



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE DOCTORADO EN ARQUITECTURA
PENSAMIENTO Y PRODUCCIÓN CIENTÍFICA TECNOLÓGICA DE LA ARQUITECTURA

**Eficiencia energética de envolventes arquitectónicas por su desempeño
térmico.**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE DOCTOR EN ARQUITECTURA

PRESENTA

MTRO. CÉSAR ARMANDO GUILLÉN GUILLÉN

Tutor principal

Dr. Alberto Muciño Vélez

Centro de Investigaciones en Arquitectura, Urbanismo y Paisaje, FA, UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR

Dra. Gemma Verduzco Chirino

Posgrado Arquitectura, UNAM

Mtra. Perla Santa Ana Lozada

Facultad de Arquitectura, UNAM

Dr. Fernando Córdova Canela

Facultad de Arquitectura, UdeG

Dr. Gabriel Castañeda Nolasco

Facultad de Arquitectura, UNACH

Ciudad Universitaria Cd. Mx. Febrero 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

“Declaro conocer el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, considerado en la Legislación Universitaria. Con base en las definiciones de integridad y honestidad ahí contenidas, manifiesto que el presente trabajo es original y enteramente de mi autoría. Las citas de otras obras y las referencias generales a otros autores, se consignan con el crédito correspondiente”.

Agradecimientos

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



Al CONACYT por su apoyo y patrocinio para hacer viable la investigación

Universidad Nacional Autónoma de México



A la UNAM por abrir las puertas de la institución y un nuevo panorama

Programa de Doctorado en Arquitectura de la UNAM



Al Posgrado de Arquitectura de la UNAM por aceptarme en el programa y brindarme las

Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables



Al LNVCS por la colaboración y apoyo en el proceso de la investigación

Facultad de Arquitectura de la UNAM



A la FA UNAM por las facilidades y apoyo para el estudio

Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales



Al LMSE por facilitar y dotar de las capacidades técnicas el proceso del estudio



**Dirección General de Asuntos
del Personal Académico**

**A la Dirección General de Asuntos del Personal Académico
(DGAPA)**

Y se agradece el apoyo al

**PROGRAMA DE APOYO A PROYECTOS DE
INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA**

Por el (PAPIIT IN 404218)

Al Dr. Alberto, Dra. Gemma y Mtra. Perla

A ustedes les doy las gracias por el acceso y confianza para trabajar de tiempo completo en el laboratorio durante mi investigación, por mostrarme el camino y compartir su conocimiento, así como su experiencia en el campo de los materiales y sistemas estructurales en arquitectura. Gracias también por la oportunidad de abrirme las puertas al mundo de la investigación.

Amigos

Tengo la suerte de conocer a personas extraordinarias en cada aventura y lugar al que voy y durante la etapa de mis estudios de posgrado no fue la excepción. A todos mis amigos y colegas del laboratorio les doy las gracias por el grupo de trabajo que formamos y sobre todo por los momentos que compartimos. A todos y me refiero a todos mis amigos, les agradezco que, a pesar de la distancia, el tiempo y las ocupaciones de cada uno siguen ahí como el primer día. La vida cruzo los caminos y todos siguen el propio, me da gusto verlos crecer y me enorgullece que formen parte de mi vida.

A mi familia

Por toda la comprensión y apoyo, siempre incondicional y que a pesar de las distancias siempre tienen espacio, tiempo y disponibilidad para mí. Papá gracias por ser mi maestro desde que nací y guiarme en la vida. Mamá a ti te agradezco por todo el amor incondicional. Vero y Mauricio, por ser parte importante en mi vida y ser tan molestos, pero los quiero. Tati, quien lo diría, pero hoy eres esa mujer que mueve mi mundo, mi compañera de viaje y aquella personita con quien quiero construir nuestra historia. Gracias por todo amor, te amo.


Nami algún día leerás esto y quiero que ya lo sepas para entonces, pero te lo recuerdo mi niña: te voy a amar toda la vida, siempre estaré para ti y quiero verte crecer y hacer mágico cada momento compartido contigo. Te amo

Este proyecto es uno de los productos del PAPIIT IN 404218

ÍNDICE

Introducción	1
Primera Etapa. Planteamiento del problema de investigación	4
Área de Interés	5
Antecedentes	5
• La reducción de consumo de recursos como reto en Arquitectura	7
Planteamiento del problema	8
Justificación	9
Área de oportunidad	11
• ¿Por qué es importante analizar la relación que existe entre energía y vivienda social?	11
Hipótesis	12
Objetivo	13
Método de Investigación	14
• Descripción	16
Capítulo 1. La vivienda social como el componente central de la construcción de ciudades sustentables	20
• Vivienda y eficiencia	21
• Análisis de materiales para su aplicabilidad en vivienda	22
• Materiales alternativos	24
• Tierra cruda	25
• Tierra y fibras naturales (Bahareque)	27
• Carrizo (Arundo Donax)	28
• Viabilidad: Rastrojos de maíz y reducción de impacto ambiental	30
Capítulo 2. Situación ideal	31
• Vivienda Digna y Decorosa	32
• Eficiencia energética en arquitectura	34
• Estándares constructivos de bajo consumo energético	36
Capítulo 3. MARCO TEÓRICO	38
Transferencia Térmica	39
Conductividad Térmica	39
Difusividad Térmica	40
• Aislamiento térmico como estrategia de reducción de la transferencia de calor	41
• ¿Y por qué es importante el aislamiento térmico?	43
• Temperaturas de comparación	44
• El ser humano y la temperatura como indicador de bienestar	45
• Análisis del clima como acercamiento a la eficiencia energética.	46
• Variables del clima	47
• Temperatura.	47
• Humedad.	48
• Radiación.	48
• Efectos del clima en el hombre y el Confort térmico	49
Capítulo 3. DIAGNÓSTICO Y REQUERIMIENTOS	50
• Clima y requerimientos térmicos para la región.	57
Capítulo 4. CONFRONTACIÓN	61
• Eficiencia energética: soluciones parciales	62
• Valoración térmica de materiales.	63
• Aislamiento Térmico como estrategia. Valoración del comportamiento térmico de materiales	64

• La envolvente térmica de vivienda: posibilidad real con recursos regionales.	67
Comportamiento térmico de la envolvente; NMX-C460-ONNCCE	69
Propiedades térmicas elementales y el comportamiento dinámico	71
Medición de conductividad térmica	72
Estimación de comportamiento térmico en los materiales por difusividad	72
Comportamiento térmico por difusividad y efusividad	73
Simulación de evolución climática e indicadores de temperatura	76
Evaluación experimental por método de la aguja térmica	76
Determinación de coeficientes de difusividad	78
Criterios de selección del material	79
Obtención de los coeficientes térmicos en los materiales seleccionados	80
Comportamiento térmico de envolventes compuestos	83
Capítulo 5. RESULTADOS	88
Ajustes por valoración de resultados	90
Medición conductividad térmica: Aparato e Placa Caliente con Guarda (APCG)	92
Uso de programas de cálculo dinámico para análisis térmico en edificaciones	96
Método de análisis térmico	97
Conclusión	101
Discusión por apartado	105
Referencia	111
Índice de imágenes	115
Índice de esquemas	115
Índice de Tablas	116
Índice de gráficas	117



“La arquitectura actual tiende a ser retiniana, se dirige al ojo. Es narcisista porque enfatiza al arquitecto, al individuo. Y es nihilista porque no refuerza las estructuras culturales, las aniquila. Hoy los mismos arquitectos construyen por todo el mundo y lo mismos edificios están en todas partes. Así es difícil que la arquitectura pueda reforzar ninguna cultura” Juhani Pallasmaa

Introducción.

El bienestar térmico del espacio interior de las edificaciones es uno de los objetivos de diseño en arquitectura y que actualmente no es conseguido por medios pasivos, afectando la habitabilidad térmica del espacio interior y con ello incrementando el uso de climatización activa. Actualmente existen indicadores para valorar el desempeño de las edificaciones como son: la emisión de gases efecto invernadero o CO₂, la energía incorporada, consumo de energía, rangos de temperatura, propiedades térmicas, entre otras; lo que permite reconocer si cumplen con estándares de habitabilidad o denotar los efectos negativos de la práctica arquitectónica como puede ser la ineficiencia energética de los espacios que se diseñan. Al evaluar la envolvente de vivienda social en México por su resistencia al flujo de calor se demostró que no funcionan apropiadamente y que el modelo constructivo no responde ante los estímulos térmicos del contexto y que aun así se continúa replicando un modelo de producción de vivienda en el cual no se analiza la relación entre la conducción del calor, la envolvente y el clima aumentando con esta situación el impacto global en términos energéticos, ambientales y económicos.

El área de interés en el presente trabajo es reducir la transferencia de calor hacia el interior de las edificaciones considerando el análisis de las propiedades térmicas de materiales regionales para poder determinar su aplicación útil en construcción de envolventes para vivienda social.

El problema se planteó por el reconocimiento del desempeño térmico de los materiales más utilizados y que configuran las envolventes de vivienda social en clima cálido subhúmedo. En dicho contexto se realizó un diagnóstico inicial para evaluar envolventes arquitectónicas representativas de vivienda en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, donde se demostró que las cubiertas de vivienda social no responden a los requerimientos de ahorro energético y provocan un incremento de la temperatura interior afectando el bienestar de los usuarios. La investigación relacionó el adecuado desempeño térmico de la envolvente como un acercamiento a la eficiencia energética, donde por medio del análisis de los materiales se valoró aquellos que poseen propiedades apropiadas para reducir el flujo de calor y así poder utilizarlos en cubiertas y muros de vivienda.

El caso de estudio está enfocado en contextos de escasez económica, por tanto, el material debe ser de bajo costo y poseer un equilibrio energético con el potencial para lograr sumar en el desempeño térmico apropiado del espacio interior. De esta manera se seleccionaron materiales naturales por su abundancia, su baja energía incorporada y su capacidad de resistir el flujo de calor, identificando

el carrizo (*Arundo Donax*), rastrojos de maíz (*Maiz Zea*) y tierra, como recursos locales para el diseño de envolvente.

El análisis térmico de los materiales se estudió por el concepto de resistencia térmica empleado en la investigación como indicador que evalúa el flujo de calor que atraviesa un sistema de muros o cubiertas, basado en el coeficiente de conductividad del material. Sin embargo se discutió que existen además de la conductividad térmica las propiedades de densidad, calor específico, difusividad y efusividad térmica como determinantes para explicar cómo los materiales absorben, acumulan y transfieren el calor. El saber que los materiales se comportan de manera dinámica permite entender su desempeño térmico y de esta manera poder aplicar el conocimiento en el diseño de la envolvente arquitectónica. Se reconoció que el cálculo del valor de resistencia térmica es un instrumento útil para diseñar envolventes térmicamente eficientes sin embargo para describir el comportamiento de un material se requiere un análisis dinámico, es decir involucrar en la evaluación las propiedades de difusividad y efusividad térmica. Y se discute como los procedimientos normativos para construcción de edificaciones solo consideran el coeficiente de conductividad térmica y no alternativas como podrían ser el concepto de inercia térmica.

En términos metodológicos el origen de la investigación se debió al área de interés, definida en analizar las propiedades térmicas y su pertinencia en la selección de materiales, lo que permitió desarrollar el planteamiento del problema. Se delimitó el universo de estudio por medio de un marco lógico. El desarrollo del área de oportunidad se estructuró adaptando una situación inicial, una situación ideal y su confrontación para determinar objetivos y el cuerpo de la investigación. Concluyendo bajo un método sintético de análisis de la información conseguida de los resultados obtenidos. El proceso fue cuantitativo por el uso de datos e información falible y cualitativa por la valoración del conocimiento adquirido en función de una investigación factible. Se utilizaron fichas bibliográficas, análisis de casos, simulación numérica y evaluación térmica en una línea de tiempo periódica y de sentido bidireccional, dándole un carácter perfectible.

Se discute la valoración del uso de materiales regionales para construcción de envolventes como factible cuando se considera un proceso cuantitativo que permita el entendimiento de su desempeño y limitaciones ante solicitudes de una región específica.



Primera Etapa

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

” Hay que señalar que la visión del mundo desarrollado implica en realidad una suerte de exclusión social hacia los países en vías de desarrollo, ya que las metas de crecimiento económico y desarrollo social de estos últimos estarían condicionadas por el impacto ambiental de sus emisiones. Bajo un principio de equidad, por el contrario, debería prevalecer en el mundo un sentido de inclusión en el cual cada país aspire a lograr sus metas de crecimiento económico y desarrollo social, asumiendo el compromiso de reducir sus emisiones de CO₂ de acuerdo con su nivel de responsabilidad.” García, 2014

ÁREA DE INTERÉS.

El presente documento comienza con la inquietud de plantear soluciones de vivienda considerando el desempeño térmico de la envolvente en contextos de escasos recursos por medio del uso de materiales regionales en un clima cálido subhúmedo. Lo anterior permitió reconocer líneas de investigación para su desarrollo:

- Diseño de Vivienda asequible
- Envolvente Térmica
- Materiales Regionales

Se acoto el análisis en el concepto de envolvente térmica considerando que su definición cumple con la expectativa de ahorro energético ya que se define por su adecuada relación con el medio y el uso de materiales con altas prestaciones térmicas. Sin embargo, como estándar constructivo en vivienda social de bajo costo energético no resulta viable, ya que considera el uso de aislamiento térmico lo cual no es habitual en los sistemas constructivos de vivienda social, sin embargo, como estrategia es posible su aplicación al valorizar el uso de materiales regionales.

En este apartado se definió el área de interés para desarrollar la investigación en el uso de materiales regionales para el desarrollo de envolventes bajo un proceso de estudio de las propiedades térmicas.

En el marco de la búsqueda de eficiencia energética en arquitectura la evaluación del desempeño térmico de los materiales en general resulta pertinente en los procesos de diseño arquitectónico, porque el conocimiento de cómo los materiales responden ante los estímulos de calor de una región permitiría su correcta ejecución y en el caso de materiales no valorados por reglamentos constructivos y normas, acercaría a su reconocimiento como recurso apropiado para el desarrollo de tecnología útil para vivienda. Se considera que, ante la demanda actual de espacios habitables y el impacto de la construcción en el medio ambiente, la optimización de recursos es primordial para mejorar los procedimientos y desempeño de las edificaciones, encontrando en el análisis de los materiales regionales una alternativa viable para la construcción sustentable.

ANTECEDENTES

Los materiales que integran a la envolvente influyen en el consumo energético de las edificaciones y en el bienestar térmico de los usuarios y cuando no se considera su comportamiento en el sistema se provocan malas prácticas arquitectónicas con afectaciones en el rendimiento de las actividades

humanas dentro del espacio. Ante este escenario se introduce en arquitectura la búsqueda de la eficiencia energética como estrategia para cumplir con los objetivos propuestos de un futuro equitativo para todos. La búsqueda de mejorar la situación energética de la vivienda es de carácter internacional y se aborda desde los Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS) constituidos por 17 puntos donde se incluye tanto a la vivienda como el mejoramiento de comunidades y ciudades. La vivienda social representa un área de oportunidad para el país en materia de reducir las acciones de mejora, en la cual se han abordado diferentes criterios de análisis para implementar buenas prácticas; enfatizándose en estrategias de optimización energética.



Imagen 1.-Referencia: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo 2018

La meta de revertir a situaciones sostenibles la práctica arquitectónica llevó a desarrollar instrumentos basados en el consumo energético y evaluaciones ecológicas para certificar materiales y procesos constructivos, con la visión de mejorar a corto, mediano y largo plazo el rendimiento energético de las edificaciones; algunos con métodos de diseño basados en modelos esféricos que contemplan programas energéticos bajo un binomio evaluación –ajuste por medio de métodos que analizan solicitaciones térmicas locales y solventan requerimientos con tecnologías pasivas basadas en análisis de los materiales. Pero en México no se han regulado esfuerzos integrados para generalizar envolventes configuradas con materiales energéticamente eficientes y aunque la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) trabajó en paralelo con la Agencia Alemana de Cooperación de Técnica (GIZ), en administraciones pasadas, buscando la implementación tecnológica en vivienda social, que han funcionado en contextos internacionales; pero no se valoró adecuadamente la capacidad económica y la problemática social en México, reconociendo que el escenario de la vivienda social en el contexto nacional no permite desde un enfoque económico la aplicación de tecnología certificada. Por lo cual se pretende evaluar materiales de uso común en la construcción para poder establecer alternativas tecnológicas asequibles a vivienda social en una región específica, con la expectativa de cumplimiento de parámetros de carácter sustentable.

La reducción de consumo de recursos como reto en Arquitectura.

El debate internacional sobre el desarrollo equitativo presente y futuro de la humanidad planteó como una de las estrategias para caminar hacia la eficiencia en las diferentes actividades humanas, la reducción de consumo de recursos. En el caso de la Arquitectura, el impacto ambiental de las edificaciones en todo su proceso y a diferentes escalas, marco la búsqueda por mejorar la práctica profesional arquitectónica y se presentaron diferentes estrategias que relacionan la energía y el desempeño de los objetos arquitectónicos, detonando la búsqueda tecnológica para construir apropiadamente. (Morillon et al, 2008)

De esta manera los componentes arquitectónicos se convirtieron en objeto de estudio para cumplir con estándares energéticos. (Sartori et al, 2010) Los sistemas constructivos comenzaron a diseñarse en función de su desempeño, se mejoraron los procesos de producción de sistemas y se introdujeron materiales eficientes en arquitectura. Hoy el análisis y evaluación de materiales es ya una realidad que permite mejorar tanto la capacidad de los materiales como incrementar sus propiedades para mejorar sus características de servicio y así lograr la reducción del consumo de materias primas.

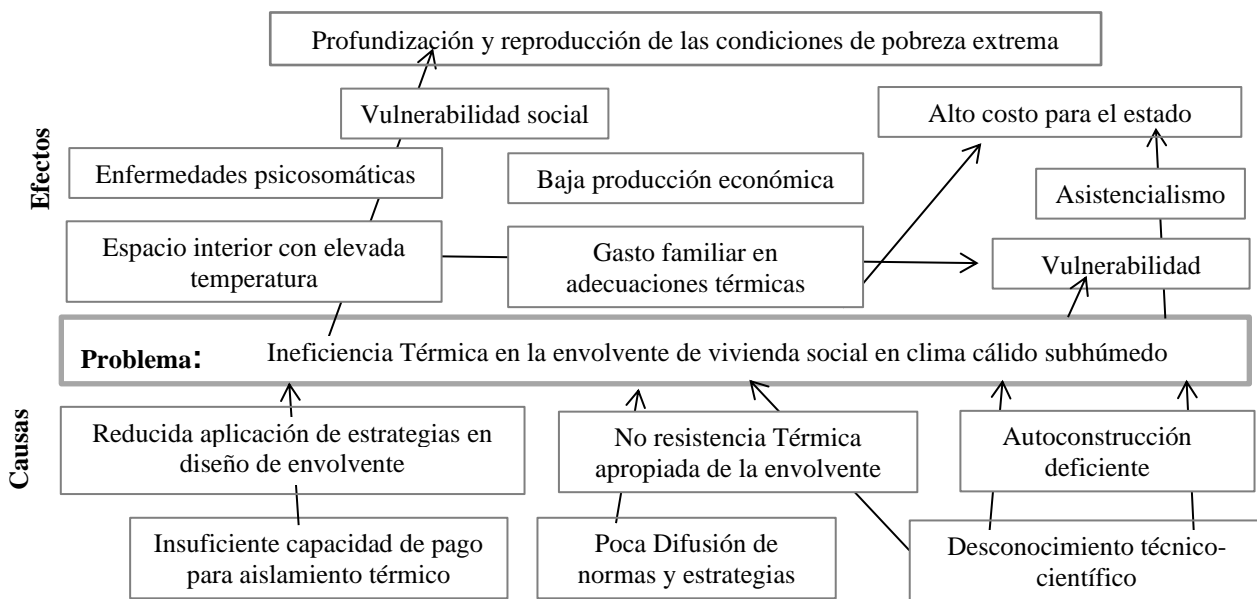
Sin embargo, el área de interés de la presente investigación involucra a la eficiencia energética en el comportamiento de las envolventes en regiones de pobreza energética donde tanto los materiales certificados como los estándares constructivos clasificados de eficientes no resultan accesibles ya sea por su energía incorporada o por su costo económico. Y aunque son procesos, sistemas o materiales etiquetados de eficientes, no resultan viables en contextos donde la mayoría de la población vive en situación de vulnerabilidad, ya sea por su emplazamiento, la calidad de los sistemas constructivos o ambos.

Por ello el conseguir información de materiales regionales para caminar hacia alternativas de sistemas constructivos más económicos y viables para una realidad de escases y pobreza es uno de los retos actuales en la construcción de vivienda. Se discute la utilización de materiales históricamente utilizados para construcción de vivienda, por su potencial de asimilación a costumbres, tradiciones y formas de vida adaptadas de la región, pero aún es escasa la información de las propiedades de estos materiales que han sido estigmatizados con pobreza, demeritando los beneficios de las propiedades físicas, térmicas y energéticas que poseen.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se parte de la premisa que el espacio interior de las viviendas de interés social en un clima cálido subhúmedo se encuentra en un estado ineficiente energéticamente, porque la temperatura de la superficie interior de la envolvente (TSI) está fuera del rango apropiado de bienestar térmico (arriba de 31°C) durante prolongados periodos durante el día. Y esto sucede debido a que los materiales con los que se construye la envolvente no presentan resistencia al flujo térmico provocando un sobrecalentamiento del espacio interno de los objetos arquitectónicos; generando así el uso ineficiente del aire acondicionado, para quien puede asumir el costo o la generación de actividades humanas en estado térmico deficiente, dañando la productividad o la salud del usuario que no puede costear la climatización activa.

Esquema 1.- Análisis del problema por medio de un marco lógico



Se define el planteamiento literal del problema para esta investigación en la ineficiencia energética de los materiales de construcción convencionales que configuran techos de la vivienda social bajo indicadores de desempeño térmico. Se cuestiona si existen posibilidades de diseñar y construir techos alternativos adecuados a los requerimientos térmicos y energéticos actuales, que validen materiales regionales bajo enfoque técnico y térmico de carácter eficiente para vivienda social.

JUSTIFICACIÓN

En México la vivienda tiene un impacto negativo en el ambiente al ser responsable del 32 % de las emisiones de Gases efecto Invernadero (GEI) lo cual representa el 16.2 % del consumo total de energía y el 6 % del consumo total de electricidad (Gobierno Federal Mexicano, 2014), lo que está evidenciando un producto mercantil que no responde eficientemente en su operación; no logra la habitabilidad del usuario que habita, ni considera el desempeño en tiempo de vida útil del inmueble desde la elaboración, transformación, producción y transporte de materiales de construcción (Observatorio Demográfico de América Latina y el Caribe, 2009) pasando por la vida útil y la demolición de la vivienda. Sin embargo, el crecimiento demográfico en México (INEGI, 2010) demandara acciones de vivienda, sumando al déficit actual, lo que también evidencia políticas de vivienda que han empleado mecanismos erróneos, que forzaron el crecimiento prematuro de las ciudades, obteniendo como resultado el incremento en el número de viviendas abandonadas. El Coneval menciona que existen 5 millones de viviendas deshabitadas en México y estima un déficit de 6 millones de acciones de vivienda. Y aunque el programa nacional de desarrollo (PND) 2018-2024 ha determinado que el bienestar social se logrará en parte desde la vivienda, aun es necesario cerrar brechas en el déficit habitacional. Se destacan los ejes políticos enfocados en desarrollar vivienda y lograr habitabilidad:

- Ejes Rectores de la Política Nacional de Vivienda 2018-2024
- Derechos humanos
- Uso de suelo, régimen de propiedad y asentamientos irregulares.
- Vivienda y Habitabilidad
- Riesgo y vulnerabilidad
- Movilidad y conectividad.
- Geografía del polígono

De la vivienda que se produce en México la autoproducción representa el 70 % (INEGI, 2015), pero incumplen en lo especificado por reglamentos de construcción, incrementando el riesgo ante siniestros por cambio climático, ya que no garantizan la calidad del sistema constructivo empleado. El resultado generalizado de la autoproducción de vivienda es inadecuadas interacciones con el medio y vulnerabilidad por cambio climático de más del 70% del stock de vivienda en el país. (INEGI, 2015)

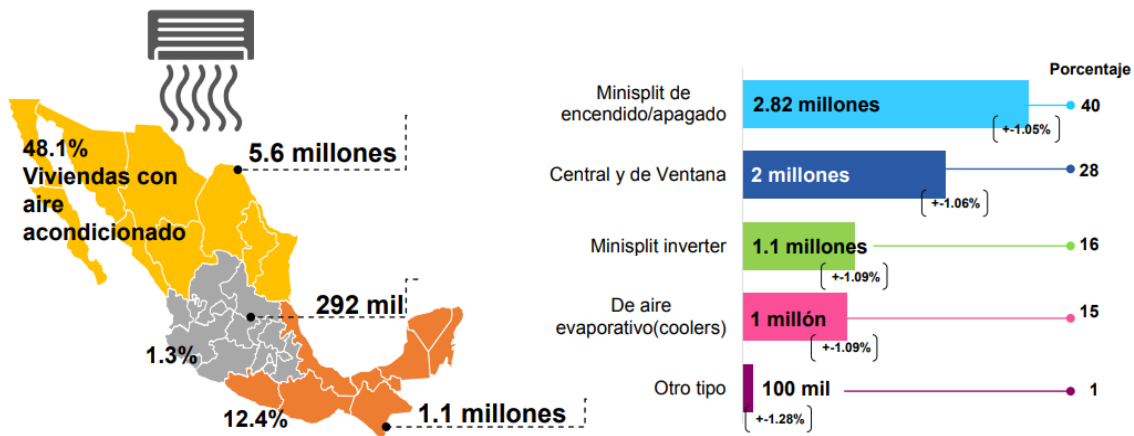
Tabla 1.-Adquisición de vivienda en México

• 70%	Recursos propios por no tener acceso a financiamiento
• 21%	Financiamiento del gobierno o instituciones paraestatales
• 5%	Financiamiento de instituciones bancarias
• 3%	Otra institución financiera
• 1%	Financiamiento familiar u otra persona

Referencia: INEGI, 2015

Por lo tanto, se reconoce que la manera en que se construye en México ha elevado el consumo energético del sector vivienda (FIDE, 2004) con las correspondientes consecuencias ambientales y sociales del proceso (Bazant, 2010) que no logra habitabilidad y si gastos económicos por la constante adecuación del espacio por parte de los usuarios en tratar de adaptar su vivienda para que estén en rangos de bienestar, generalmente invirtiendo en acondicionar el aire interior.

Imagen 2.- Número de equipos de aire acondicionado por región climática y Número de equipos de aire acondicionado en uso en viviendas particulares habitadas y su distribución porcentual por tipo de equipo de aire acondicionado



Referencia: INEGI. Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares 2018

El uso de climatización activa implica utilizar energía que proviene de combustibles fósiles, que representa el 85% (OEM, 2013) del cual el sector vivienda produce el 32% de las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) lo que implica el 16.2% del consumo total de energía y el 26% del total de electricidad (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2014) De lo cual se estima que el 80% del impacto ambiental que provoca el ciclo de la vivienda, se produce durante el tiempo de vida útil del inmueble. (Graedel T., s/f).

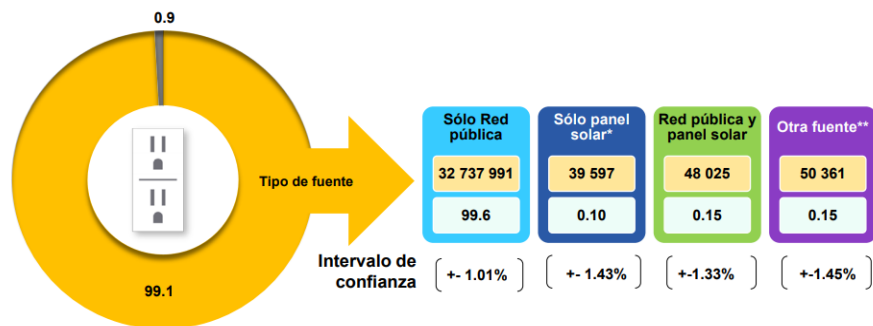
ÁREA DE OPORTUNIDAD.

¿Por qué es importante analizar la relación que existe entre energía y vivienda social?

En el marco de la eficiencia energética y su aplicabilidad tecnológica en arquitectura se identifican buenas prácticas, pero resultan inviables para vivienda social. Porque se estima que el 33 % del total de viviendas localizadas en clima cálido en México no tienen la capacidad económica para adquirir un ventilador o aire acondicionado, lo cual hace vulnerable a los habitantes de enfermar por estar expuestos a condiciones de temperatura extrema en su vivienda, y esta situación de riesgo se va a incrementar a mediano y largo plazo por la influencia del cambio climático; porque existe relación entre las muertes por golpe de calor y la presencia de elevadas temperaturas. (WHO-WMO, 2012).

La influencia que tienen las condiciones físicas de la vivienda para influir en la vulnerabilidad de los habitantes es consecuencia (McMichael, et al. 2003) de los materiales con los que se construye la envolvente de vivienda social. Lo anterior se relaciona con el concepto pobreza energética que destaca las desigualdades económicas de los habitantes para lograr habitabilidad por medio de satisfacer necesidades básicas, entre estas la adecuación de la vivienda a condiciones de bienestar. Por lo tanto, la relación que existe entre energía y temperatura exhibe que reducir la pobreza energética influye en la mitigación del cambio climático, tomando como caso de estudio la capacidad térmica de los materiales que configuran la envolvente de vivienda.

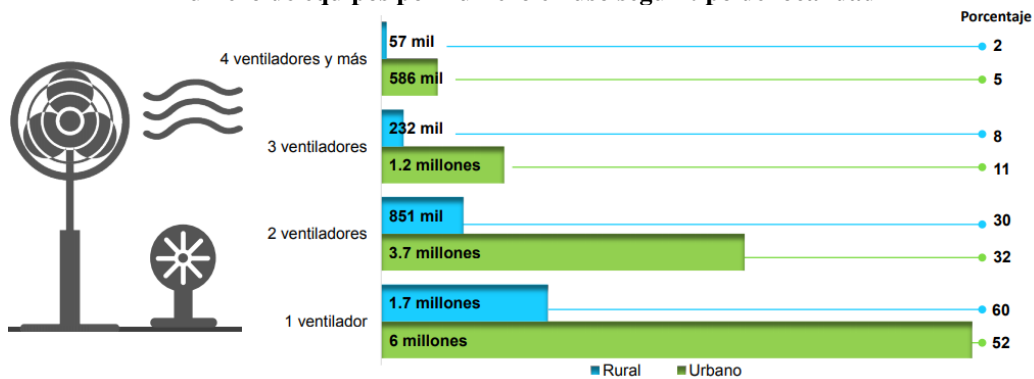
Imagen 3.- Distribución porcentual de viviendas particulares habitadas por condición de disponibilidad de energía eléctrica, y viviendas habitadas con energía eléctrica y su distribución según tipo de fuente



Referencia: INEGI. Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares 2018

La energía eléctrica es un bien final indispensable y 99% de las viviendas habitadas del país tienen electricidad y aunque se identifica la incursión de fuentes alternativas de fuente solar (exclusiva) y de sistema bidireccional o híbrida (solar y de red pública) aún no es un porcentaje de significancia y se requiere que el modelo de vivienda consiga ahorro energético ya que la producción de energía aun resulta de fuentes no renovables. Además, existe un desequilibrio entre la zona urbana y rural en el país por el uso de la energía eléctrica y equipos de climatización y ventiladores lo que significa que las viviendas en zonas cálidas y rurales son más vulnerables ante las características físicas de su vivienda y como esta se relaciona con el medio.

Imagen 4.- Distribución porcentual del número de ventiladores en uso en viviendas particulares habitadas y número de equipos por número en uso según tipo de localidad



Referencia: INEGI. Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares 2018.

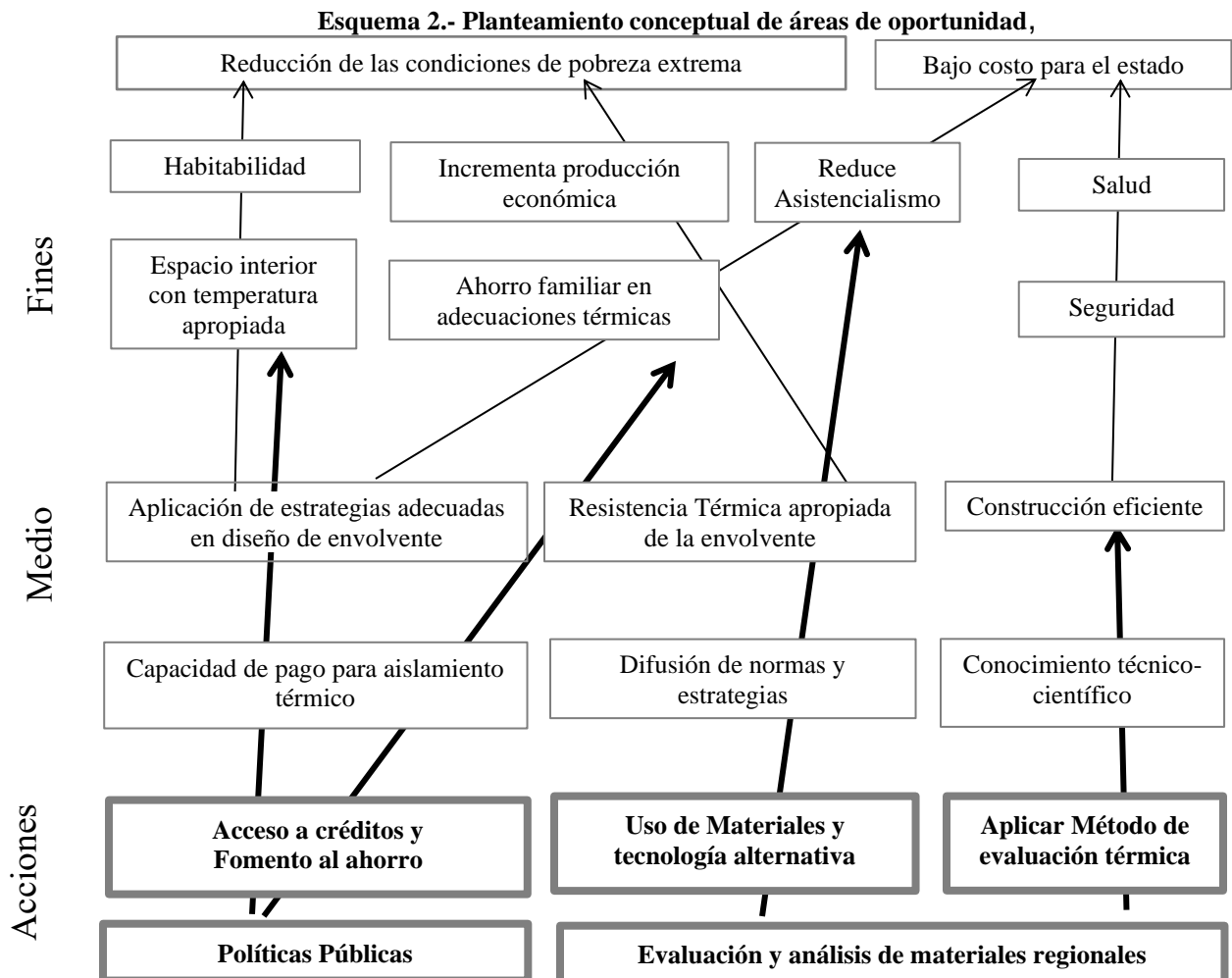
HIPÓTESIS

Los materiales regionales con bajos valores de conductividad térmica pueden ser utilizados en sistemas constructivos alternativos y mediante su correcta implementación en la envolvente de vivienda social se puede reducir el flujo térmico para establecer rangos de temperatura apropiados, (menos de 31°C) con el fin de reducir espacios ineficientes energéticamente generados por materiales convencionales.

OBJETIVOS

Reducir Transferencia Térmica en cubiertas de vivienda social en clima cálido subhúmedo para mejorar temperatura del espacio interior valorando obtener rangos de resistencia térmica avalados por la NMX-C-460-ONNCCE.

- Identificar conductividad térmica de materiales y comparar su capacidad de aislamiento térmico en muros y cubiertas. 0
- Evaluar materiales alternativos por resistencia térmica en un sistema constructivo y comparar cumplimiento para ahorro energético según la NMX-C-460-ONNCCE.
- Valorar resultados de conductividad de materiales por análisis de propiedades térmicas dinámicas.
- Diseñar componente y evaluar en un módulo experimental la reducción del flujo térmico.





MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

“Los materiales naturales –piedra, ladrillo, madera- permiten que nuestra vista penetre en sus superficies y nos capacitan para que nos convenzamos de la veracidad de la materia. Los materiales naturales expresan su edad e historia, al igual que la historia de sus orígenes y la del uso humano. Toda materia existe en el continuo del tiempo; la pátina del desgaste añade la enriquecedora experiencia del tiempo a los materiales de construcción.”

MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

En términos metodológicos el proceso fue cuantitativo por el uso de datos e información falible y cualitativa por la valoración del conocimiento adquirido en función de una investigación factible. Se utilizaron fichas bibliográficas, análisis de casos, simulación numérica y evaluación térmica en una línea de tiempo periódica y de sentido bidireccional, dándole un carácter perfectible.

El origen de la investigación fue por el área de interés, definida en analizar las propiedades térmicas y su pertinencia en la selección de materiales, lo que permitió desarrollar el planteamiento del problema. Se delimitó el universo de estudio por medio de un marco lógico. El desarrollo del área de oportunidad se estructuró adaptando un análisis inicial contrastado contra una situación ideal, lo cual permitió desarrollar el cuerpo de la investigación. Concluyendo bajo un método sintético de análisis de la información conseguida y de los resultados obtenidos. La investigación se dividió en tres etapas definidas por la (1) identificación del problema, (2) desarrollo de la investigación y (3) conclusiones.

Esquema 3.-. Guía del proceso de investigación Proceso metodológico



PRIMERA ETAPA

- **Marco Lógico**

Identificación del problema			
Área de interés	Contexto	Causa / efecto	Estructurar conceptos

SEGUNDA ETAPA

- **Aplicación de la Metodología Castañeda (2005)**

1.-Situación inicial		2.-Situación Idealizada	
3.-Confrontación de la situación ideal y la inicial			
4.- Objetivos pretendidos			
	5.- Concebir alternativas		
	6.- Consecuencias por alternativas.		
		7.- Valoración de consecuencias	
8.- Elección de alternativas			

TERCERA ETAPA

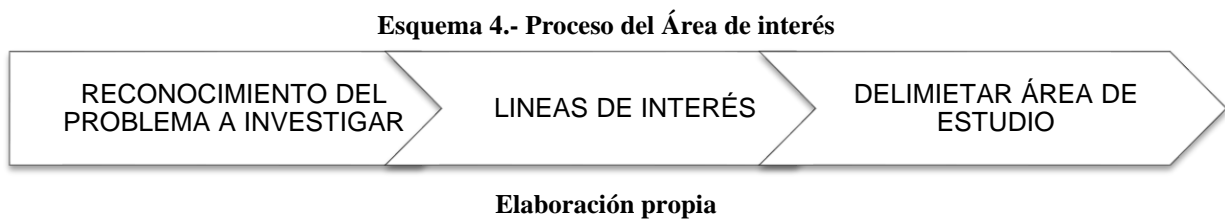
- **Método Sintético**

Discusión de resultados	Conocimiento adquirido y líneas de investigación
Conclusiones	

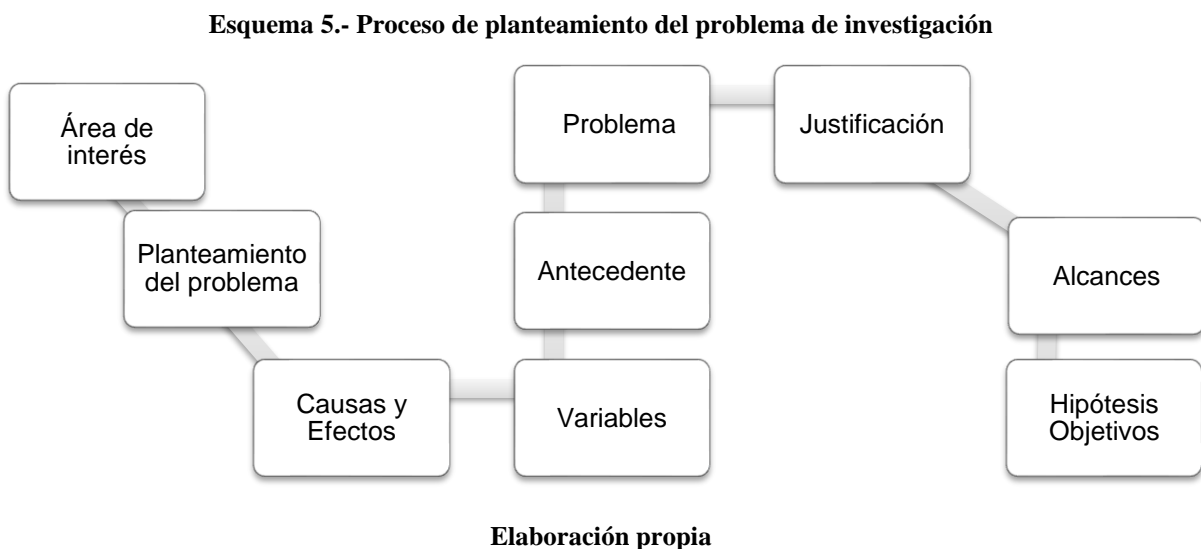
Elaboración propia.

Descripción

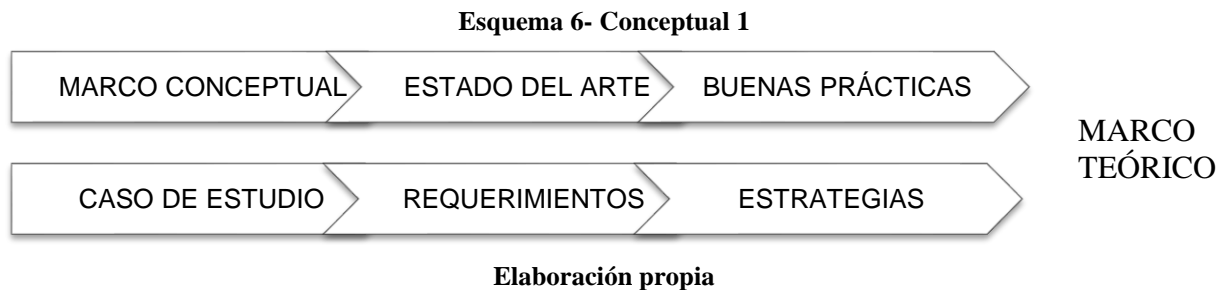
Se planteó el área de interés y se identificó líneas de investigación de temas relacionados, analizando conceptos enmarcados en el planteamiento del problema de investigación. Se clasificó en causas y efectos. Lo anterior determinó antecedentes, el planteamiento del problema y la justificación. Se formuló la hipótesis en función de información y cuestionamientos sobre la viabilidad de solución del problema planteado y la posible aportación al estado del conocimiento, para dar paso al análisis de conceptos que estructuraron la investigación: situación inicial y situación ideal.



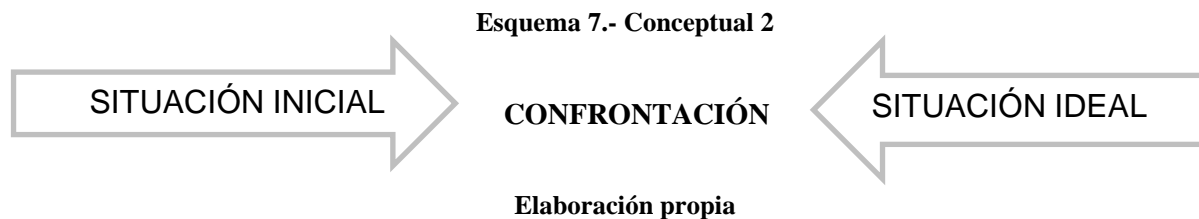
Se confrontaron los alcances y conceptos para validar la investigación. Se determinó por causas y efectos el entendimiento del problema y se abordó desde el diagnóstico del caso de estudio, permitiendo el reconocimiento de los requerimientos, discusión de alcances y definición de objetivos.



Definido el objetivo, se estructuró el marco conceptual en sentido bidireccional en la línea de tiempo con ideas claves fundamentadas en el análisis del estado del arte, la conceptualización determinó el orden de análisis, delimitando de esta manera la investigación. Se analizaron conceptos planteados en los antecedentes, buscando lo que del problema se entiende, lo que se teoriza, normas y buenas prácticas; lo que en conjunto definió el marco teórico, del cual, se retoman los conocimientos evaluados para el establecimiento de Estrategias.



La situación ideal se confronta con la situación inicial para definir el mejoramiento de las circunstancias de inicio, por entendimiento de las capacidades reales existentes. Ajustando objetivos y alcances. Para fines del documento los objetivos se escriben junto con la hipótesis después del planteamiento del problema.



De este punto se profundizó en la búsqueda del manejo de probetas y pruebas experimentales para definir el proceso del manejo de la muestra productora de información, por medio del proceso de identificación del parámetro de comparación. Se reconoció la temperatura superficial interior de la envolvente (TSI) como variable dependiente y se estableció como variable independiente la temperatura máxima superficial de la piel (TSP) haciendo la comparación con la Temperatura Neutral (TN) obtenida del caso de análisis. El universo de estudio se acoto por el interés en la envolvente de vivienda, seleccionando la población, en la envolvente térmica.

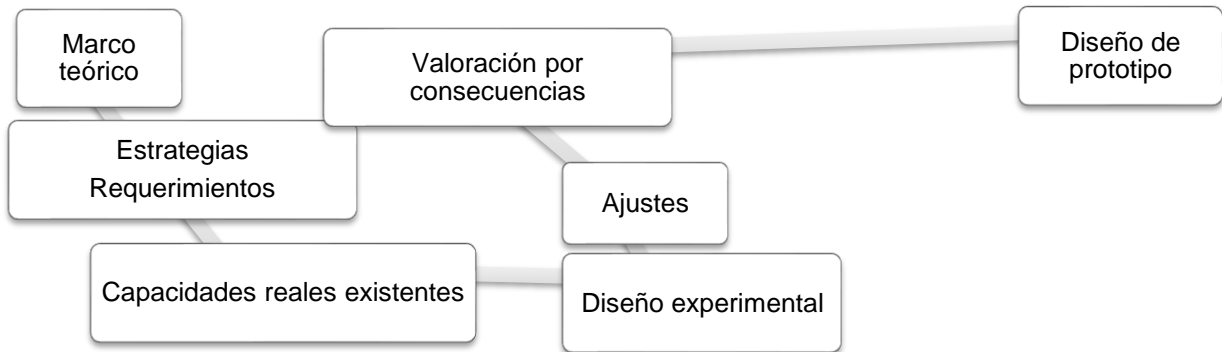
Se determinó la muestra por el comportamiento térmico de los materiales empleados en la configuración, participando los materiales para construcción de uso común en la región, clasificados por sus propiedades térmicas. Lo anterior bajo un proceso no probabilístico, enfocándose a los materiales constructivos e identificando su procedencia de manera cualitativa, reconociendo sus características térmicas; en función de datos cuantitativos referenciados de fuentes primarias.

Esquema 8.- Proceso de identificación de variables y selección de muestra.

I.	Problema	Ineficiencia Térmica en la envolvente de vivienda social en clima cálido subhúmedo	
II.	Variables	a.-Dependiente	c.-Identificar parámetro de comparación
		Temperatura superficial interior (TSI)	Temperatura máxima superficial de la piel (TSP)
		b.-Independiente	Temperatura Neutral (TN)
III.	Definición literal del problema	Ineficiencia energética de los materiales de construcción convencionales que configuran techos de la vivienda social bajo indicadores de desempeño térmico	
IV.	Selección del universo	Envolvente de vivienda social	
V.	Determinar población con acceso	Cubiertas en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas	
VI.	Selección de la muestra	Comportamiento térmico de los materiales	
VII.	Muestra participante	Propiedades térmicas de Materiales	
VIII.	Muestra productora	Comparaciones dinámicas de características térmicas de materiales constructivos representativos de la región	
Elaboración propia			

Para dar paso al proceso de diseño del prototipo y proponer para su aplicación útil se recurrió al análisis de la fase experimental que fue en dos tiempos la primera analizó propiedades térmicas de la muestra, la segunda diseño configuraciones y evaluó el dispositivo tecnológico. En ambos procesos se discutió en relación con resultados; permitiendo la valoración y ajustes por consecuencias.

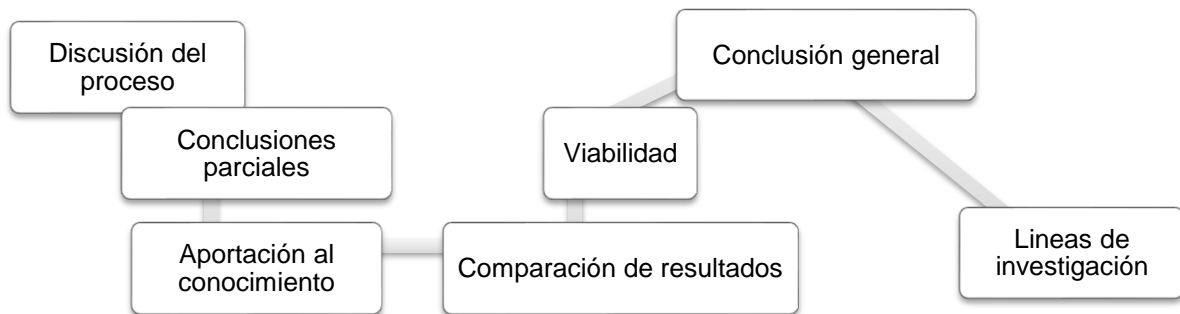
Esquema 9.- Proceso del apartado experimental



Elaboración propia

Se discute el proceso general de manera analítica, al descomponer el proceso por sus partes y emitiendo conclusiones por apartado y determinar la aportación del documento al conocimiento universal. Se identifica el método como replicable para poder comparar resultados y determinar líneas de conocimiento para profundizar en el desarrollo de la investigación, enfocados en evaluar la viabilidad social, ambiental y económica de la propuesta. Se establece la conclusión general y líneas de investigación.

Esquema 10.- Proceso del apartado conclusiones



Elaboración propia



Capitulo uno.

La vivienda **social** como el componente central
de la **construcción** de ciudades
sustentables

“Parece claro que superar la pobreza y mejorar los niveles de desarrollo humano de la población en el mundo es una meta que tendrá que ir acompañada con el aumento en el consumo de energía per cápita” Dr. Rigoberto García en el documento “Pobreza Energética en América Latina” presentado en 2014 ante la CEPAL.

La vivienda históricamente ha determinado su forma y función a las condicionantes y componentes del sitio; donde ocurre una adaptación progresiva del objeto y del espacio a los requerimientos del clima, cultura y geografía con el fin de brindar seguridad y descanso a sus habitantes. La construcción de la vivienda ha estado relacionada con los recursos locales, capacidad tecnológica y cosmovisión, es por ello por lo que actualmente se reconocen diferentes tipologías de vivienda por zona geográfica, las cuales se analizan desde varios enfoques. En el marco de la arquitectura la vivienda se aborda por el diseño de un proyecto que brinde seguridad, que garantice una adecuada distribución espacial, un valor formal en apego a estándares, códigos y normas constructivas para una región en particular, además de que ha cobrado importancia el discurso sustentable, que ha introducido en la arquitectura, la evaluación energética de las viviendas, para determinar su óptimo funcionamiento. Investigaciones de materiales utilizados históricamente en la construcción de vivienda han demostrado que la envolvente fungía como un regulador del flujo de calor de manera pasiva, generando así, temperaturas de bienestar en el espacio interior. Generalmente los recursos empleados en la construcción de envolvente de vivienda han sido tierra, madera, piedra, pieles de animales, fibras naturales, tejidos, telas entre otros. Sin embargo, la mayoría de estos materiales son considerados alternativos en la construcción contemporánea y se ha sesgado su aplicación actual para dar paso a los materiales industrializados, los cuales han sustituido a los recursos regionales en la construcción de vivienda. Por ello el modelo constructivo de vivienda ha ido modificándose y con ello el desempeño térmico del espacio interior.

Vivienda y eficiencia.

De manera general el concepto de vivienda eficiente apunta a la optimización de recursos para lograr satisfacer las necesidades de un proyecto arquitectónico y se acota en diseños enfocados a viviendas que usen racionalmente la energía por emplear estrategias de valoración térmica en la envolvente como lo aplican actualmente el estándar de la casa pasiva y el de la edificación cero energía. Ambas son de carácter internacional y se caracterizan por optimizar el uso de la energía en la vida útil de la vivienda, para lo cual se emplean estrategias como con materiales aislantes. La discusión se plantea en el hecho de que los materiales aislantes empleados por los estándares tienen una elevada energía incorporada lo cual eleva su costo monetario y llevan implícito en su proceso de elaboración el impacto en el medio ambiente, lo cual conlleva al proyectista la decisión de uso por medio del análisis del costo inicial de construcción contra los beneficios a mediano y largo

plazo. Pero para contextos de escasez económica y clima cálido subhúmedo se deben adecuar las estrategias, porque el elevado precio económico y ambiental, no los hacen recursos accesibles en la región. Los materiales regionales aplicados a la vivienda tienen una interacción apropiada con su medio, pero para el uso en la construcción contemporánea no cumplen con estándares ni normas que se norman para la producción de vivienda. En el contexto de políticas habitacionales los materiales regionales no son permitidos para promover acciones de vivienda y sin embargo son y han sido ampliamente usados en la autoconstrucción, aunque bajo desconocimiento del proceso técnico constructivo. En el ámbito de la construcción de vivienda los recursos económicos son escasos para la mayor parte de la población, por lo que los materiales alternativos comunes de la región son un potencial recurso. (López 2014)

Análisis de materiales para su aplicabilidad en vivienda

En el análisis de las propiedades de los materiales existe un área de oportunidad para el arquitecto de reducir los impactos negativos (Riechmann, 2006) provocados por la construcción de vivienda. Por estas razones actualmente existen criterios que los materiales deben poseer para ser considerados materiales ambientalmente responsables y validar su desempeño ante solicitudes puntuales.

Tabla 2.- Criterios de diseño para seleccionar materiales

<ul style="list-style-type: none"> • Materiales locales • Materiales reutilizables • Materiales durables 	<ul style="list-style-type: none"> • Materiales renovables • Energía incorporada en los materiales • Efecto isla de calor • LCA (<i>Life Cycle Assesment</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> • Reciclaje de materiales • Contaminación de ecosistemas • Características térmicas • Materiales de fácil mantenimiento
---	---	--

Fuente. -Rocha-Tamayo, 2011

Con los conceptos anteriores se puede valorar la elección de un material de construcción con el fin de realizar buenas prácticas en la arquitectura. Cada uno asume posturas diferentes bajo datos cuantitativos que proporcionan información para decisiones cualitativas en función del entorno de trabajo. La selección de los materiales termoaislantes para una edificación sustentable debe considerar factores climáticos, la zona geográfica considerando la ganancia térmica de la envolvente por orientación y también el conocimiento técnico y normativo son parte fundamental del proceso, poniendo especial atención en los retos tecnológicos y económicos que implican el hacer factible un adecuado desempeño térmico de la envolvente.

Tabla 3.- Instituciones de mediciones, evaluaciones y certificaciones de los materiales, insumos y productos de la construcción

• <i>Forest Stewardship Council FSC</i>	Cadena de producción de la madera
• <i>Green Seal</i>	Estándares de la vida útil de los productos, servicios y compañías
• <i>Energy Star</i>	Consumo de energía de equipos eléctricos
• <i>Green Spec</i>	Evalúa productos y materiales de construcción
• <i>ASTM American Society for Testing and Materials</i>	Procesos industriales, materiales y productos para la construcción
• <i>NIST National Institute of Standards and Technology</i>	
• <i>ANSI American National Standard Institute</i>	

Elaboración propia con información de Rocha-Tamayo, 2011

La búsqueda de alternativas apunta a la utilización de materiales regionales de origen natural para configurar viviendas, ya que cumplen con criterios de baja energía incorporada, propiedades físicas adecuadas y son de bajo costo dependiendo de su disponibilidad en la región. Son considerados amigables con el medio, ya que por su origen y composición afectan menos que los materiales industriales al ambiente, además han sido utilizados históricamente por el hombre. El coeficiente de energía incorporada es un indicador en los materiales de construcción para comparar la cantidad de energía que conlleva su puesta en obra.

Tabla 4.- Coeficientes de energía incorporada de materiales de construcción

Material	MJ/m ³	Material	MJ/m ³
Paja	30.50	Acero reciclado	37,210
Agregados de río	36.00	Vidrio endurecido	37,550
Agregados de cantera	63.00	Vidrio laminado	41,080
Arena	232	Poliuretano	44,400
Adobe, estabilizado con bituminosa	490	Polipropileno	57,600
Adobe, estabilizado con cemento	710	Caucho de látex natural	62,100
Bloque de tierra comprimida	810	Vidrio endurecido	66,020
Piedra local	2030	Acero reciclado, reforzado, seccionado	69,790
Poliestireno expandido	2340	PVC	93,620
Concreto, 40 MPA	3,890	Pisos de vinilo	105,990
Ladrillo cerámico	5170	Pinturas con base en agua	115,000
Teja cerámica	5250	Aluminio reciclado, extruido y anodizado	115,830
Madera contrachapada	5720	Caucho sintético	118,800
Asfalto	7,140	Pinturas con base en solventes	127,500
MDF	8,330	Linóleo	150,930
Fibro-cemento	13,550	Acero estructural	274,570
Ladrillo cerámico vitrificado	14,760	Zinc	371,280
Cemento	15,210	Aluminio, extruido, anodizado	612,900
Aluminio reciclado	21,870	Cobre	631,164
Papel	33,670		

Fuente: Victoria University of Wellington (s/año)

El análisis energético de materiales hace distinción entre los componentes del sistema constructivo, identifica la naturaleza física de la materia, la geometría de diseño (relación forma-orientación), durabilidad y eficiencia de sistemas. Y es notorio como las fibras naturales resultan ser un recurso neutro para el análisis de energía incorporada, en relación con el agua (0.050 Mj), áridos (0.100 Mj) o incluso la madera (2.10 Mj) en comparación con el cemento (4.360 Mj)

Tabla 5.-Materiales genéricos en vivienda social y coste energético por kg

	Material	Mj	Kwwh
1	Resinas (impermeabilizante)	110.000	30.560
2	Asfaltos	55.280	15.360
3	Acero	35.000	9.720
4	Pintura	24.700	6.860
5	Diésel	10.100	2.805
6	Cemento	4.360	1.211
7	Cal	3.430	0.953
8	Cerámica	2.321	0.645
9	Madera	2.100	.0583
10	Áridos	0.100	0.028
11	Agua	0.050	0.014
12	Fibras naturales	Neutro	Neutro

Fuente: Chuchi A, et al 2007

Materiales alternativos

Construir con materiales naturales conlleva por su origen, aplicación y propiedades un menor gasto de energía que la utilizada por la industria en los materiales de venta en el mercado de la construcción, por tanto, si el recurso es de origen natural además de representar una alternativa resulta en un potencial recurso sostenible por el bajo costo de producción y capacidad de reutilización, además de su bajo impacto ambiental. La evaluación de materiales de origen natural como arcillas, madera o fibras naturales por si solos a denotado capacidades sobresalientes en aspectos energéticos y térmicos.

Los materiales naturales han respondido a la necesidad de resguardo del hábitat humano, protegiéndolo del ambiente exterior porque se adaptan a las condiciones locales, sin embargo, su aplicabilidad en construcción se limita por normativas e información técnica, restringiendo su validación en construcción. Se requiere análisis de sus propiedades para desarrollar datos técnicos que fomenten su uso.

Tierra cruda

La tierra cruda es un material que se localiza casi en cualquier superficie del planeta y ha cobrado importancia debido a que clasifica como materia prima sostenible, al resultar de adquisición económica, cuando se extrae en el sitio, y es amigable con el medio ambiente por su nula emisión de contaminantes. Aunque la percepción de la tierra como material de construcción se asocia con pobreza, suciedad y alto mantenimiento periódico, pero investigaciones y buenas prácticas, han demostrado su potencialidad como material de construcción. El reto actual es validar el uso de la tierra en la construcción de viviendas, haciéndola compatible con los estándares constructivos de la construcción contemporánea. Para su uso en construcción debe poseer bajo contenido de materia orgánica que pueda modificar el volumen del material por acción del agua, que su composición contenga arena, limo y arcilla, que permitan su cohesión y estabilidad, con una proporción aproximada de 0-15% grava, 40-65% arena, 18-35% limos y 15-20% de arcilla, determinada por medio de ensayos de granulometría, plasticidad, cohesión o límite líquido.

La tierra como sistema constructivo es compatible con el uso de la madera, fibras vegetales, la piedra, los polímeros naturales o la cal y se puede diseñar a conveniencia de los requerimientos y recursos locales. E incluso, cuando la tierra no cumple con las propiedades requeridas, se recurre a estrategias de estabilización para aprovechar el recurso local y reducir costos en producción. Pero hay que considerar que es un material no estandarizado, ya que su composición varía según la región. Una de las características por las cuales resulta un material útil es su plasticidad, que permite moldearlo en diversas formas, al ser poroso, tiene la capacidad de absorber la humedad del ambiente y expulsar humedad al aire, generando equilibrio de humedad en el interior, sin embargo, debido a sus características permeables debe ser protegido del exceso de humedad y de la erosión para evitar desprendimientos o daños en la estructura del sistema constructivo. (Sampedro, 2005)

Al aplicar tierra en un sistema constructivo masivo se obtiene inercia térmica, lo cual permite el control de las temperaturas al interior, definiendo el material como apto para amortiguamiento y retardo del flujo térmico. Además, es de carácter reciclable en su estado crudo y puede ser reutilizado bajo estrategias adecuadas. Características que deben de considerarse al trabajar con tierra son también conocer la capacidad de absorber contaminantes (CO₂), su capilaridad que permite mantener secos a los elementos de madera con los que mantiene contacto. (Barbeta, 2002)

Para estabilizar la tierra se utiliza cal logrando así, incrementar la resistencia a esfuerzos a compresión y cortante, también se reduce la absorción de agua, sin modificar la porosidad, ni adherencia. Para controlar el efecto de retracción-contracción y dilatación durante el fraguado se utilizan fibras que generan adherencia, por la formación de redes con la tierra y así evitar en lo posible la aparición de fisuras; mejorando el comportamiento de la estructura de la tierra a flexión. Para controlar el efecto de desgaste que provoca el agua por capilaridad y lluvia se requiere de impermeabilización para regular el paso de agua y evitar la expansión de las arcillas; se utilizan grasas en la cantidad adecuada, ya sea de origen natural, animal o fósil, siempre que no afecten el comportamiento de la mezcla al aplicar una capa sobre esta (Minke, 2014).

Trabajar con la adición de algún componente permite optimizar alguna propiedad en el producto, como puede ser: mayor plasticidad, permeabilidad al vapor de agua, resistencia frente a la humedad, limitar la retracción o mejorar la adherencia al soporte. (Minke, 2014) Es por ello importante conocer la situación inicial del material y así determinar qué acción se debe realizar para mejorar su aplicación.

Tabla 6.-Aditivos para morteros de arcilla

Productos	Tipo	Base	Revoco	Enlucido
Cal	Hidráulica		Estabilizante	
	Natural	Puzolana		
Partículas	Material triturado y tamizado	Bolas de arcilla	Textura	
		Ladrillo cerámico		
		Piedra Pómez		
		Material de demolición		
		Paja cortada		
		Heno		
		Cáñamo		
		Aserrín		
		Viruta		
		Cascarilla de arroz		
Fibras	Naturales	Fibra de bambú	Refuerzo ante la retracción	Evitar fisuras en textura
		Fibra de coco		
		Fibra de sisal		
		Pulpa de papel periódico (celulosa)		
		Estiércol bobino		
Colorantes				
		Gluten vital de trigo		Adherencia
Fijadores		Silicato natural		Protección
		Siloxanos en base orgánica		Biocida

Retenedores de agua	Naturales	Jabón líquido neutro	Estética	
		Leche entera		
		Jabón con cal aérea		Impermeabilizar
		Caseína		
Plastificantes	Naturales	Aceite de linaza	Evitar fisuras	
		Mucilago de nopal		
		Engrudo		
	Químicos	Excremento vacuno		
		Resinas naturales		
Estabilizador artificial	Cemento	Emulsión asfáltica	Estabilizar	
		Resinas artificiales		
		Tipo I	Estabilizar Impermeabilizar	
Tipo II				

Referencia: Minke, 2014

Existen diferentes maneras de trabajar con la tierra y en cada una de ellas será necesario establecer los requerimientos del sitio, conocer el sistema y los recursos disponibles para que pueda ser utilizado de una manera eficiente en la construcción.

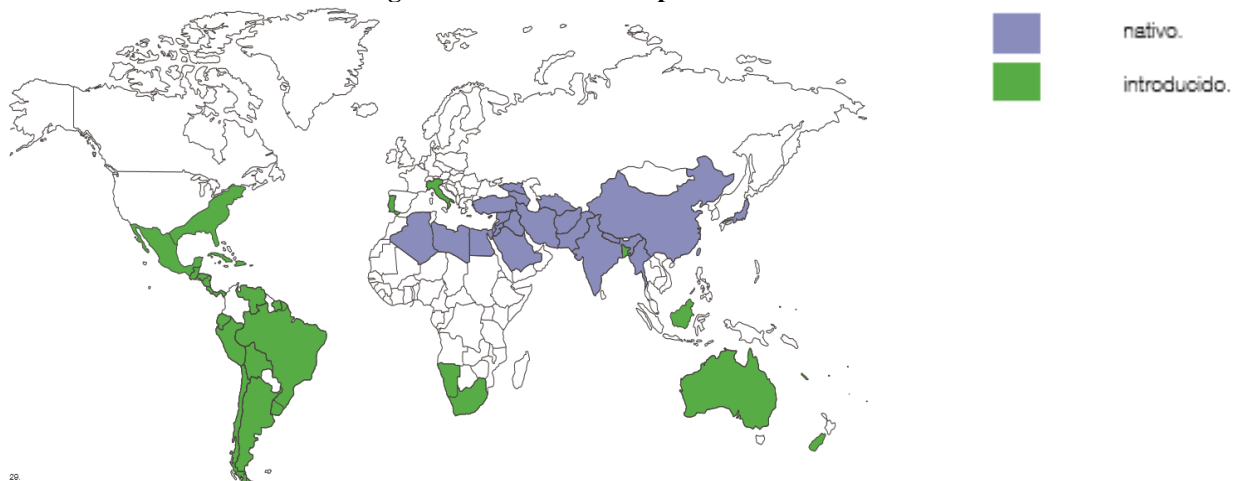
Tierra y fibras naturales (Bahareque)

Este sistema constructivo es también conocido en el medio con los nombres de bajareque, enjarre o embarrado y se compone de un esqueleto en material vegetal relleno con tierra. Los esfuerzos constructivos aplicados en estado plástico sobre la tierra son absorbidos por el esqueleto o estructura de pies derechos de madera que se empotran a la cimentación o al suelo natural, a la cual se le fijan travesaños de caña, pero de menor sección, con separaciones de entre cañas de 80 y 120 mm. Posteriormente se incorpora el tejido de varas, cañas, carrizos u otro, según su diámetro, se pueden entamar enteras o seccionadas en toda su longitud. Esta estructura es revestida por ambas caras con barro adicionado con fibras vegetales en dos o tres capas sucesivas de barro de espesor decreciente. (Minke, 2014) La compatibilidad de la tierra con las fibras y elementos de madera resulta en un componente versátil y económico que posee características constructivas sobresalientes, como la inercia térmica.

Carrizo (*Arundo donax*)

Es una planta perenne perteneciente a la familia de las Gramíneas que provienen de la familia Arundinoideae de la tribu llamada Arundíneae, se caracteriza por tener un sistema vascular que atrapa el aire en su interior al desecarse, lo que permite un efecto aislante, razón por la que se identifican para su análisis. Su tallo leñoso es hueco y duro y pueden alcanzar los 6 metros de altura y 4 cm de diámetro, con entrenudos. Sus hojas son afiladas en los márgenes y miden 5 cm de ancho y su largo oscila entre 30 y 60 cm. Las flores se encuentran en una panícula llegando a tener 1 m de largo. El carrizo crece de manera lateral entretejiendo sus raíces cuya capa de rizomas pueden alcanzar hasta 1m de espesor y logran una apariencia nudosa y espesa lo cual hace a esta especie apta para retener sedimentos con sus propios residuos, compactando el suelo hasta transformarlo en tierra firme, actuando como filtro purificador de agua. (Dudley, 1998) Se desarrollan en diferentes suelos, arenas, arcillas y también en gravas cuando hay presencia de humedad. (Dudley, 1998) Es una especie perenne que resiste en diversos climas, en modo silvestre, al extremo de ser agresiva en varios ecosistemas, por ello en algunos países el Arundo Donax es considerado una especie invasora y existen estrategias para controlar su crecimiento e incluso su erradicación. (Barreca, 2012) Según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, está incluida entre las 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo.

Imagen 5.-Zonas habitadas por Arundo Donax



Ha sido seleccionada como una de las principales especies herbáceas que mejor satisface la demanda de altos rendimientos en biomasa (Lewandowski et al., 2003) y ya que se encuentra en diferentes latitudes del planeta su aprovechamiento, hoy, va incrementando y se ha convertido en un recurso en la producción de pulpa, papel o como fuente de energía, como consecuencia de su escaso requerimiento de agroquímicos y su notoria capacidad de adaptación a una gran variedad de suelos además de que es de carácter renovable (Christou, 2001).

En el marco de la construcción se aplica desde que el hombre comenzó a buscar abrigo para satisfacer sus necesidades de alojamiento y protección del ambiente exterior, el Arundo Donax era de los materiales utilizados para construir refugios en diferentes regiones, (Narayanamurty & Wiener 1972) debido a que se localiza en casi todo el planeta ha tenido diferentes expresiones constructivas y cada comunidad lo aplico en relación a sus posibilidades y requerimientos (Bateman et al., 1990) para elaborar pisos, muros y cubiertas de vivienda (Lim, 2009) así como bio-combustible (Singh, B.P. (red.), 2013) y para el control de erosión en canales de drenaje (Abissy & Mandi, 1999).

Las construcciones elaboradas con Arundo Donax son consideradas como vernáculas y han caído en desuso en distintas regiones perdiéndose en muchos lugares el conocimiento constructivo, lo que ha motivado la investigación de este material para su uso en construcción en función de los requerimientos actuales de cada región (Lim, 2009). Es una opción viable porque es un recurso económico, abundante y no requiere herramienta especial para su uso, haciéndolo ideal para regiones en vías de desarrollo. (Woolley, 2006) Sus propiedades mecánicas y térmicas son aptas para control de temperatura en climas cálidos y húmedos. Sin embargo, al ser de origen natural es un material heterogéneo, anisotrópico y que es susceptible al ataque de insectos, hongos y al fuego (Elizabeth & Adams (red.), 2005)

Tabla 7.-Propiedades físicas y mecánicas para tallos de 4cm

Propiedades	Valores
Densidad	2,295.00 Nm-3
Resistencia a la tracción	32.17x104 N m-2
Resistencia a la flexión	130.00x104 N m-2
Resistencia a la compresión	66.50x104 N m-2
Conductividad térmica valor K	0.063 m-1 K-1

Referencia: Esteves et al., 2003, Soliman, 2009

Viabilidad: Rastrojos de maíz y reducción de impacto ambiental.

El maíz (*Zea mays L.*) es de los principales cultivos del mundo y puede ser cosechado en diversidad de ambientes, es de carácter versátil y una diversidad de usos. México es el hogar ancestral del maíz, está presente en todos los estados, climas y altitudes. (Fournier, GP. 1996) Tiene valores culturales, simbólicos y espirituales (CECNA 2004) definiéndolo como elemento de significado en la población mexicana. Se identificó el residuo agrícola del maíz (rastrojo), como muestra productora de información para esta investigación, por su versatilidad de uso y presencia en el territorio nacional. Actualmente no tiene un uso generalizado y es identificado como residuo agrícola, el cual, por medio de la quema, es eliminado, para reducir el volumen del producto. (P.M. Lemieux et al 2004) Los residuos agropecuarios (rastrojos) tienen potencial de uso y sin embargo no existe una planeación generalizada para su manejo en el país.

El maíz blanco es el principal productor de residuos y México es el principal productor. La superficie cosechada promedio es de 7.5 millones de hectáreas de maíz, 83% es de tipo temporal y 17% de riego.

Chiapas es el segundo productor con el 13.4 % y como el principal generador de residuos agrícolas por cultivo de maíz blanco. (SEDATU 2014) Se requiere valoración de manera cíclica de los residuos del maíz blanco. (OECD 2001) Y considerando que la demanda de alimentos se intensificará por el crecimiento poblacional, en contraste con la expansión de la tierra cultivable y la utilización del recurso agrícola para uso no alimentario.

La aplicación tecnológica será fundamental para hacer frente a los retos asumidos en energía, sustentabilidad y cambio climático. En el análisis del rastrojo del maíz blanco encontramos un área de oportunidad, para construcción en el marco del desempeño térmico de dispositivos para techo de vivienda social.



“Es común hablar de arquitectura y nombrar conceptos, componer formas y distribuir funcionalmente los requerimientos espaciales, sin embargo, que tanto sabemos sobre el desempeño, que tanto conocemos los materiales con que trabajamos.”

Capitulo dos. Situación ideal



En este apartado se planteó una conceptualización idealizada de lo que se entiende debería ser una vivienda con adecuado desempeño energético, comenzando por la definición legal y los tipos de adquisición; para después, describir estándares constructivos considerados como buenas prácticas en eficiencia energética y definir lo que en esta investigación es una vivienda eficiente energéticamente. Se planteó la relación entre eficiencia energética y arquitectura para la concepción de un proyecto de vivienda sustentable. Se entiende lo idealizado como aquello que es deseable por cumplir dentro de un marco legal y normativo. Discutiendo en este apartado que existe un acercamiento a la eficiencia energética por el sencillo seguimiento y cumplimiento de reglamentos constructivos y adaptación a una región específica de estándares de diseño de calidad.

Vivienda Digna y Decorosa

En un marco legal internacional la vivienda es el espacio al que todo ser humano debe tener acceso, en México, la constitución hace explícito el derecho de todo mexicano a tener vivienda, estableciendo los procedimientos para su adquisición, ya sea por medio de crédito (en función de la percepción salarial que debe ser de cinco salarios mínimos, HIC, 2017) o por medio de subsidios (que en 2015 fueron de 201,223 acciones en todo el país, INEGI, 2014b). Pero, aun así, la realidad de la vivienda en el país exhibe un déficit, ya que más de la mitad de la población tiene bajo poder adquisitivo incumpliendo en los requisitos para financiamiento. (MEC 2016 del MCS-ENIGH) La búsqueda de solucionar el requerimiento de un lugar para vivir ha determinado la dinámica de la producción social de la vivienda. El proceso de autoproducción de la vivienda representaba el 64.2% del stock total del país en 2014 (INEGI, 2014b) y sigue incrementando según lo reportado en 2015 por el INEGI. Esta dinámica de producción de vivienda incumple en lo que para el Estado mexicano se define como vivienda digna y decorosa y espacio habitable.

Tabla 8.- La constitución en México en su artículo 4° constitucional y en la Ley de Vivienda se define lo que es una vivienda digna y decorosa y espacio habitable.

Vivienda digna y decorosa	Espacio habitable
<i>... a que cumpla con las disposiciones jurídicas aplicables en materia de asentamientos humanos y construcción, salubridad, cuente con espacios habitables y auxiliares, así como con los servicios básicos y brinde a sus ocupantes seguridad jurídica en cuanto a su propiedad o legítima posesión, y contemple criterios para la prevención de desastres y la protección física de sus ocupantes ante los elementos naturales potencialmente agresivos</i>	<i>... el lugar de la vivienda donde se desarrollan actividades de reunión o descanso, que cuenten con las dimensiones mínimas de superficie, altura, ventilación e iluminación natural, además de contar como mínimo con un baño, cocina, estancia-comedor y dos recámaras, de conformidad con las características y condiciones mínimas necesarias que establezcan las leyes y las normas oficiales mexicanas</i>

Referencia: (Ley de Vivienda, 23 de junio de 2017, publicada en el Diario Oficial de la Federación).

Tomando en cuenta el concepto de vivienda y espacio habitable se define vivienda ideal para esta investigación al modelo espacial para habitar que sea económicamente viable y posible para todos los individuos, sin discriminar situación social, económica o ideológica; garantizando la calidad de los materiales portantes, la función, ubicación y un emplazamiento saludable con servicios e infraestructura y con las condiciones para desarrollar espacio higiénico y satisfactorio para sus habitantes. La vivienda por lo tanto es un sistema multidimensional de estructura física donde el individuo desarrolla funciones básicas y en el cual se aplican conocimientos de técnicas constructivas y de diseño. En la actualidad en México se utilizan instrumentos internacionales para validar el derecho a la vivienda sin embargo aún no resulta un derecho para todos.

Tabla 9.- Instrumentos internacionales que reconocen el derecho a la vivienda digna y decorosa ratificados por México

<ul style="list-style-type: none"> • Declaración Universal de Derechos Humanos (1948), artículo 25 • Convención sobre el Estatuto de los Refugiados (1951), artículo 21 • Convención Internacional sobre la Eliminación de todas las Formas de Discriminación Racial (1965), artículo 5° • Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos (1966), artículo 17 • Convención sobre la Eliminación de Todas las Formas de Discriminación contra la Mujer (1979), artículo 14 • Convención sobre los Derechos del Niño (1989), artículos 16 y 27 • Convención Internacional sobre la Protección de los Derechos de Todos los Trabajadores Migratorios y de sus Familiares (1990), artículo 43 1) d) • Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad (2006), artículos 9° y 28 • Convenio 117 de la Organización Internacional del Trabajo sobre política social (normas y objetivos básicos), artículo 5°
--

CONEVAL, 2018 en base en la información del Diario Oficial de la Federación

Aunque el Estado mexicano debe garantizar la posibilidad y viabilidad de que todo mexicano pueda tener vivienda, por ser un derecho humano y aunque para ello se han elaborado los instrumentos jurídicos que sientan las bases para acercar a la población, el derecho a la vivienda es todavía desarticulado en el país.

Esquema 11. - Obligaciones del Estado respecto de los derechos humanos



Referencia: CONEVAL con base en Abramovich y Curtis (2005) y Alza (2014)

Si bien la vivienda es un derecho la realidad dicta otra línea, pero la valoración de lo que debe ser una vivienda aún resulta subjetiva y es por ello por lo que al buscar indicadores para poder realizar una investigación falible se estudió el concepto de eficiencia energética y su relación con la arquitectura.

Eficiencia energética en Arquitectura

En arquitectura el concepto de eficiencia energética se plantea como una estrategia de cuantificación de flujos energéticos para poder establecer si las edificaciones cumplen con estándares constructivos y aplicar desde el proceso de concepción del proyecto una adecuada selección de procedimientos constructivos, con el fin de influir en la habitabilidad térmica de las edificaciones. Así hoy es posible cuantificar el progreso o retroceso térmico-energético de la práctica de la arquitectura.

Tabla 10.-Sistemas de calificación y certificación

Nombre	País de origen	Objetivo	Campo de aplicación
BREEAM (BRE Environmental Assessment Method)	Reino Unido	Fijar los mejores criterios de la práctica para el diseño de los edificios, así como sus servicios, operación y la gerencia	Antes y después del diseño de la edificación
LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)	EE. UU. El U. S. Consejo de Edificios Verdes (USGBC)	Desarrollar un estándar que mejore la actuación ambiental y económica de edificios comerciales usando principios de la industria, prácticas, los materiales y los estándares establecidos y / o avanzados.	LEED fue creado para los edificios comerciales. Sin embargo, muchos créditos de LEED se pueden aplicar a las instalaciones que brindan alojamiento tales como dormitorios, hoteles, moteles, clínicas de reposo, y otras instalaciones de EE.UU
Certivéa produce Haute qualité environnementale (HQE)	Francia	Otorgar un sello medioambiental a los edificios que cumplen con las mejores prácticas en términos de calidad medioambiental	La certificación se aplica a la mayoría de las edificaciones, a través del conjunto de su ciclo de vida.
Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen. (DGNB).	Alemania Ministerio Federal de Transportes, Construcción y Asuntos Urbanos	Certificar el medio ambiente, económicamente eficiente y de fácil uso	Normatividad de planeación, construcción y operación de las edificaciones.
QUALIDADE AMBIENTAL DO EDIFÍCIO (QAE).	Brazil Fundação Vanzolini	Representar en 14 categorías el desarrollo ambiental de un edificio	A la totalidad de edificaciones
Neerlandés Green Building Council (DGBC)	Holanda	Buscar la sustentabilidad a través de normas y etiquetas	Planificación, desarrollo, implementación y uso de los edificios
GREEN BUILDING CHALLENGE – GBC (GBTTool)	Internacional	Analizar los datos aportados por el inventario de un análisis del ciclo de vida estableciendo una serie de categorías de impacto medioambiental.	Planificación, construcción y uso de las edificaciones
Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency (CASBEE)	Japón	Aplicar cuatro instrumentos de evaluación correspondientes al ciclo de vida del edificio.	Está diseñado para acomodarse a una amplia gama de edificaciones (oficinas, escuelas, viviendas, etc.)
The National Home Energy Rating (NHER)	Reino Unido	Sistema de acreditación para evaluar la eficiencia energética de las viviendas	Eficiencia energética para viviendas nuevas, para edificios no residenciales y para edificios públicos.
GREEN STAR (GS)	Australia.	Orientar el proceso del diseño o la construcción sustentable durante la cual se recopila una presentación basada en la documentación como prueba de este logro.	Diversas edificaciones como oficinas, comercio, habitación etc.

Criterios e Indicadores para Desarrollos Habitacionales Sustentables (CONAVI)

Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables (PCES)

México	Se emplean los criterios de envolvente térmica, gas, energía eléctrica y aire acondicionado	Casas habitación de interés social.
Gobierno del Distrito Federal, México.	Transformar las edificaciones actuales y futuras bajo esquemas de sustentabilidad y eficiencia ambiental, promoviendo la salud humana, el cuidado de los recursos, la prosperidad económica.	Edificios nuevos o en desarrollo; y para edificios ya existentes o en uso.

Referencia: Ramírez, 2011 y Green Building Rating System, 2010

La tabla 10 muestra diferentes sistemas de evaluación y certificaciones internacionales identificando su origen, objetivo y campo de aplicación. Estos sistemas de calificación son estándares de cumplimiento por categorías, que promueven el acercamiento a la eficiencia energética, pero no son de carácter obligatorio. La tabla 11 contiene normas internacionales y nacionales de carácter obligatorio que debe ir acompañado de un adecuado análisis de los materiales, específicamente de su comportamiento térmico.

Tabla 11.- Normatividad internacional de carácter obligatorio

Nombre	País de origen	Objetivo	Campo de aplicación
NOM-018-ENER-1997	México Comisión Nacional para el Ahorro de Energía	Establecer los métodos de prueba para evaluar la conductividad o resistencia térmica, densidad aparente, permeabilidad al vapor de agua y adsorción de humedad que se indiquen en los materiales que se comercialicen en el país con propiedades de aislante térmico	Construcción de edificios
NOM-008-ENER-2001	México El Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos.	Mitigar la ganancia de calor de las edificaciones a través de su envolvente, esto con el objeto de racionalizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento	Construcción de edificios
NOM-007-ENER-2004	México El Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos.	Establecer niveles de eficiencia energética en términos de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado. Establecer el método de cálculo para la determinación de la Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) de los sistemas de alumbrado de edificios	Alumbrado para uso general de edificios no residenciales nuevos, ampliaciones y modificaciones de los ya existentes
IRAM 11659-2)	Argentina. La Subcomisión de Acondicionamiento Térmico de Edificios del Instituto Argentino de Normalización	Establecer valores admisibles de calidad térmica para edificios que requieran aire acondicionado	Todas las edificaciones
Código Técnico de la Edificación	Gobierno de España	Establecer reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de ahorro de energía para una edificación sustentable	Todas las edificaciones
International Green Construction Code (Código Internacional de Construcciones Ecológicas)	El Consejo Internacional de Códigos junto con ASTM y ICC	Enfocarse en la amplia gama de problemas de sustentabilidad, por medio de la definición de un conjunto mínimo de código	Planificación, desarrollo, implementación y uso de los edificios

Fuente: Ramírez, 2011 y Green Building Rating System, 2010

Existen casos de estudio que además aplican procesos de evaluación para reducir el consumo energético de las edificaciones y generar incluso la energía requerida para el funcionamiento, lo cual reduce el impacto negativo en el ambiente por generación de energía. Estos son denominados estándares constructivos de bajo consumo energético.

Estándares constructivos de bajo consumo energético.

El concepto de *Nearly Zero Energy Building (NZEB)* se ha utilizado internacionalmente como el ideal de diseño energético de edificaciones para reducir los gases efecto invernadero (GEI) y hoy su aplicación y estudio es aceptada como buena práctica en eficiencia energética, estableciéndose en varios países como estándar de los edificios y como estrategia para revertir la dependencia de fuentes energéticas no renovables. (Marszal et al 2011). Los principios generales utilizados para construir una edificación *NZEB* le da importancia a la eficiencia energética y al desempeño de la envolvente, estableciendo que el requerimiento de usar materiales aislantes es parte medular de los principios constructivos de una edificación.

Esquema 12.-Principios universales de un NZEB. (vivienda de consumo casi cero energía)

1.Reducción de la demanda	2.Eficiencia Energética	3. Envolvente de alto desempeño	4. Integración de Energías renovables
----------------------------------	-------------------------	---------------------------------	---------------------------------------

Según Agencia Internacional de Energía (IEA). Elaboración propia.

Otro procedimiento constructivo enfocado en la eficiencia energética para la vivienda es el estándar *Passivehause* (PH) que conceptualiza una capa continua de aislamiento para evitar el intercambio de temperatura entre el exterior y el interior y así poder controlar la oscilación de temperatura. El concepto casa pasiva se originó en contextos de baja temperatura, pero hoy se utiliza en climas de diferentes características, con el objetivo de conseguir viviendas eficientes.

La tabla 21 enlista los principios de la casa pasiva, la cual usa el aislamiento como medio para lograr envolventes de alto desempeño, que, sumando estrategias complementarias como orientación, forma y selección de materiales puede lograr resultados óptimos de habitabilidad y ahorros energéticos.

Tabla 12.-Conceptualización de la casa pasiva

Principios de la casa pasiva	Súper-aislamiento: envolvente térmica de alto desempeño	
	Eliminación de puentes térmicos por continuidad del aislamiento	
	Control de las infiltraciones. Renovación del aire.	
	Ventilación mecánica con recuperación de calor.	
	Ventanas y puertas con alto desempeño térmico	
	Optimización de las ganancias solares y del calor interior	
	Modelización energética de ganancias y pérdidas. Software PHPP	
Demanda energética		
Calefacción	15 Kw/m ² año	Certificación en cualquier clima por cumplimiento de principios
Refrigeración	15 Kw/m ² año	
Limite energía primaria	120 Kw/m ² año	

Elaboración propia. Con datos de Guía del estándar *Passivehouse*, 2011. .

Realizar el diagnóstico del contexto determina las necesidades que deben ser solventadas y este conocimiento da pie al planteamiento de estrategias, que, en función de la viabilidad económica y geográfica, da pauta a seleccionar la tecnología apropiada para la región y lograr diseñar elementos arquitectónicos eficientes. La tabla 22 muestra los elementos básicos para diseñar una casa pasiva por medio de la arquitectura y el análisis del clima.

Tabla 13.-Elementos básicos de la arquitectura para casa pasiva.

1.-CLIMA	2.-BIOLOGIA	3.-TECNOLOGIA	
CONDICIONANTES		COMPONENTES	ARQUITECTURA
DIAGNOSTICO DEL SITIO	REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO	ESTRATEGIAS DE DISEÑO	

Método de análisis. Fuente: elaboración propia adaptado de Olgyay,1998

Y aunque en México no es habitual utilizar capas de aislamiento en la construcción de vivienda, en la actualidad se ha reconocido el valor del control de temperaturas como medio para conseguir ahorros energéticos. Tanto el modelo del estándar constructivo *Passive House* (PH) como el modelo de vivienda de consumo nulo de energía (ZEB) son reconocidos internacionalmente por lograr bajos consumos energéticos de viviendas en diferentes climas, ambos aplican materiales con alta resistencia al flujo de calor en su envolvente, evitando así el intercambio térmico entre el espacio interior y exterior.



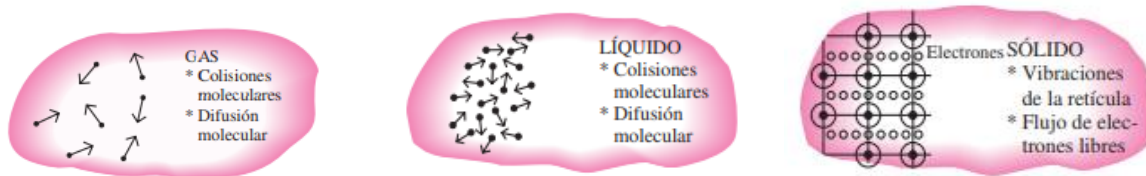
Capitulo tres. MARCO TEÓRICO

“No hay un desprecio por la técnica y la tecnología, ni una vuelta atrás hacia un arcaísmo de la construcción y la arquitectura. Todo lo contrario, al mostrar interés sobre técnicas tradicionales, materiales y maneras de hacer, no es para hacer apología sino para encontrar sus virtudes y defectos, y en este último caso aportar soluciones que potencien sus posibilidades” Gonzalez Escobar, 2007

LA TRANSFERENCIA TÉRMICA

La Transferencia térmica es una ciencia que estudia la rapidez con la que el calor pasa de un sistema a otro y se asocia con el flujo de calor que desde las leyes de la Termodinámica se explica como una manifestación de energía que se transfiere por conducción, convección o radiación de un objeto a otro cuando existe una diferencia de temperaturas y que se detiene cuando los dos objetos se encuentran en equilibrio térmico. La cantidad de energía que se transfiere de un sistema a otro siempre será del sistema con mayor temperatura hacia el sistema con menor temperatura. Lo anterior en un contexto arquitectónico sirve para entender cómo las envolventes de la vivienda son un sistema donde siempre existirá transferencia térmica ya sea ganando o perdiendo calor según la diferencia de temperaturas que exista entre el espacio interior confinado y la temperatura exterior.

Imagen 6.-Los mecanismos de conducción de calor en las diferentes fases de una sustancia



Referencia: Yunus et al, 2015

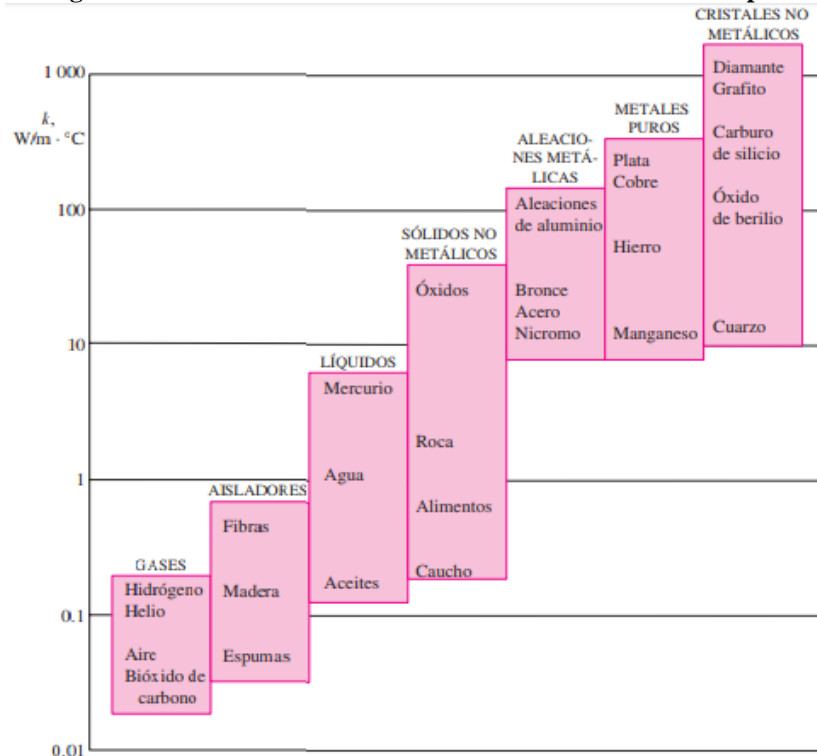
Entre materiales existen diferentes tiempos en la conducción de calor, relacionando variables como la configuración geométrica, el espesor y los componentes de que este hecho el material. Definir el comportamiento térmico de un material es multifactorial y existen comportamientos diferenciados ante estímulos térmicos y por lo tanto clasificaciones de materiales por su conductividad térmica. Los materiales de construcción al ser sólidos definen el paso de calor a través de ellos por conducción debido a su estructura interna que transfiere el calor a través de las partículas y a la combinación de las vibraciones de las moléculas que se encuentran en una retícula, lo que facilita el transporte de energía por parte de los electrones libres (Yunus et al, 2015)

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

La conductividad térmica es una propiedad intrínseca de todo material y se utiliza como una medida de la capacidad del material para conducir el calor, lo que permite que para su uso en construcción puedan ser clasificados en conductores todos aquellos con valores altos de conductividad y que no oponen resistencia al flujo de calor y aquellos que, si resisten el flujo de calor, se denominan aislantes térmicos, identificados por tener valores bajos de conductividad de 0 a 10 W/m°C.

En la arquitectura se utilizan los valores de conductividad para definir materiales aislantes validados por medio de herramientas normativas para cumplir estándares constructivos, en el caso de México la NMX-C-460-ONNCCE utiliza los valores de conductividad de los materiales para evaluar su comportamiento térmico para su uso en muros y cubiertas.

Imagen 7.- Rango de conductividad térmica de diversos materiales a la temperatura ambiente



Referencia: Yunus et al, 2015

Y aunque la conductividad térmica es una propiedad que explica el comportamiento de los materiales ante el flujo térmico, no es la única propiedad que posee un material. Para poder explicar el comportamiento térmico debe conocerse también la densidad y el calor específico que junto con la conductividad son conocidas en la literatura como las propiedades básicas de los materiales. Y las propiedades básicas se correlacionan dando lugar al concepto de Difusividad Térmica que engloba las propiedades térmicas básicas de los materiales. (Gonzalez, 1997)

DIFUSIVIDAD TÉRMICA

El producto de la densidad (ρ) por calor específico (C_p) se llama capacidad calorífica (ρC_p) que es una unidad de volumen de material y representa junto con el calor específico (unidad de masa) la capacidad del material de almacenar el calor. La conductividad térmica (k) representa la

capacidad del material de conducir el calor, cada propiedad explica una parte del desempeño del material y en conjunto la conductividad, densidad y calor específico describen de manera dinámica el comportamiento de un material al correlacionarse en el concepto de Difusividad Térmica. Por lo tanto, la difusividad térmica de un material se explica como la razón entre el calor conducido a través del material y el calor almacenado por unidad de volumen y ayuda a determinar cuán rápido se difunde el calor por un material.

$$\text{(Difusividad Térmica) } \alpha = \frac{\text{Calor conducido}}{\text{Calor almacenado}} = \frac{k}{\rho C_p} \quad (\text{m}^2/\text{s})$$

En el caso de una envolvente arquitectónica en un clima cálido entre mayor sea la difusividad térmica del material, más rápida es la propagación del calor hacia el interior. Y un valor bajo de difusividad térmica significa que el calor en su mayor parte es absorbido por el material y el resto será conducido, reduciendo así el flujo térmico y conservando una diferencia de temperatura entre el exterior y el interior por la baja difusividad de la envolvente. Por lo que una estrategia adecuada para reducir el flujo térmico a través de una cubierta de vivienda en un clima cálido subhúmedo sería seleccionar materiales con bajos valores de difusividad térmica.

Aislamiento térmico como estrategia de reducción de la transferencia de calor.

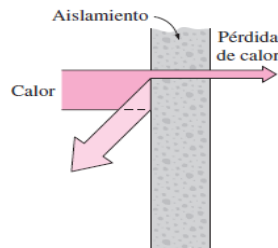
En arquitectura el aislamiento térmico se utiliza como una capa continua en las envolventes con materiales o combinaciones de materiales que se usan principalmente para suministrar resistencia al flujo de calor. La mayoría de estos son materiales heterogéneos de baja conductividad térmica y contienen bolsas de aire, porque el aire tiene una de las conductividades más bajas y se dispone de él con facilidad. Los materiales aislantes más utilizados en la industria de la construcción son:

- • Poliestireno expandido. EPS
- • Poliestireno extruido XPS.
- • Fibra de roca (lana mineral)
- • Fibra de vidrio
- • Espuma de poliuretano
- • Polisocianurato
- • Concreto celular
- • Vidrio celular
- • Aglomerados de corcho
- • Mezclas de perlita mineral

Actualmente con los materiales aislantes se puede retrasar el flujo de calor entre una vivienda y su entorno, sirviendo como barrera de la trayectoria del calor. El aislamiento térmico en la industria energética tiene un rol importante en la elaboración de sistemas eficientes relacionados con la energía, definiéndose como la piedra angular de los proyectos de conservación de energía, ya que

se ha demostrado que reducen gastos económicos y las emisiones de CO₂ (Alliance to Save Energy, 2001). El aislamiento térmico retarda la transferencia de calor al actuar como una barrera en la trayectoria del calor.

Imagen 8.- Reducción de flujo térmico en un aislante.



Referencia: Yunus et al 2015

Pero el aislamiento no es algo nuevo, ya que desde los orígenes del hombre se usaban pieles y materiales como tierra y madera para protegerse del ambiente exterior. Así durante siglos materiales regionales se han usado de manera empírica como parte de la cubierta, para protegerse del clima, en forma de lodo, arcilla, paja, trapos y fibras. En el siglo XVIII se aplicaba materiales aislantes sobre máquinas de vapor para impedir que los trabajadores sufrieran quemaduras producidas por las superficies calientes y se observó cómo bajaron las temperaturas de las calderas y una reducción en el consumo de combustible. La realización de la mejora en la eficiencia de la máquina y del ahorro de energía provocó la búsqueda de materiales con mejor eficiencia térmica y comenzó la necesidad de aislamiento térmico eficaz que se hizo evidente con el desarrollo de la refrigeración mecánica a fines del siglo XIX. Por medio del estudio de la transferencia térmica se pudo identificar y caracterizar materiales para ser usados como aislamiento térmico. Uno de los primeros materiales utilizados conscientemente para el aislamiento en casas fue la lana mineral, percibiendo los beneficios térmicos de aislar toda la casa, se impulsó el uso del aislamiento en las construcciones residenciales. (Edmunds, 1989) Sin embargo, se debe tener conciencia de que el aislamiento no elimina la transferencia de calor y solo la reduce, y que entre más grueso sea el aislamiento, menor será la razón de la transferencia de calor, pero también mayor será el costo de ese aislamiento. Debe hacerse el análisis para determinar el espesor óptimo del aislamiento y correlacionarlo con el costo del material aislante y la pérdida de calor.

¿Y por qué es importante el aislamiento térmico?

La envolvente aislada apropiadamente regula la temperatura en su interior, reduce el consumo energético y emisiones de CO₂ logrando con ello ahorros económicos y ambientales, estos argumentos se fundan en el análisis del comportamiento térmico de los materiales que componen y que estructuran el aislamiento. Cuando se menciona capa de aislamiento se entiende que existe una envolvente en capas de distintos materiales con diferente espesor y cualidades térmicas; el parámetro utilizado para evaluarlo es la transmitancia térmica. El estándar constructivo *Passivhaus* determina rangos de transmitancia (valor “U”) según el clima como se muestra en la tabla 1.5 (Guía del estándar *Passivhaus*, 2011).

Tabla 14- Conceptos térmicos para aislamiento y valor U por clima

Análisis de conceptos térmicos			Transmitancia térmica y clima		
Concepto	Unidad	Fórmula	Clima	Valor “U”	
Conductividad térmica (λ)	W/Km	Valor según material	Templado	0.1– 0.15 W/m ² K	
Resistencia térmica (R)	m ² K/W	R= r*e	E	Cálido	0.15-0.45 W/m ² K
			Λ		
Densidad (ρ)	Kg/m	$\rho =m/V$			
Transmitancia térmica (U)	W/m ² K	U=1 / R =	l	Frío	0.04-0.07 W/m ² K
			$R_i + \Sigma e/\lambda + R_e$		

Elaboración propia con datos de la Guía del estándar *Passivhaus*, 2011

El cálculo de la transmitancia térmica para edificación está en función de lo establecido por la ISO 6946, donde los valores de referencia se encuentran agrupados en función de las condicionantes normativas de cada país y estándares de consumo establecidos por el clima. El valor de conductividad de los materiales es un adecuado criterio térmico utilizado por la normatividad. Un valor bajo de conductividad con expectativas de adecuada resistencia al flujo de calor va directamente relacionado a una adecuada transmitancia térmica y al espesor. En la tabla 5 se muestran valores de conductividad de materiales convencionales de la construcción.

Tabla 15-Conductividad térmica de materiales de construcción

Material	Conductividad W/(m°K)	
Acero	54	
Aire (sin mover)	0.026	
Aluminio	232	
Agua	0.60	Valores de conductividad térmica en materiales de construcción determinan propiedades de aislamiento. A menor conductividad mejor aislante.
Arena seca	0.33-0.58	
Cerámica	0.81	
Concreto	1.40	
Ladrillo de mampostería	0.658	
Madera	0.14	
Mármol	2.09	
Mortero cal y cemento	0.70	
Yeso	0.81	
Vidrio plano	0.95	

Referencia: elaboración propia con datos de NMX-C-460-ONNCCE-2009 y NBE-CT-79

En la actualidad se ha incrementado la investigación en materiales naturales no solo con objetivos de aplicabilidad como aislantes, sino también medioambientales por su bajo impacto ambiental. En la tabla 6 se exponen coeficientes de conductividad térmica de aislamientos alternativos.

Tabla 16.-Conductividad térmica Materiales naturales

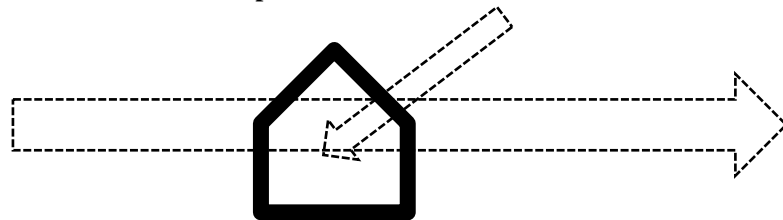
Material	λ(W/mK)	Referencias
	0.038 – 0.040	Webb, 2002
Celulosa	0.041 – 0.050	Kymalainen, 2008
	0.040	Murphy, 2008
	0.045	Wimmer, 2000
	0.037	Webb, 2002
	0.045	Wimmer, 2000
Paja	0.053 – 0.061	Pruteanu, 2010
	0.037	Webb, 2002
	0.035 – 0.075	Kymalainen, 2008
	0.042	Murphy, 2008
Lino y Cáñamo	0.033 – 0.060	Kymalainen, 2008
Cáñamo	0.040 – 0.094	Kymalainen, 2008
	0.040	Webb, 2002
Lana de oveja	0.034 – 0.067	Ye, 2006

Temperaturas de comparación

Para definir el análisis comparativo de temperaturas primero se debe comprender que ningún ambiente térmico va a satisfacer a todos los usuarios sin importar el número de estrategias que se empleen en el espacio arquitectónico. Por esta razón se considera que debe establecerse la temperatura idealizada que acerca al usuario al bienestar térmico.

Para establecer un parámetro de comparación se define la temperatura como indicador y se debe identificar el rango térmico óptimo para la región. El rango térmico óptimo ideal es cuando los ocupantes no expresan sensación de frío o calor, estableciendo una temperatura neutra (TN) donde la temperatura de la piel (TSP) no requiere tomar ninguna acción para mantener su propio balance térmico. Definiendo como objetivo de diseño en lograr mantener un balance entre la temperatura superficial de la piel (TSP) y la temperatura superficial interior de la envolvente. (TSI)

Esquema 13.- Relación de temperaturas con el medio



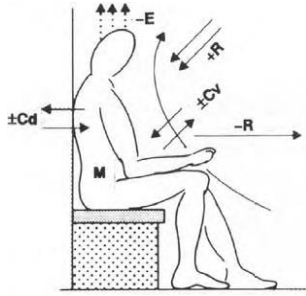
Elaboración propia

La temperatura superficial interior de la envolvente (TSI) se define por las propiedades térmicas de los materiales que ante estímulos térmicos reaccionaran modificando la temperatura de muros y techos, identificando una temperatura exterior y otra temperatura interior. Por lo que la temperatura superficial interior (TSI) se define como una variable dependiente. Y para determinar la temperatura que se usó como parámetro de comparación es preciso entender cómo se comporta el cuerpo humano y como este se relaciona con la transferencia térmica y la temperatura.

El ser humano y la temperatura como indicador de bienestar

El ser humano mantiene una temperatura al interior de 37°C, aunque existe una continua producción de calor dentro, el cual es regulado por la piel para lograr el correcto funcionamiento de los diferentes sistemas del cuerpo humano. Sin embargo, al considerar al cuerpo humano como un sistema que busca mantener una temperatura de operación este también se ve afectado por su entorno provocando una constante fluctuación en la temperatura superficial de la piel. Y cuando existe una alta diferencia de temperaturas entre el cuerpo y su entorno el cuerpo humano realizara acciones para procurar mantener en funcionamiento todo el sistema.

Esquema 14.- Intercambio de calor del cuerpo y temperaturas críticas.



Situación	Temperatura de la piel	Temperatura interior del cuerpo	Zona regulatoria
		42°C	Muerte
Cálida	Dolor: 45°C	40°C	Hipertermia Zona de evaporación Vasodilatación
Adecuada	31-34°C	37°C	Bienestar térmico
Frío	Dolor: 10°C	35°C	Vasokonstricción Termogénesis Hipotermia
		25°C	Muerte

Fuente: Auliciems y Szokolay, 1997

Cuando en un espacio interior existen temperaturas diferenciadas de hasta de 5°C entre las piernas y la cabeza (sentido vertical) y de 10°C en el sentido horizontal de la habitación causado por la envolvente, se provoca un estado de malestar térmico en el cuerpo del usuario. (Para lograr un rango de temperatura apropiado al interior en el sentido vertical este no debe variar más de 3°C).

Generalmente una persona sedentaria se siente cómoda con una temperatura superficial de la piel (TSP) de 33.3°C, con frío a 31°C y extremadamente frío a 29°C. Una persona puede tolerar un incremento de temperatura corporal de 1.4°C, ya que una temperatura de 39°C interior provoca incomodidad y por encima de los 41°C se considera un riesgo de muerte. Por lo tanto, la temperatura interior se generaliza de adecuada para el correcto funcionamiento del cuerpo a 37°C y la temperatura superficial de la piel entre los 31°C y 34°C cuando se encuentra en condiciones de temperaturas de bienestar. (Auliciems y Szokolay, 1997) Por tanto el bienestar térmico de los seres humanos depende de una temperatura definida en el espacio interior. Se considera que lograr una temperatura superficial interior de la envolvente con un máximo de 31°C resulta apropiado como rango óptimo de temperaturas en un clima cálido subhúmedo.

Análisis del clima como acercamiento a la eficiencia energética.

El diseñar espacios habitacionales que permitían el equilibrio térmico del cuerpo humano para el desarrollo eficiente del individuo es en la actualidad un reto, ya que la evolución arquitectónica se preocupó más por lograr el equilibrio estético sobre la salud del hombre y el impacto en el ambiente. La aparición de la climatización activa dio la posibilidad de lograr diseños independientes del clima y de plantear diseños sin evaluar las condicionantes de la región, elevando

el consumo energético de las edificaciones, lo cual ha dado por consecuencia afectaciones en el medio natural. Es por ello, que hoy en día se debe relacionar el logro del confort humano en el espacio interior por medios pasivos y recursos poco invasivos con el medio natural. El clima en arquitectura es una variable de análisis que determina las condicionantes naturales que el arquitecto debe considerar en los proyectos para brindar protección y cobijo, pero sobre todo bienestar térmico en el espacio interior. El bienestar térmico en la actualidad se puede conseguir por medio de acciones pasivas lo cual requiere del conocimiento del clima y de las estrategias que promuevan condiciones de temperatura en rangos apropiados para los usuarios.



Variables del clima

El objetivo de conocer los requerimientos que marca el clima en una región específica es lograr una adecuada interacción de la edificación con el entorno logrando en el proceso bienestar térmico y ahorro energético. Ante la exigencia de cumplir con los parámetros normativos y estándares constructivos de cumplimiento que son impuestas a las edificaciones en diferentes regiones, es necesario pre dimensionar el comportamiento térmico de los proyectos arquitectónicos recurriendo a programas de simulación que realizan cálculos de las cargas térmicas y simplifican el cálculo numérico. Los datos con los que generalmente trabajan los programas de simulación energética utilizan los datos climáticos de la región para el cálculo de temperatura, humedad relativa y cargas térmicas.

Temperatura.

La temperatura es un indicador que relaciona la velocidad con la que se mueven las partículas de la materia y mientras más rápido estas se muevan mayor será la temperatura, la cual se valora para conocer el tiempo en un día, y así relacionar los rangos de temperaturas en las cuales el hombre

encuentra un bienestar térmico y puede realizar sus actividades de manera óptima. Se recurre a los siguientes conceptos expuestos anteriormente para explicar el rango de bienestar térmico:

- Temperatura Neutral (TN)
- Temperatura superficial exterior (TSE)
- Temperatura superficial interior (TSI)
- Temperatura superficial de la piel (TSP)

Humedad.

La humedad es la cantidad de vapor de agua que contiene el aire y depende de factores como la situación geográfica, clima o vegetación. Se puede referir como Humedad absoluta, humedad específica y humedad relativa. La humedad relativa es la más utilizada y se mide en tantos por ciento, siendo el 100% la humedad relativa máxima posible y se calcula con la siguiente expresión:

$$h = \frac{e}{E} 100$$

Donde e representa el contenido de vapor de aire y E su máxima capacidad de almacenamiento, llamada también presión de vapor saturante y el porcentaje indica la cantidad máxima de vapor de agua que puede contener una masa de aire antes de transformarse en agua líquida y es lo que se conoce como saturación. Una humedad del 100% significa que una masa de aire no puede almacenar más vapor de agua por lo que mayor cantidad se convertiría en agua líquida o cristales de hielo. Los rangos de confort para la humedad se entienden entre 40 y 60%.

Radiación.

La energía transferida del Sol a la Tierra se conoce como radiación y es la energía radiante que viaja por medio de ondas mediante las cuales se transporta energía en diferentes cantidades, por ondas ultravioletas, ondas de luz visible, infrarroja u ondas de radio. Los materiales también emiten energía radiante en función de su temperatura la cual varía por la energía que absorben o reflejan proveniente de dichas ondas. La radiación es la variable que controla y que influye en la ganancia de calor de la envolvente incidiendo en la temperatura superficial interior (TSI) de la envolvente la cual interactúa con la temperatura superficial de la piel (TSP).

Efectos del clima en el hombre y el Confort térmico

Los efectos del medioambiente se relacionan con la energía y la salud por el esfuerzo biológico de adaptación a las condiciones del sitio que el cuerpo humano realiza por medio del metabolismo. Existen valoraciones de la incidencia del clima en el hombre basados en términos negativos (tensión, dolor, enfermedad y muerte) y un método que valora productividad, salud, energía mental-física, para determinar las condiciones térmicas deseables para el ser humano. Las actividades humanas y el cuerpo humano tienen un mejor desempeño cuando el espacio presenta rangos de temperatura apropiados, la cual se puede determinar por medio de la Temperatura Neutral, pero si se encuentran fuera de dicho rango la eficacia decrece y las tensiones y la posibilidad de afectaciones físicas y enfermedades aumentan. La búsqueda de espacios con ambiente térmico cómodo ha sido una constante en la historia del hombre y en la actualidad es uno de los parámetros a considerar al proyectar edificaciones.

Según la ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) el confort es la condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico, B. Givoni (1989) lo define como la ausencia de irritación o malestar térmico y existen diferentes métodos que lo determinan.

Para conocer el grado de satisfacción térmica en una edificación se requiere de considerar variables y parámetros que resultan subjetivos y personales por lo cual se busca rangos o zonas de cumplimiento. Regularmente los datos climáticos son un factor de análisis para desarrollar cartas psicométricas para así diseñar elementos arquitectónicos con temperaturas interiores apropiadas. La ASHRAE especifica límites de confort en el clima interior de las edificaciones considerando diversos escenarios representados sobre diagramas psicométricos, las cuales establecen las estrategias para lograr zonas térmicamente apropiadas para el diseño arquitectónico en función de las condiciones ambientales al clima de emplazamiento.

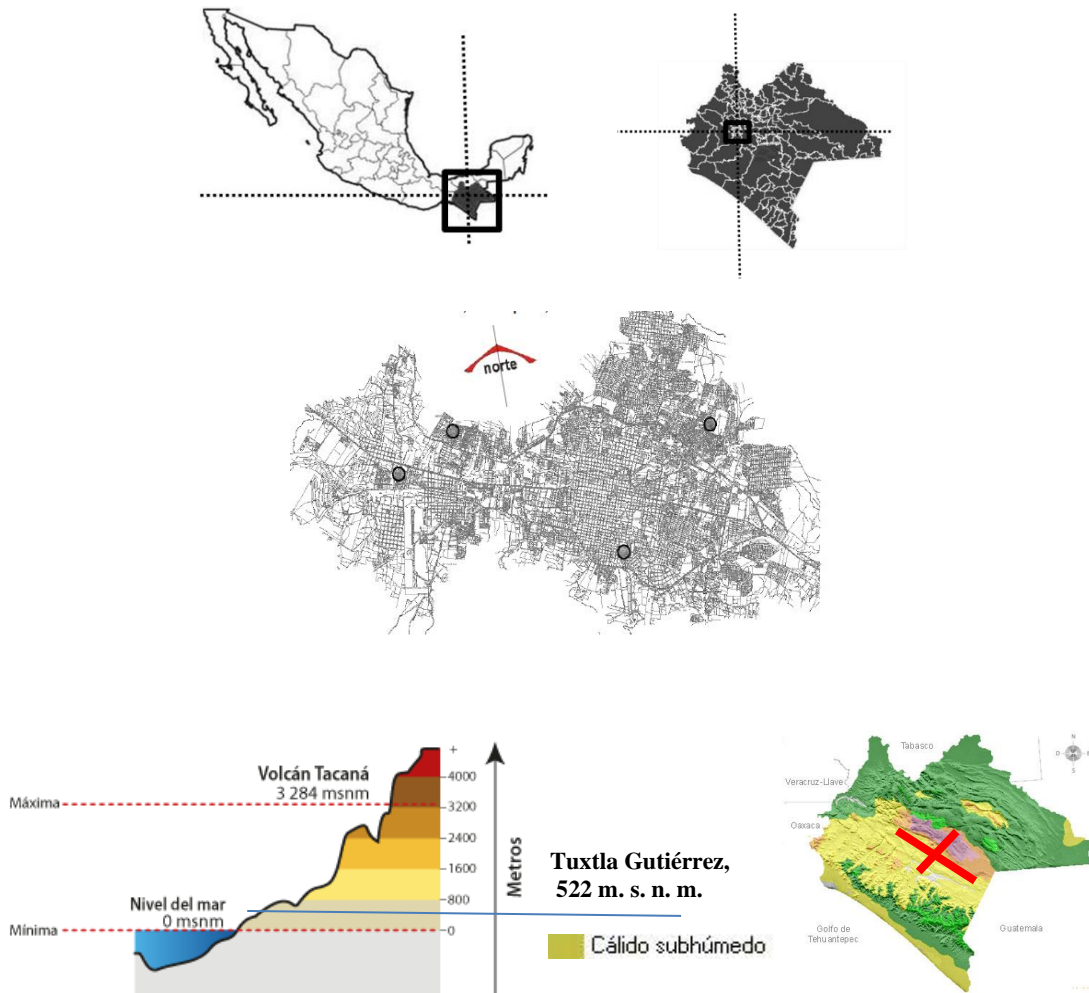
También debe realizarse parámetros de comparación y se utiliza generalmente como indicador las temperaturas neutras, la temperatura de la superficie interior de la envolvente y la temperatura superficial de la piel del ser humano, como ya se mencionó. El concepto de confort es multifactorial y para esta investigación se consideró la temperatura neutral de la región como la unidad de análisis.

“Los sistemas constructivos responden primero a un hogar, una protección a la intemperie y una habilitación de los recursos que el medio ofrece. Objetos que materializan la identidad y sentido de pertenencia, el ancla para que el hombre se sepa en su sitio y en su espacio. Los sistemas constructivos deben ser realizados en función de una región específica, con un clima específico y una sociedad determinada”

Capitulo tres. DIAGNOSTICO Y REQUERIMIENTOS

Se definió como caso de estudio la vivienda social en una localidad con clima cálido subhúmedo definiendo la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, capital del estado de Chiapas y según el servicio meteorológico nacional tiene una latitud de 16° 45'42" N. Longitud de 093° 06'10" W. A una altura de 532.0 MSNM con un clima cálido subhúmedo según las normales climatológicas, con periodo 1971-2000 de la estación: 00007176 Tuxtla Gutiérrez. Vivero (CFE)

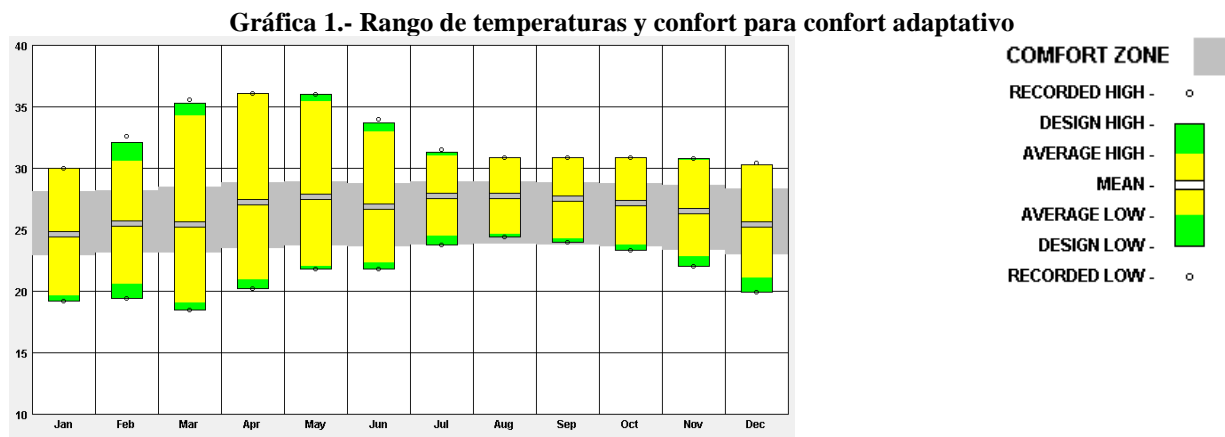
Imagen 9.-Localización caso de estudio



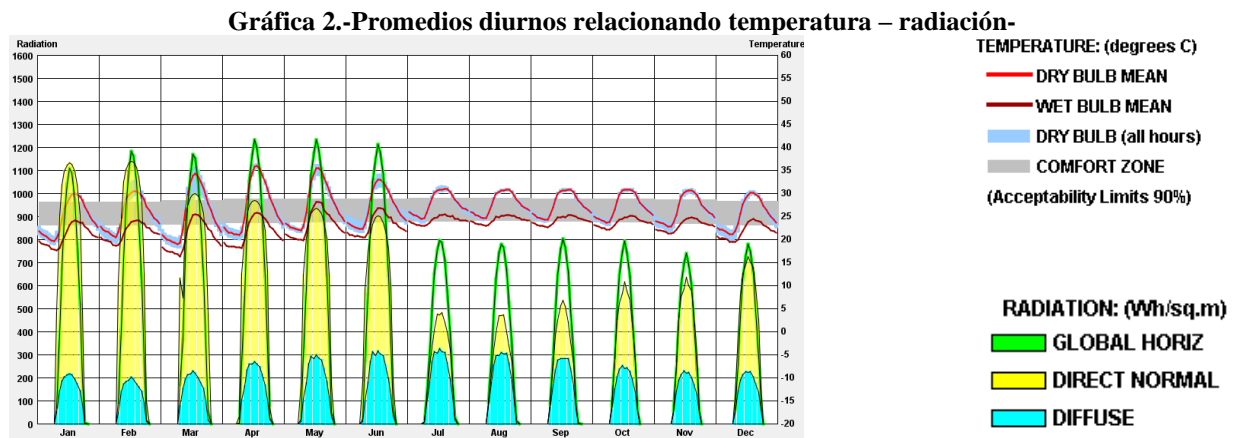
Referencia: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/chis/gif/poblacion.gif>

Los datos climáticos se utilizan para alimentar los simuladores que determinan los rangos de temperatura para establecer estrategias de acción. Se utilizó el programa Climate Consultant 6.0 y un archivo EPW con información de la ciudad de Tuxtla Gutierrez, Chiapas, con fuente de datos en Ecotect wea -WMO Station Number,

El modelo utilizado para determinar las condiciones climáticas del sitio fue el de confort adaptativo del estándar 55-2010 de la ASHRAE que considera espacios ventilados de manera natural considerando que el usuario abre y cierra las ventanas y el clima interior depende de las circunstancias exteriores, determinando un rango de confort amplio comparado con un espacio climatizado mecánicamente. Este modelo considera que los ocupantes adaptan su vestimenta, son sedentarios y no utilizan mecanismos mecánicos para enfriar el espacio. La estrategia que marca el programa para lograr situaciones de confort por medio de ventilación natural debe considerar el siguiente rango de temperaturas:

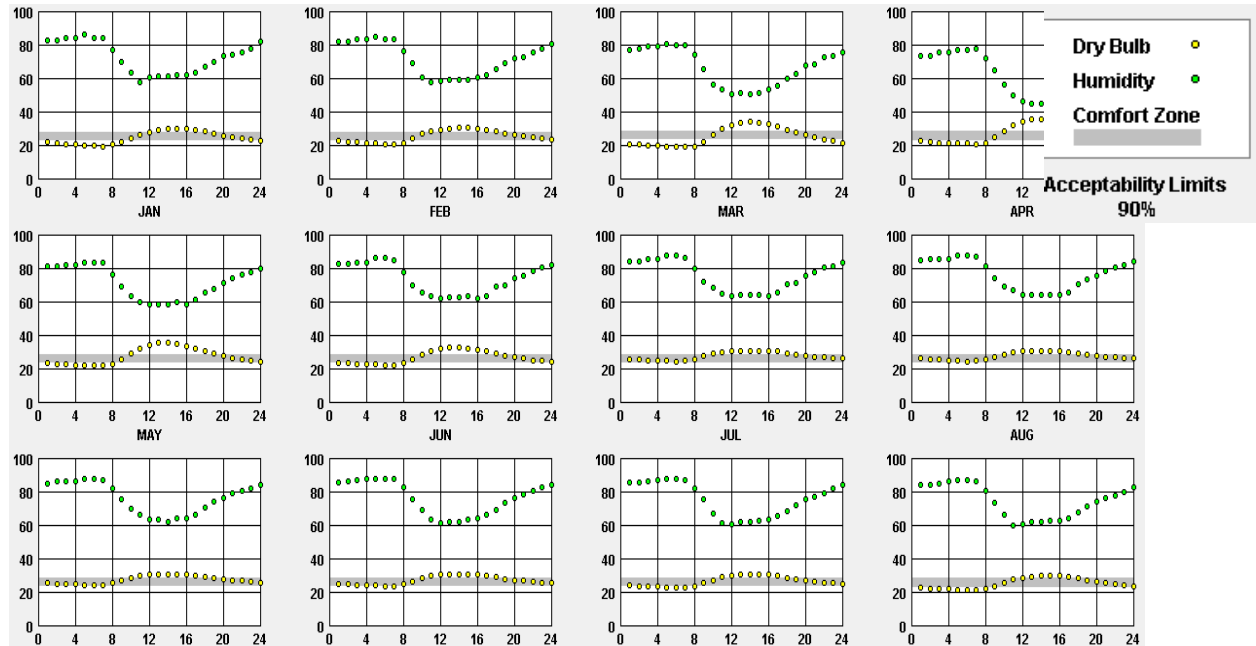


La grafica de rango de temperaturas determina que durante todo el año no se perciben temperaturas que permitan una sensación térmica de bienestar y que existe una marcada temporada de calor entre los meses de marzo, abril, mayo y junio con temperaturas que superan los 35 °C. La zona de confort que marca esta entre los 22.9°C y 28.9°C.



Al relacionar temperatura con radiación se observa que la temporada de mayor incidencia de radiación corresponde al periodo en el que se registra mayores temperaturas en la región. Las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo permanecen cercanas de la zona de confort durante la mayor parte del año. Sin embargo, no se considera las características de la envolvente.

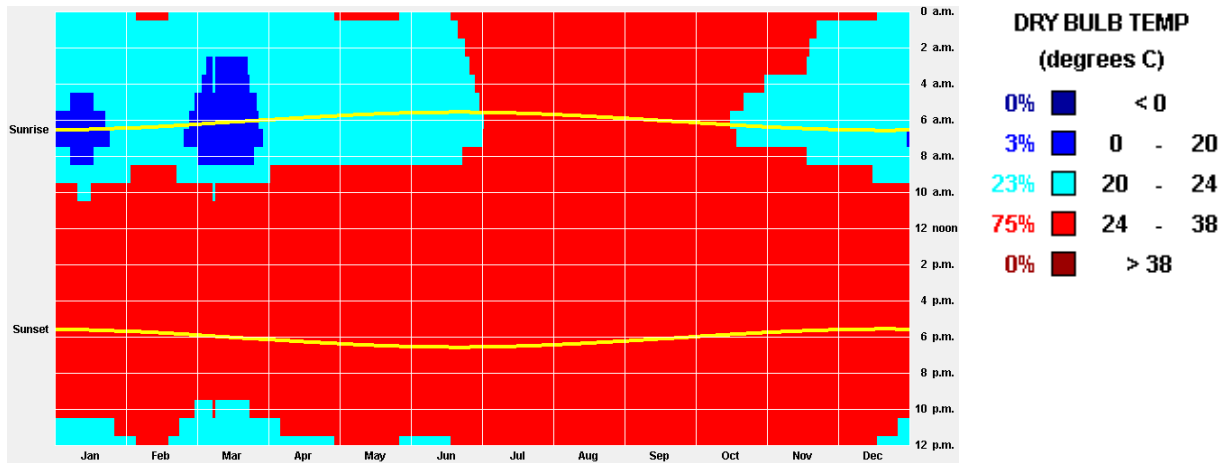
Gráfica 3.-Relación entre temperatura de bulbo seco y humedad relativa.



Elaboración propia con *Climate Consultant 6.0*

La humedad supera el 60% durante la mayor parte del año mientras que la temperatura de bulbo seco se mantiene cercana a la zona de confort la mayor parte del año. El periodo caluroso que comprende entre abril, mayo y junio tiene una humedad similar a los demás meses del año, marzo y abril son los meses con que presentan temperaturas de bulbo seco fuera del rango de confort durante casi once horas. La temperatura de bulbo seco varía durante el año entre los 24°C y los 38°C evidenciando nuevamente una temporada de calor de abril a octubre. Se concluye que durante la mayor parte del año la región presenta un superávit térmico.

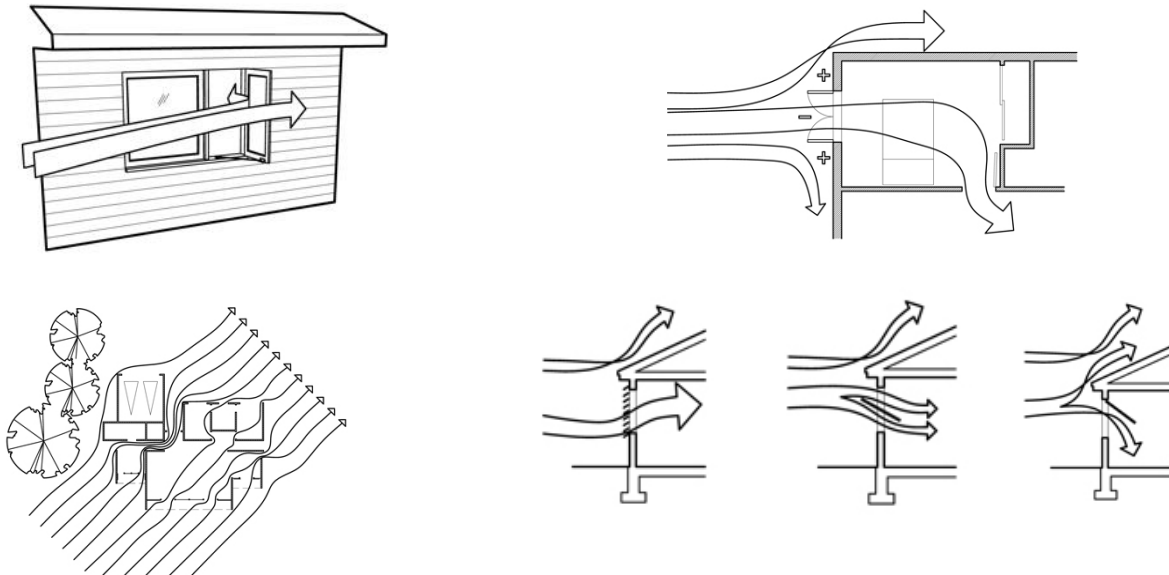
Gráfica 4.-Temperatura de bulbo seco por mes



Elaboración propia con *Climate Consultant 6.0*

El programa establece estrategias de actuación para procurar temperaturas dentro del rango de confort, por medio de criterios pasivos e incluso uso de ventiladores. No se valora el uso de materiales o estrategias de retardo del flujo de calor.

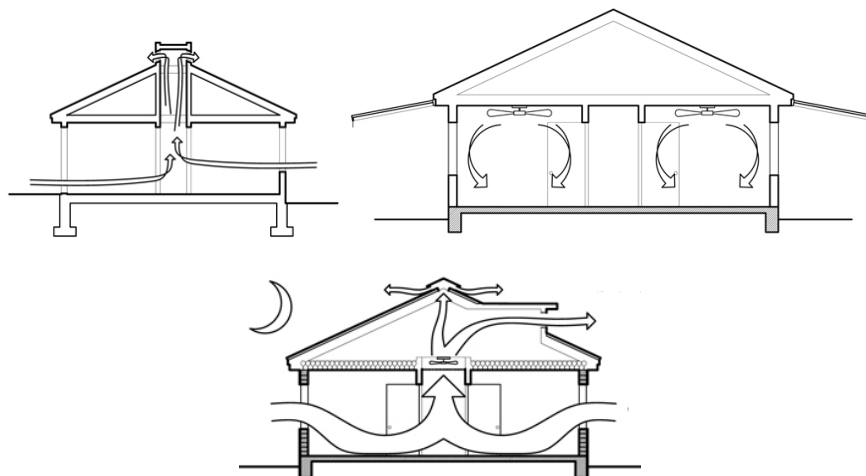
Esquema 16.- Estrategias propuestas por *Climate Consultant 6.0* para Tuxtla Gutierrez, Chiapas.



Referencia: Copyright © 2008, 2014 *Regents of the University of California*

Se debe aprovechar el viento local favoreciendo la ventilación cruzada y cuidar que las ventanas estén protegidas de la radiación solar y albedo. El viento favorece la disipación de calor y permite reducir la temperatura interior. En la temporada de mayo a junio es la más calurosa debe utilizarse ventiladores de techo provocando una mejora en la temperatura interior por el movimiento del aire.

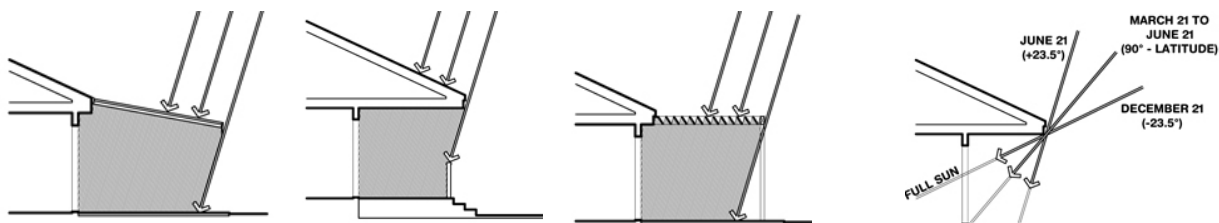
Esquema 17.- Estrategias propuestas por *Climate Consultant 6.0* para Tuxtla Gutierrez, Chiapas.



Referencia: Copyright © 2008, 2014 *Regents of the University of California*

Provocar la salida de aire por la cubierta permite una ventilación natural favoreciendo el flujo de calor hacia el exterior ayudando a mantener rangos de temperatura interior adecuadas. El desplazamiento de fluidos por la diferencia de temperaturas permite la circulación y la succión provocada por aperturas en zonas de la cubierta permite la salida de aire caliente.

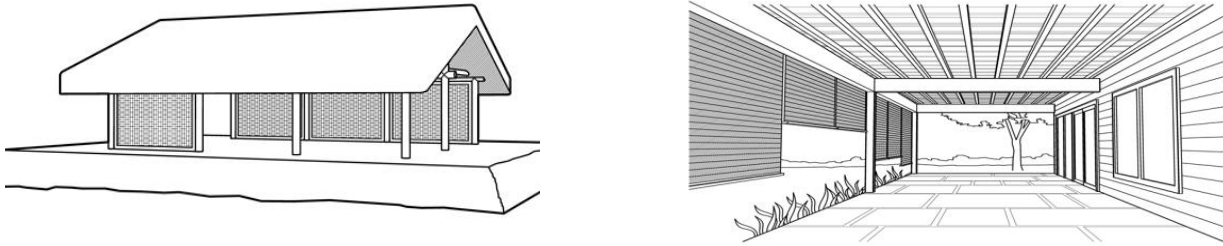
Esquema 18.- Estrategias propuestas por *Climate Consultant 6.0* para Tuxtla Gutierrez, Chiapas.



Referencia: Copyright © 2008, 2014 *Regents of the University of California*

Provocar sombreado por medio de voladizos o parasoles para reducir uso mecánico de climatización permite retardar el flujo de calor en muros, sin embargo, debe de considerarse la materialidad de la envolvente para evitar el sobrecalentamiento del espacio interior.

Esquema 19.- Estrategias propuestas por *Climate Consultant 6.0* para Tuxtla Gutierrez, Chiapas.



Referencia: Copyright © 2008, 2014 *Regents of the University of California*

Sombrear corredores orientados al sur ayuda a reducir ganancias térmicas lo cual es una estrategia usada en las viviendas tradicionales que utilizan muros livianos y cubiertas con aleros para sombrear. En la comunidad se utilizaban sistemas constructivos que dotaban de un retardo del flujo de calor por la capacidad de absorber y retener el calor obtenido por radiación o conducción.

Relacionando los datos obtenidos por *Climate Consultant 6.0* y los conceptos térmicos analizados se establece una tabla de requerimientos para la ciudad de Tuxtla Gutierrez.

Tabla 17.-Requerimientos térmicos mensual para Tuxtla Gutiérrez.

Periodo	Requerimientos	Conceptos térmicos relacionados
Protección contra la radiación solar todo el año	Aislamiento térmico exterior	Resistencia Térmica
	Reducir tiempo de difusión de calor exterior-interior	Difusividad Térmica
	Absorber al interior cargas térmicas de usuarios y aparatos	Efusividad Térmica
	Capacidad de almacenamiento de calor al interior	Calor específico volumétrico
	Textura rugosa exterior lisa interior	-
	Colores claros exterior	-
	Relación masa y volumen	Densidad
	Espesor	Masa térmica

Elaboración propia con datos de la Tabla de Tejeda.

Para climas cálidos se busca resistencia térmica exterior y al interior se desarrolla el concepto de inercia térmica. El concepto de inercia térmica permite una mayor estabilidad de temperatura al interior y menos dependencia de la oscilación térmica exterior. Lo anterior acerca la temperatura superficial interior del muro a temperaturas de confort. (Guía del estándar Passivhaus, 2011)

Clima y requerimientos térmicos para la región.

Se comenzó por analizar el contexto bajo un enfoque bioclimático del caso de estudio para confrontar los resultados en función de los requerimientos resultantes. Se utilizó como herramienta datos históricos del clima estacional de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, hoja de cálculo para análisis de temperatura y humedad de Tejeda; además, el software *Analysis Bio 2.2* y *climate consultant 6.0*. Para confrontar se utilizaron tablas de conceptos de elaboración propia con el fin de sintetizar y comparar. Este apartado se basó en datos cuantitativos y revisiones cualitativas. Se considero la NMX-C-460-ONNCCE-2009 como indicador. Como variable de confrontación se utilizaron temperaturas establecidas dentro de los parámetros de sensación térmica adecuada establecida por la temperatura neutral de la región.

Se ubicó la radiación solar como factor a controlar pasivamente por su influencia en la envolvente. Se consideró inadecuada la temperatura siempre que se encuentre a más de 31°C. Reconociendo las amplitudes del rango además de comparar con la temperatura superficial de la piel (Auliciems y Szokolay, 1996) lo anterior en espacios no climatizados por medios activos. En cuanto al aspecto constructivo las propiedades térmicas como densidad, calor específico y conductividad que definen el cómo los materiales absorben, transmiten y acumulan energía en la envolvente, fueron parámetros de selección de configuraciones, correlacionándose para integrar la difusividad y efusividad térmica.

Aspectos como ventilación y velocidad de renovación de aire, que modifican temperaturas exteriores e interiores, son considerados en este apartado solo para selección de materiales bajo régimen dinámico en función de temperatura exterior, temperatura interior y decremento de temperatura para conocer requerimientos térmicos de los materiales, según lo analizado por González (1997), descartando aspectos acústicos, lumínicos, formas, texturas y color. La suma de lo anterior determinó el reconocimiento de necesidades térmicas de la envolvente y selección de materiales, estableciendo criterios bajo posturas térmicas.

El análisis climático se resume en tablas y se expone en graficas que permitieron el reconocimiento de estrategias. Se ubico el mes de mayo como el más crítico y a partir de ahí se determinó en el rango de temperatura máximo y mínimo. Se definió la temperatura neutral en base a las propuestas expuestas en la literatura y se consideró el rango de confort en un +/- 2.5 °C. En la siguiente tabla se resume el análisis de temperaturas para determinar los rangos de comparación.

Tabla 18.-Análisis de temperaturas para Tuxtla Gutiérrez

Mes	Temperaturas exteriores en °C		Oscilación en °C	Horas climatización		Temperatura neutral en °C		Rango de confort tomado de B en °C		TSP
	Promedio Máximas	Promedio Mínimas		Frio	Calor	A	B	Auliciems y Szokolay (1996) ±2.5°C		
						Nicol y Roaf (1996)	Humphreys y Nicol (2000)	Mín	Máx	Rango
Enero	30	16.2	13.8	14	3	25.8	26	23.5	28.5	
Febrero	31.5	16.9	14.6	13	5	26.2	26.6	24.1	29.1	
Marzo	33.8	18	15.8	11	7	26.8	27.5	25	30	
Abril	35.7	20.5	15.2	8	9	27.7	28.7	26.2	31.2	
Mayo	35.5	21.8	13.7	7	11	27.9	28.9	26.4	31.4	
Junio	33	21.5	11.5	8	8	27.3	28.2	25.7	30.7	
Julio	31.7	20.6	11.1	10	7	26.9	27.6	25.1	30.1	31 -34 °C
Agosto	31.9	20.5	11.4	11	6	27	27.6	25.1	30.1	
Septiembre	31	20.6	10.4	11	6	26.8	27.4	24.9	29.9	
Octubre	30.7	20.1	10.6	11	5	26.7	27.2	24.7	29.7	
Noviembre	30.9	18.6	12.3	13	5	26.4	26.9	24.4	29.4	
Diciembre	29.8	17	12.8	14	2	25.9	26.1	24.6	28.6	

Elaboración propia con resultados de la hoja de cálculo de Tejeda con datos de SMN

En la tabla 18 se sintetizó el análisis de requerimientos en temperatura para la localidad, se indicó el máximo desplazamiento de temperaturas, estableciendo entre 26.4°C y 31.4°C el rango térmico adecuado según Auliciems y Szokolay (1996) partiendo de la temperatura neutral propuesta por Humphreys y Nicol (2000) bajo un régimen de confort adaptativo para Tuxtla Gutiérrez. Se reconoció que la temperatura interior es regulada por la envolvente y la influencia de la temperatura exterior. Y que inadecuadas configuraciones de envolvente incrementan el número de horas-día de calor, desplazando los valores máximos en el interior relacionando la temperatura exterior. (Castañeda y Vecchia 2007).

En un clima cálido subhúmedo como el de Tuxtla Gutiérrez existen temperaturas que superan los rangos de confort establecidos en 31°C (Auliciems, A. et al 1997) y mediciones de temperatura superficial interior en techos de diferentes tipos de viviendas sociales con cubiertas de concreto han demostrado que las temperaturas superficiales interiores marcan un superávit térmico hasta de once horas durante el periodo más crítico de calor en la región, expresado en la gráfica 5.

Lapso durante el cual se transfiere calor sobrecalentando el interior llevando la temperatura a un nivel por arriba del exterior. Donde el espacio interior no permite el adecuado desempeño de actividades humanas y equipos mecánicos.

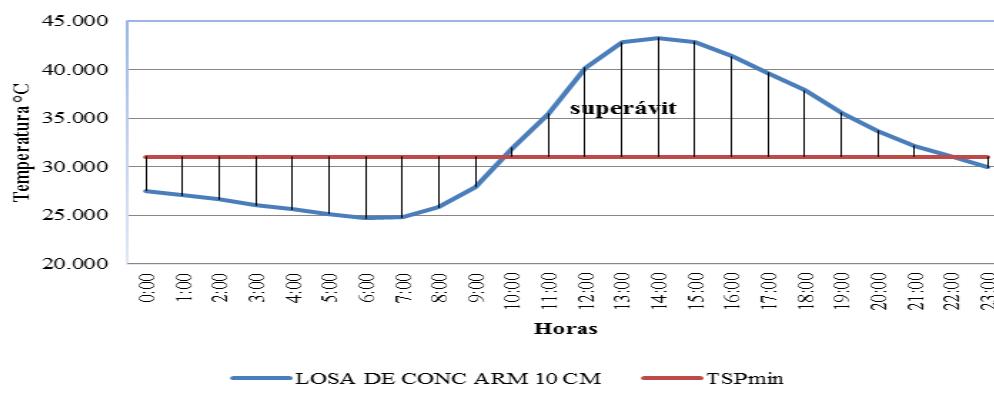
Tabla 19.-Requerimientos y zona de confort mensual para Tuxtla Gutiérrez.

Diagnóstico por Período		Requerimiento	Estrategia para envolvente	Conceptos relacionados
Sensación de frío	Enero	Control de sensación de frío	Evitar disminución de temperatura interior	Inercia térmica
	Febrero	Extracción de aire caliente y ventilación nocturna	Reducir ganancias térmicas superficiales al exterior	Resistencia térmica
Cálido	Marzo		Aislamiento exterior	Difusividad térmica
Máximas temperaturas	Abril	Control de radiación, sombreado, renovación y control de aire	Reducir tiempo de difusión de calor exterior-interior	Efusividad térmica
	Mayo		Absorber al interior cargas térmicas de usuarios y aparatos	
Caluroso	Junio		Capacidad de almacenamiento de calor al interior	Calor específico volumétrico
	Julio		Evitar conducción de calor exterior	Transmitancia térmica
Cálido	Agosto	Control de humedad y ventilación pasiva	Textura rugosa exterior lisa interior	-
	Septiembre		Colores claros exterior	-
	Octubre		Relación masa y volumen	Densidad
	Noviembre		Espesor / masividad	Conductancia térmica
Sensación de frío	Diciembre	Control de sensación de frío		Conductividad térmica

Protección contra la radiación solar en envolvente todo el año

Síntesis de requerimientos y establecimiento de estrategias. Elaboración propia

Gráfica 5.- Desempeño térmico losa de concreto



Elaboración propia con Datos del Sistema Meteorológico Nacional y NMX-C-460-ONNCCE

En Tuxtla Gutiérrez las envolventes de vivienda de concreto presentan un crecimiento urbano por arriba del promedio nacional (INEGI, 2011), provocando la consolidación de asentamientos térmicamente inadecuados. Por lo tanto, si se reduce la alta carga térmica para adaptar la vivienda

al rango de confort, se estima que existiría un ahorro en el consumo energético y se dejarían de emitir toneladas de CO₂. (Morillon et al, 2008) El reducir el consumo eléctrico por el correcto diseño y uso de envolventes térmicas traería ahorros monetarios para el usuario y el país subvencionaría menor cantidad de energía, reduciendo efectos negativos en el planeta por la producción de electricidad.



Capítulo cuatro.

CONFRONTACIÓN

“La arquitectura actual destaca el triunfo de los valores del mercado y el prestigio, cuando su producción es y debe ser social. Entonces conviene comenzar a nombrarla con conceptos que evidencien ese carácter, el cual la prestigiosa y sofisticada palabra arquitectura puede tender a oscurecer. Pensar en practicar y reivindicar lo que de origen históricamente, ha ocurrido”

El evaluar la sustentabilidad involucra un diagnóstico inicial del contexto, donde se analizan enfoques económico, ambiental y social, sin embargo ha de reconocerse que dichas variables en cada localidad siempre serán distintas y por lo tanto cada diagnóstico de caso de estudio tendrá necesidades de atención diferentes, en esta investigación se consideró el cumplimiento del factor económico, social y ambiental en el diseño de envolventes de vivienda social por utilizar recursos regionales considerándolo como un recurso accesible, económico y de propiedades térmicas apropiadas. Pero contrasta con los reglamentos constructivos y la valoración de vivienda digna y decorosa. Por otro lado, se discutió la pertinencia de utilizar estrategias de eficiencia establecidas por estándares constructivos (situación ideal) para mejorar la situación de vulnerabilidad energética de la vivienda (situación inicial) identificando como estrategia el uso de la capa de aislamiento, la cual se considera viable al ser configurada con materiales regionales con adecuadas prestaciones térmicas. Se confrontó el concepto de resistencia térmica y de inercia térmica para la evaluación de materiales y envolventes. Este apartado se basó en datos cuantitativos y revisiones cualitativas de los coeficientes térmicos para establecer indicadores de comparación.

Eficiencia energética: soluciones parciales

Para reducir impactos ambientales provocados por las edificaciones se han establecido modelos esféricos de diseño contemplando programas que involucran el comportamiento de la envolvente, valorando la cantidad de energía que se consume. Sin embargo bajo idealizaciones cuantitativas, el concepto de eficiencia energética tiene alcances parciales o inexistentes en contextos emergentes como lo son la situación de aproximadamente la mitad de viviendas en el país según la valoración del Coneval en el periodo 2012-2018, dicho informe también menciona que 64,000 personas en México habitan espacios no destinados a vivienda o refugios sin las características mínimas de habitabilidad, y solo 14.7% de las viviendas en el país cumplen con los criterios mínimos de ubicación, infraestructura básica y están cerca de sus fuentes de empleo. (Conavi, 2017). En referencia a la calidad de los espacios 8.4% de las viviendas presentan hacinamiento (Coneval, 2017a) 3.3% de la población tiene casas con pisos de tierra, el 1.3% de la población tienen la percepción de que el techo de su vivienda lo constituyen materiales endebles y el 1.6% de la población reporto también percepción de poca durabilidad en los muros (Coneval, 2017a) además cinco millones de viviendas se encuentran en abandono (INEGI, 2017b)

En total se reportan 9 millones de acciones de vivienda en México, como reto para reducir en los próximos años según los números del reporte del Coneval, lo que ejemplifica inadecuadas prácticas ya sea en la vivienda urbana o en la rural, que, aunque relacionadas cada una tiene características específicas y representan retos diferentes (Samano, 2002). Por lo tanto, existen acciones de vivienda diferenciadas donde se deben realizar esfuerzos para atender a la población en situación de pobreza que representan el 50.6% de la población en México y que habitan vivienda informal (CONEVAL, 2017a) de las cuales en la región sur del país (Chiapas, Oaxaca y Guerrero) se concentran los mayores porcentajes y es donde habitan la mayoría de los grupos indígenas y poblaciones rurales en situación de vulnerabilidad.

El problema para atender la vivienda vulnerable de tipo informal desde un marco legal es que las acciones de mejoramiento resultan en estrategias desarticuladas por las políticas públicas y al no ser considerados inmuebles sujetos de crédito, por la valoración de materiales y situación de informalidad, hace complicado la accesibilidad a financiamiento para realizar las mejoras requeridas. El reto de la vivienda informal tiene en el uso de recursos regionales un área de oportunidad para reducir la brecha de la pobreza en México cuando las políticas de vivienda reconozcan la durabilidad de los materiales regionales.

Valoración térmica de materiales.

El estudio térmico de diseños pasivos que tienden a estándares energéticos independientes del clima y de diseños activos que interactúan con el medio, entablan interrogantes sobre como diseñar la envolvente y bajo qué parámetros evaluarla. Si es conveniente el aislamiento generando alta resistencia térmica, o diseñar envolventes con materiales regionales con masa térmica e inercia. Cuestionando que materiales regionales presentan características térmicas apropiadas para absorber, acumular y transmitir el calor o como establecer espesores o configuraciones heterogéneas que opongan resistencia al flujo térmico.

Para la implementación de materiales con adecuado comportamiento térmico se requiere investigación transdisciplinaria, la búsqueda requiere establecer conocimientos de frontera en física, química e ingeniería y la visión del arquitecto para establecer un diseño prospectivo enfocado en reducir los impactos y solventar requerimientos del hábitat, aplicando el material más allá de criterios estéticos.

El rendimiento térmico de los materiales implica una relación directa con ahorro energético y el entendimiento de los medios de transferencia de calor. El calor se transmite por conducción, convección y radiación en los materiales y se da de manera diferenciada por sus características particulares, obteniendo variaciones de temperatura entre ellos. Entre las características que determinan el comportamiento térmico de los materiales están:

- Sus propiedades físicas y químicas: Todo material tiene una composición química y propiedades físicas que definen la transmisión térmica diferenciando uno de otro
- El espesor: a mayor espesor, menor será la cantidad de calor transmitida y viceversa
- La densidad: la proximidad de las partículas de un material incrementa el flujo térmico
- Textura: Superficies lisas permiten mayor transmisión térmica que texturas rugosas
- Color: colores oscuros absorberán mayor calor por radiación que colores claros
- Diferencia de temperaturas entre las caras del material: Entendiendo que el calor fluye cuando existe una diferencia de temperatura cuando mayor sea esta entre la superficie exterior e interior de un material, el flujo de calor será mayor
- Velocidad del aire circundante: el movimiento del aire influye en la transmisión del calor. Mucho movimiento del aire acelera la transmisión del calor.

Y pueden ser valoradas por medio de Indicadores del comportamiento térmico:

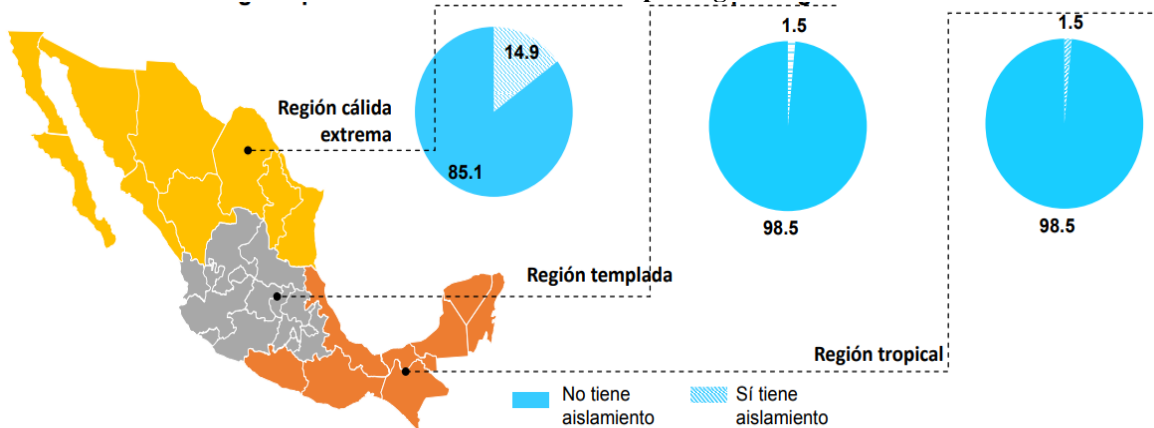
- Resistencia térmica: capacidad de una sustancia para evitar el flujo de calor a través de esta.
- Coeficiente global de transferencia de calor o Transmitancia (U): Es el inverso de la resistencia térmica y representa la velocidad de transferencia de energía que se da desde el aire exterior al aire interior a través de un muro por unidad de área y diferencia de temperatura unitaria, sus unidades son $W/m^2°C$

Aislamiento Térmico como estrategia. Valoración del comportamiento térmico de materiales

Como ya se mencionó existen estrategias para realizar una envolvente de alto desempeño, como el estándar constructivo *Passivehouse* que favorece el uso de materiales aislantes, pero estos se caracterizan por su alta energía incorporada, comparados con los materiales de origen natural. En la práctica profesional cuando no se aplican estrategias de diseño térmico es casi nula la opción de lograr habitabilidad y menos aún ahorro energético.

Un análisis de las propiedades térmicas ayudaría a cerrar la brecha en la aceptación del uso de materiales regionales, que también debe ser acompañado de políticas públicas y estudios de su aplicabilidad (PNUMA, 2019) lo cual frenaría el deterioro del ambiente que provoca actualmente el uso de materiales industrializados.

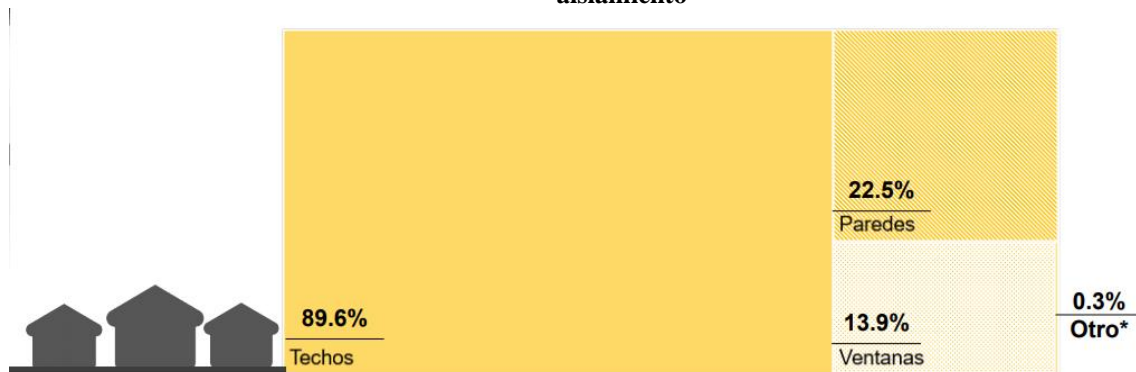
Imagen 10.- Distribución porcentual de viviendas particulares habitadas por condición de algún tipo de aislamiento térmico en vivienda por regiones climáticas



Referencia: INEGI. Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares 2018

Aunque el uso de la envolvente aislada en las viviendas permite un ahorro importante en el consumo de energía y mayor eficiencia en el uso de equipos de climatización o calefacción, no es una práctica habitual en vivienda, aunque se habite en regiones cálidas o tropicales. Del total de aislamiento que se utiliza en vivienda, la cubierta representa el mayor porcentaje ya que es la que se encuentra expuesta a una mayor incidencia solar por sus condiciones geométricas, pero también por las condicionantes del sitio los muros pueden ser afectados por radiación indirecta, provocando transferencia térmica en la envolvente. Es por ello por lo que se requiere de un diseño térmico que favorezca el óptimo comportamiento de la envolvente, estableciendo un proceso para determinar los requerimientos a solventar y conocer los recursos locales que pueden ser implementados. El conocimiento del clima y como se relaciona con la arquitectura es parte fundamental del proceso.

Imagen 11.-Porcentaje de viviendas particulares habitadas en la región cálida extrema según tipo de aislamiento



Fuente: INEGI. Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares 2018

En el norte del país el aislamiento térmico resulta una práctica más habitual, derivado de la dinámica económica e industrial de la región a diferencia de la desaceleración económica e incremento de la pobreza marcada en el sur del país. (Coneval, 2019)

Tabla 20.- Materiales más utilizados en envoltentes de vivienda en Tuxtla Gutiérrez

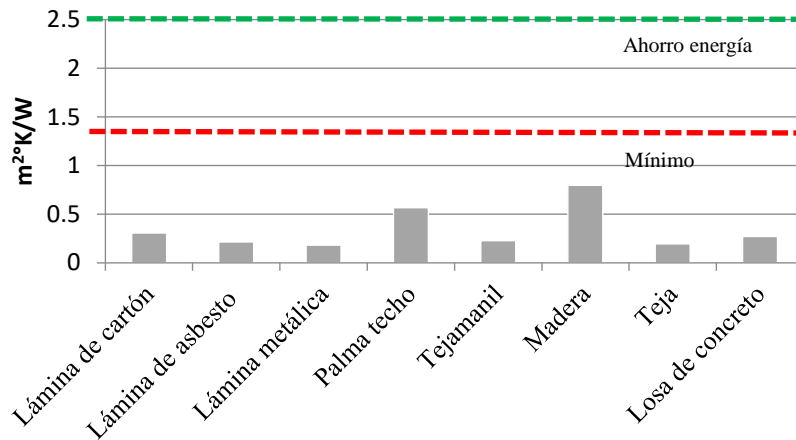
Techos	Muros
<ul style="list-style-type: none"> • Lámina Metálica • Concreto armado • Lamina de asbesto • Lámina de cartón • Material de desecho 	<ul style="list-style-type: none"> • Block • Ladrillo • Lámina de cartón • Madera • Lámina metálica • Desechos • Plástico

Referencia: Morillon, 2011

En arquitectura, el aislamiento térmico es una estrategia de control de temperaturas (definida por normas internacionales) para reducir el consumo energético que ha fundamentado el análisis de los diferentes componentes en las edificaciones. Para ello se utiliza la transmitancia térmica como parámetro para evaluar un sistema constructivo. Lo anterior en función de lo establecido por la norma ISO 6946. Asimismo, relaciona un valor de cumplimiento por clima y región en relación con los materiales que configuran la envolvente.

Sin embargo, no se considera apropiado para todas las regiones por el método de análisis de conductividad térmica, definido como estacionario e independiente del tiempo. (G. Huelsz, et al, 2009) Para las viviendas en México se establece el uso de aislamiento utilizando como instrumento la norma NMX-C-460-ONNCCE-2009. Sin embargo, existen argumentos que definen como inadecuado el enfoque y método de la normatividad para evaluar comportamiento térmico y como criterio de selección de materiales. (R. P. Ruiz Torres et al, 2011) Además en México las configuraciones convencionales de la envolvente no utilizan la capa de aislamiento en las cubiertas y por lo tanto no cumplen con los parámetros establecidos por la NMX-C460-ONNCCE como se observa en la siguiente gráfica.

Gráfica 6.- Resistencia térmica de materiales en cubiertas. NMX-C-460-ONNCCE-2009



Elaboración propia.

Los materiales convencionales más utilizados en cubierta en México, ante estímulos térmicos, elevan la temperatura interior fuera del rango térmico conveniente y la estrategia de uso de materiales definidos como aislantes no resulta económicamente viable en la región. Debido a esto se considera como alternativa el uso de materiales regionales de origen natural para su evaluación térmica y que éstos sean empleados como aislamiento térmico en vivienda social.

La envolvente térmica de vivienda: posibilidad real con recursos regionales.

Los materiales regionales han sido ampliamente usados en vivienda vernácula para la construcción de muros y cubiertas, las cuales bajo análisis térmico se adaptan a las condiciones del medio, los reportes en la literatura de la capacidad de asilamiento y de inercia térmica de materiales como la madera, fibras leñosas y arcillas han permitido introducir alternativas constructivas que han incrementado el potencial de uso en la construcción de envolventes eficientes térmicamente. El reto de los materiales regionales es la aceptación social, el establecimiento de estrategias de mantenimiento, estandarizar su aplicación por medio de prácticas reproducibles y determinar su comportamiento térmico por región.

La variación de las condicionantes climáticas de un lugar hace que las variaciones diarias de temperatura sean diferentes produciendo un ciclo repetido cada 24 horas, de aumento y descenso de temperatura ocasionando la transmisión periódica del calor. Así al aumentar la temperatura exterior el calor comienza a atravesar la superficie exterior de un material, cada una de sus

partículas absorberán cierta cantidad de calor cada °C de elevación de la temperatura, de acuerdo con el calor específico del material.

El calor se transmitirá a las otras partículas sólo cuando se haya aumentado la temperatura de las primeras, retrasando la transferencia térmica hacia las partículas sucesivas. Posteriormente al descender la temperatura, el calor almacenado en el material disipará hacia adentro y hacia afuera, invirtiendo el sentido del flujo de calor definiendo un retraso del flujo por medio del amortiguamiento.

Tabla 21.- Confrontación de criterios de térmicos para selección de materiales

Parámetros térmicos	Criterio	Valoración
Resistencia térmica	Característica adecuada para el exterior de muros. Materiales aislantes correspondientes a bajos valores de efusividad.	Inadecuado como único parámetro de evaluación del desempeño térmico, válido bajo configuraciones de materiales seleccionados bajo criterios térmicos en régimen dinámico
Transmitancia térmica	Independiente del clima como parámetro de evaluación de la norma. Solo acercamiento a la realidad y no determina adecuadas configuraciones	
Conductancia térmica	Variable según el análisis del material. Y constante en el cálculo del U y R.	Evaluaciones locales de materiales para obtener valores reales al contexto
Inercia térmica	Característica de retardo del lapso de conducción y capacidad de almacenar del calor.	Altos valores son adecuados para superficie interior de muros cuando existen cuartos no climatizados y aislamiento exterior.
Conductividad térmica	Propiedad térmica y parámetro elemental de selección de materiales.	Parámetros elementales de selección de materiales
Densidad	Característica física elemental de selección de materiales, donde la cantidad de aire en el material determina su conductividad térmica.	
Calor específico	Propiedad térmica, no adecuado para selección de materiales por la poca diferencia en valores de la mayoría de los materiales constructivos.	
Calor específico volumétrico	Parámetro dinámico que correlaciona densidad y calor específico	Adecuados criterios de selección, pero requiere análisis de materiales bajo- condicionantes climáticas locales
Difusividad térmica	Parámetro dinámico	
Efusividad térmica	Parámetro dinámico	

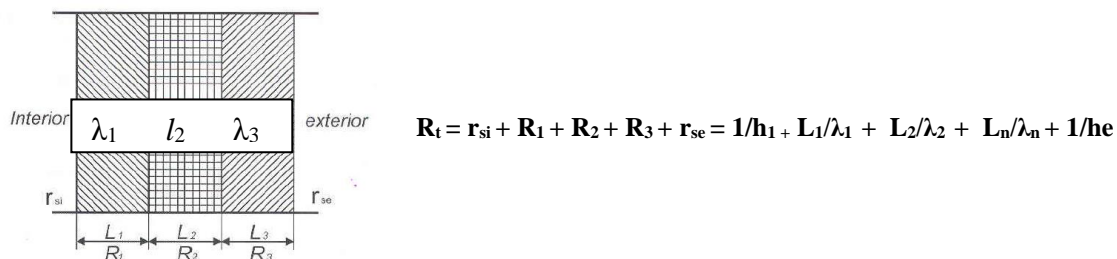
Confrontación de conceptos. Elaboración propia

Comportamiento térmico de la envolvente; NMX-C460-ONNCCE

La vivienda es un conjunto de componentes que interactúan con las condicionantes del contexto. La envolvente como parte de los componentes es el elemento que regula el intercambio térmico entre el exterior y el interior, definiendo la resistencia ante el paso de calor. Los programas ecológicos de los institutos federales de vivienda sustentable en México incluyen dentro de sus requerimientos, el aislamiento térmico para nuevas viviendas, siendo la NMX-C460-ONNCCE-2009 el instrumento que evalúa por medio del cálculo de la resistencia térmica de los materiales. Sin embargo, su uso no es de carácter obligatorio en los procesos de construcción de vivienda en México.

La norma especifica el valor total de resistencia térmica (Valor “R”) aplicable a la envolvente de la vivienda para mejorar condiciones térmicas interiores y reducir la energía eléctrica utilizada para acondicionar térmicamente su interior. Su vigencia en el Diario Oficial de la Federación fue el 18 de agosto del 2009, con clave: NMX-C-460-ONNCCE-2009 y es nombrada “Industria de la Construcción, Aislamiento Térmico-valor “R” para las envolventes de vivienda por zona térmica para la República Mexicana- especificaciones y verificación” (ONNCCE, 2010). El cálculo es la sumatoria de las resistencias individuales de cada material que conforma la sección de la envolvente y como dato se requiere el espesor y la propiedad térmica de conductividad de cada material, utilizando los valores en la sumatoria de la conductancia térmica exterior (h_e) e interior (h_i) consideradas como constantes.

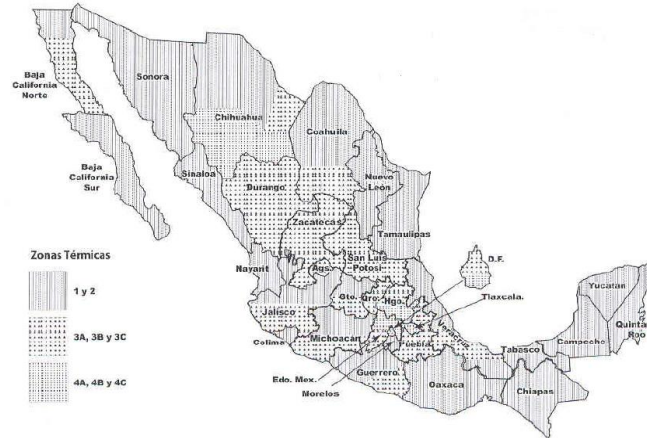
Esquema 20.- Cálculo de la resistencia Térmica. Método simplificado de capas homogéneas.



K	Coefficiente de transmisión térmica	W/m²K
L	Espesor de la capa del material en el componente	M
λ	Conductividad térmica del material de valores tabulados	W/(mK)
H_i	Conductancia superficial interior para muro	8.1 W/m ² K
H_e	Conductancia superficial exterior	13 W/m ² K
N	Número de capas de la configuración	-
R	Resistencia térmica de una porción de la envolvente del edificio	M ² K/fW

Referencia: ONNCCE,2009

Imagen 12.- Zonas térmicas de la República Mexicana para cálculo de resistencia térmica



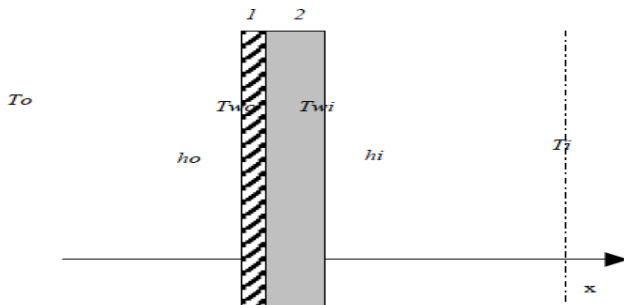
Estado: CHIAPAS
Localidad: Tuxtla Gutiérrez
Zona térmica: 1

Zona Térmica	Techos m ² K/W			Muros m ² K/W		
	Mínima	Habitabilidad	Ahorro de Energía	Mínima	Habitabilidad	Ahorro de energía
1	1.40	2.10	2.65	1.00	1.10	1.40
2	1.40	2.10	2.65	1.00	1.10	1.40

Referencia: NMX-C-460-ONNCCE-2009

La selección de materiales se determinó cualitativamente por conceptos térmicos analizados y por la relación de su desempeño térmico en condiciones dinámicas. La siguiente tabla describe el modelo estacionario para los cálculos numéricos, identificando envolventes multicapa.

Imagen 13.- Modelo físico para evaluaciones numéricas



Los medios para realizar las comparaciones fueron por simulaciones de cálculos numéricos. En base a un modelo físico estacionario compuesto por capas de diferentes materiales

Referencia: Huelzs et al (2009)

El requerimiento térmico general de cumplimiento para los materiales de la envolvente en clima cálido subhúmedo es evitar el sobrecalentamiento interior, y para cuantificar se utilizó la fórmula de Resistencia Térmica.

Propiedades térmicas elementales y el comportamiento dinámico

En la literatura se establecen como propiedades térmicas básicas la densidad, el calor específico y la conductividad, conceptos que determinan el desempeño térmico del material (tabla 24).

Tabla 22.- Relación de propiedades térmicas de materiales. Se describen analíticamente la obtención de coeficientes

Relación	Concepto	
Características térmicas elementales	Conductividad térmica	(λ)
	Densidad	(ρ)
	Calor específico	(C_p)
Combinación (régimen dinámico)	Calor específico volumétrico	(ρC_p)
	Difusividad térmica	$a = \lambda / \rho C_p$
	Efusividad térmica	$b = (\lambda / \rho C_p)^{1/2}$

Referencia: González, *Materiales y diseño bioclimático*.

Pero un diagnóstico no debe basarse sólo en una propiedad, porque en la realidad se establece un comportamiento térmico conocido como régimen dinámico (Gonzalez, 1997) que involucra a las demás propiedades y se debe evaluar la difusividad que está en régimen dinámico, es decir, que se combinan las propiedades de conductividad, calor específico y densidad.

Tabla 23. Conductividad térmica materiales. Análisis de materiales por conductividad

Material	Conductividad		
	W/mK	0.043-0.288 w/mk aislante	0.288-0.721 w/mk moderado
Poliuretano	0.026	Buen aislante	I
Aire	0.026	Buen aislante	I
Poliestireno	0.035	Buen aislante	I
Espuma fenólica	0.038	Buen aislante	I
Lana de vidrio	0.041	Buen aislante	I
Corcho comprimido	0.085	Buen aislante	I
Mortero de cemento	0.090	Buen aislante	I
Madera de construcción	0.130	Buen aislante	I
Madera de pino	0.148	Buen aislante	I
Concreto celular	0.220	Buen aislante	I
Tierra con paja	0.300	Moderado aislante	II
Yeso	0.488	Moderado aislante	II
Mortero cemento/arena	0.530	Moderado aislante	II
Agua	0.582	Moderado aislante	II
Ladrillos de arcilla	0.814	No aislante	III
Acero	50	No aislante	III
Aluminio	160	No aislante	III
Cobre	399	No aislante	III

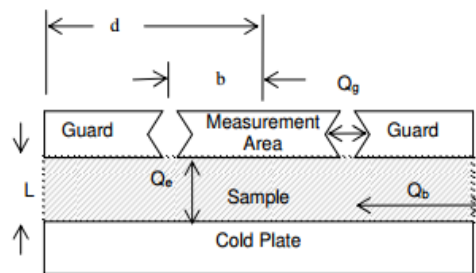
Elaboración propia con datos de González, *Materiales y diseño bioclimático*.

Medición de conductividad térmica

Un instrumento primario para medir conductividad es el denominado Aparato de Placa Caliente con Guarda (APCG). Es una disposición de una placa caliente y dos placas frías que generan un gradiente sobre dos muestras colocadas entre la placa caliente y las placas frías. (Lira et al, 2010)
El APCG los constituyen dos placas frías y una placa caliente.

La placa caliente está formada por dos secciones concéntricas, una de medición y otra de aislamiento. Cada sección se fabrica de una pieza de material conductor (cobre). Las placas frías se construyen con sendos serpentines para el flujo de un líquido refrigerante. La potencia en el calefactor eléctrico de la placa caliente se suministra conectándolo a una fuente de tensión. Los instrumentos de medición y control que utiliza este patrón son: multímetros, sensores de temperatura, selectores de canal, amplificadores, fuentes de potencia y controles de temperatura y de potencia (Lira et al, 2010)

Imagen 14.- Esquema de un aparato de placa caliente con guarda



Referencia; Lira et al, 2010

Estimación de comportamiento térmico en los materiales por difusividad

Se identifican como propiedades térmicas elementales de los materiales la conductividad térmica, densidad y calor específico que son parámetros de influencia en las ganancias de calor del espacio. Como el material regula la transferencia de calor depende de la relación que se da entre sus propiedades básicas las cuales definen los parámetros que caracterizan a los materiales en su desempeño térmico: la difusividad térmica, la efusividad térmica y calor específico volumétrico.

Tabla 24.- Métodos numéricos de correlación de propiedades térmicas en régimen dinámico

		$a = \frac{k}{\rho C_p}$	
Difusividad térmica	a	Difusividad de un material de la configuración	m ² /s
	K	Conductividad térmica	W/mK
	C _p	Calor específico	J/kg°C
	ρ	Densidad	Kg/m ³
		$b = \sqrt{K / (\rho C_p)}$	
Efusividad térmica	b	Efusividad de un material	J/m ² Ks ¹
	K	Conductividad térmica	W/mK
	C _p	Calor específico	J/kg°C
	ρ	Densidad	Kg/m ³

Fuente: González (1997)

Es normal encontrar en la bibliografía recomendaciones de uso de materiales de construcción expresadas en función de la conductividad térmica, estas recomendaciones no deben basarse solo en una de las propiedades del material, pues independientemente de la evaluación de conductividad, en la realidad este se desempeñará involucrando a las demás propiedades térmicas mencionadas, estableciendo un comportamiento térmico conocido como régimen dinámico.

Así los materiales considerados aislantes (de baja conductividad térmica) poseen características por densidad y calor específico que en evaluaciones obtendrán diferente desempeño en relación con otro material aislante, aun cuando el valor de conductividad térmica sea el mismo, pues basta que la densidad de cada material difiera para que presenten comportamiento variable (Barrios et al, 2011). Para un valor de conductividad térmica existen varios valores de calor específico volumétrico (relación de densidad y calor específico) por lo que se requiere definir diferentes propiedades de los materiales para caracterizar su comportamiento térmico. (González, 1997)

Comportamiento térmico por difusividad y efusividad

El principio de conductividad de calor de un cuerpo implica que el flujo de energía siempre ira en direccion del de mayor temperatura hacia el de menor temperatura, involucrando conceptos que determinan el flujo de calor en los materiales. Para introducir los conceptos de difusividad (a) y efusividad (b) en la selección de materiales, hay que comprender como se correlacionan características térmicas en régimen dinámico con el objetivo de reconocer la viabilidad y aplicabilidad de los conceptos térmicos. (Gonzalez, 1997)

Tabla 25.-Características térmicas de los materiales de construcción

Relación	Concepto	Característica	Unidad	Rango
Características térmicas elementales (estacional)	Conductividad térmica (λ)	Capacidad de conducir calor	W/mK	1-135
	Densidad (ρ)	Masa volumétrica	Kg/m ³	1-170
	Calor específico (Cp)	Caracteriza la capacidad de un material de almacenar calor	J/kgK	1-4 sin agua (poca variación)
Combinación (régimen dinámico)	Calor específico volumétrico (ρC_p)	Capacidad de almacenamiento de calor y es el producto de la densidad por el calor específico		
	Difusividad térmica $a = \frac{\lambda}{\rho C_p}$	Velocidad de difusión	m ² /s	1-12
	Efusividad térmica $b = (\frac{\lambda}{\rho C_p})^{1/2}$	Flujo de calor que el material absorbe dependiendo de su estado térmico	J/m ² Ks ^{1/2}	

Elaboración propia. Adaptado de González (1997)

Tabla 26.- Materiales y sus propiedades térmicas a temperatura ambiente

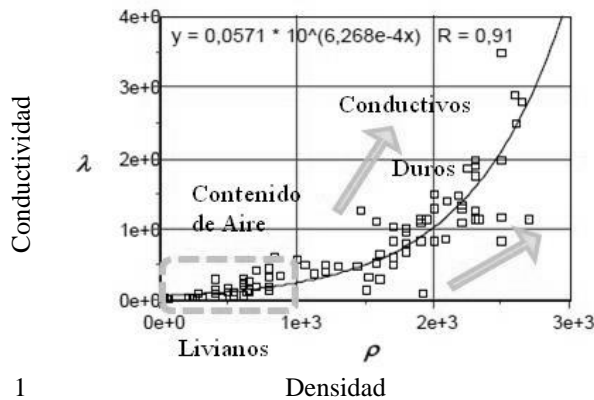
Material	λ	ρ	Cp	a	b
	W/mK	Kg/m ³	J/kgK	M ² /s	J/m ² K's
Poliuretano	0.026	30	1400	6.19E-7	3.30E+1
Aire	0.026	1.223	1063	2.02E-5	5.85E+0
Poliestireno	0.035	50	1675	4.18E-7	5.41E+1
Espuma fenólica	0.038	30	1400	9.05E-7	3.99E+1
Lana de vidrio	0.041	200	656	3.13E-7	7.33E+1
Corcho comprimido	0.085	540	2000	7.87E-8	3.03E+2
Mortero de cemento	0.090	1920	669	7.01E-8	3.40E+2
Madera de construcción	0.130	630	1360	1.52E-7	3.34E+2
Madera de pino	0.148	640	2512	9.19E-8	4.87E+2
Madera pesada	0.200	700	1250	2.29E-7	4.18E+2
Concreto celular	0.220	600	880	4.17E-7	3.41E+2
Tierra con paja	0.300	400	900	8.33E-7	3.29E+2
Yeso	0.488	1440	900	4.05E-7	7.67E+2
Mortero cemento/arena	0.530	1570	880	3.38E-7	9.12E+2
Agua	0.582	1000	837	1.39E-7	1.56E+3
Ladrillos de arcilla	0.814	1800	1000	4.91E-7	1.16E+3
Tierra muro portante	0.850	2000	4.91E-7	1.16E+3	1.24E+3
Vidrio plano	1.160	2490	921	5.61E-7	1.55E+3
Arcilla	1.279	1460	900	9.97E-7	1.28E+3
Piedra arenisca	1.300	2000	830	9.13E-7	1.36E+3
Concreto pesado	1.750	2300	879	8.27E-7	1.92E+3
Piedra	1.861	2250	712	1.16E-6	1.73E+3
Mármol	2.900	2590	920	1.40E-6	2.45E+3
Granito	3.500	2500	712	1.86E-6	2.57E+3
Acero	50	7800	920	1.25E-5	1.41E+4
Aluminio	160	2800	712	1.25E-5	1.41E+4
Cobre	399	8900	800	1.13E-4	3.65E+4
Max	389.00	8900	4187	1.13E-4	3.65E+4
Min	0.026	1	385	7.01E-8	5.85E+0
Rango	388.974	8899	3802	1.13E-4	365E+4

Referencia: González (1997)

En el marco de la reducción energética el conocimiento del comportamiento térmico de los materiales resulta importante para lograr condiciones de confort. En espacios interiores no climatizados la temperatura interior depende de propiedades como la conductividad térmica y el calor específico volumétrico, donde la radiación y la temperatura exterior son variables exteriores que influyen el desempeño térmico de los materiales, identificando dos parámetros en todos los materiales: difusividad térmica y la efusividad térmica. Resultado de considerar un régimen dinámico, regido por las características térmicas elementales (González 1997)

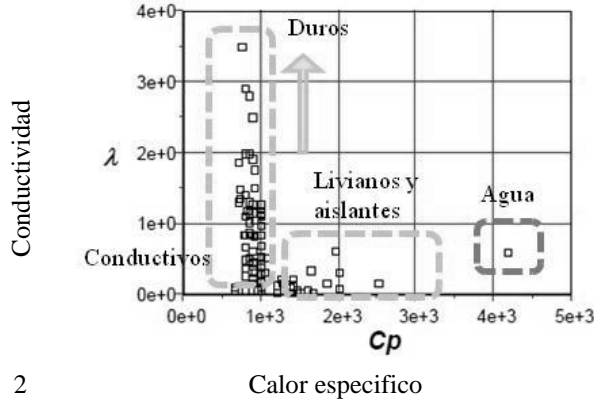
Gráfica 7.-Correlación de conceptos elementales

Figura 1



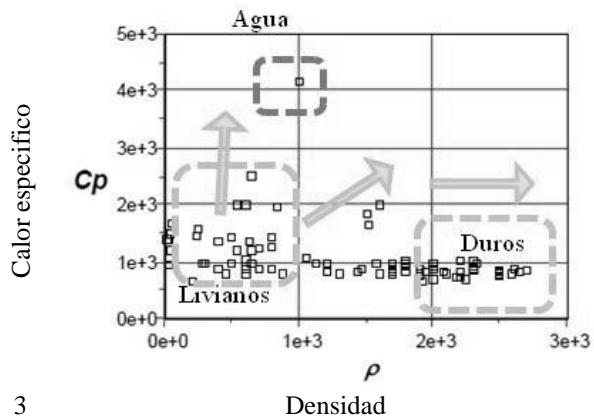
Se relaciona conductividad y densidad. Donde el incremento de la densidad es directamente proporcional al de la conductividad. Donde a mayor contenido de aire en el material menos transmisión de calor.

Figura 2



En la relación entre conductividad y calor específico, con excepción del agua, existe poca variación. Destacando las propiedades de los materiales conductivos de poco valor de calor específico

Figura 3

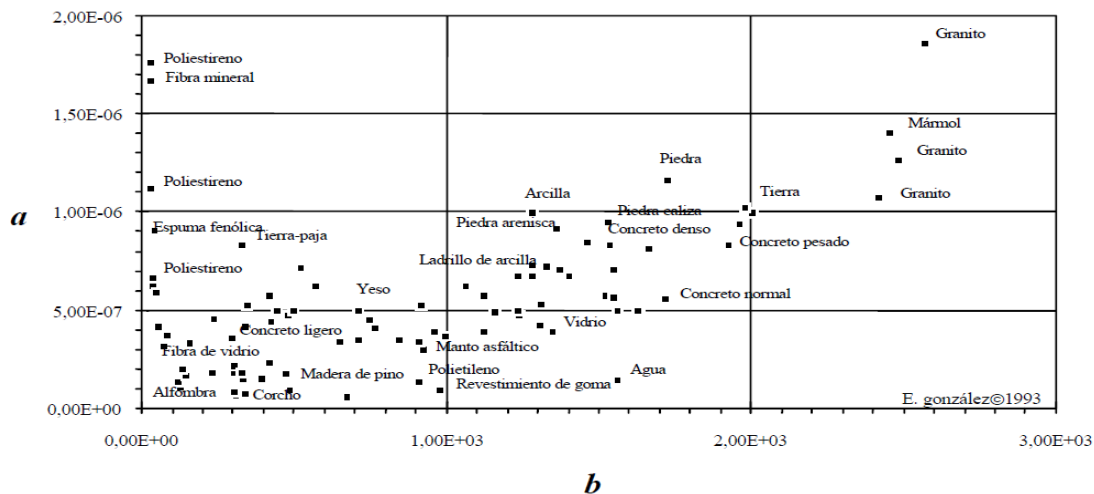


Se da una relación con la figura 2 pero mayor dispersión del calor específico en la gráfica. Lo anterior por que los valores de densidad y conductividad de los materiales de construcción tienen una relación 1 a 135 y 1 a 170 según la tabla 3.4 mientras que los rangos de calor específico tienden a una reducida relación 1 a 4, casi constante. Sin considerar agua.

Referencia González (1997)

La adecuada lectura de la tabla 8 permite seleccionar materiales para diferentes criterios de uso y para explicar el comportamiento térmico de los materiales bajo régimen dinámico y bajo variables de temperatura en un clima cálido húmedo. Donde (a) representa valores de difusividad y (b) determina valores de efusividad.

Gráfica 8.-Valores a y b de materiales de construcción y aislantes



Correlación de a y b. Referencia: González (1997)

Simulación de evaluación climática e indicadores de temperatura.

Para comprobar resultados se utilizó un análisis de los prototipos donde se seleccionó el día crítico para medir por medio de la climatología dinámica. Se comparó temperatura superficial interior (TSI) con temperatura superficial de la piel (TSP) de Auliciems y Szokolay, (1997) y se determinó la Temperatura Neutral (TN) para la región como rango de control. Se usó 10 cm de techo de concreto armado como muestra testigo. Evaluando en sentido horizontal por mayor efecto de la radiación, resultado de observar en evaluaciones numéricas pequeñas variaciones en resultados entre muros y techos, por lo que resultados de análisis térmicos en techos serán adecuados también en muros.

Evaluación experimental por método de la aguja térmica.

Se evaluó propiedades térmicas de materiales para determinar su posible aplicación arquitectónica utilizando el KD2 Pro que consiste en un método transitorio de fuente lineal de calor, utilizando el sensor SH-1 que mide temperatura contra el tiempo de calentamiento y enfriamiento por medio de dos agujas paralelas con sensor de temperatura y una resistencia que provoca flujo térmico para determinar resistividad térmica (rango de +/- 0.01 W/mK de 0.02 a 0.20 W/mK, conductividad térmica (rango de 0.02 a 2.00 W/mK), calor específico volumétrico (rango de +/- 10% en

conductividades sobre 0.1W/mK) y difusividad térmica (rango de ± 10 en conductividades sobre 0.1 W/mK)

El tamaño de las muestras depende de las propiedades térmicas del material representativo y las características del sensor, se utilizó el SH-1 que consta de agujas dobles de 3 cm de largo y 1.3 mm de diámetro con un espaciado de 6 mm generalizando un radio de 2 cm alrededor del sensor para conductividades alrededor de 0.5W/mK (conductores) y para conductividades menores el tamaño de muestra puede ser de menor dimensión. Para evitar efectos de frontera la medición se realiza en una cámara aislada permitiendo en cada lectura el equilibrio de temperatura entre muestra y el entorno circundante. El tiempo de lectura se realizó en lapsos de dos minutos con intervalos de 15 minutos. Toma 30 segundos para equilibrar la temperatura en cada lectura antes que comience el calentamiento entre el sensor y el material. El sensor toma 16 lecturas de temperatura durante el lapso. Se realizaron 10 lecturas para minimizar la resistencia de contacto y comparar resultados en una misma muestra.

Antes de introducir el sensor se realizó la perforación de los agujeros en la probeta utilizando un molde para garantizar el espaciado correcto y que las agujas estuvieran paralelas durante la inserción para asegurar una adecuada incertidumbre en la medición del equipo. Se aplicó a las agujas grasa térmica de la marca Artic Alumina para mejorar el contacto entre orificios perforados en la probeta y los sensores. Existe un valor denominado “Err” que es un modelo de la certidumbre del proceso de medición, si el modelo se ajusta a los datos apropiadamente, entonces $\text{Err}=0.000$. El propósito demostrar el error de lectura es informar posibles problemas con los datos, una buena serie de datos en las lecturas presenta valores de $\text{Err}=0.0100$, si el valor de Err es inusualmente largo hay que descartar el dato, esperar quince minutos y realizar otra lectura.

Imagen 15.- Dispositivo KD2 Pro



Referencia: Decagon Device-INC. 2017

El “Método de la Aguja Térmica” es transitorio utilizado para medir la conductividad con una sonda metálica en forma de aguja que se calienta por medio de la aplicación de una corriente eléctrica durante un periodo de tiempo. Con un termopar se mide la variación de temperaturas que experimenta a lo largo del tiempo y por medio de unas expresiones matemáticas se obtiene la conductividad en pocos minutos de acuerdo con la norma ASTM D5334-08. Se aplica para determinar la conductividad térmica, resistividad, difusividad térmica y calor específico volumétrico de los materiales a temperatura ambiente. (Decagon-Device-INC., 2017).

La incertidumbre de la medición de conductividad es de $\pm 10\%$ con lapsos de medición entre 1 a 10 minutos introduciendo el sensor en el interior del material. En el interior de las agujas se ubican los sensores que se conectan a una terminal donde se almacenan los datos que posteriormente se pueden descargar a una tabla de Excel. El instrumento utiliza modelos matemáticos que relacionan el incremento de la temperatura con el calor suministrado a la aguja y la difusividad del material muestra, midiendo la evolución de la temperatura con el tiempo. El KD2 Pro calcula 30 mediciones de temperatura en la fase de calentamiento y 30 en la fase de enfriamiento, de los cuales considera los últimos 20 valores resolviendo el cálculo con el software. No se puede intervenir en la precisión del aparato, solo verificar su correcto funcionamiento con los patrones y no doblar la aguja.

Determinación de coeficientes de difusividad.

La evaluación de la difusividad se realiza por métodos dinámicos y éstos son periódicos (flujo de calor constante) o transitorios (suministro de calor modulado con un periodo fijo). Para esta investigación se utilizó el método de flujo de fuente de calor lineal que es transitorio y es también

conocido como *de hilo caliente* y se basa en el flujo térmico de manera controlada hacia una muestra, tomando lectura de los cambios de temperatura dentro del material en relación con el tiempo de disipación del calor dentro de la probeta evaluada.

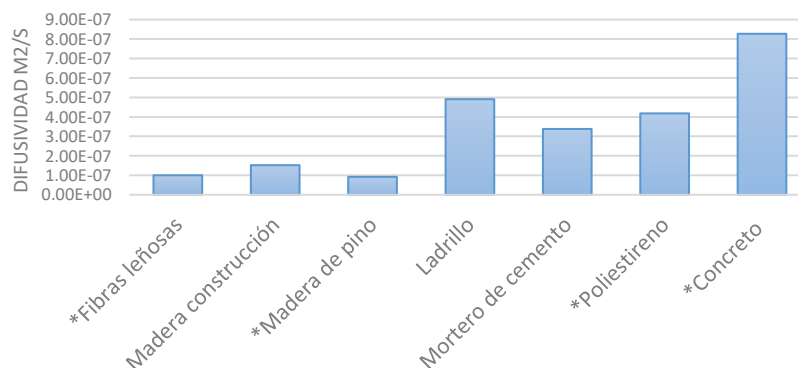
Criterios de selección del material

Al tomar en cuenta el contexto al que va dirigida la propuesta tecnológica (vivienda social) se definió el requerimiento para seleccionar el material que sea accesible a una región rural específica, además de que debía presentar un bajo impacto ambiental en su elaboración, por lo que se encontró un área de oportunidad en los materiales locales. Se ubicaron los siguientes materiales como objeto de estudio:

- **Arundo Donax:** de nombre común “Carrizo” o “Caña brava”
- **Zea Mays:** Conocido como caña maíz consiste en un tallo simple.

Una vez seleccionados los materiales hay que considerar los rangos de coeficientes de conductividad de materiales aislantes que de acuerdo con la literatura están entre los valores de 0.043-0.288 (I: buen aislante) y de 0.288- 0.721 (II: moderado aislante) en w/mK (watts por metro Kelvin). De igual manera, para la difusividad se determinó que un desempeño térmico apropiado es cuando el valor es menor a 2.00 mm²/s (milímetros cuadrados por segundos). (Gonzalez, 1997) La gráfica 2 muestra los resultados de acuerdo con valores registrados por otras evaluaciones que comprenden la difusividad térmica, donde las fibras leñosas (material natural) presentan coeficiente de 1.00 mm²/s. Bajo esas premisas el carrizo (Arundo Donax) y la caña maíz (Zea Mays) podrían poseer características de resistencia al flujo de calor.

Gráfica 9. Análisis de difusividad térmica.



Referencia: elaboración propia con datos de Inocente Bojórquez Báez, Ma. Milagrosa Pérez y José

Obtención de los coeficientes térmicos en los materiales seleccionados

Para evaluar las propiedades térmicas (conductividad y difusividad) del Arundo Donax y Zea Mays se utilizó el instrumento KD2 Pro desarrollado por la empresa Decagon Devices, (imagen 1) por ser un método dinámico en régimen transitorio. El equipo mide propiedades térmicas de conductividad, resistividad, calor específico volumétrico y difusividad, por medio de un kit de sensores para usarse en casi cualquier material o del cual pueda desarrollarse una probeta que garantice un buen contacto térmico entre los sensores; lo que es crítico para la precisión de las lecturas.

Es importante permitir un lapso de quince minutos para calibrar entre lecturas, aun cuando el sensor se encuentre dentro de la muestra, además de realizar múltiples mediciones sucesivamente en un ambiente equilibrado con un número suficiente de lecturas para reducir errores. El equipo se basa en la teoría del método transitorio de fuente de calor lineal para medir propiedades térmicas y consiste en una aguja calentada que contiene un sensor de temperatura por dentro que monitorea lecturas con intervalos y registra en función del tiempo de disipación del calor. El proceso de evaluación se determinó de acuerdo con la norma ASTM D5334-08. Las mediciones se llevaron a cabo utilizando el sensor SH-1 (imagen 21) que consta de agujas dobles de 3 cm de largo y 1.3 mm de diámetro con un espacio entre agujas de 6 mm calibrado por medio de una muestra testigo de conductividad conocida.

Se construyeron las probetas con un radio de 2 cm alrededor del sensor (imagen 6) evitando espacios de más de dos milímetros en el área de la sección a medir para evitar espacios con aire que interfieran en la medición, como lo establece la literatura al analizar los materiales.

Imagen 16.- KD2 Pro



Autor

Imagen 17.- Probeta Arundo Donax



Autor

Imagen 18.- Probeta Zea M.



Autor

Imagen 19.- Sensor SH1 y grasa térmica



Autor

Para reducir flujo térmico las mediciones se realizan en una cámara aislada permitiendo equilibrio térmico entre sensor y muestra. Se aplicó grasa térmica en las agujas para mejorar el área de contacto con la probeta al introducir el sensor (imagen 21). El equipo de medición KD2 Pro considera como aceptables aquellas lecturas con un valor de error menor a 0.01, esto para garantizar que el procedimiento ha sido el correcto. Se aplicaron 367 lecturas para ambas muestras (Arundo Donax y Zea Mays) de dos minutos en lapsos de quince minutos dentro de una cámara de poliestireno. Lo anterior con la finalidad de disminuir la incertidumbre y obtener un mejor análisis estadístico.

Tabla 27.-Descripción de resultados

Material	Absorbe	Acumula	Transmite
Arundo D.	Adecuada Resistencia Térmica	Capacidad de retener energía térmica	Baja difusividad
Zea Mays.	Adecuada Resistencia Térmica	Capacidad de retener energía térmica	Baja difusividad

Elaboración propia

Los coeficientes obtenidos para ambos materiales son aceptables y los clasifican de aislantes. Zea Mays presenta menor conductividad que el Arundo Donax pero una difusividad mayor, por lo que se transfiere más rápido el flujo térmico. El Arundo en la suma de sus propiedades presenta mejor comportamiento como material aislante que Zea Mays. Lo anterior presupone que la difusividad térmica es un factor más apropiado para selección de materiales.

Tabla 28.- Análisis y comparación de resultados Arundo D.

Arundo D.	Conductividad	Resistividad	Calor específico volumétrico	Difusividad
	λ W/(m*K)	Rho °C*cm/W	Cpv MJ/(m ³ *K)	A mm ² /s
Promedio	0.123	847.074	0.964	0.129
Máximo	0.138	1769.3	1095	0.157
Mínimo	0.057	727.2	0.386	0.120
Moda	0.122	820.6	0.997	0.122
Desviación	0.01774	232.106	0.17257	0.01259

Referencia: Elaboración propia

Tabla 29.- Resultados Zea Mays

Zea Mays	Conductividad	Resistividad	Calor específico volumétrico	Difusividad
	λ W/(m*K)	Rho °C*cm/W	Cpv MJ/m ³ *K)	A mm ² /s
Promedio	0.058	1716.7	0.4	0.1
Máximo	0.061	2208.0	0.4	0.3
Mínimo	0.045	1634.1	0.2	0.1
Moda	0.059	1684	0.426	0.14
Desviación	0.001626308	2117014	0.44464	0.08753

Referencia: elaboración propia

En ambos materiales se observó un comportamiento térmico apropiado al evaluar y relacionar los resultados de conductividad con materiales convencionales de la construcción considerados para ser usados como aislantes. Tanto Arundo Donax como Zea Mays presentan resistencia al flujo térmico.

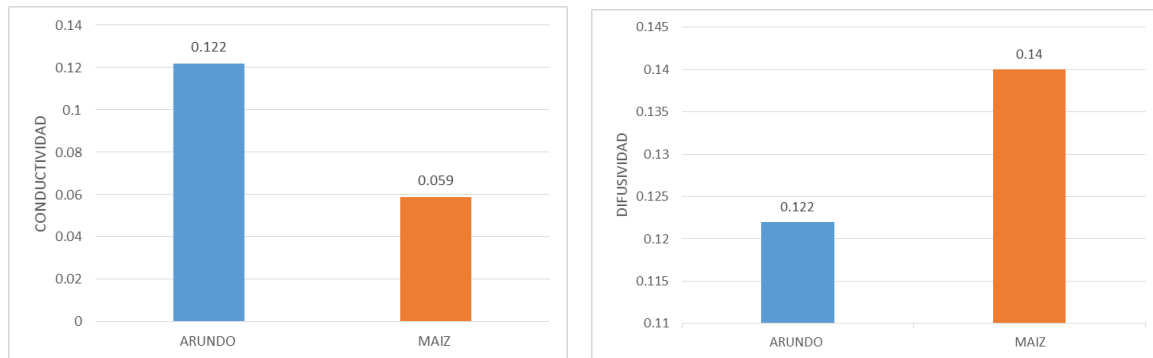
Tabla 30. Materiales y sus propiedades térmicas a temperatura ambiente

Material	Conductividad Λ	
	W/mK	Referencia
Poliuretano	0.026	González (1997)
Aire	0.026	
Poliestireno	0.035	
Espuma fenólica	0.038	
Lana de vidrio	0.041	
Caña Maíz (Zea Mays)	0.059	Evaluación propia
Mortero de cemento	0.090	González (1997)
Madera de construcción	0.130	
Carrizo (Arundo Donax)	0.122	Evaluación propia
Madera de pino	0.148	González (1997)
Madera pesada	0.200	
Concreto celular	0.220	
Fibras Leñosas	0.295	Bojórquez, Milagrosa y Domínguez (2010)

Referencia: elaboración propia con datos de la literatura

Por su capacidad térmica los materiales naturales conforman una alternativa para ser usados como una capa de aislamiento en las cubiertas de vivienda social para reducir el flujo térmico. El estudio llevó a identificar propiedades térmicas elementales de los materiales: el calor específico, la densidad y la conductividad térmica y que definen la propiedad dinámica de la difusividad. Clasifican por su baja conductividad de materiales aislantes. Una menor difusividad reduce transferencia de calor. Por lo tanto, el Arundo Donax tiene mejor desempeño

Gráfica 10.- Comparación desempeño conductividad-difusividad.



Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos al evaluar la difusividad clasifican a los materiales como materiales aislantes, por lo tanto, al ser utilizados en cubiertas de vivienda tenderían a disminuir el flujo térmico y, por consiguiente, a reducir temperaturas interiores en rangos de temperatura de confort térmico. Además, ambos materiales (al ser de origen natural y estar presentes en regiones rurales) presentan mejores prestaciones ambientales y económicas que otros materiales aislantes industrializados como el poliestireno que por su proceso de elaboración provoca impactos ambientales.

Al comparar el desempeño térmico por conductividad los materiales evaluados compiten con los materiales convencionales considerados aislantes y se establece que este tipo de materiales sirven para fabricar elementos que permitan adosarse a sistemas estructurales y mejorar la temperatura en las edificaciones a un menor costo. Se define la difusividad como un parámetro que describe al material de una manera más cercana a la realidad, marcando diferencias del comportamiento de un mismo material por la relación de su conductividad y su capacidad de almacenar calor por unidad de volumen. Por lo tanto, para un criterio de selección de materiales para un adecuado desempeño térmico hay que analizarlos por su difusividad térmica. Entender como el material conduce la energía térmica presupone mejores prácticas en procesos constructivos.

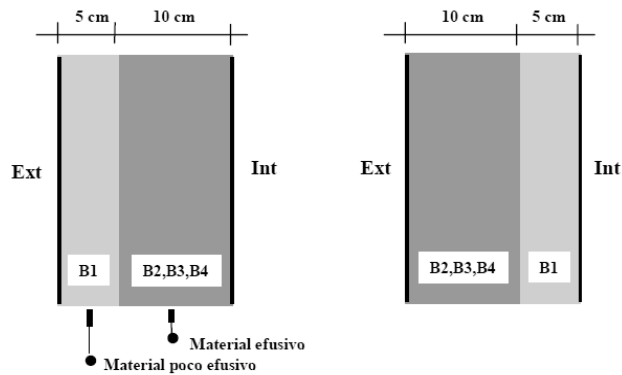
Comportamiento térmico de envoltentes compuestos

La realidad de envoltentes en la localidad es generalizada a uso de blocks, ladrillos, sistema de concreto armado, entre otros legados vernáculos como adobe y bajareque, en cualquiera de los casos la colocación de aislamiento no es una práctica generalizada, siendo el revestimiento cemento – arena en ambos lados, el recubrimiento principal, sin embargo, su comportamiento térmico no es el más recomendado, por no responder adecuadamente a las características climáticas locales.

La búsqueda de soluciones constructivas bajo un enfoque térmico llevó a la configuración de envoltente con diferentes materiales incorporando la capa de aislamiento. En Tuxtla Gutiérrez la característica térmica es evitar el sobrecalentamiento de la superficie interior de la envoltente. Por lo que se identificó materiales aislantes y sus propiedades térmicas.

¿Cómo combinar materiales para obtener condiciones internas confortables en espacios climatizados pasivamente o reducir su consumo en espacios climatizados activamente?, y ¿cómo determinar las características térmicas de la configuración del muro interior y exterior?

Esquema 21.- Orden del aislamiento en la configuración de muro



Configuración A

Configuración B

Configuraciones evaluadas. Fuente: González (1997)

Los resultados de González (1997) mostraron que el material poco efusivo (aislante) colocado al exterior se desempeña adecuadamente. (Configuración A) y con un potencial para la ventilación nocturna y enfriamiento pasivo. El aislamiento térmico de la envolvente depende del tipo de material, espesor y densidad y según la NMX-C-460-ONNCCE-2009 a mayor resistencia mayor es la eficiencia del aislamiento.

Tabla 31.- Comparación de espesores necesarios para eficiencia en aislamiento

Material	Transmitancia térmica (W/mK)	Espesor necesario para alcanzar 0.3 W/m ² K (m)
Concreto armado	2.3	7.30
Tabique macizo	0.80	2.50
Tabique aligerado	0.40	1.25
Madera de pino	0.13	0.40
Paja	0.055	0.18
Aislamiento estándar	0.040	0.13
Aislamiento mejorado	0.025	0.08

Referencia: Guía del estándar *Passivhaus*, 2011

Para realizar el análisis térmico de los materiales se utiliza la norma NMX-C-460 ONNCCE que determina el valor de resistencia térmica (R) en muros y cubiertas estableciendo parámetros de cumplimiento con la expectativa de lograr ahorro energético. La expresión matemática para determinar el valor R relaciona la conductividad térmica (λ) del material, el espesor y los

coeficientes superficiales de transmisión del calor. El cálculo numérico del valor R en sistemas constructivos homogéneos de varias capas realiza la suma de las resistencias parciales ($R_{si}+R_1+R_2+R_n+R_{se}$) de cada una y considera la superficie exterior (h_i) como una constante dependiendo su posición y la superficie exterior (h_e) como el coeficiente superficial de transmisión de calor. El valor del coeficiente es multifactorial, incidiendo textura, movimiento del aire y las sollicitaciones del contexto.

El proceso utiliza un modelo físico unidimensional de carácter estacionario. (ONNCCE, 2009). Se seleccionaron materiales utilizados para vivienda en México corroborando en la literatura el valor de conductividad térmica, para los valores de resistencia térmica obtenidos se consideró el de cumplimiento, habitabilidad y ahorro energético que determina la NMX-C-460-ONNCCE considerando los valores correspondientes a la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas con clima cálido subhúmedo. Para configurar muros y envolventes que cumplan con el ahorro energético se realizaron diferentes configuraciones de sistemas para muro y cubiertas para formar envolventes multicapa y así establecer el espesor y tipo de configuración para lograr ahorro energético.

Tabla 32.- Materiales más usados en vivienda de México

Muros	Techos
Cartón, hule y llantas	Material de desecho
Lámina de cartón	Lámina de cartón
Palma, madera	Lámina metálica
Lámina metálica, fibra de vidrio, mica o plástica	Madera, tejamanil
Carrizo, bambú y bajareque	Carrizo, bambú y palma
Lamina de asbesto	Terrado con vigueta
Panel de concreto	Teja
Concreto monolítico	Losa de concreto
Block	Losa de vigueta con tabique
Adobe	Bovedilla
Ladrillo o tabique	Otros

Fuente: Morillón et al 2011

Tabla 33.-Cálculo de la Resistencia térmica de MUROS

NMX-C-460-ONNCCE

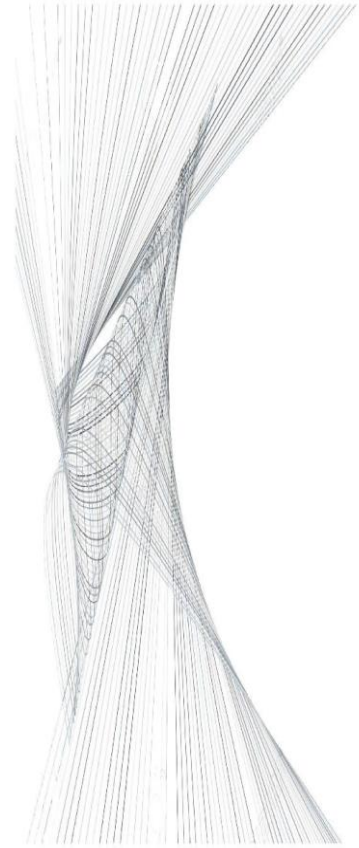
Material	Conductividad térmica W/m ^o K	Espesor m	Conductancia superficial interior hi	Conductancia superficial exterior he
			Resistencia Superficial interior R. Parcial	Resistencia superficial exterior
Lamina de asbesto	0.17	0.005	8.1 W/m ² K 0.123	13 W/m ² K 0.077
Lámina metálica	52	0.0025	0.000048	0.200
***Carrizo	0.122	0.05	0.1075	0.308
Bambú	0.104	0.05	0.4808	0.681
Palma	0.13	0.1	0.7692	0.970
Embarro	0.465	0.2	0.4301	0.630
Bajareque	0.15	0.1	0.6667	0.867
**Fibras leñosas	0.19	0.05	0.2632	0.464
Madera	0.163	0.1	0.6135	0.814
*Madera construcción	0.13	0.1	0.7692	0.970
*Madera de pino	0.148	0.1	0.6757	0.876
Adobe	0.93	0.4	0.4301	0.630
*Tierra muro portante	0.95	0.15	0.1579	0.358
Tabique	0.814	0.14	0.1720	0.372
Ladrillo	0.872	0.14	0.1606	0.361
Block hueco	0.998	0.18	0.1804	0.381
Piedra	2.326	0.15	0.0645	0.265
Cemento	1.514	0.05	0.0330	0.233
Concreto	1.28	0.02	0.0156	0.216
Tepetate	0.29	0.21	0.7241	0.925
Mortero de cemento	0.53	0.02	0.0377	0.238
*Poliestireno	0.035	0.05	1.4286	1.629

Referencia: Elaboración propia con datos de λ de Morillón et al (2011), *González (1997) **Bojórquez (2010) y*** C. Guillén (2018)

Tabla 34.- Cálculo de la Resistencia térmica de TECHOS

NMX-C-460-ONNCCE			Conductancia superficial interior hi 6.6 W/m ² K	Conductancia superficial exterior he 13 W/m ² K
MATERIAL	Conductividad térmica W/m ² K	Espesor m	Resistencia Superficial interior 0.152 R. Parcial W/m ² K	Resistencia superficial exterior 0.077 R. Total W/m ² K
Lamina de asbesto	0.17	0.005	0.0294	0.258
Lámina metálica	52	0.0025	0.000048	0.228
***Carrizo	0.122	0.05	0.1075	0.336
Bambú	0.104	0.05	0.4808	0.709
Palma	0.13	0.1	0.7692	0.998
Embarro	0.465	0.2	0.4301	0.659
Bajareque	0.15	0.1	0.6667	0.895
**Fibras leñosas	0.19	0.05	0.2632	0.492
Madera	0.163	0.1	0.6135	0.842
*Madera construcción	0.13	0.1	0.7692	0.998
*Madera de pino	0.148	0.1	0.6757	0.904
Adobe	0.93	0.4	0.4301	0.659
*Tierra muro portante	0.95	0.15	0.1579	0.386
Tabique	0.814	0.14	0.1720	0.400
Ladrillo	0.872	0.14	0.1606	0.389
Block hueco	0.998	0.18	0.1804	0.409
Piedra	2.326	0.15	0.0645	0.293
Cemento	1.514	0.05	0.0330	0.261
Concreto	1.28	0.1	0.07813	0.307
Tepetate	0.29	0.21	0.7241	0.953
Mortero de cemento	0.53	0.02	0.0377	0.266
*Poliestireno	0.035	0.05	1.4286	1.657

Fuente: Elaboración propia con datos de λ de Morillón *et al* (2011), *González (1997), **Bojórquez (2010) C. Guillén (2018)



Tercera Etapa

RESULTADOS

*“Ecológicamente correcto
Económicamente viable
Socialmente justo
Culturalmente aceptado”*

Se evaluó la resistencia térmica de los materiales de construcción más utilizados en muros y techos de vivienda para un clima cálido subhúmedo, como parámetro de comparación se utilizó un material aislante, el poliestireno y el aire, que tiene bajo valor de conductividad. Ninguno de los materiales convencionales de construcción cumple con el mínimo que la norma considera. En el caso del poliestireno en muros tiene un valor R para ahorro energético sin embargo para cubiertas no cumple. Todos los materiales fueron evaluados para muros y techos y ninguno cumple con al menos el mínimo valor de resistencia requerido por la norma.

Gráfico 11.- Resistencia térmica de materiales p/ muros

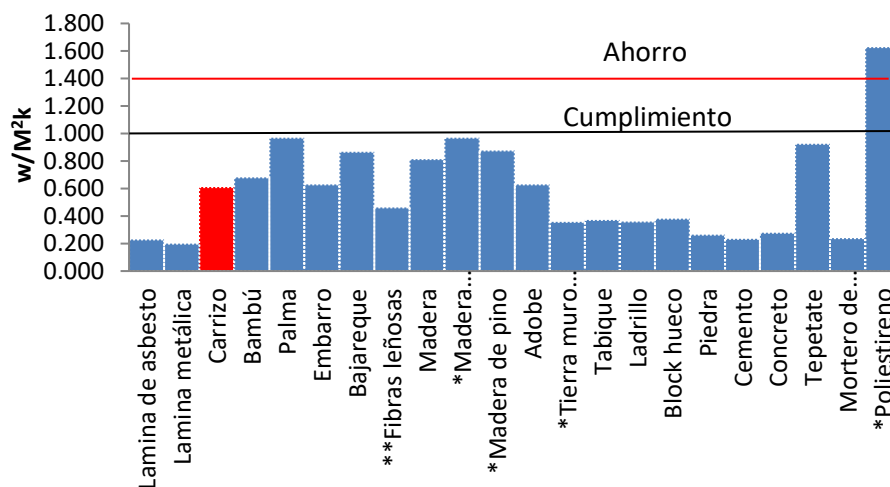
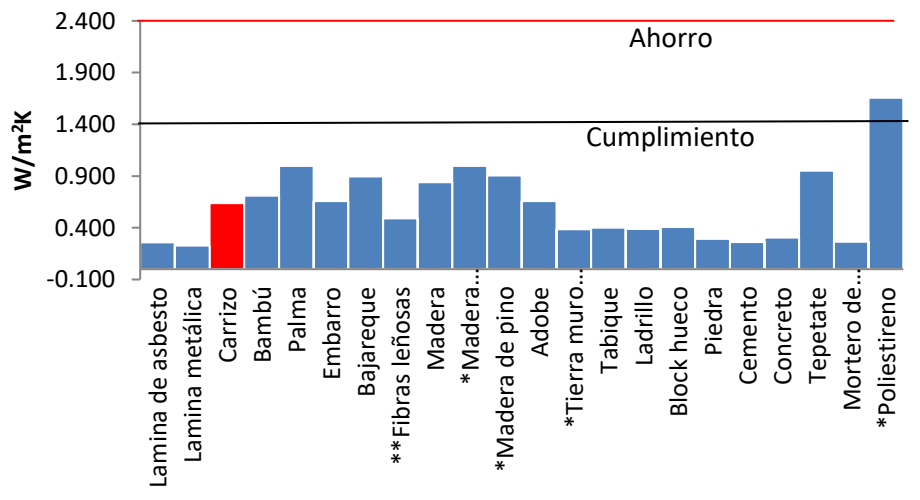


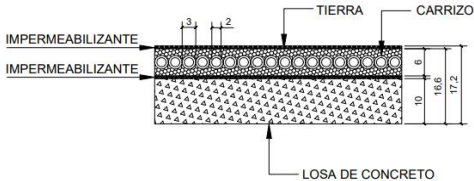
Gráfico 12.- resistencia térmica de materiales p/cubierta



AJUSTES POR VALORACIÓN DE RESULTADOS

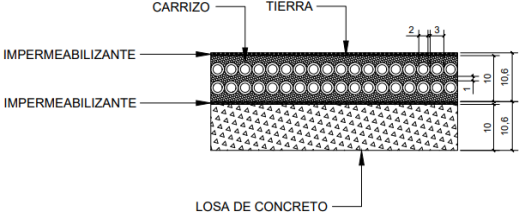
Se realizó la selección de materiales para diseñar configuraciones multicapa utilizando como base losas de concreto considerando espesores en materiales compatibles para lograr ahorro energético. Se evaluó en cubiertas por ser la parte de la vivienda con mayor exposición a estímulos térmicos considerando que si se cumple en cubierta también en muros.

Tabla 35.-Cálculo de la Resistencia térmica de TECHOS



SISTEMA 1	Conductividad térmica W/m ^o K	Espesor m	Resistencia Superficial	
			R. Parcial W/m ² K	R. Total W/m ² K
losa de concreto	1.28	0.1	0.0781	0.307
Impermeabilizante	0.17	0.006	0.035294	0.264
tierra	0.85	0.03	0.0353	0.264
carrizo	0.122	0.01	0.0.714	0.300
Aire	0.026	0.02	0.7692	0.998
Impermeabilizante	0.17	0.006	0.035294	0.264
0.166			R total 2.395 W/m²K	

Tabla 36.-Cálculo de la Resistencia térmica de TECHOS

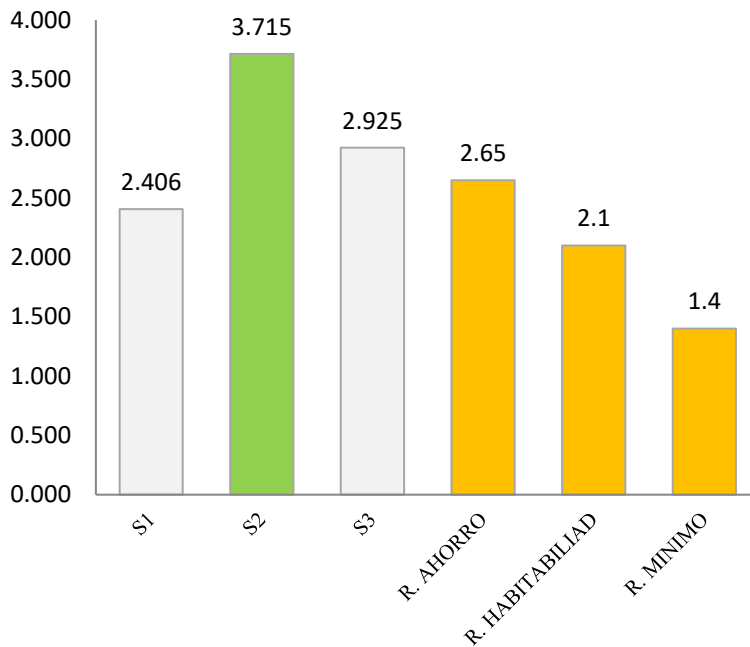


SISTEMA 2	Conductividad térmica W/m ^o K	Espesor m	Resistencia Superficial	
			R. Parcial W/m ² K	R. Total W/m ² K
losa de concreto	1.28	0.1	0.0781	0.307
Impermeabilizante	0.17	0.006	0.035294	0.264
tierra	0.85	0.04	0.0941	0.275
carrizo X 2	0.122	0.02	0.2857	0.600
Aire X 2	0.026	0.04	0.9615	1.996
Impermeabilizante	0.17	0.006	0.035294	0.264
0.212			R total 3.705 W/m²K	

Tabla 37.-Cálculo de la Resistencia térmica de TECHOS

			Conductancia superficial interior hi	Conductancia superficial exterior he
			6.6	13
			W/m²K	W/m²K
			Resistencia Superficial interior	Resistencia superficial exterior
			0.152	0.077
			R. Parcial	R. Total
			W/m²K	W/m²K
SISTEMA 3	Conductividad térmica	Espesor		
	W/m[°]K	m		
losa de concreto	1.28	0.1	0.0781	0.307
Impermeabilizante	0.17	0.006	0.035294	0.264
POLIESTIRENO	0.035	0.05	1.4286	1.657
Impermeabilizante	0.17	.006	0.035294	0.264
			0.156	R total 2.491 W/m²K

Gráfica 13.-Análisis comparativo del valor R de tres sistemas



Medición conductividad térmica: Aparato de Placa Caliente con Guarda (APCG)

Un instrumento primario para medir la conductividad de materiales solidos aislantes es el APCG que por medio de aislamiento de la muestra minimiza el efecto de transferencia por radiación o convección, lo cual permite determinar coeficientes de conductividad. Se define como un método de estado permanente donde existe un flujo de calor unidimensional y es directamente determinada por la Ley de Fourier.

El proceso determinó la elaboración de probetas de 30x30 con dos espesores diferentes y se colocaron termopares en ambos extremos de la probeta considerando su coincidencia para medir el flujo de calor unidireccional que atraviesa la probeta de la placa caliente hacia la placa fría. Los resultados denotan valores de conductividad de 0.8195 W/mK para una probeta de 30x30x10 con dos capas de carrizo de 2.50 cm y dos capas de tierra de la región de 2.50 cm cada una. La resistencia térmica total del sistema tiene un valor de 0.7899 W/m²K.

Imagen 20.-Carrizo



Referencia: autor

Imagen 21.- Probeta



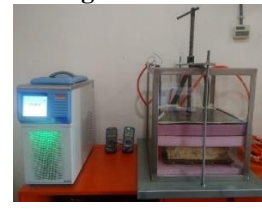
Referencia: autor

Imagen 22.- Colocación



Referencia: autor

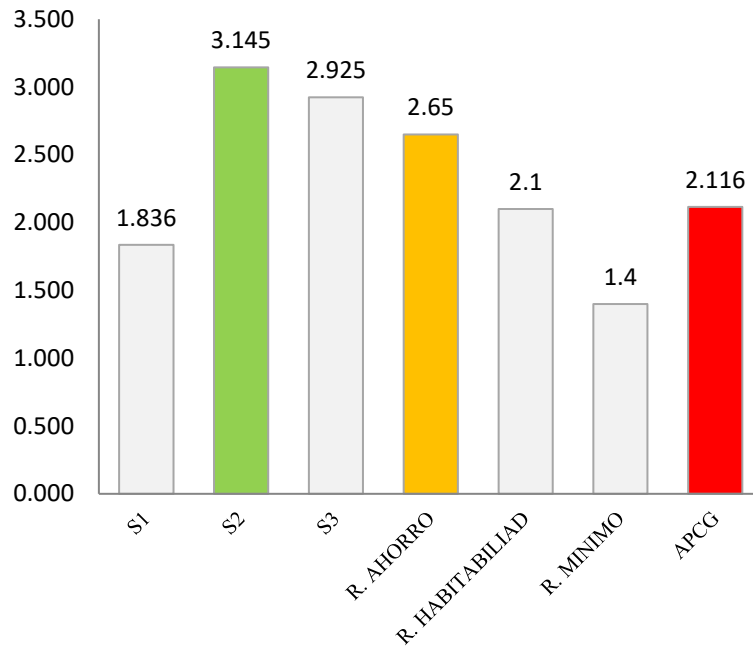
Imagen 23.-APCG



Referencia: autor

El sistema evaluado se denomina APCG para su identificación en las siguientes gráficas, en las que se determinó resistencia térmica, valorando comportamiento de los sistemas sin losa de concreto y considerando una losa de concreto de 10 cm. El APCG se comparó con los sistemas S1, S2, S3 y los valores establecidos por la NMX-c-460-ONNCCE para valores de resistencia de cumplimiento mínimo, habitabilidad y ahorro energético.

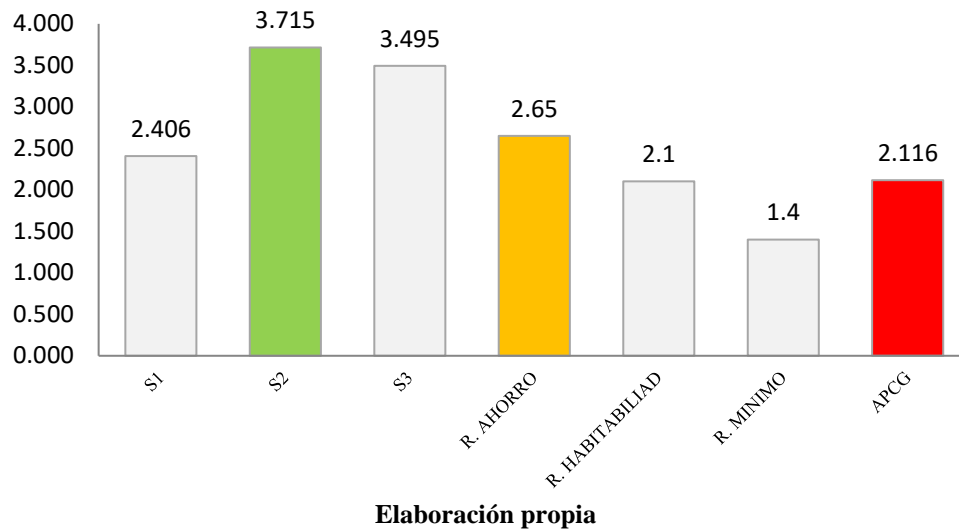
Gráfica14.- - Análisis comparativo de 4 Sistemas propuestos sin losa de concreto



Elaboración propia

El resultado para la comparación sin losa de concreto permite considerar que como sistema unitario las propuestas no logran establecer parámetros de habitabilidad y ahorro considerados por la ONNCCE. Las condicionantes del sitio no permiten que la envolvente simplemente cumpla con lo mínimo establecido por la norma. Se requiere incrementar el espesor de los sistemas para generar mayor resistencia considerando mejorar el diseño de mezcla de la materia prima utilizada para el embarro. Incrementar las capas de carrizo de igual manera mejorara el desempeño de los sistemas por las características geométricas de las piezas de carrizo que en su interior forman un lumen que encapsula el aire, el cual tiene un bajo valor de conductividad térmica. Las capas de aire en sistemas de aislamiento multicapa son deseables cuando se controla la generación de humedad y agentes biológicos dañinos. La tierra interactúa adecuadamente con el material ya que, por su capacidad de control de humedad, regula el sistema.

Gráfica 15.- Análisis comparativo de 4 Sistemas propuestos con losa de concreto



El utilizar los sistemas como aislamiento en una losa de concreto implica mejorar el desempeño térmico por incrementar el espesor de la envolvente, en este sentido todos logran resistencias para habitabilidad, y solo dos (S2 y S3) establecen parámetros de ahorro. Mas allá de lograr parámetros de cumplimiento se discute el hecho de que no se reconoce el orden de las capas en un sistema multicapa cuando se valora resistencia térmica. El poner arriba o debajo de la losa de concreto la propuesta de aislamiento resulta en el caso de materiales susceptibles a degradación por lluvia o viento una desventaja técnica. Lo cual determina que debe realizarse consideraciones de como se utilizara un material por el conocimiento de sus capacidades. Para fines de sistemas naturales a base de carrizo y tierra se aconseja utilizar como plafón considerando las variables técnicas de colocación.

Imagen 24.-Paneles para cubiertas



Referencia: autor

Imagen 25.-Detalle de plafón en cubierta



Referencia: autor

Cuando una edificación interactúa con el flujo térmico su envolvente resistirá la transmisión del calor, pero también absorberá parte del flujo de calor debido a su coeficiente capacitivo o inercial. El estudio de los edificios se basa en evaluaciones estáticas considerando solo las variables que influyen en el cálculo de la resistencia térmica y dejando de lado la influencia de la inercia térmica. Es por ello por lo que los coeficientes de difusividad y de resistencia térmica describen dos comportamientos del sistema. Ya que cuando se calienta un material este experimentará un incremento en su temperatura y en relación con la velocidad en la que se eleva se considera que el material posee mayor o menor capacidad calorífica. Si eleva su temperatura de manera gradual implica que tiene la capacidad de almacenar calor por cada grado de temperatura que se eleva. (Calor específico)

Por tanto, el movimiento de flujo térmico del exterior al interior de un espacio depende de la capacidad del elemento intermedio (la Envolvente) y la velocidad a la que se producirán los cambios de temperatura están en función de las condiciones del espacio exterior e interior, principalmente relacionando la conductividad y la capacidad de acumulación térmica de la envolvente. Todos los materiales tienen una capacidad de almacenamiento de calor y es proporcional a su masa o densidad y al calor específico, con lo que se puede definir el parámetro de masa térmica de un cerramiento.

Cuando un cerramiento tiene la capacidad de conservar la energía térmica que recibe y después de liberarla gradualmente se habla de inercia térmica, la cual es una estrategia adecuada para climatización pasiva de espacios interiores y es una herramienta de análisis que vincula un comportamiento real de un cerramiento. La inercia térmica conlleva a dos fenómenos que son la amortiguación en la variación de temperaturas y el retardo de la temperatura interior respecto a la exterior. No hay un criterio estandarizado para determinar el valor de inercia térmica, pero se consideran los conceptos de masa térmica, admitancia específica, impedancia térmica y el tratamiento de transferencia de calor mediante ecuaciones diferenciales como la de Fourier para calcular el coeficiente.

Para poder determinar el cumplimiento de los objetivos asumidos se utilizan herramientas de cálculo que se basan en la resolución de ecuaciones de dinámica de fluidos en las zonas de estudio alimentando con datos climatológicos del sitio. En conjunto los cálculos numéricos describen el proceso de transferencia de calor.

Uso de programas de cálculo dinámico para análisis térmico en edificaciones

Ante la exigencia de cumplir con parámetros normativos y conocer el rendimiento energético de las edificaciones, es común recurrir a programas de simulación que realizan cálculos de las cargas térmicas en edificaciones y simplifican el proceso de cálculo numérico. Se identifican procesos de simulación térmica en estado transitorio dependientes del tiempo y cálculos en estado estacionario independientes del tiempo (Barrios et al., 2012) el cual es ampliamente utilizado para determinar el valor de resistencia térmica (valor R) y su inversa la transmitancia térmica (valor U) que requieren relacionar el espesor y coeficiente de conductividad térmica del material. Sin embargo, este último procedimiento solamente determina la capacidad de aislamiento del sistema y no relaciona la energía almacenada que se reconoce como inercia térmica. Se discute que para climas en los cuales existe radiación considerable y oscilaciones térmicas se debe evaluar la transferencia de calor para reconocer la cantidad de energía que el sistema almacena y como progresivamente lo libera.

Los datos con lo que generalmente se deben alimentar a los programas de simulación energética en estado dinámico para el cálculo de la temperatura interior, humedad relativa y cargas térmicas como datos de salida son principalmente archivos climáticos del caso de estudio, que pueden ser generados en programas climáticos y para desarrollar el espacio virtual se utiliza el software de código abierto Sketch Up y Energy Plus como motor de cálculo.

Los antecedentes de Energy plus son el BLAST y DOE-2 que son herramientas de simulación de carga energética originados a raíz de la crisis de la década de 1970 que permitió el reconocimiento de la relación entre energía y construcción. Energy plus permite determinar el balance térmico que involucra el cálculo simultáneo de radiación y convección en la superficie interior y exterior, lo cual permite la mejora de la transferencia de calor y simplifica el análisis analítico basándose en modelos de confort térmico.

EP – LAUNCH

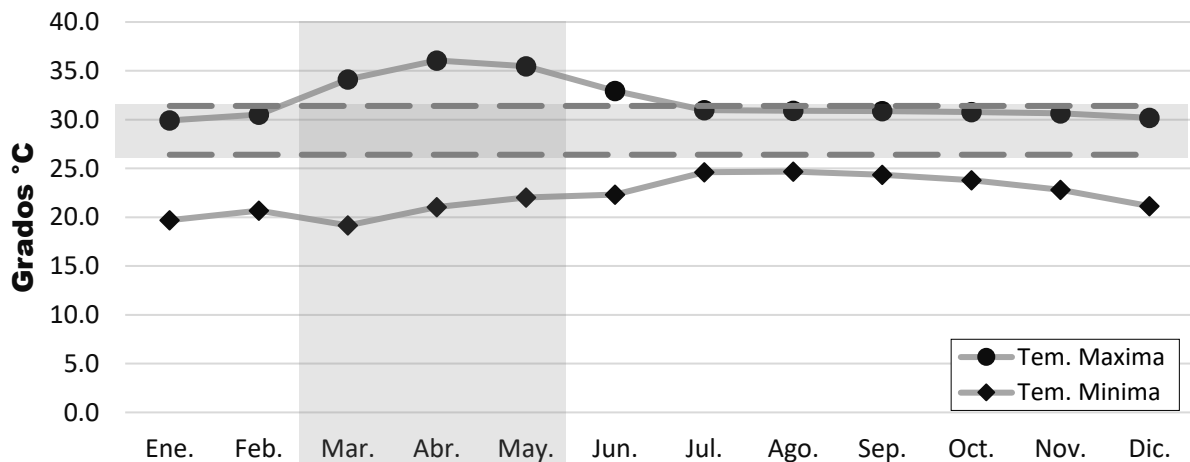
Es un componente de la instalación de Windows Energy Plus que permite una selección simple de los archivos y modificar los datos de entrada, así como visualizar los datos procesados en una hoja de cálculo, navegador web y un visor para el archivo gráfico.

Método de análisis térmico

- Selección del modelo de simulación: Energy Plus
- Datos climáticos
- Caso base ASHRAE Standart 140, Método estándar de prueba para la evaluación de programas informáticos de análisis de energía de edificios (ANSI/ASHRAE 2001) la prueba de simulación de energía de construcción BESTEST
- Temperatura Neutral
- Modelación de interacción de temperaturas interior y exterior vinculando propiedades térmicas de los materiales portantes de la envolvente.
- Presentación y análisis de resultados
- Se utiliza un caso de estudio ubicado en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas con clima cálido subhúmedo.
- Prototipo evaluado: Sistema constructivo 1(S1) tierra-carrizo-tierra-losa de concreto

Se alimentó el EP-Launch con los datos climáticos EPW para la ciudad de Tuxtla Gutiérrez y se editó la cubierta considerando los materiales alternativos evaluados, arundo donax y tierra cruda, para configurar el sistema constructivo valorado como S1 del cual se midió la temperatura superficial exterior (TSE) del sistema, la temperatura superficial interior (TSI) del sistema, considerando un día significativo de calor y representativo del periodo más caluroso del año.

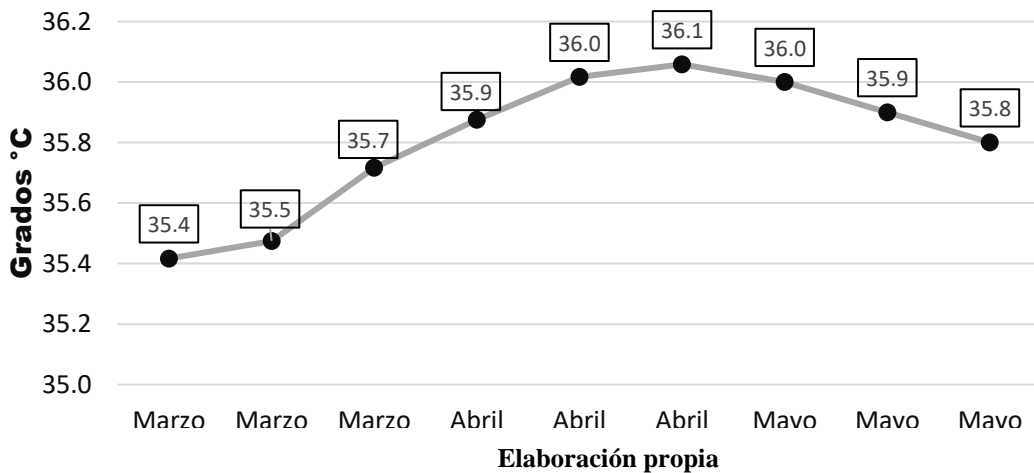
Gráfica 16.- Temperaturas anuales Tuxtla Gutiérrez.



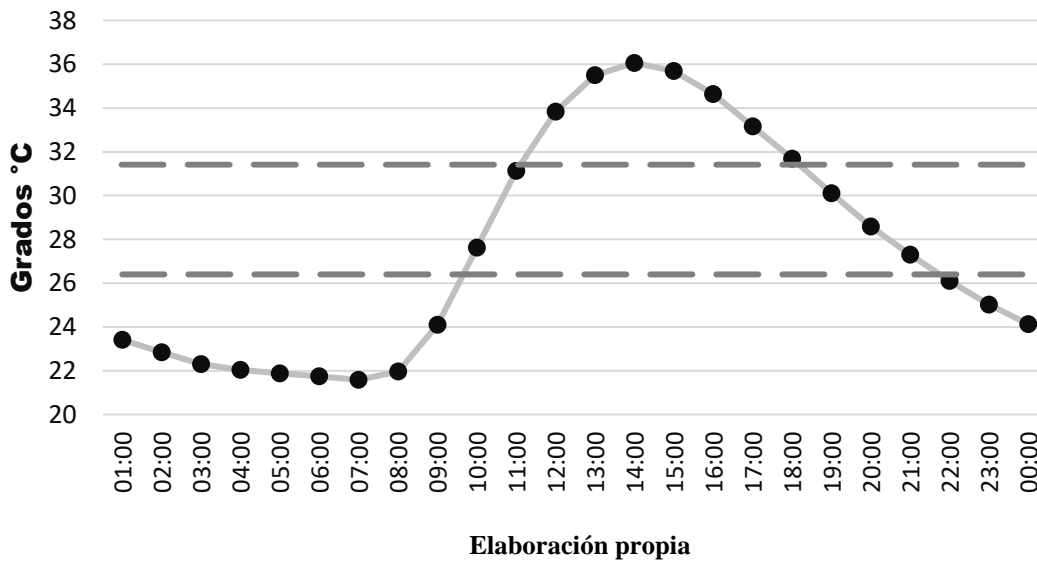
Elaboración propia

Los resultados se presentan en las siguientes tablas, en las cuales primero se identificó el periodo representativo de calor durante un año lo que dio pauta a determinar el día específico para graficar y determinar el lapso más crítico. Así al solucionar la sollicitación térmica del día representativo se solventan los requerimientos térmicos de todo el año. Se consideró temperaturas por arriba de los 31°C como fuera del rango determinado por la temperatura neutral (TN) y que provoca afectación al metabolismo del cuerpo. Se considero la temperatura superficial de la piel (TSP) en 31°C.

Gráfica 17.-Periodo Representativo de calor en Tuxtla Gutierrez

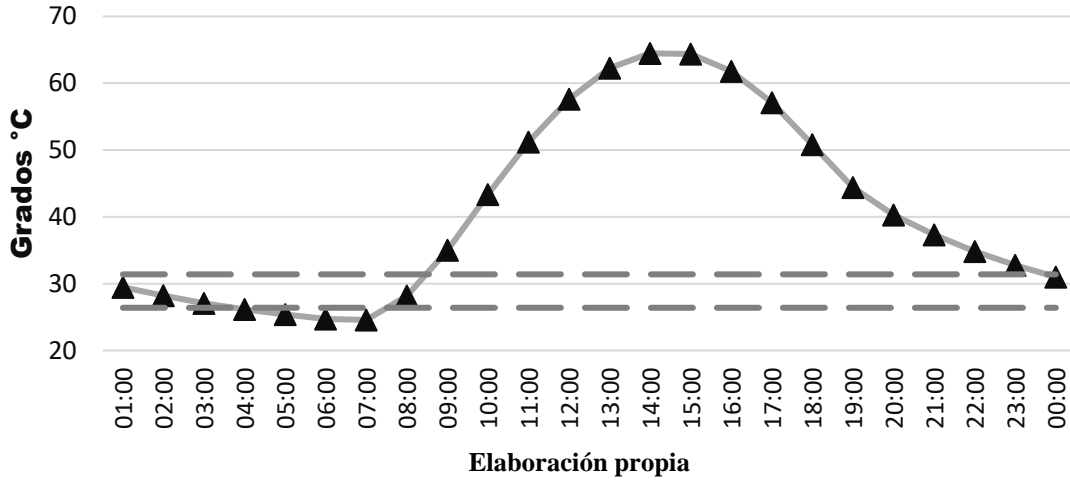


Gráfica 18.- Dia representativo de calor



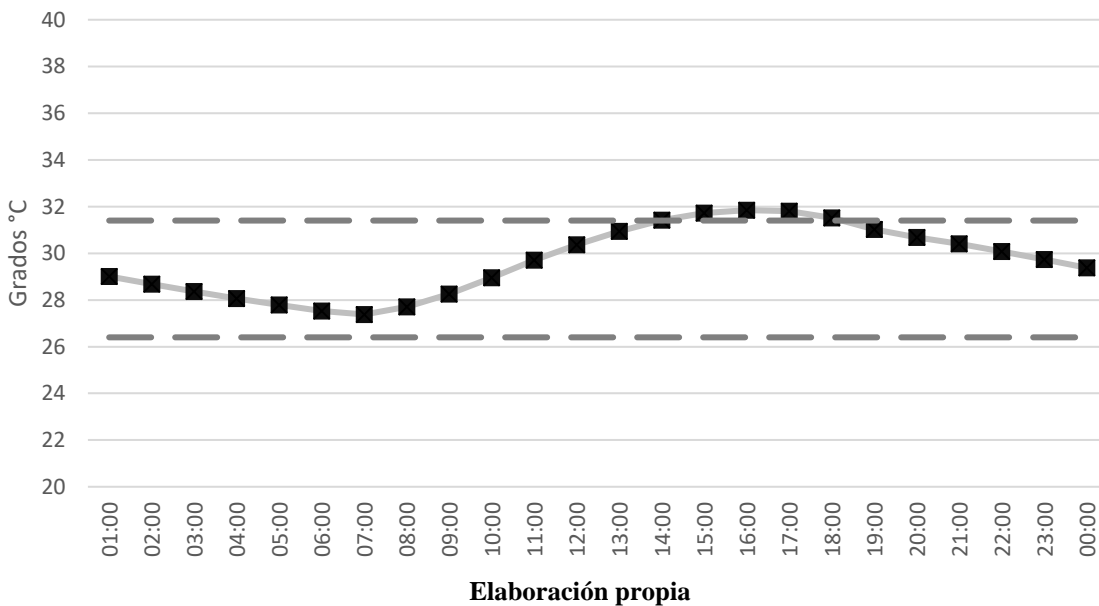
El día representativo de calor denota un lapso de diez de la mañana hasta las seis de la tarde como un superávit térmico, durante este periodo se presentan temperaturas fuera del tango de confort definido por la temperatura neutral. (TN)

Gráfica 19.- Temperatura superficial exterior del sistema (TSE)



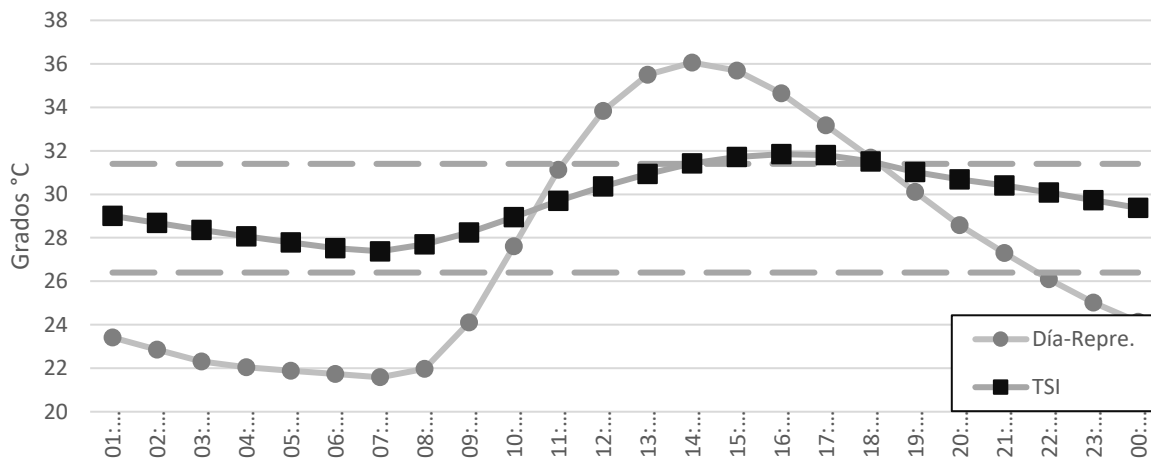
La temperatura superficial exterior (TSE) del sistema presenta un periodo de 8:00 de la mañana a 23:00 de la noche fuera del rango de la temperatura neutral, lo cual representa 15 horas de temperaturas extremas sobre la superficie exterior del sistema constructivo.

Gráfica 20.- Temperatura superficial interior del sistema (TSI)



Sin embargo, la temperatura superficial interior (TSI) del sistema presenta solamente un desfase por arriba de los 31°C de dos de la tarde a seis de la tarde que no llega a los 33°C lo cual significa que existe una contención del flujo térmico y que el sistema tiene la capacidad de absorber la energía, aunque en su exterior no tenga la capacidad de aislamiento. Por lo tanto, un material con adecuada inercia térmica puede tener un óptimo desempeño térmico determinando una configuración de materiales apropiada por su capacidad de acumular y retardar el flujo de calor.

Gráfica 21.- Análisis comparativo de temperaturas



Elaboración propia

CONCLUSIÓN

En la actualidad la envolvente de vivienda elaborada con materiales convencionales de construcción en climas cálidos no responde apropiadamente a los estímulos térmicos dando como resultado espacios interiores ineficientes energéticamente. (Castañeda, 2010). Se considero que una estrategia de acercamiento al ahorro energético es el uso de materiales aislantes en la envolvente, la cual se ha generalizado internacionalmente como control del flujo de calor para lograr construir viviendas de bajo consumo de energía. Normas internacionales determinan materiales termoaislantes valorando la conductividad térmica para conseguir el valor de la resistencia térmica. Considerando que valores por debajo de 1W/mK son aceptables para considerar un material como aislante. El espesor del material aislante incrementa la resistencia térmica de la envolvente por lo tanto las variables a considerar para diseñar una cubierta con adecuada resistencia térmica son el espesor y el valor de conductividad.

Por lo tanto, el aislamiento térmico es una práctica que puede ayudar a controlar los rangos de bienestar térmico y reducir la influencia del flujo de calor; por ello es de importancia conocer las propiedades de conductividad de los materiales regionales para establecer configuraciones de envolventes adaptadas a la región que en su conjunto mejoren el comportamiento térmico de muros y cubiertas.

En la siguiente tabla se establece una postura de conceptos que se analizaron en la investigación planteando una adecuación a un clima cálido subhúmedo.

Tabla 38.-Confrontación situación inicial

Concepto	Postura	Adecuación al contexto
Propiedades elementales	Conductividad-Densidad-Calor específico	Se deben de abordar de manera integrada, cada una describe un comportamiento específico. Encontrar coeficiente por región de cada material.
Resistencia térmica	Inadecuado como único parámetro de calculo	Estrategias pasivas complementarias y concepto de inercia térmica con selección de materiales dinámico
Método simplificado de capas homogéneas	No reconoce orden de las capas y es independiente del clima	Comparar resultados con métodos dependientes del clima.
Método numérico dependiente del clima	Reconoce influencia de radiación y oscilación térmica	Elemento de comparación para establecer rango del valor "R". Comparar con evaluación térmica de prototipos
Simulación numérica	Dependiente e independiente del clima	Válido para diseño de configuraciones de envolvente y conocimiento de comportamiento térmico previo. Acercamiento a la realidad bajo régimen dinámico.
Radiación térmica	Calentamiento de envolvente	Protección por adecuada selección térmica de materiales

Cuarto climatizado	no	Variación de temperatura interior	Amortiguamiento térmico de superficie interior del muro. Inercia térmica. Bajo valor de b exterior (aislamiento)
Comportamiento térmico de materiales		Influye en el desempeño térmico de la envolvente	Delimitar a propiedades térmicas bajo régimen dinámico
Inercia térmica		Delimita oscilación térmica al interior	Adecuado para la capa interior de muros
Difusividad térmica		Como se absorbe, acumula y transfiere el calor en un lapso.	Selección de materiales por valoración térmica
Modelo físico unidimensional		Configuración en capas de la envolvente con temperaturas exterior e interior	Modelo de transferencia de calor.
Temperatura neutral		Rango de confort	No permite comparación con temperatura superficial interior de la envolvente

Elaboración propia

En México la norma NMX-C-460-ONNCCE es el instrumento para aislar envolventes de vivienda con el fin de mejorar la manera en que se consume la energía por la interacción de la envolvente y aunque es una herramienta útil, existen críticas de su efectividad. (Barrios et al, 2011) ya que generaliza la evaluación térmica de materiales utilizando solamente la conductividad térmica, desestimando el comportamiento dinámico del material y acotando el análisis solo en la resistencia térmica. Existen criterios que cuestionan que al buscar altos valores de resistencia térmica no se garantiza un adecuado desempeño térmico y que solo consideran la capacidad del material de conducir el calor, sin considerar que el material tiene también la capacidad de almacenar parte del calor que después restituye al interior. Huelsz *et al* (2009) califican de independiente del clima el cálculo del valor R, según lo analizado por Kuehn *et al* (2001) y Barrios *et al* (2011).

El valor R no considera el amortiguamiento térmico según los resultados encontrados y eso no es lo más adecuado en la valoración térmica de viviendas sin climatización activa, donde se busca que la superficie interior tenga la característica de absorber el flujo térmico interior, además de que el análisis del valor de resistencia térmica no distingue entre la ubicación del material aislante en las capas de la envolvente. Y aunque las críticas hacia la normatividad son válidas, se considera el cálculo de la resistencia térmica en las envolventes como un acercamiento hacia el control del paso de calor que afecta el espacio interior en climas cálidos subhúmedos.

Para poder valorar la capacidad de almacenamiento de calor de la superficie de las envolventes se requiere identificar su valor de difusividad térmica, mientras menor sea el coeficiente de difusividad térmica del material portante la envolvente tendrá características aislantes y de retardo de difusión de calor y mientras mayor sea el coeficiente de difusividad la envolvente restituirá de

manera más rápida el calor que absorba. Seleccionar un mayor coeficiente de difusividad o menor, dependerá de las condicionantes del sitio y de la decisión de utilizar diseño pasivo. En el caso de envolventes multicapas se debe decidir las características que se desean en cada cara. Para el caso de un clima cálido subhúmedo involucrando sistemas pasivos, la estrategia es lograr resistencia al flujo de calor en la cara exterior, lo que significaría utilizar un material termoaislante; mientras que en la cara interior se recomienda que el material tenga capacidad de absorber el flujo térmico y retenerlo para restituirlo gradualmente. Mientras más retardo térmico exista mejor será el desempeño interior.

Tabla 39.- Confrontación situación ideal

Concepto	Postura	Adecuación al contexto
Casa Pasiva	Aislamiento continuo	No adecuado al contexto por factores económicos y culturales en la actualidad
NOM	Obligatoriedad-No cumplimiento	Delimita creatividad y alternativas de diseño
Materiales sustentables	Adecuados parámetros de selección	Asequibilidad
Diseño bioclimático	Conocimiento del entorno	Método de análisis adecuado
Valor “U” o “K”	Parámetro de selección térmica de configuraciones	Orden de las capas
Conductividad	Parámetro de selección de materiales	Disponibilidad de información cuantitativa
Materiales regionales	Alternativas disponibles	Delimitación tecnológica y económica
Temperatura superficial de la piel	Parámetro de comparación	En 31°C

Elaboración propia

El cálculo del valor R se considera útil para el entendimiento de como los sistemas constructivos se comportan en una región específica. Pero se discute la inclusión en evaluaciones térmicas de las propiedades dinámicas de los materiales para mejorar la comprensión del comportamiento térmico de las envolventes arquitectónicas. El uso de la capa de aislamiento no es habitual en los sistemas constructivos de envolventes de vivienda social en México y los materiales más usados en la construcción no cumplen por si solos en la habitabilidad del espacio interior. El cálculo de la resistencia térmica no valora la influencia térmica del orden de las capas en el sistema a la hora de sumar las resistencias parciales de los materiales utilizados. Y se reconoce que como única estrategia pasiva el aislamiento no es suficiente para lograr bienestar térmico.

Además, la propuesta del aislamiento con materiales normados y de venta en el mercado de la construcción no es redituable económica y ambientalmente por lo que la validación de materiales regionales por el estudio de sus propiedades térmicas significaría un área de oportunidad para el desarrollo de sistemas constructivos térmicamente eficientes.

La relación que existe entre el adecuado desempeño térmico de la envolvente y el ahorro energético es de importancia en los procesos de diseño, por lo tanto, es primordial para el arquitecto analizar las propiedades térmicas de los materiales. Y el entendimiento de que existen propiedades elementales (conductividad, densidad y calor específico) y propiedades dinámicas. Las propiedades dinámicas de los materiales deben ser utilizadas para valoración de su comportamiento y se requieren realizar investigaciones de carácter regional en coeficientes térmicos de materiales no convencionales para validar su uso en construcción. Específicamente encontrar coeficientes de difusividad térmica.

El arquitecto debe conocer el comportamiento de materiales ante estímulos térmicos para conseguir ahorro energético y espacios habitables. Actualmente existen métodos que simplifican el análisis para entender cómo controlar el desempeño térmico de los espacios arquitectónicos. Se debe analizar los siguientes conceptos, como complemento al diseño y como criterio de selección de los materiales portantes:

- Propiedades térmicas de materiales de construcción representativos de una región
- Difusividad y efusividad térmica como criterios de selección de materiales
- Cálculo del valor de resistencia térmica para comparar desempeños
- Modelo físico unidimensional para cálculos numéricos
- Temperatura superficial de la piel como parámetro de comparación de la temperatura superficial interior de la envolvente
- Diseño bioclimático para conocer requerimientos térmicos locales

Se resalta que la NMX-C-460-ONNCCE-2009 como complemento de análisis correlacionados resulta una herramienta que acerca el desarrollo del diseño térmico apropiado en la arquitectura, ya que se aprecia como un método falible que permite involucrar y ponderar materiales locales por sus propiedades térmicas, facilitando decisiones y selecciones de configuraciones que acerquen al proceso de diseño en envolvente, por medio de ajustar espesores, orden de las configuraciones y aislamiento en capas.

Se discutió que conocer el desempeño dinámico de los materiales por medio del coeficiente de difusividad térmica determina un entendimiento del comportamiento que tendría un material y que el conocimiento de ello presupone mejores prácticas arquitectónicas en el marco de la eficiencia energética. La relación que existe entre eficiencia energética y desempeño térmico radica en la capacidad que tienen los materiales de absorber, acumular y transferir energía en un periodo de

tiempo determinado, lo cual define el concepto de difusividad térmica y describe la interacción de la envolvente con el medio dando como resultado las temperaturas del espacio interior.

Los materiales se consideran un eslabón importante en la búsqueda de la sustentabilidad por el impacto que tienen a diferentes escalas y por lo tanto su empleo debe de considerar su relación con el ambiente. La investigación utilizó materiales regionales y determinó que representan un recurso pertinente cuando cumple con los requerimientos solicitados para el diseño. Se procedió a determinar propiedades de conductividad, calor específico volumétrico, resistencia térmica y difusividad para describir el comportamiento del material. Definiendo su aplicación en aislantes o conductores o difusivos y que provocan inercia térmica.

Los coeficientes de difusividad encontrados en el Arundo D. y Zea M. permiten entender que existen alternativas regionales para configurar envolventes. El reto es determinar la geometría de uso y su posición en la multicapa de una envolvente. Los resultados demostraron que un material aislante tiene un mejor comportamiento cuando esta al exterior, en el caso de viviendas sin uso de climatización activa, y la característica de la capa interior debe ser de inercia térmica. Así la capacidad del material al exterior retrasará el flujo térmico. Si se propone un material con alta resistencia térmica para la cara exterior, el flujo de calor será contenido y gradualmente liberado, mientras que al interior lo deseable es provocar la acumulación de la mayor parte del calor generado por medio de la capacidad del material de ser poco difusivo y altamente efusivo.

DISCUSIÓN POR APARTADO

Planteamiento del problema

La arquitectura actual tiene un desafío que es reducir el efecto nocivo por efecto de la construcción, vida útil y demolición de los objetos arquitectónicos y aunque se han determinado parámetros de medición para cuantificar el rendimiento de las edificaciones, estrategias eficientes de construcción-operación y las normas de carácter sustentable y eficiente, los resultados aún resultan en prácticas aisladas. México presenta efectos negativos derivados del modelo constructivo de vivienda social y las actuaciones para solventar el problema son deficientes al no considerar la autoproducción de vivienda. El reto es introducir sistemas constructivos de bajo impacto, económicamente viables y de fácil elaboración. Y es en este rubro donde la pertinencia de usar los recursos locales cobra importancia para fines de eficiencia energética y de desarrollar modelos de

vivienda adecuados a las condicionantes del sitio. Se estudió materiales regionales de origen natural y se demostró que poseen propiedades térmicas apropiadas para su uso en envolventes de vivienda.

Caso de estudio

Se realizó un diagnóstico para conocer los requerimientos de temperatura que la región solicita y así establecer los parámetros de cumplimiento que se deben alcanzar, estableciendo la temperatura superficial de la piel en 31°C como máximo rango de temperatura al interior de la envolvente, ya que mientras no se supere la temperatura superficial de la piel, el cuerpo humano se encontrará en equilibrio y no tendrá ganancia de calor y por lo tanto se tendrá la situación óptima para realizar un mejor desempeño de actividades. Se correlacionó la temperatura neutral como parámetro de confort para acotar las múltiples variables que definen dicho estado. La valoración se comenzó por el diagnóstico de lo que se denominó situación inicial, definiendo que el modelo constructivo de vivienda social opera inadecuadamente en términos de comportamiento térmico. Además de que se identificaron y evaluaron los materiales más utilizados en la construcción de vivienda en la localidad.

Los resultados demostraron que la manera en que se utilizan en la construcción estos materiales es ineficiente en términos de desempeño térmico. Se usó como instrumento el valor de la resistencia térmica y se demostró que no existe un modelo constructivo en la región que resulte eficiente térmicamente. Sin embargo, se discutió la valoración del análisis dinámico de los materiales involucrando la difusividad térmica.

Se discutió en términos legales lo que en México resulta una vivienda, sin embargo, la ponderación de lo que es digno y decoroso resulta ambiguo y descarta el uso de materiales regionales de origen natural. El sistema normativo para la construcción de vivienda en México no fomenta opciones de uso alternativos cuando son constituidas con materiales naturales, se solicita la certificación de los materiales bajo estándares que descalifican su aplicación. La discusión se centra en la vida útil y costo de mantenimiento periódico de una vivienda de este tipo. Sin embargo, en el estudio de sus propiedades se encuentra la respuesta para su aplicabilidad y viabilidad de uso en relación con su contexto. Y demostrar que son y han sido un recurso utilizado para la construcción y que pueden ser utilizados en la construcción de vivienda contemporánea como una real respuesta para atender

el déficit de vivienda en las zonas rurales de México y sobre todo mejorar el actual modelo constructivo de envolventes en vivienda social en términos de desempeño térmico.

Confrontación

La confrontación entre el modelo de vivienda deficiente estudiado y un modelo de vivienda eficiente, pero no asequible para la región, hace cuestionar que es lo real posible en la región y la respuesta se encontró en la aplicación correcta de materiales regionales que mejoran la situación inicial por la capacidad de resistir el flujo térmico cuando configuran cubiertas de vivienda y para ello se estudió las propiedades térmicas de los materiales y su configuración en la envolvente, ponderando diferencias en el orden de colocación dentro de la cubierta y valoración de espesores.

Para establecer estrategias viables se estudiaron prácticas de eficiencia energética reconocidas por estándares constructivos en la construcción de vivienda. Lo cual permitió reconocer la viabilidad de utilizar el aislamiento térmico en la envolvente para el control de temperaturas interiores. La desventaja resultó en el costo económico de los materiales termoaislantes en regiones del país en situación de pobreza.

Se ponderaron propiedades térmicas de materiales para valorar su uso en cubiertas de vivienda social, considerando su baja energía incorporada por su origen natural y ser un recurso regional. Se realizó el proceso experimental para encontrar coeficientes de conductividad térmica y difusividad térmica. Los resultados demuestran que existe un criterio de valoración y de desempeño diferenciado al valorar conductividad térmica y difusividad térmica. Lo anterior porque las denominadas propiedades dinámicas involucran la densidad, calor específico y conductividad térmica y no simplemente la conductividad térmica que es la propiedad valorada en el cálculo de la resistencia térmica.

Pero la normatividad no implica la difusividad térmica como coeficiente de cálculo en el análisis térmico de las edificaciones. Y no existe un modelo que valore la difusividad térmica de la envolvente como medio de clasificación del desempeño térmico. Se considera viable la difusividad térmica como concepto para la selección de materiales y para definir la ubicación de un material en las envolventes multicapa. El como valorar una envolvente de manera dinámica encuentra en la simulación por computadora una opción de aproximación para entender el rendimiento de las

edificaciones previas a su construcción, lo cual resulta en una herramienta útil para realizar ajustes y elevar la eficiencia energética en la arquitectura.

El reto es realizar la evaluación experimental de los materiales por región y establecer cómo podrían ser utilizados en la envolvente arquitectónica, lo cual implica conocimiento transdisciplinario y técnicas complementarias de evaluación, que resultan ajenas a la formación del arquitecto. Se discute que en la arquitectura existe la necesidad de incrementar la ciencia básica y conocimiento técnico de las propiedades de los materiales para el entendimiento de como los materiales responden ante los diferentes esfuerzos o variables a los que son sometidos en los diseños arquitectónicos. El conocimiento previo al diseño incrementa el potencial del desempeño energético de las envolventes de vivienda y lleva en el proceso un acercamiento al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sustentable de ciudades y comunidades. La valoración de las propiedades térmicas de los materiales en la arquitectura resulta en aproximaciones a buenas prácticas energéticas.

Se utilizó un método de valoración que se dividió en cuatro pasos: Diagnóstico-Requerimientos-Estrategia-Diseño. El diagnóstico es la parte medular que reconoce la situación actual del sitio lo cual permite identificar el área de oportunidad y clasificar los recursos disponibles y entender las condicionantes del sitio. En el caso de la valoración de materiales el recurso local será siempre el objetivo, reconociendo sus capacidades y antecedentes de uso en la localidad. Para analizar materiales se utilizaron instrumentos como el coeficiente de resistencia térmica del material y de conductividad térmica. La difusividad térmica fue una propiedad de los materiales que se definió como una estrategia de selección de materiales.

Los requerimientos son el resultado de las condicionantes del sitio que determinan las circunstancias en las que los materiales y envolventes interactúan. Se partió desde un marco de relación entre desempeño térmico y eficiencia energética y se aplicó un estudio climático para entender cuales son las temperaturas y los rangos en los cuales se percibe sensación térmica de bienestar. El bienestar térmico se definió como el análisis de temperaturas locales que por medio de la temperatura neutral estableció el rango apropiado para el caso de estudio. El conocimiento de las variables locales que afectan a la envolvente influye en los rangos de temperaturas interiores.

Las estrategias permiten solventar los requerimientos identificados y existen diversas opciones para seleccionarlos que dependen del contexto y debe de realizarse una discriminación utilizando indicadores económicos, ambientales y sociales. Aunque existen tecnologías para envolvente que permiten resolver los requerimientos térmicos establecidos, no resultan asequibles. Sin embargo, las estrategias permiten el entendimiento del fenómeno y como la aplicación tecnológica interactúa en situaciones específicas. Conocer las alternativas en materiales existentes por el entendimiento de sus propiedades térmicas permitió la configuración de cubiertas para delimitar el flujo térmico. El uso de materiales valorados como térmicamente apropiados es el primer paso y resultó importante el definir como sería su aplicación útil.

El diseño se concibió como la manera en que se configuró la cubierta empleando los materiales regionales definidos por su capacidad térmica. El saber cuáles son las capacidades térmicas de los materiales a partir de sus propiedades permite mejorar las configuraciones de envolventes y optimizar el desempeño al conocer los requerimientos del espacio interior. En términos generales la información que se obtenga antes de realizar el diseño mejorara el entendimiento del arquitecto para realizar envolventes de edificaciones que coadyuven al control de temperaturas en rangos de confort de manera pasiva.

Evaluación Experimental

El procedimiento experimental se realizó en primera instancia por cálculos numéricos para valoración del desempeño de materiales utilizando la conductividad térmica. Para encontrar el coeficiente de difusividad térmica se realizó un procedimiento experimental. En la valoración de los diseños de cubiertas compuestos se determinó por medio de la resistencia térmica y para seleccionar el sistema con mejor comportamiento. El sistema seleccionado se le realizó un ensayo experimental para identificar el valor de resistencia térmica y de conductividad térmica. La valoración de su comportamiento como sistema bajo las condicionantes del sitio se realizó por medio de simulación por computadora alimentando con los datos climáticos de la localidad y los coeficientes de las propiedades térmicas evaluadas.

Los resultados demostraron la viabilidad de utilizar materiales regionales para diseñar envolventes de alto desempeño térmico. Además, se comprobó que existen criterios de descripción del comportamiento térmico de los materiales al emplear la resistencia térmica o la difusividad térmica.

La relación que existe entre la capacidad de resistir el calor y la de acumularlo para luego restituirlo provoca un retraso en la transferencia térmica. Por lo tanto, debe entenderse el fenómeno de la inercia térmica en los materiales y generar experimentos en sistemas locales para describir su comportamiento. Las evaluaciones permiten al arquitecto conocer el desempeño de la envolvente y realizar ajustes por valoración de resultados. De esta manera puede acercarse al óptimo desempeño térmico del edificio.

En el caso de la aplicación útil en la construcción de vivienda social los materiales regionales evaluados, resultan térmicamente eficientes, ya que generan temperaturas superficiales interiores en los rangos determinados de bienestar térmico para la localidad. Económicamente son accesibles y llevan por su carácter regional y de origen natural baja energía incorporada. Estas características hacen que el sistema cumpla con criterios de sustentabilidad, pero por su misma procedencia y carácter natural no resulta un material válido para construcción por ser considerados de baja durabilidad y alto costo de mantenimiento.

La relevancia de los resultados obtenidos describe un adecuado desempeño térmico por reducir el flujo de calor hacia el interior, manteniendo temperaturas de bienestar térmico. El prototipo funciona y es aplicable en la región. Se requiere establecer parámetros de valoración para optimizar su uso. Es necesario ponderar materiales por sus propiedades térmicas en estado dinámico y clasificarlos por región climática para generar bases de datos que ayuden a establecer criterios de uso del material previo al diseño.

REFERENCIAS

- A.J. Marszal, P. Heiselberg, J. S. Bourrelle, E. Musall, K. Voss, I. Sartori A. Napolitano. Zero Energy Building view of definitions and calculation methodologies Energy and Buildings 2011. journal
- Acuña, L. & Casado, M. 2005. Material de apoyo del curso Tecnología de la madera (en línea). Universidad de Valladolid. España. 35 p. Consultado en 10 ago. 2010. Disponible en: http://www.uva.es/consultas/guia.php?menu=ficheros&ano_academico=0506&codigo_plan=279&codigo_a_signatura=22265&grupo=1
- AIE. (2008). informe en el que se recogen las últimas previsiones energéticas hasta el año 2030. averiguar: revisar. Are Anink, D., Boonstra, C., y Mak, J.: Handbook of Sustainable Building. An Environmental Preference Method for Selection of Materials for Use in Construction and Refurbishment, Londres, 1996homepage: www.elsevier.com/locate/enbuild.
- Álvarez, C. (2010). Terrarum Arquitectos. Recuperado el 9 de Enero de 2012, de <http://www.terrarumarquitectos.com/Materiales%20y%20construccion%20sostenible.pdf>.
- Argüello Méndez, T. d., & Cuchí Burgos, A. (enero-marzo 2008). Análisis del impacto ambiental asociado a los materiales de construcción empleados en las viviendas de bajo coste del programa 10 x10 Con Techo-Chiapas del CYTED. Informes de la Construcción, 25-34
- ASHRAE (1997). Fundamentals, ASHRAE Handbook Atlanta, GA
- Askeland Donald R., Pradeep P., Fulay. Webdelin J. Wright. Ciencia e ingeniería de los materiales, 6ª ed. Editorial Cengage Learning.
- ASTM Standard C1557. Standard test method for tensile strength and young's modulus of fibers. In Annual book of ASTM standards, volume 15.01 of 81.060.30 (Advanced Ceramics), test method Ceramic matrix composites. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003 edition, 2003.
- ASTM Standard D1106. Standard test method for acid-insoluble lignin in wood. In Annual book of ASTM standards, volume 04.10 of 79.040 (Wood, sawlogs and sawn timber), test method Fundamental Test Methods and Properties. American Society for Testing and Materials, 2007.
- Auliciems, A. and Szokolay, S. (1997). Thermal Comfort. Notes of Passive and Low Energy Architecture International. No.3. Brisbane: PLEA – University of Queensland.
- Barceló Pérez, C. (s. f.). Transmisión de calor en los edificios. Unidad 1. Conceptos básicos de la transmisión de calor (www.cepis.ops-oms.org/arquitectura/clase31/clase31.htm) Unidad 2. Proceso de intercambio de calor de los edificios (www.cepis.ops-oms.org/arquitectura/clase32/clase32.htm)
- Bedoya, Carlos Mauricio (2003) El concreto reciclado con escombros como generador de hábitats urbanos sostenibles. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.
- Bojórquez Báez, Inocente (2010) Milagrosa Pérez, Ma., Domínguez A., José. Análisis de los comportamientos físicos y de durabilidad de muros construidos con fibras leñosas de la región. Fondo sectorial de desarrollo científico y tecnológico para el fomento de la producción y financiamiento de vivienda y el crecimiento del sector habitacional. Primer encuentro académico CONAVI-CONASYT, México D:F: 2 y 3 de febrero 2010.
- Bozzola, John J. and Lonnie D. Russell. 1991. Electron microscopy: principles and techniques for biologists. Jones and Barlett publishers. USA.
- BREEAM Building Research Establishment's Environmental Assessment Method (2008) Offices Assessor Manual 2008. London: BRE Global Ltd.
- Castañeda, N. G. y Vecchia, F. (2007). Sistema de techo alternativo para vivienda progresiva en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Ingeniería, Revista académica de la FI-UADY, 11-2, 21-30.

- CECNA. (2004) “Maize and biodiversity: effects of transgenic maize in México”. Report of the Secretariat according to Article 13 of the NAAEC. 31 August 2004. Commission for Environmental Cooperation of North América.
- Cedeño Valdiviezo, Alberto; (2010). Materiales bioclimáticos. Revista de Arquitectura, Enero-Diciembre, 100-110.
- Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A.C. Evaluación de la sustentabilidad en la vivienda de interés social en México: Sistema de calificación simplificado para la evaluación del cambio de uso de suelo. Reporte preliminar. México, febrero de 2012.
- Chargoy Amador, J. P., Rosas Millán, L. Á., & Téllez Muradás, D. R. (2009). Generación de inventarios para el Análisis de Ciclo de Vida de cemento, block, bovedilla, vigueta y ladrillo en la zona centro de México. Cholula: Universidad de las Américas Puebla.
- CNM-PNE-16. Patrón Nacional de Conductividad Térmica de Materiales Sólidos Aislantes, DOF febrero 2, 2007
- Codoban, N. y Kennedy, C.A., Metabolism of Neighborhoods, J. Urban Plann. And Development: 134 (1) 21-29 (2008).
- CONAVI. Criterios e indicadores para desarrollos habitacionales sustentables en México, 1ª Edición, por Comisión Nacional de Vivienda, pp. 17- 45 México, D.F. México (2008).
- CONEVAL Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. Informe de Pobreza en México, el país, los estados y sus municipios 2010. Recuperado de [http://web.coneval.gob.mx/Informes/Coordinacion/INFORMES_Y_PUBLICACIONES_PDF/Informe de Pobreza en Mexico 2010.pdf](http://web.coneval.gob.mx/Informes/Coordinacion/INFORMES_Y_PUBLICACIONES_PDF/Informe_de_Pobreza_en_Mexico_2010.pdf)
- CONEVAL(2014) Evaluación de la Política Pública de Desarrollo Social. Consultado 13 de noviembre del 2016. http://www.coneval.org.mx/Informes/Evaluacion/IEPDS_2014/IEPDS_2014.pdf
- Crawley, D. S. Pless, P. Torcellini, Getting to net zero, ASHRAE Journal 51 (9) (2009) 18–25.
- DEVISME J.M., MARECHAL J.C., DUTHOIT B. (1982). Determination de la resistance thermique d'une paroi en régime quelconque. *Materiaux de Construction* Vol 15, No 88.
- Domínguez A. “Análisis de los comportamientos físicos y de durabilidad de muros construidos con fibras leñosas de la región. Fondo sectorial de desarrollo científico y tecnológico para el fomento de la producción y financiamiento de vivienda y el crecimiento del sector habitacional”, *Primer encuentro académico CONAVI-CONACYT*, México, D. F., 2 y 3 de febrero, 2010,
- Domínguez M., García C., Arias J. Ma. (2009), “Los materiales de cambio de fase en la construcción”, Departamento de Ingeniería. Instituto del Frío, España.
- Eduardo González Cruz, *Materiales y diseño bioclimático* (Maracaibo: Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura y Diseño, 1997).
- El municipio: una institución diseñada para el fracaso; Propuestas para la gestión profesional de las ciudades. IMCO. México. 2012. <http://imco.org.mx/images/pdf/indice_de_competitividad_urbana_2012.pdf>.
- Energy Independence and Security Act of 2007 (EISA 2007).
- Evans, M. y de Schiller, S. (1991). Diseño bioambiental y arquitectura solar. Buenos Aires: Ediciones Previa núm. 9, FADU, Universidad de Buenos Aires.
- FAO, Transición de la quema a la práctica de no quema, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, en: <www.fao.org/climatechange/34147-0513b607625cf6b489b18b544c3452038.pdf>.
- Fengel, D y Wegener, G. 1984. Wood: Chemistry, ultrastructure, reactions. De Gruyter, Berlin.
- Fouquet T, Dörte (2013), “Policy Instruments for Renewable Energy –From a European Perspective”, *Renewable Energy* 49, pp. 15-18.

- Fournier, GP. (1996) “El maíz y la tortilla en la historia prehispánica”. En: La industria de la masa y la tortilla. Desarrollo y tecnología. UNAM. México.
- G. Huelsz, G. Barrios, R. Rechtman y J. Rojas, “Importancia del análisis de transferencia de calor dependiente del tiempo en la evaluación del desempeño térmico de la envolvente de una edificación”, *Anuario de Arquitectura 2009* (Universidad Autónoma Metropolitana, en prensa).
- Gauzin-Müller, D. *Arquitectura Ecológica*, 2a edición, pp.20-69. Ed. GG, Madrid, España (2001).
- Gómez-Azpeitia, G. Ruiz Torres, P. (2007). Determinación de la amplitud del rango de confort térmico preferente para las personas que habitan en clima tropical subhúmedo. Caso: Ciudad de Colima. Reporte Técnico Final CGIC-400/06-A-000. FRABA. Universidad de Colima, México.
- Guía del estándar Passivhaus. Edificios de consumo energético casi nulo. Madrid 2011.
- Howland Albear, J. J., & Jiménez de la Fe, S. (2010). Obras, Revista Cubana de la Construcción. Recuperado el 9 de enero de 2012
- Humphreys, M. and Nicol, F. (1998). Understanding the adaptive approach to thermal comfort. ASHRAE Transactions, Technical Bulletin, 104 (1) pp 991- 1004.
- Humphreys, M. and Nicol, F. (2000) Outdoor temperature and indoor thermal comfort - raising the precision of the relationship for the 1998 ASHRAE database of field studies. ASHRAE Transactions, 106(2), pages: 485-492.
- ITER-Bioclimatismo e Integración (s. f.). Guía práctica Bioclimatismo (www.iter.es/I18NLayer.areasiter/es/energiasrenovables/eolica/difudioneolica/eramac/GuiaapRACTICABioclimatismoeramaCI.pdf)
- J. Kuruvilla, T. Sabu, C. Pavitharan y M. Brahmakumar “Tensile Properties of Short Sisal Fiber-Reinforced Polyethylene Composites”, *J. Appl. Polym. Sci.*, 47, 1731 (1993) 2001)
- J.L. Gómezv, C. Jarones y P. Gañan “Refuerzos naturales para materiales plásticos”, *Revista de Plásticos Modernos*, 76, 183 (1998)
- J.M. Arribas, J.M. Navarro y C. Rial. “Compuestos de polipropileno reforzado con fibras vegetales. Una alternativa ecológica para la industria del automóvil”. *Revista de Plásticos Modernos*, 81, 467
- L. Lira-Cortes, E Méndez-Lángo, S. García Duarte. Diseño del Sistema de Conductividad Térmica de Materiales para Construcción. Simposio de Metrología 27 al 29 de octubre 2010
- La transmitancia térmica es el inverso de la conductividad (1/k) y por lo tanto representa la capacidad del material para resistir el flujo de calor y se expresa en metro grado Celsius por Watt (m°C/W).
- López de Asain alberich, María, *Estrategias Bioclimáticas en la Arquitectura*. Diplomado internacional. “Acercamiento a criterios Arquitectónicos Ambientales para Comunidades aisladas en Áreas Naturales Protegidas de Chiapas” Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, 27 de enero del 2003.
- López, Francisco (2014a), Acumulación por desposesión y autonomía indígena, <[http://www.lopezbarcen.org/doc/acumulaci%C3%B3n-desposesi%-C3-%B3n-autonom%C3%ADa-ind%C3%ADgena](http://www.lopezbarcen.org/doc/acumulaci%C3%B3n-desposesi%C3%B3n-autonom%C3%ADa-ind%C3%ADgena)>(2014b), “La segunda desamortización de las tierras”, La Jornada, <http://www.jornada.unam.mx/2014/07/25/opinion/019a2pol>.
- Macedo, R. J. (2000). Análisis del sistema de alimentación pecuario rastrojo de maíz alimenticio (*Zea mays* L.)- pasto estrella (*Cynodon plectostachyus* P.) en la zona norte del estado de Colima. (en línea). Universidad de Colima: tesis doctoral (consultado, 24 noviembre 2016) Disponible en: http://digeset.ucoL.mx/tesis_posgrado/Pdf/Rafael%20julio%20Macedo%20Barragan%20DOCTORADO.pdf .
- Morillón D. y Andres Andrade, (2008), Diagnóstico del comportamiento térmico, energético y ambiental de la vivienda de interés social en México: retrospectiva y prospectiva (2000-2012), *Los Edificios en el Futuro, Estrategias Bioclimáticas y Sustentabilidad*, Editado por CYTED e INETI, ISBN N° 978-972-676-209-6, pp. 83-94, Portugal
- Morillón-Gálvez D., Saldaña-Flores R., y Tejeda-Martínez A., (2004). Human bioclimatic atlas for México, Solar Energy, Vol 76.

- Nicol, F. and Roaf, I. (1996). Thermal comfort time and posture: Exploratory studies end the nature of adaptive thermal comfort. Oxford, England: School of Architecture, Oxford Brookes University.
- Nicol, J. F., y Humphreys, M.A. (2002). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings*, 34, 563-572.
- NMX-C-460-ONNCCE-2009 (2011): Secretaría de Gobernación, 15 agosto. Internet, URL: <http://dof.gob.mx/normasOficiales.php?codp=3796&view=si>.
- OECD (2013c), OECD Environmental Performance Reviews: Mexico 2013, OECD Publishing. doi: 10.1787/9789264180109-en Olgay, Víctor. (1963), *Arquitectura y clima*, Barcelona, Ed. Gustavo Gili.
- OECD. (2001) “Multifunctionality: toward an analytical frame work”. *Agriculture and Food*. Organization for Economic Cooperation and Development. Paris, France.
- Olgay, V. (1998). *Arquitectura y Clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili, S.A.
- ONU. (2000). Centro de información medio ambiente. Obtenido de Naciones Unidad: http://www.cinu.org.mx/ninos/html/onu_n5.htm
- P.M. Lemieux, C.C. Lutes y D.A. Santoianni (2004), “Emissions of organic air toxics from open burning: a comprehensive review”, *Progress in Energy and Combustion Science*, núm. 30, pp. 1-32.
- R. P. Ruiz Torres, G. Castañeda Nolasco, T. Arguello Méndez, D. Morillón y O. Reséndiz, “Comparación del comportamiento térmico de una vivienda en clima cálido subhúmedo con la NOM-020-ENER”, *Memorias de la XXXV Semana Nacional de Energía Solar*, ANES, Chihuahua, México, 3 a 7 de octubre, 2011.
- Reif, D. K. (1983). *Reconversión solar*. México: Gustavo Gili. Colección Alternativas.
- ROUCOULT J.M, LANGLET T., DEVISME J.M. (1990). Determination simultanée de trois caractéristiques thermophysiques des matériaux de construction par una méthode de régime périodique. *Annales de l-ITBTP, série EM/226*.
- Salazar, S., Kerguelen, H., Cruz, J., Palacio M., (2007) *Scientia Et Technica* Año XIII, 13, 719- 723.
- SEDATU 2014, Programa Regional de Desarrollo del Sur – Sureste 2014-2018
- SEDESOL, 2011 “La expansión de las ciudades 1980-2010”. México D.F. Secretaría de Desarrollo Social
- Siau, J. 1995. *Wood: Influence of Moisture on Physical Properties*.US: Department of Wood Science and Forest Products Virginia Polytechnic Institute and State University. p. 86-188.
- Su vigencia en el Diario Oficial de la Federación fue el 18 de agosto del 2009, con clave: NMX-C-460-ONNCCE-2009 (ONNCCE, *Norma NMX460 Industria de la Construcción- Aislamiento Térmico – Valor R para las Envolventes en Vivienda por Zona Térmica para la República Mexicana – Especificaciones y Verificación, México. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación* [2009]).
- Yunus A. Cengel y Asshin J. Ghanarr, *Heat and Mass Transfer* (Nueva York: McGraw Hill, 2015).
- Zhang, J. Huang y G. Yu (2011), “Influence of pesticides contamination on the emission of PCDD/PCDF to the land from open burning of corn straws”, *Environmental Pollution*, núm. 159, vol. 6, pp. 1744-1748

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1.- Objetivos de desarrollo sostenible/ Ciudades y comunidades sustentables	6
Imagen 2.- Número de equipos de aire acondicionado por región climática y Número de equipos de aire acondicionado en uso en viviendas particulares habitadas y su distribución porcentual por tipo A/C	10
Imagen 3.- Distribución porcentual de viviendas particulares habitadas por condición de disponibilidad de energía eléctrica, y viviendas habitadas con energía eléctrica y su distribución según tipo de fuente	11
Imagen 4.- Distribución porcentual del número de ventiladores en uso en viviendas particulares habitadas y número de equipos por número en uso según tipo de localidad	12
Imagen 5.-Zonas habitadas por Arundo Donax	28
Imagen 6.-Los mecanismos de conducción de calor en las diferentes fases de una sustancia	39
Imagen 7.- Rango de conductividad térmica de diversos materiales a la temperatura ambiente	40
Imagen 8.- Reducción de flujo térmico en un aislante.	42
Imagen 9.-Localización caso de estudio	51
Imagen 10.- Distribución porcentual de viviendas particulares habitadas por condición de algún tipo de aislamiento térmico en vivienda por regiones climáticas	65
Imagen 11.-Porcentaje de viviendas particulares habitadas en la región cálida extrema según tipo de aislamiento	65
Imagen 12.- Zonas térmicas de la República Mexicana para cálculo de resistencia térmica	70
Imagen 13.- Modelo físico para evaluaciones numéricas	70
Imagen 14.- Esquema de un aparato de placa caliente con guarda	72
Imagen 15.- Dispositivo KD2 Pro	78
Imagen 16.- Dispositivo KD2 Pro	80
Imagen 17.- Probeta Arundo Donax	80
Imagen 18.- Probeta Mayz Zea	80
Imagen 19.- Sensor SH1 y grasa térmica	80
Imagen 20.-Carrizo	92
Imagen 21.- Probeta	92
Imagen 22.- Colocación	92
Imagen 23.-APCG	92
Imagen 24.-Paneles para cubiertas	94
Imagen 25.-Detalle de plafón en cubierta	94

ÍNDICE DE ESQUEMAS

Esquema 1.- Análisis del problema por medio de un marco lógico	8
Esquema 2.- Planteamiento conceptual de áreas de oportunidad	13
Esquema 3.-. Guía del proceso de investigación Proceso metodológico	15
Esquema 4.- Proceso del Área de interés	16
Esquema 5.- Proceso de planteamiento del problema de investigación	16
Esquema 6- Conceptual 1	17
Esquema 7.- Conceptual 2	17
Esquema 8.- Proceso de identificación de variables y selección de muestra	18
Esquema 9.- Proceso del apartado experimental	19
Esquema 10.- Proceso del apartado conclusiones	19
Esquema 11. - Obligaciones del Estado respecto de los derechos humanos	33
Esquema 12.-Principios universales de un NZEB. (vivienda de consumo casi cero energía)	36
Esquema 13.- Relación de temperaturas con el medio	45
Esquema 14.- Intercambio de calor del cuerpo y temperaturas críticas.	46

Esquema 15.-Proceso conceptual de análisis para lograr eficiencia energética en arquitectura	47
Esquema 16.- Estrategias propuestas por <i>Climate Consultant 6.0</i> para Tuxtla Gutierrez, Chiapas.	54
Esquema 17.- Estrategias propuestas por <i>Climate Consultant 6.0</i> para Tuxtla Gutierrez, Chiapas.	55
Esquema 18.- Estrategias propuestas por <i>Climate Consultant 6.0</i> para Tuxtla Gutierrez, Chiapas.	55
Esquema 19.- Estrategias propuestas por <i>Climate Consultant 6.0</i> para Tuxtla Gutierrez, Chiapas.	56
Esquema 20.- Cálculo de la resistencia Térmica. Método simplificado de capas homogéneas.	69
Esquema 21.- Orden del aislamiento en la configuración de muro	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1– Adquisición de vivienda en México	10
Tabla 2.- Criterios de diseño para seleccionar materiales	22
Tabla 3.- Instituciones de mediciones, evaluaciones y certificaciones de los materiales, insumos y productos de la construcción	23
Tabla 4.-Coeficientes de energía incorporada de materiales de construcción	23
Tabla 5.-Materiales genéricos en vivienda social y coste energético por kg	24
Tabla 6.-Aditivos para morteros de arcilla	26
Tabla 7.-Propiedades físicas y mecánicas para tallos de 4cm	29
Tabla 8.- Se define lo que es una vivienda digna y decorosa y espacio habitable.	32
Tabla 9.- Instrumentos internacionales que reconocen el derecho a la vivienda ratificados por México	33
Tabla 10.-Sistemas de calificación y certificación	34
Tabla 11.- Normatividad internacional de carácter obligatorio	35
Tabla 12.-Conceptualización de la casa pasiva	37
Tabla 13.-Elementos básicos de la arquitectura para casa pasiva	37
Tabla 14- Conceptos térmicos para aislamiento y valor U por clima	43
Tabla 15-Conductividad térmica de materiales de construcción	44
Tabla 16.-Conductividad térmica Materiales naturales	44
Tabla 17.-Requerimientos térmicos mensual para Tuxtla Gutiérrez.	56
Tabla 18.-Análisis de temperaturas para Tuxtla Gutiérrez	58
Tabla 19.-Requerimientos y zona de confort mensual para Tuxtla Gutiérrez	59
Tabla 20.- Materiales más utilizados en envolventes de vivienda en Tuxtla Gutiérrez	66
Tabla 21.- Confrontación de criterios de térmicos para selección de materiales	68
Tabla 22.- Relación de propiedades térmicas de materiales.	71
Tabla 23. Conductividad térmica materiales. Análisis de materiales por conductividad	71
Tabla 24.- Métodos numéricos de correlación de propiedades térmicas en régimen dinámico	73
Tabla 25.-Características térmicas de los materiales de construcción	74
Tabla 26.- Materiales y sus propiedades térmicas a temperatura ambiente	74
Tabla 27.-Descripción de resultados	81
Tabla 28.- Análisis y comparación de resultados Arundo D.	81
Tabla 29.- Resultados Carrizo Zea Mays	81
Tabla 30. Materiales y sus propiedades térmicas a temperatura ambiente	82
Tabla 31.- Comparación de espesores necesarios para eficiencia en aislamiento	84
Tabla 32.- Materiales más usados en vivienda de México	85
Tabla 33.-Cálculo de la Resistencia térmica de MUROS	86
Tabla 34.- Cálculo de la Resistencia térmica de TECHOS	87
Tabla 35.-Cálculo de la Resistencia térmica de TECHOS	90

Tabla 36.-Cálculo de la Resistencia térmica de TECHOS	90
Tabla 37.-Cálculo de la Resistencia térmica de TECHOS	90
Tabla 38.-Confrontación situación inicial	101
Tabla 39.- Confrontación situación ideal	103

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1.- Rango de temperaturas y confort para confort adaptativo	52
Gráfica 2.-Promedios diurnos relacionando temperatura – radiación-	52
Gráfica 3.-Relación entre temperatura de bulbo seco y humedad relativa.	53
Gráfica 4.-Temperatura de bulbo seco por mes	54
Gráfica 5.- Desempeño térmico losa de concreto	59
Gráfica 6.- Resistencia térmica de materiales en cubiertas. NMX-C-460-ONNCCE-2009	67
Gráfica 7.-Correlación de conceptos elementales	75
Gráfica 8.-Valores a y b de materiales de construcción y aislantes	76
Gráfica 9. Análisis de difusividad térmica.	79
Gráfica 10.- Comparación desempeño conductividad-difusividad	82
Gráfico 11.- Resistencia térmica de materiales p/ muros	89
Gráfico 12.- resistencia térmica de materiales p/cubierta	89
Gráfica 13.-Análisis comparativo del valor R de tres sistemas	91
Gráfica14.- - Análisis comparativo de 4 Sistemas propuestos sin losa de concreto	93
Gráfica 15.- Análisis comparativo de 4 Sistemas propuestos con losa de concreto	94
Gráfica 16.- Temperaturas anuales Tuxtla Gutiérrez	97
Gráfica 17.-Periodo Representativo de calor en Tuxtla Gutierrez	98
Gráfica 18.- Dia representativo de calor	98
Gráfica 19.- Temperatura superficial exterior del sistema (TSE)	99
Gráfica 20.- Temperatura superficial interior del sistema (TSI)	99
Gráfica 21.- Análisis comparativo de temperaturas	100

UNAM

La Universidad
de la Nación

