



---

---

# **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**UNIDAD DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

**“PROPUESTA DE CHIMENEA PASIVA DE VIENTO Y SOLAR PARA UN MODELO DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN UN CLIMA CÁLIDO SUBHÚMEDO”**

**TALLER DE INVESTIGACIÓN III**

**PRESENTADO POR:**

**ARQ. DARANY DOMÍNGUEZ NOLASCO**

**EN OPCIÓN AL GRADO DE**

**MAESTRA EN INGENIERÍA**

**OPCIÓN CONSTRUCCIÓN**

**MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO**

**2021**

**Este documento ha sido revisado y aprobado por el asesor de tesis Dr. Sergio Omar Álvarez Romero Mérida. Yucatán a 08 de Junio de 2021**

## RESUMEN

El confort térmico es una necesidad fundamental que debería ser considerada dentro del diseño y construcción de la vivienda digna. Sin embargo, para ciudades con un clima como el de la ciudad de Mérida, Yucatán, es difícil garantizar el confort térmico en las construcciones, sobre todo en la vivienda de interés social; ya que carece de un diseño adecuado que ayude a lograr estas condiciones de confort mínimas<sup>1</sup>. Como consecuencia de esta falla y aunado a el rápido crecimiento de la población, se ha generado un abuso y sobrecarga de los recursos energéticos y ambientales. Es por eso que las construcciones que radican en zonas cálidas generan una mayor cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub>, como resultado del uso de aparatos eléctricos enfriadores<sup>2</sup>.

Este trabajo de investigación tiene como objetivo principal, proponer una chimenea compuesta de viento y solar en el interior de la vivienda de interés social, como elemento auxiliar para la mejora del confort térmico de ésta. Para lo cual se requirió responder, ¿Cuál es el diseño, ubicación, materiales y orientación para lograr el funcionamiento adecuado de este elemento enfriador pasivo bajo las condiciones dadas de una vivienda de interés social?, y si ¿El elemento enfriador pasivo logra mejorar el confort térmico dentro de una vivienda de interés social?

Se recurrió a un diseño de investigación de tipo experimental, en el cual, primero se eligió el caso de estudio (modelo promedio de una vivienda de interés social) y con ello se establecieron los criterios a evaluar en relación con el confort térmico. Posteriormente se realizaron mediciones térmicas en la vivienda, se realizó un prototipo de chimenea compuesta y se obtuvo información climatológica de la ubicación. Esta información dio paso a las simulaciones en un programa CFD, las cuales nos ayudaron a observar y analizar el comportamiento de las variables climatológicas dependientes en interacción con las variables independientes en el

---

<sup>1</sup> Ramirez Ortegón, T., Vega Pasos, A. y Álvarez Romero, S. (2016) Thermal comfort and energy efficiency analysis of affordable houses in Merida, Mexico. EPH - International Journal of Science And Engineering (3) 1- 7.

<sup>2</sup> García, J. (1994). Diseño Bioclimático para ahorro de energía y confort ambiental integral. México: Universidad Autónoma Metropolitana.

modelo del prototipo de chimenea. Como resultado obtuvimos el prototipo de chimenea con mejor rendimiento dentro de este caso de estudio, es decir el modelo que arrojó la tasa más alta de viento circulante dentro de la vivienda.

## **ABSTRACT**

Thermal comfort is a fundamental need that should be considered within the design and construction of decent housing. However, for cities with a climate such as the city of Mérida, Yucatán, it is difficult to guarantee thermal comfort in buildings, especially in low-income housing. As a consequence of this failure and coupled with the rapid growth of the population, an abuse and overload of energy and environmental resources has been generated. That is why buildings located in warm regions, generate a greater amount of CO<sub>2</sub> emissions, as a result of the use of cooling electrical appliances.

The main objective of this research work is to propose a composed wind and solar chimney in the inside of social housing, as an auxiliary element for the improvement of its thermal comfort. For which it was required to determine the design, location, materials and orientation that would deliver the adequate operation of this passive cooling element under the given conditions of a social interest housing; and then find out if this passive cooling element is suitable to improve the thermal comfort in social housing.

An experimental research design was used, in which a case study was first chosen (average model of a social housing) and the criteria to be evaluated in relation to thermal comfort were established. Subsequently, thermal measurements were made in the house used as case study, a chimney prototype was made, and climatological information on the location was obtained. This information was used to carry out simulations in a CFD program, with which the behavior of the dependent climatological variables and their interaction with the independent variables in the chimney prototype model was analyzed. As a result, the chimney model with the best performance was obtained for the case study; the model that delivered the highest rate of circulating wind inside the house.

## ÍNDICE GENERAL

1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.3. Preguntas de investigación .....	3
1.4. Objetivo general .....	4
1.5. Objetivos específicos.....	4
1.6. Justificación .....	4
1.6.1. Medio ambiente .....	4
1.6.2. Vivienda digna y economía familiar .....	5
<b>II. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....</b>	<b>8</b>
2.1. Marco contextual.....	8
2.1.1. Territorio y población.....	8
2.1.2. Clima.....	9
2.1.3. Vientos dominantes y su dirección .....	10
2.2. Marco conceptual .....	11
2.2.1. Fuentes de energía renovable .....	11
2.2.2. Energía solar.....	11
2.2.3. Viento como fuente de energía.....	12
2.2.4. Ventilación natural.....	13
2.2.5. Sistemas pasivos de enfriamiento para la edificación .....	15
2.2.5.1. Chimenea solar .....	16
2.2.5.1.1. Funcionamiento .....	16
2.2.5.1.2. Clasificación.....	17
2.2.5.2. Chimenea de viento.....	18
2.2.5.2.1. Funcionamiento .....	18
2.2.5.2.2. Clasificación.....	20
2.2.6. Confort térmico .....	21

2.2.7. Dinámica computacional de fluidos (CFD) .....	25
2.3. Estado del arte.....	26
2.3.1. Casos de estudio .....	26
2.3.1.1. Casos de estudio de la chimenea solar .....	27
2.3.1.2. Casos de estudio de la chimenea de viento .....	28
2.3.2. Alternativas sustentables para la vivienda de interés social en el estado de Yucatán. ....	30
2.4. Conclusiones de la revisión de la literatura .....	32
<b>III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>33</b>
3.1. Enfoque y alcance de la investigación .....	33
3.2. Diseño de la investigación.....	34
3.2.1. Sujeto de estudio.....	34
3.2.2. Unidad de estudio.....	39
3.3. PROCEDIMIENTO .....	46
3.3.1. Selección del caso de estudio y temporada de estudio. ....	46
3.3.2. Definición de parámetros de evaluación. ....	47
3.3.3. Toma de mediciones térmicas.....	47
3.3.4. Digitalización de información obtenida. ....	49
3.3.5. Calibración y creación de escenario en plataforma CFD.....	50
3.3.6. Inicio y proceso de simulaciones.....	54
<b>IV. RESULTADOS .....</b>	<b>55</b>
4.1. Variable orientación .....	55
4.2. Variable rejillas .....	57
4.4. Variable ASCD inferior .....	62
4.5. Variable ASCD superior. ....	64
4.6. Variable habitación.....	66
4.7. Variable ubicación dentro de la habitación. ....	68
4.8. Variable altura .....	70

<b>V. DISCUSIÓN</b> .....	<b>76</b>
<b>VI. CONCLUSIONES</b> .....	<b>81</b>
<b>APÉNDICE 1</b>	
<b>APÉNDICE 2</b>	

## ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

### FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Gráfica de la radiación solar en Mérida, Yucatán.....	9
<b>Figura 2.</b> Gráfica de la rueda de viento de Mérida, Yucatán .....	10
<b>Figura 3.</b> Esquema del funcionamiento de la chimenea solar.....	17
<b>Figura 4.</b> Esquema del funcionamiento de la chimenea de viento.....	19
<b>Figura 5.</b> Carta Psicrométrica a temperaturas normales y presión barométrica al nivel del mar .....	24
<b>Figuras 6A, 6B, 6C.</b> Fotografías de la vivienda seleccionada como sujeto de estudio .....	37
<b>Figura 7.</b> Plano arquitectónico de la vivienda seleccionada como sujeto de estudio.....	38
<b>Figuras 8A, 8B, 8C.</b> Descripción gráfica del prototipo de chimenea “SIM 1”.....	40
<b>Figura 9.</b> Trayectoria de flujo de viento sin un ASCD y con un ASCD.....	41
<b>Figura 10.</b> Imagen en perspectiva de un prototipo de chimenea con pared de ala a 35° .....	42
<b>Figura 11.</b> Imagen en perspectiva de un prototipo de chimenea con rejillas a 90° .....	43
<b>Figura 12.</b> Imagen en perspectiva del prototipo de chimenea solar.....	44
<b>Figura 13.</b> Imagen en corte de la chimenea compuesta y el flujo de aire que ingresa por la chimenea de viento y el flujo de aire que se extrae por la chimenea solar.....	45
<b>Figura 14.</b> Flujograma del procedimiento seguido.....	46
<b>Figura 15.</b> Croquis de la vivienda indicando la entrada de viento y su nomenclatura.....	49
<b>Figura 16.</b> Modelo tridimensional de la vivienda y su entorno, modelado en Formit.....	50
<b>Figura 17.</b> Colocación de información térmica dentro del programa de simulación.....	51
<b>Figura 18.</b> Imagen (A) y croquis (B) de la colocación de medidores de flujo en el	

programa de simulación.....	52
<b>Figura 19.</b> Ilustración de la pared de ala de 15°.....	73
<b>Figura 20.</b> Ilustración del ASCD inferior y superior .....	74
<b>Figura 21.</b> Ilustración de la trayectoria del viento sin rejillas dentro de la chimenea.....	75
<b>Figuras 22A, 22B.</b> Descripción gráfica del prototipo de chimenea “SIM 3A. 140.SI” .....	75
<b>Figura 23.</b> Imagen de la ubicación del prototipo de chimenea “SIM 3A. 140.SI” en la vivienda de interés social.....	75
<b>Figura 24.</b> Imagen de la distribución de la velocidad de viento de un ventilador estándar (Haiku 60”) en velocidad 4.....	76
<b>Figura 25.</b> Imagen del simulador. A la izquierda vista en alzado del flujo de aire interior de la vivienda sin la chimenea. A la derecha vista en alzado del flujo de aire que circula dentro de la vivienda con el prototipo de chimenea “SIM 3A.140.SI”.....	77
<b>Figura 26.</b> Imagen del simulador. A la izquierda vista en planta del flujo de aire interior de la vivienda sin la chimenea. A la derecha vista en planta del flujo de aire que circula dentro de la vivienda con el prototipo de chimenea “SIM 3A.140.SI”.....	78

## TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Parámetros y factores del confort.....	22
<b>Tabla 2.</b> Descripción de variables dependientes e independientes.....	33
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de viviendas por precio promedio.....	35
<b>Tabla 4.</b> Clasificación de viviendas por forma de construcción.....	35
<b>Tabla 5.</b> Clasificación de viviendas por número de viviendas por lote.....	35
<b>Tabla 6.</b> Dimensiones libres mínimas para espacios habitables y auxiliares.....	36
<b>Tabla 7.</b> Descripción del prototipo de chimenea “SIM 1” .....	39
<b>Tabla 8.</b> Resultados de la calibración.....	53

<b>Tabla 9.</b> Resultados de las mediaciones con entrada de aire de chimenea.....	54
<b>Tabla 10.</b> Especificaciones físicas de los modelos probados en la simulación “variable orientación”.....	55
<b>Tabla 10.1.</b> Resultados de las simulaciones de la variable “orientación”.....	56
<b>Tabla 11.</b> Especificaciones físicas de los modelos probados en la simulación “rejillas”.....	57
<b>Tabla 11.1.</b> Resultados de las simulaciones de la variable” rejillas”.....	58
<b>Tabla 12.</b> Especificaciones físicas de los modelos probados en la simulación “pared de ala y rejillas”.....	59
<b>Tabla 12.1.</b> Resultados de las simulaciones de la variable “pared de ala y rejillas”.....	60
<b>Tabla 13.</b> Especificaciones físicas de los modelos probados en la simulación “pared de ala”.....	61
<b>Tabla 13.1.</b> Resultados de las simulaciones de la variable “pared de ala”.....	62
<b>Tabla 14.</b> Especificaciones físicas de los modelos probados en la simulación “ASCD inferior”.....	63
<b>Tabla 14.1.</b> Resultados de las simulaciones de la variable “ASCD inferior”.....	64
<b>Tabla 15.</b> Especificaciones físicas de los modelos probados en la simulación “ASCD superior”.....	65
<b>Tabla 15.1.</b> Resultados de las simulaciones de la variable “ASCD superior”.....	66
<b>Tabla 16.</b> Especificaciones físicas de los modelos probados en la simulación “habitación”...	67
<b>Tabla 16.1.</b> Resultados de las simulaciones de la variable “altura”.....	68
<b>Tabla 17.</b> Especificaciones físicas de los modelos probados en la simulación “ubicación dentro de la habitación”.....	69
<b>Tabla 17.1.</b> Resultados de las simulaciones de la variable “ubicación dentro de la habitación”.....	70
<b>Tabla 18.</b> Especificaciones físicas de los modelos probados en la simulación “altura”.....	71

**Tabla 18.1.** Resultados de las simulaciones de la variable “altura”.....72

**Tabla 19.** Descripción del prototipo de chimenea “SIM 3A. 140.SI”.....73

# I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1. Antecedentes

La aplicación de elementos ya sea naturales o pasivos, para el acondicionamiento térmico de una vivienda, ha sido una práctica común desde la antigüedad. A través de los años estas implementaciones han ido evolucionando, modificando y sofisticando los requerimientos internos de los espacios habitables; trayendo consigo la creación tanto de disciplinas, ciencias y tecnologías que nos ayudan a lograr este objetivo, como lo es la arquitectura bioclimática. Ésta, tiene registros de manera precisa a partir del año 2,500 A.C. en Grecia, donde las construcciones tenían una orientación específica, para el aprovechamiento de luz, sombra, viento, entre otras condiciones dadas de la región con el objetivo de mantener un confort térmico interno. Posteriormente la cultura islámica adaptó la arquitectura bioclimática en sus edificaciones como respuesta al calentamiento global que se registró entre el año 800 y 1400, desarrollando estrategias para obtener refrigeración natural en sus viviendas. Muchas de estas estrategias han sido retomadas por diferentes culturas, y adaptadas para un mejor funcionamiento dentro de sus regiones. Patios interiores, así como pasillos estrechos entre viviendas para evitar la infiltración del sol y aprovechar los vientos, son unos de los ejemplos más conocidos<sup>3</sup>.

Sin embargo, aún existen tecnologías que, debido a su baja popularidad, la exploración de su estudio aun es escaso para regiones como la nuestra. Como ejemplo tenemos la chimenea solar y la chimenea de viento, componente que surgió en los países de Oriente Medio como Irán, Egipto y los Emiratos Árabes Unidos<sup>4</sup>.

Durante los últimos tres mil años, este tipo de ventilación natural se ha utilizado en tierras cálidas y áridas, como una herramienta pasiva y como principal sistema de enfriamiento de estas regiones, funcionando para reducir la carga de calor del edificio.

---

<sup>3</sup> Aguilar Parra, F. (2015). Eficiencia energética en edificaciones: Barreras y oportunidades en la vivienda social de La paz, Baja California Sur. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>4</sup> Kaiser Calautit, J. et al. (2017). Thermal comfort and indoor air quality analysis of a low energy cooling windcatcher. Energy Procedia (105), 2865 – 2870. Elsevier.

En los últimos años el interés por los sistemas pasivos de ventilación ha ido incrementando debido a varios motivos. Como consumidor, el constante aumento del costo de la electricidad, como organismo gubernamental, la limitada capacidad para satisfacer la demanda energética, así como por cuestiones ambientales para ambos tipos de consumidores<sup>5</sup>.

En la actualidad, el concepto de “chimenea de viento” se ha comercializado en Gran Bretaña durante los últimos 30 años; sin embargo, a pesar de que la aplicación de este dispositivo de ventilación pasivo es muy importante para combatir los desafíos ambientales de hoy en día, aún es un concepto ignorado drásticamente en el diseño de la edificación actual<sup>6</sup>; ya que, con la llegada de dispositivos eléctricos como el aire acondicionado, se logró solucionar la problemática de manera pasajera.

## **1.2. Formulación del problema**

Todo ciudadano mexicano tiene derecho a una vivienda digna, como supone el artículo 4 de la constitución mexicana, y dentro de las necesidades fundamentales con relación a la vivienda se encuentran las condiciones de confort térmico<sup>7</sup>. Esta condición, implica que la temperatura interna de la vivienda sea agradable, y como consecuencia, el confort psicológico de sus habitantes<sup>8</sup>. Sin embargo, es un tema bastante desatendido dentro de los reglamentos locales de cada entidad, ya que este escenario de comodidad puede lograrse con facilidad si se cuenta con los recursos económicos suficientes para acondicionar la edificación, es decir, constituye una dificultad significativa para la clase trabajadora obtener este derecho, sobre todo para un clima cálido húmedo como el de nuestra región<sup>9</sup>.

---

<sup>5</sup> Givoni, B. (1994). *Passive and Low Energy Cooling of Buildings*. Nueva York, E.U. John Wiley and Sons, Inc.

<sup>6</sup> Saadatian, O. et al (2011). *Review of windcatcher technologies*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (16), 1477 - 1495. Elsevier.

<sup>7</sup> Congreso del Estado de Yucatán (2010). *Ley de Vivienda del Estado de Yucatán*. México: Congreso del Estado de Yucatán.

<sup>8</sup> Sánchez Corral, J. (2012): *La vivienda “social” en México*. México: Sistema Nacional de Creadores de Arte.

<sup>9</sup> Ramirez Ortegon, T., Vega Pasos, A. y Álvarez Romero, S. (2016) *Thermal comfort and energy efficiency analysis of affordable houses in Merida, Mexico*. *EPH - International Journal of Science And Engineering* (3) 1- 7.

Por otra parte, como consecuencia de la carencia de esta consideración de confort ambiental en la construcción de la vivienda, y el aumento acelerado de la población, se ha generado un abuso y sobrecarga de los recursos energéticos y ambientales. Lo que representa una amenaza ecológica, debido a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de origen antrópico que se producen. En el 2010, las principales fuentes de consumo energético fueron petrolíferos, electricidad y gases, las cuales, son las principales energías consumidas en una vivienda, ya que la energía que se utiliza para el uso diario en una edificación representa la mayoría del consumo de energía de ésta (80% - 90%). Como ejemplo, las construcciones que radican en zonas cálidas generan la mayor cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub>, como consecuencia del uso de aparatos eléctricos enfriadores<sup>10</sup>, y de acuerdo con la Secretaría de Energía, estas emisiones van en aumento en el sector residencial.

Partiendo de esta necesidad, este trabajo se enfoca en el desarrollo de un sistema pasivo de ventilación basado en un modelo compuesto de chimenea de viento y solar, que ayude a la situación actual de la vivienda de interés social, respecto a las carencias de confort térmico. Con el objetivo final de contribuir a la mejora en la calidad y el funcionamiento de las edificaciones de vivienda.

### **1.3. Preguntas de investigación**

¿Cuál es el diseño, ubicación, materiales y orientación para lograr el funcionamiento adecuado de este elemento enfriador pasivo bajo las condiciones dadas de una vivienda de interés social?

¿Los parámetros propuestos para este elemento enfriador pasivo logra mejorar la ventilación natural dentro de una vivienda de interés social?

---

<sup>10</sup> García, J. (1994). Diseño Bioclimático para ahorro de energía y confort ambiental integral. México: Universidad Autónoma Metropolitana.

## 1.4. Objetivo general

Proponer una chimenea compuesta de viento y solar en el interior de la vivienda de interés social, como elemento auxiliar para la mejora del confort térmico de ésta.

## 1.5. Objetivos específicos

- Definir los parámetros de diseño, ubicación (dentro de la vivienda), materiales y orientación para el funcionamiento de la chimenea de viento y solar dentro de un modelo de vivienda de interés social seleccionado.
- Evaluar mediante simulación, alternativas de diseño de la chimenea de viento y solar

## 1.6. Justificación

### 1.6.1. Medio ambiente

Los sistemas de refrigeración mecánica en edificios son los principales productores de emisiones de dióxido de carbono, siendo el 60% del consumo de energía, asociado a los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado; éstos a su vez tienen un impacto negativo en el medio ambiente y amplifican el calentamiento global, especialmente en climas cálidos, produciendo grandes cantidades de las emisiones de GEI (Gas de Efecto Invernadero) de todo el mundo<sup>11</sup>.

En el 2010, la producción mundial de energía fue obtenida en su mayoría de energía no renovable (86.8%) de la cual, una cuarta parte de la energía consumida fue en la vivienda. En México, la producción y consumo de energía tiene una gran similitud a las tendencias internacionales. Gran parte de la producción energética en México proviene de recursos no renovables (90.2%), principalmente de hidrocarburos, condensados y gas natural. El 16.2% del consumo nacional es utilizado por el sector residencial en el país<sup>12</sup>.

---

<sup>11</sup> Nejat, P. et al. (2016). Anti-short-circuit device: A new solution for short-circuiting in windcatcher and improvement of natural ventilation performance. *Building and Environment* (105), 24 - 39. Elsevier

<sup>12</sup> Aguilar Parra, F. (2015). Eficiencia energética en edificaciones: Barreras y oportunidades en la vivienda social de La paz, Baja California Sur. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

El cambio climático y la sobreexplotación de recursos energéticos representan un importante problema que afecta a todas las naciones. Por este motivo, la mayoría de los países del mundo firmaron acuerdos para reducir sus emisiones de dióxido de carbono y limitar el aumento de temperatura a menos de 2°C en este siglo<sup>13</sup>. Para lograr este propósito, han puesto en marcha una serie de estrategias cuyo objetivo es revertir y prevenir la contaminación ambiental. Sin embargo, en el área de la construcción y la planificación urbana, aún se requiere de un mayor grado de especialización académica, que permita que ésta industria contribuya puntualmente a alcanzar estas metas ambientales.

Desde el inicio de los asentamientos humanos, ha habido una evolución tecnológica constante, que va acompañada del descubrimiento, el aprendizaje y empleo de la energía, y cuya aplicación de la naturaleza, beneficia del ser humano<sup>14</sup>. Por esta razón, la tecnología es un factor determinante para el desarrollo de una industria, y conforme emergen o se redescubren, el sector de la construcción se ve forzada a aceptar nuevos retos, cada vez más complejos y con mayores exigencias en cuanto a calidad y responsabilidad con el medio ambiente y con el usuario. Como consecuencia, tanto la ingeniería como la arquitectura requieren estar siempre en busca de técnicas innovadoras que vayan de la mano con las exigencias y necesidades de nuestros tiempos. Sin embargo, a pesar de que la tecnología nos ha impulsado hacia adelante, si éste impulso carece de responsabilidad y de consideraciones de nuestro entorno, las consecuencias, tarde o temprano se verán reflejadas en nuestro día a día.

#### 1.6.2. Vivienda digna y economía familiar

En los últimos años, muchas constructoras y planes de desarrollo urbanos se han dedicado a construir unidades habitacionales y/o fraccionamientos carentes de las condiciones básicas para ser habitables, dando como resultado que millones de

---

<sup>13</sup> Jomehzadeh, F. (2017). A review on windcatcher for passive cooling and natural ventilation in buildings, Part 1: Indoor air quality and thermal comfort assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (70), 736 – 756. Elsevier.

<sup>14</sup> Guillén Solís, O. (2004): *Energías renovables: una perspectiva ingenieril*. México: Trillas.

personas se vean privadas de una vivienda digna. Cabe mencionar que, aunado a estas condiciones, no es posible para muchas familias mexicanas obtener o continuar pagando estas viviendas, dejando al país con millones de casas inhabitadas (La OCDE ha indicado que México tiene uno de los índices más altos de viviendas deshabitadas)<sup>15</sup>. A su vez, estas carencias en los inmuebles deterioran el medio ambiente, influyendo negativamente en la temperatura del planeta y en la calidad del aire aprovechable por los seres vivos.

En la actualidad, el prototipo de vivienda social se ha convertido en un elemento de construcción genérico y de comercialización. Las constructoras de gran escala compran terrenos a precios reducidos en las periferias de los grandes centros urbanos, sin tomar en cuenta su lejanía o conexión con servicios básicos como fuentes de trabajo, salud, educación y abasto, y mucho menos, las condiciones internas de confort dentro sus modelos de vivienda.

Estas prácticas poco sustentables, son responsables de un gran porcentaje del consumo de energía de una ciudad, ya que, como ejemplo, en el estado de Yucatán, podemos encontrar inmuebles que en su interior alcanzan temperaturas de hasta 40C°, que sin la ayuda de un aparato eléctrico que acondicione el espacio, las condiciones de habitabilidad son deplorables. Por tanto, el análisis y diseño de la vivienda urbana, juega un papel sumamente importante en la solución del problema en su totalidad. “El ahorro de energía y la recuperación de los recursos naturales para su reutilización no sólo benefician al medio ambiente, sino que reducen los gastos de las familias”<sup>16</sup>.

Desafortunadamente la realidad de un gran porcentaje de mexicanos dista mucho de lo que ha reconocido la Comisión de Asentamientos Humanos y la Estrategia Mundial de Vivienda hasta el Año 2000, como “vivienda adecuada”, ya que significa poseer un

---

<sup>15</sup> Gurría, A, (6 de enero, 2015). Estudio de Política Urbana de México Transformando la Política Urbana y el Financiamiento de la Vivienda “Construir Ciudades, No Sólo Casas”. México. OCDE Mejores Políticas Para Una Vida Mejor. Recuperado de <https://www.oecd.org/centrodemexico/medios/estudio-de-politica-urbana-de-mexico-transformando-la-politica-urbana-y-el-financiamiento-de-la-vivienda.htm>

<sup>16</sup> Sánchez, J., (2012): La vivienda “social” en México. México: Sistema Nacional de Creadores de Arte.

espacio con iluminación, seguridad, ventilación, infraestructura y servicios básicos adecuados, todo ello a un costo razonable. En términos prácticos lo que se obtiene cuando se habla de una vivienda digna es el derecho a un todo continuo entre la comunidad, la naturaleza y la cultura, derivado de la necesidad humana de habitar un sitio con seguridad y dignidad. Por su misma complementariedad, la noción de hábitat no puede desvincularse del concepto de vivienda adecuada<sup>17</sup>.

---

<sup>17</sup> Morillo, V. y González, I. (2008): El derecho a una vivienda adecuada. Venezuela: Provea

## II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Este trabajo tiene una línea de investigación enfocada en textos que incluyan información referente a nuevas alternativas sustentables aplicadas en la vivienda de interés social de la región, así como también sobre las propiedades de materiales de construcción sustentables. Sin embargo, hubo un mayor énfasis en información respecto a ventilación natural y propiedades del viento, ya que la ventilación natural es conocida como uno de los métodos efectivos y pasivos para proporcionar un ambiente interior saludable y cómodo al prevenir concentración de contaminantes de manera segura, lo cual enriquece de manera más puntual el objetivo de la investigación.

De la misma manera, se hizo un análisis de prácticas constructivas ancestrales de origen oriental desde una perspectiva bioclimática. Resulta elemental retomar o tomar como fundamento, tecnologías antiguas que lograban el objetivo; analizarlas y comprender qué tipo de modificaciones serían necesarias para ser adaptadas a las necesidades de nuestra región y de nuestra sociedad, debido a que este elemento, tiene como una de sus características sustentables, proporcionar ventilación natural utilizando la fuerza impulsora de la energía eólica. Esta práctica se ha empleado durante siglos en las regiones áridas y cálidas de los países del Golfo Pérsico y los países del norte de África<sup>18</sup>.

### 2.1. Marco contextual

#### 2.1.1. Territorio y población

La ciudad de Mérida se localiza en las coordenadas 20°58'04"N 89°37'18"O (20.967778, -89.621667), con una altitud de 8 metros sobre el nivel medio del mar. En la actualidad, el estado de Yucatán cuenta con 2,097,175 habitantes, siendo el 1.8% del total de la población del país. El 84% de la población del estado, radica zona urbana

---

<sup>18</sup> Niktash, A. y Huynh, P. (2014): Simulation and Analysis of Ventilation Flow Through a Room Caused by a Two-sided Windcatcher Using a LES Metho. WCE (2), 978-988. Elsevier.

y el 16% en la zona rural; a nivel nacional el dato es de 78% y 22% respectivamente. La ciudad es el principal núcleo de población del área conurbada de la Zona Metropolitana de Mérida<sup>19</sup>.

### 2.1.2. Clima

El 85.5% de la superficie del estado presenta climas cálido subhúmedo y el restante 14.5% presenta clima seco y semiseco, que se localiza en la parte norte del estado. Predominan las selvas secas y subhúmedas que se localizan al centro y noroeste de la entidad; en las zonas costeras se desarrolla vegetación acuática como manglares y tulares. La temperatura media anual es de 26°C, la temperatura máxima promedio es alrededor de 36°C; la temperatura mínima promedio es de 16°C y se presenta en el mes de enero. La precipitación media estatal es de 1,100 mm anuales y las lluvias se presentan en verano en los meses de junio a octubre<sup>20</sup>. En cuanto a radiación, como promedio anual se puede llegar a una máxima de 1,000 w/m<sup>2</sup>, como se muestra en la Figura 1.

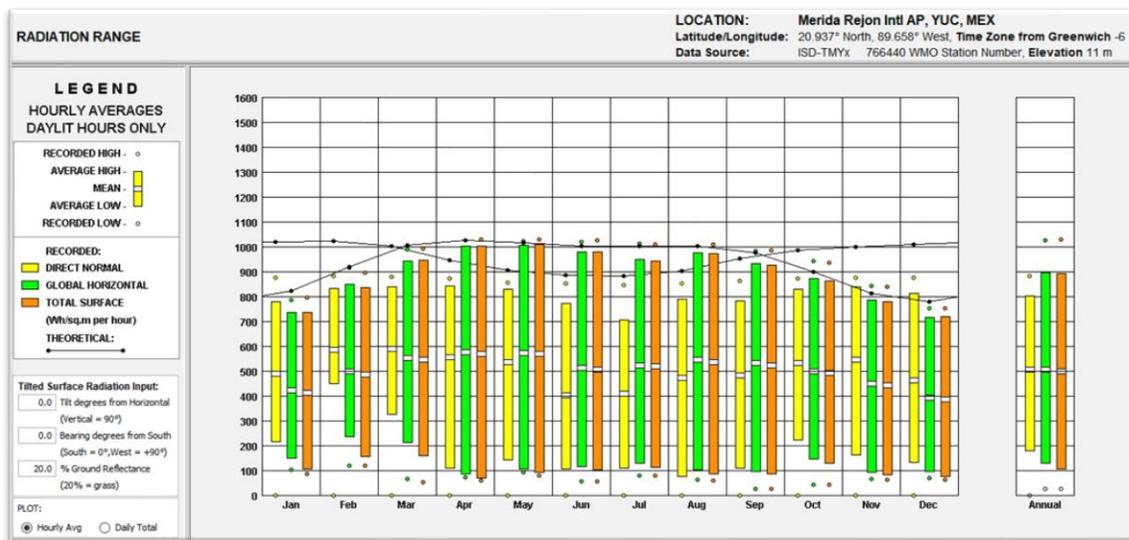


Figura 1. Gráfica de la radiación solar en Mérida Yucatán<sup>21</sup>.

<sup>19</sup> Instituto Nacional de Estadística y Geográfica. (2017). Censo General de Población y Vivienda. México

<sup>20</sup> Organismo de Cuenca de la Península de Yucatán de la Comisión Nacional del Agua (2018).

<sup>21</sup> UCLA Energy Design Tools Group. (1976). Climate Consultant 6.0. (version 16, 2020).

### 2.1.3. Vientos dominantes y su dirección

Debido a la posición geográfica de la península de Yucatán, la región es influenciada por la celda anticiclónica Bermuda Azores. En verano, debido a la circulación de los vientos alisios, los vientos dominantes en la región son de dirección ENE, E y ESE. Durante el resto del año, se tienen variantes del NNE, NNW, y N., con el paso de los sistemas frontales. Sin embargo, prácticamente durante todo el año se registran del ESE principalmente<sup>22</sup> como se puede observar en la Figura 2.

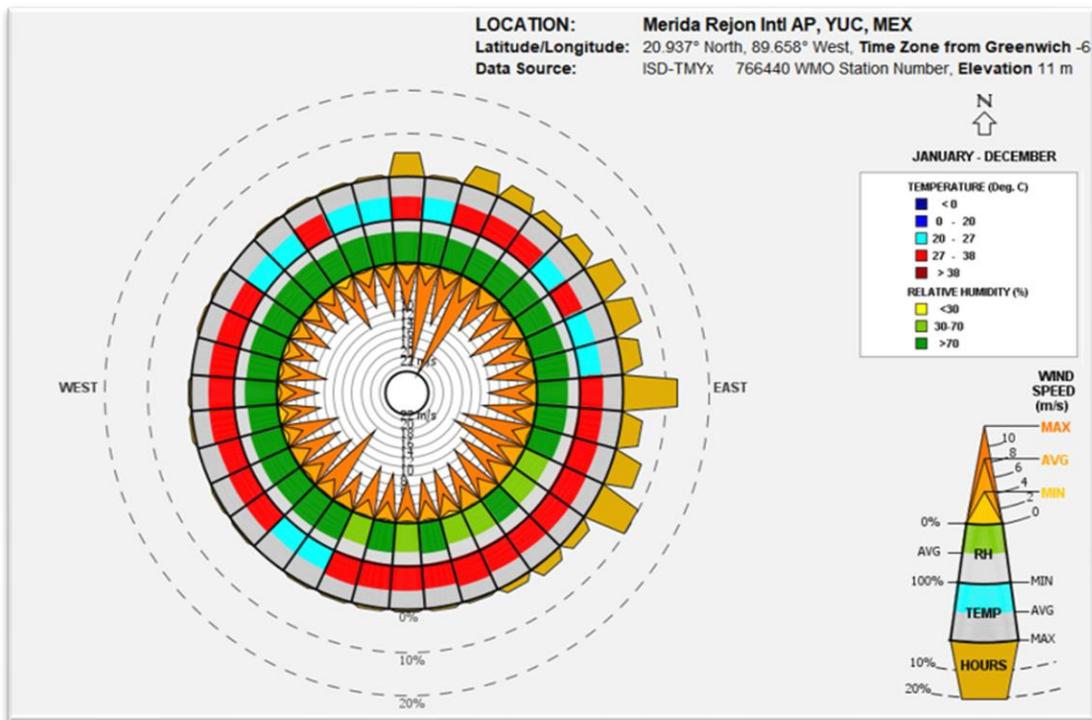


Figura 2. Gráfica de la rueda de viento de Mérida Yucatán<sup>23</sup>. En el círculo se representan los cuatro puntos cardinales, y los colores representan tanto humedad como temperatura del viento. Por último, la cantidad y tamaño de los recuadros alrededor del círculo indican tiempo. Mientras más recuadros y más grandes, más horas en las que se recibe viento.

<sup>22</sup> Organismo de Cuenca de la Península de Yucatán de la Comisión Nacional del Agua (2018).

<sup>23</sup> UCLA Energy Design Tools Group. (1976). Climate Consultant 6.0. (version 16, 2020).

## 2.2. Marco conceptual

### 2.2.1. Fuentes de energía renovable

La energía renovable es un tipo de energía ilimitada debido a que se obtiene de fuentes naturales que se pueden regenerar continuamente. El uso óptimo de ella disminuye los impactos ambientales negativos, ya que produce un mínimo de desechos secundarios, brindan una excelente oportunidad para mitigar la emisión de gases de efecto invernadero, reducen el calentamiento global y es sostenible en función de las necesidades sociales y económicas actuales y futuras, por lo que se les consideran recursos energéticos limpios, domésticos, primarios e inagotables<sup>24</sup>.

La fuente de todas las energías tiene su origen en el sol (energía solar); la tierra aprovecha esta energía para la atmosfera, los océanos, las plantas y los animales. De dicha energía surgen las fuentes de energías renovables (RES), las cuales incluyen energía hidroeléctrica, geotérmica, solar, eólica, marina y la biomasa, y suministran el 14% de la demanda mundial total de energía<sup>25</sup>, siendo el objetivo de muchas naciones aumentar este porcentaje.

### 2.2.2. Energía solar

Las formas primarias de energía solar son el calor y la luz, y por medio del proceso de transferencia de calor (conducción, convección y radiación), el medio ambiente absorbe estas formas de energía y las transforma de múltiples maneras, como, por ejemplo, el viento<sup>26</sup>.

Como se mencionó anteriormente, la energía solar es la base de las energías renovables, y debido a que la chimenea solar y la chimenea de viento funcionan gracias a dos efectos que provee esta fuente, el calor y el viento respectivamente, es importante definirlos.

---

<sup>24</sup> Panwar, N.L. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (15) 1513–1524. Elsevier.

<sup>25</sup> Vega, J.C. y Ramírez, S. (2014). *Fuentes de Energía, Renovables y no Renovables*. México, Alfaomega.

<sup>26</sup> Ibid.

### 2.2.3. Viento como fuente de energía

El viento es un tipo de energía solar, ya que la acción del sol y el movimiento de rotación de la tierra da como resultado aire en movimiento. Este movimiento se genera por las diferencias de presión y de temperatura atmosférica que surgen del calentamiento no uniforme en la superficie del planeta. La desigualdad de temperatura en la atmosfera origina movimientos de aire compensatorios que tienden a reducir la diferencia de temperatura<sup>27</sup>.

Existen sistemas de circulación primaria resultante de la formación de varios patrones de circulación regional, los cuales son:

- Calmas ecuatoriales
- Calmas tropicales
- Vientos alisos
- Predominantes del oeste
- Predominantes del este polar
- Zona de frente polar

A su vez, el viento cuenta con las siguientes características principales, que con frecuencia se expresan cuantitativamente:

- Dirección
- Velocidad
- Frecuencia
- Turbulencia

Desde la antigüedad, el ser humano ha utilizado al viento como una herramienta natural para realizar acciones, y en algunas ocasiones, como necesidad para subsistir. Ya sea para desplazarse por los océanos, moler granos, bombear agua y hasta generar electricidad, sin dañar el medio ambiente. Por otra parte, las condiciones de confort higrotérmico humano dependen primordialmente del uso correcto de la

---

<sup>27</sup> Garcia, J. y Fuentes, V. (2005). Viento y Arquitectura. México: Trillas.

dispersión del aire dentro de un espacio, convirtiendo al viento en un elemento climático muy importante para la habitabilidad y disminución de contaminación ambiental<sup>28</sup>.

#### 2.2.4. Ventilación natural

La ventilación natural es un sistema pasivo de enfriamiento que se utiliza en la edificación para proporcionar confort térmico y una mejor calidad del aire en el interior de espacio<sup>29</sup>, debido a que el movimiento del aire puede desempeñar tres funciones:

- Enfriamiento del aire interior por convección.
- Enfriamiento fisiológico para el confort del usuario.
- Suministro de aire puro para la salud del usuario<sup>30</sup>.

Esto se debe a la acción de dos fuerzas motrices: la acción de la presión del viento y la acción termo-conectiva del mismo. Las fuerzas impulsoras del viento y la flotabilidad del mismo tienen un componente medio y fluctuante que puede variar con la apertura y producir un efecto de bombeo, por lo que el flujo de aire a través de una abertura se debe al viento y a la flotabilidad. Cuando la temperatura interior es más alta que la exterior, la flotabilidad hace que el aire frío entre en la parte inferior y la salida de aire caliente en la parte superior de la abertura.

Con ventilación natural se pueden aplicar tres diferentes estrategias, estas son la ventilación unilateral inducida por la variación del viento, la ventilación cruzada impulsada por la presión del viento y ventilación impulsada por presiones de flotabilidad.

La ventilación de un solo lado, la más localizada para todas las estrategias, puede usarse cuando se necesita ventilación en habitaciones individuales. La ventilación cruzada permite que el aire fresco llegue al piso de un edificio y depende de la forma

---

<sup>28</sup> Ibid

<sup>29</sup> Niktash, A. y Huynh, P. (2014): Simulation and Analysis of Ventilation Flow Through a Room Caused by a Two-sided Windcatcher Using a LES Metho. WCE (2). 978 – 988. Elsevier.

<sup>30</sup> García, J. (1987). Diseño Bioclimático en el Trópico Húmedo. México: Universidad Autónoma Metropolitana.

del edificio y del entorno urbano. El sistema de ventilación de la pila hace circular el aire por todo el edificio y depende de la forma del edificio y del diseño interno.

A su vez, la ventilación y su control adecuado (dependiendo de la necesidad de la región) ayuda a conseguir:

- Ventilación para enfriamiento, deshumificación o ambos.
- Deshumificación por el proceso de condensación del aire.
- Obtención de aire con la calidad y cantidad necesaria para la óptima realización de las funciones vitales y las diversas actividades del hombre.
- Enfriamiento.
- Calefacción por procesos termoconvectivos del aire.
- Impedir la infiltración indeseable de aire frío en épocas de bajas temperaturas.
- Humidificación del aire por el proceso de enfriamiento evaporativo<sup>31</sup>.

Arquitectónica y constructivamente, la forma, orientación y dimensión del edificio, localización, tipo y tamaño de las aberturas de entrada y salida de aire, y elementos arquitectónicos o naturales exteriores, son variables que se deben considerar para diseñar el flujo de ventilación. Por esta razón, la arquitectura y el urbanismo juegan un papel importante al determinar los niveles de confort higrotérmico, ya que las condiciones de ventilación dentro de un espacio tienen relación directa con el medio ambiente, la salud y el efecto fisiológico de calidad en sus usuarios. En algunos asentamientos urbanos, el aire contaminado en gran parte es producto del carente uso de la ventilación correcta, debido a que tanto actividades humanas como edificaciones, saturan el aire de monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, sulfuros de oxígeno, hollín, polvo, cenizas y olores. Por otra parte, la Organización Mundial de la Salud, reportó que más del 70% de las enfermedades del aparato respiratorio se deben a diseños inadecuados de las edificaciones<sup>32</sup>.

---

<sup>31</sup> Hamzanluim, E., Amindeldar S., y Besharatizadeh A. (2012). New approach to natural ventilation in public buildings inspired by iranian's traditional windcatcher. *Procedia Engineering* (21) 42 - 52. Elsevier.

<sup>32</sup> Garcia, J. y Fuentes, V. (2005). *Viento y Arquitectura*. México: Trillas

### 2.2.5. Sistemas pasivos de enfriamiento para la edificación

La función de un sistema pasivo de enfriamiento es mantener un ambiente de confort dentro de un edificio, sin ayuda de electricidad; evitando que el calor ingrese al edificio o reduciendo la ganancia de calor en éste (para un clima cálido), por medio del trabajo en conjunto de disipadores naturales de calor que encontramos en el ambiente y el proceso de transferencia de calor <sup>33</sup>.

Dentro de los disipadores de calor más comunes encontramos:

- Agua: por medio de evaporación, dentro y / o fuera de la envolvente del edificio.
- Aire exterior: por medio de convección y/ radiación a través de aberturas.
- Tierra: por medio de conducción a través de la envolvente del edificio
- El cielo (nocturno): por medio de radiación de onda larga a través del techo y / u otra superficie del edificio.

Su eficiencia dependerá de dos condiciones: la disponibilidad de un disipador de calor que esté a una temperatura más baja que la del aire interior, y el impulso de la transferencia de calor hacia el disipador<sup>34</sup>.

Los sistemas pasivos de enfriamiento a su vez se clasifican según el tipo de disipador o fuente de energía que utilicen, y pueden ser los siguientes:

- Ventilación natural
- Enfriamiento por radiación
- Enfriamiento evaporativo directo
- Enfriamiento del suelo
- Enfriamiento de espacios exteriores<sup>35</sup>

---

<sup>33</sup> Givoni, B. (1994). *Passive and Low Energy Cooling of Buildings*. Nueva York, E.U. John Wiley and Sons, Inc.

<sup>34</sup> Kamal, M. A. (2012). *An Overview of Passive Cooling Techniques in Buildings: Design Concepts and Architectural Interventions*. *Acta Technica Napocensis: Civil Engineering & Architecture* 55 (1), 84 - 97

<sup>35</sup> Givoni, B. (1994). *Passive and Low Energy Cooling of Buildings*. Nueva York, E.U. John Wiley and Sons, Inc.

La chimenea de viento y la chimenea solar funcionan bajo los principios de la ventilación natural.

#### 2.2.5.1. Chimenea solar

La chimenea solar es un sistema pasivo de ventilación que tiene por objetivo reducir la ganancia de calor en el interior de un espacio o edificación, utilizando la radiación solar para generar un flujo de aire conductivo. Éste disipa el exceso de calor mejorando el confort térmico y la calidad del aire interior<sup>36</sup>.

##### 2.2.5.1.1. Funcionamiento

Una chimenea solar trabaja por medio del “Efecto acumulativo de ventilación” (Stack Effect), que se produce cuando existe una diferencia de temperatura del aire entre el interior y el exterior del edificio. La chimenea solar consta principalmente de los siguientes elementos: un canal abierto en la edificación por donde circule el aire, una superficie absorbente y una cubierta de vidrio. Estos elementos se colocan en la parte superior del techo o en una fachada vertical, siempre orientada hacia donde más energía solar se reciba<sup>37</sup>.

En ambos diseños, la energía solar se transmite a través del acristalamiento y luego es absorbida por el muro de absorción. La placa de material absorbente recibe la energía del sol, transmitida a través del área acristalada, y calienta el flujo de aire que pasa a través del canal por medio de convección y radiación<sup>38</sup>. El calentamiento del flujo de aire reduce su densidad y el gradiente de densidad, aumenta la diferencia entre las temperaturas del canal de la chimenea y la habitación interior, lo que provoca convección natural. Los flujos convectivos extraen el aire del interior del espacio y

---

<sup>36</sup> Xamán, J., et al. (2019). Solar chimneys with a phase change material for buildings: An overview using CFD and global energy balance. *Energy and Buildings* (186) 384 – 404. Elsevier

<sup>37</sup> Bansal, N. et al. (1993). Solar Chimney for Enhanced Stack Ventilation. *Building and environment* (28) 373 - 377. Elsevier

<sup>38</sup> López, J. (2017). Estudio Teórico de una Chimenea Solar con Diferentes Placas Absorbedoras (Tesis de Maestría). Centro Nacional de Investigación y Desarrollo tecnológico. Cuernavaca, Morelos.

disipan el exceso de calor debido a un mayor movimiento aire que se dirige hacia el exterior por el techo de la edificación<sup>39</sup>, como se muestra en la Figura 3.

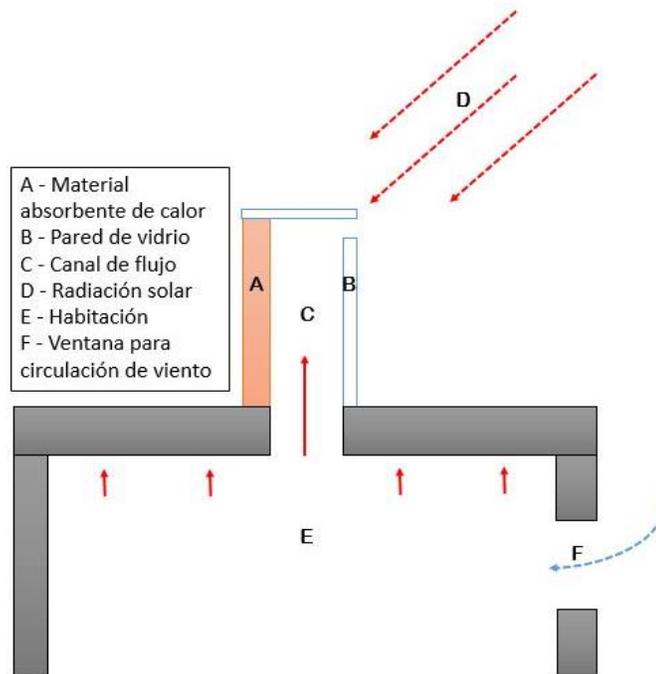


Figura 3. Esquema del funcionamiento de la chimenea solar.  
Fuente: elaboración propia

#### 2.2.5.1.2. Clasificación

Existen dos grupos de clasificación, según su ubicación (en una fachada vertical o en el techo) y según su uso:

Uso Diurno: Se caracterizan por contener una placa absorbente metálica oscura, de baja capacidad calorífica específica, debido a que por lo general se construyen donde la edificación es de materiales ligeros y la radiación recibida durante el día es bastante. Produce tanta ventilación natural como la cantidad de radiación solar recibida. Se recomienda su uso para zonas de clima tropical.

<sup>39</sup> Xamán, J., et al. (2019) Transient thermal analysis of a solar chimney for buildings with three different types of absorbing materials: Copper plate/PCM/concrete wall. Renewable Energy (136) 139 – 158. Elsevier

Uso Nocturno: Se caracterizan por estar compuestas por una placa de mayor capacidad de almacenamiento de calor, como el concreto. Esta placa recolecta y absorbe las ganancias de calor del día y las libera por la noche, generando ventilación nocturna. Se recomienda para edificios de construcción pesados y en climas cálidos, ya que la ventilación diurna que genera no es tan eficiente<sup>40</sup>.

#### 2.2.5.2. Chimenea de viento

Este sistema pasivo de ventilación conocido como chimenea de viento, torre de vientos, catavientos o torre eólica, es un elemento arquitectónico ecológico que por medio de ventilación natural introduce el flujo de aire exterior, en el interior de construcciones residenciales. La forma y la estructura interna de la chimenea de viento tradicional, además de alterar la velocidad del flujo de aire que ingresa al sistema y la capacidad de enfriamiento del edificio, también indicaba la dignidad, la riqueza y la posición social del propietario de la casa<sup>41</sup>. Tradicionalmente, la chimenea de viento se ha utilizado en países del Golfo Pérsico como Irán, Irak, Qatar y Emiratos, así como en la región del norte de África como Egipto y Argelia<sup>42</sup>. La primera evidencia histórica de una chimenea de viento se encontró en Tappeh Chackmaq cerca de Shahrood, Irán, que se remonta a 4000 A.C.<sup>43</sup>.

Hoy en día, las chimeneas de viento son diseñadas de diferentes alturas, números de aberturas y posiciones de instalación, ya que los cambios en la dirección y velocidad del viento pueden tener un impacto en el funcionamiento del sistema y calidad de resultados<sup>44</sup>.

##### 2.2.5.2.1. Funcionamiento

La chimenea de viento hace uso de la ventilación natural que actúa como una

---

<sup>40</sup> Ibid.

<sup>41</sup> Liu, S., Mak, C.M., y Niu, J. (2010). Numerical evaluation of louver configuration and ventilation strategies for the windcatcher system. *Building and Environment* (46), 1600 -1616. Elsevier

<sup>42</sup> Nejat, P. et al. (2016). Anti-short-circuit device: A new solution for short-circuiting in windcatcher and improvement of natural ventilation performance. *Building and Environment*, (105), 24 - 39. Elsevier.

<sup>43</sup> Ibid

<sup>44</sup> Liu, S., Mak, C.M., y Niu, J. (2010). Numerical evaluation of louver configuration and ventilation strategies for the windcatcher system. *Building and Environment* (46), 1600 -1616. Elsevier

forma efectiva de enfriamiento y reducción del consumo de energía en los edificios<sup>45</sup>. Los principios de funcionamiento del sistema de ventilación natural de la torre de viento se basan principalmente en el efecto de la ventilación y el efecto de flotabilidad. Consta de un eje o canal con aberturas hacia el barlovento, y a su vez esta abertura genera presión en el sotavento, por lo que, durante el día, por el movimiento del viento externo al nivel del techo, se produce una presión positiva de un lado de la estructura (barlovento) y, al mismo tiempo, se produce una presión negativa del lado contrario (sotavento). Esta diferencia de presión es lo suficientemente grande para enviar aire fresco al espacio interior y extraer el aire contaminado y cálido. Durante la noche, en ausencia de movimiento de aire o en condiciones de poco viento, el dispositivo de captador de viento funciona utilizando la flotabilidad natural de las fuerzas térmicas como una chimenea, que se produce debido al gradiente de temperatura del aire entre el interior y el exterior de un edificio<sup>46</sup>, como se puede ver en el esquema de la Figura 4.

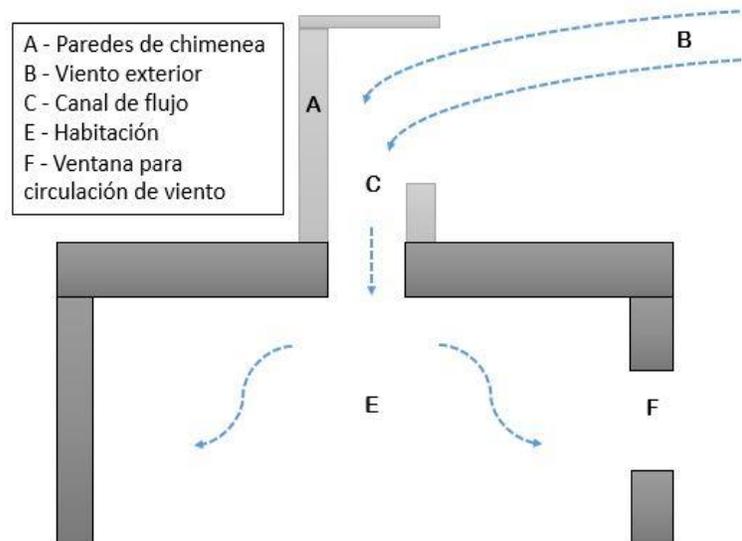


Figura 4. Esquema del funcionamiento de la chimenea de viento. Fuente: elaboración propia

<sup>45</sup> Ibid

<sup>46</sup> Jomehzadeh, F. (2017). A review on windcatcher for passive cooling and natural ventilation in buildings, Part 1: Indoor air quality and thermal comfort assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (70), 736 – 756. Elsevier.

#### 2.2.5.2.2 Clasificación

Generalmente se clasifican en dos grupos principales: chimeneas tradicionales y chimeneas modernas. Las torres tradicionales a su vez se clasifican en cinco grupos:

**Unilaterales:** Contiene solo una abertura en la torre, toman el viento de la abertura superior y lo canalizan hacia adentro. Después el aire sale por otra abertura de un edificio. Se utilizan normalmente en regiones donde el viento proviene de una sola dirección.

**Bilaterales:** Tiene dos aberturas y dos lados (opuestos entre sí), cada abertura en cada lado. Una abertura se utiliza como entrada para el aire fresco y otra extrae el aire caliente.

**Cuatro lados:** Éstas se utilizan en zonas donde el viento no proviene de una desde dirección específica. Se coloca una abertura en cada hemisferio, recibiendo viento desde los cuatro puntos cardinales.

**Seis y Ocho lados:** Contienen en su interior secciones transversales, hexagonales y octagonales. No suelen usarse en edificaciones residenciales y con frecuencia se construyen sobre cisternas de agua, especialmente en regiones cálidas y áridas de Irán.

**Cilíndricos:** Se considera como la última generación de catavientos tradicionales. La aplicación de los colectores cilíndricos es limitada y se pueden encontrar algunos ejemplos de este tipo en Irán y Dubai<sup>47</sup>.

En cuanto a las chimeneas de viento modernas, suelen ser adaptaciones de las chimeneas tradicionales y cuyo desarrollo sirve para aprovechar las ventajas de las originales y eliminar o evitar sus limitaciones, implementando nuevas tecnologías y materiales de construcción.

---

<sup>47</sup> Ibid.

### 2.2.6. Confort térmico

Confort térmico se puede definir como “una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”<sup>48</sup>. Es decir, se refiere a un estado óptimo del ser humano en el cual convergen una situación de bienestar, salud y comodidad, implicando la ausencia de cualquier sensación térmica de incomodidad en el espacio<sup>49</sup>.

En la construcción, se habla de la complejidad de este concepto y se hace énfasis en su análisis, debido que es un factor importante en la edificación; ya que la carencia de las condiciones térmicas adecuadas en un espacio o los límites aceptables del confort térmico afecta negativamente tanto la salud de sus usuarios, como la productividad laboral y/o desempeño cotidiano, reduciéndolo de un 5% hasta un 7% <sup>50</sup>.

La Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) pretende, en su “Estándar 55: condiciones ambientales térmicas para la ocupación humana”, especificar y estandarizar la combinación de factores que producen las condiciones ambientales térmicas aceptables para el 80% o más de los usuarios dentro de un espacio. Dicho estándar propone que la sensación térmica es influenciada por dos factores personales (actividad y vestimenta) y cuatro factores ambientales (temperatura, radiación térmica, humedad y velocidad del aire), basándose en el modelo de equilibrio térmico del ser humano<sup>51</sup>.

Para establecer este estándar, la ASHRAE propone una “zona de confort”, la cual se dibuja en una tabla psicrométrica convencional, y en ella se especifican límites de temperatura del aire y humedad. Esta zona de confort fue creada principalmente para evaluar el confort en edificios de oficinas acondicionadas, sin embargo, también se utiliza para evaluar edificios residenciales y como base para estructurar tablas

---

<sup>48</sup> International Organization for Standardization (ISO) 7730, 2005, p.1

<sup>49</sup> Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. New York: Van Nostrand Reinhold

<sup>50</sup> Niemela, R., et al (2002). The effect of air temperature on labour productivity in call centres – a case of study. *Energy and Buildings* (34), 759 – 764. Elsevier

<sup>51</sup> de Dear, R. y Brager, G. (2002). Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings* (34) 549–561. Elsevier

bioclimáticas<sup>52</sup>. A su vez, la zona de confort se basa en los valores de PMV (voto medio previsto) y de PPD (Porcentaje de personas insatisfechas), derivados de la ecuación de confort propuesta por Povl Ole Fanger.

Sin embargo, se considera que el confort térmico es un concepto complejo en el que intervienen múltiples factores, relacionados tanto al clima de la región, como a características propias de la construcción o del usuario<sup>53</sup>. Por lo que algunos autores se han dado a la tarea de proponer tablas de factores y parámetros que influyen en el confort térmico. Como ejemplo se muestra la siguiente tabla propuesta por el Dr. Chávez del Valle<sup>54</sup>.

Tabla 1. Parámetros y factores del confort<sup>55</sup>.

Factores	Ambientales	Exteriores	Temperatura del aire
			Temperatura radiante
			Humedad relativa
			Velocidad del aire
	Personales	Fisiológicos y contributivos	Sexo
			Edad
			Peso
			Tasa de metabolismo Basal y Muscular
			Estado de salud
			Intercambio de calor por ingestión de bebidas y alimentos
Historial térmico inmediato y mediato			

<sup>52</sup> Givoni, B. (1998). Climate considerations in building and urban design. New York: Van Nostrand Reinhold

<sup>53</sup> Morales, A. (2006). Evaluación del Comportamiento Térmico y Condiciones de Confort en la Vivienda, Empleando Diferentes Materiales (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida.

<sup>54</sup> Chávez, F. (2002). Zona Variable de Confort Térmico. (Tesis doctoral) Universidad Politécnica de Catalunya

<sup>55</sup> Ibid.

			Tiempo de permanencia
			Variabilidad temporal y espacial de los estímulos físicos ambientales
		Socioculturales y fisiológicos	Tipo de vestimenta
			Expectativas de confort
			Contacto visual con el exterior
		Paramétricos	Ambientales
Temperatura radiante			
Humedad relativa			
Velocidad del aire			
Arquitectónicos	Adaptabilidad del espacio		Movilidad del ocupante dentro del espacio
			Modificación de elementos y dispositivos de control ambiental

Debido a esto, en la actualidad existe una corriente alternativa de la percepción térmica, la cual establece que existen otros factores más allá de los físicos y fisiológicos fundamentales previamente mencionados, que también forman parte de las expectativas y preferencias térmicas de los usuarios. Esta teoría alternativa y complementaria es conocida como “modelo adaptativo”.

El modelo adaptativo sustenta que, aunque el modelo de equilibrio térmico incluye grados de adaptación conductual (como cambio de vestimenta o ajustar la velocidad de aire), no incluye la dimensión psicológica de la adaptación, la cual es de suma importancia en la edificación con ventilación natural. Por lo que este modelo propone que la sensación térmica de satisfacción y/o aceptabilidad, es afectada por la combinación de las expectativas personales y por la realidad, es decir que la

experiencia térmica puede ser alterada por las expectativas y por lo tanto la satisfacción y aceptación térmica también<sup>56</sup>.

Para la ciudad de Mérida, la zona de confort dentro de este modelo lo encontramos entre los 23° y 28° grados de temperatura, con un límite máximo de tolerancia de 90% de humedad, como se señala en la Figura 5.

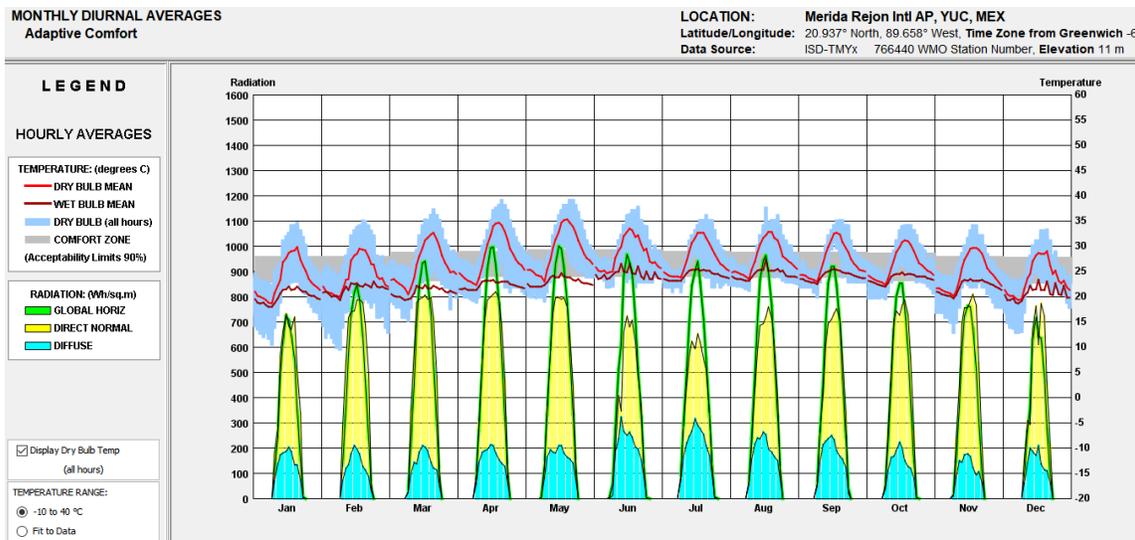


Figura 5. Gráfica del modelo de confort adaptativo para Mérida Yucatán<sup>57</sup>.

Los números del lado izquierdo de la gráfica indican la cantidad de radiación que se recibe en la ciudad de Mérida en el mes seleccionado, los números del lado derecho indican la temperatura alcanzada y debajo tenemos los meses en los cuales se alcanza esa temperatura y/o esa radiación. De igual manera nos señalan el tipo de radiación que se recibe, por ejemplo, de color turquesa tenemos la radiación difusa, de color amarillo es la radiación normal directa y de color verde tenemos la radiación de horizonte global.

<sup>56</sup> de Dear, R. y Brager, G. (2002). Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. Energy and Buildings (34) 549–561. Elsevier.

<sup>57</sup> UCLA Energy Design Tools Group. (1976). Climate Consultant 6.0. (version 16, 2020).

### 2.2.7. Dinámica computacional de fluidos (CFD)

El análisis de sistemas que implican flujo de fluidos, transferencia de calor y fenómenos asociados, como las reacciones químicas, mediante simulación por computadora, es conocido como Dinámica de Fluidos Computacional (CFD). Dicha técnica abarca una amplia gama de áreas de aplicación industrial y no industrial<sup>58</sup>.

Dentro del campo de la dinámica de fluidos computacional, se tiene como objetivo final comprender los eventos físicos que ocurren en el flujo de fluidos alrededor y dentro de los objetos a estudiar. Estos eventos están relacionados con la acción e interacción de fenómenos como la disipación, la difusión, la convección, las ondas de choque, las superficies de deslizamiento, las capas límite y la turbulencia<sup>59</sup>.

Los resultados del túnel de viento obtenidos en un laboratorio y los resultados dinámicos del fluido computacional son directamente análogos, debido a que ambos son herramientas que representan conjuntos de datos para configuraciones de flujo. Sin embargo, una de las grandes e importantes diferencias entre estas dos técnicas, es que, a diferencia del túnel de viento, (que generalmente es un dispositivo pesado y difícil de manejar) CFD es un programa práctico que permite realizar experimentos numéricos desde una computadora<sup>60</sup>.

Respecto a las características de los estudios de ventilación natural, aunque por lo general se emplean métodos analíticos y experimentos de laboratorio a escala, en los últimos años se ha adoptado la dinámica de fluidos computacional (CFD) para el estudio de los patrones de flujo de aire interior y la distribución de partículas en el estudio del aire en edificios y alrededor de ellos, ya que tiene la capacidad proporcionar información detallada sobre el

---

<sup>58</sup> Versteeg, H. y Malalasekera, W. (1995) An introduction to Computational Fluid Dynamics. Inglaterra. Pearson Education Limited

<sup>59</sup> Lomax, H., Pulliam, T.H., y Zingg D.W. (2003) Fundamentals of Computational Fluid Dynamics. Estados Unidos. Springer

<sup>60</sup> Anderson, J. (1995). Computational fluid dynamics: the basics with applications. Estados Unidos. McGraw-Hill

perfil de velocidad y la concentración de partículas. Este programa utiliza el método de volumen finito con un sistema de cuadrícula escalonada para resolver numéricamente las ecuaciones Navier-Stokes (es decir, las balanzas de masa, energía y momento) empleadas para calcular la distribución de partículas y patrones de flujo de aire.

En cuanto a los códigos CFD, están estructurados en torno a algoritmos numéricos que pueden abordar problemas de flujo de fluidos. Para proporcionar un fácil acceso a su poder de resolución, todos los paquetes CFD comerciales incluyen sofisticadas interfaces de usuario para ingresar parámetros de problemas y examinar los resultados. Por lo tanto, todos los códigos contienen tres elementos principales: Un preprocesador, un solver y un post procesor<sup>61</sup>.

Se puede concluir que la dinámica computacional de fluidos (CFD) se ha convertido en los últimos años en la herramienta predilecta para el estudio del flujo y ventilación de aire.

## **2.3. Estado del arte**

### **2.3.1. Casos de estudio**

En los últimos años, el interés por la ventilación natural ha incrementado considerablemente en el campo del diseño de edificaciones sustentables, debido a que se han analizado diferentes estudios sobre su rendimiento, y como parte de los resultados se demostró que este elemento (con especificaciones propias para el caso de estudio) proporcionó una tasa de flujo de aire significativamente mayor que en un área equivalente ventilada por una ventana que se puede abrir<sup>62</sup>.

En la literatura encontramos un amplio acervo de cómo se han obtenido resultados, que tipo de softwares se han utilizado y que manera de comprobación es más eficiente. Ya sea mediante la realización de mediciones de temperaturas con modelos de túneles

---

<sup>61</sup> Blazek, J., (2005). Computational fluid dynamics: principles and applications. Inglaterra. Elsevier

<sup>62</sup> Santamouris, M. (2007) Advances in Passive. Inglaterra, Earthscan.

de viento y entrevistas con residentes anteriores, por medio de la realización de un modelado térmico dinámico a escala, y utilizando datos históricos del clima, o por medio de la captura de datos ingresados a softwares especializados en dinámica de fluidos computacional CFD.

#### 2.3.1.1. Casos de estudio de la chimenea solar

El investigador Bansal realizó uno de los primeros estudios teóricos de una chimenea solar, observó que el área del colector dependerá del número del cambio de aire por hora (ACH) requerido, es decir, del área de la habitación a ventilar. Así mismo, descubrió que las tasas de ventilación aumentan en relación con el tamaño de la chimenea y que el caudal volumétrico aumenta a medida que aumenta la radiación solar. De igual manera propuso un tamaño óptimo de chimenea solar (2.25 m<sup>3</sup>) y de colector solar (1.5m X 1.5m X 0.15m) en superficie horizontal con 30° de inclinación y .15 m de separación entre la superficie, para una habitación de 64 m<sup>3</sup> y con una radiación de entre 200 y 1000 W/m<sup>2</sup>. Dicha combinación permitió de 3 a 6 ACH<sup>63</sup>.

El investigador Xamán y su equipo realizaron un análisis de transferencia de calor conjugado para la chimenea solar con tres tipos de materiales absorbentes, y tres tipos de orientaciones, tomando como base el día más cálido de Madrid, España; en el cual consideraron las ganancias y/o pérdidas convectivas y radiativas del entorno exterior. Para los materiales absorbentes de la chimenea analizaron: uno de placa ligera (cobre), otro de un material de cambio de fase (PCM 46-50) y por último, de muro pesado (hormigón). Y en cuanto a las orientaciones: este (de 7:00hrs a 12:00 hrs), sur (8:00hrs a 18:00hrs) y oeste (12:30hrs a 18:00hrs).

Basándose en el análisis numérico de transferencia de calor, en el estudio se concluyó que:

La chimenea con una placa de cobre mostró las tasas de flujo másico más altas; 0.016 k/s en la orientación este, 0.019 k/s en la orientación oeste y 0.016 kg/s para la

---

<sup>63</sup> Bansal, N. et al. (1993). Solar Chimney for Enhanced Stack Ventilation. Building and environment (28) 373 – 377. Elsevier

orientación sur. De igual manera demostró una mejor eficiencia térmica en un 34% en la orientación este y sur, y 27% en la orientación oeste.

La chimenea con un material de cambio de fase (PCM) mostró una mayor tasa de flujo másico respecto a la configuración de chimenea con material absorbente de hormigón, pero menor que la configuración de cobre, siendo 0.014 kg/s orientación este, 0.017 kg/s orientación oeste y 0.0153 kg / s orientación sur. En cuanto a su eficiencia térmica, es de 28% orientación este, 19.8% orientación oeste y 27% para orientación sur.

La chimenea con muro de hormigón demostró los valores más bajos tanto en flujo másico como en eficiencia térmica. Finalmente, observaron que el material de cambio de fase (PCM) no cambia su fase y permanece en la zona blanda para las orientaciones este y sur, y alcanza su punto de fusión en aproximadamente de 30 a 45 min para las tres orientaciones. Sin embargo, el PCM cambió su fase a un estado líquido en 135 minutos en orientación oeste<sup>64</sup>.

#### 2.3.1.2. Casos de estudio de la chimenea de viento

En un reconocido estudio se investigó el rendimiento de la ventilación de un atrapador de viento en diferentes ángulos de viento (de 0 a 90). La medición fue por medio de túneles de viento. Se realizó un modelo a escala reducida a 1:50 de una chimenea de viento bilateral en la ciudad de Yazd en Irán. Los resultados demostraron que los ángulos de transición de la ventana de la casa y la apertura del viento para todas las velocidades del viento ocurrieron en ángulos de viento de 39° y 55° grados, respectivamente. Se concluyó que la tasa de ventilación es más alta cuando el viento es perpendicular a la abertura del colector<sup>65</sup>.

El investigador Elmualim llevó a cabo experimentos en túneles de viento, pruebas de visualización de humo y modelado de CFD para revelar cómo los mecanismos de control de aire y las fuentes de calor en interiores afectaron el rendimiento del sistema

---

<sup>64</sup> Xamán, J., et al. (2019) Transient thermal analysis of a solar chimney for buildings with three different types of absorbing materials: Copper plate/PCM/concrete wall. *Renewable Energy* (136) 139 – 158. Elsevier

<sup>65</sup> Nejat, P. et al. (2016). Anti-short-circuit device: A new solution for short-circuiting in windcatcher and improvement of natural ventilation performance. *Building and Environment*, (105), 24 - 39. Elsevier.

de la torre de viento. El estudio encontró que la presencia de fuentes de calor en el interior de las edificaciones equipadas con una chimenea de viento disminuirá la temperatura interna de acuerdo con la temperatura externa<sup>66</sup>.

Una investigación en Reino Unido liderada por Jomehzadeh se centró en la calidad del aire interior (IAQ), y el confort térmico. Dichos estudios evaluaron la IAQ en función de varios parámetros, como el caudal de aire, la tasa de cambio de aire, la concentración de CO<sub>2</sub>, la efectividad del cambio de aire y la media del aire. Los resultados revelaron que se logra una IAQ satisfactoria con la torre de viento. De igual manera se encontró que la ventilación nocturna era efectiva en condiciones de clima templado y frío, mientras que, para climas cálidos, era necesario un enfriamiento adicional evaporativo<sup>67</sup>.

Un estudio liderado por Haw evaluó el rendimiento de la ventilación de un receptor de viento con un techo en forma de Venturi (para proporcionar una presión negativa considerable para inducir el movimiento del aire) en climas cálidos y húmedos de Malasia utilizando CFD y métodos experimentales. Los resultados obtenidos mostraron que a una velocidad de aire exterior baja de 0.1 m / s, se podía suministrar flujo de aire a 57 cambios de aire por hora dentro del edificio. Además, se observó que la velocidad del aire interior estaba entre el rango de 0.05 m/s y 0.45 m/s. El estudio demostró la capacidad de un receptor de viento para lograr una calidad de aire interior adecuada y mejorar el confort térmico de los habitantes en climas cálidos y húmedos<sup>68</sup>.

Los investigadores Kirk y Kolokotroni llevaron a cabo pruebas de tasa de cambio de aire aplicando el método de descomposición de gas trazador en tres edificios operativos instalados con sistemas de chimenea de viento. Los resultados mostraron que las tasas de intercambio de aire están relacionadas con la velocidad del viento. Sin embargo, para velocidades de viento bajas, se encontró una correlación entre la

---

<sup>66</sup> Liu, S., Mak, C.M., y Niu, J. (2010). Numerical evaluation of louver configuration and ventilation strategies for the windcatcher system. *Building and Environment* (46), 1600 -1616. Elsevier

<sup>67</sup> Jomehzadeh, F. (2017). A review on windcatcher for passive cooling and natural ventilation in buildings, Part 1: Indoor air quality and thermal comfort assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (70), 736 – 756. Elsevier.

<sup>68</sup> Nejat, P. et al. (2016). Anti-short-circuit device: A new solution for short-circuiting in windcatcher and improvement of natural ventilation performance. *Building and Environment*, (105), 24 - 39. Elsevier.

tasa de intercambio del flujo de aire y la diferencia de temperatura externa interna, lo que indica el efecto de las fuerzas de flotación.

El investigador Bahadori y su equipo afirmaron que el principal beneficio de este elemento es que explota la energía eólica renovable para su operación, por lo que es considerablemente más rentable y más saludable. Dentro de sus beneficios Además de mejorar la comodidad humana, tienen un bajo costo de mantenimiento debido a que no tienen partes móviles, capturan y suministran aire limpio y fresco al nivel del techo en comparación con las ventanas de bajo nivel<sup>69</sup>.

### 2.3.2. Alternativas sustentables para la vivienda de interés social en el estado de Yucatán.

El objetivo fundamental de la vivienda es ser un elemento en el cual se pueda contener la unidad social básica llamada familia y que a su vez provea a estos habitantes protección, higiene, privacidad y comodidad suficiente para el desarrollo de éstos. Sin embargo, una vivienda adecuada no solo se conforma de estos aspectos, sino que también significa disponer de un lugar privado, espacio suficiente, accesibilidad física, seguridad adecuada, seguridad de tenencia, estabilidad y durabilidad estructural, iluminación, calefacción y ventilación suficiente, una infraestructura básica adecuada que incluya servicios de abastecimiento de agua, saneamiento y eliminación apropiada de desechos, un emplazamiento adecuado y con acceso al trabajo y a los servicios básicos, todo ello a un costo razonable<sup>70</sup>. A pesar de lo establecido, el confort térmico por lo general no es un producto que venga incluido en la edificación, sin embargo, es un objetivo el cual se debe lograr por encima de las condiciones del ambiente y preferentemente por medio de la adaptación a éstas<sup>71</sup>.

En la actualidad, dentro de nuestra región existen diferentes alternativas sustentables para contribuir a la reducción de la huella ecológica que dejan

---

<sup>69</sup> Liu, S., Mak, C.M., y Niu, J. (2010). Numerical evaluation of louver configuration and ventilation strategies for the windcatcher system. *Building and Environment* (46), 1600 -1616. Elsevier

<sup>70</sup> Congreso del Estado de Yucatán (1 abril 2010). Ley de Vivienda del Estado de Yucatán. México: Congreso del Estado de Yucatán.

<sup>71</sup> García, J. (1994). Diseño Bioclimático para ahorro de energía y confort ambiental integral. México: Universidad Autónoma Metropolitana.

nuestras viviendas. En el 2011 se aprobó en el estado de Yucatán la Ley de Vivienda, la cual instituye que las viviendas otorgadas por medio de programas de gobierno del estado y los ayuntamientos, deber promover la sustentabilidad y la calidad de estas viviendas, abriendo paso al desarrollo, aplicación y evaluación de normas, tecnologías y procesos constructivos innovadores que reduzcan los costos de construcción y operación, eleven la calidad de la vivienda y permitan la generación de unidades y complejos habitacionales que sean ambiental y económicamente sustentables<sup>72</sup>.

Una de estas alternativas son los créditos con hipoteca verde de INFONAVIT. La hipoteca verde consiste en que todas las viviendas financiadas por este instituto pueden solicitar crédito adicional, que forma parte del crédito para la vivienda, que se utiliza para la aplicación de ecotecnologías dentro de la vivienda, como accesorios ahorradores de agua, luz y gas. Estas alternativas de construcción, además de contribuir al medio ambiente, aseguran en teoría un ahorro promedio de entre 100 y 400 pesos mensuales en consumo energético, dependiendo del clima y de la región<sup>73</sup>.

Sin embargo, a pesar de estas medidas, la arquitectura y el urbanismo de hoy en día se rigen por medio de criterios que no satisfacen la premisa fundamental del hábitat del hombre y en la búsqueda por lograr esta premisa, se ha distorsionado su concepción verdadera, desviándose a la búsqueda de necesidades innecesarias<sup>74</sup>. Aunado a esta situación, las estrategias implementadas hasta el día de hoy, no abarcan en su totalidad a las viviendas del estado, debido a que estos planes no son dirigidos a todo público y ni bajo cualquier

---

<sup>72</sup> Ibid. Congreso del Estado de Yucatán (1 abril 2010). Ley de Vivienda del Estado de Yucatán. México: Congreso del Estado de Yucatán.

<sup>73</sup> GIZ – INFONAVIT. (2011). Estudio de optimización de la eficiencia energética en las viviendas de interés social. Recuperado de:  
[http://www.conalep.edu.mx/academicos/Documents/eficiencia\\_energetica/material/estudio-optimizacion-energetica-viviendas-social.pdf](http://www.conalep.edu.mx/academicos/Documents/eficiencia_energetica/material/estudio-optimizacion-energetica-viviendas-social.pdf)

<sup>74</sup> Garcia, J. y Fuentes, V. (2005). Viento y Arquitectura. México: Trillas.

circunstancia. Se requiere de una serie de requisitos y de una situación específica para poder ser parte del cambio sustentable en la vivienda.

En las últimas décadas se ha hecho énfasis en la relación que existe entre vivienda social y eficiencia energética como factor determinante para el cuidado del medio ambiente. La eficiencia energética se puede mejorar por medio de estrategias constructivas tanto en obras existentes como en obra nueva. Las estrategias pueden ser desde materiales constructivos, orientación de la construcción, asoleamiento, ventilación, uso de fuentes de energía renovables, entre otras. Sin embargo, estas tácticas por sí mismas no bastan para mejorar el aprovechamiento de energía en una edificación, debido a que difícilmente las edificaciones trabajan aisladamente y su comportamiento respecto al uso de la energía sigue siendo de suma importancia<sup>75</sup>.

## **2.4. Conclusiones de la revisión de la literatura**

En general, la chimenea solar es un elemento de enfriamiento pasivo que trae consigo varios beneficios en la edificación. Dentro de ellos encontramos la producción de ventilación natural como estrategia pasiva de refrigeración; que, a su vez, ayuda a reducir el consumo de energía eléctrica, las emisiones de dióxido de carbono y la contaminación. De igual manera se pueden incluir beneficios en términos de confort térmico y psicológico. Estos beneficios pueden ser aplicados en la vivienda de interés social, debido a que este elemento permite la ventilación aun dentro de espacios estrechos y reducidos y aun costo menor.

Sin embargo, la practicidad, la desinformación y la tradición de la aplicación del aire acondicionado como remedio para la refrigeración de espacios, ha generado un rezago en la implementación y/o investigación de esta práctica pasiva como método de acondicionamiento térmico.

---

<sup>75</sup> Aguilar, F. (2015). Eficiencia energética en edificaciones. Barreras y oportunidades en la vivienda social de La paz, Baja California Sur. México: UNAM.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Enfoque y alcance de la investigación

Debido a que se propone un componente enfriador pasivo en el interior de la vivienda de interés social, como elemento auxiliar para la mejora de la ventilación natural, el enfoque de la investigación es de carácter cuantitativo. Se recolectó y analizó información cuantitativa mediante mediciones numéricas por medio de la definición de parámetros de diseño, de ubicación (dentro de la vivienda), de materiales, y de orientación para el funcionamiento adecuado de este elemento. Se recurrió al método de simulación digital para la comprobación de los resultados de las alternativas de diseño del enfriador pasivo.

Para lo cual se estipulan las siguientes variables:

Tabla 2. Descripción de variables dependientes e independientes. Fuente: elaboración propia.

Componente enfriador pasivo	
VARIABLES DEPENDIENTES	VARIABLES INDEPENDIENTES
<ul style="list-style-type: none"><li>• Velocidad del viento dentro de la vivienda.<ul style="list-style-type: none"><li>○ Sumatoria de la velocidad de viento que ingresa por cada ventana y puerta de la vivienda.</li><li>○ Flujo que circula en el interior de la vivienda</li></ul></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Diseño<ul style="list-style-type: none"><li>○ Altura</li><li>○ Base</li></ul></li><li>• Ubicación<ul style="list-style-type: none"><li>○ Dentro de cada habitación</li><li>○ Respecto a cada habitación</li></ul></li><li>• Orientación<ul style="list-style-type: none"><li>○ De la chimenea de viento</li><li>○ De la chimenea solar</li></ul></li><li>• Ángulo de pared de ala</li><li>• Ángulo de ASCD<ul style="list-style-type: none"><li>○ Inferior</li><li>○ Superior</li></ul></li><li>• Rejillas<ul style="list-style-type: none"><li>○ Frontales</li><li>○ Laterales</li></ul></li></ul>

Sin embargo, el propósito principal es el desarrollo tecnológico, por medio del diseño de una propuesta de componente constructivo que permita mejorar el confort térmico en las viviendas ubicadas en un clima cálido subhúmedo.

## **3.2. Diseño de la investigación**

El diseño de esta investigación es experimental, debido a que se manipularon más de una variable independiente para observar sus efectos en relación a más de una variable dependiente. Este experimento es un estudio de caso el cual, mediante un software de simulación analiza condiciones de un caso en específico. Se pretende comprender el impacto que generarían las dimensiones y ubicación del elemento enfriador pasivo, dentro de la vivienda y respecto a la velocidad que obtenga el viento, la temperatura y la humedad. Estos datos arrojarán información numérica y medible para predecir el comportamiento de las variables, con lo que se evaluó la viabilidad del enfriador pasivo en el contexto local por medio de encuestas dirigidas a diferentes ámbitos del sector de la construcción.

### **3.2.1. Sujeto de estudio**

Para la elección del caso de estudio se consideró un módulo de vivienda que cuenta con las especificaciones correspondientes a las de una vivienda promedio de interés social de Mérida, Yucatán. La Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI), establece en su Código de Edificación de Vivienda (CEV) que las viviendas se pueden clasificar de las siguientes maneras<sup>76</sup>:

---

<sup>76</sup> Código de Edificación de Vivienda 3ª edición (2017)

Tabla 3. Clasificación de viviendas por precio promedio<sup>77</sup>.

PROMEDIOS	ECONÓMICA	POPULAR	TRADICIONAL	MEDIA	RESIDENCIAL	RESIDENCIAL PLUS
Superficie construida promedio (en m <sup>2</sup> ):	40	50	71	102	156	más de 188
Costo promedio:						
Unidad de medida de actualización (UMA)	hasta 118	de 118.1 a 200	de 200.1 a 350	de 350.1 a 750	de 750.1 a 1,500	mayor de 1,500
Número de cuartos y cajones de estacionamiento	1 Baño Cocina Área de usos múltiples	1 Baño Cocina Estancia-comedor De 1 a 2 recámaras 1 cajón de estacionamiento	1 y ½ Baños Cocina Estancia-comedor De 2 a 3 recámaras 1 cajón de estacionamiento	2 Baños Cocina Sala Comedor De 2 a 3 recámaras Cuarto de servicio 1 a 2 cajones de estacionamiento	De 3 a 4 baños Cocina Sala Comedor De 3 a 4 recámaras Cuarto de Servicio Sala familiar 2 o 3 cajones de estacionamiento	De 3 a 5 baños Cocina Sala Comedor De 3 a más recámaras De 1 a 2 cuartos de servicio Sala familiar Más de 3 cajones de estacionamiento Gimnasio Salón de juegos Jardín

Tabla 4. Clasificación de viviendas por forma de construcción<sup>78</sup>.

A)	Por un desarrollador o encargo a un profesionalista
B)	Realizado por el propietario
C)	Mediante asociaciones o formación de grupos

Tabla 5. Clasificación de viviendas por número de viviendas por lote<sup>79</sup>.

<b>Vivienda Unifamiliar</b>	
A)	Un nivel
B)	Dos niveles
<b>Vivienda Plurifamiliar</b>	
C)	Duplex
D)	Un nivel
E)	Dos niveles
F)	Cinco niveles
G)	+ de 5 niveles

<sup>77</sup> ibid

<sup>78</sup> Ibid.

<sup>79</sup> Ibid.

Para este estudio de caso y con base en esta calificación, se seleccionó una vivienda que cumple con las características de una vivienda popular plurifamiliar dúplex (en donde la construcción está destinada para alojar dos familias en un mismo predio, si bien cada familia tiene su propia vivienda, la construcción comparte un muro divisorio entre las viviendas), conforme al Código de Edificación de la Vivienda de la CONAVI. El módulo es de una planta y consta de cocina, sala y comedor corrido, un baño, y dos recámaras; con sus respectivas dimensiones mínimas requeridas como se estipula en el apartado de funcionalidad de espacios, sección 807, del Código de Edificación de Vivienda<sup>80</sup>, y como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Dimensiones libres mínimas para espacios habitables y auxiliares<sup>81</sup>.

ESPACIO HABITABLE	ÁREA MÍNIMA	LADO MÍNIMO
Estancia	7.29 m <sup>2</sup>	2.70 m
Comedor	4.41 m <sup>2</sup>	2.10 m
Recámara*	7.29 m <sup>2</sup>	2.70 m
Alcoba	3.60 m <sup>2</sup>	2.00 m
<b>Espacio auxiliar</b>		
Cocina	3.30 m <sup>2</sup>	1.50 m
Baño	2.73 m <sup>2</sup>	1.30 m
½ Baño rectangular	1.69 m <sup>2</sup>	1.30 m
½ Baño alargado	1.44 m <sup>2</sup>	0.80 m
Lavandería	2.56 m <sup>2</sup>	1.60 m
Patio	1.96 m <sup>2</sup>	1.40 m
Patio-lavandería**	2.66 m <sup>2</sup>	1.40 m
<b>Espacios superpuestos</b>		
Estancia-comedor	12.00 m <sup>2</sup>	2.70 m
Estancia-comedor-cocina	14.60 m <sup>2</sup>	2.70 m

Se encuentra ubicada en el fraccionamiento social “Piedra de Agua”, en Itzincab, comisaría localizada a las afueras del sur de la ciudad de Mérida. La superficie construida es de 45 m<sup>2</sup> con un área total de ventanas de 6.58 m<sup>2</sup> equivalente a 14% de su superficie interior. En cuanto a su construcción, está construida con placas de concreto armado, tanto en muros como en losas, con cimentación de mampostería de piedra asentada con mortero y una cadena de desplante de concreto, con acabados interiores y exteriores a dos capas. Las ventanas son de vidrio de 2mm de espesor y con un marco aluminio. En las Figuras 6A, 6B y 6C, podemos observar sobre su entorno y su apariencia.

<sup>80</sup> Código de Edificación de Vivienda 3ª edición (2017)

<sup>81</sup> Ibid.



Frente (A)



Interior (B)



Entorno (C)

Figuras 6A, 6B y 6C. Fotografías de la vivienda seleccionada como sujeto de estudio y su entorno.

Fuente: elaboración propia

El terreno de la vivienda es rectangular con dimensiones de 5.62 m. por 21.15 m. como se muestra en la Figura 7. La fachada principal se encuentra dirigida al norte y el acceso a la vivienda se sitúa sobre la arista orientada al oeste.

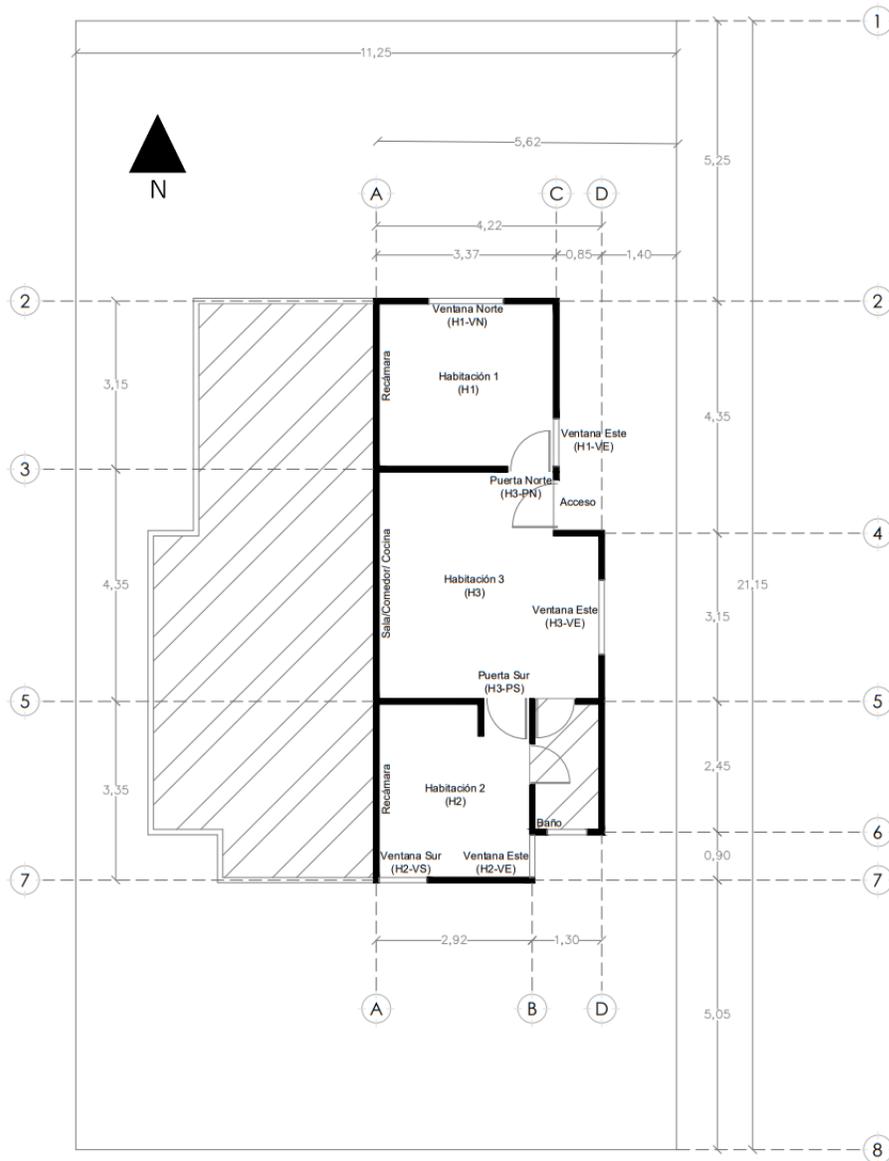


Figura 7. Plano arquitectónico de la vivienda seleccionada como sujeto de estudio.  
Fuente: elaboración propia.

El sujeto de estudio fue analizado bajo las condiciones climatológicas más desfavorables, es decir, en los días más calurosos (siendo éstos cuando el confort térmico dentro de la vivienda es más difícil de lograr). Para la ciudad de Mérida, los días más calurosos se encuentran en el mes de mayo y junio, dicha afirmación fue confirmada por tres medios, una fuente oficial de información<sup>82</sup>, por medio de un

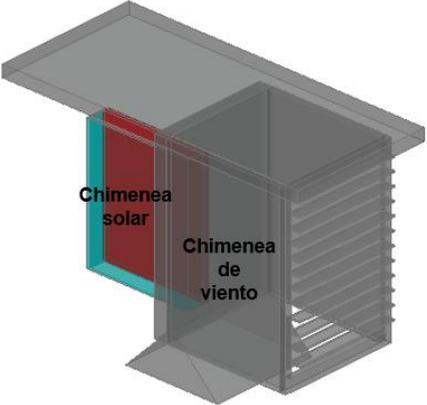
<sup>82</sup> Organismo de Cuenca de la Península de Yucatán de la Comisión Nacional del Agua (2018)

software de consulta climatológica<sup>83</sup>, y por medio de toma de mediciones térmicas físicas (ver apéndice 1 y 2).

### 3.2.2. Unidad de estudio

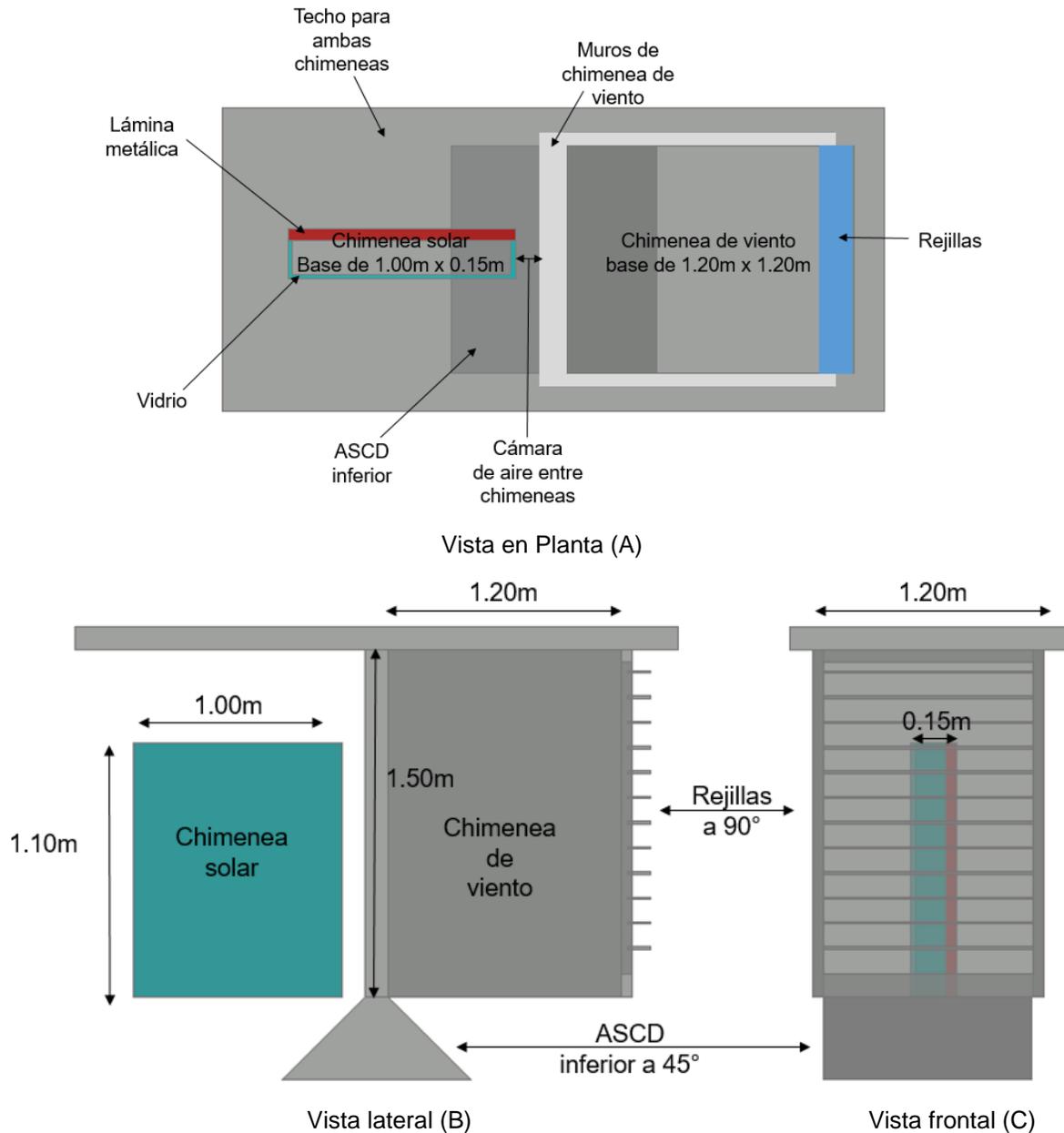
La unidad de estudio es un prototipo de chimenea compuesta pasiva de viento y solar, como se muestra en la Figura 8, aplicada al modelo de vivienda de interés social. Dentro del marco teórico podemos encontrar tanto información sobre el funcionamiento de cada una de estas chimeneas, así como resultados de investigaciones previas, sin embargo, en la actualidad la mayoría de estos estudios están enfocados en el análisis del funcionamiento individual de cada chimenea. Bansal, uno de los pioneros en el estudio de la chimenea solar, realizó un análisis en el cual observa el comportamiento de cada una de las chimeneas (de viento y solar) trabajando en conjunto dentro de un edificio<sup>84</sup>. Partiendo del concepto sustentado por el investigador Bansal, y de los resultados obtenidos en ese análisis, surge la propuesta de la chimenea compuesta dentro de un modelo de vivienda de interés social para esta investigación.

Tabla 7. Descripción del prototipo de chimenea “SIM 1”. Fuente: elaboración propia

<b>SIM 1</b>		
ALTURA	1.5m	
BASE	1.20m x 1.20m	
ORIENTACION DE CHIMENEA DE VIENTO	NORTE	
ORIENTACION DE CHIMENEA SOLAR	ESTE – OESTE	
PARED DE ALA	0°	
ASCD INFERIOR	45°	
ASCD SUPERIOR	NO	
UBICACIÓN	CENTRO	
REJILLAS FRONTALES	90°	
REJILLAS LATERALES	NO - CERRADO	

<sup>83</sup> UCLA Energy Design Tools Group. (1976). Climate Consultant 6.0. (version 16, 2020).

<sup>84</sup> Bansal, N., Rajesh, M. y Bhandari (1994). A Study Of Solar Chimney Assited Wind Tower System For Natural Ventilation In Buildings 29 (4), 495 – 500. Building and Environment



Figuras 8A, 8B, 8C. Descripción gráfica del prototipo de chimenea “SIM 1”. Fuente: elaboración propia.

Dicho prototipo surgió de la revisión de la literatura. Se recurrió a información tanto teórica (principios básicos bajo los cuales funciona cada chimenea), como práctica (revisión y estudio de experimentos prácticos y teóricos de ambas chimeneas). Por consiguiente, se obtuvieron las siguientes bases para el modelado del primer prototipo:

Para la chimenea de viento:

Los investigadores Shichao Liu, C.M. Mak y JianLei Niu, han propuesto una dimensión óptima (.80 m. por .80 m. de base, por 1.5 m. de altura) para una habitación de 5.10 m por 3.60 m. de base, por 2.43 m. de altura<sup>85</sup>. El área de estudio de este proyecto es similar al área de nuestro caso de estudio, por lo que se tomó como guía de dimensiones mínimas para iniciar el modelo del prototipo de chimenea de viento, es decir, el prototipo no puede tener una base menor a la propuesta por este estudio.

En un estudio se descubrió que un dispositivo de cortocircuito de aire (por sus siglas en inglés ASCD) dentro de la chimenea de viento, logra neutralizar una falla común en la circulación del flujo de aire en el interior de la chimenea, mejorando la circulación de flujo hasta en un 19% a 28%, con ángulos que van desde los 20° hasta los 80°<sup>86</sup>; ya que cuando la chimenea de viento no contiene este elemento, el flujo de aire realiza un recorrido de entrada por salida sin recorrer la habitación que se quiere ventilar. Basándonos en esta información, se propone un prototipo de chimenea inicial con un ASCD a 45°, como se muestra en la Figura 9.

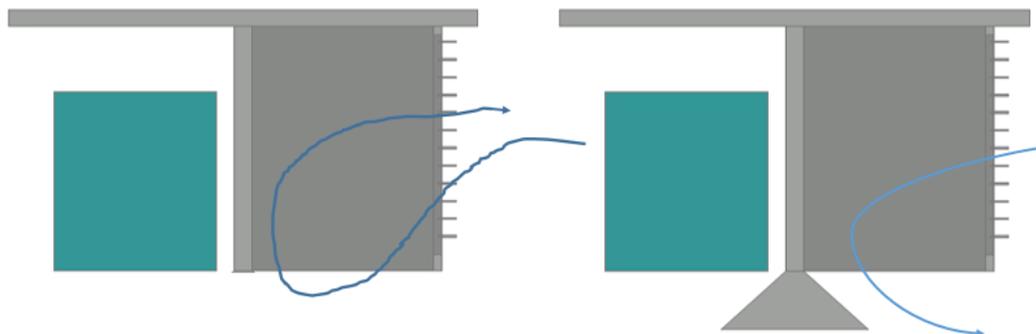


Figura 9. A la izquierda imagen de la trayectoria de flujo de viento sin un ASCD, a la derecha la trayectoria del flujo de viento con un ASCD, según la teoría. Fuente: elaboración propia

Por otra parte, investigaciones del dr. John Kaiser Calautti et al., sustentan que en regiones donde existe una dirección del viento predominante, una “pared de ala” (wing

<sup>85</sup> Liu, S., Mak, C.M., y Niu, J. (2010). Numerical evaluation of louver configuration and ventilation strategies for the windcatcher system. *Building and Environment* (46), 1600 -1616. 2011. Elsevier.

<sup>86</sup> Nejat, P. et al. (2016). Anti-short-circuit device: A new solution for short-circuiting in windcatcher and improvement of natural ventilation performance. *Building and Environment*, (105), 24 - 39. Elsevier.

wall), aumenta el porcentaje de velocidad y flujo de aire <sup>87</sup>. En nuestra región, el viento proviene en su gran mayoría de una misma dirección, el este, por lo que también se probará un prototipo con pared de ala cómo se puede apreciar en la Figura 10.

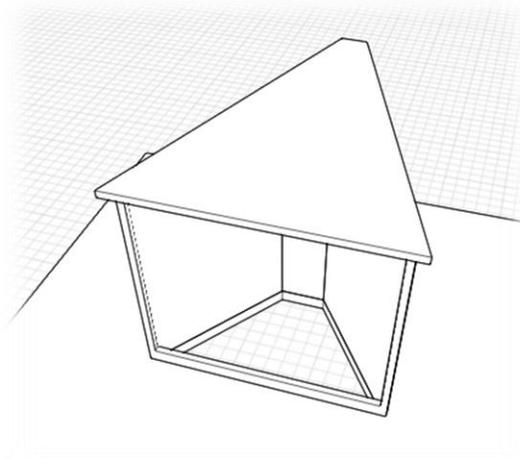


Figura 10. Imagen en perspectiva de un prototipo de chimenea con pared de ala a 35°. Fuente: elaboración propia

De igual manera, un estudio<sup>88</sup> analizó el efecto del número de rejillas en la chimenea de viento y se descubrió que, a mayor número de rejillas, mejor es el flujo de aire (dos rejillas son mejores que una, tres rejillas son mejores que dos, y así sucesivamente). Sin embargo, el número tope para un óptimo funcionamiento, son seis rejillas; por lo que el primer prototipo analizado contará con rejillas a 90° como se ejemplifica en la Figura 11.

---

<sup>87</sup> Calautit, J. (2016). Evaluation of a two-sided windcatcher integrated with wing wall (as a new design) and comparison with a conventional windcatcher. *Energy and Buildings* (126) 287–300. Elsevier.

<sup>88</sup> Liu, S., Mak, C.M., y Niu, J. (2010). Numerical evaluation of louver configuration and ventilation strategies for the windcatcher system. *Building and Environment* (46), 1600 -1616. 2011. Elsevier.

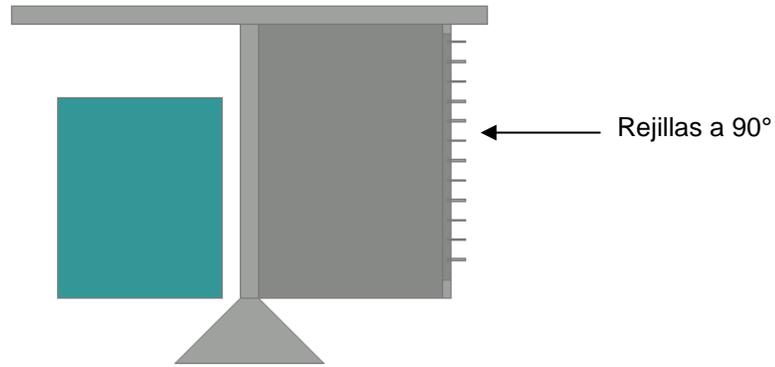


Figura 11. Imagen en perspectiva de un prototipo de chimenea con rejillas a 90°. Fuente: elaboración propia

#### Chimenea solar:

Las chimeneas solares de uso diurno, son recomendadas para zonas de clima tropical donde la radiación es alta y constante, debido a que producen tanta ventilación natural como la cantidad de radiación solar que reciba. De igual manera su diseño es óptimo para edificaciones ligeras (es decir, construcciones con materiales ligeros o aligerados como el block agujerado o las losas de vigueta y bovedilla como encontramos en la vivienda seleccionada) y por ende la chimenea es ligera, evitando que la masa de la chimenea pueda resguardar energía calorífica y liberarla constantemente<sup>89</sup>. Por esa razón se inició con una chimenea de uso diurno como prueba; el material de la propuesta base será de 2mm de vidrio con una placa metálica negra, (eliminando hormigón o cualquier material con gran cantidad de masa), orientada hacia el sur, dichas especificaciones se detallan en la Figura 12.

---

<sup>89</sup> Xamán, J., et al. (2019) Transient thermal analysis of a solar chimney for buildings with three different types of absorbing materials: Copper plate/PCM/concrete wall. Renewable Energy (136) 139 - 158, 2019. Elsevier

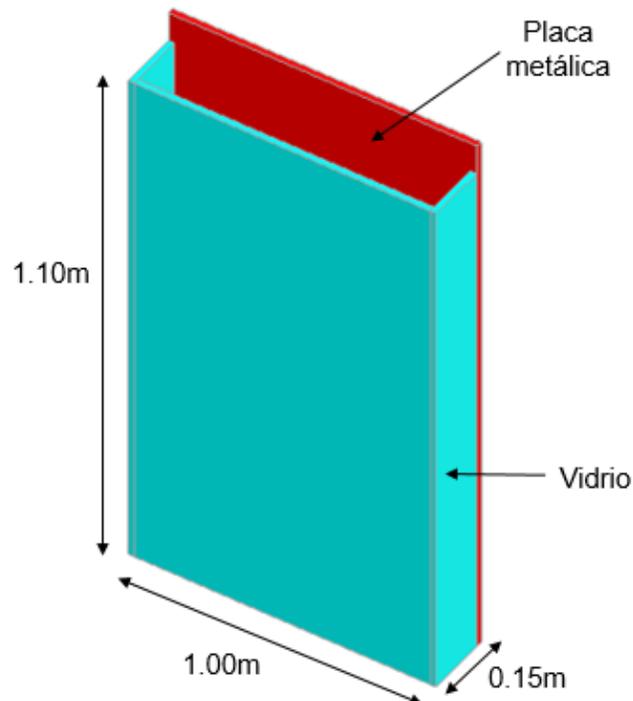


Figura 12. Imagen en perspectiva del prototipo de chimenea solar. Fuente: elaboración propia

En cuanto a sus dimensiones, se propone una geometría de .15m de ancho por 1m de largo y 1.10 m de alto, debido a que uno de los investigadores pioneros en el tema, N.K. Bansal, analizó y propuso un tamaño óptimo de chimenea solar de 2.25 m<sup>3</sup>, que corresponden a 1.5m por 1.5m de base y 0.15m separación entre la superficie, y con una radiación de entre 200 y 1000 W/m<sup>2</sup><sup>90</sup>, condiciones similares a las del caso de estudio, ya que la radiación en nuestra región es de 500w/m<sup>2</sup> en promedio anual.

Tomando en cuenta estas consideraciones surgió el primer prototipo de chimenea compuesta, que corresponde a la siguiente descripción:

La chimenea de viento tiene como base un perímetro de 1.20m por 1.20m., y una altura de 1.5m, dirigida a una orientación norte. En la cara frontal (la que

---

<sup>90</sup> Bansal, N. et al. (1993). Solar Chimney for Enhanced Stack Ventilation. Building and environment (28) 373 - 377, 1993. Elsevier

está dirigida al norte) tiene rejillas a 90° y las caras laterales están cerradas como se muestra en la figura 9. No cuenta con pared de ala porque primero se pretende obtener los resultados de un modelo simple, para posteriormente ir anexando elementos auxiliares que en la teoría encontramos que pueden mejorar el rendimiento de la misma.

La chimenea solar tiene una base de 1.00 m de largo por 0.15 m de ancho y una altura de 1.10m. Debido a que se implementó la de uso diurno, la placa metálica ésta orientada hacia el oeste y la pared de vidrio orientada hacia el este. Entre cada chimenea existe una cámara de aire de 0.10 m con el objetivo de evitar que el efecto de la chimenea solar influya en la temperatura del flujo de aire de la chimenea de viento. La Figura 13 nos muestra un ejemplo de como circula el aire en la chimenea.

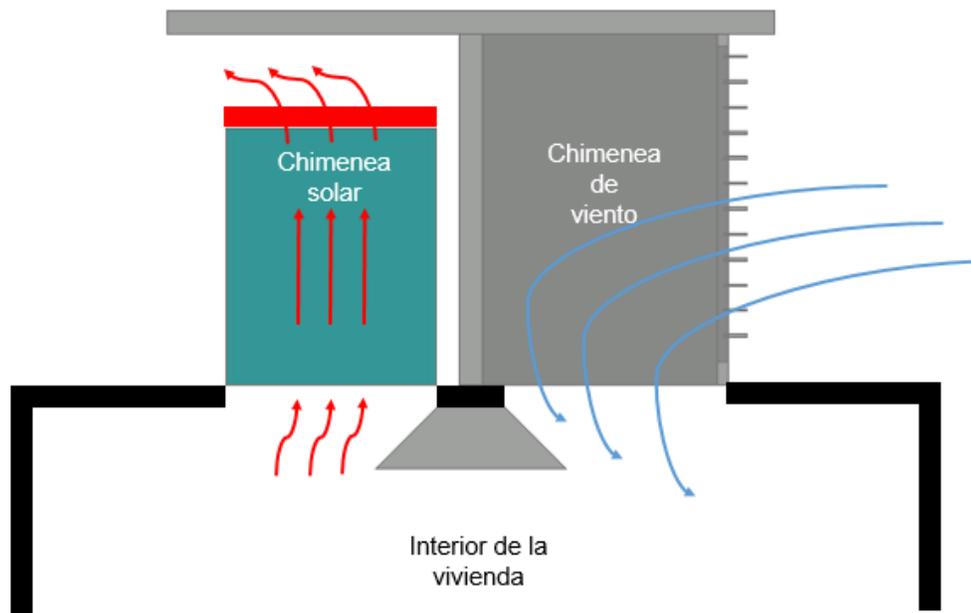


Figura 13. Imagen en corte de la chimenea compuesta y el flujo de aire que ingresa por la chimenea de viento y el flujo de aire que se extrae por la chimenea solar.  
Fuente: elaboración propia.

### 3.3. PROCEDIMIENTO

Para esta investigación el procedimiento se dividió en las siguientes fases como se muestra en la Figura 14:

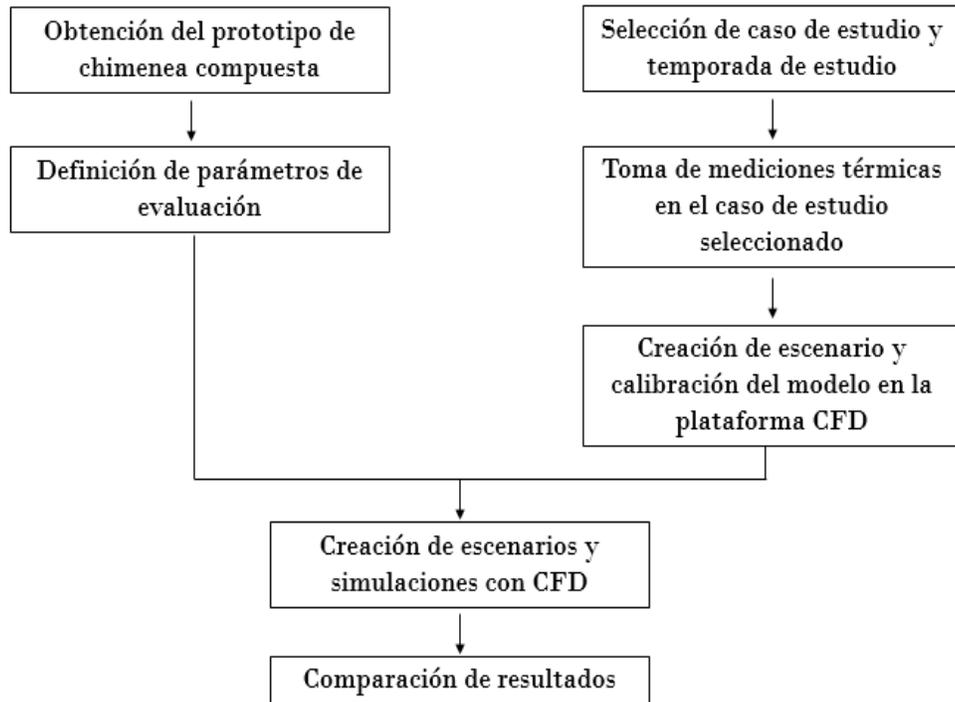


Figura 14. Flujograma del procedimiento seguido. Fuente: elaboración propia

#### 3.3.1. Selección del caso de estudio y temporada de estudio.

Se seleccionó el caso de estudio (modelo de vivienda) basándose en los requerimientos mencionados anteriormente, así como también, se eligió una semana entre los meses más calurosos del año (del 28 de mayo al 5 de junio) para hacer las mediciones térmicas dentro de la vivienda, ya que este escenario contiene las situaciones más desfavorables en términos de confort térmico, como se explica anteriormente dentro del marco contextual (ver sección 2.1.)

### 3.3.2. Definición de parámetros de evaluación.

La experiencia de confort térmico en una persona está en función de diferentes variables, y dentro de las principales de estas variables encontramos: la temperatura del aire, la temperatura radiante media, la humedad del aire, movimiento y velocidad del aire, cantidad y tipo de vestimenta, y nivel de actividad. Las primeras cuatro variables mencionadas, son de tipo ambiental (a excepción de la segunda) y están determinadas por el régimen de aire circundante sobre la piel.

Por lo que el viento puede ser usado como estrategia de control bioclimático, ya que es un factor determinante en la obtención del confort; debido a que crea flujos convectivos interiores y promueve la disipación de calor a través de la ventilación durante épocas calurosas. Es decir que, el movimiento del aire (el viento) afecta el balance térmico a través de dos factores físicos: el intercambio de calor convectivo y el eficiente enfriamiento por la evaporación del sudor<sup>91</sup>.

Es por esta razón que en esta investigación se pretende comprobar si un modelo de chimenea puede aumentar la cantidad del viento dentro de la vivienda; para ello se requiere saber cuál es la velocidad de viento que ingresa por las ventanas y que circula dentro de la vivienda en condiciones naturales, y compararla con las condiciones creadas, es decir compararla con la velocidad de aire que ingresa por las ventanas y circula dentro de la vivienda cuando se coloca una chimenea compuesta. Por lo que el parámetro de evaluación es la sumatoria de la velocidad de viento expresado en metros sobre segundo (m/s), que resulta de cada simulación y este resultado es comparado hasta obtener las velocidades más altas.

### 3.3.3. Toma de mediciones térmicas

Se hizo una primera visita de campo para realizar el levantamiento de la vivienda seleccionada y de su entorno. Dicho levantamiento sirvió para obtener las medidas exactas de la vivienda y con ello más adelante realizar el modelo 3D, además, para

---

<sup>91</sup> García, J.R., y Fuentes, V. (1985). Arquitectura Bioclimática y Energía Solar. México, D.F. Universidad Autónoma Metropolitana.

ubicar las entradas y salidas de viento (como puertas y ventanas). Al ubicar estos elementos, se pudo proceder a la recolección de datos térmicos de la siguiente manera:

De la semana del 28 de mayo al 5 de junio, se visitó la vivienda a tres diferentes horas del día, una vez por la mañana, una vez al medio día y una vez al atardecer (ver apéndice 1 y 2 con los horarios precisos) y en cada visita se registraban datos térmicos con los siguientes instrumentos de medición:

- Un anemómetro digital.

Con el cual se midió la temperatura y velocidad del viento que ingresaba por cada ventana, así como el flujo de viento que circula de habitación a habitación (a través de las puertas abiertas en el interior de la vivienda). De igual manera se utilizó para comprobar la dirección del viento exterior.

Se colocaba el anemómetro digital de frente a la ventana y/o puerta desde el interior de la habitación y se registraban los datos que arrojaba el aparato en la ventana y/o puerta correspondiente dentro del croquis previamente realizado (consultar apéndice 2). Para poder identificar mejor las ventanas y puertas con las que se trabaja al momento, se creó una nomenclatura de cada una de ellas, quedando de la siguiente manera como se muestra en la figura 15:

#### Habitación 1

- Ventana norte: H1 – VN
- Ventana este: H1 – VE

#### Habitación 2

- Ventana sur: H2 – VS
- Ventana este: H2 – VE

#### Habitación 3

- Ventana este: H3 – VE
- Puerta norte: HE – PN
- Puerta sur: H3 - PS

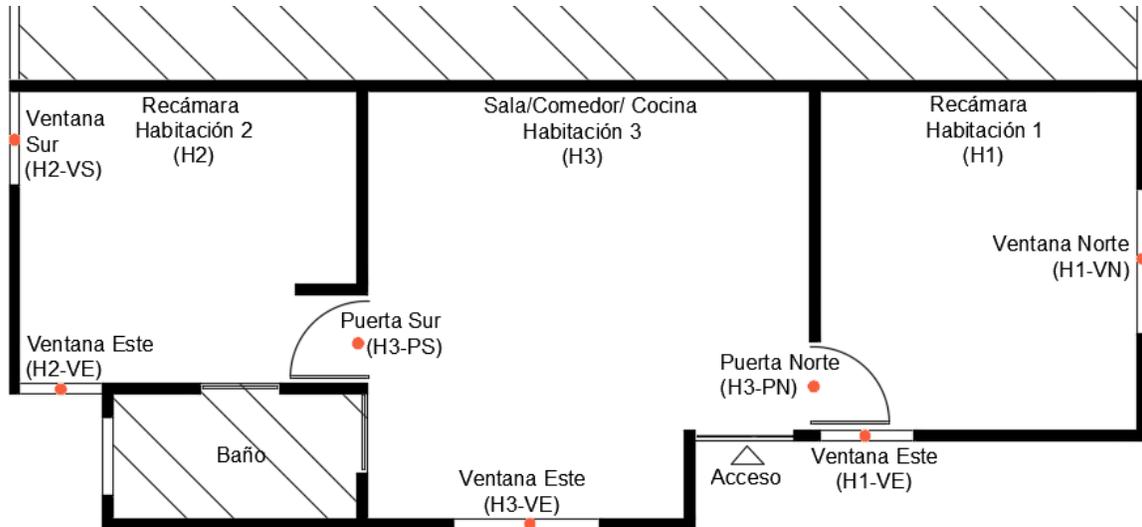


Figura 15. Croquis de la vivienda indicando la entrada de viento y su nomenclatura.  
Fuente: elaboración propia

- Un sensor de temperatura (Datalogger Hobo)  
El cual se colocó dentro de cada habitación por 24hrs, para registrar tanto la temperatura, como humedad continua de la habitación.
- Un termómetro digital infrarrojo laser.  
Se utilizó para medir la temperatura de la superficie de todas las habitaciones de la vivienda (muros, techos, pisos). Esta actividad se repetía en cada visita a la vivienda (3 veces durante el día como se menciona anteriormente).  
Se colocaba la pistola sensor de temperatura a una distancia no mayor a 20 cm y en 5 diferentes puntos del elemento a medir (muro, piso o techo) y se registraba la temperatura dada en cada punto de la superficie. De igual manera los datos registrados se incluían en un croquis de la vivienda en las áreas que se iban midiendo (consultar apéndice 1).

Como resultado de las actividades mencionadas, se pudo analizar y concluir se obtuvieron los datos térmicos requeridos para calibrar el modelo en el programa CFD y para poder elegir la hora.

#### 3.3.4. Digitalización de información obtenida.

Tanto las mediciones térmicas (temperatura interna, velocidad y dirección de viento)

que se hicieron en la vivienda como el levantamiento de la vivienda y su entorno (medidas de la casa, distancia entre las otras casas, orientación, ubicación), se digitalizaron con el objetivo de poder realizar el escenario para la simulación. Por lo que se elaboraron tablas con la información de los datos térmicos, como se muestra en los apéndices a y b (software utilizado: Excel), el plano arquitectónico de la vivienda (software utilizado: Autocad), el modelo 3D de la vivienda, y de su entorno, como se muestra en la Figura 16 (software utilizado: Formit) y la chimenea compuesta (software utilizado: Formit).

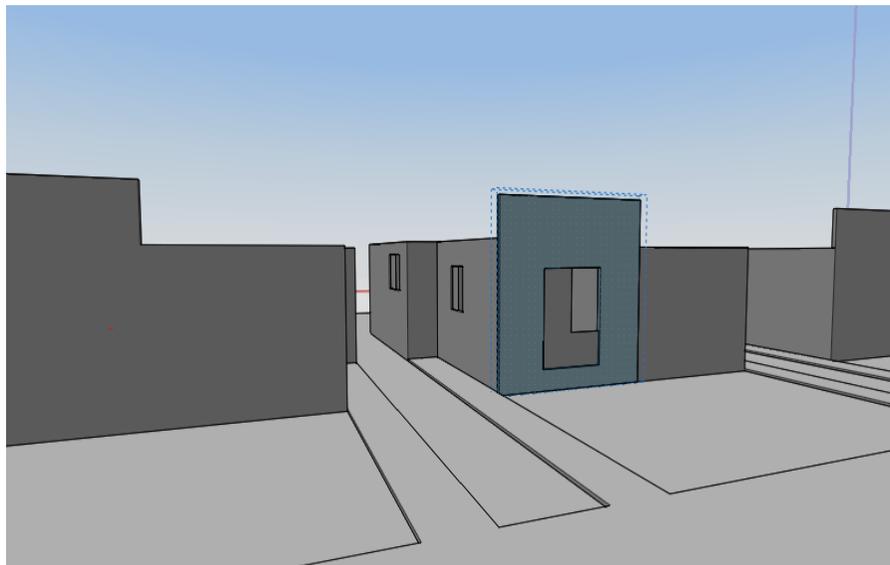


Figura 16. Modelo tridimensional de la vivienda y su entorno, modelado en Formit.  
Fuente: elaboración propia.

### 3.3.5. Calibración y creación de escenario en plataforma CFD

La calibración del modelo consiste en la realización de un primer escenario de simulación que sea capaz de arrojar resultados similares a los obtenidos con las mediciones físicas en el contexto real del estudio de caso.

Por consiguiente, se inició con la configuración del escenario para la simulación, realizando los siguientes pasos:

1. Se ingresó el modelo 3D de la vivienda junto con su entorno, a la plataforma de simulación (software utilizado: Ansys Discovery Live). Para ello se tomó el modelo 3D realizado en format con formato “.axm” y se convirtió a formato “.sat”, para hacerlo compatible con el programa de simulación.
2. Se seleccionó un día en particular (de los días en los cuales se hicieron las tomas térmicas) para poner como referencia dentro de la simulación. Se eligió el 28 de mayo del 2019 y se colocaron las características térmicas que correspondían a ese día, dentro del programa de simulación. Es decir, se ingresó la siguiente información al escenario 3D: la temperatura interior (se colocó la temperatura en cada superficie interna de la vivienda, así como la temperatura global en cada habitación de la vivienda) y exterior de la vivienda que había a esa hora, en ese día, como podemos observar en la Figura 17. De igual manera se colocó la orientación de la vivienda, ángulo solar, y dirección y orientación de viento exterior.

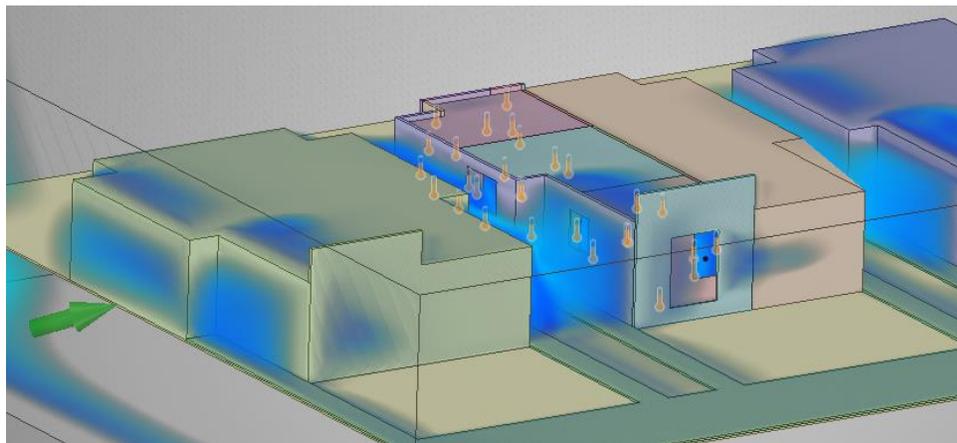
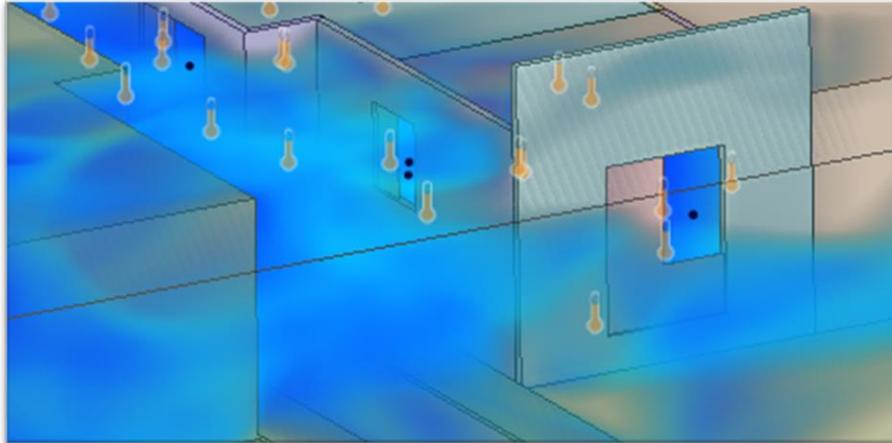
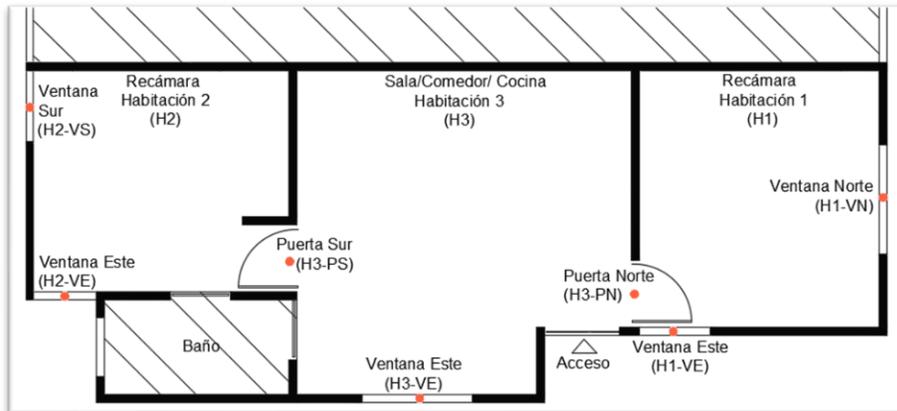


Figura 17. Colocación de información térmica dentro del programa de simulación. Fuente: elaboración propia.

3. Posteriormente se colocaron medidores de velocidad de viento en cada ventana (considerándola abierta) y en cada puerta interior de la vivienda, con la finalidad de medir la cantidad de flujo que circula justo en ese punto. Los puntos en los que se colocaron los medidores de viento digitales son los mismos que los puntos que se midieron físicamente en la vivienda como se muestra en la Figura 18.



Vista en perspectiva (A)



Vista en planta (B)

Figura 18. Imagen (A) y croquis (B) de la colocación de medidores de flujo en el programa de simulación. Fuente: elaboración propia.

4. Después de colocar los elementos 3D y los datos térmicos dentro del programa de simulación, se realizaron varias iteraciones de simulación y ajuste del modelo 3D hasta que se pudieron replicar las condiciones observadas físicamente en la vivienda, en la Tabla 8 se puede observar los resultados del modelo considerado como calibrado.

Tabla 8. Resultados de la calibración (mediciones físicas y digitales con resultados similares). Fuente: elaboración propia.

<u>Datos de la Vivienda</u>	<u>Datos de la colocación de los medidores</u>		<u>Medición Física</u>	<u>Medición Digital</u>
ESPACIO	ORIENTACIÓN DE VENTANA	VENTANA O PUERTA	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)
HABITACIÓN 1 (H1)	NORTE	H1-VN	2	1.82
	ESTE	H1-VE	0.57	0.68
HABITACIÓN 2 (H2)	SUR	H2-VS	0.71	0.93
	ESTE	H2-VE	1.2	1.02
SALA/COMEDOR/COCINA (H3)	ESTE	H3-VE	1.4	1.36
	NORTE INT	H3-PN	0.32	0.45
	SUR INT	H3-PS	0.61	0.58
	SUMATORIA		6.81	6.84

5. Por último, después de obtener resultados suficientemente similares tanto en físico como en digital, se colocaron puntos de medición en el área donde se espera que se coloque la chimenea, pero en un escenario donde no haya chimenea, esto con el objetivo de obtener la velocidad de aire que fluye en ese punto cuando no existe la chimenea y poder comparar si con una chimenea, el viento circula con mayor velocidad como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Resultados de las mediciones con entrada de aire de chimenea.  
Fuente: elaboración propia.

Datos de la colocación de los medidores		Medición Digital
ESPACIO	VENTANA O PUERTA	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)
HABITACIÓN 1 (H1)	H1-VN	1.82
	H1-VE	0.68
HABITACIÓN 2 (H2)	H2-VS	0.93
	H2-VE	1.02
SALA/COMEDOR/COCINA (H3)	H3-VE	1.36
	H3-PN	0.45
	H3-PS	0.58
SUMATORIA		6.84
ENTRADA/SALIDA CHIMENEA DE VIENTO	VEL-VIENTO	0.15
ENTRADA /SALIDA CHIMENEA SOLAR	VEL-SOLAR	0.1
SUMATORIA TOTAL		7.09

### 3.3.6. Inicio y proceso de simulaciones.

Con el escenario calibrado, se procedió a evaluar la primera variable independiente con el prototipo de chimenea “P1” dentro del escenario. La primera variable a analizar fue la de orientación, ya que lo primero que se debía obtener, era saber en qué orientación la chimenea recibe mayor cantidad de viento sin auxiliares que ayuden a impulsar este resultado, para posteriormente aumentar esa cantidad máxima obtenida, con modificaciones al prototipo que puedan eficientizar los resultados.

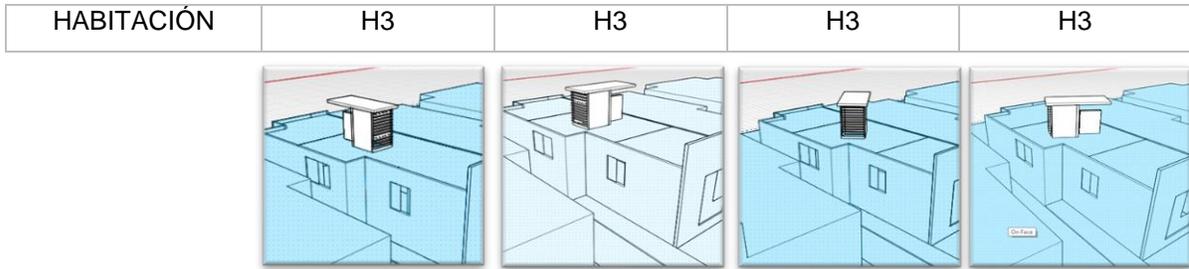
## IV. RESULTADOS

### 4.1. Variable orientación

Se probaron 4 diferentes orientaciones (las cuales surgen debido a las condiciones de la región respecto a la dirección del viento, como se explicó anteriormente). Al finalizar, los modelos de chimenea (SIM1, SIM 2, SIM 3, SIM4) que superaran los resultados de las condiciones sin chimenea, es decir, los modelos de chimenea que hayan superado la sumatoria 7.09 m/s de flujo de aire que circula dentro de la vivienda sin chimenea, se tomaron como punto de partida para la siguiente fase, la cual consiste en modificar la siguiente variable independiente. Los modelos que no superaron esa medida fueron descartados, ya que, aunque se continúe modificándolos con el resto de las variables independientes, podrán mejorar su rendimiento, sin embargo, no llegarán al nivel de las que ya tienen la mejor orientación. Como se puede observar en la Tabla 10, el resto de las variables independientes permanecieron intactas, con el objetivo de no afectar los resultados de la variable orientación.

Tabla 10. Especificaciones físicas de los modelos probados en la simulación “variable orientación”. Fuente: elaboración propia.

<b><u>Variable</u></b>	<b><u>SIM 1</u></b>	<b><u>SIM 2</u></b>	<b><u>SIM 3</u></b>	<b><u>SIM 4</u></b>
ALTURA	1.5	1.5	1.5	1.5
BASE	1.20 X 1.20	1.20 X 1.20	1.20 X 1.20	1.20 X 1.20
ORIENTACIÓN Chimenea de Viento	NORTE	NORESTE (45°)	ESTE	SURESTE (30°)
ORIENTACIÓN Chimenea Solar	ESTE - OESTE	SUROESTE	NORTE - SUR	NORESTE
PARED DE ALA	0°	0°	0°	0°
ASCD	45°	45°	45°	45°
UBICACIÓN	CENTRO	CENTRO	CENTRO	CENTRO
REJILLAS	90°	90°	90°	90°
REJILLAS LATERALES	NO - CERRADO	NO - CERRADO	NO – CERRADO	NO - CERRADO
ASCD ARRIBA	NO	NO	NO	NO



Como siguiente paso, se observó el comportamiento de las variables, es decir, se observó el efecto de la orientación en relación con el flujo de viento interno de la vivienda, como se puede notar en la Tabla 10.1. Al terminar la simulación, se anotaron los resultados y basándonos en ese comportamiento, se eligió el siguiente modelo de chimenea a modificar y probar, que fue el modelo “SIM 3”, por lo que se tomó como base para la siguiente fase de simulaciones (debido a que obtuvo los mejores resultados, superando los efectos de la simulación sin chimenea por 2.77 m/s).

Tabla 10.1. Resultados de las simulaciones de la variable “orientación”. Fuente: elaboración propia.

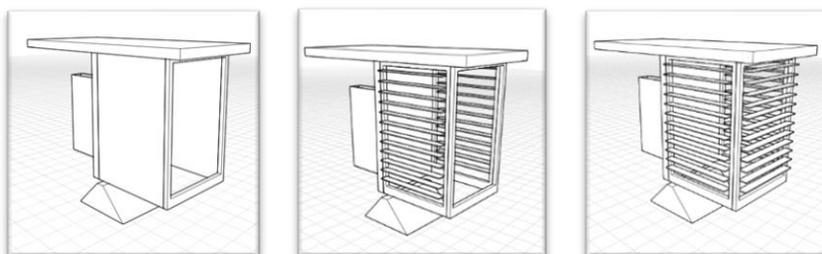
<b>Simulación a comparar (Medición Digital)</b>		<b>SIM 1</b>	<b>SIM 2</b>	<b>SIM 3</b>	<b>SIM 4</b>
VENTANA O PUERTA	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)				
H1-VN	1.82	1.43	2.27	1.39	1.55
H1-VE	0.68	1.55	0.95	1.17	1.12
H2-VS	0.93	0.84	0.56	1.26	0.81
H2-VE	1.02	0.46	0.43	0.47	0.63
H3-VE	1.36	1.56	1.36	1.04	1.08
H3-PN	0.45	0.61	1.19	0.53	0.85
H3-PS	0.58	0.31	0.17	0.97	0.76
SUMATORIA	6.84	6.76	6.93	6.83	6.80
VEL - VIENTO	0.15	0.95	0.65	1.6	1.23
VEL - SOLAR	0.1	0.12	0.41	1.43	.88
SUMATORIA TOTAL	7.09	7.83	7.99	9.86	8.91

## 4.2. Variable rejillas

La siguiente fase de simulaciones consistió en el análisis de la variable rejillas. Se eligió esta variable ya que al encontrar la orientación que recibe mayor cantidad de viento, lo siguiente es probar que tipo de entrada corresponde para continuar con esa cantidad de flujo e incluso incrementarla. Por lo que se probaron las siguientes alternativas que se muestran en la Tabla 11:

Tabla 11. Especificaciones físicas de los modelos probados en la simulación “rejillas”.  
Fuente: elaboración propia.

<b><u>VARIABLE</u></b>	<b><u>SIM 3A</u></b>	<b><u>SIM 3B</u></b>	<b><u>SIM 3C</u></b>
ALTURA	1.5	1.5	1.5
BASE	1.20 X 1.20	1.20 X 1.20	1.20 X 1.20
CV ORIENTACION	ESTE	ESTE	ESTE
CS ORIENTACION	NORTE - SUR	NORTE - SUR	NORTE - SUR
PARED DE ALA	0°	0°	0°
ASCD	45°	45°	45°
UBICACIÓN	CENTRO	CENTRO	CENTRO
REJILLAS FRONTALES	NO - ABIERTO	90°	NO - ABIERTO
REJILLAS LATERALES	NO - CERRADO	90°	90°
ASCD ARRIBA	NO	NO	NO
HABITACIÓN	H3	H3	H3



Como se puede observar en la Tabla 11.1, con la simulación “SIM 3B”, la velocidad de viento decreció. Sin embargo, los modelos de simulación “SIM 3A” y “SIM 3C” mostraron un incremento en sus resultados en comparación a “SIM 3”, por lo que se tomaron estos dos modelos para la siguiente fase de simulaciones.

Tabla 11.1. Resultados de las simulaciones de la variable “rejillas”. Fuente: elaboración propia.

<b><u>SIMULACIÓN A COMPARAR (SIM 3)</u></b>		<b><u>SIM 3A</u></b>	<b><u>SIM 3B</u></b>	<b><u>SIM 3C</u></b>
VENTANA O PUERTA	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)			
H1-VN	1.39	1.66	1	1
H1-VE	1.17	1.45	1.39	1.83
H2-VS	1.26	1.08	0.71	1.12
H2-VE	0.47	0.51	0.8	0.7
H3-VE	1.04	0.97	1.15	1.05
H3-PN	0.53	1.29	1.14	1.18
H3-PS	0.97	1.05	0.61	0.45
SUMATORIA	6.83	8.01	6.80	7.33
VEL - VIENTO	1.6	1.7	1.02	1.50
VEL - SOLAR	1.43	1.02	1.07	1.13
SUMATORIA TOTAL	9.86	10.73	8.89	9.96

### 4.3. Variable pared de ala

Para analizar la variable “pared de ala” fue necesario modificar la base de la chimenea, ya que, al crear un ángulo en las paredes, el perímetro cambió. Por lo que en esta fase de simulaciones se analizaron éstas dos variables independientes. De igual manera, esta fase fue analizada en sincronía con la variable independiente “rejillas”, con el objetivo de descartar o aprobar la alternativa de rejillas en el modelo, ya que, en la fase anterior las rejillas demostraron un ligero incremento, debido a que fue mayor que los resultados de “SIM 3” sin embargo la mejoría fue mínima (un incremento de 0.10 m/s). En la Tabla 12 podemos observar los parámetros que se modificaron.

Tabla 12. Especificaciones físicas de los modelos probados en la simulación “pared de ala y rejillas”. Fuente: elaboración propia.

<b><u>VARIABLE</u></b>	<b><u>SIM 3A.1</u></b>	<b><u>SIM 3C.1</u></b>
ALTURA	1.5	1.5
BASE	1.40 x .80 x 1.10	1.40 x .80 x 1.10
CV ORIENTACION	ESTE	ESTE
CS ORIENTACION	NORTE - SUR	NORTE - SUR
PARED DE ALA	15°	15°
ASCD	45°	45°
UBICACIÓN	CENTRO	CENTRO
REJILLAS frontales	NO - ABIERTO	NO - ABIERTO
REJILLAS LATERALES	NO - CERRADO	90°
ASCD ARRIBA	NO	NO
HABITACIÓN	H3	H3

Se inició probando solo un ángulo de 15° de pared de ala en comparación con 0° de pared de ala, ya que el objetivo era saber si colocando un ángulo, la velocidad de viento incrementa, y de ser positivos los resultados se procedería a probar cual es el mejor ángulo de pared de ala.

Como se puede observar en la Tabla 12.1, se comprueba que las rejillas llegan a un límite de eficiencia y ese límite no excede los resultados obtenidos previamente en el modelo base inicial de la fase de simulaciones anterior, por lo que las simulaciones con la variable rejillas terminaron en esta fase debido a que los resultados demuestran que éstas no mejoran la eficiencia de la chimenea para este caso en particular, incluso hacen decrecer el flujo de viento que ingresa respecto a otros modelos sin rejillas.

Tabla 12.1. Resultados de las simulaciones de la variable “pared de ala y rejillas”.  
Fuente: elaboración propia.

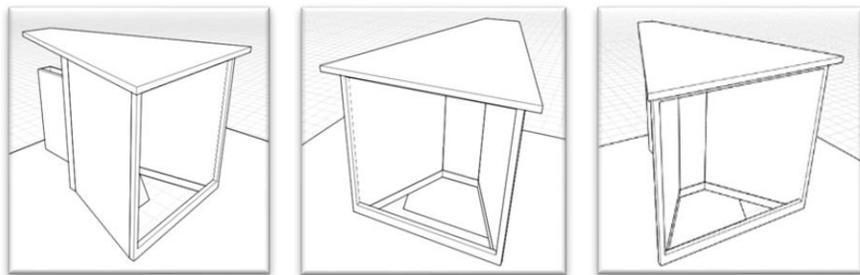
<u>SIMULACIÓN A COMPARAR (SIM 3A)</u>		<u>SIM 3A.1</u>	<u>SIMULACIÓN A COMPARAR (SIM 3C)</u>	<u>SIM 3C.1</u>
VENTANA O PUERTA	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)
H1-VN	1.66	1.6	1	1.22
H1-VE	1.45	1.32	1.83	1.48
H2-VS	1.08	1.21	1.12	0.94
H2-VE	0.51	0.52	0.7	0.36
H3-VE	0.97	1	1.05	1.1
H3-PN	1.29	1.35	1.18	0.86
H3-PS	1.05	1.24	0.45	0.96
SUMATORIA	8.01	8.24	7.33	6.92
VEL - VIENTO	1.7	1.67	1.50	1.51
VEL - SOLAR	1.02	1.44	1.13	1.52
SUMATORIA TOTAL	10.73	11.35	9.96	9.95

De igual manera los resultados muestran que en efecto un modelo de chimenea con pared de ala a 15°, incrementa el flujo de viento que ingresa en la chimenea, por lo que se tomó el modelo “SIM 3A.1” para continuar en la siguiente fase de simulaciones y aplicar otras alternativas de pared de ala con el objetivo de encontrar que ángulo de pared alcanza velocidades más altas.

Por consiguiente, se probó con pared de ala a 25° (con las mismas dimensiones de base), pared de ala a 35° (con las mismas dimensiones de base) y pared de ala a 35° (cambiando las dimensiones de base por una base más amplia, ya que al colocar un ángulo más pronunciado en las paredes la base cambia sus dimensiones), como podemos observar en la Tabla 13.

Tabla 13. Especificaciones físicas de los modelos probados en la simulación “pared de ala”. Fuente: elaboración propia.

<b><u>VARIABLE</u></b>	<b><u>SIM 3A.1-1</u></b>	<b><u>SIM 3A.1-2</u></b>	<b><u>SIM 3A.1-3</u></b>
ALTURA	1.5	1.5	1.5
BASE	1.40 x .45 x 1.00	1.70 x .80 x .65	1.70 X .35 x .95
CV ORIENTACION	ESTE	ESTE	ESTE
CS ORIENTACION	NORTE - SUR	NORTE - SUR	NORTE - SUR
PARED DE ALA	25°	35°	35°
ASCD	45°	45°	45°
UBICACIÓN	CENTRO	CENTRO	CENTRO
REJILLAS frontales	NO - ABIERTO	NO - ABIERTO	NO - ABIERTO
REJILLAS LATERALES	NO - CERRADO	NO - CERRADO	NO - CERRADO
ASCD ARRIBA	NO	NO	NO
HABITACIÓN	H3	H3	H3



Al implementar paredes de ala mayores a 15° de ángulo en el modelo, se descubrió que reducen la velocidad de viento, e incluso mientras más ángulo se coloque en las paredes más decrece la velocidad, por lo que en esta fase de simulación se demostró con la Tabla 13.1 que los mejores resultados los obtenemos con un modelo de chimenea con pared de ala de 15° siendo el modelo “SIM 3A.1” el cual se continuó empleando para la siguiente fase de simulaciones.

Tabla 13.1. Resultados de las simulaciones de la variable “pared de ala”. Fuente: elaboración propia.

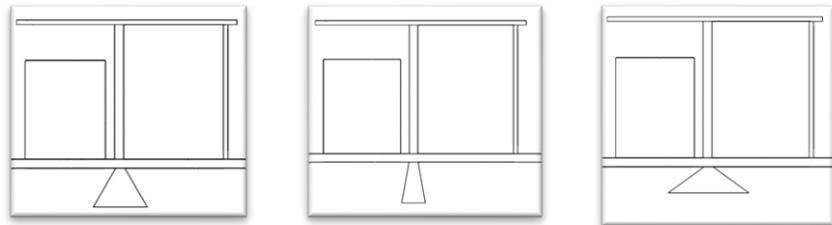
<b><u>SIMULACIÓN A COMPARAR</u></b>				
<b><u>(SIM 3A.1)</u></b>		<b><u>SIM 3A.1-1</u></b>	<b><u>SIM 3A.1-2</u></b>	<b><u>SIM 3A.1-3</u></b>
VENTANA O PUERTA	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)
H1-VN	1.6	1.13	1.42	1.48
H1-VE	1.32	1.47	1.33	1.34
H2-VS	1.21	0.65	0.36	1.2
H2-VE	0.52	1.07	0.1	1.03
H3-VE	1	0.78	1.4	0.95
H3-PN	1.35	1.09	1.54	0.27
H3-PS	1.24	0.77	0.55	0.4
SUMATORIA	8.24	6.96	6.7	6.67
VEL - VIENTO	1.67	1.73	1.15	1.12
VEL -SOLAR	1.44	1.86	1.3	0.78
SUMATORIA TOTAL	11.35	10.55	9.15	8.57

#### 4.4. Variable ASCD inferior

La siguiente variable que se analizó fue el dispositivo de cortocircuito de aire o “ASCD”, como vemos en la Tabla 14, para lo cual se colocó un ASCD de 60°, uno de 80° y uno de 30° para comparar respecto al de 45° de cual ya tenemos los resultados.

Tabla 14. Especificaciones físicas de los modelos probados en la simulación “ASCD inferior”. Fuente: elaboración propia.

<b><u>VARIABLE</u></b>	<b><u>SIM 3A.1-A</u></b>	<b><u>SIM 3A.1-B</u></b>	<b><u>SIM 3A.1-C</u></b>
ALTURA	1.5	1.5	1.5
BASE	1.40 x .80 x 1.10	1.40 x .80 x 1.10	1.40 X .80 x 1.10
CV ORIENTACION	ESTE	ESTE	ESTE
CS ORIENTACION	NORTE - SUR	NORTE - SUR	NORTE - SUR
PARED DE ALA	15°	15°	15°
ASCD	60°	80°	30°
UBICACIÓN	CENTRO	CENTRO	CENTRO
REJILLAS FRONTALES	NO - ABIERTO	NO - ABIERTO	NO - ABIERTO
REJILLAS LATERALES	NO - CERRADO	NO - CERRADO	NO - CERRADO
ASCD ARRIBA	NO	NO	NO
HABITACIÓN	H3	H3	H3



En los resultados de la Tabla 14.1 podemos ver que el ángulo de 45° en el ASCD genera mejores resultados, es decir, mayor velocidad de viento, por lo que se descarta continuar con las simulaciones relacionadas al ASCD y se mantiene el modelo de ASCD de 45°.

Tabla 14.1. Resultados de las simulaciones de la variable “ASCD inferior”. Fuente: elaboración propia.

<b><u>SIMULACIÓN A COMPARAR</u></b> <b><u>(SIM 3A.1)</u></b>		<b><u>SIM 3A.1-A</u></b>	<b><u>SIM 3A.1-B</u></b>	<b><u>SIM 3A.1-C</u></b>
VENTANA O PUERTA	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)
H1-VN	1.6	1.6	2.03	1.46
H1-VE	1.32	1.39	0.9	1.22
H2-VS	1.21	1.08	0.42	0.93
H2-VE	0.52	0.53	1.94	0.31
H3-VE	1	0.92	0.87	1.08
H3-PN	1.35	0.7	0.63	0.99
H3-PS	1.24	0.42	0.44	1.52
SUMATORIA	8.24	6.64	7.23	7.51
VEL - VIENTO	1.67	2.1	1.34	1.73
VEL -SOLAR	1.44	0.7	0.74	1.10
SUMATORIA TOTAL	11.35	9.44	9.31	10.34

#### 4.5. Variable ASCD superior.

Por consiguiente, se analizó si colocando un ASCD en la cavidad superior de la chimenea, podría aumentar la velocidad de viento, ya que en teoría le daría dirección. Por lo que se probó con los siguientes ángulos señalados en la Tabla 15.

Tabla 15. Especificaciones físicas de los modelos probados en la simulación “ASCD superior”. Fuente: elaboración propia.

<b><u>VARIABLE</u></b>	<b><u>SIM 3A.140</u></b>	<b><u>SIM 3A.160</u></b>	<b><u>SIM 3A.120</u></b>	<b><u>SIM 3A.130</u></b>
ALTURA	1.5	1.5	1.5	1.5
BASE	1.40 x .80 x 1.10			
CV ORIENTACION	ESTE	ESTE	ESTE	ESTE
CS ORIENTACION	NORTE – SUR	NORTE - SUR	NORTE - SUR	NORTE - SUR
PARED DE ALA	15°	15°	15°	15°
ASCD	45°	45°	45°	45°
UBICACIÓN	CENTRO	CENTRO	CENTRO	CENTRO
REJILLAS frontales	NO - ABIERTO	NO - ABIERTO	NO - ABIERTO	NO - ABIERTO
REJILLAS LATERALES	NO - CERRADO	NO - CERRADO	NO - CERRADO	NO - CERRADO
ASCD ARRIBA	40°	60°	20°	30°
HABITACIÓN	H3	H3	H3	H3

Como se puede ver en los resultados de la Tabla 15.5, se encontró que un ASCD en la cavidad superior de la chimenea con un ángulo de 40° aumenta ligeramente el flujo de viento que atraviesa la chimenea, por lo que se tomó ese modelo como base para continuar con la siguiente fase de simulaciones.

Tabla 15.1. Resultados de las simulaciones de la variable “ASCD superior”. Fuente: elaboración propia.

<b><u>SIMULACIÓN A COMPARAR</u></b> <b><u>(SIM 3A.1)</u></b>		<b><u>SIM 3A.140</u></b>	<b><u>SIM 3A.160</u></b>	<b><u>SIM 3A.120</u></b>	<b><u>SIM 3A.130</u></b>
VENTANA O PUERTA	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)				
H1-VN	1.6	1.77	1.08	1.18	1.13
H1-VE	1.32	1.1	1.96	1.12	0.89
H2-VS	1.21	0.82	1.6	1.77	1.54
H2-VE	0.52	0.27	0.53	0.8	1.12
H3-VE	1	1.35	1.43	1.09	0.61
H3-PN	1.35	1.77	1.31	1.55	1.87
H3-PS	1.24	1.08	0.76	1.39	0.54
SUMATORIA	8.24	8.16	8.67	8.9	7.7
VEL - VIENTO	1.67	1.86	1.69	1.56	1.45
VEL -SOLAR	1.44	1.71	0.46	0.61	0.76
SUMATORIA TOTAL	11.35	11.73	10.82	11.07	9.91

#### 4.6. Variable habitación.

Teniendo el modelo de chimenea que produce mayor flujo de viento en el interior de la vivienda, era necesario encontrar en que parte de la vivienda este modelo arroja mejores resultados, por lo que para esta fase se creó la Tabla 16 en donde se analizó en que habitación se obtiene mayor provecho de la chimenea.

Tabla 16. Especificaciones físicas de los modelos probados en la simulación “habitación”. Fuente: elaboración propia.

<b><u>VARIABLE</u></b>	<b><u>SIM 3A.140.H2</u></b>	<b><u>SIM 3A.140.H1</u></b>
ALTURA	2.5 (ABERTURA DE 1.5)	2.5 (ABERTURA DE 1.5)
BASE	1.40 x .80 x 1.10	1.40 x .80 x 1.10
CV ORIENTACION	ESTE	ESTE
CS ORIENTACION	NORTE - SUR	NORTE - SUR
PARED DE ALA	15°	15°
ASCD	45°	45°
UBICACIÓN	ATRAS - IZQUIERDA	ATRAS - IZQUIERDA
REJILLAS frontales	NO - ABIERTO	NO - ABIERTO
REJILLAS LATERALES	NO - CERRADO	NO - CERRADO
ASCD ARRIBA	40°	40°
HABITACIÓN	H2	H1

El resultado de las simulaciones que podemos ver en la Tabla 16.1, se demuestra que la habitación en donde la chimenea tiene un mayor rendimiento es en la habitación 3 (H3), es decir, la primera habitación con la que se iniciaron las simulaciones. Dicha habitación se encuentra en el centro de la casa, por lo que al ubicar la chimenea ahí, genera corriente de viento por toda la vivienda, a través de las puertas que conectan las habitaciones.

Tabla 16.1. Resultados de las simulaciones de la variable “altura”. Fuente: elaboración propia.

<u>SIMULACIÓN A COMPARAR (SIM 3A.140)</u>		<u>SIM 3A.140.H2</u>	<u>SIM 3A.140.H1</u>
VENTANA O PUERTA	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)
H1-VN	1.77	1.67	1.6
H1-VE	1.1	0.66	1.04
H2-VS	0.82	1.67	0.27
H2-VE	0.27	0.73	0.4
H3-VE	1.35	0.68	0.41
H3-PN	1.77	1.3	0.8
H3-PS	1.08	0.84	0.64
SUMATORIA	8.16	7.55	5.16
VEL – VIENTO	1.86	1.53	2.75
VEL –SOLAR	1.71	0.96	1.17
SUMATORIA TOTAL	11.73	10.04	9.08

#### 4.7. Variable ubicación dentro de la habitación.

De igual manera, había que encontrar en que parte de la habitación 3, este modelo tiene un mejor rendimiento, por lo que en esta fase se analizó que punto de la habitación se funciona mejor la chimenea. En la Tabla 17 se señalan los parámetros mencionados.

Tabla 17. Especificaciones físicas de los modelos probados en la simulación “ubicación dentro de la habitación”. Fuente: elaboración propia.

<b><u>VARIABLE</u></b>	<b><u>SIM</u></b> <b><u>3A.140.SD</u></b>	<b><u>SIM</u></b> <b><u>3A.140.SI</u></b>	<b><u>SIM</u></b> <b><u>3A.140.ND</u></b>	<b><u>SIM 3A.140.NI</u></b>	<b><u>SIM</u></b> <b><u>3A.140.CD</u></b>
ALTURA	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
BASE	1.40 x .80 x 1.10	1.40 x .80 x 1.10	1.40 x .80 x 1.10	1.40 x .80 x 1.10	1.40 x .80 x 1.10
CV ORIENTACION	ESTE	ESTE	ESTE	ESTE	ESTE
CS ORIENTACION	NORTE – SUR	NORTE - SUR	NORTE - SUR	NORTE - SUR	NORTE - SUR
PARED DE ALA	15°	15°	15°	15°	15°
ASCD	45°	45°	45°	45°	45°
UBICACIÓN	SUR – DERECHA	SUR - IZQUIERDA	NORTE - DERECHA	NORTE - IZQUIERDA	CENTRO - IZQUIERDA
REJILLAS frontales	NO – ABIERTO	NO - ABIERTO	NO - ABIERTO	NO - ABIERTO	NO - ABIERTO
REJILLAS LATERALES	NO – CERRADO	NO - CERRADO	NO - CERRADO	NO - CERRADO	NO - CERRADO
ASCD ARRIBA	40°	40°	40°	40°	40°
HABITACIÓN	H3	H3	H3	H3	H3

Los resultados mostrados en la Tabla 17.1, señalan que colocando la chimenea en la parte sur del lado izquierdo dentro del área de la habitación se capta una mayor cantidad de viento.

Tabla 17.1. Resultados de las simulaciones de la variable “ubicación dentro de la habitación”. Fuente: elaboración propia.

<b><u>SIMULACIÓN A</u></b>		<b><u>SIM</u></b>	<b><u>SIM</u></b>	<b><u>SIM</u></b>	<b><u>SIM</u></b>	<b><u>SIM</u></b>
<b><u>COMPARAR (SIM</u></b>		<b><u>3A.140.SD</u></b>	<b><u>3A.140.SI</u></b>	<b><u>3A.140.ND</u></b>	<b><u>3A.140.NI</u></b>	<b><u>3A.140.CD</u></b>
<b><u>3A.140)</u></b>						
VENTANA O PUERTA	VELOCIDA D DE VIENTO (m/s)					
H1-VN	1.77	1.76	2.13	0.89	1.17	1.04
H1-VE	1.1	1.37	1.53	1.53	2.13	1.13
H2-VS	0.82	0.57	0.52	1.64	0.41	0.71
H2-VE	0.27	0.69	1.02	0.64	0.24	0.41
H3-VE	1.35	1.2	1.42	0.48	0.95	1.79
H3-PN	1.77	1.14	0.7	1.29	2.24	0.88
H3-PS	1.08	0.61	2.02	1.38	0.37	0.55
SUMATORI A	8.16	7.34	9.34	7.85	7.51	6.51
VEL - VIENTO	1.86	1.95	1.81	1.87	2.32	2.61
VEL - SOLAR	1.71	1	1.17	1.52	0.39	0.47
SUMATORI A TOTAL	11.73	10.29	12.32	11.24	10.22	9.59

#### 4.8. Variable altura

Por último, teniendo tanto la mejor ubicación, la mejor orientación, y el mejor modelo de chimenea para este caso en particular, se tenía que analizar si la altura de la chimenea es un factor que afecta la cantidad de aire que la chimenea puede captar, como se puede observar en la Tabla 18.

Tabla 18. Especificaciones físicas de los modelos probados en la simulación “altura”.  
Fuente: elaboración propia.

<b><u>VARIABLE</u></b>	<b><u>SIM</u></b> <b><u>3A.140.SI.UP</u></b>	<b><u>SIM</u></b> <b><u>3A.140.SI.UP.5</u></b>	<b><u>SIM</u></b> <b><u>3A.140.SI.UP.52</u></b>	<b><u>SIM</u></b> <b><u>3A.140.SI.UP1</u></b>
ALTURA	2.5 (ABERTURA DE 1.5)	2 (ABERTURA DE 1.5)	2 (ABERTURA DE 1)	2 (ABERTURA DE 1)
BASE	1.40 x .80 x 1.10	1.40 x .80 x 1.10	1.40 x .80 x 1.10	1.40 x .80 x 1.10
CV ORIENTACION	ESTE	ESTE	ESTE	ESTE
CS ORIENTACION	NORTE - SUR	NORTE - SUR	NORTE - SUR	NORTE - SUR
PARED DE ALA	15°	15°	15°	15°
ASCD	45°	45°	45°	45°
UBICACIÓN	ATRAS - IZQUIERDA	ATRAS - IZQUIERDA	ATRAS - IZQUIERDA	ATRAS - IZQUIERDA
REJILLAS frontales	NO - ABIERTO	NO - ABIERTO	NO - ABIERTO	NO - ABIERTO
REJILLAS LATERALES	NO - CERRADO	NO - CERRADO	NO - CERRADO	NO - CERRADO
ASCD ARRIBA	40°	40°	40°	40°
HABITACIÓN	H3	H3	H3	H3

Los resultados obtenidos de las simulaciones demuestran que la altura no es un factor que potencie el rendimiento de la chimenea, debido a los resultados son similares a los del modelo anterior, como se nota en la Tabla 18.1. Sin embargo, una chimenea con menor altura es más ligera y menos costosa.

Tabla 18.1. Resultados de las simulaciones de la variable “altura”. Fuente: elaboración propia.

<b><u>SIMULACIÓN A</u></b>		<b><u>SIM</u></b>	<b><u>SIM</u></b>	<b><u>SIM</u></b>	<b><u>SIM</u></b>
<b><u>COMPARAR (SIM</u></b>		<b><u>3A.140.SI.UP</u></b>	<b><u>3A.140.SI.UP.5</u></b>	<b><u>3A.140.SI.UP.52</u></b>	<b><u>3A.140.SI.UP1</u></b>
<b><u>3A.140.SI)</u></b>					
VENTANA O PUERTA	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)
H1-VN	2.13	1.54	1.21	1.32	1.12
H1-VE	1.53	2.55	1.72	1.17	1.25
H2-VS	0.52	0.75	0.7	0.75	0.27
H2-VE	1.02	0.35	0.16	0.4	0.25
H3-VE	1.42	1.73	1.24	1.5	1.1
H3-PN	0.7	2.01	1.2	2.45	0.93
H3-PS	2.02	0.8	0.24	0.45	0.29
SUMATORIA	9.34	9.73	6.47	8.04	5.21
VEL - VIENTO	1.81	1.98	0.58	0.58	0.95
VEL -SOLAR	1.17	0.64	0.48	0.16	1.21
SUMATORIA TOTAL	12.32	12.35	7.53	8.78	7.37

Al finalizar la evaluación de cada una de las variables presentadas anteriormente, como consecuente se obtuvieron como resultado los elementos que conforman el modelo de chimenea más adecuado para este modelo de vivienda de interés social, siendo una chimenea compuesta orientada hacia el este, con pared de ala de 15°, un ASCD superior de 40° y un ASCD inferior de 45° y ubicada en la habitación central (como se muestra en la Tabla 19, Figura 20 y Figura 21), ya que aumenta la velocidad de viento que ingresa, que se extrae y que circula dentro de la vivienda, alcanzando hasta 12.35 m/s en la sumatoria de velocidades de flujo de cada ventana por la que circula aire y por cada puerta del interior de la vivienda por donde circula aire, y que en condiciones normales, es decir sin colocar una chimenea compuesta en la vivienda, la sumatoria de velocidad de viento es de 6.80 m/s.

Tabla 19. Descripción del prototipo de chimenea “SIM 3A. 140.SI”. Fuente: elaboración propia

<b>SIM 3A.140.SI</b>	
ALTURA	1.5m
BASE	1.40 x .80 x 1.10
ORIENTACION DE CHIMENEA DE VIENTO	ESTE
ORIENTACION DE CHIMENEA SOLAR	NORTE - SUR
PARED DE ALA	15°
ASCD INFERIOR	45°
ASCD SUPERIOR	40°
UBICACIÓN	CENTRO
REJILLAS FRONTALES	NO
REJILLAS LATERALES	NO - CERRADO
UBICACIÓN	ATRÁS - IZQUIERDA
HABITACIÓN	H3

Algunos de los elementos mencionados en la tabla, son características físicas complementarias y externas al cuerpo original de la chimenea compuesta, que se colocaron y analizaron en las simulaciones con el objetivo de aumentar el rendimiento de ella. Como por ejemplo los siguientes elementos (en la sección 3.3 Procedimiento, podemos encontrar los pasos que nos llevaron a los siguientes resultados):

- A) Una pared de ala de 15° ayuda a la chimenea a tener una mayor área de recepción de viento en la boca de la chimenea y a aumentar la presión de viento en su cuerpo interior (efecto Venturi), como se muestra en la Figura 19

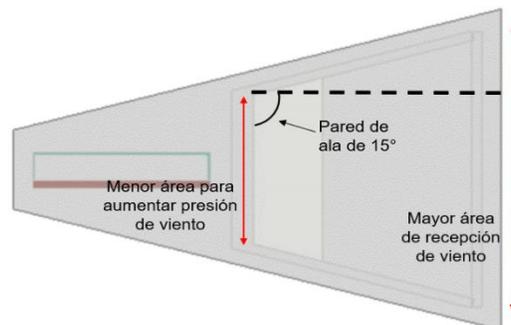


Figura 19. Ilustración de la pared de ala de 15°. Fuente: elaboración propia

B) El ASCD superior e inferior le aportan dirección al flujo de aire que ingresa por la chimenea, evitando que rebote hacia el exterior y se pierda la circulación de viento en el interior de la habitación, como podemos ver en la Figura 20.

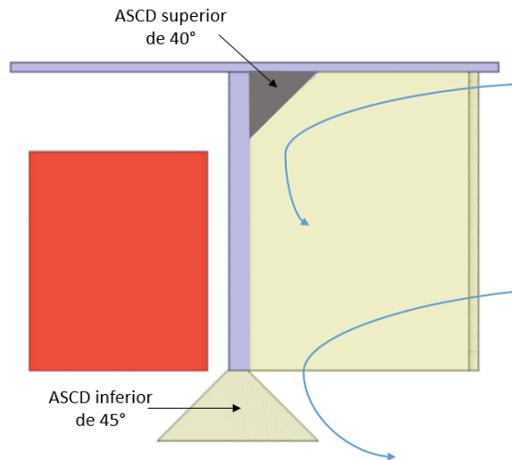


Figura 20. Ilustración del ASCD inferior y superior. Fuente: elaboración propia

C) La ausencia de rejillas frontales nos ayuda a recaudar mayor volumen de aire del exterior, y la ausencia de rejillas laterales evita que este volumen se filtre de nuevo hacia el exterior, es decir, paredes cerradas generan una especie de túnel que direcciona el viento hacia el interior, como se ilustra en la Figura 21

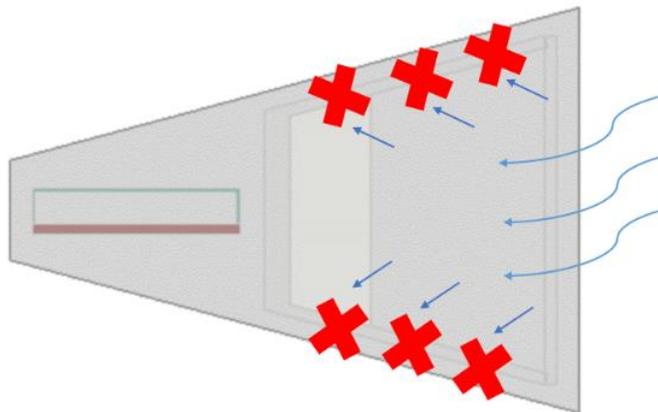


Figura 21. Ilustración de la trayectoria del viento sin rejillas dentro de la chimenea.

Fuente: elaboración propia

La ubicación y la orientación de la chimenea siempre serán variables dependientes tanto de las condiciones del sitio como de la habitación a ventilar. En las Figuras 22A y 22B se ilustran de manera específica los elementos de la chimenea compuesta y en la Figura 23 se muestra la ubicación de la chimenea en el caso de estudio.

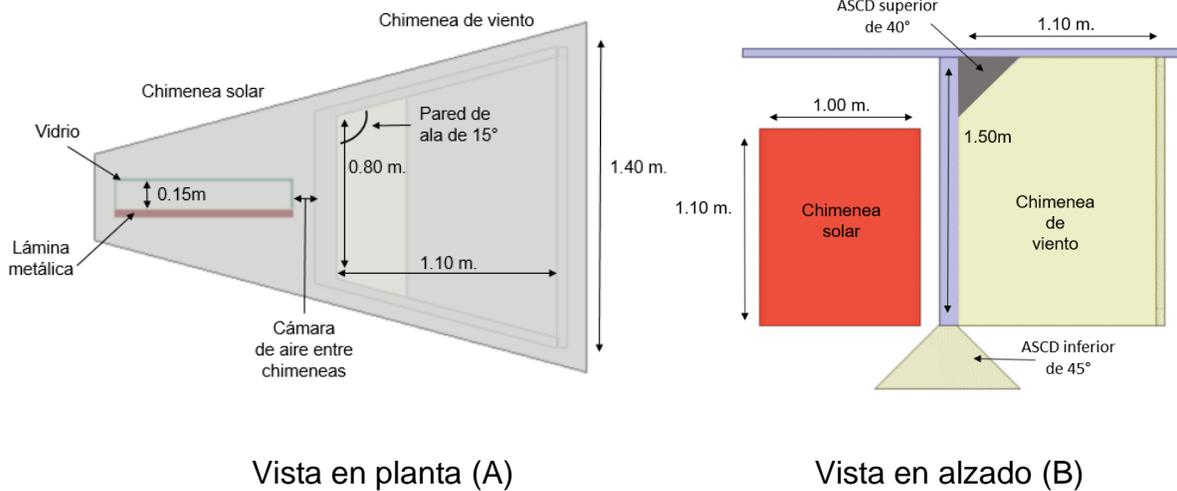


Figura 22A, 22B. Descripción gráfica del prototipo de chimenea “SIM 3A. 140.SI”.

Fuente: elaboración propia

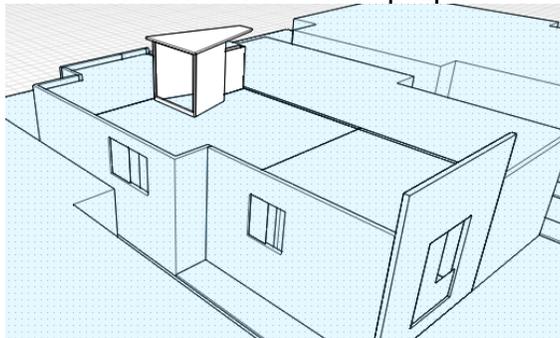


Figura 23. Imagen de la ubicación del prototipo de chimenea “SIM 3A. 140.SI” en la vivienda de interés social. Fuente: elaboración propia

## V. DISCUSIÓN

La percepción humana del movimiento del aire depende de factores ambientales como la velocidad del aire, las fluctuaciones de la velocidad del aire, la temperatura del aire y factores personales como la sensación térmica general, el aislamiento de la ropa y el nivel de actividad física (tasa metabólica)<sup>92</sup>, por lo que la velocidad del aire afecta las pérdidas de calor por convección y evaporación del cuerpo humano, y por lo tanto determina las condiciones de confort térmico<sup>93</sup>. Estudios previos sobre el confort térmico y su relación con la ventilación, señalan que producir movimiento elevado de aire en el entorno reduce o elimina el calor sensible y latente del cuerpo, al punto de que la temperatura corporal se restablezca a sus puntos de ajuste de confort. Esta hipótesis puede deducirse del principio fisiológico de la Aliestesia<sup>94</sup>.

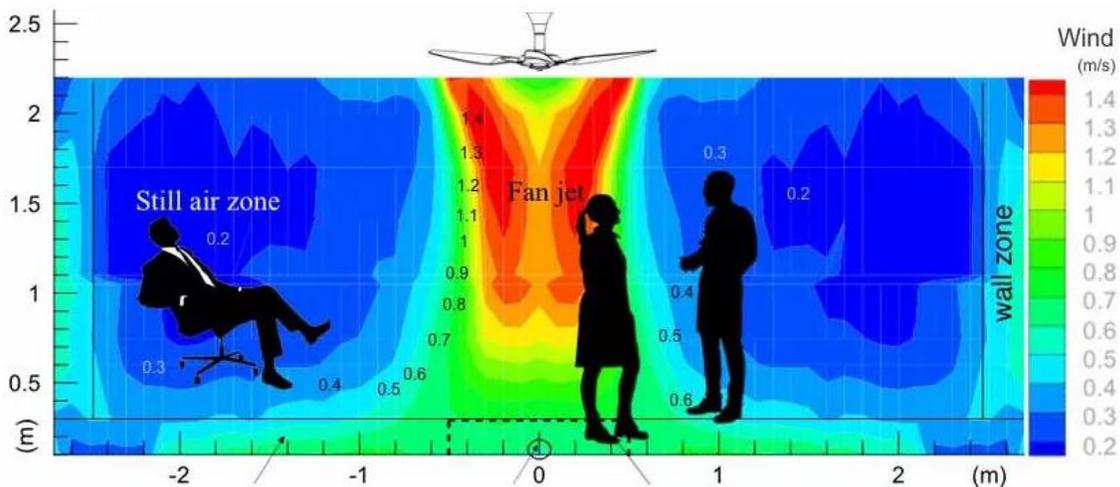


Figura 24. Imagen de la distribución de la velocidad de viento de un ventilador estándar (Haiku 60”) en velocidad 4<sup>95</sup>.

Tomando como ejemplo la Figura 24, en la cual se muestra la intensidad y variación de la velocidad del viento de un ventilador de techo medido con anemómetros, se puede hacer una comparación respecto a los resultados obtenidos con la chimenea

<sup>92</sup> Toftum, J. (2004). Air movement - Good or bad?. *Indoor air* (14). 5-40.

<sup>93</sup> Mallick, F. (1996). Thermal comfort and building design in the tropical climates. *Energy and Buildings*. (3), 3161-167. Elsevier

<sup>94</sup> Cabanac, M. (1971). *Physiological Role of Pleasure*. *Science* (173), 1103-1107.

<sup>95</sup> Hansen Wholesale online shop

compuesta "SIM 3A. 140.SI". Para la Figura 24, el área azul etiquetada como "zona de aire quieto" (still air zone), es aire que carece de movimiento y el color rojo es aire con un movimiento máximo de 1.4 m/s. Como resultado del experimento, en la imagen se puede notar que casi no se siente flujo de aire fuera de la columna de aire directa. En cuanto a las siluetas, la mujer sentiría el aire en su flujo máximo a 1.4 m/s, mientras está de pie directamente debajo del ventilador en la columna principal de aire. El hombre que hablaba con ella sentiría entre 0.5 y 0.4 m/s. y el hombre sentado en la silla de la oficina no siente mucho, excepto en los tobillos que sería aproximadamente 0.3 m/s.

En contraste, se puede ver en los resultados obtenidos en las simulaciones con el prototipo de chimenea compleja "SIM 3A. 140.SI", que la velocidad de viento que ingresa por la chimenea y desciende por debajo de ella hacia el interior de la vivienda logra alcanzar hasta 2.63 m/s (como se muestra en la Figura 25), casi duplicando lo obtenido en la columna de aire directo que se tiene justo debajo de un ventilador estándar, que es 1.4 m/s; a su vez, para el resto de la vivienda y colocando la chimenea, se logran velocidades de hasta 2.10 m/s, sin tener que estar debajo de la chimenea, incluso estando en otra habitación, como se puede ver en la Figura 26. Cabe mencionar que estas velocidades se logran con la chimenea sin ningún tipo de energía eléctrica.

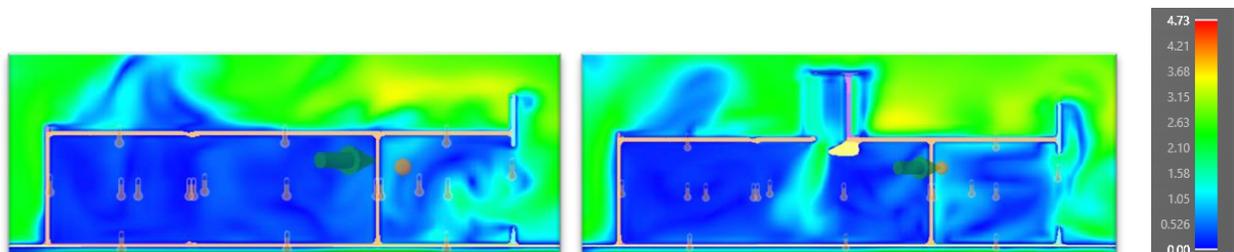


Figura 25. Imagen del simulador. A la izquierda vista en alzado del flujo de aire interior de la vivienda sin la chimenea. A la derecha vista en alzado del flujo de aire que circula dentro de la vivienda con el prototipo de chimenea "SIM 3A.140.SI".

Fuente: elaboración propia.

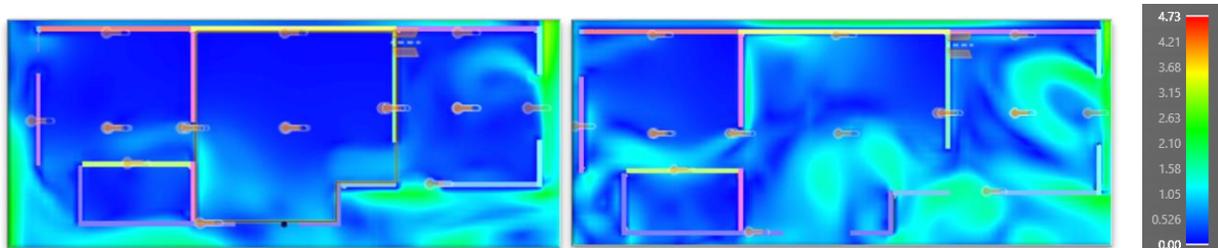


Figura 26. Imagen del simulador. A la izquierda vista en planta del flujo de aire interior de la vivienda sin la chimenea. A la derecha vista en planta del flujo de aire que circula dentro de la vivienda con el prototipo de chimenea “SIM 3A.140.SI”.

Fuente: elaboración propia.

El investigador Toftum, menciona que para los ocupantes que consideran sentirse en condiciones más cálidas que neutrales (como sucede frecuentemente en nuestra región) a temperaturas superiores a 23° grados o con niveles de actividad elevados, por lo general no sienten corrientes de aire a las velocidades del aire típicas de ambientes interiores (hasta alrededor de 0.4 m/s). Sin embargo, en un rango de temperatura más alto, se ha encontrado que velocidades de aire muy altas (hasta alrededor de 1.6 m/s) son aceptables a temperaturas del aire alrededor de 30° grados<sup>96</sup>,

Por tal razón, como una estrategia para alcanzar el objetivo principal de esta investigación de proponer una chimenea compuesta de viento y solar en el interior de la vivienda de interés social, como elemento auxiliar para la mejora del confort térmico de ésta, su buscó incrementar la circulación de aire interno; es decir, alcanzar una mejor sensación térmica dentro de la vivienda al incrementar la velocidad con la que se ingresa y se extrae el viento de la vivienda y por ende incrementar la tasa de renovaciones de aire por hora (ACH). Ya que como podemos ver en la Figura 24 y en comparación con la Figura 25, el prototipo de chimenea compuesta “SIM 3A.140.SI” aumenta la velocidad con la que el viento circula en relación a condiciones normales e incluso en comparación con ventiladores comunes.

En estudios anteriores relacionados a la chimenea de viento, se llegó a la conclusión de que el rendimiento de su ventilación, puede variar dependiendo del ángulo desde

<sup>96</sup> Ibid

el cual reciba el viento. En aquel estudio se analizaron ángulos desde 0° hasta los 90°. Los resultados demostraron que la tasa de ventilación es más alta cuando el viento es perpendicular a la abertura del colector<sup>97</sup>. Sin embargo, en esta investigación se descubrió que, para esta región y para este caso de estudio, el mayor rendimiento de ventilación (promedio) se obtiene colocando el colector de la chimenea de viento a un ángulo de 30° respecto a la dirección de viento proveniente del exterior. Cabe mencionar que el estudio del investigador Nejat, se realizó en la ciudad de Yazd en Irán, lugar en donde las condiciones climatológicas son diferentes a las que tenemos en Yucatán. Así mismo la metodología fue por medio de medición de túneles de viento; y en nuestro caso se utilizó un programa de simulación. Dichos factores podrían ser determinantes para la diferencia de conclusiones.

Por otra parte, respecto a la chimenea solar, al igual que los resultados obtenidos en un experimento llevado a cabo por el Dr. Xamán, en donde se concluyó que la orientación este y sur arrojaron una mejor eficiencia y en segundo lugar la orientación oeste<sup>98</sup>, en este trabajo de investigación se llegó a la misma conclusión respecto a la orientación sur. Es por esta razón que el modelo final de la chimenea está compuesta por una chimenea solar orientada hacia el sur, con el objetivo de obtener el mayor rendimiento respecto a la placa metálica y su relación con la radiación, ya que esa orientación fue la que nos dio mejores resultados en las simulaciones.

De igual manera, así como se observó en una investigación en Reino Unido liderada por Jomehzadeh, en donde se reveló que se logra una calidad de aire interior (IAQ) satisfactoria con la torre de viento por medio de la evaluación de parámetros como el caudal de aire, la tasa de cambio de aire, la concentración de CO<sub>2</sub>, la efectividad del cambio de aire y la media del aire <sup>99</sup>, en este documento de investigación se llegó a los mismos resultados. En esta investigación se comparó la tasa de renovaciones de

---

<sup>97</sup> Nejat, P. et al. (2016). Anti-short-circuit device: A new solution for short-circuiting in windcatcher and improvement of natural ventilation performance. *Building and Environment*, (105), 24 - 39. Elsevier.

<sup>98</sup> Xamán, J., et al. (2019) Transient thermal analysis of a solar chimney for buildings with three different types of absorbing materials: Copper plate/PCM/concrete wall. *Renewable Energy* (136) 139 - 158. Elsevier

<sup>99</sup> Jomehzadeh, F. (2017). A review on windcatcher for passive cooling and natural ventilation in buildings, Part 1: Indoor air quality and thermal comfort assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (70), 736 – 756. Elsevier.

aire por hora que se tiene sin la chimenea en comparación con los resultados de la vivienda con la chimenea y se obtuvo que, de la misma manera como se estipula en ese estudio, la calidad de aire interior es mejor con la colocación de una chimenea de viento en el inmueble.

Sin embargo, podemos encontrar una mejor aproximación a los resultados obtenidos en este documento con el análisis realizado por el investigador Haw, en donde se demostró que una chimenea o torre de viento tiene la capacidad de lograr una calidad de aire interior adecuada y mejorar el confort térmico de los habitantes en climas cálidos y húmedos<sup>100</sup>. Del mismo modo, considero importante respaldar, con los resultados de los investigadores Kirk y Kolokotroni que las tasas de intercambio de aire están relacionadas con la velocidad del viento y que, para velocidades de viento bajas, se encontró una correlación entre la tasa de intercambio del flujo de aire y la diferencia de temperatura externa interna, lo que indica el efecto de las fuerzas de flotación.

Por último, pero no menos importante, el Dr. Bahadori, afirma que el principal beneficio de este elemento es que explota la energía eólica renovable para su operación, por lo que es considerablemente más rentable y saludable. Afirmación que se puede comprobar en este documento de investigación y que se considera importante hacer notar, ya que como consecuencia incrementa la comodidad humana a un bajo costo, además que captura y suministra aire limpio y fresco<sup>101</sup>.

---

<sup>100</sup> Nejat, P. et al. (2016). Anti-short-circuit device: A new solution for short-circuiting in windcatcher and improvement of natural ventilation performance. *Building and Environment*, (105), 24 - 39. Elsevier.

<sup>101</sup> Liu, S., Mak, C.M., y Niu, J. (2010). Numerical evaluation of louver configuration and ventilation strategies for the windcatcher system. *Building and Environment* (46), 1600 -1616. Elsevier

## VI. CONCLUSIONES

Esta investigación tenía el objetivo de comprobar que una chimenea compuesta, empleada bajo las condiciones climatológicas de Yucatán, puede mejorar las condiciones de confort de la vivienda promedio que se construye en la región, lo cual, con los resultados obtenidos se demostró que es posible.

Con estos resultados y con las conclusiones obtenidas de investigaciones anteriores, se puede decir que en la actualidad se cuenta con una opción más de acondicionamiento pasivo en la edificación, cada vez más viable y factible, que se puede incluir dentro de nuestras construcciones y nuestros diseños, sin temor a proponer una tecnología obsoleta o poco útil.

Dicha opción considera factores como la economía familiar y el medio ambiente. En términos generales, este elemento pasivo de ventilación, trae consigo beneficios en la edificación, como lo es la producción de ventilación natural como estrategia pasiva de refrigeración, así como también ayuda a reducir el consumo de energía eléctrica, las emisiones de dióxido de carbono y la contaminación; sin dejar atrás los beneficios de confort térmico.

Si bien con este elemento no se lograría tener temperaturas internas en la vivienda tan bajas como las que se logran con aparatos que utilicen electricidad o alguna fuente no pasiva de energía, la chimenea ayudaría a mejorar las condiciones de confort térmico en el día a día de las familias que no cuentan actualmente con los recursos económicos necesarios como para mejorar el confort de su vivienda, sin olvidar que al utilizar un elemento como este, se podría mantener un confort térmico uniforme y no solo uno inmediato y que solo se percibe si existe algún tipo de consumo energético y si el aparato esta encendido, como lo es con la ventilación mecánica o eléctrica.

Sin embargo, a pesar de que cada día se cuenta con más información sobre el tema, y los resultados son favorables en la mayoría de los casos, sigue siendo un elemento poco considerado y poco implementado en nuestro país, sobre todo en la construcción de la vivienda de interés social, lo cual resulta en un impulso tecnológico detenido por la desinformación, y la carente consideración por nuestro medio ambiente.

## VII. REFERENCIAS

Aguilar Parra, F. (2015). Eficiencia energética en edificaciones: Barreras y oportunidades en la vivienda social de La paz, Baja California Sur. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Anderson, J. (1995). Computational fluid dynamics: the basics with applications. Estados Unidos. McGraw-Hil

Bansal, N., Rajesh, M. y Bhandari (1994). A Study Of Solar Chimney Assited Wind Tower System For Natural Ventilation In Buildings 29 (4), 495 – 500. Building and Environment

Bansal, N., Mathur, R. y Bhandari, M. (1993). Solar Chimney for Enhanced Stack Ventilation. Building and environment (28) 373 – 377. Elsevier

Blazek, J., (2005). Computational fluid dynamics: principles and applications. Inglaterra. Elsevier

Cabanac, M. (1971). *Physiological Role of Pleasure*. *Science* (173), 1103-1107.

Chávez, F. (2002). Zona Variable de Confort Térmico. (Tesis doctoral) Universidad Politécnica de Catalunya

de Dear, R. y Brager, G. (2002). Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings* (34) 549–561. Elsevier

García, J. (1994). Diseño Bioclimático para ahorro de energía y confort ambiental integral. México: Universidad Autónoma Metropolitana.

Garcia, J. y Fuentes, V. (2005). Viento y Arquitectura. México: Trillas

Givoni, B. (1998). Climate considerations in building and urban design. New York: Van Nostrand Reinhold.

Givoni, B. (1994). Passive and Low Energy Cooling of Buildings. Nueva York, E.U. John Wiley and Sons, Inc.

Guillén Solís, O. (2004): *Energías renovables: una perspectiva ingenieril*. México: Trillas.

Gurría, A, (6 de enero, 2015). Estudio de Política Urbana de México Transformando la Política Urbana y el Financiamiento de la Vivienda "Construir Ciudades, No Sólo Casas". México.

Hamzanluim, E., Amindeldar S., y Besharatizadeh A. (2012). New approach to natural ventilation in public buildings inspired by iranian's traditional windcatcher. *Procedia Engineering* (21) 42 - 52. Elsevier.

Jomehzadeh, F. (2017). A review on windcatcher for passive cooling and natural ventilation in buildings, Part 1: Indoor air quality and thermal comfort assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (70), 736 – 756. Elsevier.

Kamal, M. A. (2012). An Overview of Passive Cooling Techniques in Buildings: Design Concepts and Architectural Interventions. *Acta Technica Napocensis: Civil Engineering & Architecture* 55 (1), 84 – 97.

Kaiser, J. (2016). Evaluation of a two-sided windcatcher integrated with wing wall (as a new design) and comparison with a conventional windcatcher. *Energy and Buildings* (126) 287–300. Elsevier.

Kaiser, J., Aquino, A., Shahzad, S., Nasir, D. y Hughes, B. (2017). Thermal comfort and indoor air quality analysis of a low energy cooling windcatcher. *Energy Procedia* (105), 2865 – 2870. Elsevier.

Liu, S., Mak, C.M., y Niu, J. (2010). Numerical evaluation of louver configuration and ventilation strategies for the windcatcher system. *Building and Environment* (46), 1600 -1616. Elsevier

Lomax, H., Pulliam, T.H., y Zingg D.W. (2003) *Fundamentals of Computational Fluid Dynamics*. Estados Unidos. Springer

López, J. (2017). Estudio Teórico de una Chimenea Solar con Diferentes Placas Absorbedoras (Tesis de Maestría). Centro Nacional de Investigación y Desarrollo tecnológico. Cuernavaca, Morelos.

Mallick, F. (1996). Thermal comfort and building design in the tropical climates. *Energy and Buildings*. (3), 3161-167. Elsevier

Morales, A. (2006). Evaluación del Comportamiento Térmico y Condiciones de Confort en la Vivienda, Empleando Diferentes Materiales (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida.

Morillo, V. y González, I. (2008): El derecho a una vivienda adecuada. Venezuela: Provea

Nejat, P., Kaiser, J., Majid, M., Hughes, B. y Jomehzadeh, F. (2016). Anti-short-circuit device: A new solution for short-circuiting in windcatcher and improvement of natural ventilation performance. *Building and Environment* (105), 24 - 39. Elsevier.

Niemela, R., Hannula, M., Rautio, S., Reijula, K. y Railio, J. (2002). The effect of air temperature on labour productivity in call centres – a case of study. *Energy and Buildings* (34), 759 – 764. Elsevier.

Nikdash, A. y Huynh, P. (2014): Simulation and Analysis of Ventilation Flow Through a Room Caused by a Two-sided Windcatcher Using a LES Metho. *WCE* (2), 978-988. Elsevier.

Ramirez Ortegón, T., Vega Pasos, A. y Álvarez Romero, S. (2016) Thermal comfort and energy efficiency analysis of affordable houses in Merida, Mexico. *EPH - International Journal of Science And Engineering* (3) 1- 7.

Saadatian, O., Chin, H., Sopian, K., y Sulaiman, M. (2011). Review of windcatcher technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (16), 1477 - 1495. Elsevier.

Sánchez, J., (2012): La vivienda “social” en México. México: Sistema Nacional de Creadores de Arte.

Santamouris, M. (2007) *Advances in Passive*. Inglaterra, Earthscan.

Toftum, J. (2004). Air movement - Good or bad?. *Indoor air* (14). 5-40.

Panwar, N.L. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (15) 1513–1524. Elsevier.

Vega, J.C. y Ramírez, S. (2014). *Fuentes de Energía, Renovables y no Renovables*. México, Alfaomega.

Versteeg, H. y Malalasekera, W. (1995) *An introduction to Computational Fluid Dynamics*. Inglaterra. Pearson Education Limited

Xamán, J., Moraga, N., Hernández – Pérez, I., Gijón – Rivera, M., Zavala – Guillen, I., Jiménez, M. y Arce, J. (2019). Solar chimneys with a phase change material for buildings: An overview using CFD and global energy balance. *Energy and Buildings* (186) 384 – 404. Elsevier

Xamán, J., Vargas – Lopez, R., Gijón – Rivera, M., Zavala – Guillen, I., Jiménez, M. y Arce, J. (2019) Transient thermal analysis of a solar chimney for buildings with three different types of absorbing materials: Copper plate/PCM/concrete wall. *Renewable Energy* (136) 139 – 158. Elsevier

### **Organismos de información**

Código de Edificación de Vivienda 3ª edición (2017)

Congreso del Estado de Yucatán (1 abril 2010). Ley de Vivienda del Estado de Yucatán. México

GIZ – INFONAVIT. (2011). Estudio de optimización de la eficiencia energética en las viviendas de interés social.

Instituto Nacional de Estadística y Geográfica. (2017). Censo General de Población y Vivienda. México

International Organization for Standardization (ISO) 7730, 2005, p.1

UCLA Energy Design Tools Group. (1976). Climate Consultant 6.0. (version 16, 2020).

OCDE Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

Organismo de Cuenca de la Península de Yucatán de la Comisión Nacional del Agua (2018).

Apéndice 1

FECHA	HORA	H.R.	TEMPERATURA EXTERIOR	HABITACIÓN 1 (R1)					HABITACIÓN 2 (R2)					SALA/COMEDOR/COCINA (R3)				
				TEMPERATURA INTERNA GENERAL	TEMPERATURA POR SUPERFICIE				TEMPERATURA INTERNA GENERAL	TEMPERATURA POR SUPERFICIE				TEMPERATURA INTERNA GENERAL	TEMPERATURA POR SUPERFICIE			
					PARED	ORIENTACIÓN	SPOT	TEMP		PARED	ORIENTACIÓN	SPOT	TEMP		PARED	ORIENTACIÓN	SPOT	TEMP
5/28/2019	1:00 PM	42.40%	33	35	R1-W1	OESTE	ESQ-SUP. IZQ	36.1	R2-W1	OESTE	ESQ-SUP. IZQ	34.1	R3-W1	OESTE	ESQ-SUP. IZQ	33.9		
							ESQ-INF. IZQ	36.1			ESQ-INF. IZQ	33.4			ESQ-INF. IZQ	33.6		
							CENTRO	36.6			CENTRO	33.3			CENTRO	33.4		
							ESQ-SUP. DER	36			ESQ-SUP. DER	33.4			ESQ-SUP. DER	33.5		
							ESQ-INF. DER	36.3			ESQ-INF. DER	33.3			ESQ-INF. DER	33.6		
					R1-W2	NORTE	ESQ-SUP. IZQ	36.1	R2-W2	NORTE	ESQ-SUP. IZQ	33.4	R3-W2	NORTE	ESQ-SUP. IZQ	34.9		
							ESQ-INF. IZQ	36			ESQ-INF. IZQ	33.2			ESQ-INF. IZQ	35		
							CENTRO	39.6			CENTRO	33.3			CENTRO	35.4		
							ESQ-SUP. DER	36.2			ESQ-SUP. DER	32.9			ESQ-SUP. DER	34.8		
							ESQ-INF. DER	36.3			ESQ-INF. DER	32.9			ESQ-INF. DER	34.7		
					R1-W3	ESTE	ESQ-SUP. IZQ	35.3	R2-W3	ESTE	ESQ-SUP. IZQ	32.1	R3-W3	ESTE	ESQ-SUP. IZQ	32.8		
							ESQ-INF. IZQ	35.5			ESQ-INF. IZQ	32.4			ESQ-INF. IZQ	32.9		
		CENTRO	35			CENTRO	32.5			CENTRO	35.7							
		ESQ-SUP. DER	34.8			ESQ-SUP. DER	32.1			ESQ-SUP. DER	32.9							
		ESQ-INF. DER	35.6			ESQ-INF. DER	32.6			ESQ-INF. DER	32.8							
R1-W4	SUR	ESQ-SUP. IZQ	35.7	R2-W4	SUR	ESQ-SUP. IZQ	32.8	R3-W4	SUR	ESQ-SUP. IZQ	33							
		ESQ-INF. IZQ	36.2			ESQ-INF. IZQ	32.4			ESQ-INF. IZQ	32.9							
		CENTRO	37			CENTRO	33.2			CENTRO	33							
		ESQ-SUP. DER	35.8			ESQ-SUP. DER	34.5			ESQ-SUP. DER	32.3							
		ESQ-INF. DER	35.7			ESQ-INF. DER	34.6			ESQ-INF. DER	32.2							
R1-F	N/A	ESQ-SUP. IZQ	35.4	R2-F	N/A	ESQ-SUP. IZQ	33	R3-F	N/A	ESQ-SUP. IZQ	33							
		ESQ-INF. IZQ	35.6			ESQ-INF. IZQ	33.2			ESQ-INF. IZQ	33.2							
		CENTRO	36.5			CENTRO	33.7			CENTRO	33.7							
		ESQ-SUP. DER	35.9			ESQ-SUP. DER	33.1			ESQ-SUP. DER	33.1							
		ESQ-INF. DER	35.9			ESQ-INF. DER	33.6			ESQ-INF. DER	33.6							
R1-C	N/A	ESQ-SUP. IZQ	36.4	R2-C	N/A	ESQ-SUP. IZQ	34.1	R3-C	N/A	ESQ-SUP. IZQ	34.1							
		ESQ-INF. IZQ	36.3			ESQ-INF. IZQ	33.6			ESQ-INF. IZQ	33.6							
		CENTRO	36.7			CENTRO	34.8			CENTRO	34.9							
		ESQ-SUP. DER	36.6			ESQ-SUP. DER	35.4			ESQ-SUP. DER	35.4							
		ESQ-INF. DER	36.3			ESQ-INF. DER	34.9			ESQ-INF. DER	34.9							
5/28/2019	6:00 PM	48.01%	34	36	R1-W1	OESTE	ESQ-SUP. IZQ	37.8	R2-W1	OESTE	ESQ-SUP. IZQ	36.8	R3-W1	OESTE	ESQ-SUP. IZQ	35.5		
							ESQ-INF. IZQ	36.9			ESQ-INF. IZQ	35.2			ESQ-INF. IZQ	34.6		
							CENTRO	37.5			CENTRO	35.7			CENTRO	34.9		
							ESQ-SUP. DER	38			ESQ-SUP. DER	36.4			ESQ-SUP. DER	35.4		
							ESQ-INF. DER	36.9			ESQ-INF. DER	35.5			ESQ-INF. DER	34.6		
					R1-W2	NORTE	ESQ-SUP. IZQ	38	R2-W2	NORTE	ESQ-SUP. IZQ	36	R3-W2	NORTE	ESQ-SUP. IZQ	35.7		
							ESQ-INF. IZQ	36.6			ESQ-INF. IZQ	35.5			ESQ-INF. IZQ	34.9		
							CENTRO	36.2			CENTRO	35.7			CENTRO	35.3		
							ESQ-SUP. DER	37.4			ESQ-SUP. DER	35.2			ESQ-SUP. DER	35.5		
							ESQ-INF. DER	36.9			ESQ-INF. DER	35.2			ESQ-INF. DER	35.1		
					R1-W3	ESTE	ESQ-SUP. IZQ	37.1	R2-W3	ESTE	ESQ-SUP. IZQ	35	R3-W3	ESTE	ESQ-SUP. IZQ	35.5		
							ESQ-INF. IZQ	37.4			ESQ-INF. IZQ	34.5			ESQ-INF. IZQ	35.5		
		CENTRO	37.1			CENTRO	35.1			CENTRO	35.5							
		ESQ-SUP. DER	37			ESQ-SUP. DER	36.5			ESQ-SUP. DER	35.2							
		ESQ-INF. DER	37			ESQ-INF. DER	36.9			ESQ-INF. DER	35.5							
R1-W4	SUR	ESQ-SUP. IZQ	36.7	R2-W4	SUR	ESQ-SUP. IZQ	36.1	R3-W4	SUR	ESQ-SUP. IZQ	33.7							
		ESQ-INF. IZQ	36.7			ESQ-INF. IZQ	35.6			ESQ-INF. IZQ	33.7							
		CENTRO	36.7			CENTRO	36			CENTRO	34.4							
		ESQ-SUP. DER	36.9			ESQ-SUP. DER	37.4			ESQ-SUP. DER	35							
		ESQ-INF. DER	36.2			ESQ-INF. DER	35.7			ESQ-INF. DER	34.3							
R1-F	N/A	ESQ-SUP. IZQ	36	R2-F	N/A	ESQ-SUP. IZQ	35.8	R3-F	N/A	ESQ-SUP. IZQ	34.6							
		ESQ-INF. IZQ	36.6			ESQ-INF. IZQ	34.9			ESQ-INF. IZQ	34.4							
		CENTRO	37			CENTRO	35.5			CENTRO	34.6							
		ESQ-SUP. DER	36.4			ESQ-SUP. DER	34.7			ESQ-SUP. DER	34.5							
		ESQ-INF. DER	36.7			ESQ-INF. DER	34.8			ESQ-INF. DER	34.2							
R1-C	N/A	ESQ-SUP. IZQ	38.4	R2-C	N/A	ESQ-SUP. IZQ	37.7	R3-C	N/A	ESQ-SUP. IZQ	36.8							
		ESQ-INF. IZQ	38.1			ESQ-INF. IZQ	37.8			ESQ-INF. IZQ	36.9							
		CENTRO	38.2			CENTRO	37.7			CENTRO	36.9							
		ESQ-SUP. DER	37.5			ESQ-SUP. DER	36.6			ESQ-SUP. DER	36.4							
		ESQ-INF. DER	37.8			ESQ-INF. DER	36.8			ESQ-INF. DER	35.2							
5/29/2019	11:00 AM	57.97%	37	35	R1-W1	OESTE	ESQ-SUP. IZQ	35.7	R2-W1	OESTE	ESQ-SUP. IZQ	34.6	R3-W1	OESTE	ESQ-SUP. IZQ	34.1		
							ESQ-INF. IZQ	35.5			ESQ-INF. IZQ	33.8			ESQ-INF. IZQ	34		
							CENTRO	36			CENTRO	34.6			CENTRO	34.1		
							ESQ-SUP. DER	35.8			ESQ-SUP. DER	34			ESQ-SUP. DER	34.2		
							ESQ-INF. DER	35.5			ESQ-INF. DER	33.9			ESQ-INF. DER	34		
					R1-W2	NORTE	ESQ-SUP. IZQ	35.9	R2-W2	NORTE	ESQ-SUP. IZQ	34.4	R3-W2	NORTE	ESQ-SUP. IZQ	34.4		
							ESQ-INF. IZQ	35.6			ESQ-INF. IZQ	34.2			ESQ-INF. IZQ	34.4		
							CENTRO	39.3			CENTRO	34			CENTRO	34.4		
							ESQ-SUP. DER	35.5			ESQ-SUP. DER	34.1			ESQ-SUP. DER	35		
							ESQ-INF. DER	35.6			ESQ-INF. DER	34			ESQ-INF. DER	35		
					R1-W3	ESTE	ESQ-SUP. IZQ	34.2	R2-W3	ESTE	ESQ-SUP. IZQ	33.5	R3-W3	ESTE	ESQ-SUP. IZQ	34.4		
							ESQ-INF. IZQ	34.4			ESQ-INF. IZQ	33.3			ESQ-INF. IZQ	34.4		
		CENTRO	34.4			CENTRO	33.5			CENTRO	37.2							
		ESQ-SUP. DER	37.5			ESQ-SUP. DER	37			ESQ-SUP. DER	34.1							
		ESQ-INF. DER	34.7			ESQ-INF. DER	34.3			ESQ-INF. DER	34.2							
R1-W4	SUR	ESQ-SUP. IZQ	35.6	R2-W4	SUR	ESQ-SUP. IZQ	34.3	R3-W4	SUR	ESQ-SUP. IZQ	33.3							
		ESQ-INF. IZQ	35.5			ESQ-INF. IZQ	33.8			ESQ-INF. IZQ	33.6							
		CENTRO	35.5			CENTRO	34.2			CENTRO	34.7							
		ESQ-SUP. DER	35.3			ESQ-SUP. DER	37.4			ESQ-SUP. DER	34.7							
		ESQ-INF. DER	35.2			ESQ-INF. DER	33.9			ESQ-INF. DER	34.7							
R1-F	N/A	ESQ-SUP. IZQ	35.4	R2-F	N/A	ESQ-SUP. IZQ	34	R3-F	N/A	ESQ-SUP. IZQ	34.2							
		ESQ-INF. IZQ	35.2			ESQ-INF. IZQ	34			ESQ-INF. IZQ	34.4							
		CENTRO	37.1			CENTRO	34.3			CENTRO	34							
		ESQ-SUP. DER	36			ESQ-SUP. DER	34			ESQ-SUP. DER	34.9							
		ESQ-INF. DER	36			ESQ-INF. DER	34.2			ESQ-INF. DER	34							
R1-C	N/A	ESQ-SUP. IZQ	36	R2-C	N/A	ESQ-SUP. IZQ	35.5	R3-C	N/A	ESQ-SUP. IZQ	35.3							
		ESQ-INF. IZQ	36			ESQ-INF. IZQ	36			ESQ-INF. IZQ	35.4							
		CENTRO	36.1			CENTRO	35.6			CENTRO	35.4							
		ESQ-SUP. DER	35.8			ESQ-SUP. DER	35.2			ESQ-SUP. DER	35.6							
		ESQ-INF. DER	35.8			ESQ-INF. DER	35.2			ESQ-INF. DER	35.8							

5/29/2019	3:00 PM	61.60%	38	TEMPERATURA INTERNA GENERAL	TEMPERATURA POR SUPERFICIE				TEMPERATURA INTERNA GENERAL	TEMPERATURA POR SUPERFICIE				TEMPERATURA INTERNA GENERAL	TEMPERATURA POR SUPERFICIE			
				37	PARED	ORIENTACIÓN	SPOT	TEMP	34.5	PARED	ORIENTACIÓN	SPOT	TEMP	36	PARED	ORIENTACIÓN	SPOT	TEMP
				R1-W1	OESTE	ESQ-SUP. IZQ	37.7	R2-W1	OESTE	ESQ-SUP. IZQ	36.8	R3-W1	OESTE	ESQ-SUP. IZQ	36.2			
						ESQ-INF. IZQ	37.2			ESQ-INF. IZQ	35.2			ESQ-INF. IZQ	35.7			
						CENTRO	37.6			CENTRO	35.5			CENTRO	35.6			
						ESQ-SUP. DER	37.7			ESQ-SUP. DER	35.9			ESQ-SUP. DER	35.9			
						ESQ-INF. DER	37.2			ESQ-INF. DER	35			ESQ-INF. DER	35.3			
				R1-W2	NORTE	ESQ-SUP. IZQ	38.5	R2-W2	NORTE	ESQ-SUP. IZQ	36.2	R3-W2	NORTE	ESQ-SUP. IZQ	36.7			
						ESQ-INF. IZQ	38.5			ESQ-INF. IZQ	35.4			ESQ-INF. IZQ	36.3			
						CENTRO	40.1			CENTRO	35.6			CENTRO	36.5			
						ESQ-SUP. DER	38.4			ESQ-SUP. DER	36.2			ESQ-SUP. DER	36.3			
						ESQ-INF. DER	38.3			ESQ-INF. DER	35.3			ESQ-INF. DER	38.3			
				R1-W3	ESTE	ESQ-SUP. IZQ	38.1	R2-W3	ESTE	ESQ-SUP. IZQ	35.7	R3-W3	ESTE	ESQ-SUP. IZQ	36.9			
						ESQ-INF. IZQ	38.1			ESQ-INF. IZQ	34.9			ESQ-INF. IZQ	37			
		CENTRO	38.1			CENTRO	35.7			CENTRO	39.5							
		ESQ-SUP. DER	40.1			ESQ-SUP. DER	40.8			ESQ-SUP. DER	36.6							
		ESQ-INF. DER	38.3			ESQ-INF. DER	36.3			ESQ-INF. DER	37							
R1-W4	SUR	ESQ-SUP. IZQ	37.8	R2-W4	SUR	ESQ-SUP. IZQ	36.2	R3-W4	SUR	ESQ-SUP. IZQ	35.3							
		ESQ-INF. IZQ	37.6			ESQ-INF. IZQ	35.6			ESQ-INF. IZQ	35.3							
		CENTRO	37.7			CENTRO	35.7			CENTRO	36.1							
		ESQ-SUP. DER	37.5			ESQ-SUP. DER	41			ESQ-SUP. DER	36							
		ESQ-INF. DER	37.3			ESQ-INF. DER	35.3			ESQ-INF. DER	35.7							
R1-F	N/A	ESQ-SUP. IZQ	37.1	R2-F	N/A	ESQ-SUP. IZQ	35.4	R3-F	N/A	ESQ-SUP. IZQ	36							
		ESQ-INF. IZQ	36.9			ESQ-INF. IZQ	36.6			ESQ-INF. IZQ	37							
		CENTRO	38			CENTRO	35.5			CENTRO	36.1							
		ESQ-SUP. DER	37.1			ESQ-SUP. DER	35.4			ESQ-SUP. DER	35.4							
		ESQ-INF. DER	37.7			ESQ-INF. DER	35.1			ESQ-INF. DER	35.9							
R1-C	N/A	ESQ-SUP. IZQ	39.3	R2-C	N/A	ESQ-SUP. IZQ	35.5	R3-C	N/A	ESQ-SUP. IZQ	38.7							
		ESQ-INF. IZQ	39.1			ESQ-INF. IZQ	36			ESQ-INF. IZQ	38.8							
		CENTRO	39.4			CENTRO	35.6			CENTRO	38.8							
		ESQ-SUP. DER	39			ESQ-SUP. DER	35.2			ESQ-SUP. DER	38.8							
		ESQ-INF. DER	39			ESQ-INF. DER	35.2			ESQ-INF. DER	38.7							
5/30/2019	5:00 PM	62.90%	37	TEMPERATURA INTERNA GENERAL	TEMPERATURA POR SUPERFICIE				TEMPERATURA INTERNA GENERAL	TEMPERATURA POR SUPERFICIE				TEMPERATURA INTERNA GENERAL	TEMPERATURA POR SUPERFICIE			
				38	PARED	ORIENTACIÓN	SPOT	TEMP	34.5	PARED	ORIENTACIÓN	SPOT	TEMP	36	PARED	ORIENTACIÓN	SPOT	TEMP
				R1-W1	OESTE	ESQ-SUP. IZQ	38.3	R2-W1	OESTE	ESQ-SUP. IZQ	36.8	R3-W1	OESTE	ESQ-SUP. IZQ	36.2			
						ESQ-INF. IZQ	37.3			ESQ-INF. IZQ	35.2			ESQ-INF. IZQ	35.7			
						CENTRO	37.7			CENTRO	35.5			CENTRO	35.6			
						ESQ-SUP. DER	38.5			ESQ-SUP. DER	35.9			ESQ-SUP. DER	35.9			
						ESQ-INF. DER	37.6			ESQ-INF. DER	35			ESQ-INF. DER	35.3			
				R1-W2	NORTE	ESQ-SUP. IZQ	38.9	R2-W2	NORTE	ESQ-SUP. IZQ	36.2	R3-W2	NORTE	ESQ-SUP. IZQ	36.7			
						ESQ-INF. IZQ	38.3			ESQ-INF. IZQ	35.4			ESQ-INF. IZQ	36.3			
						CENTRO	39.5			CENTRO	35.6			CENTRO	36.5			
						ESQ-SUP. DER	39			ESQ-SUP. DER	36.2			ESQ-SUP. DER	38.3			
						ESQ-INF. DER	38.6			ESQ-INF. DER	35.3			ESQ-INF. DER	38.3			
				R1-W3	ESTE	ESQ-SUP. IZQ	38.8	R2-W3	ESTE	ESQ-SUP. IZQ	35.7	R3-W3	ESTE	ESQ-SUP. IZQ	36.9			
						ESQ-INF. IZQ	39			ESQ-INF. IZQ	34.9			ESQ-INF. IZQ	37			
		CENTRO	38.8			CENTRO	35.7			CENTRO	39.5							
		ESQ-SUP. DER	39.7			ESQ-SUP. DER	40.8			ESQ-SUP. DER	36.6							
		ESQ-INF. DER	38.7			ESQ-INF. DER	36.3			ESQ-INF. DER	37							
R1-W4	SUR	ESQ-SUP. IZQ	39.9	R2-W4	SUR	ESQ-SUP. IZQ	36.2	R3-W4	SUR	ESQ-SUP. IZQ	35.3							
		ESQ-INF. IZQ	38.6			ESQ-INF. IZQ	35.6			ESQ-INF. IZQ	35.3							
		CENTRO	37.8			CENTRO	35.7			CENTRO	36.1							
		ESQ-SUP. DER	38.1			ESQ-SUP. DER	41			ESQ-SUP. DER	36							
		ESQ-INF. DER	37			ESQ-INF. DER	35.3			ESQ-INF. DER	35.7							
R1-F	N/A	ESQ-SUP. IZQ	37	R2-F	N/A	ESQ-SUP. IZQ	35.4	R3-F	N/A	ESQ-SUP. IZQ	36							
		ESQ-INF. IZQ	36.9			ESQ-INF. IZQ	36.6			ESQ-INF. IZQ	37							
		CENTRO	38			CENTRO	35.5			CENTRO	36.1							
		ESQ-SUP. DER	37.2			ESQ-SUP. DER	35.4			ESQ-SUP. DER	35.4							
		ESQ-INF. DER	37.7			ESQ-INF. DER	35.1			ESQ-INF. DER	35.9							
R1-C	N/A	ESQ-SUP. IZQ	40	R2-C	N/A	ESQ-SUP. IZQ	35.5	R3-C	N/A	ESQ-SUP. IZQ	38.7							
		ESQ-INF. IZQ	39.9			ESQ-INF. IZQ	36			ESQ-INF. IZQ	38.8							
		CENTRO	39.7			CENTRO	35.6			CENTRO	38.8							
		ESQ-SUP. DER	39.1			ESQ-SUP. DER	35.2			ESQ-SUP. DER	38.8							
		ESQ-INF. DER	39.7			ESQ-INF. DER	35.2			ESQ-INF. DER	38.7							
5/31/2019	1:00 PM	64.87%	36	TEMPERATURA INTERNA GENERAL	TEMPERATURA POR SUPERFICIE				TEMPERATURA INTERNA GENERAL	TEMPERATURA POR SUPERFICIE				TEMPERATURA INTERNA GENERAL	TEMPERATURA POR SUPERFICIE			
				37	PARED	ORIENTACIÓN	SPOT	TEMP	36	PARED	ORIENTACIÓN	SPOT	TEMP	36	PARED	ORIENTACIÓN	SPOT	TEMP
				R1-W1	OESTE	ESQ-SUP. IZQ	37.4	R2-W1	OESTE	ESQ-SUP. IZQ	36.7	R3-W1	OESTE	ESQ-SUP. IZQ	35.8			
						ESQ-INF. IZQ	36.8			ESQ-INF. IZQ	35.5			ESQ-INF. IZQ	35.6			
						CENTRO	37.5			CENTRO	35.8			CENTRO	36			
						ESQ-SUP. DER	37.5			ESQ-SUP. DER	36.3			ESQ-SUP. DER	36			
						ESQ-INF. DER	37.1			ESQ-INF. DER	35.5			ESQ-INF. DER	35.7			
				R1-W2	NORTE	ESQ-SUP. IZQ	38	R2-W2	NORTE	ESQ-SUP. IZQ	36	R3-W2	NORTE	ESQ-SUP. IZQ	36.7			
						ESQ-INF. IZQ	38.2			ESQ-INF. IZQ	35.4			ESQ-INF. IZQ	36.4			
						CENTRO	40.5			CENTRO	35.8			CENTRO	36.7			
						ESQ-SUP. DER	38			ESQ-SUP. DER	36.2			ESQ-SUP. DER	38.5			
						ESQ-INF. DER	38.5			ESQ-INF. DER	35.7			ESQ-INF. DER	38			
				R1-W3	ESTE	ESQ-SUP. IZQ	37.6	R2-W3	ESTE	ESQ-SUP. IZQ	35.4	R3-W3	ESTE	ESQ-SUP. IZQ	35.7			
						ESQ-INF. IZQ	37.9			ESQ-INF. IZQ	34.8			ESQ-INF. IZQ	35.4			
		CENTRO	37.8			CENTRO	35.2			CENTRO	38.9							
		ESQ-SUP. DER	40.5			ESQ-SUP. DER	40.5			ESQ-SUP. DER	35.7							
		ESQ-INF. DER	37.6			ESQ-INF. DER	35.4			ESQ-INF. DER	35.8							
R1-W4	SUR	ESQ-SUP. IZQ	38.6	R2-W4	SUR	ESQ-SUP. IZQ	36.1	R3-W4	SUR	ESQ-SUP. IZQ	35.7							
		ESQ-INF. IZQ	37.9			ESQ-INF. IZQ	35.2			ESQ-INF. IZQ	35							
		CENTRO	37.8			CENTRO	35.7			CENTRO	35.7							
		ESQ-SUP. DER	37.7			ESQ-SUP. DER	40.2			ESQ-SUP. DER	36.2							
		ESQ-INF. DER	37.5			ESQ-INF. DER	35.5			ESQ-INF. DER	35.6							
R1-F	N/A	ESQ-SUP. IZQ	37.2	R2-F	N/A	ESQ-SUP. IZQ	36	R3-F	N/A	ESQ-SUP. IZQ	36.1							
		ESQ-INF. IZQ	37.4			ESQ-INF. IZQ	36.2			ESQ-INF. IZQ	36							
		CENTRO	38.4			CENTRO	36			CENTRO	36.3							
		ESQ-SUP. DER	37.3			ESQ-SUP. DER	35.9			ESQ-SUP. DER	36.2							
		ESQ-INF. DER	38			ESQ-INF. DER	35.8			ESQ-INF. DER	35.9							
R1-C	N/A	ESQ-SUP. IZQ	38.8	R2-C	N/A	ESQ-SUP. IZQ	38.4	R3-C	N/A	ESQ-SUP. IZQ	37.9							
		ESQ-INF. IZQ	38.8			ESQ-INF. IZQ	39.5			ESQ-INF. IZQ	37.7							
		CENTRO	39.1			CENTRO	38.4			CENTRO	38.1							
		ESQ-SUP. DER	38.8			ESQ-SUP. DER	37.9			ESQ-SUP. DER	38.1							
		ESQ-INF. DER	38.8			ESQ-INF. DER	38.8			ESQ-INF. DER	38.1							

Apéndice 2

FECHA	HORA	EXTERIOR				INTERIOR				
		TEMPERATURA DE VIENTO		VELOCIDAD DE VIENTO		ESPACIO	ORIENTACIÓN DE VENTANA	VENTANA	VELOCIDAD DE VIENTO	
		MÁXIMA	MÍNIMA	MÁXIMA	MÍNIMA				MÁXIMA	MÍNIMA
28/05/2019	01:00 p. m.	37.1	33	2.2	0	HABITACIÓN 1 (H1)	NORTE	A	2	0
							ESTE	B	0.6	0
							SUR	A	0.7	0
							ESTE	B	1.2	0
SALA/COMEDOR/COCINA (H3)	ESTE	A	1.4	0						
	NORTE INT	B	0.3	0						
	SUR INT	C	0.6	0						
28/05/2019	06:00 p. m.	34.6	33.3	5.9	1.2	HABITACIÓN 1 (H1)	NORTE	A	2.4	0
							ESTE	B	0.5	0
							SUR	A	0.8	0
							ESTE	B	1.3	0
SALA/COMEDOR/COCINA (H3)	ESTE	A	1.1	0						
	NORTE INT	B	2.2	0						
	SUR INT	C	0.6	0						
29/05/2019	11:00 a. m.	36.2	36.2	3.9	0	HABITACIÓN 1 (H1)	NORTE	A	3.7	0
							ESTE	B	0	0
							SUR	A	0	0
							ESTE	B	0.1	0
SALA/COMEDOR/COCINA (H3)	ESTE	A	1.1	0						
	NORTE INT	B	1.1	0						
	SUR INT	C	0.5	0						
29/05/2019	03:00 p. m.	37.2	37	3.2	0	HABITACIÓN 1 (H1)	NORTE	A	2.9	0
							ESTE	B	0.5	0
							SUR	A	0.2	0
							ESTE	B	0.1	0
SALA/COMEDOR/COCINA (H3)	ESTE	A	1.1	0						
	NORTE INT	B	1.2	0						
	SUR INT	C	0.5	0						
30/05/2019	05:00 p. m.	36.7	36.5	6.4	0	HABITACIÓN 1 (H1)	NORTE	A	1.6	0
							ESTE	B	0	0
							SUR	A	1.1	0
							ESTE	B	0.9	0
SALA/COMEDOR/COCINA (H3)	ESTE	A	1.1	0						
	NORTE INT	B	0.2	0						
	SUR INT	C	0	0						
31/05/2019	01:00 p. m.	36.5	36.5	4.5	0	HABITACIÓN 1 (H1)	NORTE	A	2.2	0
							ESTE	B	1.6	0
							SUR	A	0.1	0
							ESTE	B	0.2	0
SALA/COMEDOR/COCINA (H3)	ESTE	A	1	0						
	NORTE INT	B	1.5	0						
	SUR INT	C	0	0						