



UNIVERSIDAD DE SONORA  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y MINAS  
DOCTORADO EN INGENIERÍA CIVIL



# “Eficiencia Energética en las Edificaciones en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, usando Techos Verdes (TV)”

Tesis que para obtener el grado de  
**Doctor en Ingeniería Civil**

Presenta:

M.A.U. Ruber Trujillo Samayoa

Directora de tesis:

Dra. Yamile Rangel Martínez.

Hermosillo, Sonora, Mayo de 2017



UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DOCTORADO INTERINSTITUCIONAL EN INGENIERÍA CIVIL  
DEL CONSORCIO DE UNIVERSIDADES MEXICANAS (CUMex)

---

## **“Eficiencia Energética en las Edificaciones en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, usando Techos Verdes (TV)”**

Tesis que para obtener el grado de:

**Doctor en Ingeniería Civil**

Con Área Disciplinaria en: Ingeniería de la Construcción Sustentable

Presenta:

**M.A.U. Ruber Trujillo Samayoa**

Comité Doctoral:

Dra. Yamile Rangel Martínez; (Directora; Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo)

Dra. Ana Cecilia Borbón Almada; (Co-Directora; Universidad de Sonora)

Dr. Dagoberto Burgos Flores; (Asesor; Universidad de Sonora)

Dra. Liliana G. Lizárraga Mendiola; (Asesora; Universidad Autónoma del estado de Hidalgo)

Dr. Israel Miranda Pasos; (Asesor; Universidad de Sonora)

Hermosillo, Sonora, Mayo de 2017

# COMITÉ DOCTORAL DE EVALUACIÓN



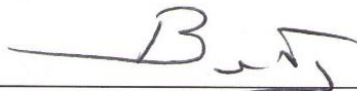
---

**Dra. Yamile Rangel Martínez**  
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo  
**Presidente / Directora**



---

**Dra. Ana Cecilia Borbón Almada**  
Universidad de Sonora  
**Secretaria / Co-directora**



---

**Dr. Dagoberto Burgos Flores**  
Universidad de Sonora  
**Primer vocal / Asesor**



---

**Dra. Liliana G. Lizárraga Mendiola**  
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo  
**Segundo vocal / Asesora**



---

**Dr. Israel Miranda Pasos**  
Universidad de Sonora  
**Tercer vocal / Asesor**



# UNIVERSIDAD DE SONORA

"El Saber de Mis Hijos  
Hará Mi Grandeza"

## ACTA DE EXAMEN DE GRADO

En la ciudad de Hermosillo, Sonora, siendo las 18:00 horas del día 24 de mayo de 2017, se reunieron en Aula Magna "Ing. Víctor Manuel Martínez Montaña" de la Universidad de Sonora, los integrantes del jurado:

DRA. YAMILE RANGEL MARTINEZ  
DRA. LILIANA GUADALUPE LIZARRAGA MENDIOLA  
DR. ISRAEL MIRANDA PASOS  
DR. DAGOBERTO BURGOS FLORES  
DRA. ANA CECILIA BORBON ALMADA



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**  
**RUBER TRUJILLO  
SAMAYOA**  
212190130

bajo la presidencia del primero y fungiendo como secretario el último, para realizar el examen de grado del programa de Doctorado en Ingeniería Civil, a:

### RUBER TRUJILLO SAMAYOA

quien de acuerdo a la opción de examen de grado presentó un trabajo de investigación titulado  
"EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS EDIFICACIONES EN TUXTLA GUTIÉRREZ,  
CHIAPAS, USANDO TECHOS VERDES (TV)"

El jurado, después de debatir entre sí reservada y libremente, emitió el siguiente dictamen:

APROBADO POR UNANIMIDAD

y para constancia se levantó la presente acta.

Acta: 4  
Foja: 4  
Libro: 1

**DR. DAGOBERTO BURGOS FLORES**, Coordinador del Programa de Doctorado en Ingeniería Civil de la Universidad de Sonora, hace constar que las firmas que anteceden corresponden al jurado que intervino en el examen de grado.

Hermosillo, Sonora, a 24 de mayo de 2017

**DR. DAGOBERTO BURGOS FLORES**  
Coordinador de programa

**DRA. YAMILE RANGEL MARTINEZ**  
Presidente

**DRA. ANA CECILIA BORBON ALMADA**  
Secretario

**DRA. LILIANA GUADALUPE LIZARRAGA MENDIOLA**  
Sinodal externo

**DR. ISRAEL MIRANDA PASOS**  
Sinodal

**DR. DAGOBERTO BURGOS FLORES**  
Sinodal





Sede Académica

# UNIVERSIDAD DE SONORA



## DIVISIÓN DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y MINAS Doctorado en Ingeniería Civil

Programa Interinstitucional del Consorcio de Universidades Mexicanas (CUMex)

### *Toma de Protesta*

*"El Doctor Interinstitucional en Ingeniería Civil del CUMex cuenta con una formación de alto nivel que lo habilita para generar conocimiento, dirigir y coordinar grupos de trabajo, aplicar y hacer aplicar las técnicas de solución que faciliten el alcance de los objetivos. Está capacitado para coordinar programas integrales de desarrollo con base en una sólida formación técnico-científica, que lo habilita para el trabajo interdisciplinario, desarrollado a partir de la adquisición de conocimientos en varias disciplinas y de la interacción con discípulos que poseen experiencias de trabajo y formación académica variada. Cuenta, además, con la formación metodológica que lo capacita para realizar investigaciones originales en el campo de la ingeniería civil, contribuyendo en todo momento a la generación de bienestar social y desarrollo económico de una región"*

### **C. RUBER TRUJILLO SAMAYOA**

*Al haber obtenido el grado de Doctor en Ingeniería Civil, se le pregunta lo siguiente:*

*¿Protesta Usted?:*

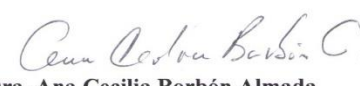
- *¿Ejercer el grado de Doctorado en Ingeniería Civil, con honradez, constancia y espíritu de servicio, para el beneficio de nuestra sociedad y el engrandecimiento de nuestro país?*
- *¿Poner en alto el nombre del Departamento de Ingeniería Civil y Minas de la Universidad de Sonora, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas y del Consorcio de Universidades Mexicanas?*
- *¿Y a trabajar por la dignificación y progreso de la profesión brindando siempre a la Universidad la ayuda material, intelectual y de cualquier otra índole que ésta requiera para el mejoramiento de la enseñanza?*

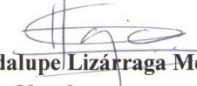
*Sí... ¡Protesto!*

*Si así lo hicieréis, que la sociedad, El Departamento de Ingeniería Civil y Minas de la Universidad de Sonora, La Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas y el Consorcio de Universidades Mexicanas, os lo premien... y si nó: ¡que os lo demanden!*


**JURADO**

  
**Dra. Yamile Rangel Martínez**  
Presidente

  
**Dra. Ana Cecilia Borbón Almada**  
Secretario

  
**Dra. Liliana Guadalupe Lizárraga Mendiola**  
Vocal

  
**Dr. Israel Miranda Pasos**  
Vocal

  
**Dr. Dagoberto Burgos Flores**  
Vocal

Hermosillo Sonora, Mayo 24, 2017.

## Resumen

TRUJILLO, Samayoa Ruber (2016). Eficiencia energética en las edificaciones en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, usando Techos Verdes (TV). Tesis (Doctorado)–Programa de Doctorado en Ingeniería Civil, Programa Interinstitucional del Consorcio de Universidades Mexicanas, (CUMex), Universidad de Sonora, (USON), Hermosillo, Sonora.

Tanto en México como en el mundo, más de tres cuartas partes de los insumos que se usan en la producción de electricidad provienen de fuentes no renovables, en una realidad donde los techos de las edificaciones son responsables de un consumo importante de electricidad por el uso de aire acondicionado. Por lo anterior, el objetivo fue evaluar el aspecto térmico y la eficiencia en el consumo de electricidad de dos equipos de aire acondicionado colocados, bajo el Techo de concreto reforzado y el Techo verde, y a la vez utilizar a la geometría analítica como herramienta de análisis en el consumo de electricidad.

Aunque inicialmente la metodología de la climatología dinámica, fue desarrollada para el análisis térmico, en este trabajo se retomó para aplicarlo al consumo eléctrico y conjuntándolo con el apoyo de la geometría analítica, a través de ecuaciones de recta que representan promedios anuales, se evidenció las diferencias en el consumo.

Los resultados obtenidos demuestran que el Techo verde amortigua mejor las temperaturas exteriores, reduce la oscilación térmica y; en el consumo eléctrico, con una diferencia promedio anual de un 28%, el Techo Verde consumió menos energía eléctrica por aire acondicionado.

Se demuestra que conviene el uso de techos verdes en el sitio de estudio y posibilita su aplicación en otros contextos. El trabajo se realizó en periodos de temperaturas extremas opuestas, invierno de 2014 y primavera de 2015.

Palabras clave: Techo Verde, envolvente, edificación, adaptación al contexto.

## Abstract

TRUJILLO, Samayoa Ruber (2015). Energy efficiency in buildings in Tuxtla Gutierrez, Chiapas, Mexico, Using green roofs (TV). Thesis (Doctorate)-Programme Doctorate in Civil Engineering, Interagency Program of Consortium of Mexican Universities, CUMex, University of Sonora, USON, Hermosillo, Sonora.

In Mexico and in the world, more than three quarters of the inputs used in the electricity production come from non-renewable sources, in a reality where roofs of buildings are responsible for a significant consumption of electricity due to air conditioning. Therefore, the objective of this work was to evaluate the thermal aspect and efficiency in electricity consumption in a site where two air conditioners were placed under a reinforced concrete roof and green roof, and at the same time use analytical geometry as a tool for electricity consumption analysis.

Although, the methodology of dynamic weather was developed for thermal analysis, this work was focused to be applied for electricity consumption together with the support of analytical geometry, through linear equations representing annual averages, where differences in consumption were evidenced.

The obtained results demonstrate that green roof minimize external temperatures; reduce thermal oscillation and; electricity consumption, with an average difference of 28%, decreasing the electricity consumed by air conditioning.

Therefore, we demonstrate the convenience of using green roofs like in this study case, and the possibility of applications in other contexts. This work was done in periods of opposite extreme temperatures, winter 2014 and spring 2015.

Keywords: Green Roof, envelope, building, adaptation to the context.

Agradecimientos a:

1. **Dios**, por darme la salud, el entendimiento, los recursos y por poner a las personas que me apoyaron en el desarrollo de los estudios doctorales y el desarrollo de este trabajo.
2. **Mi familia**, esposa (Eunice), hijos (Daniella, Ruber), madre (Esther), por que vivieron conmigo las victorias y dificultades encontradas en el camino y asumieron los costos, hasta la conclusión para recibir atención completa.
3. **Dra. Yamile Rangel Martínez, Dra. Ana Cecilia Borbón Almada, Dra. Liliana G. Lizárraga Mendiola, Dr. Dagoberto Burgos Flores y Dr. Israel Miranda Pasos**, por el acompañamiento en el desarrollo del trabajo, revisión del documento final, recibirme en su institución para asesorías y revisiones del trabajo y por su amistad.
4. **Dr. Gabriel Castañeda Nolasco**, por asesorarme en el trabajo, compartir conmigo sus conocimientos y experiencia, por supuesto su amistad, también a los **integrantes** del cuerpo académico Componentes y Condicionantes de la Vivienda (**COCOVI**), por acuerparme en el proyecto.
5. **Universidad Autónoma de Chiapas**, a través del **Dr. Franco Escamiroso Montalvo** y la **Dra. María Elena Culebro Mandujano** actualmente (Director General de Investigación y Posgrado), por todos los recursos recibidos en el proyecto Doctoral y por creer en mí para formarme en este nivel.
6. **Facultad de Arquitectura, autoridades, compañeros, servidores sociales** por su apoyo, compañerismo y amistad.
7. **Doctorado en Ingeniería Civil, Autoridades, Profesores y compañeros**, gracias por caminar conmigo este camino.



## Contenido del Trabajo.

No.	Capítulo	Página
	Resumen	I
	Abstract	II
	Lista de figuras	VI
	Lista de tablas	VIII
	Publicaciones	X
	Presentación	XII
1.	Capítulo 1. Introducción	1
1.1.	Descripción del problema	3
1.2.	Justificación	8
1.3.	Antecedentes disciplinarios aplicables	10
1.4.	Objetivos del estudio	16
1.4.1.	Objetivos generales del trabajo	16
1.4.2.	Objetivos particulares	16
1.5.	Planteamiento de hipótesis	17
1.6.	Marco teórico.	18
1.6.1.	Conceptos.	18
1.6.2.	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"	20
1.6.3.	Tipos de techos verdes	25
1.6.3.1.	Intensivos	25
1.6.3.2.	Extensivos	27
1.6.4.	Componentes de los techos verdes.	28
1.6.5.	Comparación de los TV con otras opciones de aislantes existentes en el mercado.	31
2.	Capítulo 2. Materiales y Métodos	33
2.1.	Materiales	34
2.1.1.	Contexto físico	34
2.1.1.1.	Contexto físico natural	34
2.1.1.1.1.	Fauna	34
2.1.1.1.2.	Flora	35
2.1.1.1.3.	Clima	36
2.1.1.1.3.1.	Temperatura	37
2.1.1.1.3.2.	Humedad	41
2.1.1.1.3.3.	Presión atmosférica	43
2.1.1.1.3.4.	Vientos	45
2.1.1.1.3.5.	Precipitación	47
2.1.1.2.	Contexto físico artificial	49
2.1.1.2.1.	Pavimentación	50
2.1.1.2.2.	Edificación	51
2.1.1.2.3.	Crecimiento urbano	52

2.1.2.	Condiciones específicas del experimento.	53
2.1.2.1.	Celdas de experimentación	53
2.1.2.1.1.	Piso y envolventes.	55
2.1.2.1.2.	Techos.	55
2.1.2.1.2.1.	TCR Y TV.	55
2.1.2.2.	Equipo de apoyo.	56
2.1.2.2.1.	Equipos de climatización artificial.	56
2.1.2.2.2.	Equipo de medición de energía eléctrica.	57
2.1.2.2.3.	Equipo de medición de temperaturas.	58
2.1.2.2.4.	Equipos de medición de temperaturas interiores.	59
2.1.2.2.5.	Equipos de medición de temperaturas Exteriores.	60
2.2.	Métodos.	64
2.2.1.	Norma mexicana NMX-C-460-ONNCCE-2009.	64
2.2.2.	Metodología de la climatología dinámica	66
2.3.	Discusión	68
3.	Resultados	72
3.1.	Periodo de mediciones.	73
3.1.1.	El Contexto.	73
3.1.2.	Resultados.	77
3.1.3.	TSI.	77
3.2.	Consumo eléctrico.	78
3.3.	Fluctuaciones posibles de los resultados por afectaciones de sombras y otros parámetros.	81
3.4.	Evaluación de las celdas experimentales con la norma mexicana NMX-C-460-ONNCCE-2009, "Industria de la construcción-aislamiento térmico-valor "R".	87
3.4.1.	Celdas de evaluación.	87
3.4.2.	Descripción de la envolvente.	87
3.4.3.	Techo.	87
3.4.4.	Paso 1 Identificación de conductividades térmicas.	88
3.4.5.	Paso 2 Cálculo de las resistencias totales.	89
3.4.6.	Paso 3 Identificación de la zona térmica correspondiente.	91
3.4.7.	Paso 4 Identificación del nivel de cumplimiento.	91
3.4.8.	Paso 5 Comparación de los resultados obtenidos.	92
4.	Capítulo 4. Conclusiones.	94
4.1.	Conclusiones generales y particulares del estudio.	95
4.2.	Aportaciones y alcances obtenidos en el estudio.	99
4.3.	Limitaciones en el contenido del estudio.	101
4.4.	Recomendaciones para el seguimiento del problema investigado.	102
	Bibliografía	104
	Anexos	108

Lista de figuras		
No.	Descripción	Página
Figura 1.1	Crecimiento poblacional de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, (1940-2010), fuente: elaborado con datos de INEGI, Censo General de Población y Vivienda, de 1940 a 2010.	4
Figura 1.2	Temperaturas Globales Anuales de 1980 a 2010, fuente: elaborado con datos de (NOAA, 2015).	7
Figura 1.3	En México, consumo de energía eléctrica por aire acondicionado, fuente: (SENER a. , 2015).	8
Figura 1.4	Aislamiento estructurado y ecuación.	21
Figura 1.5	Ejemplo de aislamiento estructurado.	22
Figura 1.6	Zonas térmicas de la República mexicana, fuente: (ONNCCE, 2009).	23
Figura 1.7	Techo verde intensivo en el medio urbano, fuente, tomado de (IGRA, 2015).	26
Figura 1.8	Techo verde semi-intensivo.	27
Figura 1.9	Techo verde extensivo, en una vivienda experimental para la población de escasos recursos, ubicada en terrenos de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas.	28
Figura 1.10	Esquema de los componentes de un sistema típico de naturación en cubiertas, fuente, tomado de (García, 2010).	29
Figura 2.1	Culebra de agua y Chachalaca.	35
Figura 2.2	Árbol de Chicozapote, Guanacaste y Cedros.	35
Figura 2.3	Temperaturas por mes, fuente: elaborado con datos de (SMN, 2015).	39
Figura 2.4	Temperaturas horarias por mes, fuente: elaborado con datos de (SMN, 2015).	39
Figura 2.5	Horas frío, Horas calor, fuente: elaborado con datos de (SMN, 2015).	40
Figura 2.6	Confort Horario ° C, fuente: elaborado con datos de (SMN, 2015).	40
Figura 2.7	Isohigra %.	41
Figura 2.8	Humedad relativa media, fuente: elaboración propia con datos del sistema meteorológico nacional.	42
Figura 2.9	Presión Atmosférica, fuente: elaboración propia con datos del sistema meteorológico nacional.	44
Figura 2.10	Velocidades promedio de vientos, fuente: elaboración propia con datos del sistema meteorológico nacional.	46
Figura 2.11	Dirección predominante de vientos, fuente: Tomado de <a href="http://www.weatherunderground.com">www.weatherunderground.com</a>	46
Figura 2.12	Precipitación, fuente: elaboración propia con datos del sistema meteorológico nacional.	48
Figura 2.13	Vialidad por tipo de pavimento, fuente: Elaborado con datos del H. Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.	50
Figura 2.14	Fotografía Aérea, fuente: Google Earth y Edificación, fuente: <a href="http://pgje.chiapas.gob.mx">pgje.chiapas.gob.mx</a>	51

Figura 2.15	Celdas de experimentación TCR Y TV.	53
Figura 2.16	Vista fugada de las dos celdas de experimentación.	54
Figura 2.17	Volumen de aire interior de las dos celdas de experimentación.	54
Figura 2.18	Plantas arquitectónicas de las celdas de experimentación TCR y TV.	54
Figura 2.19	Sección unitaria de TCR y refuerzo de acero corrugado.	55
Figura 2.20	Sección de TV y componentes.	56
Figura 2.21	Equipos de refrigeración marca Carrier, fuente: <a href="http://www.carrier.com/">http://www.carrier.com/</a>	57
Figura 2.22	Equipos de refrigeración colocados en las celdas de experimentación.	57
Figura 2.23	Equipos de refrigeración colocados en las celdas de experimentación.	57
Figura 2.24	Medidores de energía con sistema de medición inteligente de autogestión, fuente: <a href="http://www.iusa.com/">http://www.iusa.com/</a>	58
Figura 2.25	Equipo Hobo data logger, modelo U12-012 fuente: <a href="http://www.onsetcomp.com/">http://www.onsetcomp.com/</a>	59
Figura 2.26	Interior Hobo data logger, modelo U12-012, fuente: <a href="http://www.onsetcomp.com/">http://www.onsetcomp.com/</a>	59
Figura 2.27	Cable termopar sensor/sonda de temperatura, fuente: <a href="http://www.onsetcomp.com/">http://www.onsetcomp.com/</a>	60
Figura 2.28	Batería CR2032 de litio, fuente: <a href="http://www.onsetcomp.com/">http://www.onsetcomp.com/</a>	60
Figura 2.29	Carcasa para sensor externo, fuente: <a href="http://www.onsetcomp.com/">http://www.onsetcomp.com/</a>	61
Figura 2.30	Hobo Pro v2 Loggers U23-001, fuente: <a href="http://www.onsetcomp.com/">http://www.onsetcomp.com/</a>	61
Figura 2.31	Batería tamaño 1/2AA de 3.6 volts marca Tadiran.	61
Figura 2.32	Transportador de información, fuente: <a href="http://www.onsetcomp.com/">http://www.onsetcomp.com/</a>	62
Figura 2.33	Interfaz USB óptica, fuente: <a href="http://www.onsetcomp.com/">http://www.onsetcomp.com/</a>	63
Figura 2.34	Software hobo ware pro, fuente: <a href="http://www.onsetcomp.com/">http://www.onsetcomp.com/</a>	63
Figura 2.35	Representación esquemática de la NMX-C460-ONNCCE-2009, fuente: (ONNCCE, 2009).	65
Figura 2.36	Esquema de la metodología de la climatología dinámica, fuente: (Vecchia, 1997).	66
Figura 2.37	Esquema metodológico, adaptado de (Vecchia, 1997).	67
Figura 3.1	Normales climatológicas para Tuxtla Gutiérrez de 1951 a 1980. Fuente: desarrollada por Castañeda 2010, con datos del SMN.	73
Figura 3.2	Periodo cálido de mediciones del 15 de abril al 15 de mayo, fuente: (Trujillo, 2014).	74
Figura 3.3	Periodo representativo de calor del 4 al 14 de mayo, fuente: (Trujillo, 2014).	74
Figura 3.4	Consumo eléctrico acumulado en el periodo cálido, fuente: (Trujillo, 2014).	74
Figura 3.5	Periodo de mediciones del 15 de noviembre al 10 de	75



	diciembre, fuente: (Trujillo, 2014).	
Figura 3.6	Periodo representativo climático del 27 de noviembre al 10 de diciembre, fuente: (Trujillo, 2014).	76
Figura 3.7	Consumo eléctrico acumulado en el periodo Frío, fuente: (Trujillo, 2014).	76
Figura 3.8	Día típico experimental el 6 de mayo, fuente: (Trujillo, 2014).	77
Figura 3.9	Día típico experimental el 28 de noviembre, fuente: (Trujillo, 2014).	78
Figura 3.10	Consumo Eléctrico del 5 al 6 de mayo, fuente: (Trujillo, 2014).	79
Figura 3.11	Consumo Eléctrico el 28 de noviembre, fuente: (Trujillo, 2014).	80
Figura 3.12	Asoleamiento y proyección de sombras 21 de marzo equinoccio de primavera 06:00 y 12:00 horas.	81
Figura 3.13	Asoleamiento y proyección de sombras 21 de marzo equinoccio de primavera 16:00 y 18:00 horas.	82
Figura 3.14	Asoleamiento 21 de junio solsticio de verano 06:00 y 12:00 horas.	82
Figura 3.15	Asoleamiento y proyección de sombras 21 de junio solsticio de verano 16:00 y 18:00 horas.	82
Figura 3.16	Asoleamiento y proyección de sombras 22 de septiembre equinoccio de otoño 06:00 y 12:00 horas.	83
Figura 3.17	Asoleamiento y proyección de sombras 22 de septiembre equinoccio de otoño 16:00 y 18:00 horas.	83
Figura 3.18	Asoleamiento y proyección de sombras 21 de diciembre solsticio de invierno 06:00 y 12:00 horas	83
Figura 3.19	Asoleamiento y proyección de sombras 21 de diciembre solsticio de invierno 16:00 y 18:00 horas	83
Figura 3.20	Mapa conceptual del capítulo 2, Materiales y métodos, fuente: (Trujillo, 2014).	85
Lista de tablas		
No.	Descripción	
Tabla 1.1	Información básica de los GEI establecidos en el protocolo de Kioto, datos tomados de (IPCC, 2015), (INECC, 2015).	6
Tabla 1.2	Reporte del estado del arte, comparación con otros estudios, fuente: elaborado por con información de diversos autores.	14
Tabla 1.3	Valores para muros y techos. Tomados de (SENER e. , 2011).	22
Tabla 1.4	Resistencia térmica de elementos de la envolvente, (ONNCCE, 2009).	24
Tabla 1.5	Criterios que se usan para caracterizar los tres diferentes tipos de techos verdes, fuente, tomado de (IGRA, 2015).	28
Tabla 1.6	Comparación de resultados con diferentes espesores de suelo en el techo verde, valores de conductividad térmica tomados de: (Rojas Palomino, Madero Morales, Ramírez Náder, & Zúñiga Escobar, 2009).	31
Tabla 1.7	Comparación con otras opciones aislantes existentes en el	32

	mercado, fuente: (Trujillo, Rangel, & Castañeda, 2015), (Máximadimensión, 2014), (Multypanel, 2014), (Thermotek, 2015), (GrupoBari, 2015).	
Tabla 2.1	Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez: Población, tasa de crecimiento y densidad urbana, 1990-2010	52
Tabla 2.2	Coefficientes térmicos de los materiales del TCR, valores tomados de la NOM 020 ENER 2011.	55
Tabla 2.3	(Fase uno) Coeficientes térmicos de los materiales del techo térmico, valores tomados de la NOM 020 ENER2011.	56
Tabla 2.4	(Fase dos) Coeficientes térmicos de los materiales del TV, valores tomados de la NOM 020 ENER2011.	56
Tabla 2.5	Características técnicas de los equipos de refrigeración, fuente: <a href="http://www.carrier.com/">http://www.carrier.com/</a> .	57
Tabla 2.6	Propiedades de la batería 1/2AA de 3.6 volts, fuente: <a href="http://www.tadiran.com/">http://www.tadiran.com/</a>	62
Tabla 2.7	Síntesis hipótesis.	68
Tabla 3.1	Ecuaciones del promedio anual de consumo eléctrico, (Trujillo, 2014).	80
Tabla 3.2	Síntesis, nivel de relación entre elementos del contexto físico y la eficiencia energética en la edificación, fuente: (Trujillo, 2014).	85
Tabla 3.3	Materiales de ambas celdas de evaluación.	87
Tabla 3.4	Materiales que componen el TV.	87
Tabla 3.5	Materiales que componen el TCR.	87
Tabla 3.6	Conductividades térmicas de la celda de experimentación.	88
Tabla 3.7	Conductividades térmicas de los materiales que componen el TV.	88
Tabla 3.8	Conductividades térmicas de los materiales que componen el TCR.	88
Tabla 3.9	Calculo de los valores "R" parciales y totales de los materiales de los muros tanto del TV como del TCR.	89
Tabla 3.10	Calculo de los valores "R" parciales y totales del TV.	89
Tabla 3.11	Calculo de los valores "R" parciales y totales del TCR.	90
Tabla 3.12	Tabla con el resumen de los valores "R" totales.	90
Tabla 3.13	Zona térmica y requerimiento.	91
Tabla 3.14	Resistencia térmica de elementos de la envolvente, (ONNCCE, 2009).	91
Tabla 3.15	Comparación de los resultados obtenidos, muros.	92
Tabla 3.16	Comparación de los resultados obtenidos, TV.	92
Tabla 3.17	Comparación de los resultados obtenidos, TCR.	92

## Publicaciones

### En revistas:

1. TRUJILLO Samayoa, Ruber; RANGEL Martínez, Y. & CASTAÑEDA Nolasco, G. **Desempeño térmico del Techo Verde, una alternativa viable en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México**, en Legado, Revista de la Universidad Autónoma del Estado de México, V. 18, **ISSN: 2007-3615**.
2. TRUJILLO Samayoa, Ruber; RANGEL Martínez, Y. & CASTAÑEDA Nolasco, G. **Potencial del Techo Verde, para ahorrar por aire acondicionado en la edificación**, en Nova Scientia, Revista de Investigación de la Universidad De La Salle Bajío, Numero 15, Vol. 7, **ISSN: 2007-0705**.
3. Raúl Pavel Ruiz Torres, Gabriel Castañeda Nolasco, Ruber Trujillo Samayoa, **Equipo para medir la conductividad térmica de materiales de construcción: placa caliente y caja caliente con guarda**, en memorias de simposio de Nacional de Metrología 2016, Septiembre 2016, Centro Nacional de Metrología, CENAM, Querétaro, Querétaro.

### Congresos:

#### 2012

1. TRUJILLO Samayoa, Ruber, **Sistema de Techo no Convencional, viable para vivienda en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México**. Segundo Congreso Nacional de Investigación en Cambio Climático, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, Noviembre 2012.

#### 2013

2. TRUJILLO Samayoa, Ruber, **Hacia la Contextualización de la Evaluación en la sustentabilidad constructiva de la vivienda en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México**. Sexto Congreso de investigación UNACH. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, Noviembre 2013.
3. TRUJILLO Samayoa, Ruber, **Evaluación de la sustentabilidad de tecnologías constructivas de techos en viviendas en Chiapas, México**. Tercer Congreso Nacional de Investigación en Cambio Climático, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, Noviembre 2013.

#### 2014

4. TRUJILLO Samayoa, Ruber, **Eficiencia Energética en las Edificaciones en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, usando Azoteas Verdes**. Primera Sesión de IX Cátedra Nacional de Arquitectura "Carlos Chanfón Olmos de CUMex", Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, Abril 2014.
5. TRUJILLO Samayoa, Ruber, **Inercia Térmica, conveniente para el ahorro de Energía en la Vivienda**. Primera Sesión de IX Cátedra Nacional de Ingeniería Civil "Emilio Rosenblueth de CUMex", Hermosillo, Sonora, México, Mayo 2014.
6. TRUJILLO Samayoa, Ruber, **Cambio Climático VS Eficiencia Energética en la Vivienda Utilizando Techos Verdes**. Cuarto Congreso Nacional de Investigación en Cambio Climático, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, Noviembre 2014.

7. TRUJILLO Samayoa, Ruber, **Eficiencia energética en la edificación con Techos Verdes, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.** Segunda Sesión de IX Cátedra Nacional de Arquitectura "Carlos Chanfón Olmos de CUMex", Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, Octubre 2014.
8. TRUJILLO Samayoa, Ruber, **Eficiencia energética en las edificaciones en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, usando Azoteas Verdes (AV).** Segunda Sesión de IX Cátedra Nacional de Ingeniería Civil "Emilio Rosenblueth de CUMex", Gómez Palacio, Durango, México, Octubre 2014.
9. TRUJILLO Samayoa, Ruber, **Modificando paradigmas Energéticos y constructivos en la edificación, con techos verdes.** Primer Congreso Nacional Universidad Saludable y Sustentable, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, Noviembre 2014.

#### 2015

10. TRUJILLO Samayoa, Ruber, **Eficiencia Energética en la Edificación, una Opción Posible.** Primera Sesión de IX Cátedra Nacional de Ingeniería Civil "Emilio Rosenblueth de CUMex", Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, Abril 2015.
11. TRUJILLO Samayoa, Ruber, **Techos Verdes, Eficiencia Energética y Edificación.** Segundo Congreso Nacional Universidad, Salud y Medio Ambiente, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, Octubre 2015.

#### 2016

12. TRUJILLO Samayoa, Ruber, **Construyendo la evaluación contextualizada de la vivienda,** Universidad Politécnica de Tapachula, Tapachula, Chiapas, Enero 2016.
13. TRUJILLO Samayoa, Ruber, **Techos Verdes en el contexto urbano,** Foro: Diálogos sobre la ciudad en el Contexto Estatal, Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Arquitectura, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, Abril 2016.
14. TRUJILLO Samayoa, Ruber, **¿Ayuda el techo verde a mitigar el cambio climático?** Congreso Nacional de Investigación en Cambio Climático, Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Arquitectura, Octubre 2016.



## Presentación

Este trabajo se encuentra organizado en cuatro capítulos: Introducción, Materiales y Métodos, Resultados y Conclusiones.

En el capítulo 1. Introducción, en los tópicos incluidos se describe lo siguiente: descripción del problema por atender, bajo el esquema de relación causa-efecto, los dos elementos principales que condicionan a la eficiencia energética en la edificación en Tuxtla Gutiérrez, el clima y las características de los materiales que conforman la envolvente de la edificación. También se describe el estado del arte en los antecedentes disciplinarios aplicables, en el marco teórico, se definen conceptos que fortalecen la comprensión del trabajo en todos sus capítulos. En el objetivo general y los particulares se describe la demostración de la eficiencia energética del techo verde que busca este trabajo y en la hipótesis se hace la afirmación preliminar de lograr un 20% de mejora entre el techo verde y el techo de concreto reforzado.

En el capítulo 2. Materiales y Métodos, se abordan elementos tanto el contexto físico natural como el artificial en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, que condicionan a la eficiencia energética en la edificación. En el primero se describe la fauna y la flora del lugar, cuya interacción con el clima, modifica de forma importante sus características, así como las manifestaciones climáticas con los parámetros que lo definen, temperatura, humedad, presión atmosférica, vientos y precipitación, en el sitio de estudio. En el segundo, 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.

En el capítulo 3. Resultados, los resultados, organizados en dos periodos opuestos en el año, el periodo cálido y el periodo frío. Este capítulo contempla los resultados de la evaluación con la norma mexicana NMX-C-460-ONNCCE-2009, "Industria de la construcción-aislamiento térmico-valor "R".

En el capítulo 4. Conclusiones, se encuentra constituido en cuatro apartados básicos: conclusiones generales y particulares del estudio, aportaciones y alcances obtenidas en el estudio, limitaciones en el contenido del estudio y recomendaciones para el seguimiento del problema investigado.

Los resultados más relevantes que se obtienen en este trabajo, son los siguientes: el equipo de aire acondicionado colocado bajo el techo verde, consume 20% menos energía eléctrica que su homólogo colocado bajo el techo de concreto reforzado.

Se obtienen ecuaciones promedio anuales, del consumo de energía eléctrica de los 2 equipos de aire acondicionado colocados bajo ambos techos.

En la evaluación con la norma mexicana NMX-C-460-ONNCCE-2009, "Industria de la construcción-aislamiento térmico-valor "R", el Techo Verde cumple con el valor "R" para **habitabilidad**. En tanto, el Techo de Concreto Reforzado, no cumple con el valor menos exigente de la norma, el valor "R" **mínimo**, de esta forma se ratifican los resultados obtenidos en el análisis del consumo de energía eléctrica de equipos de aire acondicionado colocados bajo ambos techos.



# Capítulo 1. Introducción

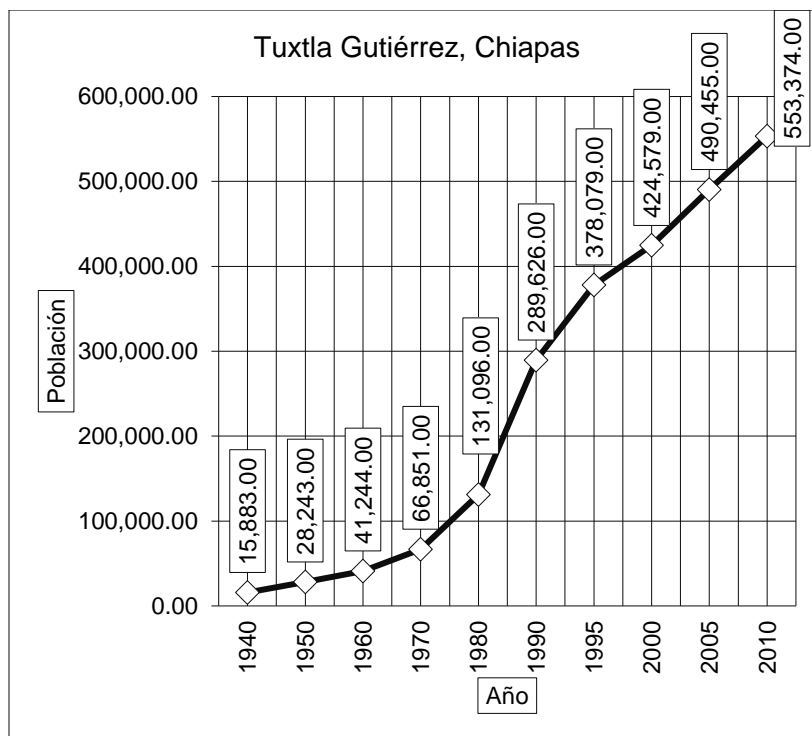
En este capítulo se abordan las líneas principales que definen el proyecto doctoral, aquí se describe el problema, se aportan elementos que justifican la realización del trabajo, se revisa el estado del arte, se definen los objetivos que persigue el trabajo y se plantea la hipótesis. De forma adicional en el marco teórico, se definen conceptos centrales de la tesis, así como procedimientos y definiciones importantes de la norma mexicana NMX-C-460-ONNCCE-2009. También, se añade la clasificación de tipos de Techos Verdes (TV), así como una comparación de estos, con otras opciones aislantes disponibles en el mercado.

## 1.1 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 edificación en Tuxtla Gutiérrez, estos son dos elementos principales, el clima y las características de los materiales que conforman la envolvente de la edificación.

En Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, predomina el clima Aw (cálido subhúmedo) de la clasificación de Köppen, se ubica en la franja tropical, tiene 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 de precipitación total menor de 43.2 mm y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual, (SEDESOL, 2015), (García, 1998), por lo que las temperaturas pueden llegar en casos excepcionales a 42° C, lo que lleva a invertir importantes cantidades de energía para el confort térmico de los usuarios, (Ordoñez López, Eduardo Ernesto, Pérez Sánchez, & María Milagrosa, 2015), (Castañeda & Vecchia, 2007), (Minke, 2000). Evidentemente, las condiciones climáticas locales son un fuerte componente que condiciona al uso de energía para climatizar las viviendas y las edificaciones en general, puesto que en la mayor parte del territorio mexicano, hace calor durante todo el año, únicamente los meses de noviembre a enero existe tendencia a bajas temperaturas (Morillon, Saldaña, Castañeda, & Miranda, 2002).

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 1.1, el crecimiento de 1940 a 2010 se puede describir en dos bloques, el desacelerado y el acelerado. En el primer bloque, comprendido de 1940 a 1970, aunque refleja crecimiento, pero este fue lento, mientras que de 1970 hasta 2010 ha tenido un crecimiento sostenido hasta alcanzar una población total de 553,374 habitantes en 2010 (INEGI a. , 2010).



**Figura 1. 1 Crecimiento poblacional de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, (1940-2010), fuente: elaborado con datos de INEGI, Censo General de Población y Vivienda, de 1940 a 2010.**

También las características de los materiales que conforman la envolvente de la edificación, condicionan a la eficiencia energética, el diseño de las envolventes que, por sus 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 energética y bajo impacto ambiental, (Schiller & Evans, 2005). 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), (ONNCCE, 2009).

En el otro sentido, la existencia o no de la eficiencia energética, provoca consecuencias o efectos. Se enlistan aquí tres de las principales consecuencias: consumo de recursos energéticos, emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y cambio climático.

El principal requerimiento para el acondicionamiento artificial climático en la edificación es la energía. Según la Comisión Environmental Cooperation (CEC) las edificaciones en México, en sus diversos procesos y requerimientos, consumen el 25% del total de la energía eléctrica, (CEC, 2008), y según otros autores, aproximadamente el 30% del consumo corresponde a los sectores residencial, comercial y de servicios, (Huelsz, Barrios, Rechtman, & Rojas, 2015).

Pero lo más preocupante es que, por la fuerte dependencia de los combustibles fósiles en la producción de energía, el 90% de la energía que se consume en México se produce con recursos no renovables, (SENER c. , 2015)

De forma específica, la Secretaría de Energía (SENER), menciona que en los edificios en México, el consumo de energía eléctrica por aire acondicionado corresponde al 9% del total de la energía eléctrica consumida, (SENER a. , 2015).

Pero hay autores que de manera más dramática argumentan que, en climas cálidos, el problema se acentúa, pues el 35% de la energía que consumen los sectores residencial, comercial y de servicios es empleada para el acondicionamiento de las edificaciones, (Huelsz, Barrios, Rechtman, & Rojas, 2015). En el contexto inmediato también hay aseveraciones preocupantes como lo que plantea Tejeda y Rivas cuando dice que en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, ciudad del transecto sur de México, se espera un incremento del 500% por climatización artificial, para el 2020, (Tejeda Martínez & Rivas Camargo, 2003). Ese consumo eléctrico, principalmente es provocado por la alta conductividad de calor del Techo de concreto reforzado (TCR), y que toma dimensión porque en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, casi el 80% de las viviendas, usan el concreto reforzado como material predominante en el techo (INEGI a. , 2010). Siempre es importante apuntar que cuando se habla de consumo de energía eléctrica por aire acondicionado en la edificación, el techo de la misma juega un rol muy importante, pues es la superficie de la envolvente con mayor exposición al calor radiante del sol.

Las emisiones de dióxido de carbono, el más abundante de los GEI, (se anexa tabla 1.1 con los GEI reconocidos por el protocolo de Kioto), es causado por la quema de los combustibles fósiles usados para la producción de energía. En consecuencia, en el nivel internacional y en el nacional, el panel intergubernamental de cambio climático (IPCC) y el instituto nacional de ecología y cambio climático (INECC), mencionan que

las edificaciones en México son responsables del 20% de las emisiones de dióxido de carbono, (IPCC, 2015), (INECC, 2015).

**Tabla 1. 1 Información básica de los GEI establecidos en el protocolo de Kioto, datos tomados de (IPCC, 2015), (INECC, 2015).**

Origen	Gases	Fuentes	Vida media en años	Potencial de Calentamiento
Gases de origen natural	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Quema de combustibles fósiles (carbón, derivados de petróleo y gas), reacciones químicas en procesos de manufactura; (como la producción de cemento y acero) cambio de uso de suelo (deforestación).	50 a 200	1.00
	Metano (CH <sub>4</sub> )	Descomposición anaerobia (cultivo de arroz, rellenos sanitarios, estiércol), escape de gas en minas y pozos petroleros.	12 ± 3	21.00
	Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	Producción y uso de fertilizantes nitrogenados, quema de combustibles fósiles.	120.00	310.00
Gases antropogénicos	Hidrofluorocarbonos (HFCs)	Emitidos en procesos de manufactura y usados como refrigerantes.	1.5 a 264	140-11,700
	Perfluorocarbonos (PFCs)	Producción de Aluminio, fabricación de semiconductores, sustituto de las sustancias destructoras del ozono. Ej. Uso de solventes, espumas, refrigeración fija.	2600 a 50000	6,500-9,200
	Hexafluoruro de Azufre (SF <sub>6</sub> )	Producción y uso en equipos eléctricos; Producción de magnesio y aluminio; Fabricación de semiconductores.	3,200.00	23,900.00

El protocolo de Kioto, es un protocolo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), y un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero (GEI'S), que causan el calentamiento global: Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). En la tabla 1.1 se mencionan datos básicos de esos GEI'S: Origen, nombre, fórmula química, fuentes, vida promedio y potencial de calentamiento (IPCC, 2015), (INECC, 2015). Aunque el principal contribuyente individual es el CO<sub>2</sub>, se ha encontrado que el CH<sub>4</sub> puede ser 21 veces más potente que el CO<sub>2</sub> como "atrapador de calor" (Solórzano Ochoa, 2003).



En la discusión sobre el calentamiento global y sus consecuencias en el cambio climático, más allá de una teoría, se trata de conclusiones basadas en la observación sistemática de la temperatura media del planeta (promedio de muchas mediciones de la temperatura del aire cerca de la superficie y de los océanos). En la figura 1.2 se muestran los cambios que la temperatura promedio global ha tenido de 1980 a 2010 (NOAA, 2015). En este mismo sentido, los resultados de los últimos cien años confirman, que la temperatura media se ha incrementado en un aproximado de 0,1°C por década (Power Porto, 2009).

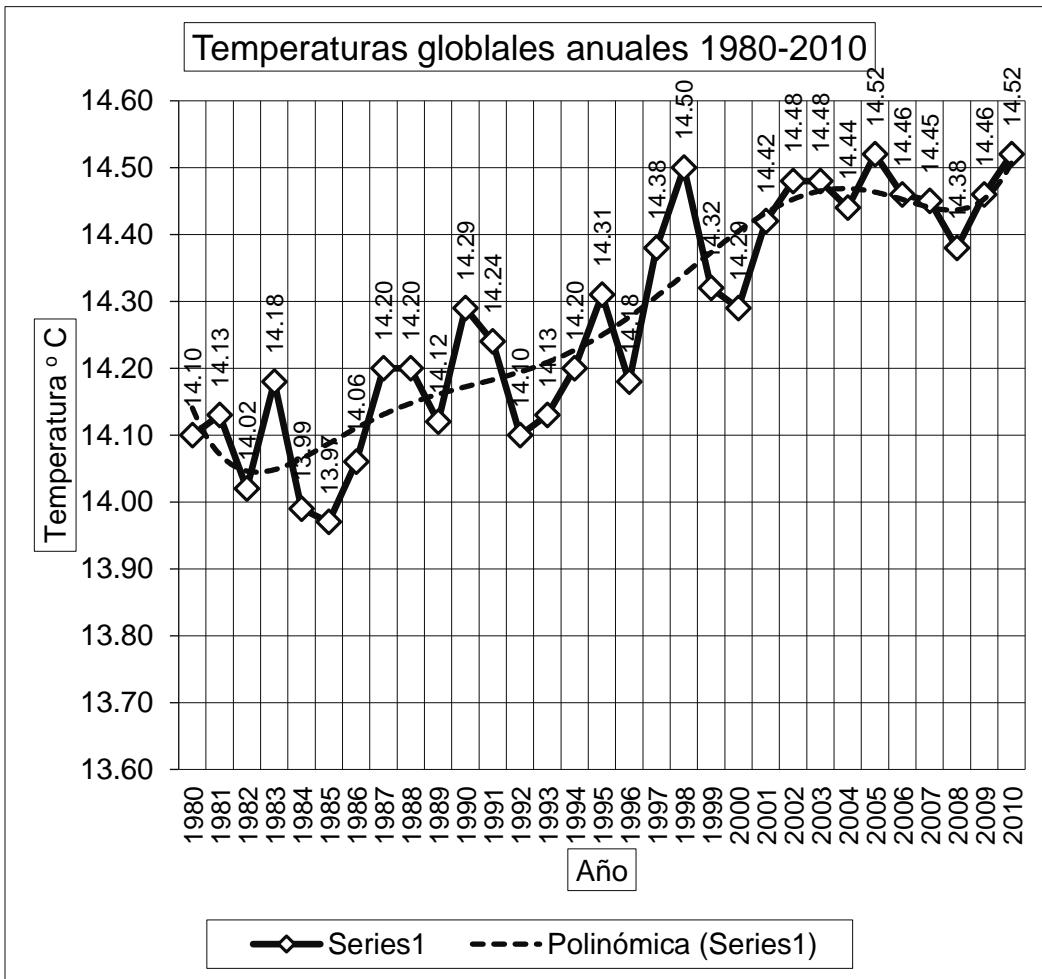


Figura 1. 2 Temperaturas Globales Anuales de 1980 a 2010, fuente: elaborado con datos de (NOAA, 2015).

### 1.2.Justificación.

La justificación se aborda mencionando cuatro aspectos donde el consumo de energía eléctrica tiene impactos negativos:

1. En México, en sus diversos procesos y requerimientos, las edificaciones son responsables del 25% del consumo total de energía eléctrica, (CEC, 2008).
2. En la vivienda en México, como se muestra en la figura 1.3, el consumo de energía eléctrica por aire acondicionado corresponde al 9% del total de la energía eléctrica consumida, (SENER a. , 2015).

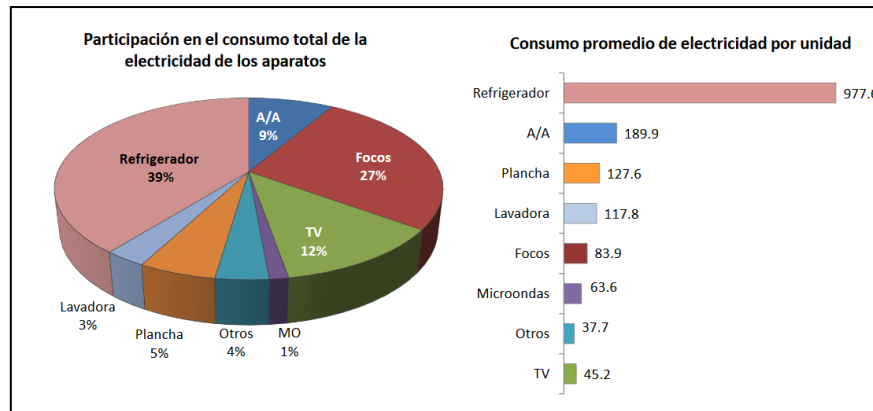


Figura 1. 3 En México, consumo de energía eléctrica por aire acondicionado, fuente: (SENER a. , 2015).

3. Actualmente, en el municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, el 10.40 % de las viviendas usa aire acondicionado, (INEGI b. , 2015), porcentaje concentrado principalmente en la vivienda de nivel medio, que se encuentra en el 57.15% de la población que tiene un ingreso de más de 2 salarios mínimos. El escenario de demanda de energía eléctrica por uso de aire acondicionado para Tuxtla Gutiérrez Chiapas, se espera en el futuro se incremente en 500%, (Tejeda Martínez & Rivas Camargo, 2003).
4. En Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, predomina el clima Aw (cálido subhúmedo) de la clasificación de Koeppen, (García, 1998), por lo que las temperaturas pueden llegar en casos excepcionales a 42° C, lo que lleva a invertir importantes cantidades de energía para el confort térmico de los usuarios, (Ordoñez López, Eduardo Ernesto, Pérez Sánchez, & María Milagrosa, 2015), (Castañeda & Vecchia, 2007), (Minke, 2000).
5. Por la fuerte dependencia de los combustibles fósiles en la producción de energía, el 90% de la energía que se consume en México se produce con fuentes no renovables, (SENER c. , 2015), las edificaciones en México son

responsables del 20% de las emisiones de dióxido de carbono, (IPCC, 2015), (INECC, 2015).

Por lo anterior, se justifica usar recursos para desarrollar este trabajo, siempre con miras a mejorar la situación actual evidenciada con los datos mencionados.

### 1.3 Antecedentes disciplinarios aplicables.

En Sheffield, Reino Unido, Castleton, Stovin, Beck y Davidson en 2010, en su artículo plantean que la implementación del techo verde (TV) extensivo<sup>1</sup> o intensivo<sup>2</sup> en edificaciones construidas antes de 1900 representa un potencial importante para lograr eficiencia energética a través del TV. Más de la mitad del parque inmobiliario en dicho país fue construido antes de que se exigiera aislamiento en el techo, puesto que cuando dichas edificaciones fueron construidas no existían las regulaciones actuales tanto en aislamiento térmico como en códigos estructurales. El trabajo revisa el flujo de calor, reflectividad solar, masa térmica, relación que tiene el efecto evaporativo con la humedad y las propiedades del suelo, implicaciones estructurales, peso de la edificación, capacidad estructural como resultados de cambios de códigos estructurales y ahorro de energía por la modificación, asevera que en esas latitudes existe un ahorro de electricidad del 44% anual por refrigeración y calefacción en las estaciones verano e invierno respectivamente que son de mayor requerimiento.

En Hong Kong, ciudad situada al sur en la costa de China, C. Y. Jim y Liliana L. H. Peng en 2012, sostienen que la evapotranspiración de los TV extensivos, tienen una relación directa con los indicadores de rendimiento térmico, pero en climas húmedos subtropicales, la humedad tiene un efecto limitado sobre la evapotranspiración. Los TV mantienen la humedad debido al retorno del agua de lluvia a su ciclo natural. En ese trabajo se exploran la humedad del sustrato de suelo vegetal por evapotranspiración, el balance de agua en tres tiempos, soleado, nublado y lluvioso, en conjunto con tres estados de humedad, mojados, húmedos y secos. El sustrato vegetal seco en un día soleado demuestra un comportamiento de alta evapotranspiración que contradice estudios anteriores (Jim & Peng, 2012).

Günter Gross en 2012, en Hannover, Alemania, utilizó un modelo de macroescala tridimensional para analizar los efectos de diversos tipos de vegetación en la

---

<sup>1</sup> Se usa como capa de protección térmica, es de bajo mantenimiento, no necesita riego, espesor del sustrato de 10 a 20 cm, peso de 60 a 150 kg/m<sup>2</sup>, es de bajo costo, aloja musgo hierbas y pasto, (Appl & Ansel, 2009).

<sup>2</sup> Dan muchas posibilidades paisajísticas en el techo, alojan arbustos y árboles pequeños, sin embargo requiere: mantenimiento alto, riego regular, espesor del sustrato 15-40 cm, peso entre 180 a 500 kg/m<sup>2</sup>, alto costo, se usan como parques y jardines, (Appl & Ansel, 2009).

temperatura en un ambiente construido. Las mediciones se tomaron a 2 metros de altura y temperatura del aire hasta la altura de la edificación. Los diferentes tipos de vegetación pueden reducir las temperaturas locales hasta 15° K en el día. Las fachadas vegetadas tienen menor impacto en la temperatura a 2 metros de altura, la relevancia de los árboles es más o menos limitado a los efectos de sombra. Al modificar el techo de la edificación, se modificó el albedo que redujo la temperatura algunos grados al mediodía (Gross, 2012).

En 2010, Yang, Choi y Kang, en su trabajo realizado en Sheffield, Reino Unido, afirman que, enmarcado en el movimiento hacia entornos urbanos sustentables, el uso de los TV, está cada vez más en aumento, ya sea intensivo, extensivo o semiextensivo, que incluso para disminuir el ruido urbano recomiendan usarlo en la parte superior de estacionamientos subterráneos. En el trabajo sometieron a pruebas experimentales 20 cajas o bandejas con vegetación de bajo crecimiento resistente a la sequía y se le hicieron mediciones de nivel a presión sonora que llevaron a cabo en una cámara semianecoica. Para comprobar los efectos del sistema de TV en la reducción del ruido de las ondas sonoras difractados se consideraron la estructura, área y posición del sistema de TV y el tipo de vegetación. Concluyen que el TV a nivel de calle reduce eficientemente el ruido en los espacios urbanos para las ondas sonoras difractados hasta en 4 dB (Yang, Choi, & Kang, 2010).

En Nürtingen, Alemania, en una publicación de International Green Roof Association (IGRA) se asevera que un sistema de TV, protege la membrana de impermeabilización, de los extremos climáticos, Interceptan la radiación ultravioleta impidiendo que llegue directamente a la superficie terrestre, ya que la vegetación es capaz de absorber el 80 % de la radiación solar mediante diferentes procesos naturales, y el daño mecánico, y al hacerlo, puede duplicar su tiempo de vida. Por lo tanto el sistema de impermeabilización con una esperanza de vida normal cuando se expone a los elementos como las raíces de buena calidad por 30 años, puede esperarse que dure hasta 60 años, lo que ahorra al propietario el costo de reimpermeabilización en las edificaciones durante las expectativas medias de vida (Appl & Ansel, 2009).

En Yucatán, México, en un trabajo reciente, con el uso de técnicas de rayos infrarrojos (IR), se hizo una comparación del desempeño térmico de techos verdes y techos

blancos (TB), donde se comparó el desempeño térmico de dos sistemas de techo, el TV y el TB, en un edificio construido con sistema de vigueta pretensada de concreto y bovedilla (VB). Se planteó hipotéticamente que la degradación en efectividad de los TB por el ambiente haría de los TV una mejor alternativa para el ahorro de energía en edificios. Para evitar la problemática derivada de los gradientes térmicos espaciales presentes en el sistema de VB, se validó la medición indirecta de temperatura a través de sensores IR, resultando que los TB son afectados seriamente por la degradación de su albedo. Los TV tienen mejor capacidad para reducir fluctuaciones temporales de temperatura y para favorecer las condiciones de confort térmico al interior del edificio, en comparación con los techos blancos, (Ordoñez López, Eduardo Ernesto, Pérez Sánchez, & María Milagrosa, 2015).

En Veracruz, México, la mitigación térmica de los edificios y la mejora del confort térmico (CT), son algunos de los múltiples beneficios que brindan, que han permitido que los TV hayan tomado auge. Es una tecnología deseable en regiones cálidas y tropicales, se necesita aligerar su diseño convencional para adaptarlos a la vivienda rural tropical. El trabajo se hizo en Veracruz, México, para evaluar el CT brindado por un prototipo de TV basado en el uso de pérgolas y de la enredadera *Cissus verticillata* (Vitaceae). Se comparó la temperatura bajo la lámina del techo de habitaciones de viviendas rurales con y sin techo verde. El CT de los usuarios de las habitaciones fue medido por el voto subjetivo (VS), el voto medio predicho (VMP), y la proporción de personas a disgusto (PPD), obtenidos de un grupo de evaluadores residente y otro visitante, quienes también calificaron su nivel de aceptación de esta tecnología. La temperatura promedio bajo la lámina de las habitaciones con techo verde fue hasta 4.5 °C menor que en las habitaciones sin techo verde. El VS, VMP, y la PPD fueron mayores en las habitaciones sin techo verde, indicando un menor CT en éstas. La aceptación del grupo visitante fue significativamente mayor que la del residente. Mediante el uso de TV como el propuesto se alcanza un mayor CT en las viviendas rurales tropicales, (Beltrán Melgarejo, Vargas-Mendoza, Pérez-Vázquez, & García-Albarado, 2014).

En un trabajo reciente en el valle de Toluca, México, los autores manifiestan que los TV consisten en desarrollar una capa vegetal en los techos de las edificaciones; estos

pueden ser de dos tipos: Intensivos o Extensivos, los primeros están pensados para ser usados por el hombre, y los segundos solo son contemplativos, ambos tienen las mismas ventajas que otorga la vegetación: absorben el ruido, atrapan el polvo, asilan térmicamente, y absorben el agua de lluvia evitando inundaciones, (Galindo Bianconi & Victoria Uribe, 2012).

**Tabla 1. 2 Reporte del estado del arte, comparación con otros estudios, fuente: elaborado por con información de diversos autores.**

País	Año	Autores	Particularidades	Hallazgo Principal
Sheffield Reino Unido	2010	H.F. Castleton, V. Stovin, S.B.M. Beck, J.B. Davison	Edificaciones de antes de 1900, Más de la mitad del parque inmobiliario.	44% ahorro anual de energía eléctrica por refrigeración y calefacción, Latitud 53°23' N.
Sheffield Reino Unido	2010	Yang, Choi y Kang	Sometieron a pruebas experimentales 20 cajas o bandejas con vegetación de bajo crecimiento resistente a la sequía y se le hicieron mediciones de nivel a presión sonora que llevaron a cabo en una cámara semianecoica.	Reduce el ruido urbano para las ondas sonoras difractados hasta en 4 dB, *68 Db. de día, 65 Db. de noche. NOM-081-ECOL-1994.
Hong Kong China	2012	C. Y. Jim y Liliana L. H. Peng.	Tres tiempos soleado, nublado y lluvioso y tres estados mojado, húmedo, seco.	Con evapotranspiración los TV mantienen humedad debido al retorno del agua de lluvia a su ciclo natural.
Hannover Alemania	2012	Günter Gross	Modelo de macroescala tridimensional.	Los diferentes tipos de vegetación pueden reducir las temperaturas locales hasta 15° C en el día.
Tuxtla Gutiérrez, México	2007	Castañeda Nolasco, G.& Vecchia, F.	Las mediciones fueron en vivienda experimental con TV y TCR.	Amortiguan las oscilaciones diarias de la temperatura y estabilizan la temperatura de la ciudad.
Madrid, España.	2009	Alonso, J., Chanampa, M., Vidal, P., Guerra, R., Neila, F. J., & Bedoya, C.	Realizado en el marco del Grupo de Investigación Arquitectura Bioclimática en un Entorno Sustentable (ABIO) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM).	Incremento de humedad ambiental, disminución de la temperatura del aire, renovación del aire exterior
Nürtingen, Alemania	2009	Appl y Ansel	Se expone a los elementos como las raíces de buena calidad por 30 años, puede esperarse que dure hasta 60 años.	Interceptan radiación ultravioleta impidiendo que llegue directamente a la superficie terrestre, la vegetación absorbe el 80 % de la radiación solar.
Yucatán, México.	2015	Ordoñez López, Eduardo E. P. Sánchez, & María Milagrosa	Para evitar la problemática derivada de los gradientes térmicos espaciales presentes en el sistema de VB, se validó la medición indirecta de temperatura a través de sensores IR.	Los TV reducen más fluctuaciones temporales de temperatura y favorecen las condiciones de confort térmico en el edificio, en comparación con los techos blancos.
Veracruz, México	2014	Beltrán Melgarejo, V. Mendoza, Pérez Vázquez, & G. Albarado.	El CT de los usuarios de las habitaciones fue medido por el voto subjetivo (VS), el voto medio predicho (VMP), y la proporción de personas a disgusto (PPD), obtenidos de un grupo de evaluadores residente y otro visitante.	La diferencia de temperaturas entre la habitación con TV o sin TV fue de 4.5° C. El VS, VMP y PPD fueron mayores en la habitación sin TV, indicando un menor CT en estas.

En la tabla 1.2 se concentran estudios realizados en TV bajo diferentes condiciones y en diferentes contextos. Con relación al ahorro en el consumo de energía eléctrica,



destaca el trabajo de Castleton, Stovin, Beck y Davidson en 2010, donde el hallazgo principal es el 44% ahorro anual de energía eléctrica por refrigeración y calefacción en Sheffield Reino Unido, lugar con Latitud 53°23' N, más cercano al círculo polar ártico que a la franja ecuatorial, experimento realizado en edificaciones realizadas antes de 1900, cuando los códigos de regulación tanto de aislamiento térmico como estructurales eran muy diferentes a los actuales (Castleton, Stovin, Beck, & Davidson, 2010). En una línea similar, con relación a la temperatura interior en los espacios, el trabajo realizado por Castañeda Nolasco, G. & Vecchia, F., demuestra que los TV<sup>3</sup> Amortiguan las oscilaciones diarias de la temperatura y estabilizan la temperatura de la ciudad, experimento realizado en una vivienda experimental desarrollada para grupos sociales de escasos recursos, comparándolo con un TCR, (Castañeda & Vecchia, 2007), (Gross, 2012).

En este trabajo se aborda la línea de la reducción del consumo de energía eléctrica en la edificación por el uso de TV, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, con latitud 16° 45', ubicada en la franja tropical, muy cercana a la franja ecuatorial.

En la misma tabla 1.2, también se menciona como los TV en otros contextos contribuyen al ahorro anual de energía eléctrica por refrigeración y calefacción, Los diferentes tipos de vegetación pueden reducir las temperaturas locales hasta 15° C en el día. Trabajos en México ha demostrado que los TV amortiguan las oscilaciones diarias de la temperatura y estabilizan la temperatura de la ciudad, reducen más fluctuaciones temporales de temperatura y favorecen las condiciones de confort térmico en el edificio, en comparación con los techos blancos, también se ha demostrado la diferencia de temperatura de por lo menos 4.5° C en una habitación con o sin TV, (Yang, Choi, & Kang, 2010), (Appl & Ansel, 2009), (Jim & Peng, 2012), (Castañeda & Vecchia, 2007), (Ordoñez López, Eduardo Ernesto, Pérez Sánchez, & María Milagrosa, 2015), (Beltrán Melgarejo, Vargas-Mendoza, Pérez-Vázquez, & García-Albarado, 2014).

---

<sup>3</sup> Techo Verde.

#### 1.4 Objetivos del estudio.

En este apartado, se plantean los objetivos tanto generales como particulares que persigue este trabajo.

##### 1.4.1 Objetivos generales del trabajo

Demostrar la eficiencia energética en la edificación, en el consumo de energía eléctrica por refrigeración con dos equipos iguales, colocados bajo dos techos diferentes, 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 edificación, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

##### 1.4.2 Objetivos particulares.

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

### 1.5 Planteamiento de 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: Castleton y Stovin en Reino Unido en 2010, Gunter Gross en Alemania en 2012, Castañeda y Vecchia en Chiapas México en 2007, Ordoñez y otros en Yucatán México en 2015, Melgarejo y otros en Veracruz México en 2014, y considerando las condiciones específicas del sitio de estudio, se plantea la siguiente hipótesis:

En Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, lugar con clima cálido subhúmedo, se mejora la eficiencia energética en la vivienda, en un 20%, a través del uso de equipo de aire acondicionado con un envolvente arquitectónica de techo verde, con relación a la envolvente de concreto reforzado.

## 1.6 Marco teórico.

### 1.6.1 Conceptos.

a) Eficiencia energética: la ley mexicana de transición energética, describe a la eficiencia energética como todas las acciones que conlleven a una reducción, económicamente viable, de la cantidad de energía que se requiere para satisfacer las necesidades energéticas de los servicios y bienes que demanda la sociedad, asegurando un nivel de calidad igual o superior, (CONUEE, 2015). Visto como un recurso energético, la eficiencia energética tiene el potencial excepcional de contribuir a largo plazo simultáneamente a la seguridad energética, al crecimiento económico, e incluso a una mejora de la salud y el bienestar; en particular constituye un medio clave para reducir las emisiones de gas de efecto invernadero (GEI), (IEA, 2015).

b) Adaptación de la metodología de la climatología dinámica: adaptación, incluyendo aspectos de eficiencia energética en la edificación, de construcción de prototipos de techo, de selección de equipo de refrigeración y medición de la energía eléctrica consumida, de la teoría de la climatología dinámica, que originalmente contempla, ubicar los periodos extremos de temperatura en las normales climatológicas, hacer mediciones de temperatura en los periodos representativos climáticos, para aterrizar y comparar las mediciones en un día típico experimental (DTE), (Vecchia, 1997).

c) Temperatura límite máxima aceptable para el ser humano: basado en Auliciems y Szokolay, que la temperatura de la piel humana se ubica entre 31° C y 34° C, se toman 30° C como límite, (Auliciems & Szokolay, 1999).

d) Normales climatológicas: registros históricos de parámetros climáticos de al menos 30 años anteriores a la fecha del trabajo, (SMN, 2015).

e) Periodo de mediciones: periodo que se midió en el experimento, al menos 30 días para comparar.

f) Periodo cálido de mediciones: periodo que se midió en el experimento en la temporada cálida del año (Trujillo, Rangel, & Castañeda, 2015).

g) Periodo frío de mediciones: periodo que se midió en el experimento en la temporada fría del año (Trujillo, Rangel, & Castañeda, 2015).

h) Periodo representativo climático: periodo contenido en el periodo de mediciones, es cuando la temperatura y humedad relativa son recurrentes (Vecchia, 1997).

- i) DTE, día típico experimental: porque son las condiciones recurrentes, día en que realiza la comparación (Vecchia, 1997).
- j) TSI, Temperatura superficial interior: temperatura de la superficie, medida en el interior del componente de la envolvente.
- k) TCR, Techo de concreto reforzado: sistema convencional de techo, el 80% de las viviendas lo usa (Trujillo, Rangel, & Castañeda, 2015).
- l) TV, Techo verde: propuesta evaluada en este trabajo, como un medio para mejorar la eficiencia energética por aire acondicionado en la edificación, (Trujillo, Rangel, & Castañeda, 2015).
- m) Retardo térmico: unidad de tiempo, diferencia en horas en que los techos comparados alcanzan su temperatura máxima, (Gonzalo, 2003).
- n) Sobrecalentamiento: temperatura por arriba de la temperatura límite máxima aceptable para el ser humano, que alcanza cada sistema comparado, (Gonzalo, 2003).
- ñ) 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, (Gonzalez, 1997).

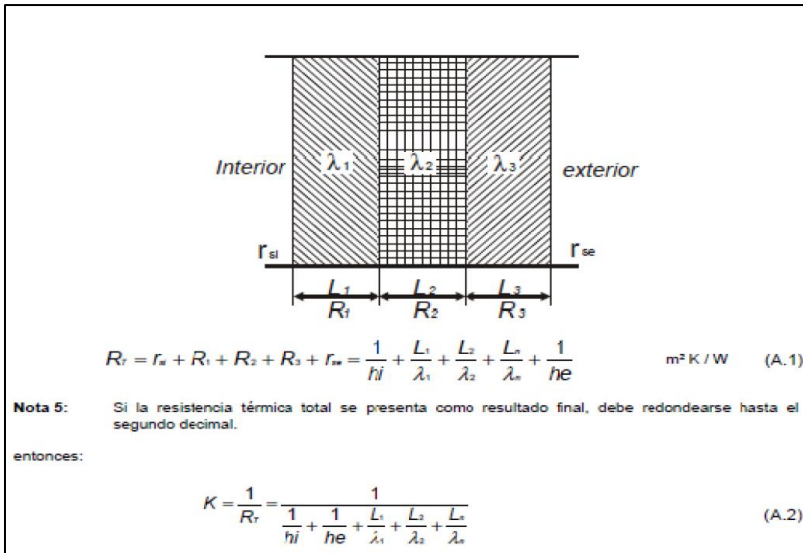
1.6.2 Definiciones de la norma mexicana NMX-C-460-ONNCCE-2009, “Industria de la construcción-aislamiento térmico-valor "R" para las envolventes de vivienda por zona térmica para la república mexicana-especificaciones y verificación”, revisando los tres niveles de cumplimiento, valor “R” mínimo, valor “R” para Habitabilidad y valor “R” para ahorro de energía.

La norma incorpora información que ayuda a disminuir el uso de energía en las viviendas por concepto de climatización, al establecer los valores de resistencia térmica total (valor “R”) para techos, muros y entrepisos ventilados de acuerdo a la zona térmica en donde se localice la vivienda y al propósito inmediato del aislamiento. La inclusión de valores de resistencia térmica total mínima o valor “R” mínimo en los techos y muros de las casas y departamentos busca satisfacer los códigos o estándares de construcción en forma pasiva y procura evitar el uso de equipos de climatización, análisis y demanda energética. Se usa únicamente la envolvente para proteger del medio ambiente.

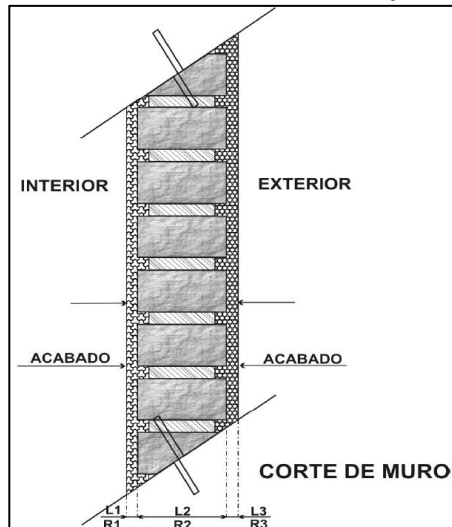
Para evidenciar el cumplimiento hay que otorgar una memoria. La memoria incluye las consideraciones previas al diseño del aislamiento térmico, el valor “R” Total a satisfacer, los materiales, componentes, sistema constructivo y la metodología de cálculo, así como la identificación de la zona térmica y el propósito del aislamiento.

Es necesario calcular la resistencia térmica parcial de cada componente de la envolvente convencional y adicionar croquis o planos y las especificaciones constructivas de instalación, fijación o aplicación. Si el aislamiento estructurado incorpora materiales termoaislantes, estos deben presentar copia o referencia de las certificaciones del cumplimiento con la NOM-018-ENER de la conductividad térmica y, en su caso, de la resistencia térmica.

Aislamiento estructurado: ilustrada en las figuras 1.4 y 1.5, 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.



**Figura 1. 4 Aislamiento estructurado y ecuación.**



**Figura 1. 5 Ejemplo de aislamiento estructurado.**

Paso 1. Con el apoyo de tablas, se presentan las conductividades térmicas para cada componente de la envolvente. Para obtener las conductividades térmicas se consulta el apéndice D de la NOM 020 ENER 2011.

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.

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

Donde (también expresado en la tabla 1.3):

$h_i$  es la conductancia superficial interior, en  $Wm^2/K$ , su valor es:

8.1 para muros

6.6 para techos

$h_e$  es la conductancia superficial exterior, en  $Wm^2/K$ , su valor es igual a 13.

Nota. Los valores usados para  $h_e$  y  $h_i$  son tomados de la norma oficial mexicana, (SENER e. , 2011).

**Tabla 1. 3 Valores para muros y techos. Tomados de (SENER e. , 2011)**

	$h_i$	Muros	8.1	$h_i (W/m^2K) (NOM-018-ENER-2011)$		
		Techos	6.6			
	$h_e$		13.0			
	área de superficies transparentes	$A < 5\%$		$h_e (W/m^2K) (NOM-018-ENER-2011)$		

Para terminar este paso, se presenta un cuadro resumen con los valores totales obtenidos.



Paso 3. En la figura 1.6, se identifica la zona térmica de la localidad donde se hará la construcción y en una tabla se indica la zona térmica y requerimiento. Consultando el apéndice A de la norma, (ONNCCE, 2009). Se encuentra la zona térmica.

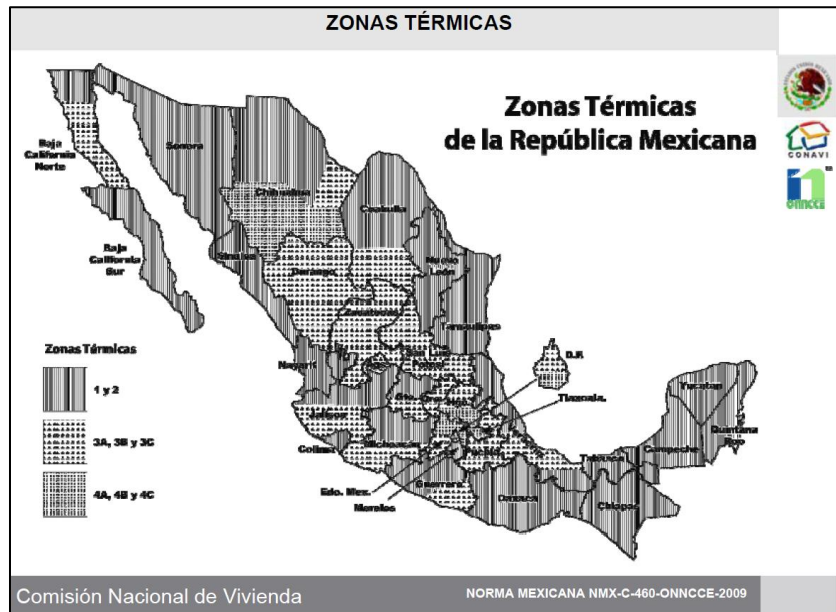


Figura 1. 6 Zonas térmicas de la República mexicana, fuente: (ONNCCE, 2009).

## 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).

b. Resistencia térmica total para la habitabilidad o **valor “R” para habitabilidad**:


Es aquél que busca proporcionar un bienestar hidrotérmico 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.

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 calentar, enfriar o ambos para mejorar la habitabilidad y para ahorrar y hacer uso racional de la energía.

Paso 4. Determinar las especificaciones de acuerdo con la tabla 1.4 de la norma que debe cumplir el prototipo para la localidad elegida.

**Tabla 1. 4 Resistencia térmica de elementos de la envolvente, (ONNCCE, 2009).**

NORMA MEXICANA NMX-C-460-ONNCCE-2009									
									
<b>TABLA 2.- Resistencia Térmica Total (Valor "R") de un elemento de la envolvente</b>									
Zona Térmica No.	Techos m <sup>2</sup> K / W (ft <sup>2</sup> h °F / BTU)			Muros m <sup>2</sup> K / W (ft <sup>2</sup> h °F / BTU)			Entrepisos Ventilados m <sup>2</sup> K / W (ft <sup>2</sup> h °F / BTU)		
	Minima	Habitabilidad	Ahorro de Energía	Minima	Habitabilidad	Ahorro de Energía	Minima	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)
<b>Nota 4:</b> 1 m <sup>2</sup> K / W = 5,68 ft <sup>2</sup> h °F / BTU									
Comisión Nacional de Vivienda					NORMA MEXICANA NMX-C-460-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.

### 1.6.3 Tipos de techos verdes.

Se incluye en este capítulo la sección tipos de techos verdes, con el propósito de vincular la física de los materiales de la sección anterior, con el sistema de techo verde más adecuado según las condicionantes locales en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Existen diferentes sistemas de techos verdes; sin embargo, los más comunes se pueden clasificar en tres tipos: Intensivos, Semi intensivos y Extensivos.

#### 1.6.3.1 Intensivos.

Se consideran como jardines convencionales; son accesibles y tienen sustratos espesos que alojan una variedad de plantas, desde comestibles y arbustos, hasta árboles, (Appl & Ansel, 2009). 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. 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/m<sup>2</sup>, hasta los 400 Kg/m<sup>2</sup>, (López, 2010). La figura 1.7, muestra un ejemplo del techo verde intensivo, (Castleton, Stovin, Beck, & Davidson, 2010).

IGRA<sup>4</sup>, 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 techos verdes, la acumulación y las comunidades de plantas deben estar en armonía con el contexto. El riego y la fertilización son indispensables, el mantenimiento es mayor en este sistema, (IGRA, 2015).

---

<sup>4</sup> International Green Roof Association.



**Figura 1. 7** Techo verde intensivo en el medio urbano, fuente, tomado de (IGRA, 2015).

#### 3.2.4.1. Semi-intensivos.

Estos sistemas que se observan en la figura 1.8, 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. Requieren mantenimiento regular. El peso aproximado del sistema es entre 120 y 250 kg/m<sup>2</sup>, (Zielinski, García, & Vega, Mayo 2012), (García, 2010).

Los techos verdes semi intensivos, en términos de requisitos se ubican en medio de los sistemas extensivos e intensivos. Menos mantenimiento, costos menores y menos peso son las características para el techo verde intermedio en comparación con el techo verde 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, (IGRA, 2015).



**Figura 1. 8 Techo verde semi-intensivo.**

#### 1.6.3.2 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. La vegetación es de bajo porte, usando generalmente especies endémicas o adaptadas a las condiciones ambientales, (ver figura 1.9). Por ello su mantenimiento es mínimo. El peso aproximado del sistema oscila entre 60 y 140 kg/m<sup>2</sup>, (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, (Urbano & López, 2013).



**Figura 1. 9 Techo verde extensivo, en una vivienda experimental para la población de escasos recursos, ubicada en terrenos de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas.**

En la tabla 1.5, 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 techos verdes, (IGRA, 2015).

**Tabla 1. 5 Criterios que se usan para caracterizar los tres diferentes tipos de techos verdes, fuente, tomado de (IGRA, 2015).**

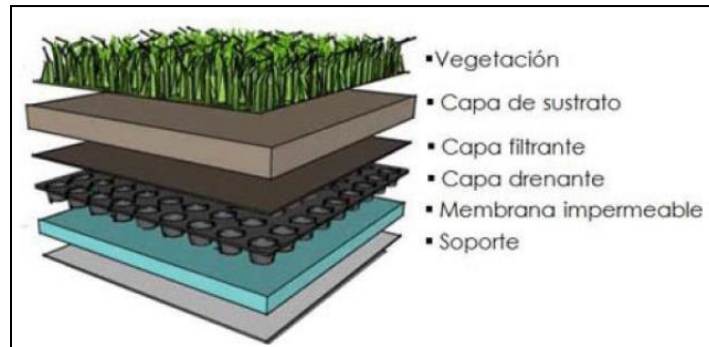
Criterio	Tipo de techo verde		
	Extensivo	Semi-intensivo	Intensivo
Mantenimiento	Bajo	Periódico	Alto
Riego	No	Periódico	Regular
Especies de vegetación	Musgo, hierbas y pasto	Pasto, hierbas y arbustos	Césped, perennes, arbustos y arboles
Espesor del sustrato vegetal (cm)	6-20	12-25	15-40
Peso (kg/m <sup>2</sup> )	60-150	120-200	180-500
Costos	Bajo	Medio	Alto
Uso	Capa de protección térmica	Diseño en el techo verde	Jardines, parques

#### 1.6.4 Componentes de los techos verdes.

Para que el sistema de vegetación tenga las condiciones de funcionamiento óptimas, los siguientes componentes que están en la figura 1.10, son necesarios, (García, 2010):

1. Soporte base que sirve para el apoyo de todos los componentes.
2. Membrana impermeabilizante anti-raíz que inhibe el crecimiento radical de las especies vegetales.
3. Capa drenante cuya función es recibir las precipitaciones y conducir las hacia los desagües de la cubierta. También puede servir como almacén de agua.
4. Capa filtrante que evita el paso de las partículas finas del sustrato hacia la capa drenante.
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.
6. Capa de vegetación con una selección de especies vegetales que depende del sistema de naturalización<sup>5</sup> elegido.

<sup>5</sup> Techo Verde.



**Figura 1. 10 Esquema de los componentes de un sistema típico de naturación en cubiertas, fuente, tomado de (García, 2010).**

De esta forma se puede definir claramente que el espesor idóneo para el techo verde, está condicionado principalmente por los recursos disponibles tanto para la construcción como para el mantenimiento del techo verde.

Así, para techos de edificaciones de escasos recursos, donde precisamente el recurso para la construcción y el mantenimiento es limitado, el techo verde ideal es el extensivo, porque sus requerimientos son menores, de materiales en la construcción, de peso sobre la estructura, de mantenimiento en la vida útil, o sea únicamente alcanzó el recurso para proporcionar la protección térmica con beneficios en el aspecto energético.

En el otro extremo, cuando el recurso disponible para la construcción y el mantenimiento del techo verde no representan un problema, alcanza para adquirir los otros beneficios que brindan los techos verdes, entre ellos, contribuir al equilibrio psicosomático de los ciudadanos, interceptar rayos ultravioletas, reducción de ruidos urbanos, mejorar la humedad ambiental, embellecer el paisaje, en ese caso el espesor ideal puede ser hasta 40 cm. con los requerimientos para el techo verde intensivo indicado en la tabla 1.5. Cabe mencionar que entre mayor sea el espesor del suelo, mayores serán la diferencia en el consumo de energía y de TSI<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Temperatura superficial interior del techo.

**Tabla 1. 6 Comparación de resultados con diferentes espesores de suelo en el techo verde, valores de conductividad térmica tomados de: (Rojas Palomino, Madero Morales, Ramírez Náder, & Zúñiga Escobar, 2009), (Gonzalez, 1997).**

Espesor	Conductividad térmica (W /mK)	Resistencia Térmica Km <sup>2</sup> /W
0.05	0.300	0.1667
0.10	0.300	0.3333
0.20	0.300	0.6667
0.30	0.300	1.0000
0.40	0.300	1.3333

En la tabla 1.6 se incluye una corrida con espesores del suelo en el techo verde que van desde 5 cms. hasta 40 cms. 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.

Se determina ese rango en los espesores tomados de los espesores indicados en la tabla 1.6 donde se indican los espesores para los tipos de techo verde, desde los extensivos hasta los intensivos. No se incluye en la tabla 1.6 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 inferir los rangos intermedios.

En este trabajo 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.

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


En la tabla 1.7, se presenta una comparación donde se incluyen cinco sistemas aislantes existentes en el mercado, incluido el techo verde, a su vez calificados con quince criterios tanto de beneficio al medio ambiente como de cumplimiento con la normatividad aplicable al aislamiento térmico.

**Tabla 1. 7 Comparación con otras opciones aislantes existentes en el mercado, fuente: (Trujillo, Rangel, & Castañeda, 2015), (Máximadimensión, 2014), (Multypanel, 2014), (Thermotek, 2015), (GrupoBari, 2015), (Gonzalez, 1997).**



		1	2	3	4	5
#	Criterio	Poliuretano espreado (Isocianato polimérico colado 358- 30)	Techo verde extensivo	Multytecho	Impermeabiliza nte acrílico celular Bioreflection fotosensible 20 años	Sándwich de Concreto con relleno de poliestireno
1	Conductividad Térmica $\lambda$ W/mK	0.0195	0.300	0.1320	0.0625	0.0370
	Espesor	0.0254	0.1000	0.0375	0.0035	0.0254
2	Resistencia Térmica Km <sup>2</sup> /W	1.3100	0.0580	0.2840	0.0560	0.6864
3	NOM-018-ENER 1997	Pendiente	Pendiente	Cumple	Pendiente	Cumple
4	NOM 020 ENER 2011	Pendiente	Cumple	Pendiente	Pendiente	Pendiente
5	ASTM C-518	Pendiente	Pendiente	Cumple	Pendiente	Pendiente
6	Precio m <sup>2</sup>	\$189.93	\$180.90	\$1,743.65	\$133.40	\$195.30
7	Peso promedio kg/m <sup>2</sup>	0.8128	150.0	16.78	2.40	96.0
8	Rapidez de colocación	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
9	Emite GEI	Alto	Bajo	Alto	Alto	Alto
10	Dependencia Tecnológica	Alto	Bajo	Alto	Alto	Alto
11	Químicos peligrosos	Alto	Bajo	Alto	Alto	Alto
12	Absorbe rayos ultravioletas	Nulo	Alto	Nulo	Nulo	Nulo
13	Reducción de ruidos	Medio	Alto	Bajo	Nulo	Nulo
14	Ciclo del agua	Nulo	Alto	Nulo	Nulo	Nulo
15	Consumo eléctrico %	Bajo	28	Bajo	Medio	Medio
16	Calificación	75%	90%	85%	80%	80%

Conviene destacar que en el bloque de beneficios al medio ambiente donde están incluidos la emisión de GEIS, dependencia tecnológica, absorción de rayos ultravioletas, reducción de ruidos, beneficio al ciclo del agua, ahorro en el consumo eléctrico, el techo verde es muy conveniente, en tanto en el cumplimiento con la normatividad con relación a las ganancias de calor y conductividad, cumple con la NOM 020 ENER 2011. Los otros sistemas existentes en el mercado, obtienen calificaciones negativas en los beneficios al ambiente, salvo en el ahorro de energía eléctrica, obtienen calificaciones altas en el cumplimiento con la normatividad, puesto que el objetivo de las empresas que lo producen es producir riqueza, hay inversión en correr la metodología para el cumplimiento con las normas.



---

## Capítulo 2. Materiales y Métodos

---

## 2. 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.

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

### 2.1 Materiales.

#### 2.1.1 Contexto físico.

##### 2.1.1.1 Contexto físico natural.

En esta sección se revisará el contexto físico natural para Tuxtla Gutiérrez, en el estado de Chiapas, describiendo la fauna y la flora del lugar, cuya interacción con el clima, modifica de forma importante sus características, así como las manifestaciones climáticas con los parámetros que lo definen, temperatura, humedad, presión atmosférica, vientos y precipitación, en el sitio de estudio. La revisión de los parámetros climáticos, se ha hecho con el apoyo de la hoja de cálculo Análisis del clima local de Adalberto Tejeda, (Tejeda, Alvarez, & Treviso, 2008), las normales climatológicas emitidas por el SMN<sup>7</sup>, el portal ZAP<sup>8</sup> y CEIEG<sup>9</sup>. Como apoyo gráfico y para hacer más didáctica la revisión de cada apartado, se presentan también figuras elaboradas con datos del sistema meteorológico nacional. Para aterrizar en discusiones parciales estableciendo la relación que guarda cada uno de los aspectos revisados con la eficiencia energética aplicada a los techos de las edificaciones en el sitio de estudio.

##### 2.1.1.1.1 Fauna.

Son animales endémicos los mamíferos tepezcuintles y huaqueques (los dos son roedores gigantes), armadillos, ocelotes, jabalíes americanos (pecaríes) de collar, venados (cola blanca), tejones y zarigüeyas. Entre fauna menuda, diferentes especies de rana, entre las que destacan las ninfas verdes. También es endémica la araña de bolsa. Es frecuente ver culebras de agua (figura 2.1), pájaro mot mot, garzas grises,

---

<sup>7</sup> Sistema Meteorológico Nacional dependiente de la Comisión Nacional del Agua (CNA).

<sup>8</sup> Zonas de Atención Prioritarias de Secretaria de Desarrollo Social (SEDESOL).

<sup>9</sup> Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica de Chiapas.

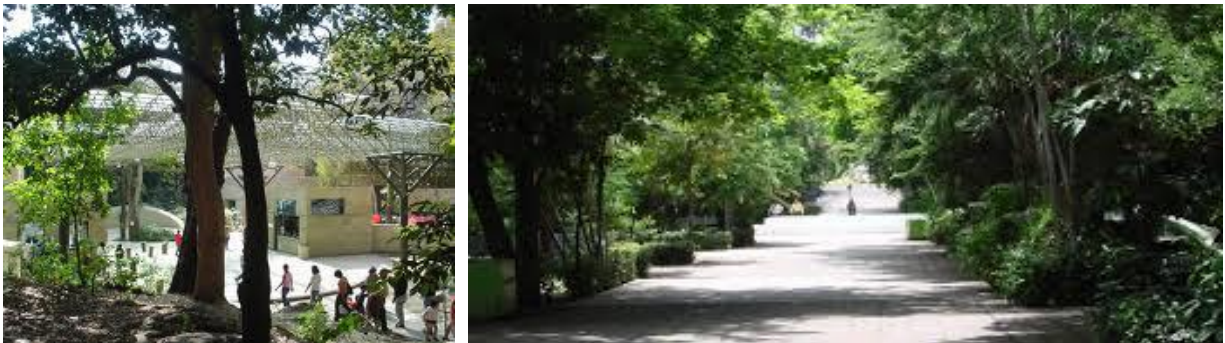
cuervos, chachalacas (figura 2.1), pájaro raqueta, pavo de monte (Cutz) y pavones. La fauna silvestre también está representada por insectos, arácnidos, aves, pequeños mamíferos, reptiles y batracios. En el zoológico local pueden verse en semicautiverio tepezcuintles, martuchas, zorrillos o cacomiztles, (SRE, 2015).



**Figura 2. 1 Culebra de agua y Chachalaca.**

#### 2.1.1.1.2 Flora.

La vegetación de Tuxtla Gutiérrez, se caracteriza por tener una temporada de sequía bien definida y prolongada, entre los meses de noviembre a mayo, (García, 1998), (SMN, 2015). La mayoría de la vegetación, especialmente del valle, es de selva baja caducifolia. El otro tipo de vegetación de las áreas municipales es la selva alta o mediana subcaducifolia. Esta selva, se encuentra en los lugares más húmedos del municipio, como vegas de corrientes de agua, cañadas y en profundas barrancas. Los árboles crecen de 25-30 metros de altura. La mitad de la población de árboles altos se deshoja en la temporada de sequía (noviembre-mayo). La selva baja caducifolia, se encuentra en los espacios abiertos del municipio. Los árboles normalmente no superan los 8-15 metros de altura. Casi la totalidad de la población de árboles y arbustos pierde sus hojas en sequía (noviembre-mayo).



**Figura 2. 2 Árbol de Chicozapote, Guanacaste y Cedros.**

### **Entre los árboles de mayor altura se encuentran:**

Amate, aceituno, aiguné, aguacatillo, cacho de toro, árbol camarón, canelo, capulín, castaño, cedro, chicozapote (figura 2.2), chucamay, guaje, guaje blanco, guanacaste, guayabillo, jocotillo, lanta, matilisguate, mora, mulato, nambimbo, pajarito, ceiba (pochota), primavera, sospó, totoposte, zapote colorado, zapote negro, madrecacao.

### **Entre los árboles de menor altura encontramos:**

Anona, Brasil, chincuya, cuajilote, caobilla, cuchunuc, copales, cupapé, flor de mayo, guaje, guajpó, guamúchil, guanábano, guaya, Jazmín del istmo, jobo, jocote, maluco, matzú, mezquite, motmot, nanche, morro, papausa, pito, quebracho, ramón colorado, rompezapato, sasafrás, taray, tepeguate, tincuí, tzatzupú, (SRE, 2015).

#### 2.1.1.1.3 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, (SEDUMA, 2014), (CNA, 2010).

En una aplicación práctica de lo anterior, las figuras que se presentan a continuación, se obtuvieron con la hoja de cálculo análisis del clima local y con el cálculo horario de temperaturas y humedad se obtuvieron gráficos donde se reflejan temperaturas por mes, temperaturas horarias por mes, horas frío, horas calor, confort horario en °C e Isohigra %. Esta información analiza y permite profundizar en el conocimiento del clima de un lugar, la hoja de cálculo fue alimentada con datos climáticos históricos de la estación meteorológica “observatorio sinóptico” del SMN/CNA, latitud N 16° 45', longitud W 93° 08', altitud 570 msnm, (SMN, 2015). Siendo la más cercana al sitio de estudio, a través de las normales climatológicas correspondientes, información disponible en el sitio oficial del sistema meteorológico nacional.

#### 2.1.1.1.3.1 Temperatura.

La temperatura es la condición que determina la dirección del flujo resultante de calor entre dos cuerpos, se dice que el cuerpo que libera calor al otro está a una temperatura más elevada. Para medir la temperatura de un objeto se puede poner un termómetro a la misma temperatura que el objeto (es decir, en equilibrio termodinámico con él) y entonces se puede medir la temperatura del mismo termómetro, como otra posibilidad, se puede determinar la temperatura mediante un radiómetro sin necesidad de llegar a un equilibrio térmico. Por el funcionamiento de los equipos de medición Hobo, (ONSET, 2015), en este trabajo se medirán temperaturas según la primera de las formas explicadas.

Una primera concepción de la temperatura es la que se refiere a la sensación fisiológica del cuerpo humano. Cuando se toca un cuerpo se dice que está caliente o frío, según la sensación. Cuando se juntan dos objetos con diferente temperatura, el objeto caliente se enfría mientras que el objeto frío se calienta hasta que la temperatura en los dos cuerpos se iguala, se habla entonces de un equilibrio térmico. Uno de estos objetos puede ser un termómetro. La temperatura la podemos medir como la actividad molecular de una sustancia llamada medio térmico, la cual se manifiesta mediante el cambio de alguna propiedad (por ejemplo aumento del volumen de la sustancia).

Dicho de otra forma, la temperatura es la condición que determina si un cuerpo o sustancia es apto para transmitir calor a otros o para recibir el calor transmitido por estos. Cualquier propiedad física de una sustancia que este en función de la temperatura puede ser utilizada como base de un termómetro. La temperatura de un cuerpo es la medida de la agitación de sus moléculas o intensidad de calor. Los procesos fisiológicos en los organismos vegetales, tales como respiración, fotosíntesis, asimilación y transpiración, transcurren solamente a determinadas temperaturas; los valores óptimos y extremos (máxima y mínimas) de las temperaturas, son diferentes para las plantas de distintas especies e incluso para diversos periodos de su vida, por lo que la temperatura del aire tiene una gran importancia en la vida de las plantas.

En estos intercambios de energía, existen principalmente tres formas de transmisión de calor, o sus combinaciones: conducción, convección y radiación.

- **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.
- **Convección.** Es la transmisión de energía térmica en el propio cuerpo del fluido (gas o líquido) cuando está en contacto con una 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, tiende 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.
- **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, (CNA, 2010).

La figura 2.3, 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, 2010), 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° C. (SEDESOL, 2014). 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 (García, 1998). 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 2.3, 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.



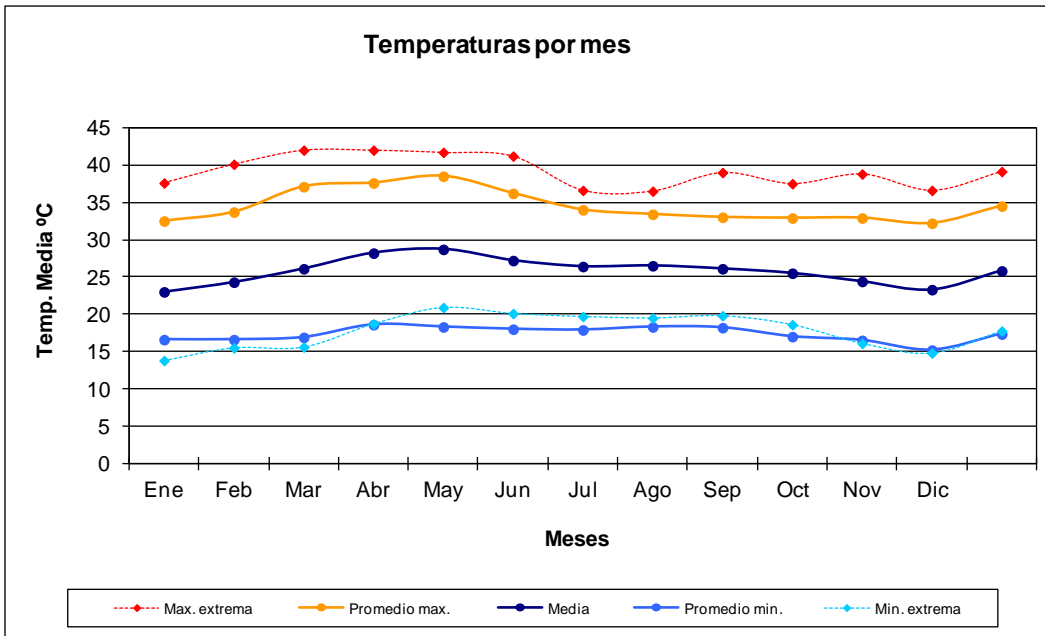


Figura 2. 3 Temperaturas por mes, fuente: elaborado con datos de (SMN, 2015).

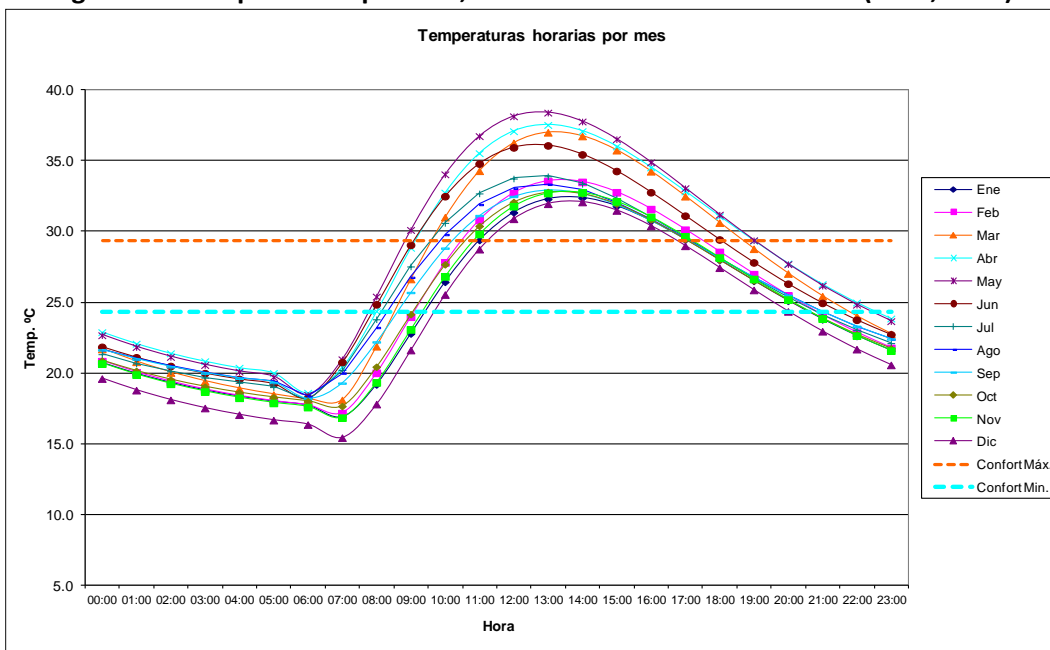


Figura 2. 4 Temperaturas horarias por mes, fuente: elaborado con datos de (SMN, 2015).

La figura 2.4 muestra la temperatura según los meses del año<sup>10</sup> y los horarios correspondientes. En esta figura 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 2.5 las horas calor promedio en el año están presentes entre las 10:00 horas y las 18:00 horas.

<sup>10</sup> De 1981 al 2000, según los registros históricos de las normales climatológicas de la estación meteorológica descrita, (SMN, 2015).



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

Figura 2. 5 Horas frío, Horas calor, fuente: elaborado con datos de (SMN, 2015).

Confort horario °C														
Hora (TSV)	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Frio	< 24.3
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	Confort	Tn ± 2.5
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	Calor	> 29.3
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		

Figura 2. 6 Confort Horario ° C, fuente: elaborado con datos de (SMN, 2015).

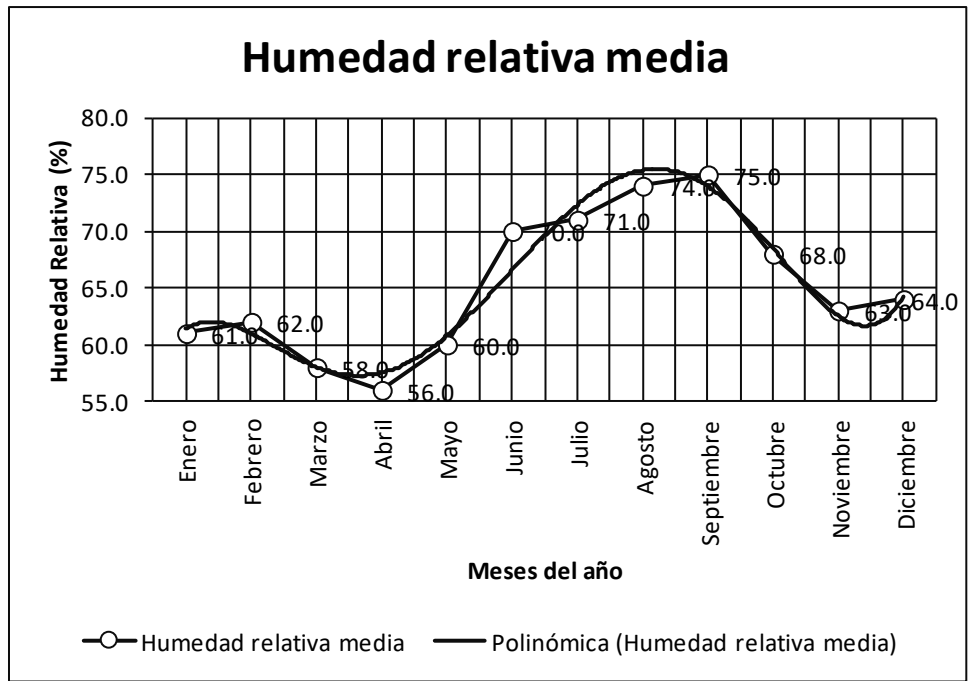
En la figura 2.6 se definen a través de polígonos las zonas frías, de confort y de calor. La zona fría definida por la temperatura <24.3, para la zona de confort definida por el rango comprendido entre 22.9° C y 27.9° C ±2.5° C, en tanto para la zona de calor definida por >29.3° C, (Humphreys, Nicol, & Roaf, 2011).

### 2.1.1.1.3.2 Humedad.

La figura 2.7 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, (EPA, 2015), 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 %, mientras los valores mínimos se registran en abril y mayo con 56 %, periodos que corresponden a temporada de lluvias y época de estiaje respectivamente, (SMN, 2015).

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		

Figura 2. 7 Isohigra %.



**Figura 2. 8 Humedad relativa media, fuente: elaboración propia con datos del sistema meteorológico nacional.**

### 2.1.1.1.3.3 Presión atmosférica.

En virtud de su peso, la atmosfera gaseosa de la Tierra ejerce una presión sobre la superficie terrestre. Esta presión 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.

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. 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, (Gay, Estrada, & Martínez, 2010). 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 cm<sup>3</sup>) 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.

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  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N m}^{-2}$

$1 \text{ hPa} = 100 \text{ N m}^{-2}$

Dado que también  $1 \text{ mb} = 100 \text{ N m}^{-2}$

$1 \text{ hPa} = 1 \text{ mb}$

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

$1 \text{ hPa} = 0.750062 \text{ mm Hg} = 0.02953 \text{ pulg. Hg}$

$1 \text{ mm Hg} = 1.333224 \text{ hPa} = 0.03937008 \text{ pulg. Hg}$

(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<sup>2</sup>, (CNA, 2010).

Se observa en la figura 2.9 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 agosto septiembre. Conviene resaltar que la variación o amplitud de presión promedio en el año es de apenas de 5.6 mb, (SMN, 2015).

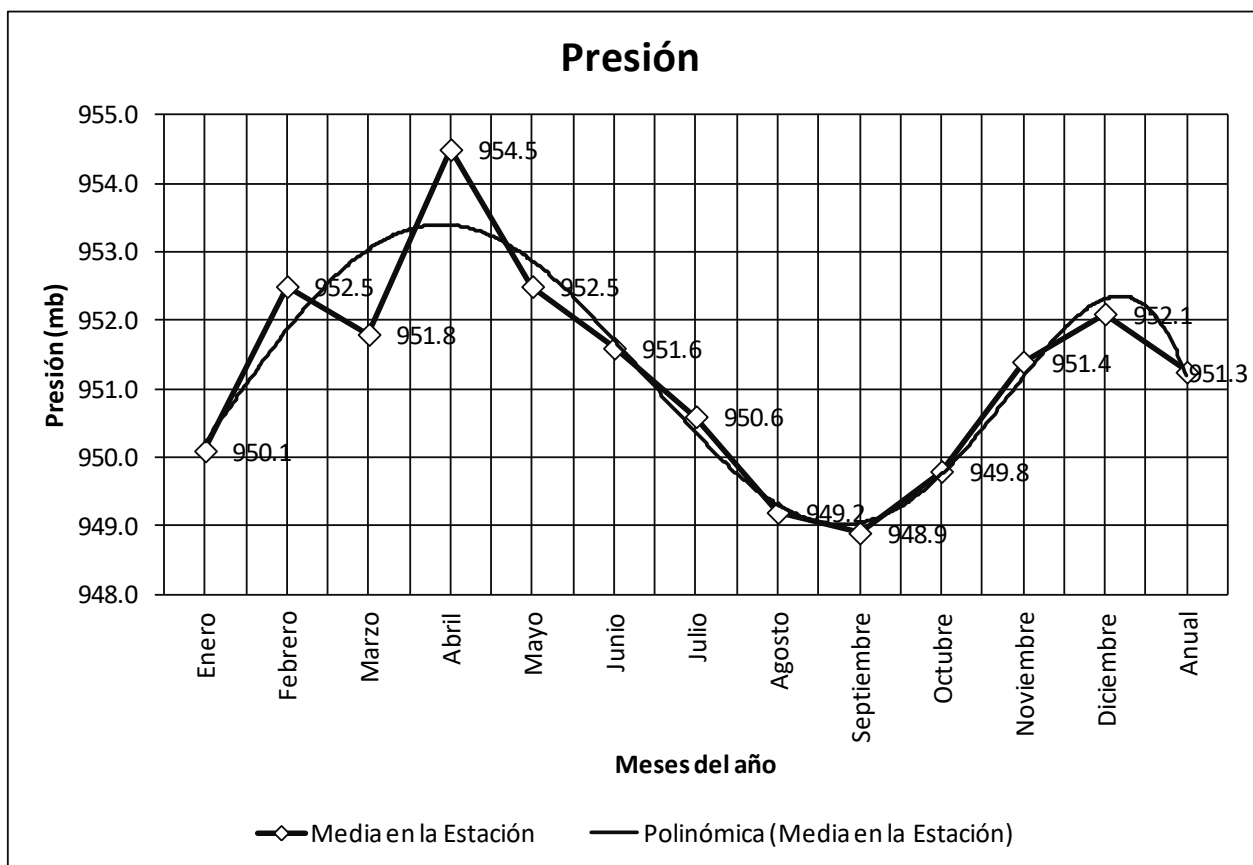


Figura 2. 9 Presión Atmosférica, fuente: elaboración propia con datos del sistema meteorológico nacional.

#### 2.1.1.1.3.4 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. 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.

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. Esta estructura 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, 2010).

La velocidad del viento se puede indicar en cualquiera de las siguientes unidades:

- 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 2.10 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 2.11, 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, (Weather, 2015).

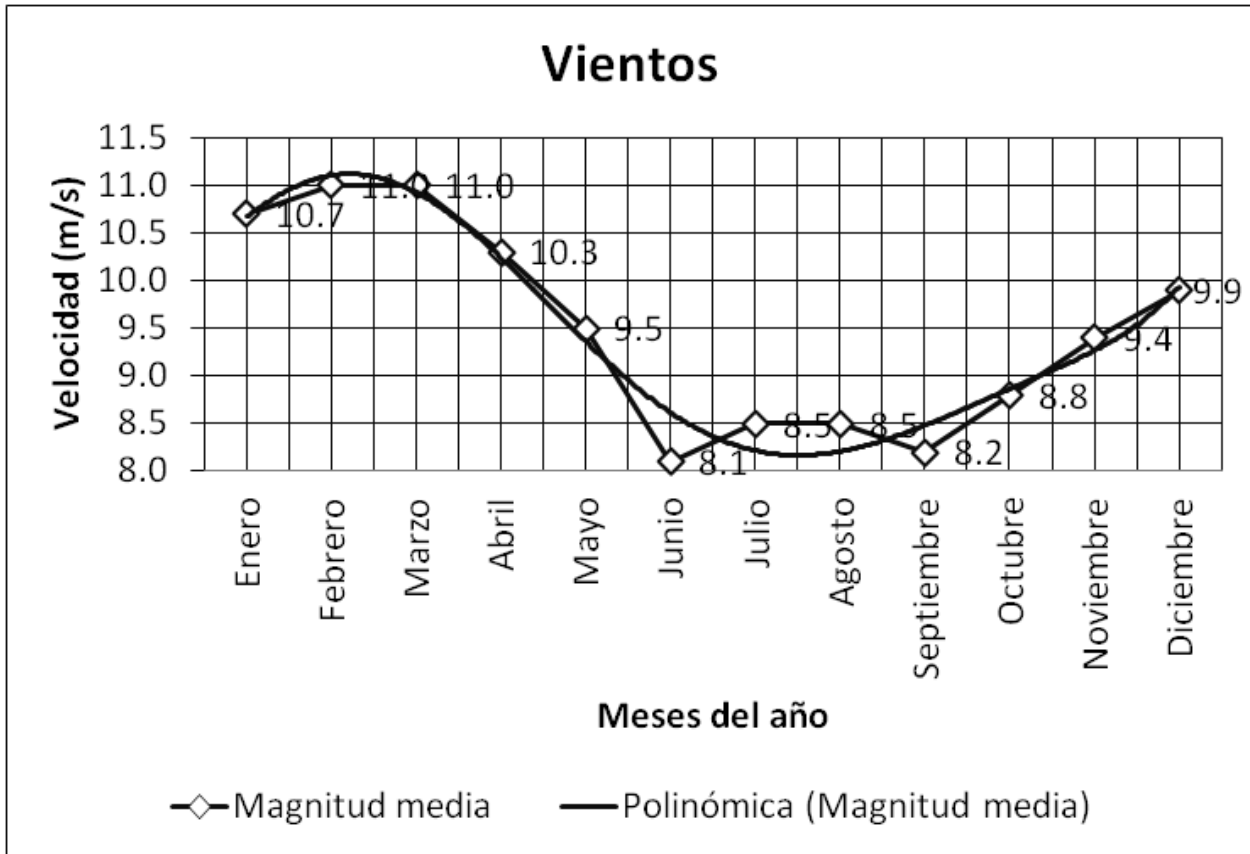


Figura 2. 10 Velocidades promedio de vientos, fuente: elaboración propia con datos del sistema meteorológico nacional.

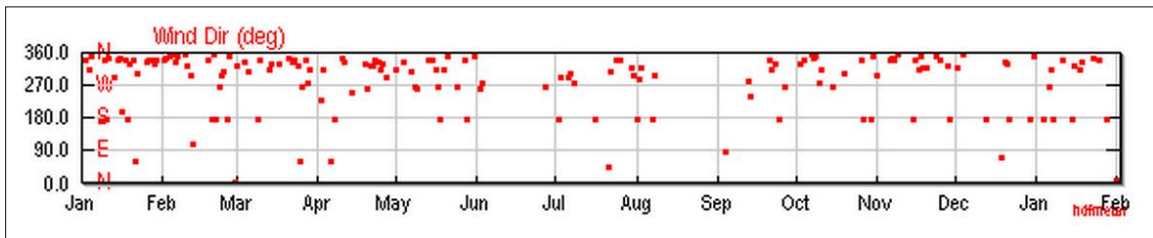


Figura 2. 11 Dirección predominante de vientos, fuente: Tomado de [www.weatherunderground.com](http://www.weatherunderground.com)

#### 2.1.1.1.3.5 Precipitación.

Se denomina precipitación al agua de la atmosfera que cae en forma líquida, solida, o liquida 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 solido 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. Existen varios tipos de precipitación como son: Convectivo, orográfico, frontal y ciclónico. En nuestra zona de estudio, se presentan principalmente lluvia y en ocasiones esporádicas granizo, y predomina el tipo de precipitación Convectivo, (CNA, 2010).

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 liquida (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.

La forma 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. 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). Las medidas diarias de la precipitación deben efectuarse a horas fijas y de acuerdo a las normas del reporte sinóptico<sup>11</sup>, (CNA, 2010).

---

<sup>11</sup> El observatorio meteorológico se conoce así a nivel internacional, realiza mediciones de parámetros meteorológicos en intervalos de tiempo muy cortos, incluso menos de una hora.



Como se muestra en la figura 2.12, para nuestra 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, (SMN, 2015).

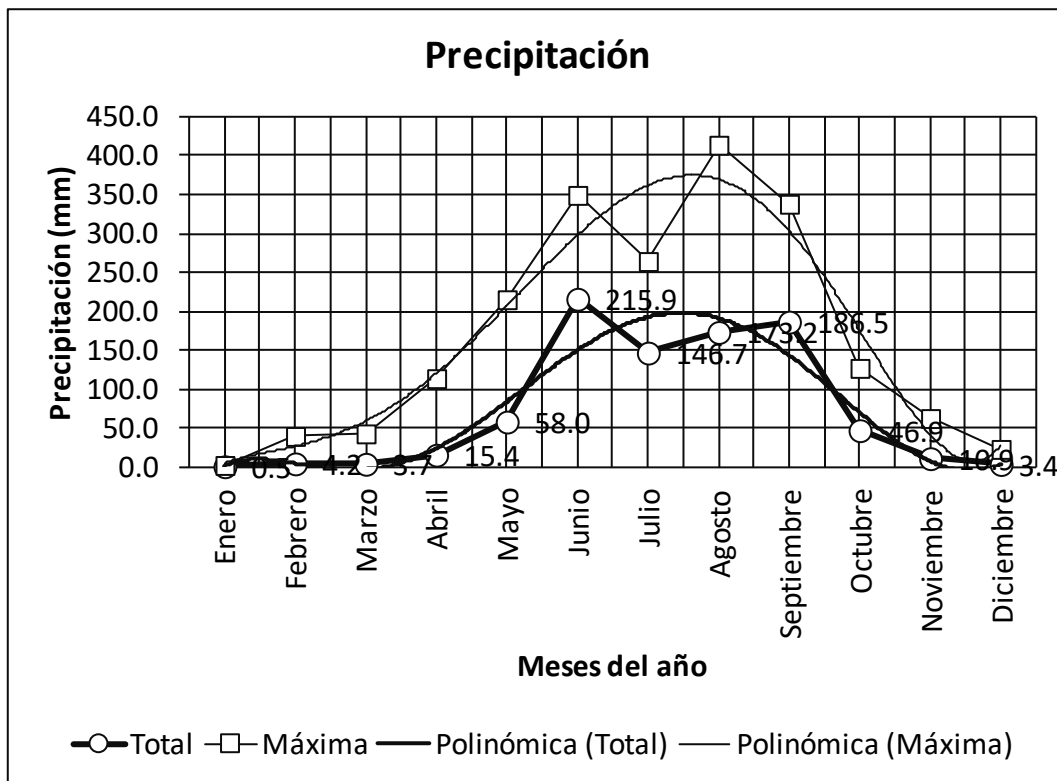


Figura 2. 12 Precipitación, fuente: elaboración propia con datos del sistema meteorológico nacional.

### 2.1.1.2 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 techos en las edificaciones del sitio de estudio, por lo que 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. Aunque también hubo apoyo de otras fuentes, la información estadística se obtuvo principalmente del Plan municipal de desarrollo 2012-2015, agenda 2030 del ICIPLAM<sup>12</sup> y del reglamento de construcción para Tuxtla Gutiérrez Chiapas.

---

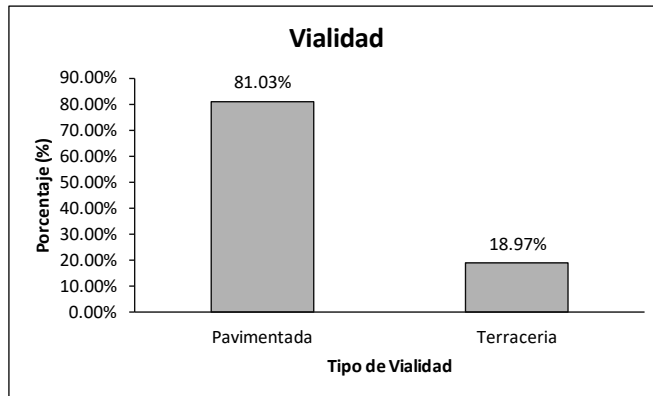
<sup>12</sup> Instituto Ciudadano de Planeación Municipal

#### 2.1.1.2.1 Pavimentación.

Al igual que otras ciudades del país, la población de Tuxtla Gutiérrez ha crecido de forma acelerada en las últimas décadas pasando de 196,785 habitantes y 798 hectáreas en 1980 a 553,374 habitantes y 13,532 hectáreas en 2010, (INEGI, Censo de Población y Vivienda, 2010, 2010), (INEGI .. , 2015), (SEDESOL, 2014), (Topelson, 2015) y con esto, el crecimiento de las pavimentaciones en las vialidades que principalmente son de concreto hidráulico. En este sentido, la red carretera de Tuxtla Gutiérrez está conformada 54.25 kilómetros que representan el 0.23% del total de la superficie carretera del estado. 81.03% de la red vial municipal se encuentra pavimentada, el resto son carreteras revestidas (ver figura 2.13). Por tipo de carretera 28.75 km son troncales, 15 km son alimentadoras y 10.5 km corresponden a caminos rurales. El principal acceso carretero a Tuxtla Gutiérrez es por la carretera federal 190 y por la autopista Ocozocoautla-Las Choapas, que comunican a la capital del estado con el resto del país, desde la capital se puede acceder a las diferentes regiones del estado, (Plan Municipal de Desarrollo 2012-2015, 2015).

El reglamento de construcción de Tuxtla Gutiérrez Chiapas, también ha contribuido a que el incremento de las pavimentaciones sea de concreto hidráulico, y ha disminuido la posibilidad de otro tipo de pavimentaciones puesto que dicho reglamento indica:

Artículo 47: Sólo se admitirán en las calles de Tuxtla Gutiérrez los pavimentos de tipo rígido, esto es, los de concreto hidráulico. Se admitirán los empedrados siempre y cuando cumplan con lo requerido en el artículo 48 del presente Reglamento o los de carpeta asfáltica, en éste último caso, previo acuerdo especial del Ayuntamiento, (Tuxtla, 2015)



**Figura 2. 13 Vialidad por tipo de pavimento, fuente: Elaborado con datos del H. Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.**

#### 2.1.1.2.2 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 2.14), los esfuerzos en la construcción de grandes infraestructuras urbanas han tenido mucho que ver en esto, (Tuxtla & Municipal, 2015). La intensidad de uso de suelo es un aspecto importante en la agenda 2030 del ICIPLAM, que se define como la cantidad de metros cuadrados de techos edificados que existe en una zona urbana con relación a la totalidad del territorio urbano, (Tuxtla & Municipal, 2015).

La vivienda ocupa un lugar importante en este total edificado, en los últimos años, la apertura de créditos hipotecarios otorgados a través de Infonavit, Foviste, ISSTECH, instituciones bancarias, promotores de viviendas y constructores particulares. En Tuxtla se concentra al menos una de cada 10 viviendas del total de la entidad (13.18%); y mantiene una tasa media anual de crecimiento de 3.5%, cifra que se encuentra por encima del promedio estatal y nacional equivalentes al 3.0 y 2.6%, respectivamente (Plan Municipal de Desarrollo 2012-2015, 2015).



**Figura 2. 14 Fotografía Aérea, fuente: Google Earth y Edificación, fuente: [pgje.chiapas.gob.mx](http://pgje.chiapas.gob.mx)**

### 2.1.1.2.3 Crecimiento urbano.

El crecimiento de la mayoría de las ciudades en América latina hasta la década de 1980 parecía imparable, aunque a partir de 1990 se ha atenuado un poco, el crecimiento aun es importante, (De Cunha & Rodriguez Vignolli, 2009). Tuxtla Gutiérrez al igual que la mayoría de las ciudades de países en desarrollo, está en firme crecimiento, como se muestra en la tabla 2.1, con tasas de crecimiento hasta de 4.8 %, la población ha pasado de 295,608 a 553,373 habitantes de 1990 a 2010 respectivamente, (INEGI, 2015), (Tuxtla & Municipal, 2015).

**Tabla 2. 1 Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez: Población, tasa de crecimiento y densidad urbana, 1990-2010**

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

\*Densidad media urbana 2005.

Fuente: elaborado con datos de INEGI.

## 2.1.2 Condiciones específicas del experimento.

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

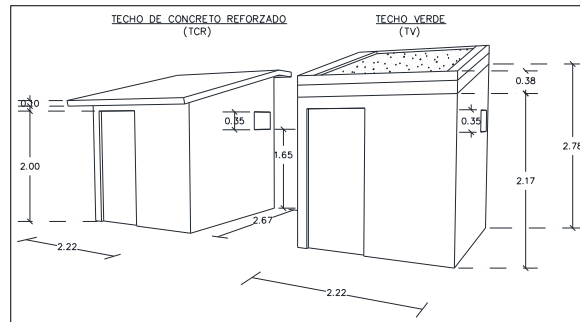
### 2.1.2.1 Celdas de experimentación.

Como se indica en la figura 2.15, 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 solar, por lo tanto ambos techos tienen orientación sur, muros de ladrillo artesanal aplanado al exterior, emplazadas en el área del laboratorio de arquitectura bioclimática<sup>13</sup> de la facultad de arquitectura de la 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 (ver figura 2.16).

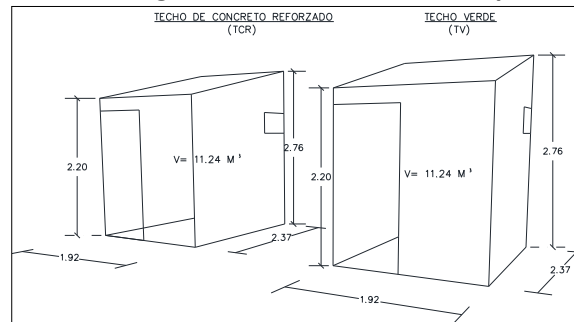


**Figura 2. 15 Celdas de experimentación TCR Y TV.**

<sup>13</sup> Laboratorio a cargo del cuerpo académico Componentes y condicionantes de la vivienda (COCOVI) en la facultad de arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas.

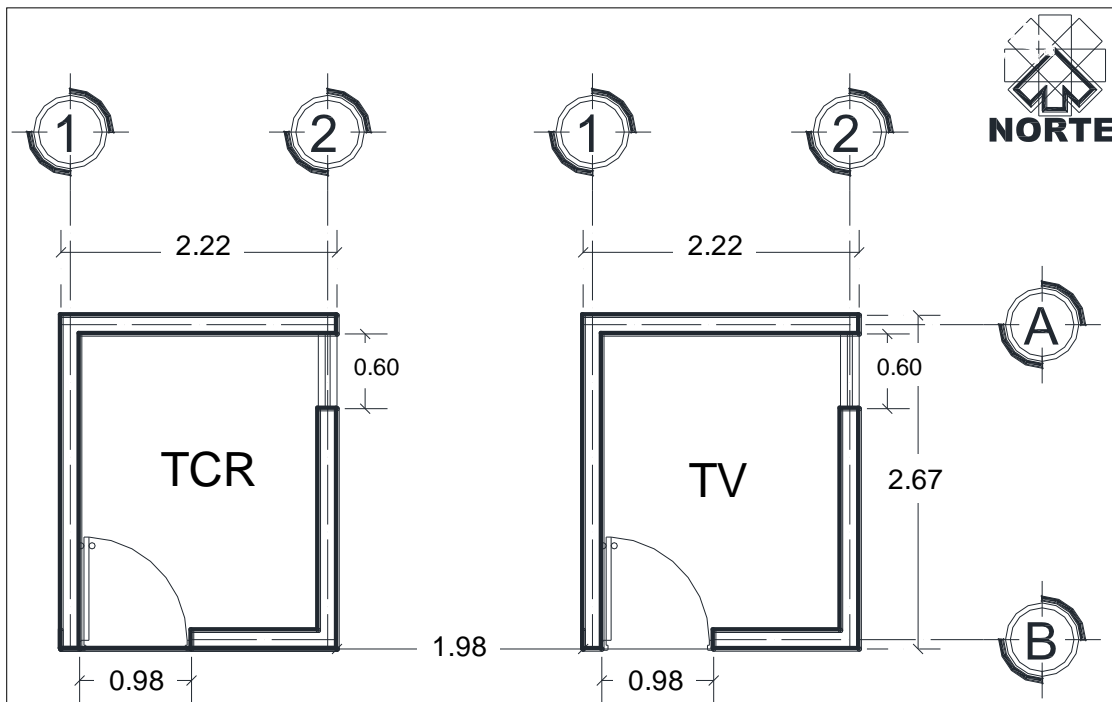


**Figura 2. 16 Vista fugada de las dos celdas de experimentación.**



**Figura 2. 17 Volumen de aire interior de las dos celdas de experimentación.**

De acuerdo con la figura 2.17 y 2.18, 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 m<sup>3</sup>.



**Figura 2. 18 Plantas arquitectónicas de las celdas de experimentación TCR y TV.**



### 2.1.2.1.1 Piso y envolventes.

El piso de las celdas de experimentación es firme de concreto de 100 kg/cm<sup>2</sup>, 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.

### 2.1.2.1.2 Techos.

Los techos de las dos celdas de experimentación son TCR y TV.

#### 2.1.2.1.2.1 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 2.19, en la tabla 2.2 se muestran los coeficientes térmicos y densidad de los materiales que lo componen (SENER, 2011), (Gonzalez, Selección de Materiales en la Concepción Arquitectónica Bioclimática, 1997). Este techo es el referente por mejorar pues el 80 % de las viviendas en Tuxtla Gutiérrez están construidas con este sistema (INEGI, 2010).



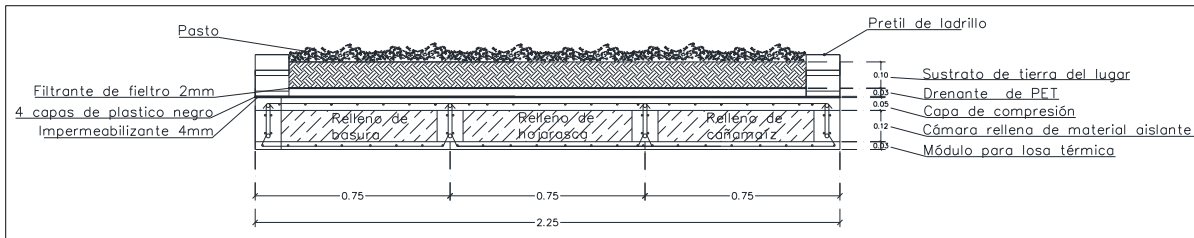
Figura 2. 19 Sección unitaria de TCR y refuerzo de acero corrugado.

Tabla 2. 2 Coeficientes térmicos de los materiales del TCR, valores tomados de la NOM 020 ENER 2011.

Nombre	Material de construcción	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Conductividad térmica (W /mK)	Espesor (mm)
Impermeabilizante	Membrana	1,127.0	0.17	4.0
Concreto	Concreto	2,300.0	1.74	100.0
Acero	Acero	7,800.0	52.3	12.7

El TV, está compuesto de dos fases. La fase uno (ver tabla 2.3) es una propuesta de techo no convencional techo térmico<sup>14</sup>, que ha sido evaluada en sus aspectos: proceso constructivo, desempeño térmico, comportamiento estructural y precio, desde sus aspectos físicos, económicos y sociales (Trujillo, 2011). La segunda fase (tabla 2.4) 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 (Castañeda & Vecchia, 2007). (Ver figura 2.20).

<sup>14</sup> Propuesta tecnológica desarrollada por Gabriel Castañeda Nolasco y evaluada por Ruber Trujillo Samayoa.



**Figura 2. 20 Sección de TV y componentes.**

**Tabla 2. 3 (Fase uno) Coeficientes térmicos de los materiales del techo térmico, (SENER b. , 2011), (Gonzalez, Selección de Materiales en la Concepción Arquitectónica Bioclimática, 1997).**

Nombre	Material de construcción	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Conductividad térmica (W /mK)	Espesor (mm)
Concreto	Concreto	2,300.0	1.74	40.0
Acero	Acero	7,800.0	52.30	12.7
Madera	Madera	610.0	0.13	130.0

**Tabla 2. 4 (Fase dos) Coeficientes térmicos de los materiales del TV, (SENER b. , 2011), (Gonzalez, Selección de Materiales en la Concepción Arquitectónica Bioclimática, 1997), (Gaggino, 2008), (Seguel Vidal, 2007), (Machado, Brito, & Neila, 2000).**

Nombre	Material de construcción	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Conductividad térmica (W /mK)	Espesor (mm)
Vegetación	Vegetación		0.1224	50.0
Sustrato	Suelo	0.0015	0.30	100.0
Filtrante	Fieltro	11.00	0.04	4.0
Drenante	Pet		0.15	30.0
Impermeabilizante	Membrana	1,127.0	0.17	4.0
Techo de Concreto Reforzado (TCR)	Concreto Reforzado	2,300.0	1.74	100

### 2.1.2.2 Equipo de apoyo.

En este apartado se describen los equipos de climatización artificial, equipos de medición de energía eléctrica, equipos de medición de temperaturas tanto interiores como externos utilizados en el experimento.

#### 2.1.2.2.1 Equipos de climatización artificial.

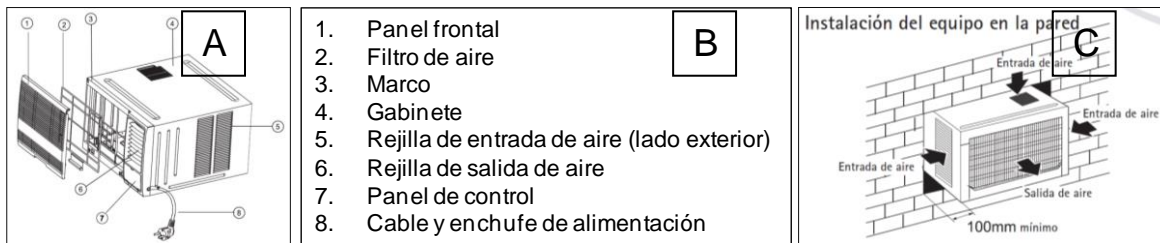
En ambas celdas de experimentación se colocaron equipos de refrigeración con las siguientes características:

Como se muestra en la figura 2.21, y en la tabla 2.5, los equipos de refrigeración fueron sistemas de ventana o autónomo, marca Carrier (Carrier, 2015), 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.

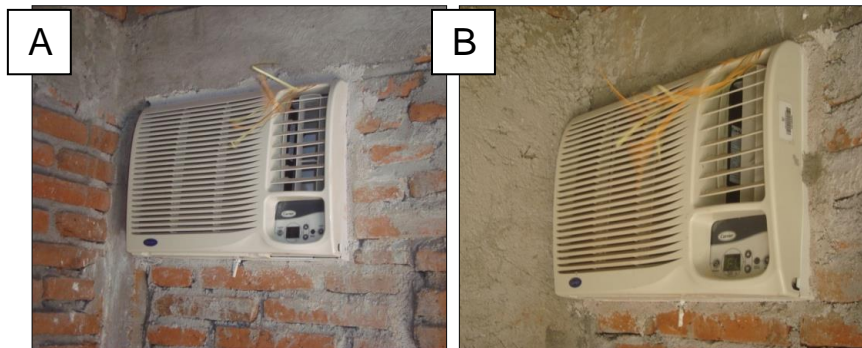
**Tabla 2. 5 Características técnicas de los equipos de refrigeración, fuente: <http://www.carrier.com/>.**

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)

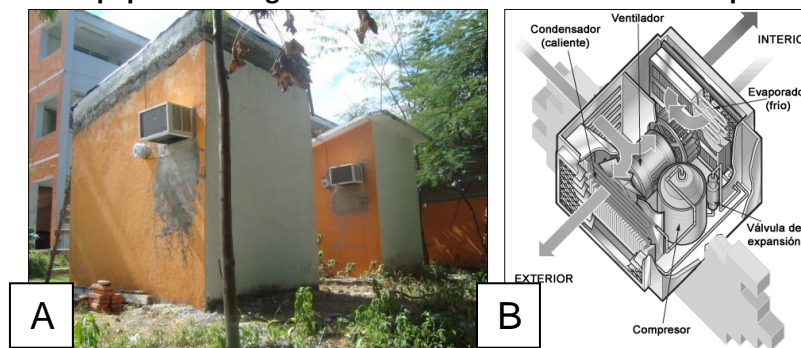


1. Panel frontal
2. Filtro de aire
3. Marco
4. Gabinete
5. Rejilla de entrada de aire (lado exterior)
6. Rejilla de salida de aire
7. Panel de control
8. Cable y enchufe de alimentación

**Figura 2. 21 Equipos de refrigeración marca Carrier, fuente: <http://www.carrier.com/>**  
Se selló en el perímetro del equipo para evitar intercambio de aire caliente o frío entre el interior con el exterior (ver figura 2.22 y 2.23).



**Figura 2. 22 Equipos de refrigeración colocados en las celdas de experimentación.**

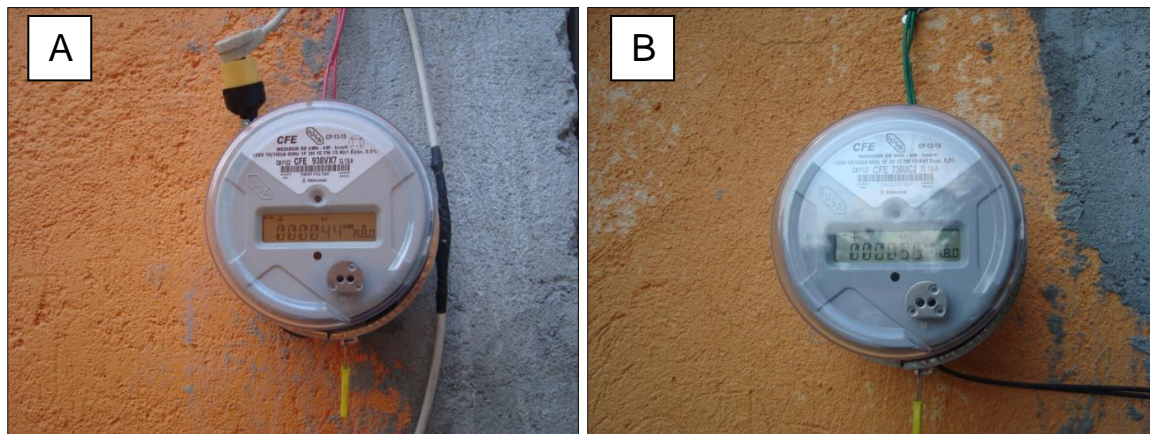


**Figura 2. 23 Equipos de refrigeración colocados en las celdas de experimentación.**

#### 2.1.2.2.2 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 2.24, 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 (IUSA, 2015).

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 postpago.



**Figura 2. 24 Medidores de energía con sistema de medición inteligente de autogestión, fuente: <http://www.iusa.com/>**

De acuerdo a lo anterior, los medidores bidireccionales de energía eléctrica fueron de la marca IUSA kWh-kW-kvarh 120 V 15(100) A 60 Hz 1F 2H 1E FM 1S Kh1 Exac. 0.5 % CM F122 CFE 738UC2 CL 12LH y CP-13-1S de la marca IUSA kWh-kW-kvarh 120 V 15(100) A 60 Hz 1F 2H 1E FM 1S Kh1 Exac. 0.5 % CM F122 CFE 938VX7 CL13LN, números de serie CP-12-1S y CP-13-1S, en TCR y TV respectivamente.

### 2.1.2.2.3 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.

### 2.1.2.2.4 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 (ver figuras 2.25 y 2.26), 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 (ONSET, 2015). 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.



Figura 2. 25 Equipo Hobo data logger, modelo U12-012 fuente: <http://www.onsetcomp.com/>

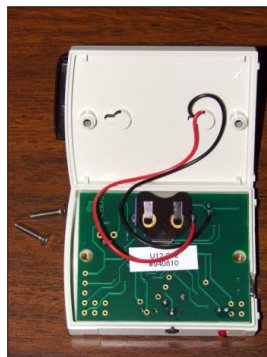
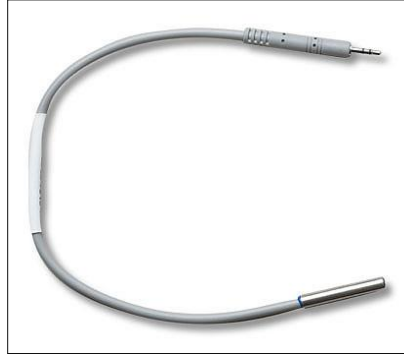


Figura 2. 26 Interior Hobo data logger, modelo U12-012, fuente: <http://www.onsetcomp.com/>



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 (ver figura 2.28).



**Figura 2. 27 Cable termopar sensor/sonda de temperatura, fuente: <http://www.onsetcomp.com/>**



**Figura 2. 28 Batería CR2032 de litio, fuente: <http://www.onsetcomp.com/>**

Según la figura 2.27, la información de la temperatura superficial interior del techo pasa al registrador automático a través de un cable termopar sensor/sonda de temperatura TMC1-HD (-40°C a +100°C) de 2.5 cm, rango de -40°C hasta +100°C en aire, precisión:  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  a +20°C, dimensiones de la punta del sensor 7 mm x 2.5 cm, peso: 37g, 125g ó 280g. La punta del sensor es de acero inoxidable.

#### 2.1.2.2.5 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 2.30) que proporcionan alta precisión y mediciones de temperatura y humedad

relativa en una amplia gama de ambientes al aire libre (ONSET, 2015). Las unidades en que se miden la temperatura y humedad relativa del aire son según el SI<sup>15</sup> de unidades. Los equipos tienen carcasa (figura 2.29) resistente a la intemperie para uso en exteriores o ambientes con condensación, de diámetro pequeño para mediciones en espacios reducidos.



Figura 2. 29 Carcasa para sensor externo, fuente: <http://www.onsetcomp.com/>



Figura 2. 30 Hobo Pro v2 Loggers U23-001, fuente: <http://www.onsetcomp.com/>



Figura 2. 31 Batería tamaño 1/2AA de 3.6 volts marca Tadiran.

<sup>15</sup> Sistema Internacional de Unidades.

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 2.31 y tabla 2.6), (ONSET, 2015), con aplicaciones de sensores en medicina, aeronáutica, automovilismo, militares, con las siguientes propiedades:

**Tabla 2. 6 Propiedades de la batería 1/2AA de 3.6 volts, fuente: <http://www.tadiran.com/>**

Propiedad	Dato
Voltaje máximo	3.6 V
Rango de temperaturas de operación	-55 ° C a + 125 ° C
Máxima vida útil	Más de 20 años
Factor de forma	Pequeño
Sello	Vidrio-metal hermética (no junta de elastómero rizada)
Composición de la batería	Cloruro de tionilo de litio Tadiran TLH Series
Norma	ISO-9001: 2000 certificado y reconocido por UL <sup>16</sup> .

Según se muestra en la figura 2.32 y 2.33, 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 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.



**Figura 2. 32 Transportador de información, fuente: <http://www.onsetcomp.com/>**

<sup>16</sup> Underwriters Laboratories, consultoría de seguridad y certificación, ofrece certificación relacionada con seguridad, validación, pruebas, inspección, auditoría, asesoría y capacitación de productos industriales entre ellos las baterías de litio.



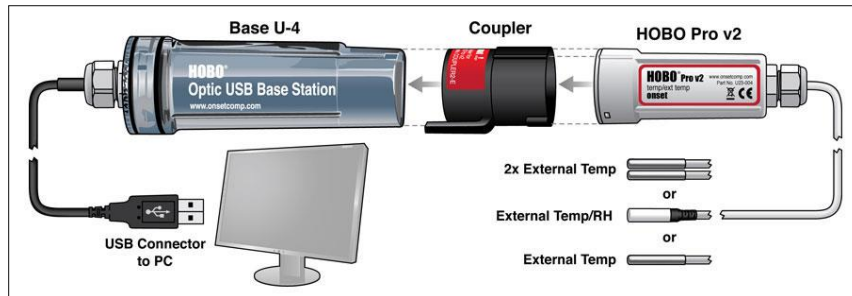


Figura 2. 33 Interfaz USB óptica, fuente: <http://www.onsetcomp.com/>

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 2.34), (ONSET, 2015).

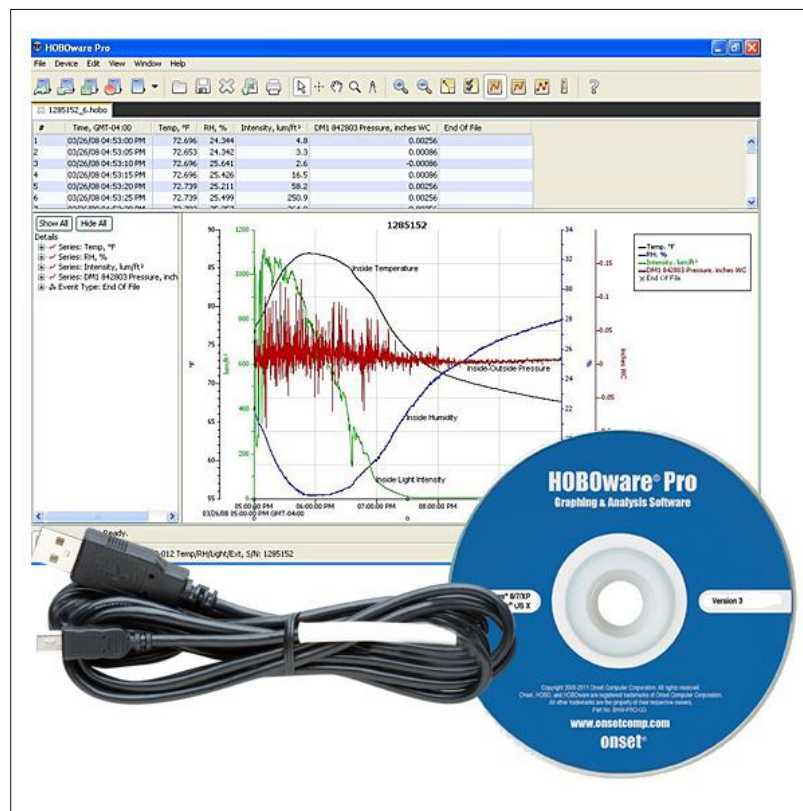


Figura 2. 34 Software hobo ware pro, fuente: <http://www.onsetcomp.com/>

## 2.2 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).

### Valor R

2.2.1 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”

Se representa por el esquema metodológico de la figura 2.35. 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.

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. La resistencia térmica para habitabilidad o valor “R” para habitabilidad, busca proporcionar bienestar hidrotérmico 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.

Se integra una memoria de cálculo que consiste en 5 pasos: 1. Identificación de los valores de conductividad térmica de las capas que componen la envolvente,

con el apoyo de los datos tabulados en las normas como la que nos ocupa en este momento o en su caso los valores proporcionados por el fabricante. 2. Cálculo de los valores de resistencia térmica de las capas que componen la envolvente, de esta forma se obtienen los valores parciales de “R”. 3. Con el apoyo del mapa de zonas térmicas de la república mexicana, incluido en la norma, se identifica la zona térmica en que se ubica el sitio de estudio, para este trabajo es la zona térmica 1 donde está incluido el estado de Chiapas, la república mexicana se encuentra organizada en ocho zonas térmicas, 1, 2, 3A, 3B, 3C, 4A, 4B y 4C. 4. Con el apoyo de la tabla 2, incluida en la misma norma, se ubica la zona térmica identificada en el paso 3 y se determina en cuál de los tres niveles de cumplimiento se ubicarán los valores. 5. Como último paso de la memoria de cálculo, se hace una confrontación de los valores calculados contra los valores de tabla 2, para verificar en qué nivel cumple con la norma. En el esquema hay dos barras que indican una relación transversal, la zona térmica indicada en el mapa de zonas térmicas de la república mexicana y que estos valores son calculados para los elementos de la envolvente, techos, muros y entrepisos ventilados, (ONNCCE, 2009).

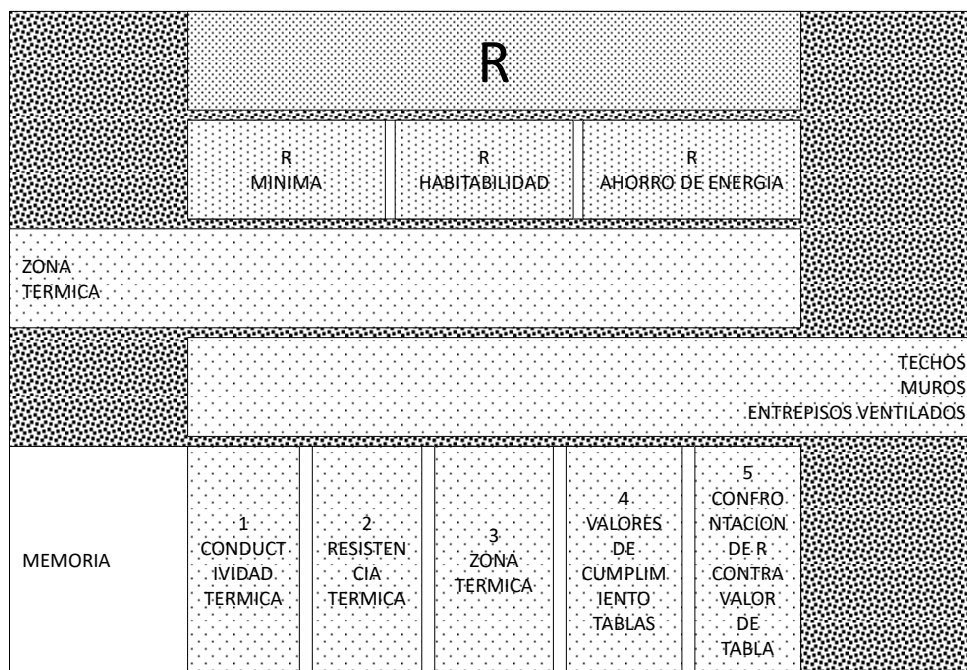


Figura 2. 35 Representación esquemática de la NMX-C460-ONNCCE-2009, fuente: (ONNCCE, 2009).

### 2.2.2 Metodología de la climatología dinámica.

La metodología de la climatología dinámica, consiste en identificar un día típico experimental (DTE) a partir del análisis del contexto climático del lugar. Este análisis se puede expresar, con lenguaje geométrico, como un triángulo invertido con base en la parte superior, donde, el gran periodo contenedor de los demás periodos son las normales climatológicas, y, bajando de nivel cada periodo menor está contenido en su periodo antecesor (figura 2.38). Las normales climatológicas son el punto de inicio y el periodo que contiene a todos los demás en el análisis, son los registros climáticos de 30 años o más, datos concentrados en las normales climatológicas, expresadas por medias de temperaturas, (medias de las máximas, media de las medias y media de las mínimas), publicadas por el Sistema Meteorológico Nacional (SMN). El siguiente nivel en el triángulo corresponde al periodo más caliente del año, en el lugar. Posteriormente se identifica un periodo representativo de calor, que es aproximadamente una semana donde las condiciones del tiempo son recurrentes. Finalmente, se identifica el día típico experimental (DTE), que es aquel cuya temperatura, se referencia, ya sea a las media de las máximas o media de las medias de las normales climatológicas, (Vecchia, 1997). Cabe mencionar que los datos de las normales climatológicas se obtienen del (SMN) a través de la estación meteorológica más cercana al lugar de estudio, mientras que los datos de los demás periodos, (periodo más caliente del año, periodo representativo de calor y día típico experimental), se obtienen con equipo de medición usados de forma específica para este trabajo.

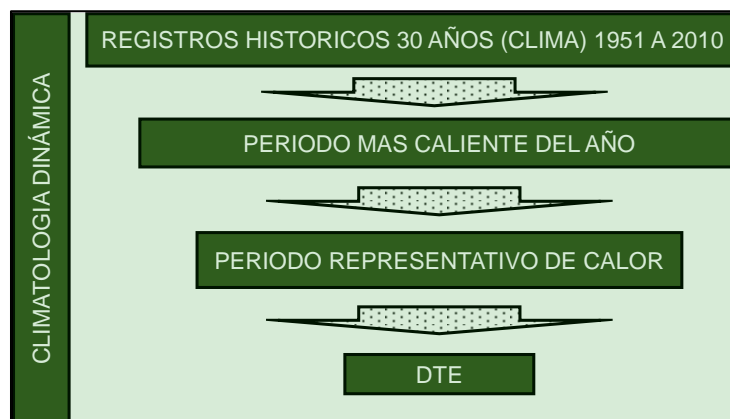


Figura 2. 36 Esquema de la metodología de la climatología dinámica, fuente: (Vecchia, 1997).

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.

La metodología de la climatología dinámica se adaptó orientado hacia el análisis de la eficiencia energética en la edificación. En esta explicación también se usa la similitud del triángulo invertido. Como se muestra en la figura 2.39, para ubicar las mediciones de energía eléctrica en el contexto climático del lugar, se parte del periodo de las normales climatológicas de 30 años o más de mediciones. Las normales climatológicas son el periodo que contiene a todos los demás en el esquema. También se identifica el periodo más caliente del año. Hasta este periodo se trabaja con temperaturas del aire exterior. A partir del periodo consumo eléctrico acumulado, se trabaja con mediciones de energía eléctrica consumida por los equipos de Aire acondicionado (AA). Cabe mencionar que a partir de este periodo, para tener elementos a promediar en el año, se trabaja de forma paralela con dos periodos opuestos de 30 días de mediciones cada uno, el cálido y el frío. Finalmente se identifica el DTE para ambos periodos opuestos y los promedios se obtienen en una tabla final de resumen. Para tener los elementos de medición, de forma transversal, se construye el techo verde y se seleccionan los equipos de aire acondicionado, (Trujillo R. , 2015).



Figura 2. 37 Esquema metodológico, adaptado de (Vecchia, 1997).

### 2.3 Discusión.

A manera de resumen, en la tabla 2.2, se presenta un cuadro donde se sintetiza 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.

Tabla 2. 7 Síntesis hipótesis.

Contexto físico	Elemento	Intensidad		Hipótesis (capacidad de modificar los resultados experimentales, consumo eléctrico de equipos de refrigeración)	
Natural	1. Fauna	4	4	Capacidad indirecta	
	2. Flora	3	3	Capacidad terciaria	
	3. Temperatura	Clima	1	1	Capacidad intensa máxima
	4. Humedad		3	3	Capacidad terciaria
	5. Presión atmosférica		2	2	Capacidad secundaria
	6. Vientos		1	1	Capacidad intensa máxima
	7. Precipitación	3	3	Capacidad terciaria	
Artificial	1. Crecimiento poblacional	2	2	Capacidad secundaria	
	2. Pavimentación	2	2	Capacidad secundaria	
	3. Edificación	2	2	Capacidad secundaria	
	4. Crecimiento urbano	2	2	Capacidad secundaria	
	Nomenclatu			Nivel de la relación	

ra		
1		Máximo
2		Secundario
3		Terciaria
4		Indirecta

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.

- 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 mismo 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.
- 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. El ambiente de manera directa si incide con sus condiciones en la eficiencia energética aplicada a los techos de las edificaciones.
- 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.
- Los parámetros climáticos como temperatura, humedad, presión atmosférica, vientos, precipitación revisten de particular importancia puesto que interactúan con los techos de las edificaciones y definen los requerimientos físicos.
- La temperatura es el componente más importante del clima que afecta la eficiencia energética aplicada a los techos de las edificaciones, siempre importante trabajar con el dinamismo climático, pues interviene en los flujos de calor ya sean pérdidas o ganancias, a través de sus tres formas de

transmisión revisadas, y se definen de manera determinante los requerimientos para cada sitio de estudio.

- La humedad es también un componente climático importante en la eficiencia energética aplicada a los techos de las edificaciones, principalmente por el rango deseable para el ser humano en interacción con la del aire en las diferentes temporadas del año, misma que se incrementa en la temporada de lluvias y disminuye en la época de estiaje con duración de seis meses para cada una.
- La presión atmosférica es la que ejerce la atmosfera sobre la superficie terrestre, por supuesto que esta varía con la altitud del lugar y según la información mostrada en el apartado correspondiente, esta baja con mayor humedad y sube cuando disminuye la humedad relativa.
- Los vientos aumentan sus velocidades cuando la humedad relativa y la precipitación del aire disminuyen, es un agente importante en la modificación de la temperatura y al modificarse esta, su relación con la eficiencia energética aplicada a los techos de las edificaciones es importante, cabe mencionar que para el sitio de estudio, los vientos predominantes vienen del noroeste.
- La precipitación es la principal responsable de las variaciones de la humedad relativa del aire y por ende también interviene en la modificación de la temperatura del mismo, la interacción directa con los techos también es importante, pues cuando existe contacto directo con la superficie modifica principalmente su temperatura superficial.
- Con el crecimiento poblacional de las ciudades, viene también el crecimiento de la infraestructura física que modifica el contexto artificial y modifica también el microclima urbano y que provoca islas de calor urbano, dentro de los principales responsables se enuncian los siguientes: pavimentaciones, edificación, crecimiento urbano.
- La pavimentación es un agente por acción antropogénica de modificaciones de condiciones climáticas, que afecta a todos los parámetros climáticos,



principalmente cuando en el sitio de estudio el 81.03 %, (Tuxtla, 2015), son pavimentos de concreto hidráulico.

- La edificación al igual que la pavimentación cubre también la superficie urbana, con superficies impermeables y con materiales de alta densidad volumétrica que modifican todos los parámetros climáticos.
- El crecimiento urbano junto con las demás acciones antropogénicas modifican 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.

Se tiene la tabla 2.7, donde se expresa una síntesis estableciendo relaciones entre los elementos tanto del contexto físico natural como del artificial con niveles y capacidad para modificar los resultados experimentales.

Por otro lado se describen dos métodos en los cuales se apoya este trabajo, el método expresado en 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" y la Metodología de la climatología dinámica (adaptado). El método que calcula el valor "R", fortalece y confirma los resultados que posteriormente se obtienen con el método de la climatología dinámica adaptado, además de que el contexto físico natural está contenido en el mapa de zonas térmicas de la república mexicana, incluido en la norma. El método de la climatología dinámica, utiliza de forma directa los elementos del contexto físico natural, principalmente los del clima. Se espera que con el método de la climatología dinámica se demuestre la eficiencia energética del trinomio eficiencia energética+equipo de climatización artificial+techo verde y se espera que los resultados calculados de valor "R" ratifiquen dicha eficiencia.



---

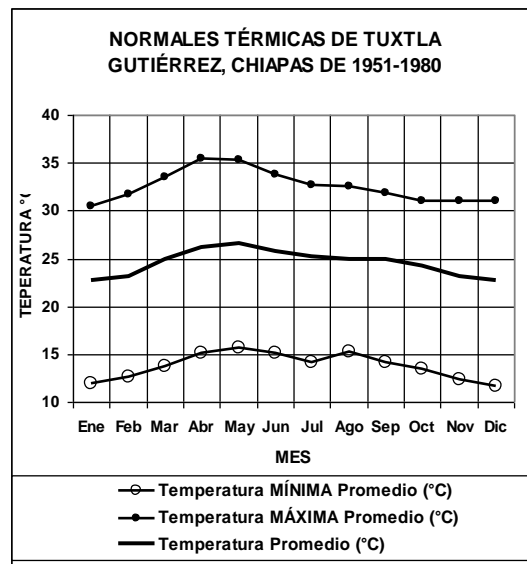
## Capítulo 3. Resultados.

---

### 3.1 Periodo de mediciones.

#### 3.1.1 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, según la figura 3.1, posteriormente en ese periodo de mediciones, se identificó un periodo representativo climático del 4 al 14 de mayo, en el que se identificó un DTE<sup>17</sup>, (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.



**Figura 3. 1 Normales climatológicas para Tuxtla Gutiérrez de 1951 a 1980. Fuente: desarrollada por Castañeda 2010, con datos del SMN.**

Por contribución específica en este trabajo, se obtuvo también un periodo de mediciones de consumo eléctrico acumulado en el mismo periodo de mediciones de temperaturas, del 15 de abril al 15 de mayo, según la figura 3.2, 3.3, 3.4. Aplicando la geometría analítica a la representación gráfica del consumo eléctrico<sup>18</sup>, el valor  $m$ <sup>19</sup>, en la ecuación de la recta de la forma  $y = mx + b$ , para el techo de concreto reforzado (TCR) es mayor que para el techo verde (TV), con 9.21 sobre 7.23, como una pendiente mayor indica mayor consumo eléctrico en el

<sup>17</sup> Día típico experimental.

<sup>18</sup>  $y$  representa al consumo eléctrico y  $x$  representa el tiempo de trabajo del aire acondicionado.

<sup>19</sup> Pendiente de la recta que representa al consumo eléctrico.

mismo periodo de tiempo, los valores indican que el consumo es mayor en el TCR que en el TV.

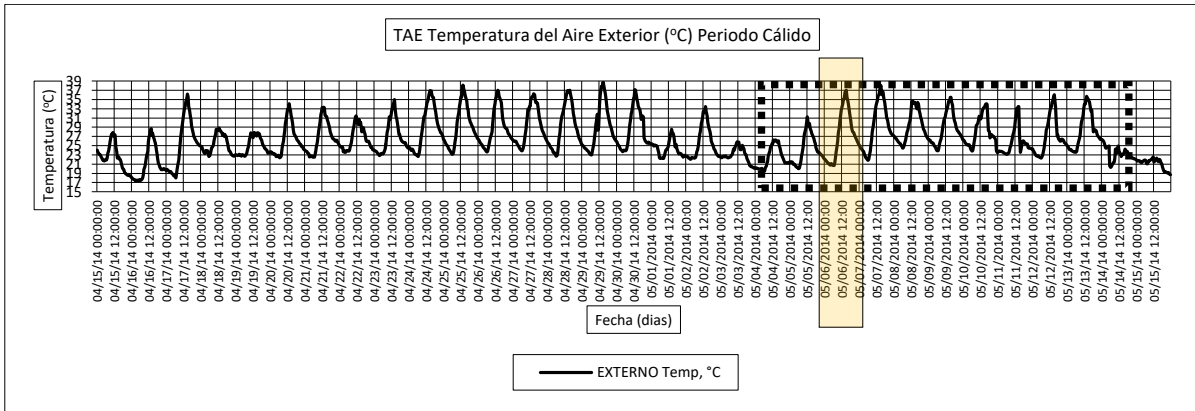


Figura 3. 2 Periodo cálido de mediciones del 15 de abril al 15 de mayo, fuente: (Trujillo, 2014).

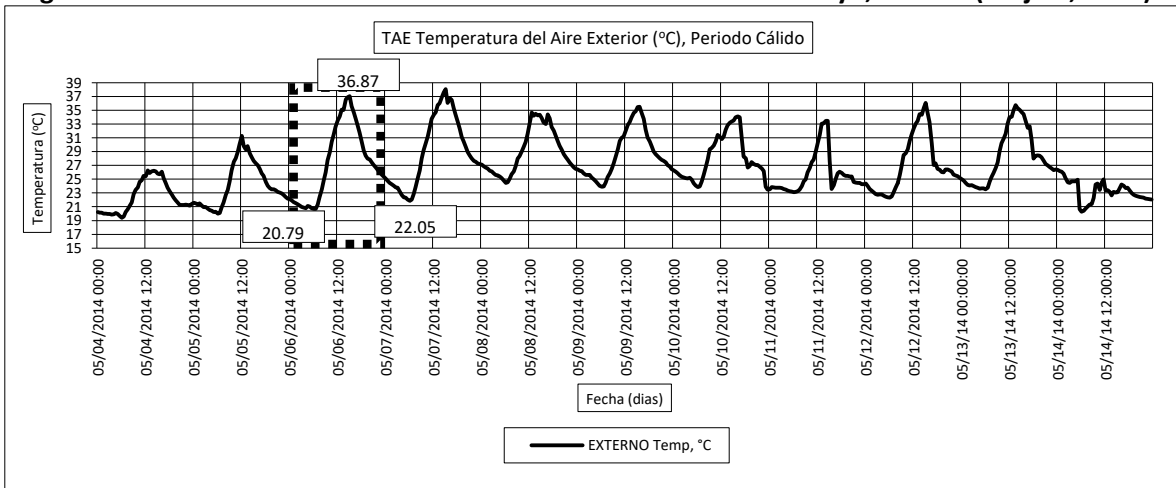


Figura 3. 3 Periodo representativo de calor del 4 al 14 de mayo, fuente: (Trujillo, 2014).

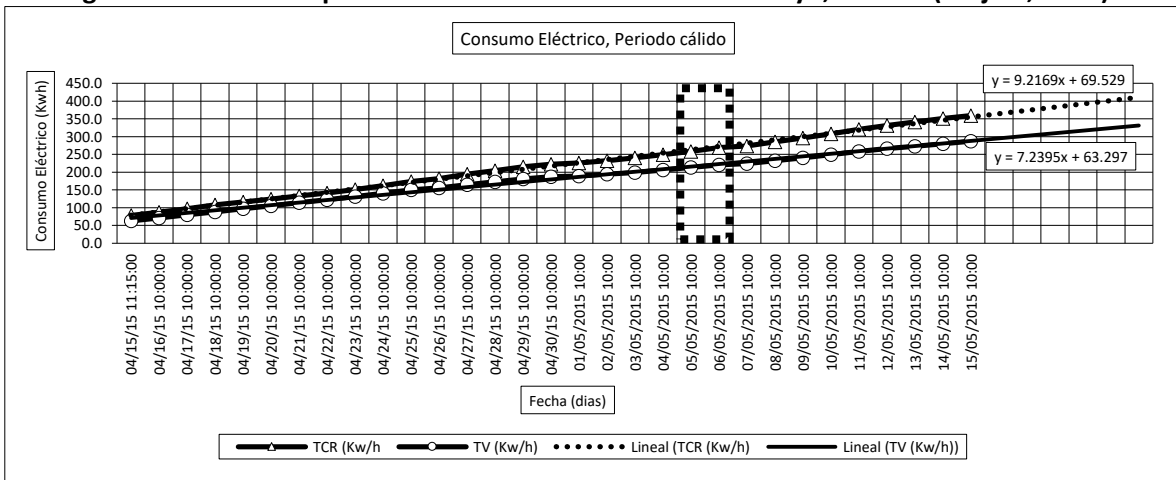
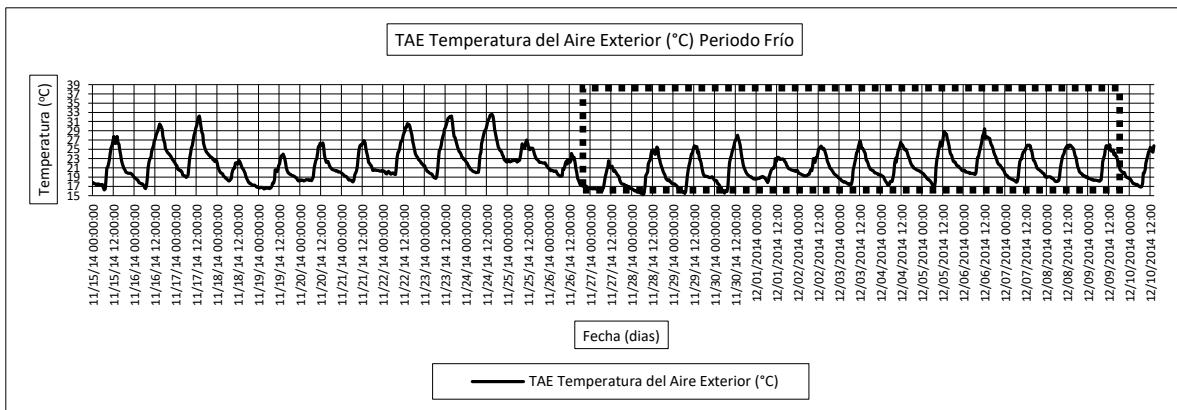
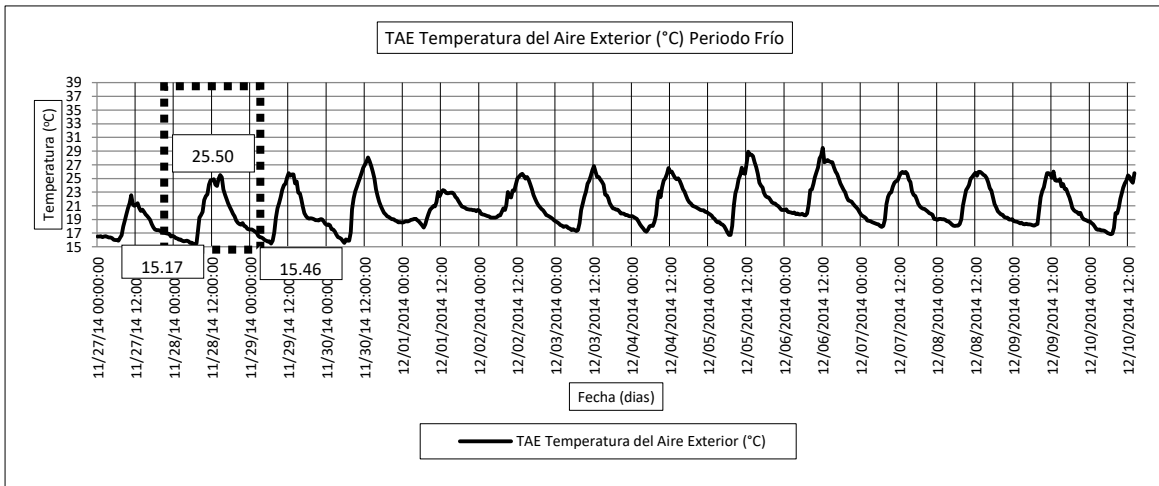


Figura 3. 4 Consumo eléctrico acumulado en el periodo cálido, fuente: (Trujillo, 2014).

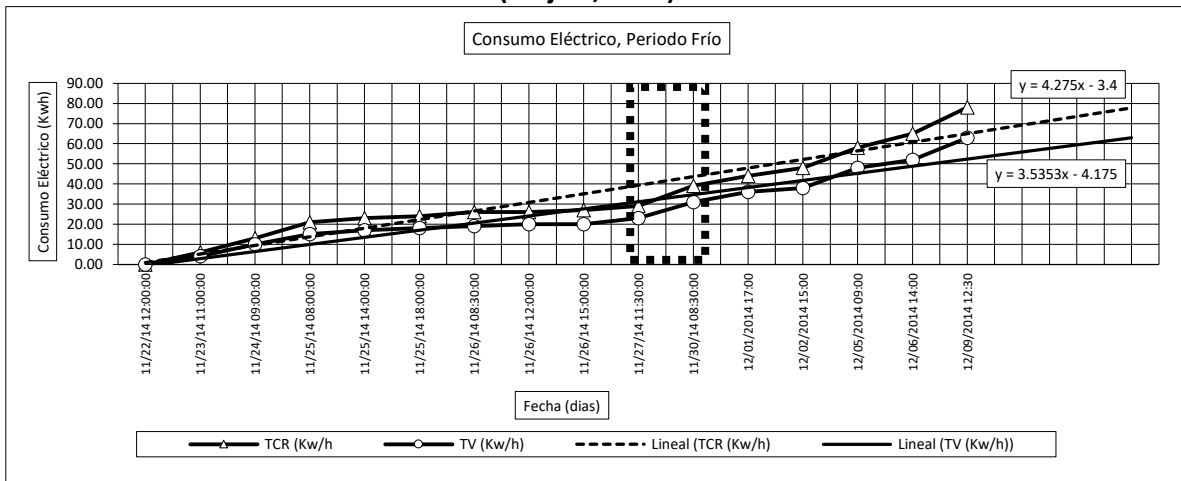
El periodo frío de mediciones fue del 15 de noviembre al 10 de diciembre, como se muestra en la figura 3.5. Puesto que las normales climatológicas indican las temperaturas más bajas del año, por la llegada de frentes fríos, (SMN, 2015). En ese periodo se ubicó un periodo representativo climático del 27 de noviembre al 10 de diciembre, según la figura 3.6, en el que se identifica recurrencia en la temperatura del aire y además en ese periodo se ubica el DTE, el 28 de noviembre, día en que la temperatura del aire alcanzó su máximo valor a las 13:00 horas con 25.50° C, superando por 2.5° C el promedio de las medias indicada en las normales climatológicas, mientras que los valores mínimos fueron de 15.17° C y 15.46° C, ambas al amanecer. En el consumo eléctrico acumulado en el periodo frío, del 22 de noviembre al 9 de diciembre, los valores de  $m$ , 4.27 y 3.53 para el TCR y el TV respectivamente, como se muestra en la figura 3.7, en la ecuación de la recta en la forma  $y = mx + b$ , ambos valores son menores que en el extremo cálido, mencionados anteriormente.



**Figura 3. 5 Periodo de mediciones del 15 de noviembre al 10 de diciembre, fuente: (Trujillo, 2014).**



**Figura 3. 6 Periodo representativo climático del 27 de noviembre al 10 de diciembre, fuente: (Trujillo, 2014).**



**Figura 3. 7 Consumo eléctrico acumulado en el periodo Frío, fuente: (Trujillo, 2014).**

### 3.1.2 Resultados.

#### 3.1.3 Temperatura Superficial Interior (TSI).

Se obtuvieron registros térmicos de los dos techos comparados en el DTE en los dos periodos, el cálido y el frío. El 6 de mayo fue el DTE en el periodo cálido. En la figura 3.8, se menciona 30° C, como límite máximo aceptable para el ser humano, 1° C debajo del parámetro comprendido entre 31° C y 34° C, (Auliciems & Szokolay, 1999), en que se mantiene la temperatura de la piel. Cuando el techo rebasa esta temperatura, puede estar aportando calor en exceso al ser humano, consecuentemente con efectos negativos. La TSI del TCR alcanza su máximo valor de 36.96° C, mientras la TSI del TV, apenas alcanza un valor de 31.05° C, ambos a las 16:00 horas, esto indica que existe una diferencia de 5.91° C y no existe retardo térmico entre ellos. El sobre calentamiento es de 6.96 y 1.05 para el TCR y el TV, respectivamente.

La TSI del TCR alcanza un valor mínimo de 23.32° C, en tanto la TSI del TV registra un valor mínimo de 24.46° C, la amplitud térmica es menor en el TV con 6.59° C que en el TCR con 13.64° C.

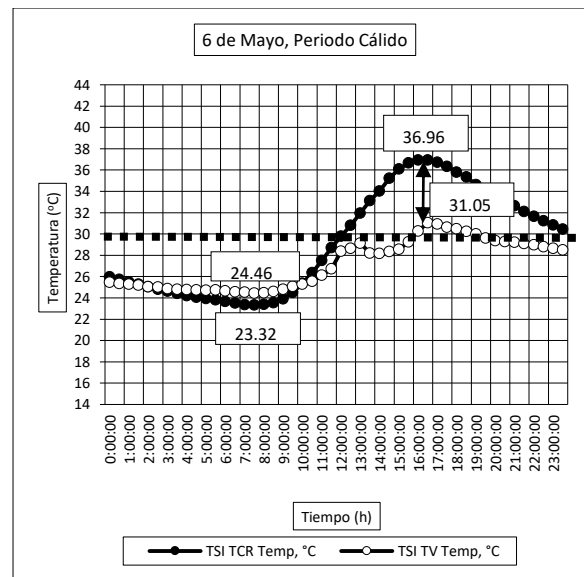


Figura 3. 8 Día típico experimental el 6 de mayo, fuente: (Trujillo, 2014).

El 28 de noviembre fue el DTE en el periodo frío, en la figura 3.9, 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  $19.93^{\circ}\text{C}$  y un retardo térmico entre los dos techos de 6.5 horas. El sobrecalentamiento del TCR es de  $12.44^{\circ}\text{C}$  y el TV no presenta sobrecalentamiento. Los valores mínimos de la TSI fueron de  $15.12^{\circ}\text{C}$  y  $18.72^{\circ}\text{C}$  para el TCR y el TV respectivamente, esto ratifica que la amplitud térmica es menor en el TV con  $3.79^{\circ}\text{C}$  que en el TCR con  $27.32^{\circ}\text{C}$ .

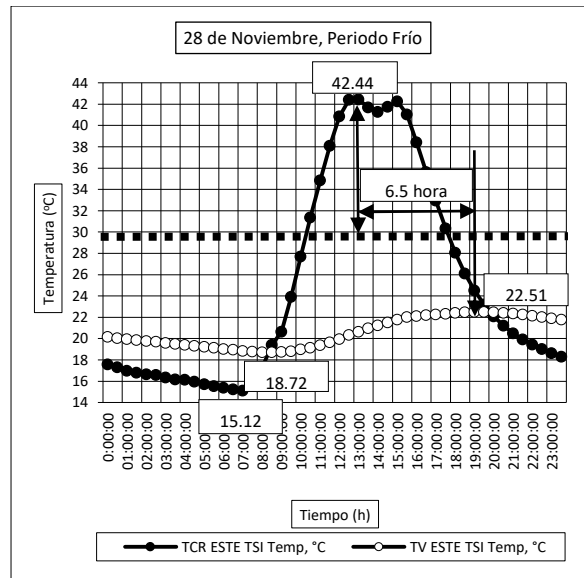


Figura 3. 9 Día típico experimental el 28 de noviembre, fuente: (Trujillo, 2014).

### 3.2 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 3.10, 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.



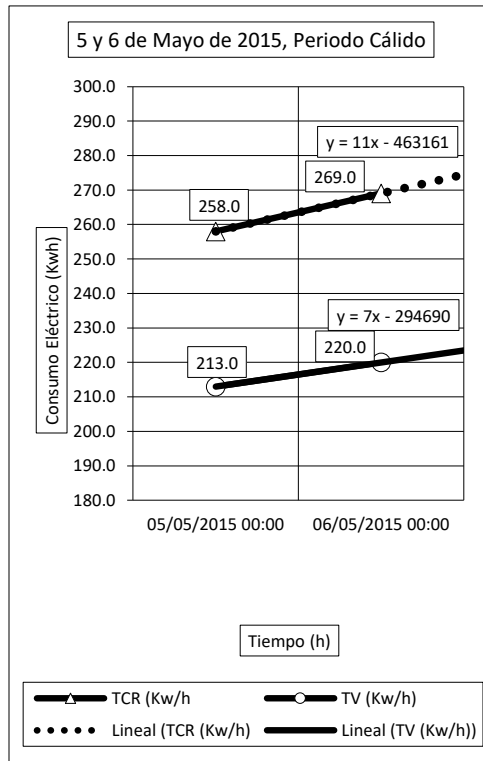


Figura 3. 10 Consumo Eléctrico del 5 al 6 de mayo, fuente: (Trujillo, 2014).

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 3.11, esto indica que el TCR consumió 0.66 Kwh más electricidad que su homologó 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.

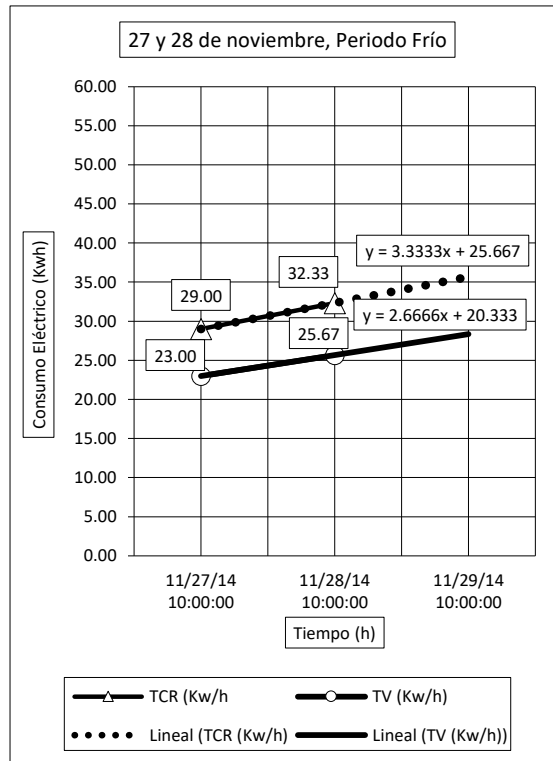


Figura 3. 11 Consumo Eléctrico el 28 de noviembre, fuente: (Trujillo, 2014).

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 3.1, 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.

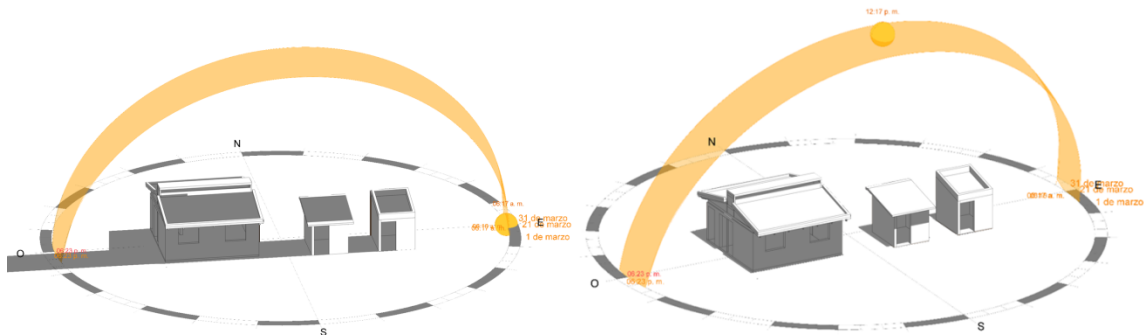
Tabla 3. 1 Ecuaciones del promedio anual de consumo eléctrico, (Trujillo, 2014).

	TCR	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	$y = 6.74x + 33.06$	$y = 5.38x - 29.56$

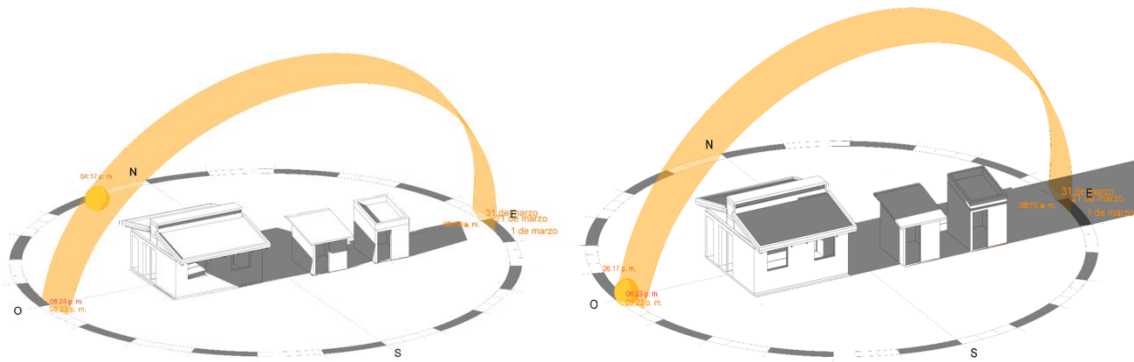
### 3.3 Fluctuaciones posibles de los resultados por afectaciones de sombras y otros parámetros.

Es importante mencionar que el 28% de diferencia en el consumo de energía eléctrica entre los equipos de AA bajo los dos techos arrojada en el proceso experimental, puede tener fluctuaciones y verse afectados por variables implícitas como: humedad relativa del aire exterior, eficiencia de los equipos de AA utilizados o por la forma en que se ven afectadas por asoleamiento y proyección de sombras de una celda experimental con respecto a la otra y también con las edificaciones que lo circundan, principalmente pasado el mediodía. En este sentido, se incluyen en este trabajo, en la figura 3.12, graficas de asoleamiento y proyección de sombras donde se muestran como estas afectan a cada una de las celdas experimentales. Se eligieron los horarios pico (06:00, 12:00, 16:00 y 18:00 horas), tanto de sol como de temperaturas máximas mencionadas en los resultados de este mismo capítulo, en las fechas siguientes:

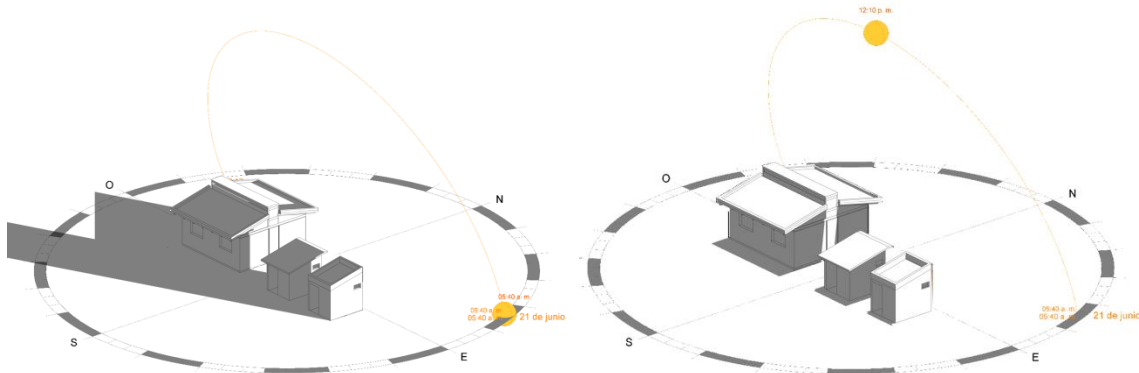
1. Equinoccio de primavera 21 de marzo
2. Solsticio de verano 21 de junio
3. Equinoccio de otoño 22 de septiembre
4. Solsticio de invierno 21 de diciembre



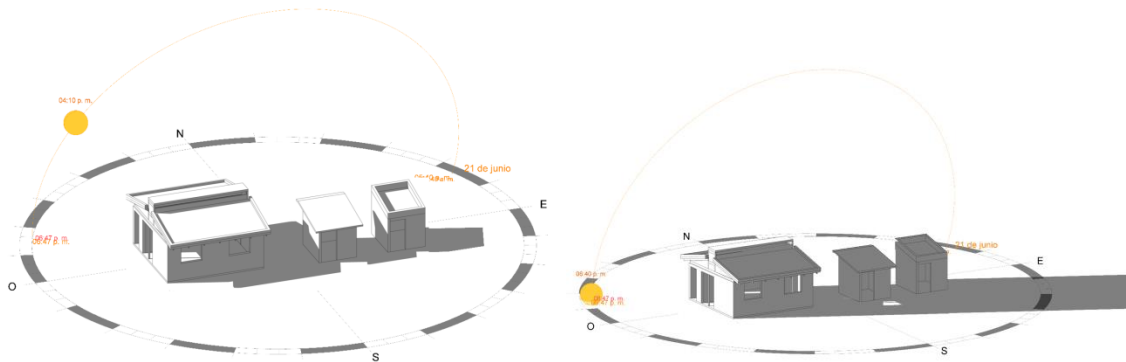
**Figura 3. 12 Asoleamiento y proyección de sombras 21 de marzo equinoccio de primavera 06:00 y 12:00 horas.**



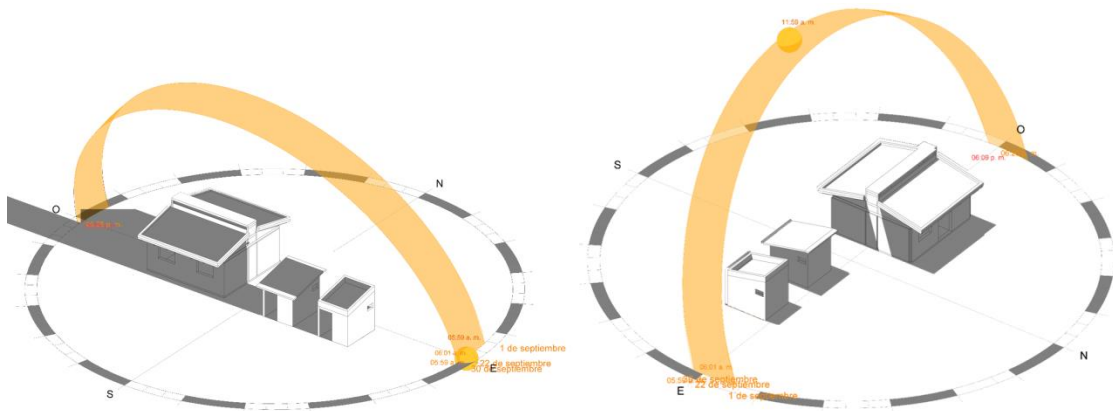
**Figura 3. 13 Asoleamiento y proyección de sombras 21 de marzo equinoccio de primavera 16:00 y 18:00 horas**



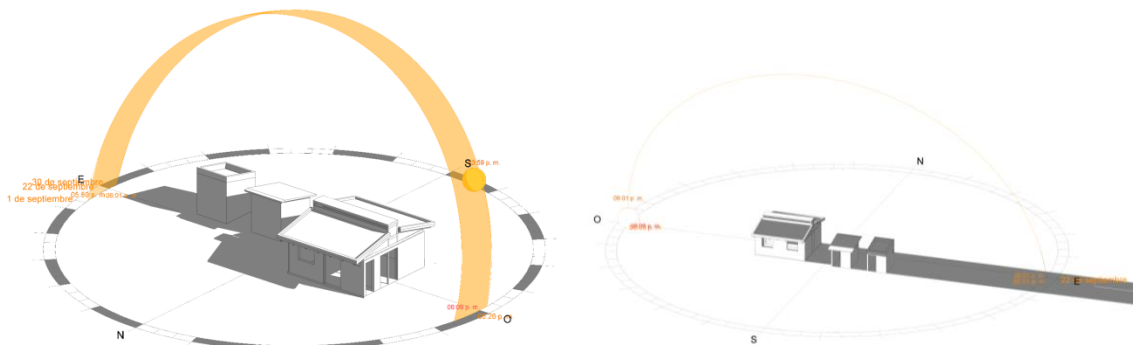
**Figura 3. 14 Asoleamiento 21 de junio solsticio de verano 06:00 y 12:00 horas**



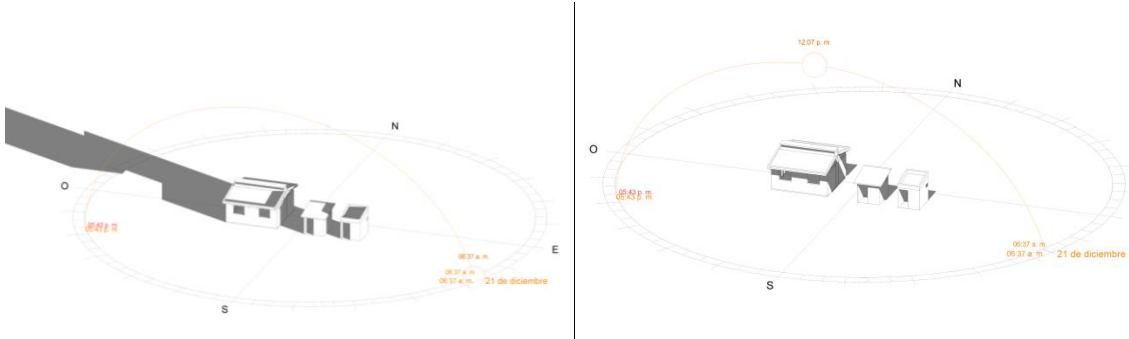
**Figura 3. 15 Asoleamiento y proyección de sombras 21 de junio solsticio de verano 16:00 y 18:00 horas**



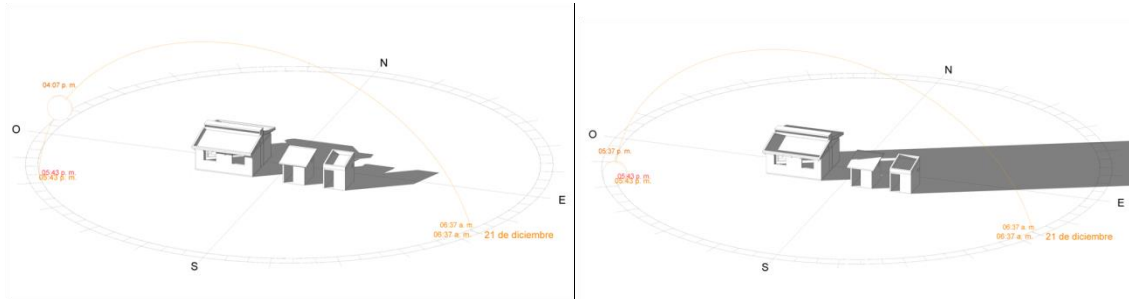
**Figura 3. 16 Asoleamiento y proyección de sombras 22 de septiembre equinoccio de otoño 06:00 y 12:00 horas**



**Figura 3. 17 Asoleamiento y proyección de sombras 22 de septiembre equinoccio de otoño 16:00 y 18:00 horas**



**Figura 3. 18 Asoleamiento y proyección de sombras 21 de diciembre solsticio de invierno 06:00 y 12:00 horas**



**Figura 3. 19 Asoleamiento y proyección de sombras 21 de diciembre solsticio de invierno 16:00 y 18:00 horas**

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.

Como se muestra en la figura 3.20, 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 subcapítulo materiales también se organiza en 2 apartados, el del contexto general y el del contexto específico. El contexto general se organiza en contexto físico natural cuyos componentes principales son el clima y la flora y fauna. 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.

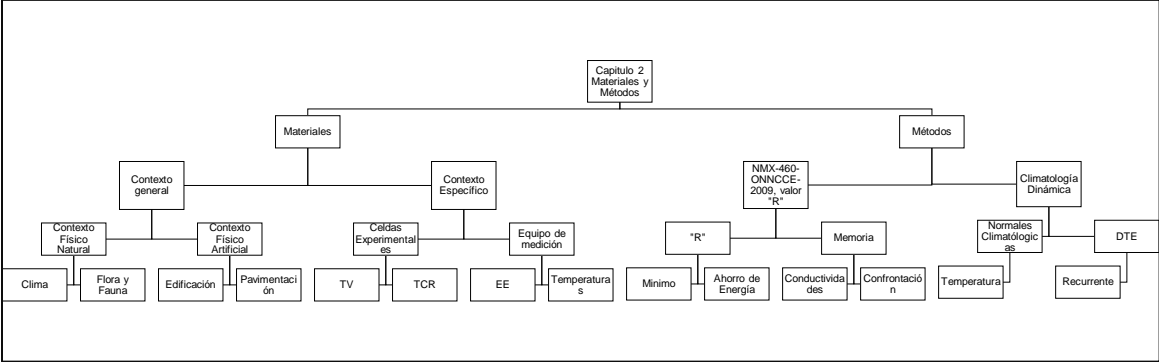


Figura 3. 20 Mapa conceptual del capítulo 2, Materiales y métodos, fuente: (Trujillo, 2014).

		Elemento	Intensidad	Hipótesis (capacidad de modificar los resultados experimentales, consumo eléctrico de equipos de refrigeración)
Contexto físico	Natural	1. Fauna	4	4 Capacidad indirecta
		2. Flora	3	3 Capacidad terciaria
		3. Temperatura	1	1 Capacidad intensa máxima
		4. Humedad	3	3 Capacidad terciaria
		5. Presión atmosférica	2	2 Capacidad secundaria
		6. Vientos	1	1 Capacidad intensa máxima
		7. Precipitación	3	3 Capacidad terciaria
Artificial	1. Crecimiento poblacional	2	2 Capacidad secundaria	
	2. Pavimentación	2	2 Capacidad secundaria	
	3. Edificación	2	2 Capacidad secundaria	
	4. Crecimiento urbano	2	2 Capacidad secundaria	
		Nomenclatura	Nivel de la relación	
		1	Máximo	
		3	Terciaria	
		4	Indirecta	

Tabla 3. 2 Síntesis, nivel de relación entre elementos del contexto físico y la eficiencia energética en la edificación, fuente: (Trujillo, 2014).

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. La metodología de la climatología dinámica se apoya en normales climatológicas, donde se toma la temperatura como variable principal, para determinar un DTE con características de recurrencia.

La tabla 3.2, 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 el 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 a esta tabla, la temperatura y los vientos 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. Los elementos fauna, flora, humedad y precipitación, tienen los mínimos niveles, 3 y 4, terciaria e indirecta para modificar los resultados experimentales.



3.4 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".

3.4.1 Celdas de evaluación:

3.4.2 Descripción de la envolvente.

Como se indica en la tabla 3.2, los muros tanto para el TV como para el TCR está construida de la siguiente forma:

**Tabla 3. 3 Materiales de ambas celdas de evaluación.**

Muros	
Material	Espesor (m)
Aplanado de mortero de cal al exterior.	0.0050
Poliestireno de 1" de espesor.	0.0254
Bloque de concreto con 2 huecos.	0.1500
Poliestireno de 1" de espesor.	0.0254
Aplanado de mortero de cal al interior.	0.0050

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 de.

3.4.3 Techo.

En las tablas 3.3 y 3.4, se muestra con que materiales se construirá el TV y el TCR.

**Tabla 3. 4 Materiales que componen el TV.**

Techo	
Material	Espesor (m)
Vegetación	0.0500
Suelo	0.1000
Filtro	0.0020
Pet	0.0300
Plástico	0.0010
Madera	0.1300
Impermeabilizante	0.0040
Acero	0.0127
Concreto	0.1000

**Tabla 3. 5 Materiales que componen el TCR.**

Techo	
Material	Espesor (m)
Impermeabilizante	0.0040
Acero	0.0127
Concreto	0.1000

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.

Cálculo.

3.4.4 Paso 1. Identificación de conductividades térmicas.

En las tablas 3.5, 3.6 y 3.7, se identifican las conductividades térmicas para cada componente de la envolvente. Las conductividades térmicas se obtienen del apéndice D de la NOM 020 ENER 2011.

**Tabla 3. 6 Conductividades térmicas de la celda de experimentación.**

Muros		
Material	Espesor (m)	(λ) Conductividad térmica (W/mK)
Aplanado de mortero de cal al exterior.	0.0050	0.872
Poliestireno de 1" de espesor.	0.0254	0.035
Bloque de concreto con 2 huecos.	0.1500	1.110
Poliestireno de 1" de espesor.	0.0254	0.035
Aplanado de mortero de cal al interior.	0.0050	0.698

**Tabla 3. 7 Conductividades térmicas de los materiales que componen el TV.**

Techo		
Material	Espesor (m)	(λ) Conductividad térmica (W/mK)
Vegetación	0.0500	0.1224
Suelo	0.1000	0.300
Fieltro	0.0040	0.040
Pet	0.0300	0.150
Plástico	0.0010	0.185
Madera	0.1300	0.130
Impermeabilizante	0.0040	0.170
Acero	0.0127	52.300
Concreto	0.1000	1.740

**Tabla 3. 8 Conductividades térmicas de los materiales que componen el TCR.**

Techo		
Material	Espesor (m)	(λ) Conductividad térmica (W/mK)
Impermeabilizante	0.0040	0.170
Acero	0.0127	52.300
Concreto	0.1000	1.740

### 3.4.5 Paso 2. Cálculo de las resistencias totales.

Resistencias totales de cada componente de la envolvente del prototipo con su sistema constructivo.

Muros.

Según las tablas 3.8, 3.9 y 3.10, en la columna "R" están los resultados parciales y totales de los términos de la ecuación 1.

**Tabla 3. 9** Calculo de los valores "R" parciales y totales de los materiales de los muros tanto del TV como del TCR.

Muros						
Material	Espesor (m)	(λ) Conductividad térmica (W/mK)	"R" (m²K/ W)			
			0.1235			
			0.0769			
Aplanado de mortero de cal al exterior.	0.0050	0.872	0.0057			
Poliestireno de 1" de espesor.	0.0254	0.035	0.7257			
Bloque de concreto con 2 huecos.	0.1500	1.110	0.1351			
Poliestireno de 1" de espesor.	0.0254	0.035	0.7257			
Aplanado de mortero de cal al interior.	0.0050	0.698	0.0072			
			1.7998	>	1.1000	habitabilidad
Área de superficies transparentes	A<20%					

**Tabla 3. 10** Calculo de los valores "R" parciales y totales del TV.

Techo						
Material	Espesor (m)	(λ) Conductividad térmica (W/mK)	"R" (m²K/W)			
			0.0769			
			0.1515			
Vegetación	0.0500	0.1224	0.4085			
Suelo	0.1000	0.300	0.3333			
Filtro	0.0040	0.040	0.0500			
Pet	0.0300	0.150	0.2000			
Plástico	0.0010	0.185	0.0054			
Madera	0.1300	0.130	1.0000			
Impermeabilizante	0.0040	0.170	0.0235			
Acero	0.0127	52.300	0.0002			
Concreto	0.1000	1.740	0.0575			
			2.3069	>	2.1000	habitabilidad
Área de superficies transparentes	A<5%					

**Tabla 3. 11 Calculo de los valores "R" parciales y totales del TCR.**

Techo						
Material	Espesor (m)	(λ) Conductividad ad térmica (W/mK)	"R" (m²K/W)			
			0.0769			
			0.1515			
Impermeabilizante	0.0040	0.170	0.0235			
Acero	0.0127	52.300	0.0002			
Concreto	0.1000	1.740	0.0575			
			0.3097	<	2.1000	
Área de superficies transparentes	A<5%					

En la tabla 3.11 se muestra el resumen de los datos obtenidos:

**Tabla 3. 12 Tabla con el resumen de los valores "R" totales.**

Componente	Valor "R" calculado (m²K/W).
Muros	1.7998
TV	2.3069
TCR	0.3097

3.4.6 Paso 3. Identificación de la zona térmica correspondiente.

De acuerdo con el paso 3 planteado en el capítulo 1 introducción, la tabla 3.12 presenta la zona térmica para el caso de Chiapas.

**Tabla 3. 13 Zona térmica y requerimiento.**

Localidad	Zona térmica	Requerimientos
Chiapas	1	Habitabilidad

3.4.7 Paso 4. Identificación del nivel de cumplimiento.

Se determinan las especificaciones de acuerdo con la tabla 3.13 de la norma que debe cumplir el prototipo para la localidad elegida y se plasman en las tablas del paso 5.

**Tabla 3. 14 Resistencia térmica de elementos de la envolvente, (ONNCCE, 2009).**

TABLA 2.- Resistencia Térmica Total (Valor "R") de un elemento de la envolvente									
Zona Térmica No.	Techos m <sup>2</sup> K / W (ft <sup>2</sup> h °F /BTU)			Muros m <sup>2</sup> K / W (ft <sup>2</sup> h °F /BTU)			Entrepisos Ventilados m <sup>2</sup> K / W (ft <sup>2</sup> h °F /BTU)		
	Minima	Habitabilidad	Ahorro de Energía	Minima	Habitabilidad	Ahorro de Energía	Minima	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

## Comparación de los resultados

### 3.4.8 Paso 5. Comparación de los resultados obtenidos.

En las tablas 3.14, 3.15 y 3.16, se comparan los resultados obtenidos, tanto para muros como para techos, contra las especificaciones requeridas por la ciudad donde se localiza la vivienda prototipo.

**Tabla 3. 15 Comparación de los resultados obtenidos, muros.**

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

**Tabla 3. 16 Comparación de los resultados obtenidos, TV.**

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

**Tabla 3. 17 Comparación de los resultados obtenidos, TCR.**

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

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 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.





## Capítulo 4. Conclusiones.



Las conclusiones finales en este trabajo se constituyen en cuatro apartados básicos:

- Conclusiones generales y particulares del estudio.
- Aportaciones y alcances obtenidos en el estudio.
- Limitaciones en el contenido del estudio.
- Recomendaciones para el seguimiento del problema investigado.

#### 4.1 Conclusiones generales y particulares del estudio.

Las conclusiones generales y particulares, se organizaron relacionando los temas abordados en los cuatro capítulos de la tesis, confrontando con los objetivos planteados al inicio del mismo, para cerrar con los aprendizajes y proyección a futuro del trabajo.

Del Capítulo 1. Introducción.

La edificación tiene un tremendo desafío enfrente ante una realidad que necesita dimensionar, las fuentes energéticas fósiles que sustentan al sistema energético actual en el planeta, agonizan y además su uso como insumos lo está asfixiando, con los GEI<sup>20</sup> que se lanzan a la atmosfera y que provocan el calentamiento global. Ante este escenario, las disciplinas responsables de la forma de hacer edificación, buscando eficiencia energética, tienen la obligación profesional de edificar con los materiales adecuados a las necesidades del contexto local, donde el conocimiento y la responsabilidad profesional sean los ingredientes principales de la receta, (IPCC, 2015), (INEECC, 2015).

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

---

<sup>20</sup> Gases efecto invernadero reconocidos por el protocolo de Kioto, (IPCC, 2015), (INEECC, 2015).

por aire acondicionado esperado en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas para el 2020., (INEGI, 2010), (Morillon, et al., 2002), (Tejeda Martínez & Rivas Camargo, 2003).

Un punto muy importante en la edificación, es con relación a los rangos adecuados de temperatura del aire para el ser humano, donde los materiales que constituyen la edificación, desempeñan un rol de primera importancia, evidentemente, siempre buscando que dichos materiales no promuevan impactos secundarios negativos en el ambiente, en la economía y por supuesto en el usuario. Para esto, se revisaron experiencias con TV<sup>21</sup> en otros contextos y otros momentos, (De Garín & Bejarán, 2015), (Castleton, et al., 2010), (Appl & Ansel, 2009), (Yang, et al., 2010), (Gross, 2012).

Del Capítulo 2. Materiales y Métodos.

El contexto físico tanto natural como artificial, es el que más condiciona al consumo eléctrico por uso de aire acondicionado en la eficiencia energética en la edificación.

En el contexto físico natural, la flora, fauna, y el clima a través de sus parámetros, temperatura y humedad relativa del aire, presión atmosférica, vientos, precipitación, son los elementos más importantes que afectan al consumo eléctrico por aire acondicionado en la eficiencia energética en la edificación. Esta relación tiene elementos de relación directa y relación indirecta. Algunos elementos de relación directa son: La flora, y el clima a través de sus parámetros, temperatura del aire, humedad relativa del aire, presión atmosférica, vientos, precipitación. También existen algunos de relación indirecta como la fauna, como agentes de equilibrio en el ambiente. Una intervención profesional en la edificación, exige decisiones profesionales responsables que obligatoriamente deben conocer el contexto a través de los elementos mencionados, para que la respuesta sea adecuada y 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

---

<sup>21</sup> Techo verde.

acondicionado, (CNA, 2010), (EPA, 2015), (García, 1998), (Gay, et al., 2010), (SMN, 2015), (Humphreys, et al., 2011).

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, 2010), (Tuxtla & Municipal, 2015).

Del Capítulo 3. Resultados.

Los materiales que constituyen el TCR<sup>22</sup>, entre ellos el cemento, arena, grava, acero tienen altos valores de densidad y por lo tanto de conductividad que favorecen la ganancia y acumulación de energía térmica en forma de calor y lo transmite al usuario.

El TV que contiene el sustrato vegetal, que por su baja densidad y conductividad es el principal responsable de la baja transferencia de energía térmica a través de conducción o convección. Por lo anterior, transmite menos calor al usuario en la edificación, que en este experimento se demostró en un lugar con clima cálido Subhúmedo.

El TV brinda mejores condiciones térmicas al usuario, porque tiene una mejor reacción ante el calor que el TCR, reduce el paso de calor por este elemento de la envolvente y responde de una mejor forma a las exigencias climáticas de poblaciones con clima cálido Subhúmedo.

El cumplimiento del TV 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", ratifica los resultados obtenidos en la comparación energética y la térmica, demostrando la conveniencia de su uso.

---

<sup>22</sup> Techo de concreto reforzado.

El consumo eléctrico del equipo de aire acondicionado colocado bajo el TV es 28% menor que el TCR, porque la temperatura del aire, requirió menos tiempo de trabajo, del equipo para enfriamiento. En la proyección del consumo eléctrico promedio, se incluye el año completo donde, se utilizaron máximos y mínimos, que proporcionan temperaturas extremas opuestas, y con el apoyo de la geometría analítica, expresado a través de ecuaciones de recta que representan consumo eléctrico, se obtuvieron ecuaciones promedio que permiten hacer proyecciones de consumo eléctrico por aire acondicionado en un horizonte de tiempo que puede ser meses, años, décadas o más. Cabe mencionar que otros autores manejan ecuaciones de recta similares para expresar el consumo energético en MWh ( $y = 0.5106x + 55.975$ ), pero, la diferencia consiste, que en la ecuación propuesta en este trabajo, el consumo energético es versus tiempo. Mientras que en la de los otros autores, por la orientación de cada trabajo, el consumo energético es versus producción en toneladas para un proceso industrial, (Castrillón Mendoza, et al., 2015). La ecuación expresa que, es conveniente el uso del TV a la edificación, actualmente fuerte consumidor de energía eléctrica por aire acondicionado, (Humphreys, et al., 2011), (ASHRAE, 2009), (SMN, 2015), (SENER, 2011).

## 4.2 Aportaciones y alcances obtenidos en el estudio.

El trabajo pretende ser un documento de consulta para los interesados, tanto el público en general como profesionales de la edificación, estudiantes, en adentrarse en temas relacionados con la eficiencia energética, formas de transferencia de calor que más afectan, en la edificación y el aislamiento térmico.

También puede ser consultado sobre la forma de construir TV en los techos existentes y las consideraciones que deben hacerse antes de su materialización, así como los cuidados que deben tenerse durante el proceso constructivo, consecuentemente también otros tipos de techos que consideren aislamiento térmico.

En el trabajo se obtuvieron ecuaciones de rectas que representan el consumo eléctrico promedio anual de dos equipos de aire acondicionado colocados bajo dos techos, el TCR y el TV. Aplicando la geometría analítica a la representación gráfica del consumo eléctrico<sup>23</sup>, donde el valor  $m$ <sup>24</sup>, en la ecuación de la recta de la forma  $y = mx + b$ , es posible obtener el consumo eléctrico esperado en cualquier periodo  $x$  de tiempo en que trabajará el equipo de aire acondicionado bajo cualquiera de los dos techos incluidos en este trabajo.

Una de las aportaciones principales es la medición del consumo de energía eléctrica que arrojó una diferencia de un 28% en un lugar con latitud  $16^{\circ} 45'$ , ubicado dentro de la región tropical muy cercano a la franja ecuatorial, con clima Awo<sup>25</sup>, cálido Subhúmedo, (García, 1998)., este porcentaje de ahorro difiere del 44% de ahorro obtenido en un trabajo similar en Sheffield Reino Unido, (Castleton, et al., 2010), la diferencia puede explicarse debido a que es un contexto distinto al de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Se aporta un cumulo importante de información con relación al contexto físico en Tuxtla Gutiérrez, a través del contexto físico natural y el artificial, en este trabajo se incluye información de cada uno de los elementos que componen a cada uno de los contextos.

---

<sup>23</sup>  $y$  representa al consumo eléctrico y  $x$  representa el tiempo de trabajo del aire acondicionado.

<sup>24</sup> Pendiente de la recta que representa al consumo eléctrico.

<sup>25</sup> Ver en anexos carta de tipos de clima, clasificación de Köppen, modificado por (García, 1998).

Como una forma de enfatizar el aporte científico del trabajo cabe mencionar que: con los resultados encontrados en el capítulo del proceso experimental se da respuesta a las preguntas formuladas en el capítulo 1. Introducción, y de esta forma, se contribuye en el conocimiento sobre los Techos Verdes y su conveniencia como estrategia para aumentar la eficiencia energética en la edificación por el uso de AA<sup>26</sup>.

---

<sup>26</sup> Aire acondicionado

### 4.3 Limitaciones en el contenido del estudio

Los equipos de medición de energía eléctrica donados y colocados por CFE, utilizados en el experimento, fueron diseñados para medir el consumo acumulado en periodos mínimos de un día, y registrarlo acumulándose en uno, dos o más meses e incluso años, sin memoria integrada, únicamente un contador lineal. En contraste con los equipos de adquisición automática de datos con memoria integrada y registradores de temperaturas superficiales, temperaturas del aire tanto interiores como exteriores, humedad relativa del aire, niveles de iluminación, punto de rocío, que proporcionan información promediada a cada media hora. Ese contraste representó una limitante que condicionó al experimento, toda vez que un equipo tiene la capacidad de adquirir datos en periodos muy pequeños mientras el que mide consumo eléctrico en periodo 24 veces mayor. Al buscar establecer la relación que existe entre el consumo eléctrico del equipo de aire acondicionado y la temperatura superficial del techo correspondiente, limitó un poco los resultados, sin embargo con el auxilio de la geometría analítica se obtuvo ecuaciones de recta que representan consumo eléctrico promedio al año, con lo que se puede obtener el consumo eléctrico esperado  $y$  para un periodo  $x$  de tiempo en que estará trabajando el aire acondicionado.

#### 4.4 Recomendaciones para el seguimiento del problema investigado.

La construcción del TV a escala 1:1 en una celda de experimentación con alumnos de la licenciatura en arquitectura, en un curso de TV, en el marco de la semana de Arquitectura en octubre de 2014, deja grandes aprendizajes para todos los participantes, toda vez que entre alumnos e instructor, sin contratar mano de obra, se colocaron pretilos, la impermeabilización previa, las capas de plástico, la capa drenante, el fieltro, el suelo y finalmente la vegetación, con actividades que cada trabajo implica, morteros, cálculo de materiales, nivelaciones, acarreos, y finalmente ver coronada la actividad a través de la vegetación. Esta es una línea importante a seguir en el tema.

En el ámbito de la disciplina de la Ingeniería Civil, este trabajo amplia la visión y permite en una mejor posición hacer contribuciones que procuren el impacto positivo sustentable en el ambiente, la economía y la sociedad.

A través de las mediciones tanto de temperaturas como de consumo eléctrico de los equipos de aire acondicionado, se evidenció la conveniencia de la utilización del TV desde los aspectos revisados, por encima de la utilización del TCR.

Se proponen aquí formas para el seguimiento del problema investigado.

Llevar el techo verde al contexto social e implementar esta tecnología no convencional, donde se tienen equipos de aire acondicionado funcionando o se proyecta instalar, puesto que de esta forma puede evaluarse la aceptación social de la tecnología como medio para lograr ahorro en el consumo energético.

La adecuación en su construcción en diferentes zonas climáticas, es un trabajo pendiente e importante por hacer, principalmente en la construcción del techo verde utilizando primordialmente materiales que se tienen al alcance inmediato, priorizando vegetación endémica.

Profundizar en el conocimiento de las características y eficiencia de los equipos de aire acondicionado con relación a la eficiencia en el consumo energético propio del equipo, es un tema pendiente por trabajar, para elegir con responsabilidad el equipo más conveniente dependiendo de las necesidades específicas en cada caso. En este tema es importante tomar equipos con certificación FIDE<sup>27</sup>.

---

<sup>27</sup> Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica.



Una línea muy importante por trabajarse es la de experimentar en TV con diferentes tipos de suelos y vegetación, y analizar las variaciones que puedan darse con estas variables, puesto que este trabajo puede enriquecerse con esos resultados.

En la mayoría de las líneas que se recomiendan para el seguimiento de este problema, es necesaria la participación de otras disciplinas como: Ingenieros mecánicos, sociólogos, biólogos y otras disciplinas que seguramente serán necesarias. Lo anterior es posible que lo vuelva complejo, pero existe una fuerte posibilidad de que enriquezca el trabajo, por la contribución de otras visiones y formaciones.

## Bibliografía

- Appl, R., & Ansel, W. (2009). Green roofs: Bringing nature back to town. *Proceedings: International Green Roof Congress 2009, Berlin: International Green Roof Association*, 35-45.
- ASHRAE. (2009). *Handbook, Fundamentals Volume*. Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers.
- Auliciems, A., & Szokolay, S. V. (1999). Thermal Comfort. *PLEA: Passive and Low Energy Architecture, Department of Architecture. University of Queensland*.
- Beltrán Melgarejo, A., Vargas-Mendoza, M. d., Pérez-Vázquez, A., & García-Albarado, J. C. (2014). Confort térmico de techos verdes con *Cissus verticillata* (Vitaceae) en viviendas rurales tropicales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, núm. 9, noviembre,* 1551-1560.
- 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.
- CEC, C. (2008). *Green Building in North America, Opportunities and Challenges*. Montreal (Quebec) Canadá: COMMISSION FOR ENVIRONMENTAL COOPERATION.
- CNA. (2010). *Sistema Meteorológico Nacional; Comisión Nacional del Agua*. Obtenido de <http://smn.cna.gob.mx/observatorios/ManualObservador.pdf>
- De Cunha, J. M., & Rodriguez Vignolli, J. (2009). Crecimiento urbano y movilidad en América Latina. *Revista Latinoamericana de Población (En línea)*, 27-64. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/3238/323827368003.pdf>
- De Garín, A. B., & Bejarán, R. A. (26 de Enero de 2015). *Indice Relativo de Estrés Térmico en Buenos Aires (Argentina) y su relación con la mortalidad*. Obtenido de <http://freepdfs.net/indice-relativo-de-estres-termico/007d397e83accbdd8a90ff3a5a158786/>
- EPA. (28 de Enero de 2015). *Environmental Protection Agency*. Obtenido de [http://www.epa.gov/mold/pdfs/moldguide\\_sp.pdf](http://www.epa.gov/mold/pdfs/moldguide_sp.pdf)
- Galindo Bianconi, A. S., & Victoria Uribe, R. (2012). La vegetación como parte de la sustentabilidad urbana: beneficios, problemáticas y soluciones, para el Valle de Toluca. *Quivera, vol. 14, núm. 1*, 98-108.
- García, E. (1998). Climas (Clasificación de Köeppen, 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.
- Gay, C., Estrada, F., & Martínez, B. (2010). Cambio climático y estadística oficial. *Realidad datos y espacio*, 7.
- Gonzalez, E. M. (1997). Selección de Materiales en la Concepción Arquitectónica Bioclimática. *Memorias del congreso de Asociación Nacional de Energía Solar (Anes) 2003*, 01-20.
- Gonzalo, G. E. (2003). *Manual de Arquitectura Bioclimática*. Buenos Aires Argentina: Nobuko/O'Gorman.

- Gross, G. (2012). Effects of different vegetation on temperature in an urban building environment. Micro-scale numerical experiments. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 21, No. 4, 399-412.
- GrupoBari. (2015 йил 23-Новiembre). *Catálogo de Productos*. From [http://www.grupobari.com.mx/assets/pdf/GrupoBari\\_Catalogo\\_2010.pdf](http://www.grupobari.com.mx/assets/pdf/GrupoBari_Catalogo_2010.pdf)
- Huelsz, G., Barrios, G., Rechtman, R., & Rojas, J. (2015). *Importancia del análisis de transferencia de calor dependiente del tiempo en la evaluación del desempeño térmico de la envolvente de una edificación*. México, D. F.: Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Obtenido de [http://www.enerhabitat.unam.mx/Cie2/pdfs/Huelsz\\_Anuario\\_UAM.pdf](http://www.enerhabitat.unam.mx/Cie2/pdfs/Huelsz_Anuario_UAM.pdf)
- Humphreys, M., Nicol, F., & Roaf, S. (Septiembre de 2011). *Keeping Warm in a Cooler House*. Recuperado el 17 de Mayo de 2015, de Historic Scotland: <http://www.historic-scotland.gov.uk/technicalpaper14.pdf>
- IGRA. (2015 йил 14-Septiembre). *International Green Roof Association*. From <http://www.igra-world.com/>
- INEECC. (11 de Febrero de 2015). *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*. Obtenido de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/685/inventario.pdf>
- INEGI. (2010). *Censo de Población y Vivienda, 2010*. INEGI.
- INEGI. (25 de Enero de 2015). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2005*. Obtenido de Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2005: [http://www.inegi.org.mx/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/publicaciones/delimex05/DZMM-2005\\_10.pdf](http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/publicaciones/delimex05/DZMM-2005_10.pdf)
- INEGI, (. (26 de Enero de 2015). *INEGI*. Obtenido de <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/chis/poblacion/>
- INEGI, .. (2015). *Tabulados de la Encuesta Intercensal 2015*. México, D. F.: (INEGI) Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- IPCC. (11 de Febrero de 2015). *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Obtenido de <http://ipcc.ch/>
- López, S. M. (2010). *Un acercamiento a las Cubiertas Verdes*. Medellín, Colombia: F.B.P.S.A.
- Máximadimensión. (2014 йил 23-Новiembre). *Información Técnica Isocianato358-30, Isocianato Polimérico*. From <http://www.maximadimension.com/>
- Minke, G. (2000). *Techos Verdes, planificación, ejecución, consejos prácticos*. Montevideo, Uruguay: Editorial Fin de Siglo.
- Morillon, D., Saldaña, R., Castañeda, I., & Miranda, U. (2002). Atlas Bioclimático de la Republica Mexicana. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 57 - 62.
- Multypanel. (2014 йил 21-Новiembre). *Boletín Técnico Multymuro Multypanel*. From [http://www.multypanelproductos.com.mx/manual\\_ternium\\_multypanel.pdf](http://www.multypanelproductos.com.mx/manual_ternium_multypanel.pdf)
- 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. (25 de Enero de 2015). Obtenido de <http://www.onsetcomp.com/>

- Ordoñez López, Eduardo Ernesto, Pérez Sánchez, & María Milagrosa. (2015). Comparación del desempeño térmico de techos verdes y techos blancos mediante técnicas IR. *Acta Universitaria*, 11-19.
- Plan Municipal de Desarrollo 2012-2015*. (25 de Enero de 2015). Obtenido de <http://sistemas.tuxtla.gob.mx/caip/taip/ArchivosFracciones/158.pdf>
- Rojas Palomino, A., Madero Morales, E., Ramírez Náder, L., & Zúñiga Escobar, O. (2009). Índice de potencial productivo del suelo aplicado a tres fincas ganaderas de ladera en el Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica*, vol. 58, núm. 2, abril, 85-90.
- Schiller, S., & Evans, J. (2005). Rol de la Envolvente en la Edificación Sustentable. *Revista de la Construcción*, vol. 4, núm. 1, agosto, 5-12.
- SEDESOL. (20 de Noviembre de 2014). *Unidad de Microrregiones*. Obtenido de <http://www.microrregiones.gob.mx/zap/medioFisico.aspx?entra=nacion&ent=07&mun=101>
- SEDESOL. (17 de Noviembre de 2015). *ZAP MICRORREGIONES*. Obtenido de <http://www.microrregiones.gob.mx/zap/medioFisico.aspx?entra=nacion&ent=07&mun=101>
- SEDUMA, S. d. (20 de Noviembre de 2014). *Observatorio de Cambio Climático de Yucatán*. Obtenido de <http://www.cambioclimatico.yucatan.gob.mx/atlas-cambio-climatico/indice-humedad.php>
- SENER. (2011). *NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones, Envolvente de edificios para uso habitacional*. México: Diario oficial.
- SENER. (2011). *NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones.- Envolvente de edificios para uso habitacional*. México: Diario oficial.
- SENER. (2015). *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%20\\_Fernandez\(SENER\)\\_Indicadores\\_Sector\\_Residencial.pdf](http://www.energia.gob.mx/taller/res/1859/2_Ximena%20_Fernandez(SENER)_Indicadores_Sector_Residencial.pdf)
- SENER, N. O. (2011). México, D. F.: Secretaría de Energía.
- SMN. (25 de Enero de 2015). *Sistema Meteorológico Nacional (SMN); Comisión Nacional del Agua (CNA)*. Obtenido de <http://smn.cna.gob.mx/observatorios/historica/tuxtla.pdf>
- SRE. (20 de Enero de 2015). *SRE; Secretaría de Relaciones Exteriores*. Obtenido de [http://www.sre.gob.mx/coordinacionpolitica/images/stories/documentos\\_gobiernos/pchiapas2.pdf](http://www.sre.gob.mx/coordinacionpolitica/images/stories/documentos_gobiernos/pchiapas2.pdf)
- Tejeda Martínez, A., & Rivas Camargo, D. A. (2003). El Bioclima Humano en Urbes del Sur de México para condiciones de duplicación de CO<sub>2</sub> Atmosférico. *Investigaciones Geográficas*, agosto, número 051, Universidad Nacional Autónoma de México, 37-52.
- Thermotek. (2015 йил 24-Новiembre). *Hoja Técnica Bio Reflection Aislante Térmico*. From <http://gruportermotek.com/bio-reflection-20-anos-fotosensible-impermeabilizantes/>
- Topelson, S. (25 de Enero de 2015). Obtenido de <http://morelos.edomorelos.gob.mx/pdf/documentos/10-encuentro-ouls/Tuxtla-Gutierrez-crecimiento-de-la-mancha-Hernan-Octavio-Urbiola-Solis.pdf>

- Trujillo, R. (2014). *Eficiencia Energética en la Edificación en Tuxtla Gutiérrez Chiapas, usando Techos Verdes*. Tuxtla Gutiérrez: Universidad Autónoma de Chiapas.
- Trujillo, R. (2014). *Eficiencia Energética en la edificación en Tuxtla Gutierrez, Chiapas, usando Techos verdes*. Tuxtla Gutierrez, Chiapas, México: Universidad Autónoma de Chiapas.
- Tuxtla, 2., & Municipal, I. C. (25 de Enero de 2015). Obtenido de <http://decalogopublicidad.com/Tuxtla2030.pdf>
- Tuxtla, G. (25 de Enero de 2015). Obtenido de <http://arquitectoschiapanecos.org.mx/descargas/normatividad.php>
- UN. (1996). Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre los asentamientos Humanos Habitat II. Estambul, Turquía: Naciones Unidas. Obtenido de <http://daccess-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/G96/025/03/PDF/G9602503.pdf?OpenElement>
- UNSD. (1992). United Nations Conference on Environment & Development Rio de Janeiro Brazil, 1992. *Agenda 21* (págs. 244-246). Río de Janeiro, Brazil: United Nations.
- Urbano, B., & López, d. M. (2013). Naturación Urbana, Un desafío a la Urbanización. *Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del ambiente (RCHSCFA)*, 225-235.
- Vecchia, F. (1997). *Clima e Ambiente Construido Tese (Doutorado)*. São Paulo: Universidad de São Paulo.
- WCED. (1987). *Our Common Future, Report of the World Commission on Environment and Development*. Oslo Noruega: United Nations.
- Weather. (2015 de Enero de 2015). *Weather Underground*. Obtenido de [http://www.wunderground.com/history/airport/MMTB/2012/1/1/CustomHistory.html?dayend=31&monthend=12&yearend=2013&req\\_city=NA&req\\_state=NA&req\\_state\\_name=NA&MR=1](http://www.wunderground.com/history/airport/MMTB/2012/1/1/CustomHistory.html?dayend=31&monthend=12&yearend=2013&req_city=NA&req_state=NA&req_state_name=NA&MR=1)
- Yang, H., Choi, M., & Kang, J. (2010). Laboratory study of the effects of green roof systems on noise reduction at street levels for diffracted sound. *Inter noise 2010, noise and sustainability*, 1-11.
- Zielinski, S., García, C. M., & Vega, P. J. (Mayo 2012). Techos Verdes, Una herramienta viable para la gestión ambiental en el sector hotelero del Rodadero, Santa Marta? *Gestión y Ambiente*, 91-104.



Anexos

## ANEXO 1

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”



**ORGANISMO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN Y  
CERTIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y EDIFICACIÓN, S. C.**

**NORMA MEXICANA  
NMX-C-460-ONNCCE-2009**

Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 18 de agosto de 2009

**“INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - AISLAMIENTO TÉRMICO –  
VALOR “R” PARA LAS ENVOLVENTES DE VIVIENDA POR ZONA TÉRMICA  
PARA LA REPÚBLICA MEXICANA - ESPECIFICACIONES Y VERIFICACIÓN”**

**“BUILDING INDUSTRY – INSULATION – “R” VALUE FOR THE HOUSING  
ENVELOPE BY THERMAL ZONE FOR MEXICAN REPUBLIC –  
SPECIFICATION AND VERIFICATION”**

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. C.  
Ceres #7, Col. Crédito Constructor C. P. 03940, México, D.F. Tel. 01 (55) 56 63 29 50 ext. 109 Fax. ext.104  
Correo electrónico: [normas@mail.onncce.org.mx](mailto:normas@mail.onncce.org.mx) Internet: <http://www.onncce.org.mx>  
©COPYRIGHT, DERECHOS RESERVADOS ONNCCE, S. C., MÉXICO MMIX





<p>NORMA MEXICANA</p> <p><b>NMX-C-460-ONNCCE-2009</b></p> <p>Declaratoria de vigencia publicada en el D. O. F. el día 18 de agosto de 2009</p>	<p><b>"INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - AISLAMIENTO TÉRMICO - VALOR "R" PARA LAS ENVOLVENTES DE VIVIENDA POR ZONA TÉRMICA PARA LA REPÚBLICA MEXICANA - ESPECIFICACIONES Y VERIFICACIÓN"</b></p> <p><b>"BUILDING INDUSTRY - INSULATION - "R" VALUE FOR THE HOUSING ENVELOPE BY THERMAL ZONE FOR MEXICAN REPUBLIC - SPECIFICATION AND VERIFICATION"</b></p>
--	---

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. C.  
 Ceres #7, Col. Crédito Constructor C. P. 03940, México, D. F. Tel. 01 (55) 56 63 29 50 Fax. 56 63 29 50 ext. 104  
 Correo electrónico: nomas@mail.onncce.org.mx Internet: http://www.onncce.org.mx  
 ©COPYRIGHT, DERECHOS RESERVADOS ONNCCE, S.C., MÉXICO MMIX



## COMITÉ TÉCNICO DE NORMALIZACIÓN DE PRODUCTOS, SISTEMAS Y SERVICIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN

### PREFACIO

En la elaboración de la presente norma participaron las siguientes empresas, organizaciones e instituciones:

- Aislantes Minerales, S. A. de C. V. (ROLAN).
- Asociación de Empresas para el Ahorro de la Energía en la Edificación, A. C. (AEAEE).
- Asociación de Industriales de Fibrocemento, A. C. (AIFIC).
- Asociación Mexicana de Fabricantes de Aislamientos Térmicos y Acústicos (AMFATA)
- Armacell Inc.
- Basf Mexicana S.A. de C.V.
- Colegio de Ingenieros de Civiles de México. (CICM)
- Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI)
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)
- Concreto CEMEX
- Corporación GEO, S. A. B. de C. V. (GEO)
- Dow Química Mexicana, S.A. de C.V.
- DUPONT México Non Wovens. (DUPONT)
- ENTE S.C.
- Espumados de Estireno S.A.
- Eternit Atlántico, S. A. de C. V.
- EUREKA, S. A. de C. V. (EUREKA)
- FANOSA, S. A. de C. V. (FANOSA)
- Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica. (FIDE)
- Fondo de Vivienda para los Trabajadores al Servicio del Estado (FOVISSSTE)
- Grupo Metal INTRA S.A. de C.V.
- Hüper – Optik México S.A. de C.V.
- Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT)
- Instituto Nacional de Ecología (INE)
- Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Tecamachalco (IPN-ESIA)
- ITAL Mexicana, S. A. (ITAL)
- Lean House Consulting
- MEXALIT Industrial, S. A. de C. V. (MEXALIT)
- NOVIDESA, S. A. de C. V. (NOVIDESA)
- Owens Corning México S. de R. L. de C.V. (OWENS CORNING)
- POLIOLES S.A. de C.V. (POLIOLES)
- RI Arquitectura Verde, S.A. de C.V.
- Tecnosistemas para la Vivienda Sustentable S.A. DE C.V. (TECVIS)
- Termolita, S.A. de C.V.
- Ternium S.A. de C.V.
- The Plycem Company, Inc. (PLYCEM)
- TIM, S.A. de C.V. (Thermaflex)
- Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Arquitectura. (UNAM)
- VITRO – Vidrio Plano S.A. de C.V.

## ÍNDICE

	Pag.
INTRODUCCIÓN.....	4
1. OBJETIVO.....	4
2. CAMPO DE APLICACIÓN.....	4
3. REFERENCIAS.....	4
4. SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS.....	5
5. DEFINICIONES.....	5
5.1. Aislamiento térmico.....	5
5.2. Aislamiento estructurado.....	5
5.3. Barrera para vapor.....	5
5.4. Coeficiente de conductividad térmica.....	5
5.5. Coeficiente total de transmisión de calor.....	5
5.6. Coeficiente superficial de transmisión de calor.....	5
5.7. Conductancia térmica.....	6
5.8. Conductividad térmica.....	6
5.9. Criterio térmico.....	6
5.10. Director responsable de obra; Perito de obra.....	6
5.11. Envoltorio de una edificación.....	6
5.12. Entrepiso ventilado.....	6
5.13. Grados-Día (GD).....	6
5.14. Grado-Día de Refrigeración (GDR).....	7
5.15. Grado-Día de Calefacción (GDC).....	7
5.16. Humedad relativa.....	7
5.17. Muro.....	7
5.18. Resistencia térmica superficial.....	7
5.19. Resistencia térmica total de un elemento o sistema de la envolvente; Valor "R".....	7
5.20. Resistencia térmica total mínima o valor "R" mínimo.....	7
5.21. Resistencia térmica total para la habitabilidad o valor "R" para habitabilidad.....	7
5.22. Resistencia térmica total para el ahorro de energía o valor "R" para ahorro de energía.....	7
5.23. Techo.....	7
5.24. Transmitancia térmica.....	8
5.25. Vivienda.....	8
5.26. Zona térmica.....	8
6. CLASIFICACIÓN.....	8
7. ESPECIFICACIONES.....	9
7.1. Techos.....	9
7.2. Muros.....	10
7.3. Entrepisos ventilados.....	10
8. MÉTODOS DE COMPROBACIÓN.....	10
8.1. Memoria descriptiva.....	10
8.2. Metodología de cálculo.....	11
8.3. Evidencias.....	11
9. EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....	12
10. DOCUMENTACIÓN DE CUMPLIMIENTO.....	12
A. APÉNDICE NORMATIVO.....	13
A.1. Zonas térmicas de las principales localidades de la República Mexicana.....	13
A.2. Cálculo de la resistencia térmica. Método simplificado.....	16
11. BIBLIOGRAFÍA.....	20
12. CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES.....	20
B. APÉNDICE INFORMATIVO.....	20
B.1. Conductividades térmicas de diversos materiales.....	20
B.2. Ejemplo de aplicación práctica.....	22
B.3. Vanos vidriados.....	26
B.4. Clasificación de Köppen y su vinculación con las consideraciones para establecer los criterios térmicos para determinación de la eficiencia energética en vivienda.....	28
B.5. Información de materiales aislantes térmicos.....	30
B.6. Aclaración.....	31
B.7. Vigencia.....	32

## INTRODUCCIÓN

En 1984 la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo de la ONU vinculó el desarrollo y el medio ambiente en un sólo concepto de "desarrollo sustentable", a partir de 1992 las estrategias se orientan a modificar las actividades humanas con el fin de minimizar el deterioro ambiental y garantizar la sustentabilidad en los procesos de desarrollo.

En la edificación, estas corrientes impulsan paulatinamente nuevas exigencias a lo largo del proceso de diseño y construcción relativos al ahorro de agua y energía, a incrementar las áreas verdes, a favorecer el reciclaje y manejo de desechos y, la adecuación al medio. Desafortunadamente todavía carecemos de medidas y parámetros para su implementación, sobre todo hoy que el cambio climático es un tema que merece toda nuestra atención.

Con el propósito de coadyuvar con los inversionistas, diseñadores, constructores, desarrolladores, directores responsables de obra, industriales, autoridades y con los comercializadores en general, ésta norma incorpora información relevante que coadyuva a disminuir el uso de energía en las viviendas por concepto de climatización al proporcionar, para las diferentes zonas climáticas del país, las características que deben cumplir las viviendas a través de su envolvente mediante la determinación de los valores de resistencia térmica total (valor "R") de acuerdo a la zona térmica en donde se localice la vivienda y al propósito inmediato del aislamiento, mismo que puede ser: a) mínimo; b) para lograr habitabilidad, y c) para ahorrar energía.

Esta norma también puede ser utilizada por cualquier persona, por instituciones financieras o por los organismos de vivienda que construyan, financien o adquieran vivienda nueva, progresiva o terminada u otros tipos de inmuebles. Para demostrar su cumplimiento se considera la participación de Unidades de Verificación o de Organismos de Certificación de producto acreditados de conformidad con la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

Para el diseño y la construcción en México existe suficiente elaboración y oferta de materiales termo aislantes, así como de diversos materiales de construcción, tecnología, información y sistemas constructivos, entre otros, que permiten reducir la ganancia o pérdida de calor a través de la envolvente para todo tipo de construcción y en beneficio de todos los estratos socioeconómicos y de sus necesidades en la vivienda.

No es objeto de esta norma incluir los sistemas de instalación, las buenas prácticas de seguridad, salud, almacenaje, transporte, recepción y manejo de los diferentes tipos de materiales térmicos u otros elementos o componentes de la envolvente.

### 1. OBJETIVO

Esta norma establece las especificaciones de resistencia térmica total (Valor "R") que aplican a las envolventes de las viviendas para mejorar las condiciones de habitabilidad y para disminuir la demanda de energía utilizada para acondicionar térmicamente su interior, de acuerdo a la zona térmica del estado en que se ubique.

### 2. CAMPO DE APLICACIÓN

La presente norma mexicana es de observancia general en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos y es aplicable a las viviendas y a las ampliaciones de las mismas.

El encargado de dar cumplimiento es la persona física o moral propietaria del terreno en que se edifica la vivienda, quien debe delegar esta responsabilidad al Director Responsable de Obra o su equivalente, quien es responsable solidario con el propietario exclusivamente en lo relativo a las obligaciones que se le asignan en esta norma y que debe proporcionar las evidencias correspondientes a la Unidad de Verificación o al Organismo de Certificación de producto, según corresponda.

En caso de que el propietario por sí mismo asuma las obligaciones del Director Responsable de Obra, debe proporcionar las evidencias correspondientes, tal situación debe indicarla a la Unidad de Verificación o al Organismo de Certificación correspondiente.

### 3. REFERENCIAS

Esta norma se complementa con las siguientes normas en vigor:

NOM-008-SCFI	Sistema General de Unidades de Medida.
NOM-008-ENER	Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales.
NOM-018-ENER	Aislantes térmicos para edificaciones. Características, límites y métodos de prueba

#### 4. SIMBOLOS Y ABREVIATURAS

Para efectos de esta norma, se entiende por:

DRO	Director Responsable de Obra
GD	Grados Día
GDC	Grados Día de Calefacción
GDR	Grados Día de Refrigeración
LFMN	Ley Federal sobre Metrología y Normalización
NMX	Norma Mexicana
OC	Organismo de Certificación de producto
"R"	Resistencia térmica
UV	Unidad de Verificación.

#### 5. DEFINICIONES

Para la correcta aplicación de esta norma se establecen las siguientes definiciones:

##### 5.1. Aislamiento térmico:

Es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor por conducción. Se evalúa por la resistencia térmica que tienen o, lo que es lo mismo, por la capacidad de aislar térmicamente.

##### 5.2. Aislamiento estructurado:

Es la combinación de varios materiales para formar un arreglo que presenta soluciones constructivas de aislamiento térmico y que pueden formar parte parcial o total de los elementos de la envolvente.

##### 5.3. Barrera para vapor:

Es un material, producto o componente de un muro o techo que proporciona resistencia a la transmisión de vapor de agua en forma continua sobre la totalidad de la superficie del muro o techo.

##### 5.4. Coeficiente de conductividad térmica:

Es la cantidad de calor que pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de superficie de una muestra del material de extensión infinita, caras plano-paralelas y espesor unidad, cuando se establece una diferencia de temperatura entre sus caras igual a la unidad, en condiciones estacionarias.

La conductividad térmica es una propiedad característica de cada material, su valor puede depender de la temperatura y de una serie de factores tales como densidad, porosidad, contenido de humedad, diámetro de fibra, etc. Su símbolo es la letra griega  $\lambda$  y sus unidades  $W/(mK)$ .

##### 5.5. Coeficiente total de transmisión de calor:

Es el flujo de calor o frío que pasa a través de  $1 m^2$  de un cuerpo de caras plano-paralelas con espesor de  $1 m$  durante una hora, cuando entre las dos caras hay una diferencia de  $1 ^\circ C$ , se representa generalmente por la letra "K", sus unidades son  $W/m^2K$ .

##### 5.6. Coeficiente superficial de transmisión de calor:

Es la transmisión térmica por unidad de superficie en contacto con aire u otro fluido debida a la convección y radiación, dividida por la diferencia de temperatura entre la superficie del material y la temperatura seca del fluido.

El valor del coeficiente superficial depende de muchos factores, tal como el movimiento del aire u otro fluido, las rugosidades de la superficie, así como la naturaleza y temperatura del ambiente. Se emplea con los símbolos  $h_e$  y  $h_i$  (los subíndices indican la cara exterior o interior de la envolvente, respectivamente). Sus unidades son  $W/m^2K$ .



El calor puede transmitirse por uno o más de los tres mecanismos básicos siguientes:

**Conducción:** Cuando el calor se transmite a través de un cuerpo por la transferencia de la cantidad de movimiento de sus partículas o átomos sin que exista mezcla. Ejemplo: Transmisión de calor a través de ladrillos de un horno.

**Convección:** Cuando el calor se transmite por mezcla de las partes calientes con las frías de un mismo material. La convección está restringida al caso de fluidos.

Por esta razón los términos "conducción" y "convección" se utilizan con frecuencia juntos.

**Radiación:** Es la transmisión de la energía a través del espacio por medio de ondas electromagnéticas. Si encuentra materia en su camino la radiación será transmitida, reflejada o absorbida. Únicamente la energía absorbida es la que nos interesa ya que es la que aparece en forma de calor y su transformación es cuantitativa.

#### 5.7. Conductancia térmica:

Es la cantidad de calor transmitida a través de la unidad de área de una muestra de material o una estructura de espesor (L) dividida por la diferencia de temperatura entre las caras caliente y fría en condiciones estacionarias. Se representa por el símbolo "C" y sus unidades son  $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ .

#### 5.8. Conductividad térmica:

Es la cantidad de calor transmitido por unidad de tiempo y área, no solo depende del espesor de la pared y del gradiente de temperatura, sino también de las propiedades intrínsecas del material en cuanto a su capacidad de conducir el calor. Se representa con el símbolo " $\lambda$ " y sus unidades son  $W/mK$ .

**Nota 1:** La conductancia térmica depende del espesor (L) del material, mientras la conductividad se refiere a la unidad de espesor de material.

#### 5.9. Criterio térmico:

Es la clasificación usada para identificar los climas mundiales basada en los criterios de grados-día de enfriamiento o grados-día de calentamiento que se emplea en los códigos de construcción para eficiencia energética o ahorro de energía de los edificios.

#### 5.10. Director Responsable de Obra; Perito de Obra:

Profesional responsable del proyecto ejecutivo ante la autoridad correspondiente, así como de la ejecución de la obra para la correcta aplicación y cumplimiento de disposiciones técnicas y legales que incidan o se relacionen con la construcción y de la utilización de bienes y servicios que cumplan con los requerimientos de calidad.

#### 5.11. Envoltente de una edificación:

Conjunto de elementos como son: techos, muros, vanos y entrepisos ventilados con diversos materiales que limitan su espacio interno.

#### 5.12. Entrepiso ventilado:

Elemento horizontal de un edificio que limita y cierra un espacio por su parte inferior y que no está en contacto con el suelo o terreno, incluye a los componentes estructurales y a los recubrimientos exteriores e interiores que lo integran.

#### 5.13. Grados-Día (GD):

Es la diferencia de temperaturas acumuladas como una forma relativamente simple de agrupar datos climáticos, como un índice o clasificación útil de distintos climas para utilizarse en códigos o normas de la construcción. El cálculo o estimación de las diferencias de temperaturas acumuladas están basadas sobre el concepto de una temperatura de referencia, la cual refleja el punto en el cual la edificación comienza a necesitar calentamiento o enfriamiento para mantener las condiciones hidrotérmicas requeridas.

**5.14. Grado-Día de Refrigeración (GDR):**

Ocurre cuando la diferencia de Grados-Día es positiva. Se refiere a los días en que la edificación requiere enfriamiento para obtener confort térmico.

**5.15. Grado-Día de Calefacción (GDC):**

Ocurre cuando la diferencia de Grados-Día es negativa. Se refiere a los días en que la edificación requiere calefacción para obtener confort térmico.

**5.16. Humedad relativa:**

Se denomina "Humedad relativa" (HR) al porcentaje de vapor de agua en el aire, a una temperatura dada, respecto a la cantidad de vapor máxima admisible en el límite de la condensación.

**5.17. Muro:**

Elemento vertical de un edificio que limita y cierra un espacio. Incluye a los componentes estructurales y a los recubrimientos exteriores e interiores que lo integran.

**5.18. Resistencia térmica superficial:**

Es el recíproco de los coeficientes superficiales de transmisión de calor y su valor depende del sentido del flujo de calor y de la situación exterior o interior de las superficies. Se representa como "1/h<sub>e</sub>" y "1/h<sub>i</sub>" donde los subíndices indican la cara exterior o interior de la envolvente, respectivamente. Sus unidades son m<sup>2</sup>K/W.

**5.19. Resistencia térmica total de un elemento de la envolvente; Valor "R":**

Es la suma de las resistencias superficiales, interna y externa, y de las resistencias térmicas de las varias capas de los diversos materiales que componen al elemento de la envolvente, esta suma también es conocida como valor "R". Es el inverso del coeficiente total de transmisión de calor "K", sus unidades son m<sup>2</sup>K/W.

**5.20. 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).

**5.21. Resistencia térmica total para la habitabilidad o valor "R" para habitabilidad:**

Es aquél que busca proporcionar un bienestar hidrotérmico 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.

**5.22. 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 calentar, enfriar o ambos para mejorar la habitabilidad y para ahorrar y hacer un uso racional de la energía

**5.23. Techo:**

Elemento superior de un edificio que lo cubre y cierra, incluye a los componentes estructurales y a los recubrimientos exteriores e interiores que lo integran.

#### 5.24. Transmitancia térmica:

La transmitancia térmica es llamada a veces "coeficiente total de transmisión térmica" o "coeficiente de transmisión térmica aire-aire", y es la diferencia de temperaturas medida entre los dos ambientes de ambos lados del elemento o elementos de la envolvente, es decir comprende la conductancia y los coeficientes superficiales de transmisión de calor. Es representado por la letra "K" y sus unidades son  $W/m^2 K$ ; en ocasiones se representa por la letra "U".

#### 5.25. Vivienda:

Componente básico y generador de la estructura urbana y satisfactor de las necesidades vitales del hombre; se utiliza indistintamente para una o más unidades y, en su caso, incluye la urbanización e infraestructura. Es sinónimo de morada, habitación, casa, residencia, apartamento o departamento.

#### 5.26. Zona térmica:

Zona geográfica con temperatura ambiente y humedad relativa determinadas.

### 6. CLASIFICACIÓN

La tabla 1 indica las zonas térmicas que establecen las necesidades de adaptación climática en el interior de las viviendas; considera su vinculación con la clasificación más usual emitida en base en Grados-Día, con la clasificación climática internacional común (clasificación Köppen).

Esta clasificación de referencia se conformó ponderando las clasificaciones antes mencionadas a fin de tener aplicación práctica en el diseño y análisis de eficiencia energética en la construcción. Para una explicación más amplia consulte el Apéndice B.4.

TABLA 1.- Clasificación por zonas térmicas.

Zona Térmica No.	Clasificación con base en Grados-Día	Clasificación climática Internacional (Clasificación Köppen)
1	$5\,000 < \text{GDR } 10\text{ }^\circ\text{C}$	Aw, BW <sub>h</sub>
2	$3\,500 < \text{GDR } 10\text{ }^\circ\text{C} \leq 5\,000$	Cfa, BW <sub>h</sub>
3A y 3B	$2\,500 < \text{GDR } 10\text{ }^\circ\text{C} \leq 3\,500$ y $\text{GDC } 18\text{ }^\circ\text{C} \leq 3000$	Cfa, BSk / BW <sub>h</sub> / H
3C	$\text{GDC } 18\text{ }^\circ\text{C} \leq 2\,000$	Cs
4A y 4B	$\text{GDR } 10\text{ }^\circ\text{C} \leq 2\,500$ y $\text{GDC } 18\text{ }^\circ\text{C} \leq 3\,000$	Cfa / Dfa, BSk / BW <sub>h</sub> / H
4C	$2\,000 \leq \text{GDC } 18\text{ }^\circ\text{C} \leq 3\,000$	Cfb

Nota 1: Aclaratorias a la Tabla 1

La clasificación climática de Köppen consiste en una clasificación climática mundial basada en las temperaturas y precipitaciones otorgando letras a los diferentes valores que toman estas dos variables.

La clasificación en base a Grados-Día (GD) está basada en el cálculo o estimación de las diferencias de temperaturas acumuladas. Considera el concepto de una temperatura de referencia, la cual refleja el punto en el cual la vivienda comienza a necesitar calentamiento o enfriamiento para mantener las condiciones hidrotérmicas requeridas.

Nota 2: Las subclasificaciones A, B y C en la primera columna, son identificadas como:

- Húmeda (A): Son localidades que cumplen con la siguiente consideración:  $P_{cm} \geq 2,0 (T_c + 7)$
- Seca (B): Son localidades que cumplen con los criterios siguientes:  $P_{cm} < 2,0 (T_c + 7)$

Donde:

$P_{cm}$  es la precipitación anual en centímetros

$T_c$  es la temperatura anual promedio en °C

- Marina (C): Son lugares que cumplen con los cuatro criterios siguientes:
- La temperatura media mensual de los meses más fríos es entre -3 °C y 18 °C.
- El promedio de temperatura del mes más caluroso < 22 °C.
- Al menos los cuatro primeros meses con temperaturas promedio arriba de los 10 °C
- Estaciones secas en verano. El mes con la precipitación más alta en la temporada fría tiene al menos tres veces más precipitación que el mes con la precipitación más baja en el resto del año. La estación fría comprende de octubre hasta marzo en el Hemisferio Norte.

En la Tabla 3 del Apéndice A se proporciona una lista de las principales localidades del país con su respectiva zona térmica a la que pertenecen de acuerdo al criterio térmico.

**Nota 3:** Para localidades no comprendidas en la Tabla 3 del Apéndice A, la exactitud climática se ajusta de acuerdo con la diferencia de altura del emplazamiento en relación a la capital del municipio o de la capital del municipio más cercano.

## 7. ESPECIFICACIONES

Los elementos constructivos que constituyen a la envolvente de la vivienda, tales como techos, muros y entrepisos ventilados deben tener una Resistencia Térmica Total (Valor "R") igual o mayor a las indicadas en la tabla 2 de acuerdo a la zona térmica en donde se localice la vivienda (Véase la Tabla 3 del Apéndice A) y al propósito inmediato del aislamiento, mismo que puede ser: mínimo; para lograr habitabilidad; o, para ahorro de energía (Véase definiciones 5.19. a 5.22.).

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

Zona Térmica No.	Techos m <sup>2</sup> K / W (ft <sup>2</sup> h °F / BTU)			Muros m <sup>2</sup> K / W (ft <sup>2</sup> h °F / BTU)			Entrepisos Ventilados m <sup>2</sup> K / W (ft <sup>2</sup> 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 m<sup>2</sup> K / W = 5,68 ft<sup>2</sup> h °F / BTU

### 7.1. Techos

Para que los techos cumplan con las especificaciones establecidas en la tabla 2 deben contar con las siguientes características:

7.1.1. Altura máxima útil interior de 2,60 m en techos horizontales o de 2,70 m en techos inclinados; en el caso de que la altura sea superior, por ello se debe presentar la memoria de cálculo del aislamiento estructurado de la envolvente correspondiente de acuerdo a lo establecido en 8.2.2., tomando como base los valores de la tabla 2.

7.1.2. El material aislante debe colocarse en forma continua para evitar en lo posible puentes térmicos, solo puede ser interrumpido por tuberías y canalizaciones para las instalaciones.

7.1.3. El material aislante debe cubrir la intersección con los muros perimetrales.



7.1.4. El área ocupada por vanos en techos cubiertos por domos, tragaluces, láminas traslúcidas y similares, incluyendo los marcos o cualquier hueco que permita el paso de la luz solar, debe ser igual o menor al 5,0 % del área total del techo envolvente de cada local habitable o de servicio, en caso de que este porcentaje sea mayor, se debe considerar en la memoria descriptiva (Véase 8.2.) las propiedades térmicas de los materiales elegidos para cubrir estos vanos. Mayor información en el Apéndice B.3. "Vanos vidriados".

## 7.2. Muros

Para que los muros cumplan con las especificaciones establecidas en la tabla 2 deben contar con las siguientes características:

7.2.1. Ser parte de las fachadas y que limiten los espacios interiores de la vivienda, no se deben considerar aquellos muros o parte de ellos que sean medianeros o que coincidan con muros colindantes semejantes.

7.2.2. El material aislante debe colocarse en forma continua para evitar en lo posible puentes térmicos, solo puede ser interrumpido por tuberías y canalizaciones para las instalaciones o por muros o componentes estructurales que intersecten al muro exterior y por columnas. En su caso, la solución constructiva debe considerar barreras de humedad o de vapor.

7.2.3. El área ocupada por vanos vidriados, tales como: ventanas, puertas (que tengan vidrio en más de la mitad de su superficie) incluyendo los marcos, muros acristalados o cualquier hueco que permita el paso de la luz solar debe ser igual o menor al 20,0% del área total del muro envolvente de cada local habitable o de servicio, en caso de que este porcentaje sea mayor se debe presentar la memoria de cálculo del aislamiento estructurado de la envolvente correspondiente de acuerdo a lo establecido en 8.2.2. tomando como base los valores de la tabla 2. Mayor información en el Apéndice B.3. "Vanos vidriados".

## 7.3. Entrepisos ventilados

Para que los entrepisos ventilados cumplan con las especificaciones establecidas en la tabla 2 deben contar con las siguientes características:

7.3.1. El material aislante debe colocarse en forma continua para evitar en lo posible puentes térmicos, solo puede ser interrumpido por tuberías y canalizaciones para las instalaciones.

7.3.2. El material aislante debe cubrir la intersección con los muros perimetrales.

## 8. MÉTODOS DE COMPROBACIÓN

Para la verificación del cumplimiento de las especificaciones de ésta norma se debe proporcionar una Memoria Descriptiva acompañada de los documentos correspondientes.

De común acuerdo por escrito entre el proveedor de la vivienda y el cliente, se permite cumplir parcialmente con las especificaciones de esta norma aplicables a los elementos de la envolvente dentro de los valores establecidos en la Tabla 2, en este caso se debe utilizar la metodología de cálculo indicada en 8.2.1.

### 8.1. Memoria descriptiva

La Memoria descriptiva debe formularse por escrito de manera clara y objetiva por cada tipo de vivienda (prototipo), presentando el razonamiento y la información suficiente con las cuales un evaluador externo puede conocer y constatar en la obra los criterios y consideraciones que fundamenten el aislamiento estructurado propuesto. Debe contener al menos:

- Nombre, denominación o razón social.
- Domicilio, teléfono y correo electrónico.
- Nombre del profesional responsable de la memoria.
- Nombre y registro del DRO o nombre del representante legal del constructor o proveedor o comercializador de la vivienda.
- Consideraciones previas al diseño del aislamiento térmico. Cualquier observación respecto a enfoques, fuentes de información, materiales, componentes, sistema constructivo, limitaciones generales, metodología de cálculo, entre otras, que incidan en el diseño, deben ser justificadas en este rubro.
- Identificación de la zona térmica y el propósito inmediato del aislamiento, mismo que puede ser: mínimo; para lograr habitabilidad; o, para ahorro de energía.

- Valor "R" (total) de diseño correspondiente a cada elemento de la envolvente (techo, muro y, en su caso, entrepiso ventilado).
- Valor "R" (total) obtenido correspondiente a cada elemento de la envolvente (techo, muro y, en su caso, entrepiso ventilado), se debe incluir la fuente bibliográfica de las conductividades térmicas de los materiales y componentes estructurales y de acabados o recubrimientos.
- Memoria de cálculo para el diseño de cada aislamiento estructurado con base en la metodología de cálculo establecida en 8.2., debe incluir croquis o planos y las especificaciones constructivas de instalación o aplicación de cada elemento de la envolvente.

## 8.2. Metodología de cálculo

La metodología de cálculo se enfoca a:

- Obtener la resistencia de cada parte térmicamente homogénea del componente.
- Combinar las resistencias individuales para obtener la resistencia térmica total del elemento de la envolvente, incluyendo (donde sea necesario) el efecto de las resistencias superficiales y los puentes térmicos.

Se permite utilizar cualquiera de las siguientes alternativas:

### 8.2.1. Opción prescriptiva o método simplificado de aplicación manual.

Consiste en justificar que los valores térmicos característicos de los elementos de la envolvente son al menos iguales a unos valores límite. La comparación se realiza a tres niveles: techos, muros y entrepisos ventilados. Esta opción admite únicamente la utilización de elementos o soluciones constructivas convencionales de uso generalizado en la vivienda.

El procedimiento de cálculo, debe ser llevado a cabo tal como se indica en el Apéndice A.2. "Cálculo de la resistencia térmica. Método simplificado", o cuando sea el caso, se debe aplicar cualquier otro método que establezca la normativa nacional demostrando el cumplimiento de la transmitancia o resistencia térmica total (valor "R") de cada elemento de la envolvente, situación que debe estar señalada ampliamente en el rubro de "Consideraciones previas al diseño del aislamiento térmico" de la Memoria descriptiva.

### 8.2.2. Opción prestacional.

Es una opción más compleja y puede requerir la utilización de programas informáticos de cálculo. El cumplimiento de esta opción puede llevarse a cabo alternativamente con la opción prescriptiva (véase 8.2.1.) o si no existe un método oficial de cálculo, siempre que estos programas utilicen las Normales Climatológicas proporcionadas por el Servicio Meteorológico Nacional y la radiación solar que los hagan homologables con las localidades del país.

Tiene la ventaja de ser más detallado, proporciona resultados desglosados "enfoque por objetivos" con lo cual facilita el posterior análisis para mejorar el ahorro de energía, además en dinámica permite la incorporación de nuevos materiales y la posibilidad de modificar las limitaciones de forma y tamaño de la edificación.

El modelo informático utilizado debe contener algoritmos que evidencien la comparación con otros modelos ya validados por la Agencia Internacional de Energía, así mismo, debe permitir la comparación con los resultados del módulo de demanda del programa D.O.E.2.E del Departamento de Energía de los Estados Unidos o el ASHRAE 90.1

El razonamiento para su utilización debe estar ampliamente documentado en el rubro de "Consideraciones previas al diseño del aislamiento térmico" de la Memoria descriptiva, justificando el comportamiento térmico de la vivienda tomando en cuenta las distintas configuraciones de la envolvente en su totalidad, lo que incluye a los vanos, ventanas, domos y similares.

## 8.3. Evidencias

8.3.1. En el caso de que el aislamiento estructurado incorpore materiales termoaislantes en los elementos de la envolvente, éstos deben presentar copia o referencia de las certificaciones del cumplimiento con la NOM-018-ENER de la conductividad térmica y, en su caso, de la resistencia térmica.

8.3.2. Memoria Descriptiva de conformidad a lo establecido en 8.1.

### 8.3.3. Diseño de la envolvente certificada.

En el caso de que el aislamiento estructurado de cada elemento cuente con certificación otorgada por OC, los materiales termoaislantes incorporados en los elementos de la envolvente deben contar con el certificado que evidencie el cumplimiento con la NOM-018-ENER y deben tener la garantía por parte del constructor o comercializador de la vivienda del cumplimiento de los requisitos y características mínimas exigidas en esta norma para la zona térmica que corresponda y para el propósito inmediato del aislamiento, por lo que se puede realizar su recepción e instalación sin necesidad de efectuar comprobaciones o ensayos, lo que no omite la verificación o supervisión de su instalación y operación.

## 9. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

La vivienda debe cumplir con todas las especificaciones establecidas en esta norma mexicana correspondiente a la zona térmica en que se ubique y al propósito inmediato del aislamiento de la envolvente, mismo que puede ser: mínimo; para lograr habitabilidad; o, para ahorro de energía (Véase capítulo 7. "Especificaciones").

Si se opta por la verificación, la vigencia del Informe de Verificación es permanente mientras la vivienda no sufra modificaciones, lo que se debe comprobar con el Dictamen emitido por la UV.

Si se opta por la certificación de los elementos de la envolvente, el certificado ampara sólo el proyecto tipo de vivienda presentado para la zona térmica y al propósito inmediato del aislamiento de la envolvente, mismo que puede ser: mínimo; para lograr habitabilidad; o, para ahorro de energía. La vigencia del Certificado es de un año con refrendos anuales, sujetos a informar sobre el lugar y características de los tipos de viviendas amparadas, así como de la orientación y, en su caso, del equipo de climatización.

## 10. DOCUMENTACIÓN DE CUMPLIMIENTO

Los proveedores sujetos al cumplimiento de la presente norma, deben proporcionar a sus clientes en un plazo que no exceda a los 15 días hábiles siguientes al aviso de terminación de obra, la información siguiente:

- Nombre, denominación o razón social
- Domicilio, teléfono y correo electrónico
- Nombre y registro del DRO o nombre del representante legal del constructor o proveedor o comercializador de la vivienda.
- Identificación de la zona térmica y el propósito inmediato del aislamiento, mismo que puede ser: mínimo; para lograr habitabilidad; o, para ahorro de energía.
- Valor "R" (total) correspondiente a cada elemento de la envolvente (techo, muro y, en su caso, entrepiso ventilado).
- Memoria descriptiva del cumplimiento con esta norma (Véase 8.1.).
- Diseño de la envolvente certificada (Véase 8.3.3.).
- Copia o referencia de las certificaciones con base en la NOM-019-ENER de la conductividad térmica y, en su caso, de los valores "R" de los componentes industrializados utilizados como termoaislantes en los elementos de la envolvente.

A. APÉNDICE NORMATIVO

A.1. Zonas térmicas de las principales localidades de la República Mexicana

Para efecto del cálculo a que se refiere el capítulo 8, se debe localizar la localidad de interés en la tabla 3 y referir la zona térmica correspondiente en la tabla 2, tomando como base las zonas referenciadas en la figura 1.



FIGURA 1.- Zonas térmicas de la República Mexicana (La presente figura es solo ilustrativa).

Para  
Rubber



**TABLA 3.- Zonas térmicas de la República Mexicana**

Estado	Localidad	Zona Térmica
Aguascalientes	Aguascalientes	3 B
Baja California	Ensenada	3 C
	Mexicali	2
	Tijuana	3 B
Baja California Sur	La Paz	2
	Los Cabos	2
Campeche	Campeche	1
	Cd. del Carmen	1
Coahuila	Matamoros	2
	Monclova	2
	Piedras Negras	2
	Saltillo	3 B
	Torreón	2
Colima	Colima	1
	Manzanillo	1
Chiapas	Comitán	2
	San Cristóbal	1
Chiapas	Ocosingo	2
	Tapachula	1
	Tonalá	1
	Tuxtla Gutiérrez	1
Chihuahua	Chihuahua	3 B
	Cuauhtémoc	4 B
	Hidalgo del Parral	3 B
	Juárez	3 B
	Nuevas Casas	3 B
Durango	Durango	3 B
	Lerdo	2
Guanajuato	Acambaro	3 A
	Celaya	2
	Dolores Hidalgo	3 A
	Guanajuato	3 A
	Irapuato	2
	León	3 A
	Pénjamo	2
	Salamanca	2
	San Felipe	3 A
	San Miguel de Allende	2
	Silao	3 A
Valle de Santiago	3B	
Guerrero	Acapulco	1
	Chilapa	3 A
	Chilpancingo	2
	Iguala	1
	Taxco	2
	Zihuatanejo	1
Hidalgo	Pachuca de Soto	4 B
	Tula de Allende	3 A
	Tulancingo	4 A

TABLA 3.- Zonas térmicas de la República Mexicana (continuación)

Estado	Localidad	Zona Térmica
Jalisco	Guadalajara	2
	Lagos de Moreno	3 A
	Puerto Vallarta	1
	Ocotlán	2
	Tepatitlán de Morelos	2
	Tlaquepaque	2
	Zapopan	2
México	Chapingo	4 A
	Ecatepec	4 A
	Ixtlahuaca	4 A
	Naucalpan	4 A
	Texcoco	4 A
	Toluca	4 A
Michoacán	Apatzingán	1
	Cd. Hidalgo	3 A
	Lázaro Cárdenas	1
	Morelia	3 A
	Uruapan	3 A
	Zamora	2
	Zitácuaro	3 A
Morelos	Cuautla	2
	Cuemavaca	2
	Temixco	2
Nayarit	Santiago Ixcuintla	1
	Tepic	2
Nuevo León	Cadereyta	2
	Linares	2
	Montemorelos	2
	Monterrey	2
	Santa Catarina	2
Oaxaca	Oaxaca de Juárez	2
	Salinas Cruz	1
Puebla	Atlixco	3 A
	Puebla	3 A
	Tehuacán	3 B
Querétaro	Querétaro	3 A
	San Juan del Río	4 A
Quintana Roo	Benito Juárez (Cancún)	1
	Cozumel	1
	Chetumal	1
	Playa del Carmen	1
	Felipe Carrillo Puerto	1
San Luis Potosí	Cd. Valles	3 C
	Río Verde	2
	Matehuala	3 B
	San Luis Potosí	3 B
Sinaloa	Culiacán	1
	Guasave	1
	Los Mochis	1
	Mazatlán	1

**TABLA 3.- Zonas térmicas de la República Mexicana (continuación)**

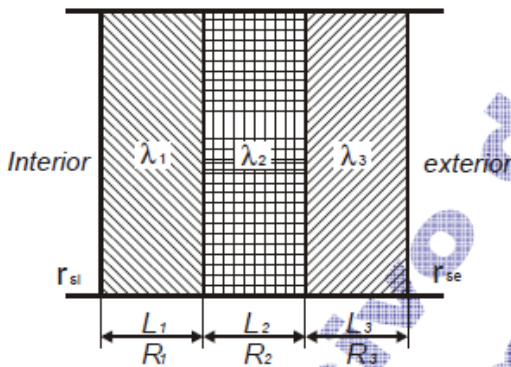
Estado	Localidad	Zona Térmica
Sonora	Cd. Obregón	1
	Hermosillo	2
	Guaymas	1
	Navojoa	1
	Nogales	1
	San Luis Río Colorado	2
Tabasco	Cárdenas	1
	Comalcalco	1
	Cunduacán	1
	Huimanguillo	1
	Macuspana	1
	Villahermosa	1
Tamaulipas	Cd. Victoria	2
	Tampico – Madero	1
	Matamoros	2
	Reynosa	2
	Nuevo Laredo	2
Tlaxcala	Apizaco	4 A
	Huamantla	4 C
	Tlaxcala	4 A
Veracruz	Coatzacoalcos	1
	Córdoba	2
	Jalapa	3 A
	Martínez de la Torre	1
	Minatitlán	1
	Orizaba	3 C
	Papantla	1
	Poza Rica	1
	San Andrés Tuxtla	1
	Tuxpan	1
	Veracruz	1
Yucatán	Mérida	1
	Progreso	1
	Valladolid	1
Zacatecas	Fresnillo	4 C
	Guadalupe	4 C
	Zacatecas	4 C

**Nota b:** Para información de algún municipio en particular de la República Mexicana, puede consultar la página Web: [www.ahorroenergia.org.mx](http://www.ahorroenergia.org.mx)

**A.2. Cálculo de la resistencia térmica. Método simplificado.**

**A.2.1. Resistencia Térmica Total y Coeficiente de Transmisión de Calor de Capas Homogéneas.**

La resistencia total de un muro o techo con capas homogéneas es la suma de las resistencias térmicas parciales de cada capa:



$$R_T = r_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + r_{se} = \frac{1}{h_i} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{L_n}{\lambda_n} + \frac{1}{h_e} \quad \text{m}^2 \text{K/W} \quad (\text{A.1})$$

**Nota 5:** Si la resistencia térmica total se presenta como resultado final, debe redondearse hasta el segundo decimal.

entonces:

$$K = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{L_n}{\lambda_n}} \quad (\text{A.2})$$

donde:

**K** es el coeficiente de transmisión térmica, en  $\text{W/m}^2 \text{K}$

**L** es el espesor de la capa del material en el componente, en m

**λ** es la conductividad térmica del material obtenida de valores tabulados, reportes del fabricante o de ensayos de laboratorio, en  $\text{W/(m K)}$

**h<sub>i</sub>** es la conductancia superficial interior, en  $\text{W/m}^2\text{K}$ , su valor (de la norma NOM-008-ENER-2001) es:

8,1 para superficies verticales,

9,4 para superficies horizontales con flujo de calor hacia arriba (de piso hacia el aire interior o del aire interior hacia el techo),

6,6 para superficies horizontales con flujo de calor hacia abajo (del techo al aire interior o del aire interior al piso)

**h<sub>e</sub>** es la conductancia superficial exterior, en  $\text{W/m}^2\text{K}$ , su valor es igual a 13 (de la norma NOM-008-ENER-2001).

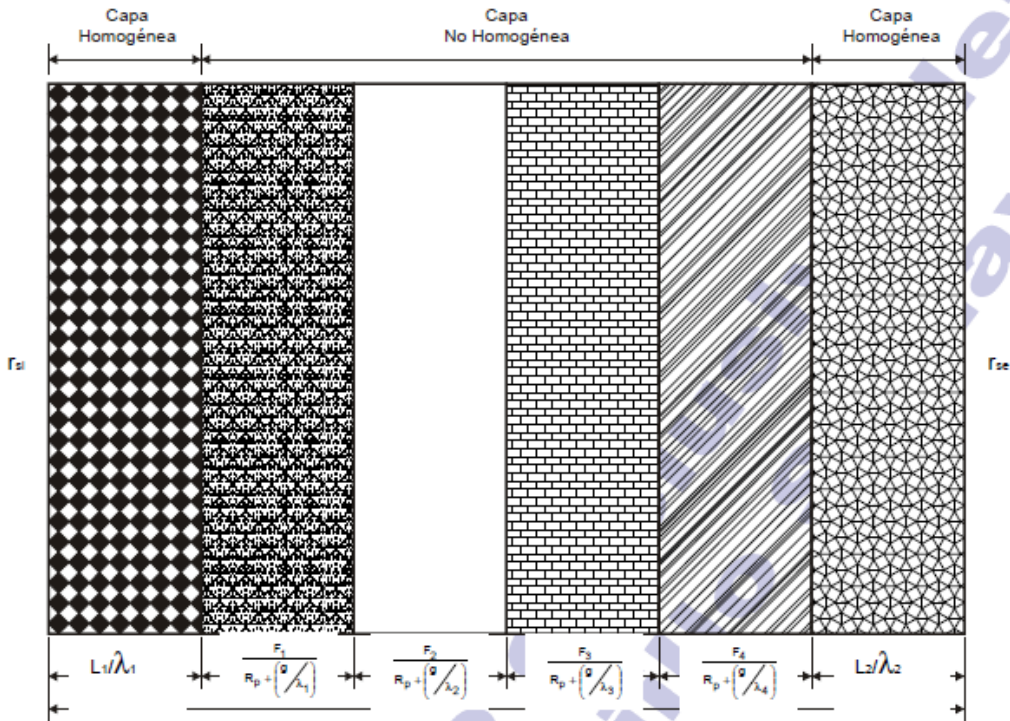
**n** es el número de capas que forman la porción de la envolvente.

**R<sub>T</sub>** es la resistencia térmica total de una porción de la envolvente del edificio, de superficie a superficie,  $\text{m}^2 \text{K/W}$



**A.2.2. Resistencia térmica total y coeficiente de transmisión de calor en capas homogéneas y no homogéneas.**

La resistencia térmica total  $R_T$  de un elemento constituido por capas térmicamente homogéneas y heterogéneas paralelas a la superficie, es representada como se muestra en la figura siguiente:



La resistencia térmica parcial ( $R_p$ ) es la formada por las capas térmicamente homogéneas y es determinada por la ecuación A.1, donde  $R_p = R_T$  para este caso.

Entonces la resistencia total es la formada por la suma de las fracciones ocupadas por las capas homogéneas y las no homogéneas:

$$R_T = M = \frac{1}{\frac{F_1}{R_p + \left(\frac{g}{\lambda_1}\right)} + \frac{F_2}{R_p + \left(\frac{g}{\lambda_2}\right)} + \dots + \frac{F_m}{R_p + \left(\frac{g}{\lambda_m}\right)}} \quad (A.3)$$

donde:

- $g$  es el grueso de la capa no homogénea, en m
- $\lambda$  es la conductividad térmica de diseño del material obtenida de valores tabulados, reportes del fabricante o de ensayos de laboratorio, en W/(m K)
- $m$  es el número de materiales que forman la capa no homogénea de la porción de la envolvente
- $R_T$  es la resistencia térmica total de una porción de la envolvente del edificio, de superficie a superficie,  $m^2$  KW

$R_p$  es la resistencia térmica total de una porción homogénea de la envolvente del edificio, calculada de acuerdo con la ecuación A.1,  $m^2 KW$

$F$  es la fracción del área total de la porción de la envolvente, ocupada por cada material en la capa homogénea.

**Nota 6:** Los valores de resistencia térmica utilizados en cálculos intermedios se calcularán con al menos 3 decimales.

#### A.2.3. Temperatura y condensaciones en la envolvente

El aire del ambiente siempre tiene un contenido de vapor de agua en equilibrio gaseoso con el aire, dando lugar a una presión parcial de vapor de agua representada por gramos de agua por kilo de aire seco.

La cantidad de vapor de agua máxima admisible en el aire depende de la temperatura y es creciente con ella, cantidades de vapor de agua menores que el máximo admisible se mantienen en equilibrio indefinidamente; por el contrario, si la cantidad de vapor tendiera a ser mayor que la admisible, el exceso no puede mantenerse en equilibrio y se condensaría.

Para un aire ambiente determinado en temperatura y  $H_a$  se denomina "temperatura de rocío" ( $t_r$ ) aquella (inferior a la ambiental) para lo cual la cantidad en peso de vapor de agua contenido en el ambiente representaría 100%  $H_a$ .

Estos conceptos son tratados ampliamente por la termodinámica.

**Nota 8:** Existen "barreras para vapor" que permiten la transmisión de vapor de agua a través de la envolvente. Estas barreras no evitan el paso de vapor de agua completamente, la razón principal de permitir la transmisión de vapor de agua a través de la envolvente es prevenir la condensación de agua líquida dentro de la estructura o aislamiento. En los climas cálidos la dirección de transmisión de vapor ocurre del interior hacia el exterior, una vez que el vapor de agua condensa fuera de la envolvente, la barrera de vapor evitara que el agua líquida ingrese nuevamente al interior.

#### A.2.4. Eliminación del riesgo de condensación superficial por mejoramiento del aislamiento térmico de la envolvente

Otra de las vías para evitar la condensación de agua sobre las superficies interiores de una envolvente exterior es el aumento del aislamiento térmico de la envolvente mediante el suplemento de un material aislante o incremento del espesor del que inicialmente se ha proyectado.

A continuación se expone el procedimiento de cálculo del espesor mínimo de este aislamiento suplementario.

Para este caso el coeficiente de transmisión de calor queda:

Cálculo del flujo de calor a través del muro

$$Q = (h_e + 1/R + h_i) * (T_i - T_e) \quad (A.4)$$

En la que  $T_e$  es el valor de la temperatura exterior

Cálculo del flujo de calor al interior de la superficie

$$Q = (h_i) * (T_i - T_r) \quad (A.5)$$

Igualando los flujos de calor.

$$(h_i) * (T_i - T_r) = (h_e + 1/R + h_i) * (T_i - T_e) \quad (A.6)$$

Sustituyendo en la ecuación B.9 el valor para el espesor L ( $R=L/\lambda$ ), se obtiene:

$$L = \frac{\lambda}{\left[ h_i \cdot \left[ \frac{(T_i - T_r)}{(T_i - T_e)} \right] - h_o - h_i \right]} \quad (\text{A.7})$$

Que es el espesor de un aislamiento suplementario de conductividad térmica " $\lambda$ " para el cual no se producen condensaciones superficiales en una envolvente de resistencia térmica para unas condiciones higrométricas del aire del ambiente dadas.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- |  |   |
|--|---|
| ANSI/ASHRAE/IESNA  | Standard 90.1-2004.<br><a href="http://www.ashrae.org">http://www.ashrae.org</a>  |
| Asociación de Empresas para el Ahorro de la Energía en la Edificación, A.C. (AEAE) | Estudios grados-día República Mexicana. Tablas de grados-día y Zonas Climáticas de México. (México, Diciembre 2005) <a href="http://www.ahorroenergia.org.mx">www.ahorroenergia.org.mx</a>  |
| Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda (CONAFOVI)                              | Diseño de áreas verdes en desarrollos habitacionales. (México 2005)   |
| Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI)   | Criterios e indicadores para los desarrollos habitacionales sustentables. (Marzo 2008)  |
| Ibarra Monfón A.   | Sistemas Térmicos. Manual Técnico. (Junio, 2004)  |
| Instituto Nacional de Ecología (INE)   | Zonas Ecológicas. (México, 2008)<br><a href="http://www.ine.gob.mx/dgioece/con_eco/con_hc_zonaeco.html">http://www.ine.gob.mx/dgioece/con_eco/con_hc_zonaeco.html</a>   |
| Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (INEGI)                | Información Geográfica. Climas. (México, 2008)<br><a href="http://inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados">http://inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados</a>   |
| ISO 15927-6  | Hygrothermal performance of Buildings – Calculation and presentation of Climatic Data - Part 6: Accumulated temperature differences (degree days). (2007-09-01)   |
| Isover   | Manual de Aislamiento en la Edificación. (España, 1982)   |
| NBE-CT-79  | Norma Básica de la Edificación, sobre Condiciones Térmicas en los Edificios. España. (Madrid 1979)  |
| R. S. Briggs; R. G. Lucas y Z. Todd Taylor   | Climate Classification for Building Energy Codes and Standards. Pacific NW National laboratory. (Marzo 26, 2006)  |
| Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua.                  | Normas Climatológicas. (México, 2008)<br><a href="http://smn.cna.gob.mx/productos/normas/estacion/normales.html">http://smn.cna.gob.mx/productos/normas/estacion/normales.html</a><br><a href="http://smn.cna.gob.mx/productos/productos.html">http://smn.cna.gob.mx/productos/productos.html</a> |
| Soluciones de aislamiento con vidrios y cerramientos                               | Instituto para la diversificación y ahorro de energía (IDEA). (Madrid, noviembre 2007)  |
| UNE-EN ISO 6946  | Elementos y Componentes de Edificación. Resistencia y Transmitancia Térmica: Método de Cálculo. Febrero 1997  |
| Wikipedia  | Clasificación Climática de Köppen.<br><a href="http://es.wikipedia.org">www.es.wikipedia.org</a>  |
| UNE-EN ISO 10077-1:2001  | Características térmicas de ventanas, puertas y contraventanas – Cálculo del coeficiente de transmisión térmica   |

## 12. CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

- Esta norma concuerda con la norma ISO 10456 "Building materials and products – Hygrothermal properties – Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values" en los Capítulos 5 y 8, así como con la tabla 3.

## B. APÉNDICE INFORMATIVO

### B.1. Conductividades térmicas de diversos materiales.

Los datos de la tabla 4 son valores indicativos para los cálculos que se indican únicamente en ésta norma, pueden ser valores más estrictos cuando el material disponga de datos avalados por registros de certificación o, en su defecto, si se dispone de ensayos realizados por un laboratorio acreditado en términos de la LFNM.

TABLA 4.- Conductividad térmica de materiales

Material	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Conductividad térmica de diseño (λ) W/mK (BTU/ft h °F)
Acero y hierro	7 800	50,000 (28,89)
Aire (sin mover)	1,23	0,025 (0,014)
Aluminio	2 700	204,00 (117,87)
Aplanado de mortero de cal al exterior	-----	0,872 (0,504)
Aplanado de mortero de cal al interior	-----	0,698 (0,403)
Aplanado de yeso	800	0,372 (0,215)
Arcilla expandida	400	0,120 (0,069)
Asfalto impermeabilizante bituminoso ó Betún	1 050	0,170 (0,98)
Azulejos y mosaicos	2 300	1,300 (0,751)
Bloque de adobe al exterior	-----	0,930 (0,537)
Bloque de adobe al interior	-----	0,582 (0,336)
Bloque de concreto con 2 ó 3 huecos	1 700	1,11 (0,641)
Bloque de tepetate o arenisca calcárea al exterior	-----	1,047 (0,605)
Bloque de tepetate o arenisca calcárea al interior	-----	0,930 (0,537)
Bronce	8 700	65,0 (37,557)
Cobre	8 900	380,0 (219,564)
Concreto armado	2 400	2,0 (1,156)



**TABLA 4.- Conductividad térmica de materiales (Concluye)**

Material	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Conductividad térmica de diseño (λ) W/mK (BTU/ft h °F)
Concreto ligero al interior	1 250	0,582 (0,336)
Concreto simple al exterior	2 200	1,65 (,953)
Concreto simple al interior	1 250	0,698 (0,403)
Ladrillo exterior	----	0,872 (0,504)
Madera de Cedro (12% de humedad)	505	0,130 (0,075)
Madera de Fresno (12% de humedad)	674	0,164 (0,095)
Madera de Pino (12% de humedad)	663	0,162 (0,094)
Madera de Roble (12% de humedad)	753	0,180 (0,104)
Mortero cemento arena	2 000	0,170 (0,098)
Piedra arenisca	2 000	1,300 (0,751)
Piedra caliza	2 180	1,400 (0,809)
Piedra de granito, basalto	2 500 – 27 000	2,80 (1,618)
Piedra de mármol	2 800	3,50 (2,022)
Piedra pizarra	2 000 – 2 800	2,200 (1,271)
Rellenos de arena seca, limpia	1 700 – 2 200	2,000 (1,156)
Rellenos de Tezontle	400	0,120 (0,069)
Rellenos de tierra, arena o grava expuesta a la lluvia	2 600	2,300 (1,329)
Rellenos terrados secos en azoteas	----	0,582 (0,336)
Tabique de barro extruido sólido vidriado, p/ acabado exterior	2 050	1,282 (0,741)
Tabique de barro extruido, bloque hueco vertical (60 – 67% sólido)	2 050	0,998 (0,566)
Tabique ligero al exterior	1 600	0,814 (0,470)
Tabique rojo recocido común al interior	----	0,698 (0,403)

Nota 9: Los valores utilizados para los materiales aislantes térmicos no se incluyen toda vez que deben cumplir y estar certificados de conformidad con la norma oficial mexicana NOM-018-ENER vigente (véase Capítulo 10).

## B.2. Ejemplo de aplicación práctica.

### B.2.1. Planteamiento del problema

Se tiene proyectado construir un mismo prototipo de vivienda en tres localidades distintas, por lo que su envolvente debe cumplir con las especificaciones aplicables de resistencia térmica de la zona térmica correspondiente para el propósito elegido (mínimo, de habitabilidad o ahorro de energía).

a) **Morelia, Mich.**

Esta ciudad tiene una temperatura que no llega a límites extremos, con una media anual de 18,8 °C. Esta zona se caracteriza por presentar dos estaciones al año, la de lluvias en verano y la de secas el resto del año, con una precipitación anual media de 756 mm, una humedad relativa media anual del 58% y una tasa de evaporación de 1 826,5 mm.

El prototipo debe cumplir con los requerimientos establecidos para el valor de RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL PARA LA HABITABILIDAD.

b) **Hermosillo, Son.**

Esta región tiene un clima desértico de árido a semiárido, con temperaturas extremas estacionales, tiene una temperatura media anual de 25 °C, con temperaturas máximas de hasta 57 °C, su tasa muy alta de evaporación de 2 268,7 mm. Su precipitación media anual es de 287,7 mm y una humedad relativa media anual de 49%.

En esta localidad es necesario que la vivienda cumpla con los valores "R" PARA AHORRO DE ENERGÍA, ya que es común el uso de equipos de climatización.

c) **Cancún, Q. Roo**

Esta región básicamente es una selva tropical húmeda con temperatura promedio de 27,1 °C. La precipitación anual promedio es de 1 337,7 mm y por lo general hay menos de tres meses al año de sequía.

Para refrescar el interior de la viviendas en los días más calurosos, se aprovechan las corrientes de aire que entran al abrir las ventanas, por lo que solamente se requiere cumplir con el VALOR "R" MÍNIMO.

Por lo anterior, se debe determinar para cada caso, la mejor opción.

**B.2.2. Descripción de la envolvente**

La envolvente del prototipo de vivienda se debe construir de la siguiente manera:

**- Muros**

Material	Espesor (m)
Aplanado de mortero de cal al exterior	0,005
Bloque de concreto con 2 huecos	0,150
Aplanado de mortero de cal al interior	0,005

El área ocupada por ventanas y puertas (incluyendo los marcos) que permiten el paso de la luz solar, es menor al 20,0% del área total del muro envolvente de cada local habitable o de servicio.

**-Techo**

Para el techo se tiene la propuesta de construirlo con losa de concreto de 10 cm.

Material	Espesor (m)
Impermeabilizante	0,004
Concreto simple al exterior	0,040
Relleno de arena seca para nivelación parte exterior	0,060
Losa de concreto (concreto armado)	0,100
Aplanado de yeso al interior	0,015

El área ocupada por tragaluces y láminas traslúcidas, incluyendo los marcos, es menor al 5,0 % del área total del techo de cada local.

**B.2.3. Cálculos**

**Paso 1:** Identificar las conductividades térmicas para cada componente de la envolvente.

Para obtener las conductividades térmicas se consulta el Apéndice B.5.

MUROS		
Material	Espesor m	$\lambda$ W / m K
Aplanado de mortero de cal al exterior	0,005	0,872
Bloque de concreto con 2 huecos	0,150	1,110
Aplanado de mortero de cal al interior	0,005	0,698

TECHO		
Material	Espesor (m)	$\lambda$ W / m K
Impemeabilizante	0,006	0,170
Concreto simple al exterior	0,040	1,650
Relleno de arena seca para nivelación parte exterior	0,060	2,000
Losa de concreto (concreto armado)	0,100	2,000
Aplanado de yeso al interior	0,015	0,372

En este caso no se tiene entrepiso ventilado.

Paso 2: Determinar las resistencias totales de cada componente de la envolvente del prototipo sólo con su sistema constructivo (sin aislamiento)

Para determinar la resistencia se emplea la ecuación A.1:

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

donde:

$h_i$  es la conductancia superficial interior, en W/m<sup>2</sup>K, su valor es:

8,1 para muros  
6,6 para techos

$h_e$  es la conductancia superficial exterior, en W/m<sup>2</sup>K, su valor es igual a 13.

Nota 10: Los valores utilizados para  $h_e$  y  $h_i$  son tomados de la norma oficial mexicana NOM-008-ENER vigente

- Muros

Sustituyendo valores en la ecuación B.1:

$$R = \frac{1}{8,1} + \frac{1}{13} + \frac{0,005}{0,872} + \frac{0,150}{1,11} + \frac{0,005}{0,698} = 0,348 \text{ m}^2 \text{ K / W}$$

- Techo

$$R_T = \frac{1}{13} + \frac{1}{6,6} + \frac{0,015}{0,372} + \frac{0,06}{2,00} + \frac{0,04}{1,65} + \frac{0,10}{2,00} + \frac{0,006}{0,17} = 0,41 \text{ m}^2 \text{ K / W}$$

RESUMEN:

Componente	Valor "R" calculado m <sup>2</sup> K / W
Muros	0,348
Techo	0,410

Paso 3: Identificar la zona térmica de cada localidad en donde se va a construir el prototipo.

Consultando el Apéndice A de la presente norma, encontramos las zonas térmicas:

Localidad	Zona Térmica
Cancún, Q.R.	1
Hermosillo, Son.	2
Morelia, Mich.	3 A

**Paso 4:** Determinar las especificaciones de acuerdo con la tabla 2 de la norma que debe cumplir el prototipo para la localidad elegida (véase planteamiento del ejemplo, inciso D.1).

Localidad	Zona Térmica	Muros m <sup>2</sup> K / W (ft <sup>2</sup> h °F / BTU)			Techos m <sup>2</sup> K / W (ft <sup>2</sup> h °F / BTU)		
		Mínima	Habitabilidad	Ahorro de Energía	Mínima	Habitabilidad	Ahorro de Energía
Cancún, Q.R.	1	1,00 (5,70)	----	----	1,40 (8,00)	----	----
Hermosillo, Son.	2	----	----	1,40 (8,00)	----	----	2,65 (15,00)
Morelia, Mich.	3A	----	1,23 (7,00)	----	----	2,30 (13,00)	----

#### B.2.4. Comparación de los resultados

**Paso 5:** Compare los resultados obtenidos contra las especificaciones requeridas de la ciudad donde se localiza la vivienda prototipo.

Localidad	Zona Térmica	Requerimiento Muros Valor "R" (Tabla 2) m <sup>2</sup> K / W (ft <sup>2</sup> h °F / BTU)			Valor "R" Calculado m <sup>2</sup> K / W
		Mínima	Habitabilidad	Ahorro de Energía	
Cancún, Q. Roo	1	1,00 (5,70)	----	----	0,348 <b>No cumple</b>
Hermosillo, Son.	2	----	----	1,40 (8,00)	0,348 <b>No cumple</b>
Morelia, Mich.	3A	----	1,23 (7,00)	----	0,348 <b>No cumple</b>

Localidad	Zona Térmica	Requerimiento Techos Valor "R" (Tabla 2) m <sup>2</sup> K / W			Valor "R" Calculado m <sup>2</sup> K / W
		Mínima	Habitabilidad	Ahorro de Energía	
Cancún, Q. Roo	1	1,40 (8,00)	----	----	0,41 <b>No cumple</b>
Hermosillo, Son.	2	----	----	2,65 (15,00)	0,41 <b>No cumple</b>
Morelia, Mich.	3A	----	2,30 (13,00)	----	0,41 <b>No cumple</b>

#### B.2.5. Conclusiones

La composición de los muros para las 3 diferentes localidades **NO CUMPLE** con los requerimientos solicitados en la tabla 2 de esta norma.

Los techos sin aislamiento **NO CUMPLEN** con las especificaciones requeridas en la tabla 2 de esta norma.



### B.3. Vanos vidriados

Este apéndice tiene como único objeto proporcionar información de referencia sobre vanos vidriados para mejorar la eficiencia energética y el aumento en el bienestar térmico de la vivienda.

Para efectos de esta norma el área ocupada por vanos vidriados, tales como: ventanas, puertas (que tengan más de la mitad de vidrio) incluyendo los marcos, muros acristalados o cualquier hueco que permitan el paso de la luz solar debe ser menor al 20,0% del área total del muro envolvente de cada local habitable o de servicio, en caso contrario, se deben realizar los cálculos de los vanos vidriados. Para el caso de techos, los vanos deben ser menor al 5,0 % del área total del techo envolvente de cada local (se incluyen además de los huecos, domos, tragaluces y láminas traslucidas).

En caso contrario se recomienda que cumplan con las especificaciones de la tabla 5.

En el caso de requerir realizar los cálculos es necesario entender que los vanos vidriados se componen de tres partes fundamentalmente:

#### B.3.1. Marcos

El marco representa generalmente entre el 20% y 35% de la superficie del hueco. Sus principales características, desde el punto de vista del aislamiento térmico, son la transmitancia térmica y su absortividad. Estas dos propiedades participan en función de la fracción de superficie ocupada por el marco en la transmitancia total del hueco y el factor solar modificado del mismo.

Los marcos pueden clasificarse en función del material con que son fabricados y del que dependen sus propiedades térmicas. En la Tabla 6 se muestran los valores de transmitancia térmica dados en la norma UNE-EN ISO 10077-1 para los materiales más usuales empleados en la construcción de los marcos.

**TABLA 5.- Coeficiente de transmitancia térmica y resistencia térmica para vanos acristalados en muros y techo de la envolvente**

Zona Térmica	Muros		Techos	
	Coefficiente "U" W / m <sup>2</sup> K (BTU / hr ft <sup>2</sup> °F)	Valor "R" m <sup>2</sup> K / W (hr ft <sup>2</sup> °F / BTU)	Coefficiente "U" W / m <sup>2</sup> K (BTU / hr ft <sup>2</sup> °F)	Valor "R" m <sup>2</sup> K / W (hr ft <sup>2</sup> °F / BTU)
1	6,80	0,15	4,25	0,24
	(1,20)	(0,83)	(0,75)	(1,33)
2	4,25	0,24	4,25	0,24
	(0,75)	(1,33)	(0,75)	(1,33)
3A y 3B	3,70	0,27	3,70	0,27
	(0,65)	(1,54)	(0,65)	(1,54)
3C	3,70	0,27	3,70	0,27
	(0,65)	(1,54)	(0,65)	(1,54)
4A y 4B	2,25	0,44	3,40	0,29
	(0,40)	(2,50)	(0,60)	(1,67)
4C	2,0	0,50	3,40	0,29
	(0,35)	(2,86)	(0,60)	(1,67)

**TABLA 6.- Valores de transmitancia térmica para diversos materiales de marcos.**

Material del marco	Transmitancia térmica U (W/m <sup>2</sup> K)
Metálico	5,7
Metálico RPT (4 mm ≤ d ≤ 12 d)	4,0
Metálico RPT d ≥ 12 mm	3,2
Madera dura (ρ = 700 kg/m <sup>3</sup> y 60 mm de espesor)	2,2
Madera blanda (ρ = 500 kg/m <sup>3</sup> y 60 mm de espesor)	2,0
Perfiles huecos de PVC (2 cámaras)	2,2
Perfiles huecos de PVC (3 cámaras)	1,8

Es muy importante identificar los tipos de marcos, ventanas, domos y puertas, independientemente de los materiales ya que condicionan su permeabilidad al aire, es decir el paso del aire cuando el sistema cerrado es sometido a una presión diferencial entre ambas caras.

### B.3.2. Vidrios

El vidrio es el componente fundamental en el cerramiento si nos referimos a la superficie ocupada. Su propiedad principal es la transparencia permitiendo elevados aportes de luz natural que contribuyen al bienestar en el interior de la vivienda sin comprometer sus prestaciones de aislamiento térmico. Desde este punto de vista, las principales características del acristalamiento que se deben tener en cuenta son su coeficiente "U" o transmitancia térmica y su factor solar. Los vidrios pueden clasificarse en distintos grupos de acuerdo a su configuración y a las capas metálicas que mejoran sus prestaciones de aislamiento térmico y control solar.

#### B.3.2.1. Vidrio sencillo (monolítico)

En él se agrupan aquellos tipos formados por una sola capa de vidrio, y aquellos formados por dos o más hojas unidas entre sí por toda su superficie (vidrios laminares).

#### B.3.2.2. Unidad de vidrio aislante (UVA)

Llamados anteriormente como de doble acristalamiento o vidrio de cámara, hace referencia al conjunto formado por dos o más láminas de vidrios monolíticos separados entre sí por uno o más espaciadores herméticamente cerrados a lo largo de todo el perímetro. Las UVA aprovechan la baja conductividad térmica del aire, limitando el intercambio de calor por convección y conducción. Esta reducción deja de ser efectiva cuando se producen fenómenos de convección dentro de la misma cámara de aire (aproximadamente a los 17 mm).

#### B.3.2.3. Vidrios de baja emisividad

Se trata de vidrios monolíticos sobre los que se ha depositado una capa de óxidos metálicos extremadamente fina, proporcionando al vidrio una capacidad de aislamiento térmico reforzado. Por lo general este tipo de vidrios va montado en UVA, ofreciendo así sus máximas prestaciones de aislamiento térmico.

#### B.3.2.4. Vidrios de control solar

Pueden agruparse bajo esta denominación vidrios de muy distinta naturaleza: de color, serigrafiados o de capa. Las distintas capas y la posibilidad de aplicarse en distintos sustratos vitreos permite una amplia gama de posibilidades con diferentes estéticas y cuyas propiedades en térmica de control solar pueden variar.

### B.3.3 Huecos

El hueco es el lugar más débil desde el punto de vista térmico del aislamiento térmico, permitiendo grandes fugas de calor en régimen de invierno y un exceso de aporte solar en régimen de verano, lo cual se refleja en una mayor operación de los equipos de climatización. El servicio térmico de los huecos está limitado tanto por los materiales empleados como por el estado de conservación de los mismos.

La transmitancia térmica del hueco es directamente proporcional a las propiedades de los materiales y a la participación de los marcos y vidrios en el conjunto de la superficie del hueco. Se recomienda emplear la siguiente fórmula para su cálculo:

$$U_H = (1 - FM) \cdot U_{H,V} + FM \cdot U_{H,M} \quad \begin{matrix} \text{(B.1)} \\ \text{(B.5)} \end{matrix}$$

donde:

$U_{H,V}$  es la transmitancia térmica de la parte semitransparente,  $W/m^2 K$   
 $U_{H,M}$  es la transmitancia térmica del marco de la ventana, domo o puerta,  $W/m^2 K$   
 $FM$  es la fracción del hueco ocupada por el marco

El factor solar del hueco únicamente sin considerar el sombreado a través de voladizos, toldos, partesoles o persianas depende principalmente del acristalamiento empleado y de la superficie ocupada de este y en menor medida del material del marco. Su cálculo puede realizarse de acuerdo con:

$$F = (1 - FM) \cdot g_v + FM \cdot 0,04 \cdot U_m \cdot \alpha \quad \begin{matrix} \text{(B.2)} \\ \text{(B.6)} \end{matrix}$$

donde:

FM es la fracción de marco sobre el total del hueco  
 $U_m$  es la transmitancia térmica del marco,  $W/m^2 \cdot K$   
 $g_v$  es el factor solar del vidrio  
 $\alpha$  es la absorptividad del marco (función del color)

Si existe sombreado exterior debe aplicarse un factor de corrección.

#### B.4. Clasificación de Köppen y su vinculación con las consideraciones para establecer los criterios térmicos para determinación de la eficiencia energética en vivienda.

La clasificación climática de Köppen fue creada en 1900 por el científico alemán Wladimir Peter Köppen, posteriormente fue modificada en 1918 y 1936. Consiste en una clasificación climática mundial basada en las temperaturas y precipitaciones otorgando letras a los diferentes valores que toman estas dos variables (Véase Tabla 7).

En esta clasificación la primera letra indica el tipo de clima, por ejemplo:

**Clima A – Tropical.** Se caracteriza porque todos los meses tienen una temperatura media superior a los 18 °C y las precipitaciones anuales son superiores a la evaporación. Bajo estas condiciones se da el bosque tropical. La segunda letra hace referencia al régimen de precipitaciones:

- f: son las precipitaciones constantes. ("falta la sequía")
- m: son las precipitaciones constantes excepto algún mes seco y precipitaciones exageradas algunos meses.
- s: es el período seco en verano (*sommer* en alemán)
- w: es el período seco en invierno (*winter* en alemán)

TABLA 7.- Clasificación Climática de Köppen

Temperatura		Humedad					
		S	W	f	m	w	s
A	Tropical	---	---	<u>Ecuatorial</u> (Af)	<u>Monzónico</u> (Am)	<u>Sabana</u> (Aw)	<u>Sabana</u> (As)
B	Árido	<u>Estepario</u> (BS)	<u>Desértico</u> (BW)	---	---	---	---
C	Templado	---	---	<u>Subtropical</u> (Cfa) <u>Océánico</u> (Cfb)	---	<u>Pampeano</u> (Cwa, Cwb)	<u>Mediterráneo</u> (Csa) <u>Océánico de</u> <u>veranos secos</u> (Csb)
D	Continental	---	---	<u>Continental</u> (Dfa, Dfb) <u>Subártico</u> (Dfc, Dfd)	---	<u>Manchuriano</u> (Dwa, Dwb)	---
		<b>T</b>		<b>F</b>		<b>H</b>	
E	Frío	Tundra (ET)		Polar (EF)		Alta Montaña (H)	

**Clima B – Seco (Árido y Semiárido).** Se caracteriza porque las precipitaciones anuales son inferiores a la evaporación. Para el cálculo hay que multiplicar la temperatura media anual por los doce meses y duplicarla, pues se considera un mes húmedo aquel en el que la precipitación en mm es más del doble la temperatura en °C, de modo que para un año hay de multiplicar la temperatura media anual por veinticuatro. Esta es la fórmula más utilizada aunque hay otras formas más complejas de calcular la aridez. En este tipo de climas la segunda letra explica el grado de aridez:

- S: son las lluvias medias anuales están entre un 50 % y un 100 % de la temperatura media anual multiplicada por veinticuatro.
- W: son las lluvias medias anuales están entre un 0 % y un 50 % de la temperatura media anual multiplicada por veinticuatro.

La tercera letra explica las temperaturas:

- h: es la temperatura media anual por encima de 18 °C.;
- k: es la temperatura media anual por debajo de 18 °C.

**Clima C - Templado.** Se caracteriza porque la temperatura media del mes más frío es menor de 18 °C y superior a -3 °C y la del mes más cálido es superior a 10 °C. Las precipitaciones exceden a la evaporación. Es el clima donde se dan los bosques mesotérmicos. En esta clasificación la segunda letra explica el régimen de lluvias:

- f: son las precipitaciones constantes a lo largo del año, por lo que no podemos hablar de un periodo seco.
- s: es el verano es seco por lo que el mínimo de precipitaciones está bastante marcado y coincide con el periodo de temperaturas más altas. La estación más lluviosa no tiene porque ser el invierno.
- w: es el invierno es seco por lo que el mínimo de precipitaciones está bastante marcado y coincide con el periodo de temperaturas más bajas. La estación más lluviosa no tiene porque ser el verano.

La tercera letra explica el comportamiento de las temperaturas:

- a: Subtropical. El verano es caluroso pues se superan los 22 °C de media en el mes más cálido. Las temperaturas medias superan los 10 °C al menos cuatro meses al año.
- b: Templado. El verano es suave pues no se alcanzan los 22 °C de media en el mes más cálido. Las temperaturas medias superan los 10 °C al menos cuatro meses al año.
- c: El verano es suave pues no se alcanzan los 22 °C de media en el mes más cálido. Las temperaturas medias mayores de 10 °C se dan en menos de cuatro meses al año.

**Clima D – Templado frío (Continental).** Se caracteriza porque la temperatura media del mes más frío es menor de -3 °C y la del mes más cálido es superior a 10 °C. Las precipitaciones exceden a la evaporación. Es el clima donde se dan los bosques microtémicos. En esta clasificación la segunda letra explica el régimen de lluvias:

- f: precipitaciones constantes a lo largo del año, por lo que no podemos hablar de un periodo seco.
- s: el verano es seco por lo que el mínimo de precipitaciones está bastante marcado y coincide con el periodo de temperaturas más altas. La estación más lluviosa no tiene porque ser el invierno.
- w: el invierno es seco por lo que el mínimo de precipitaciones está bastante marcado y coincide con el periodo de temperaturas más bajas. La estación más lluviosa no tiene porque ser el verano.

La tercera letra explica el comportamiento de las temperaturas:

- a: el verano es caluroso pues se superan los 22 °C de media en el mes más cálido. Las temperaturas medias superan los 10 °C al menos cuatro meses al año.
- b: el verano es suave pues no se alcanzan los 22 °C de media en el mes más cálido. Las temperaturas medias superan los 10 °C al menos cuatro meses al año.
- c: el verano es suave pues no se alcanzan los 22 °C de media en el mes más cálido. Las temperaturas medias mayores de 10 °C se dan en menos de cuatro meses al año.
- d: el verano es suave pues no se alcanzan los 22 °C de media en el mes más cálido. Las temperaturas medias mayores de 10 °C se dan en menos de cuatro meses al año. El mes más frío tiene una temperatura media inferior a -38 °C.

**Clima E – Polar y de Alta Montaña.** Se caracteriza porque la temperatura media del mes más cálido es inferior a 10 °C.

**ET – Tundra.** La temperatura media del mes más cálido está entre 0 °C y 10 °C. La vegetación es únicamente de hierbas en estos meses donde se superan los 0 °C.

**EF – Hielo.** La temperatura media del mes más cálido es menor de 0 °C. No existe ningún tipo de vegetación.

**EH - Alta montaña.** Son climas condicionados por la altura, superior a 1 500 msnm y que pueden encuadrarse en las clasificaciones anteriores ya que suponen la modificación del clima local originada por la altitud.

Por la complejidad de usar la clasificación anterior de Köppen (33 zonas climáticas) para evaluar la eficiencia energética en la construcción, en los 70's se realiza el primer modelo energético conocido como MEC (por sus siglas en inglés) y fue utilizado hasta los 90's. Durante 1992, 1993 y 1995 el Consejo de Oficiales Americanos de la Construcción (CABO por sus siglas en inglés) desarrollaron su propio código hasta que fue unificado por el Consejo de Normalización Internacional (ICC).



En 1989 la Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE por sus siglas en inglés) publica el código ASHRAE 90.1 para envolventes en la edificación en el cual se hace un estudio estadístico usando el análisis de grupos, en donde cada grupo climático representa una agrupación de localidades similares de Estados Unidos, en 1998 el Código internacional de Conservación de Energía (IECC) publica también su clasificación de climas con dos diferencias básicas respecto al anterior: 1) la mayoría de los rangos estaban basados en divisiones de 1 000 grados – día Celsius, mejor que las anteriores de 278 grados – día Celsius y 2) Las subdivisiones A, B y C de las zonas climáticas se usaron para reflejar otras dimensiones climáticas para redefinir la alineación con mayor amplitud de los diferentes tipos de climas reconocidos.

Actualmente una nueva clasificación climática ha sido desarrollada para ayudar a llevar a cabo la implementación de códigos y normas referentes a la eficiencia energética en la construcción, considerando al menos los parámetros climáticos indicados en la tabla 8.

Dado el interés tanto de ASHRAE y de ICC en producir información que sea aplicada internacionalmente, se unieron para realizar un método que pueda ser aplicado tanto en Estados Unidos como en el extranjero. La vinculación de la nueva clasificación de zonas climáticas con la clasificación mundial de climas dada por Köppen, muestra las ventajas del método para ser empleado internacionalmente en la determinación de la eficiencia energética, siempre y cuando esa localidad use la clasificación de Köppen y cuente con los datos térmicos básicos para poder definir la zona climática.

A la fecha en la República Mexicana, la Asociación de Empresas para el Ahorro de Energía en la Edificación (AEAAE) cuenta con un estudio de las diferentes zonas climáticas y la determinación de Grados-Día para diferentes poblaciones del país, el cual da origen a la tabla 3 de la presente norma.

#### B.5. Información de materiales aislantes térmicos

El fabricante debe proporcionar en sus catálogos, documentación técnica, etc., sobre las buenas prácticas para la seguridad, salud, manejo y recomendaciones de instalación de todos los materiales aislantes que intervengan en la envolvente térmica proyectada

**TABLA 8.- Parámetros para clasificación climática.**

Estrategia / Emisión	Variables Climáticas Relevantes
Aislamiento / Conducción	
Pérdidas por conductividad de calor al ambiente	GDC 18 °C, GDC 10 °C (Grados-día de calentamiento)
Pérdidas por conductividad de calor al suelo	Temperatura anual promedio de bulbo seco
Ganancia por conductividad de calor del ambiente	GHR 27 °C, GHR 23 °C, GDR 18 °C y GDR 10 °C (Grados-hora de refrigeración)
Control / Solar	
Orientación y Forma del edificación	Incidencia solar norte, este, oeste y sur
Ventanas (coeficiente de ganancia térmica solar)	GHR 23 °C, GDR 18 °C, incidencia solar norte, este, oeste y sur
Corrección por sombreado	Latitud, GDR 18 °C
Utilización / Solar	
Calentamiento solar pasivo	Incidencia solar sur (los 5 meses más calientes)
Integración a la edificación de colectores solares	Incidencia solar (inclinación sur = latitud)
Luz de día	Promedio anual del índice de claridad
Diseño / Varios	
Control de infiltración / exfiltración en armaduras	Horas de entalpía latente, GDC 10 °C
Control de humedad en armaduras	Zona climática definida por ASHRAE
Ventilación Natural	Entre las 8 AM y 4 PM entre 13 – 21 °C, velocidad promedio del viento de los 5 meses más calientes; para viviendas el mismo horario y temperatura de 13 a 24 °C y con velocidad de viento similar a la anterior.
Requerimientos para vestíbulos	GDC 10 °C
Enfriadores economizadores	Horario de 8 AM a 4 PM entre 13 y 21 °C
Estrategias de ventilación nocturna	Horario de 8 AM a 4 PM entre 13 y 21 °C
Control de humedad en ductos aislados	Promedio mensual de Temp. en el punto de condensación
Condensación de humedad	0,4% promedio coincidente con la temperatura de bulbo húmedo
Ventilación de la calefacción / Recuperación del	GDC 10 °C

enfriamiento	
Equipo de enfriamiento usado como calentador vs. resistencia eléctrica de calentamiento	GDC 18 °C
Equipo de enfriamiento mecánico no necesario	Temperatura de bulbo seco de diseño para enfriamiento, promedio coincidente con la temperatura de bulbo húmedo
Equipo de calentamiento mecánico no necesario	Temp. de bulbo seco de diseño para calentamiento
Calentamiento de agua doméstica (servicio)	Promedio anual, temperatura de bulbo seco
Demanda pico / Carga horaria	Temperatura de bulbo seco de diseño para enfriamiento, el promedio coincide con la Temperatura de bulbo húmedo, Temperatura de bulbo seco de diseño para calentamiento.

#### B.6. Aclaración

Las unidades que aparecen entre paréntesis en el cuerpo de esta norma, únicamente se utilizan para fines prácticos por ser estas del sistema inglés, con base en la NOM-008-SCFI vigente (Véase capítulo 3).

En la tabla 9 se incluyen algunas unidades de uso común que pueden facilitar los intercambios comerciales.

**TABLA 9.- Conversión de unidades**

Superficie	m <sup>2</sup>	in <sup>2</sup>	ft <sup>2</sup>
1 m <sup>2</sup>	1	1 550	10,7639
1 in <sup>2</sup>	0,000 645	1	0,006 9
1 ft <sup>2</sup>	0,092 9	144	1
Volumen	m <sup>3</sup>	in <sup>3</sup>	ft <sup>3</sup>
1 m <sup>3</sup>	1	61 023,74	35,31467
1 in <sup>3</sup>	0,000 016 387	1	0,00057837
1 ft <sup>3</sup>	0,028 317	1 729	1
Densidad	kg/m <sup>3</sup>	lb/ft <sup>3</sup>	
1 kg/m <sup>3</sup>	1	0,062 428	
1 lb/ft <sup>3</sup>	16,018 5	1	
Potencia	W	hp	BTU/h
1 W	1	0,0013410	3,412 14
1 hp	745,701	1	2 544,436
1 BTU/h	0,293 071	0,000 393	1
Temperatura	x °K	x °C	x °F
x °K	x	x - 273	9/5 (x - 273) + 32
x °C	x + 273	x	(9/5)x + 32
x °F	5/9 (x - 32) + 273	5/9 (x - 32)	x
Capacidad Calorífica	kJ/kg	kcal/kg	BTU/lb
1 kJ/kg	1	0,238 9	0,429 923
1 kcal/kg	4,186	1	1,799 8
1 BTU/lb	2,325 6	0,555 6	1

**TABLA 9.- Conversión de unidades (concluye)**

Energía	kJ	kWh	kcal	BTU
1 kJ	1	0,000278	0,239	0,947817
1 kWh	3 600	1	860	3 414
1 kcal	4,187	0,001163	1	3,968
1 BTU	1,055	0,000293	0,252	1
Calor Especifico	kJ/kg K	kcal/kg °C	BTU/lb °F	
1 kJ/kg K	1	0,238846	0,238846	
1 kcal/kg °C	4,1868	1	1	
1 BTU/lb °F	4,1868	1	1	
Conductividad Térmica	W/m K	kcal /h m °C	BTU in / ft² h °F	BTU / ft h °F
1 W /m K	1	0,860	6,9335	0,577789
1 kcal /h m °C	1,163	1	8,0645	0,67185
1 BTU in / ft² h °F	0,14423	0,124	1	0,83333
1 BTU / ft h °F	1,73073	1,48843	12	1
Conductancia Térmica	W /m² K	kcal /h m² °C	BTU / in² h °F	BTU / ft² h °F
1 W /m² K	1	0,860	0,0012217	0,176110
1 kcal /h m² °C	1,163	1	0,001421	0,20483
1 BTU / in² h °F	818,53	703,73	1	144,15
1 BTU / ft² lb °F	5,67826	4,882	0,006937	1

Simbología:

m = metro	kg = kilogramo	W = vatio	°C = Grados Celsius	kcal = kilocalorías
in = pulgada	lb = libra	hp = caballo vapor	°F = Fahrenheit	kWh = kilovatios hora
ft = pie	h = hora	K = Grados Kelvin	kJ = kilojulios	BTU = Unidad térmica británica

#### B.7. Vigencia

La presente norma mexicana entra en vigor a los 60 días siguientes de su declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación por parte de la Secretaría de Economía.

## ANEXO 2

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



## 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 de 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.
(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.
BS1kw		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.
Cb'(m)		Semi frío, 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)		Semi frío, 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)		Semi frío, 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.

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