

TECHOS VERDES

en clima cálido subhúmedo

Ruber Trujillo Samayoa



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

TECHOS VERDES

en clima cálido subhúmedo
Monitoreo experimental

TECHOS VERDES

en clima cálido subhúmedo
Monitoreo experimental

Ruber Trujillo Samayoa



Techos Verdes

en clima cálido subhúmedo
Monitoreo experimental

Primera edición 2026

Ruber Trujillo Samayoa

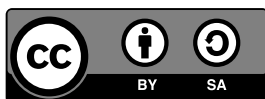
Universidad Autónoma de Aguascalientes
Av. Universidad 940
Ciudad Universitaria, 20100
Aguascalientes, México
editorial.uaa.mx/
libros.uaa.mx/

Universidad Autónoma de Chiapas
Boulevard Belisario Domínguez Km. 1081 sin número,
Colina Universitaria, Terán, C.P. 29050
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México

ISBN UNACH: 978-607-561-411-3

ISBN UAA: 978-968-9752-26-4

Hecho en México / *Made in Mexico*





ÍNDICE

| | |
|---|-----|
| Agradecimientos | 7 |
| Prólogo | 8 |
| Presentación | 12 |
| 1. Introducción al tema de estudio | 16 |
| 2. Materiales y métodos | 43 |
| Materiales y métodos | 43 |
| Particularidades de este experimento | 57 |
| 3. Capítulo III Resultados | 81 |
| Periodo de mediciones | 81 |
| Resultados | 87 |
| Cálculo | 99 |
| 4. Conclusiones y recomendaciones | 106 |
| Glosario | 112 |
| Anexos | 114 |
| Referencias | 118 |





AGRADECIMIENTOS

A Dios, primeramente, que me da la oportunidad de vivir.

Al Programa de Laboratorios Nacionales del SECIHTI que promueve el Desarrollo Tecnológico partiendo de lo local hacia lo global.

A mi familia, esposa Eunice Marroquín López, hijos (Daniella y Ruber), madre Ester Lilia Samayoa Ruiz, porque viven conmigo las victorias y dificultades que encontramos en nuestro caminar.

A la Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas y la Facultad de Arquitectura, donde me he formado profesionalmente en los diferentes niveles que he tenido oportunidad y al mismo tiempo también trabajando para la Universidad y contribuyendo en su quehacer.

Al Cuerpo Académico “Componentes y Condicionantes de la Vivienda” (COCOV), en el marco del cual he podido crecer en todos los aspectos, con énfasis en el académico, a su líder el Dr. Gabriel Castañeda Nolasco e integrantes del mismo: Dr. Jose Luis Jiménez Albores, Dr. Carlos Octavio Cruz Sánchez, Dr. Víctor Hugo Andrade Martínez, amigos y colegas con quienes hemos compartido mucho aprendizaje.

Al Grupo Colegiado de Investigación donde participo, junto con mis colegas y amigos: Dra. Annel Martínez Hernández, Dra. Marisela Sánchez Vallejo, Dra. Carmen Gordillo Ruiz y el Mtro. Artemio Martín Gómez Vázquez.





PRÓLOGO

En un mundo donde la arquitectura ha sido histórica y casi siempre su Resulta innegable la pertinencia de esta obra escrita, máxime por el acercamiento social que propone en un mundo materializado por el insaciable mercado de consumo. A pesar de las posturas académicas iniciales de la obra y su enfoque regional, mantiene postulados que pueden aplicarse en otras latitudes, especialmente en el territorio nacional. El carácter científico que tiene el libro lo hace adecuado como referente en las temáticas abordadas en torno a techos verdes. Lo interesante es que se buscan soluciones asequibles para cualquier estrato socioeconómico.

Analizar el comportamiento climático para fines de diseño urbano-arquitectónico es complejo, pero los avances científicos actuales generan cada vez más certezas en las soluciones de problemáticas provocadas por los ámbitos antrópicos. Los daños que hemos causado como seres humanos a la naturaleza son invaluable, sin embargo, el surgimiento de estudios como el que aquí se presentan dan certezas en la relación ciudad-naturaleza. En términos paisajísticos, los techos verdes pueden coadyuvar en la aplicación de conceptos de diseño que integren fuertes contrastes entre los elementos naturales y los artificiales creados por el ser humano. El libro contiene en forma implícita una preocupación por diferenciar los efectos de cambio climático actual por medio de “techos verdes”. La propuesta revela por sí misma que se puede medir el impacto de la alteración humana sobre el medio ambiente, aunado a la mitigación de las islas de calor en las ciudades.

Los materiales y métodos se enfocan en el clima, la temperatura, la humedad, la presión atmosférica, vientos y precipitación, además de las variables del contexto físico-artificial, como las vialidades pavimentadas, las edificaciones y el crecimiento urbano. Por añadidura, es pertinente la propuesta de contrastar un techo convencional de concreto armado con un techo verde (basado en su eficiencia energética), como también lo es seleccionar techos verdes extensivos por sus rasgos económicos, los cuales se convierten en soluciones más asequibles en México.

Prólogo

La diferencia entre el “techo verde intensivo” (más de 25 cm) y el “techo verde extensivo” (de 8 a 15 cm) radica en el espesor de los sustratos de tierra vegetal sobre los techos convencionales. En realidad, se requiere menos mantenimiento y gasto de agua en la segunda modalidad. Asimismo, la sugerencia de utilizar especies vegetales endémicas es acertada, debido a que no requieren procesos de adaptación al entorno y se incrementan sus posibilidades de supervivencia. En Aguascalientes, por ejemplo, no podremos plantar mezquites en azoteas por lo robusto de sus raíces y su altura. Pero existen cactáceas que se pueden utilizar sin contratiempos. El impacto social de las alternativas propuestas en el libro es evidente, tanto en Tuxtla Gutiérrez como en toda la república mexicana.

En términos generales, la recomendación para los arquitectos diseñadores de espacios habitables es comenzar a integrar propuestas que contengan el uso de “techos verdes”. Esto implica contemplar sistemas de impermeabilización en azoteas, integrar alturas adecuadas de pretiles, sistemas de riego por goteo, un apropiado drenaje del agua producto de riego, así como dirigir el agua a fosas sépticas o drenajes especiales (considerando la recuperación de niveles en los mantos freáticos debajo de las ciudades).

Resulta pertinente mencionar que las tecnologías constructivas también tienen que ver con las condiciones de las regiones y que en ocasiones las soluciones universales resultan contraproducentes. Por ejemplo, el uso del adobe y la piedra en la Nueva España era generalizado y estos materiales fueron sustituidos por el block de concreto o por ladrillos de tabique rojo recocido, sin importar las cualidades térmicas implícitas en éstos (especialmente su masa térmica).

Las posibilidades de refrescar las calurosas ciudades mexicanas durante el verano aumentan conforme a la temperatura. Es decir, entre más calor se produce, hay una mayor evaporación de agua y se refresca el entorno. He aquí una de las grandes bondades del diseño e implementación de techos verdes en lugares colmados de edificaciones. En ciudades de zonas áridas como Monterrey, por ejemplo, donde las temperaturas pueden superar los 40 grados centígrados entre julio y agosto, el transitar urbano se vuelve insostenible y altamente riesgoso para el ciudadano común. El Paseo de Santa Lucía ha sido un proyecto acertado para mitigar consecuencias, sin embargo, faltan propuestas con buenas soluciones climáticas en toda la ciudad. El sistema de techos verdes podría ser una alternativa, pues presenta un nicho de oportunidades para aminorar el problema y no solamente se limita a climas cálidos subhúmedos. Es conveniente observar que los techos verdes pueden disminuir el calor excesivo hasta un nivel soportable y cómodo para los habitantes de las ciudades.

El método multifactorial aplicado en el libro es adecuado para la obtención de hallazgos en la investigación. Sirve, además, el apoyo que tiene en la norma mexicana NMX-C-460-ONNCCE-2009, “Industria de la construcción-aislamiento térmico-valor ‘R’ para las envolventes de vi-

Prólogo

vienda por zona térmica para la República Mexicana-especificaciones y verificación” y en la metodología de la climatología dinámica, como lo menciona el autor. Asimismo, las conclusiones en relación con el consumo energético en los espacios habitables con sistemas de techos verdes son sorprendentes. Esto implica un *plus* en los posibles usuarios, incluyendo a cualquier grupo socioeconómico en México.

El apartado 4 en realidad es el que cierra la investigación con aportaciones concluyentes y valiosas. Los techos verdes son una invitación a construir espacios habitables en concordancia con elementos naturales. Es decir, no solamente se trata de utilizar plantas endémicas, sino materiales que también profundicen los rasgos de identidad local, por ejemplo, los tipos de piedra; acabados que integren paisajes regionales; tipos de pisos; características cromáticas y formas espaciales. Asociado a esto, vale la pena meditar en la posible participación activa de los colegios de profesionistas en la promoción de este tipo de sistemas climáticos. Esto permitiría que los códigos urbanos incluyesen políticas obligatorias de diseño que contemplen regular la construcción urbana y que incluyesen relaciones más amigables entre las soluciones edificadas y la naturaleza.

Como menciona el autor, este libro se refiere al trabajo realizado en Tuxtla Gutiérrez, que según la clasificación de Köppen tiene clima cálido subhúmedo, sin embargo, en la franja tropical del planeta existen muchos asentamientos humanos que tienen un clima similar al de Tuxtla, por lo que el uso de los techos verdes tiene posibilidad de escalamiento internacional

Cabe aclarar que este tipo de escritos también coincide con las buenas prácticas energéticas que se han venido desarrollando en los últimos años. Es decir, con la eficiencia de los nuevos electrodomésticos, el uso de calentadores de agua solares, la instalación de fotoceldas eléctricas, los materiales de las instalaciones, la conservación del agua, etcétera. Todo esto presente en un mundo que empieza a tomar conciencia de su entorno natural y artificial, lo cual es reforzado por la conciencia que promueve la educación ambiental.

Las posibilidades de integración paisajística por medio de techos verdes son vastas, sin embargo, se requiere más investigación basada en posibles mimetizaciones entre lo artificial y lo natural. Asimismo, la interacción transdisciplinar en este tipo de trabajos puede resultar benéfica. Pensar en la integración social puede lograrse basándose en la inclusión de estudios del comportamiento humano, por ejemplo. En este sentido, la geografía humana también tiene mucho que aportar en el diseño de espacios con techos verdes. El mensaje, más bien, es una invitación a la reflexión sobre las ventajas de trabajar borrando fronteras entre diversas disciplinas de investigación.

Finalmente, es plausible el esfuerzo de coedición de esta obra, entre la Universidad Autónoma de Chiapas (UACH) y la Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA). Si bien los grupos de investigación se especializan según capacidades y lugares geográficos, existen prácticas comunes que coinciden en la solución de problemáticas socioambientales. Es

Prólogo

conveniente agregar que, en los últimos años, el Departamento Editorial de la UAA ha hecho un gran esfuerzo por colaborar exitosamente con diversas editoriales nacionales e internacionales. Sin duda, esto ha contribuido a mejorar la calidad y prestigio del sello editorial.

Alejandro Acosta Collazo
Universidad Autónoma de Aguascalientes
Campus Central, mayo de 2026





PRESENTACIÓN

Los TV se han usado en diversas partes del mundo como estrategia de inercia térmica para dificultar las pérdidas o ganancias de calor a través del techo, principalmente en latitudes con clima frío, sin embargo, como se demuestra en esta obra, la arquitectura y principalmente la vivienda con características territoriales locales es posible, donde la atención a los grupos vulnerables es justa y necesaria. En este contexto, los sistemas de TV son inaccesibles para la mayoría de la población, por sus altos precios, los TV se conforman por una capa heterogénea de materiales que contempla la estructura del techo que soporta al sistema, seguido de un impermeabilizante de cualquier calidad, debido a la nula exposición solar, cuatro capas de plástico en rollo de PVC de 4mm, posteriormente una capa de PET, una capa de fieltro o pellón de 2 mm, sustrato vegetal, (véase figura 29 y tabla 10, donde se describen las capas de los TV y los materiales que lo componen) y diferentes tipos de vegetación de acuerdo a las necesidades térmicas, humedad relativa o paisajismo que se requieran en un proyecto.

Es importante mencionar que este libro de investigación científica, aborda los aspectos térmicos bajo el concepto de comodidad térmica de las personas usuarias (seres humanos), donde se toman en cuenta mediciones abstractas que registran los equipos de medición, por lo que es importante también decir que en el libro no se aborda desde el concepto comodidad térmica toda vez que en este último se involucran percepciones y condiciones de las personas donde influyen características físicas como: edad, sexo, peso, origen, estilo de vida, estados de salud de la persona, por lo anterior, en este libro no se refiere al confort térmico, se refiere a rangos de comodidad térmica donde las personas usuarias no reciben más energía en forma de calor que la necesaria.

Por lo anterior, el Doctor Gabriel Castañeda desarrolló un sistema de TV, que utiliza materiales que se consiguen en el medio local lo que lo hace accesible para las mayorías (Trujillo Samayoa, 2017).

Presentación

Importante también de mencionar los dos planes de estudios que la Facultad de Arquitectura de la Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas, tiene en operación en este momento y de los cuales tengo el privilegio de ser docente: El Plan de Estudios 2024 de La Maestría en Tecnologías para la Vivienda y el Plan de estudios 2013 de la Licenciatura en Arquitectura. La Maestría en Tecnologías para la Vivienda tiene dos Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGAC): La línea 1 es Adaptación climática para la vivienda sustentable y la línea 2 es Tecnologías, materiales y procesos constructivos para la vivienda sustentable, Programa Educativo de Posgrado (PEP) que versa sobre los conceptos Sustentabilidad, Eficiencia en el consumo de energía, responsabilidad profesional, Proyectos de Vivienda Bioclimáticos, con respuesta adecuada al contexto, Arquitectura Vernácula y aunque las dos líneas de este Programa Educativo de Posgrado (PEP) se entrelazan de forma muy interesante, participo principalmente en la línea 1, donde imparto la unidad de competencia optativa llamada Envoltentes eficientes.

Por su parte el Plan de Estudios 2013 de la Licenciatura en Arquitectura que contempla cuatro áreas de acentuación en la última etapa de formación: Teoría, diseño, tecnologías y urbanismo, siendo las Áreas de acentuación en tecnologías y diseño, donde se concentra una buena parte de mi actividad académica y ahí puedo contribuir a mejorar la formación de los futuros profesionistas en Arquitectura.

Según INEGI, en Tuxtla Gutiérrez, el 80 % de los techos de las viviendas son de concreto armado y el concreto tiene valores de conductividad alta por su alta densidad y este sistema es el principal responsable de que al interior de las viviendas y la edificación se tengan condiciones térmicas alejadas de la comodidad térmica de los seres humanos (Trujillo Samayoa, 2017).

En lugares con clima cálido subhúmedo, la climatización artificial es una estrategia muy utilizada para lograr estadios térmicos adecuados para el ser humano (Véase la definición de la frontera térmica que indica Auliciems y Szokolay, en el marco conceptual y los resultados de este libro (Auliciems & Szokolay, 1999), pero el pago por el consumo de la energía eléctrica es elevado por el alto consumo de esos equipos eléctricos.

Por lo anterior, en este trabajo se buscó demostrar la eficiencia energética en la vivienda, en el consumo de energía eléctrica por climatización artificial, con dos equipos iguales, colocados bajo dos techos diferentes (Véase las diferencias entre ambas tecnologías en las figuras 28 y 29 así como las tablas 8 y 10), el TV y el TCR, a través del análisis del ahorro en el consumo de energía eléctrica por aire acondicionado (AA) colocados bajo ambos techos y el cálculo normativo, para demostrar la conveniencia del uso del TV en la vivienda, en Tuxtla Gutiérrez (Trujillo Samayoa, 2017).

Donde los objetivos particulares son:

1. Construir un TV en una celda de experimentación existente a escala 1:1 para realizar las mediciones.

Presentación

2. Utilizar una celda de experimentación existente con TCR a escala 1:1, para la adquisición de datos.
3. Medir de forma experimental, temperaturas superficiales de techo y consumo de energía eléctrica de equipos de refrigeración colocados bajo dos celdas de experimentación, una con TCR y la otra con TV.
4. Comparar resultados de las mediciones de consumo de energía eléctrica y discutir las razones por las que sucedió la diferencia.
5. Calcular la resistencia térmica de la envolvente de ambas celdas de experimentación, con el apoyo de la Norma mexicana NMX-C-460-ONNCCE-2009, "Industria de la construcción-aislamiento térmico-valor R para las envolventes de vivienda por zona térmica para la república mexicana-especificaciones y verificación" demostrando la eficiencia energética por el uso del TV.

En este trabajo se han incluido cuatro capítulos de acuerdo con el formato IMRAD, Introducción, seguido de materiales y métodos, consecuentemente los resultados para terminar con las conclusiones.

En el capítulo 1, Introducción, en los tópicos incluidos se describe lo siguiente:

El problema que se atiende en el trabajo y se usa la relación causa efecto, las propiedades de los materiales con los que la envolvente en la vivienda está conformada y el clima, son los dos elementos relevantes que condicionan a la eficiencia energética en la vivienda en Tuxtla Gutiérrez, también se describe el estado del arte como conocimientos necesarios que anteceden al tema y se aborda el marco teórico y se mencionan conceptos necesarios para comprender este trabajo, no podían faltar objetivo general y particulares, así como una hipótesis donde se hace una afirmación previa que busca demostrar que existe diferencia significativa entre el TV y el Techo de Concreto Reforzado (TCR), (Trujillo Samayoa, 2017).

En el capítulo 2. Materiales y métodos, se analizan los mecanismos de los medios naturales y artificiales en Tuxtla Gutiérrez, dado que estos influyen en la eficiencia energética de las viviendas. En el primer apartado, se aborda la flora y fauna local, destacando cómo su interacción con el clima altera sus características. Asimismo, se explican los parámetros climáticos relevantes en el área de estudio: temperatura, humedad relativa, vientos, precipitación y presión atmosférica. En la segunda sección, se examinan los elementos del contexto artificial donde la influencia humana es clara y tiene un impacto significativo en los parámetros climáticos de la región.

En el capítulo 3. Resultados, estos se presentan de acuerdo con los dos períodos opuestos del año: el cálido y el frío. Además, este capítulo incluye los resultados de la evaluación conforme a la norma NMX-460-

Presentación

ONNCCE-2009, titulada “Industria de la construcción aislamiento térmico valor R”.

En el capítulo 4, Conclusiones, en este capítulo están incluidos cuatro subcapítulos básicos: Conclusiones generales y particulares del estudio, aportaciones y alcances obtenidos en el estudio, limitaciones en el contenido del estudio y recomendaciones para el seguimiento del problema investigado (Trujillo Samayoa, 2017).

El equipo de climatización artificial colocado bajo el TV consumió 20% menos electricidad que el TCR. Como una contribución importante, se obtuvieron ecuaciones con el promedio en el año, del consumo de electricidad bajo los techos comparados. Cuando se llevó a cabo la evaluación conforme a la norma NMX-C-460-ONNCCE-2009, titulada “Industria de la construcción aislamiento térmico valor R”, el TV validó el valor R de habitabilidad. Por otro lado, el TCR no cumplió con el requisito del valor R mínimo estipulado en dicha norma.





INTRODUCCIÓN AL TEMA DE ESTUDIO

Este capítulo menciona y aborda los elementos principales que definen este trabajo, empieza con la descripción del problema, justificación, estado del arte, objetivos que se han planteado en este trabajo, así como una hipótesis. También en el marco teórico, se mencionan conceptos relevantes de este trabajo. También se incluyen procedimientos y fundamentos de la norma mexicana NMX-C-460-ONNCCE-2009. Aquí se abarca la clasificación de los TV, y se comparan los TV con estrategias similares aislantes disponibles en el mercado de los materiales para construcción (Trujillo Samayoa, 2017).

Descripción del Problema

Bajo el esquema de relación causa efecto, se identifican los elementos que causan o que condicionan a la eficiencia energética en la vivienda en Tuxtla Gutiérrez, estos son dos elementos principales, el clima y las características de los materiales que conforman la envolvente de la Vivienda (Trujillo Samayoa, 2017).

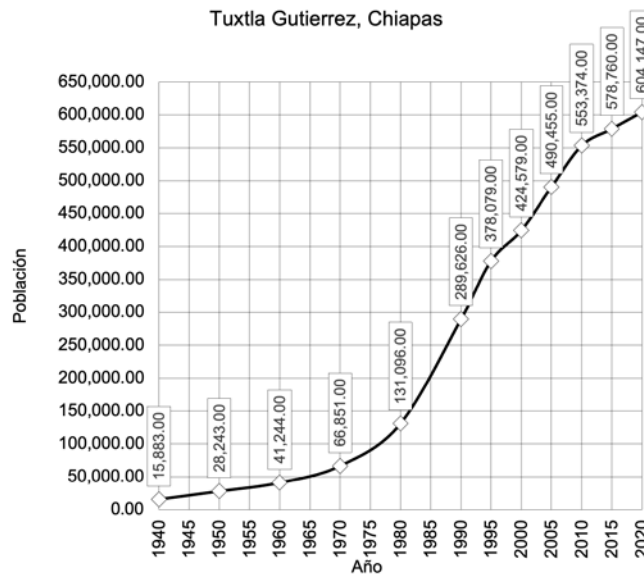
Tuxtla Gutiérrez, ciudad del sureste de México, lugar con clima Aw que de acuerdo con Koeppen es cálido subhúmedo, ubicada en la zona tropical y temperatura promedio en el año con 22° C y el mes de más bajas temperaturas tiene un promedio con 18° C, con precipitación en el mes más bajo que va de 0 a 60 mm, la precipitación en verano tiene un índice menor que 43.2 mm, en invierno la lluvia se ubica entre el 5% y el 10.2% del total del año (Sistema Meteorológico Nacional, 2026), en ocasiones las temperaturas llegan a 42° C, lo que provoca que se use climatización artificial para llevar a los usuarios a la comodidad térmica, junto con la ausencia de hábitos orientados a la eficiencia energética, ha provocado un aumento significativo en el consumo energético del sector de la edificación. Los estudios realizados hasta ahora se han enfocado principalmente en evaluar el gasto energético de los equipos insta-

Introducción al tema de estudio

lados, dejando de lado los patrones de uso de los ocupantes. No obstante, comprender estos hábitos resulta esencial para mejorar la eficiencia energética y promover la comodidad térmica en los edificios, además de reducir la incertidumbre en los análisis predictivos sobre el desempeño termo energético futuro (Andreoni Trentacoste, 2024) y (Ruiz Torres, 2019), ver Tabla 31, en la ciudad citada, al igual que en la mayor parte México, predomina el calor en la mayor parte del año, solo entre noviembre y enero, se manifiestan condiciones que hacen que la temperatura baje (Sistema Meteorológico Nacional, 2026).

El crecimiento poblacional ha complicado aún más el escenario, Tuxtla Gutiérrez, ha crecido de forma acelerada en los últimos años, de acuerdo con la Figura 1, el crecimiento de 1940 a 2020 (INEGI, 2020), se puede describir en dos bloques, el desacelerado y el acelerado (INEGI, 2020). En el primer bloque, comprendido de 1940 a 1970, aunque refleja crecimiento, pero este fue lento, mientras que de 1970 hasta 2020 ha tenido un crecimiento sostenido hasta alcanzar una población total de 604,147 habitantes en 2020 (INEGI, 2020).

Figura 1. Crecimiento poblacional de Tuxtla Gutiérrez (1940-2020).



Nota. Elaborado con datos de INEGI, Censo General de Población y Vivienda, de 1940 a 2020 (INEGI, 2020).

Las propiedades de los materiales componentes de la envolvente presentan condición importante a la eficiencia en el uso de la energía, y las estrategias usadas en la envolvente que por sus propiedades, características y resoluciones de fachadas y cubiertas les corresponde una responsabilidad importante de su interacción con el ambiente, es un factor fundamental en el logro de edificios sustentables de gran eficiencia

Introducción al tema de estudio

energética y bajo impacto ambiental (Castillo Quimis, Mite Pezo, & Pérez Arévalo, 2019). En este tema, es importante el concepto de resistencia térmica total mínima o valor "R" mínimo, que se define como: Aquél cuando la vivienda cumple al límite los códigos o estándares de construcción, o en su defecto los requerimientos técnicos del constructor, sin considerar equipos de climatización, análisis y demanda energética, considerándose una vivienda pasiva, se utiliza únicamente la envolvente para protegerse del medio ambiente (sol, calor y temperatura), (Ruiz Torres, 2019), los materiales comúnmente empleados en la envolvente de la vivienda en climas cálidos subhúmedos presentan baja eficiencia térmica, ya que su conductividad afecta la habitabilidad interior, para mejorar esta condición, la industria de la construcción incorporó materiales termoaislantes, evaluados por su resistencia al flujo de calor; sin embargo, esta solución incrementa la energía incorporada al sistema. Estudios han demostrado que el análisis térmico basado únicamente en la conductividad es consecuencia de las otras propiedades de los materiales como la densidad y calor específico influyen de manera dinámica. Es importante analizar las propiedades térmicas antes del diseño para promover el uso de los materiales que configuren envolventes con respuesta eficiente para la región (Guillén Guillén & Muciño Vélez, 2020).

Según la IEA señala que a nivel mundial cada usuario tiene un consumo promedio 1,400 kWh. Canadá registra mayor consumo cuya cantidad asciende a 8,500 kWh por usuario, mientras que India presenta el menor con 200 kWh. En Rusia el consumo es de 2,000 kWh y en México de 700 kWh por usuario. Estos datos muestran que, en todos los casos, la proporción de electricidad respecto al consumo total de energía es inferior al 50%: el promedio mundial es 30%, Canadá 43%, India 10%, Rusia 16% y México 28% (Calixto Aguirre & Huelsz Lesbros, 2018).

El uso de los combustibles alternativos que buscan incrementar la sustentabilidad energética, además buscan reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la dependencia de combustibles fósiles, aunque existan obstáculos técnicos, económicos, sociales y ambientales que implican su implementación, por lo que el uso de esos combustibles alternativos conlleva beneficios y riesgos asociados que conviene abordarlos desde enfoques multidisciplinarios donde impliquen aspectos académicos, económicos, entrevistas con expertos, etcétera. Las políticas públicas juegan un papel importante por que buscan equilibrar los aspectos ambientales, sociales y económicos (Calderón, Lara, & Campo-verde, 2025).

Estudios recientes demuestran que la emisión de CO₂ que debió evitarse para avanzar en el impacto de buenas prácticas en los hogares urbanos proponiendo el uso de electrodomésticos eficientes y en esos trabajos se estimó el consumo de las emisiones de CO₂ relacionadas al uso de equipos domésticos en el hogar y se estima la emisión en cuatro escenarios sustituyendo electrodomésticos actuales la sustitución de refrigerador, lavadora, lámparas incandescentes tienen la posibilidad de reducir las emisiones del 55.8 Gg a 52.8 Gg de CO₂ para el año 2039 y el cambio de estos equipos, genera la oportunidad de reducir aproximada-

Introducción al tema de estudio

mente 40 Gg de CO² en los 20 años venideros (Sierra Ramírez & Andrade Castañeda, 2020).

Ese consumo eléctrico, principalmente es provocado por la alta conductividad de calor del TCR, y que toma dimensión porque en Tuxtla Cutiérrez, casi el 80% de las viviendas, usan el concreto reforzado como material predominante en el techo (INEGI, 2020). Cabe aclarar que el techo no es el único elemento que influye en la comodidad térmica, pues otros elementos de la envolvente como muros, puertas, ventanas, etcétera, desempeñan un papel importante en la regulación del balance térmico, y su interacción conjunta con el clima resulta determinante para la eficiencia energética, sin embargo, el techo de la misma juega un rol preponderante, pues en edificaciones de uno o dos niveles, es la superficie de la envolvente con mayor exposición al calor radiante del sol (Castañeda Nolasco, Ferras Coutiño, Farrera Vázquez, & Jiménez Albores, 2024).

La Conferencia de Cambio Climático COP29, celebrada en Bakú, Azerbaiyán en 2024, conocido como la “cumbre de la financiación”, tuvo como objetivo principal acordar un nuevo objetivo global de financiamiento climático, superando el compromiso previo de movilizar 100 mil millones de dólares anuales para países en desarrollo, cifra alcanzada en 2022. Además, se abordaron temas cruciales como la triplicación de la capacidad renovable y la duplicación de la eficiencia energética para 2030, el compromiso con la eliminación de los combustibles fósiles, la transición equitativa, el objetivo global de adaptación y la implementación del fondo para pérdidas y daños fue respaldado por el G20 a través de una declaración emitida en la cumbre. Esta declaración reafirma el apoyo al proceso multilateral y a los objetivos establecidos por el Acuerdo de París, destacando la necesidad urgente de avanzar en la transición energética y en la financiación climática. Un logro significativo de la COP29 fue el “Pacto de Unidad Climática de Bakú”, que incluye tres acuerdos fundamentales: establecer un objetivo de financiamiento climático que alcance al menos 300 mil millones de dólares anuales para 2035, progresos en el Objetivo Global sobre Adaptación (GGA) y pautas para futuros diálogos e inversiones dentro del Programa de Trabajo sobre Mitigación (MWP), en cuanto a la financiación, se acordó una hoja de ruta para movilizar hasta 1.3 billones de dólares anuales para 2035, involucrando tanto fuentes públicas como privadas, y se destacó el liderazgo de los países desarrollados, aunque los países en desarrollo podrán contribuir voluntariamente. Se avanzó en la implementación del GGA, con la creación de indicadores globales para medir el progreso en adaptación y la integración de conocimientos tradicionales e indígenas. El MWP priorizó la colaboración entre gobiernos, sector privado y comunidades para desarrollar proyectos climáticos viables y soluciones sostenibles, también es importante enfatizar en los acuerdos de cooperación del Acuerdo de París, que redefinió reglas para el comercio de unidades de mitigación (ITMO) y se estableció un mecanismo centralizado para asegurar la transparencia y evitar la doble contabilidad de las reducciones de emisiones. Además, se aprobó la transición de proyectos de forestación y reforestación al nuevo mecanismo y se eximió a los países menos adelantados y pequeños es-

Introducción al tema de estudio

tados insulares de ciertas contribuciones al Fondo de Adaptación, cabe enfatizar que el informe también aborda temas como el comercio internacional, donde el mecanismo de ajuste de carbono en frontera de la UE fue cuestionado por países en desarrollo; la inclusión de género, ampliando el Programa de Trabajo de Lima sobre Género; y la falta de acuerdos en la agenda de mitigación, especialmente en el abandono de combustibles fósiles y la integración de estos objetivos en las NDCs. Se destacó la necesidad de reformar el sistema financiero multilateral y de equilibrar las acciones de mitigación y adaptación, en el que la COP29 impulsó diversas iniciativas en áreas como finanzas, energía, salud, digitalización, PYMES, agua, turismo y desarrollo humano, promoviendo la colaboración internacional y el compromiso multisectorial, se espera el reporte de la COP30 que se celebró en Belém, Brasil, en noviembre de 2025, tiene retos de presentar compromisos globales más ambiciosos para limitar el aumento de la temperatura media global a 1.5 °C, ya que las contribuciones actuales proyectan un incremento de hasta 3 °C (Organización de las Naciones Unidas, 2024).

El informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) de 2018, elaborado por más de 90 científicos de 40 países, analizó las diferencias entre limitar el calentamiento global a 1.5 °C y permitir que alcance los 2 °C. El informe enfatiza que incluso un incremento de medio grado en la temperatura tiene repercusiones severas para la biodiversidad, los ecosistemas y la salud humana. Por ejemplo, con un aumento de 1.5 °C, se estima que entre el 70 y el 90 % de los arrecifes de coral podrían desaparecer, mientras que, con un incremento de 2 °C, la pérdida sería casi total. Además, millones de personas en áreas costeras bajas enfrentarían riesgos debido al ascenso del nivel del mar, y muchas especies perderían gran parte de su hábitat. El documento también indica que el planeta ha experimentado un calentamiento de 1 °C desde la era preindustrial y que gran parte de este aumento ha tenido lugar en las últimas décadas, principalmente debido al crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero. El cambio climático es un fenómeno global causado principalmente por el incremento de estos gases en la atmósfera, siendo una consecuencia directa de actividades humanas como la quema de combustibles fósiles, la deforestación y la expansión industrial, aunque el clima de la Tierra ha fluctuado históricamente debido a factores naturales, las pruebas científicas indican que, desde la Revolución Industrial, la concentración de CO₂ y otros gases ha alcanzado niveles sin precedentes. Esto ha intensificado el efecto invernadero y está provocando un calentamiento acelerado del planeta. Las manifestaciones de este calentamiento global incluyen el deshielo de glaciares, el aumento del nivel del mar, cambios en los patrones de precipitación, así como una mayor frecuencia de sequías, tormentas, ciclones y olas de calor. Además, se ven afectados ecosistemas vulnerables como los arrecifes de coral, la Amazonía y las regiones polares. En este contexto, es esencial distinguir entre cambio y variabilidad climáticos: la variabilidad se refiere a fluctuaciones naturales y de corto plazo, como los fenómenos de El Niño y La Niña, mientras que el cambio climático implica

Introducción al tema de estudio

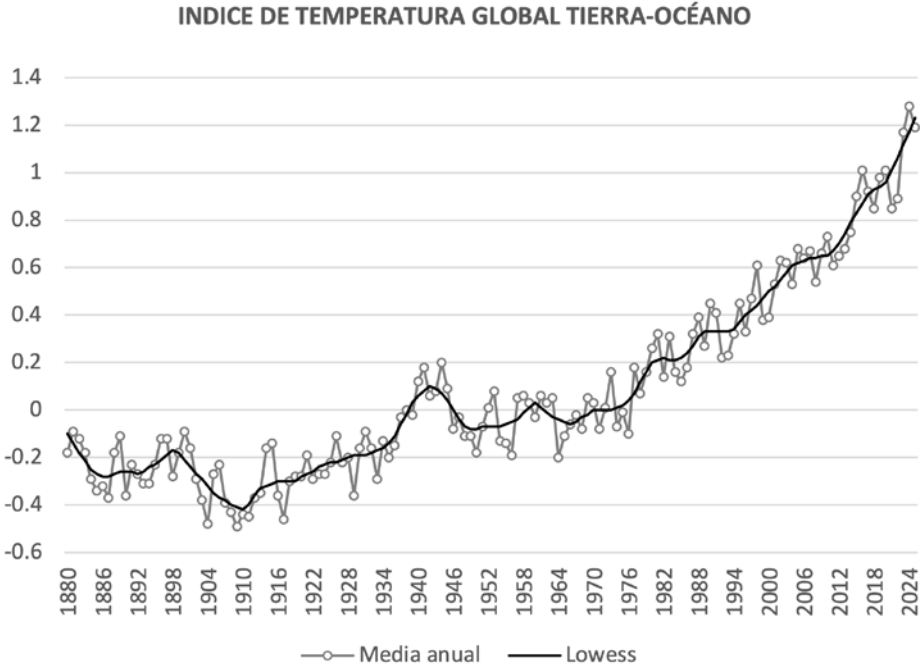
modificaciones persistentes a largo plazo causadas principalmente por la actividad humana. A lo largo de la historia del planeta, ciclos astronómicos y procesos naturales influyeron en el clima; sin embargo, el ritmo actual de cambio supera ampliamente esas variaciones naturales, lo que genera desequilibrios profundos en ecosistemas, actividades económicas y condiciones de vida humana, las consecuencias afectan a todas las regiones del mundo, aunque de manera desigual. En algunos lugares se intensifican las sequías, en otros las inundaciones son más frecuentes; se alteran los ciclos agrícolas, disminuye la disponibilidad de agua, se acelera la pérdida de biodiversidad y se incrementan los riesgos para la salud humana, las ciudades, con su alta concentración de población y consumo energético, son especialmente vulnerables tanto a olas de calor como a inundaciones y aumentos del nivel del mar, frente a este panorama, existen dos grandes líneas de acción: la mitigación, orientada a reducir las emisiones y aumentar la captura de carbono, y la adaptación, que busca preparar a las sociedades para enfrentar los impactos inevitables. Organismos internacionales como la ONU, la OMM y el IPCC coordinan esfuerzos científicos y políticos para guiar a los países en la adopción de medidas y acuerdos multilaterales, como el Protocolo de Kioto, el Acuerdo de París y la revisión de avances a través de las COP que se realizan cada año, estos instrumentos buscan limitar el aumento de la temperatura global y evitar que los efectos se vuelvan irreversibles.

El cambio climático representa uno de los mayores desafíos contemporáneos, afecta los sistemas naturales y sociales, amenaza la seguridad alimentaria y hídrica, altera los ecosistemas y pone en riesgo la estabilidad económica y el bienestar humano, las decisiones y acciones que se tomen hoy determinarán la habitabilidad y calidad de vida en el futuro, pues el planeta ya muestra señales claras de que se encuentra en un proceso de transformación rápida y profunda, impulsada principalmente por la actividad humana (Instituto de Desarrollo Sostenible, 2024), cabe mencionar que estas emisiones, que superan los 42 mil millones de toneladas anuales intensifican fenómenos extremos como huracanes, incendios forestales, sequías y olas de calor, afectando la salud, la seguridad alimentaria y la economía global, por lo anterior, cambio climático también agrava problemas de salud pública, como enfermedades transmitidas por el agua y el aire, y afecta de manera desproporcionada a los grupos más vulnerables. El informe concluye que es urgente reducir las emisiones y transformar los sistemas energéticos y productivos para evitar impactos irreversibles en el planeta y la humanidad (Petroni, 2020)

En la Figura 2 se ilustran las variaciones en la temperatura media global ocurridas entre 1980 y 2024, muestran un incremento sostenido en las anomalías térmicas anuales. En este mismo sentido, las mediciones registradas por el índice tierra-océano confirman que, en las últimas décadas, la temperatura media ha experimentado un aumento acelerado, especialmente a partir de los años ochenta, alcanzando valores superiores a 1 °C por encima del promedio histórico (NASA, 2024).

Introducción al tema de estudio

Figura 2. Temperaturas de 1980 a 2024 en el contexto global.



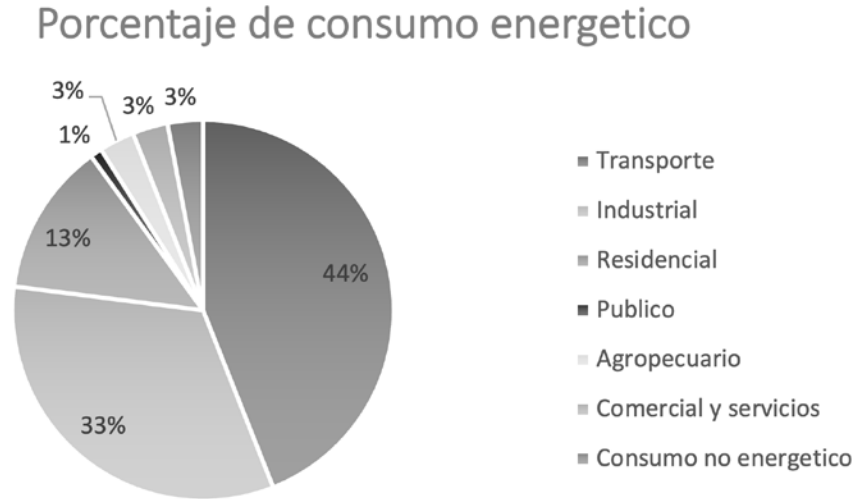
Nota. (NASA, 2024)

Justificación

En la justificación se mencionan aspectos que evidencian los impactos negativos que tiene el consumo de electricidad:

1. El consumo final de energía en México para el sector residencial en el 2024 fue del 12.7% únicamente quedando arriba los sectores transporte e industrial con 44% y 32.8% respectivamente, de esta forma es importante ver que el consumo de energía en el sector residencial es importante y significativo (SENER, 2024).

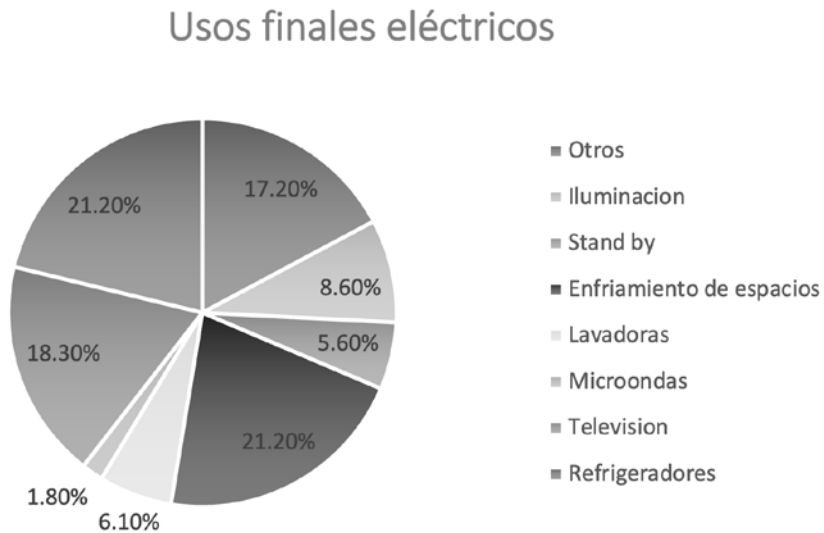
Figura 3. Porcentaje de consumo de energía eléctrica por sectores en México.



Nota. (SENER, 2024)

1. En la vivienda en México, como se muestra en la Figura 4, el consumo de energía eléctrica por aire acondicionado corresponde al 21.2% del total de la energía eléctrica consumida (CONUEE, 2024).

Figura 4. En México, consumo de energía eléctrica por aire acondicionado.



Nota. (CONUEE, 2024)

Introducción al tema de estudio

1. La climatización de las viviendas en México, presenta diferencias entre zonas urbanas y rurales, pues el 45 % de viviendas urbanas utiliza ventiladores mientras que el 41 % en zonas rurales, sin embargo, se contabilizaron poco más de 7 millones de equipos de aire acondicionado para uso en viviendas particulares (INEGI, 2018).
2. Chiapas se ubica al sureste de México, colinda con el estado de Tabasco, República de Guatemala, océano pacífico y los estados de Oaxaca y Veracruz, más de la mitad de su territorio, y principalmente Tuxtla Gutiérrez, ocupando el 54 % tiene clima cálido húmedo, el 40 % representa cálido subhúmedo, el 3 % clima templado húmedo y el 3 % restante tiene clima templado subhúmedo, donde la temperatura media anual es variable dependiendo de la región desde los 14 °C de los altos de Chiapas hasta los 27 °C de la costa (INEGI, 2023).
3. Por la fuerte dependencia de los combustibles fósiles en la producción de energía, el 84% de la energía que se consume en México se produce con fuentes no renovables (SENER, 2024),

Por la información anterior, se justifica el desarrollo de este trabajo donde el propósito principal es lograr una situación mejor que la actual.

Antecedentes disciplinarios aplicables

En los últimos años, la literatura internacional ha documentado a detalle cómo los TV pueden mejorar la eficiencia energética en edificios, especialmente en lo que respecta al consumo de aire acondicionado en la vivienda. Un estudio reciente (Jia et al., 2024) analizó el impacto de los TV y techos fríos en seis ciudades de distintos climas Cairo, Hong Kong, Seúl, Londres, Los Ángeles y São Paulo, utilizando simulaciones energéticas y modelos climáticos tanto actuales como proyectados al futuro.

Lo interesante es que los TV, gracias a la vegetación y el sustrato, funcionan como una capa aislante que reduce la transferencia de calor hacia el interior, provocando que la temperatura interna sea más estable y así el sistema de aire acondicionado se esfuerce menos, logrando ahorros de energía de hasta un 65%, dependiendo del clima y el tipo de edificio, siendo este ahorro más notable en edificios de baja altura y en ciudades con climas cálidos y húmedos, por otro lado, de acuerdo a los datos climatológicos globales, suponiendo que el cambio TV será mayor en comparación con los techos fríos que reflejan la radiación solar, esto debido a que los TV tienen la ventaja de aportar aislamiento térmico durante todo el año, lo que es útil tanto para reducir el uso de aire acondicionado como para mantener el calor en invierno en zonas frías (Jia, Weng, Yoo, Xiao, & Zhong, 2024).

En un estudio reciente realizado en el Cairo, lugar donde están ocurriendo aumentos de temperatura de 4° a 5° K a causa del aumento de la densidad urbana y el decrecimiento de la vegetación, trajo consigo el in-

Introducción al tema de estudio

crecimiento del uso del aire acondicionado y energía eléctrica, por ello, en trabajos recientes se han evaluado los TV y como logran la reducción de temperatura y el consumo eléctrico por refrigeración en los edificios de diferentes densidades urbanas, para ello se tomó en cuenta la relación de aspecto de los mismos donde: $H/W=1$ (altura y carga de consumo por edificio de 12 m, 18 y 30) y que cuentan con TV intensivos y extensivos, el ultimo sistema conviene por su bajo mantenimiento y costos. Para estos trabajos se utilizó un modelo Desing Builder para calcular la demanda energética de los edificios (Aboelata, 2021).

El crecimiento urbano, así como ha traído beneficios económicos, en la calidad de vida de los habitantes, entre otros, también ha tenido un impacto importante en el medio ambiente, bajo esta premisa, los TV forman parte de una de las soluciones innovadoras que promueven el desarrollo sustentable (Quiroa Herrera, Castañeda Nolasco, & Villanueva Solís, 2020), evaluaron experimentalmente el desempeño térmico de este sistema de techos, comparándolos con módulos de losa convencional, donde se demostró que el sistema de TV reduce significativamente la temperatura superficial de la losa, con índices de hasta 9 °C, y 3 °C el aire interior, lo que implica una menor ganancia térmica y reducción de usos de sistemas de climatización. Destacando el uso de vegetación local para promover el menor uso de agua y menor mantenimiento (Quiroa Herrera, Castañeda Nolasco, & Villanueva Solís, 2020).

Estudios recientes en ciudades con alta densidad poblacional, donde existe una reducida cantidad superficie para espacios verdes que provocan un impacto importante en la salud urbana, las cubiertas verdes representan una solución conveniente en el contexto de la innovación, esto para introducir elementos naturales en entornos TV y consideran parámetros que influyen en la elección de soluciones adecuadas especialmente en edificios históricos. Dicho marco se aplicó en el complejo hospitalario Santissima Annunziata de Nápoles, donde se demostró que el TV no solo aportó considerablemente al tema de la comodidad térmica, sino que también se generó un espacio verde con un valor recreativo, social y monumental, asimismo, se demostró que la implementación de cubiertas verdes puede reducir la temperatura del aire de 0.2 °C hasta 4.1 °C, además que al incorporar otras estrategias como arborización, y uso de pavimentos permeables propician la reducción de 0.7 °C hasta 6.1 °C respectivamente. Este modelo es posible de replicarse en diferentes contextos y hacen énfasis en estrategias de ecologización urbanas en superficies con densidades altas (Sommese & Lorenzo, 2025).

Un antecedente importante en el tema de la implementación de las cubiertas verdes en México es el trabajo realizado por (López González, Camacho, Martínez Rodríguez, & Marcelino Aranda, 2020) quienes presentan una revisión integral sobre los temas del origen, composición, características y beneficios que dicho sistema ofrece, este estudio destaca que el sistema de TV se posiciona como una tecnología clave en para el desarrollo sustentable, en respuesta a los impactos negativos de la urbanización. Además, el estudio resalta diferentes beneficios sociales, como la mejora en la salud física y mental de la población, la reducción

Introducción al tema de estudio

de enfermedades y mortalidad, así como ventajas económicas, como el ahorro energético y plusvalía, además de casos de éxito en México documentados, como el TV del INFONAVIT, considerado el más grande de Latinoamérica, y subraya la importancia de fortalecer la difusión de esta tecnología en el país para maximizar sus beneficios (López González, Camacho, Martínez Rodríguez, & Marcelino Aranda, 2020).

Un estudio realizado en Cuba, demuestra que los TV en las edificaciones ofrecen diferentes beneficios, ambientales, sociales y productivos, además de un impacto directo en la reducción del consumo eléctrico. En este contexto, donde el uso de los sistemas de aire acondicionado representa uno de los mayores porcentajes de gasto energético con un 8% del total, los TV regulan la temperatura interior gracias a que actúan como aislantes naturales, a la par que promueven diferentes funciones y ventajas como la promoción de la agricultura urbana, aumento de la biodiversidad, mejora de calidad del aire y creación de espacios de recreación. Este estudio reafirma que los TV como estrategia, no solo aportan sostenibilidad y belleza si no que optimizan el consumo eléctrico en climas cálidos (Álvarez Marqués, Hernández perla, & Prieto Hernández, 2023).

Un estudio realizado por (Dauda & Zafer Alibaba, 2020) de la revista *International Journal of Civil and Structural Engineering Research*, destacan los diferentes beneficios, oportunidades y retos al implementar TV en las edificaciones, subrayan que esta tecnología ayuda a reducir la temperatura superficial de los edificios, optimizan la comodidad térmica y reduce los gastos en energía vinculados con la climatización. Dicha tecnología tiene la capacidad de disminuir los gastos anuales de energía entre un 1 y un 15 %, así como también reducir hasta en un 79 % las cargas de enfriamiento de inmuebles comerciales. El estudio también destaca diferentes ventajas ambientales, como la gestión del agua de lluvia, el mejoramiento de la calidad del aire y la disminución de la contaminación por ruido, así como las contribuciones sociales relacionadas con el bienestar psicológico y la creación de áreas recreativas. No obstante, se identifican retos significativos, como los costos de construcción, el mantenimiento especializado y la posibilidad de filtraciones. Esto requiere diseños más eficaces y trabajos conjuntos entre disciplinas para que su implementación sea exitosa. Este precedente corrobora que, a pesar de sus restricciones, los TV son una estrategia viable para optimizar el consumo eléctrico y fortalecer la resiliencia de ciudades ante el cambio climático (Dauda & Zafer Alibaba, 2020).

Estudios realizados en la universidad Normal de Shanghái, realizaron un modelo donde se interpretaba la relación de los TV con el ahorro energético de edificios y la emisión de contaminantes atmosféricos, para ello se evaluaron edificios como oficinas, hospitales, centros comerciales departamentos, utilizando el software EnergyPlus, donde los resultados arrojaron un mayor ahorro de energía eléctrica especialmente en edificios de uso intensivo como centros comerciales en los días de verano. Por otro lado, el estudio demuestra que el sistema de TV contribuye en la reducción de emisiones de CO², SO², Nox y PM_{2.5}, por absorción de la

Introducción al tema de estudio

vegetación en los techos y por la reducción de la generación de energía eléctrica para el abastecimiento de los edificios (Yuanfan & Liang, 2024).

Estudios publicados en *Environmental Science and Pollution Research* ofrecen una revisión de factores que determinan la factibilidad de los TV en cuanto al desempeño térmico y sostenibilidad, destacan como la elección de los sustratos y de los materiales influyen en la retención de agua, la capacidad de escurrimiento y la huella ambiental de dicho sistema, mientras que la elección de vegetación adecuada condiciona el potencial de control térmico y por lo tanto ahorro energético. Así mismo subrayan la importancia de los métodos de irrigación y mantenimiento del sistema, aprovechando fuentes alternativas como aguas pluviales y aguas grises. Tema que resulta relevante porque muestra que la optimización energética no solo depende de su instalación, si no que de un espectro más amplio desde el diseño hasta las decisiones técnicas y mantenimiento que aseguren la resiliencia y disminución de impactos ambientales (Moshen, et al., 2022).

Tabla 1. Concentrado donde se coloca el estado del arte, con datos de diferentes autores.

| Nación | Tiempo | Autor | Condiciones del trabajo | Principal descubrimiento |
|---|--------|---|---|---|
| Egipto, China, Corea del Sur, Reino Unido, EE.UU., Brasil | 2024 | (Jia, Weng, Yoo, Xiao, & Zhong, 2024) | Simulaciones energéticas en seis ciudades con climas distintos | Reducción de hasta 65 % de consumo energético, más efectivos que techos fríos en escenarios de cambio climático. |
| Egipto (Cairo) | 2021 | (Aboelata, 2021) | Modelos Design Builder, edificios de distintas alturas con TV intensivos y extensivos | Reducción de temperatura y consumo eléctrico, techos extensivos mayor viabilidad por bajo costo y mantenimiento. |
| Guatemala | 2020 | (Quiroa Herrera, Castañeda Nolasco, & Villanueva Solís, 2020) | Evaluación experimental comparando losa convencional vs TV | Reducción de hasta 9 °C en superficie y 3 °C en aire interior, uso de vegetación local reduce agua y mantenimiento. |

Introducción al tema de estudio

| Nación | Tiempo | Autor | Condiciones del trabajo | Principal descubrimiento |
|------------------|--------|---|---|--|
| Italia (Nápoles) | 2025 | (Sommese & Lorenzo, 2025) | marco holístico de ecologización urbana Implementado en hospital histórico en Nápoles | Reducción de temperatura del aire 0.2° - 4.1 °C, beneficios sociales y recreativos, replicable en contextos densos. |
| México | 2020 | (López González, Camacho, Martínez Rodríguez, & Marcelino Aranda, 2020) | Revisión de beneficios y casos de éxito | TV mejoran salud, ahorro energético, plusvalía; INFONAVIT con el mayor TV de Latinoamérica. |
| Cuba | 2023 | (Álvarez Marqués, Hernández perla, & Prieto Hernández, 2023) | Evaluación de beneficios ambientales y sociales | Regulación térmica, reducción de consumo eléctrico, promoción de agricultura urbana y biodiversidad. |
| Nigeria/Turquía | 2020 | (Dauda & Zafer Alibaba, 2020) | Revisión de beneficios y retos | Reducción de gastos energéticos 1 - 15 %, cargas de enfriamiento hasta 79 %, retos de costos y mantenimiento. |
| China (Shanghái) | 2024 | (Yuanfan & Liang, 2024) | Modelos EnergyPlus en edificios intensivos | Mayor ahorro energético en verano, reducción de emisiones contaminantes como CO ² , SO ₂ , NO _x , PM _{2.5} . |
| Irán | 2022 | (Mohsen, et al., 2022) | Revisión de factores técnicos y ambientales | Influencia de sustratos, vegetación y métodos de irrigación en desempeño térmico y sostenibilidad. |

Nota. Elaboración propia.

Introducción al tema de estudio

Como se puede observar en la tabla 1, se realiza un concentrado de estudios recientes abordando la implementación de los TV en diferentes contextos destacando el impacto que tienen en el ahorro energético y la comodidad térmica de los usuarios. Por ejemplo, los estudios realizados por (Jia, Weng, Yoo, Xiao, & Zhong, 2024), se centran en el análisis de ciudades con diferentes climas como Cairo, Hong Kong, Seúl, Londres. Los Ángeles y Sao Paulo, donde se demuestra que los TV reducen la transferencia de calor por lo tanto favorecen al ahorro de energético hasta un 65 %, sobre todo en los climas cálidos y húmedos. Un caso similar es (Aboelata, 2021), que estudió diferentes edificaciones en Cairo, donde el aumento de la temperatura eleva el consumo eléctrico en la ciudad; y demuestra que los TV además de ser una alternativa viable, los TV extensivos son más convenientes por el bajo costo y mantenimiento.

Por otro lado, en mexicano, estudios realizados por (Quiroa Herrera, Castañeda Nolasco, & Villanueva Solís, 2020), demostraron que los TV reducen la temperatura superficial hasta 9° C y una temperatura interior hasta 3 °C mejorando la comodidad térmica y disminuyendo el uso del aire acondicionado, así mismo (López González, Camacho, Martínez Rodríguez, & Marcelino Aranda, 2020), llevaron a cabo una revisión de beneficios sociales, económicos y ambientales incluyendo casos emblemáticos como el TV del INFONAVIT de México.

En Napoles, amplían la perspectiva de sus estudios (Sommese & Lorenzo, 2025), demuestran que los TV no solo reducen la temperatura del aire entre 0.2 y 4.1 °C, si no que favorecen sobre todo a los edificios históricos, aportando valor recreativo y social.

En cuba (Álvarez Marqués, Hernández perla, & Prieto Hernández, 2023), subrayan que los TV además de la reducción del consumo eléctrico, también se pueden obtener beneficios adicionales como agricultura y biodiversidad urbana. A nivel internacional (Dauda & Zafer Alibaba, 2020). Reportaron que disminución en consumo eléctrico entre el 1 y 15 %, aunque señalan retos como lo son los costos y el mantenimiento. Finalmente, trabajos realizados en china por (Yuanfan & Liang, 2024), confirman el ahorro energético y la reducción de emisiones contaminantes en edificaciones de uso intensivo por la implementación de TV mientras que (Mohsen, et al., 2022), enfatizan que el desempeño de los TV y su eficiencia en el ahorro del consumo eléctrico no solo depende de la su instalación, sino que también en el diseño, la selección de los materiales y sustratos y las estrategias de irrigación sustentable.

Hipótesis

Con base en la revisión de los antecedentes disciplinarios aplicables a la eficiencia energética en la edificación, incluida en este mismo capítulo, donde se describen los trabajos realizados por Jia y otros, (2024), Aboelata, (2021), Quiroa Herrera y otros, (2020), Sommese & Lorenzo, (2025), López González y otros, (2020), Álvarez Marqués y otros, (2023), Dauda & Zafer Alibaba, (2020), Yuanfan & Liang, (2024), Mohsen y otros, (2022), y considerando las condiciones específicas del sitio de estudio, se plantea

Introducción al tema de estudio

la siguiente hipótesis: En Tuxtla Gutiérrez, se eleva el grado de la eficiencia energética por consumo de aire acondicionado en la vivienda con TV en un 20 % que busca climatizar el ambiente interior comparándolo con el TCR, tomando en cuenta que el sitio de estudio cuenta con un clima cálido subhúmedo de acuerdo a la clasificación de Koeppen Aw.

Definiciones de la norma mexicana NMX-C-460-ONNCCE-2009

“Industria de la construcción-aislamiento térmico-valor “R” para las envolventes de vivienda por zona térmica para la república mexicana-especificaciones y verificación”, revisando los tres niveles de cumplimiento, valor “R” mínimo, valor “R” para Habitabilidad y valor “R” para ahorro de energía (ONNCCE, 2009).

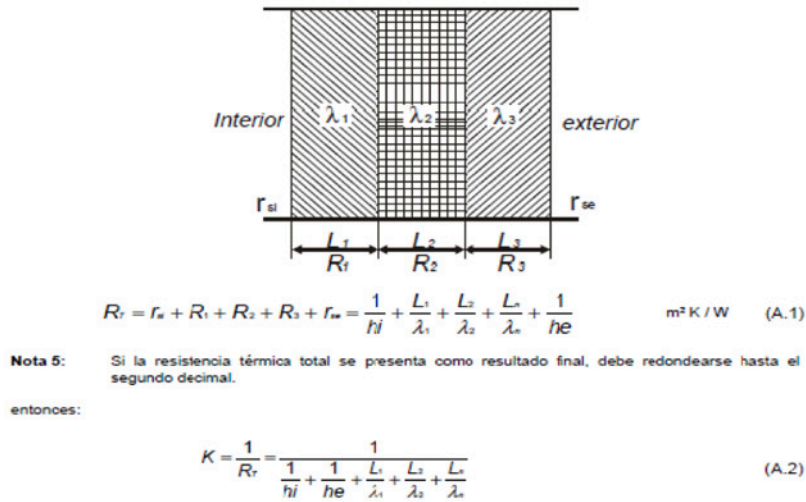
En el momento que se establecen los valores de resistencia térmica total valor R en cubiertas, paredes y entrepisos ventilados, donde se toma en cuenta la zona térmica en que se ubica la vivienda, definiéndose cuál es el nivel de cumplimiento con relación a la norma que se quiere conseguir, dichas definiciones son posibles debido a la información incluida en la norma que contribuye a reducir el uso de electricidad en las viviendas por uso de aire acondicionado, que incluye datos de resistencia térmica total lo que también se le denomina valor “R” mínimo en cubiertas y paredes de las viviendas y departamentos, situación que abona a la línea de diseño y construcción pasiva buscando reducir el uso de tecnologías que tienen impactos negativos graves en el ambiente y por el contrario, busca apoyarse en las propiedades de los materiales que conforman la envolvente de la Arquitectura (ONNCCE, 2009).

Para demostrar que se cumple con la norma es necesario elaborar una memoria que incluya la información que antecede al diseño que contempla el diseño eficiente, el dato “R” que indica la norma y que se está buscando cumplir, los componentes para la materialización, Tecnología y el método de cálculo, así como la localización de la zona térmica de las indicadas en la norma y cuál es el nivel de cumplimiento que se está buscando, donde además es necesario determinar la parcialidad de la resistencia térmica de la envolvente descompuesta en partes y que la sumatoria dará como resultado la total, siempre es necesario mencionar que se deben incluir la información técnica que aclare la propuesta, entre ellos especificaciones constructivas, planos, croquis, los materiales termoaislantes si estuvieran incluidos con sus certificaciones correspondientes de la NOM 018 ENER de conductividad térmica o ya sea de resistencia térmica (ONNCCE, 2009).

Aislamiento estructurado: ilustrada en la Figura 5 y en la Figura 6, es la combinación de varios materiales para formar un arreglo que presenta soluciones de aislamiento térmico y que pueden formar parte parcial o total de la envolvente (ONNCCE, 2009).

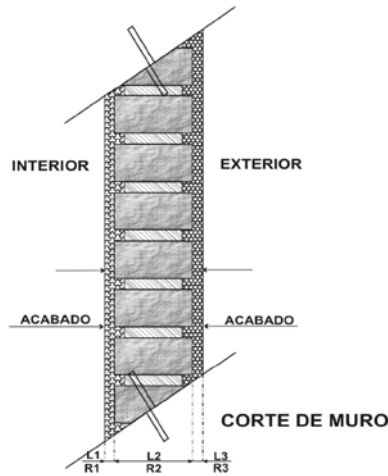
Introducción al tema de estudio

Figura 5. La norma le denomina aislamiento estructurado con su respectiva ecuación.



Nota. (ONNCCE, 2009).

Figura 6. Ejemplo concreto de aislamiento estructurado dado por la Norma.



Nota. (ONNCCE, 2009).

Apoyándose en las tablas que contiene la NOM 020 se enlistan para cada componente de la envolvente, la conductividad térmica correspondiente, apoyándose en el apéndice D de la NOM 020 (SENER, 2024).

Introducción al tema de estudio

Paso 2, se determinan las resistencias totales de cada componente de la envolvente del prototipo con su sistema constructivo, para determinar la resistencia se emplea la ecuación 1 (SENER, 2024).

$$R_T = r_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + r_{se} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{L_n}{\lambda_n}$$

Donde (también expresado en la Tabla 2):

h_i es la conductancia superficial interior, en Wm²/K, su valor es:

8.1 para muros
 6.6 para techos

h_e es la conductancia superficial exterior, en Wm²/K, su valor es igual a 13 (ONNCCE, 2009).

Los valores usados para *h_e* y *h_i* son tomados de la norma oficial mexicana (SENER, 2024).

Tabla 2. Información indicada en la norma para techos y muros.

| | | | | | |
|-------------------------|-------|-------|---|--|--|
| <i>h_i</i> | Muro | 8.10 | <i>h_i</i> (W/m ² K) (NOM 018 ENER 2011) | | |
| | Techo | 6.60 | | | |
| <i>h_e</i> | | 13.00 | | | |
| Superficie transparente | A<5% | | <i>h_e</i> (W/m ² K) (NOM 018 ENER 2011) | | |

Nota. (SENER, 2024).

En esta parte del desarrollo, se debe acomodar en un concentrado la información obtenida en cuanto a los valores.

Paso 3, en la Figura 7 se identifica la zona térmica de la localidad donde se hará la construcción y en una tabla se indica la zona térmica y requerimiento (ONNCCE, 2009).

Consultando el apéndice A de la norma, se encuentra la zona térmica (ONNCCE, 2009).

Figura 7. Zonas térmicas de la República Mexicana.



Nota. (ONNCCE, 2009).

Definiciones

- a. Resistencia térmica total mínima o valor “R” mínimo:
Es aquél cuando la vivienda cumple al límite los códigos o estándares de construcción, o en su defecto los requerimientos técnicos del constructor, sin considerar equipos de climatización, análisis y demanda energética, considerándose una vivienda pasiva, se utiliza únicamente la envolvente para protegerse del medio ambiente (sol, calor y temperatura), (ONNCCE, 2009).
- b. Resistencia térmica total para la habitabilidad o valor “R” para habitabilidad:
Es aquél que busca proporcionar un bienestar higrotérmico a sus ocupantes, mediante el empleo de aislamiento térmico principalmente, observando la mejor orientación para evitar los asoleamientos prolongados y el empleo mínimo de equipos de climatización para calentar, enfriar o ambos, cuyo fin no es el ahorro o eficiencia energética (ONNCCE, 2009).
- c. Resistencia térmica total para el ahorro de energía o valor “R” para ahorro de energía:
Es el resultado de combinar el aislamiento térmico junto a una cuidadosa elección del sitio y el emplazamiento, empleando equipos de climatización de menor consumo energético para ca-

Introducción al tema de estudio

lentar, enfriar o ambos para mejorar la habitabilidad y para ahorrar y hacer uso racional de la energía (ONNCCE, 2009).

Paso 4, Determinar las especificaciones de acuerdo con la Tabla 3 de la norma que debe cumplir el prototipo para la localidad elegida (ONNCCE, 2009).

Tabla 3. Componentes de la envolvente y su Resistencia Térmica.

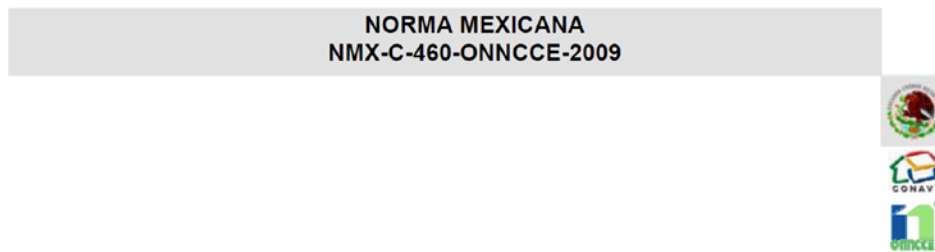


TABLA 2.- Resistencia Térmica Total (Valor "R") de un elemento de la envolvente

| Zona Térmica No. | Techos m ² K / W (ft ² h °F / BTU) | | | Muros m ² K / W (ft ² h °F / BTU) | | | Entrepisos Ventilados m ² K / W (ft ² h °F / BTU) | | |
|------------------|--|-----------------|-------------------|---|-----------------|-------------------|---|-----------------|-------------------|
| | Mínima | Habitabilidad | Ahorro de Energía | Mínima | Habitabilidad | Ahorro de Energía | Mínima | Habitabilidad | Ahorro de Energía |
| 1 | 1,40 (8,00) | 2,10 (12,00) | 2,65 (15,00) | 1,00 (5,70) | 1,10 (6,00) | 1,40 (8,00) | NA | NA | NA |
| 2 | 1,40 (8,00) | 2,10 (12,00) | 2,65 (15,00) | 1,00 (5,70) | 1,10 (6,00) | 1,40 (8,00) | 0,70 (4,00) | 1,10 (6,00) | 1,20 (7,00) |
| 3A, 3B y 3C | 1,40 (8,00) | 2,30 (13,00) | 2,80 (16,00) | 1,00 (5,70) | 1,23 (7,00) | 1,80 (10,00) | 0,90 (5,00) | 1,40 (8,00) | 1,60 (9,00) |
| 4A, 4B y 4C | 1,40 (8,00) | 2,65 (15,00) | 3,20 (18,00) | 1,00 (5,70) | 1,80 (10,00) | 2,10 (12,00) | 1,10 (6,00) | 1,80 (10,00) | 1,90 (11,00) |

Nota 4: 1 m² K / W = 5,68 ft² h °F / BTU



Nota. (ONNCCE, 2009).

Paso 5, Con el apoyo de tablas, se comparan los resultados obtenidos, tanto para muros como para techos, contra las especificaciones requeridas por la ciudad donde se localiza la vivienda prototipo (ONNCCE, 2009).

Tipos de TV

Se incluye en este capítulo la sección tipos de TV, con el propósito de vincular la física de los materiales de la sección anterior, con el sistema de TV más adecuado según las condicionantes locales en Tuxtla Gutiérrez, donde existen diferentes sistemas de TV; sin embargo, los más comunes se pueden clasificar en tres tipos: Intensivos, Semi intensivos y Extensivos (Aboelata, 2021).

Introducción al tema de estudio

Intensivos

Se consideran como jardines convencionales, son accesibles y tienen sustratos espesos que alojan una variedad de plantas, desde comestibles y arbustos, hasta árboles (López González, Camacho, Martínez Rodríguez, & Marcelino Aranda, 2020), los techos intensivos requieren que la capa del sustrato sea mayor de 30 cm, lo que aumenta el peso del sistema, además, el costo de instalación y el mantenimiento son elevados ya que se requiere riego, fertilización y poda constante, por lo anterior, se recomienda que este tipo de sistema se realice en construcciones nuevas, ya que es necesario un cálculo estructural detallado debido a que el peso del sistema es superior a los 250 kg/m², hasta los 400 Kg/m² (Dauda & Zafer Alibaba, 2020). La Figura 8, muestra un ejemplo del TV intensivo.

IGRA¹, establece que puede ser césped, perennes, arbustos y árboles en azoteas, pasarelas, bancas, parques infantiles e incluso estanques, se puede establecer como característica adicional, no hay limitaciones en el diseño y la individualidad, en el sistema intensivo de TV, la acumulación y las comunidades de plantas deben estar en armonía con el contexto, pero también es importante considerar que el riego y la fertilización son indispensables, el mantenimiento es mayor en este sistema (Aboelata, 2021).

Figura 8. TV Intensivo.



Nota. (López González, Camacho, Martínez Rodríguez, & Marcelino Aranda, 2020).

¹ No aparece en el documento original

Introducción al tema de estudio

TV Semi Intensivos

Estos sistemas que se observan en la Figura 9, se consideran intermedios, debido a que el espesor del sustrato oscila entre los 12 y 30 cm, lo que disminuye la selección de especies vegetales en comparación con el sistema intensivo, aunque brinda más posibilidades que el sistema extensivo, mismos que requieren mantenimiento regular, el peso aproximado del sistema es entre 120 y 250 kg/m².

Los TV semi intensivos, en términos de requisitos se ubican en medio de los sistemas extensivos e intensivos, requieren menos mantenimiento, costos menores y menos peso son las características para el TV intermedio en comparación con el TV intensivo, el nivel de sustrato menos profundo permite regulares posibilidades para el diseño, se pueden plantar gramíneas, herbáceas perennes y arbustos de crecimiento, no es posible plantar árboles altos y grandes (Aboelata, 2021).

Figura 9. TV que contempla naturación en término medio.



Nota. (IGRA, 2015).

TV Extensivos

Estos sistemas son de bajo mantenimiento y generalmente se instalan en lugares inaccesibles, a menudo se plantan en ellas especies con poco requerimiento de humedad, con solo 5 a 15 cm de sustrato y suelen subsistir con agua de lluvia, donde la vegetación es de bajo porte, usando generalmente especies endémicas o adaptadas a las condiciones ambientales, (ver Figura 10), por ello su mantenimiento es mínimo, el peso aproximado del sistema oscila entre 60 y 140 kg/m² (Castleton, Stovin, Beck, & Davidson, 2010). Así, esta clase de cubierta verde es la más apta para ser utilizada en construcciones existentes, o en vivienda de escasos recursos, ya que se necesitan mínimos refuerzos en la estructura para soportar el peso adicional (Castañeda Nolasco, Ferras Coutiño, Farrera Vázquez, & Jiménez Albores, 2024).

Introducción al tema de estudio

Figura 10. TV que no requiere riego, cuyo propósito principal es brindar protección térmica a los usuarios del espacio, se le denomina extensivo.



Nota. (Castañeda & Vecchia, 2007).

En la Tabla 4, se muestran requerimientos de mantenimiento, riego, especies vegetales adecuadas, espesor del sustrato vegetal, peso por metro cuadrado, costos y tipo de uso de los distintos tipos de TV (IGRA, 2015).

Tabla 4. Tipos de TV y su frecuencia de mantenimiento requerida.

| Criterio | Tipo de TV | | |
|--|-----------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| | Extensivo | Semi - intensivo | Intensivo |
| Frecuencia del mantenimiento requerido | Bajo | Periódico | Alto |
| Frecuencia de la irrigación requerida | No | Periódico | Regular |
| Naturación recomendada | Musgo, hierba y pasto | Pasto, hierba y arbustos | Césped, perennes, arbustos y arboles |
| Grosor de la capa vegetal en cm | 6-20 | 12-25 | 15-40 |
| Peso en kg/m ² | 60-150 | 120-200 | 180-500 |
| Precio | Bajo | Medio | Alto |

Introducción al tema de estudio

| Criterio | Tipo de TV | | |
|----------------------|----------------------------|---------------------|-------------------|
| | Extensivo | Semi - intensivo | Intensivo |
| Recomendación de uso | Capa de protección térmica | Diseño en el TV | Jardines, parques |

Nota. (IGRA, 2015).

Elementos que Componen a los TV

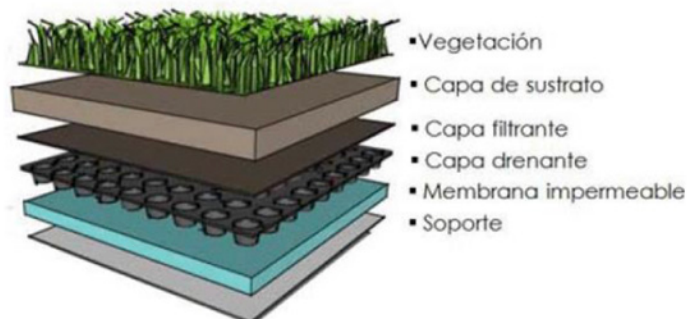
Para que el sistema de vegetación tenga las condiciones de funcionamiento óptimas, los siguientes componentes que están en la Figura 11, son necesarios (García V. I., 2010):

1. Soporte base que sirve para el apoyo de todos los componentes (López González, Camacho, Martínez Rodríguez, & Marcelino Aranda, 2020).
2. Membrana impermeabilizante anti-raíz que inhibe el crecimiento radical de las especies vegetales (López González, Camacho, Martínez Rodríguez, & Marcelino Aranda, 2020).
3. Capa drenante, recibe el producto de la precipitación y lo conduce hacia las salidas de agua de la cubierta (López González, Camacho, Martínez Rodríguez, & Marcelino Aranda, 2020).
4. Capa filtrante que evita el paso de las partículas finas del sustrato hacia la capa drenante (López González, Camacho, Martínez Rodríguez, & Marcelino Aranda, 2020).
5. Capa de sustrato cuya función es servir de soporte físico a la capa de vegetación, suministrándole los nutrientes, el agua y el oxígeno necesarios (López González, Camacho, Martínez Rodríguez, & Marcelino Aranda, 2020).
6. Capa de vegetación con una selección de especies vegetales que depende del sistema de naturación² elegido (López González, Camacho, Martínez Rodríguez, & Marcelino Aranda, 2020).

² TV.

Introducción al tema de estudio

Figura 11. Esquema de los componentes de un sistema típico de naturación en cubiertas.



Nota (López González, Camacho, Martínez Rodríguez, & Marcelino Aranda, 2020).

De esta forma se puede definir claramente que el espesor idóneo para el TV está condicionado principalmente por los recursos disponibles tanto para la construcción como para el mantenimiento del TV (López González, Camacho, Martínez Rodríguez, & Marcelino Aranda, 2020).

Los TV extensivos, por ser el TV cuyo sustrato vegetal es el de menos espesor comparado con el intensivo y el semi intensivo, ofrece poca exigencia a la estructura y además es el techo cuyo mantenimiento es más bajo, esto lo convierte en el TV más económico entre los tres mencionados, condición que lo hace factible en edificaciones existentes y más accesible para los grupos sociales que prioriza el plan nacional de desarrollo 2024-2030 que lanzó la gestión presidencial actual a través del gobierno federal, estos TV procuran la eficiencia y esto lo hace accesible, sin embargo la eficiencia en el consumo de los recursos es apreciada por los diferentes grupo socioeconómicos existentes, puesto que el uso eficiente del recurso conviene tanto para los grupos sociales de escasos recursos como para los grupos sociales con alta capacidad adquisitiva, y por su puesto al planeta que promueve extender la permanencia de la humanidad en la tierra (Quiroa Herrera, Castañeda Nolasco, & Villanueva Solís, 2020).

En este libro se mencionan los tres tipos de TV existentes, con fines informativos, intensivos, extensivos e intermedios, los extensivos procuran la comodidad térmica de las personas usuarias y para conseguir esto con 10 cm de espesor es suficiente, ni siquiera la vegetación es indispensable, por otro lado, los intensivos proporcionan la posibilidad de arquitectura de paisaje, reducción de ruidos urbanos, promueven el equilibrio psicosomático de los ciudadanos, mejoran la humedad ambiental, embellecen el paisaje, absorben los rayos ultravioleta y los mayores gastos de mantenimiento están presentes en los TV intensivos, esto se traduce en que con los TV extensivos se obtienen los beneficios de comodidad térmica, con bajo precio de mantenimiento, es muy eficiente y promueve el uso responsable de los recursos, por esta razón este libro se centra en

Introducción al tema de estudio

lo TV extensivos, que sin desprestigiar los otros sistemas de TV, más bien son objeto de otra publicación.

Con los requerimientos para el TV indicado en la Tabla 4, cabe mencionar que entre mayor sea el espesor del suelo, mayores serán la diferencia en el consumo de energía y de TSI³ (López González, Camacho, Martínez Rodríguez, & Marcelino Aranda, 2020).

Tabla 5. Resultados de Conductividad Térmica para distintos grosores de suelo cuando se usa TV.

| Grosor | Valor de conductividad térmica W/mk | Valor de resistencia térmica Km ² /W |
|--------|-------------------------------------|---|
| 0.050 | 0.3000 | 0.16670 |
| 0.100 | 0.3000 | 0.33330 |
| 0.200 | 0.3000 | 0.66670 |
| 0.300 | 0.3000 | 1.00000 |
| 0.400 | 0.3000 | 1.33330 |

Nota. (Cabrera, Guilarducci, González, & Suarez, 2023)

En la Tabla 5 se incluye una corrida con espesores del suelo en el TV que van desde 5 cm, hasta 40 cm, de espesor y se hace el cálculo de resistencia térmica esperada, donde intervienen los valores de conductividad y espesor respectivo, cabe mencionar que entre más es el espesor de suelo, mayor es la resistencia térmica esperada por ese techo, por lo tanto, menor intercambio de calor (Cabrera, Guilarducci, González, & Suarez, 2023)

Se determina ese rango en los espesores tomados de los espesores indicados en la Tabla 4 donde se indican los espesores para los tipos de TV, desde los extensivos hasta los intensivos, no se incluye en la Tabla 4 las variables temperatura y consumo de energía eléctrica, puesto que, para poder hacer inferencias en estas variables, se recomienda en el futuro experimentar con distintos espesores de suelo y así calcular los rangos intermedios (Cabrera, Guilarducci, González, & Suarez, 2023).

Se trabajó con el TV extensivo (el más económico en su construcción y mantenimiento), pues es el más adecuado para este caso, toda vez que este trabajo se orienta a edificación para grupos sociales de escasos recursos (Aboelata, 2021).

Comparación de los TV con otras opciones de aislantes existentes en el mercado

En la Tabla 6, se presenta una comparación donde se incluyen cinco sistemas aislantes existentes en el mercado, incluido el TV, a su vez calificados con quince criterios tanto de beneficio al medio ambiente como

3 TSI Temperatura de la superficie del techo.

Introducción al tema de estudio

de cumplimiento con la normatividad aplicable al aislamiento térmico (Trujillo Samayoa, 2017).

Tabla 6. Comparación con otras opciones aislantes existentes en el mercado.

| # | Criterio | 1 Poliuretano espreado (Isocianato polimérico colado 358-30) | 2 TV extensivo | 3 Multytecho | 4 Impermeabilizante acrílico celular Bioreflexion fotosensible 20 años | 5 Doble cubierta de concreto rellenada con unicel |
|----|--|---|-------------------|-----------------|--|--|
| 1 | Conductividad Térmica λ W / mK | 0.01950 | 0.3000 | 0.13200 | 0.0625 | 0.0370 |
| | Grosor/sistema | 0.02540 | 0.10000 | 0.03750 | 0.0035 | 0.0254 |
| 2 | Resistencia Térmica Km ² /W | 1.31000 | 0.05800 | 0.28400 | 0.0560 | 0.6864 |
| 3 | Cumplimiento NOM 018 ENER 1997 | Pendiente | Pendiente | Cumple | Pendiente | Cumple |
| 4 | Cumplimiento NOM 020 ENER 2011 | Pendiente | Cumple | Pendiente | Pendiente | Pendiente |
| 5 | Cumplimiento ASTM C 518 | Pendiente | Pendiente | Cumple | Pendiente | Pendiente |
| 6 | Precio m ² | \$189.930 | \$180.900 | \$1,743.650 | \$133.400 | \$195.300 |
| 7 | Peso promedio kg/m ² | 0.81280 | 150.00 | 16.780 | 2.400 | 96.00 |
| 8 | Que tan rápido se coloca | Alto | Alto | Alto | Alto | Alto |
| 9 | Que tanto contamina | Alto | Bajo | Alto | Alto | Alto |
| 10 | ¿Genera Dependencia Tecnológica? | Alto | Bajo | Alto | Alto | Alto |
| 11 | Usa químicos sintéticos | Alto | Bajo | Alto | Alto | Alto |
| 12 | Absorción de rayos UV | Nulo | Alto | Nulo | Nulo | Nulo |
| 13 | Reduce ruidos | Medio | Alto | Bajo | Nulo | Nulo |

Introducción al tema de estudio

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----|--|--|--------------|------------|---|---|
| # | Criterio | Poliuretano espreado (Isocianato polimérico colado 358-30) | TV extensivo | Multytecho | Impermeabilizante acrílico celular Bioreflexion fotosensible 20 años | Doble cubierta de concreto rellenada con unicel |
| 14 | Promueve retorno del agua | Nulo | Alto | Nulo | Nulo | Nulo |
| 15 | Nivel de consumo de electricidad | Bajo | Bajo | Bajo | Medio | Medio |
| 16 | Porcentaje | 75% | 90% | 85% | 80% | 80% |

Nota. (MÁXIMADIMENSIÓN, 2014), (MULTYPANEL, 2014), (THERMOTEK, 2015),
(GRUPOBARI, 2015), (GONZALEZ, 1997).

Existe un paquete de beneficios al ambiente como consecuencia del uso de los TV, entre ellos, la reducción en la emisión de gases efecto invernadero, se depende menos de quienes manejan los aspectos tecnológicos que requieren fuerte inversión, la radiación ultravioleta es absorbida, los ruidos se reducen, se promueve la continuidad del ciclo del agua, se reduce el consumo de electricidad, entre otros aspectos, esto se demuestra con el cumplimiento de las normas relacionadas al calor que se gana, entre ellos la NOM 020, las calificaciones de los sistemas aislantes se obtienen bajas debido a que los beneficios al ambiente son bajos, toda vez que las grandes empresas hacen inversiones importantes para demostrar el cumplimiento con las normas, inversión que será recuperada con la comercialización del producto correspondiente.





MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales y métodos

La información que contiene este capítulo se organiza en dos secciones:

La primera contiene los materiales y la segunda parte los métodos, En la parte de los materiales, se aborda las condiciones generales del contexto, donde se describe el contexto natural y artificial y la segunda parte, las condiciones específicas con las que se realizó el experimento (Trujillo Samayoa, 2017).

En la parte de métodos, se aborda los métodos que apoyaron la realización de este trabajo:

Materiales. Contexto físico natural

Clima

El clima de la tierra ha experimentado profundas variaciones a lo largo de su evolución, la composición del aire no ha sido siempre la misma, ni los factores astronómicos han permanecido fijos, las ciencias también han evolucionado y la meteorología junto con ellas; nació como una aplicación de la física para el conocimiento y estudio de los fenómenos atmosféricos; posteriormente como una consecuencia de las observaciones en red, se determinó la posibilidad de proyectar las condiciones del tiempo y dar una explicación más racional a los grandes problemas de la atmosfera (Sistema Meteorológico Nacional, 2024).

En una aplicación práctica de lo mencionado anteriormente, las figuras que se presentan a continuación fueron generadas utilizando una hoja de cálculo para el análisis del clima local, a partir del cálculo horario de temperaturas y humedad, se elaboraron gráficos que muestran las temperaturas mensuales, las temperaturas horarias desglosadas por mes, así como las horas frías, horas cálidas, la comodidad térmica en grados Celsius y el porcentaje de Isohigra. Esta información permite un aná-

lisis más profundo y un mejor entendimiento del clima en un área específica. La hoja de cálculo fue alimentada con datos climáticos históricos provenientes de la estación meteorológica “observatorio sinóptico” del SMN/CNA, localizada a una latitud de N 16° 45', longitud W 93° 08' y altitud de 570 msnm, siendo esta la estación climatológica más cercana al lugar objeto de estudio. Se utilizaron las normales climatológicas pertinentes, cuya información está disponible en el sitio oficial del Sistema Meteorológico Nacional (Sistema Meteorológico Nacional, 2024).

La Temperatura

La temperatura es una medida física que refleja la cantidad de calor presente en un cuerpo, y guarda una relación directa con la energía cinética promedio de sus átomos o moléculas, un aumento de la temperatura significa que las partículas se mueven más rápido, además esta misma determina la dirección en la que se transfiere el calor entre cuerpos, pues este fluye del cuerpo con mayor temperatura al menor y esta magnitud se puede medir con un termómetro (Picquart & Carrasco Morales, 2017).

Por otro lado, la temperatura también se puede interpretar por medio de sensaciones fisiológicas, por ejemplo, cuando una persona toca un objeto, el cuerpo humano lo interpreta como algo que se encuentra caliente o frío según la diferencia de temperatura, cabe mencionar que esta percepción es subjetiva y no siempre va a reflejar el valor real, por lo que se es necesario recurrir a instrumentos de medición para obtener datos más precisos (Picquart & Carrasco Morales, 2017).

La temperatura es la propiedad donde se observa que los cuerpos o sustancias tienen la capacidad de transmitir energía en forma de calor a otros cuerpos o por el contrario para recibirlo, esto da la posibilidad de que las características físicas de una sustancia con relación a la temperatura se puede usar en un termómetro donde a temperatura más alta significa que las moléculas que componen ese cuerpo están más agitadas donde también se observa que la biología de los vegetales, como transpiración, asimilación, fotosíntesis y respiración, solo pueden suceder si las temperaturas son adecuadas para que esto suceda, tomando en cuenta que para la vegetación de diferentes especies, los valores de temperaturas requeridos para su buen desarrollo en diferentes periodos de su ciclo, son diferentes (Picquart & Carrasco Morales, 2017).

En estos intercambios de energía, existen principalmente tres formas de transmisión de calor, o sus combinaciones: conducción, convección y radiación (McQuiston, Parker, & Spitler, 2010).

- **Conducción.** Es el flujo de energía térmica de un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura sin que haya transferencia de materia, mediante interacciones atómicas o moleculares (Picquart & Carrasco Morales, 2017).
- **Convección.** Es la transmisión de energía térmica en el propio cuerpo del fluido (gas o líquido) cuando está en contacto con una

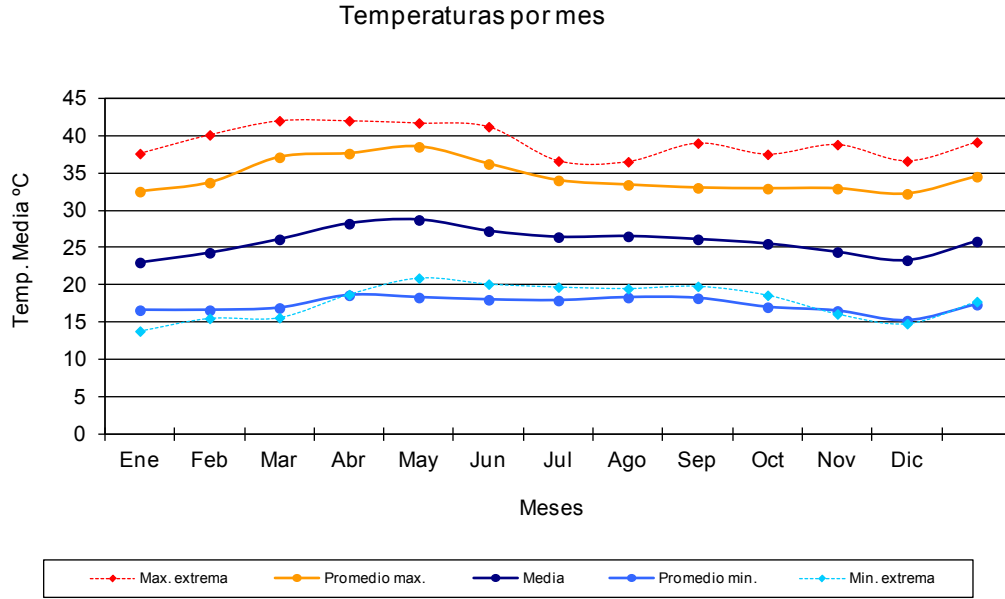
Materiales y métodos

fuente de calor, una parte del fluido (la que está en contacto con la fuente de calor) al calentarse se dilata, disminuye su densidad y tiende a ascender mientras que la otra parte del fluido, más fría y más densa, tiene a descender dando lugar a corrientes convectivas, las cuales producen así una mezcla de moléculas en el cuerpo del fluido, para que se produzca transmisión de calor por convección, antes debe haber un proceso de transmisión de calor por conducción (Picquart & Carrasco Morales, 2017).

- Radiación. Es la emisión y propagación de energía por medio de ondas electromagnéticas, las cuales se desplazan a la velocidad de la luz (300 000 km/s) a través del espacio, sin intervención activa de la materia y sin requerir necesariamente de un medio para su propagación, un ejemplo común es la radiación que el Sol emite a la Tierra (Sistema Meteorológico Nacional, 2024).

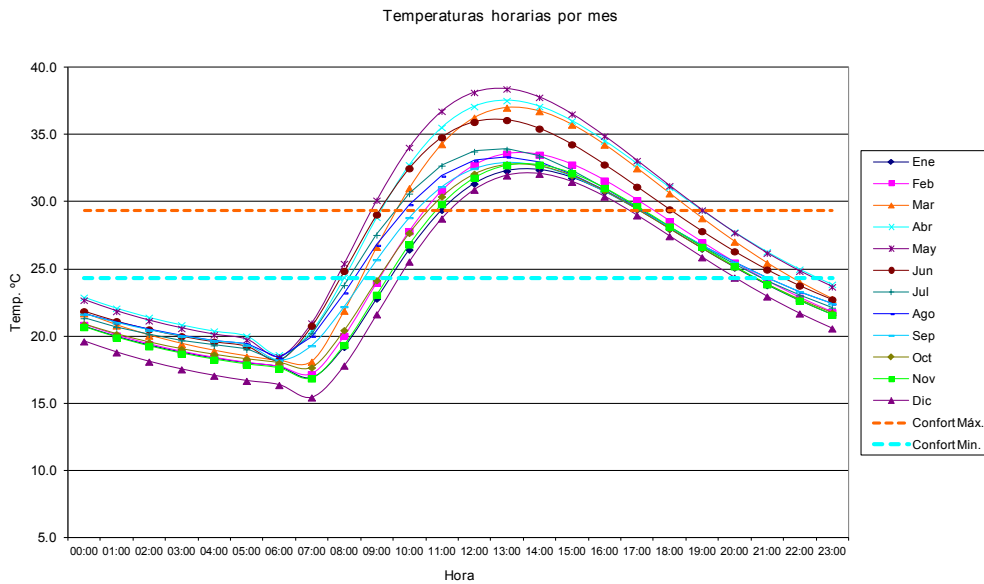
La Figura 12, muestra el comportamiento de las temperaturas en el sitio de estudio en cada mes, de 1981 al 2000, según los datos históricos de la estación meteorológica descrita con anterioridad (CNA, 2024), se muestran las temperaturas medias, que oscilan alrededor de los 25 °C, para SEDESOL unidad de microrregiones, la temperatura media anual esta sobre los 22 ° C y la temperatura del mes más frío es mayor de 18 °. Los promedios de las máximas sobre los 35° C, los promedios de las mínimas entre los 15 y los 20 ° C, y los extremos que han llegado en casos excepcionales hasta 43 ° C y hasta 12° C respectivamente (Sistema Meteorológico Nacional, 2024). Como se muestra en la figura 2.4, las temperaturas horarias por mes representan las temperaturas promedio en los doce meses del año, según la simbología de la Figura 12, mayo es el mes en que más altas temperaturas se consiguen y en el extremo contrario, diciembre es el mes de más bajas temperaturas, en todos los meses, las máximas temperaturas se consiguen entre las 12:30 y las 14:30 horas y las temperaturas más bajas se consiguen entre las 06:30 y 07:30 de la mañana (Trujillo Samayoa, 2017).

Figura 12. Temperaturas por mes.



Nota. Elaborado con datos de (Sistema Meteorológico Nacional, 2024).

Figura 13. Temperaturas horarias por mes



Nota. Elaborado con datos de (Sistema Meteorológico Nacional, 2024).

Materiales y métodos

La temperatura según los meses del año⁴ y los horarios correspondientes, en la Figura 13, las horas frío promedio están presentes entre las 22:00 horas y las 08:00 horas de la mañana del siguiente día, por el contrario, de acuerdo con la Figura 14, las horas calor promedio en el año están presentes entre las 10:00 horas y las 18:00 horas (CNA, 2024).

Figura 14. Horas frío, Horas calor.

| | | Horas frío | | | | | | | | | | | |
|----------------|-----|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| Hora (TSV) | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | |
| 00:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 01:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 02:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 03:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 04:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 05:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 06:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 07:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 08:00 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 09:00 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | |
| 10:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 11:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 12:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 13:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 14:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 15:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 16:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 17:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 18:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 20:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 21:00 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | |
| 22:00 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 23:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Total Hrs frío | 13 | 13 | 11 | 9 | 9 | 10 | 12 | 11 | 11 | 13 | 13 | 13 | |

| | | Horas calor | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| Hora (TSV) | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | |
| 00:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 01:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 02:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 03:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 04:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 05:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 06:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 07:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 08:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 09:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 10:00 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 11:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | |
| 12:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 13:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 14:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 15:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 16:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 17:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | |
| 18:00 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 20:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 21:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 22:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 23:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Total Hrs calor | 7 | 7 | 9 | 10 | 11 | 9 | 8 | 8 | 7 | 7 | 7 | 5 | |

Nota. Elaborado con datos de (Sistema Meteorológico Nacional, 2024).

⁴ De 1981 al 2000, según los registros históricos de las normales climatológicas de la estación meteorológica descrita (Sistema Meteorológico Nacional, 2024).

Figura 15. Cuadro que muestra los horarios por mes en que el humano está en comodidad térmica.

| Hora (TSV) | Confort horario °C | | | | | | | | | | | | Frío | | < 24.3 | | |
|------------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|--------|--|--|
| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | | | | | |
| 00:00 | 20.7 | 20.9 | 21.7 | 22.9 | 22.7 | 21.9 | 21.4 | 21.7 | 21.7 | 20.9 | 20.7 | 19.6 | | | | | |
| 01:00 | 19.9 | 20.1 | 20.8 | 22.1 | 21.9 | 21.1 | 20.7 | 21.0 | 21.0 | 20.2 | 19.9 | 18.8 | | | | | |
| 02:00 | 19.3 | 19.4 | 20.1 | 21.4 | 21.2 | 20.5 | 20.2 | 20.5 | 20.5 | 19.6 | 19.3 | 18.1 | | | | | |
| 03:00 | 18.8 | 18.9 | 19.4 | 20.9 | 20.6 | 20.0 | 19.7 | 20.1 | 20.0 | 19.1 | 18.7 | 17.6 | | | | | |
| 04:00 | 18.3 | 18.4 | 18.9 | 20.4 | 20.1 | 19.6 | 19.3 | 19.7 | 19.6 | 18.6 | 18.3 | 17.1 | | | | | |
| 05:00 | 18.0 | 18.0 | 18.5 | 20.0 | 19.7 | 19.3 | 19.0 | 19.4 | 19.3 | 18.3 | 17.9 | 16.7 | | | | | |
| 06:00 | 17.7 | 17.7 | 18.2 | 18.6 | 18.5 | 18.3 | 18.1 | 18.4 | 18.2 | 18.0 | 17.6 | 16.4 | | | | | |
| 07:00 | 16.9 | 17.2 | 18.1 | 20.5 | 21.0 | 20.8 | 20.2 | 20.0 | 19.3 | 17.7 | 16.9 | 15.5 | | | | | |
| 08:00 | 19.2 | 20.0 | 21.9 | 24.4 | 25.4 | 24.9 | 23.8 | 23.2 | 22.2 | 20.5 | 19.4 | 17.8 | | | | | |
| 09:00 | 22.8 | 24.0 | 26.7 | 28.9 | 30.1 | 29.1 | 27.5 | 26.8 | 25.7 | 24.2 | 23.1 | 21.6 | | | | | |
| 10:00 | 26.5 | 27.8 | 31.0 | 32.8 | 34.1 | 32.5 | 30.6 | 29.8 | 28.8 | 27.7 | 26.8 | 25.6 | | | | | |
| 11:00 | 29.4 | 30.8 | 34.3 | 35.5 | 36.8 | 34.8 | 32.7 | 31.9 | 31.1 | 30.4 | 29.8 | 28.8 | | | | | |
| 12:00 | 31.4 | 32.7 | 36.3 | 37.1 | 38.2 | 36.0 | 33.8 | 33.1 | 32.5 | 32.1 | 31.8 | 30.9 | | | | | |
| 13:00 | 32.3 | 33.6 | 37.0 | 37.5 | 38.4 | 36.1 | 33.9 | 33.3 | 33.0 | 32.8 | 32.7 | 32.0 | | | | | |
| 14:00 | 32.4 | 33.5 | 36.8 | 37.1 | 37.8 | 35.5 | 33.4 | 32.9 | 32.7 | 32.7 | 32.8 | 32.1 | | | | | |
| 15:00 | 31.8 | 32.8 | 35.8 | 36.0 | 36.5 | 34.3 | 32.4 | 32.0 | 31.9 | 32.0 | 32.1 | 31.5 | | | | | |
| 16:00 | 30.8 | 31.6 | 34.3 | 34.5 | 34.9 | 32.8 | 31.0 | 30.9 | 30.8 | 30.8 | 31.0 | 30.4 | | | | | |
| 17:00 | 29.4 | 30.1 | 32.5 | 32.9 | 33.1 | 31.1 | 29.6 | 29.5 | 29.5 | 29.5 | 29.7 | 29.0 | | | | | |
| 18:00 | 28.0 | 28.6 | 30.6 | 31.1 | 31.2 | 29.5 | 28.1 | 28.1 | 28.1 | 28.0 | 28.2 | 27.5 | | | | | |
| 19:00 | 26.5 | 27.0 | 28.8 | 29.4 | 29.4 | 27.8 | 26.7 | 26.7 | 26.8 | 26.6 | 26.7 | 25.9 | | | | | |
| 20:00 | 25.1 | 25.5 | 27.1 | 27.8 | 27.7 | 26.3 | 25.3 | 25.5 | 25.5 | 25.2 | 25.2 | 24.4 | | | | | |
| 21:00 | 23.8 | 24.1 | 25.5 | 26.3 | 26.2 | 25.0 | 24.1 | 24.3 | 24.4 | 23.9 | 23.9 | 23.0 | | | | | |
| 22:00 | 22.6 | 22.9 | 24.0 | 25.0 | 24.8 | 23.8 | 23.1 | 23.3 | 23.3 | 22.8 | 22.7 | 21.7 | | | | | |
| 23:00 | 21.6 | 21.8 | 22.8 | 23.9 | 23.7 | 22.8 | 22.1 | 22.4 | 22.4 | 21.8 | 21.6 | 20.6 | | | | | |

Fuente: (Sistema Meteorológico Nacional, 2024)

De acuerdo con la Figura 15, existen los polígonos para lugares fríos, tanto dentro de los rangos de comodidad térmica, como de mucho calor y la zona fría se distingue por los valores <24.3 para temperatura y hay un rango entre 22.9 °C y 27.9 °C con posibilidad de variación de 2.5 °C hacia arriba o hacia abajo y la región de calor se define por >29.3 °C (Quiroa Herrera, Castañeda Nolasco, & Villanueva Solís, 2020) cabe señalar que aunque 24 °C se encuentra en el rango de comodidad térmica, en Tuxtla Gutiérrez se puede percibir dicha temperatura como incomodidad térmica consecuencia de la elevada humedad relativa, y el límite superior de comodidad térmica que se considera en este trabajo corresponde de manera particular a las condiciones climáticas locales (Castañeda Nolasco, Ferras Coutiño, Farrera Vázquez, & Jiménez Albores, 2024).

Humedad

La Figura 16 muestra los polígonos de humedad promedio para los doce meses del año y según los horarios del día, el rango óptimo de humedad relativa es entre 30 hasta 80% máximo (Sistema Meteorológico Nacional, 2024), los polígonos se definen de forma predominante para los doce meses del año en el rango óptimo en los horarios entre las 10:00 horas y las 19:00 horas, en la figura 2.8 se muestra que la humedad relativa media alcanza sus valores máximos en agosto y septiembre con 75 %, mien-

Materiales y métodos

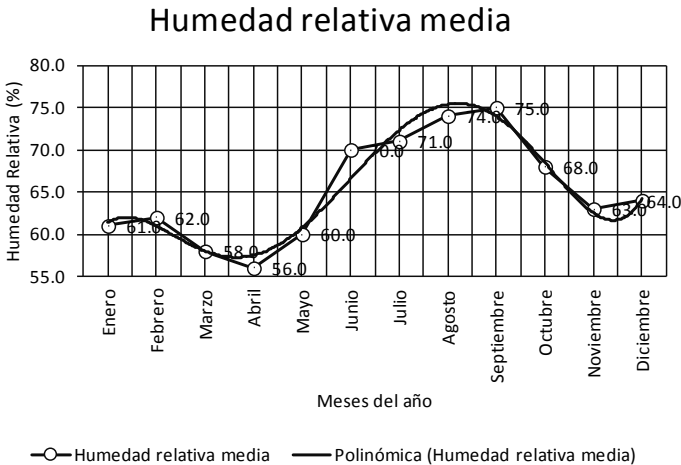
tras los valores mínimos se registran en abril y mayo con 56 %, periodos que corresponden a temporada de lluvias y época de estiaje respectivamente (Sistema Meteorológico Nacional, 2024).

Figura 16. Isohigra %.

| ISOHIGRA % | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|-------|
| Hora (TSV) | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | % | Color |
| 00:00 | 84 | 78 | 73 | 72 | 69 | 74 | 75 | 76 | 76 | 72 | 75 | 73 | 0-20 | |
| 01:00 | 87 | 80 | 76 | 74 | 71 | 76 | 77 | 77 | 78 | 74 | 78 | 75 | 21-40 | |
| 02:00 | 89 | 82 | 78 | 76 | 73 | 77 | 78 | 79 | 80 | 76 | 80 | 77 | 41-60 | |
| 03:00 | 91 | 84 | 79 | 77 | 74 | 79 | 80 | 80 | 81 | 77 | 81 | 79 | 61-80 | |
| 04:00 | 93 | 85 | 81 | 79 | 75 | 80 | 81 | 81 | 82 | 79 | 83 | 81 | 81-100 | |
| 05:00 | 94 | 87 | 82 | 80 | 76 | 81 | 81 | 82 | 83 | 79 | 84 | 82 | | |
| 06:00 | 95 | 88 | 83 | 83 | 79 | 83 | 84 | 85 | 86 | 80 | 85 | 83 | | |
| 07:00 | 98 | 89 | 83 | 79 | 73 | 77 | 78 | 80 | 83 | 81 | 87 | 85 | | |
| 08:00 | 89 | 80 | 73 | 68 | 63 | 66 | 68 | 71 | 75 | 74 | 79 | 78 | | |
| 09:00 | 76 | 68 | 60 | 57 | 52 | 55 | 58 | 61 | 65 | 64 | 68 | 67 | | |
| 10:00 | 62 | 56 | 48 | 47 | 43 | 46 | 50 | 53 | 56 | 54 | 57 | 56 | | |
| 11:00 | 51 | 46 | 39 | 40 | 37 | 40 | 44 | 47 | 49 | 47 | 48 | 46 | | |
| 12:00 | 44 | 40 | 34 | 36 | 33 | 37 | 41 | 44 | 45 | 42 | 42 | 40 | | |
| 13:00 | 40 | 38 | 32 | 35 | 33 | 36 | 41 | 43 | 44 | 40 | 39 | 37 | | |
| 14:00 | 40 | 38 | 33 | 36 | 34 | 38 | 42 | 44 | 44 | 41 | 39 | 37 | | |
| 15:00 | 42 | 40 | 35 | 39 | 37 | 41 | 45 | 47 | 47 | 43 | 41 | 38 | | |
| 16:00 | 46 | 44 | 39 | 43 | 41 | 45 | 48 | 50 | 50 | 46 | 44 | 42 | | |
| 17:00 | 51 | 48 | 44 | 47 | 45 | 49 | 52 | 54 | 54 | 49 | 48 | 46 | | |
| 18:00 | 57 | 53 | 49 | 51 | 50 | 54 | 57 | 58 | 58 | 53 | 53 | 50 | | |
| 19:00 | 62 | 58 | 54 | 56 | 54 | 58 | 60 | 61 | 62 | 57 | 57 | 55 | | |
| 20:00 | 67 | 63 | 59 | 60 | 58 | 62 | 64 | 65 | 65 | 61 | 62 | 59 | | |
| 21:00 | 72 | 67 | 63 | 64 | 61 | 66 | 67 | 68 | 69 | 64 | 66 | 63 | | |
| 22:00 | 77 | 71 | 67 | 67 | 64 | 69 | 70 | 71 | 72 | 67 | 69 | 67 | | |
| 23:00 | 80 | 75 | 70 | 70 | 67 | 71 | 73 | 73 | 74 | 70 | 73 | 70 | | |

Nota. (Sistema Meteorológico Nacional, 2024).

Figura 17. Humedad relativa media.



Nota. elaborado con datos del (Sistema Meteorológico Nacional, 2024).

Componente del Clima Presión Atmosférica

En virtud de su peso, la atmosfera gaseosa de la Tierra ejerce una presión sobre la superficie terrestre, presión que es igual al peso de una columna vertical de aire de sección transversal unitaria, que actúa por encima de la superficie de la Tierra, extendiéndose hasta los límites exteriores de la atmosfera, la existencia de la presión atmosférica fue demostrada primero por Torricelli (1643), hasta la invención del llamado barómetro aneroide (1848), el barómetro de mercurio fue el único instrumento práctico para medición de la presión atmosférica (Picquart & Carrasco Morales, 2017).

La columna de mercurio del barómetro permanece en equilibrio con la columna de aire, los cambios de la presión atmosférica provocan cambios de longitud de la columna de mercurio, siendo esta la razón tradicional para el uso de una escala barométrica graduada en milímetros o pulgadas de mercurio, donde además de la presión atmosférica, la longitud de la columna de mercurio depende de otros factores tales como la temperatura y la fuerza de gravedad (Picquart & Carrasco Morales, 2017). Esto conduce a la definición de las llamadas condiciones estándar de medición de presión, se aceptan como estándar, una temperatura de 0 °C (densidad del mercurio 13.5951 g cm³) y una aceleración provocada por la fuerza de gravedad $g_a = 9.80665 \text{ m/s}^2$, se debe recalcar que g_a no es el valor a 45 °C de latitud y nivel del mar (Picquart & Carrasco Morales, 2017).

En meteorología las unidades de la presión atmosférica se dan en hectopascales (hPa) 1 hPa = 100 Pa, siendo el pascal (Pa) la unidad de presión internacional estándar básica

Dado que 1 Pa = 1 N m⁻²

1 hPa = 100 N m⁻²

Dado que también 1 mb = 100 N m⁻²

1 hPa = 1mb

Las unidades en milímetros y pulgadas de mercurio no están en uso corriente, sin embargo, para la presión atmosférica todavía circulan como tales y la información siguiente presenta la conversión para las distintas unidades de presión (suponiendo condiciones normales), (Trujillo Samayoa, 2017).

1 hPa=0.750062 mm Hg=0.02953 pulg Hg

1 mm Hg=1.333224 hPa=0.03937008 pulg Hg

1 pulg. = 2.54 mm Hg

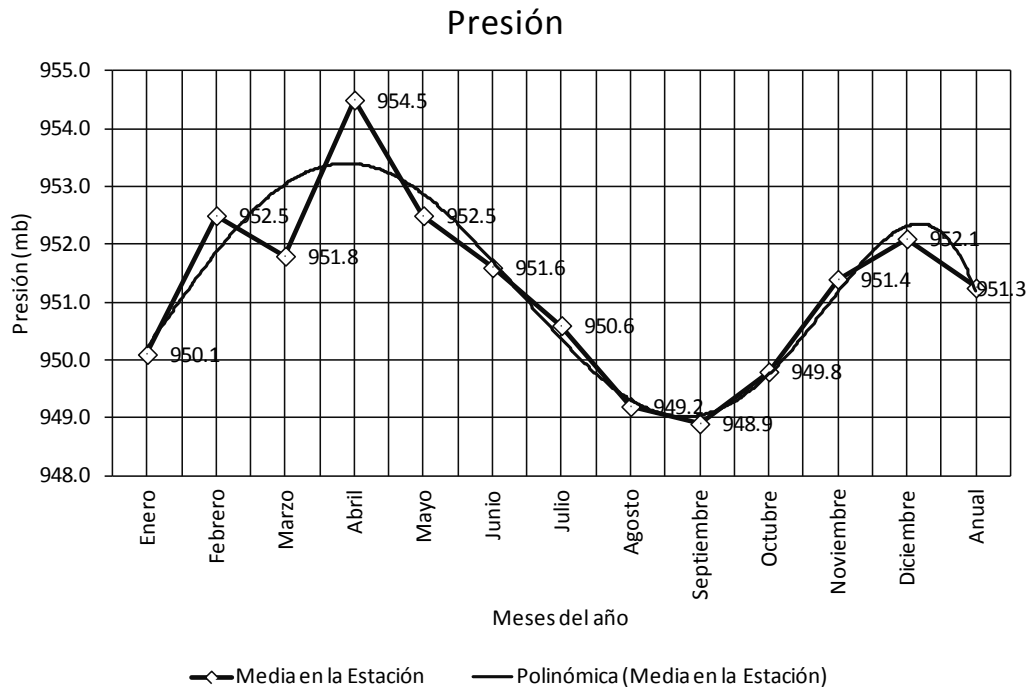
Bajo condiciones normales, una columna de mercurio de 760 mm ejerce una presión de 1013.250 hPa, lo cual corresponde a 10 322.92 kg m⁻² (CNA, 2024).

Se observa en la Figura 18 que los valores del orden de los 954.5 mb, máximos de presión coinciden con las temperaturas más altas en los meses de abril y mayo, mientras que las presiones más bajas del orden de 948.9 mb, coinciden con las humedades más altas en los meses de

Materiales y métodos

agosto septiembre, conviene resaltar que la variación o amplitud de presión promedio en el año es de apenas de 5.6 mb (Sistema Meteorológico Nacional, 2024).

Figura 18. Presión Atmosférica, valores altos en temporada de estiaje y valores bajos en temporada de lluvias.



Nota. (Sistema Meteorológico Nacional, 2024).

Vientos

La intensidad del viento es una cantidad vectorial que tiene dirección y magnitud (una cantidad escalar conocida como velocidad), la intensidad del viento es considerada en términos de tres componentes, ubicándose dos de ellos en un plano paralelo a la superficie de la Tierra, y el tercero perpendicular a ese plano, para la mayoría de los propósitos meteorológicos operativos, el componente vertical es despreciado, considerándose por lo tanto el viento de superficie como una cantidad vectorial de dos dimensiones y la intensidad del viento está sujeta a variaciones, tanto en periodo como en amplitud, esto se debe a que el flujo de aire conocido como viento no es laminar (CNA, 2024).

El viento sobre la superficie de la Tierra es un flujo turbulento, que comprende remolinos de diversos tamaños y parámetros físicos que se desplazan con el flujo, La orografía de la Tierra es el principal factor que determina la estructura turbulenta del viento y esta estructura

Materiales y métodos

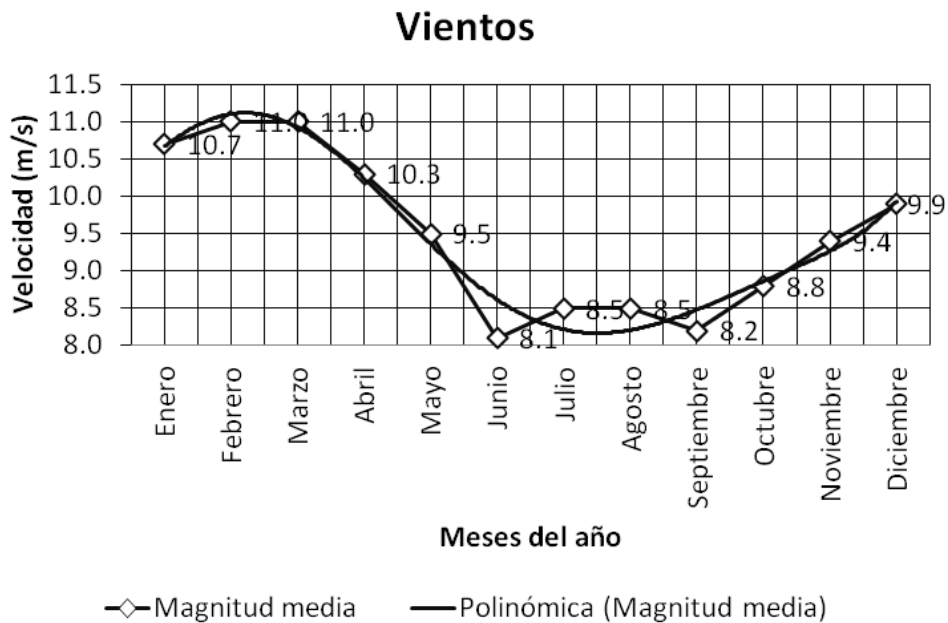
del flujo de aire se manifiesta a través de la llamada rafagosidad del viento, o sea fluctuaciones de los parámetros del viento de superficie (CNA, 2024).

Las unidades de medida de la velocidad del viento, son las que se indican a continuación:

- a. Nudos (millas náuticas por hora), abreviado kt
- b. Metros por segundo: m/s
- c. Kilómetros por hora: km/h
- d. Millas por hora: m.p.h.
- e. Pies por segundo: ft/s

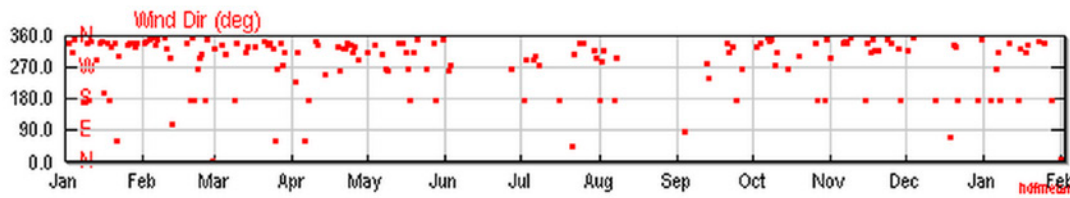
Para propósitos de intercambio internacional de información meteorológica, la velocidad del viento se informa en metros por segundo (m/s) o nudos (kt), en la Figura 19, se observa que, para nuestra zona de estudio, las mayores velocidades de vientos en el orden de 11.0 m/s, se ubican en los meses de enero, febrero y marzo que coinciden con la llegada de frentes fríos, y las velocidades más bajas con lecturas de 8.1 y 8.2 m/s, se ubican en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, cuando son los máximos niveles de precipitación, en la Figura 20, se aprecia que la dirección predominante de los vientos en la mayoría de los meses del año, vienen del noroeste, seguidos en importancia por los vientos del sur (Sistema Meteorológico Nacional, 2024).

Figura 19. Vientos y sus velocidades, valores altos en temporada de estiaje y valores bajos en temporada de lluvias.



Nota. (Sistema Meteorológico Nacional, 2024).

Figura 20. Dirección predominante de vientos



Nota. (<https://www.wunderground.com/>, 2024).

Precipitación

Se denomina precipitación al agua de la atmosfera que cae en forma líquida, sólida, o líquida y sólida desde las nubes hasta la superficie de la tierra, también se denomina precipitación a la caída del agua en estado líquido y/o sólido que alcanza la superficie, provenientes de las nubes que están formadas de pequeñas gotas de agua y cristales de hielo que se han formado sobre los núcleos de condensación y núcleos de congelación, estas pequeñas gotas de agua son de diámetro muy pequeño del orden de las 5 micras, El tamaño de las gotas de lluvia apenas tiene 0.1 mm de diámetro por lo que las gotas iniciales deben aumentar de volumen y uno de los procesos de crecimiento es por colisión, la precipitación se puede presentar en las formas siguientes: Lluvia, nieve, granizo (Gay, Estrada, & Martínez, 2010). Existen varios tipos de precipitación como son: Convectivo, orográfico, frontal y ciclónico, en la zona de estudio, se presentan principalmente lluvia y en ocasiones esporádicas granizo, y predomina el tipo de precipitación Convectivo (CNA, 2024).

La precipitación incluye toda el agua que cae de la atmosfera a la superficie terrestre, en muchas y variadas formas, en la hidrología tiene especial importancia la precipitación pluvial líquida (lluvia) y la precipitación helada (nieve, granizo, etc.), al igual que la condensación que se deposita en forma de rocío y/o escarcha blanca, el objetivo de medir la precipitación es obtener tanta información como sea posible, acerca de la cantidad y distribución, en el tiempo y el espacio de esta (CNA, 2024).

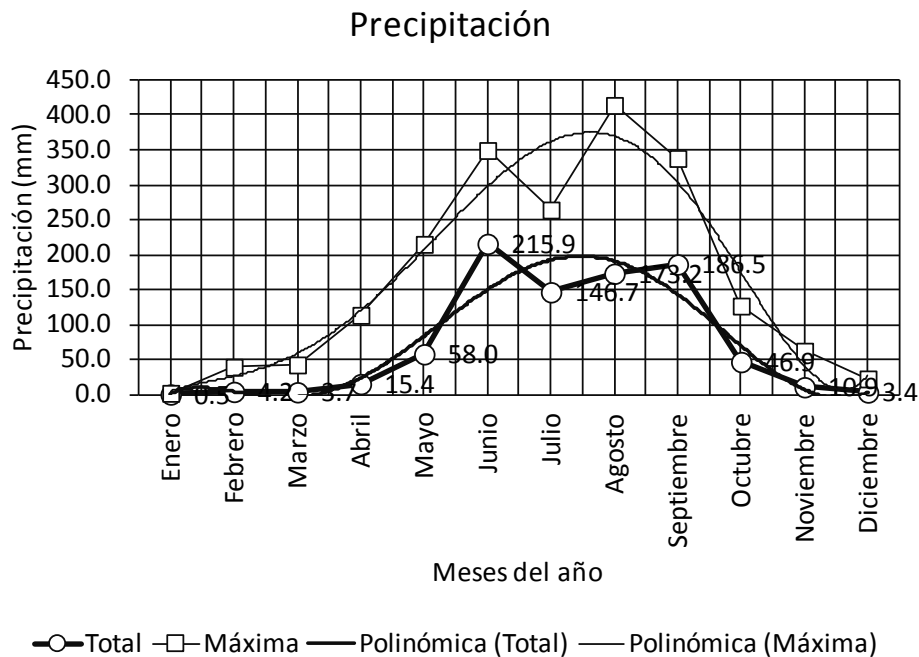
La manera más simple y usual de realizar la medición es con un medidor de abertura horizontal, circular y de diámetro conocido, se colecta y mide, a intervalos regulares, la cantidad que cae por unidad de área de la abertura del medidor y es igual a la cantidad de precipitación por unidad de área que cae en los alrededores, las unidades de precipitación son medidas lineales, y las cantidades diarias de precipitación deben leerse con la precisión de 0.2 mm y, de ser posible, con la precisión de 0.1 mm; las cantidades semanales o mensuales deben leerse con la precisión de 1 mm (al menos), donde las medidas diarias de la precipitación deben

Materiales y métodos

efectuarse a horas fijas y de acuerdo a las normas del reporte sinóptico⁵ (CNA, 2024).

Como se muestra en la Figura 21, para la zona de estudio, con un promedio acumulado anual de 865.3 mm, los meses en el año que registran mayor precipitación son mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre, donde destaca junio con 215.9 mm, mientras los meses de menor precipitación son noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril, donde destaca enero con 0.5 mm, de esta forma se define una temporada de lluvias y una temporada de estiaje (Sistema Meteorológico Nacional, 2024).

Figura 21. Precipitación, elaboración propia con datos del sistema meteorológico nacional.



Nota. (Sistema Meteorológico Nacional, 2024).

Contexto Físico Artificial

Aquí se revisan aspectos del contexto físico artificial producto de la acción antropogénica y que por sus dimensiones y características afectan de forma importante a los parámetros climáticos del lugar y lo modifican, por lo que también son responsables del consumo energético de los

⁵ El observatorio meteorológico es reconocido a nivel internacional por llevar a cabo mediciones de diversos parámetros climáticos en intervalos muy breves, incluso inferiores a una hora (Sistema Meteorológico Nacional, 2024).

techos en las edificaciones del sitio de estudio, y es meritorio adentrarse en el conocimiento de estos aspectos y establecer la relación que guardan con el consumo de energía, cabe mencionar que la edificación forma parte de este contexto físico artificial y aunque también hubo apoyo de otras fuentes, la información estadística se obtuvo principalmente del Plan municipal de desarrollo 2024-2027, agenda 2030 del ICIPLAM⁶ y del reglamento de construcción para Tuxtla Gutiérrez Chiapas (Instituto Ciudadano de Planeación, 2024).

Vialidades Pavimentadas

El crecimiento poblacional de Tuxtla Gutiérrez ha sido particularmente excepcional con crecimiento sostenido, siendo que en 1980 la población era de 196,785 habitantes, en 2010 la cantidad de habitantes era de 604,147 y en 2020 la población era de 578,830 habitantes y que en superficie ha pasado de 798 hectáreas a 41,240 hectáreas actualmente (INEGI, 2020).

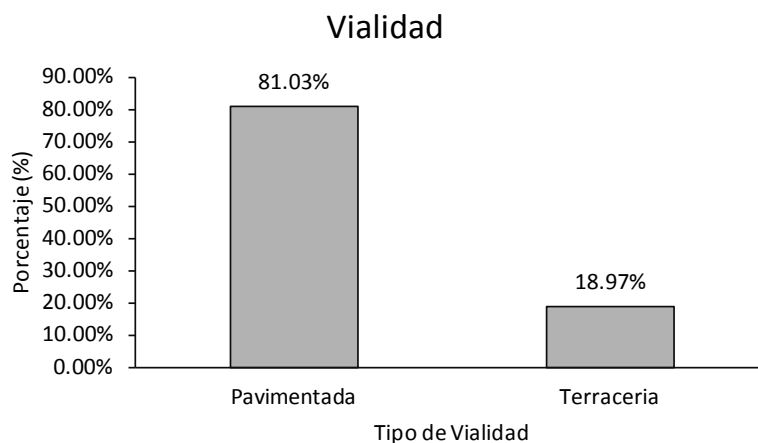
Este incremento rápido de la población, ha provocado también el incremento de las pavimentaciones en las vías públicas donde predomina el concreto hidráulico, en este sentido, las vías públicas en Tuxtla Gutiérrez se componen de 54.25 kilómetros que se traduce en el 0.23 % de las carreteras de Chiapas, y de acuerdo con la Figura 22, el 81.03 % de la red carretera del municipio de Tuxtla Gutiérrez tiene pavimento y el 18.97 % son caminos revestidos y en la organización carretera, troncales corresponde a 28.75 kilómetros, alimentadoras a 15 kilómetros y caminos rurales son 10.5 kilómetros, la carretera 190 y la autopista Ocozacoautla las Choapas constituyen principalmente la forma de llegar a Tuxtla Gutiérrez, y a su vez constituyen también la red de conexión carretera con el centro de la República mexicana y provincia comunicándose a las distintas regiones existentes en México (H. Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez, 2024). Por otro lado, en el aumento de la temperatura del medio urbano, y las llamadas islas de calor presentes en ciudades, sucede un fenómeno recurrente, a lo largo de los años se ha observado que el aumento de la temperatura de las mismas, tiene una estrecha relación con el aumento de las superficies de concreto o pavimento, debido a que los valores de albedo de este material suelen ser altos, con índices de hasta 0.4 o el 40 % de reflexión, es importante contemplar que lo que antes era superficie orgánica o vegetación se ha visto sustituido por pavimentos o superficies de concreto a causa del crecimiento demográfico, por otro lado, las superficies con vegetación alcanzan índices menores de solo 0.15 o 15% de albedo, lo que indica una mejor absorción de radiación solar y abre caminos a alternativas como los TV que al implementar vegetación o bien el hecho de contener sustratos, presenta valores de albedo menores que las del concreto, aportando al equilibrio de la temperatura en el medio urbano (Zhang, et al., 2022).

6 En Tuxtla Gutiérrez, ICIPLAM (Instituto Ciudadano de Planeación Municipal), (Instituto Ciudadano de Planeación, 2024).

Materiales y métodos

La pavimentación de las vialidades ya sea de concreto asfáltico o hidráulico, también han sido promovidas por el reglamento de construcción de Tuxtla Gutiérrez que dice en el Artículo 62 “Se permitirá en las vías de Tuxtla Gutiérrez el uso de pavimentos rígidos, es decir, aquellos de concreto hidráulico. También se aceptarán empedrados siempre que satisfagan lo estipulado en el artículo 63 del presente Reglamento. En cuanto a los pavimentos asfálticos, se podrán proponer soluciones mixtas con un acuerdo especial de la Secretaría, con el objetivo de fomentar la infiltración del agua de lluvia” (H. Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez, 2024), la posibilidad de proponer pavimentaciones mixtas contribuye a reducir las superficies impermeables que significan los pavimentos, aunque esta parte necesita redimensionarse para fortalecer la posibilidad de promover la infiltración del agua de lluvia en el suelo (H. Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez, 2024).

Figura 22. Vialidad por tipo de pavimento.



Nota. Elaborado con datos del Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez (Instituto Ciudadano de Planeación, 2024).

Edificación

Junto con la población, por ser la localidad del estado de Chiapas con mayor oferta educativa, salud, empleo y vivienda flujo de mercancías, capitales y prestaciones de servicios, ha crecido la edificación en todos los géneros arquitectónicos (Figura 23), los esfuerzos en la construcción de grandes infraestructuras urbanas han tenido mucho que ver en esto (Instituto Ciudadano de Planeación, 2024). La intensidad de uso de suelo es un aspecto importante en la agenda 2030 del ICIPAM, que se define como la cantidad de metros cuadrados de techos edificadas que existe en una zona urbana con relación a la totalidad del territorio urbano (Instituto Ciudadano de Planeación, 2024).

Materiales y métodos

En la edificación, la vivienda tiene un lugar predominante, los créditos hipotecarios en los últimos años, con INFONAVIT, ISSTECH, Fovisste, instituciones bancarias, constructores particulares y promotores de vivienda, una de cada 10 viviendas del estado de Chiapas se encuentra en Tuxtla y tiene un crecimiento sostenido con el 3.5%, muy por arriba del promedio en el estado y también en el contexto mexicano del 3.0% y 2.6% (H. Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez, 2024).

Figura 23. Fotografía aérea de Tuxtla Gutiérrez.



Nota. Google Earth y (H. Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez, 2024).

Crecimiento urbano

La mayoría de las ciudades de América latina han crecido de forma sostenida y parece no detenerse y en 1990 parece desacelerarse, pero aun continua, Tuxtla Gutiérrez, crece de forma importante y se exhibe en la Tabla 7, donde las tasas de crecimiento pueden llegar hasta el 4.8%, en 2020 la población es de 848,274 habitantes, en tanto en 1990 era de 295,608 (INEGI, 2020) y (H. Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez, 2024).

Tabla 7. Información estadística de Tuxtla Gutiérrez, Región Metropolitana, población, densidad urbana y tasa de crecimiento entre 1990 y 2010.

| clave | municipio | Población | | | | | Tasa de crecimiento medio anual (%) | | | Superficie km ² | DMU* hab/ha |
|-------|------------------|-----------|---------|---------|---------|---------|-------------------------------------|-----------|-----------|-------------------------------|----------------|
| | | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 1990-1995 | 1995-2000 | 2000-2005 | | |
| 7101 | Tuxtla Gutiérrez | 295,608 | 386,135 | 434,143 | 503,320 | 553,374 | 4.8 | 2.8 | 2.6 | 341 | 82.9 |

Nota. (INEGI A., 2020).

Particularidades de este experimento

En esta sección, se proporciona información sobre las condiciones específicas del sitio donde se realizó el experimento, por lo que se describen

Materiales y métodos

dimensiones de las celdas de experimentación, las propiedades termofísicas de los materiales que componen cada uno de los sistemas de techos, características de los equipos de aire acondicionado (AA) que se usaron en el experimento, y se describen los equipos de medición tanto de energía eléctrica como los de temperatura (Trujillo Samayoa, 2017).

Celdas de experimentación

Como se indica en la Figura 24, las celdas de experimentación son dos edificaciones iguales cuya única diferencia es el techo, puesto que para los lugares localizados en el hemisferio norte del planeta, la orientación sur es la que promueve mayor ganancia de calor por mayor incidencia del sol, por lo tanto ambos techos tienen orientación sur, muros de ladrillo artesanal aplanado al exterior, emplazadas en el área del laboratorio de arquitectura bioclimática⁷ de la facultad de arquitectura de la Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas, las dimensiones a paños exteriores son de 2.22 m X 2.67 m por una altura promedio de 2.47 m (Figura 25), (Trujillo Samayoa, 2017).

Figura 24. Módulos para experimentar del TRC y de TV.

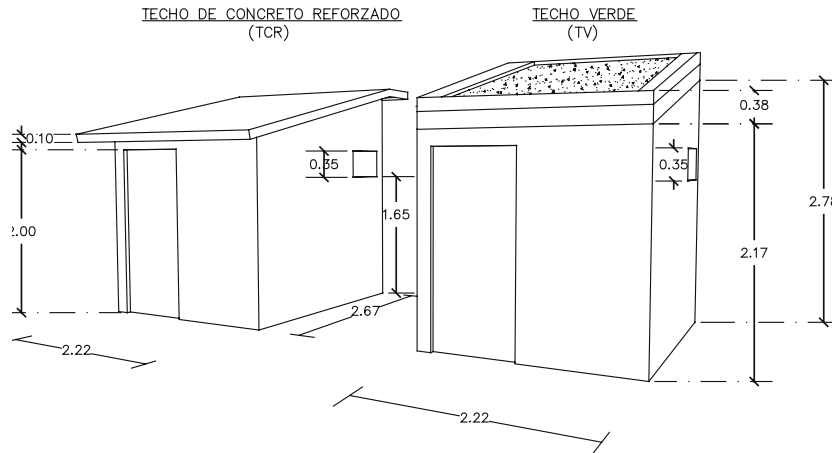


Nota. (Trujillo Samayoa, 2017).

⁷ Laboratorio cuyo responsable es el cuerpo académico cocovi adscrito a la Facultad de Arquitectura de la Benemérita UNACH.

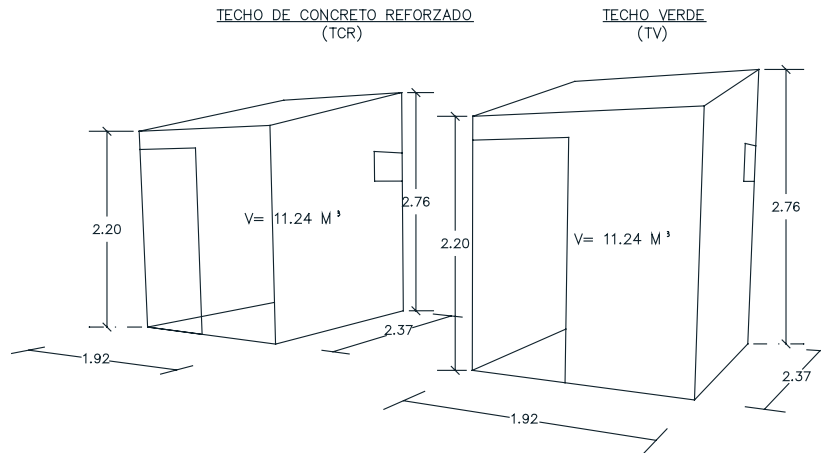
Materiales y métodos

Figura 25. Ángulo sur de los módulos para experimentar.



Nota. (Trujillo Samayoa, 2017).

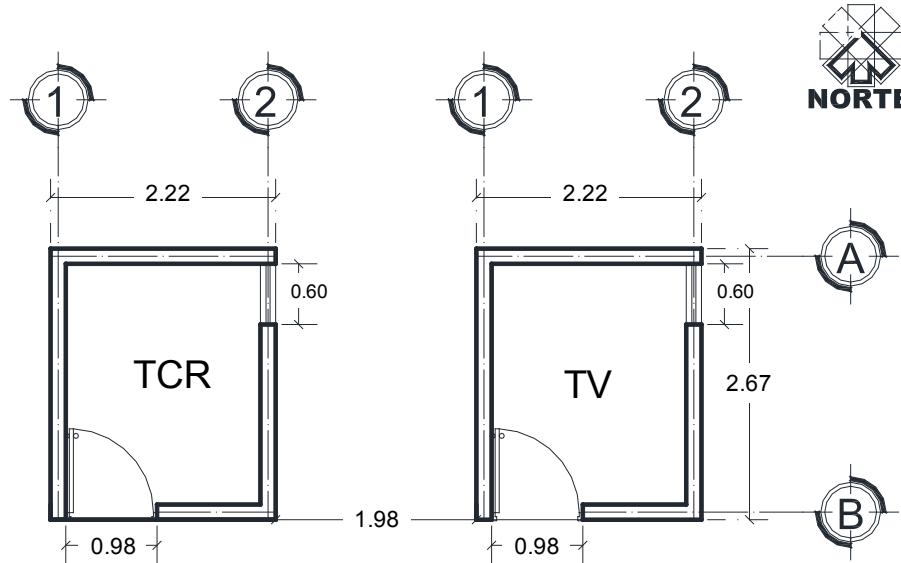
Figura 26. Aire contenido en el interior de los módulos para experimentar.



Nota. (Trujillo Samayoa, 2017).

De acuerdo con la Figura 25 y Figura 26, el volumen de aire interior de cada una de las celdas de experimentación se calcula con medidas interiores mismas que son: volumen de aire = 2.37 m X 1.92 m X 2.47 m = 11.24 m³ (Trujillo Samayoa, 2017).

Figura 27. Información sobre las plantas de los módulos para experimentar, TV y TRC.



Nota. (Trujillo Samayoa, Rangel Martínez, & Castañeda Nolasco, 2015).

Piso y Envoltentes

El piso de las celdas de experimentación es firme de concreto de 100 kg/cm², en tanto que los muros son de ladrillo artesanal de 5 cm X 13 cm X 25 cm comprados en la ribera de Chiapa de Corzo, Chiapas (Trujillo Samayoa, 2017).

Techos

La única diferencia entre las dos celdas de experimentación es el techo, que una tiene TCR y la otra TV

TCR Y TV

El TCR, es una placa monolítica de 10 cm de espesor, que se fabrica con cemento, arena, grava y agua, armado de acero, como se muestra en la Figura 28, en la Tabla 8 se muestran los coeficientes térmicos y densidad de los materiales que lo componen (SENER, 2024). Este techo es el referente por mejorar pues el 80 % de las viviendas en Tuxtla Gutiérrez, están construidas con este sistema (INEGI, 2020).

Materiales y métodos

Figura 28. Corte del TRC y el acero de Refuerzo que contiene.



Nota. (Trujillo Samayoa, 2017).

Tabla 8. Valores de conductividad térmica de materiales que componen el TCR.

| Nombre | Material de construcción | Densidad kg/m ³ | Conductividad térmica (W /mK) | Grosor (mm) |
|--------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------|
| Impermeabilizante | Membrana | 1,127.01 | 0.171 | 4.01 |
| Concreto reforzado | Concreto reforzado | 2,300.01 | 1.741 | 100.01 |
| Acero de refuerzo | Acero de refuerzo | 7,800.01 | 52.31 | 12.71 |

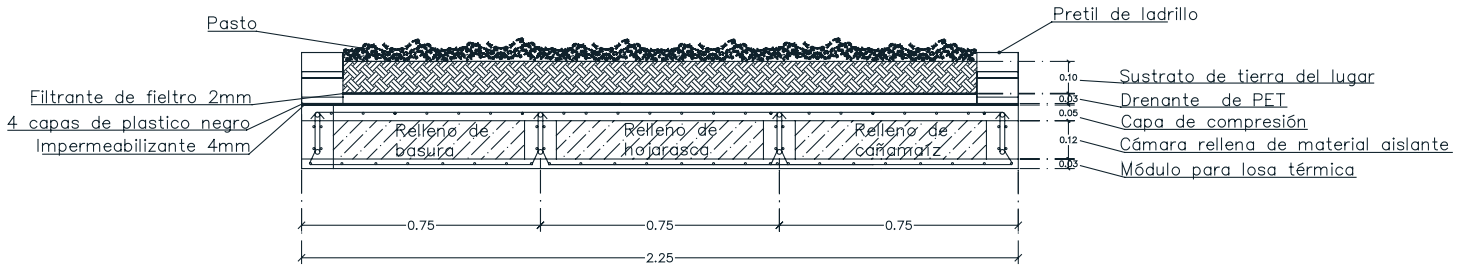
Nota. (SENER, 2024)

El TV, está compuesto de dos fases, la fase uno (ver Tabla 9) es una propuesta de techo no convencional techo térmico⁸, que ha sido evaluada en sus aspectos: proceso constructivo, desempeño térmico, comportamiento estructural y precio, desde sus aspectos físicos, económicos y sociales, la segunda fase (Tabla 10) es el TV propiamente, consiste en capas de plástico, capa drenante de PET, fieltro y el sustrato vegetal de 10 cm con suelo del lugar, para finalmente coronar el sistema con la vegetación, como puede observarse el TV es una capa heterogénea por lo que su desempeño térmico es resultado de las propiedades de los materiales que lo conforman, Figura 29 (López González, Camacho, Martínez Rodríguez, & Marcelino Aranda, 2020).

8 Tecnología que desarrolló Gabriel Castañeda y evaluó Ruber Trujillo.

Materiales y métodos

Figura 29. Corte del TV con los elementos que lo componen.



Nota. (Trujillo Samayoa, Rangel Martinez, & Castañeda Nolasco, 2015).

Tabla 9. (Primera etapa) Valores de Conductividad Térmica de los materiales que componen el Techo Térmico.

| Nombre | Material de construcción | Densidad kg/m ³ | Conductividad térmica (W /mK) | Espesor (mm) |
|--------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------|
| Concreto Reforzado | Concreto Reforzado | 2,300.0 | 1.74 | 40.0 |
| Acero de Refuerzo | Acero de Refuerzo | 7,800.0 | 52.30 | 12.7 |
| Madera de Segunda | Madera de segunda | 610.0 | 0.13 | 130.0 |

Nota. (Cabrera, Guillarducci, González, & Suarez, 2023).

Tabla 10. (Segunda etapa) Valores de Conductividad Térmica de los materiales que componen el TV.

| Nombre | Material de construcción | Densidad kg/m ³ | Conductividad térmica (W /mK) | Espesor (mm) |
|-----------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------|
| Vegetación originaria | Vegetación | | 0.12241 | 50.01 |
| Sustrato vegetal | Sustrato vegetal | 0.00151 | 0.301 | 100.01 |
| Capa filtrante | Capa filtrante | 11.001 | 0.041 | 4.01 |
| Capa para drenar | Capa para drenar | | 0.151 | 30.01 |
| Capa impermeable | Capa impermeable | 1,127.01 | 0.171 | 4.01 |
| Concreto armado | Concreto armado | 2,300.01 | 1.741 | 100.1 |

Nota. (Cabrera, Guillarducci, González, & Suarez, 2023).

Equipo de Apoyo

Aquí se detallan las características de los aparatos de aire acondicionado, equipos con los que se midió electricidad consumida, equipos con los que se midió temperatura en ambientes interior y exteriores que se usó en el proceso experimental (Onset, 2023).

Equipos de Climatización Artificial

En ambas celdas de experimentación se colocaron equipos de refrigeración con las siguientes características, como se muestra en la Figura 30, y en la Tabla 11, los equipos de refrigeración fueron sistemas de ventana o autónomo, marca Carrier, equipo compacto y de descarga directa, es decir el aire enfriado es expulsado directamente al espacio a través de la unidad, el equipo toma el aire desde el interior del espacio, siguiendo el funcionamiento básico de refrigeración, para después inyectar aire refrigerado de nuevo a este, dado que la celda de experimentación es un espacio pequeño, los equipos son de 8,000 BTU de 0.56mX0.65mX0.40m que fueron colocados en la pared que da hacia el exterior por donde se renueva el aire viciado, equipos de una sola unidad (Trujillo Samayoa, 2017).

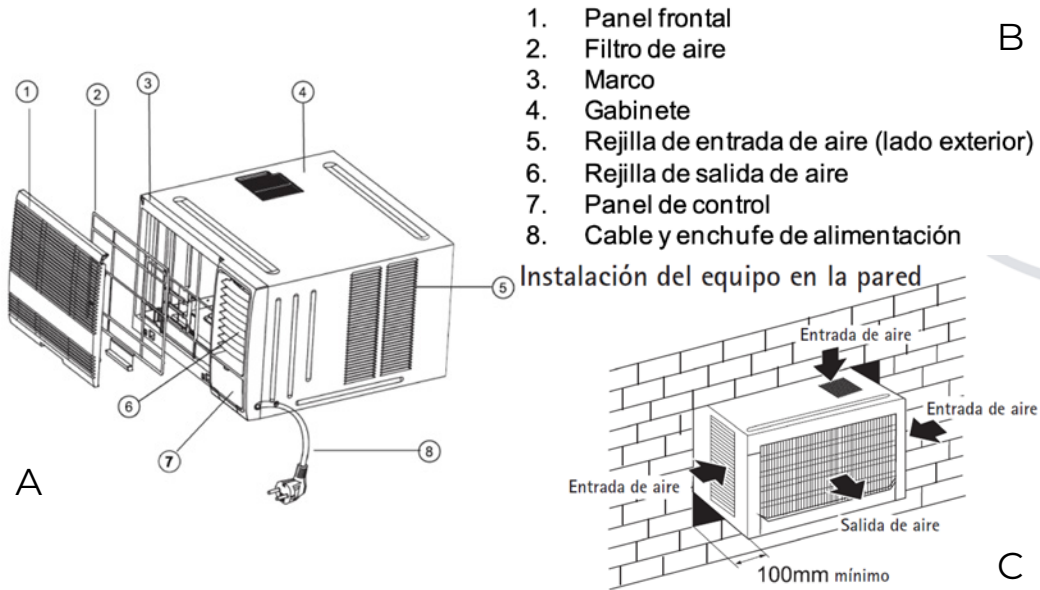
Tabla 11. Características técnicas de los equipos de refrigeración.

| Marca | Modelo | Tipo de refrigerante | Capacidad nominal Watts (BTU/h) | Tensión nominal volts | Relación de eficiencia energética estacional mínima W/W (BTU/Wh) |
|---------|------------|----------------------|---------------------------------|-----------------------|--|
| Carrier | MCC081RB-C | R-410a | 2,345.00 (8,000) | 115.00 | 3.08 (16.00) |

Nota. (Carrier, 2024), (Tejeda, Alvarez, & Treviso, 2008).

Materiales y métodos

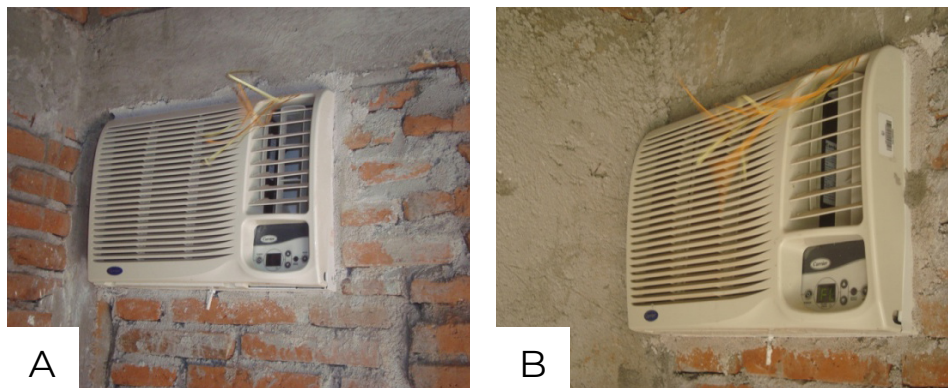
Figura 30. Unidades de aire acondicionado Carrier usados en el experimento.



Nota. (Carrier, 2024).

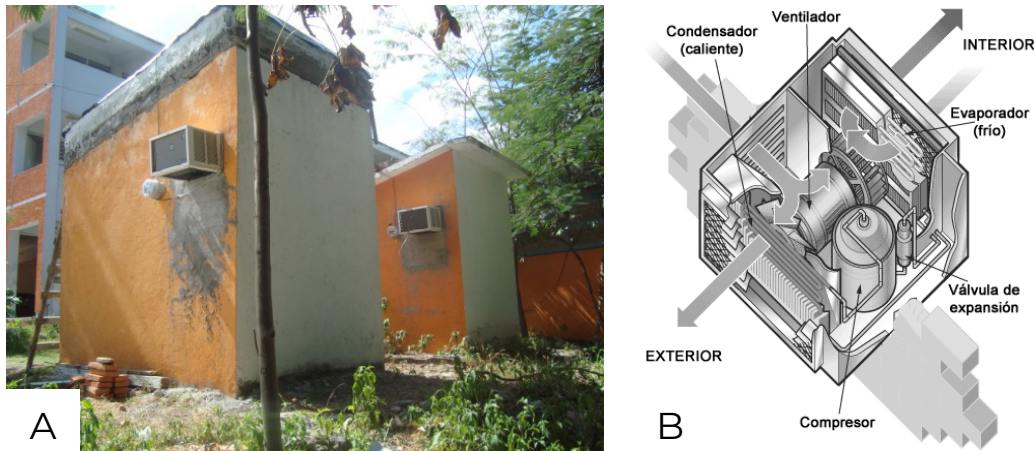
Se selló en el perímetro del equipo para evitar intercambio de aire caliente o frío entre el interior con el exterior ver Figura 31 y Figura 32 (Trujillo Samayoa, 2017).

Figura 31. Equipos de aire acondicionado usados en el proceso experimental.



Nota. (Carrier, 2024).

Figura 32. Equipos de aire acondicionado usados en el proceso experimental.



Nota. (Carrier, 2024).

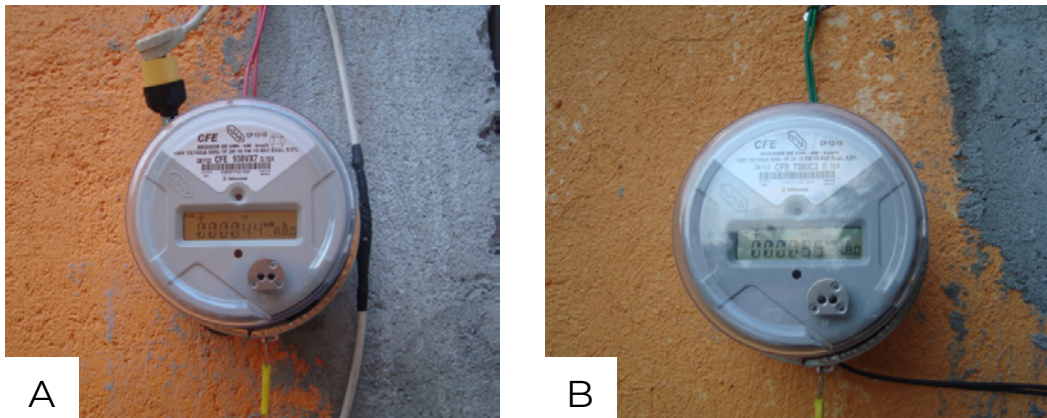
Equipo de Medición de Energía Eléctrica

Los consumos de energía eléctrica de los equipos de refrigeración instalados bajo ambos techos, como se muestra en la Figura 33, se obtuvieron con los medidores de energía con sistema de medición inteligente de autogestión que hace más eficientes los procesos de atención y disminuye costos financieros y operativos de las empresas de distribución de energía eléctrica al mismo tiempo que facilita al usuario el control de su consumo y le proporciona formas de pago más accesibles (SENER, 2024).

El medidor IUSA es un sistema para la operación y administración eficiente del proceso de medición y comercialización de la energía eléctrica, el sistema de medición inteligente de autogestión que utiliza medidores de consumo eléctrico multifuncionales con tarjeta inteligente, se utiliza para lograr eficiencia en los procesos de atención y disminuir los costos financieros y operativos de las empresas de distribución de energía eléctrica al mismo tiempo que facilita al usuario el control de su consumo y le proporciona formas de pago más accesibles y opera vía un medidor electrónico multifunción y una tarjeta inteligente bidireccional en modalidad de prepago o de pospago (SENER, 2024).

Materiales y métodos

Figura 33. Medidores de energía con sistema de medición inteligente de autogestión.



Nota. (SENER, 2024).

Los equipos para medir electricidad son equipos de medición bidireccionales IUSA Kwh KW 120 V 15 por 100 A 60 Hz 1F 2H (SENER a. , 2024).

Equipo de Medición de Temperaturas

Los equipos de medición de datos de la marca Onset permiten realizar un seguimiento de la temperatura, humedad relativa, tiempos de ejecución de equipos, energía, potencia, clima, calidad del agua, los equipos pueden recoger información tanto en interiores como en exteriores, software y accesorios, todos los equipos son importantes para la obtención de datos precisos y confiables (Onset, 2023).

Equipos de Medición de Temperaturas Interiores

Los equipos que se utilizaron son registradores automáticos de datos interiores Hobo de la marca Onset, modelo u12-012 Figura 34 y Figura 35, proporcionan mediciones de resolución de 12 bits para la detección de una mayor variabilidad en los datos registrados, conectividad USB para rapidez en la descarga, equipos que proporcionan de manera flexible dos canales interiores de temperatura, humedad relativa e intensidad luminosa, el aire interior fue medido por uno de los canales de temperatura en grados centígrados y la humedad relativa en %, el otro canal de temperatura midió la temperatura superficial interior del techo correspondiente mientras que el ultimo canal midió intensidad luminosa en luxes (Onset, 2023).

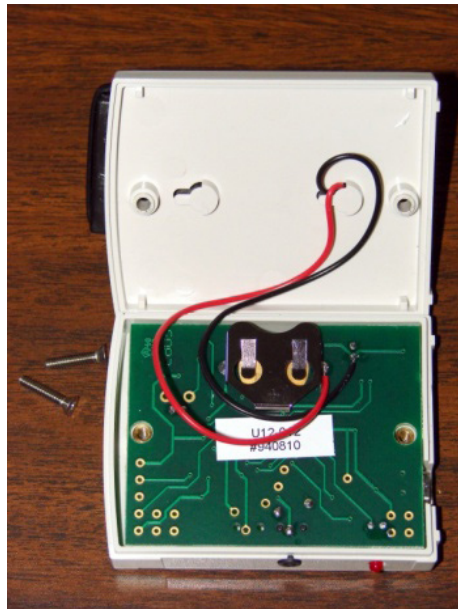
Materiales y métodos

Figura 34. Equipo Hobo data logger, modelo U12-012.



Nota. (Onset, 2023).

Figura 35 y 36. Interior Hobo data logger, modelo U12-012.

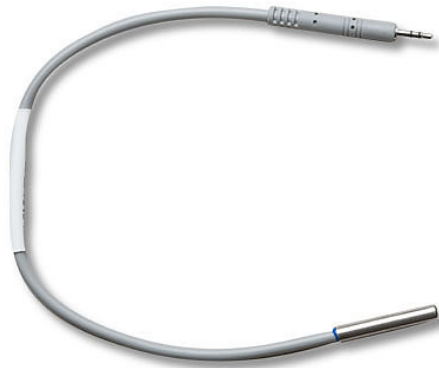


Nota. (Onset, 2023).

Materiales y métodos

La alimentación de energía para los equipos se obtiene de una batería CR2032 de litio tipo botón de 3 volts, capacidad nominal de 210 mAh (mili Amperes hora), 2 cm de diámetro Figura 38 (Onset, 2023).

Figura 37. Cable termopar sensor/sonda de temperatura.



Nota. (Onset, 2023).

Figura 38. Batería CR2032 de litio.



Nota. (Onset, 2023).

Según la Figura 37, la información de la temperatura superficial interior del techo pasa al registrador automático a través de un cable termopar sensor/sonda de temperatura TMCI HD (-40°C a +100°C) de 2.5 cm, rango de -40 °C hasta +100 °C en aire, precisión: ± 0.5 °C a +20 °C, dimensiones de la punta del sensor 7 mm x 2.5 cm, peso 37g, 125g o 280 g y la punta del sensor es de acero inoxidable (Onset, 2023).

Equipos de Medición de Temperaturas Exteriores

La información de temperatura y humedad relativa del aire exterior fueron obtenidos con el apoyo de los equipos Hobo Pro v2 Loggers modelo U23-001, de la marca Onset (Figura 40), que proporcionan alta precisión y mediciones de temperatura y humedad relativa en una amplia gama de ambientes al aire libre (Onset, 2023), las unidades en que se miden la temperatura y humedad relativa del aire son según el SI⁹, los equipos tienen carcasa, Figura 39 y Figura 40, resistente a la intemperie para uso en exteriores o ambientes con condensación, de diámetro pequeño para mediciones en espacios reducidos (Onset, 2023).

Figura 39. Carcasa para sensor externo.



Nota. (Onset, 2023).

Figura 40. Hobo Pro v2 Loggers U23 001.



Nota. (Onset, 2023).

9 Sistema Internacional de Unidades.

Materiales y métodos

Figura 41. Batería tamaño 1/2AA de 3.6 volts marca Tadiran.



Nota. (Tadiran, 2023)

Los equipos Hobo Pro v2 Loggers modelo U23-001, Onset son alimentados por una batería Tadiran TLH serie Deliver de 3.6 V de hasta +125 °C (ver Figura 41 y Tabla 12), (Tadiran, 2023), con aplicaciones de sensores en medicina, aeronáutica, automovilismo, militares, con las siguientes propiedades (Trujillo Samayoa, 2017).

Tabla 12. Características necesarias de las Baterías 1/2AA que usa Hobo Pro v2 Loggers U23 001.

| Características | Información |
|----------------------------------|--|
| Máximo voltaje | 3.6 V |
| Temperaturas de operación, rango | -55 °C a + 125 °C |
| Tiempo de vida máximo | Superior a los 20 años |
| Tamaño | Pequeño |
| Sellado | Vidrio-metal hermética (no junta de elastómero rizada) |
| Batería tipo | Cloruro de tionilo de litio Tadiran TLH Series |
| Normatividad | ISO-9001: 2000 certificado y reconocido por UL ¹⁰ . |

Nota. (Tadiran, 2023)

Según se muestra en la Figura 42 y la Figura 43, la información adquirida pasa primero al cable termopar sensor/sonda o directamente al Hobo pro V2 U23-001, posteriormente pasa a la optic USB base station

¹⁰ Laboratorios Underwriters que ofrece certificación que se relaciona con seguridad, certifica, valida, prueba, inspecciona, audita, asesora y capacita sobre aspectos industriales entre los que se encuentran las baterías de litio.

Materiales y métodos

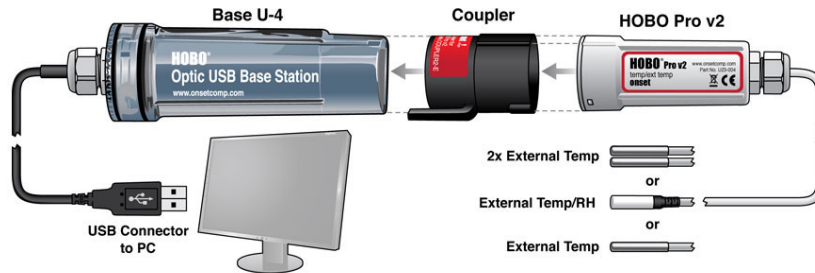
BASE U-4, estos dos últimos equipos acoplados por el coupler y finalmente a través de un conector USB llega a una PC para procesarlo a través del software (Onset, 2023).

Figura 42. Transportador de información.



Nota. (Onset, 2023).

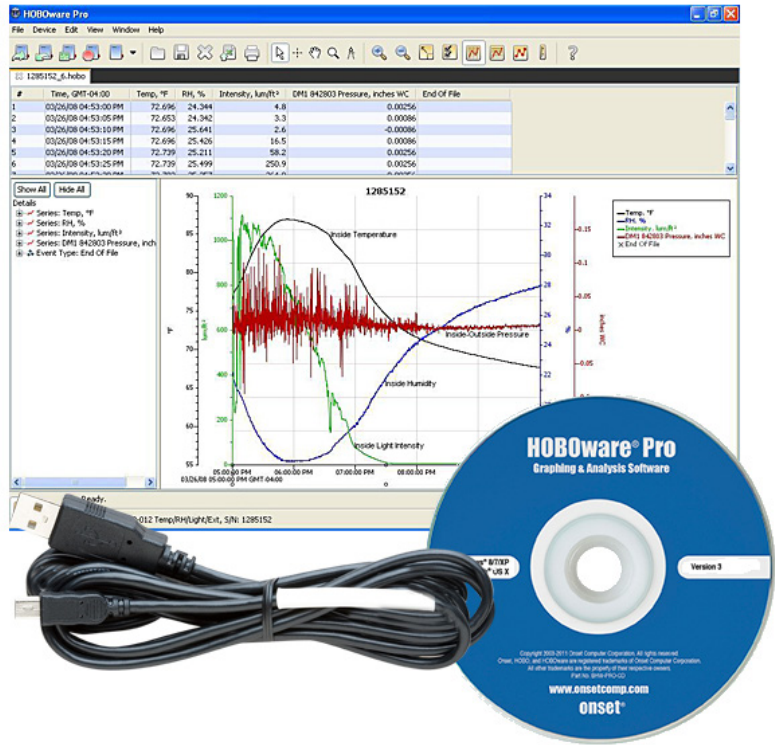
Figura 43. Interfaz USB óptica.



Nota. (Onset, 2023).

La información adquirida tanto de equipos interiores como exteriores es procesada con el software Hobo Ware pro, que acompaña a los equipos de la misma casa, que permite graficar y analizar en ese ambiente y que además es compatible para su exportación a formatos de Microsoft (ver Figura 44), (Onset, 2023).

Figura 44. Software hobo ware pro.



Nota. (Onset, 2023).

Métodos

En esta sección, el trabajo se apoyó en dos métodos, Norma mexicana NMX-C-460-ONNCCE-2009, “Industria de la construcción-aislamiento térmico-valor “R” para las envolventes de vivienda por zona térmica para la república mexicana-especificaciones y verificación” y Metodología de la climatología dinámica (adaptado), (ONNCCE, 2009).

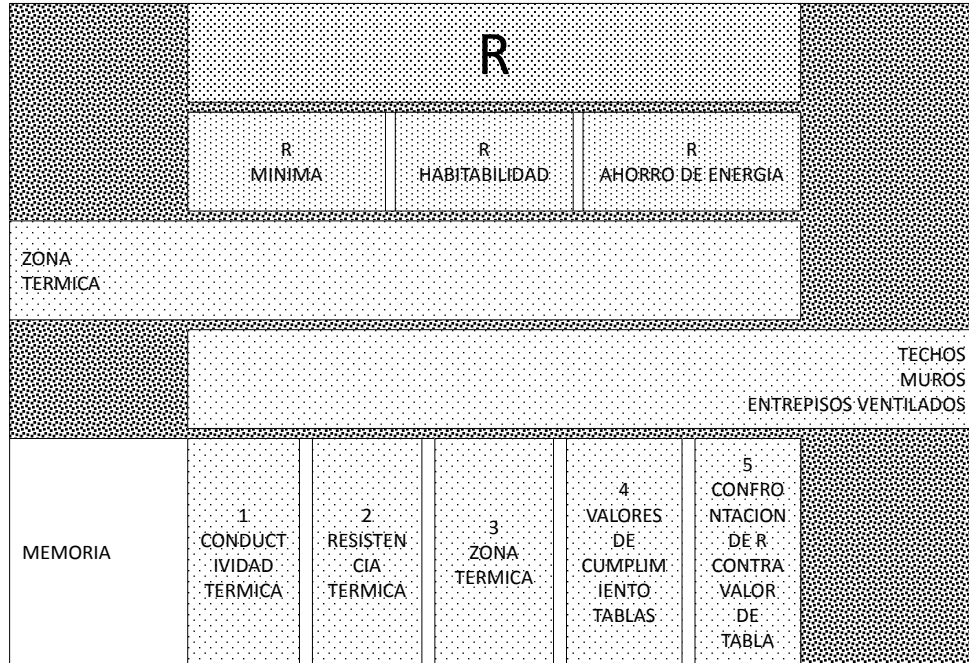
Determinación del dato R.

2.2.1 Se representa por el esquema metodológico de la Figura 45, con base en la NMX C 460 ONNCCE 2009, Industria de la Construcción Aislamiento Valor R, Donde se obtiene el valor “R” total que es la suma de las resistencias térmicas superficiales, internas y externas, de las capas de los diversos materiales que componen la envolvente, es el inverso del coeficiente total de transmisión de calor “K”, sus unidades son m^2K/W , existen 3 niveles de cumplimiento, valor “R” mínimo, valor “R” para habitabilidad y valor “R” para ahorro de energía (ONNCCE, 2009).

La resistencia térmica mínima o valor "R" mínimo, es cuando la vivienda cumple al límite los códigos o estándares de construcción, únicamente se puede usar aislamiento térmico para conseguir el cumplimiento, donde la resistencia térmica para habitabilidad o valor "R" para habitabilidad, busca proporcionar bienestar higrotérmico a sus ocupantes, mediante el empleo de aislamiento térmico y se puede manejar orientaciones convenientes y evitando asoleamientos prolongados, si fuera necesario, puede emplearse equipo de acondicionamiento artificial para calentar o enfriar o ambos, resistencia térmica para ahorro de energía o valor "R" para ahorro de energía, es el resultado de combinar el aislamiento térmico junto a una cuidadosa elección del sitio y el emplazamiento, se puede emplear equipos de climatización de menor consumo energético para enfriar, calentar o ambos para mejorar la habitabilidad y para ahorrar y hacer uso racional de la energía (ONNCCE, 2009).

La memoria de cálculo desarrollada para hacer el procedimiento de cálculo de la norma son cinco pasos, primero se identifican valores de Conductividad Térmica de las capas que integran la envolvente. Segundo, tomando información de las normas relacionadas que ya traen incluidos o de los fabricantes en su caso, Segundo, Determinación de los datos de resistencia térmica de las capas que integran la envolvente, obteniendo así las parcialidades de los valores del dato R. Tercero, apoyándose en mapas que contienen regiones térmicas que se incluyen en la norma, con base en la misma, se determina la región térmica del lugar del proyecto que para este proyecto la región térmica es la número 1, en que se encuentra Chiapas, de acuerdo a la norma, en territorio mexicano hay 8 regiones térmicas. Cuarto, de acuerdo con lo que muestra la Tabla 27, se reconoce la región térmica que se ubicó en el paso inmediato anterior y tomando en cuenta que la norma tiene 3 niveles de cumplimiento, se define en cual de esos niveles se ubicará el proyecto: Quinto, finalmente, se confrontan los valores que se determinaron contra los datos de la Tabla 27, y reconocer cual fue el nivel de cumplimiento con la norma, las dos barras que se muestran en el esquema, por un lado la región térmica del mapa y por el otro lado los valores que se determinaron para paredes, techos y entrepisos ventilados (ONNCCE, 2009).

Figura 45. Esquema que representa el proceso de la norma NMX C460 ONNCCE 2009.

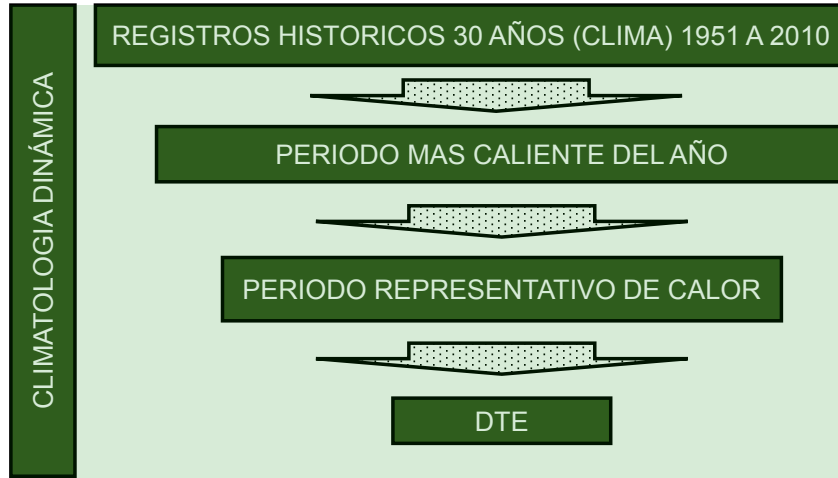


Nota. (Trujillo Samayoa, 2017).

Análisis dinámico del clima

En un análisis dinámico del clima, se define un día típico experimental, donde se representa una gráfica de las normales climatológica de por lo menos 30 años de registros, existen promedio de las máximas, promedio de las medias y promedio de las mínimas, donde posteriormente se identifica un periodo representativo, periodo que dura aproximadamente ocho días y las condiciones del tiempo son recurrentes y que al ir haciendo un acercamiento hacia el dato específico, en el que en el interior se ubica el día típico experimental, dato que está referenciado a la media de las máximas de las normales climatológicas, ya sea arriba, abajo o que iguale el dato, pero muy cercano (Castañeda Nolasco, Ferras Coutiño, Farrera Vázquez, & Jiménez Albores, 2024), siempre mencionando que la información climática del lugar se adquirió a través del SMN, mientras que la información climática de interiores y contexto específico se adquirió con equipo de uso para este trabajo (Sistema Meteorológico Nacional, 2024).

Figura 46. Esquema de la metodología de la climatología dinámica.



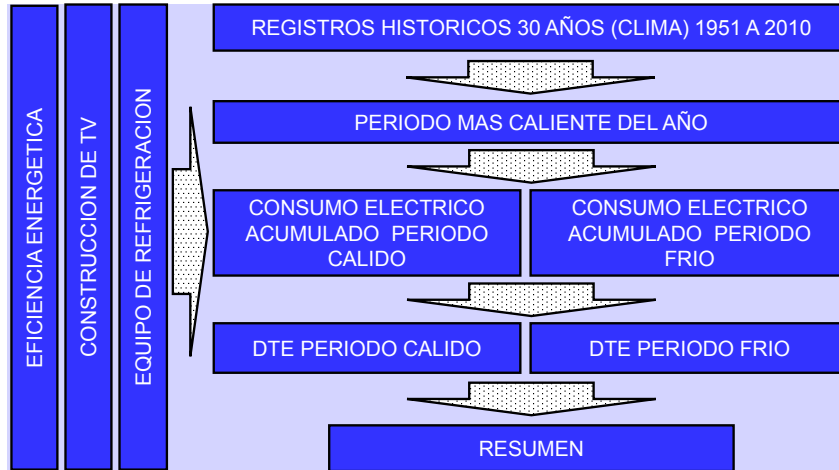
Nota. (Castañeda Nolasco, Ferras Coutiño, Farrera Vázquez, & Jiménez Albores, 2024).

Se eligió adaptar la metodología dinámica porque era importante aprovechar sus fortalezas, se enlistan las fortalezas encontradas en la metodología:

El análisis es en régimen dinámico, el punto de inicio es a partir del análisis del contexto climático (30 años o más de mediciones), el análisis es de lo general hasta llegar al punto específico de análisis (el día típico experimental), para pasar al siguiente nivel en la metodología, hay una razón de relación con el periodo climático anterior, estas características de la metodología fortalecen lo planteado en este trabajo (Castañeda Nolasco, Ferras Coutiño, Farrera Vázquez, & Jiménez Albores, 2024).

El análisis dinámico del clima o climatología dinámica tuvo una modificación importante al adaptarlo para que pudiera ser usado en el análisis de eficiencia energética, de acuerdo con la Figura 46 y Figura 48, lo primero que se reconoce son las normales climatológicas de por lo menos 30 años de mediciones, en estas normales están contenidos el periodo más caliente, el consumo eléctrico acumulado en el periodo caído y en el periodo frío, donde cada periodo tuvo una medición de 30 días para tener elementos suficientes de comparación, en donde también existe un Día Típico experimental para cada uno de los periodos y que además son extremos en los registros de temperatura, son importantes en este esquema los equipos de aire acondicionado elegidos para la experimentación, la construcción del TV que a su vez impacta en la eficiencia energética (Castañeda Nolasco, Ferras Coutiño, Farrera Vázquez, & Jiménez Albores, 2024).

Figura 47. Esquema metodológico.



Nota. Adaptado de (Castañeda Nolasco, Ferras Coutiño, Farrera Vázquez, & Jiménez Albores, 2024).

Discusión

A manera de resumen, en la Tabla 13, se presenta un cuadro donde se sintetizan los resultados obtenidos en la revisión en este capítulo del contexto físico tanto natural como artificial, para la zona de estudio, y a partir de ahí, se plantean hipótesis de cada elemento del medio físico, donde se presenta nivel y capacidad para modificar los resultados experimentales, en el consumo eléctrico de los dos equipos de refrigeración, colocados bajo dos techos diferentes, descrito de manera más amplia en el capítulo 3, Resultados (Trujillo Samayoa, 2017).

Tabla 13. Cuadro donde se colocan los componentes del contexto físico y su potencia modificadora de los resultados.

| Contexto físico | Componente | | Intensidad | Hipótesis (capacidad para modificar los resultados experimentales, consumo de electricidad de equipos de refrigeración) | | |
|-----------------|-------------------------|--------------|------------|---|--------------------------|---------------------|
| | | Reino animal | | 4 | 4 | Capacidad indirecta |
| | Vegetación | | 3 | 3 | Capacidad terciaria | |
| Clima | Temperatura | | 1 | 1 | Capacidad intensa máxima | |
| | Humedad | | 3 | 3 | Capacidad terciaria | |
| | Presión atmosférica | | 2 | 2 | Capacidad secundaria | |
| | Vientos | | 1 | 1 | Capacidad intensa máxima | |
| | Precipitación | | 3 | 3 | Capacidad terciaria | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| Artificial | Crecimiento poblacional | | 2 | 2 | Capacidad secundaria | |
| | Pavimentos | | 2 | 2 | Capacidad secundaria | |
| | Edificación | | 2 | 2 | Capacidad secundaria | |
| | Crecimiento urbano | | 2 | 2 | Capacidad secundaria | |

| Nomenclatura | Medida de la relación |
|--------------|-----------------------|
| 1 | Máximo |
| 2 | Secundario |
| 3 | Terciaria |
| 4 | Indirecta |

Nota. Elaboración propia.

También se presentan las discusiones más relevantes, a partir de la confrontación de cada apartado de este capítulo, con la eficiencia energética en la edificación y específicamente con el consumo eléctrico de dos equipos de refrigeración colocados bajo dos techos distintos, según el capítulo 4 (Trujillo Samayoa, 2017).

- El contexto físico y principalmente el natural tiene una relación directa con la eficiencia energética aplicada a los techos de las edificaciones, que a su vez se encuentran emplazadas en el mis-

mo contexto físico y existe una interacción circular entre ambos, pues la edificación al igual que los demás elementos de la infraestructura física conforman el contexto físico artificial (Trujillo Samayoa, 2017).

- Es posible que no exista una relación directa entre la fauna y la eficiencia energética de los techos en la edificación en Tuxtla Gutiérrez, sin embargo, por su acción indirecta cuyas acciones modifican o conservan el entorno, como agente de equilibrio ambiental donde el ambiente de manera directa si incide con sus condiciones en la eficiencia energética aplicada a los techos de las edificaciones (Trujillo Samayoa, 2017).
- La flora si es un agente de relación directa con las condiciones climáticas definidas por la temperatura, humedad, presión atmosférica, vientos, precipitación, y esta afecta sobremanera la eficiencia energética aplicada a los techos de las edificaciones en el sitio de estudio (Trujillo Samayoa, 2017).
- Los factores climáticos, incluyendo la temperatura, la humedad, la presión del aire, los vientos y las precipitaciones, son de gran relevancia ya que influyen en los techos de las construcciones y determinan las necesidades físicas (CNA, 2024).
- La temperatura constituye un factor crucial del clima y tiene un impacto directo en la eficiencia energética pues los techos de las edificaciones son los componentes que más calor transmiten, la termodinámica que sucede con las pérdidas y ganancias de calor en las transferencias en forma de conducción, convección y radiación revisadas con anterioridad y con las características particulares de cada lugar, se diferencian las transmisiones de calor (Sistema Meteorológico Nacional, 2024).
- La humedad es un elemento relevante del clima frente a la eficiencia energética, donde es destacable el rango de humedad cómodo para el ser humano donde el viento desempeña un rol importante, la humedad varía con la época del año, se carga en tiempo de lluvia y se reduce en temporada de secas con un periodo aproximado de mitad del año para cada temporada (CNA, 2024).
- La presión atmosférica como la capa de gases que es, ejerce presión sobre la superficie de la tierra de forma diferenciada dependiendo de la altura de un lugar sube o baja junto con la densidad de los gases que conforman la atmosfera y según la gráfica, también varía de forma paralela a la humedad (CNA, 2024).
- Los vientos varían sus velocidades con la humedad relativa y con la precipitación, de tal forma que cuando la humedad y la precipi-

itación suben, el viento reduce su velocidad y viceversa, el viento también modifica la temperatura y al modificarse la temperatura, modifica la eficiencia energética, los vientos dominantes en el lugar del estudio vienen del norponiente (CNA, 2024).

- La precipitación que modifica los contenidos de humedad en el aire, también es responsable de que la temperatura del aire varíe, principalmente, aunque el contacto con la superficie del material también puede provocar variaciones en la temperatura del material y por lo tanto modificar la eficiencia energética (Mohsen, et al., 2022).
- El crecimiento de los aspectos de infraestructura física, son consecuencia del crecimiento de la población en el medio urbano, y esta última puede modificar al microclima en el medio urbano trayendo como consecuencia las islas de calor en el medio urbano, y aquí se nombran como responsables principalmente al crecimiento urbano, la edificación y las pavimentaciones (H. Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez, 2024).
- El 81.03% de las vialidades en Tuxtla Gutiérrez son de concreto hidráulico, lo que impacta de forma importante en los parámetros climáticos y principalmente la temperatura, donde los pavimentos en las vialidades son provocadas por la acción humana, en aras de un aparente desarrollo, donde el concreto tiene alta capacidad de acumular calor y liberarla en el tiempo, que acumula calor en las horas de sol y las libera en la noche, provocando aumentos de temperatura en el medio urbano principalment (H. Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez, 2024).
- La edificación compuesta principalmente de materiales pétreos, cubre una parte predominante de la superficie en la ciudad lo que lo convierte en superficie impermeable con materiales muy densos, modificando a los componentes del clima (H. Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez, 2024).
- El crecimiento urbano junto con las demás acciones antropogénicas modifica de manera importante los parámetros climáticos que a su vez inciden de forma directa en la eficiencia energética aplicada a los techos de las mismas edificaciones (Trujillo Samayoa, 2017).

En la Tabla 13, se expresa un resumen donde se establecen relaciones entre componentes del medio físico natural y artificial, donde se menciona los niveles y capacidad potencial con que puede modificar los resultados, también se usan dos métodos que se toman en cuenta para desarrollar este trabajo, se usa el método que indica la normatividad NMX C 460 ONNCCE 2009 Industria de la Construcción aislamiento

Materiales y métodos

Térmico valor R, y se usa el método en régimen dinámico propuesto por (Vecchia, 1997), el valor R y los valores dados por las regiones térmicas dadas en la misma norma (ONNCCE, 2009), de los elementos del medio físico natural, el clima como principal componente, las condicionantes del medio físico natural, donde el clima es el principal determinante son usados directamente por el método de la climatología dinámica y de esta forma el trinomio tv, climatización artificial y eficiencia energética sean usados por el método de la climatología dinámica y ratificados por el valor R que se calcule (Trujillo Samayoa, 2017).





RESULTADOS

Periodo de mediciones

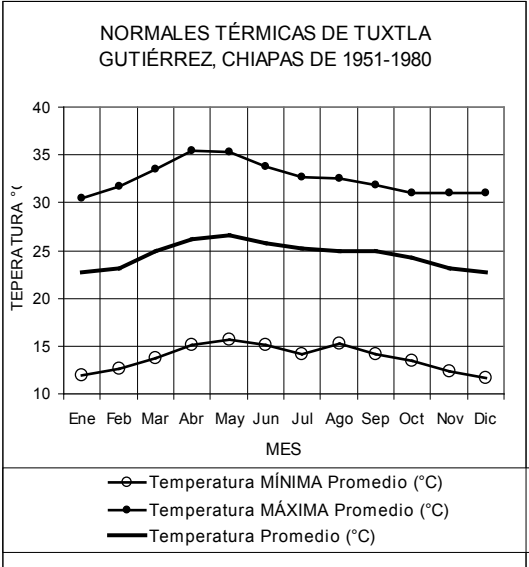
El Contexto

Se trabajó con dos periodos climáticos opuestos en Tuxtla Gutiérrez, el periodo cálido de mediciones se realizó del 15 de abril al 15 de mayo, obteniéndose registros a través de los registros de medición a cada 5 segundos promediados a cada media hora, por lo tanto se utilizaron 1440 mediciones promedio, según la Figura 49, posteriormente en ese periodo de mediciones, se identificó un periodo representativo climático del 4 al 14 de mayo, en el que se identificó un DTE¹¹ (Vecchia, 1997), el 6 de mayo, donde la temperatura del aire alcanzó su máximo valor de 36.87 °C, apenas 1 °C arriba de lo registrado por la temperatura media de las máximas representada en las normales climatológicas, en tanto que los valores mínimos ese día registraron 20.79 °C y 22.05 °C, al amanecer respectivamente (Trujillo Samayoa, 2017).

¹¹ Día típico experimental (Vecchia, 1997).

Resultados

Figura 48. Normales climatológicas para Tuxtla Gutiérrez de 1951 a 1980.



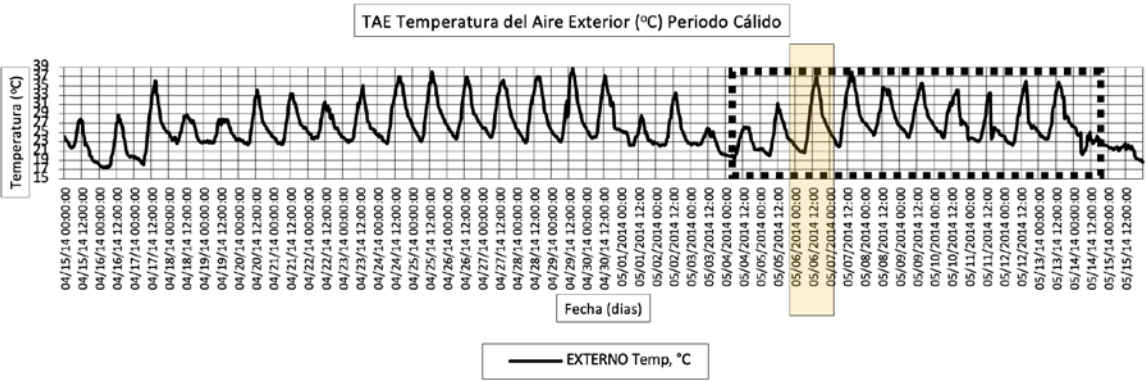
Nota. (Sistema Meteorológico Nacional, 2024).

Como se indica en las Figura 51, Figura 54 y Figura 57 y con el uso de la geometría analítica que es con lo que se representa de forma gráfica el consumo eléctrico, valor m^{12} en la ecuación de recta $y = mx + b$, donde para el TCR el valor es de 9.21, mientras para el TV TV es de 7.23, claramente se observa que una mayor pendiente se traduce en consumo eléctrico mayor en un mismo periodo de tiempo, indicándose por parte de los valores mayor valor para el TCR que para el TV (Trujillo Samayoa, 2017).

12 El valor m representa la pendiente de la recta, misma que indica el consumo de electricidad

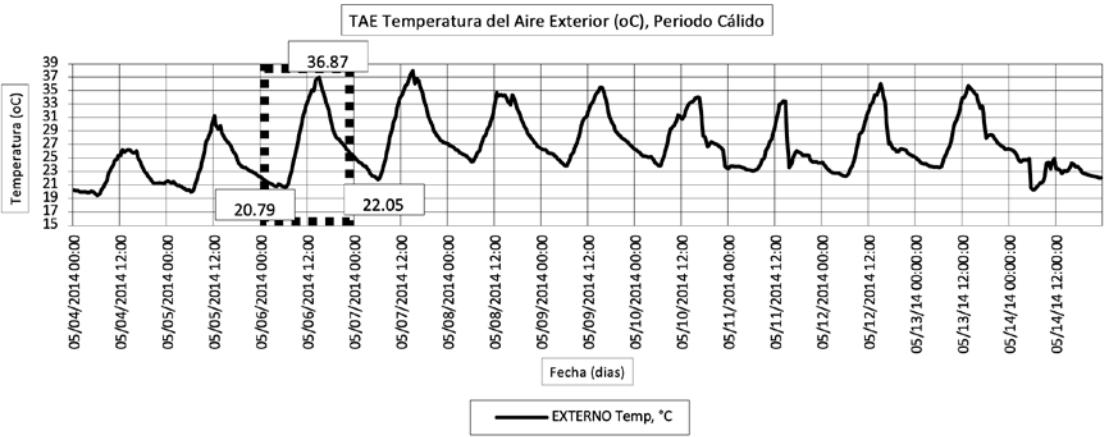
Resultados

Figura 49. Periodo que se midió en la temporada de más calor entre el 15 de abril y el 15 de mayo.



Nota. Elaboración propia.

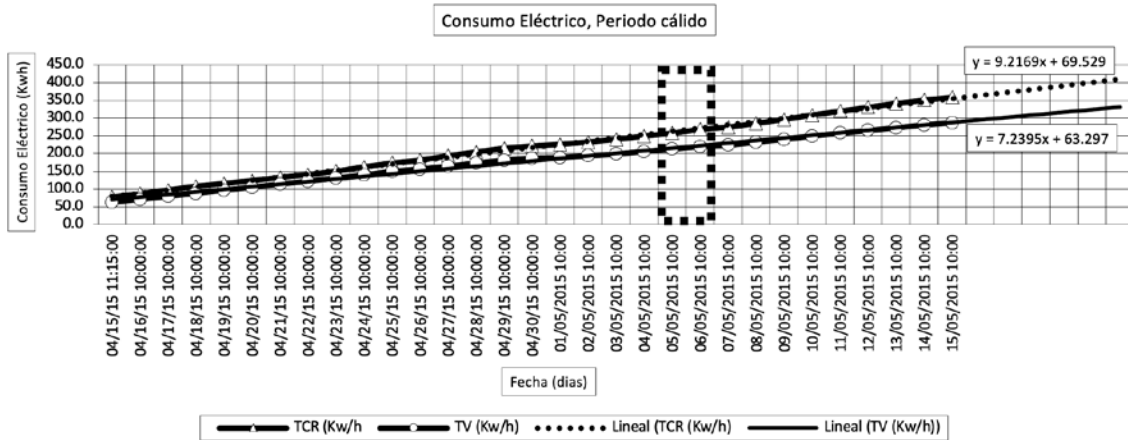
Figura 50. Periodo representativo de calor del 4 al 14 de mayo.



Nota. Elaboración propia.

Resultados

Figura 51. Consumo eléctrico acumulado en el periodo cálido.

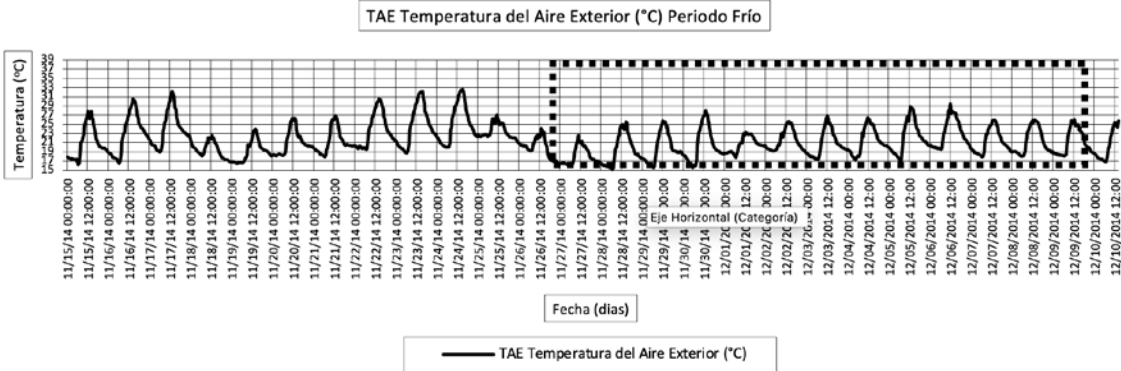


Nota. Elaboración propia.

Como se representa en la Figura 52 y como se explicó anteriormente, también se hicieron mediciones en periodo frío entre el 15 de noviembre y el 10 de diciembre, obteniéndose registros a través de los registros de medición a cada 5 segundos promediados a cada media hora, por lo tanto se utilizaron 1440 mediciones promedio, atendiendo lo que dictan las normales climatológicas en donde las temperaturas alcanzan los niveles más bajos con los frentes fríos que vienen del norte (Sistema Meteorológico Nacional, 2024) y como se muestra en la Figura 53, es precisamente que dentro de ese periodo se encuentra el periodo representativo climático entre el 27 de noviembre y el 10 de diciembre, ahí se encuentra repeticiones o recurrencia con la temperatura del aire y ahí se ubica el DTE, 28 de noviembre, en este día, la temperatura del aire llegó hasta su nivel máximo de 25.5 °C a la 1 de la tarde, quedando de esta forma 2.5 °C arriba de la media de las medias que se contemplan en las normales climatológicas, sin embargo los datos mínimos se ubicaron en 15.18 °C y 15.47 °C cuando apenas amanecía, en tanto que en el consumo de electricidad que se acumuló en el ciclo frío entre noviembre 22 y diciembre 9, los datos de m fueron 4.28 y 3.54 respectivamente en el TRC y en el TV, situación que es ratificada en la Figura 54 donde se expresa a través de una ecuación de recta expresada con la forma $y=mx+b$, los dos valores son más pequeños que en el periodo cálido de mediciones que ya se mencionaron con anterioridad (Trujillo Samayoa, 2017).

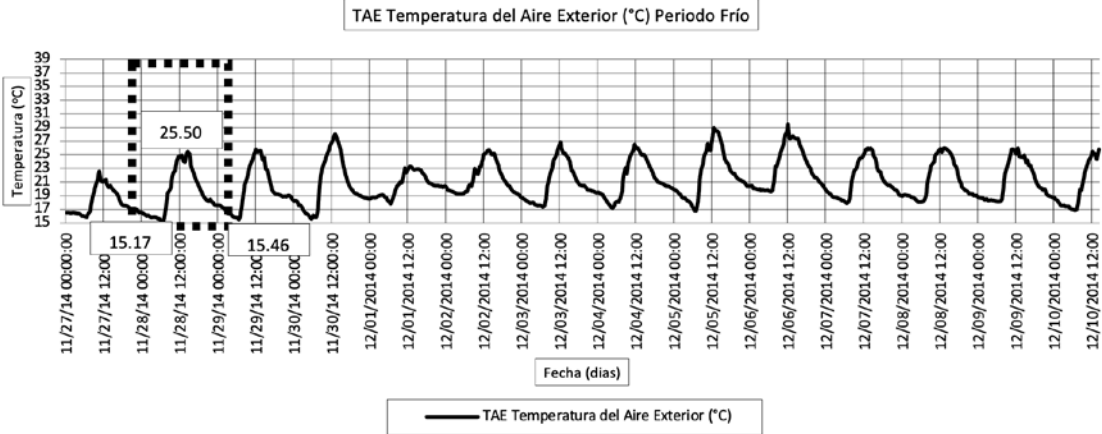
Resultados

Figura 52. Periodo que se midió en la temporada de más fría entre el 15 de noviembre y el 10 de diciembre.



Nota. Elaboración propia.

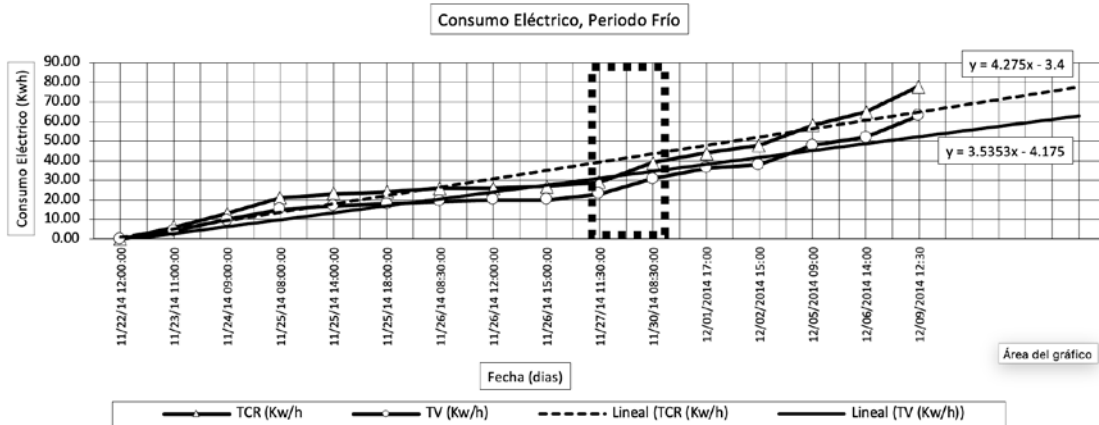
Figura 53. Periodo representativo climático entre el 27 de noviembre y el 10 de diciembre.



Nota. Elaboración propia.

Resultados

Figura 54. Consumo eléctrico acumulado en el periodo frío.



Nota. Elaboración propia.

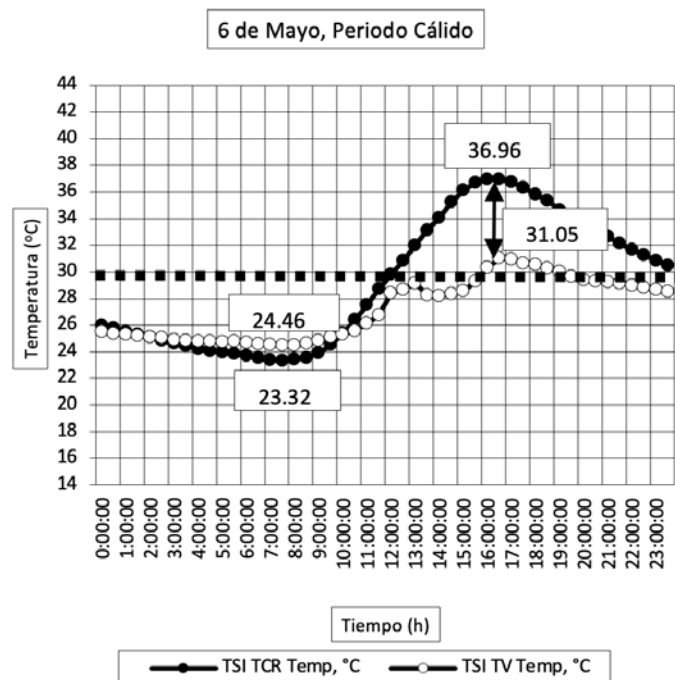
El método con el que se trabajó las mediciones del consumo de energía eléctrica es la regresión lineal simple, donde en el eje de las abscisas se ubica el tiempo, siendo esta la variable independiente y en el eje de las ordenadas se ubica el consumo de electricidad por aire acondicionado, siendo esta la variable dependiente, se colocan líneas rectas de tendencia que representan a las mediciones del consumo de electricidad de los equipos de aire acondicionado colocados bajo ambos techos mencionados, a su vez estas líneas rectas tienen una ecuación de línea recta en la forma $y = mx + b$, donde y es la variable dependiente que ya se mencionó, x es la variable independiente, m es la pendiente y b una constante, las dos líneas rectas tienen pendiente positiva sin embargo las pendientes son diferentes indicando diferentes consumos de energía eléctrica por aire acondicionado en un mismo pedido de trabajo (Gomez Azpetia, Borjoquez Morales, & Ruiz Torres, 2007; Rincón Martínez, Martínez Torres, González Trevizo, & Fernández Melchor, 2020).

Resultados

Temperatura Superficial Interior (TSI)

Es importante decir que fueron dos periodos opuestos en que se midió, el cálido y el frío, con equipos registradores automáticos, se obtuvieron las mediciones que en el día típico experimental estuvieron de la siguiente forma, en la Figura 55 se señalan primero los 30 °C, como frontera térmica puesto que la temperatura de la piel se ubica entre 33 °C y 34 °C (Auliciems & Szokolay, 1999), esa es la razón por la que se definen los 30 °C como frontera térmica, lo que significa que si la temperatura rebasa esa frontera, el ser humano recibe más calor de lo necesario y le produce estrés térmico que afectan su rendimiento físico y su salud (Ruiz Torres, 2019), en la figura se observa que la temperatura superficial interior del TRC registró una temperatura mínima de 23.32 °C y una máxima de 36.96 °C a las 07:00 y a las 16:00 horas respectivamente, mientras que el TV, registro la mínima temperatura con 24.46 °C y una máxima de 31.05 °C a las 7:00 y a las 16:00 horas respectivamente, el TRC indicó un retardo térmico de 9 horas y una amplitud térmica de 13.64 °C, mientras que el TV indicó una amplitud térmica de apenas 6.59 °C en 9 horas, donde además se indicó entre los dos techos una diferencia de 36.96 °C contra 31.05 °C cuya diferencia fue de 5.91 °C de temperatura, ver Figura 55, cuando la amplitud térmica es grande en poco tiempo, produce efectos adversos en la salud de los seres humano, en cambio las temperaturas estables en el tiempo, favorecen la mejora de la salud (Trujillo Samayoa, 2017).

Figura 55. Día típico experimental el 6 de mayo.

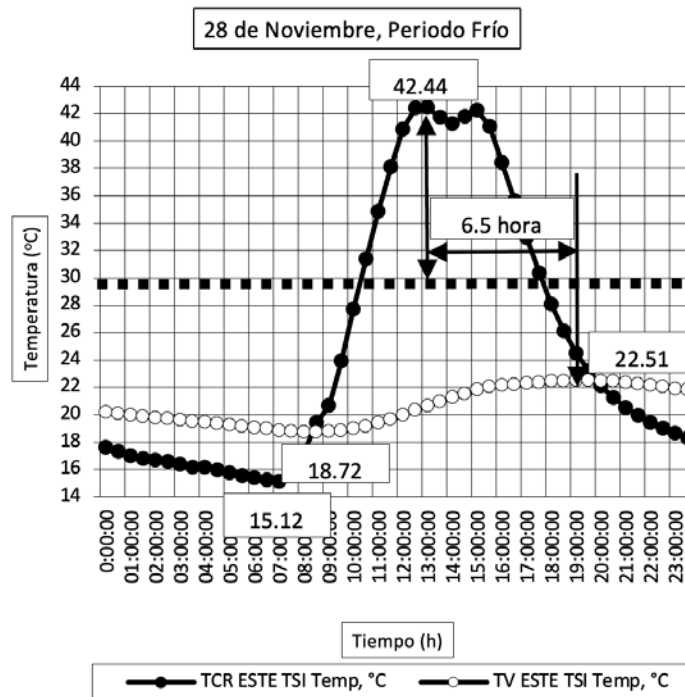


Nota. (Trujillo Samayoa, Rangel Martínez, & Castañeda Nolasco, 2015)

Resultados

El 28 de noviembre fue el DTE en el periodo frío, en la Figura 56, se muestra nuevamente los 30° C basados en lo expuesto por (Auliciems & Szokolay, 1999). La TSI del TCR alcanzó su máximo valor de 42.44° C a las 13:00 horas y la TSI del TV alcanzó su máximo valor de 22.51° C a las 19:30 horas; esto indica una diferencia entre temperaturas máximas alcanzadas de 19.93° C y un retardo térmico entre los dos techos de 6.5 horas, el sobrecalentamiento del TCR es de 12.44° C y el TV no presenta sobrecalentamiento, los valores mínimos de la TSI fueron de 15.12° C y 18.72° C para el TCR y el TV respectivamente, esto ratifica que la amplitud térmica es menor en el TV con 3.79° C que en el TCR con 27.32° C (Trujillo Samayoa, 2017).

Figura 56. Día típico experimental el 28 de noviembre.



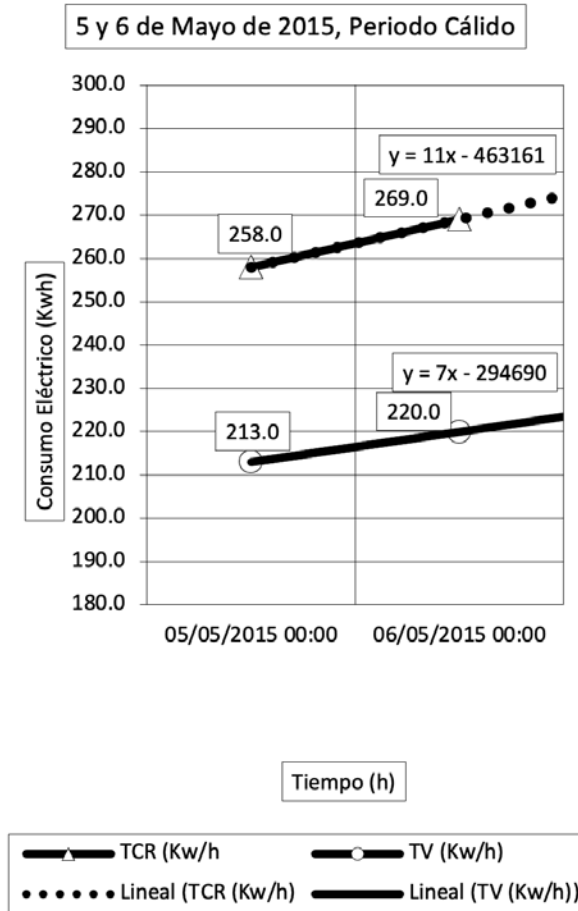
Nota. (Trujillo Samayoa, Rangel Martínez, & Castañeda Nolasco, 2015)

Consumo Eléctrico

Se tomó un día equivalente al DTE, pero ahora de consumo eléctrico, también en los periodos extremos opuestos, el DTE el 6 de mayo, que se muestra en la Figura 57, en el periodo cálido, paralelo al DTE de temperaturas, el TCR consumió 11 Kwh, mientras que el TV consumió 7 Kwh, por lo que se reflejó una diferencia de 4 Kwh en 24 horas transcurridas, Los valores *m* de 11 y 7 de las rectas que indican consumo eléctrico para el TCR y el TV respectivamente, confirman la diferencia en el consumo (Trujillo Samayoa, 2017).

Resultados

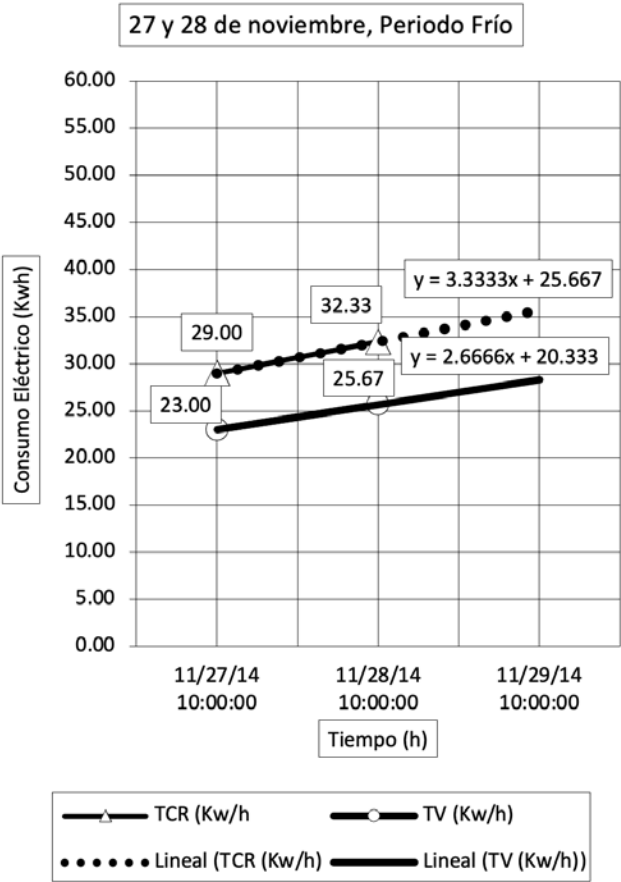
Figura 57. Consumo Eléctrico del 5 al 6 de mayo.



Nota. (Trujillo Samayoa, Rangel Martínez, & Castañeda Nolasco, 2015)

En el periodo frío, el DTE fue el 28 de noviembre en el que, por responsabilidad principalmente de la conducción de calor (McQuiston, Parker, & Spitler, 2010), el TCR consumió 3.33 Kwh y el TV 2.67 Kwh, que se muestra en la Figura 58, esto indica que el TCR consumió 0.66 Kwh más electricidad que su homologado TV en el mismo periodo de 24 horas transcurridas, los valores de m en la ecuación de la recta en la forma $y = mx + b$ que representa al consumo eléctrico, para el TCR fue de 3.33, mientras que para el TV fue de 2.66, esto indica que el TCR consume más electricidad que el TV (Trujillo Samayoa, 2017).

Figura 58. Consumo Eléctrico el 28 de noviembre.



Nota. (Trujillo Samayoa, 2017).

A partir de las ecuaciones de consumo eléctrico obtenidas en los periodos extremos opuestos, cálido y frío, Se obtuvieron ecuaciones de consumo promedio eléctrico anual para ambos techos que están dadas en la Tabla 14, en las ecuaciones del promedio anual en ambos techos, al aplicar valores a x , el valor de y será mayor en el TCR que en el TV (Trujillo Samayoa, 2017).

Resultados

Tabla 14. Consumo eléctrico expresado a través de ecuaciones promedio con posibilidad de proyección en el tiempo.

| | Techo de Concreto R | TV |
|----------------|---------------------|---------------------|
| Periodo cálido | $y = 9.21x + 69.52$ | $y = 7.23x + 63.29$ |
| Periodo frío | $y = 4.27x - 3.40$ | $y = 3.53x - 4.17$ |
| Promedio anual | $y = 6.74x + 33.06$ | $y = 5.38x - 29.56$ |

Nota. (Trujillo Samayoa, 2017).

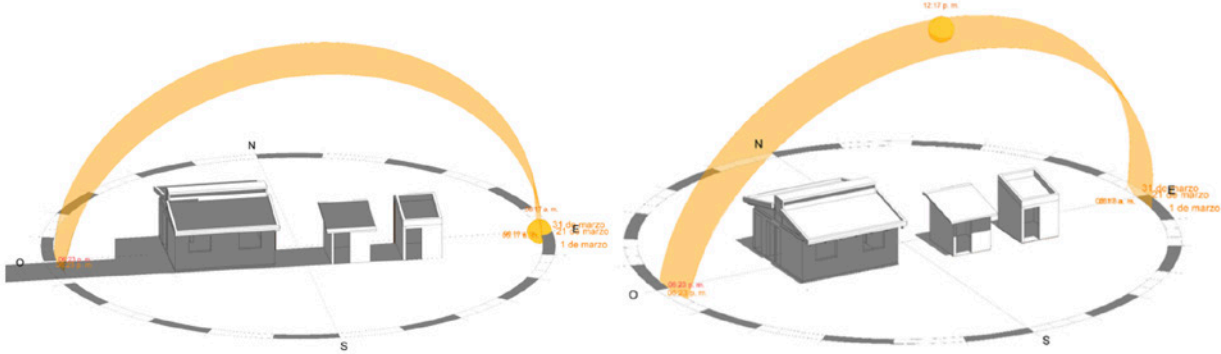
Probables variaciones de los resultados tomando en cuenta principalmente las sombras

La humedad relativa del aire, el rendimiento de los aparatos de aire acondicionado usados y las sombras proyectadas de un módulo experimental con respecto al otro y también con las construcciones del contexto inmediato, con énfasis cuando el sol rebasa el mediodía, el 28 % de diferencia con el consumo de electricidad de los dos aparatos de Aire Acondicionado en los dos Techos del experimento, El ahorro puede variar debido a distintas variables, por lo tanto, no debe considerarse como algo universal, en este sentido, se presentan en las figuras 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64 y 65 gráficos que ilustran cómo se proyectan el sol y las sombras, así como el impacto que los módulos experimentales tienen en los diferentes horarios 06:00, 12:00, 16:00 y 18:00 horas del sol y las máximas temperaturas que se mencionan en este capítulo en las siguientes fechas (Trujillo Samayoa, 2017)

- Equinoccio de primavera el 21 de marzo
- Solsticio de verano el 21 de junio
- Equinoccio de otoño el 22 de septiembre
- Solsticio de invierno el 21 de diciembre

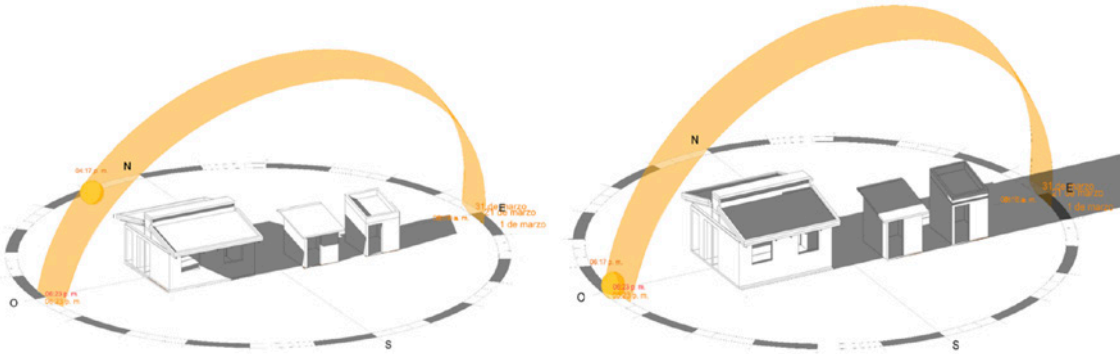
Resultados

Figura 59. Proyección de Sombra y la forma en que lo afecta el sol en el horario de 6 a 12 horas con fecha 21 de marzo.



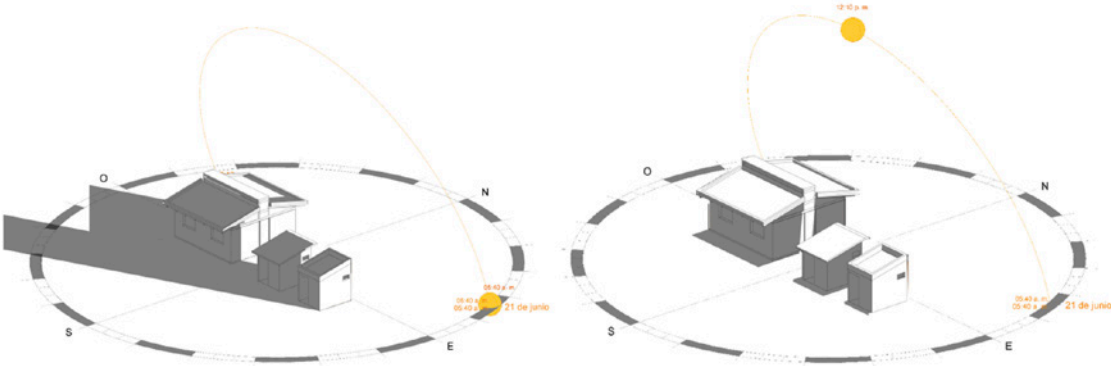
Nota. Elaboración propia.

Figura 60. Proyección de sombra y la forma en que lo afecta el sol en el horario de 16 a 18 horas con fecha 21 de marzo.



Nota. Elaboración propia.

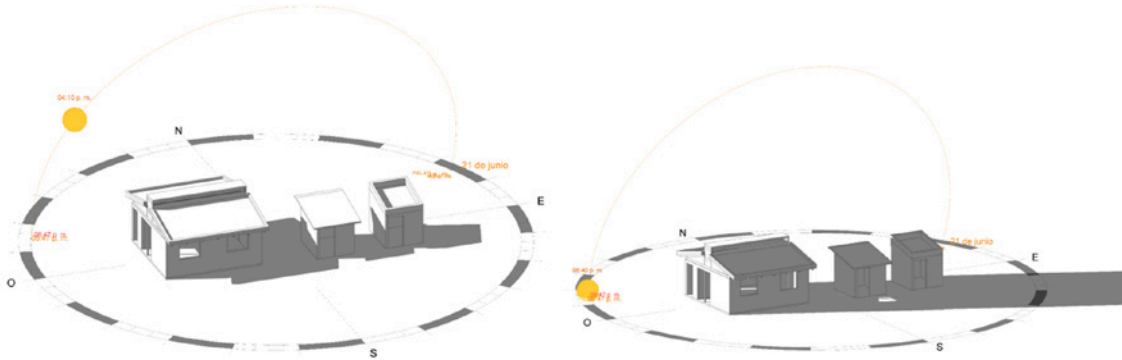
Figura 61. Proyección de sombra y la forma en que lo afecta el sol en el horario de 6 a 12 horas con fecha 21 de junio.



Nota. (Trujillo Samayoa, Rangel Martínez, & Castañeda Nolasco, 2015)

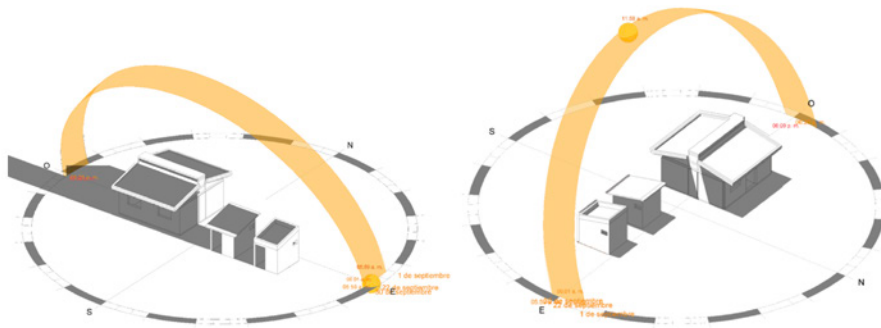
Resultados

Figura 62. Proyección de Sombra y la forma en que lo afecta el sol en el horario de 16 y 18 horas con fecha 21 de junio.



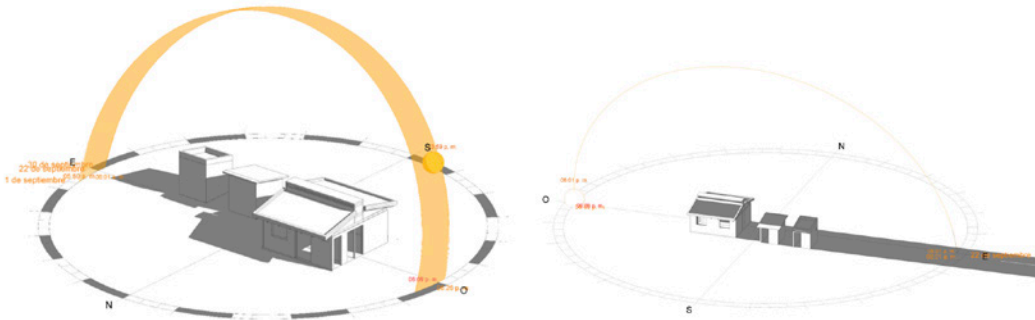
Nota. (Trujillo Samayoa, Rangel Martínez, & Castañeda Nolasco, 2015)

Figura 63. Proyección de sombra y la forma en que lo afecta el sol en el horario de 6 y 12 horas con fecha 22 de septiembre.



Nota. (Trujillo Samayoa, Rangel Martínez, & Castañeda Nolasco, 2015)

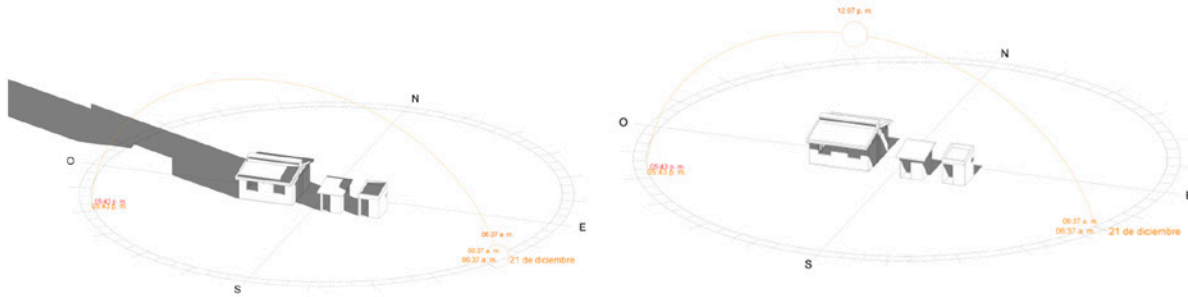
Figura 64. Proyección de Sombra y la forma en que lo afecta el sol en el horario de 16 y 18 horas con fecha 22 de septiembre.



Nota. (Trujillo Samayoa, Rangel Martínez, & Castañeda Nolasco, 2015)

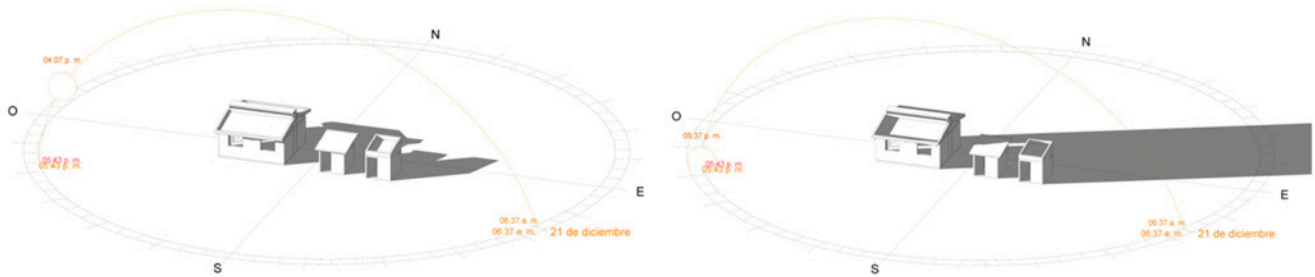
Resultados

Figura 65. Proyección de Sombra y la forma en que lo afecta el sol en el horario de 6 y 12 horas con fecha 21 de diciembre.



Nota. (Trujillo Samayoa, Rangel Martínez, & Castañeda Nolasco, 2015)

Figura 66. Proyección de Sombra y la forma en que lo afecta el sol en el horario de 16 y 18 horas con fecha 21 de diciembre.



Nota. Elaboración propia.

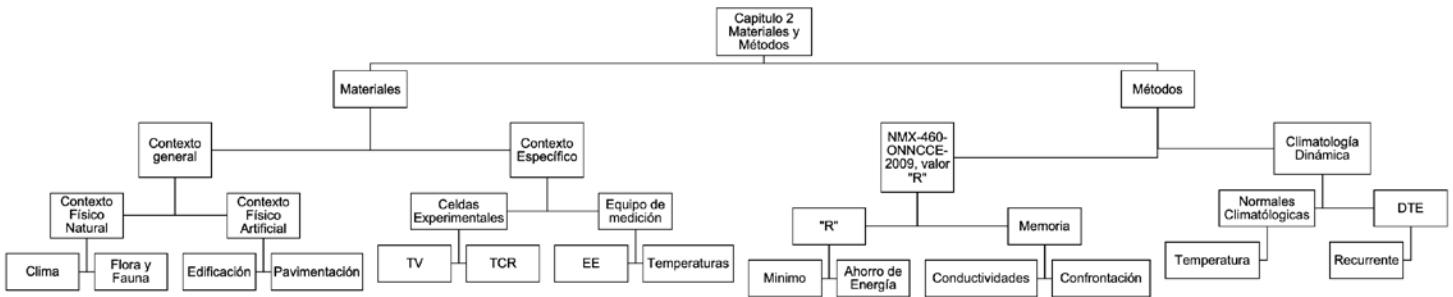
Como era de esperarse, a las 12:00 del mediodía en cualquiera de las cuatro fechas, no existe sombra de una celda a la otra, únicamente del techo propio de cada celda, A las 06:00 de la mañana, si existe sombra de una celda sobre la otra, pero es importante mencionar que, en ese momento, el sol está naciendo, ninguna de las celdas tiene calor acumulado, las afectaciones son mínimas, a las 16:00, en el horario más crítico, si existe proyección de sombras de una celda sobre la otra y además por lo avanzado del día y de horas de radiación solar, esto puede modificar de manera importante los resultados obtenidos, a las 18:00 horas sucede algo similar a lo que sucede al amanecer, con la diferencia de que, con el calor acumulado durante las horas de radiación solar, puede provocar diferencias importantes en los resultados, aunque menos que a las 16:00 horas (Trujillo Samayoa, 2017).

Como se muestra en la Figura 67, el capítulo 2 materiales y métodos, para su mejor comprensión, está organizado en dos brazos o subcapítulos, por un lado, los materiales y por el otro el de los métodos, a su vez el sub-

Resultados

capítulo, materiales también se organiza en 2 apartados, el del contexto general y el del contexto específico, donde el contexto general se organiza en contexto físico natural cuyos componentes principales son el clima y la flora y fauna y el contexto físico artificial se organiza en edificación y pavimentación, el contexto específico, se organiza en 2 subapartados, el de celdas experimentales, donde se describen tanto el TV como el TCR, y en el subapartado de equipo de medición se describen los equipos que miden EE y temperatura como las 2 variables principales (Trujillo Samayoa, 2017).

Figura 67. Organigrama de materiales y métodos indicados en el Capítulo II.



Nota. Elaboración propia.

Resultados

Tabla 15. Eficiencia Energética versus componentes del contexto físico y la relación que existe entre ellos.

| | Componente | | Intensidad | | Hipótesis (capacidad para modificar los resultados experimentales, consumo de electricidad de equipos de refrigeración) |
|---------------------|--------------------|-------------------------|------------|---------------------|---|
| | Contexto físico | Reino animal | | 4 | 4 |
| Vegetación | | 3 | 3 | Capacidad terciaria | |
| Temperatura | | Clima | 1 | 1 | Capacidad intensa máxima |
| Humedad | | | 3 | 3 | Capacidad terciaria |
| Presión atmosférica | | | 2 | 2 | Capacidad secundaria |
| Vientos | | | 1 | 1 | Capacidad intensa máxima |
| Precipitación | | | 3 | 3 | Capacidad terciaria |
| Artificial | | Crecimiento poblacional | | 2 | 2 |
| | Pavimentos | | 2 | 2 | Capacidad secundaria |
| | Edificación | | 2 | 2 | Capacidad secundaria |
| | Crecimiento urbano | | 2 | 2 | Capacidad secundaria |

| Nomenclatura | Medida de la relación |
|--------------|-----------------------|
| 1 | Máximo |
| 2 | Secundario |
| 3 | Terciaria |
| 4 | Indirecta |

Nota. Elaboración propia.

Por otro lado, el subcapítulo métodos, se organiza en 2 apartados, la NMX-460-ONNCCE-2009, valor “R” y la metodología de la climatología dinámica, con la NMX-460-ONNCCE-2009, valor “R”, se obtienen resistencias térmicas totales cuyo nivel de cumplimiento puede ir desde mínimo hasta ahorro de energía pasando por habitabilidad y la metodología de la climatología dinámica se apoya en normales climatológicas, donde se toma la temperatura como variable principal, para determinar un DTE

Resultados

con características de recurrencia (González Calderón, Quiroa Herrera, Villanueva Solís, & Llaven José, 2024).

La Tabla 15, establece relaciones entre elementos del contexto general, tanto del contexto físico natural como del artificial y se pondera evidenciando la capacidad que tiene el elemento para modificar la eficiencia en el consumo de energía eléctrica por aire acondicionado en la edificación, donde 1 es el nivel máximo de relación, el 4 establece una relación indirecta y el 2 y el 3 son niveles intermedios de relación secundaria y terciaria, de acuerdo con esta tabla, la temperatura y el viento son elementos de máxima capacidad para modificar la eficiencia energética mencionada, los elementos presión atmosférica, crecimiento poblacional, pavimentación, edificación y crecimiento urbano, tienen el nivel 2, secundario de relación para modificar la eficiencia energética y los elementos fauna, flora, humedad y precipitación, tienen los mínimos niveles, 3 y 4, terciaria e indirecta para modificar los resultados experimentales (Trujillo Samayoa, 2017).

Evaluación de las Celdas Experimentales con la Norma Mexicana NMX C 460 ONNCCE 2009, Industria de la Construcción Aislamiento Térmico Valor R para las Envolventes de Vivienda por Zona Térmica para la República Mexicana Especificaciones y Verificación (ONNCCE, 2009).

Celdas de Evaluación

Descripción de la Envolvente

Como se indica en la Tabla 16, los muros tanto para el TV como para el TCR está construida de la siguiente forma:

Tabla 16. Materiales del TV y del TCR de los módulos de evaluación.

| Muros | |
|--|------------|
| Material | Grosor (m) |
| Repello con calhidra en el exterior Repello de mortero de cal al exterior | 0.00501 |
| Unicel con grosor de 1 pulgada | 0.02541 |
| Bloque de concreto con 2 huecos | 0.15001 |
| Unicel con grosor de 1 pulgada | 0.02541 |
| Repello con calhidra en el interior | 0.00501 |

Nota. Elaboración propia.

Resultados

El área ocupada por ventanas y puertas (incluyendo los marcos) que permiten el paso de la luz solar, es menor al 20% del área total del muro envolvente de cada celda (Trujillo Samayoa, Rangel Martínez, & Castañeda Nolasco, 2015).

Techo

En la Tabla 17 y Tabla 18 los materiales que componen al TV y al TRC, son indicados.

Tabla 17. Materiales base para construir el TV.

| Techo | |
|-------------------|-------------|
| Material | Espesor (m) |
| Vegetación | 0.05001 |
| Suelo | 0.10001 |
| Filtro | 0.00201 |
| Pet | 0.03001 |
| Plástico | 0.00101 |
| Madera | 0.13001 |
| Impermeabilizante | 0.00401 |
| Acero | 0.01271 |
| Concreto | 0.10001 |

Nota. Elaboración propia.

Tabla 18. Materiales base para construir el TCR.

| Techo | |
|-------------------|-------------|
| Material | Espesor (m) |
| Impermeabilizante | 0.00401 |
| Acero | 0.01271 |
| Concreto | 0.10001 |

Nota. Elaboración propia.

El área ocupada por tragaluces y láminas traslúcidas, incluyendo los marcos, es menor al 5.0% del área total del techo de cada celda de evaluación (ONNCCCE, 2009).

Resultados

Cálculo

Paso 1 Identificación de conductividades térmicas

Se enlistan los valores de conductividad térmica de los elementos que componen la envolvente, mismas que se obtienen de la NOM 020 ENER 2011, apéndice d, ver la Tabla 19.

Tabla 20 y Tabla 21 (Sistema Meteorológico Nacional, 2024).

Tabla 19. Conductividades térmicas de la celda de experimentación.

| Paredes | | |
|--|-------------------|--|
| Componente | Espesor en metros | Conductividad térmica (λ) (W/mK) |
| Repello de mortero con calhidra en el exterior | 0.0050 | 0.8721 |
| Unicel con espesor de 1" | 0.0254 | 0.0351 |
| Bloque de concreto con 2 huecos | 0.1500 | 1.1101 |
| Unicel con espesor de 1" | 0.0254 | 0.0351 |
| Repello de mortero con calhidra en el interior | 0.0050 | 0.6981 |

Nota. Elaboración propia.

Tabla 20. Conductividades térmicas de los materiales del tv.

| Cubierta | | |
|--|-------------------|--|
| Componente | Espesor en metros | Conductividad térmica (λ) (W/mK) |
| Vegetación del lugar | 0.0500 | 0.12241 |
| Suelo local | 0.1000 | 0.3001 |
| Fieltro | 0.0040 | 0.0401 |
| Pet en botellas | 0.0300 | 0.1501 |
| Plástico de rollo | 0.0010 | 0.1851 |
| Madera | 0.1300 | 0.1301 |
| Impermeabilización | 0.0040 | 0.1701 |
| Acero de refuerzo | 0.0127 | 52.3001 |
| Concreto con resistencia a la compresión de 200 kg/cm ² . | 0.1000 | 1.7401 |

Nota. Elaboración propia.

Resultados

Tabla 21. Conductividades térmicas de los materiales del TCR.

| Cubierta | | |
|--------------------|-------------------|--|
| Componente | Espesor en metros | Conductividad térmica (λ) (W/mK) |
| Impermeabilización | 0.00400 | 0.1701 |
| Acero de refuerzo | 0.01270 | 52.3001 |
| Concreto macizo | 0.10000 | 1.7401 |

Nota. Elaboración propia.

Paso 2 Cálculo de las resistencias totales

Resistencias totales de cada componente de la envolvente del prototipo con su sistema constructivo (Trujillo Samayoa, 2017).

Muros

según la Tabla 22, Tabla 23, Tabla 24, en la columna “R” están los resultados parciales y totales de los términos de la ecuación 1 (Trujillo Samayoa, 2017).

Tabla 22. Valor R parcial y total a partir de los componentes en muros del TV y del TRC.

| Paredes | | | | | |
|--|-------------|--|------------------|--|--|
| Componente | Espesor (m) | Conductividad térmica (λ) (W/mK) | “R” (m^2K/W) | | |
| | | | 0.12351 | | |
| | | | 0.07691 | | |
| Repello de mortero con calhidra en el exterior | 0.00501 | 0.8721 | 0.00571 | | |
| Unicel con grosor de 1 pulgada | 0.02541 | 0.0351 | 0.72571 | | |

Resultados

| Paredes | | | | | | |
|--|-------------|--|------------------|---|---------|---------------|
| Componente | Espesor (m) | Conductividad térmica (λ) (W/mK) | "R" (m^2K/W) | | | |
| Bloque de concreto con 2 huecos | 0.15001 | 1.1101 | 0.13511 | | | |
| Unicel con grosor de 1 pulgada | 0.02541 | 0.0351 | 0.72571 | | | |
| Repello de mortero con calhidra en el interior | 0.00501 | 0.6981 | 0.00721 | | | |
| | | | 1.79981 | > | 1.10001 | habitabilidad |
| Superficie transparente | A<20% | | | | | |

Nota. Elaboración propia.

Tabla 23. Valor R parcial y total a partir de los componentes en el tv.

| Cubierta | | | | | | |
|-----------------------|-------------|--|------------------|--|--|--|
| Componente | Espesor (m) | Conductividad térmica (λ) (W/mK) | "R" (m^2K/W) | | | |
| | | | 0.07691 | | | |
| | | | 0.15151 | | | |
| Vegetación originaria | 0.05001 | 0.12241 | 0.40851 | | | |
| Suelo del lugar | 0.10001 | 0.3001 | 0.33331 | | | |
| Lienzo de fieltro | 0.00401 | 0.0401 | 0.05001 | | | |
| Botellas de Pet | 0.03001 | 0.1501 | 0.20001 | | | |
| Plástico en rollo | 0.00101 | 0.1851 | 0.00541 | | | |

Resultados

| Cubierta | | | | | | |
|---|-------------|--|------------------|---|---------|---------------|
| Componente | Espesor (m) | Conductividad térmica (λ) (W/mK) | "R" (m^2K/W) | | | |
| Madera | 0.13001 | 0.1301 | 1.00001 | | | |
| Impermeabilizante | 0.00401 | 0.1701 | 0.02351 | | | |
| Acero de refuerzo | 0.01271 | 52.3001 | 0.00021 | | | |
| Concreto $f'c=200$ kg/cm ² . | 0.10001 | 1.7401 | 0.05751 | | | |
| | | | 2.30691 | > | 2.10001 | habitabilidad |
| Área transparente | A<5% | | | | | |

Nota. Elaboración propia.

Tabla 24. Determinación de valores R totales y parciales de los materiales componentes del TCR.

| Cubierta | | | | | | |
|--|-------------|--|------------------|---|---------|--|
| Material | Espesor (m) | Conductividad térmica (λ) (W/mK) | "R" (m^2K/W) | | | |
| | | | 0.07691 | | | |
| | | | 0.15151 | | | |
| Impermeabilización | 0.00401 | 0.1701 | 0.02351 | | | |
| Acero | 0.01271 | 52.3001 | 0.00021 | | | |
| Concreto con resistencia a la compresión de 200 kg/cm ² | 0.10001 | 1.7401 | 0.05751 | | | |
| | | | 0.30971 | < | 2.10001 | |
| Área transparente | A<5% | | | | | |

Nota. Elaboración propia.

Resultados

En la Tabla 25, se puede encontrar concentrados la información que se calculó

Tabla 25. Cuadro que concentra los valores R que se calcularon.

| Componente | Valor "R" calculado (m ² K/W). |
|------------|---|
| Paredes | 1.79981 |
| TV | 2.30691 |
| TRC | 0.30971 |

Nota. Elaboración propia.

Paso 3. Identificación de la zona térmica correspondiente

De acuerdo con el paso 3 planteado en el capítulo 1 introducción, la Tabla 26 presenta la zona térmica para el caso de Chiapas (Trujillo Samayoa, 2017).

Tabla 26. Requerimiento indicado por la norma por zona térmica.

| Localidad | Zona térmica | Requerimientos |
|-----------|--------------|----------------|
| Chiapas | 1 | Habitabilidad |

Nota. Elaboración propia.

Paso 4 Identificación del Nivel de Cumplimiento

Se determinan las especificaciones de acuerdo con la Tabla 27 de la norma que debe cumplir el prototipo para la localidad elegida y se plasman en las tablas del paso 5 (ONNCCE, 2009).

Resultados

Tabla 27. Nivel de cumplimiento indicado por la Norma donde el valor principal es la Resistencia Térmica.

| Zona térmica No. | Techos m ² K/W (ft ² h °F/BTU) | | | Muros m ² K/W (ft ² h °F/BTU) | | | Entrepisos ventilados m ² K/W (ft ² h °F/BTU) | | |
|------------------|--|-----------------|-------------------|---|----------------|-------------------|---|-----------|-------------------|
| | Mínima | Habilidad | Ahorro de energía | Mínima | Habilidad | Ahorro de energía | Mínima | Habilidad | Ahorro de energía |
| 1 | 1,40 (8,00) | 2,10 (12,00) | 2,65 (15,00) | 1,00 (5,70) | 1,10 (6,00) | 1,40 (8,00) | NA | NA | NA |

Nota. Elaboración propia.

Paso 5 Resultados obtenidos en la comparación

En la Tabla 28, Tabla 29 y Tabla 30, se comparan los resultados obtenidos, tanto para muros como para techos, contra las especificaciones requeridas por la ciudad donde se localiza la vivienda prototipo (Trujillo Samayoa, 2017).

Tabla 28. Ubicación de resultados que se obtuvieron para muros y su cumplimiento con la norma.

| Localidad | Zona térmica | Requerimientos muros valor "R" (m ² K/W), (ft ² h° F/BTU) | | | Valor "R" calculado (m ² K/W) |
|-------------------|--------------|--|----------------|-------------------|---|
| | | Mínima | Habitabilidad | Ahorro de energía | |
| Tuxtla Gutiérrez. | 1 | 1.00 (5.70) | 1.10 (6.00) | 1.40 (8.00) | 1.7998 Cumple con habitabilidad |

Nota. Elaboración propia.

Resultados

Tabla 29. Ubicación de resultados que se obtuvieron para el TV y su cumplimiento con la norma.

| Localidad | Zona térmica | Requerimientos techos valor "R" (m ² K/W), (ft ² h° F/BTU) | | | Valor "R" calculado (m ² K/W) |
|-------------------|--------------|--|-----------------|-------------------|--|
| | | Mínima | Habitabilidad | Ahorro de energía | |
| Tuxtla Gutiérrez. | 1 | 1.40 (8.00) | 2.10 (12.00) | 2.65 (15.00) | 2.3069 Cumple con habitabilidad |

Nota. Elaboración propia.

Tabla 30. Ubicación de resultados que se obtuvieron para el TRC y su cumplimiento con la norma.

| Localidad | Zona térmica | Requerimientos techos valor "R" (m ² K/W), (ft ² h° F/BTU) | | | Valor "R" calculado (m ² K/W) |
|-------------------|--------------|--|-----------------|-------------------|--|
| | | Mínima | Habitabilidad | Ahorro de energía | |
| Tuxtla Gutiérrez. | 1 | 1.40 (8.00) | 2.10 (12.00) | 2.65 (15.00) | 0.3097 No cumple |

Nota. Elaboración propia.

En el capítulo 3 Resultados, para su desarrollo, se apoya en los dos métodos descritos en el capítulo 2 Materiales y Métodos, mismos que dan dirección a este trabajo y orientan su desarrollo, en la primera parte de este capítulo, se examina el consumo energético del equipo de AA colocado bajo el TV ante el equipo colocado bajo el TCR y se analizan ambos consumos, el método que orienta esta parte es el método de la climatología dinámica adaptado, en la última parte, donde se calculan los valores de resistencia térmica o valor R, con la norma NMX C 460 ONNCCE 2009, Industria de la construcción aislamiento térmico valor R, esta norma guía el trabajo para obtener valores, confrontarlo con los valores dados en la misma norma y verificar su nivel de cumplimiento, de esta forma, ambos métodos se complementan para el desarrollo del trabajo hacia el alcance de los objetivos propuestos en el capítulo 1 (Trujillo Samayoa, 2017).





CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este documento finaliza con cuatro secciones fundamentales:

1. Conclusiones generales y específicas del estudio
2. Contribuciones y resultados alcanzados en la investigación
3. Restricciones en el contenido del análisis
4. Sugerencias para el seguimiento del problema investigado

Conclusiones generales y específicas del estudio

En cuanto a las conclusiones de este apartado está organizado en la relación que guardan los temas que se abordaron con cada uno de los capítulos de este trabajo y en este se confrontan los objetivos que se plantearon al inicio de este trabajo para interpretar los aprendizajes y visualizando líneas futuras que derivan del mismo.

Del Capítulo I. Introducción

El desafío que la edificación tiene enfrente con relación al consumo de recursos energéticos es de grandes dimensiones, los recursos fósiles que son la fuente principal de recursos energéticos en el planeta están llegando al punto de inflexión que definirá la duración de la humanidad en el planeta tierra, sumado a esto están los GEI que son los responsables de la mala calidad del aire, son los principales responsables del calentamiento global.

En este contexto, las disciplinas que son principalmente responsables de la forma en que hace edificación, es obligatorio que edifiquen con las mejores tecnologías que se adecuen al medio local, siempre con la mención de la importancia de que el conocimiento y la responsabi-

alidad profesional no pueden faltar en las decisiones sobre vivienda (INECC, 2025).

El crecimiento poblacional, la modificación del microclima local a través de islas de calor, las condiciones climáticas contextuales en el territorio Mexicano, son algunos de los factores más importantes que condicionan el problema del consumo energético en la edificación por uso de aire acondicionado, que se expresa dramáticamente en el incremento del 500% de consumo de electricidad por aire acondicionado esperado en Tuxtla Gutiérrez, para el 2020 (INEGI, 2018).

Un punto muy importante en la edificación es con relación a los rangos adecuados de temperatura del aire para el ser humano, donde las tecnologías que constituyen la edificación desempeñan un rol de primera importancia, evidentemente, siempre buscando que dichas tecnologías no promuevan impactos secundarios negativos en el ambiente, en la economía y por supuesto en el usuario, para esto, se revisaron experiencias con TV¹³ en otros contextos y otros momentos (Jia, Weng, Yoo, Xiao, & Zhong, 2024),

Este libro se refiere al trabajo realizado en Tuxtla Gutiérrez, que según la clasificación de Köppen tiene clima cálido subhúmedo Awo, sin embargo, en la franja tropical del planeta existen muchos asentamientos humanos que tienen clima similar al de Tuxtla, por lo que el uso de los TV tiene posibilidad de escalamiento internacional.

Del Capítulo II. Materiales y métodos

El consumo eléctrico que usa la climatización artificial, se ve principalmente condicionado por el medio físico natural y artificial, donde se encuentra que el medio físico natural, fauna, flora y clima con los parámetros que lo conforman: temperatura, humedad relativa del aire, vientos, presión atmosférica, precipitación, siendo estos los parámetros primordiales a través de ellos es afectado el consumo eléctrico por aire acondicionado y que a su vez incide en la eficiencia energética en la edificación.

Los parámetros mencionados tienen relación directa pero también indirecta, la flora y el clima a través de sus elementos son de relación directa. Mientras que los elementos de relación indirecta son la fauna, puesto que son actores que ayudan a lograr equilibrio en el ambiente. Cuando se habla de intervención profesional en la edificación, es prioritario decisiones profesionales, mismas que no son posible si el contexto a través de sus elementos, no se conoce lo suficiente, el conocimiento suficiente de este, fortalece la posibilidad de una respuesta pertinente.

Aunque son muy importantes los componentes climáticos como; humedad del aire, presión atmosférica, vientos y precipitación; por delimitación, en este trabajo se analizó únicamente temperatura del aire y consumo de energía eléctrica por aire acondicionado (Castañeda Nolasco, Ferras Coutiño, Farrera Vázquez, & Jiménez Albores, 2024), (Aboelata, 2021) y (Sistema Meteorológico Nacional, 2024).

13 TV.

Las pavimentaciones, la edificación y el crecimiento urbano, son elementos del contexto físico artificial que son consecuencia del crecimiento poblacional que tienen ciudades medianas de rápido crecimiento como el de Tuxtla Gutiérrez, los dos primeros elementos están constituidos principalmente por concreto, un material de alta densidad que, por sus características físicas y térmicas, modifica de forma importante los parámetros microclimáticos urbanos (INEGI, 2020) efl (Instituto Ciudadano de Planeación, 2024).

Del Capítulo III. Resultados

Los componentes del TCR¹⁴ son principalmente de origen pétreo tales como el cemento, la arena, la grava y el acero; de acuerdo a lo que exponen Guillen Guillen y Muciño Velez en 2020, y que se incluye en este libro en la Descripción del Problema (Guillén Guillén & Muciño Vélez, 2020), una de las propiedades de estos materiales es que tienen valores altos de densidad y en consecuencia de conductividad térmica y promueven ganancia térmica y almacenan energía calorífica, calor que el usuario termina recibiendo.

El responsable número uno de que la conductividad térmica sea tan baja en el TV es el sustrato vegetal, energía que se transmite principalmente por convección o conducción, teniendo como beneficio que el usuario reciba menos calor, según se demostró en el desarrollo de este libro.

Una comprobación importante es la que se logra con el cumplimiento del TV con relación a la norma NMX-C-460-ONNCCE-2009, a través de este documento normativo se demuestra la conveniencia del uso del TV al ratificarse los resultados en la comparación térmica y energética.

La diferencia en el consumo de electricidad por consumo de los equipos de climatización artificial en el TV del 28% por debajo del equipo colocado en el TRC, toda vez que la temperatura en ese espacio subió menos, se traduce en menos tiempo y energía del equipo de climatización artificial para llegar a la temperatura indicada. En el consumo de electricidad, las mediciones se hicieron en periodos opuestos de temperatura, cálido y frío, que son los periodos extremos en Tuxtla Gutiérrez, en este trabajo fue clave apoyarse en la ecuación de recta en la forma $y=mx+b$ dada por la geometría analítica, con estas ecuaciones, es posible hacer proyecciones del consumo de electricidad por consumo de equipos de climatización artificial en el tiempo y conocer el consumo esperado en un año, cinco años, etc. con la diferencia que en este trabajo se buscó expresar la electricidad consumida y en el tiempo, en tanto que diferentes autores usan las ecuaciones de recta para expresar el consumo de electricidad con relación a la producción en toneladas como parte de la actividad industrial.

La ecuación expresa que, es conveniente el uso del TV a la edificación, actualmente fuerte consumidor de energía eléctrica por aire acondi-

14 TRC.

dicionado (Quiroa Herrera, Castañeda Nolasco, & Villanueva Solís, 2020), (CONUEE, 2024), (Sistema Meteorológico Nacional, 2024) y (SENER, 2024).

Contribuciones y resultados alcanzados en la investigación

Este documento, busca ser un referente que los interesados en los temas como eficiencia energética, transferencia de calor que principalmente afectan a la edificación, así como aislamiento térmico, puedan consultar.

Este trabajo también puede constituirse como una guía para quien desee construir TV, los aspectos importantes que deben cuidarse en el proceso, pero también las consideraciones, componentes, pendientes, etcétera.

Las ecuaciones de recta que provienen de la geometría analítica fueron de gran utilidad en este trabajo que, a través de ellas, están representados los consumos de electricidad de los equipos de climatización artificial que se colocaron en los dos techos, tanto el TV como el TRC y con la ecuación de recta en la forma $y=mx+b$, se puede establecer una proyección donde se calcule el consumo de electricidad proyectado en el tiempo.

La aportación principal de este trabajo es demostrar la diferencia en el consumo de electricidad por el uso de climatización artificial bajo dos techos cuya diferencia es que uno tiene TV y el otro no lo tiene, además es importante ubicarse en el lugar geográfico, Tuxtla Gutiérrez que se ubica en el paralelo $16^{\circ} 45'$, ubicado en la zona tropical, cálido subhúmedo, clima Awo, donde se obtuvo una diferencia en el consumo de electricidad del 28%, valor diferente que el 44% de diferencia en el consumo en un trabajo parecido en Reino Unido, diferencia que es atribuible a que son contextos diferentes donde se realizaron ambos trabajos (García E. , 1998) y (Castleton, Stovin, Beck, & Davidson, 2010).

De forma adicional, este trabajo también da cuenta de información del medio físico en Tuxtla Gutiérrez, integrándose información de cada uno de los elementos importantes.

Este trabajo contribuye a incrementar el conocimiento científico, con los razonamientos a través de los resultados en el experimento, se responde a las preguntas que previamente se plantearon en el capítulo 1, introducción al tema de estudio, aportando conocimientos importantes en el tema TV y como conviene su uso masivo que a su vez es estratégico para elevar la eficiencia energética en la edificación usando equipos de climatización artificial.

Restricciones en el contenido del análisis

Muy agradecido por los medidores de electricidad recibidos en donación de CFE, Comisión Federal de Electricidad, cuya construcción atendió la necesidad de proporcionar lecturas que se acumulan con cada día que pasa, la no memoria integrada que posibilite el almacenamiento de información, que caracteriza a estos equipos de medición, mientras que

los equipos para medir temperaturas si brindan esa posibilidad, dicho de otra forma, pudo existir más posibilidad de procesar la información si hubiera habido más compatibilidad en los formatos de entrega de datos de los equipos utilizados, la falta de equipos con más posibilidades y más precisión, no permitió establecer una relación interesante que existe entre la temperatura y el consumo de electricidad, limitación que fue subsanada en parte por el uso de la ecuación de recta proporcionada por la geometría analítica.

Sugerencias para el seguimiento del problema investigado

En el marco de la semana de Arquitectura, Se impartió un curso de TV con estudiantes de licenciatura en Arquitectura interesados en el mismo, en este curso se construyó un TV en la escala 1:1, actividad que permitió el aprendizaje en todos los participantes tanto estudiantes como instructor, pues sin la contratación de mano de obra entrenada, se hicieron pretilas, colocación de impermeabilización previa, colocación de plástico en rollo en capas, capa drenante con botellas de Pet, capa filtrante con fieltro, sustrato vegetal para que al final se colocara vegetación, la realización de este trabajo provocó las actividades en partes, elaboración de morteros, determinación de los materiales necesarios dependiendo de sus proporciones, donde también se corrieron niveles, se acarrearon materiales, hasta que finalmente al colocarse la vegetación, se vio coronada la actividad completa. Esta actividad se constituye como toda una línea importante de continuar.

En la disciplina arquitectónica, este trabajo proporciona una visión más amplia sobre la aplicación que tienen los TV en la Arquitectura y los Beneficios que este brinda al ser humano y al medio ambiente, la economía y la sociedad.

Las mediciones de temperaturas y consumo de electricidad, demostró que usar TV conviene de acuerdo con los aspectos que se revisaron, incluso demostrándose que los TV son mejores que el TRC.

Dentro de las posibilidades para que el problema investigado tenga seguimiento se contempla:

Aumentar el uso de TV en el contexto social, promover el uso de los TV donde ya se tienen equipos de climatización artificial o se tiene programado colocarlos, esta acción fortalecerá la evaluación de la aceptación social de la tecnología de los TV.

Conviene usar TV en todo el planeta tierra, sin embargo, la regionalización de los TV es una tarea importante por realizarse, esa regionalización que incluye la colocación de vegetación originaria, toda vez que es la que ya se encuentra adaptada a las condiciones del lugar, también es importante colocar los TV principalmente con materiales que se encuentren disponibles en el contexto local.

Es absolutamente necesario y deseable aumentar la eficiencia de los equipos de aire acondicionado, donde es importante que se refleje en el consumo de energía eléctrica, misma que se traduce en el consumo

Conclusiones y recomendaciones

de recursos energéticos, es un tema que se debe trabajar, puesto que la elección responsable de los equipos que se usarán en cada caso con sus propias necesidades, preferentemente se deben usar equipos con certificación FIDE.

La composición que se use en el sustrato vegetal es muy importante, pues tendrá repercusiones en el peso total del sistema, requerimientos nutricionales y necesidades de mantenimiento, entre ellos la frecuencia de riego.

La participación multidisciplinaria e interdisciplinaria para atender los aspectos que se han señalado, es esencial y aquí se requiere la integración de un equipo que incluya: ingenieros mecánicos, biólogos, sociólogos, y otras disciplinas que conviene que se integren. Tener un equipo humano compuesto por diferentes disciplinas, seguramente que volverá complejo el proceso y tal vez no se logre lo planteado en una propuesta inicial tal vez con mucha idealización, pero lo que se logre, definitivamente enriquecerá el trabajo y los procesos, toda vez que diferentes visiones serán integradas al proyecto.

Aporte al área del conocimiento

Inicialmente en este libro se aborda el enfoque teórico que lo orienta desde la sustentabilidad, pasando por conocimientos de la arquitectura bioclimática para aterrizar como los antecedentes disciplinarios específicos del tema y en donde también la aplicación de la normatividad existente con relación a la resistencia térmica y los coeficientes que intervienen en el cálculo, posteriormente se hace una compilación de las características contextuales que fueron el escenario de la experimentación plasmada en el libro donde se toman en cuenta características naturales y artificiales que condicionaron los resultados que se describen en el capítulo de resultados, siendo de esta forma que ellos, aparte de expresarse en forma gráfica también se expresan en forma matemática donde con el uso del método de regresión lineal simple se desarrollan los razonamientos para llegar a los resultados plasmados en el libro.

Existen muchos temas importantes aun por trabajarse y que dan pie al desarrollo de nuevos materiales que afectan a los TV y que responden a momentos históricos posteriores, conscientes de que el conocimiento se construye en el tiempo y siempre habrá problemas que resolver y que el nivel de compromiso nos inspira a dar el siguiente paso.





GLOSARIO

1. Ajuste de la metodología de climatología dinámica: modificación que incorpora elementos de eficiencia energética en la construcción, desarrollo de prototipos de techos, elección de sistemas de refrigeración y evaluación del consumo energético eléctrico, la teoría de la climatología dinámica, que se centra en identificar los extremos térmicos dentro de las normas climáticas y realizar mediciones de temperatura durante períodos climáticos representativos, se adapta para facilitar la comparación con las mediciones obtenidas en un día típico experimental (DTE), (Castañeda Nolasco, Ferras Coutiño, Farrera Vázquez, & Jiménez Albores, 2024).
2. Amplitud térmica: diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de temperatura alcanzada por un mismo sistema de techo en un periodo de 24 horas (Castañeda Nolasco, Ferras Coutiño, Farrera Vázquez, & Jiménez Albores, 2024).
3. DTE, día típico experimental: porque son las condiciones recurrentes, día en que se realiza la comparación (González Calderón, Quiroa Herrera, Villanueva Solís, & Llaven José, 2024).
4. Eficiencia energética: Es la capacidad de obtener el mejor desempeño energético utilizando la menor cantidad posible de energía, esto mediante el uso de tecnologías, procesos y prácticas que optimicen su uso, este principio busca la reducción de desperdicios, emisiones y costos, promoviendo el mayor aprovechamiento sustentable de la energía en todos los sectores conforme a las políticas públicas y normativas que promueven la sostenibilidad y el cambio climático (CONUEE, 2024).
5. La temperatura máxima aceptable para los seres humanos, según Auliciems y Szokolay, establece que la temperatura de la piel humana varía entre 31° C y 34° C; por lo tanto, se considera 30° C como el límite (González Calderón, Quiroa Herrera, Villanueva Solís, & Llaven José, 2024)
6. Normales climatológicas: Registros históricos de variables climáticas correspondientes a un período mínimo de 30 años previos a la fecha del estudio (Sistema Meteorológico Nacional, 2024).

7. Periodo cálido de mediciones: Período evaluado durante el experimento en la estación cálida del año (González Calderón, Quiroa Herrera, Villanueva Solís, & Llaven José, 2024).
8. Periodo de mediciones: El intervalo de tiempo evaluado en el experimento fue, como mínimo, de 30 días para poder realizar una comparación.
9. Periodo frío de mediciones: Período observado en el experimento durante la estación fría del año.
10. Periodo representativo climático: periodo contenido en el periodo de mediciones, es cuando la temperatura y humedad relativa son recurrentes (Castañeda Nolasco, Ferras Coutiño, Farrera Vázquez, & Jiménez Albores, 2024).
11. Retardo térmico: unidad de tiempo, diferencia en horas en que los techos comparados alcanzan su temperatura máxima (Roux Gutiérrez & Gallegos Sánchez, 2015).
12. Sobrecalentamiento: temperatura por arriba de la temperatura límite máxima aceptable para el ser humano, que alcanza cada sistema comparado (González Calderón, Quiroa Herrera, Villanueva Solís, & Llaven José, 2024).
13. TCR, TRC: sistema convencional de techo, el 80% de las viviendas lo usa (INEGI, 2023)
14. TSI, Temperatura superficial interior: temperatura de la superficie, medida en el interior del componente de la envolvente (González Calderón, Quiroa Herrera, Villanueva Solís, & Llaven José, 2024)
15. TV, Techo Verde: propuesta evaluada en este trabajo, como un medio para mejorar la eficiencia energética por aire acondicionado en la edificación (Trujillo Samayoa, 2017).


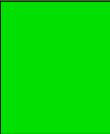






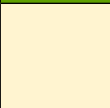





ANEXO

Tabla 31. Carta de climas.

| TIPOS DE CLIMA | | |
|----------------|-------|--|
| CLAVE | COLOR | CARACTERÍSTICAS |
| (A)C(fm) | | Semicálido húmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C. Precipitación del mes más seco mayor de 40 mm; lluvias entre verano e invierno y porcentaje de lluvia invernal menor al 18% del total anual. |
| (A)C(m) | | Semicálido húmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C. Lluvias de verano, precipitación del mes más seco mayor de 40 mm; porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. |
| (A)C(m)(f) | | Semicálido húmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor a 22°C. Precipitación anual mayor a 500 mm y precipitación del mes más seco mayor de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual. |
| (A)C(w1) | | Semicálido subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C. Precipitación del mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% anual. |
| (A)C(w2) | | Semicálido subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C. Precipitación del mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor a 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. |

| TIPOS DE CLIMA | | |
|----------------|---|--|
| CLAVE | COLOR | CARACTERÍSTICAS |
| (A)C(wo) |  | Semicálido subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C. Precipitación del mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T menor a 43.2 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. |
| A(f) |  | Cálido húmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C. Precipitación del mes más seco mayor de 40 mm; lluvias entre verano e invierno mayores al 18% anual. |
| Am |  | Cálido húmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C. Precipitación del mes más seco menor de 60 mm; lluvias de verano y porcentaje de precipitación invernal del 5% al 10.2% del total anual |
| Am(f) |  | Cálido húmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C. Precipitación del mes más seco menor de 60 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual. |
| Aw1 |  | Cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C. Precipitación del mes más seco menor de 60 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55.3 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. |
| Aw2 |  | Cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C. Precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55.3 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. |
| Aw2(x') |  | Cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C. Precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual. |
| Awo |  | Cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C. Precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm; lluvias de verano con índice P/T menor de 43.2 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. |
| BS1(h')w |  | Semiárido cálido, temperatura media anual mayor de 22°C, temperatura del mes más frío mayor de 18°C. Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. |
| BS1hw |  | Semiárido, semicálido, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C. Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. |

| TIPOS DE CLIMA | | |
|----------------|-------|--|
| CLAVE | COLOR | CARACTERÍSTICAS |
| BSlkw | | Semiárido, templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C. Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. |
| BSo(h')w | | Ojo Árido, cálido, temperatura media anual mayor de 22°C, temperatura del mes más frío mayor de 18°C. Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. |
| BSohw | | Árido, semicálido, temperatura entre 18°C y 22°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C. Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. |
| C(f) | | Templado, húmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C. Precipitación en el mes más seco mayor de 40 mm; lluvias todo el año y porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual. |
| C(m) | | Templado, húmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. |
| C(m)(f) | | Templado, húmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual. |
| C(w1) | | Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. |
| C(w2) | | Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual. |
| C(wo) | | Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T menor de 43.2 y porcentaje de precipitación invernal del 5% al 10.2% del total anual. |

| TIPOS DE CLIMA | | |
|----------------|-------|--|
| CLAVE | COLOR | CARACTERÍSTICAS |
| Cb'(m) | | Semifrío, húmedo con verano fresco largo, temperatura media anual entre 5 °C y 12 °C, temperatura del mes más frío entre -3 °C y 18 °C; temperatura del mes más caliente bajo 22 °C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2% del total anual. |
| Cb'(m)(f) | | Semifrío, húmedo con verano fresco largo, temperatura media anual entre 5 °C y 12 °C, temperatura del mes más frío entre -3 °C y 18 °C, temperatura del mes más caliente bajo 22 °C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual. |
| Cb'(w2) | | Semifrío, subhúmedo con verano fresco largo, temperatura media anual entre 5 °C y 12 °C, temperatura del mes más frío entre -3 °C y 18 °C, temperatura del mes más caliente bajo 22 °C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual. |

Nota. García, E. CONABIO."Climas (Clasificación de Köppen, modificado por García)"
 Escala 1:1000,000. México, 1998 (García E. , 1998).





REFERENCIAS

- Aboelata , A. (2021). Evaluación de los beneficios de los techos verdes en el ahorro energético de los edificios mediante la refrigeración de espacios exteriores en diferentes densidades urbanas en ciudades áridas. *Science*, 129. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119514>
- Álvarez Marqués, J. L., Hernández perla, P. F., & Prieto Hernández, C. L. (2023). Beneficio productivo, económico-social. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 17(1). <https://www.redalyc.org/journal/1939/193974540001/193974540001.pdf>
- Andreoni Trentacoste, S. (2024). CARACTERIZACIÓN DE HÁBITOS DE USO Y GESTIÓN DE VIVIENDAS EN UNA CIUDAD DE CLIMA ÁRIDO. CONSTRUCCIÓN DE PERFILES DE COMPORTAMIENTO: EN CUANTO AL DESEMPEÑO TERMOENERGÉTICO. *CUADERNO URBANO*. Espacio,cultura, sociedad, 39(39 91 114), 91 - 114. <https://doi.org/https://doi.org/10.30972/crn.39397895>
- Auliciems, A., y Szokolay, S. V. (1999). Thermal Comfort. PLEA: *Passive and Low Energy Architecture, Department of Architecture. University of Queensland*.
- Cabrera, S., Guillarducci, A., González, D., & Suarez, M. (2023). EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE. *Revista Hábitat Sustentable*, 13(1), 08-19. <https://doi.org/https://doi.org/10.22320/07190700.2023.13.01.01>
- Calderón, J., Lara, A., & Campoverde, J. A. (2025). Hacia un Futuro Sostenible: Políticas y Perspectivas de Energías Alternativas. *SCT Proceedings in Interdisciplinary Insights and Innovations*, 3. doi:<https://doi.org/10.56294/piii2025415>
- Calixto Aguirre, V. I., & Huelsz Lesbros, G. (11 de 05 de 2018). Consumo de energía en edificios en México. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*(núm. 24,), 40-47. Recuperado el 22 de 01 de 2026, de <https://www.redalyc.org/journal/4779/477957975006/html/>
- Cabrera, S., Guillarducci, A., González, D., & Suarez, M. (2023). EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE. *Revista Hábitat Sustentable*, 13(1), 08-19. doi:<https://doi.org/10.22320/07190700.2023.13.01.01>

Referencias

- Carrier. (17 de Diciembre de 2024). Manual de Instalación, Usuario y Control Remoto. Ciudad de México, Ciudad de México, México. Obtenido de <https://www.carrier.com.mx/>: <https://www.carrier.com.mx/>
- Castleton, H. F., Stovin, V., Beck, S. B., & Davidson, J. B. (2010). Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Energy and Buildings, Volume 42, Issue 10*, 1582-1591.
- Castañeda Nolasco, G., Ferras Coutiño, H., Farrera Vázquez, N., & Jiménez Albores, J. L. (2024). Tecnología para techo de vivienda de producción social. *Academia XXII, 15(30)*, 317-333. doi:<https://doi.org/10.22201/fa.2007252Xp.2024.15.30.90234>
- Castañeda, G., & Vecchia, F. (2007). Sistema de techo alternativo para vivienda progresiva en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Mexico. *Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY*, 21-30.
- Castillo Quimis, E. L., Mite Pezo, J. A., & Pérez Arévalo, J. J. (2019, Julio). INFLUENCIA DE LOS MATERIALES DE LA ENVOLVENTE EN EL CONFORT TÉRMICO DE LAS VIVIENDAS. *Revista Universidad y Sociedad, 11(4)*. doi:<http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v11n4/2218-3620-rus-11-04-303.pdf>
- CNA. (2024). *Sistema Meteorológico Nacional; Comisión Nacional del Agua*. Obtenido de <http://smn.cna.gob.mx/observatorios/ManualObservador.pdf>
- CONUEE. (03 de 07 de 2024). *Gobierno de México*. Obtenido de Consejos sobre ahorro de energía en tu casa: <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/consejos-sobre-ahorro-de-energia-en-tu-casa>
- López González, B. G., Camacho, A. D., Martínez Rodríguez, M. C., & Marcelino Aranda, M. (2020). Techos verdes: una estrategia sustentable. *Tecnología en Marcha,, 33(3)*, 68-79. doi:<https://doi.org/10.18845/tm.v33i3.4389>
- Álvarez Marqués, J. L., Hernández perla, P. F., & Prieto Hernández, C. L. (2023). Beneficio productivo, económico-social. *Revista de Arquitectura e Ingeniería, 17(1)*. Retrieved from <https://www.redalyc.org/journal/1939/193974540001/193974540001.pdf>
- Aboelata, A. (2021). Evaluación de los beneficios de los techos verdes en el ahorro energético de los edificios mediante la refrigeración de espacios exteriores en diferentes densidades urbanas en ciudades áridas. *Science, 129*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119514>
- Andreoni Trentacoste, S. (2024). CARACTERIZACIÓN DE HÁBITOS DE USO Y GESTIÓN DE VIVIENDAS EN UNA CIUDAD DE CLIMA ÁRIDO. CONSTRUCCIÓN DE PERFILES DE COMPORTAMIENTO: EN CUANTO AL DESEMPEÑO TERMOENERGÉTICO. *CUADERNO URBANO. Espacio,cultura, sociedad, 39(39 91 114)*, 91 - 114. doi:<https://doi.org/10.30972/crn.39397895>
- Auliciems, A., & Szokolay, S. V. (1999). Thermal Comfort. *PLEA: Passive and Low Energy Architecture, Department of Architecture. University of Queensland*.
- Dauda, I., & Zafer Alibaba, H. (2020). Green Roof Benefits Opportunities And Challenges. *International Journal of Civil and Structural Engineering Research, 7*, 106-112. Obtenido de <https://www.researchgate>.

Referencias

- net/publication/338231117_GREEN_ROOF_BENEFITS_OPPORTUNITIES_AND_CHALLENGES
- García, E. (1998). Climas (Clasificación de Köppen, modificado por García) Escala 1:1000,000. México: CONABIO.
- García, V. I. (2010). Beneficios de los Sistemas de Naturación. *Semana Nacional de Energía Solar, 2010, (SNES2010-ABC-022)*, 221-232. Retrieved from http://www.paginaspersonales.unam.mx/files/251/BENEFICIOS_SISTEMAS_NATURACION_ILSE.pdf
- Gay, C., Estrada, F., & Martínez, B. (2010). Cambio climático y estadística oficial. *Realidad datos y espacio*, 7.
- Gomez Azpetia, G., Borjoquez Morales, G., & Ruiz Torres, R. P. (2007). Comfort termico: Dos enfoques teoricos enfrentados. *Palapa*, 2(1), 45-57.
- González Calderón, A. J., Quiroa Herrera, J. A., Villanueva Solís, J., & Llaven José, H. (2024). Habitabilidad térmica en espacios educativos para infantes. *Arquitectura +*, 9(17). doi:<https://doi.org/10.5377/arquitectura.v9i17.18220>
- Guillén Guillén, C. A., & Muciño Vélez, A. (21 de 03 de 2020). Ahorro energético en vivienda social mediante la implementación de materiales regionales. *Vivienda y Comunidades Sustentables*(8), 59-80., doi:<https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i8.142>
- H. Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez. (2024). *Tuxtla 2030, La Agenda estratégica de nuestra ciudad*. Tuxtla Gutierrez, Chiapas: H. Ayuntamiento Municipal de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Obtenido de <http://www.tuxtla.gob.mx/iciplam/descargas/Tuxtla2030.pdf>
- <https://www.wunderground.com/>. (11 de Noviembre de 2024). <https://www.wunderground.com/>. Obtenido de <https://www.wunderground.com/>: <https://www.wunderground.com/>
- IGRA. (2015 йил 14-Septiembre). *International Green Roof Association*. Retrieved from <http://www.igra-world.com/>
- INECC. (04 de Septiembre de 2025). *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climatico*. Obtenido de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/685/inventario.pdf>
- INEGI. (2018). *PRIMERA ENCUESTA NACIONAL SOBRE CONSUMO DE ENERGÉTICOS*. INEGI. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2018/EstSociodemo/ENCEVI2018.pdf>
- INEGI. (2020). *Censo de Población y Vivienda, 2010*. INEGI.
- INEGI. (2023). *Aspectos Geograficos de Chiapas*. INEGI. Obtenido de https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/889463915768.pdf
- Instituto Ciudadano de Planeacion. (25 de Enero de 2024). Obtenido de <http://decalogopublicidad.com/Tuxtla2030.pdf>
- Instituto de Desarrollo Sostenible. (2024). *Gases y efecto invernadero*. Obtenido de Local2030: <http://2gasesoramiento.blogspot.com/2016/02/caso-real-cuantos-arboles-necesito.html>
- Jia, S., Weng, Q., Yoo, C., Xiao, H., & Zhong, Q. (2024). Building energy savings by green roofs and cool roofs in current and future climates. *npj Urban Sustainability*, 4(23). doi:<https://doi.org/10.1038/s42949-024-00159-8>

Referencias

- McQuiston, F. C., Parker, J. D., & Spitler, J. D. (2010). *Heating, Ventilating and Air Conditioning, Analysis and Design*. New York: John Wiley & Sons, LTD.
- Mohsen, S., Hosseinzadeh, M., Bruce, D., Farzaneh, B., Hamid, S., & Nasrin, A. (2022). Sustainable green roofs: a comprehensive review of influential factors. *Environmental Science and Pollution Research*. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-022-23405-x>
- NASA. (2024). *Temperatura global*. Obtenido de Ciencia NASA: <https://ciencia.nasa.gov/cambio-climatico/temperatura-global/>
- ONNCCE. (2009). *Industria de la Construcción Aislamiento térmico valor "R" para las envolventes de vivienda por zona térmica para la República Mexicana especificaciones y verificación*. México D. F.: ONNCCE.
- Onset. (28 de Noviembre de 2023). <https://www.onsetcomp.com/products/>. Obtenido de <https://www.onsetcomp.com>: <https://www.onsetcomp.com/products/software/hoboware>
- Onset. (28 de Noviembre de 2023). <https://www.onsetcomp.com/resources/documentation/>. Obtenido de <https://www.onsetcomp.com>: <https://www.onsetcomp.com/sites/default/files/resources-documents/13128-C%20U12-012%20Manual.pdf>
- Onset. (28 de Noviembre de 2023). Manual de usuario del datalogger modelo U12-012. Beourne, Massachusetts, EUA. Obtenido de <https://www.onsetcomp.com/>: <https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u23-001a>
- Organizacion de las Naciones Unidas. (2024). *INFORME FINAL. Resultados y conclusiones de la COP29, Bakú, Azerbaiyán*. Organizacion de las Naciones Unidas. Obtenido de <https://www.un.org/es/climatechange/cop29>
- Petrone, P. (2020). Cambio climático y su impacto sobre la salud humana. *Revista Colombiana de Cirugía*, 35(3), 347-350. doi: <https://doi.org/10.30944/20117582.723>
- Picquart, M., & Carrasco Morales, I. (2017). De la temperatura y su medición. *Latin-American Journal of Physics Education*, 11(1), 1310/1-1310/12. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6019786>
- Quiroa Herrera, J. A., Castañeda Nolasco, G., & Villanueva Solís, J. (2020). La cubierta verde como estrategia de mitigación en vivienda social ante el cambio climático. *Infraestructura verde y planeación urbana para el desarrollo urbano sustentable*, 85-113. doi:<https://doi.org/10.47386/20203007BA4>
- Rincón Martínez, J., Martínez Torres, K. E., González Trevizo, M. E., & Fernández Melchor, F. (2020). Modelos matemáticos para estimar el confort térmico adaptativo en espacios interiores: Un estudio en la transición térmica de Ensenada, BC. *Ingeniería Revista Académica de la Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Yucatán*, 24(1), 1-17. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Julio-Rincon-5/publication/341480103_Modelos_matematicos_para_estimar_el_confort_termico_adaptativo_en_espacios_interiores_Un_estudio_en_la_transi-

Referencias

- cion_termica_de_Ensenada_BC/links/5ec3896892851c11a874223f/Modelos-matem
- Roux Gutiérrez, R. S., & Gallegos Sánchez, D. P. (2015). Construcción Sustentable Análisis de Retardo Térmico a Bloque de Tierra Comprimidos. *Revista de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Nuevo León*, 9(11). Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3536/353642518005.pdf>
- Ruiz Torres, R. P. (2019). Evaluación del sistema termolosa entre la medición. *Vivienda y Comunidades Sustentables*(6), 119-136. doi:DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i6.126>
- SENER. (2024). *Balance nacional de energía 2024*. Obtenido de Secretaría de Energía (SENER): https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/1047704/Balance_Nacional_de_Energ_a_2024.pdf
- SENER, a. (2024). *Indicadores de eficiencia energética en el sector residencial*. México D. F.: Secretaría de Energía. Obtenido de [http://www.energia.gob.mx/taller/res/1859/2_Ximena%20Fernandez\(SENER\)_Indicadores_Sector_Residencial.pdf](http://www.energia.gob.mx/taller/res/1859/2_Ximena%20Fernandez(SENER)_Indicadores_Sector_Residencial.pdf)
- SENER, b. (2011). *NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones, Envoltante de edificios para uso habitacional*. México: Diario oficial.
- Sierra Ramírez , E., & Andrade Castañeda, H. J. (2020). Impacto de buenas prácticas en el uso de electrodomésticos eficientes en la. *Ambiente y Desarrollo* , 24(47). doi: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd24-47.ibpu>
- Sistema Meteorológico Nacional. (16 de 01 de 2026). *Sistema Meteorológico Nacional*. Recuperado el 22 de 01 de 2026, de smn.conagua: https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales_Climatologicas/Normales8110/chis/nor8110_07165.txt
- Sistema Meteorológico Nacional. (25 de Diciembre de 2024). *Sistema Meteorológico Nacional (SMN); Comisión Nacional del Agua (CNA)*. Obtenido de <http://smn.cna.gob.mx/observatorios/historica/tuxtla.pdf>
- Sommese, F., & Lorenzo , D. (2025). A holistic framework for the implementation of green roofs on existing buildings: A case study in the Mediterranean climate of Naples. *Building and Environment*, 274. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.112811>
- Tadiran. (28 de Noviembre de 2023). *MODEL TLH-5902*. Obtenido de <https://tadiranbat.com>: <https://tadiranbat.com/wp-content/uploads/2022/03/tlh-5902.pdf>
- Tejeda, A., Alvarez, C., & Treviso, V. (2008). Climate change scenarios of extreme temperatures and atmospheric humidity for México. *Atmósfera*, 357-372. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/565/56512095004.pdf>
- Trujillo Samayoa, R. (2017). *Eficiencia Energética en las Edificaciones en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, usando Techos Verdes (TV)*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México: Universidad Autónoma de Chiapas. doi:<https://www.repositorio.unach.mx/jspui/bitstream/123456789/3077/1/RIBC151424.pdf>

Referencias

- Trujillo Samayoa, R., Rangel Martínez, Y., & Castañeda Nolasco, G. (2015, Abril 9). Desempeño Térmico del Techo verde, una alternativa viable para la edificación, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Legado de Arquitectura y Diseño*, 103-114. Retrieved Noviembre 4, 2024, from <https://legadodearquitecturaydiseno.uaemex.mx/article/view/14810>
- Trujillo Samayoa, R., Rangel Martínez, Y., & Castañeda Nolasco, G. (2015, Octubre 17). Potencial del Techo Verde, para ahorrar electricidad por aire acondicionado en la edificación. *Nova Scientia*, 7(15), 577-596. doi:<https://doi.org/10.21640/ns.v7i15.389>
- Vecchia, F. (1997). *Clima e Ambiente Construido Tese (Doutorado)*. São Paulo: Universidad de São Paulo.
- Yuanfan, Z., & Liang, C. (2024). Modeling the Effect of Green Roofs for Building Energy Savings and Air Pollution Reduction in Shanghai. *Sustainability*(16). doi:<https://doi.org/10.3390/su16010286>
- Zhang, X., Jiao, Z., Zhao, C., Qu, Y., Liu, Q., Zhang, H., & Cui, L. (2022). Review of Land Surface Albedo: Variance Characteristics, Climate Effect and Management Strategy. *Remote Sensing*, 14, 1-28. doi:<https://doi.org/10.3390/rs14061382>

Techos Verdes
en clima cálido subhúmedo
Monitoreo experimental

Primera edición 2026

El cuidado de la edición estuvo a cargo del Departamento Editorial
de la Dirección General de Difusión y Vinculación de la Universidad
Autónoma de Aguascalientes.
libros.uaa.mx