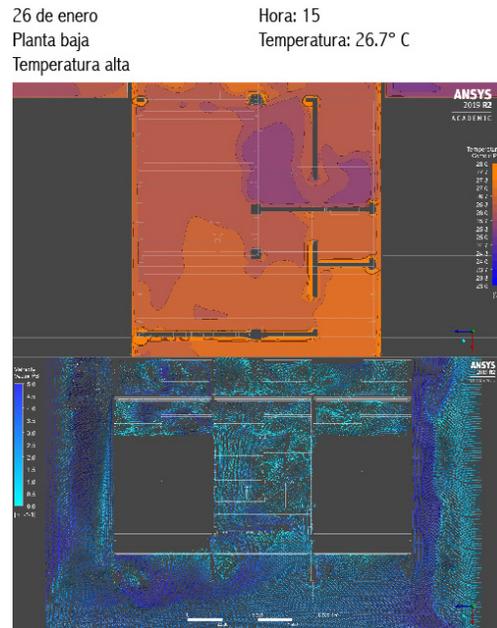
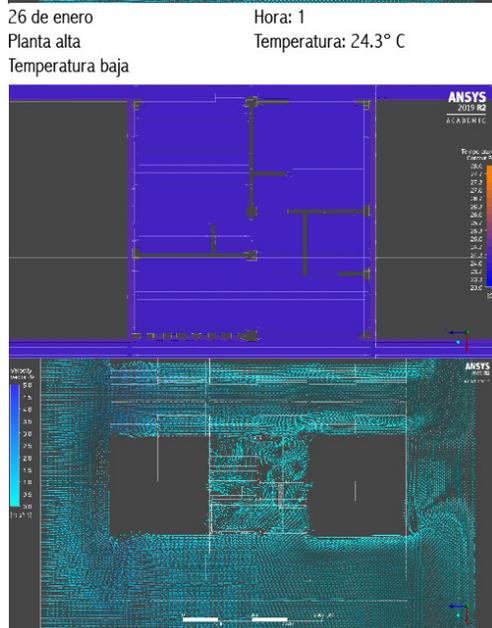
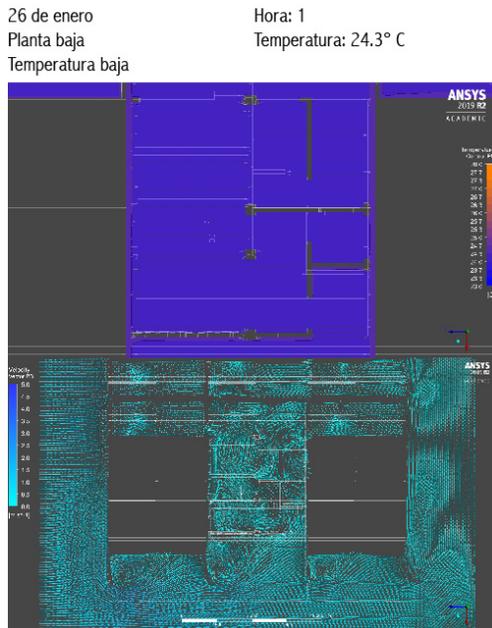
Gráfica. 16. Gráfica de colores falsos durante el día más fresco con la temperatura más alta. Elaboración propia con Ansys Fluent.

7 | 3.2 26 DE ENERO, DÍA MÁS NUBLADO DEL AÑO

En el día más nublado se encontró que la menor temperatura registrada fue a la hora 1:00 con 24.3° C. Como se muestra en las gráficas de temperatura, tanto en la planta alta como en la planta baja, los espacios se mantuvieron sin variaciones térmicas (24° C). En cuanto al movimiento y velocidad del aire, se puede observar que éste se encuentra principalmente estancado (Gráfica 17).

En cuanto a la temperatura más alta del día, ésta se registró en el horario de 15:00 horas con 26.7° C. Nuevamente, la planta baja muestra una menor temperatura debido a que la

planta alta la protege de la incidencia solar por la parte de arriba y por la parte de abajo, el suelo también se muestra fresco gracias a la elevación que se le dio a la vivienda con respecto a la banqueta dejando así fluir el aire libremente aunque éste cuente con una temperatura bastante alta. Por otra parte, el aire en la planta alta se muestra con mayor velocidad en comparación con la planta baja debido a que no existen muros de colindancia a esa altura que disminuyan la velocidad del aire lo cual provoca que el aire caliente del exterior entre a la vivienda y se mezcle con el aire estancado (Gráfica 18).



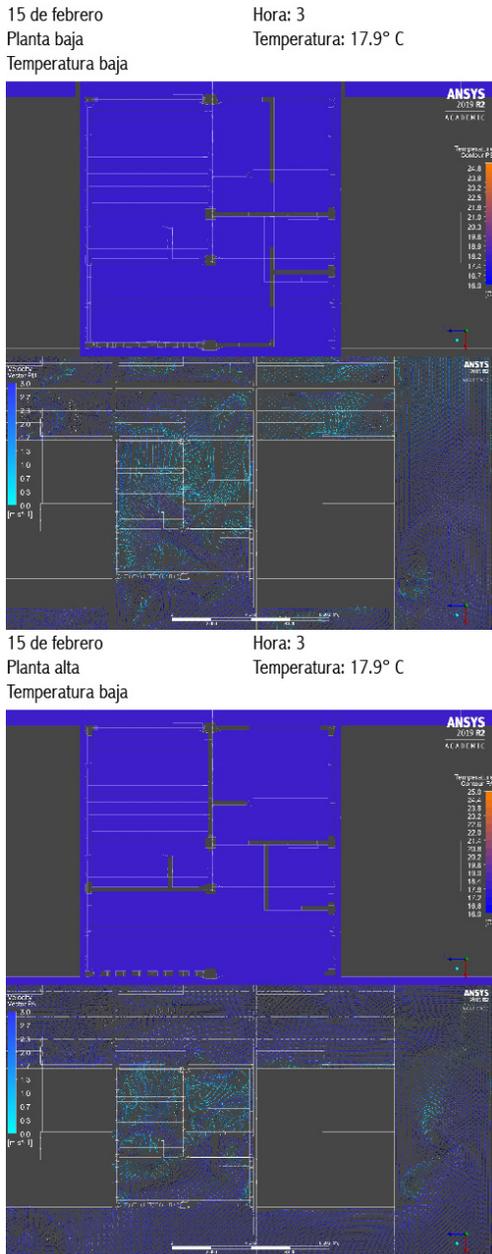
Gráfica. 17. Gráfica de colores falsos durante el día más nublado con la temperatura más baja. Elaboración propia con Ansys Fluent.

Gráfica. 18. Gráfica de colores falsos durante el día más nublado con la temperatura más alta. Elaboración propia con Ansys Fluent.

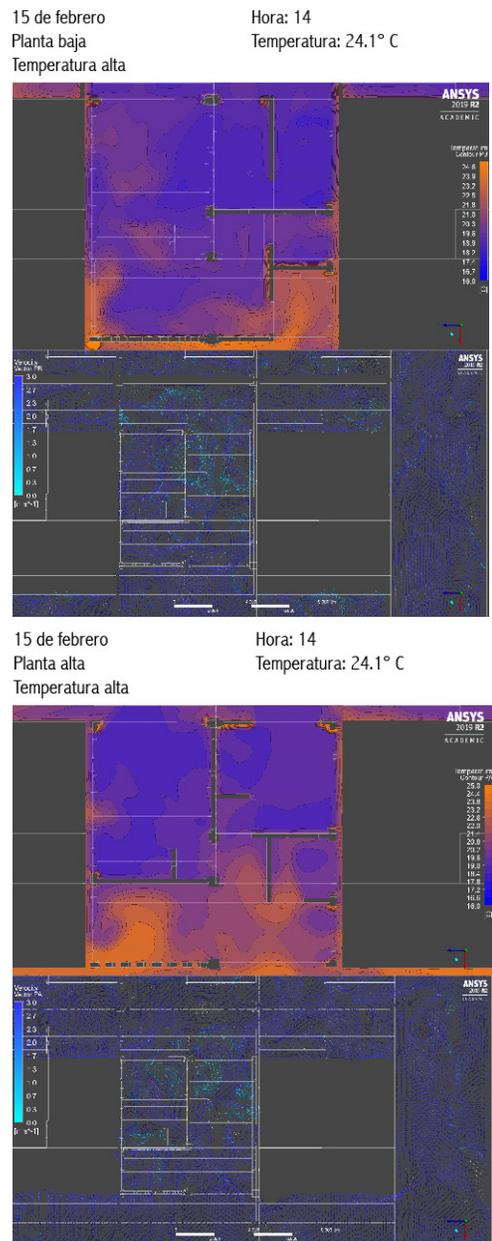
7 | 3.3 15 DE FEBRERO, DÍA CON MÁS VIENTO DEL AÑO

En el 15 de febrero, la temperatura del ambiente más baja que se registró fue de 17.9° C a las 3:00 horas del día; dicha temperatura se mantuvo estable en todos los espacios de la vivienda, sin embargo, el aire entró con gran velocidad por la fachada sur provocando turbulencias que disminuyó su velocidad conforme avanzó a través de los espacios hacia el norte de la vivienda (Gráfica 19).

La temperatura más alta que se registró durante el día con más viento fue de 24.1° C a las 14:00 del día. Como se puede observar en las gráficas; debido a la velocidad del aire, éste no logra calentarse lo suficiente como para transmitir la temperatura por convección dentro de los espacios de la vivienda y es hasta después de las 17 horas que la vivienda alcanza una temperatura confortable (Gráfica 20).



Gráfica. 19. Gráfica de colores falsos durante el día con más viento con la temperatura más baja. Elaboración propia con Ansys Fluent.



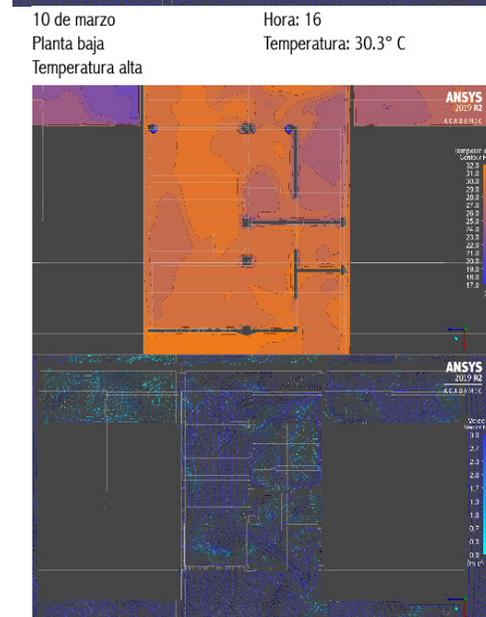
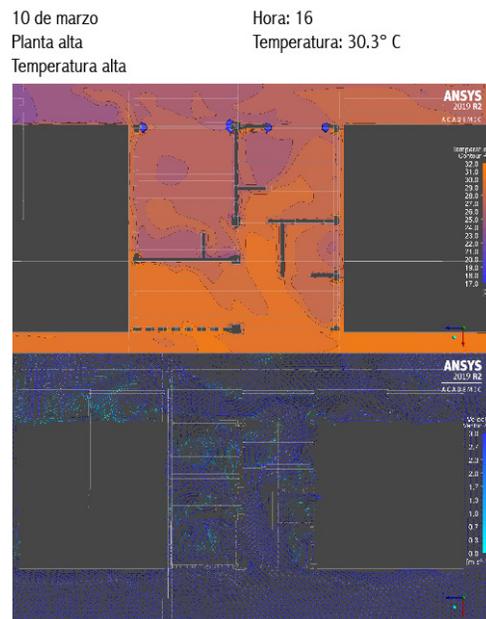
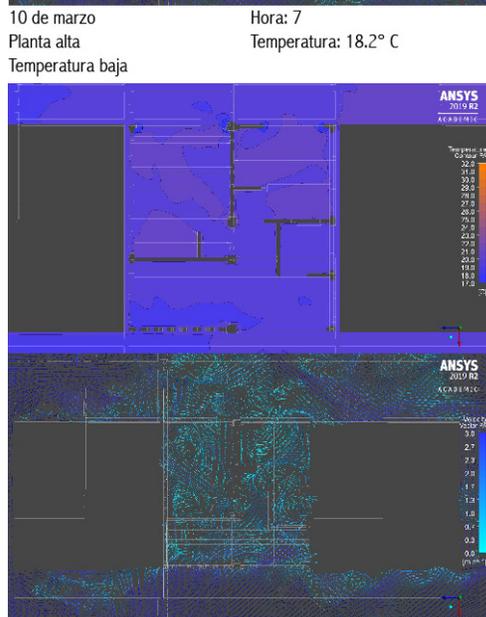
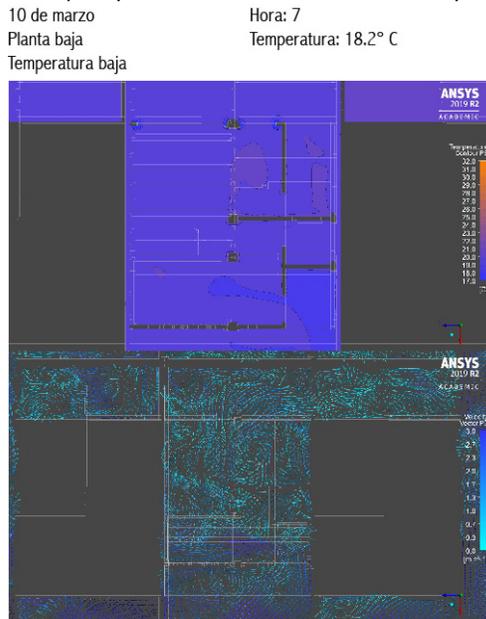
Gráfica. 20. Gráfica de colores falsos durante el día con más viento con la temperatura más alta. Elaboración propia con Ansys Fluent.

7 | 3.4 10 DE MARZO, DÍA MÁS BRILLANTE DEL AÑO

Durante el día más brillante, la temperatura ambiente más baja fue de 18.2° C a las 7:00 horas del día, sin embargo, como se puede observar en las gráficas de temperatura, la vivienda se mantuvo con mayor temperatura en el interior. El aire del ambiente que entra por los vanos de la fachada sur, al encontrarse a una menor temperatura, se mezcla con el aire estancado del interior de la vivienda provocando que baje la temperatura de los espacios (Gráfica 21).

A las 16:00 horas, con la temperatura del ambiente más alta (30.3° C) se puede observar una vez más, que el aire

del exterior cuanta con una mayor temperatura que el del interior de la vivienda entrando con mayor velocidad desde la fachada sur y mezclándose hacia los espacios al norte de la vivienda. Sin embargo, a diferencia de los días analizados previamente, durante el día más brillante, la planta baja se encuentra a mayor temperatura que la planta alta debido a que el aire caliente que pasa a través del medio nivel que la casa se eleva con respecto a la banqueta llega hasta el patio de servicio sin obstrucciones y con gran velocidad envolviendo la planta baja de aire caliente el cual se mezcla fácilmente con el aire frío de la vivienda lo que provoca que una hora después, la temperatura esté fuera del intervalo de comodidad térmica (Gráfica 22).



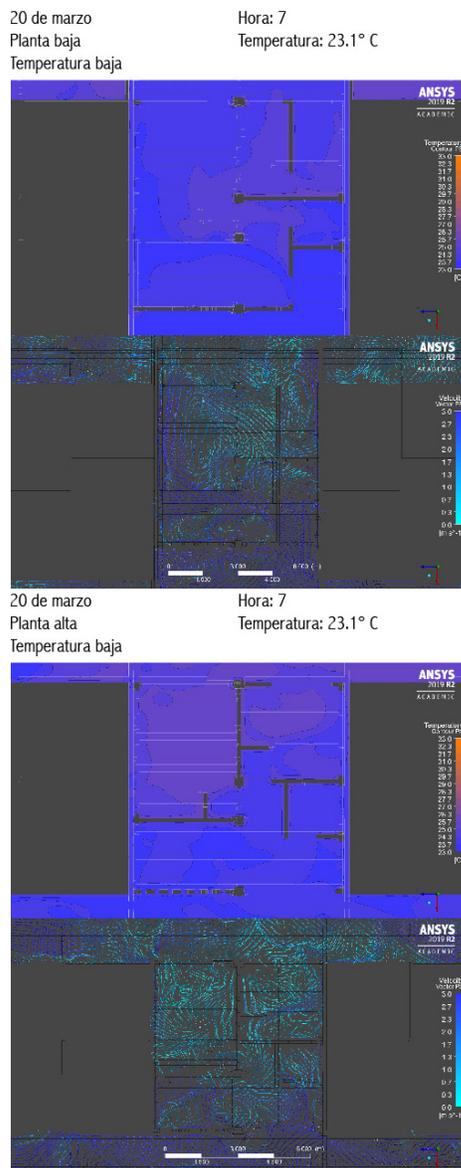
Gráfica. 21. Gráfica de colores falsos durante el día más brillante con la temperatura más baja. Elaboración propia con Ansys Fluent.

Gráfica. 22. Gráfica de colores falsos durante el día más brillante con la temperatura más alta. Elaboración propia con Ansys Fluent.

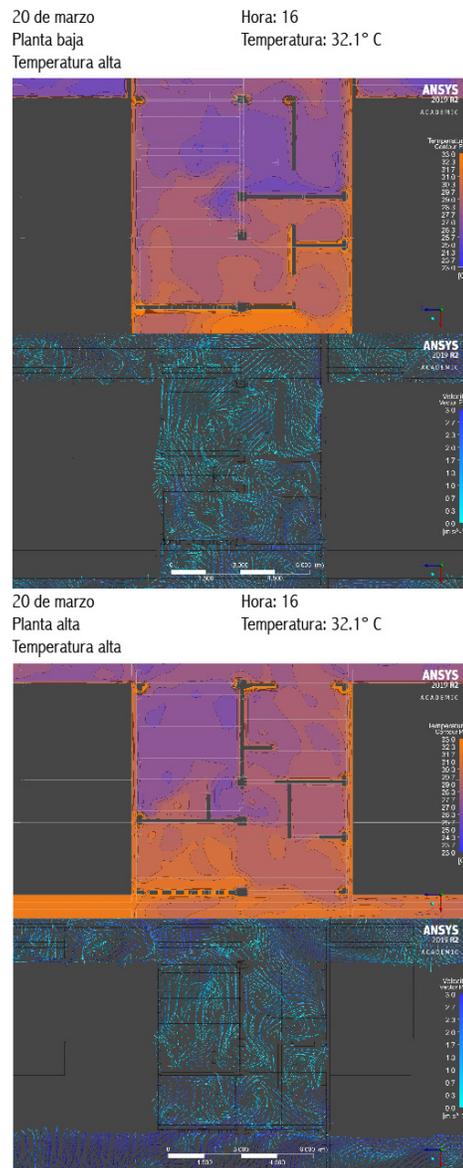
7 | 3.5 20 DE MARZO, EQUINOCCIO DE PRIMAVERA

En el equinoccio de primavera, la temperatura mínima del ambiente fue de 23.1° C a las 7:00 horas sin embargo, en los espacios habitables de la vivienda, tanto en la planta alta como en la planta baja, las temperaturas son de 24.3° a 25° C lo cual se debe a que el aire con mayor velocidad que proviene del oeste entra a la casa por el acceso sur pero debido a los obstáculos internos de la vivienda (muros internos, escaleras), el aire pierde velocidad lo cual dificulta que se mezcle con el aire caliente que se encuentra al interior, logrando que de esta manera, la vivienda cuente con una temperatura confortable (Gráfica 23).

A las 16:00 horas, la temperatura del ambiente es de 32.1° C. En este horario, los espacios que dan al norte de la vivienda tienen una temperatura entre 26° y 27° C lo que indica que es más baja por 5 a 6° C en las recámaras, área pública y cocina (Gráfica 24).



Gráfica. 23. Gráfica de colores falsos durante el equinoccio de primavera con la temperatura más baja. Elaboración propia con Ansys Fluent.



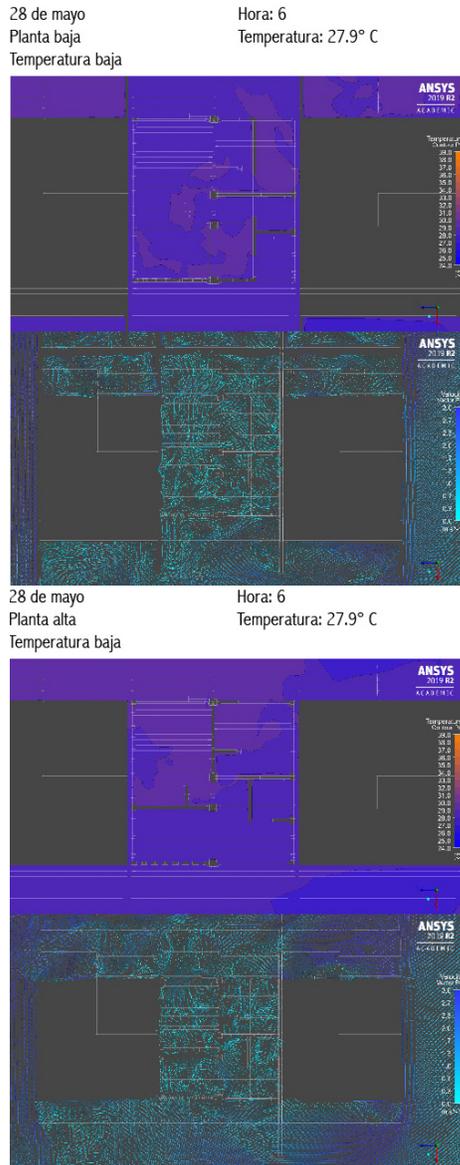
Gráfica. 24. Gráfica de colores falsos durante el equinoccio de primavera con la temperatura más alta. Elaboración propia con Ansys Fluent.

7 | 3.6 28 DE MAYO, DÍA MÁS CÁLIDO DEL AÑO

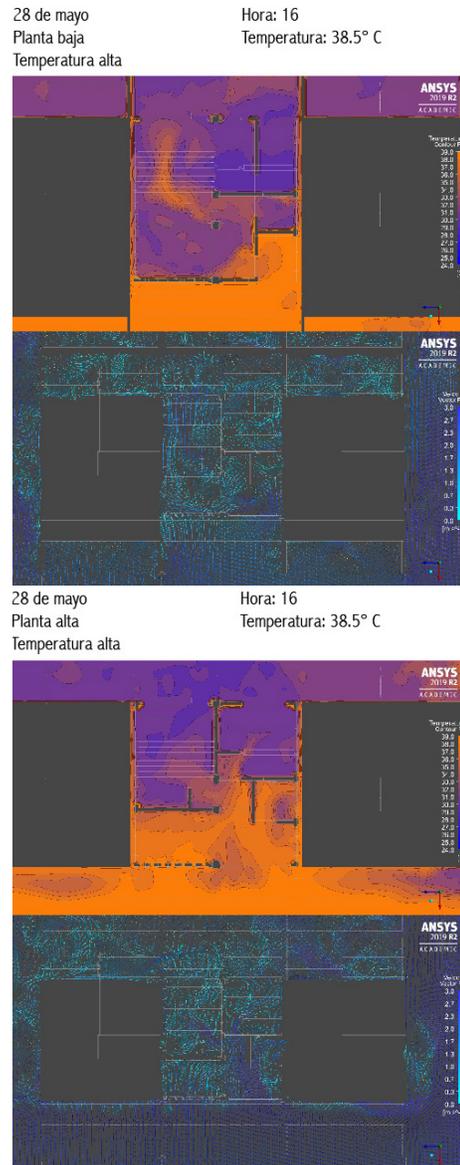
A las 6:00 horas del día más cálido, la temperatura ambiente es de 27.9° C, al interior de la vivienda la temperatura está entre 28° y 29° C lo cual está dentro del intervalo de comodidad térmica. El viento durante las primeras horas del día proviene del sureste con poca velocidad lo que ayuda a que la temperatura al interior no varíe demasiado (Gráfica 25).

La temperatura máxima registrada es de 38.5° C a las 16:00 horas y como se puede observar en las gráficas de temperatura, gran parte de la vivienda (principalmente las habitaciones) se mantuvo entre 29° y 30° C lo que indica que durante 15 horas, la vivienda se mantiene con temperaturas térmicamente cómodas. A partir de las 12 horas, el

viento proviene directamente del sur de la vivienda con gran velocidad lo cual ocasiona que el aire al interior aumente su velocidad creando turbulencias y mezclando la temperatura cálida del exterior con la del interior por lo que durante las horas posteriores del día, la vivienda sobrepasa el intervalo de comodidad térmica. A pesar de que a partir de las 16 horas las temperaturas aumentan bastante al interior de la vivienda, en ningún momento del día alcanzan a ser tan elevadas como al exterior durante la hora crítica (Gráfica 26).



Gráfica. 25. Gráfica de colores falsos durante el día más cálido con la temperatura más baja. Elaboración propia con Ansys Fluent.

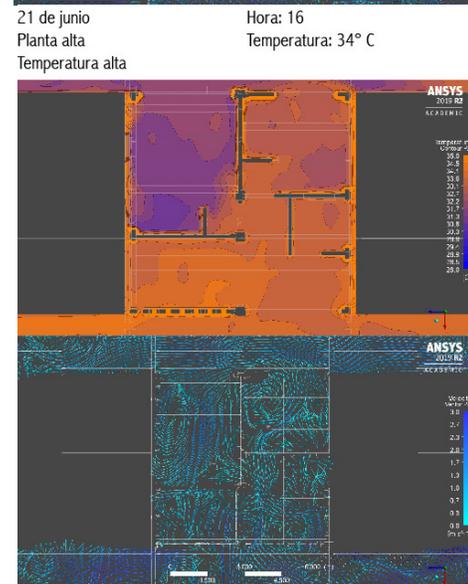
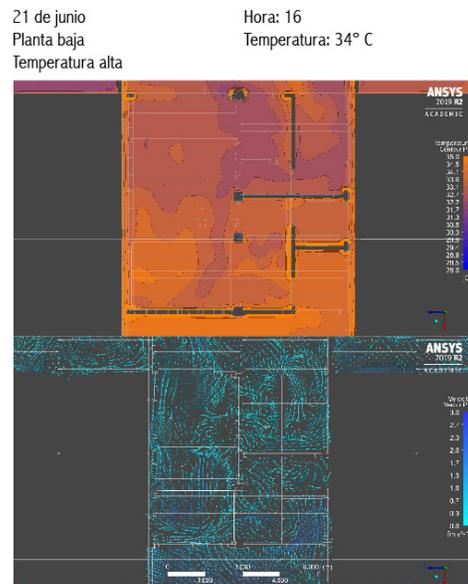
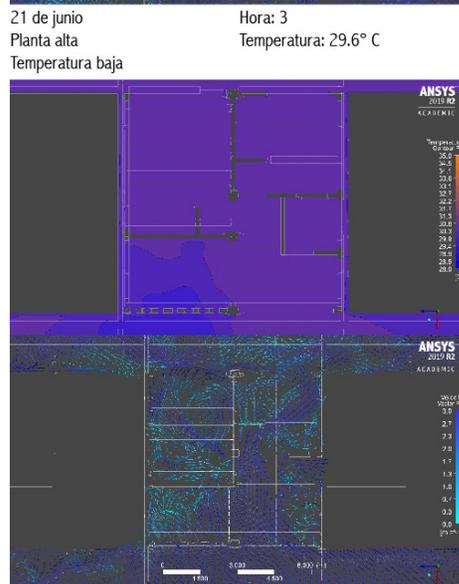
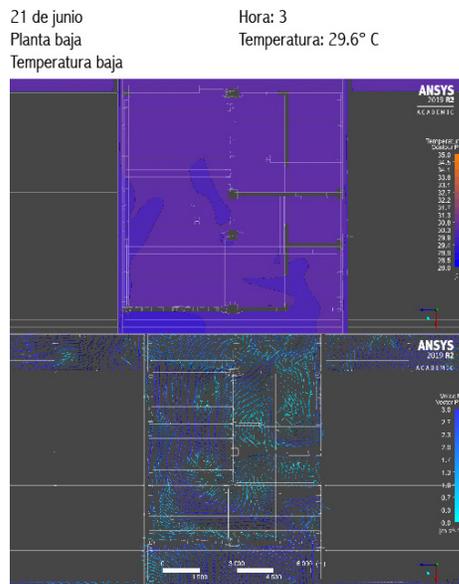


Gráfica. 26. Gráfica de colores falsos durante el día más cálido con la temperatura más alta. Elaboración propia con Ansys Fluent.

7 | 3.7 21 DE JUNIO, SOLSTICIO DE VERANO

Durante el solsticio de verano, la temperatura mínima del ambiente fue de 29.6° C a las 3:00 horas. Hasta este horario, en la vivienda la temperatura es de 30.3° C y baja a 29.9° C durante las horas previas al amanecer debido a que el aire proviene directamente del sur hacia el interior y éste cuenta con una temperatura más baja (Gráfica 27).

A las 16:00 horas, la temperatura máxima del ambiente es de 34° C; hasta este horario los espacios que dan al norte de la vivienda se habían mantenido cerca del intervalo de comodidad térmica (29.9° C) y es hasta este horario en donde la temperatura promedio de la vivienda es de 31° C lo cual se debe a que, a pesar de que el aire proviene con gran velocidad del sur y suroeste, éste ya viene con una temperatura alta por lo que no refresca la vivienda. Temp. Ambiente max: 16 horas 34° C (Gráfica 28).



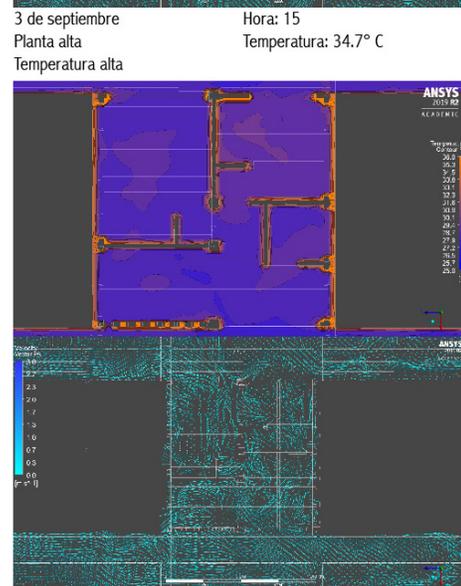
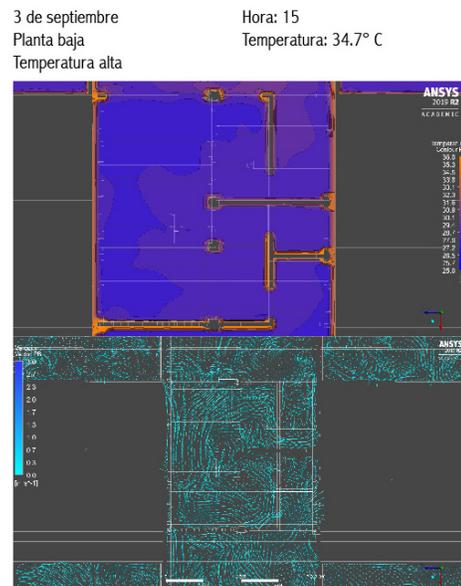
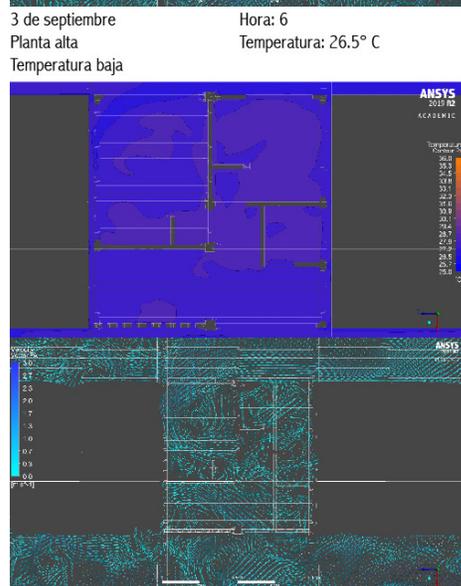
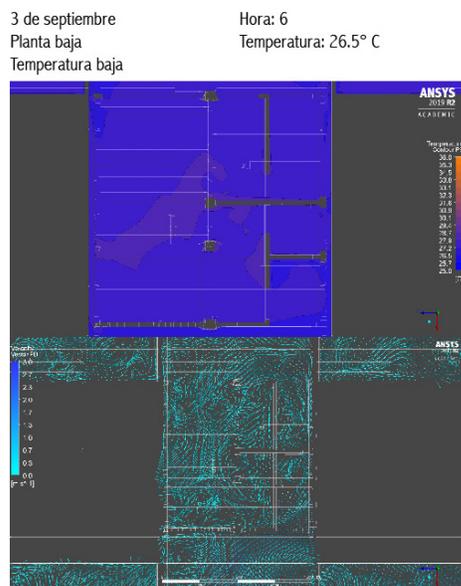
Gráfica. 27. Gráfica de colores falsos durante el solsticio de verano con la temperatura más baja. Elaboración propia con Ansys Fluent.

Gráfica. 28. Gráfica de colores falsos durante el solsticio de verano con la temperatura más alta. Elaboración propia con Ansys Fluent.

7 | 3.8 03 DE SEPTIEMBRE, DÍA CON MENOS VIENTO EN EL AÑO

A las 6:00 horas del 3 de septiembre, la temperatura del ambiente es la más baja, de 26.5° C y al interior de la vivienda, la temperatura promedio es de 27.2° a 27.9° C desde el comienzo del día hasta las 13:00 horas aproximadamente. En ambos casos, las temperaturas se encuentran dentro del intervalo de comodidad térmica (Gráfica 29).

Debido a la poca velocidad del aire, la temperatura exterior es de 34° C a las 15:00 horas, sin embargo, por este mismo motivo la temperatura de la vivienda se mantiene confortable durante varias horas ya que no existe intercambio de temperatura con el aire exterior. De esta manera, se puede observar que la temperatura promedio de la vivienda es de 28° C y es hasta las 19:00 que en la planta baja la temperatura sale del intervalo de comodidad térmica, a diferencia de la planta alta que desde las 16:00 horas pasa de los 29° C (Gráfica 30).



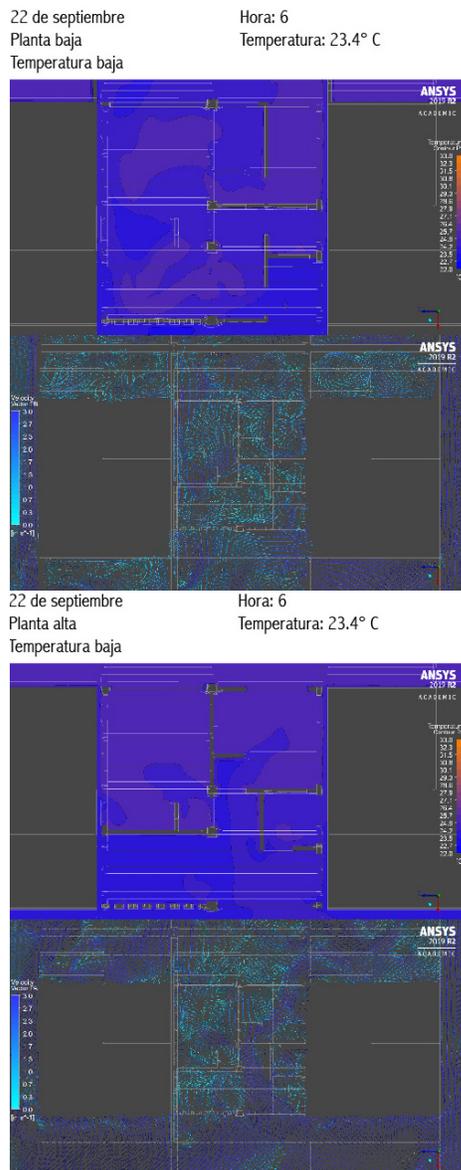
Gráfica. 29. Gráfica de colores falsos durante el día con menos viento con la temperatura más baja. Elaboración propia con Ansys Fluent.

Gráfica. 30. Gráfica de colores falsos durante el día con menos viento con la temperatura más alta. Elaboración propia con Ansys Fluent.

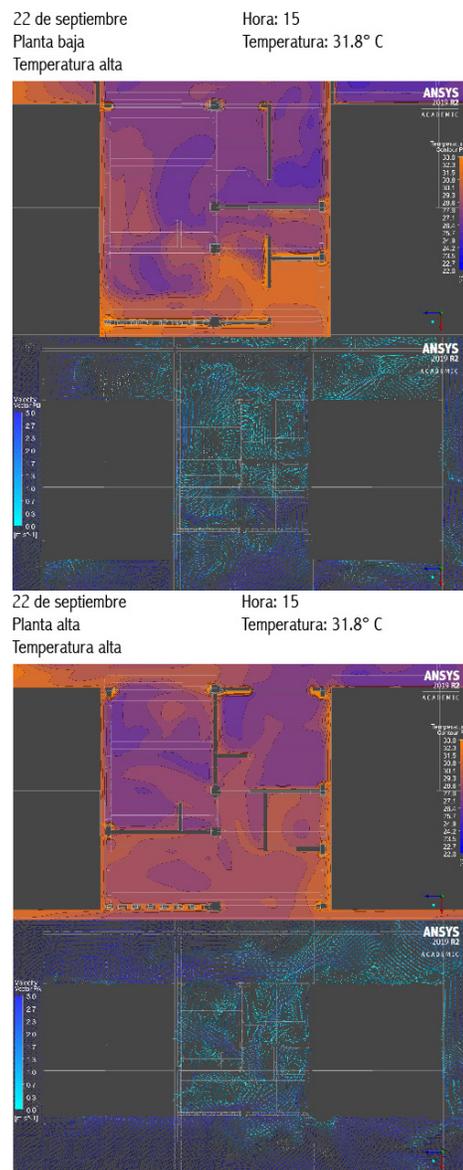
7 | 3.9 22 DE SEPTIEMBRE, EQUINOCCIO DE OTOÑO

En el equinoccio de otoño, la temperatura ambiente más baja se presentó a las 6:00 horas con 23.4°C lo cual se encuentra ligeramente por debajo del intervalo de comodidad térmica; a diferencia de la temperatura del interior de la vivienda que en promedio es de 24.2°C . El aire que proviene con mayor velocidad es del suroeste el cual entra a la vivienda con gran facilidad por la planta alta, distribuyéndose por toda la vivienda por medio de la escalera. Por este motivo, la planta baja tiene mayor variación de temperatura con respecto a la planta alta (Gráfica 31).

A las 15:00 horas se registró la temperatura del ambiente más alta durante el día la cual fue de 31.8°C . Al interior de la vivienda, la temperatura en las recámaras y los espacios habitables de la planta baja se mantienen en 27.1°C aproximadamente y en el resto de la vivienda es de 28.6°C aproximadamente lo cual en ambos casos está dentro del intervalo de comodidad térmica. El viento con mayor velocidad proviene del lado oeste suroeste el cual en la planta baja entra con mayor velocidad por el acceso principal de la vivienda sin embargo, la columna que se encuentra en el eje 4 obstaculiza el aire por lo que éste reduce su velocidad y sale por la celosía; por lo tanto, la temperatura del aire del exterior no se mezcla con la del interior (Gráfica 32).



Gráfica. 31. Gráfica de colores falsos durante el equinoccio de otoño con la temperatura más baja. Elaboración propia con Ansys Fluent.

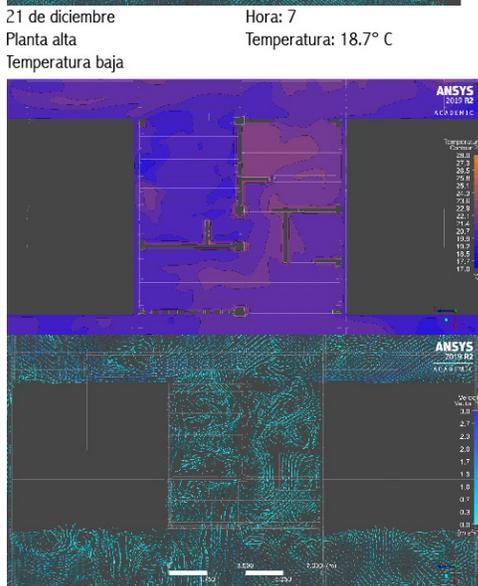
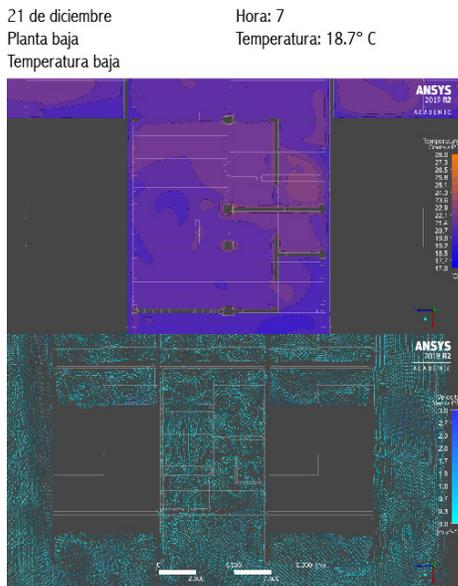


Gráfica. 32. Gráfica de colores falsos durante el equinoccio de otoño con la temperatura más alta. Elaboración propia con Ansys Fluent.

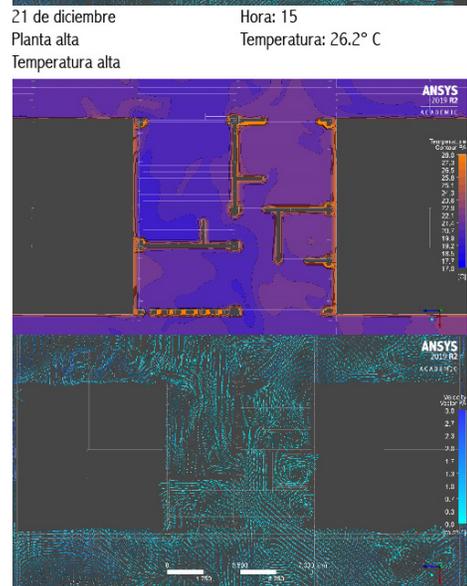
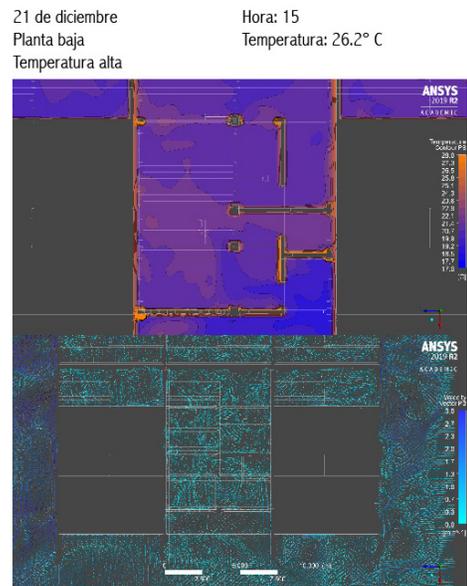
7 | 3.10 21 DE DICIEMBRE, SOLSTICIO DE INVIERNO

Durante el solsticio de invierno, la temperatura más baja que se registró fue de 18.7° C a las 7:00 horas; en este horario, el aire permanece estancado durante gran parte del día por lo que la temperatura no se transmite por convección y a pesar de que es más elevada que la temperatura del ambiente (19.9° a 21.4° C) está por debajo del intervalo de comodidad térmica (Gráfica 33).

Así mismo, a las 15:00 se registró una temperatura exterior de 26.2° C, siendo ésta la más alta del día sin embargo, las temperaturas del interior de la vivienda son parecidas a las del horario más fresco del día con el mismo estancamiento del viento. Los horarios en los que la temperatura sube lo suficiente como para alcanzar la comodidad térmica son antes de las 5:00 horas y a partir de las 22:00 horas (Gráfica 34).



Gráfica. 33. Gráfica de colores falsos durante el solsticio de invierno con la temperatura más baja. Elaboración propia con Ansys Fluent.



Gráfica. 34. Gráfica de colores falsos durante el solsticio de invierno con la temperatura más alta. Elaboración propia con Ansys Fluent.

7 | 4 RESUMEN DE RESULTADOS

En la Tabla 15 se resumen las horas de comodidad térmica, desfase térmico y amortiguamiento térmico durante los días de estudio en cada una de las simulaciones.

DÍAS DE ESTUDIO	EFECTOS TÉRMICOS DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS			EFECTOS TÉRMICOS DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS CON VENTILACIÓN	
	CT	DT	AT	CT	DT
1. DÍA MÁS FRESCO DEL AÑO	16-12-6 ¹	0	42%	4	5
2. DÍA MÁS NUBLADO DEL AÑO	24	0	34%	24	0
3. DÍA CON MÁS VIENTO DEL AÑO	3	-1	56%	8	5
4. DÍA MÁS BRILLANTE DEL AÑO	22	1	66%	4	1
5. EQUINOCCIO DE PRIMAVERA	0	0	70%	15	3
6. DÍA MÁS CÁLIDO DEL AÑO	0	2	65%	15	5
7. SOLSTICIO DE VERANO	0	-1	66%	0	4
8. DÍA CON MENOS VIENTO EN EL AÑO	0	1	62%	19	8
9. EQUINOCCIO DE OTOÑO	8	1	63%	13	5
10. SOLSTICIO DE INVIERNO	24	0	37%	8	8

Tabla 15. Tabla de resumen de horas de comodidad térmica (CT), desfase térmico (DT) y amortiguamiento térmico (AT) en las simulaciones de transferencia de calor por conducción y por convección. Elaboración propia a partir de resultados de Ansys Fluent y Energy plus.

¹ Durante el día más fresco los espacios tuvieron horas de comodidad térmica muy diferentes entre sí (La estancia 16 horas, el área pública 12 y una recámara 6)

7 | 5 DISCUSIÓN

Con base en los resultados obtenidos en el capítulo anterior, en la discusión se explica la interpretación que se obtuvo de las simulaciones y el estudio de asoleamiento en conjunto por cada día de estudio por lo que se considera la interacción de las variables analizadas entre sí.

7 | 5.1 DÍA MÁS FRESCO DEL AÑO, 16 DE ENERO

Durante el día más fresco se observó que mantener los vanos abiertos después de las 17 horas provoca que la temperatura del aire exterior se mezcle con la del interior y así se logra tener las últimas horas del día dentro del intervalo de comodidad térmica, contrario a lo que sucede en las primeras horas del día en donde las aberturas provocan que las ganancias de temperatura que se generan en el interior de la vivienda se pierdan debido a que el aire se mezcla con el del exterior; sin embargo, si la vivienda se encuentra cerrada, la temperatura del interior cuenta con mayor amortiguamiento en comparación con la del exterior gracias al sistema constructivo aunque ésta se encuentre ligeramente por debajo del intervalo

de comodidad térmica. Por otra parte, si la vegetación es perene, puede proporcionar sombra durante todo el día a la fachada sur lo cual obstaculiza que la fachada se caliente durante el día y transmita el calor.

7 | 5.2 DÍA MÁS NUBLADO DEL AÑO, 26 DE ENERO

Durante el día más nublado la temperatura del ambiente se mantiene dentro del intervalo de comodidad térmica lo cual, como se puede observar en las simulaciones, aunque la vivienda permanezca con los vanos abiertos o cerrados, la temperatura de los espacios se mantiene dentro del intervalo de comodidad térmica aunque cuente con ligeras variaciones.

7 | 5.3 DÍA CON MÁS VIENTO DEL AÑO, 15 DE FEBRERO

En el día con más viento en el año, se observó en la simulación térmica que el factor de amortiguamiento tiende a cero al interior de la vivienda por debajo del intervalo de comodidad

térmica, sin embargo en la simulación de viento se observó que dicho amortiguamiento se pierde debido al flujo del aire logrando que los espacios suban su temperatura lo suficiente para que las últimas horas del día, los espacios se encuentren confortables.

7 | 5.4 DÍA MÁS BRILLANTE DEL AÑO, 10 DE MARZO

Durante el día más brillante, la vivienda sin ventilar cuenta con una temperatura más estable en comparación con la del exterior y sólo durante unas 6 horas aproximadamente durante la mañana esta temperatura se encuentra dentro del intervalo de comodidad térmica. En la simulación de viento, se observó que el amortiguamiento se perdió con los vanos abiertos debido a la transferencia de calor por convección sin embargo, como se mostró en el estudio de asoleamiento, la vegetación no sólo ayuda a proveer de sombra la fachada sur, también puede ayudar como obstáculo para que el aire caliente no entre con tanta facilidad a la vivienda.

7 | 5.5 EQUINOCCIO DE PRIMAVERA, 20 DE MARZO

Durante el equinoccio de primavera se observó que la vivienda con los vanos cerrados cuenta con una temperatura de estable por encima del intervalo de comodidad térmica durante todo el día sin embargo, en la simulación con los vanos abiertos, la vivienda logra entrar dentro del intervalo de comodidad térmica en la mayoría de los espacios hasta el momento con mayor temperatura en el ambiente; circunstancia que puede cambiar debido a la sombra que provee la vegetación exterior.

7 | 5.6 DÍA MÁS CÁLIDO DEL AÑO, 28 DE MAYO

Los resultados que se observaron en la simulación de transferencia de calor muestran que los materiales ayudan a amortiguar la temperatura al interior de la vivienda logrando que las temperaturas a lo largo del día no sean tan extremas como las que presenta la temperatura del ambiente sin embargo, éstas se encuentran muy por encima del intervalo de comodidad térmica. En la simulación de ventilación se observó que la temperatura al interior de la vivienda se mantuvo constante entre 28° y 29° durante las primeras 15 horas lo cual cambia considerablemente después de la temperatura más elevada del ambiente; estas horas probablemente aumenten gracias a que la vegetación proporciona sombra en la fachada sur durante todo el día y obstruye el flujo del aire caliente del exterior.

7 | 5.7 SOLSTICIO DE VERANO, 21 DE JUNIO

Como se observó en la simulación de transferencia de calor, aunque la temperatura se mantiene estable, ésta está por encima del intervalo de comodidad térmica y en la simulación con vanos abiertos, la temperatura más cercana al intervalo de comodidad térmica es de las 6 a las 10 horas con una temperatura de 29.9° C.

7 | 5.8 DÍA CON MENOS VIENTO EN EL AÑO, 03 DE SEPTIEMBRE

Durante el día con menos viento, la simulación con vanos cerrados mostró que aunque la temperatura de los espacios es estable, ésta está por encima del intervalo de comodidad térmica; situación muy diferente en la simulación de viento en donde se observó que los espacios se encuentran dentro del intervalo de comodidad térmica al menos durante 15 horas en la planta alta y hasta 18 horas en la planta baja y debido a que el techo absorbe mucha irradiancia solar y la transmite en forma de calor al interior, ni la vegetación ni los elementos de sombreado en las fachadas ayudan a disminuir la temperatura al interior de la vivienda.

7 | 5.9 EQUINOCCIO DE OTOÑO, 22 DE SEPTIEMBRE

Como se puede observar en las simulaciones, durante la madrugada si la vivienda se encuentra con los vanos abiertos, la temperatura está dentro del intervalo de comodidad térmica, después del amanecer y hasta las 10 horas, permanece con la temperatura óptima si los vanos se encuentran cerrados y posterior a ese horario, con los vanos abiertos, la temperatura de la vivienda se encuentra dentro del intervalo hasta las 15 horas, situación que puede prolongarse gracias al sombreado que proporciona la vegetación y los volados.

7 | 5.10 SOLSTICIO DE INVIERNO, 21 DE DICIEMBRE

Durante el solsticio de invierno, la vivienda permanece con una temperatura dentro del intervalo de comodidad térmica durante todo el día y en todos los espacios a excepción de la estancia, sin embargo este resultado no cambia con el sombreado que proporciona una vegetación perene debido al ángulo de inclinación del sol. En la simulación con aperturas, la vivienda se encuentra la mayor parte del tiempo por debajo del intervalo de comodidad térmica excepto durante la noche y parte de la madrugada.

El objetivo principal de este trabajo de investigación fue demostrar que por medio de un diseño pasivo se pueden construir viviendas de bajo consumo energético. Teniendo esto en cuenta, se realizó un análisis de los diferentes climas de la república para determinar cuál es el clima cálido más desfavorable debido a que en esta ubicación existe mayor probabilidad de que la necesidad de recursos energéticos para adaptar las viviendas y que cuenten con un clima agradable sea mayor. Posteriormente, se realizó una amplia investigación para encontrar las ventajas y desventajas de la ubicación para así determinar qué soluciones de diseño eran posibles de implementar y una vez teniendo el diseño arquitectónico de un prototipo de vivienda que cumpliera con las características mínimas de comodidad térmica necesarias para una vivienda de interés social se realizó un estudio de asoleamiento para analizar la transferencia de calor por radiación, una simulación térmica dinámica para determinar la capacidad de la envolvente de modular los flujos de calor que entran al espacio y finalmente una simulación de ventilación mediante CFD para analizar si la ventilación podría contribuir a la misma modulación térmica del espacio.

Como se ha podido observar, el clima en la ciudad de Villahermosa es desfavorable debido a sus altas temperaturas y al alto nivel de humedad relativa durante todo el año y a pesar de que el ser humano puede adaptarse un poco a estas condiciones por medio de equipos de ventilación mecá-

nica, el diseño de la vivienda puede proporcionar un refugio ante dicha adversidad. En este trabajo de investigación se demostró que un espacio con techos altos, aperturas en las fachadas en donde existe mayor incidencia del viento con mayor velocidad, elementos de sombreado en las fachadas y orientación de los espacios habitables ayuda a que la temperatura del interior de la vivienda tenga mayor amortiguamiento y desfase térmico con respecto a la temperatura del ambiente lo cual proporciona un mayor número de horas de comodidad térmica.

De esta manera, el estudio de asoleamiento mostró que una parte del año correspondiente a los meses más frescos, los elementos de sombreado de la fachada principal permiten la incidencia solar de manera que se transmite el calor a través de los sistemas constructivos; sin embargo en el día más fresco, las ganancias de calor al interior no son suficientes para lograr una temperatura confortable; por otra parte, durante el solsticio de invierno, la radiación solar alcanza a librar los elementos de sombreado en la fachada sur lo cual provoca que la estancia se sobrecaliente. Así mismo, durante los meses más cálidos, los elementos de sombreado cumplen su función evitando que las fachadas norte y sur reciban directamente la radiación solar.

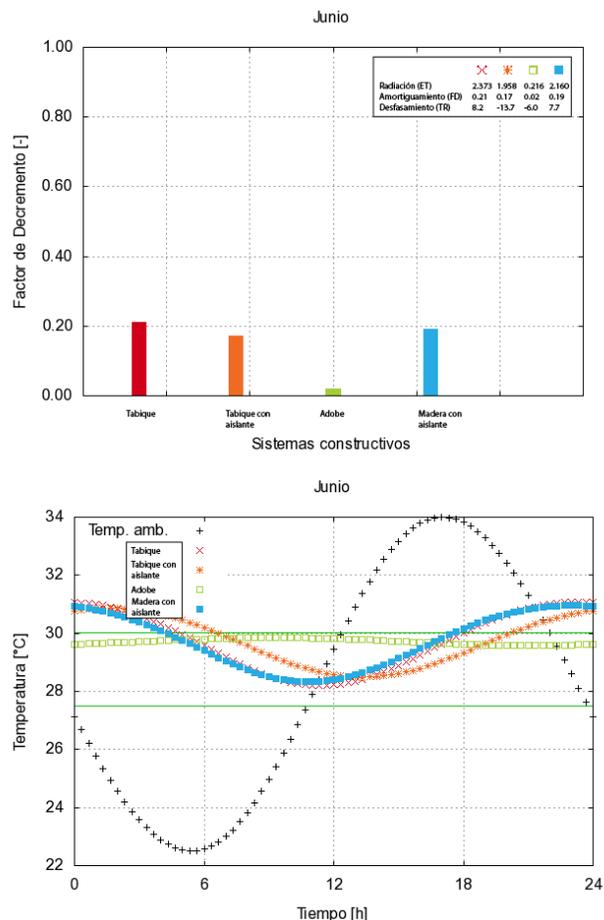
En la simulación térmica dinámica con EnergyPlus se observó que los materiales cumplen su función de amortiguamiento térmico siendo de más del 60% en las fechas de mayor

temperatura; en las fechas correspondientes a los meses más fríos, el amortiguamiento continúa siendo adecuado en un 30% e incluso es en estas fechas que se cuenta con un mayor número de horas de comodidad térmica al interior de la vivienda.

En la simulación CFD se observó que el viento tiene una influencia directa en la temperatura al interior de la vivienda ya que durante los días con mayores temperaturas se logra tener un mayor número de horas de comodidad térmica y el desfase es mayor a lo largo del año. Sin embargo, es conveniente estudiar la implementación de otras estrategias a este caso de estudio como son: la ventilación mediante ducto canadiense o la implementación de vegetación para sombreado y modulación de humedad, que permita disminuir las temperaturas del aire entrante a los espacios de tal suerte que se reduzca la posibilidad de ocasionar alzas de temperatura por la admisión de aire caliente a los espacios.

A partir del estudio, y que se presenta en este trabajo, se pueden inferir las siguientes conclusiones.

- Los sistemas constructivos ayudaron en gran medida a que el amortiguamiento de la temperatura fuera mayor al 50% en la mayoría de los casos sin embargo, no fueron tan eficientes en el sentido de desfasar la temperatura del exterior por lo que las horas de comodidad térmica son prácticamente nulas en los meses más cálidos. Con el fin de encontrar un material que cumpliera mejor con las necesidades del sitio, se realizó un análisis en EnerHabitat, en donde se comparan diferentes sistemas constructivos (sistema 1: tabique rojo con acabado de yeso en ambas caras, sistema 2: tabique rojo con aislante de poliestireno de 2.5 cm y recubrimiento de yeso en ambas caras, sistema 3: adobe de 30 cm y sistema 4: madera con aislante de poliuretano de 7.6 cm) dando como resultado que el material que amortigua la temperatura lo suficiente como para permanecer dentro del intervalo de comodidad térmica durante todo el día es el adobe gracias a que este sistema constructivo posee una mayor masividad (un muro de mayor espesor con material de alta densidad) y una mayor capacidad calorífica. (Gráfica 35)
- Debido a la orientación de la vivienda, los volados permiten la incidencia solar durante los meses más fríos y logran sombrear las fachadas por completo durante los meses más cálidos sin embargo, no es



Gráfica 35. Gráfica comparativa de diferentes sistemas constructivos durante el mes más cálido en Villahermosa, Tabasco. Elaboración propia en <http://www.enerhabitat.unam.mx/Cie2/unam.mx>

suficiente para que el aire adyacente a la fachada no suba su temperatura y caliente los muros.

- La orientación de la vivienda ayudó a que durante los días más cálidos el viento entrara a la vivienda con mayor facilidad y de esta manera se refrescaran los espacios sin embargo, en este proyecto se diseñó la vivienda con una celosía para que el aire entrara las 24 horas del día, lo cual se concluyó que no es ideal porque los usuarios necesitan poder tener control de las aperturas para los diferentes casos. De igual manera, entre las estrategias de diseño recomendadas para este tipo de clima, se sugiere incluir ventanas para así promover la ventilación natural pero lo que se concluyó en este trabajo fue que las aperturas deberían ubicarse a una altura mayor a la de los usuarios para así facilitar que el aire que fluya sólo sea el de mayor densidad y así evitar que se mezcle con el aire fresco de la vivienda, logrando que el aire que se encuentre a la altura de los usuarios sea el de menor temperatura. Por otra parte, las puertas al

interior pueden funcionar como filtro para que el aire caliente de la estancia no circule hacia las recámaras con facilidad.

- Las colindancias ayudaron a que las fachadas este y oeste no se calentaran con la incidencia del sol ni con el aire caliente circundante. Sin embargo, los muros de colindancia en el acceso del predio evitan en gran medida que el aire proveniente del suroeste o sureste pudiera entrar con facilidad a la vivienda en el nivel inferior.
- El medio nivel que se propuso elevar la vivienda para que el aire y agua en caso de inundación, fluyeran libremente no representó una aportación relevante a la provisión de la comodidad térmica debido a que el aire que fluye con una temperatura alta, calienta el suelo por la parte inferior. Por otra parte, cuando el aire con gran velocidad pasa a través de la parte inferior de la vivienda, éste llega al patio de servicio generando cierta turbulencia que evita que el aire que se encuentra al interior de la vivienda fluya, lo cual provoca que no pueda salir por lo que se concluyó que ese medio nivel puede ayudar para elevar la vivienda lo suficiente en caso de que llegara a haber alguna inundación y para que el aire pueda entrar y salir de la vivienda con facilidad ya que a esa altura no hay obstáculos en la parte trasera sin embargo, no es recomendable que este medio nivel cuente con un muro en celosía en el sur de la vivienda, sólo sería necesario que cuente con un elemento de desagüe.

ÁREAS DE OPORTUNIDAD DEL PROYECTO

En cuanto al prototipo que se diseñó, se analizaron cuatro áreas de oportunidad de las cuales una es de mayor relevancia. Por un lado, las propiedades ópticas que se escogieron para esta investigación fueron las mejores en el sentido de que ayudan a reflejar la radiación solar en gran medida en comparación con otras superficies que en lugar de reflejar absorben dicha radiación, sin embargo, en la azotea se utilizó impermeabilizante rojo el cual si bien ayuda a evitar la filtración de humedad, absorbe más calor en comparación con uno térmico (que regularmente es de color blanco); dicho impermeabilizante podría ayudar a reflejar la radiación. En este sentido, la vegetación que se eligió ayudó a sombrear la fachada sur durante los meses más cálidos pero no tanto durante los meses con menor temperatura lo cual ayuda a que la incidencia solar en la fachada permita que el calor se transfiera por medio de los muros cuando la temperatura es

baja y esta incidencia sea despreciable durante los meses críticos ayudando a reducir la temperatura pero, en cuanto a la ventilación, la misma vegetación puede obstruir el flujo del aire por lo que es importante analizar el tipo de vegetación que se debe proponer para que, por un lado cumpla con las necesidades de sombra y ventilación y por otra parte, ya esté adaptada al tipo de suelo, clima, humedad, agua y demás adversidades ambientales. Por otra parte, se consideró que los sistemas constructivos a elegir debían responder a la creencia popular de que éstos materiales representan un mayor poder adquisitivo y por lo tanto, estatus social de esta manera, la población se inclina por dichos materiales y si bien, en este estudio, estos sistemas constructivos ayudaron a amortiguar térmicamente la vivienda, pudiera ser que otros materiales cuenten con características termofísicas que sean de mayor ayuda en ésta ubicación. Finalmente, un punto importante a destacar es la ventilación. En este trabajo se analizó la vivienda con las ventanas completamente abiertas y completamente cerradas lo cual no considera que los ocupantes puedan regular la ventilación en cada situación de la manera que mejor funcione, por otra parte, las celosías tienen los orificios tan pequeños que el viento choca con la pared interna de los mismos evitando que el aire fluya y cumpla su función de refrescar por lo que sería conveniente replantear la manera de diseñar las ventas y su ubicación.

TRABAJO FUTURO

Como ya se mencionó anteriormente, este primer prototipo se puede mejorar sin embargo, funciona muy bien como un punto de partida para poder entender cómo se comporta una vivienda en un clima cálido húmedo y así dar inicio a una investigación más profunda que no sólo considere mejorar el diseño si no que se adentre más en diferentes puntos que son importantes para tomar en cuenta posteriormente.

Por una parte, las simulaciones se realizaron sin considerar a los ocupantes ni los equipos (muebles, electrodomésticos, etc.) que se requieren los cuales representan ganancias de calor que son importantes para considerar así como que los usuarios tengan la posibilidad de abrir y cerrar las ventanas a conveniencia, así mismo, la vegetación sólo se analizó en el estudio de asoleamiento sin embargo no se consideró en ninguna de las simulaciones; por todo lo anterior sería importante que en un estudio futuro las simulaciones tanto térmica como de CFD consideren incluir vegetación, equipos y ocupantes que puedan regular la ventilación natural ya que dichos factores pueden ayudar en gran medida a que los

estudios muestren resultados con mayor precisión.

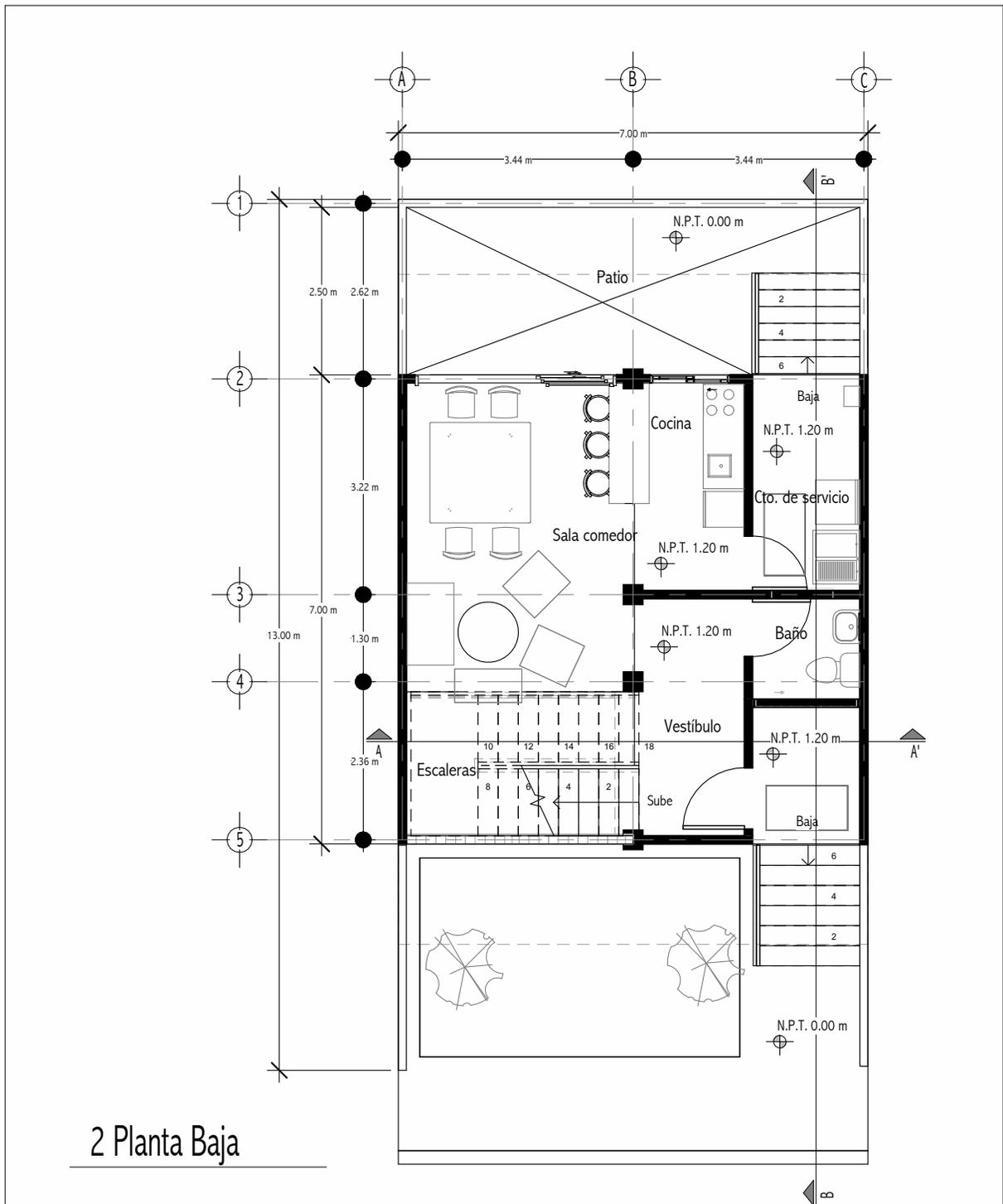
Otro tema a considerar es que Villahermosa es la ciudad con mayor temperatura y humedad combinadas de la república mexicana por lo que la población acostumbra usar equipos de aire acondicionado. En esta investigación sólo se tomó en cuenta la temperatura ya que las simulaciones se realizaron con aire seco estándar por lo que los resultados no representan en su totalidad la sensación térmica que se vive en la vivienda; en este sentido, una investigación de ventilación más profunda (en donde también se consideren a los ocupantes) puede ayudar a comprender la capacidad de termorregulación de los espacios; de igual manera, un estudio como éste puede ayudar a identificar si se pueden generar elementos nocivos como hongos y moho. Así mismo, un factor a considerar, ya que es posible que los ocupantes hagan uso de equipos de aire acondicionado, es que dichos equipos requieren grandes cantidades de energía por lo que analizar la carga térmica es importante para comprender el impacto ambiental que pueda ocasionar el edificio y de esta manera proponer estrategias pasivas, ya sea cambiar materiales, acabados, vegetación, etcétera; que ayuden a reducir dicha carga.

Un punto que es importante resaltar es la huella ecológica; debido a que los materiales que se propusieron para los sistemas constructivos son de uso comercial, investigar la huella de carbón, la huella hídrica, energía embebida y demás, con la finalidad de determinar el impacto ambiental que el edificio puede ocasionar y de ésta manera, en una investigación futura, se puedan considerar materiales que sean capaces de proveer comodidad térmica de forma pasiva y que de igual forma logren reducir dicho impacto en el medio ambiente.

Por último, para esta investigación se consideraron sólo las colindancias pues éstas ayudaban a limitar la incidencia solar en las fachadas este y oeste, al norte las colindancias ayudaron a entender cómo se comportaría el viento con obstáculos; sin embargo, como se pudo observar en los resultados a diferencia de la mayoría de los días analizados en donde el viento sirvió como estrategia para refrescar la vivienda, durante el solsticio de verano el viento en lugar de refrescar, propició que la temperatura aumentara, en este sentido, si se considera el efecto de isla de calor urbana en la ciudad de Villahermosa, existe la posibilidad de que durante todo el año, el viento ya cuente con una temperatura mayor a la que se indica en el archivo climático que se consultó por lo que analizar este efecto puede ayudar a determinar la manera en cómo afecta al edificio y así poder implementar mejores estrategias.

APÉNDICE

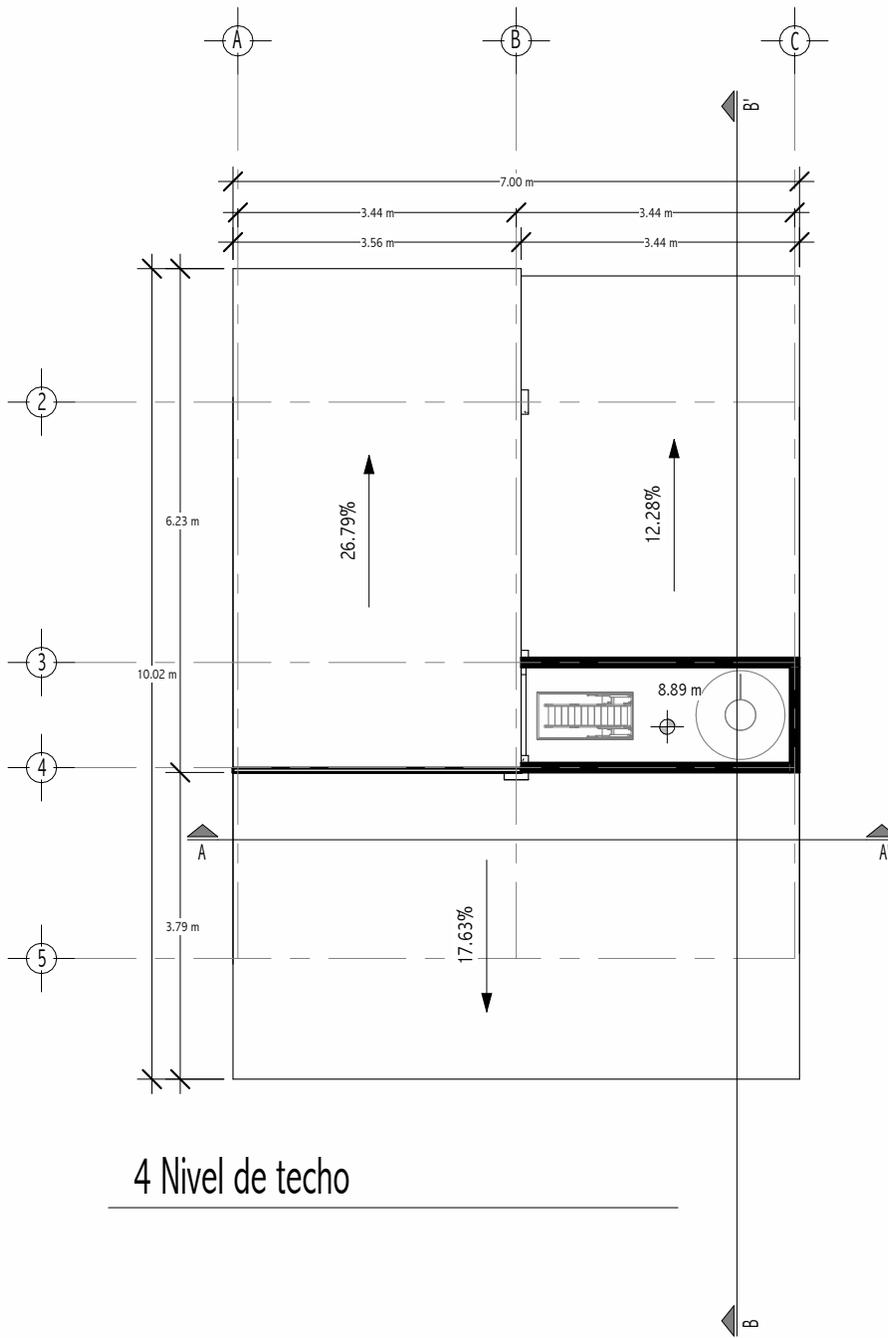
APÉNDICE 1. PLANOS ARQUITECTÓNICOS



2 Planta Baja

<p>NORTE</p>	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE ARQUITECTURA LABORATORIO DE ENTORNOS SOSTENIBLES</p>	<p>COMITÉ TUTORIAL</p> <p>TUTOR PRINCIPAL: DR. ADRIANA LARA OLIVER</p> <p>ASESORES: M. EN I. SEAN RODOLFO SEBASTIÁN VALCÍO MARTÍNEZ</p>	<p>SIMBOLOGÍA</p> <ul style="list-style-type: none"> — MESA DE — MESA COFFE — SILLA DE — SILLA A PIED — SILLA P. FIBRO DE PISO TERMINADO — LÍNEA DE PERFORACIÓN — LÍNEA DE TACOS — PUERTO — PUERTO EN GLOSA 	<p>PROYECTO</p> <p>DISEÑO TÉCNICO DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL PARA UN CLIMA CALIDO HÚMEDO CON CRITERIOS DE CONTROL PASIVO</p> <p>UBICACIÓN</p> <p>VILLAHERMOSA, TABASCO</p>	<p>CROQUIS DE LOCALIZACIÓN</p>	<p>CUADRO DE ÁREAS</p> <table border="1"> <tr><td>SUPERFICIE DEL TERRENO</td><td>91 m²</td></tr> <tr><td>ÁREA DE OCUPANTE</td><td>70 m²</td></tr> <tr><td>ÁREA CONSTRUIDA</td><td>119 m²</td></tr> <tr><td>ÁREA VERDE</td><td>21 m²</td></tr> <tr><td>BALCONES</td><td>21 m²</td></tr> </table>	SUPERFICIE DEL TERRENO	91 m ²	ÁREA DE OCUPANTE	70 m ²	ÁREA CONSTRUIDA	119 m ²	ÁREA VERDE	21 m ²	BALCONES	21 m ²	<p>PLANO: PLANTA BAJA</p> <p>DIBUJO: LORENA BATTIA ALBERTOS</p> <p>FECHA: MAYO 2022</p> <p>UNIDADES: METROS</p> <p>ESCALA: 1:75</p> <p>ESCALA GRÁFICA: </p> <p>CLAVE: ARQ-01</p>
SUPERFICIE DEL TERRENO	91 m ²																
ÁREA DE OCUPANTE	70 m ²																
ÁREA CONSTRUIDA	119 m ²																
ÁREA VERDE	21 m ²																
BALCONES	21 m ²																

Plano arquitectónico de planta baja. Elaboración propia con Autodesk Revit.



4 Nivel de techo



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ARQUITECTURA
LABORATORIO DE ENTORNOS SUSTENIBLES

COMITÉ TUTORIAL
TUTOR PRINCIPAL:
DR. JORDANA LARA OLIVER
ASESORES:
M. EN I. SEAN RODOLFO
SEBASTIÁN VILCHES MARTÍNEZ

SIMBOLOGÍA

- INDICAR TERRENO
- INDICAR COTE
- INDICAR COTA A EE
- INDICAR COTA A PISO
- INDICAR N.I.P. NIVEL DE PISO TERMINADO
- INDICAR LINEA DE PROYECCION
- INDICAR LINEA DE VACIO
- INDICAR PISO
- INDICAR PISO EN CLOSETA

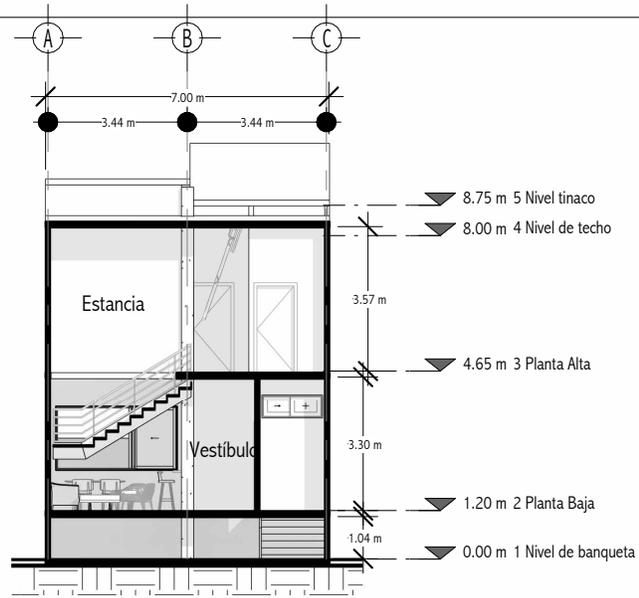
PROYECTO
DISEÑO TÉCNICO DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL PARA UN CLIMA CALIDO HÚMEDO CON CRITERIOS DE CONTROL PASIVO



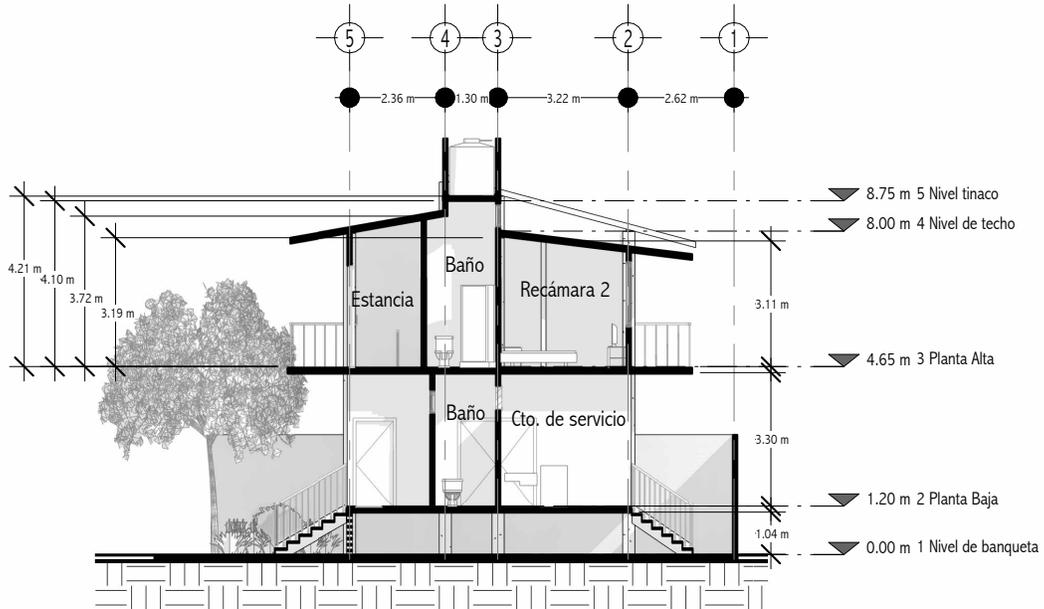
CUADRO DE ÁREAS

SUPERFICIE DEL TERRENO	91 m ²
ÁREA DE DEPLANTE	70 m ²
ÁREA COCINERA	170 m ²
ÁREA LIBRE	21 m ²
BALCONES	21 m ²

PLANO: PLANTA DE AZOTEA
DIBUJO: LORENA BATA ALBERTOS
FECHA: MAYO 2022
UNIDADES: METROS
ESCALA: 1:75
ESCALA GRÁFICA:

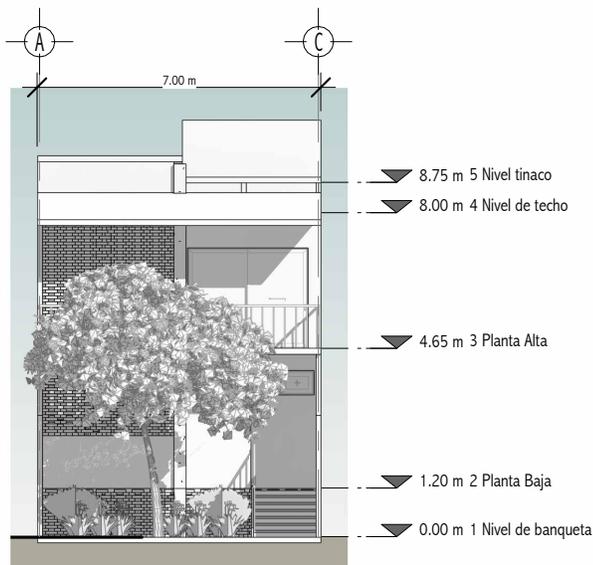


Corte A-A'

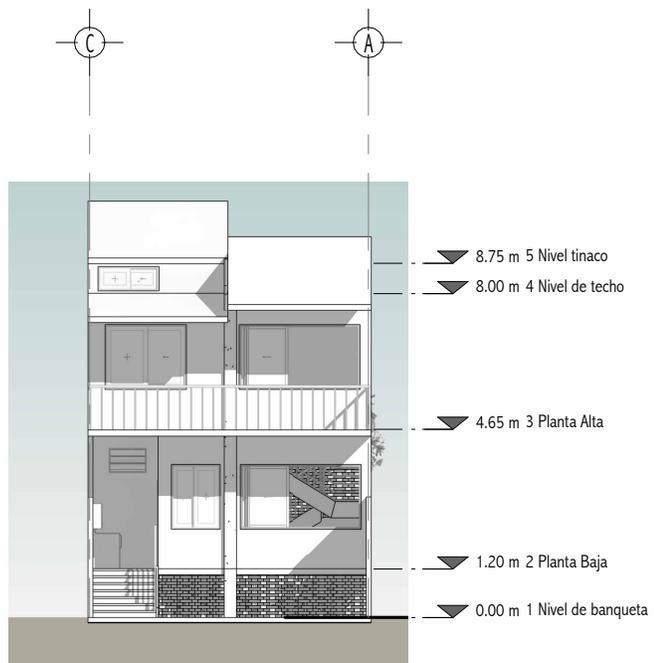


Corte B-B'

NORTE 	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE ARQUITECTURA LABORATORIO DE ENTORNOS SUSTENIBLES	COMITÉ TUTORIAL TUTOR PRINCIPAL: DR. ADRIANA LARA OLIVERA ASESORES: M. EN I. SEAN RODOLFO SEBASTIÁN VILCHIS MARTÍNEZ	SIMBOLOGÍA 	PROYECTO DISEÑO TÉCNICO DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL PARA UN CLIMA CALIDO HÚMEDO CON CRITERIOS DE CONTROL PASIVO UBICACIÓN VILLAHERMOSA, TABASCO	CROQUIS DE LOCALIZACIÓN 	CUADRO DE ÁREAS SUPERFICIE DEL TERRENO: 91 m ² ÁREA DE DEPLANTE: 70 m ² ÁREA CONSTRUIDA: 170 m ² ÁREA LIBRE: 21 m ² BALCONES: 21 m ²	PLANO: CORTES DIBUJO: LORENA BATA ALBERTOS
	FECHA: MAYO 2022 UNIDADES: METROS ESCALA: 1 : 150 						CLAVE: ARQ-04



Sur



Norte

NORTE

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ARQUITECTURA
LABORATORIO DE ENTORNOS SOSTENIBLES



COMITÉ TUTORIAL

TUTOR PRINCIPAL:
DR. ADRIANA LARA OLIVER
ASESORES:
M. EN U. SEAN RODOLFO
SEBASTIAN VILCHIS MARTINEZ

SIMBOLOGÍA



PROYECTO

DISEÑO TÉCNICO DE VIVIENDA DE INTERÉS
SOCIAL PARA UN CLIMA CALIDO HÚMEDO
CON CRITERIOS DE CONTROL PASIVO
UBICACIÓN
VILLAHERMOSA, TABASCO

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



CUADRO DE ÁREAS

SUPERFICIE DEL TERRENO	91 m ²
ÁREA DE DESPLANTE	70 m ²
ÁREA CONSTRUCCIÓN	119 m ²
ÁREA LIBRE	21 m ²
BALCONES	21 m ²

PLANO:

FACHADAS

DIBUJO:

LORENA BAITA ALBERTOS

FECHA:

MAYO 2022

UNIDADES:

METROS

ESCALA:

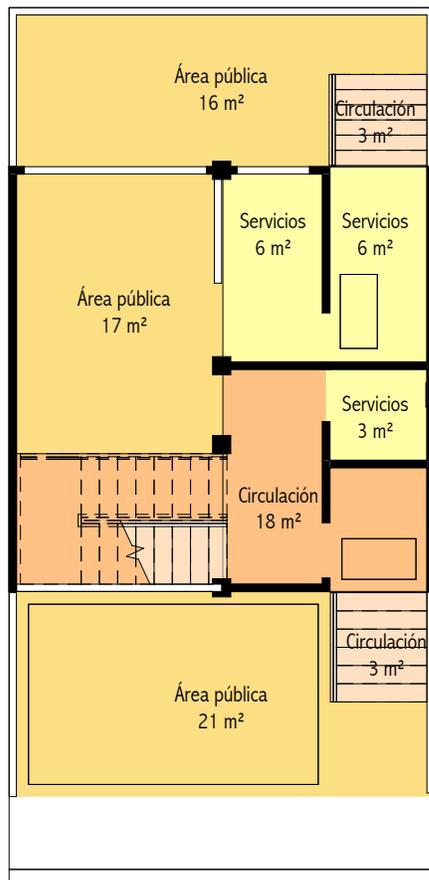
1 : 150

CLAVE:

ARQ-05

ESCALA GRÁFICA:





2 Planta Baja

Esquema de espacios

- Circulación
- Servicios
- Área pública

Espacios internos	
Nombre	Área

Circulación	37 m ²
Servicios	18 m ²
Área privada	52 m ²
Área pública	53 m ²



3 Planta Alta

Esquema de espacios

- Circulación
- Servicios
- Área privada



COMITÉ TUTORIAL
 TUTOR PRINCIPAL:
 DR. AGRANIA LARA OLIVER
 ASESORES:
 MR. DR. SEAN RODOLFO
 SEBASTIÁN VILLOIS MARTÍNEZ

SIMBOLOGÍA

PROYECTO
 DISEÑO TÉRMICO DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL PARA UN CLIMA CALIDO HÚMEDO CON CRITERIOS DE CONTROL PASIVO
UBICACIÓN
 VILLAHERRIOSA, TABASCO

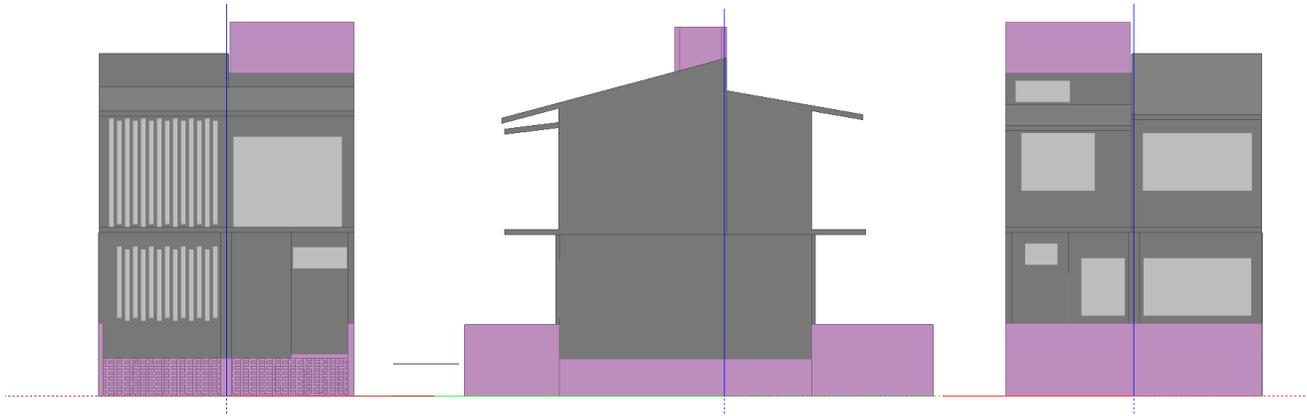


CUADRO DE ÁREAS

SUPERFICIE DEL TERRENO	21 m ²
ÁREA DE REPLANTE	70 m ²
ÁREA CONSTRUCCIÓN	170 m ²
ÁREA LIBRE	21 m ²
BALCONES	21 m ²

PLANO:	ZONIFICACIÓN
DISEÑO:	LORENA BATTA ALBERTOS
FECHA:	MAYO 2022
UNIDADES:	METROS
ESCALA:	1 : 100
ESCALA GRÁFICA:	
	CLAVE: ESQ-02

APÉNDICE 2. FACHADAS EN DESIGN BUILDER



Fachda norte (izquierda), fachada oeste (centro) y fachada sur (derecha). Elaboración propia con Design Builder.

APÉNDICE 3. PERFILES O TABLAS TRANSITORIAS DE PARA LAS CARAS NORTE, ESTE, SUR Y OESTE (TODAS LAS TEMPERATURAS ESTÁN EN KELVIN Y LAS VELOCIDADES EN METROS SOBRE SEGUNDO).

Fresco 6 24 0					
time	Tamb	vnorte	veste	vsur	voeste
0	288.75	2.605	2.185	0.000	0.000
3600	288.75	0.000	3.195	2.237	0.000
7200	288.65	1.398	3.641	0.000	0.000
10800	288.65	0.000	0.680	2.092	0.000
14400	288.65	0.136	0.000	0.000	1.293
18000	288.65	0.000	0.000	0.223	1.584
21600	288.65	0.000	0.000	0.813	1.827
25200	289.95	0.000	0.000	0.306	2.179
28800	292.15	0.000	0.000	1.030	1.714
32400	294.45	0.000	0.000	1.680	3.297
36000	296.65	0.000	0.000	3.672	0.451
39600	298.45	0.000	0.000	1.140	3.730
43200	299.85	0.000	0.000	0.383	4.383
46800	300.75	0.000	0.000	2.229	1.339
50400	301.15	0.000	0.000	1.743	2.684
54000	301.05	0.878	0.000	0.000	4.515
57600	300.15	0.000	0.000	3.348	0.590
61200	298.55	0.000	0.000	0.742	2.283
64800	298.05	0.000	0.000	0.167	3.196
68400	297.65	0.000	0.000	1.183	2.538
72000	297.25	0.000	0.000	1.243	1.007
75600	296.85	0.247	0.000	0.000	1.072
79200	296.35	0.000	0.000	0.658	1.348
82800	295.95	0.000	0.000	0.876	1.457

Tabla transitoria del día más fresco. Elaboración propia a partir del archivo climático.

nublado 6 24 0					
time	Tamb	vnorte	veste	vsur	voeste
0	297.45	0.000	0.000	0.110	0.893
3600	297.65	0.000	0.000	0.559	0.829
7200	297.75	0.244	0.000	0.000	1.985
10800	297.75	0.000	0.000	0.077	2.199
14400	297.75	0.000	0.000	1.069	0.545
18000	297.85	0.000	0.000	0.110	0.893
21600	297.85	0.000	0.000	0.529	1.188
25200	298.05	0.000	0.000	0.529	1.188
28800	298.45	0.000	0.000	0.526	1.079
32400	298.85	0.000	0.000	1.070	1.321
36000	299.15	0.344	0.000	0.000	2.173
39600	299.45	0.000	0.000	2.080	0.716
43200	299.75	0.000	0.000	1.802	2.883
46800	299.85	0.000	0.582	2.739	0.000
50400	299.85	0.000	0.000	1.802	2.883
54000	299.65	0.000	1.453	2.851	0.000
57600	299.05	0.000	0.157	2.996	0.000
61200	299.35	0.000	0.000	2.970	2.970
64800	299.05	0.000	4.499	0.956	0.000
68400	299.15	3.021	2.918	0.000	0.000
72000	298.85	0.000	3.947	1.436	0.000
75600	298.65	0.000	3.106	1.383	0.000
79200	298.45	0.000	0.136	2.596	0.000
82800	298.25	0.000	0.000	1.743	2.684

Tabla transitoria del día más nublado. Elaboración propia a partir del archivo climático.

Ventoso 6 24 0					
time	Tamb	vnorte	veste	vsur	voeste
0	291.05	0.000	0.000	1.890	8.185
3600	291.05	0.000	0.000	2.315	8.075
7200	291.05	0.000	0.000	0.558	7.981
10800	291.15	0.000	0.000	2.339	7.650
14400	291.15	0.000	0.000	2.437	6.348
18000	291.15	0.000	5.685	3.151	0.000
21600	291.25	0.000	6.390	2.326	0.000
25200	291.95	4.302	0.000	0.000	6.144
28800	292.75	8.895	0.311	0.000	0.000
32400	293.95	3.249	0.000	0.000	8.927
36000	295.35	0.000	11.092	2.156	0.000
39600	296.55	0.000	0.828	9.464	0.000
43200	297.25	0.000	0.000	6.435	5.399
46800	297.25	0.000	2.251	7.364	0.000
50400	296.55	0.000	0.000	2.032	8.150
54000	296.05	0.000	0.000	4.836	9.094
57600	295.45	0.000	0.000	3.249	8.927
61200	294.85	0.000	0.000	4.925	6.304
64800	294.25	4.815	0.000	0.000	6.389
68400	294.55	0.000	0.000	4.847	7.464
72000	294.85	4.575	0.000	0.000	7.045
75600	295.15	4.692	0.000	0.000	5.592
79200	295.35	0.000	0.000	1.462	6.333
82800	295.65	0.000	0.000	3.151	5.685

Tabla transitoria del día con más viento. Elaboración propia a partir del archivo climático.

brillante 6 24 0					
time	Tamb	vnorte	veste	vsur	voeste
0	293.85	0.000	0.000	2.598	1.500
3600	293.15	0.000	1.135	2.228	0.000
7200	292.35	0.000	0.000	2.342	2.601
10800	291.95	0.000	1.385	1.710	0.000
14400	291.65	0.000	0.000	1.596	0.112
18000	291.35	0.000	0.000	0.495	2.144
21600	291.35	0.000	0.000	1.721	2.457
25200	293.25	0.000	0.000	0.260	1.477
28800	295.45	0.000	0.818	1.010	0.000
32400	297.65	0.000	0.923	1.182	0.000
36000	299.55	0.000	0.000	1.961	0.753
39600	301.15	0.000	0.000	2.445	0.520
43200	302.35	0.000	0.469	2.659	0.000
46800	303.15	0.000	0.401	4.582	0.000
50400	303.55	0.000	5.313	1.424	0.000
54000	303.45	0.000	5.418	5.611	0.000
57600	302.55	0.000	4.216	5.207	0.000
61200	301.25	0.000	0.000	4.607	4.149
64800	299.75	0.000	0.000	2.505	3.858
68400	298.95	0.000	0.000	2.586	3.310
72000	298.25	0.000	0.000	1.970	1.539
75600	297.55	0.000	0.000	1.221	1.455
79200	296.85	0.000	0.000	1.381	0.586
82800	296.15	0.000	0.000	0.038	1.099

Tabla transitoria del día más brillante. Elaboración propia a partir del archivo climático.

primavera 6 24 0					
time	Tamb	vnorte	veste	vsur	voeste
0	298.95	0.000	0.000	1.677	1.264
3600	298.15	0.000	1.315	2.696	0.000
7200	297.35	0.000	0.000	3.994	1.298
10800	296.95	0.000	0.720	4.543	0.000
14400	296.55	0.322	0.000	0.000	3.686
18000	296.25	0.515	0.000	0.000	2.650
21600	296.35	0.000	0.000	1.576	0.278
25200	297.75	0.000	0.000	2.182	2.340
28800	299.25	0.000	0.000	1.514	4.660
32400	300.65	0.000	0.000	1.622	3.326
36000	302.15	0.000	0.000	2.017	4.134
39600	303.65	0.000	0.000	3.768	2.638
43200	304.45	0.000	0.000	1.094	3.007
46800	304.95	0.000	0.000	1.841	1.975
50400	305.15	0.000	0.000	0.360	1.559
54000	305.35	0.000	0.742	1.749	0.000
57600	304.85	0.000	0.267	1.374	0.000
61200	303.85	0.000	0.360	1.559	0.000
64800	302.65	2.283	0.742	0.000	0.000
68400	301.75	0.000	1.561	1.405	0.000
72000	300.95	1.400	0.000	0.000	0.000
75600	300.05	0.000	1.600	0.000	0.000
79200	299.15	0.000	0.606	2.115	0.000
82800	298.25	0.000	0.000	2.387	0.251

Tabla transitoria del equinocio de primavera. Elaboración propia a partir del archivo climático.

kalma 6 24 0					
time	Tamb	vnorte	veste	vsur	voeste
0	301.55	0.000	0.278	0.288	0.000
3600	301.05	0.280	0.000	0.000	0.108
7200	300.45	0.399	0.028	0.000	0.000
10800	300.15	0.276	0.000	0.000	0.117
14400	299.85	0.199	0.021	0.000	0.000
18000	299.65	0.194	0.000	0.000	0.048
21600	300.05	0.083	0.000	0.000	0.056
25200	301.75	0.000	0.000	0.000	0.000
28800	303.35	0.089	0.000	0.000	0.045
32400	304.75	0.299	0.026	0.000	0.000
36000	305.85	0.299	0.000	0.000	0.021
39600	306.75	0.492	0.000	0.000	0.087
43200	307.45	0.685	0.000	0.000	0.146
46800	307.75	0.698	0.000	0.000	0.049
50400	307.95	0.391	0.000	0.000	0.083
54000	307.75	0.599	0.042	0.000	0.000
57600	307.15	0.332	0.224	0.000	0.000
61200	306.15	0.000	0.071	0.071	0.000
64800	305.15	0.000	0.058	0.191	0.000
68400	304.55	0.000	0.000	0.200	0.000
72000	303.85	0.000	0.000	0.229	0.328
75600	303.15	0.000	0.000	0.118	0.162
79200	302.45	0.000	0.000	0.071	0.071
82800	301.85	0.000	0.000	0.094	0.034

Tabla transitoria del día con menos viento. Elaboración propia a partir del archivo climático.

kalido 6 24 0					
time	Tamb	vnorte	veste	vsur	voeste
0	302.55	1.575	0.000	0.000	1.811
3600	301.95	0.000	0.000	1.890	0.199
7200	301.55	0.000	0.000	1.482	0.235
10800	301.25	0.000	1.024	0.800	0.000
14400	301.05	0.000	1.272	0.270	0.000
18000	301.15	1.811	1.575	0.000	0.000
21600	302.05	3.228	0.686	0.000	0.000
25200	303.55	1.784	0.000	0.000	1.606
28800	305.25	2.348	0.000	0.000	0.499
32400	306.95	2.387	0.000	0.000	0.251
36000	308.45	3.062	0.485	0.000	0.000
39600	309.65	2.826	0.000	0.000	0.652
43200	310.65	0.000	0.495	2.144	0.000
46800	311.35	0.000	1.736	0.773	0.000
50400	311.65	0.000	0.000	2.598	0.091
54000	311.65	0.000	0.268	2.184	0.000
57600	311.15	0.000	0.000	2.370	0.375
61200	310.25	0.000	0.000	0.881	1.088
64800	309.15	0.000	0.000	0.486	0.504
68400	308.15	0.000	0.000	0.155	0.257
72000	307.25	0.000	0.000	0.057	0.082
75600	306.25	0.037	0.000	0.000	0.093
79200	305.35	0.034	0.000	0.000	0.094
82800	304.35	0.000	0.000	0.193	0.230

Tabla transitoria del día más cálido. Elaboración propia a partir del archivo climático.

ptono 6 24 0					
time	Tamb	vnorte	veste	vsur	voeste
0	298.85	0.000	0.000	0.699	2.608
3600	298.15	0.000	1.573	1.943	0.000
7200	297.45	0.000	2.704	3.721	0.000
10800	297.05	0.000	1.035	4.482	0.000
14400	296.75	0.000	0.000	0.972	2.085
18000	296.45	0.000	0.000	2.316	1.745
21600	296.75	0.000	0.000	1.263	1.138
25200	298.55	0.000	0.000	2.098	1.699
28800	300.15	0.000	0.000	1.412	1.271
32400	301.65	0.000	0.000	0.286	1.472
36000	302.85	0.000	0.000	1.796	0.619
39600	303.85	0.647	0.000	0.000	2.415
43200	304.55	0.000	0.000	0.996	0.836
46800	304.95	0.000	0.000	0.836	0.996
50400	305.05	0.000	0.000	2.698	0.094
54000	304.65	0.000	0.000	1.751	2.914
57600	303.95	0.556	0.000	0.000	3.151
61200	302.85	0.000	0.000	0.152	2.896
64800	301.75	0.000	0.000	0.956	4.499
68400	301.05	0.725	0.000	0.000	3.730
72000	300.25	0.000	0.000	1.350	2.338
75600	299.55	0.353	0.000	0.000	1.663
79200	298.85	0.000	0.000	1.264	1.677
82800	298.15	0.000	0.000	1.673	1.858

Tabla transitoria del equinocio de otoño. Elaboración propia a partir del archivo climático.

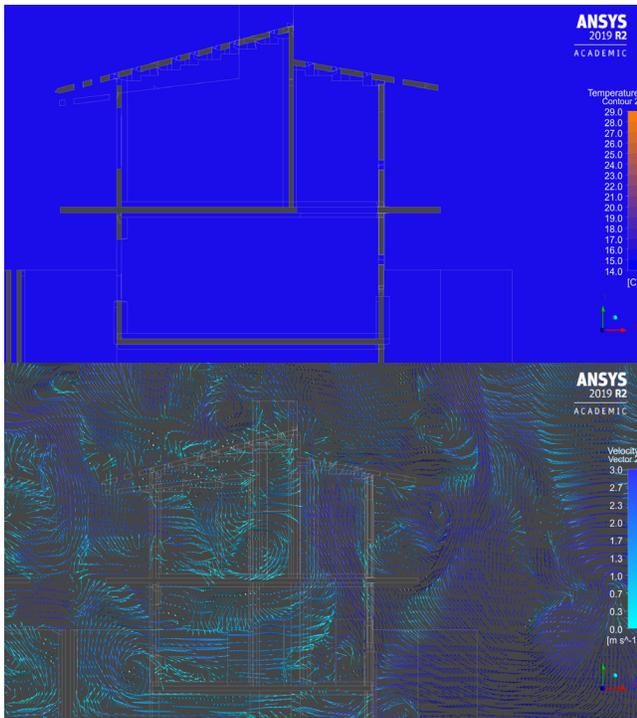
lverano 6 24 0					
time	Tamb	vnorte	veste	vsur	voeste
0	303.65	0.000	2.987	4.972	0.000
3600	302.65	0.000	3.190	4.233	0.000
7200	302.95	0.000	0.000	1.469	3.828
10800	303.25	0.000	0.417	2.364	0.000
14400	303.15	0.000	0.899	2.225	0.000
18000	303.15	0.000	0.202	2.893	0.000
21600	303.55	0.000	0.000	1.941	0.484
25200	304.15	0.000	1.800	2.145	0.000
28800	304.75	0.000	1.648	2.974	0.000
32400	305.25	0.000	0.000	2.912	2.116
36000	305.75	0.000	1.407	2.762	0.000
39600	306.45	0.000	0.702	2.295	0.000
43200	306.85	0.000	0.000	1.492	1.007
46800	307.05	0.000	0.000	0.999	1.375
50400	307.15	0.000	0.000	0.207	0.773
54000	307.15	0.000	0.105	1.195	0.000
57600	306.75	0.000	1.038	0.782	0.000
61200	306.45	0.000	0.851	0.293	0.000
64800	305.95	0.000	0.890	0.647	0.000
68400	305.65	0.000	1.409	0.951	0.000
72000	305.15	0.000	0.376	3.580	0.000
75600	304.65	0.000	2.847	0.553	0.000
79200	304.15	0.000	0.609	1.587	0.000
82800	303.75	0.000	0.000	0.976	2.193

Tabla transitoria del solsticio de verano. Elaboración propia a partir del archivo climático.

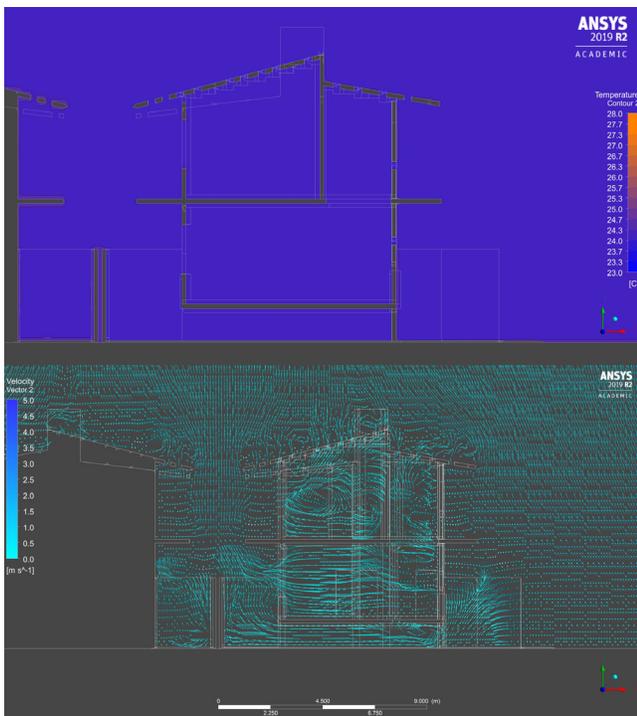
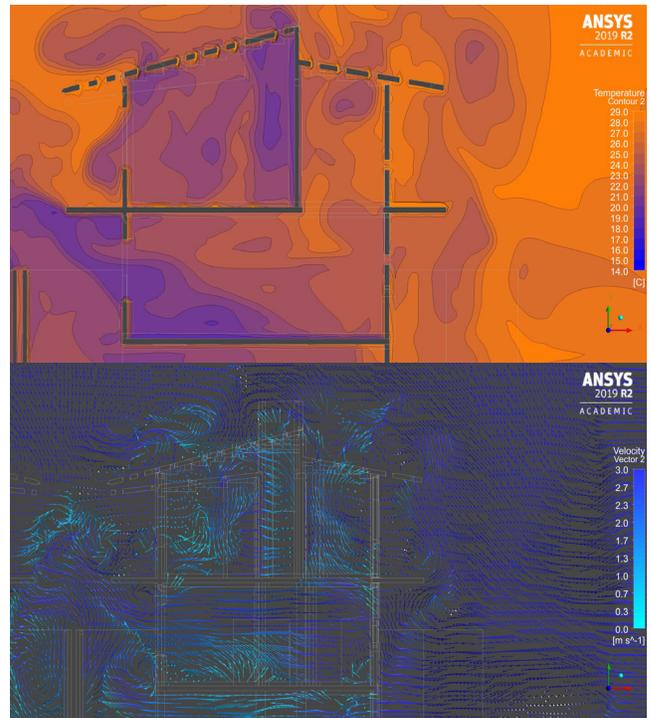
l invierno 6 24 0					
time	Tamb	vnorte	veste	vsur	voeste
0	296.85	0.130	0.378	0.000	0.000
3600	295.45	0.395	0.000	0.000	0.063
7200	294.05	0.597	0.000	0.000	0.063
10800	293.25	0.498	0.044	0.000	0.000
14400	292.45	0.000	0.190	0.062	0.000
18000	291.95	0.464	0.000	0.000	0.187
21600	291.85	0.000	0.090	0.044	0.000
25200	292.75	0.000	0.000	0.270	0.132
28800	294.15	0.000	0.802	0.409	0.000
32400	295.75	1.157	1.379	0.000	0.000
36000	297.05	1.798	0.877	0.000	0.000
39600	298.15	1.096	0.000	0.000	0.096
43200	298.95	2.147	0.000	0.000	0.824
46800	299.35	1.989	0.209	0.000	0.000
50400	299.35	1.386	0.000	0.000	0.195
54000	298.95	1.473	0.625	0.000	0.000
57600	298.05	0.000	0.000	2.085	0.972
61200	296.85	0.000	0.000	2.786	1.359
64800	296.45	0.000	0.912	2.647	0.000
68400	296.05	0.000	0.000	0.970	1.749
72000	295.75	0.000	0.272	0.535	0.000
75600	295.35	0.000	0.000	0.600	0.361
79200	294.95	0.000	0.000	0.100	0.009
82800	294.65	0.000	0.000	1.046	0.340

Tabla transitoria del solsticio de invierno. Elaboración propia a partir del archivo climático.

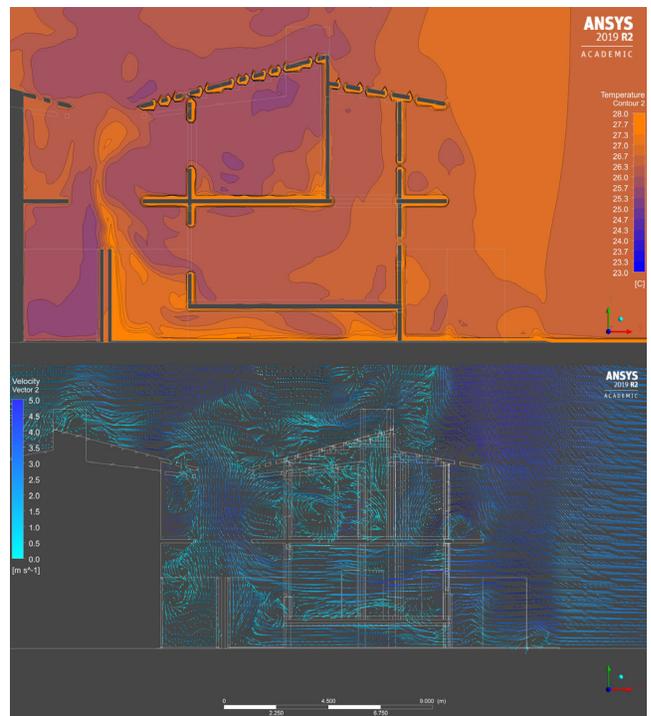
APÉNDICE 4. CORTES LONGITUDINALES EN ANSYS FLUENT

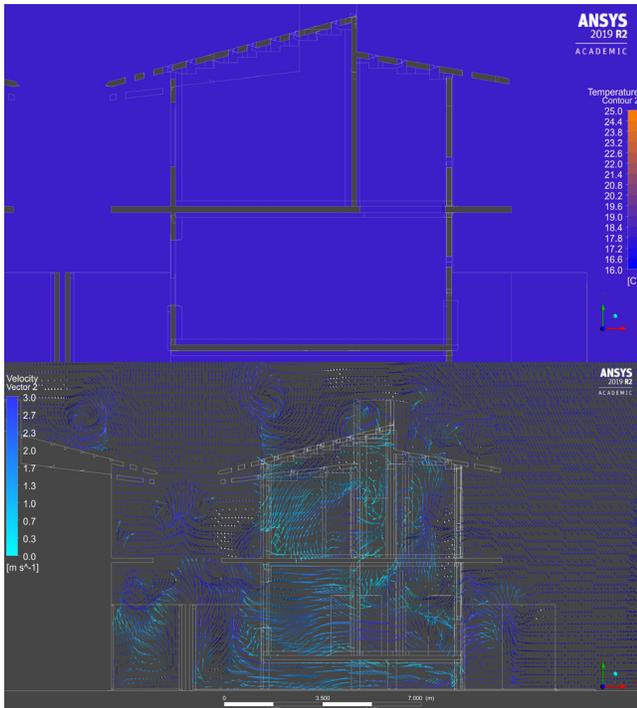


Corte longitudinal del día más fresco. Elaboración propia con Ansys Fluent.

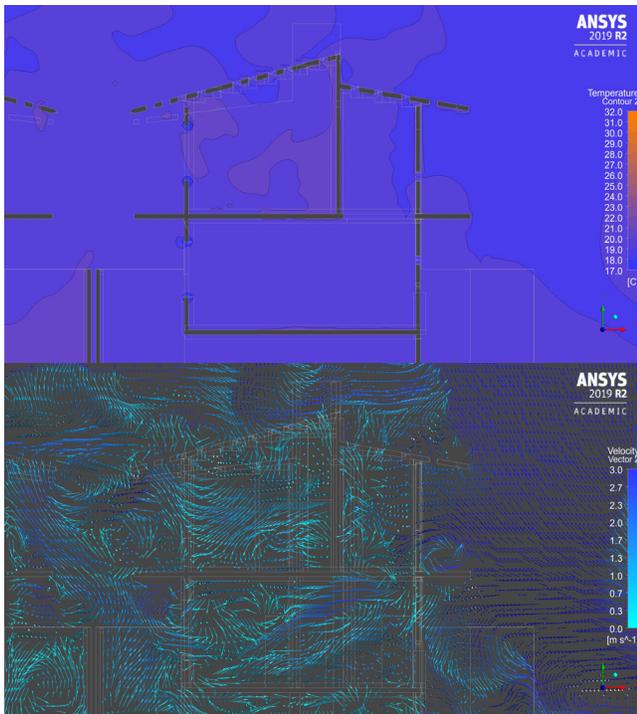
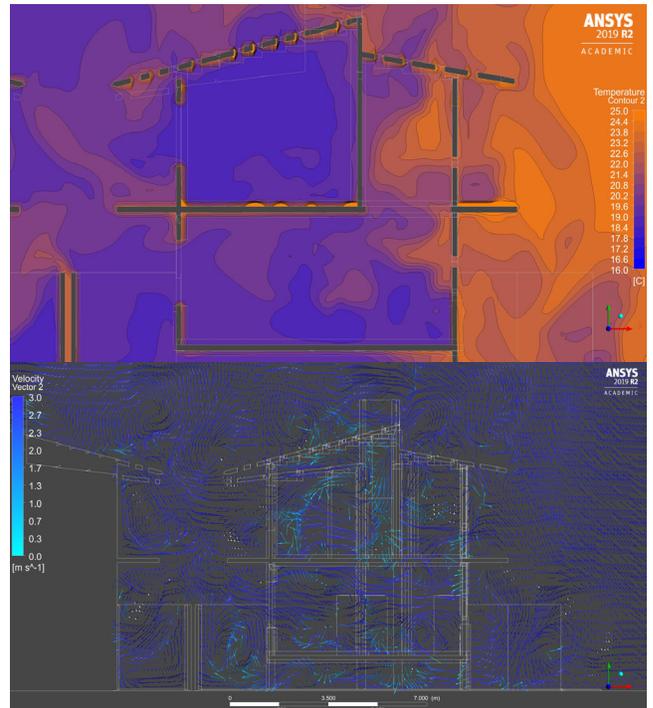


Corte longitudinal del día más nublado . Elaboración propia con Ansys Fluent.

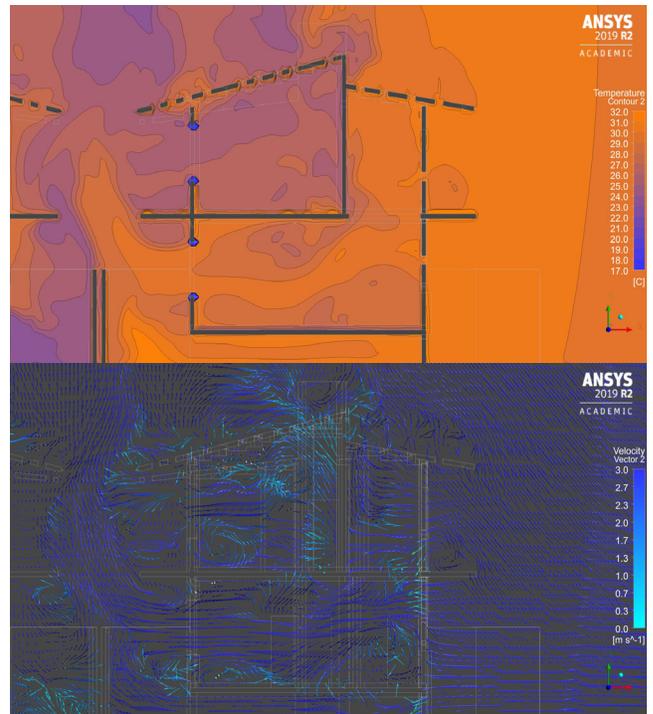


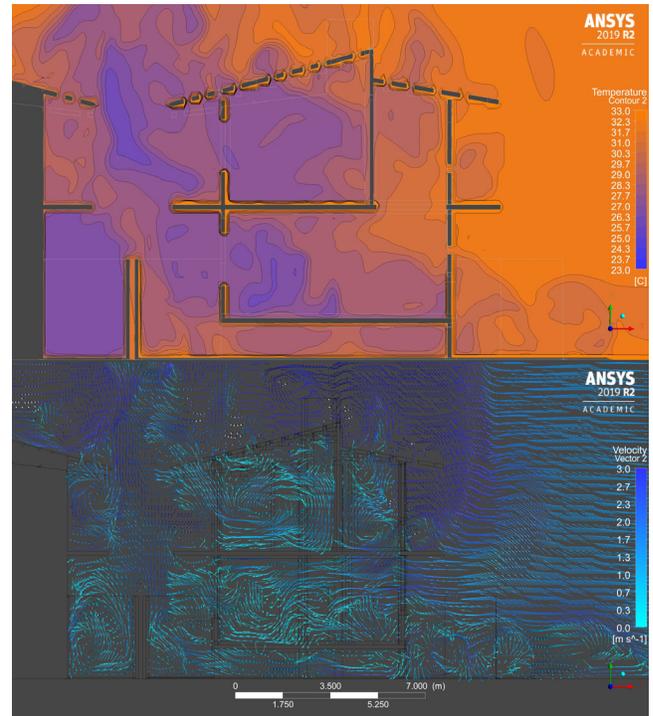
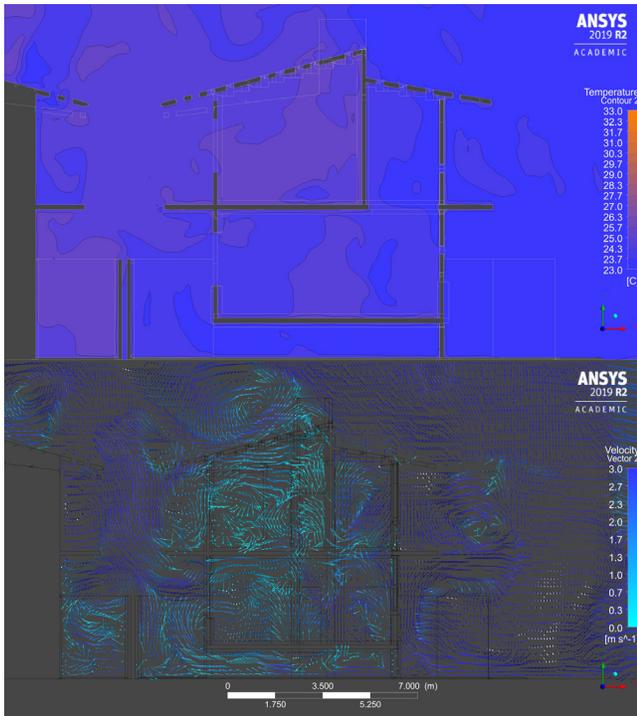


Corte longitudinal del día con más viento . Elaboración propia con Ansys Fluent.

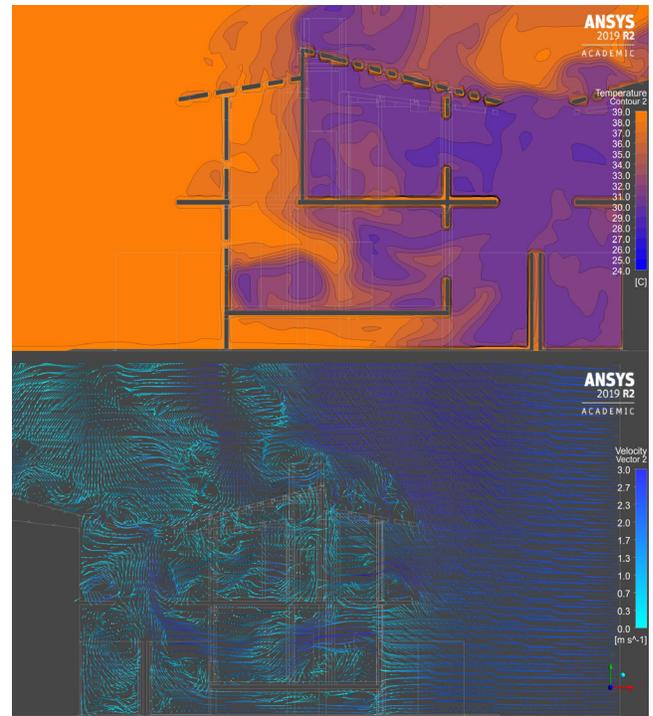
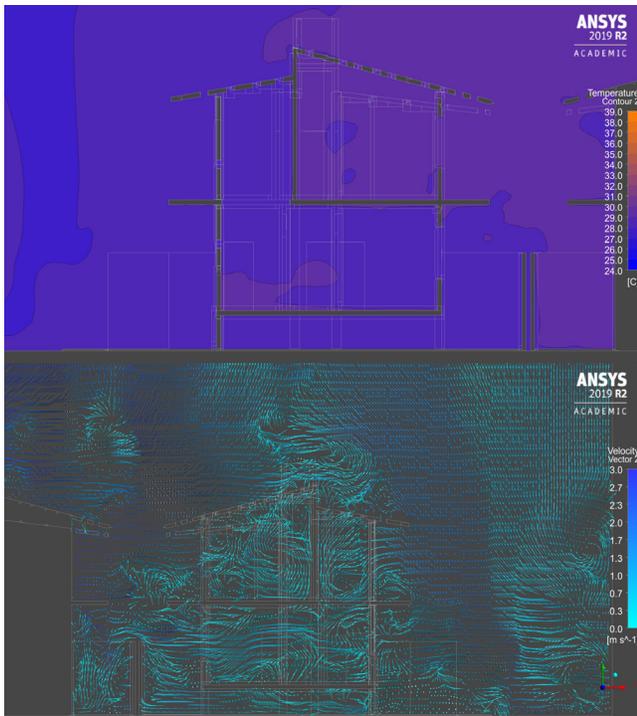


Corte longitudinal del día más brillante . Elaboración propia con Ansys Fluent.

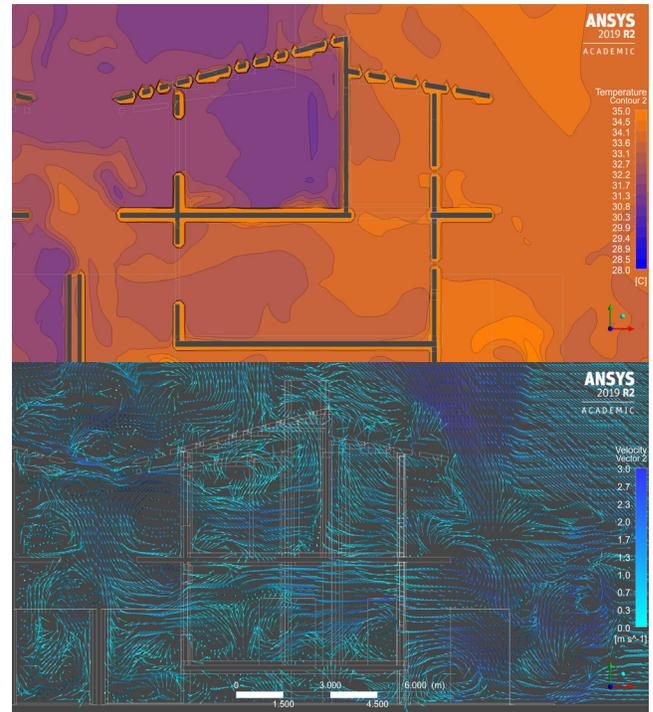
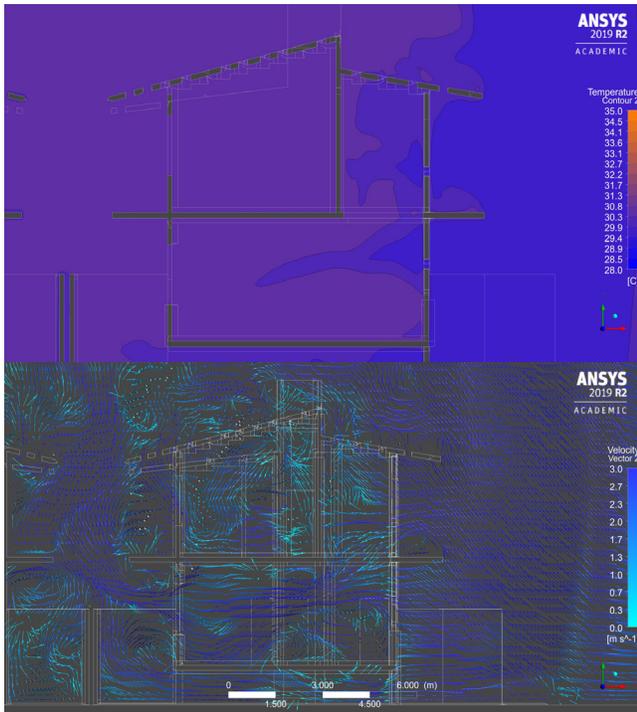




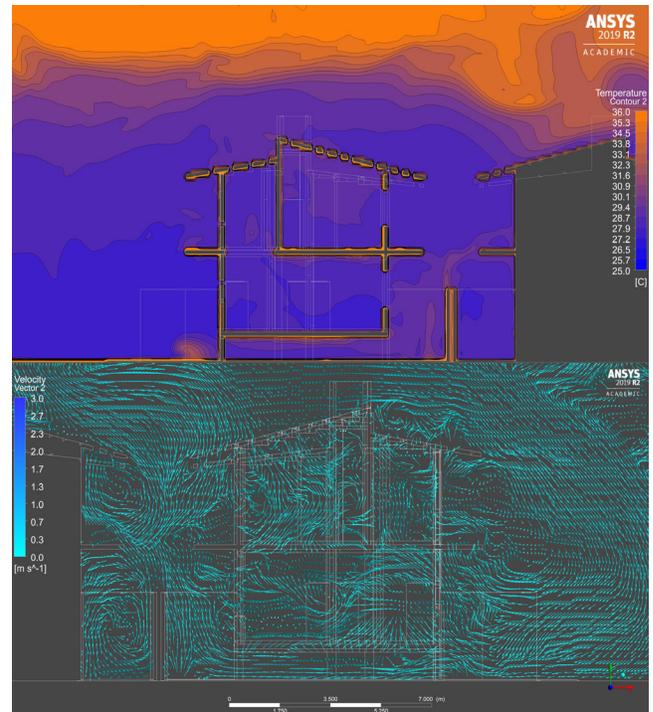
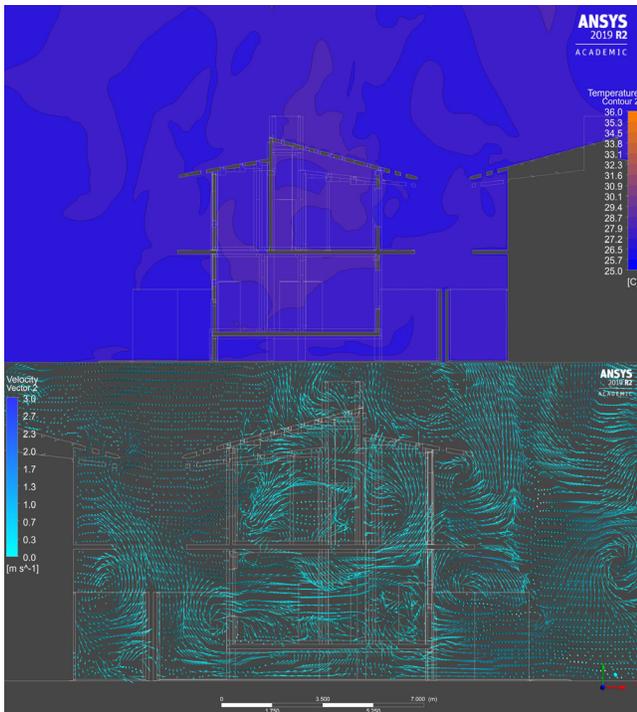
Corte longitudinal del equinoccio de primavera . Elaboración propia con Ansys Fluent.



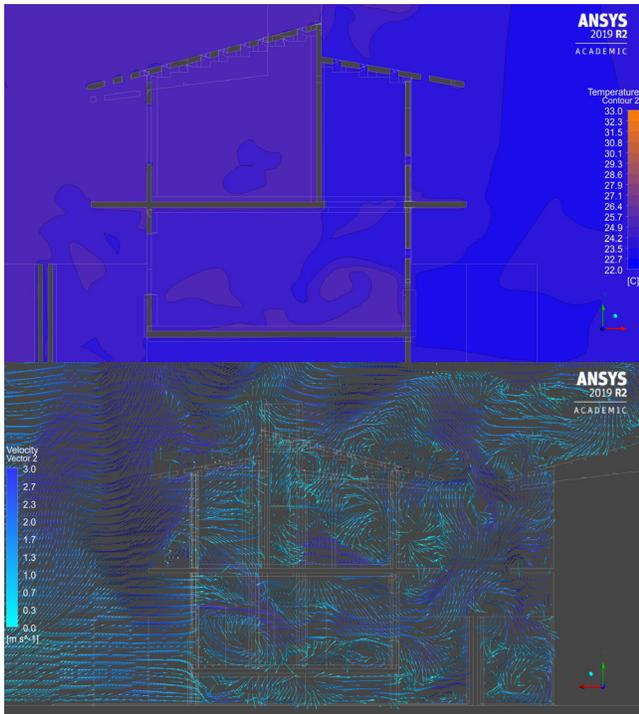
Corte longitudinal del día más cálido . Elaboración propia con Ansys Fluent.



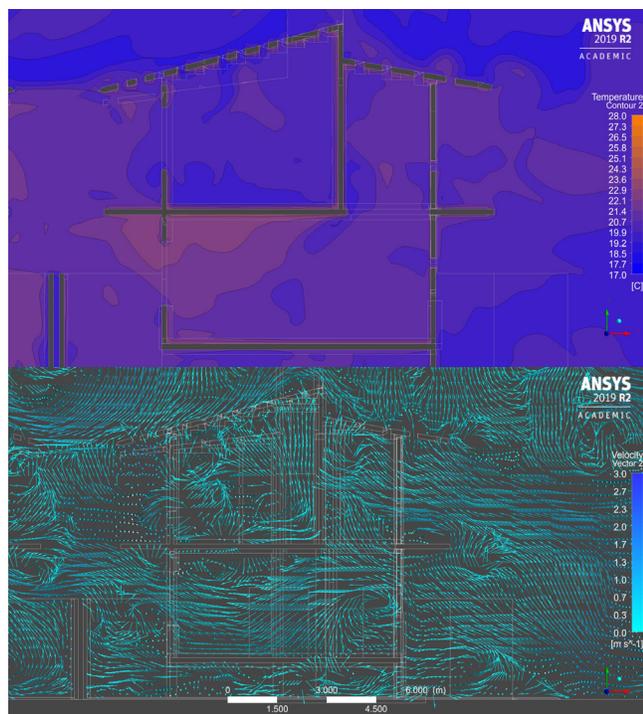
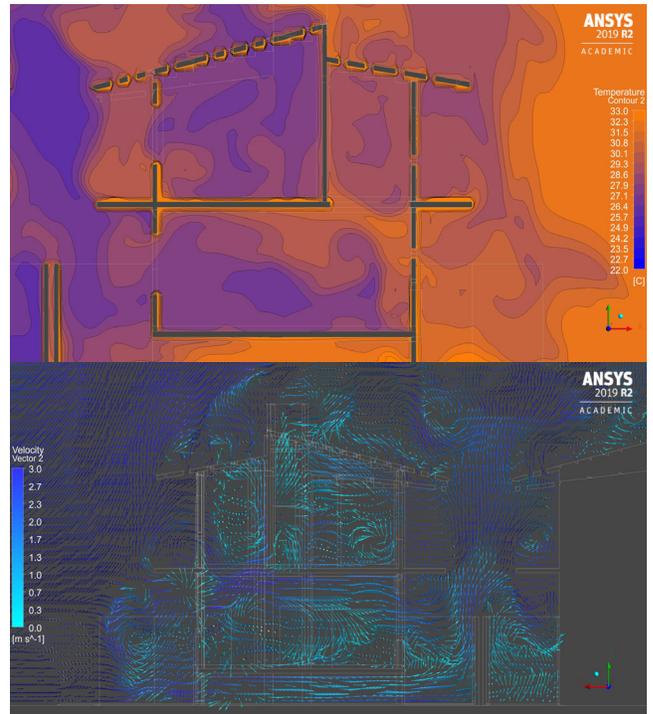
Corte longitudinal del solsticio de verano . Elaboración propia con Ansys Fluent.



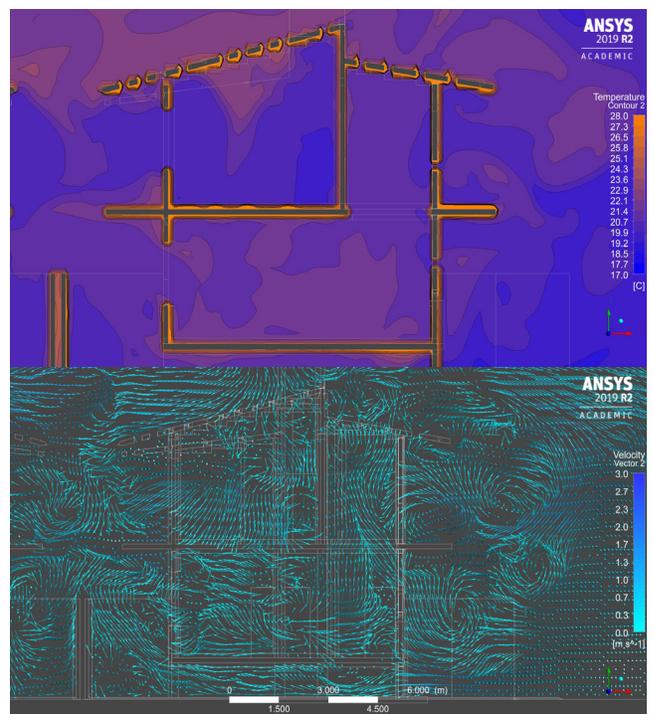
Corte longitudinal del día con menos viento . Elaboración propia con Ansys Fluent.



Corte longitudinal del equinoccio de otoño . Elaboración propia con Ansys Fluent.



Corte longitudinal del solsticio de invierno . Elaboración propia con Ansys Fluent.



BIBLIOGRAFÍA

- AcademiaLab. (s.f.). Confort térmico. Obtenido de <https://academia-lab.com/enciclopedia/confort-termico/#:~:text=El%20modelo%20adaptativo%20se%20basa,durante%20diferentes%20%C3%A9pocas%20del%20a%C3%B1o>.
- Agudelo, D. C. (20 de Septiembre de 2022). Latin Press, Inc. Obtenido de ASHRAE actualiza el estándar 62.1 y 62.2: <https://www.acrlatinoamerica.com/2022092018497/noticias/empresas/ashrae-actualiza-el-estandar-62-1-y-62-2.html>
- Álvarez, D. O. (5 de Octubre de 2021). Caracteristicas.co. Obtenido de Fluidos: <https://humanidades.com/fluidos/>
- Anonimo. (16 de Noviembre de 2012). Arquitectura en climas cálidos y húmedos. Obtenido de Casicero arquitectura ecoeficiente, bioclimática y energética : <http://casi-cero.blogspot.com/2012/11/arquitectura-en-climas-calidos-y-humedos.html>
- AstroMía. (s.f.). ¿Cómo afecta el sol el clima? Obtenido de <https://www.astromia.com/solar/solclima.htm>
- Çengel, Y. A. (2009). Termodinámica. McGRAW-HILL.
- Cervantinos, C. E. (s.f.). Centro Estudios Cervantinos. Obtenido de Cuáles son las propiedades de los fluidos : <https://www.centroestudioscervantinos.es/propiedades-de-los-fluidos/#Viscosidad>
- CHAPTER, A. S. (s.f.). ASHRAE SPAIN CHAPTER. Obtenido de ASHRAE: <https://spain-ashrae.org/ashrae/>
- CHAPTER, A. S. (s.f.). ASHRAE SPAIN CHAPTER. Obtenido de ESTÁNDAR ANSI/ASHRAE 55-2017 – “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy”: <https://spain-ashrae.org/estandar-ansi-ashrae-55-2017/>
- CHAPTER, A. S. (s.f.). ASHRAE SPAIN CHAPTER. Obtenido de “Ventilación para una Calidad Adecuada del Aire Interior”, nueva versión revisada: <https://spain-ashrae.org/estandar-ansi-ashrae-62-1-2019/#:~:text=El%20Est%C3%A1ndar%20ANSI%20ASHRAE%20ANSI,adecuada%20para%20la%20ocupaci%C3%B3n%20humana>.
- Coluccio-Lescow, E., (2021), Calor específico, en "Concepto.de", Argentina. Consultado el 13 de agosto de 2023.
- CONAVI. (2013). NAMA Apoyada para la Vivienda Sustentable en México – Acciones de Mitigación y Paquetes Financieros. Ciudad de México: s. e.
- Connor, N. (17 de septiembre de 2019). Thermal Engineering. Obtenido de Qué es la fuerza de arrastre – Ecuación de arrastre – Definición: <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-fuerza-de-arrastre-ecuacion-de-arrastre-definicion/>
- Connor, N. (12 de 09 de 2019). Thermal Engineering. Obtenido de ¿Qué es la ecuación de continuidad? Definición: <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-ecuacion-de-continuidad-definicion/>
- Consulting, I. I. (20 de diciembre de 2021). Infinitia Industrial Consulting. Obtenido de Clasificación de las propiedades de los materiales: https://www.infinitiaresearch.com/noticias/clasificacion-propiedades-materiales/#propiedades_opticas_de_los_materiales

- Consulting, I. I. (14 de febrero de 2022). Infinitia Industrial Consulting. Obtenido de Propiedades térmicas de los materiales: https://www.infinitiaresearch.com/noticias/propiedades-termicas-de-los-materiales/#2_conductividad_termica
- COSUDE, A. S. (2019). DOCUMENTO DE LICITACIÓN Fortaleciendo capacidades para la eficiencia energética en edificios en América Latina* - CEELA – Fase 1 – 2020-2023). Suiza: s. e.
- Couret, D. C. (2018). La vivienda vernácula en clima cálido – húmedo. Caso de estudio: Portoviejo, Ecuador. Habana, Cuba: Universidad Tecnológica de la Habana, José Antonio Echeverría.
- EBP. (25 de julio de 2019). Proyecto para la licitación “Fortaleciendo capacidades para la eficiencia energética en edificios en América Latina” del. Zúrich.
- Enciclopedia Concepto. (15 de julio de 2021). Obtenido de Presión: <https://concepto.de/presion-2/>
- Enciclopedia Concepto. (5 de agosto de 2021). Presión atmosférica. Obtenido de <https://concepto.de/presion-atmosferica/>
- Energy Efficiency & Renewable Energy. (s.f.). Solar Energy Technologies Office. Obtenido de Solar Radiation Basics: <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-radiation-basics>
- Fernández, J. L. (s.f.). Fisicalab. Obtenido de Dilatación térmica: <https://www.fisicalab.com/apartado/dilatacion-termica#dilatacion-gases>
- Franco, J. J. (2016). Propuesta de vivienda social sostenible para climas cálidos. Aplicación en la ciudad de Chetumal, QR, México. Proyecto final de Master. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya – UPC.
- García Saxe, B. (Mayo de 2015). La Super-Hiper Sostenibilidad. (TEDxPuraVidaSalon, Entrevistador)
- González Osorio, L. M., & Beele, A. (2016). Estudio de Caracterización del uso de Aire Acondicionado en Vivienda de interés Social. México, D.F.: Conuee / GIZ.
- Gracia, A. O. (22 de Mayo de 2019). seiscubos. Obtenido de Ventilación natural cruzada: <https://www.seiscubos.com/conocimiento/ventilacion-natural-cruzada>
- Gracia, A. O. (23 de Mayo de 2019). seiscubos. Obtenido de Ventilación Vertical: <https://www.seiscubos.com/conocimiento/ventilacion-natural-vertical>
- Gracia, A. O. (s.f.). seiscubos. Obtenido de Ventilación natural: <https://www.seiscubos.com/conocimiento/ventilacion-natural>
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s.f.). Radiación solar. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta>
- INECC, I. N. (18 de Mayo de 2018). Gobierno de México. Obtenido de Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMAs): <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/acciones-nacionalmente-apropiadas-de-mitigacion-namas>
- INEGI, I. N. (2017). Anuario estadístico y geográfico de Tabasco 2017. México: INEGI.
- INFONAVIT, I. d. (1 de Abril de 2020). Hipoteca Verde. Obtenido de https://portalmx.infonavit.org.mx/wps/portal/infonavit.web/proveedores-externos/para-tu-gestion/desarrolladores/hipoteca-verde/lut/p/z1/pZJbC4JAEIV_ja_OqLIYb2u-YF6QLKNm-hMW2GuqGWf79xJ6CUqF5m-E7M4fDAIMEWJU-c5E2uazSousPjByji-gtZ9raDVDH3ca0trFuBzPPHPOAYBBCgP2
- INFONAVIT, I. N. (2014). Sistema de Evaluación de la Vivienda Verde. Ciudad de México: s. e.
- LAIF, L. A. (2013). Programa EcoCasa. Obtenido de <https://www.eulaif.eu/es/proyectos/programa-ecocasa>
- LES - Laboratorio de Edificación Sostenible. (Junio de 2017). Práctica 15: irradiancia y radiancia. Obtenido de http://leias.fa.unam.mx/wp-content/uploads/2018/07/180515_Practica15_LES.pdf
- Lifeder. (8 de Enero de 2021). Psicrómetro. Obtenido de Lifeder: <https://www.lifeder.com/psicrometro/>
- Ltd, H. I. (s.f.). Obtenido de Tipos de calor infrarrojo: <https://www.herschel-infrarrojo.mx/como-funcionan-los-calentadores-de-infrarrojos/tipos-de-calor-infrarrojo/>
- Ministerio del medio ambiente, y el medio rural y marino. (s.f.). Agencia Estatal de meteorología. Obtenido de Radiación solar: http://www.aemet.es/documentos/es/eltiempo/observacion/radiacion/Radiacion_Solar.pdf
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s.f.). Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contrael-cambio-climatico/naciones-unidas.html>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s.f.). El Acuerdo de París. Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contrael-cambio-climatico/naciones-unidas/elmentos-acuerdo-paris.html>
- Naciones Unidas. (1992). Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Nueva York: s. e.
- Naciones Unidas. (2015). Acuerdo de París. Paris: s. e.
- ONU-Habitat. (2018). ÍNDICE BÁSICO DE LAS CIUDADES PRÓSPERAS. Tabasco, México: s. e.
- Planas, O. (13 de Mayo de 2015). Energía solar. Obtenido de ¿Qué es la radiación solar?: <https://solar-energia.net/ques-energia-solar/radiacion-solar>

- "Propiedades Físicas". En: Significados.com. Disponible en: <https://www.significados.com/propiedad-fisica/> Consultado: 14 de agosto de 2023,
- Programa educativo sobre el Mediterráneo y su litoral. (s.f.). Viento. MEDCLIC.
- proyectobaq. (12 de Enero de 2017). UN BOSQUE PARA UNA ADMIRADORA DE LA LUNA. Obtenido de ARCHIVO BAQ Arquitectura Panamericana.com: <http://www.arquitecturapanamericana.com/un-bosque-para-una-admiradora-de-la-luna/>
- Rolle, K. C. (2006). Termodinámica. México: Parson Educación.
- Saxe, S. (2010). Un Bosque para una Admiradora de la Luna. Obtenido de Studio Saxe: <https://studiosaxe.com/es/projects/forest-moon-dazzler/>
- Seiscubos. (13 de Agosto de 2019). ESTANDAR ASHRAE 55. Obtenido de <https://www.seiscubos.com/conocimiento/estandar-ashrae-55>
- Seiscubos. (13 de Agosto de 2019). MODELOS DE CONFORT. Obtenido de <https://www.seiscubos.com/conocimiento/modelos-de-comfort>
- Seiscubos. (13 de Agosto de 2019). MODELOS ESTADÍSTICOS DE CONFORT. Obtenido de <https://www.seiscubos.com/conocimiento/modelos-estadisticos-comfort>
- SEMARNAT, S. d. (s. f.). Vivienda Sustentable en México. México: s. e.
- SHF. (2018). Programas de financiamiento para la oferta de vivienda sustentable. Ciudad de México: s. e.
- SHF, S. H. (5 de Junio de 2018). Gobierno de México. Obtenido de Componente LAIF del Programa EcoCasa: <https://www.gob.mx/shf/documentos/laif>
- SHF, S. H. (5 de Junio de 2018). Gobierno de México. Obtenido de Renta - Sustentabilidad al alcance: <https://www.gob.mx/shf/documentos/renta>
- SHF, S. H. (4 de Junio de 2018). Gobierno de México. Obtenido de NAMA Facility - El Programa EcoCasa para PyMEs: <https://www.gob.mx/shf/documentos/nama-facility-el-programa-ecocasa-para-pymes>
- "Significado de Viscosidad". En: Significados.com. Disponible en: <https://www.significados.com/viscosidad/> Consultado: 14 de agosto de 2023
- Sociedad Hipotecaria Federal (SHF), INFONAVIT, Registro Único de Vivienda (RUV). (Junio de 2015). Sistema de Evaluación de la Vivienda Verde (SISEVIVE-ECOCASA). Obtenido de <http://portal.ruv.org.mx/wp-content/uploads/2019/08/BookletSiseviveEcocasa2015.pdf>
- Taller CMD. (20 de Noviembre de 2019). Prototipo de vivienda en municipio Teapa, Tabasco. Obtenido de CIDS-INFONAVIT: <https://blog.meteochile.gob.cl/2019/01/24/circulacion-general-el-origen-de-los-vientos-en-la-atmosfera/>
- Zapata, F. (12 de abril de 2021). lifeder. Obtenido de Propiedades ópticas de los materiales: <https://www.lifeder.com/propiedades-opticas-materiales/>

REFERENCIAS

REFERENCIA DE FIGURAS

- Fig. 1. Escala de calificación de Sisevive-Ecocasa. Sociedad Hipotecaria Federal (SHF), INFONAVIT, Registro Único de Vivienda (RUV). (Junio de 2015). Sistema de Evaluación de la Vivienda Verde (SISEVIVE-ECOCASA). Obtenido de <http://portal.ruv.org.mx/wp-content/uploads/2019/08/BookletSiseviveEcocasa2015.pdf>
- Fig. 2. Comparativa de programas de crédito. SHF. (2018). Programas de financiamiento para la oferta de vivienda sustentable. Ciudad de México: s. e.
- Fig. 3. Psicrómetro con una tabla de doble entrada: temperatura “seca” a la izquierda, y diferencia de temperatura arriba. editorial, E. (19 de Noviembre de 2019). Psicrómetro. Obtenido de Liferder: <https://www.liferder.com/psicrometro/>
- Fig. 4. Celda de circulación directa, asumiendo calentamiento diferencial, ausencia de rotación planetaria y superficie acuática Vasquez, R. (24 de 01 de 2019). Circulación General: El origen de los vientos en la Atmósfera. Obtenido de Meteochile Blog: <http://blog.meteochile.gob.cl/2019/01/24/circulacion-general-el-origen-de-los-vientos-en-la-atmosfera/>
- Fig. 5. Esquema representativo de la Tierra con la ubicación de las principales celdas de circulación: Hadley, Ferrel y Polar. Wikimedia, I. (10 de Febrero de 2023). Vientos del oeste. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Vientos_del_oeste
- Fig. 6. Anemómetro digital de paletas. abonitos.mx. (s.f.). Obtenido de <https://abonitos.mx/products/anemometro-digital-cfm-medidor-velocidad-del-viento>
- Fig. 7. Espectro electromagnético. ViLab. (04 de Febrero de 2023). El Espectro Electromagnético. Obtenido de <https://www.vilab.cl/p/espectro-electromagnetico>
- Fig. 8. Dispersión, reflexión y absorción de la luz IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s.f.). Radiación solar. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta>
- Fig. 9. Incidencia de la radiación en el planeta. Elaboración propia.
- Fig. 10. Presión atmosférica a diferentes alturas Trip, S. &. (21 de Enero de 2016). Sail & Trip. Obtenido de PRESIÓN ATMOSFÉRICA; QUÉ ES Y COMO SE MIDE: <https://sailandtrip.com/presion-atmosferica/>
- Fig. 11. Relaciones entre la presión absoluta y la presión relativa. Elaboración propia basada en (Çengel, 2009)
- Fig. 12. Adaptación térmica humana. Lab, A. (s.f.). Confort térmico. Obtenido de <https://academia-lab.com/enciclopedia/confort-termico/#:~:text=El%20modelo%20adaptativo%20se%20basa,durante%20diferentes%20%C3%A9pocas%20del%20a%C3%B1o.>
- Fig. 13. Incidencia de radiación solar en los materiales. Elaboración propia
- Fig. 14. Efecto del viento al impactar un volumen de forma frontal (izquierda) y sesgada Gracia, A. O. (22 de Mayo de 2019). seiscubos. Obtenido de Ventilación natural cruzada: <https://www.seiscubos.com/conocimiento/ventilacion-natural-cruzada>

- Fig. 15. Ventilación cruzada en planta, con diferentes configuraciones de aberturas. Gracia, A. O. (22 de Mayo de 2019). seiscubos. Obtenido de Ventilación natural cruzada: <https://www.seiscubos.com/conocimiento/ventilacion-natural-cruzada>
- Fig. 16. Ventilación cruzada en sección, aprovechando las presiones de viento y el efecto chimenea. Gracia, A. O. (22 de Mayo de 2019). seiscubos. Obtenido de Ventilación natural cruzada: <https://www.seiscubos.com/conocimiento/ventilacion-natural-cruzada>
- Fig. 17. Ventilación natural con obstáculos. Gracia, A. O. (23 de Mayo de 2019). seiscubos. Obtenido de Ventilación Vertical: <https://www.seiscubos.com/conocimiento/ventilacion-natural-vertical>
- Fig. 18. Carta bioclimática de Givoni. Pittman, S. (9 de junio de 2020). <https://www.youtube.com/>. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=ybnkbiO3rSU>
- Fig. 19. Vivienda vernácula de clima cálido húmedo. Franco, J. J. (2016). Propuesta de vivienda social sostenible para climas cálidos. Aplicación en la ciudad de Chetumal, QR, México. Proyecto final de Master. Catalunya: Universidad Politècnica de Catalunya – UPC.
- Fig. 20. Vivienda: Un Bosque para una Admiradora de la Luna. Saxe, S. (2010). Un Bosque para una Admiradora de la Luna. Obtenido de Studio Saxe: <https://studiosaxe.com/es/projects/forest-moon-dazzler/>
- Fig. 21. Diagrama del efecto chimenea en la vivienda. Saxe, S. (2010). Un Bosque para una Admiradora de la Luna. Obtenido de Studio Saxe: <https://studiosaxe.com/es/projects/forest-moon-dazzler/>
- Fig. 22. Viviendas de Barranquilla - Atlántico, Colombia. Fotografía: Gisella Maria Manjarrés Villamizar
- Fig. 23. Viviendas de la ciudad de Villahermosa. Fuente: Google Maps octubre, 2019
- Fig. 24. Planta y corte de prototipo de autoproducción asistida en el municipio de Nacajuca. TRAZO CREATIVO Arquitectura & Diseño. (20 de Noviembre de 2019). Prototipo de vivienda en el municipio Nacajuca, Tabasco. Obtenido de CIDS-INFONAVIT: [https://portalmx.infonavit.org.mx/wps/portal/infonavit.web/el-instituto/el-infonavit/proyectos-arquitectonicos/!ut/p/z1/04_Sj9CPYkssyOxPLMnMz0vMAfljo8zizdwNDDycTQz9L-Hy8TQOCDQK83Q28DAyDfQz0w_EqMDTQj6JEf6gRcfqN-LAwM3J0MDP3cLTwsDBzdXD1dLX2MjdxDDYnTb4ADOFLoFh-](https://portalmx.infonavit.org.mx/wps/portal/infonavit.web/el-instituto/el-infonavit/proyectos-arquitectonicos/!ut/p/z1/04_Sj9CPYkssyOxPLMnMz0vMAfljo8zizdwNDDycTQz9L-Hy8TQOCDQK83Q28DAyDfQz0w_EqMDTQj6JEf6gRcfqN-LAwM3J0MDP3cLTwsDBzdXD1dLX2MjdxDDYnTb4ADOFLoFh-el-instituto/el-infonavit/proyectos-arquitectonicos/!ut/p/z1/04_Sj9CPYkssyOxPLMnMz0vMAfljo8zizdwNDDycTQz9L-Hy8TQOCDQK83Q28DAyDfQz0w_EqMDTQj6JEf6gRcfqN-LAwM3J0MDP3cLTwsDBzdXD1dLX2MjdxDDYnTb4ADOFLoFh-)
- Fig. 25. Renders de prototipo de autoproducción asistida en el municipio de Nacajuca. TRAZO CREATIVO Arquitectura & Diseño. (20 de Noviembre de 2019). Prototipo de vivienda en el municipio Nacajuca, Tabasco. Obtenido de CIDS-INFONAVIT: [https://portalmx.infonavit.org.mx/wps/portal/infonavit.web/el-instituto/el-infonavit/proyectos-arquitectonicos/!ut/p/z1/04_Sj9CPYkssyOxPLMnMz0vMAfljo8zizdwNDDycTQz9L-Hy8TQOCDQK83Q28DAyDfQz0w_EqMDTQj6JEf6gRcfqN-LAwM3J0MDP3cLTwsDBzdXD1dLX2MjdxDDYnTb4ADOFLoFh-](https://portalmx.infonavit.org.mx/wps/portal/infonavit.web/el-instituto/el-infonavit/proyectos-arquitectonicos/!ut/p/z1/04_Sj9CPYkssyOxPLMnMz0vMAfljo8zizdwNDDycTQz9L-Hy8TQOCDQK83Q28DAyDfQz0w_EqMDTQj6JEf6gRcfqN-LAwM3J0MDP3cLTwsDBzdXD1dLX2MjdxDDYnTb4ADOFLoFh-el-instituto/el-infonavit/proyectos-arquitectonicos/!ut/p/z1/04_Sj9CPYkssyOxPLMnMz0vMAfljo8zizdwNDDycTQz9L-Hy8TQOCDQK83Q28DAyDfQz0w_EqMDTQj6JEf6gRcfqN-LAwM3J0MDP3cLTwsDBzdXD1dLX2MjdxDDYnTb4ADOFLoFh-)
- Fig. 26. Planta y renders de prototipo de autoproducción asistida en el municipio de Teapa, Tabasco. Taller CMD. (20 de Noviembre de 2019). Prototipo de vivienda en municipio Teapa, Tabasco. Obtenido de CIDS-INFONAVIT: [https://portalmx.infonavit.org.mx/wps/portal/infonavit.web/el-instituto/el-infonavit/proyectos-arquitectonicos/!ut/p/z1/04_Sj9CPYkssyOxPLMnMz0vMAfljo8zizdwNDDycTQz9L-Hy8TQOCDQK83Q28DAyDfQz0w_EqMDTQj6JEf6gRcfqN-LAwM3J0MDP3cLTwsDBzdXD1dLX2MjdxDDYnTb4ADOFLoFh-](https://portalmx.infonavit.org.mx/wps/portal/infonavit.web/el-instituto/el-infonavit/proyectos-arquitectonicos/!ut/p/z1/04_Sj9CPYkssyOxPLMnMz0vMAfljo8zizdwNDDycTQz9L-Hy8TQOCDQK83Q28DAyDfQz0w_EqMDTQj6JEf6gRcfqN-LAwM3J0MDP3cLTwsDBzdXD1dLX2MjdxDDYnTb4ADOFLoFh-el-instituto/el-infonavit/proyectos-arquitectonicos/!ut/p/z1/04_Sj9CPYkssyOxPLMnMz0vMAfljo8zizdwNDDycTQz9L-Hy8TQOCDQK83Q28DAyDfQz0w_EqMDTQj6JEf6gRcfqN-LAwM3J0MDP3cLTwsDBzdXD1dLX2MjdxDDYnTb4ADOFLoFh-)
- Fig. 27. División Municipal del estado de Tabasco. Totales, I. (s.f.). Imágenes Totales. Obtenido de Mapa del estado de Tabasco con municipios: <https://imagenestotales.com/mapa-tabasco-municipios/>
- Fig. 28. Delimitación de la aglomeración urbana de Villahermosa. ONU-Habitat. (2018). ÍNDICE BÁSICO DE LAS CIUDADES PRÓSPERAS. Tabasco, México: s. e.
- Fig. 29. Resultados por dimensión. ONU-Habitat. (2018). ÍNDICE BÁSICO DE LAS CIUDADES PRÓSPERAS. Tabasco, México: s. e.
- Fig. 30. Rosa de vientos anual. Cd Villahermosa. Información obtenida del archivo climático con Climate Consultant 6.0
- Fig. 31. Carta psicrométrica anual. Cd Villahermosa. Información obtenida del archivo climático con Climate Consultant 6.0
- Fig. 32. Plantas de zonificación por tipo de espacio. Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 33. Volumetría del diseño de la vivienda. Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 34. Modelo 3D. Elaboración propia con Design Builder.
- Fig. 35. Modelo 3D. Elaboración propia con Design Builder.
- Fig. 36. Modelo del volumen simplificado. Elaboración propia con AutoCAD.
- Fig. 37. Modelo con colindancia. Elaboración propia con AutoCAD.
- Fig. 38. Dominio. Elaboración propia con AutoCAD.
- Fig. 39. Asoleamiento en el día más fresco del año a las 9 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 40. Asoleamiento en el día más fresco del año a las 12 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 41. Asoleamiento en el día más fresco del año a las 15 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 42. Asoleamiento en el día más nublado del año a las 9 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.

- Fig. 43. Asoleamiento en el día más nublado del año a las 12 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 44. Asoleamiento en el día más nublado del año a las 15 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 45. Asoleamiento del día con más viento del año a las 9 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 46. Asoleamiento en el día con más viento del año a las 12 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 47. Asoleamiento en el día con más viento del año a las 15 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 48. Asoleamiento en el día más brillante del año a las 9 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 49. Asoleamiento del día más brillante del año a las 12 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 50. Asoleamiento del día más brillante del año a las 15 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 51. Asoleamiento en el equinoccio de primavera a las 9 horas (fachada sur). Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 52. Asoleamiento en el equinoccio de primavera a las 12 horas (fachada sur). Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 53. Asoleamiento en el equinoccio de primavera a las 15 horas. (fachada sur) Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 54. Asoleamiento en el equinoccio de primavera a las 9 horas. (fachada norte) Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 55. Asoleamiento en el equinoccio de primavera a las 12 horas. (fachada norte) Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 56. Asoleamiento en el equinoccio de primavera a las 15 horas. (fachada norte) Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 57. Asoleamiento en el día más cálido del año a las 9 horas. (fachada sur) Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 58. Asoleamiento en el día más cálido del año a las 12 horas. (fachada sur) Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 59. Asoleamiento en el día más cálido del año a las 15 horas. (fachada sur) Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 60. Asoleamiento en el día más cálido del año a las 9 horas. (fachada norte) Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 61. Asoleamiento en el día más cálido del año a las 12 horas. (fachada norte) Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 62. Asoleamiento en el día más cálido del año a las 15 horas. (fachada norte) Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 63. Asoleamiento en el solsticio de verano a las 9 horas. (fachada sur) Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 64. Asoleamiento en el solsticio de verano a las 12 horas. (fachada sur) Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 65. Asoleamiento en el solsticio de verano a las 15 horas. (fachada sur) Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 66. Asoleamiento en el solsticio de verano a las 9 horas. (fachada norte) Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 67. Asoleamiento en el solsticio de verano a las 12 horas. (fachada norte) Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 68. Asoleamiento en el solsticio de verano a las 15 horas. (fachada norte) Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 69. Asoleamiento en el día con menos viento a las 9 horas. (fachada sur) Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 70. Asoleamiento en el día con menos viento a las 12 horas. (fachada sur) Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 71. Asoleamiento en el día con menos viento a las 15 horas. (fachada sur) Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 72. Asoleamiento en el día con menos viento a las 9 horas. (fachada norte) Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 73. Asoleamiento en el día con menos viento a las 12 horas. (fachada norte) Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 74. Asoleamiento en el día con menos viento a las 15 horas. (fachada norte) Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 75. Asoleamiento en el equinoccio de otoño a las 9 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 76. Asoleamiento en el equinoccio de otoño a las 12 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 77. Asoleamiento en el equinoccio de otoño a las 15 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 78. Asoleamiento del solsticio de invierno a las 9 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 79. Asoleamiento del solsticio de invierno a las 12 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.
- Fig. 80. Asoleamiento del solsticio de invierno a las 15 horas. Elaboración propia con Autodesk Revit.

REFERENCIA DE GRÁFICAS

- Gráfica. 1. Grafica de colores falsos de la República Mexicana con la distribución municipal de las zonas climáticas. González Osorio, L. M., & Beele, A. (2016). Estudio de Caracterización del uso de Aire Acondicionado en Vivienda de interés Social. México, D.F.: Conuee / GIZ.
- Gráfica. 2. Grafica de colores falsos de la República Mexicana con la distribución municipal de estratos socioeconómicos. González Osorio, L. M., & Beele, A. (2016). Estudio de Caracterización

del uso de Aire Acondicionado en Vivienda de interés Social. México, D.F.: Conuee / GIZ.

Gráfica. 3. Grafica de colores falsos de la República Mexicana con la distribución municipal de tarifas eléctricas González Osorio, L. M., & Beele, A. (2016). Estudio de Caracterización del uso de Aire Acondicionado en Vivienda de interés Social. México, D.F.: Conuee / GIZ.

Gráfica. 4. Gráfica de colores falsos de la República Mexicana con la distribución municipal de probabilidad de EAA González Osorio, L. M., & Beele, A. (2016). Estudio de Caracterización del uso de Aire Acondicionado en Vivienda de interés Social. México, D.F.: Conuee / GIZ.

Gráfica. 5. Resultados de la temperatura de los espacios en el día más fresco. Elaboración propia a partir de los resultados de Energy plus.

Gráfica. 6. Resultados de la temperatura de los espacios en el día más nublado. Elaboración propia a partir de los resultados de Energy plus.

Gráfica. 7. Resultados de la temperatura de los espacios en el día con más viento. Elaboración propia a partir de los resultados de Energy plus.

Gráfica. 8. Resultados de la temperatura de los espacios en el día más brillante. Elaboración propia a partir de los resultados de Energy plus.

Gráfica. 9. Resultados de la temperatura de los espacios en el equinoccio de primavera. Elaboración propia a partir de los resultados de Energy plus.

Gráfica. 10. Resultados de la temperatura de los espacios en el día más cálido. Elaboración propia a partir de los resultados de Energy plus.

Gráfica. 11. Resultados de la temperatura de los espacios en el solsticio de verano. Elaboración propia a partir de los resultados de Energy plus.

Gráfica. 12. Resultados de la temperatura de los espacios en el día con menos viento. Elaboración propia a partir de los resultados de Energy plus.

Gráfica. 13. Resultados de la temperatura de los espacios en el equinoccio de otoño. Elaboración propia a partir de los resultados de Energy plus.

Gráfica. 14. Resultados de la temperatura de los espacios en el solsticio de invierno. Elaboración propia a partir de los resultados de Energy plus.

Gráfica. 15. Gráfica de colores falsos durante el día más fresco con la temperatura más baja. Elaboración propia con Ansys Fluent.

Gráfica. 16. Gráfica de colores falsos durante el día más fresco con

la temperatura más alta. Elaboración propia con Ansys Fluent.

Gráfica. 17. Gráfica de colores falsos durante el día más nublado con la temperatura más baja. Elaboración propia con Ansys Fluent.

Gráfica. 18. Gráfica de colores falsos durante el día más nublado con la temperatura más alta. Elaboración propia con Ansys Fluent.

Gráfica. 19. Gráfica de colores falsos durante el día con más viento con la temperatura más baja. Elaboración propia con Ansys Fluent.

Gráfica. 20. Gráfica de colores falsos durante el día con más viento con la temperatura más alta. Elaboración propia con Ansys Fluent.

Gráfica. 21. Gráfica de colores falsos durante el día más brillante con la temperatura más baja. Elaboración propia con Ansys Fluent.

Gráfica. 22. Gráfica de colores falsos durante el día más brillante con la temperatura más alta. Elaboración propia con Ansys Fluent.

Gráfica. 23. Gráfica de colores falsos durante el equinoccio de primavera con la temperatura más baja. Elaboración propia con Ansys Fluent.

Gráfica. 24. Gráfica de colores falsos durante el equinoccio de primavera con la temperatura más alta. Elaboración propia con Ansys Fluent.

Gráfica. 25. Gráfica de colores falsos durante el día más cálido con la temperatura más baja. Elaboración propia con Ansys Fluent.

Gráfica. 26. Gráfica de colores falsos durante el día más cálido con la temperatura más alta. Elaboración propia Ansys Fluent.

Gráfica. 27. Gráfica de colores falsos durante el solsticio de verano con la temperatura más baja. Elaboración propia Ansys Fluent.

Gráfica. 28. Gráfica de colores falsos durante el solsticio de verano con la temperatura más alta. Elaboración propia con Ansys Fluent.

Gráfica. 29. Gráfica de colores falsos durante el día con menos viento con la temperatura más baja. Elaboración propia con Ansys Fluent.

Gráfica. 30. Gráfica de colores falsos durante el día con menos viento con la temperatura más alta. Elaboración propia con Ansys Fluent.

Gráfica. 31. Gráfica de colores falsos durante el equinoccio de otoño con la temperatura más baja. Elaboración propia con Ansys Fluent.

Gráfica. 32. Gráfica de colores falsos durante el equinoccio de otoño con la temperatura más alta. Elaboración propia con Ansys Fluent.

Gráfica. 33. Gráfica de colores falsos durante el solsticio de invierno con la temperatura más baja. Elaboración propia con Ansys Fluent.

Gráfica. 34. Gráfica de colores falsos durante el solsticio de invierno con la temperatura más alta. Elaboración propia con Ansys Fluent.

REFERENCIA DE TABLAS

Tabla 1. Escalas de prosperidad urbana y niveles de intervención. ONU-Habitat. (2018). **ÍNDICE BÁSICO DE LAS CIUDADES PRÓSPERAS**. Tabasco, México: s. e.

Tabla 2. Índice de Sostenibilidad Ambiental. ONU-Habitat. (2018). **ÍNDICE BÁSICO DE LAS CIUDADES PRÓSPERAS**. Tabasco, México: s. e.

Tabla 3. Índice de Infraestructura de Desarrollo. ONU-Habitat. (2018). **ÍNDICE BÁSICO DE LAS CIUDADES PRÓSPERAS**. Tabasco, México: s. e.

Tabla 4. Resumen de datos climáticos. Información obtenida del archivo climático con Climate Consultant 6.0

Tabla 5. Estrategias aplicables al clima cálido húmedo. Información obtenida del archivo climático con Climate Consultant 6.0

Tabla 6. Tabla de isorequerimientos. Morillón Gálvez, D. (2004). Atlas del bioclima de México. México, DF: Instituto de Ingeniería UNAM.

Tabla 7. Programa arquitectónico. Elaboración propia.

Tabla 8. Propiedades termofísicas de los materiales. ICCL, I. d. (2007). Código técnico de la edificación web. Obtenido de CTE WEB: <http://cte-web.iccl.es/materiales.php>

Tabla 9. Propiedades ópticas de los materiales. Çengel, Y. A. (2007). Transferencia De calor y masa. McGraw-Hill. Çengel, Y. A. (2009). Termodinámica. Mc Graw Hill.

Tabla 10. Propiedades térmicas y ópticas de vidrio comercial de 3 mm. Obtenido de IGDB con LBNL Window.

Tabla 11. Fechas de análisis y presión atmosférica de los días de estudio. Meteored. (s.f.). Meteored. Obtenido de <https://www.meteored.mx/villahermosa/historico>

Tabla 12. Análisis de horarios de amanecer y atardecer en ciudad de Villahermosa. Elaboración propia a partir de datos de asoleamiento obtenidos con Autodesk Revit.

Tabla 13. Configuración para generar malla. Elaboración propia.

Tabla 14. Datos de las condiciones de frontera. Elaboración propia.

Tabla 15. Tabla de resumen de horas de comodidad térmica (CT), desfase térmico (DT) y amortiguamiento térmico (AT) en las simulaciones de transferencia de calor por conducción y por convección. Elaboración propia a partir de resultados de Ansys Fluent y Energy plus.

REFERENCIA DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Matriz de relaciones. Elaboración propia.

Diagrama 2. Diagrama de relaciones. Elaboración propia.

Diagrama 3. Diagrama de privacidad. Elaboración propia.

Diagrama 4. Sistemas constructivos. Elaboración propia.

