



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Arquitectura

APLICACIÓN DE LA PASSIVHAUS EN CLIMA TEMPLADO SECO DE MÉXICO  
(Caso Estudio Querétaro)

**Tesis**

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de  
Maestría en Arquitectura

**Presenta:**

Estefani Rosalía Quizamán Velasco

**Dirigido por:**

M. C. Héctor Ortiz Monroy

M.C Héctor Ortiz Monroy  
Presidente

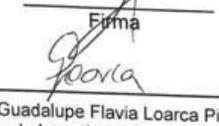
M.C Verónica Leyva Picazo  
Secretario

M. A. S. José Granados Navarro  
Vocal

Dr. Carlos Cobreros Rodríguez  
Suplente

M. Arg. Aileen Mendoza Pérez  
Suplente

Dr. Manuel Toledano Ayala  
Director de la Facultad de Ingeniería

  
Firma  
  
Firma  
  
Firma  
  
Firma

Dr. en C. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña  
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario  
Febrero 2019  
Querétaro, Qro.

## RESUMEN

Ciertamente, el desarrollo sostenible es aquel que satisface las necesidades de las generaciones presentes, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras buscando satisfacer necesidades propias, si trasladamos el término de sustentabilidad al desarrollo de edificaciones, es preciso determinar que una vivienda sustentable es aquella que tiene como objetivo tener el máximo aprovechamiento de recursos naturales, de tal modo que minimizando el impacto ambiental de la construcción sobre el hábitat y los habitantes.

No obstante, se debe dejar en claro que la construcción sustentable no significa construir solamente viviendas de madera ni usar exclusivamente materiales reciclados, sino que es fundamental proponer una propuesta integral que favorezca el equilibrio ecológico, el compromiso social y la eficiencia económica, con la finalidad de brindar una calidad de vida a sus usuarios.

Desde hace unos años, la sustentabilidad se ha tornado un tema con gran importancia ante muchas organizaciones internacionales, las cuales han ido creando parámetros de vivienda ecológica que pueda brindar habitabilidad a los usuarios, previamente tomar en cuenta las medidas para obtener ahorro de energía, agua, tratado y reutilizado de aguas, composta a través del manejo adecuado de residuos, establecimiento y estudio de diseño bioclimático y creación de áreas verdes, apegada a lineamientos y orientaciones de normativas y apoyos financieros.

## SUMMARY

Certainly, sustainable development is one that meets the needs of present generations, without compromising the ability of future generations seeking to meet

their own needs, if we transfer the term of sustainability to the development of buildings, it is necessary to determine that a sustainable housing is one that its objective is to maximize the use of natural resources, in such a way that minimizing the environmental impact of the construction on the habitat and the inhabitants.

However, it should be made clear that sustainable construction does not mean building only wooden houses or using exclusively recycled materials, but it is fundamental to propose an integral proposal that favors ecological balance, social commitment and economic efficiency, with the purpose to provide a quality of life to its users.

For a few years, sustainability has become a topic of great importance to many international organizations, which have been creating parameters of ecological housing that can provide habitability to users, previously take into account the measures to obtain energy savings, water , treated and reused water, composting through proper waste management, establishment and study of bioclimatic design and creation of green areas, adhering to guidelines and guidelines of regulations and financial support.

## AGRADECIMIENTOS

La posibilidad de cursar la Maestría Arquitectura para realizar el trabajo de investigación y la redacción de esta tesis, ha sido gracias al apoyo económico y

moral de diversas instituciones y personas, por ello agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca conferida durante los dos años de investigación.

Reconozco a todos los catedráticos y personal administrativo de la Universidad Autónoma de Querétaro la disposición y confianza otorgada durante y después del lapso de estudios, brindando así un espacio y tiempo para desarrollarme en esta área.

Un especial agradecimiento a todos los académicos de la Maestría en Arquitectura y Facultad de Ingeniería que fueron participantes de esta investigación, ya que sin su soporte, confianza y asistencia esta tesis no habría sido posible.

De igual manera agradezco el apoyo y dedicación a mi equipo de sinodales de tesis: M.C. Héctor Ortiz Monroy, M.C. Verónica Leyva Picazo y M.A.S José Granados Navarro, por su paciencia, disponibilidad y generosidad para compartir su experiencia y amplio conocimiento sobre la elaboración de esta tesis, su apoyo y confianza en mi trabajo además de su capacidad para guiar mis ideas ha sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de investigación, sino también en mi formación y crecimiento como persona.

Y, por supuesto, el reconocimiento más profundo va para mi familia. Ya que sin su apoyo e inspiración habría sido imposible llevar a cabo este grado. A mis padres, por su ejemplo de unión, constancia y honestidad; a mis hermanas por ser un ejemplo de superación, inteligencia, capacidad y valentía... por ellos, cuya orientación me condescendió dar mis primeros pasos competitivos, éticos y profesionales que al mismo tiempo se han convertido en una base sólida de hábitos de trabajo con los cuales afrontar el futuro generando siempre más.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>PORTADA</b> .....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
<b>RESUMEN</b> .....	<b>2</b>

<b>SUMMARY .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>3</b>
<b>TABLA DE CONTENIDO .....</b>	<b>4</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>9</b>
<b>HIPÓTESIS .....</b>	<b>10</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>I. BASES CIENTÍFICAS .....</b>	<b>13</b>
1. CLIMA .....	15
1.1 Clasificación del clima según Köppen .....	17
1.2 Clasificación del clima en México.....	19
1.3 Clima situado en Querétaro .....	21
1.4 Cambio climático.....	22
1.5 Impacto del cambio climático en México .....	26
2. SISTEMA CONSTRUCTIVO .....	26
2.1 Sistemas constructivos en México.....	28
3. ENERGÍA EN MÉXICO .....	29
3.1 Generación e impacto de energía eléctrica.....	30
3.2 Impacto de los sistemas activos en el consumo energético .....	32
4. CONFORT TÉRMICO .....	33
4.1 Salud y confort térmico .....	36
5. SISTEMAS PASIVOS DE CLIMATIZACIÓN .....	37
5.1 Estrategias .....	38
5.1.1 Sistemas pasivos en ventilación .....	38
5.1.2 Sistemas pasivos en radiación.....	38
5.1.3 Sistemas pasivos en evaporación .....	39
5.1.4 Sistemas pasivos basados en la nivelación de temperatura.....	40
6. ARQUITECTURA PASIVA .....	41
6.1 Passivhaus .....	42
6.2 Generalidades de la Passivhaus .....	43
6.2.1 Aislamiento térmico en muros y techos.....	44
6.2.2 Inercia térmica .....	45
6.2.3 Eliminación de puentes térmicos .....	46
6.2.4 Eficacia en puertas y ventanas .....	47
6.2.5 Estanqueidad del aire y ventilación con recuperación de calor. ....	49

6.2.6 Ventilación controlada y recuperación interna de calor .....	50
6.3 Criterios para una certificación Passivhaus.....	51
6.4 Aplicación del estándar Passivhaus en la actualidad.....	52
7. ARQUITECTURA SUSTENTABLE EN MEXICO .....	54
7.1 Ejemplos análogos. ....	55
7.1.1 Kuxtal.....	55
7.1.2 Rehabilitación de un departamento bajo estándar Passivhaus.....	57
7.1.3 Vivienda actual .....	59
8. NORMATIVIDAD .....	60
<b>II. METODOS Y DATOS .....</b>	<b>62</b>
9. CASO DE ESTUDIO.....	62
10. ANALISIS DE SITIO .....	64
10.1 Geografía .....	64
10.2 Datos climáticos.....	66
10.3 Zona de confort térmico en Querétaro .....	68
11. PREPARACIÓN DEL CASO PRÁCTICO.....	69
11.1 Caseta .....	71
11.1.1 Modelo constructivo .....	73
11.2 Instrumentación de medición.....	75
12. METODOLOGÍA LINEAMIENTOS PASSIVHAUS.....	76
12.1 Aislamiento térmico del edificio.....	76
12.2 Puentes térmicos.....	80
12.3 Infiltraciones .....	82
12.4 Ventanas y puertas .....	84
12.5 Recuperación de calor.....	87
<b>13. RESULTADOS.....</b>	<b>90</b>
13.4 Resultados de Acústica.....	90
13.1 Resultados prototipos construidos .....	93
13.2 Resultados de prototipos digitales.....	97
13.2.1 Pruebas térmicas simuladas en ArchiCAD. ....	97
13.2.1.1 Prueba 1 – Aislante interior 3 cm.....	98
13.2.1.2 Prueba 2 – Aislante interior 2 cm.....	99
13.2.1.3 Prueba 3 – Aislante interior 1 cm.....	100
13.2.1.4 Prueba 4 – Aislante exterior 1 cm .....	101
13.3 Comparación prototipo digital- prototipo construido .....	102

<b>14. DETERMINACIÓN DE LINEAMIENTOS ESTABLECIDOS .....</b>	<b>103</b>
14.1 Aislamiento .....	103
14.2 Puentes térmicos.....	104
14.3 Infiltraciones .....	105
14.4 Eficiencia en puertas y ventanas.....	106
14.5 Inercia térmica .....	106
14.6 Acústica.....	107
14.7 Recomendaciones generales.....	108
14.8 Propuestas para consideraciones.....	109
<b>16. GLOSARIO .....</b>	<b>115</b>
Absorción ( $\alpha$ ).....	115
Albedo .....	115
Altitud.....	115
Altura:.....	115
Anemómetro .....	116
Anemocinemógrafo.....	116
Azimut .....	116
Calor .....	116
Calor latente.....	116
Calor sensible .....	116
Cambio de estado.....	116
Cambio climático.....	116
Constante Solar .....	117
Conducción de calor .....	117
Convección de calor .....	117
Evaporación.....	117
Evaporímetro .....	117
Gradiente de temperatura .....	117
Higrómetro (Hidrógrafo) .....	118
Humedad absoluta .....	118
Humedad específica .....	118
Humedad relativa.....	118
Inercia.....	118
Temperatura ambiente .....	118
Temperatura Bulbo Seco (T).....	118
Temperatura Bulbo Húmedo (T*) .....	119
Temperatura Radiante Medio .....	119
Temperatura media diaria.....	119

Temperatura media mensual .....	119
Temperatura mínima mensual .....	119
Transmisión (de calor) .....	119
Velocidad del viento .....	119
Viento .....	120
Sostenibilidad .....	120
Capacidad térmica .....	120

## OBJETIVOS

Determinar el estándar Passivhaus mediante un análisis del estudio teórico, en perspectiva del usuario, y a la vez el desarrollo fundamentado sobre una vivienda sostenible; aplicables en el clima templado dentro de la zona de Querétaro, con la finalidad de mejorar la habitabilidad de los usuarios, disminuyendo la necesidad de emplear sistemas activos (aire acondicionado, ventiladores...) que consumen grandes cantidades de energía eléctrica.

Esta investigación busca aportar inicialmente, mediante la utilización de métodos alternos para la realización de casas pasivas una lista de requerimientos constructivos, basados en el análisis obtenido de la comparación (caso de estudio), dentro de los estudios preliminares y los resultados conseguidos de los prototipos construidos, se tratará de comprobar que la experimentación sobre la implementación de estrategias pasivas expuestas a las condiciones climáticas y topográficas de la zona de esta región, trabajando de manera conjunta generar una vivienda idónea con medidas de confort para brindar una mejor habitabilidad a los usuarios.

- Disminuir el gasto monetario anual sobre el consumo energético.
- Beneficia al constructor a lograr una buena certificación dentro de las normativas NAMA, favoreciendo posteriormente la demanda de compra y venta del predio.
- Además de brindarle un valor agregado beneficia en la disminución de emisión de dióxido de carbono.

## HIPÓTESIS

- Variable dependiente. Casas habitacionales promedio geo localizadas en Querétaro.
- Variable independiente 1. Estándares establecidos en la corriente Passivhaus.
- Variable independiente 2. Obtención de certificaciones y cumplimiento de normativa con recursos preestablecidos.

Si implementamos los lineamientos estándares basados en las estrategias de la corriente Passivhaus adaptados al clima templado seco de México, entonces se generarán parámetros esquematizados sobre los requerimientos óptimos para la implementación asertiva y eficaz de estrategias; consecuentes en un mejor desarrollo contextual sobre las viviendas de nuestro país.

## INTRODUCCIÓN

El desconocimiento por parte del arquitecto y usuarios acerca de la naturaleza y requerimientos del ser humano al habitar un espacio en torno al medio ambiente y las tecnologías alternas, resulta constantemente que el diseño de espacios sea completamente inapropiado que, entre otras cosas, resulten trastornos en la salud, aportando a los usuarios mayor gasto monetario por las fugas eléctricas y el desaprovechamiento de los recursos naturales dentro de la arquitectura.

El diseño bioclimático es aquel que está basado en el análisis del ser humano al ambiente o espacio que lo rodea que se da a través del uso de la vegetación y las propiedades existentes para lograr el máximo aprovechamiento del clima local y la topografía del área, que mediante la utilización de los recursos físicos como: la luz solar, vientos dominantes, termicidad y ruidos, son aplicadas mediante el planteamiento del diseño arquitectónico.

Aprovechando también la óptima orientación y distribución de áreas dentro del proyecto, como las propiedades y características de los materiales y estrategias constructivas aplicadas mediante parámetros reflejados en el adecuado diseño arquitectónico, haciendo de estos elementos externos derivados del medio

ambiente un recurso complementario dentro del proyecto arquitectónico para resolver problemas ambientales y sensoriales en función de la naturaleza aplicado directamente a la habitabilidad de los usuarios.

Se puede decir que, de esta forma se brinda *confort térmico* a los usuarios, la cual ayudará a brindar arquitectónicamente, dentro de la normatividad local, un mejor posicionamiento de la vivienda.

Para lograr este fin, dependiendo la zona en la que está ubicado el predio se determinarán los parámetros a aplicar dentro de la construcción, ya que de forma conjunta éstas actúan de manera diferente, por consiguiente, se puede plantear que el tipo de clima y situación geográfica al que este expuesto el proyecto sigue siendo un factor determinante para el desarrollo arquitectónico sustentable.

El origen del concepto de desarrollo sustentable, está relacionado directamente con la constante preocupación entre el creciente desarrollo económico, político, social y climático mediante los efectos secundarios sobre el medio ambiente. De esta forma, se hablará sobre la extensión deteriorada alcanzada por el mismo; y las reformas dentro del sector energético para el uso de energías renovables, a favor de la regulación de este tema, ya que la contaminación ambiental no es un problema nuevo, sin embargo la magnitud que actualmente, al menos, dentro de la arquitectura ha provocado el desaprovechamiento de los recursos naturales desde la fabricación de materiales, construcción y diseño de espacios para la utilización, captación y renovación natural reflejada en la vivienda humana.

En el año 1987, la Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente, integrada por un grupo de importantes personalidades a nivel mundial dentro del ambiente, social, político y cultural, dio a conocer un informe conocido como “Nuestro Futuro Común” (“*Our common future*”) en el cual se introduce el concepto de desarrollo sostenible, definido de la siguiente manera:

*“Está en manos de la humanidad asegurar que el desarrollo sea sostenible, es decir, asegurar que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias”.* (Brundtland, 1987)

Sobre todos estos aspectos, se han creado institutos que promueven a nivel internacional campañas, normativas y leyes, con la finalidad de enfrentar y frenar varios de los problemas ambientales expuestos actualmente.

En México, la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI), presentó en el año 2012 los avances sobre las viviendas bajo las Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (NAMA), impuso nuevos objetivos y normativas para contribuir al mejoramiento de espacios habitables a través del desarrollo habitacional orientados con la finalidad de ofrecer mejores condiciones de vida a los usuarios mediante subsidios para la creación y utilización de recursos resultantes en una vivienda sustentable. (CONAVI – Comisión Nacional de Vivienda en México, 2012).

A través de estas instancias federales, se han creado normativas, fideicomisos y herramientas donde el objetivo es asistir el proceso de las edificaciones amigables ecológicamente que ayudan a tomar decisiones informadas sobre los productos del mercado actual, beneficiando a los usuarios a tener un veredicto informado sobre los dictámenes dentro de la verificación de estos edificios.

Con estos insumos, se otorga de manera gubernamental contribuir al desarrollo sostenible de viviendas, con un conjunto de propuestas preventivas atendiendo de manera central los problemas ambientales lo cual se logra a través de la implementación de eco-tecnologías mejorándolas desde el diseño arquitectónico planteando la utilización de materiales constructivos eficientes. (CONAVI – Comisión Nacional de Vivienda en México, 2012).

Sin embargo, las normativas establecidas dentro de estas instancias marcan pautas teóricas ofreciendo confort térmico a los usuarios, ayudando a la disminución del consumo energético dentro del hogar, donde se aplican elementos activos dentro de la vivienda que exigen determinada demanda eléctrica que incrementa además

de emisiones de CO<sub>2</sub>, económicamente afecta a los usuarios de forma anual, ya que el *cambio climático* de las últimas décadas ha orillado al uso de elementos activos tales como: aires acondicionados, ventiladores, extractores, etc. Y con esto el proyecto arquitectónico de una vivienda se diseña de forma deficiente al no contemplar el entorno al que está expuesto, ni el uso de materiales, ni estrategias que, ya que existen y por medio de herramientas digitales se pueden hacer simulaciones preliminares para comprobar la funcionalidad conjunta de éstas, que otorgan beneficios a corto y largo plazo a los usuarios.

Por otra parte, años atrás no se ha visto la necesidad de combatir seriamente estos aspectos arquitectónicos, es por eso que muchos ejecutantes no cuentan con el conocimiento técnico sobre la implementación dentro de los proyectos la utilización de materiales y aplicación de estrategias pasivas que de conjuntamente ayudan a enfrentar de manera positiva las variables externas para el mejoramiento térmico y energético dentro de las viviendas sostenibles, donde el medio ambiente natural será el mejor aliado.

Actualmente instituciones federales, ejecutantes y usuarios son conscientes de los problemas ambientales presentes en nuestro día a día, donde la propuesta de mejorar el punto de partida desarrollando insumos técnicos y administrativos que permitan avanzar en el sentido deseado, pues entendemos que mediante la arquitectura se pueden generar espacios mejor habitables para los usuarios contribuyendo a cuidar el medio ambiente de manera óptima.

## **I. BASES CIENTÍFICAS**

La primera parte de esta tesis, contiene las bases teóricas necesarias para comprender los conceptos vinculados con el funcionamiento térmico y energético de las viviendas entendiendo el entorno y necesidades múltiples del ser humano.

Debido a que el clima dominante de una zona tiene el impacto más relevante sobre cómo diseñar y construir sustentablemente las viviendas correctamente, se analiza primero dicho tema.

Justamente se debe de tomar en cuenta que en muchas regiones del mundo se pueden observar cambios drásticos en el clima local, antes estable, que provoca nuevas estrategias de adaptación y retos de conservación y aprovechamiento.

La ciudad de Querétaro de Arteaga ha padecido los efectos del cambio climático, tales como el aumento de temperatura, que se traduce en inviernos particularmente cálidos, lluvias que han disminuido en cantidad, pero aumentado en precipitación (Zavala, 2010).

En el año 2009 la SEMARNAT publicó la Cuarta Comunicación de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en la que informó los avances que se han ido llevando a cabo en materia de cambio climático del país. Los resultados en el resumen ejecutivo indican que, de acuerdo a datos actualizados con respecto a los de 2007, la contribución de México por categorías en términos de CO<sub>2</sub> es la siguiente: desechos 14.1% (99,627.5 Giga gramos); uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, 9.9% (70,202.8 Gg), procesos industriales 9% (63,526 Gg), agricultura 6.4% (45,552.1 Gg), y energía 60.7% (430,097 Gg). Los resultados del Inventario Nacional de Emisiones de Gases Efecto Invernadero (1990-2006), indican que el incremento en las emisiones fue de aproximadamente 40% durante ese período, lo que significa una tasa media de crecimiento anual de 2.1% (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2009).

Sin embargo, existen resultados de estos cambios que han impactado, dando pie a la aplicación de esta investigación: por un lado, los sistemas de activos que emiten Gases de Efecto Invernadero (GEI), por medio de la energía que consumen y los refrigerantes empleados. La generación de estos gases acelera el calentamiento global; por otro lado, esto genera la necesidad de emplear sistemas activos dentro de las edificaciones y de esta manera atacar y brindar confort en cada proyecto, sin embargo, beneficia a todos emplear estrategias pasivas y maximizar la captación de radiación solar, logrando el máximo aprovechamiento energético de manera natural.

Con el proyecto a realizar, desarrollado en la segunda parte de esta investigación, se tratará de demostrar el funcionamiento de las mejoras dentro de los parámetros pasivos y el otorgar el conocimiento para la aplicación de estos métodos en la vivienda para obtener una mejor eficiencia energética y habitabilidad de los usuarios.

El tema del ahorro energético es relevante en la justificación aplicada de este trabajo, ya que la habitabilidad que se lo ofrece a los usuarios es por medio de este sistema ya que por medio de la captación solar se genera energía natural conocidas como energías renovables beneficia en diferentes sentidos a los usuarios.

El funcionamiento de las estrategias pasivas que plantea la Passivhaus, tiene como finalidad ofrecer a los usuarios un mejor rendimiento por medio de captación energética natural, y de la misma manera poder transformarla para el mismo uso otorgando a los usuarios un entorno confortable. Por eso se mostrarán conceptos generales fundamentados con el fin de entender los factores físicos a los que el proyecto está expuesto, los impactos sobre una vivienda construida y para el conocimiento sobre el funcionamiento del confort térmico interno en verano e invierno.

## **1. CLIMA**

La palabra clima tiene su origen del griego *klima* referenciado en la inclinación del sol, del cual el clima es conjunto de condiciones ambientales meteorológicos de algún lugar determinado contemplando variantes atmosféricas, a través del viento, temperatura, radiación, humedad, presión y precipitación especialmente, que se observa sobre un determinado tiempo y que forma un patrón definido que se repite durante largos periodos.

La diferencia entre clima y tiempo meteorológico está basada en la duración de las condiciones atmosféricas que les definen. El tiempo meteorológico cambia día a día pudiendo modificarse varias veces al día, mientras que, el clima son condiciones ambientales promedias estables sobre un largo período.

Para establecer la zona climática de alguna zona generalmente se observa un período entre 10 a 30 años, no obstante, las zonas climáticas no cambien sustancialmente en períodos más largos; siglos o milenios.

Existe gran evidencia de que hoy en día se enfrenta una época de cambios climáticos acelerados y, si se confirman las predicciones del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), sin precedente alguno.

A nivel micro climático el clima puede ser menos estable ya que la modificación de los procesos atmosféricos de la zona es vulnerable tales como; la tala masiva de árboles, la construcción de presas y la creciente urbanización<sup>1</sup> continuamente ocasionan cambios en los esquemas climáticos de la región en donde ocurren esos fenómenos. Si desarrollamos un proyecto basado en datos meteorológicos de una estación que no está debidamente en el lugar de estudio los datos específicos del sitio pueden variar considerablemente.

Los factores naturales que afectan al clima son la latitud, altitud, relieve, corrientes marinas, luz, vientos dominantes, humedad relativa y vegetación. Según se refiera a una zona o región, o a una localidad concreta se habla de clima global, zona, regional o local (microclima), respectivamente.

Unas de las organizaciones que se dedican a la recolección y el análisis de datos climatológicos son la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de México de las cuales serán obtenidos la mayoría de los datos utilizados en esa investigación.

---

1 Según Ernesto Jáuregui Ostos del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM el clima de la capital del país ha aumentado de 0.52°C cada diez años a partir de 1950, las fuertes lluvias se han quintuplicado y el patrón igual que la cantidad de las precipitaciones han cambiado debido a la urbanización –menos espacios verdes-, un cambio de la dirección del viento (viene con mayor frecuencia desde el oeste) y el calentamiento global que y ha ocasionada cambios en los patrones climáticos/ Gaceta 17.08.2009 pág. 13)

## 1.1 Clasificación del clima según Köppen

Wladimir Peter Köppen (1848- 1940) fue un meteorólogo ruso-alemán que en 1936 publicó su clasificación del clima mundial que toma en cuenta las variaciones de temperatura y humedad como las medidas de los meses más extremos en calor y frío, tal clasificación hoy en día sigue siendo de provecho.

Él clasifica el clima en grupos climáticos, subgrupos y subdivisiones según la temperatura, la cantidad de la precipitación y la ubicación en el año de la precipitación. En ella también entra la distribución de la vegetación.

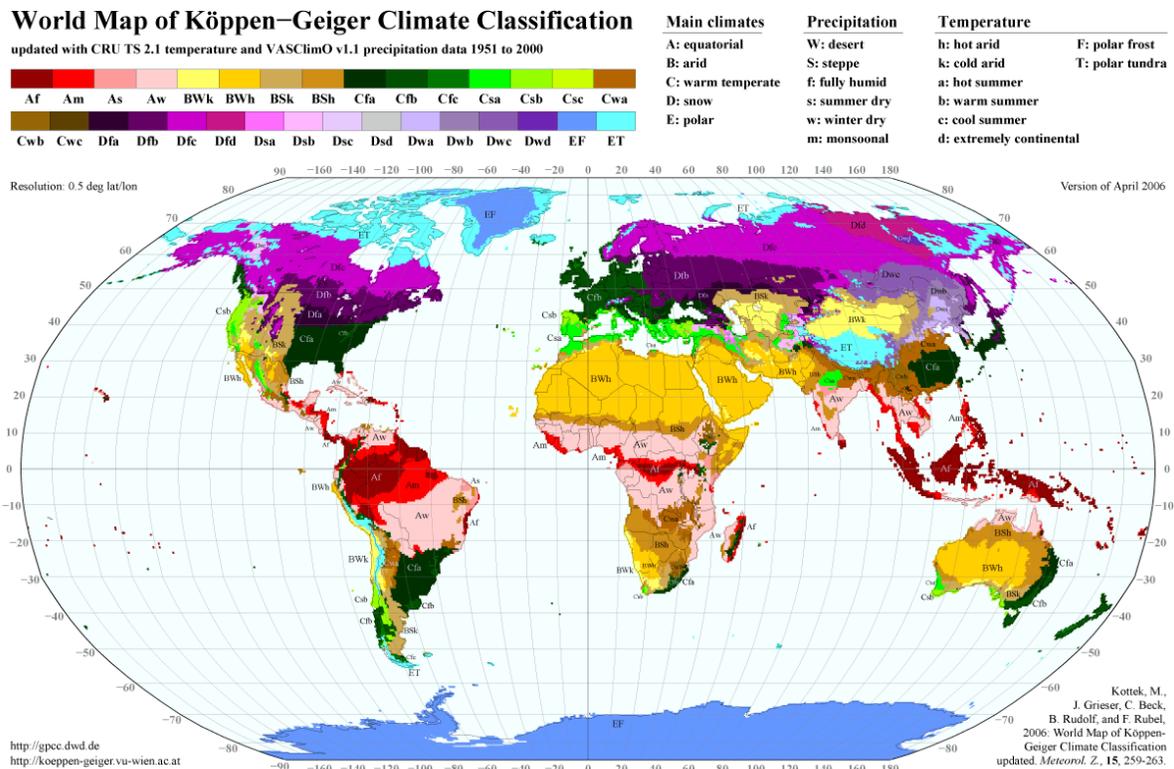


Figura 1.1 Mapa de clasificación Köppen – Geiger, actualizada por la Universidad de Viena, Kottek. Datos tomados a mitad del siglo XX.

Su climatología parte de cinco zonas dominantes, la tropical lluviosa, la seca, la templada- húmedo (maso térmico), el boreal también conocida como nieve y bosque (micro térmico), el clima frío y polar; las cuales se subdividen en varios sub-grupos, la siguiente tabla mostrará más a detalle las categorías:

Tabla 1. Zonas climáticas dominantes según Köppen.

<b>A</b>	Clima: Tropical lluvioso	La temperatura media es superior a los 18 °C. Carecen de invierno. El mes más frío tiene una temperatura superior a los 18 °C.
<b>B</b>	Clima: Seco	La evaporación excede las precipitaciones. Siempre hay déficit hídrico.
<b>C</b>	Clima: Templado húmedo	Temperatura media del mes más frío es menor de 18 °C y superior a -3 °C y al menos un mes la temperatura media es superior a 10 °C. Poseen verano e invierno.
<b>D</b>	Clima: Boreal / nieve y bosque.	La temperatura media del mes más frío es inferior a -3 °C y la del mes más cálido superior a 10 °C
<b>E</b>	Clima: Frío y polar.	La temperatura media del mes más cálido es inferior a 10 °C y superior a 0 °C. No tienen un verdadero verano.

La siguiente tabla muestra los tipos de sub climas clasificados mediante letras:

Tabla 2 Clasificación de sub climas según Köppen.

	Tipo de clima	Ocurre en:
<b>f</b>	Sin temporada seca (siempre húmedo)	A, C, D
<b>w</b>	Seco en invierno	A, C, D
<b>s</b>	Seco en verano	A, C, D
<b>m</b>	Forma intermedia entre "s" y "w"	A
<b>S</b>	Semiárido	B
<b>W</b>	Árido	B
<b>T</b>	Mes más caliente entre 0°C y 10°C	E

<b>F</b>	Todos los meses $\leq 0^{\circ}\text{C}$	<b>E</b>
----------	--	----------

Y la siguiente tabla muestra las sub categorías que se llegan a presentar de manera más precisa:

*Tabla 2 Sub categorías de clima según Köppen.*

	Sub tipo de clima	Ocurre en:
<b>h</b>	Cálido, temperatura promedio anual $\geq 18^{\circ}\text{C}$	<b>B</b>
<b>k</b>	Frío, temperatura promedio anual $\leq 18^{\circ}\text{C}$	<b>B</b>
<b>a</b>	Verano muy cálido, mes más caliente $\geq 22^{\circ}\text{C}$	<b>C, D</b>
<b>b</b>	Verano cálido, mes más caliente $\leq 22^{\circ}\text{C}$	<b>C, D</b>
<b>c</b>	Verano corto, menos que 4 meses con una temperatura $\geq 10^{\circ}\text{C}$	<b>C, D</b>
<b>d</b>	Invierno muy frío, mes más frío $\leq -38^{\circ}\text{C}$	<b>D</b>

El lugar de estudio es Querétaro, el cual, según Köppen se encontrará con un clima Templado húmedo (C), con verano seco (s) y una sub categoría de verano muy cálido con temperaturas mayores a los  $22^{\circ}\text{C}$  (a) donde ésta clasificación se conoce como Csa. Analizaremos este clima más adelante.

## **1.2 Clasificación del clima en México.**

Analizado desde el punto de vista de Enriqueta García en el año 1964 publicó su primera clasificación del clima de México basándose en la clasificación propuesta por Köppen, sin embargo busca hacerle adaptaciones y modificaciones de ciertos lineamientos debido a que la ubicación y topografía localizada en México, es tan particular debido a la biodiversidad de microclimas en diferentes tamaños que la

aplicación de éste sistema conduciría a una inexactitud de la definición climática en las zonas geográficas en México.

Sus modificaciones, además de ajustar algunos lineamientos de temperatura y precipitación, son novedosos por la introducción de escenarios climáticos dependiendo cada región, considerando la altitud y latitud como el factor dominante para la distribución de este sistema marcado con letras en particular la dominancia de clima que tiene, sin ser tan general como lo maneja Köppen.

Anteriormente se planteó que la clasificación de Köppen se representa con letras mayúsculas para definir las temperaturas anuales (A, B, C, D Y E) y dentro de cada grupo se anexa una letra minúscula dependiendo la precipitación anual de la zona, mientras que en otras se determina por el tipo de vegetación predominante.

Es importante que al momento de iniciar proyectos donde intervendrán decisiones en base al análisis de clima se geo localice con exactitud la zona ya que las regiones naturales en México varían estrechamente:

<b>Grupo Climático</b>	<b>Tipo de clima</b>	<b>Símbolo</b>
<b>Tropical</b>	Cálido, temperatura promedio anual $\geq 18^{\circ}\text{C}$	B
<b>K</b>	Frío, temperatura promedio anual $\leq 18^{\circ}\text{C}$	B
<b>A</b>	Verano muy cálido, mes más caliente $\geq 22^{\circ}\text{C}$	C, D
<b>B</b>	Verano cálido, mes más caliente $\leq 22^{\circ}\text{C}$	C, D
<b>C</b>	Verano corto, menos que 4 meses con una temperatura $\geq 10^{\circ}\text{C}$	C, D
<b>D</b>	Invierno muy frío, mes más frío $\leq -38^{\circ}\text{C}$	D

### 1.3 Clima situado en Querétaro

El estado de Querétaro (Que significa “Lugar de las peñas” con origen purépecha “Crettaro”)<sup>2</sup> se encuentra ubicado en las coordenadas Norte: 21°40'12", Sur: 20°00'54, Este: 99°02'35" y al Oeste 100°35'48”<sup>3</sup>. Colindando al norte con Guanajuato y San Luis Potosí; al este con San Luis Potosí e Hidalgo; al sur con Hidalgo, México y Michoacán de Ocampo; al oeste con Guanajuato<sup>4</sup>

Querétaro cuenta con una extensión territorial de 760 kilómetros cuadrados, siendo Santiago de Querétaro la cabecera municipal, donde se encuentran los siguientes datos climáticos basados en el registro del año 2017<sup>5</sup>:

Temperatura máxima anual: 27.5°C

Temperatura media anual: 12.3°C

Temperatura mínima anual: 6.9°C

El clima, según el sistema de clasificación de Köppen, modificado por Soto y García (1989) es (B) S (w), Semiseco o estepario con lluvias en Verano; su

---

<sup>2</sup> Loarca Castillo, Eduardo. Municipio de Querétaro, Querétaro: Visión de sus Cronistas. No. 14. México 1997, p.9

<sup>3</sup> INEGI. Anuario estadístico y geográfico de Querétaro 2016, p. 18

<sup>4</sup> INEGI. Marco Geoestadístico Nacional 2015, versión 6.5

<sup>5</sup> Servicio Meteorológico Nacional, SMN.

precipitación pluvial media anual es de 592.7 mm

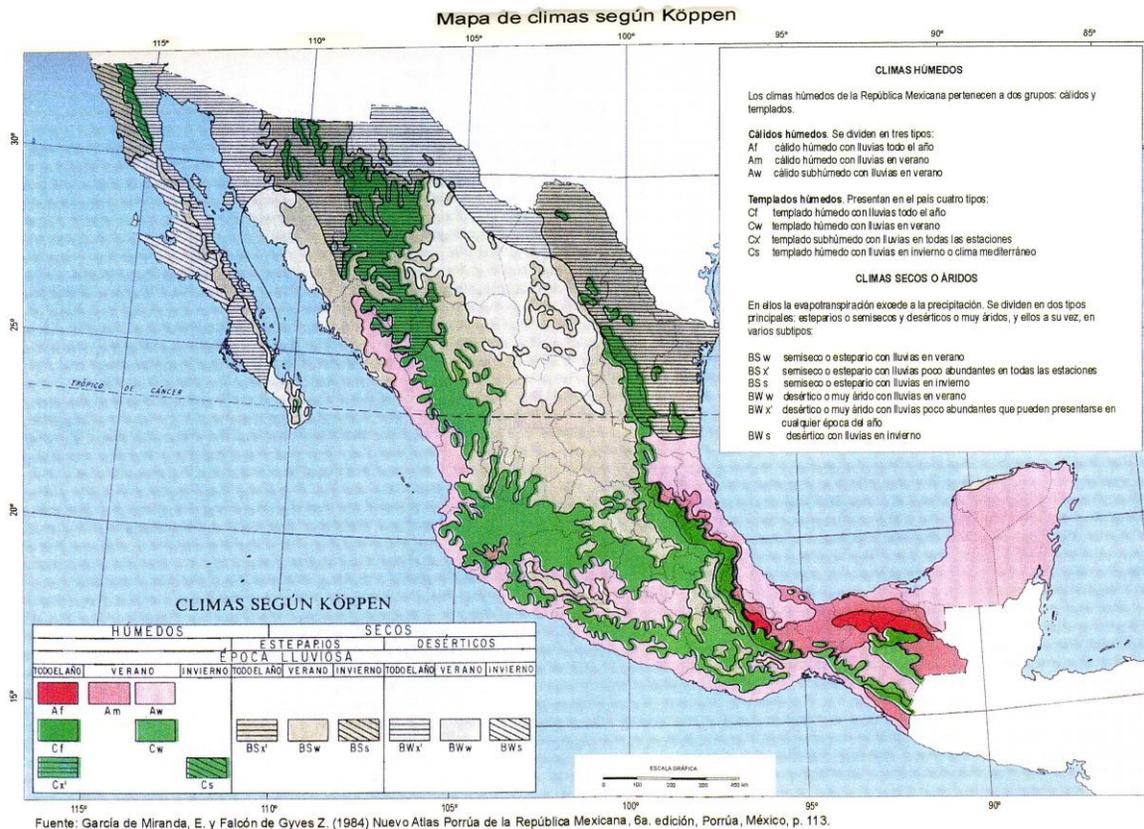


Figura 2 Mapa con distinción climatológica basado en el estudio de Enriqueta García. Fuente: Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, Enriqueta García, Pág. 22.

La principal actividad productiva y económica del municipio es el comercio; los principales productos agrícolas en el estado son: maíz, alfalfa, cebolla, lechuga, sorgo, forrajes, frijol, cebada y col, entre otros productos; adicionalmente, encontramos otras actividades económicas del estado dividido entre sus 18 municipios, como la producción rural ganadera.

#### 1.4 Cambio climático

El cambio climático no es nada nuevo en la historia del planeta. El ser humano ha presenciado en su trayectoria de casi 160,000 años en la tierra varios cambios climáticos. El último cambio en la historia fue la pequeña era de hielo en el siglo XVI y XVII. En esa época las temperaturas promedio estaban cerca de 1°C más bajo

que 600 años antes. Esa disminución en la temperatura tuvo un impacto fuerte sobre la civilización de aquella época.

Sin embargo, si se refiere hoy en día del cambio climático, casi siempre se piensa que éste es causado por las actividades del humano, el cambio climático antropógeno.

Es casi seguro que en los próximos pocos siglos el ser humano tenga que adaptarse a un cambio climático nunca antes ocurrido durante su estancia en la tierra. Las predicciones del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (PICC)<sup>6</sup> plantean ya que para el fin de ese siglo un incremento en la temperatura promedio de la tierra de entre 1.8 y 6.4°C (IPCC, 2007).

Estudios recientes sugieren que la meta de un aumento en sólo 2°C ya no se logra. De los doce últimos años (1995-2006), once figuran entre los doce más cálidos en los registros instrumentales de la temperatura de la superficie mundial desde 1850.

---

<sup>6</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) en inglés, fue establecido conjuntamente en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial y el programa de la ONU para el Medio Ambiente con el mandato de analizar la información científica sobre el cambio climático y evaluar sus consecuencias socioeconómicas y medioambientales. El PICC publica informes sobre la situación actual del cambio climático. El último informe de evaluación (4th Assessment Report) que se publicó en 2007. Los escenarios de cambio climático (ECC) usados para describir un posible estado futuro del mundo se puede ver en el anexo.

La temperatura superficial promedio de la tierra ha aumentado cerca de 0.74°C en los últimos 150 años. Sin embargo, con un patrón diverso sobre toda la tierra; más acentuado sobre las áreas terrestres y más fuerte en la homósfera norte que en la homósfera del sur. Se correlaciona ese aumento en la temperatura el aumento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI)<sup>7</sup>, en la atmósfera a partir de la revolución industrial. Mientras en 1750 la concentración del dióxido de carbono era de alrededor de 280ppm, la concentración actual (Año 2009), es de 385ppm con un crecimiento de 2.2ppm anual.

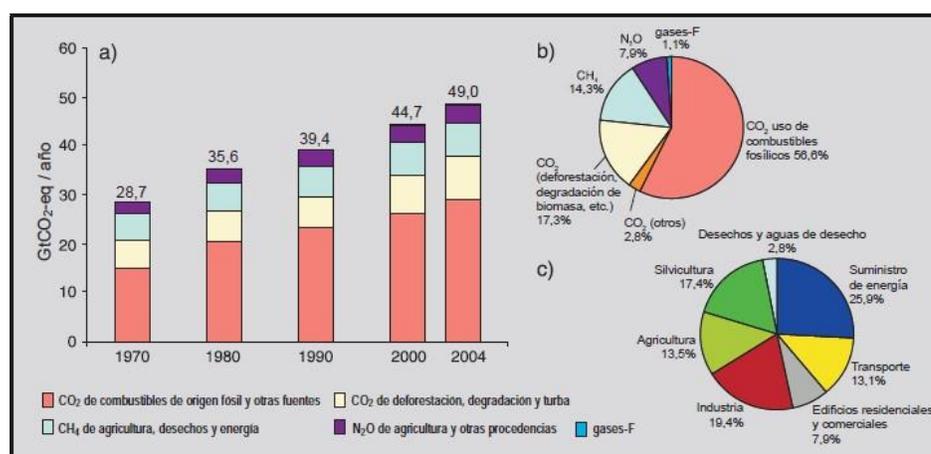


Figura 3 a) Emisiones anuales mundiales de GEI antropógenos entre 1970 y 2004. b) Parte proporcional que representan diferentes GEI antropógenos respecto de las emisiones totales en 2004, en CO<sub>2</sub>-eq c) parte proporcional que presentan diferentes sectores en las emisiones totales de GEI antropógeno en 2004 (en CO<sub>2</sub>-eq). En el sector silvicultura se incluye la deforestación. Fuente: IPCC, 4<sup>th</sup> AR, 2007.

Los aumentos de la concentración mundial de CO<sub>2</sub> se deben principalmente a la utilización de combustibles de origen fósil y, en una parte apreciable pero menor, a los cambios de uso de la tierra.

<sup>7</sup> El Protocolo de Kyoto define un grupo de 6 Gases de Efecto de Invernadero. Para hacer comparable su efecto de calentamiento global esos gases se convierte a unidades de Dióxido de Carbono Equivalentes, según la potencia de cada uno de ellos.

Las principales fuentes de incertidumbre en los escenarios de cambio climático (utilizados para evaluar los impactos potenciales) son:

- Incertidumbre en las emisiones de GEI reales,
- Incertidumbres en la variabilidad natural
- Incertidumbres asociadas a los modelos de circulación general, que son los modelos climáticos más completos y complejos con los que se cuenta en la actualidad.

El cambio de las temperaturas a nivel mundial también presenta su efecto sobre pautas cambiantes de la precipitación mundial, no obstante, dichos modelos siguen siendo todavía más imprecisos que los modelos de predicción de temperatura.

Los impactos previstos por el IPCC para América Latina y América del Norte son los siguientes:

- Hasta mediados del siglo XIX, los aumentos de temperatura y las correspondientes disminuciones de la humedad del suelo originarían una sustitución gradual de los bosques tropicales por las sabanas en el este del Amazonas. La vegetación semiárida sería sustituida por vegetación de tierras áridas.
- Podrían experimentarse pérdidas de diversidad biológica importantes con la extinción de especies en muchas áreas de AL tropical.
- La productividad de algunos cultivos importantes y de la pecuaria disminuiría. En las zonas templadas mejoraría el rendimiento de los cultivos de soya.
- Los cambios en las pautas de precipitación y la desaparición de los glaciares afectarían notablemente a la disponibilidad de agua para el consumo humano, la agrícola y la hidroeléctrica.
- Las ciudades que actualmente padecen olas de calor estarían expuestas a un aumento de éstas con una intensidad y duración con efectos adversos sobre su salud.
- Las comunidades y hábitats costeros tendrían mayores dificultades, debido a la interacción de los efectos del cambio climático con el desarrollo de la población.

## **1.5 Impacto del cambio climático en México**

Se espera que México esté entre los países más afectados por el cambio climático (Jáuregui, 2009), lo que lleva al gobierno federal a jugar un papel activo en las negociaciones a nivel internacional para la mitigación de la emisión de GEI. Los efectos del cambio climático en México son tales que se considera un tema de la seguridad nacional en el país.

México tiene un alto índice de vulnerabilidad y el 68.2% de la población será impactada por el cambio climático (Cárdenas, 2010). En una Guía de Escenarios mostrada por estudios de la UNAM predice que para el año 2050 un clima estándar en México (García, 2008) que parecerá a las anomalías causadas por el impacto climatológico "*El Niño*" actualmente.

Este fenómeno se caracteriza por las sequías de lluvia, que en América Latina impacta en las cuencas hidrográficas. Este efecto se produce notoriamente en los sectores eléctricos de, además consecuente de esto se presentan altos niveles de erosión que por ende afecta grandes industrias que generan, transmiten y distribuyen energía eléctrica (CAF, 2015).

México fue el primer país *en proceso* que se obligó a reducir sus emisiones de GEI hasta en un 7% en 2012 y hasta un 50% en 2050 (SAGARPA, 2007). En mayo de 2007, el Presidente de la República presentó públicamente la Estrategia Nacional de Cambio Climático, y publicó un Programa Especial de Cambio Climático (PECC) 2008 – 2012, en el marco del Plan Nacional de Desarrollo 2007 – 2012 en el cual se menciona una meta de 270 millones de toneladas de reducción de emisiones de GEI (Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos, 2007).

## **2. SISTEMA CONSTRUCTIVO**

En nuestro país, las viviendas y sistemas constructivos aplicados hoy en día, no están aptos para responder de una manera funcional a los cambios ambientales y demográficos que están expuestos, de modo que, los usuarios han tenido la

necesidad de mejorar y resolver las condiciones de vida que demanda el desarrollo día a día, transformando la vivienda las viviendas tienen la finalidad de proporcionar estabilidad de refugio, en la importancia de considerar los fenómenos geográficos a los que está expuesto, esto llevará a determinar la forma y uso de materiales para la construcción de la vivienda.

La parte estructural de las edificaciones la podemos identificar como el soporte del peso, es decir, el elemento que recibe y transmite las cargas; esta parte estructural permite observar el funcionamiento como base en la naturaleza en diferentes objetos.

El sistema constructivo es el reflejo de la personalidad de las personas, ya que al construir una vivienda este sistema debe ser adaptado en torno a las necesidades de los usuarios, el proceso de transformación que puede sufrir una construcción dependiendo de las necesidades habitables básicas vistas desde el aspecto arquitectónico, basadas en la infraestructura mínimas para realizar actividades fisiológicas básicas dentro de un espacio (Moreno Olmos, 2008).

De tal forma, que el concepto de sistema constructivo definido por la Secretaría de Vivienda es un “conjunto integral de materiales y elementos constructivos combinados según determinadas reglas constructivas combinados según determinadas reglas tecnológicas para conformar una obra completa” (Donnell, 1999, pág. 21).

Estos sistemas surgen para satisfacer diferentes servicios dentro de la vivienda y debe considerar las distintas condiciones iniciando por el clima de la región donde se llevará a cabo la construcción.

Otro aspecto fundamental para tomar en cuenta al momento de diseñar cualquier sistema constructivo es que cumpla con la factibilidad técnica y económica para su desarrollo, es decir, que por medio de los sistemas se deben proponer mejores soluciones al momento de crear acciones.

## **2.1 Sistemas constructivos en México**

En México, los sistemas de construcción que solemos nombrar como tradicionales, son perfectamente identificables por los usuarios en cualquier área urbana. Estos métodos tienen un profundo arraigo en la población en general, puesto que en las diferentes regiones de nuestro país se plantean diferentes tipologías, sin importar los factores geográficos a los que estuvieran expuestos, esto con la finalidad de crear una vivienda firme, y que a pesar de no tener algún conocimiento científico y fundamentado sobre construcción, incluso sin tener formación especializada en arquitectura daban como resultado proyectos únicos que iban creciendo o decreciendo dependiendo como surgen las necesidades de cada usuario.

La continua identificación del usuario con estos sistemas y materiales es debido a las posibles ventajas que ofrecen ante el clima, firmeza estructural, seguridad, entre otros.

Así vemos actualmente el sistema tradicional más difundido en México consta de muros de ladrillos, bloques u hormigón, algunas con aplanados interiores, el cemento, el yeso, la losa armada, el tabique rojo recocido, etc. y/o los sistemas constructivos como la losa de concreto, los muros de tabique y las cimentaciones de mampostería de piedra brasa, son usados desde la arquitectura vernácula y la evolución de los usuarios son preferencia por tradición, ya que para el beneficiario la construcción de su propio espacio se ve reflejada en "una inversión de toda la vida", siendo ésta forma de construirlo una garantía para lograrlo.

En México es cierto que la falta de conocimiento arquitectónico es un mal generalizado, ya que la forma de construir es prácticamente un deber dictado al arquitecto por el propio usuario antes de iniciar la construcción. Las ventajas de confortabilidad, seguridad y de "economía" experimentadas por el usuario durante toda su vida, en un ambiente que le es completamente conocido, hacen que éstos materiales y sistemas gocen de su total confianza.

Está dentro del mismo medio de construcción del país, que los sistemas constructivos tradicionales en México, tienen preferencia sobre otros sistemas más sofisticados que pueden considerarse como alternativos, tal vez por temor al uso de lo novedoso o también por el desconocimiento de su existencia o de sus ventajas dentro de la factibilidad de desarrollo en relación con costo, procesos y características favorables individuales dependiente de las propiedades mecánicas de cada sistema aplicadas como propuestas alternativas dentro de la construcción.

Sin embargo, aunque muchas veces estos sistemas alternos beneficien al usuario, entre el uso de materiales, flexibilidad y adaptabilidad, si a primera instancia representan o repercuten de manera negativa al usuario éstos son rechazados, algunas de las desventajas que podemos observar previamente son:

- Desventajas de costo en épocas de inflación.
- Desventaja de tiempos constructivos.
- Desventaja del conocimiento de los materiales.
- Integración de todos los componentes dentro del proyecto arquitectónico desde el inicio.
- Falta de difusión materializada sobre los sistemas alternativos.

### **3. ENERGÍA EN MÉXICO**

En los últimos años la energía se ha convertido en un tema de interés nacional, ya que asuntos como: la inflación de los costos y incremento sobre la demanda del petróleo, el cambio climático y la eficiencia para obtener ahorro energético afectan de manera directa a todos, tanto en lo macroeconómico (tales como costeo energético, PIB, competitividad, inflación...), como en lo microeconómico (precios dentro del mercado nacional como el alza de los combustibles, factura eléctrica por vivienda...)<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> Gas Natural Fenosa con colaboración del Centro de Eficiencia Energética, publicó un Manual de Eficiencia Energética con la finalidad de informar y contribuir por medio de sus clientes a crear una

Es importante aclarar la diferencia entre energía, fuente de energía y forma de energía. Si hablamos de energía es importante distinguir entre energía primaria (petróleo, carbón, leña, gas, las cuales atraviesan un proceso de transformación, y se les conoce como no renovables; mientras que la energía renovable se obtiene por medio del sol, viento y biomasa); y energía secundaria denominados también vectores energéticos, donde la finalidad es transportar y/o acumular la energía, pero no se consume directamente.

En México la paraestatal Petróleos Mexicanos (PEMEX) genera alrededor de 56% de los ingresos del gobierno federal y la CFE contribuyendo con casi 10%. Es decir, la mitad de los ingresos financieros del Gobierno Federal provienen del sector energético privado. (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

No obstante, la explotación de petróleo en la cuenca del Golfo en nuestro país costará alrededor de 2,190 millones de dólares en los próximos 3 años (2017-2020), sólo para cubrir la cuota sobre la renta diaria de las plataformas de perforación. Estos recursos son 3.19 veces mayores a los que se destinarán al impulso de la transición energética. (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

### **3.1 Generación e impacto de energía eléctrica**

En México, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) empresa responsable de la generación y distribución de energía eléctrica en México, estima que necesitará aumentar la capacidad de generación de energías más amigables con el medioambiente en el proceso de reproducción.

También existen grandes posibilidades de ahorro de energía en el país. Varias instituciones gubernamentales, iniciativas privadas y de la sociedad además de un extenso marco legal de normatividad tratan de insertar una cultura de ahorro energético.

---

nueva cultura dentro del uso de la energía, para tener uso responsable de la energía que pueda regular el consumo en los usuarios.

Nuestro país cuenta con recursos naturales excelentes para la generación de electricidad a partir de fuentes renovables como la eólica, solar, geotérmica e hidroeléctrica. Actualmente la Comisión Regulatoria de Energía (CRE) en colaboración con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) crean un sistema para incluir los costos externos (costos macroeconómicos provenientes de las externalidades como la tala de árboles, reproducción de substancias toxicas, aumento de enfermedades, etc.), sobre la generación de electricidad en su precio, lo cual podría favorecer el posicionamiento de las energías renovables.

La energía fotovoltaica puede ser una fuente adicional importante debido a que en la actualidad se puede producir electricidad a un precio competitivo dentro de la demanda del país.

Querétaro cuenta con una radiación promedio de 5.9kWh/m<sup>2</sup> – Día (Southwest Technology Development Institute, NMSU, 2017), podemos observar las excelentes condiciones para aprovechar la energía geotérmica.

El cambio del sector eléctrico, de un sector muy dependiente de los combustibles fósiles a un sector con baja emisión de CO<sub>2</sub>, no sólo depende de los precios actuales de cada fuente de energía, también de perspectivas y condiciones administrativas/ legales del sector energético.

Mitigar el consumo de energía es una de las bases para un cambio exitoso a una sociedad con bajos índices de emisión GEI. Esto no necesariamente implica que el crecimiento de la economía mengue.

Con esta investigación se trata de mostrar posibilidades de mitigar el consumo energético en la climatización de edificios sin sacrificar el confort, dando oportunidad de reestructurar el mercado actual, hacia un mercado bajo en emisiones de dióxido de carbono.

### **3.2 Impacto de los sistemas activos en el consumo energético**

3°C parecen poco cuando se modifica la programación del aire acondicionado, o cuando sube la temperatura al mediodía; sin embargo, para el planeta Tierra representan cambios fuertes en su ecosistema.

Para el mundo, el calentamiento global figura un peligro creciente: enfermedades, inundaciones y sequías. En México, particularmente se advierten siniestros en ecosistemas como bosques, cuencas hidrológicas y en líneas urbanas, afectando directamente zonas de cultivo y costeras (Arancibia, 2010).

Uno de los impactos ambientales más difíciles actualmente es el del exceso de emisiones de gases de efecto invernadero, responsables del calentamiento global provocando el cambio climático que estamos padeciendo.

Los gases de efecto invernadero son el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), los óxidos de nitrógeno (NO), el ozono (O<sub>3</sub>) y los clorofluorocarbonos (CFC). Los combustibles fósiles (petróleo, gas natural...) al quemarse, emiten CO<sub>2</sub> (MORAN, 1994).

En México, sin embargo, la dependencia eléctrica es de hasta 90%, demanda que crece proporcionalmente al desarrollo de la población y al cumplimiento de un estilo de vida que demanda cada vez de más energía. Sin embargo, se espera que el consumo eléctrico nacional ascienda a un promedio anual de 3.6 %. (SENER, 2013).

Otro de los principales problemas al referirnos al tema energético, probablemente sea que hasta ahora su consumo no ha sido limitado, ya que siempre ha sido abundante para los usuarios que disponen de este recurso, y resultando en los beneficios que su uso deriva, sin embargo, el exceso de este consumo va dando como resultado efectos nocivos.

#### 4. CONFORT TÉRMICO

Como zona de confort térmico entendemos un rango de temperaturas internas de una vivienda en las cuales el ser humano se siente térmicamente agradable

La Norma ISO 7730 define el confort térmico como: “Aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico.” (ISO 7730:2006).

Podríamos decir que existe un rango de confort térmico cuando los usuarios no experimentan sensaciones extremas de calor ni frío, cuando las condiciones ambientales como temperatura, humedad y vientos son favorables a las actividades que estas desarrollan.

Poder determinar el confort térmico es un reto complejo, ya que esta medición se enfrenta a variables subjetivas que influyen en las mediciones térmicas entre el usuario y el hábitat que contribuyen también a la transmitancia de confort, éstas las podemos encontrar en la temperatura del viento, la transmitancia de calor de paredes, objetos que amueblan el espacio, humedad del ambiente y movimientos físicos y vestimenta.

*“investigaciones llevadas a cabo por Rohles et al., en 1980 sobre los efectos de las fluctuaciones cíclicas de la temperatura sobre el confort térmico, los resultados indican que el ambiente térmico se mantendrá en condiciones aceptables, siempre que la velocidad de cambio no exceda de los 3.3°C/h y la amplitud entre un extremo y otro de la curva de temperatura sea menor o igual a 3.3°C. Una conclusión adicional es que, si se desciende desde una temperatura determinada, la sensación no es la misma que ascendiendo hacia la misma temperatura”. (Hunn, 1996).*

No obstante, la definición *zona de confort* es un instrumento válido siempre y cuando seamos conscientes de que se trata de una sensación subjetiva de cada individuo y situación en la que se encuentra en algún momento dado.

La percepción del ambiente térmico según ISO 10551:1995 se analiza por:

1. Sensación térmica,
2. Sensación de humedad,
3. Preferencia térmica,
4. Aceptación personal del ambiente y
5. Tolerancia

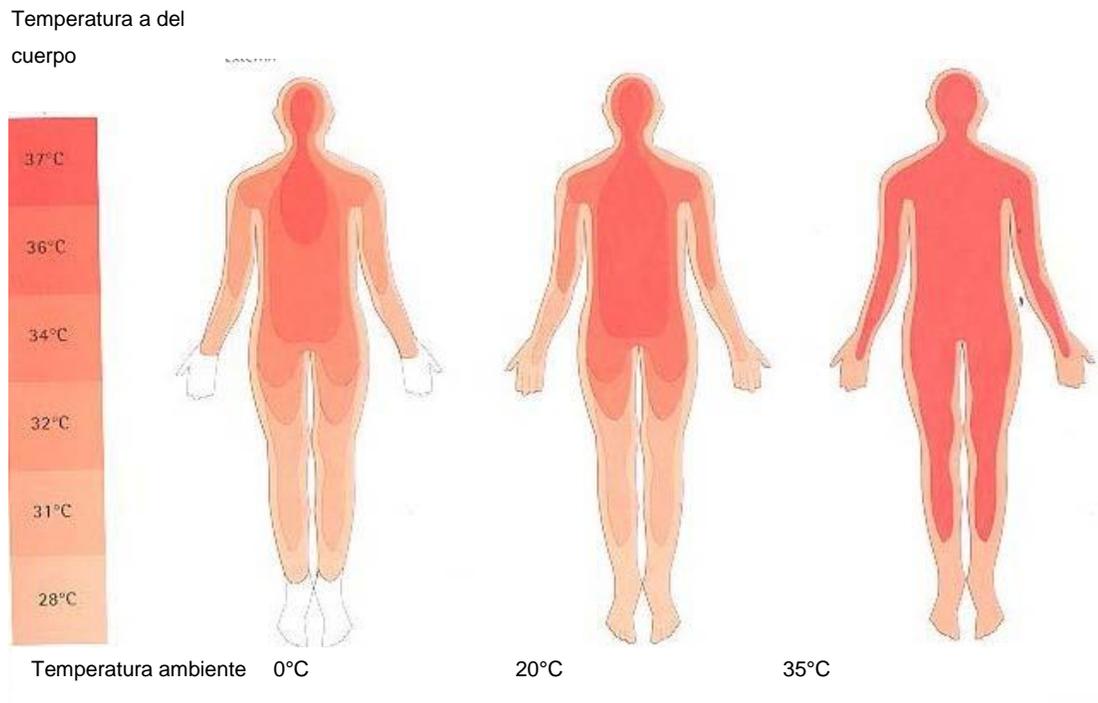


Figura 4: Temperaturas corporales en relación al exterior. Fuente: Behling 1996:37

Sin embargo, los cálculos pueden resultarnos la décima parte de un grado para separar la zona de confort de la zona de discomfort, en realidad esa línea es muchísimo más sutil.

El confort térmico es un período de equilibrio proveniente del control de las cargas térmicas compradas entre el cuerpo humano y su situación inmediata, donde los componentes externos son: la temperatura, la radiación solar, humedad relativa y las corrientes del aire y funciones del cuerpo humano son la termorregulación física, por conducta y expectativas psicológicas.

“La franja de confort no tiene límites reales. A partir de una zona central la neutralidad deriva sutilmente hacia un cierto grado de tensión y de éste pasa directamente a alcanzar la situación de incomodidad. Como consecuencia, cualquier perímetro definitivo del confort estará basado en asunciones arbitrarias” (Olgyay, 1998).

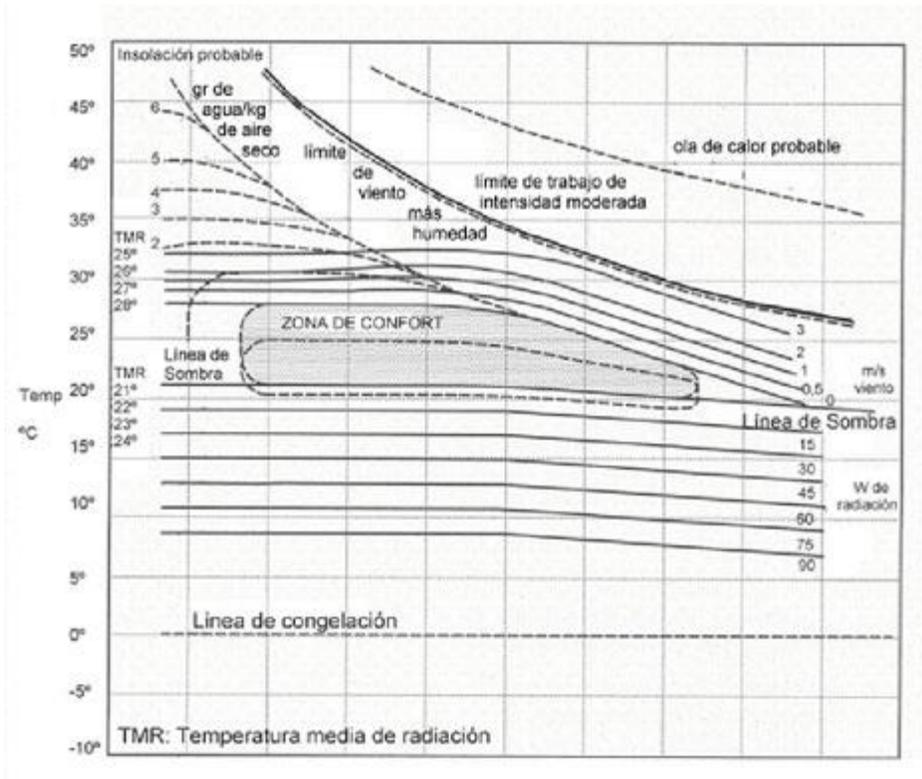


Figura 5 Carta bioclimática de Olgyay Fuente: [https://www.construmatica.com/construpedia/Cartas\\_Bioclim%C3%A1ticas](https://www.construmatica.com/construpedia/Cartas_Bioclim%C3%A1ticas)

El confort térmico es un momento de equilibrio consiguiente del balance de las cargas térmicas intercambiadas entre el cuerpo humano y su ambiente contiguo en donde los elementos externos son la temperatura, la radiación, la humedad relativa, la corriente del aire y las actividades que presente el cuerpo humano son la termorregulación fisiológica, por comportamiento y expectativas psicológicas; sin embargo, si consideramos un rango neutro reflejado en la carta bioclimática nos arroja que:

- Temperatura del aire ambiente: entre 18 y 26 °C

- Temperatura radiante media superficies del local: entre 18 y 26 °C
- Velocidad del aire: entre 0 y 2 m/s
- Humedad relativa: entre el 40 y el 65 %

#### **4.1 Salud y confort térmico**

La Organización Mundial de la Salud (OMS) especifica que la salud ambiental está relacionada con todos los factores físicos, químicos y biológicos ajenos a una persona. Es decir, abarca factores ambientales que podrían incidir en la salud y se basa en la prevención de las enfermedades y en la creación de ambientes propicios para la salud. Por consiguiente, queda excluido de esta definición cualquier comportamiento no relacionado con el medio ambiente, así como cualquier comportamiento relacionado con el entorno social y económico y con la genética. (OMS, 2017).

No contar con un apropiado confort interno en las viviendas puede tener resultar negativamente en la salud de los usuarios; refiriéndose

en el mal diseño de una vivienda y teniendo un mal aislamiento en puertas y ventanas, contar con mala iluminación o temperaturas internas inconveniente solo son algunos de los factores que intervienen en el resultado de confort en las viviendas.

Si cada usuario pretende mejorar su calidad de vida, se deberá considerar que cada vivienda a habitar debe cumplir con aspectos que brinden comodidad y confort basado en: confort higrotérmico, salubridad, iluminación y habitabilidad.

Las medidas relacionadas con las energías renovables y la eficiencia energética, componentes importantes del Plan de Energía Limpia de la administración de Obama, ayudan a desplazar las centrales a base de carbón y otros combustibles fósiles, que son los principales factores del cambio climático. También ayudan a reducir las emisiones nocivas de óxido nitroso, dióxido de azufre y dióxido de carbono.

## 5. SISTEMAS PASIVOS DE CLIMATIZACIÓN

En la climatización pasiva entran numerosos parámetros. Muchos factores arquitectónicos, desde el diseño, orientación, tendencia de muros y su tamaño al igual que la ubicación de aperturas, hasta las zonas y materiales constituyentes de su envolvente y estructura, con sus combinaciones y usos posibles condicionan su comportamiento. Sin embargo, lo que tal vez hace un edificio naturalmente climatizado tan diferente a su contraparte, con acondicionamiento artificial, es el papel que juega el usuario. “Edificios pasivos requieren usuarios activos” suele ser un enunciado frecuentemente articulado si se habla de la climatización pasiva, en particular si se entiende con climatización pasiva a sistemas con ningún grado de automatismo, esto sin obligar a los usuarios a ser un mecanismo activo para potencializar el ajuste térmico interno.

Diseñar bajo consideraciones bioclimáticas puede resultar en algunas zonas con condiciones climatológicas extremas o bajo necesidades específicas, no resultar lo suficiente eficaz para obtener el fin esperado.

Sin embargo, en la mayoría de los casos el resultado puede ser satisfactorio y mejorar en la construcción para aprovechar sistemas activos de climatización ignorando el potencial natural.

*“Los edificios privados estarán correctamente ubicados si se tiene en cuenta, en primer lugar, la latitud y la orientación donde van a levantarse./.../ Como la disposición de la bóveda celeste respecto a la tierra se posiciona según la inclinación del zodiaco y el curso del sol, adquiriendo características muy distintas, exactamente de la misma manera se debe orientar la disposición de los edificios, atendiendo a las peculiaridades de cada región y a los diferentes climas./.../ De igual modo se irán adaptando las construcciones en otras regiones, siempre en relación con sus climas diversos y con su latitud.” (VITRUVIO, 1997, pág. 145)*

## **5.1 Estrategias**

### ***5.1.1 Sistemas pasivos en ventilación***

La ventilación es una de las principales fuentes de climatización pasiva en varias diferentes zonas climáticas, sin embargo, actualmente ha llegado a ser una de las principales estrategias a estudiar junto con la protección solar.

El ser humano percibe la ventilación, o más bien los movimientos del aire, dependiendo de diferentes factores como: la velocidad del aire, la temperatura y humedad del ambiente, interviniendo también la fluctuación de la velocidad y factores personales como la adaptación y tipo de vestimenta, de donde viene el viento, la actividad física y la sensación térmica, es decir, si la persona siente fría o calor sin necesidad de la intervención del viento.

Por lo general se distingue sólo entre dos tipos de ventilación: la natural y la artificial.

La ventilación actúa de dos maneras: por un lado, regenera el aire interior de las edificaciones, renovándolo, y, por otro lado, distribuye el aire interior sin renovación. En ambos casos, ya sea por una entrada de aire a menor temperatura, o bien, incrementando la velocidad del aire, podemos lograr reducir la temperatura necesaria y por lo tanto la sensación de sobrecalentamiento en el interior de nuestras viviendas.

En contra a la ventilación natural, tendríamos mecanismos activos tales como el aire acondicionado, ventiladores, que ya no dependen del movimiento y las corrientes de aire para reducir la temperatura interna, ya que el aire arrojado por estos mecanismos se encuentra a una temperatura controlada.

### ***5.1.2 Sistemas pasivos en radiación***

Los sistemas de climatización pasiva fundamentados en la radiación solar promueven, por un lado, tratar de proteger las aperturas de la casa en algunas temporadas, y tener ganancia térmica en el envolvente de la casa maximizando el aprovechamiento de la radiación solar dependiendo la orientación de la vivienda,

pero también de la reflexión y transmisión por materiales adyacentes, esto debe ser analizado en la etapa de diseño ya que la ubicación, orientación y tamaño de acristalamientos, previamente proporcionada demanda de elementos para ganar o crear sombra propia.

Por otro lado, se puede aprovechar la radiación nocturna para transmitir la temperatura de un objeto o material por debajo de su temperatura ambiental, ya que como dice la ley de enfriamiento de Newton *“la tasa de enfriamiento por radiación, convección y conducción es proporcional a la diferencia de temperaturas entre el objeto y sus alrededores”*.

La radiación solar es la principal fuente de energía en nuestro planeta. Así la protección solar es la principal estrategia a atacar en zonas cálidas para el diseño bioclimático, mientras que en zonas templadas o frías el diseño debe maximizar el aprovechamiento del sol al máximo.

Diseñando basados en los aportes del sol es importante tratar de solucionar tres puntos principales:

- Conservar un nivel de luminiscencia natural al interior adecuado para realizar las actividades cotidianas sin problema.
- No obstruir con elementos molestos la visión hacia el exterior.
- No privar los aportes térmicos en las diferentes épocas del año.

### ***5.1.3 Sistemas pasivos en evaporación***

La climatización basada en la evaporación consiste en uno de los primeros métodos para enfriar espacios en climas áridos, siempre y cuando haya disponibilidad de agua.

En climas con una humedad relativamente alta en el aire dicha forma de aplicar esta estrategia es por medio de la combinación en función a la vegetación con la finalidad de secar el aire húmedo.

En la climatización por evaporación, el agua se aprovecha en el proceso de evaporación se requiere una gran cantidad de energía que se extrae del entorno. Mientras que el agua ya en sí tiene una alta capacidad térmica, también sus cambios de fase son procesos con alta demanda/ liberación de energía calorífica.

#### ***5.1.4 Sistemas pasivos basados en la nivelación de temperatura***

Las diferentes zonas climáticas muestran una diferencia en la distribución de la temperatura expuesta en cada edificación, mencionaba Enriqueta García que las temperaturas en México eran muy variables ya que tenían una brecha muy estrecha para la localización de climas, ya que en algunas zonas es muy marcada la diferencia entre la temperatura de día y de noche, o entre las diferentes épocas del año, estos cambios u ondulaciones de temperatura, permiten aprovechar ciertas características de los materiales de construcción para poder mantener un equilibrio en los cambios de temperatura.

Si tomamos como ejemplo un clima árido seco, con una temperatura exterior en medio día de 40°C y un mínimo en la madrugada de 5°C. Si fuera posible promediar esas dos temperaturas por métodos pasivos constructivos se alcanzaría una temperatura interna casi ideal: 22.5°C. Esto se puede lograr aprovechando la *capacidad térmica* de los materiales empleados en el proyecto arquitectónico. Hay que tener en cuenta que la capacidad térmica no es lo mismo que el aislamiento térmico de los materiales, ya que funcionan de manera diferente.

El aislamiento térmico es la característica que tienen los materiales para oponer su paso al calor por conducción, mientras que la capacidad térmica es el valor que tienen los materiales para almacenar calor en su materia.

La inercia térmica, está relacionada con el peso de los envolventes de los muros, ya que el calor específico de los materiales es usado comúnmente para almacenar energía calorífica durante el día logrando amortiguar las bajas temperaturas de noche.

El amortiguamiento se da por el efecto de que una gran parte de la energía solar que recibe la envolvente de las viviendas, no se transmite directamente hacia el interior, sino que esa energía necesita un tiempo de traslado desde la pared hasta penetrar el calor dentro de la vivienda. Dado que la existencia de paredes anchas y pesadas requieren una alta cantidad en horas captación solar para poder subir su temperatura el proceso de la transmitancia de calor puede tardar varias horas; así la energía captada durante el día se mantiene en la pared hasta las horas de la noche disminuyéndose poco a poco por radiación y convección hacia adentro y afuera, manteniendo una temperatura más alta al interior que la temperatura la que está expuesta durante la noche.

Otro efecto vinculado con el amortiguamiento, es el desfase que es muy parecido al proceso del amortiguamiento, mientras le amortiguamiento es una función de la temperatura, el desfase funciona con el tiempo, y describe la diferencia de la temperatura máxima en el exterior y la temperatura mínima en el interior.

## **6. ARQUITECTURA PASIVA**

Es preciso definir el proceso de la casa pasiva diferenciando entre la arquitectura bioclimática y su relación con las primeras.

La arquitectura pasiva se define como “aquella que se adapta a las condiciones climáticas de su entorno” (Wassouf, 2014, pág. 7), basándose en los criterios constructivos basados en la arquitectura tradicional, pretendiendo lograr un confort térmico interno a partir de su propia configuración arquitectónica.

De otro modo, la arquitectura bioclimática es “aquella que tiene en cuenta el clima y las condiciones del entorno para ayudar a conseguir un confort higrotérmico interno y externo. Involucra y juega –exclusivamente- con el diseño y los elementos arquitectónicos, sin utilizar sistemas mecánicos” (Grazón, 2007, pág. 15).

No obstante, y según se desprende de las definiciones anteriores, arquitectura pasiva y bioclimática son a conceptos sinónimos o íntimamente muy ligados,

refiriéndose a arquitecturas adaptadas el medio en que se ubican para otorgar confort haciendo el menor uso posible de sistemas de climatización activas.

### **6.1 Passivhaus.**

Passivhaus o casa pasiva es una nueva forma de construcción sobre edificaciones eficientes creado en Alemania a finales de la década de los años 1980 (Wassouf, 2014), que poco a poco se ha ido extendiendo por el resto del mundo. Estas edificaciones son construcciones que tiene como característica principal mantener y ofrecer a los usuarios un alto confort térmico con el mínimo consumo energético ya que gracias a los sistemas de ventilación controlados y el cuidado uso de envolventes hacen que estas casas tengan un consumo casi nulo de energía, manteniendo ganancias térmicas internas gracias a los usuarios, a los elementos eléctricos de uso diario, hasta la ganancia térmica obtenida por medio de la captación solar.

Passivhaus Instituto no es una marca comercial, ni una certificación con fines lucrativos, este es en definitiva un concepto o un sistema constructivo que, tras años de estudio, y aplicación en países desarrollados se han reflejado excelentes resultados en todas las edificaciones construidas bajo estos parámetros, actualmente cuentan con más de 30 años de experiencia (Passive House Institute, 2016).

Las casas pasivas permiten ahorros de energía relacionados con la calefacción y refrigeración de hasta un 70% en comparación con los edificios construidos de forma tradicional y un 90% en comparación con los edificios más antiguos (Wassouf, 2014).

No obstante, los requisitos que marca el Instituto Passivhaus deben cumplir con una serie de criterios generales que trabajando de manera conjunta regulan la temperatura interior de la vivienda, estos estándares se pueden comprobar mediante la utilización del Programa de Panificación Passivhaus (PHPP).

## 6.2 Generalidades de la Passivhaus

El estándar de construcción Passivhaus se ideó en el año 1988 por los profesores Bo Adamson, de la Lund University de Suecia, y Wolfgang Feist del Instituto de Edificación y Medio Ambiente de Alemania y actual director del Passivhaus Institut de Darmstadt comenta:

*“Cuando la carga de calefacción no superaba los 10W/m<sup>2</sup> de superficie útil es posible suministrar el calor necesario para mantener el calor en invierno mediante una ventilación controlada con recuperación de calor (...) de este modo, podía prescindir de la instalación convencional de radiadores o suelo radiante, y conseguir un ahorro respecto a un mismo edificio de bajo consumo, pero menos eficiente”. (Wassouf, 2014, pág. 16:17).*

La palabra Passivhaus proviene del alemán, significando casa pasiva<sup>9</sup> como es fácil percibir. Por tanto, desde su propia denominación, se hace evidente la importancia de las medidas pasivas propias en el diseño de la arquitectura para su desarrollo aplicable.

Como punto de partida, es de vital importancia la concepción pasiva del edificio desde su inicio, reduciendo así la demanda y consumo energético desde el funcionamiento, y requiriendo por tanto un menor uso de medidas activas de refrigeración y calefacción. Además de las medidas pasivas contempladas, el estándar PHI establece una serie de criterios, constructivos y técnicos, a tener en cuenta en el diseño, así como unos parámetros establecidos en cuanto a demanda, consumo y hermeticidad al aire que prescriben en su certificación.

Dentro del análisis además de su eficiencia energética, un edificio que cumpla con las características del estándar pasivo, se caracteriza por ofrecer bienestar a sus

---

<sup>9</sup> Los lineamientos y parámetros establecidos por Passivhaus es aplicable no sólo en viviendas, sino a cualquier otra edificación, es cierto que mayoritariamente se ha aplicado a viviendas.

usuarios gracias a las consideraciones óptimas para un aporte térmico, en relación a la protección térmica, inercia térmica, ausencia de puentes térmicos, alta calidad de ventanas y puertas, hermeticidad de la envolvente, zonificación, ventilación controlada con recuperación de calor y ventilación natural cruzada en verano. (Wassouf, 2014).

### **6.2.1 Aislamiento térmico en muros y techos.**

El aislamiento es el encargado de aislar el interior del edificio del clima exterior, notablemente, para que esto se lleve a cabo debe existir una gradiente de temperatura interna-externa, y entre mayor se al cambio de temperatura al que este expuesta la edificación, mayor será el grado de eficiencia térmica.

El aislamiento térmico se cuantifica mediante el concepto de transmitancia térmica, en  $W/m^2K$ , dónde un aislamiento de  $0.15 W/m^2K$  permite pasar en  $1m^2$  de superficie de  $0.15W$ , cuando la diferencia de temperatura entre el interior y exterior es de  $1^\circ K$ .

Para garantizar el máximo funcionamiento en de aislamiento continuo en las edificaciones, el Passivhaus Institut ha definido una regla rotular, que es una técnica desarrollada durante la elaboración del proyecto arquitectónico empleada a través de una línea continua dibujada en los planos dentro de las secciones sobre el aislamiento de la envolvente, y de la misma forma el espesor que se manejará. Esta línea da la oportunidad de identificar la aparición de puentes térmicos y la continuidad del aislamiento, garantizando la homogeneidad del funcionamiento de la envolvente.

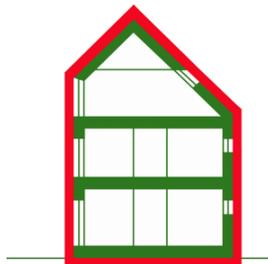


Figura 6: Aislamiento térmico continuo. Fuente: Energiehaus Edificios Pasivos

### 6.2.2 Inercia térmica

*“Es la capacidad de un elemento constructivo en contacto directo con el aire de absorber y almacenar una cantidad determinada de energía hasta alcanzar un punto de saturación en el que el flujo energético se invierte y la energía vuelve a fluir desde el elemento constructivo hasta el aire” (Wassouf, 2014).*

Es por esto que, la inercia térmica se convierte en un gestor de energía, el cual almacena calor durante el día y dilatóndolo durante la noche.

Es fundamental tener presentes los conceptos usuales en el estudio de termicidad como amortiguación de la onda térmica y desfase entre las ondas internas y externas que son determinantes de la inercia térmica.

La *amortiguación de onda térmica*, se mide mediante porcentajes midiendo la temperatura interior y exterior; mientras que *el desfase de onda*, se refiere al tiempo que el calor concentrado durante el día.

El funcionamiento de inercia térmica se divide en invierno y verano, donde en este último los elementos másicos con gran inercia térmica absorben el calor de espacios interiores, acumulando y disipándolo por la noche mediante una ventilación eficaz; por lo que, en invierno, los materiales con gran inercia térmica absorben el calor durante el día para devolverlo al ambiente interno durante la noche; esto muestra que ambos casos utilizamos un mecanismo de refrigeración y calefacción pasivo.

Entre los materiales con gran inercia térmica encontramos los materiales tradicionales como el agua, granito, tierra seca o adobe con gran capacidad calorífica (500-1000Kcal/m<sup>3</sup>°C) (EUDOMUS, 2012), y materiales habituales dentro de la construcción como la madera, el ladrillo y el hormigón que tienen capacidades caloríficas (400Kcal/m<sup>3</sup>°C) (ICPA, 2013).

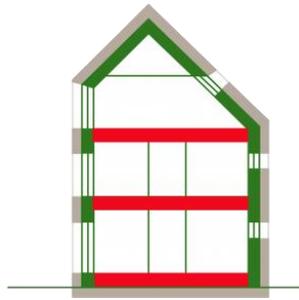


Figura 6: Criterios de inercia térmica. Fuente: Energiehaus Edificios Pasivos.

### **6.2.3 Eliminación de puentes térmicos**

Los puentes térmicos están ubicados en aquellas zonas críticas de la vivienda, donde el flujo de energía es mayor que el resto, estos puntos se muestran en distintos elementos -*cambios de materiales, uniones de muros, ventanas*- siendo estos los que mayor efecto presentan en relación la eficiencia energética del edificio.

Evidentemente, en edificios con poco aislamiento, los puentes térmicos no tienen gran relevancia, ya que no están expuestos a una variación importante en cuanto al comportamiento térmico del resto de la envolvente, en comparación con los edificios que cuentan con un gran aislante térmico, que fácilmente trasladan frío y humedad del exterior al interior. En este caso, como su nombre lo dice es elemental no omitir estos detalles ya que se corre el riesgo de perder la energía ganada con las estrategias previas.

Problemas derivados a raíz de la existencia de puentes térmicos, no solo afectan de manera térmica a las edificaciones ganando o perdiendo calor no deseado, sino que también pueden casar humedad en los cerramientos como consecuencia al enfriamiento diario de la zona ocasionado a raíz de un rocío sobre la superficie del muro creando una posible condensación en el interior de este elemento.

La clasificación de los puentes térmicos se puede clasificar como:

- Constructivos: Originados en los cambios de grosor en los diferentes elementos de la envolvente.
- Geométricos: Producidos en la falta de continuidad de los diferentes elementos de los muros.
- Cambios de material: Aparecen cuando se une un material de mayor o menor conductividad a la envolvente del elemento que se une.

Las consideraciones ofrecidas por el Passivhaus Institut <sup>R</sup> para evitar los puentes térmicos son:

- Crear un aislante térmico continuo, tal como la regla rotular, pero aplicada directamente en obra.
- Utilizar elementos con baja transmitancia térmica entre la unión de elementos.
- Conectar las diferentes capas o elementos constructivos sin interrumpir ni cortar los aislantes aplicados.

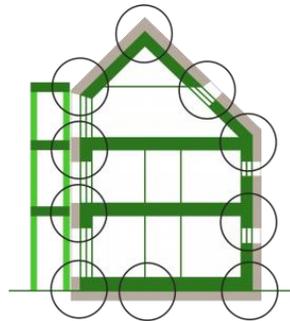


Figura 7: Puentes térmicos. Fuente: Energiehaus Edificios Pasivos.

#### **6.2.4 Eficacia en puertas y ventanas**

Es importante considerar todos los recursos naturales -*orientación y vientos dominantes*- geo localizados donde se vaya a ubicar la vivienda, ya que estos funcionan con una perfecta combinación entre los elementos térmicos de los envolventes, orientación, captación y protección solar.

Las ventanas son el elemento más vulnerable de la envolvente térmica, puesto que energéticamente hablando es la zona con más probabilidad de perder o ganar energía, consecuente a esta situación, investigaciones de la Passivhaus Institut han delimitado criterios de control:

- *Transmitancia térmica de las ventanas* considerando cancelería de PVC, siendo éste un excelente aislante para la reducción de ganancia y pérdida de calor externo (VEKA), y cristalería doble o triple con poca hermeticidad, con cámaras de aire (o gas argón) que permite mejorar el aislamiento térmico del vidrio, ofreciendo también aislamiento acústico.
- *Factor solar g*, consiste en la inercia solar directa que pasa a través de los cristales, éste dependerá según el tipo de clima y las orientaciones de cada ventana, entre más factor g en la vivienda menos necesidad de usar la energía eléctrica solar, siendo que será directamente usado el calor solar.
- El marco de las ventanas deberá estar enrasadas con el envolvente térmico elegido para el proyecto, esto evita puentes térmicos elevando la hermeticidad al paso del aire.

Mientras tanto, en las puertas hacia el exterior tiene, un mayor reto ya que deben contar con un alto valor hermético requerido por los lineamientos establecidos por el Passivhaus Institut.

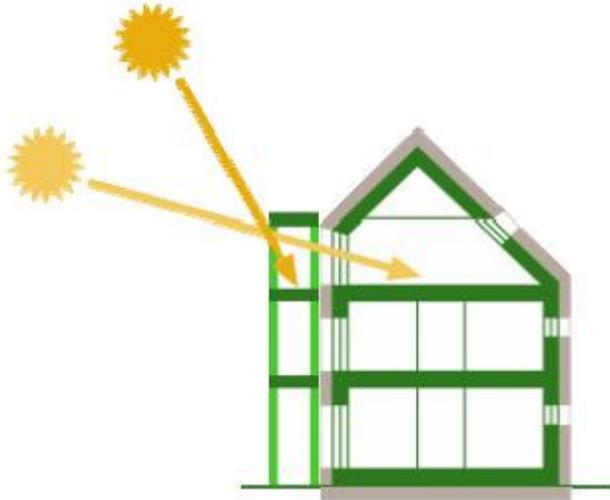


Figura 8. Criterios de calidad en puertas y ventanas Passivhaus. Fuente: Energiehaus Edificios Pasivos.

### **6.2.5 Estanqueidad del aire y ventilación con recuperación de calor.**

La hermeticidad del aire favorece a mantener confort en el interior de la vivienda, ya que el cruce de aire crea cambios bruscos de temperatura provocando temperaturas no deseadas, por este motivo la ventilación mecánica controlada se encargará de regular este movimiento e intercambio de aire con el exterior, en el cual el aire frío saldrá por medio de extractores y el aire nuevo pasará por un filtro que además de eliminar partículas nocivas de contaminación entrará con temperatura regulada.

Uno de los lineamientos clave para el funcionamiento de las estrategias Passivhaus aplicadas en las viviendas y edificaciones es mantener un elevado aislamiento térmico, es por esto que es importante asegurar la hermeticidad de la construcción evitando pérdidas energéticas no deseadas que provoquen pérdidas de calor internas en el invierno, y ganando calor del exterior en el verano.

Incluso, contar con gran hermeticidad resulta un efecto positivo desde el punto de vista energético, puesto que evita los cambios de temperatura impidiendo la existencia de corrientes de aire y evita también la aparición de humedad. Vehículos

### 6.2.6 Ventilación controlada y recuperación interna de calor

Es importante optimizar las orientaciones a beneficio de la vivienda ya que habrá más aprovechamiento de luz natural durante el día y mayor captación solar para que cuando baje la temperatura el calor ganado durante el día haga su trabajo en el interior de la vivienda.

El objetivo de la ventilación es otorgar calidad en el aire interior del edificio, purificando componentes perjudiciales como el CO<sub>2</sub> o diferentes elementos nocivos orgánicos provenientes de algunos acabados interiores, olores emitidos por las diferentes actividades humanas, etc.

Los sistemas aplicados de ventilación para lograr este funcionamiento pueden ser presentadas de tres formas diferentes, la primera, ventilación natural, esta es básica en los lineamientos Passivhaus en climas cálidos, mientras que la ventilación híbrida (dónde combinamos ventilación mediante extractores y ventilación natural, dónde por medio de aireadores el aire del exterior ingresa a diferentes puntos de las edificaciones logrando una circulación óptima, por último, la ventilación para recuperación de calor, se trata de una ventilación con sobre flujo, donde un sistema de extracción y otro de admisión con recuperación de calor, con un funcionamiento de intercambio con la finalidad de mantener una temperatura media.

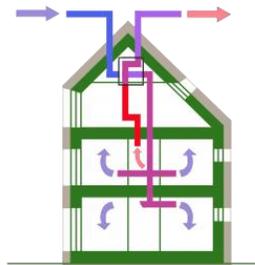


Figura 16 Funcionamiento ventilación mecánica. Fuente: Energiehaus Edificios Pasivos.

Éste último es el sistema recomendado en climas fríos por los estándares Passivhaus, el cual permite una alta hermeticidad de la envolvente con respecto a los otros dos sistemas de ventilación, la cual también nos ayuda a prevenir los

cambios drásticos de temperatura internos y externos, acústica controlada proveniente del exterior y evitar contaminación del aire externo.

### 6.3 Criterios para una certificación Passivhaus

La definición estándar de Passivhaus es:

*“Un edificio pasivo es aquél que puede garantizar el confort climático suministrando la energía para calefacción y/o refrigeración sólo a través del aire de ventilación. Este caudal de ventilación es el mínimo necesario para garantizar la higiene de las estancias interiores (30m<sup>3</sup>h por persona en uso residencial)” (Wassouf, 2014).*

Ciertamente, las edificaciones pasivas están integradas con aislamiento apoyadas de una envolvente hermética con un control estricto en los diferentes puentes térmicos y, filtraciones donde frecuentemente se presenta es en la cancelería y cristalería, es por eso que se elaboran con marcos especiales y herramientas para tener un mejor aprovechamiento de luz natural.

En efecto, para conseguir la certificación de una edificación pasiva, se debe planear y ser construida o adaptado a los lineamientos de este estándar Passivhaus ®, puesto que, si estos están bien aplicados, las construcciones deben cumplir con los siguientes criterios:



Figura 10. Requisitos para obtener una certificación Passivhaus. Ref. Plataforma Edificación Passivhaus. <http://www.plataforma-pep.org/estandar/certificacion>

Los anteriores lineamientos se esclarecerán en lo que sigue:

La **demanda de calefacción** puede considerarse uno de los valores más relevantes, teniendo en cuenta que refleja el balance existente entre las pérdidas y ganancias de calor, donde para estos parámetros se deben considerar diferentes variantes que determinan la ganancia térmica proveniente de los usuarios y electrodomésticos, esto es conveniente considerarlo desde el momento de diseñar para poder mantener un equilibrio térmico interno ya que este no debe superar los 15kWh anuales o los 10W por metro cuadrado de las edificaciones (Wassouf, 2014).

- **Demanda total:** El consumo de la calefacción, acondicionamiento, agua caliente y electricidad doméstica en conjunto, no debe superar los 120kWh al año por metro cuadrado del espacio habitable.
- **Aislamiento:** Permite un máximo de cambios en el aire de un 0.6 por hora a una presión de 50 pascales.
- **Comodidad térmica:** Se debe mantener durante todo el año. Se mide caso a caso, pero generalmente exige ventanas en todas las áreas de uso frecuente y una baja frecuencia de sobrecalentamiento.

#### **6.4 Aplicación del estándar Passivhaus en la actualidad**

El estándar Passivhaus o casa pasiva, es un estándar de lineamientos para la construcción de edificios con un gran confort interno y bajo consumo energético, el resultado de estas construcciones es lograr una edificación donde los usuarios gocen de una buena calidad de vida (VAND arquitectura., 2017).

En la actualidad ya se han construido más de 20 mil edificaciones en distintos países europeos que cumplen con esta norma. La aplicación del estándar pasivo trajo consigo que en algunas regiones dentro de Alemania y Austria se formalizara este sistema como un sistema obligatorio para la construcción de edificaciones y viviendas de la sociedad, mientras que actualmente en Inglaterra también están pensando imponerlo como requisito obligatorio de las nuevas obras.

Los proyectos para crear viviendas Passivhaus se están expandiendo alrededor del mundo, con apoyo tanto de las empresas privadas como de los gobiernos. Por ejemplo, en la ciudad de Heidelberg, Alemania, se está organizando la urbanización de 115 hectáreas en las que se construirán únicamente edificaciones pasivas.

La postura por el uso de estos lineamientos –que presume ser un paso más en la sostenibilidad de las edificaciones- está basada en los costos de una construcción, y también el de la demanda de energía y su mantenimiento, lo que completa su coste global a lo largo de toda su vida útil, sin embargo, éste es la principal barrera dentro del área de crecimiento de la aplicación de estas estrategias.

Los beneficios de las edificaciones habitable o no habitables son muchos:

**ES SALUDABLE:** Por medio de la renovación del aire de manera controlada elimina tanto el CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) y los COVs (Compuestos Orgánicos Volátiles), que son elementos vivos liberados por la quema de combustibles -gasolina, madera, gas natural, pinturas, disolventes- como los formaldehidos o clorobencenos, que son sustancias químicas presentes en muchos materiales de las viviendas o edificaciones, mobiliario, etc. Estas sustancias son perjudiciales para nuestra salud porque provocan cansancio, dolor de cabeza, baja concentración, alteraciones en la percepción olfativa, gusto, etc.

**ES CONFORTABLE:** La finalidad de la envolvente térmica tiene como finalidad lograr un ambiente interior entre 20° y 25° según época del año, una humedad relativa equilibrada y una excelente protección acústica y térmica. Todo el aire de ventilación que entra en el edificio lo hace a través de unos filtros que impiden la entrada de polvo, polen, etc., garantizando una muy alta calidad de la temperatura interior (ANTOLIN, GRUPO, 2015, pág. 16).

**ES MÁS HIGIÉNICO:** la envolvente térmica junto con la ventilación garantiza la no proliferación de microorganismos, hongos o mohos por condensación (ANTOLIN, GRUPO, 2015, pág. 20).

**ES SOSTENIBLE:** La elevada eficiencia energética del edificio reducirá las emisiones de CO<sub>2</sub> y contribuirá a la preservación de las fuentes de energía no renovables. Además, como consume tan poco hace más viable la utilización de energías renovables como fuente de suministro (ANTOLIN, GRUPO, 2015).

**AHORRO:** El edificio que trabaje con los lineamientos funcionando de manera conjunta y eficaz ahorrará hasta un 90% de la energía durante toda su vida útil -que esto, amortigua el costo extra de inversión al momento de construir o remodelar un edificio-. La amortización de esta inversión inicial está prevista a partir de los 5 años (ANTOLIN, GRUPO, 2015).

En este contexto, la certificación juega un papel fundamental tanto para el arquitecto o certificador como para los usuarios, ya que es una herramienta de control de calidad y habitabilidad.

## **7. ARQUITECTURA SUSTENTABLE EN MEXICO**

“El termino sustentabilidad ambiental, se refiere a la administración eficiente y racional de los recursos naturales, de tal manera que sea posible mejorar el bienestar de la población actual sin comprometer la calidad de vida de las generaciones futuras” (Plan Nacional de Desarrollo México, 2007-2012).

En México, gran parte de la vivienda histórica y vernácula funciona según los principios base de sustentabilidad, puesto que en el tiempo en que las posibilidades de ambientación artificial eran escasas. Las ventanas eran orientadas al sur en climas fríos, el uso de ciertos materiales con determinadas propiedades térmicas, como la madera o el adobe, el abrigo del suelo, el encalado de las casas o la organización de los poblados no son casuales, si no que cada distancia, apertura y diseño tienen una función específica.

Mediante un continuo mejoramiento de la manera en que se ubica, se contribuye a una mejor planeación urbana, una ubicación apropiada, el diseño arquitectónico, un proceso de edificación y una operación de la vivienda efectivos, van a tener

repercusión no sólo en la reproducción económica, sino también en la salud y habitabilidad de sus usuarios y en el medio ambiente natural.

El uso de tecnologías y recursos avanzados para el ahorro de energía en viviendas permite generar grandes reducciones en la demanda de combustibles fósiles y en las emisiones de gas invernadero (GEI).

La arquitectura pasiva es la que se encarga de contemplar y utilizar los recursos de la naturaleza, *arquitectura bioclimática*, que combinan estas estrategias con eficiencia energética resultando tener edificaciones herméticas.

Asimismo, desarrollar mejores prácticas dentro del proceso de diseño y edificación pueden contribuir a enfrentar retos ambientales como el agotamiento de los recursos naturales.

## **7.1 Ejemplos análogos.**

### ***7.1.1 Kuxtal***

Kuxtal (palabra proveniente del maya que significa vida), basada en la perspectiva de vivienda sustentable, vista desde una perspectiva integral que contempla una huella mínima de carbono, la producción de energía limpia a través de paneles solares y una construcción de bajo impacto con materiales amigables con el ambiente, tiene su origen en el año 2015 como propuesta sustentable a un proyecto participante en la competencia internacional Solar Decathlon.

“Con el proyecto Kuxtal buscamos proponer una solución para las problemáticas que hemos identificado en nuestras ciudades, como el hacinamiento, la construcción de gran impacto ambiental y el encadenamiento a combustibles fósiles como fuente de energía. Es un verdadero privilegio contar con esta plataforma (Solar Decathlon), y patrocinadores tan comprometidos con el futuro como Schneider Electric, que hagan posible el que las nuevas generaciones materialicen sus ideas en propuestas para la mejora de nuestras viviendas y ciudades” (Santos, 2015).

La vivienda está diseñada para un clima tropical, tomando como referencia el clima de Tuxtla Gutiérrez; este proyecto tiene como objetivo lograr sociedades mas integradas, justas y responsables con el medio ambiente, siendo un proyecto enfocado en la optimización del uso de recursos, ofreciendo flexibilidad a los usuarios otorgando la facilidad de modificar los espacios de acuerdo a las necesidades de los usuarios.



*Figura 2 Proyecto Kuxtal Fuente: <https://planosdecasas.net/kuxtal-propuesta-mexicana-para-el-solar-decathlon-america-latina-y-el-caribe-2015/>*

KUXTAL es un proyecto diseñado con la finalidad de ser flexible para su construcción de manera individual y/o en nivel colectivo. Esto es viable gracias a su diseño modular. El bloque inicial contempla un área de 21 metros cuadrados para una persona, considerando los servicios: dormitorio, cocina, un baño, y un área social; la cocina y el baño son elementos donde no hay reconfiguración a lo largo del desarrollo. Tiene la capacidad de ir incrementado sus dimensiones de acuerdo al número de miembros de la familia, hasta llegar a una capacidad máxima de 81 metros cuadrados, correspondiente a una familia de cinco integrantes.



Figura 3 Proyecto Kuxtal Fuente: <https://planosdecasas.net/kuxtal-propuesta-mexicana-para-el-solar-decathlon-america-latina-y-el-caribe-2015/>

La construcción de esta casa contempla la utilización y aprovechamiento de naturales que optimizan la conservación energética y sustentable, guiados de los requerimientos del Red List (esta es una lista de materiales con la finalidad de identificar y eliminar los productos nocivos químicamente considerando la salud humana y ecológica a lo largo del ciclo de vida de los materiales, dentro del entorno construido).

### ***7.1.2 Rehabilitación de un departamento bajo estándar Passivhaus.***

A raíz de la realización del Concurso Iberoamericano Passivhaus, se llevó a cabo una rehabilitación habitacional de un departamento en el barrio de la Colonia Roma ubicado en la Ciudad de México, logrando reducir las diferentes molestias y variaciones de temperatura.

El departamento esta ubicado en el piso cuatro, con una orientación al sur, razón por la cual durante primavera y verano recibía rayos solares directamente alcanzando altas temperaturas al interior, por lo contrario, en otoño e invierno el frio causaba molestias a los usuarios.

La remodelación incluye una estructura de acero, material que conforma toda la caja del inmueble, los muros están compuestos de madera aglomerada con aislamiento térmico y una barra de vapor; además, se aplicó pintura reflectiva. La cubierta es de concreto con cimbra aparente, la cual también cuenta con aislamiento de polipropileno de 3 pulgadas de grosor. En el piso, también se aplicó aislamiento, este tiene una capa de aire de 50 centímetros, que da paso a contar ahí con las instalaciones.



Desmontaje de fachada existente.



OSB, cinta autoadhesiva de alto desempeño.



Barrera de vapor.



Poliestireno expandido de 3" (Neopor).



Base-coat, reforzado con malla de fibra de vidrio y finish-coat.



Persianas enrollables y toldo retráctil.

Figura 4 Proceso de rehabilitación departamento pasivo. Fuente: <https://www.archdaily.mx/mx/758491/mexico-rehabilitacion-de-un-departamento-bajo-estandar-passivhaus>

Los principales retos que se encontraron durante la rehabilitación del departamento, según relata la arquitecta a cargo, fue conseguir los recursos y los materiales necesarios, así como la ejecución de la obra con todo lo que implica, puesto que “Fue complicado enfrentarnos con las barreras que se presenta el mercado, con los proveedores y los datos procesos. Me parece que el mercado mexicano todavía esta muy verde en cuanto a la comercialización de materiales energéticamente eficientes y amigables con el medio ambiente. Es importante que la innovación

tecnológica apuesta por el desarrollo de materiales que permitan edificaciones más confortables” (Egea, 2015).

Sin embargo, la cuestión económica en nuestro país puede ser un obstáculo para crear casas pasivas, sin embargo, si los usuarios son conscientes del ahorro que implica en general a largo plazo los beneficios serán positivos.

Con el modelo de la remodelación del departamento la arquitecta María Egea comenta que “el sobrecosto de una edificación de este tipo, es de 30 por ciento por encima de un costo regular, ya sea en rehabilitación o en obra nueva”.



Figura 5 Rehabilitación de un departamento bajo estándar Passivhaus. Fuente: <https://www.archdaily.mx/mx/758491/mexico-rehabilitacion-de-un-departamento-bajo-estandar-passivhaus>.

### **7.1.3 Vivienda actual**

Aunque no existen estadísticas al respecto, se puede decir que el material predominantemente usado en la construcción de las viviendas actuales es el cemento. Comúnmente esas casas no tienen sótano dado a la dificultad de excavar

en el terreno rocoso. Sobre una cimentación de poca profundidad, generalmente hechas de mampostería consistiendo de piedras locales (calizo) y masas de cemento, se levanta las paredes con bloques huecos de concreto, apoyados en columnas de concreto reforzado terminando las paredes con un anillo de durmientes del mismo material. Sobre el durmiente se coloca vigas de concreto reforzado prefabricadas de forma “T” (inversa) entre las cuales se pone “bovedillas” (bloques huecos de 62 centímetros de ancho y una altura de aproximadamente 15cm, con forma de “media luna”). Sobre esas bovedillas se aplica una capa de concreto colado.

Esta manera de construir es la más común, casi la única, en todo el estado y para casi todas las diferentes clases de construcción de vivienda, no importa si se trata de vivienda rural, muchas veces anexos a casas vernáculas, vivienda urbana de interés social o vivienda de alto prestigio.

El uso de bloques huecos en la construcción mejora un poco el comportamiento térmico de las viviendas en comparación con edificios construidas completamente en cemento, no obstante, su alta masa térmica igual que su poca resistencia a la transmisión de calor no les hacen favorables para la construcción en una zona tropical.

## **8. NORMATIVIDAD**

La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), es un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Energía, que cuenta con autonomía técnica y operativa. Tiene por objeto promover la eficiencia energética y constituirse como órgano de carácter técnico, en materia de aprovechamiento sustentable de la energía.

La CONUEE queda constituida a partir de la entrada en vigor de la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, publicada el 28 de noviembre de 2008, en donde se establece que todos los recursos humanos y materiales de la Comisión

Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) se entenderá asignados a esta nueva Comisión.

Por otro lado, en México se tiene un sector encargado de resolver distintos desafíos dentro de la vivienda tales como: una buena ubicación en el entorno urbano, acceso a infraestructura, equipamiento y servicios adecuados, una fuerte comunidad identificada con su hábitat y un diseño bioclimático adaptado al lugar, integrando la participación de ecotecnologías que garanticen un alto confort a sus habitantes y un ahorro de los recursos naturales.

En 2012 la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI), desarrolló la primera NAMA de Vivienda (Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación) -por sus siglas en inglés- a nivel mundial; que a diferencia de antaños programas mexicanos, enfocados en la promoción y la medición del impacto de las ecotecnologías, la NAMA aborda la eficiencia energética con base en el desempeño global de la vivienda.

Las presentes normativas buscan mejorar las viviendas existentes y con nuevas construcciones mitigar las emisiones de GEI en el sector de construcción al proporcionar lineamientos para mejorar la eficiencia y el uso óptimo de la energía en todos los procesos y actividades para su explotación, producción, transformación, distribución y consumo, incluyendo la eficiencia energética.

Dentro del marco vigente, se entiende por eficiencia energética todas aquellas acciones que conlleven a una reducción económicamente viable de la cantidad de energía necesaria diaria para satisfacer las necesidades energéticas de los servicios y bienes que requiere cada habitante, aseverando un nivel de igual o superior calidad y la disminución de los impactos ambientales negativos derivados de la generación, distribución y consumo de energía. Quedando incluida, la sustitución de fuentes no renovables por fuentes renovables de energía.

Entre las facultades del marco legislativo, se encuentran:

**NOM-020-ENER-2011:** Eficiencia energética en edificaciones de uso habitacional.

**NOM-008-ENER-2011:** Eficiencia energética en edificaciones de uso no habitacional.

La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, (CONUEE) tiene como objetivo central promover la eficiencia energética y ser el órgano técnico en materia de aprovechamiento sustentable de la energía. La CONUEE expide la NOM que promuevan la eficiencia del sector energético y apoya su implementación; el uso y la aplicación de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que son obligatorias y a las Normas Mexicanas (NMX), de carácter voluntario.

Actualmente no existen en el panorama reglamentario mexicano normas para la rehabilitación de viviendas existentes. Sin embargo, el campo de aplicación de la 'NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones – Envoltente de edificios para uso habitacional' incluye las ampliaciones de edificios para uso habitacional existentes como se expone en el punto 2 de dicha Norma.

No obstante, a pesar de estas iniciativas gubernamentales, hay una baja tasa de inclusión de las Normas dentro de los reglamentos de construcción a nivel estatal y municipal a nivel nacional (CONAVI – Comisión Nacional de Vivienda en México, 2012). Y aun cuando se incluyan, la verificación y la puesta en marcha de los estándares de eficiencia energética son insuficientes. Por lo tanto, existe la necesidad de ampliar la cobertura de la eficiencia energética dentro de los reglamentos de construcción y de aumentar su vigilancia y aplicación, siendo esto uno de los objetivos de la NAMA VE.

## **II. METODOS Y DATOS**

### **9. Caso de estudio**

Con el ensayo y las pruebas aplicadas en las casetas se trata de comprobar que es posible mantener la temperatura interna de las edificaciones nuevas o ya

construidas mediante la aplicación de lineamientos pasivos en los elementos de la vivienda.

Para establecer el contexto en el cual se realizó el experimento se aplica la sistematización del clima, explicada en la primera parte de la tesis, a la situación local de Santiago de Querétaro, Querétaro.

Enseguida se explican los pasos de la preparación del caso de estudios. Los resultados obtenidos se presentan en el presente capítulo, explicando por apartado los resultados de las simulaciones digitales y de la caseta física. En este capítulo se encuentra la respuesta a la primera hipótesis, o sea que si es posible mantener la temperatura interna de las casas por medio de modificaciones y el trabajo en conjunto de los lineamientos pasivos.

Las mediciones en las maquetas muestran algunos resultados prometedores con respecto al uso de un aislante térmico en la mayoría del prototipo.

Enseguida se hace una comparación entre los resultados obtenidos en las maquetas simuladas de manera digital con los resultados de la caseta física. Esa parte da una respuesta al complemento de la hipótesis que anuncia que “Los datos obtenidos y la correcta aplicación de las estrategias ofrecen una mejor calidad de ocupación a los usuarios”.

Se mide el funcionamiento de materiales y conservación del calor interior de la caseta en una época de días críticos por calor, donde la captación solar dentro del horario fuerte nos arroja reacciones interesantes.

Las mediciones digitales se realizaron bajo dos condiciones diferentes:

A) sin ventilación (puertas y ventanas cerradas todo el tiempo), y sin aislante térmico en los envolventes de la caseta (muros y techo).

B) sin ventilación nocturna (puertas y ventanas cerradas durante las pruebas), donde el aislante térmico se retiró de las uniones evitando la creación de puentes térmicos.

Con unas semanas de anterioridad a las mediciones en la caseta, se remodeló un prototipo ya fabricado a escala 1:100 con los mismos materiales usados en las casetas virtuales en el campus de la Facultad de Ingeniería de la UAQ.

Una vez preparados los prototipos digitales para el caso de estudio se aplicaron las mismas modificaciones hechas en las casetas físicas, de tal manera que el prototipo representó exactamente las mismas pautas que las casetas. La intención de esa medida era corroborar y observar la comparabilidad de los datos obtenidos en los cálculos estudiados y aplicados en las casetas expuestas a la situación real de las casetas.

Se desarrolló el experimento e interpretó sus resultados basándose en los conceptos explicados en la primera parte de la tesis.

## **10. ANALISIS DE SITIO**

### **10.1 Geografía**

Con una superficie territorial de 11,699 kilómetros cuadrados, el estado central de Querétaro Arteaga colinda con los estados mexicanos de San Luis Potosí en el norte, Hidalgo en el este, Estado de México en el sureste, Michoacán en el suroeste y Guanajuato en el oeste.

El inclinado paisaje queretano se debe a la presencia de la Sierra Madre Oriental, llamada localmente Sierra Madre y Sierra Gorda. En ella se localiza Sótano de Barro, la gruta vertical más profunda del mundo. Los cañones de los Ríos Moctezuma y Santa María delimitan la frontera con los estados de Hidalgo y San Luis Potosí. En la Mesa del Centro, las extensas llanuras son conocidas como la zona del Bajío; además de que aquí se encuentra localizada la Sierra del Zamorano, cuyo volcán del mismo nombre constituye la cumbre más alta del estado. El Eje

Neovolcánico cruza por el sur el resto del estado, destacando el Cerro del Cimatario, volcán dormido alrededor del cual se creó el Parque Nacional El Cimatario. Las principales elevaciones son Cerro el Zamorano, con 3,360 metros de altura sobre el nivel del mar; Cerro El Espolón, 3,240 msnm; Cerro La Pingüica, 3,160 msnm; Cerro de la Vega, y Cerro La Laja, 3,120 msnm; Cerro La Calentura, 3,060 msnm; entre otros. (Universidad Autónoma de México, 2018).



Figura 6 Medio físico del Estado de Querétaro. Fuente: INEGI

En cuanto a los cuerpos de agua superficiales, encontramos a los ríos Moctezuma, Santa María, San Juan, Ayutla, El Pueblito, Jalpan, Concá, Los Amoles, entre otros. Además de 11 presas que almacenan el agua para el abastecimiento local.

La flora y fauna del estado es muy diversa gracias a la variedad de ecosistemas aquí encontrados, así, por ejemplo, en los altos de las sierras habitan los bosques de pino, encino, oyamel y roble, ardillas, tuzas, y pájaros carpinteros; en los llanos del centro, nopales, biznagas, garambullos y órganos, junto con zorrillos, tuzas y

gorriones describen el paisaje; mientras que en la Sierra Gorda encontramos, chaparrales, encinos, piñoneros y laureles, venados, pumas y mapaches (Explorando México, 2018).

## 10.2 Datos climáticos

El siguiente texto está basado en el Anuario estadístico y geográfico de Querétaro 2017.

En Santiago de Querétaro, la temporada de lluvia es nublada, la temporada seca es parcialmente nublada y es caliente durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 3°C a 35°C, y rara vez baja menos de 0°C a 10°C.

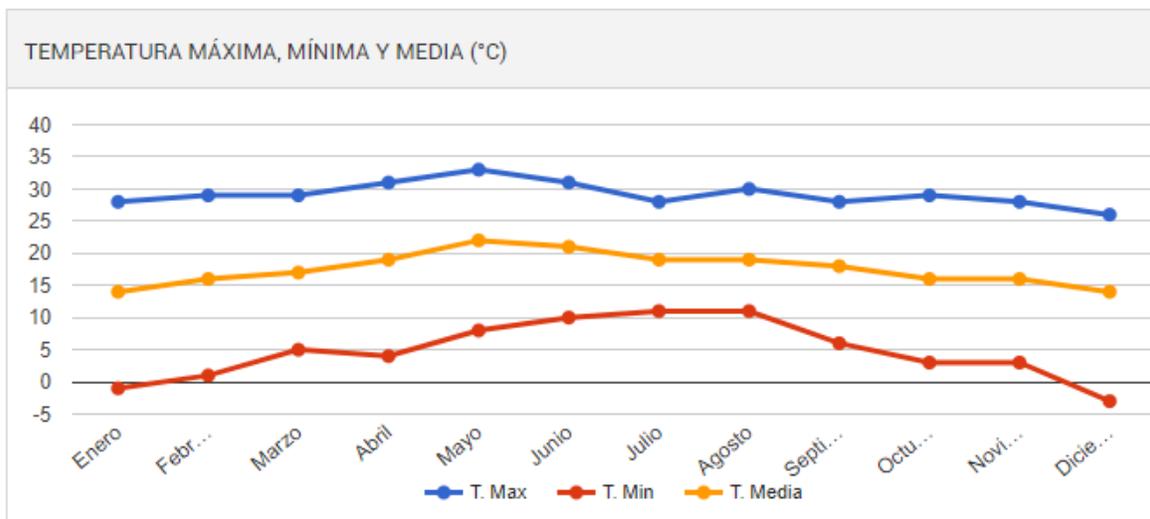


Figura 7 Temperatura máxima, mínima y media (°C) Fuente: <https://www.meteored.mx/queretaro/historico>

Se puede observar que la temperatura máxima alcanzada es en el mes de mayo alcanzando alrededor de 35°C manteniendo durante primavera - verano una media variable de 25°C a 35°C, mientras que en los meses de otoño e invierno tenemos una variable de -5°C a 10°C teniendo un considerable cambio de temperatura por mitad de año.

La temporada calurosa dura 2,3 meses, durante el mes de abril al mes de junio, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 30 °C. El día más caluroso del año es el 11 de mayo, con una temperatura máxima promedio de 35 °C y una temperatura mínima promedio de 8°C.

La temporada fresca dura entre 5 y 6 meses, del mes de octubre al mes de marzo, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 16 °C. El día más frío del año es en diciembre, con una temperatura mínima promedio de -3°C y máxima promedio de 26 °C.

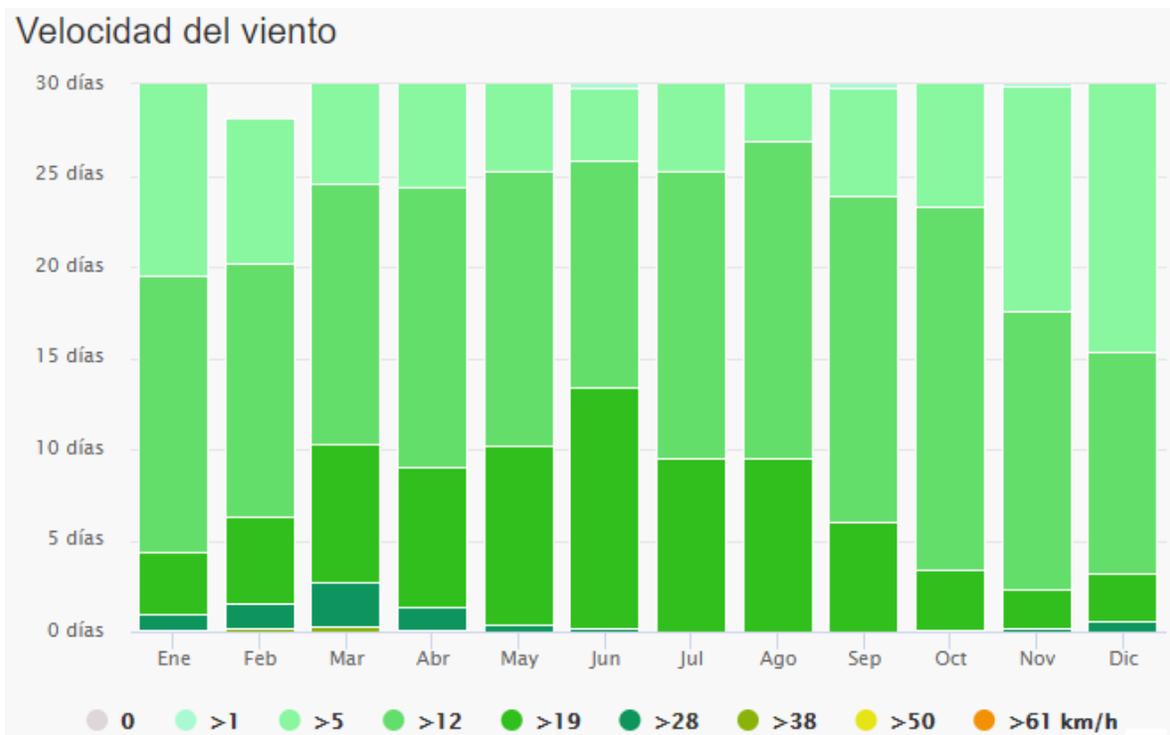


Figura 8 Velocidad máxima del viento (Km/h) Fuente: <https://www.meteored.mx/queretaro/historico>

El diagrama de la velocidad de viento del estado de Querétaro muestra los días por mes, durante los cuales el viento alcanzó cierta velocidad, se observa que el mes con los vientos más fuertes es durante el mes de marzo provenientes del noreste.



Figura 9 Rosa de los vientos, vientos dominantes Querétaro. Fuente: [https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/modelclimate/santiago-de-quer%C3%A9taro\\_m%C3%A9xico\\_3991164](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/modelclimate/santiago-de-quer%C3%A9taro_m%C3%A9xico_3991164)

### 10.3 Zona de confort térmico en Querétaro

En 2005 el Dr. Juan Raymundo Mayorga Cervantes, define a la zona de confort, como una agrupación que determina lo que el sujeto espera de las condiciones térmicas en el espacio que habita, cabe señalar que no todas las personas tienen la misma expectativa y sensibilidad de confort térmico en el momento de estar dentro del mismo espacio, esta diferencia se traduce en una exigencia diferente en cuanto a si se debe estar mas frio o mas caliente en el espacio usado por los sujetos.

Conviene resaltar que en un clima extremoso cualquier acercamiento hacia una temperatura más balanceada significa un mejoramiento de la condición hidrotérmica del hombre, aún no se logra llegar a temperaturas que se encuentren dentro de la

zona de confort. Las siguientes gráficas presentan las temperaturas normales máximas, medias y mínimas mensuales de la estación meteorológica DGE, #31044 para el periodo de 1971-2000. La zona de confort se calcula en base de las normales medias mensuales, es por eso que nos basaremos teniendo un rango de confort de los 18°C a los 26°C.

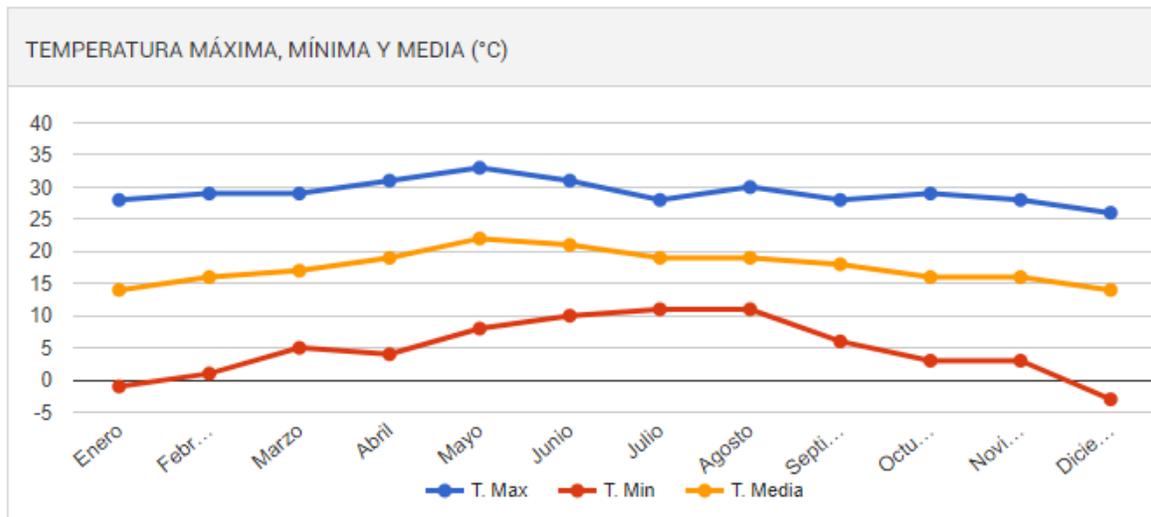
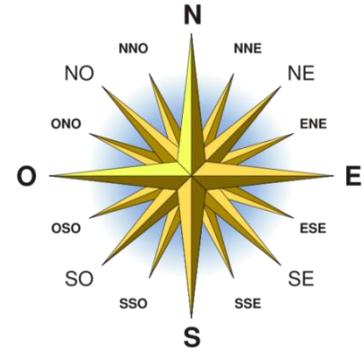


Figura 10 Rango de confort zona de Querétaro. Fuente: Elaboración propia.

## 11. PREPARACIÓN DEL CASO PRÁCTICO

Los modelos de la caseta se ubican en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro. Sus coordenadas son 20°35'26.35"N y 100°24'46.45"O, altura 1821 msnm con la orientación de la fachada principal con puerta a 290 grados (ONO), fachada lateral con ventanas a 200 grados (SSO). A 1.7 kilómetros se encuentra la estación meteorológica automática (EMAS). Hacia el suroeste de las casetas se encuentra un edificio de 8 niveles, Edificio Biotecnológico a 16m de distancia mientras que, del lado Este se encuentra una barda perimetral de lámina, la cual por la orientación da sombra parcial por las mañanas. Hacia el norte colinda con un terreno baldío y llano.



La situación de los modelos con respecto a su orientación y asoleamiento es igual o muy parecida a la situación de las orientaciones sugeridas en la zona de Querétaro. Con respecto al viento proveniente del noreste la barda perimetral adyacente da cierta protección a la caseta.



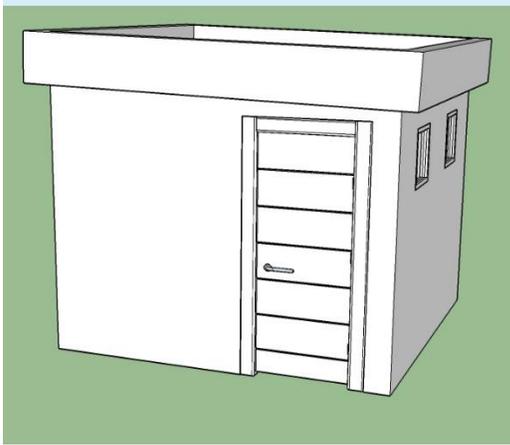
*Ilustración 1 Caseta antes de la colocación de ventanas orientadas al sur. Fotografía propia.*

### **11.1 Caseta**

Los materiales son: bloques de 18 centímetros de ancho y un techo de concreto armado. El aplanado es de mortero de arena-cal-cemento con pintura blanca para el acabado final, y el interior tiene un recubrimiento de aislante térmico de polipropileno rosa.

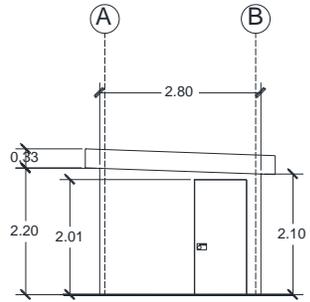


Colindante a la caseta se levantó una división de aluminio con su impacto de dar sombra y el viento. Las ventanas consisten de doble acristalamiento de 4mm, separación de 1.5cm con gas argón y marco de PVC y la puerta es de aluminio soldado de 6mm. Para soportar el alero de las casetas se colocó una losa volada de 15 cm por cada lado, con un chaflán de 30 cm con la finalidad de cubrir y mantener la tierra de un techo verde. El volado de la techumbre brinda protección

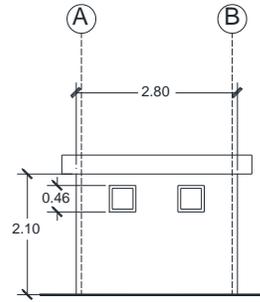


solar a la ventana y la puerta de la fachada sobresale en un 15cm la fachada sur. El piso está terminando con una capa de cemento. Los acabados consisten en una capa de marquilla, lozas interiores y pintura. La fachada está pintada con color blanco El suelo alrededor de la caseta consiste de tierra y vegetación.

### 11.1.1 Modelo constructivo

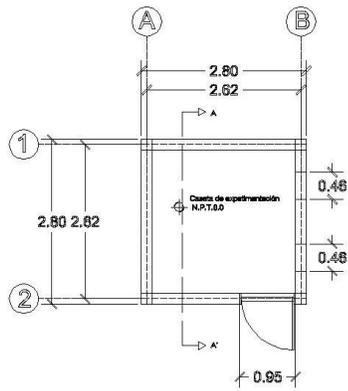


FACHADA FRONTAL  
Esc. 1:100

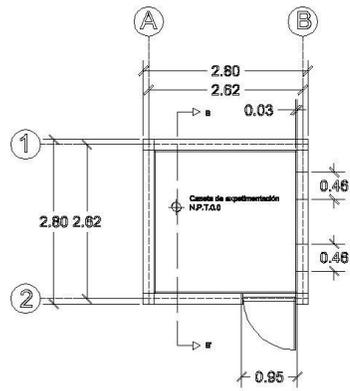


FACHADA LATERAL  
Esc. 1:100

CASETA DE EXPERIMENTACIÓN  
CAMPUS CERRO DE LAS CAMPANAS  
MAESTRÍA ARQUITECTURA  
ESTEFANI ROSALIA QUIZAMÁN VELASCO

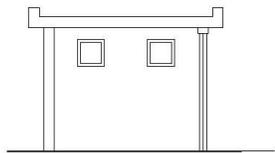


**CASETA 1**  
Esc. 1:100

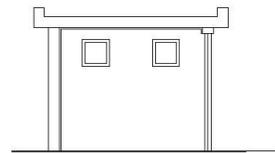


**CASETA 2**  
Esc. 1:100

CASETA DE EXPERIMENTACIÓN  
CAMPUS CERRO DE LAS CAMPANAS  
MAESTRÍA ARQUITECTURA  
ESTEFANI ROSALIA QUIZAMÁN VELASCO



**CORTE TRANSVERSAL A**  
Esc. 1:100



**CORTE TRANSVERSAL B**  
Esc. 1:100

CASETA DE EXPERIMENTACIÓN  
CAMPUS CERRO DE LAS CAMPANAS  
MAESTRÍA ARQUITECTURA  
ESTEFANI ROSALIA QUIZAMÁN VELASCO

## 11.2 Instrumentación de medición

	<p>Fluke Ti125 - Cámara termográfica infrarroja.</p> <p>Cámara termográfica infrarroja con rango de temperatura de -20 a 350 °C con tecnología IR-Fusion y función de notas de voz, la precisión en la medida es de <math>\pm 2</math> °C, la sensibilidad del equipo es de 0.10 °C; la resolución térmica es de 160 x 120 pixeles; cuenta con grabación de video. Modelo Fluke Ti125 Código: FLK-Ti125 9HZ.</p>
	<p>Laser Tipo Pistola, Termómetro Digital Infrarrojo 50-330°C. Con Puntero. #AMF008A</p> <p>Pistola medidora de temperatura a distancia laser con puntero 50-330°C Descripción con esta increíble pistola puede medir la temperatura de muchas cosas. tan solo debes de apuntar a tu objetivo y esta te dirá con la temperatura que cuenta.</p>
	<p>Herramienta <i>PHPP</i></p> <p>Herramienta informática con formato de hoja de cálculo dirigida a arquitectos y diseñadores para proyectos de casas pasivas. Actualmente la hoja de cálculo es usada para:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- calcular los valores de U de los componentes con alto aislamiento térmico.</li></ul>

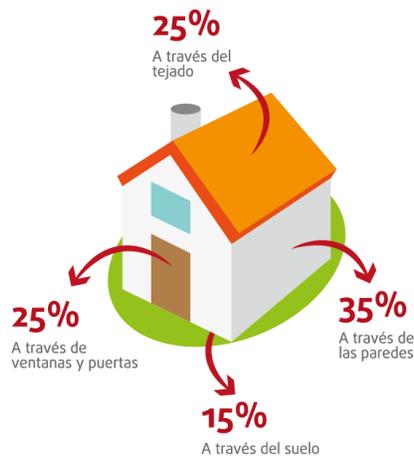
	<ul style="list-style-type: none"><li>- calcular balances de energía</li><li>- determinar tasas de ventilación de confort;</li><li>- calcular cargas térmicas.</li></ul>
--	--

## 12. METODOLOGÍA LINEAMIENTOS PASSIVHAUS

El objetivo principal es minimizar las pérdidas caloríficas a través de los cerramientos. Se consigue por medio de los siguientes aspectos.

### 12.1 Aislamiento térmico del edificio

La pérdida de calor a través de los muros exteriores, los techos y suelos de las edificaciones existentes son responsables mayormente de la pérdida total de calor, obtenida durante el día. Por lo tanto, mejorar el aislamiento térmico es lo más importante para ahorrar energía.



Indiscutiblemente un aislamiento de gran calidad sobre la envolvente de las edificaciones protege además del frío y del calor externo, el ruido, adicionalmente ayuda directamente a la reducción de las pérdidas de calor internas. Los usuarios

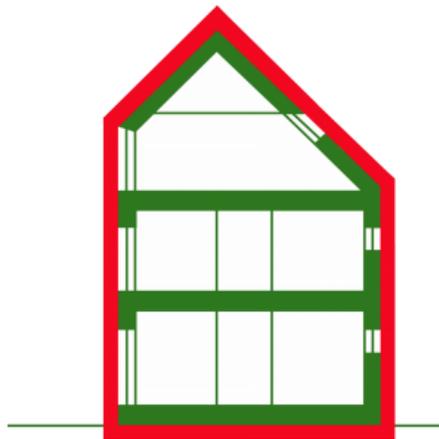
gozan del máximo confort posible, reflejado en sus actividades día a día y que impacta en su salud física.

El coeficiente de transmisión térmica de las paredes exteriores, pisos y techos se encuentran en el intervalo de 0,1 a 0,15 W / (m<sup>2</sup> K), para el clima en Europa Central (ISOVER, 2009).

De manera semejante el programa "Passive-On" tiene como objetivo examinar diferentes climas del mundo para lograr una expansión en la creación de casas pasivas, es por esto que se estudió el clima mediterráneo ofreciendo los mejores grosores de aislamiento térmico. Se simuló el comportamiento térmico para una vivienda entre medianeras con construcción convencional de obra cerámica, con ventilación mecánica y recuperación de calor.

El principio más importante, como se comentaba anteriormente, para el ahorro de energía de la construcción es crear una capa de aislamiento continuo, sin interrupciones, que “empaqueta” todo el edificio. De igual forma, dado que la mayoría del aislamiento térmico no es hermético, se debe incluir también una cubierta hermética para la prevención de puentes térmicos.

La siguiente ilustración señala las conexiones cruciales para la obtención de puentes térmicos, la cubierta hermética en línea roja y el entramado del aislante térmico.



En función del clima se puede optimizar el grosor del aislamiento térmico hasta encontrar el punto de inflexión, donde el aumento de grosor es muy poco relevante para la mejora de la eficiencia energética.

El valor de U ( U-Value) es el inverso de la suma de las resistencias. Se definirá el método de cálculo y los datos necesarios para determinar las ganancias o pérdidas de calor sensible y latente a través de las paredes externas o tabiques interiores de un edificio. La cantidad de calor transmitida en la unidad de tiempo depende de la resistencia que ofrezca el cuerpo entre los dos puntos considerados. La resistencia térmica se define con la inversa de la conductividad y se simboliza por la letra R.

$$R = \frac{\epsilon}{\lambda}$$

El coeficiente de transmisión del calor K, de muros, techos, soleras, paredes, puertas y ventanas, expresa el número de Kcal una estructura dada, con caras planas y paralela, transmite en condiciones de régimen permanente, cada hora, por metro cuadrado de superficie y por °C de diferencia de temperatura entre los ambientes por la citada estructura.

Físicamente se distinguen tres métodos de transmisión de calor: conducción, convección y radiación.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{e_n}{\lambda_n} + \frac{1}{h_i}}$$

Definiremos los siguientes valores como:

$h_e$ = coeficiente de convección – radiación sobre el cerramiento exterior.

$\lambda_1 / \lambda_n$  = coeficientes de conductividad respectivos de los diferentes materiales que constituyen el cerramiento [kcal/h.m °C].

$e_1 \dots e_n$  = espesores de dichos materiales [m].

$h_i$  = coeficiente de convección – radiación de la cara interior del cerramiento.

De tal manera que, insolación y la diferencia de temperatura exterior e interior, son esencialmente variables en el transcurso del día, por lo que la intensidad del flujo a través de la estructura exterior es inestable. Por lo tanto, recurriremos al contraste entre la temperatura de aire interior y exterior que resulta del flujo calorífico total a través de la estructura, originado por la radiación solar variable y ambiente exterior. Esta diferencia equivalente de temperatura a través de la estructura, debe tener en cuenta los diferentes tipos de construcción, orientaciones, situación del edificio (latitud) y las condiciones a las que está expuesto cada proyecto.

Para calcular el flujo de calor en muros y techo aplicamos la siguiente fórmula:

$$Q_{SCME} = K_M \cdot S_M \cdot \Delta t_e$$

$$Q_{SCTE} = K_T \cdot S_T \cdot \Delta t_e$$

Donde:

$Q$  = Al flujo de calor Kcal/h, transmitido por el muro y el techo exterior.

$K$  = coeficiente de transmisión en Kcal/h.m<sup>2</sup>, (M= muro, T= techo)

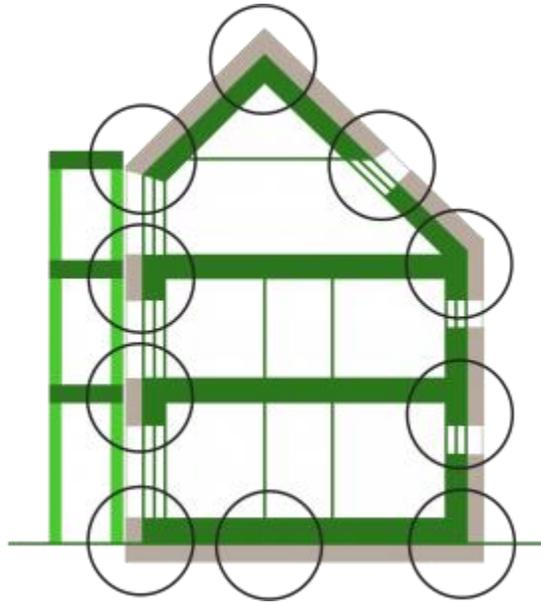
$S$  = superficie considerada en metros cuadrados (M= muro, T= techo)

$\Delta t_e$  = diferencia equivalente de temperatura en °C.

Entre los productos aislantes que existen en el mercado, se debe destacar los productos derivados de la madera, por tratarse de elementos 100% naturales que en su composición son los más idóneos, ya que se respeta y se considera el ciclo de vida de cada uno de los materiales.

## 12.2 Puentes térmicos

Los puentes térmicos son lugares del cerramiento exterior de geometría lineal (esquinas) o bien puntual (juntas constructivas), donde el flujo de energía es más grande comparado con el cerramiento. Éstos, perjudican la eficacia energética del elemento constructivo. Mediante la correcta aplicación del aislamiento en el estándar Passivhaus, la transmitancia térmica lineal es inferior a  $0,01\text{W/mK}$ .



No hay duda de que se debe evitar el efecto de puente térmico en la medida de lo posible. En este sentido, las Viviendas Pasivas también se benefician de la alta eficacia térmica de la envolvente de un edificio con un aislamiento perfecto. Debido a las dimensiones exteriores del inmueble, los coeficientes de transferencia térmica lineal pueden ser negativos. El resultado final en una Casa Pasiva ha de ser que las pequeñas pérdidas en encuentros estén compensadas por la eficiencia térmica global de la envolvente.

Para lograr un buen aislamiento térmico efectivo es necesario prestar atención a reducir los efectos de los puentes térmicos; siguiendo unas pocas reglas simples es posible eliminar los efectos de los puentes térmicos:

- No interrumpir la capa de aislamiento.

- En las juntas de los elementos constructivos del edificio, la capa de aislamiento debe unirlos y rellenarlos.
- Si interrumpir la capa de aislamiento térmico es inevitable, usar un material con la resistencia térmica más alta posible.
- Los puentes térmicos reducen las temperaturas superficiales de la cara interior de la pared en invierno, esto incrementa el riesgo de formación de moho.

Los puentes térmicos también pueden minimizarse instalando las ventanas en la capa del aislamiento y cubriendo parte del marco con aislamiento térmico. Sin embargo, debido al cambio de grosor de la capa de aislamiento, es normal que quede un puente térmico en la junta entre la ventana y la pared.

Las pérdidas de calor a través de ventanas, claraboyas, y puentes térmicos exteriores, también se puede calcular por la siguiente formula:

$$^{\circ}Q_s = K.S.(TE - TL)$$

Interpretando los símbolos de la siguiente manera:

$^{\circ}Q_s$  = flujo de calor en Kcal/h, transmitido a través de ventas (o tragaluces) y puertas.

K= coeficiente de transmisión en Kcal/h.m<sup>2</sup>.°C.

S= superficie considerada en m<sup>2</sup>

TE= temperatura exterior de proyecto.

TL= Temperatura interior del local.

Reducir o evitar los puentes térmicos es en general una cuestión de coste-eficiencia para reducir las pérdidas por transmisión o la transmisión de cargas de calor. Mediante la aplicación adecuada de aislamiento en el Passivhaus, la transmitancia térmica lineal es reducida a valores por debajo de 0.01W/mK.

### 12.3 Infiltraciones

La envolvente tiene que ser lo más uniforme posible, sellando todas las uniones de materiales del edificio, para garantizar que no se produzcan fugas o infiltraciones no deseadas de calor/ frío.

El caudal de aire de infiltración varía según la estanqueidad de las puertas y ventanas, la porosidad de diferentes elementos como: paredes del edificio, su altura, escaleras, ascensores, dirección del viento, y caudales relativos de aire de ventilación y de extracción.

Flujos de aire del interior al exterior a través de grietas o huecos tienen un alto riesgo de provocar condensaciones en la construcción. Las infiltraciones de aire frío producen también a los usuarios sensación de baja confortabilidad.

Estas infiltraciones de aire frío también incrementan la diferencia de temperatura entre distintos pisos. Debido a que la mayoría de climas un edificio Passivhaus requiere un soporte mecánico para el suministro continuo de aire del exterior, se requiere una excelente estanqueidad de la envolvente del edificio. Si la envolvente no es suficiente impermeable, el flujo de aire no seguirá los recorridos planteados y la recuperación de calor no trabajará correctamente resultando un consumo energético mayor.

En climas muy suaves, es posible construir un edificio Passivhaus sin sistemas de recuperación de calor. En este caso, si no hay un sistema de ventilación, la estanqueidad ya no es tan importante.

Por el contrario, edificios muy estancos sin sistemas de ventilación corren el riesgo de tener una mala calidad del aire y exceso de humedad. Una buena estanqueidad se consigue mediante un diseño apropiado. Es importante que una sola capa hermética del aire cubra todo el edificio.

En las regiones donde los inviernos son fríos, la capa de estanquidad (que sirve también de barrera de vapor) se instala en el lado caliente de la capa de aislamiento.

Los puntos de fugas en la envolvente del edificio, como las juntas, tienen consecuencias claramente indeseables:

- Mayores pérdidas de calor.
- Intercambio de aire sin control.
- Insonorización deficiente.
- Riesgo de daños estructurales provocados por la condensación, el moho o la corrosión.

Algunas de las fugas típicas encontrados en las edificaciones son:

- Interconexión de los muros externos, por ejemplo, topes del elemento y juntas de esquinas.
- Punto de conexión entre el muro externo y la losa de plantas.
- Punto de conexión entre el muro externo y el muro del techo.
- Los cables y las tuberías que atraviesan la continuidad de los elementos.
- Ventanas y puertas que interrumpen la continuidad de elementos.
- Puertas y ventanas de la vivienda mal ajustadas o niveladas.
- Aperturas de servicio elaboradas para colgar o colgar elementos sobre los muros (perforaciones)
- Daños en la barrera de estanquidad durante la fase de construcción.

Lo puntos a considerar más importantes dentro de la realización de una vivienda pasiva es instalar de manera metódica el envolvente del edificio. Por esta razón, se deben instalar los materiales seleccionados en las mejores condiciones ambientales, tales como:

- Las juntas se deben sellar únicamente cuando el clima este seco y sin humedad.
- Los flancos del sustrato y de las juntas deben estar secos y limpios.
- Todas las intersecciones entre cintas adhesivas y materiales porosos deben someterse a una imprimación previa.
- Las cintas de sellado de juntas deben evitar la entrada de humedad.
- Las juntas de expansión más grandes se pueden sellar con cintas de juntas de lana mineral.

Una vez determinado el valor del caudal total de infiltraciones,  $V$ , es posible aplicar la siguiente fórmula:

$$^{\circ}QSAINF \approx V^{\circ} \cdot (TE - TL) \cdot 0,29$$

$$^{\circ}QLAINF \approx V^{\circ} \cdot (WE - WL) \cdot 0,72$$

Dónde:

$^{\circ}QSAINF$  = calor sensible debido a infiltraciones en Kcal/h.

$^{\circ}QLAINF$  = calor latente debido a infiltraciones en Kcal/h.

$TE$  = temperatura exterior del proyecto en  $^{\circ}C$ .

$TL$  = Temperatura del interior de la edificación en  $^{\circ}C$ .

$WE$  = humedad absoluta en g/Kg del aire exterior del local.

$WL$  = humedad absoluta en g/Kg del aire interior del local.

$V$  = caudal de infiltraciones en  $m^3/h$ .

#### **12.4 Ventanas y puertas**

Necesitamos el suministro de aire para vivir, pero actualmente consumimos más aire dentro que fuera de los edificios. Normalmente, la calidad del aire en interiores es peor que la del exterior. Sobre todo, contiene demasiada humedad y contiene contaminantes, olores, etc., que afectan a su calidad.

La solución es un intercambio continuo de aire que cumpla los requisitos de higiene del aire en el interior de los edificios. Desgraciadamente, no es posible dosificar la tasa de intercambio de aire con exactitud mediante la ventilación natural a través de las ventanas.

Puede haber grandes variaciones, según la temperatura exterior, la dirección del viento y los hábitos de aireación de cada individuo.

La ventilación natural cruzada es una de las estrategias más eficaces para controlar el confort climático en verano para los climas donde la diferencia entre las temperaturas nocturnas y diurnas en verano es relativamente alta. La ventana es el punto crítico en el balance energético y minimiza las pérdidas.

Las ventanas pasivas reducen la pérdida de calor en comparación con las ventanas convencionales en más del 50%. Las características más importantes son:

- Paneles de vidrio aislantes o una combinación comparable de buena capa.
- Borde con sellos aislantes.
- Marcos de ventanas con aislamiento especial.



La instalación de acristalamientos dotados de un factor solar adecuado permite modular tanto las ganancias en invierno como los aportes de verano en función de orientación, dimensiones, retranqueos, etc. Un correcto balance térmico

diferenciando el régimen de invierno y de verano permite alcanzar la solución óptima favoreciendo que la temperatura interna sufra pocas variaciones.

Las soluciones de acristalamiento para la vivienda disponibles, hoy en día en el mercado permiten combinar valores de U muy reducidos con diferentes factores solares sin tener que renunciar a los aportes de luz natural o a la visión del entorno exterior.

En las viviendas pasivas, bajo condiciones de óptima instalación, las ventanas pueden contribuir sustancialmente al confort del edificio siempre y cuando se tengan en consideración los siguientes puntos:

- La orientación, el tamaño, el acristalamiento en sus prestaciones de transmitancia térmica y factor solar y el retranqueo de las ventanas tienen que ser óptimos para tener ganancias solares en invierno, mientras eviten el sobrecalentamiento en verano.
- Las ventanas deben colocarse evitando los puentes térmicos con el exterior aislando los premarcos del contacto con el muro.
- Proveer un sello hermético en la junta perimetral entre el bastidor de la ventana y la pared exterior.m2

Para la determinación del calor debido a la radiación a través de ventanas, claraboyas o lucernarios es preciso:

- Conocer la orientación de la ventana.
- Elegir una hora de cálculo, generalmente entre las 12 y 16 horas.
- Elegir un día determinado, que generalmente sea de los días mas expuestos al sol durante el año.
- Conocer la altitud de la ventana.

El calor debido a la radiación es sensible y valdrá por la siguiente ecuación:

$$Q_{SR} = S \cdot R \cdot f$$

En la cual daremos referencia a:

S = superficie de la ventana.

R = valor de radiación solar unitaria, en Kcal/hm<sup>2</sup>

f = Factores de corrección (aportación solar, factores de reducción solar a través del vidrio).

### **12.5 Recuperación de calor**

La ventilación mecánica con recuperado de calor, es el “sistema respiratorio del edificio” y supone un concepto fundamental para edificios de bajo consumo energético. La renovación del aire se produce por el funcionamiento de equipos electromecánicos dispuestos al efecto. Puede ser con o sin admisión mecánica.

El aire debe circular desde los locales secos a los húmedos, para ello los comedores, los dormitorios y las salas de estar deben disponer de aberturas de admisión; los aseos, las cocinas y los cuartos de baño deben disponer de aberturas de extracción; las particiones situadas entre los locales con admisión y los locales con extracción deben disponer de aberturas de paso (las aberturas de paso más discretas son las que se ubican en los dinteles de las puertas).

Cuando algún local con extracción este compartimentado, deben disponerse aberturas de paso entre los mismos; Entre los mismos, la abertura de extracción debe disponerse es el compartimento más contaminado que, en el caso de aseos y cuartos de baños, es aquel en el que está situado el inodoro, y en el caso de cocinas es aquel en el que está situada la zona de cocina; la abertura de paso que conecta con el resto de la vivienda debe estar situada en el local menos contaminado.

Su ventaja reside en la posibilidad de recuperar gran parte de la energía que sale hacia fuera, cuando renovamos el aire utilizado, de malas características higiénicas, con aire fresco de buenas características higiénicas.

Los sistemas de ventilación forzada, por el contrario, aseguran una tasa de intercambio de aire constante, recuperan el calor o el frescor del aire viciado y se pueden ocupar de distribuirlo.

Funciona de la siguiente forma: La unidad central incluye un intercambiador térmico, ventiladores, filtros, acondicionador de aire, precalentador de aire y humidificador o extractor de humedad del aire. El aire enrarecido de la cocina, el baño y el aseo se extrae mediante el sistema de aire viciado. Antes de dirigirlo hacia el exterior, el intercambiador de calor acondiciona el aire fresco entrante hasta aproximarlo a la temperatura de la sala. Actualmente, se pueden lograr unas tasas de recuperación de calor de hasta el 90 %.



Con la ventilación mecánica también es posible tener un control de las emisiones de CO<sub>2</sub>, la siguiente ilustración muestra el esquema y distintos dispositivos que se pueden utilizar para obtener un control adecuado de las emisiones



Las características del sistema de ventilación son las siguientes:

- Rendimiento: se requiere una tasa máxima de intercambio de aire de 0,4 por hora por motivos de higiene, y a esa tasa el sistema, puede aportar un máx. de 1,5 kW de energía a un edificio residencial de 140 m<sup>2</sup> a través del aire fresco (cuando mantiene la temperatura máx. del aire de suministro de 51 °C).
- Cables cortos.
- Dimensiones de los conductos: más de 20 x 20 cm (conductos principales), más de 15 x 15 cm para los conductos de las ramificaciones.
- Un aislamiento acústico de la unidad central.
- Un mantenimiento sencillo (cambio de filtros y limpieza de la unidad).
- El sistema se puede adaptar fácilmente a las necesidades de cada usuario; así, se puede desconectar el ventilador del aire entrante al abrir las ventanas durante el verano.

Otro sistema de ventilación mecánica utilizado en las viviendas pasivas es el Intercambiador tierra / aire. Los intercambiadores subsuelo – aire utilizan la tierra para enfriamiento y calentamiento de una corriente de aire que circula a través de

tubos o conductos enterrados, contribuyendo a reducir la temperatura del aire que ingresa en los edificios durante el verano y aumentándola durante el invierno. Su uso en acondicionamiento térmico se ha extendido en los últimos años (estrategias pasivas bioclimáticas) y en muchos casos permite un ahorro de más del 45% de los requerimientos energéticos.



### 13. RESULTADOS

Las mediciones se llevaron a cabo durante el mes de Julio-agosto de 2018 en Querétaro, Qro. La temperatura máxima alcanzada durante ese tiempo fue de  $31^{\circ}\text{C}$  (agosto) lo que es casi un 5K por arriba de la temperatura promedio del mes más caluroso (mayo,  $36^{\circ}\text{C}$ ) en Querétaro según las Normales de la Estación Meteorológica. La Humedad Relativa alcanzó un 63.5%, lo cual está por arriba del promedio máximo anual del 81% y también está por encima del máximo mensual, que alcanza un 81% en el mes de agosto (2017) (Weather, 2018).

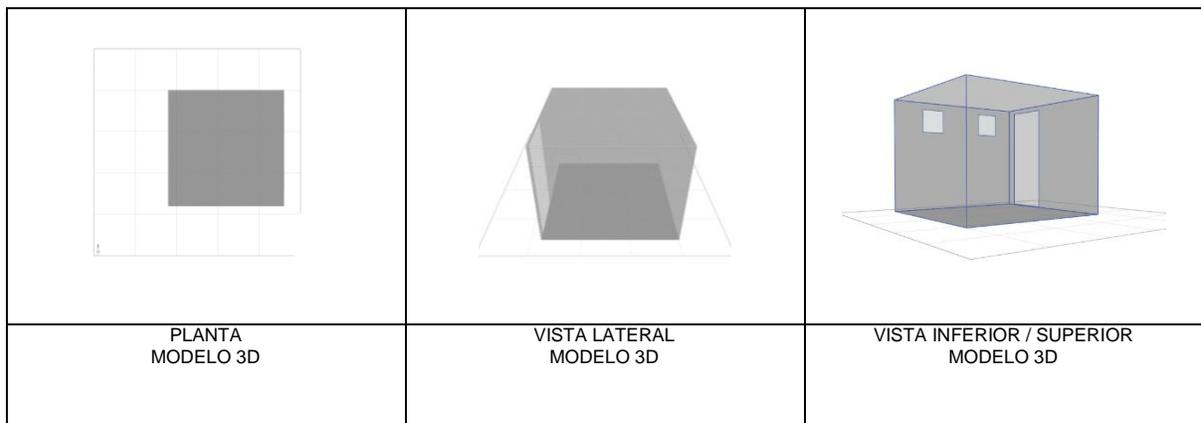
#### 13.4 Resultados de Acústica

La ecuación de Sabine relaciona el tiempo de reverberación de una sala con su volumen y el área efectiva de absorción. Esto la convierte en una herramienta muy útil para hacer predicciones acústicas.

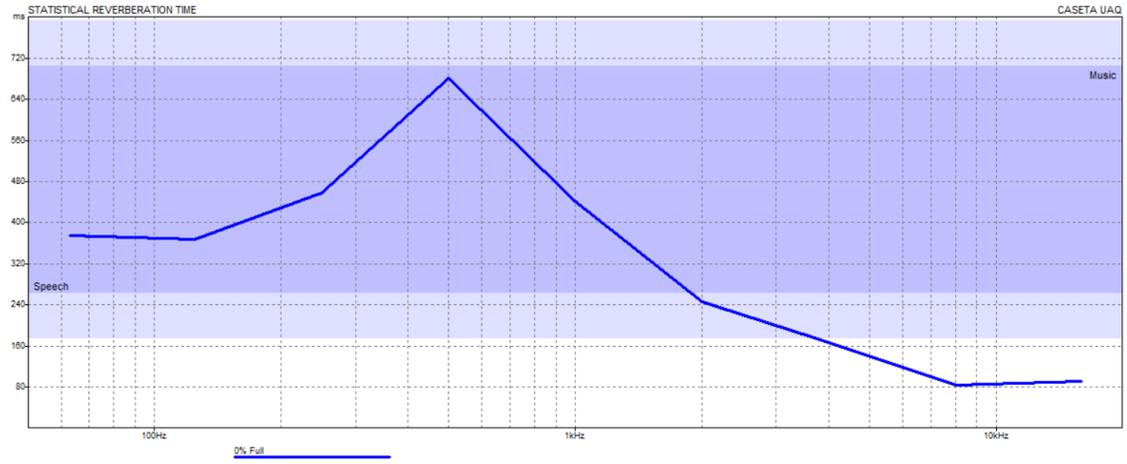
La ecuación plantea que el tiempo de reverberación se relaciona directamente con el volumen e inversamente con la absorción. Para que sea válida las medidas deben estar en el sistema MKS (metro, kilogramo y segundos).

Es por esto que el Sabin -nombrado en honor a Wallace Sabine- es una unidad de medida acústica; donde un Sabin imperial equivale a un pie cuadrado de material 100% absorbente, y un Sabin métrico equivale a un metro cuadrado de material 100% absorbente. Dicho lo anterior, es importante recalcar que hoy en día, los diferentes softwares para computadoras incorporan la fórmula de Sabine para ayudar a especialistas a modelar, diseñar y planificar sus espacios.

En efecto de lo anterior, con base en los datos obtenidos por software Ecotect® se muestra la simulación del prototipo. Observando el comportamiento del sonido dentro de ella, el volumen total de la habitación es de 17.29 m<sup>3</sup> y la superficie total del espacio afectado por el sonido es de 40.32 m<sup>2</sup>.



Teniendo en cuenta que la frecuencia de 500hz es la que tiene resultados perceptibles con el humano encontramos que no existe un cambio significativo al estar ocupado o no el espacio.



STATISTICAL ACOUSTICS - CASETA UAQ						
Model: CASETA UAQ - INT		FREQ.	TOTAL ABSPT.	EMPTY RT(60)	50% RT(60)	FULL RT(60)
Volume: 17.290 m3		63Hz:	7.190	0.38	0.38	0.37
Surface Area: 40.320 m2		125Hz:	7.203	0.37	0.37	0.37
Occupancy: 0 (1 x 0%)		250Hz:	5.364	0.46	0.46	0.45
Optimum RT (500Hz - Speech): 0.26 s		500Hz:	2.953	0.69	0.68	0.67
Optimum RT (500Hz - Music): 0.70 s		1kHz:	2.322	0.44	0.44	0.44
Volume per Seat: 17.290 m3		2kHz:	2.404	0.24	0.25	0.25
Minimum (Speech): 3.553 m3		4kHz:	3.447	0.17	0.17	0.17
Minimum (Music): 7.156 m3		8kHz:	3.715	0.08	0.08	0.08
		16kHz:	4.354	0.09	0.09	0.09

Por otro lado, obtuvimos un resultado de 0.68 segundos en tiempo de reverberación (permanencia de sonido) lo cual entra en el rango óptimo para la reproducción de música al interior, pero un poco elevado para usar la caseta para una charla entre dos individuos. Sin embargo, la charla se puede llevar a cabo sin mayor renuencia a que se vea afectada por la distorsión del sonido. Ecotect ® nos muestra que el espacio es aceptable para la emisión de sonidos.

Interior					Volumen	17.29	m3	CASETA UAQ		
Caseta UAQ					Factor	0.161	Área Total	39.43	m2	
Sumatoria					Suma	Altura	Área	Coeficiente abs		
Muros	2.8	2.8	2.8	2	10.4	2.2	21.44	0.21	4.5024	
Cristal	0.46				0.92	0.46	0.4232	0.18	0.076176	
Puerta Metálica	0.9				0.9	2.1	1.89	0.07	0.1323	
Yeso 1/2"	2.8	2.8					7.84	0.04	0.3136	
Piso	2.8	2.8					7.84	0.02	0.1568	
Madera Ordinaria							0	0.13	0	
Factor * Volumen		2.7837			Areas * Coeficientes			5.181276		
Tiempo de reverberación		0.5373			Segundos					
Se suman 2 metros para restar areas de puerta y ventanas										
El area total contempla la suma total del volumen, toda aquella superficie que se vea afectada por el sonido (puertas, ventanas, muros, techos y pisos)										

El cálculo manual de la fórmula en Sabines da una diferencia de 0.15 segundos respecto a la obtenida por Ecotect, esto se debe a los coeficientes que vienen precargados en el software, sin embargo, el comportamiento del sonido en la caseta observada en Ecotect, muestra un resultado similar al obtenido de manera manual.

El tiempo de reverberación es óptimo en gran medida debido al poliuretano instalado en primera instancia para la obtención de mejores resultados en el aspecto térmico, sin embargo, se demuestra como son el doble acristalamiento y los muros revestidos de poliuretano, benéficos para el aspecto acústico de la habitación, cumpliendo así con los objetivos planteados en la investigación.

### 13.1 Resultados prototipos construidos

Los resultados obtenidos de la caseta presentan la base real sobre la que se tiene expuesto el experimento. No obstante, debido a que la caseta no tiene ocupación la carga térmica interior es muy probable que, si se llegara a ocupar la caseta las temperaturas internas reales, estando habitadas, alcancen un nivel aún mayor a las máximas alcanzadas durante el experimento en la casa sin modificaciones.

Fahrenheit	centígrados
80.000°F	26.667°C
81.000°F	27.222°C
82.000°F	27.778°C
83.000°F	28.333°C
84.000°F	28.889°C
85.000°F	29.444°C
86.000°F	30.000°C
87.000°F	30.556°C
88.000°F	31.111°C
89.000°F	31.667°C
90.000°F	32.222°C
91.000°F	32.778°C
92.000°F	33.333°C
93.000°F	33.889°C
94.000°F	34.444°C
95.000°F	35.000°C
96.000°F	35.556°C
97.000°F	36.111°C
98.000°F	36.667°C
99.000°F	37.222°C

Ilustración 2 Tabla de comparativa °F a °C en los rangos de grados del proyecto

Con la cámara termográfica Luke se observa la filtración de calor durante el día, la siguiente imagen muestra la cantidad de calor que en la esquina orientada al norte tiene una carga de 86°F que es igual a 30°C a las 12:00pm del mes de agosto.

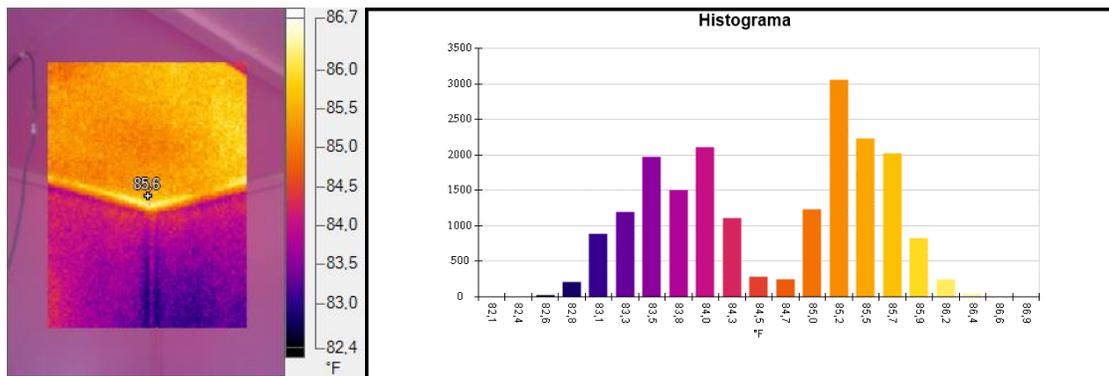


Ilustración 3 Esquina techo orientada al norte tomada a las 12:00pm

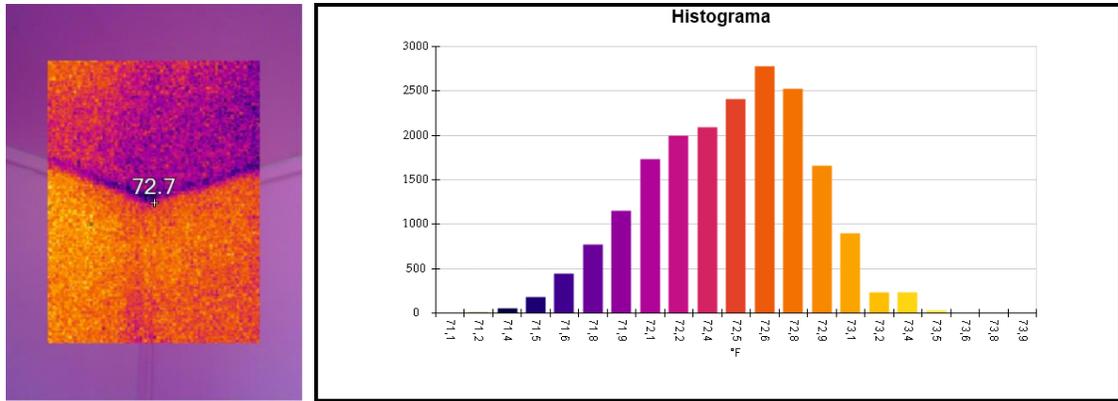


Ilustración 4 Esquina techo orientada al norte tomada a las 6:00pm

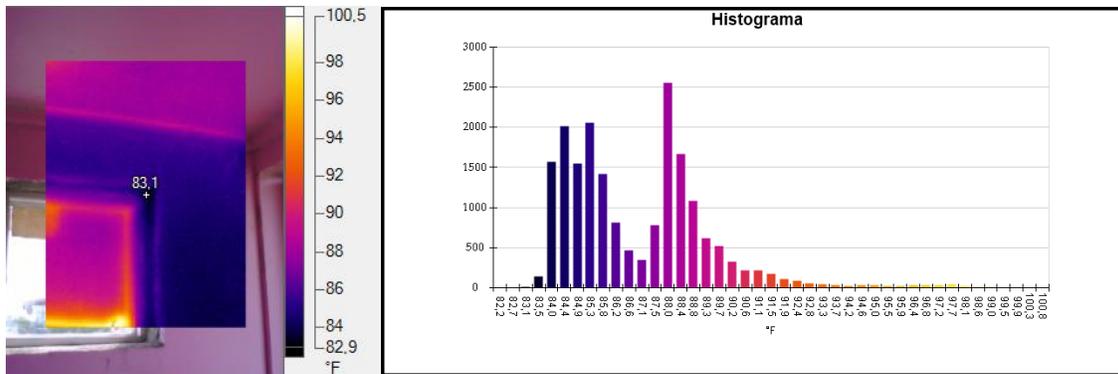


Ilustración 5 Foto térmica de la esquina ventana 2 en el muro ubicado al sur.

La anterior ilustración muestra como la ventana 1, ubicada al sureste del prototipo ayuda a que haya fuga de calor interna a través del puente térmico formado entre el mortero y PVC, esta ventana no cuenta con aislante.

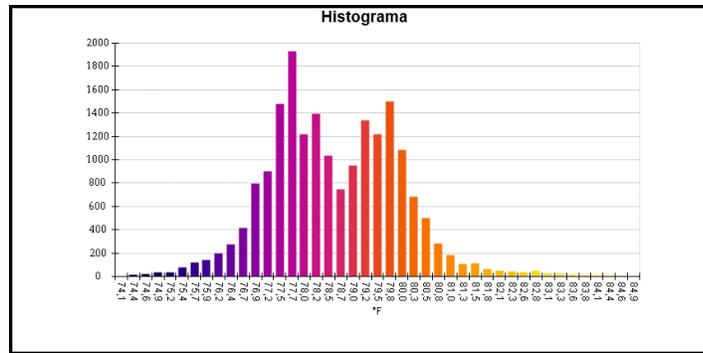
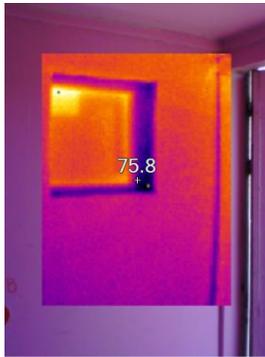


Ilustración 6 Foto térmica de la esquina ventana 2 en el muro ubicado al sur

No obstante la siguiente ilustración tomada bajo las mismas condiciones donde el sol esta en apogeo del lado norte, sin embargo tenemos perdidas de calor ya que el piso de esa zona no tiene protección en la esquina extra de aislante, y además

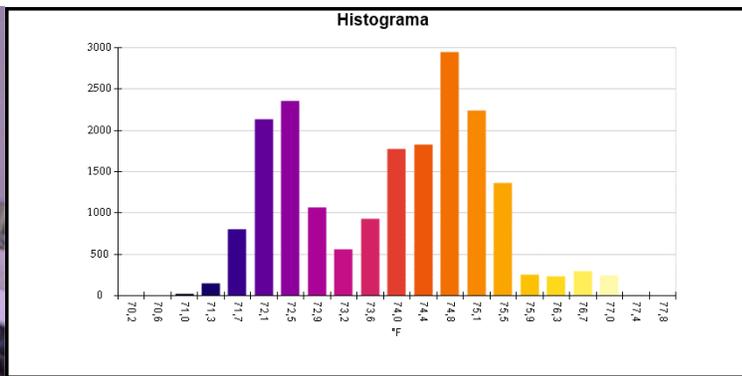
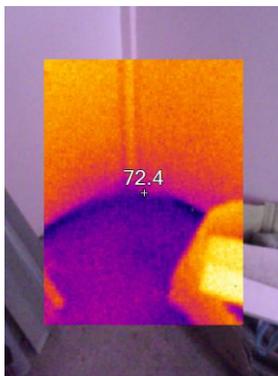


Ilustración 7 Foto térmica de la esquina de piso a muro ubicado al sur.

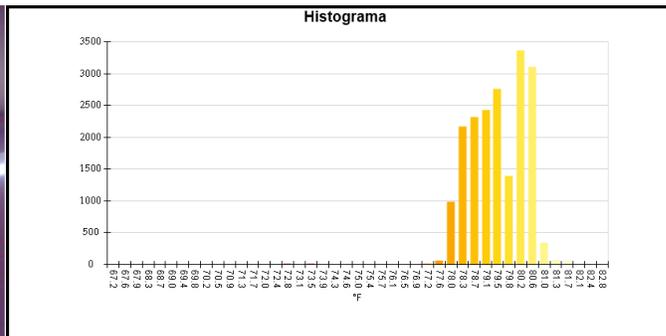
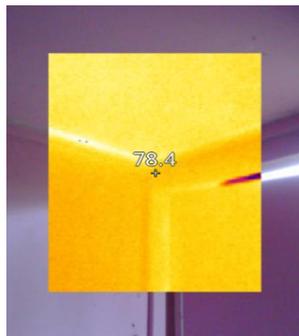


Ilustración 8 Foto térmica de la esquina de techo esquina este, 12:45pm.

Horario del sol en pleno apogeo la recibe el lado norte que está muy protegido en techo y paredes con un aislante doble en las equinas, tiene una gran carga solar con gran transmisión térmica.

Las ediciones en la caseta muestran claramente el impacto que tienen las diferentes superficies de los muros sobre su comportamiento térmico respecto al aislante térmico.

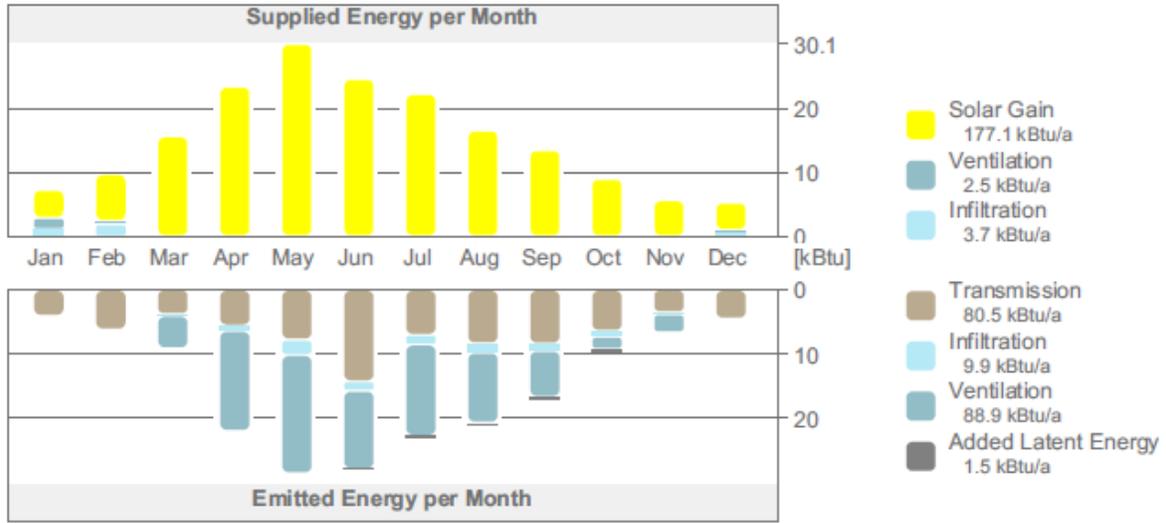
La aplicación de un aislante térmico en muros protegiendo traslapes con otra cobertura de aislante de la caseta resultó tener un impacto negativo sobre el comportamiento térmico interior de dicha caseta. Su temperatura se mantuvo poco por encima a la temperatura exterior de la maqueta con todas las superficies protegidas.

## **13.2 Resultados de prototipos digitales**

### **13.2.1 Pruebas térmicas simuladas en ArchiCAD.**

En la prueba 1, la caseta presenta la base real sobre la cual se desarrolla el experimento. No obstante, debido a que no estaban habitadas durante la fase de las mediciones, la carga térmica interior durante esta temporada es diferente a la carga térmica en estado de habitación. Es muy probable que las temperaturas internas reales de la casa, estando habitadas, alcancen un mayor rango térmico puesto que la ocupancia permitirá que haya necesidad del uso de electrodomésticos y luz artificial.

### 13.2.1.1 Prueba 1 – Aislante interior 3 cm



**Heat Transfer Coefficients** U value [W/m²K]

Building Shell Average:	1.19
Floors:	0.66 - 50.00
External:	1.04 - 1.07
Underground:	-
Openings:	2.11 - 3.25

**Specific Annual Values**

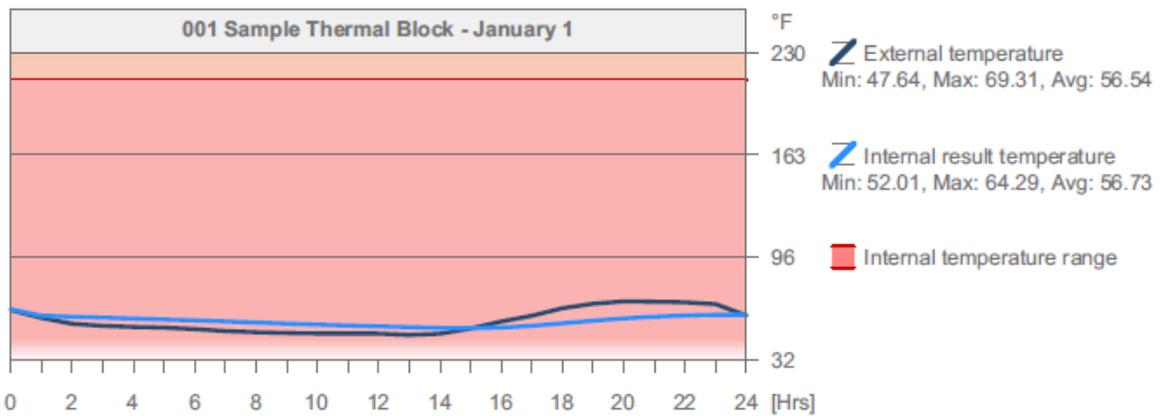
Net Heating Energy:	0.00	kBtu/sq fta
Net Cooling Energy:	0.00	kBtu/sq fta
Total Net Energy:	0.00	kBtu/sq fta
Energy Consumption:	0.64	kBtu/sq fta
Fuel Consumption:	0.64	kBtu/sq fta
Primary Energy:	1.92	kBtu/sq fta
Fuel Cost:	0.08	USD/sq fta
CO <sub>2</sub> Emission:	0.14	kg/m²a

**Geometry Data**

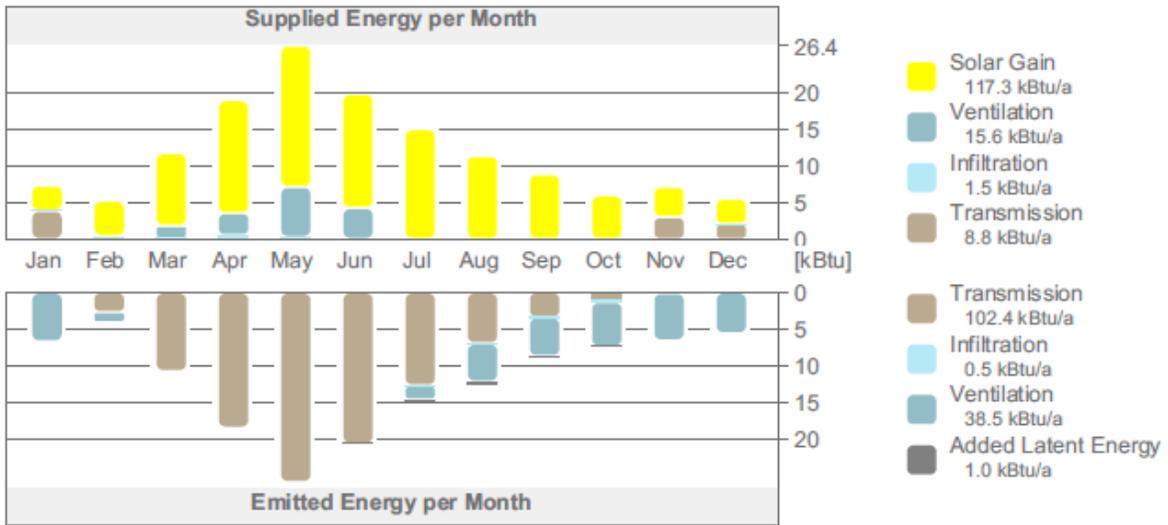
Gross Floor Area:	82.60
Treated Floor Area:	63.04
Building Shell Area:	231.01
Ventilated Volume:	486.02
Glazing Ratio:	1

**Internal Temperature**

Min. (15:00 Jan. 10):	43.79
Annual Mean:	64.15
Max. (23:00 Jun. 03):	86.03



### 13.2.1.2 Prueba 2 – Aislante interior 2 cm



**Heat Transfer Coefficients**

U value	[W/m²K]
Building Shell Average:	2.30
Floors:	0.66 - 50.00
External:	--
Underground:	--
Openings:	2.11 - 3.25

**Geometry Data**

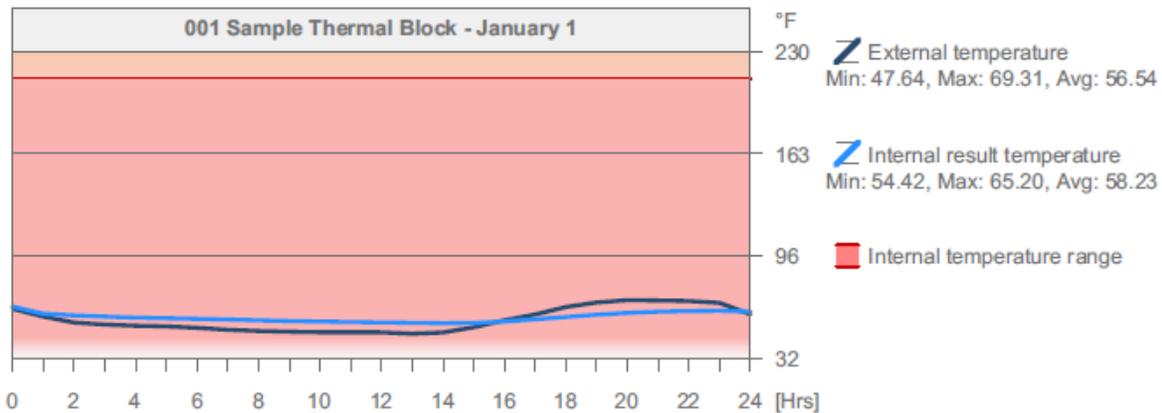
Gross Floor Area:	63.04
Treated Floor Area:	63.04
Building Shell Area:	27.27
Ventilated Volume:	486.02
Glazing Ratio:	6

**Specific Annual Values**

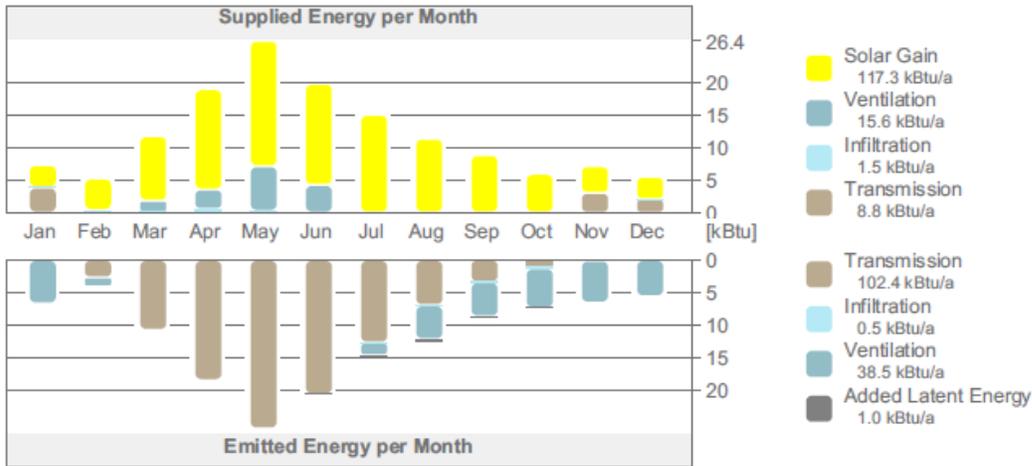
Net Heating Energy:	0.00	kBtu/sq fta
Net Cooling Energy:	0.00	kBtu/sq fta
Total Net Energy:	0.00	kBtu/sq fta
Energy Consumption:	0.64	kBtu/sq fta
Fuel Consumption:	0.64	kBtu/sq fta
Primary Energy:	1.92	kBtu/sq fta
Fuel Cost:	0.08	USD/sq fta
CO <sub>2</sub> Emission:	0.14	kg/m²a

**Internal Temperature**

Min. (14:00 Jan. 10):	47.67
Annual Mean:	63.22
Max. (20:00 Jun. 03):	80.22



### 13.2.1.3 Prueba 3 – Aislante interior 1 cm

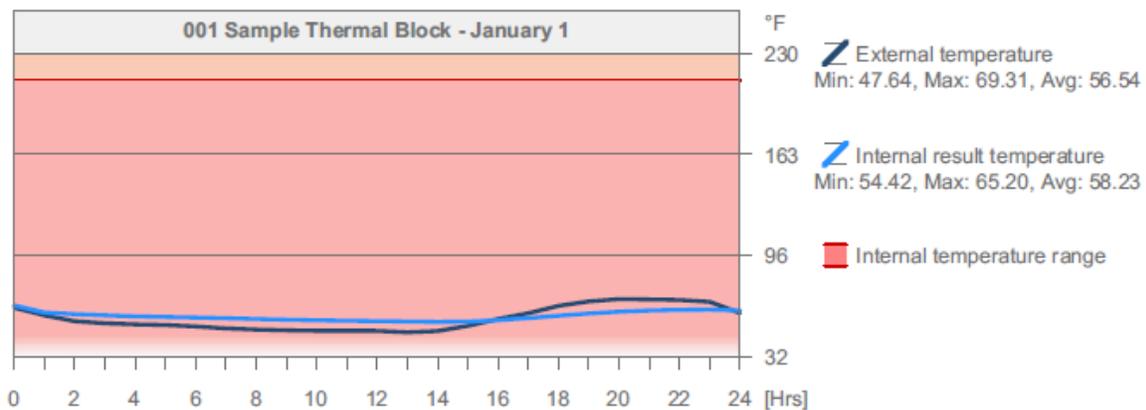


**Heat Transfer Coefficients** U value  
 Building Shell Average: **2.30**  
 Floors: **0.66 - 50.00**  
 External: --  
 Underground: --  
 Openings: **2.11 - 3.25**

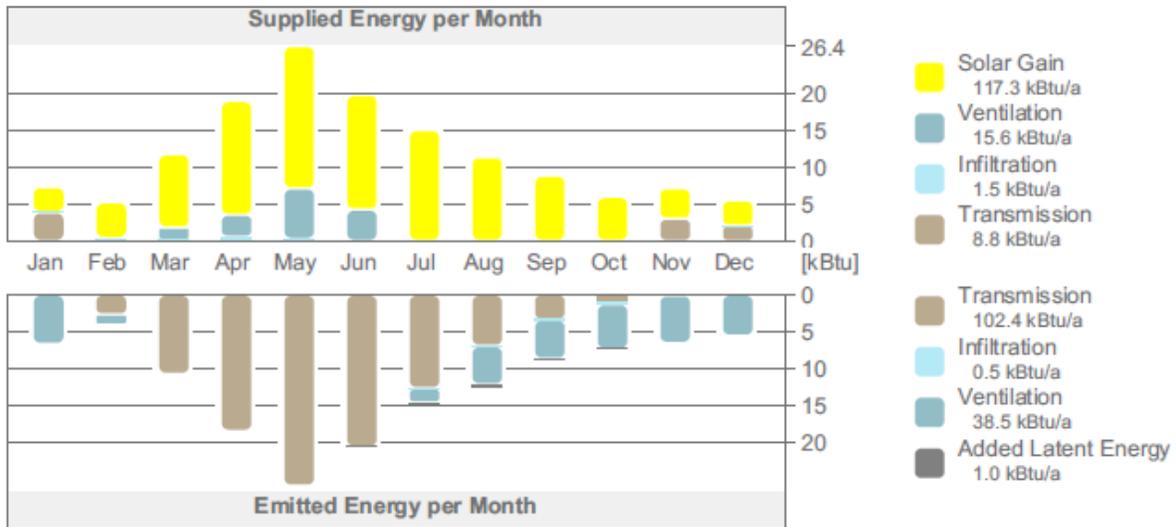
**Specific Annual Values**  
 Net Heating Energy: **0.00**  
 Net Cooling Energy: **0.00**  
 Total Net Energy: **0.00**  
 Energy Consumption: **0.64**  
 Fuel Consumption: **0.64**  
 Primary Energy: **1.92**  
 Fuel Cost: **0.08**  
 CO<sub>2</sub> Emission: **0.14**

**Geometry Data**  
 Gross Floor Area: **63.04**  
 Treated Floor Area: **63.04**  
 Building Shell Area: **27.27**  
 Ventilated Volume: **486.02**  
 Glazing Ratio: **6**

**Internal Temperature**  
 Min. (14:00 Jan. 10): **47.67**  
 Annual Mean: **63.22**  
 Max. (20:00 Jun. 03): **80.22**



### 13.2.1.4 Prueba 4 – Aislante exterior 1 cm



**Heat Transfer Coefficients** U value

Building Shell Average:	2.30
Floors:	0.66 - 50.00
External:	-
Underground:	-
Openings:	2.11 - 3.25

**Geometry Data**

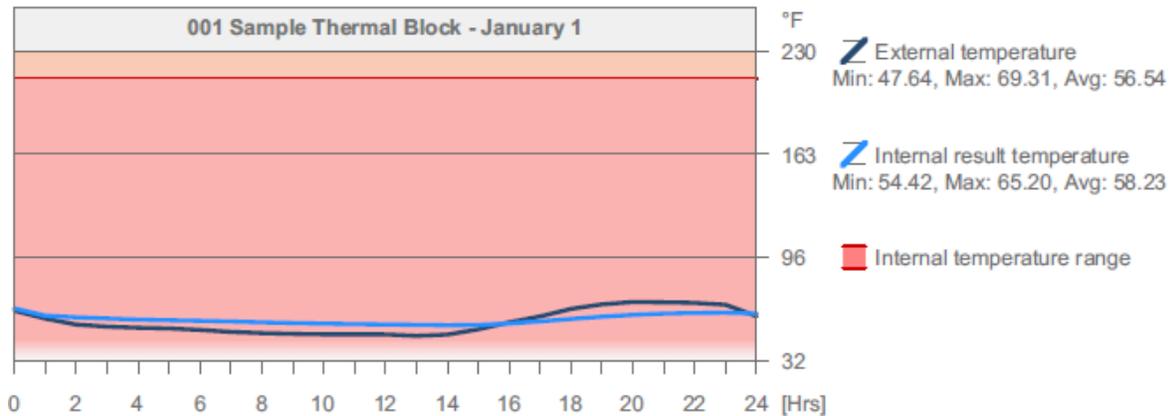
Gross Floor Area:	63.04
Treated Floor Area:	63.04
Building Shell Area:	27.27
Ventilated Volume:	486.02
Glazing Ratio:	6

**Specific Annual Values**

Net Heating Energy:	0.00
Net Cooling Energy:	0.00
Total Net Energy:	0.00
Energy Consumption:	0.64
Fuel Consumption:	0.64
Primary Energy:	1.92
Fuel Cost:	0.08
CO <sub>2</sub> Emission:	0.14

**Internal Temperature**

Min. (14:00 Jan. 10):	47.67
Annual Mean:	63.22
Max. (20:00 Jun. 03):	80.22



### **13.3 Comparación prototipo digital- prototipo construido**

La composición del experimento permite examinar y comparar el comportamiento térmico entre el prototipo real y las simulaciones experimentadas en ArchiCAD. Se trata de comprobar si los resultados de las mediciones obtenidas en las simulaciones se pueden transferir como lo marca la corriente Passivhaus a la situación constructiva en el clima templado seco de México, puntualmente localizado en Querétaro, una metodología ampliamente aprovechada puesto que se ocupó una caseta construida a escala 1:1 en el campus Facultad de Ingeniería de la UAQ, es importante considerar que debido a que el lugar del objeto estudiado se encuentra en una zona urbana, colindante con extensas áreas abiertas y árboles bajos, en terrenos planos y sin impactos microclimáticos extraordinarios como cauces de ríos, lagos, valles, etc. Por lo que la insolación, la temperatura y la humedad del aire son similares. Las pautas eólicas, no obstante, pueden divergir debido a la altura y cobertura de los edificios colindantes en el contexto de la Facultad de Ingeniería.

La maqueta experimenta una ondulación de calor más pronunciada al interior de la caseta, siendo siempre la más caliente durante el día, no obstante, se presentaron diferentes pruebas y simulaciones tomando en cuenta diferentes grosores de polipropileno – aislante térmico – donde éstas nos muestran las mismas características térmicas internas. La caseta no sólo muestra las más altas temperaturas diurnas sino también las más bajas temperaturas nocturnas. No obstante, las diferencias en temperaturas máximas diurnas son menos pronunciadas que las cálidas, ya que el aislante y las ventanas herméticas nos ayudan a conservar el calor durante la noche, sin embargo, de día tenemos una pronunciada curva de calor.

## 14. DETERMINACIÓN DE LINEAMIENTOS ESTABLECIDOS.

### 14.1 Aislamiento

AISLANTE TÈRMICO	El Aislamiento térmico es el conjunto de materiales y de técnicas de instalación de los mismos que se aplican en la construcción de viviendas para reducir la transmisión de calor hacia otros elementos o espacios no deseados. Con el aislamiento térmico conseguimos minimizar las pérdidas de calor hacia el exterior de la vivienda en invierno, así como en verano, que entre calor en el edificio.	Aplicando el poliuretano por la parte externa de nuestra caseta, obtenemos resultados mejores ya que otorga un superaislamiento térmico debido a los cambios climáticos directos del exterior.
	Descripción Passivhaus	Resultado caseta

## 14.2 Puentes térmicos

PUENTES TÉRMICOS	<p>Según el Código Técnico de Edificación, se consideran puentes térmicos las zonas de la envolvente del edificio en las que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, ya sea por un cambio del espesor del cerramiento, de los materiales empleados, por penetración de elementos constructivos con diferente conductividad, etc., lo que conlleva una minoración de la resistencia térmica respecto al resto de los cerramientos.</p>	<p>Uno de los puntos más importantes a tener en cuenta en el estándar Passivhaus es minimizar al máximo los puentes térmicos, para no afectar las ganancias térmicas, sin embargo, es importante mencionar que en los días cálidos los puentes térmicos con ayuda de ventilación nos aportan una regulación en la temperatura interna, sin embargo las pérdidas durante los días fríos se ven compensados con la ocupancia de usuarios y también el uso de electrodomésticos.</p>
	Descripción Passivhaus	Resultado caseta

### 14.3 Infiltraciones

HERMETICIDAD	La estanqueidad, o hermeticidad al aire es relevante para el confort de los ocupantes a través de la eliminación de corrientes de aire frías. Se combina idealmente con la ventilación mecánica o natural de la recuperación del calor para asegurar siempre calidad superior del aire de interior.	La hermeticidad es un factor que dentro de los días cálidos en los climas templados no es de rigor, ya que estos cambios y estas pérdidas de calor interno nos ayudan a tener una mejor regulación.  Mientras que, durante los días fríos es importante considerar hermeticidad en las ventanas ya que esto no permitirá que tengamos filtraciones fuertes de aire perdiendo el calor ganado al interior de la habitación.
	Descripción Passivhaus	Resultado caseta

### 14.4 Eficiencia en puertas y ventanas

<p>Eficiencia en puertas y ventanas</p>	<p>En el estándar de edificación Passivhaus, las ventanas se consideran como uno de los pilares fundamentales para la conservación de la energía. Su gran importancia se debe a que la ventana debe aportar: aislamiento, hermeticidad, seguridad, captación de luz solar, etc. Todo ello en un único componente.</p> 	<p>Dentro de la experimentación, observamos que al interior de la caseta se guarda un gran grado de calor, en este caso observamos que las ventanas nos ayudan a tener perdidas internas durante los días cálidos, sin embargo se colocaron ventanas aisladas, es por eso que nos ayudaría a tener un mejor rendimiento térmico interno si contamos con ventanas con aperturas que cuenten con buena hermeticidad para no dejar escapar el calor nuestros días fríos, que no tenemos fallas pero evitamos tener perdidas del calor generado por los usuarios de manera interna.</p>
	<p>Descripción Passivhaus</p>	<p>Resultado caseta</p>

### 14.5 Inercia térmica

<p>Inercia térmica</p>	<p>La inercia térmica es la propiedad de los materiales para almacenar calor, y como consecuencia, para variar su temperatura en un tiempo determinado. Un material de gran inercia térmica es aquel que necesita grandes cantidades de energía para elevar su temperatura en la misma cantidad de tiempo. La inercia térmica está muy relacionada con la cantidad de masa, puesto que, a mayor masa, mayor inercia.</p>	<p>Durante los días fríos, ya no da paso a la penetración de frío en los materiales envolventes, sin embargo, al tener aislante en la parte externa nos ayuda a mantener el calor ganado en los materiales internos.</p> <p>Dicho lo anterior, la inercia térmica no aplica en los días cálidos, puesto que al momento de tener una saturación de calor no permite que penetre hacia adentro el calor</p>
------------------------	--	---

		sumando ganancia térmica en el interior del prototipo.
	Descripción Passivhaus	Resultado caseta

#### 14.6 Acústica

Para valorar nuevos métodos y condiciones acústicas en cada edificación actual o remodelación, es importante tener consideraciones recientes sobre los elementos acústicos a aplicar durante la construcción, ya que a pesar de que el aislante y las ventanas con doble acristalamiento y marcos de PVC ayudan a tener una buena amortiguación de sonido, es importante plantear dentro de cada proyecto nuevamente los parámetros y estudios preliminares ya que la situación constructiva y de ocupación cambian los factores físicos internos de las edificaciones y esto, puede variar en los resultados. Es importante recordar que las casetas no tenían ocupancia y era un espacio reducido, esto a favor de tener una buena reverberación acústica.

Acústica	<p>El aislamiento acústico es el conjunto de materiales, técnicas y tecnologías desarrolladas para aislar o atenuar el nivel sonoro en un determinado espacio.</p> <p>Aislar supone impedir que un sonido penetre en un medio o que salga de él. Por ello, para aislar, se usan tanto materiales absorbentes, como materiales aislantes.</p>	<p>El tiempo de reverberación o la permanencia de sonido es óptimo en gran medida, debido al poliuretano instalado en primera instancia para la obtención de mejores resultados en el aspecto térmico, sin embargo, se demuestra que el doble acristalamiento y los muros revestidos de poliuretano son benéficos para el aspecto acústico del prototipo, cumpliendo así con los objetivos planteados en la investigación.</p>
	Descripción	Resultado caseta

#### 14.7 Recomendaciones generales

La situación actual de las construcciones en Querétaro está definida por una muy alta densidad de construcción de un nivel de altura además de tener construcciones paralelas piel con piel. Debido a esta estructura urbanística se limita severamente el aprovechamiento de la ventilación y en algunos casos el aprovechamiento solar como manera eficiente de climatizar edificios de forma natural en zonas tropicales. La poca altura de los pisos aumenta el sobrecalentamiento e inhibe la instalación de ventiladores de techo, probablemente la más eficiente manera de enfriar espacios de manera mecánica. Árboles suficientemente altos para que puedan limitar la irradiación sobre las envolventes durante los meses cálidos de las diferentes edificaciones. Sin embargo, dicha forma de bioclimático no sólo mejorará

el microclima del lugar a muy bajo costo sino levantará la calidad de vida de los usuarios.

La alta inercia térmica de los materiales empleados en la construcción actual acumula una gran cantidad de energía térmica durante el día radiándola en parte hacia el interior de las casas durante las primeras horas de la noche en donde la tasa de ocupación suele ser más alta. Dicha radiación aumenta la temperatura limitando el aprovechamiento de la relativa frescura del aire exterior durante la noche. Bajo esas consideraciones se debe considerar la aplicación de aislante térmico en las caras externas de las edificaciones, esto nos ayudará a bloquear el calor durante los días cálidos y evitar el enfriamiento de los materiales en los meses fríos, permitiendo también mantener la alta termicidad ganada en el interior de las edificaciones por la ocupancia de los usuarios y el uso de electrodomésticos.

#### **14.8 Propuestas para consideraciones**

Debido a factores externos no fue posible llevar a cabo los experimentos durante todo un año. Aunque se logró validar los datos para la condición más calurosa (en este caso la más crítica) del año, puede ser de interés extender la duración del experimento hasta un año completo, incluyendo de este modo datos obtenidos en la época más fría del año. La caseta establecida para el fin del experimento todavía se encuentra en la Facultad de Ingeniería de la UAQ y pueden ser aprovechadas con esta finalidad.

El experimento se llevó a cabo con caseta no habitada, es decir sin fuentes de calor internas. Es muy probable que esas fuentes internas causen una temperatura interna aún más elevada que la medida en el experimento. Por lo cual es recomendable aplicar el mismo método del experimento a casas ya habitadas.

Los conceptos teóricos dan sustento a una investigación con enfoque en el aprovechamiento de ciertos lineamientos trabajando en conjunto, puesto que los elementos constructivos puede ser un método económico, eficaz y que requiere muy poco mantenimiento en las nuevas edificaciones.

## Bibliografía

ANTOLIN, GRUPO. (2015). GRUPO ANTOLIN CONSTRUYE. *INforma*, 64.

Arancibia, Y. (2010). *Cambio climático en México un enfoque costero y marino. Elementos ambientales para tomadores de decisiones*. . Campeche: Universidad Autónoma de Campeche.

Brundtland, G. H. (1987). *Nuestro Futuro Común*. Noruega: United Nations.

CAF. (28 de Diciembre de 2015). *Banco de desarrollo de America Latina*. Obtenido de CAF: <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2015/12/que-es-el-fenomeno-el-nino-y-como-afecta-a-america-latina/?parent=14092>

Cárdenas, M. J. (2010). *Costos económicos del cambio climático en México*. Mexico, D.F: Greenpeace.

CFE. (s.f.). Comisión Federal de Electricidad .

CMNUCC. (s.f.). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático .

CONAVI – Comisión Nacional de Vivienda en México. (2012). *NAMA Apoyada para la Vivienda Sustentable en México – Acciones de Mitigación y Paquetes Financieros*. Ciudad de México: GIZ.

CONAVI. (s.f.). Comisión Nacional de Vivienda.

CRE. (s.f.). Comisión Regulatoria de Energía .

Donnell, M. (1999). Manual de Construcción Industrializada. *Revista Vivienda SRL*, 86.

Egea, M. (2015). *La arquitectura pasiva reclama su lugar en México*. México.

Energía, Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la. (s.f.). CONUEE.

EOI, GNF. (2008). Manual de Eficiencia Energética. *Manual de Eficiencia Energética* (pág. 332). Gas Natural Fenosa.

EUDOMUS. (30 de 05 de 2012). *Características Técnicas de los Ladrillos de Adobe*. Obtenido de Características Técnicas de los Ladrillos de Adobe: <https://eudomus.com/ladrillos-adobe/>

Explorando México. (2018). *Explorando México*. Obtenido de <https://www.explorandomexico.com.mx/state/21/Queretaro/geography>

García, C. G. (Noviembre de 2008). *Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM*. Obtenido de <http://studyres.es/doc/3348832/guia-escenarios---centro-de-ciencias-de-la-atm%C3%B3sfera--unam>

GEI. (s.f.). Gases de Efecto Invernadero.

Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos. (2007). SAGARPA. Obtenido de [http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Lists/Otros/Attachments/1/PND\\_0712.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Lists/Otros/Attachments/1/PND_0712.pdf)

Grazón, B. (2007). *Arquitectura bioclimática*. Buenos Aires: Nobuko.

Hunn, B. (1996). Respuestas térmicas dinámicas. *Fundamentals of Building Energy Dynamics*. Massachusetts: MIT press.

ICPA, I. d. (2013). *Aprovechamiento de la masa térmica del hormigón para la construcción de Viviendas Sostenible*. Argentina: ICPA.

IPCC. (2007). *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Berlin: WMO/UNEP.

IPCC. (s.f.). Panel Intergubernamental del Cambio Climático .

ISO 7730:2006. (25 de Octubre de 2005). Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local. AENOR.

ISOVER. (2009). *Eficiencia Energética y Confort en los Climas Cálidos* . España: SAINT-GOBAIN.

Jáuregui, E. (2009). *El clima de la Ciudad de México*. México: UNAM.

MORAN, M. (1994). *The atmosphere and the science of weather*. New York: Macmillan College Publishing Co.

Moreno Olmos, S. H. (Diciembre de 2008). La habitabilidad urbana como condición de calidad de vida. México, Colima. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/948/94814774007.pdf>

NAMA. (s.f.). Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas.

NAMA. (s.f.). Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación.

Olgyay. (1998). *Arquitectura y Clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Gustavo Gili.

OMM. (s.f.). Organización Meteorológica Mundial .

OMS. (2017). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: [http://www.who.int/topics/environmental\\_health/es/](http://www.who.int/topics/environmental_health/es/)

OMS. (s.f.). Organización Mundial de la Salud .

Passive House Institute. (2016). *Criterios para los Estándares Casa Pasiva, EnerPHit y PHI Edificio de baja demanda energética*. Darmstadt, Alemania: PHI.

PECC. (s.f.). Programa Especial de Cambio Climático.

PEMEX. (s.f.). Petróleos Mexicanos.

PHPP. (s.f.). Programa de Panificación Passivhaus .

PICC. (s.f.). Panel Intergubernamental del Cambio Climático.

Poder Ejecutivo Federal. (2007-2012). *Plan Nacional de Desarrollo México*.

Santos, B. (28 de Septiembre de 2015). *Arquired*. Obtenido de <https://www.arquired.com.mx/tecnologia/estudiantes-construyen-casa-sustentable-para-representar-a-mexico-en-la-competencia-solar-decathlon-2015/>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2009). *Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México, D.F: Grupo Communicare, S.C.

SEMARNAT. (s.f.). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales .

SENER. (2013). *Prospectiva del Sector Eléctrico*. México: SENER.

Servicio Geológico Mexicano. (22 de Marzo de 2017). *Petróleo en México*. Obtenido de El Servicio Geológico Mexicano: [https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones\\_geologicas/Petroleo-en-Mexico.html](https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Petroleo-en-Mexico.html)

SMN. (s.f.). Servicio Meteorológico Nacional .

Southwest Technology Development Institute, NMSU. (2017). Obtenido de <http://www.econotecnia.com>: <http://www.econotecnia.com/radiacion-solar.html>

UNAM. (s.f.). Obtenido de <http://www.revista.unam.mx/vol.14/num9/art29/>

Universidad Autónoma de México. (2018). *Excursión Geológica por Querétaro*. México: Centro de Geociencias .

VAND arquitectura. (2017). Garantía de calidad Passivhaus. España, Pamplona.

VEKA. (s.f.). VENTANAS DE PVC VS VENTANAS DE MADERA . España, Burgos.

VITRUVIO, M. (1997). De Architectura. En M. V. Polión, *De Architectura* (pág. 285). España: Alianza Editorial, S. A., Madrid,.

Wassouf, M. (2014). De la casa pasiva al estándar Passivhaus. En M. Wassouf, *De la casa pasiva al estándar Passivhaus* (pág. 144). España: Gustavo Gili.

Weather. (3 de Agosto de 2018). *WeatherOnline*. Obtenido de <https://www.woespana.es/weather/maps/city>

Zavala, J. F. (2010). *Diario de Querétaro*. Obtenido de <http://eloficiodehistoriar.com.mx/2011/02/21/la-crisis-climatica-en-queretaro-y-sus-consecuencias/>

## 16. GLOSARIO

### ***Absorción ( $\alpha$ )***

Nivel en que un material absorbe una parte o la totalidad de la radiación electromagnética y la convierte en otra forma de energía (calor, electricidad).

### ***Albedo***

Factor de reflexión o grado en que una superficie refleja la luz.

### ***Altitud***

Distancia vertical entre un punto situado sobre la superficie terrestre y el nivel medio del mar

### ***Altura:***

La distancia vertical entre dos puntos situados en diferentes posiciones.

### ***Anemómetro***

Aparato meteorológico utilizado para medir la velocidad del viento, ayudando a predecir el clima.

### ***Anemocinógrafo***

Aparato con la función de medir la dirección y velocidad del viento.

### ***Azimut***

Ángulo formado entre la proyección horizontal del rayo solar y el meridiano del lugar.

### ***Calor***

Actividad de movimiento molecular. Empieza con 0 Kelvin (punto cero absolutos, -273.15°C).

### ***Calor latente***

Calor necesario para el cambio de fase (sin cambiar la temperatura del material)

### ***Calor sensible***

Calor necesario para cambiar la temperatura de un material.

### ***Cambio de estado***

Cambio de fase de la materia; comúnmente de sólida a líquida a gaseosa o al revés, no obstante, hay situaciones en donde puede suceder el cambio directo entre sólida a gaseosa. Cada cambio de estado requiere o libera energía „extra “.

### ***Cambio climático***

Variaciones de los valores meteorológicos (temperatura, humedad, precipitación etc.) sobre un largo periodo de tiempo y una amplia región, provocando alternaciones en el clima original de esa zona.

### ***Constante Solar***

Cantidad de radiación solar que recibe un metro cuadrado perpendicular al sol fuera de la atmósfera a la distancia media de la Tierra con respecto al sol. Dicha cantidad es igual a  $1,367\text{W/m}^2$ .

### ***Conducción de calor***

Es la transferencia de calor a través de materiales sólidos. Siempre del lado más caliente hacia el lado más frío

### ***Convección de calor***

Es la transferencia de calor a través de la energía incorporada en partículas en movimiento. Por lo tanto, sólo ocurre en fluidos y gases.

### ***Evaporación***

Cambio de fase de un material líquido a gaseoso. Ese proceso requiere energía sin elevar la temperatura del material. Esa energía se toma del ambiente alrededor del material por lo cual se genera una disminución de la temperatura del ambiente (sin cambio de presión).

### ***Evaporímetro***

Instrumento utilizado para medir la evaporación efectiva. Mide la cantidad volumétrica que se evapora bajo las condiciones dadas en un tiempo definido (6h, 12h, 24h)

### ***Gradiente de temperatura***

Cambio de temperatura por distancia, normalmente empleado en comparación de diferentes alturas. El gradiente de aire húmedo (pseudoadiabático) es  $6.4^\circ\text{C}/\text{km}$  mientras el gradiente de aire seco (adiabático) es más profundizado con  $10^\circ\text{C}/\text{km}$ .

### ***Higrómetro (Hidrógrafo)***

Instrumento para medir la humedad del aire. Se aprovecha la extensión y contracción del cabello humano (generalmente negro y grueso) en la mayoría de esos aparatos.

### ***Humedad absoluta***

Es la masa de vapor (en gramos) que contiene un volumen de aire (en metro cúbico). Su unidad es gr/m<sup>3</sup>.

### ***Humedad específica***

Es la masa de vapor (en gramos) que contiene una masa (en kilogramos) de aire. Su unidad es gr/kg.

### ***Humedad relativa***

Es la relación entre la cantidad de vapor de agua y la saturación del aire. Eso depende de la presión y la temperatura del aire dado. Su unidad es %.

### ***Inercia***

En la capacidad de un material de almacenar energía. Depende de la cantidad de energía necesaria para aumentar una unidad de masa de un material por un Kelvin.

### ***Temperatura ambiente***

Temperatura del aire registrada en el instante de la lectura

### ***Temperatura Bulbo Seco (T)***

Temperatura medida en una situación y con el nivel de humedad relativa dada. Es la forma más común de medir la temperatura.

### ***Temperatura Bulbo Húmedo (T\*)***

Temperatura que incluye la capacidad de enfriamientos por evaporación. Se mide por un termómetro (el psicrómetro) cuya base está envuelta en una gasa mojada. En un clima seco la diferencia entre TBS y TBH es lo más grande mientras en un ambiente tropical la diferencia es menor. En un ambiente con 100% HR la diferencia entre TBS y TBH es cero.

### ***Temperatura Radiante Medio***

La temperatura promediada de todos los objetos que intercambian calor por medio de radiación con un cuerpo, casi igual a la temperatura del globo.

### ***Temperatura media diaria***

Es la resultante promedio de las mediciones horarias de un día

### ***Temperatura media mensual***

Es la resultante promedio de las temperaturas medias diarias durante un mes

### ***Temperatura mínima mensual***

Es el promedio de todas las temperaturas mínimas diarias registradas durante un mes.

### ***Transmisión (de calor)***

El paso de calor desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura.

### ***Velocidad del viento***

Rapidez con la cual se traslada una cantidad de aire de un lugar hacia otro. Escala usada en México de 0 (<0.6m/s) hasta 6 (>29m/s).

### ***Viento***

Movimiento del aire relativo a la superficie de la tierra, tiene su origen en la actividad solar sobre el planeta que genera un calentamiento no uniforme de la tierra y subsecuentemente una diferencia en la presión.

### ***Sostenibilidad***

Satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas, garantizando el equilibrio entre crecimiento económico, cuidado del medio ambiente y bienestar social.

### ***Capacidad térmica***

Cantidad de calor necesaria para elevar un grado la temperatura de una sustancia. También llamada capacidad calorífica.