

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE INGENIERÍA

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E
INGENIERÍA**



**METODOLOGÍA PARA CARACTERIZACIÓN CLIMATOLÓGICA DE LA
REPÚBLICA MEXICANA CON PROPÓSITOS DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN
DE ACCIONES DE AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN INGENIERÍA

PRESENTA

HERNÁN DANIEL MAGAÑA ALMAGUER

DIRECTOR

DR. CARLOS PÉREZ TELLO

CODIRECTOR

DR. JOSÉ ALEJANDRO SUÁSTEGUI MACÍAS

Tabla de contenido

1. Resumen.....	6
1.1. Lista de tablas	9
1.2. Lista de figuras.....	9
1.3. Anexos	10
1.4. Abreviaturas y siglas usadas	11
2. Introducción.....	12
3. Modelos para el pronóstico climático de una región.....	16
3.1. Modelos para caracterizar el comportamiento térmico de una región.....	17
3.1.1. Temperatura media.....	17
3.1.2. Grado día.....	17
3.1.3. Horas grado	18
3.2. Modelos usados para análisis térmico en edificaciones.....	18
3.2.1 Norma Oficial Mexicana y otros modelos de estimaciones térmicas.....	20
3.2.2. La Sociedad Americana de Aire Acondicionado y Refrigeración, (ASHRAE).....	20
4. Planteamiento del problema	22
5. Hipótesis	25
5.1. Objetivo general.....	26
5.2. Objetivos específicos	26
6. Importancia del estudio.....	27
6.1. Los equipos y espacios de mayor consumo de energía.....	28
7. Limitaciones del estudio	29
8. Marco teórico.....	30
9. Metodología.....	40
9.1. Sujetos	40
9.2. Materiales	41
10. Validez y confiabilidad	43
10.1. Procedimiento	44
11. Resultados.....	46

11.1.	Horas-grado	¡Error! Marcador no definido.
11.2.	Zonas de confort	55
11.3.	Carta Psicométrica anual y zona de confort	68
11.4.	Ganancias de calor en viviendas	75
12.	Conclusiones	79
13.	Anexos	82
14.	Bibliografía	97

Dedicatoria

Para:

Evelyn, mi esposa y mis dos amadas
hijas Dany y Evy

Agradecimientos

Al Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California, por haberme brindado todas las facilidades para realizar mis estudios de maestría y doctorado, poniendo a mi disposición todas los recursos e instalaciones para la realización de las investigaciones.

Al Instituto Tecnológico de Mexicali por darme todas las facilidades para poder desarrollarme profesionalmente, así como también en el ámbito personal, y de manera especial a él director M.I. Francisco Javier Ortiz Serrano y a M.I. Gilberto García Gómez que me han apoyado desde que inicie mis estudios.

Al Dr. Carlos Pérez Tello por aceptar ser el director de tesis y por brindarme su apoyo en todo momento para contribuir en realizar con éxito las investigaciones que fueron publicadas en diferentes revistas y congresos científicos, también por caracterizarse de ser una persona sencilla, amable y siempre tener la disponibilidad de apoyar a cualquier persona.

Al Dr. Enrique Campbell Ramírez, por su contribución a esta investigación a través de compartir sus experiencias y conocimiento dentro del área de los sistemas energéticos donde se apoya fuertemente esta investigación.

Al Dr. José Alejandro Subsegú Macías, por aceptar ser el codirector de este trabajo de investigación y en apoyarme fuertemente en la elaboración y desarrollo del cuerpo de la tesis a través de brindarme su tiempo y paciencia, así como sus conocimientos.

Y Finalmente a todos los compañeros maestros del departamento de Ingeniería Metal-Mecánica del Instituto Tecnológico de Mexicali que me han mostrado su amistad y comprensión en todo momento, y de manera especial a el Ing. Enrique Sánchez Limón y a Marbella Martínez Sánchez por estar apoyándome en todo momento durante todos estos años.

abril 2017

1. Resumen

El trabajo proporciona información climatológica de las principales regiones de México para el análisis y evaluación de las temperaturas y su relación con los consumos y usos de la energía eléctrica en las viviendas. Se evalúa el impacto de los climas en el consumo de energía de las principales ciudades de México y se realizan simulaciones termo-energéticas en las viviendas para determinar capacidades requeridas de climatización y reproducir el comportamiento de consumo eléctrico de las viviendas.

Se emplea la metodología de horas-grado la cual permite conocer el comportamiento térmico de una edificación y sus consumos eléctricos. Además, con dicha metodología es posible proponer acciones de ahorros y usos finales de la energía eléctrica para cualquier edificación. Para reproducir el comportamiento térmico de cada vivienda, fue necesario recabar la tipología de construcción, ubicación geográfica, tipo de clima y costumbres de uso de la energía. Los resultados obtenidos demostraron que existe una relación directa entre las horas-grado y el consumo de energía eléctrica, donde los perfiles de consumo eléctrico pueden clasificarse en dos periodos del año. El primero es el consumo eléctrico para verano que abarca los meses de mayo a octubre y el segundo es para en el invierno dentro de los meses de noviembre a abril. Las simulaciones térmicas realizadas para diferentes usuarios de diferentes ciudades demuestran que el nivel de correlación entre el consumo de energía eléctrica por climatización y horas-grado es siempre mayor al 95%. México es un país donde su territorio está conformado en su mayor parte por un clima seco que abarca 47% del territorio (854,269 km²), le

sigue el clima cálido con un 39% (698,184 km²) y finalmente el templado con 14% (256,847 km²). Se determinó también el comportamiento climatológico y se comparó con respecto a la zona de confort para las ciudades analizadas a través de un sistema de cómputo donde se ingresan datos de temperaturas y humedades relativas durante un año y se puede visualizar la región de confort como referencia en la carta psicométrica. De esta manera donde se puede apreciar y analizar estadísticamente la desviación de las condiciones reales horarias con respecto a la región de confort durante un periodo de tiempo y establecer si existe confort humano y en que periodos de tiempo está presente. Los valores mayores de temperatura determinados por esta metodología los tiene las ciudades que se encuentran en los climas secos y cálidos. En estos climas se presentan una similitud térmica durante el periodo de verano donde la oscilación varía entre los 40° hasta 50°C como valores máximos. Las horas-grado máximas del país ocurren para las ciudades de Mexicali y San Luis Río Colorado que poseen clima muy seco y son los sitios más calientes de México en verano en tanto que en el invierno su clima es frío seco con temperaturas mínimas cercanas a los 0°C. Ese mismo comportamiento lo exhiben otras ciudades con clima similar, pero con oscilaciones anuales menores. Para los climas cálidos húmedos y subhúmedos siguen el mismo patrón térmico similar a los muy secos en esos mismos meses del verano y sus valores circundan entre los 40° hasta 47° Celsius, pero adicionalmente se extienden por más tiempo con duración de 8 a 10 meses del año; ciudades como Villahermosa, Campeche, y Acapulco entre otras ciudades o poblaciones ubicadas en estas zonas geográficas de nuestro país presentan este comportamiento. Para los climas templados húmedos y subhúmedos se encontraron temperaturas ambientes en el rango del confort

humano entre 20° a 28° Celsius en los meses de mayo a octubre donde se identifica el periodo del verano y de 10° a 20° Celsius para el periodo de invierno entre los meses de noviembre a abril.

Finalmente, la metodología de horas-grado es una herramienta que permite establecer una correlación lineal entre consumo de electricidad, potencia de enfriamiento, y ganancias de calor y, en este trabajo se extendió su aplicación a 40 ciudades de la República Mexicana, lo cual establece un precedente para el análisis energético de sistemas constructivos en cualquiera de las regiones analizadas y, especialmente, los resultados obtenidos indican que las horas-grado pueden ser consideradas como una variable más objetiva y cuantitativamente promisoría para el análisis de sistemas energéticos que involucran consumo de electricidad, eficiencia energética de cualesquier zona geográfica de la cual se disponga un mínimo de información climatológica.

1.1. Lista de tablas

Tabla N.- 1. Sensores de estación meteorológica automática	15
Tabla N.- 2. Tarifas eléctricas en México según la temperatura mínima en verano	31
Tabla N.- 3. Sensores utilizados en estación meteorológica y su exactitud	35

1.2. Lista de figuras

Figura N.- 1. Distribución del clima de México	12
Figura N.- 2. Características climáticas de los climas secos en México	13
Figura N.- 3. Características climáticas de los climas cálidos en México	14
Figura N.- 4. Mecanismos de transferencia de calor en una vivienda	19
Figura N.- 5. Porcentaje de consumo eléctrico por vivienda	23
Figura N.- 6. Comportamiento consumos de energía eléctrica por clima	23
Figura N.- 7. Territorio nacional y sus climas	46
Figura N.- 8. Horas-grado y zona de confort humano	47
Figura N.- 9. Horas-grado ciudades de México	48
Figura N.- 10. Horas-grado todos los climas: secos, cálidos y templados	49
Figura N.- 11. Horas-grado climas secos	50
Figura N.- 12. Horas-grado climas cálidos	51
Figura N.- 13. Horas-grado climas templados	52
Figura N.- 14. Tendencia de Horas-grado climas secos	52
Figura N.- 15. Tendencias Horas-grado climas cálidos	53
Figura N.- 16. Tendencias Horas-grado climas templados	54
Figura N.- 17. Horas-grado y zona de confort climas seco	55
Figura N.- 18. Horas-grado y zonas de confort climas cálido	56
Figura N.- 19. Horas-grado y zonas de confort clima templado	57
Figura N.- 20. Horas-grado de Acapulco	58
Figura N.- 21. Horas-grado de Villahermosa	59
Figura N.- 22. Horas-grado de Campeche	60
Figura N.- 23. Horas-grado San Luis Rio Colorado, Sonora	61
Figura N.- 24. Horas-grado de Mexicali, Baja California	62
Figura N.- 25. Horas-grado de Hermosillo, Sonora	63
Figura N.- 26. Horas-grado Los Colomos	64
Figura N.- 27. Horas-grado San Miguel de Allende	65
Figura N.- 28. Horas-grado de ENCBII	66
Figura N.- 29. Horas-grado de ciudades periodo de invierno y verano	67
Figura N.- 30. Carta psicométrica Mexicali	68
Figura N.- 31. Carta psicométrica Hermosillo	69
Figura N.- 32. Carta psicométrica Acapulco	70
Figura N.- 33. Carta psicométrica Chetumal	71
Figura N.- 34. Carta psicométrica Cancún	72
Figura N.- 35. Carta psicométrica Villahermosa	73
Figura N.- 36. Carta psicométrica Durango	74
Figura N.- 37. Tasa de transferencia de calor 0-40 m ²	75
Figura N.- 38. Tasa de transferencia de calor 41-80 m ²	76

<i>Figura N.- 39. Tasa de transferencia de calor 81-160 m²</i>	77
<i>Figura N.- 40. Consumo de energía eléctrica de viviendas por m²</i>	78

1.3. Anexos

<i>Anexo 1. Horas-grado de Palenque y Acapulco</i>	83
<i>Anexo 2. Horas-grado Chetumal, Othon P. Blanco</i>	84
<i>Anexo 3. Horas-grado Campeche, Nuevo Laredo</i>	85
<i>Anexo 4. Horas-grado Tampico, Bahía de Banderas</i>	86
<i>Anexo 5. Horas-grado Sinaloa, Mexicali</i>	87
<i>Anexo 6. Horas-grado Hermosillo, Chilpancingo</i>	88
<i>Anexo 7. Horas-grado Cordova, Lerdo</i>	89
<i>Anexo 8. Horas-grado Tepic, Los Colomos</i>	90
<i>Anexo 9. Horas-grado Aguas Calientes, Miahuatlán</i>	91
<i>Anexo 10. Horas-grado Nogales, San Miguel de Allende</i>	92
<i>Anexo 11. Horas-grado ENCBII, Zacatecas</i>	93
<i>Anexo 12. Horas-grado Tabasco, Mérida</i>	94
<i>Anexo 13. Horas-grado Obispo, San Luis Rio Colorado</i>	95
<i>Anexo 14. Horas-grado Durango, Matehuala</i>	96

1.4. Abreviaturas y siglas usadas

1. **PND** Plan Nacional de Desarrollo.
2. **KWh** Kilo Watt hora
3. **MWh** Mega Watt hora.
4. **SMN** Servicio Meteorológico Nacional.
5. **CONUEE** Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
6. **CNA** Comisión Nacional del Agua
7. **Km²** Kilómetros cuadrados
8. **°C** Grados Celsius
9. **ASRAHE** Sociedad Americana de Ingenieros en Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción. Siglas en inglés.
10. **NOM-020-ENER-2011** Norma Oficial Mexicana de Eficiencia de energética en edificaciones. - Envoltente de edificios para uso habitacional.
11. **NOM-008-ENER-2001** Norma Oficial Mexicana de Eficiencia energética en edificaciones. - Envoltente de edificios no residenciales.
12. **EMA** Estación Meteorológica Automática.
13. **WRF** Weather Research Forecasting
14. **GFS** Global Forecast System
15. **NOAA** National Oceanic and Atmospheric Administration
16. **NAM** Mesoescala norteamericana
17. **RPM** Mesoescala de Precisión Rápida

2. Introducción.

El servicio meteorológico nacional en su página de internet e informes oficiales establece que el clima en México está determinado por varios factores, entre los que se encuentran la altitud sobre el nivel del mar, la latitud geográfica, las diversas condiciones atmosféricas y la distribución existente de tierra y agua. Por lo anterior, el país cuenta con diferentes climas, los cuales pueden clasificarse, por su temperatura, en cálidos y templados; y dependiendo de la humedad existente en el medio, en: húmedos, subhúmedos y secos. La figura n.1 muestra la distribución de clima en el territorio nacional.



Figura N.- 1. Distribución del clima de México

La clasificación climática depende principalmente de los niveles de circulación de los vientos, milímetros de precipitaciones y temperaturas anuales promedio. A continuación, se detallan las magnitudes y características de las regiones climáticas de México.

Climas Secos: Están subdivididos en tres grupos, y se identifican en muy secos, secos y semi secos, en la figura n.- 2. Se encuentran en la mayor parte del centro y norte del país, región que comprende 854,262 km² del territorio nacional y se caracteriza por la circulación de los vientos que provocan escasa nubosidad y precipitaciones de 100 a 600 mm anuales, con temperaturas anuales promedio de 22° a 26° Celsius en algunas regiones, y en otras de 18° a 22° Celsius. Los climas secos son ubicados geográficamente en las zonas Norte, Noroeste y Noreste que comprende Aguascalientes, Zacatecas, San Luis Potosí, Nuevo León, Coahuila, Sonora, Durango, Sinaloa, Chihuahua y las Bajas California Norte y Sur. [INEGI].

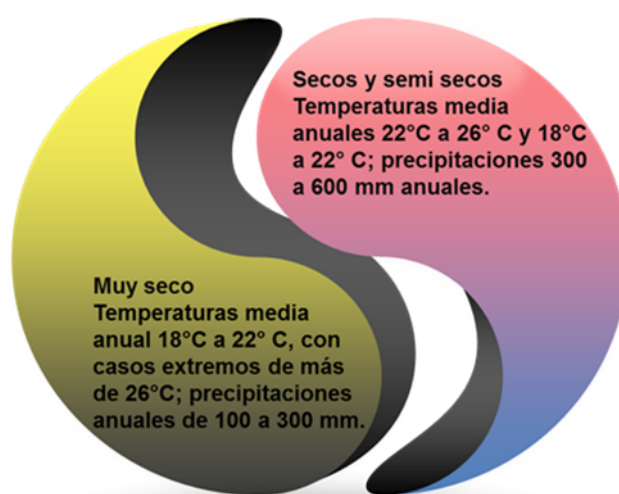


Figura N.- 2. Características climáticas de los climas secos en México

Los climas secos presentan las mayores temperaturas en todo México en el periodo de mayo a octubre establecido como verano. Los estados de las Bajas Californias Norte y Sur, Sonora, Sinaloa registran las mayores temperaturas, entre ellas destacan las ciudades de Mexicali, San Luis Río Colorado, Hermosillo, Culiacán y zonas aledañas donde se pueden alcanzar los 50° Celsius y con un diferencial promedio solo de 10° Celsius entre día y noche. Para el periodo de invierno comprendido en los meses de abril a noviembre su comportamiento es extremo a la baja, sus temperaturas se establecen entre los rangos 30° Celsius con un mayor

diferencial de hasta 20°. Los climas muy secos, secos, y semi secos además de cubrir casi la mitad del territorio nacional su densidad demográfica es de 21, 327,927 habitantes.

Climas cálidos: Están subdivididos en dos grupos, en la figura n.-3, y se identifican en húmedos y sub húmedos, se encuentran en la región sur que comprende 698,284 km² del territorio nacional y se caracteriza por tener una temperatura anual promedio entre 26° y 22° Celsius y precipitaciones de 1,000 a 4,000 mm anuales. [INEGI].

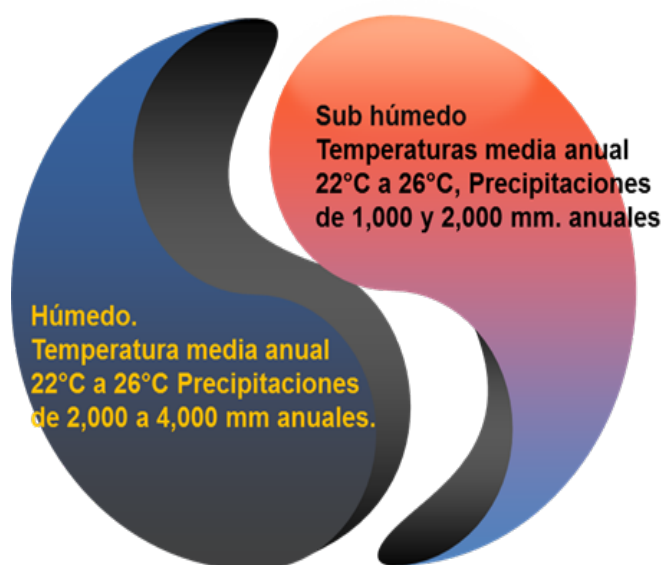


Figura N.- 3. Características climáticas de los climas cálidos en México

Los climas cálidos húmedos y sub húmedos están presentes en los estados de Tabasco, Campeche, Yucatán, Quintana Roo, Chiapas, Veracruz, Nayarit, Morelos, Colima, Guerrero. Para este clima las temperaturas en los periodos de verano e invierno presentan diferencias promedio de 2° Celsius, por lo que es de menor variabilidad entre estaciones. En consecuencia, las ciudades con clima cálido se consideran lugares calientes durante todo el año. Los climas cálidos húmedos y subhúmedos cubren el 39% del territorio nacional con una superficie de 698,184 km² y su densidad demográfica es de 18, 173,062 habitantes.

Clima templado: Este se encuentra en la parte centro y sureste llamada también la zona del bajío, región donde comprende 256,847 km² y se caracteriza por tener temperaturas entre 10° y 22° Celsius, sin embargo, en algunas regiones puede disminuir a menos de 10°Celsius. Las precipitaciones están en promedio de 2,000 a 4,000 mm anuales y en otras regiones se registran precipitaciones de 600 a 1,000 mm en promedio durante el año. [INEGI].

El Clima templado húmedo y subhúmedo está presente en los estados de Tlaxcala, Distrito Federal, Estado de México, Puebla, Durango, Hidalgo, Michoacán, Querétaro, y zonas ubicadas en la zona del Bajío. Las ciudades ubicadas dentro de este clima son identificadas por ser lugares confortables ambientalmente durante todo el año.

Clima frío de alta montaña: Se encuentra en las regiones montañosas de nuestro país en la cordillera de la sierra Madre Oriental y Occidental con una superficie de casi 200 km². Finalmente, no se encontraron ciudades con población mayor a cien mil habitantes, ni población significativa en el clima denominado como frío de alta montaña.

Una Estación Meteorológica Automática por sus siglas (EMA), está conformada por un grupo de sensores que registran y transmiten información meteorológica de forma automática de los sitios donde están estratégicamente colocadas. Su función principal es la recopilación y monitoreo de algunas variables meteorológicas para generar archivos del promedio de cada 10 minutos donde la información obtenida es enviada vía satélite en intervalos de 1 hasta 3 horas por estación. (Agua, 2015)

Tabla N.- 1. Sensores de estación meteorológica automática

Sensores de estación meteorológica automática	
1. Velocidad del viento	4. Temperatura y Humedad relativa
2. Dirección del viento	5. Radiación solar
3. Presión atmosférica	6. Precipitación

3. Modelos para el pronóstico climático de una región.

CONAGUA en su página de internet reporta los diferentes modelos numéricos más utilizados para predecir el comportamiento climático de una región. Las predicciones incluyen la temperatura, velocidad, dirección y ráfagas de viento, nubosidad y precipitaciones. Entre estos modelos destaca el Weather Research Forecasting (**WRF**) el cual es un modelo de predicción de mesoescala diseñado para predecir el comportamiento atmosférico. Por otro lado, el modelo Global Forecast System (**GFS**), es un sistema de pronóstico global el cual ha sido adaptado a nuestras latitudes en la Unidad del Servicio Meteorológico Nacional para su uso a nivel nacional. Los datos del GFS fueron obtenidos de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) los cuales tienen una resolución de 0.5 grados (50 Km aproximadamente) (CONAGUA, 2015)

Otro modelo numérico utilizado es el de Mesoescala norteamericana (**NAM**) el cual utiliza una parametrización mejorada de la superficie y de los procesos de precipitación. Una de sus ventajas es proporcionar una resolución mucho mayor que el GFS por lo que en teoría se obtienen pronósticos a corto plazo más exactos. Este modelo no cubre la parte sur de México (cuencas de Frontera Sur).

Existe también el modelo de Mesoescala de Precisión Rápida (**RPM**), que es un sistema de predicción numérico del clima que genera predicciones con una anticipación de 24 horas con actualizaciones cada 3 horas en los Estados Unidos y cada 6 horas fuera de los Estados Unidos. Las previsiones del RPM cubren las cuencas del Centro y Sur del país y una pequeña porción del Norte, su resolución es de 4 km.

3.1. Modelos para caracterizar el comportamiento térmico de una región

La temperatura de bulbo seco, es la que se mide con un termómetro ordinario, y es la medida del calor sensible del aire expresado en grados Fahrenheit o Celsius.

La temperatura de bulbo húmedo indica la cantidad de calor total contenida en el aire y esta expresado en grados Fahrenheit o Celsius. Se determina cubriendo el bulbo con un paño húmedo y haciendo pasar aire rápidamente; en esta forma la humedad comienza a evaporarse. La temperatura del agua y del aire circundante baja proporcionalmente a la evaporación ocurrida. Si está seco el aire que rodea al termómetro, la evaporación es rápida y el descenso de temperatura es grande (relativamente. Por el contrario, si el aire está muy húmedo, la evaporación es lenta y, por lo tanto, la diferencia de temperatura entre el bulbo seco y el húmedo es pequeña. Si el aire está saturado, no habrá evaporación ni bajara la temperatura. La diferencia entre la temperatura de bulbo seco y de bulbo húmedo se llama depresión de bulbo húmedo. (Hernández Goribar, 1999)

3.1.1. Temperatura media

El modelo de obtener la temperatura media se determina en tres rangos, el de temperatura promedio mínima, temperatura promedio media y temperatura promedio máxima. Este modelo es utilizado para determinar el comportamiento térmico de una región durante periodos mensuales, estaciones del año verano e invierno. (Comision Nacional del agua, 2014)

3.1.2. Grado día

Se define como el comportamiento de la temperatura de un período de tiempo, semana, mes o año, estableciendo un rango de temperatura de confort humano generalmente entre los 22 a 27° Celsius. Cuando los valores de temperatura media diaria sean inferiores al rango de temperatura base, obtendremos los grados día de calentamiento; si, por el contrario, esa temperatura media diaria es superior a la

base, obtendremos los grados día de enfriamiento. Así que podemos tener dos tipos de grados día de calentamiento o de enfriamiento. (Degree Days, 2015)

3.1.3. Horas-grado

Las ubicaciones geográficas de las ciudades de México presentan un comportamiento de temperatura y humedad relativa todo el año esto permite caracterizar climatológicamente una región. La temperatura de una región se registra hora por hora para poder encontrarse. Mientras más se aleje la temperatura de las condiciones de confort, mayor es la necesidad de climatización, es decir, puede requerir enfriamiento en climas cálidos o calefacción en los fríos. Representan el efecto combinado de la temperatura ambiente y la duración de ésta a lo largo de un periodo de tiempo (Carlos Pérez Tello, 2004).

3.2. Modelos usados para análisis térmico en edificaciones

Los procesos de acondicionamiento ambiental para mantener una vivienda o una construcción industrial a la temperatura y humedad deseadas son necesarios algunos procesos definidos como "acondicionamiento de aire" estos procesos incluyen el calentamiento (elevar la temperatura), el enfriamiento simple (reducir la temperatura), la humidificación (agregar humedad), y la des humidificación (eliminar la humedad). Algunas veces dos o más de estos procesos son necesarios para llevar el aire al nivel de temperatura y humedad deseada. (Yunes A. Cengel)

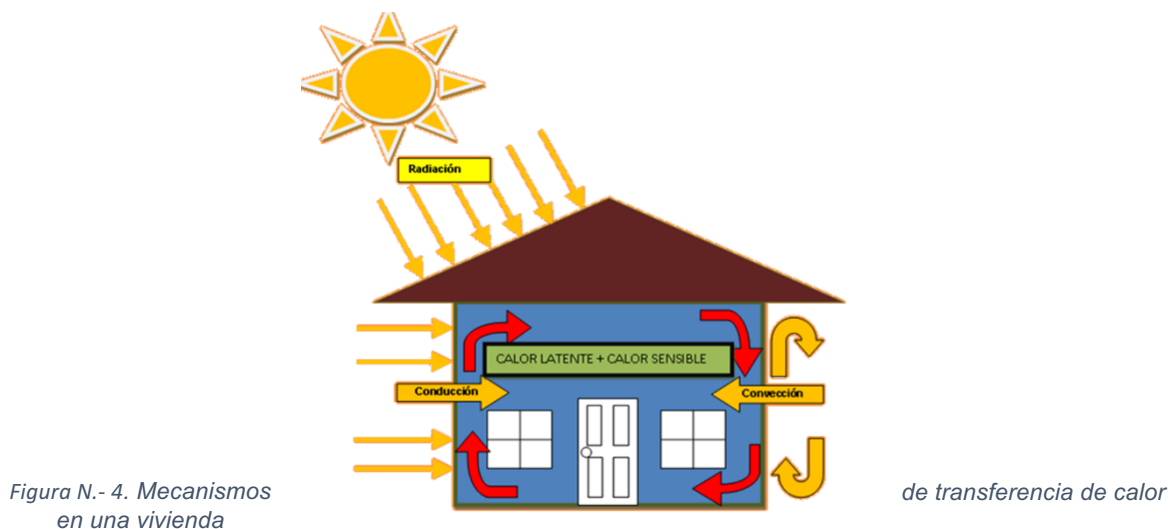
La *humidificación* es el proceso mediante el cual se aumenta la humedad específica, y la cantidad de calor del aire. En algunos procesos, la humedad específica se aumenta agregando agua, que se absorbe en forma de vapor. El agua vaporizada en el aire absorbe calor del propio aire, lo cual hace descender la temperatura. Por lo tanto, para conservar o aumentar la temperatura, es necesario agregar calor de otra fuente.

La *des humidificación* es necesaria muy a menudo en los procesos de aire acondicionado o en procesos industriales. La humedad puede removerse por absorción en los líquidos o en sólidos. El proceso se lleva a cabo en dos etapas:

Primero, enfriando hasta el punto de rocío; después, hasta condensar y eliminar el agua necesaria, para alcanzar el punto de rocío del estado final. Una vez separada la humedad, se puede recalentar hasta la condición final, sin añadir y absorber agua. (Hernández Goribar, 1999)

La carga de enfriamiento de un sistema de acondicionamiento ambiental pocas veces es el resultado de una sola fuente de calor. Las ganancias o cargas térmicas en las que están involucradas diferentes fuentes de calor más comunes son las siguientes:

1. Calor por conducción que pasa del exterior al espacio refrigerado a través de la envolvente de la edificación por una diferencia de temperatura entre el exterior y el interior.
2. Calor por radiación directa a través de las vidrieras o de otros materiales transparentes.
3. Calor por infiltración que pasa al espacio debido al aire exterior el cual pasa a través de puertas y ventanas.
4. Calor latente cedido por las personas dentro del espacio refrigerado.
5. Calor cedido por cualquier productor de calor localizado dentro del espacio, tales como motores eléctricos, alumbrado, equipo electrónico, planchas de vapor, cafeteras secadoras de pelo. (Dossat, 1994)



3.2.1 Norma Oficial Mexicana y otros modelos de estimaciones térmicas

La Norma NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones y envolvente de edificios para uso habitacional representa un esfuerzo encaminado a mejorar el diseño térmico de edificios, y lograr la comodidad de sus ocupantes con el mínimo consumo de energía. En México el acondicionamiento térmico de estas edificaciones repercute en gran medida en la demanda pico del sistema eléctrico, siendo mayor su impacto en las zonas norte y costeras del país, en donde es más común el uso de equipos de enfriamiento que el de calefacción. En este sentido, esta norma optimiza el diseño desde el punto de vista del comportamiento térmico de la envolvente, obteniéndose como beneficios, entre otros, el ahorro de energía por la disminución de la capacidad de los equipos de enfriamiento. (Energía S. d., 2011)

La Norma NOM-008-ENER-2001, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales. Optimiza el diseño desde el punto del comportamiento térmico de la envolvente, teniendo como beneficios el ahorro de energía por la disminución de la capacidad de enfriamiento y un mejor confort de los ocupantes. La norma se aplica para edificios nuevos y ampliaciones de edificios existentes y excluye a los edificios donde el uso sea industriales y ocupacionales. (Energía S. d., 2001)

3.2.2. La Sociedad Americana de Aire Acondicionado y Refrigeración, (ASHRAE)

Reconoce la vigencia de cuatro métodos de cálculo de cargas térmicas para seleccionar la capacidad de los equipos de aire acondicionado. Los cuales se nombran a continuación:

El Método de Funciones de Transferencia (TMF).

Una versión simplificada de este método con aplicaciones para diferentes tipos de construcción fue publicada en el manual de fundamentos ASHRAE de 1977. Este método tiene como fundamento el estimar las cargas de enfriamiento hora por hora,

predecir las condiciones del espacio para varios sistemas, establecer programas de control y programas de operación. El Método de Funciones de Transferencia se aplica para el cálculo de flujo unidireccional de transferencia de calor en paredes y techos asoleados.

Cálculo de Cargas por Temperatura Diferencial y factores de Carga de Enfriamiento (CLTD/CLF).

Es un método que puede ser aplicado al considerarse como la primera alternativa de procedimiento de cálculo manual. Este método se considera un método simplificado por utilizar un factor "U" para calcular la carga de enfriamiento para techos y paredes, la ecuación básica para carga de enfriamiento en superficies exteriores es: $q = U \cdot A$ (CLTD).

El Método de Cálculo de Carga por Temperatura Diferencial se basa en la suposición de que el flujo de calor a través de un techo o pared puede ser obtenido al multiplicar la temperatura diferencial (exterior-interior) por los coeficientes globales de transferencia de calor, los cuales se pueden encontrar como valores tabulados "U" de techos y paredes, respectivamente.

Valores de Temperatura Diferencial Total Equivalente y Tiempo Promedio (TETD/TA).

Este procedimiento es recomendado para usuarios experimentados. El procedimiento aplicado es similar al método TMF estimando la carga horaria y además el diferencial temperaturas en el tiempo. Es muy importante tener en cuenta la diferencia total de temperaturas equivalentes que se aplican a paredes y techos; efectos de la radiación solar, efecto de retardo o efecto de almacenamiento, y diferencias en la temperatura del aire. Esta diferencia de temperatura se produce realmente por la acción simultánea de la conducción, radiación y convección. (González, 2004)

4. Planteamiento del problema

Las temperaturas ambientes, velocidades de viento y la humedad contenida en el aire de una región, son las variables climáticas de mayor importancia en las ciudades del mundo y de México. Estos parámetros climáticos hace posible clasificarlos en cálidos, secos y templados con subdivisiones en húmedos y subhúmedos. El clima de México se puede conocer mediante el Servicio Meteorológico Nacional, el cual identifica seis regiones climáticas. (Agua, 2015)

Los climas y el consumo de energía eléctrica están estrechamente relacionados y es posible encontrar perfiles de consumo en edificaciones en distintas regiones con climas diferentes, el uso de balances energéticos manuales o por sistemas de cómputo hace posible cuantificar la realidad térmica y el consumo energético. En los últimos 28 años se ha incrementado en un 20% la demanda de energía eléctrica en los climas cálidos, esto representa un consumo de 400 MWh por sistemas de acondicionamiento ambiental y su tendencia es al alza en los climas cálidos y secos, sin embargo, para cada clima existe una realidad térmica diferente al utilizar sistemas de climatización para mitigar el calor dentro de las edificaciones. Para los climas cálidos húmedos y subhúmedos los tiempos de uso de equipos de climatización suelen ser por lo general durante todo el año y los secos son utilizados en la estación de verano principalmente. (Rodríguez., 2013)

La problemática principal se presenta como una necesidad de conocer las acciones para el ahorro y uso eficiente de la energía en las viviendas de México a partir de las temperaturas horarias que se presentan en los climas y sea posible proponer mejoras en la calidad de vida de las personas proporcionando un confort y un ahorro energético. Las necesidades de energía eléctrica de las viviendas están determinadas principalmente por los climas donde los sistemas de acondicionamiento ambiental para mantener temperaturas de confort son los equipos de mayor consumo eléctrico en comparación con los otros sistemas que integran a una vivienda como iluminación o aparatos electrodomésticos.

La principal oportunidad se presenta como una necesidad de conocer alternativas de ahorro y uso eficiente de la energía a partir de las temperaturas horarias que se registran en los climas, esto hará posible proponer mejoras en la calidad de vida que refleje un mayor confort y ahorros a largo plazo.

La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) establece que ahorrar energía no significa dejar de utilizar los electrodomésticos, ni estar en penumbras, ni apagar el sistema de acondicionamiento del aire si el clima es extremo; al contrario, es hacer un uso racional del mismo. La siguiente figura n.-4 nos demuestra los porcentajes del uso de la energía eléctrica. (Energía., 2015)

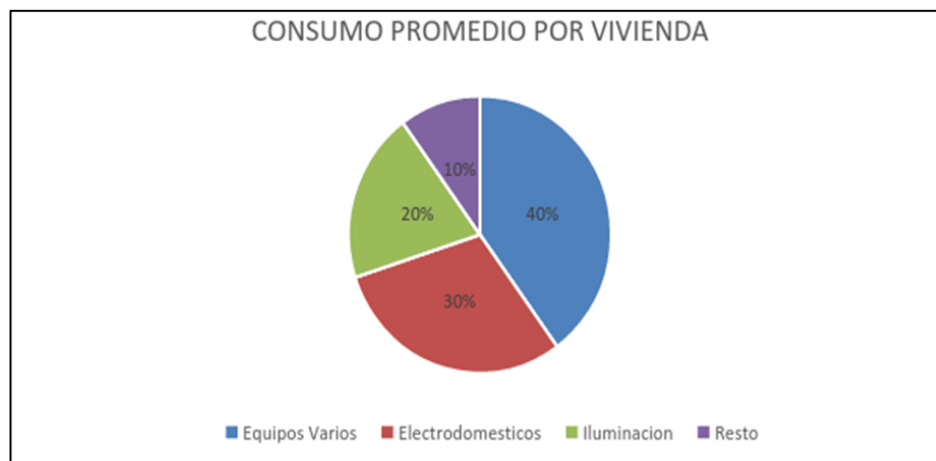


Figura N.- 5. Porcentaje de consumo eléctrico por vivienda

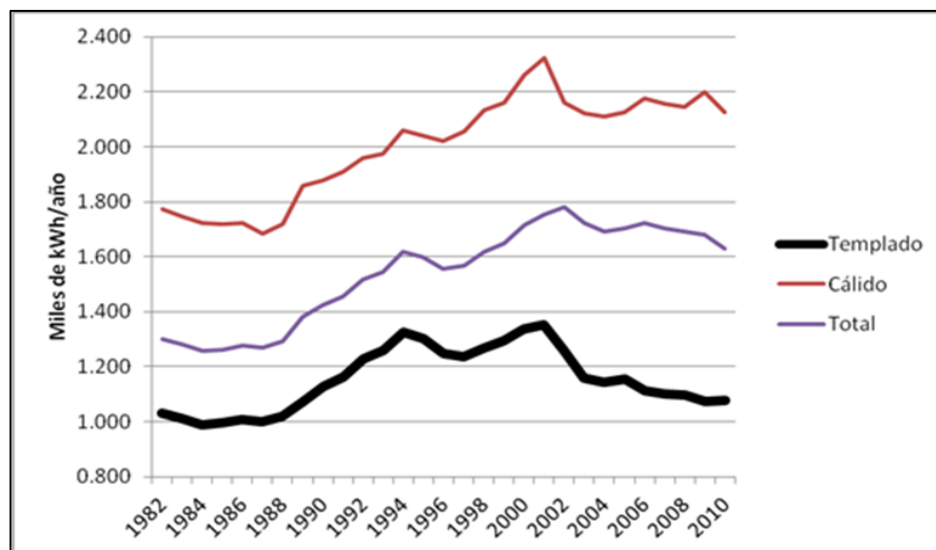


Figura N.- 6. Comportamiento consumos de energía eléctrica por clima

Como lo hemos mencionado anteriormente los mayores consumos de energía eléctrica en México se presentan en los climas cálidos y en los secos donde vive una población de casi 40 millones de habitantes y representa una extensión territorial de 1, 552,353 Km². Lo anterior hace importante demostrar que las temperaturas y los climas que se registran en una región es una herramienta de análisis para realizar evaluaciones termo energéticas en las tres regiones climáticas identificadas donde se pueden encontrar perfiles de temperatura horaria y es posible identificar las ciudades con mayores valores a través de las estaciones de medición de variables del clima por el Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua.

En México en la actualidad solo se tiene una metodología de estimaciones térmicas para edificaciones publicado por la Norma Oficial Mexicana 020, la cual ha demostrado que es un camino para encontrar valores de consumo energético por tipo de clima en las viviendas, sin embargo, se requiere una herramienta que facilite la obtención del comportamiento térmico de edificaciones residenciales y no residenciales de una manera más sencilla y rápida.

5. Hipótesis

El concepto propone una nueva metodología de análisis térmico que permite conocer a las regiones con temperaturas más elevadas y las que no lo son por periodos de tiempo ya sea verano, invierno o todo el año. Pretende demostrar que las ciudades con climas diferentes como los secos y cálidos tienen un comportamiento térmico similar. Con la metodología de horas grado se podrán conocer las ganancias de calor en las viviendas por la variación de la temperatura durante el día y este parámetro es la base para conocer el consumo de energía eléctrica por climatización durante un periodo de tiempo deseado. Este método nos permitirá conocer los consumos de energía eléctrica reales y también permitirá agrupar ciudades con los mismos perfiles térmicos sin importar su clima.

Las ganancias de calor de una edificación son el resultado del calor latente y calor sensible por medio de mecanismos de transferencia de calor que se presentan en las viviendas. Las temperaturas exteriores, las temperaturas interiores o de diseño, los materiales de construcción, y la ubicación geográfica son variables directamente relacionadas al consumo de la energía eléctrica cuando se emplean sistemas de climatización. Las metodologías conocidas y reportadas por los ingenieros o arquitectos más utilizados a nivel internacional para determinar capacidades de refrigeración emplean información climatológica de temperaturas máximas de una región y temperatura de diseño o confort. La sociedad americana de ingenieros en aire acondicionado, refrigeración y calefacción también conocida por sus siglas por ASRAHE reporta cuatro métodos de estimación térmica en edificaciones. En tres de ellos utiliza valores de temperatura máxima por región de localidades y solo en un método a diferencia de los otros utiliza valores de temperatura horaria. (ASHRAE, s.f.)

En México existen dos normas oficiales mexicanas para estimaciones térmicas de edificaciones la NOM-020-ENER-2011 y la NOM-008-ENER-2001. Estas normas son para eficiencia energética en edificaciones residenciales y no residenciales, en ellas se reporta una metodología para estimación térmica con valores de

temperatura por conducción para techo, muros y pisos. Estas normas establecen un procedimiento claro y da como resultado el consumo anual de energía en watts.

5.1. Objetivo general

Desarrollar una metodología para sistematizar información climatológica aplicándola al análisis y evaluación de acciones de ahorro y uso eficiente de la energía.

5.2. Objetivos específicos

- Proponer una metodología de caracterización climatológica por regiones de similares características basadas en temperaturas horarias.
- Desarrollar una base de datos para sistematizar datos climatológicos por regiones, para la captura, análisis, determinación de horas-grado, y temperaturas.
- Incrementar las capacidades de análisis termo-energéticos del sistema computacional del Instituto de Ingeniería de la UABC, para el análisis, evaluación de alternativas de ahorro y uso eficiente de la energía en las zonas climáticas de México.
- Reproducción mediante el sistema computacional de los perfiles de consumo eléctrico de las viviendas ubicadas en las diferentes regiones climáticas de México.
- Escenarios de optimización energética y propuestas de ahorro y uso eficiente de la energía para las viviendas según su tipo de clima.

6. Importancia del estudio

Proporcionar un nuevo modelo de análisis termo-energético para las edificaciones en México, donde sea posible conocer como consumen la energía eléctrica en sus viviendas y proporcionarles diferentes escenarios, donde sea posible tomar decisiones de ahorro y uso eficiente de la energía. Con el modelo se podrá conocer los hábitos de utilización de la energía eléctrica en las viviendas y encontrar oportunidades para el uso eficiente de la energía, tomado acciones como dimensionamiento adecuado de capacidades de acondicionamiento ambiental, modificaciones arquitectónicas como el aislamiento térmico, sellado de puertas y ventanas o en la adquisición de equipos eficientes.

También nos permitirá proponer una nueva metodología para estimaciones térmicas en las viviendas o edificaciones con fines de ahorro y uso eficiente de la energía mediante la temperatura horaria en los diferentes climas de cada región de México denominada horas grado. El método ha demostrado ser un camino más donde es posible encontrar oportunidades realistas de mejora en el consumo de la energía eléctrica en los sistemas constructivos como viviendas, edificios o cualquiera edificación que requiera determinar capacidades de climatización.

También es posible caracterizar climatológicamente una región por medio de sus temperaturas horarias registradas, estableciendo que mientras más se aleje la temperatura de las condiciones de confort humano, mayor es la necesidad de climatización, es decir, puede requerir enfriamiento en verano en climas cálidos y secos, mientras que en invierno para los climas templados y secos se puede requerir calefacción en el periodo de invierno.

Otro aspecto importante del estudio es el efecto combinado de la temperatura ambiente y la duración de ésta a lo largo de un periodo de tiempo para conocer por medio de la metodología, cuales son las regiones de México o las ciudades con mayores temperaturas durante un año y sea posible determinar los periodos donde se presenta el confort humano y en donde nunca lo hay.

6.1. Los equipos y espacios de mayor consumo de energía

La energía eléctrica es el fluido de mayor consumo en proporción en las viviendas de México, estas pueden dividirse en dos grandes grupos. El primero son las que utilizan un sistema de climatización y el segundo es el que no es necesario su empleo. Para las viviendas donde se utiliza un sistema de climatización los porcentajes se distribuyen en el siguiente orden; calefacción y aire acondicionado con 44%, en segundo lugar, la iluminación y aparatos electrodomésticos con el 33%, el refrigerador por el orden del 14 % y el sistema de calentamiento de agua y estufas de cocina 9%. En contraste, para una vivienda donde no es necesario un sistema de climatización sus consumos eléctricos son menores, y la distribución del consumo eléctrico se alinea al siguiente orden; iluminación con el 40%, el refrigerador con 29%, el televisor ocupa el 13%, aparatos electrodomésticos el 7%, y finalmente el 11% para el cuidado de la ropa, como la plancha y las lavadoras. (Comisión Nacional del uso eficiente de la energía, s.f.)

El clima con mayor impacto sobre el consumo y demanda de energía es aquel que impone mayores exigencias de climatización y corresponde al más caluroso durante todo el año y en la estación del verano. Esto también conlleva un mayor nivel de impacto económico sobre la población debido al consumo extra por la climatización obligada. Las ciudades que reportan las mayores temperaturas durante todo el año son las que se localizan en cálido húmedo y sub húmedo ubicados en las zonas geográficas del sureste de México y el clima seco ubicado en la zona norte.

Finalmente, nuestras investigaciones demostraron que la temperatura horaria de una región es un factor determinante en el consumo y demanda de la energía eléctrica y que las estimaciones térmicas en cualquier tipo de edificación son importantes conocerlas por se traducen en costos en el pago de los recibos de energía eléctrica.

7. Limitaciones del estudio

La cantidad de estaciones de monitoreo son pocas en relación a las ciudades con poblaciones mayores a los 100,000 habitantes. Los instrumentos de medición de las variables climatológicas de las EMA, pueden registrar datos erróneos, los sensores de temperatura, humedad relativa, radiación solar requieren de calibración y mantenimiento sistemático para lograr tener confiabilidad de la información para nuestro estudio.

La caracterización climatológica depende de instrumento de medición que funcione correctamente y podamos obtener valores confiables para poder obtener las bases de datos con las variables climáticas que posteriormente se usaran para las simulaciones térmicas. Por lo anterior los valores fuera de rango son la principal amenaza para reproducir el comportamiento térmico de una localidad.

Otra de las limitaciones son el llenado de los cuestionarios y captura de la información para caracterizar las viviendas, como las dimensiones arquitectónicas, orientación, cantidad de equipos que consumen energía eléctrica para su funcionamiento y que pueden producir calor latente y sensible, horarios o hábitos de utilización de equipos de acondicionamiento ambiental entre otros aspectos importantes a considerar. Por lo que si no se tiene el debido cuidado al momento capturar y procesar la información afectará los resultados de las simulaciones térmicas y energéticas.

8. Marco teórico

En México se presentan la mayoría de los tipos de clima que existen en el mundo lo que ocasiona que se implementen distintas acciones para mantener las condiciones de confort térmico dentro de las edificaciones a lo largo del territorio Nacional. La temperatura y humedad han ocasionado que se deban utilizar diversos dispositivos para mejorar las condiciones de confort dentro de los hogares, ocasionando un incremento en el consumo de energía eléctrica. Desde 1986 la CFE reconoció la influencia del clima en el uso de la energía eléctrica y justificó establecer una estructura tarifaria más acorde a las condiciones de consumo de cada ciudad. Inicialmente se identificó un umbral de consumo para meses de verano de 200, 300 y 500 kWh para zonas que tuvieran temperaturas mínimas en meses de verano de 25, 28 y 30 °C (Diario Oficial de la Federación , 2012).

Los seres humanos tienen una debilidad inerte: necesitan sentirse cómodos. Quieren vivir en un ambiente que no sea caliente ni frío, ni húmedo, ni muy seco. Sin embargo, la comodidad no se obtiene de manera sencilla dado que las necesidades del cuerpo humano y el clima no suele ser muy compatible. Para alcanzar la comodidad es necesario luchar constantemente contra los factores que causan el descontento, como temperatura mayores o menores y humedades altas o bajas. (Yunes A. Cengel)

La comodidad de las personas desde el punto de vista del aire acondicionado depende, de cuatro factores primordiales, que son:

- Temperatura de bulbo seco del aire 22 a 27°Celsius
- Humedad relativa del aire 40 a 60 %
- Movimiento del aire 15 m/min
- Pureza del aire (Limpieza, olor, ruido, radiación)

Para establecer estándares de temperatura, humedad, movimiento y pureza del aire, es indispensable encontrar los valores óptimos para que el cuerpo humano tenga la sensación de comodidad. Debido a las grandes diferencias fisiológicas y

psicológicas de los individuos, encontrar valores es prácticamente imposible. La mejor forma de solucionar el problema es la carta de temperatura efectiva. Debido a que la temperatura, humedad, y movimiento del aire influyen en la pérdida de calor del cuerpo, en esta carta se intenta encontrar una relación de estos factores, a fin de que produzcan mayor comodidad posible en el número de personas. (Hernández Goribar, 1999)

En la actualidad existen 7 tipos de tarifas aplicadas en México, las cuales corresponden a localidades con distintas temperaturas mínimas en los meses de verano y van desde los 25 a los 33 grados centígrados (Comisión Federal de Electricidad , 2017).

Tabla N.- 2. Tarifas eléctricas en México según la temperatura mínima en verano

Tipo de tarifa	Descripción
Tarifa 1	Se aplica a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, cualquiera que sea la carga conectada individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda.
Tarifa 1-A	Aplica a todos los servicios que destinen la energía para uso doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo, en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 25 grados centígrados como mínimo.
Tarifa 1-B	Aplica a todos los servicios que destinen la energía para uso doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo, en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 28 grados centígrados como mínimo.
Tarifa 1-C	Aplica a todos los servicios que destinen la energía para uso doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo, en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 30 grados centígrados como mínimo.
Tarifa 1-D	Aplica a todos los servicios que destinen la energía para uso doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo, en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 31 grados centígrados como mínimo.
Tarifa 1-E	Aplica a todos los servicios que destinen la energía para uso doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo, en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 32 grados centígrados como mínimo.
Tarifa 1-F	Aplica a todos los servicios que destinen la energía para uso doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo, en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 33 grados centígrados como mínimo.

La influencia que el clima representa para el uso eléctrico es un tema que se ha estudiado en repetidas ocasiones, utilizando distintas metodologías. Joseph H. ETO (1988) utilizó una técnica de normalización llamada Día-grado, la cual fue incorporada a un simulador y aplicada en 10 edificaciones de 5 ciudades distintas de los Estados Unidos de América, teniendo como resultado una diferencia menor del 10% al reproducir el comportamiento del consumo eléctrico anual de dichas edificaciones (ETO, 1988).

Por su parte Donald H. y col. (1995) también empleo a la metodología de Día-grado para estimar los efectos del clima en el uso eléctrico, incluso, evaluaron los efectos del calentamiento global por el uso de la energía eléctrica. En dicho trabajo realizado para los Estados Unidos de América encontraron que el calentamiento global pudiera reducir el consumo de energía del sector residencial ya que se necesitaría menos energía para la calefacción (Donald H. Rosenthal, 1995).

De forma alternativa, Tejeda y col. (2005) proponen un procedimiento para estimar las temperaturas medias mensuales durante el verano en localidades donde no se cuentan con mediciones de las variables climáticas. Su propuesta sugiere utilizar los valores de la altitud de localidades que no cuentan con estaciones meteorológicas y calcular la temperatura efectiva en el verano. Su método fue aplicado en el oriente de México y demostró una correlación entre la temperatura media de verano con respecto a la altitud superior al 90% (Adalberto Tejeda Martínez, 2005).

$$Tm = a + bZ \quad (1.)$$

De la ecuación anterior la temperatura media (Tm) está en función de la altitud (Z en metros) y de los coeficientes de regresión estimados (a y b).

Por otro lado, Tejeda y col. (2005) definen a la temperatura efectiva como el equivalente a la temperatura del aire en calma que experimentaría un sujeto sedente en óptimas condiciones. El modelo matemático para el cálculo de dicha temperatura efectiva se expresa mediante la ecuación (2.), y con ella los autores proponen su uso para la estimación de tarifas eléctricas en el sector residencial.

$$TE = T_a - 0.4 (T - 10) (1 - HR/100) \quad (2.)$$

Donde T_a es la temperatura del aire ambiental en grados centígrados y HR la humedad relativa en porcentaje.

Tejeda finalmente propone la asignación de tarifas eléctricas según la temperatura efectiva de la localidad en los meses de verano y la altitud sobre el nivel del mar de las diversas ubicaciones geográficas en el país. Sin embargo, la propuesta de Tejeda no contempla la aplicación de la tarifa 1F y no se le asigna ningún valor de altitud. Los autores finalmente concluyen que los subsidios en las tarifas eléctricas están dirigidos usuarios con ingresos económicos catalogados como medio-alto, no subsidiando a la población económicamente más vulnerable, por lo que proponen incorporar a la estructura tarifaria el ingreso económico, grado de, marginación y consumo de eléctrico.

Respecto a los patrones de consumo energético de las viviendas en México, la Comisión Reguladora de Energía (CRE) (2007), comenta que existe un crecimiento en el consumo eléctrico debido a las condiciones climáticas. La CRE precisa que los mayores consumos se encuentran en los meses de verano debido a que se emplea más intensamente los aparatos de aire acondicionado. Sus datos han expresado que México cuenta con un gran potencial de crecimiento en el consumo eléctrico debido a que consumen cerca del 50% de lo que consumen viviendas con ingresos económicos similares en el resto de los otros países de Latinoamérica (CRE, 2007).

Bernard Aebischer y col. (2007) establecen la importancia de identificar si la ubicación geográfica donde se evalúa el sector residencial ocupa calefacción o enfriamiento, debido a que son muy distintos sus requerimientos energéticos. También comentan que para compensar la carga térmica ocasionada por el cambio climático y mantener los niveles mínimos de confort, se deberá utilizar enfriamiento mecánico, controlar apertura de puertas y ventanas o uso de refrigeración durante la noche (Bernard Aebischer, 2007).

El clima tiene un impacto directo a las ganancias de calor de las edificaciones. Taylor y col. (2008) establecen que en años recientes algunas ciudades ubicadas al suroeste de los Estados Unidos han tenido un incremento en la carga térmica a los edificios y sus consumos eléctricos. Taylor también comenta que al aumentar la carga térmica al edificio ocasiona un mayor consumo de potencia reactiva por parte del compresor y la necesidad de suministrar mayor voltaje por parte de la red eléctrica (U.S. Department of Energy, 2008).

El cambio climático puede ser una de las causas del incremento en los niveles de consumo de energía que tiene el sector residencial, sin embargo, probablemente no sea el único. Petrick y col. (2010) comentan que, tras evaluar a los consumos eléctricos del sector residencial en 157 países en un periodo superior a tres décadas, se tiene que el consumo energético no depende de forma lineal al incremento de temperatura, sino que también se tiene evidencia que el consumo energético depende también del ingreso económico del usuario (The Impact of Temperature Changes on Residential Energy Consumption, 2010).

Para Wolfram y col. (2012) estiman que de 2007 a 2035 los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD) presentarán un incremento de solo el 14% en su consumo de energía, mientras que el resto de los países su incremento será de 84% (Catherine Wolfram, 2012). Lo anterior deja de manifiesto que el desarrollo económico también puede ser un factor determinante en la tasa de crecimiento de los requerimientos energéticos de un país.

En la búsqueda por descubrir los factores de mayor importancia en el incremento del consumo eléctrico, así como la identificación de estrategias o acciones para propiciar la eficiencia energética, se han estudiado diversos modelos confiables para reproducir el comportamiento energético de edificaciones residenciales y comerciales. En ese sentido, las bases de datos de las condiciones climáticas juegan un papel importante en la proyección de los ahorros energéticos. Los datos climáticos existentes por lo general poseen datos muy espaciados temporalmente y proporcionan poca significancia de la posición geográfica. Bhandari y col. (2012) evaluaron el impacto de variables climáticas tales como temperatura de bulbo seco,

humedad relativa, precipitación, radiación solar y velocidad de viento, demostrando que el consumo de energía mensual puede variar hasta 7%, mientras que la carga térmica puede variar hasta en 40% (Mahabir Bhandari, 2012).

Tabla N.- 3. Sensores utilizados en estación meteorológica y su exactitud

Parámetro medido	Sensor usado	Exactitud
Temperatura	Vaisala HMP50	± 0.3 °C at 0 °C
Humedad relativa	Vaisala HMP50	$\pm 3\%$, a 0–90% del rango; $\pm 5\%$, a 90–98% del rango
Radiación horizontal global	LI-COR LI200	$\pm 5\%$ máximo; $\pm 3\%$ típico
Radiación difusa	LI-COR LI200	$\pm 5\%$ máximo; $\pm 3\%$ típico
Intensidad de radiación infrarroja horizontal del cielo	Radiómetro de precisión infrarrojo	Temperature dependence: $\pm 1\%$, linearity: $\pm 1\%$
Velocidad de viento	Campbell Scientific 03001	± 0.5 m/s
Dirección del viento	Campbell Scientific 03001	$\pm 5^\circ$
Profundidad de precipitación líquida	Texas Electronics TE525	$\pm 1\%$, más de 1 pulg./h
Presión barométrica	Vaisala CS106	± 1.5 mbar desde –40 a +60 °C

Coakley y col. (2014) mencionan que, para poder presentar escenarios de optimización energética, se debe simular a toda la edificación en conjunto y evaluar el costo-beneficio de dichos escenarios, por lo que presenta un gran desafío hacer que todas las variables interactúen al mismo tiempo. Coakley recomienda utilizar valores tomados de medición directa y calibrar nuestros instrumentos de simulación, sin embargo, también hacen mención que a pesar de existir distintos modelos para la simulación del comportamiento energético de un edificio no existe un método o modelo único de solución debido a que en la mayoría de los modelos presentan problemas de exceso de tiempo para ingresar datos, calibración sobre especificada, carencia de calidad de los datos de entrada, falta de identificación de las causas de discrepancias de los valores simulados y medidos, falta de herramientas que ayuden a calibrar las simulaciones, etcétera (Daniel Coakley, 2014) .

Torriti y col. (2014), sugieren que la medición mensual y bimestral no reflejan completamente el comportamiento energético de una vivienda y por lo tanto es difícil

plantear escenarios de optimización que verdaderamente impacten a las necesidades del sector residencial. Torriti plantea el uso de la demanda eléctrica y el modelado del patrón de uso de los dispositivos electrodomésticos. En una de sus conclusiones refiere que es posible predecir de manera sencilla el comportamiento de la demanda eléctrica de las viviendas con un solo ocupante, dado que en el caso de viviendas con múltiples personas el flujo dentro y fuera de la vivienda es difícil de modelar (Torriti, 2014).

Para la predicción transitoria del comportamiento térmico y requerimientos energéticos de una edificación Oktay y col. (2011) proponen un modelo para reproducir las fluctuaciones de temperatura a lo largo de un día. En dicho modelo solo es requerido los valores máximos y mínimos diarios para la obtención de coeficientes térmicos. Los autores compararon las hora-grados de su modelo con respecto a los valores medidos experimentalmente de 58 ciudades de distintas regiones de Turquía y encontraron diferencias desde 1.3% a 7.5% para rangos de temperaturas que van desde los 24°C a los 30°C (Oktay Z., 2011). Algunas de las ventajas que ofrece el modelo matemático propuesto por Oktay son que se pueden identificar fácilmente las horas que se requiere climatización en los edificios, además de identificar el perfil de la carga térmica horaria y finalmente se simplifica las herramientas de simulación térmicas de las edificaciones

Debido a la gran cantidad de variables eléctricas que presentan las edificaciones, se emplean diferentes modelos que simulen las perturbaciones y patrones de consumo de energía. Royapoor (2015) menciona que mediante el uso del software EnergyPlus es posible representar el comportamiento térmico de una edificación con errores dentro del $\pm 5\%$. Además, Royapoor señala que dicho software es capaz de predecir las temperaturas horarias de los espacios climatizados con aire acondicionado con una precisión de $\pm 1.5^\circ\text{C}$ para el 99.5% del tiempo (Mohammad Royapoor, 2015).

En los últimos años ha crecido la correlación del clima con el consumo energético. Kaufmann y col. (2013) han usado modelos matemáticos que emplean temperaturas horarias para estimar con mayor precisión los requerimientos

energéticos de equipos de climatización. Por otro lado, para ciudades con climas fríos Kaufman y col. proponen el método denominado *temperatura de agua de grifo* con el cual se puede determinar los requerimientos energéticos de una vivienda en relación a la electricidad que se ocuparía para proveerla de agua caliente, es decir, entre mayor temperatura tenga el agua del grifo menor energía se ocupará para calentarla.

Dirks y col. (2014) presentan información relacionada a la simulación térmica y eléctrica de edificios residenciales y comerciales estadounidenses, con el propósito de evaluar los consumos máximos de energía durante el año. A través de la plataforma BEND (*Building ENergy Demand*) Dirks simuló 26000 configuraciones de edificios de 100 ubicaciones críticas, de las cuales se plantearon estrategias para reducir el consumo y demanda eléctrica de la red eléctrica. Basados en el estudio antes mencionado se pronostica para final de siglo una reducción importante en el consumo de energía de las viviendas debido al calentamiento de las zonas que normalmente son frías.

Para la obtención de los perfiles de consumo, demanda eléctrica y estrategias de eficiencia energética, Santiago y col. (2014) mencionan que se debe de identificar el número de personas y el tipo de actividades para cada día de la semana, con el fin de poder sugerir estrategias tales como sistemas de monitoreo y control de cargas en las horas donde la demanda eléctrica de las viviendas se eleva (Robert K. Kaufmann, 2013).

Además del clima, las tipologías de las construcciones pueden causar un efecto en el consumo de energía eléctrica. Por lo anterior Garrido y col. (2012) evaluaron trece tipologías de viviendas en Cataluña, España y encontraron que al aplicar el código de construcción de aquel país es posible ahorrar hasta el 5.6% de la demanda eléctrica y hasta 6.4% respecto a la reducción de emisiones de CO₂ (Nuria Garrido-Sorianoa, 2012). Lo anterior tomando como referencia a la misma vivienda, pero sin ninguna medida de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica.

Por su parte Auhammer y col. (2014) hacen una revisión del comportamiento energético de los usuarios al adaptarse a corto y largo plazo a los cambios climáticos, dejando de manifiesto que no se puede concluir con precisión el comportamiento energético a largo plazo (Mansur, 2014). Auhammer explica que el tipo de tecnología es un factor que presenta dificultades para predecir su comportamiento energético, puesto que mucha de la tecnología en el presente es cara y difícil de implementar, en el futuro puede ser barata y accesible.

Respecto al cambio climático y el efecto en el nivel de vida de las personas David Albouy y col. (2016) comentan que para los estadounidenses la temperatura más confortante es cuando el clima se encuentra a 65°F y estiman que para 2100 se perderá entre 1% a 4% el nivel de vida de los usuarios del sector residencial (David Albouy, 2016). Albouy presenta el inconveniente que su estudio no brinda resultados para localidades con climas cálidos.

Las condiciones climáticas es un elemento fundamental a considerar para las simulaciones del comportamiento térmico de una edificación. Eguía y col. (2016) establecen que realizar una evaluación térmica con estados transitorios es un buen método para predecir los consumos de energía de un edificio. También comentan que la información climática es crítica para una buena simulación por lo que si no se cuenta con ella se puede utilizar la de la estación de monitoreo más cercana al lugar donde se hace la evaluación. Los autores determinaron que la técnica geo estadística de krigeaje fue la que mejores resultados logró en cuanto a la simulación térmica en casos de calefacción y de enfriamiento, mejorando hasta en 25% los resultados que la información de la estación más cercana (P.Eguía, 2016).

Por otro lado, Hernández y col. (2014) estudiaron la influencia de la humedad relativa en localidades de clima cálido sobre el consumo de energía eléctrica. Para tal efecto, utilizaron un software elaborado en plataforma Excel en el cual usaron la humedad relativa diaria promedio mensual y lo compararon con el software SIMTER-C desarrollado en Visual Basic que usa funciones polinomiales de humedad relativa. Para ambos casos se ingresaron datos obtenidos de los registros horarios históricos de la ciudad de Mexicali, B.C. de los años 1997 a 2012. Los

resultados de ambos simuladores presentaron una correlación en los meses de verano de 0.95 y una diferencia en la facturación por consumo eléctrico de 2.1%, concluyendo que para ciudades con clima seco las variaciones de humedad relativa horaria mensual en los periodos de verano (Emilio Hernández, 2014).

En la simulación térmica de una edificación se busca que los resultados obtenidos en los softwares sobre el comportamiento térmico de la edificación converjan con los datos reales, sin embargo, en muchas ocasiones no lo hacen. Young y col. (2016) plantean tres razones por las que pueden ocurrir dichas diferencias, teniendo en primer lugar el modelo de simulación, un periodo largo de muestreo y finalmente errores en los sensores o datos. Los autores comentan que la calidad en la calibración depende del grado de detalle del modelo de solución (Young-Jin Kim, 2016). También señalan que las calidades de calibración de los instrumentos de medición dependerán de los sensores con los que se obtengan la entrada de datos.

9. Metodología

El estudio presenta una metodología de caracterización climatológica por regiones de similares características basadas en temperaturas horarias, desarrollando una base de datos para sistematizar datos climatológicos por regiones para la captura, análisis, determinación de las variables climatológicas de las estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional

Para tal efecto resulta obvio que los sujetos bajo estudio en esta investigación deberán de ser las temperaturas horarias de las ciudades seleccionadas y los usuarios domésticos del servicio eléctrico ubicados en dichas ciudades, sin embargo, actualmente no se tiene disponible una caracterización climática basada en hora-grado, ni algún padrón en el que se pueda revisar el historial de consumo eléctrico del sector vivienda de las diferentes ciudades del país. Por lo anterior, y considerando los recursos disponibles para esta tesis, el campo de aplicación de la investigación fue el sector residencial de las ciudades en el país que cuentan con más de 100 mil habitantes y que además poseen clima seco, cálido y templado.

En el presente capítulo se explica el proceso de investigación desarrollado. Se describen los sujetos estudiados, el material utilizado y el procedimiento que se siguió para elaborar esta tesis. Se brinda información que explica detalladamente la forma en que se realizó el estudio. Se pretende de esta manera dar sustento y validez a los métodos e instrumentos utilizados.

9.1. Sujetos

El presente trabajo es un estudio de evaluación a la temperatura horaria y al perfil de consumo eléctrico en el sector doméstico de distintas ciudades de México. Los objetivos de la investigación fueron descritos con anterioridad y pueden sintetizarse en:

(a) Desarrollar una metodología de caracterización climatológica por regiones de similares características basadas en temperaturas horarias.

(b) Desarrollar una base de datos para sistematizar datos climatológicos por regiones para la captura, análisis, determinación de hora-grado y temperatura.

Adicionalmente mediante un sistema computacional se espera la reproducción de los perfiles de consumo eléctrico de las viviendas ubicadas en las diferentes regiones climáticas de México y posteriormente proponer escenarios de optimización energética y alternativas de ahorro y uso eficiente de la energía para las viviendas según su tipo de clima. Para tal efecto resulta obvio que los sujetos bajo estudio en esta investigación deberán de ser las temperaturas horarias de las ciudades seleccionadas y los usuarios domésticos del servicio eléctrico ubicados en dichas ciudades, sin embargo, actualmente no se tiene disponible una caracterización climática basada en hora-grado, ni algún padrón en el que se pueda revisar el historial de consumo eléctrico del sector vivienda de las diferentes ciudades del país. Por lo anterior, y considerando los recursos disponibles para esta tesis, el campo de aplicación de la investigación fue el sector residencial de las ciudades en el país que cuentan con más de 100 mil habitantes y que además poseen clima seco, cálido y templado. Los sujetos de estudio fueron una muestra representativa de temperaturas y usuarios domésticos del sector eléctrico nacional que fueron seleccionados a partir de consideraciones especiales. El cálculo del tamaño de la muestra fue la primera etapa para dar certidumbre estadística a los resultados. Para el análisis de temperatura horaria de las ciudades de México se consideró un universo de 139 ciudades con poblaciones mayores a los 100,000 habitantes

9.2. Materiales

Para recabar la información necesaria se obtuvo una base de datos con las variables climáticas de temperatura, presión atmosférica, velocidad de viento, radiación solar y humedad relativa de todas las ciudades que ha monitoreado el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) a través de sus estaciones meteorológicas automáticas (EMAS) y que además cuentan con más de 100 mil habitantes.

Por otro lado, para recabar datos de las características del sector residencial, se elaboró un cuestionario de cuatro páginas en donde se le pidió al encuestado llenar los reactivos con información relativa a su vivienda entre la que destaca: dimensiones de área climatizada, altura de muros, largo, ancho, número de

ocupantes, materiales constructivos, tipo de climatización, hábitos de uso de aparatos electrodomésticos, ingreso económico familiar, historial de consumo eléctrico mensual, ubicación geográfica de su vivienda, entre otros.

La caracterización energética de las viviendas ubicadas en las principales ciudades de México se realizó utilizando como herramienta un sistema de cómputo desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la UABC el cual permite calcular para una determinada vivienda o construcción las ganancias instantáneas de calor, potencia de enfriamiento, rapidez de retiro de calor, el consumo eléctrico y la facturación mensual. El sistema emplea el Método de Funciones de Transferencia de ASHRAE y ha sido aplicado y validado extensamente desde los años 90. Una vez obtenida la información requerida de cada cuestionario, ésta se procesó para reproducir el comportamiento energético de cada vivienda analizada, validándose los resultados mediante la comparación con los consumos eléctricos mensuales reportados en el registro histórico del recibo de consumo de energía proporcionado por la CFE a cada usuario.

10. Validez y confiabilidad

Para hacer inferencias válidas y confiables de los datos obtenidos en esta investigación, se consideraron evidencias relacionadas con contenido y criterio. En cuanto a la validez de contenido, se revisó que los datos climatológicos fueran obtenidos de fuentes gubernamentales especializadas en el clima de México y que el cuestionario aplicado a los usuarios del servicio eléctrico incluyera la información requerida por el sistema computacional para garantizar la confiabilidad y reproducibilidad de los resultados al compararlos con los valores reales de consumo eléctrico mensual de las viviendas analizadas. El cuestionario empleado en este trabajo sirvió para establecer el efecto que produce la ubicación geográfica de las viviendas en sus características constructivas, así como para establecer diferentes escenarios de aplicación de acciones de eficiencia energética según la región climática correspondiente.

El criterio utilizado fue comparar los consumos mensuales calculados mediante el sistema computacional respecto con los valores reales repostados en el recibo de CFE para cada usuario. En el sistema computacional se realizaron las iteraciones necesarias para que los consumos eléctricos calculados y los reales no difirieran en más de un $\pm 5\%$ para los meses de verano y anual. Con ello se garantizó que las propuestas de acciones de eficiencia energética fueran confiables al establecer nuevos escenarios energéticos.

Con el fin de establecer la validez de los resultados, el criterio utilizado fue comparar los consumos mensuales calculados mediante el sistema computacional respecto con los valores reales repostados en el recibo de CFE para cada usuario. En el sistema computacional se realizaron las iteraciones necesarias para que los consumos eléctricos calculados y los reales no difirieran en más de un $\pm 5\%$ para los meses de verano y anual. Con ello se garantizó que las propuestas de acciones de eficiencia energética fueran confiables al establecer nuevos escenarios energéticos. Para garantizar la confiabilidad de los instrumentos de medición y veracidad en la recopilación de datos, se capacitó a estudiantes de ingeniería de las carreras de

mecánica y energías renovables de semestres avanzados y quienes además contaban con experiencia previa en el uso de simuladores térmicos así como en diagnósticos energéticos, para que de cada cuestionario capturaran correctamente la ubicación geográfica, las dimensiones, valores nominales de los electrodomésticos, materiales constructivos, factores de uso eléctrico y eficiencia de equipos.

10.1. Procedimiento

Dado que el método utilizado en esta investigación es de tipo experimental, el problema de investigación es el siguiente:

¿Cuál es el método para sistematizar información climatológica aplicándola al análisis y evaluación de acciones de ahorro y uso eficiente de la energía?

Para darle solución a la problemática planteada anteriormente, se recopiló información de diversas fuentes con el fin de documentarse y tener un entendimiento más profundo acerca del problema. Por lo anterior, se hizo una revisión literaria acerca del ahorro y uso eficiente de la energía, se consultaron libros, reportes técnicos, documentos de algunas dependencias gubernamentales y proyectos nacionales e internacionales relacionados a la aplicación de acciones para reducir el consumo eléctrico en los hogares. Del Plan Nacional de Desarrollo 2006-2012 y 2013-2018 en el apartado de desarrollo sustentable se obtuvo información acerca de sus antecedentes y datos generales.

A partir de las EMAS se elaboró una base de datos en la cual se capturó y recopiló información climatológica a nivel nacional. Basados en los patrones características de temperaturas máximas y mínimas, así como de los valores de hora-grado de cada una de las ciudades analizadas se agruparon e identificaron las regiones de climas representativos.

Una vez agrupadas las regiones climáticas y sabiendo los valores de las temperaturas de cada una de las ciudades analizadas se desarrolló un programa de cómputo para la sistematización de información, el cual es capaz de determinar el

tipo de clima de cualquier ciudad de México y obtener la temperatura horaria que tendrá durante todo el año.

Mediante la aplicación de cuestionarios en cada una de las viviendas que formaron parte de la muestra, se obtuvieron datos de los materiales constructivos, electrodomésticos y dimensiones de las viviendas, con los cuales se pudo alimentar al sistema de cómputo para realizar una caracterización térmica de sistemas constructivos a nivel nacional y reproducir el comportamiento térmico y energético del sector residencial de las regiones representativas de México.

Posteriormente, se realizó una evaluación del consumo eléctrico del sector residencial al implementar acciones de ahorro y uso eficiente de la energía. Los resultados obtenidos se compararon con la intención de identificar las acciones que ocasionan mayores ahorros eléctricos y económicos, según el tipo de clima en el que se ubique la vivienda y la tarifa eléctrica aplicada.

Finalmente, se anotaron conclusiones estadísticamente válidas que dan respuesta a la pregunta de investigación y se expresaron algunas recomendaciones que pudieran servir para el desarrollo de investigaciones relacionadas al ahorro y uso eficiente de energía en México.

11. Resultados

La metodología de horas-grado empleada para evaluaciones termo energéticas es en beneficio para las personas que viven en las principales ciudades de México. Con este método se encontraron perfiles térmicos por zonas geográficas donde es posible visualizar oportunidades de ahorro energético con una mayor precisión. También otro de los resultados es en apreciar una radiografía de la realidad termo energética de las viviendas las cuáles proporcionan oportunidades de ahorro y uso eficiente de la energía en apoyo a la economía de los mexicanos.

Las temperaturas horarias como lo hemos mencionado anteriormente varían conforme transcurre el tiempo, donde las mayores temperaturas se concentran en los climas secos y cálidos, abarcando un 86% del territorio nacional. En la siguiente gráfica se puede observar la distribución del clima en el territorio nacional.

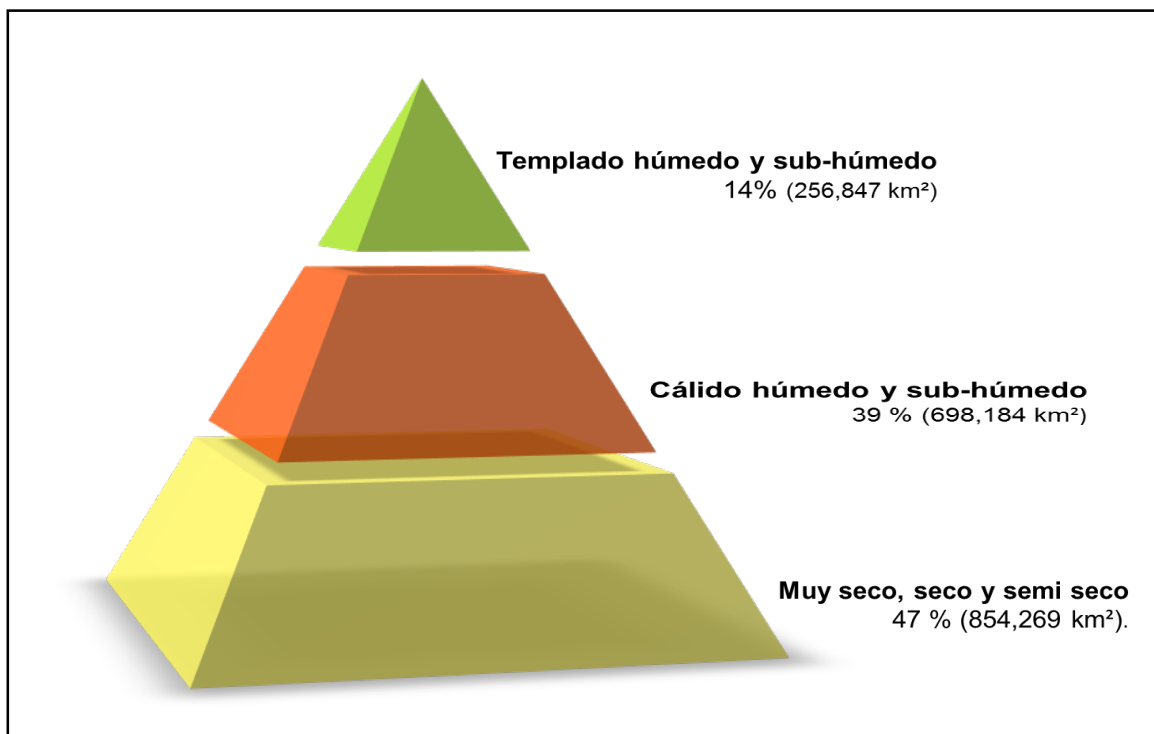


Figura N.- 7. Territorio nacional y sus climas

11.1. Horas-grado

Es una metodología desarrollada para caracterizar el comportamiento climático de una región con propósitos de relacionar la temperatura, el clima y su consumo eléctrico. En las regiones el termómetro oscila registrando temperaturas máximas y mínimas pasando por los estándares de confort humano, a través de este comportamiento es posible identificar los lugares que son los más calientes y fríos en periodos de tiempo deseado o por estaciones del año, según sea nuestra necesidad de estudio. En la siguiente figura N.-8 se puede apreciar el comportamiento térmico típico horario y su zona de confort humano de 22° a 27°Celsius. En ella podemos visualizar como la línea azul donde es la variable de la temperatura horaria que registra un termómetro y como avanza atravesando la zona de confort humano. Las horas-grado son el resultado de los valores de temperatura que puede registrar un termómetro por cada hora de tiempo, así nos es posible establecer las diferencias térmicas entre regiones o ciudades durante lapsos de tiempo que pueden ser diarias, mensuales, y anuales.

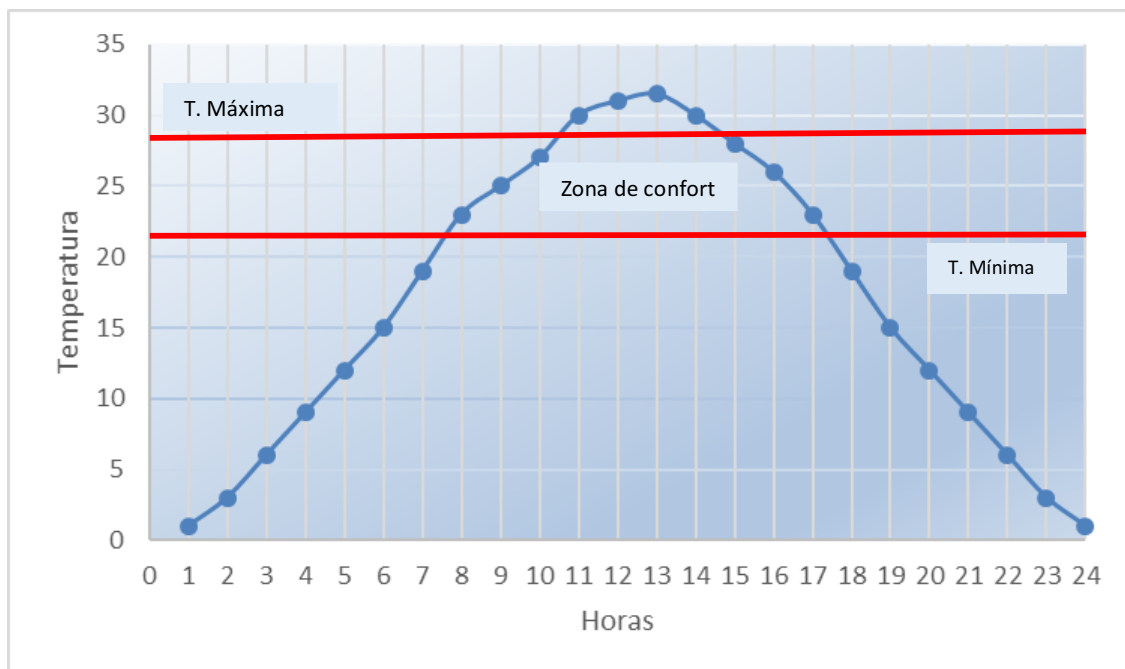


Figura N.- 8. horas-grado y zona de confort humano

En la siguiente figura N.- 9, se puede apreciar la metodología hora-grado ofreciendo la ventaja de poder encontrar los lugares de México donde se tienen las mayores y menores temperaturas durante un año. También se observa el comportamiento donde las mayores temperaturas se encuentran en el periodo de verano en los meses de junio a septiembre en los climas secos.

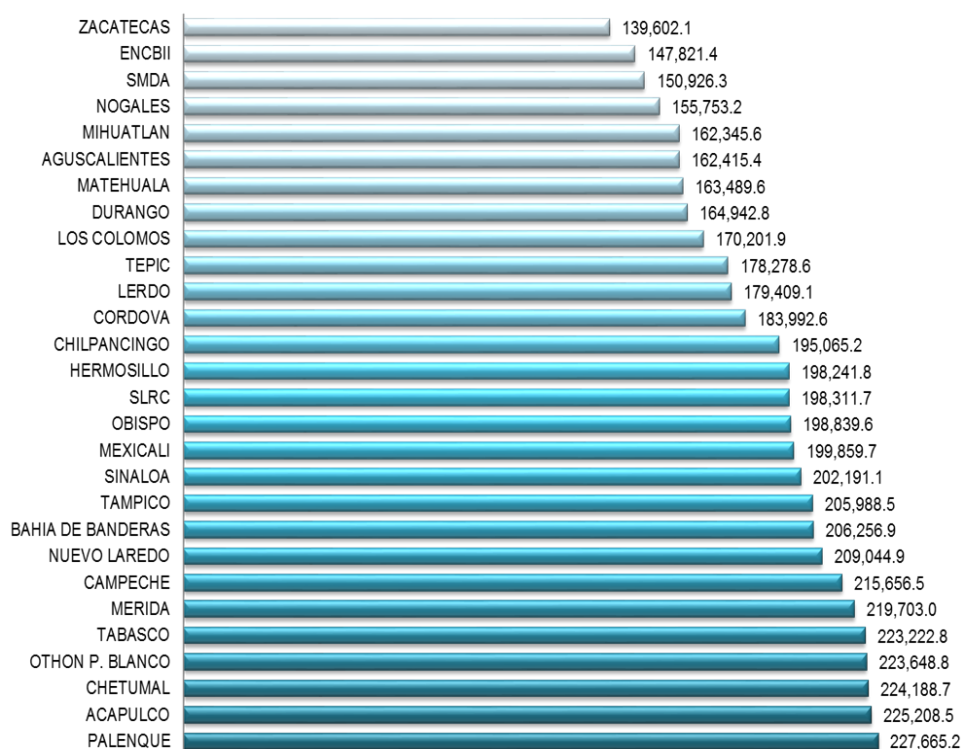


Figura N.- 9. horas-grado ciudades de México

En la Figura N.-10, se puede apreciar cual es el comportamiento de la temperatura horaria según el tipo de clima con sus ciudades más representativas de ellos. Para los climas secos donde corresponde a las ciudades de Mexicali, San Luis Río Colorado y Hermosillo se visualiza que son las que logran tener la mayor temperatura en el periodo del verano que corresponde a los meses de mayo a octubre, pero en el periodo de invierno tiene una disminución considerable; para las ciudades con el clima cálido tenemos a las ciudades de Tabasco, Acapulco y Campeche donde se puede apreciar que sus temperaturas horarias tienen un comportamiento constante pero con valores de temperaturas más elevadas en el

periodo de invierno con respecto a los secos y a los templados, por lo anterior se les considera que son lugares donde tenemos las mayores temperaturas durante todo el año; para las ciudades con el clima templado tendrán un comportamiento térmico constante pero con valores menores que los cálidos y de los secos pero solo en el periodo de invierno.

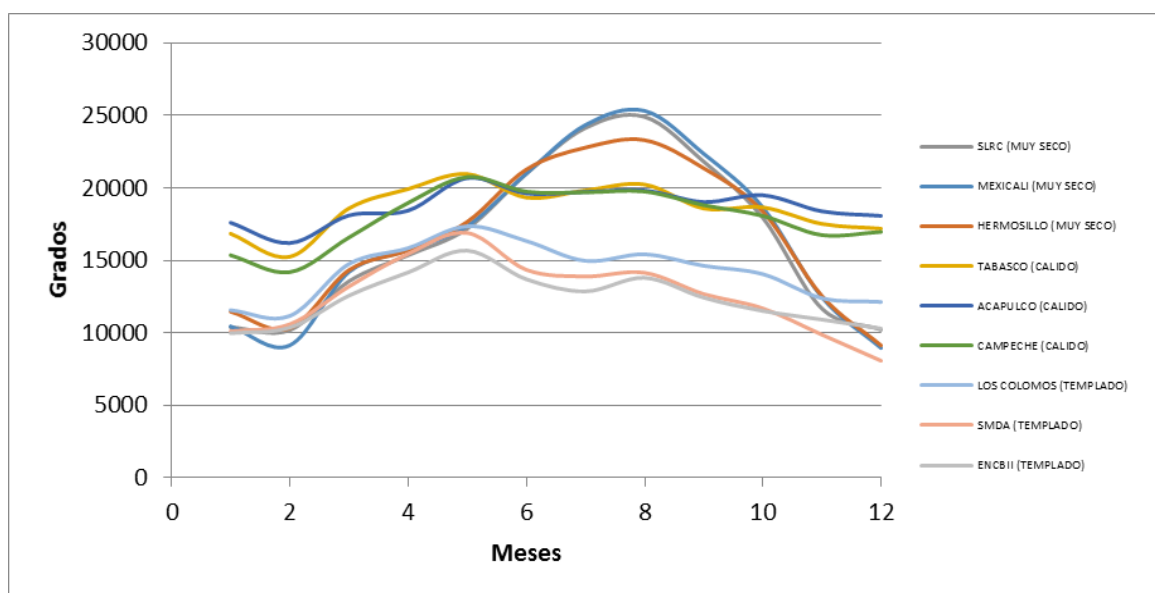


Figura N.- 10. horas-grado todos los climas: secos, cálidos y templados

En la gráfica N.- 11, Se puede apreciar la distribución de las horas grado para cada mes de tres ciudades con clima seco. Las ciudades evaluadas presentaron una distribución de temperatura similar durante el periodo de invierno y verano, en donde los mayores valores de horas-grado están por el orden de los 25,000° Celsius iniciando su incremento desde el mes de mayo y su decremento en el mes de octubre. Por otro lado, en los meses de invierno se logran registrar hasta los 5,000° Celsius, estos valores indican que, en esta región de nuestro país, se tiene una diferencia de temperatura enorme entre los periodos de invierno y el verano.

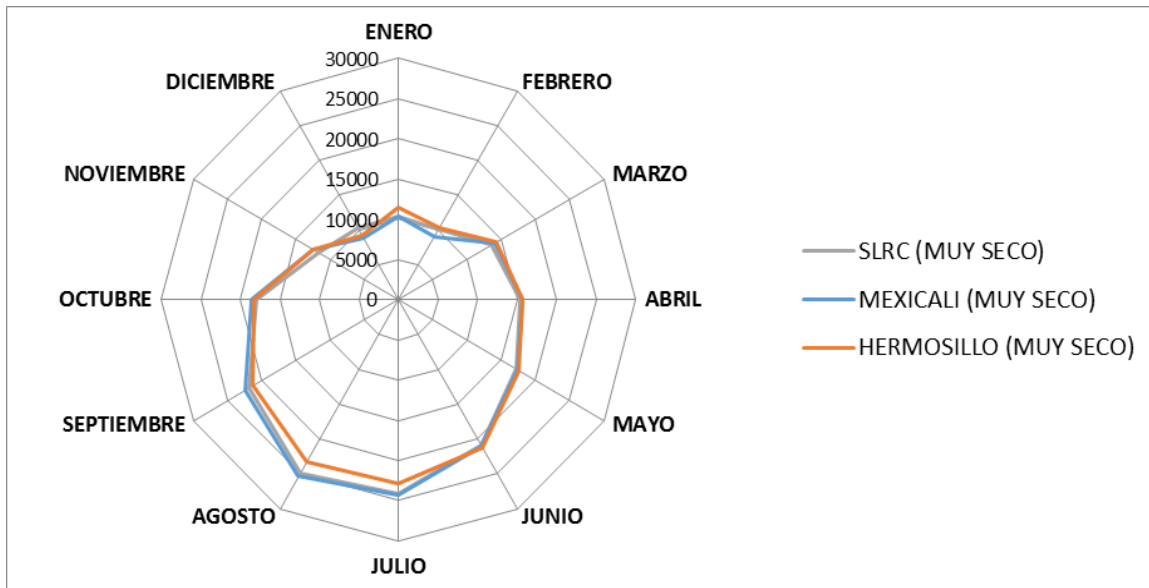


Figura N.- 11. horas-grado climas secos

En la Gráfica N.- 12, nos es posible apreciar la distribución de las horas grado para cada mes de tres ciudades con clima cálido. Donde las ciudades estudiadas presentaron una distribución de temperatura sin variación considerable y comportamiento térmico más constante durante el periodo de invierno y verano, en donde los mayores valores de horas-grado están por el orden de los 20,000° Celsius, y para el periodo de invierno se logran registrar hasta los 15,000° Celsius. En esta región de nuestro país es donde tenemos un comportamiento térmico más constante en todo el año, pero con temperaturas superiores en el periodo de invierno con respecto a el clima seco.

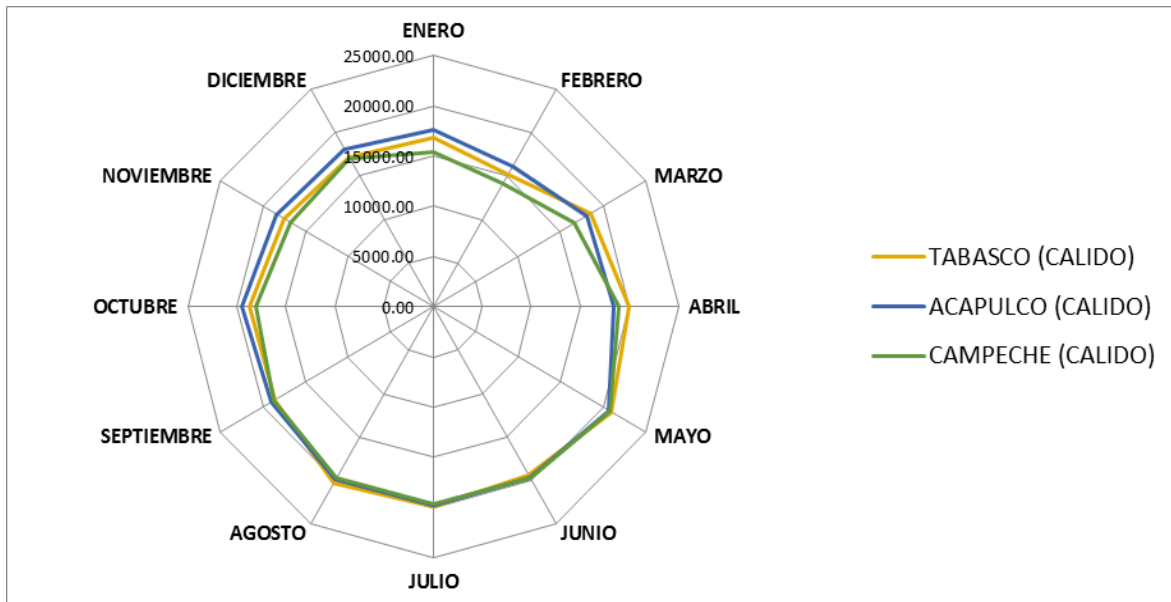


Figura N.- 12. horas-grado climas cálidos

En la Gráfica N.- 13, Se puede apreciar la distribución de las horas grado para cada mes de tres ciudades con clima templado. Las ciudades evaluadas presentaron una distribución de temperaturas variada durante el periodo de verano, en donde los mayores valores de horas-grado están por el orden de los 15,000° Celsius iniciando su incremento desde el mes de mayo y su decremento en el mes de octubre. Por otro lado, en los meses de invierno se tiene el mismo patrón de variación de horas grado y se logran registrar hasta los 5,000° Celsius, estos valores indican que, en esta región de nuestro país, es con una diferencia muy poca los periodos de invierno y el verano. Cabe mencionar que en este tipo de clima se presentan las temperaturas más bajas de México.

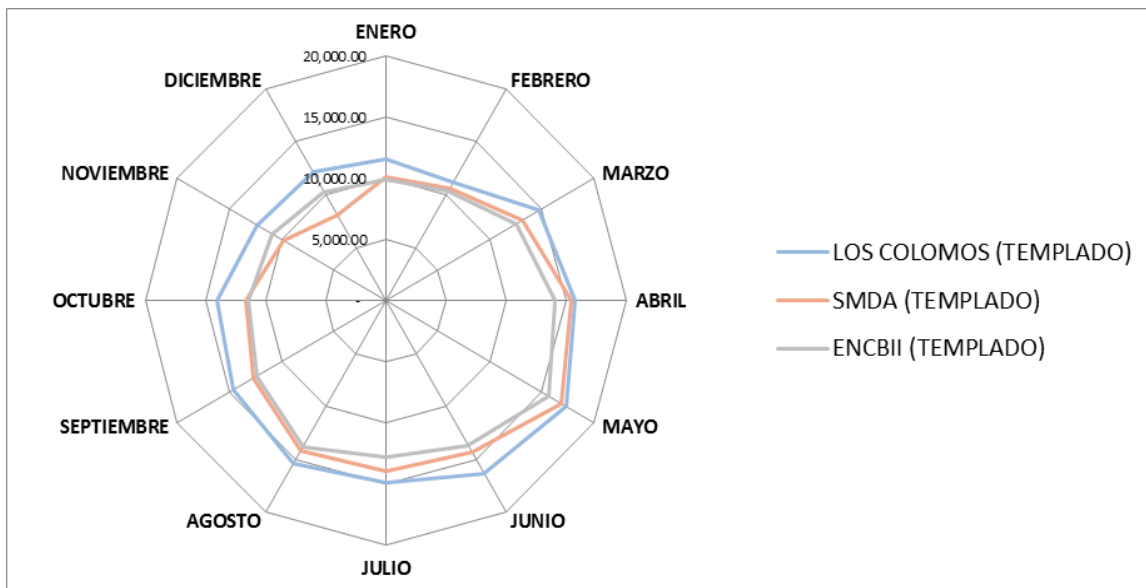


Figura N.- 13. horas-grado climas templados

En la Gráfica N.- 14, Se puede apreciar las magnitudes de las horas grado y su tendencia de tres ciudades con clima seco. Las ciudades evaluadas presentaron temperatura con tendencia hacia al alza en el periodo de verano y una tendencia hacia la baja en el invierno. Esto es debido porque en el verano se registran valores de temperatura horaria mucho más elevadas con respecto al periodo del invierno.

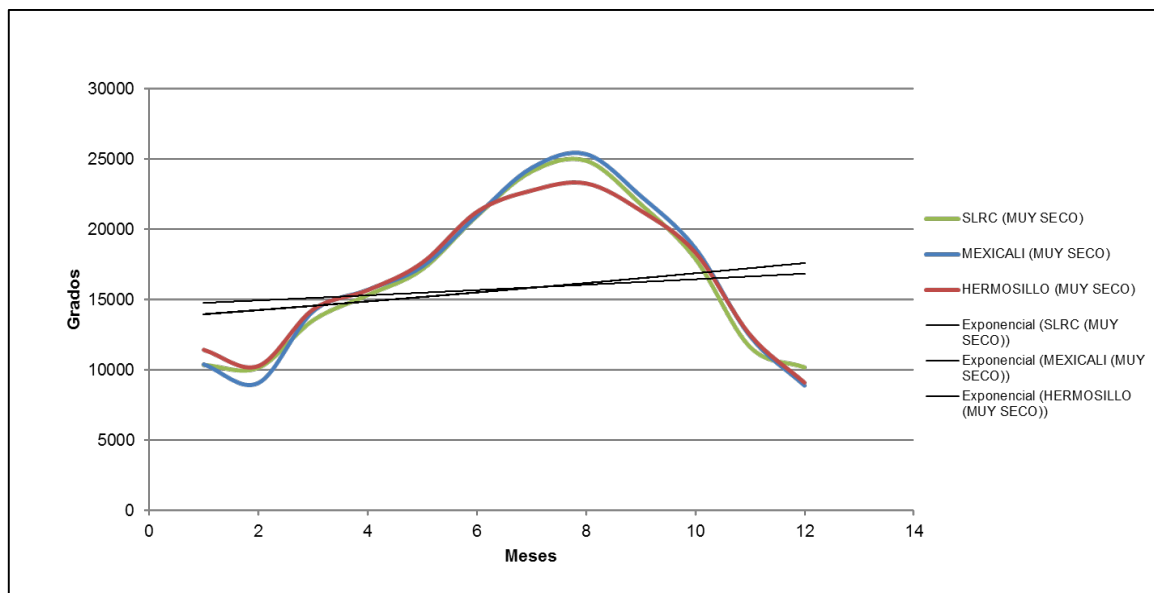


Figura N.- 14. Tendencia de Horas-grado climas secos

En la Gráfica N.- 15, Se puede apreciar las magnitudes de las horas grado y su tendencia de tres ciudades con clima cálido. Las ciudades evaluadas presentaron temperatura con tendencia hacia al alza en el periodo de verano y también una tendencia hacia la baja en el invierno, pero con menor pendiente que el clima seco. Esto es debido porque en el verano se registran valores de temperatura horaria mucho más uniformes en todo el año.

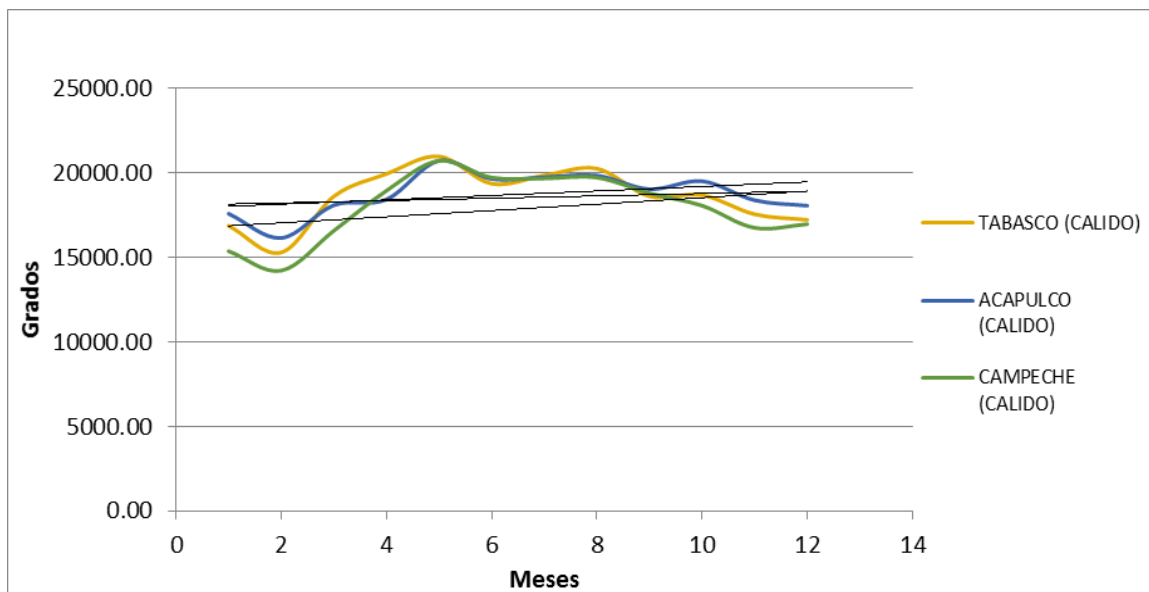


Figura N.- 15. Tendencias Horas-grado climas cálidos

En la Gráfica N.- 16, Se puede observar las magnitudes de las horas grado y su tendencia de tres ciudades con clima templado. Las ciudades evaluadas presentaron temperatura con tendencia hacia la baja en el periodo de verano y también una tendencia hacia la baja en el invierno. Esto es debido porque en el verano se registran valores menores de temperatura horaria con respecto a los climas secos y cálidos.

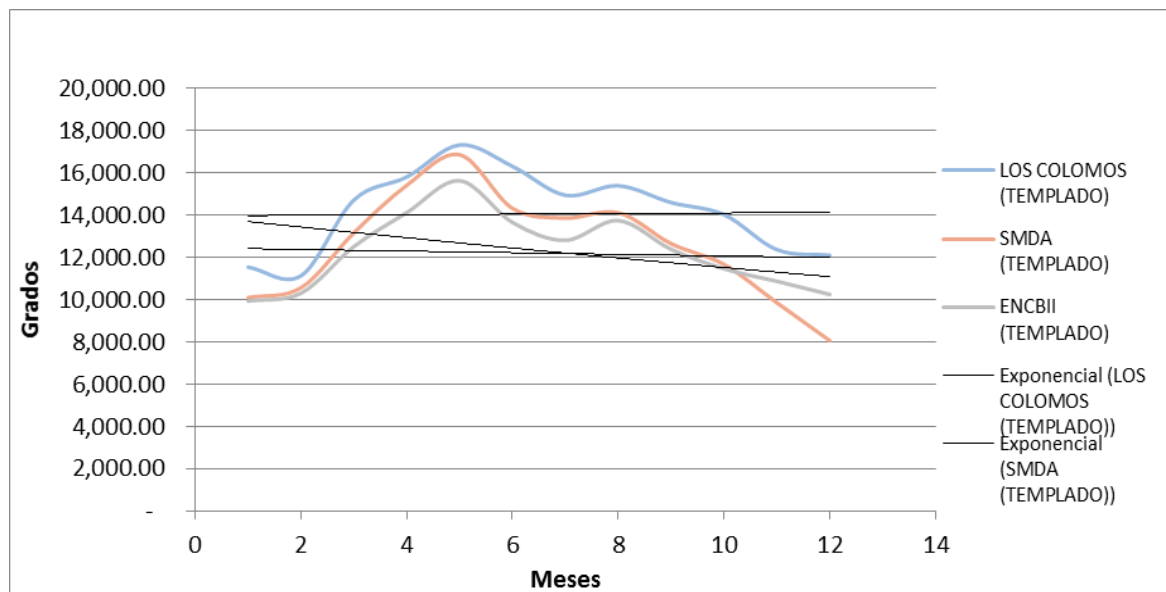


Figura N.- 16. Tendencias Horas-grado climas templados

11.2. Zonas de confort

Respecto a las zonas de confort en la gráfica N.-17, se puede apreciar la distribución de las horas grado para cada mes de tres ciudades con clima seco. Las ciudades evaluadas anteriormente presentaban valores de horas grado para el periodo de un año de 25,000° Celsius máximo para el verano y en invierno de hasta los 5,000° Celsius, estos valores indican como se ha mencionado anteriormente que, en esta región de nuestro país, se tiene una diferencia de temperatura enorme entre los periodos de invierno y el verano. Por otra parte, también nos es posible apreciar que la zona de confort humano se establecen las necesidades de acondicionamiento ambiental por meses del año.

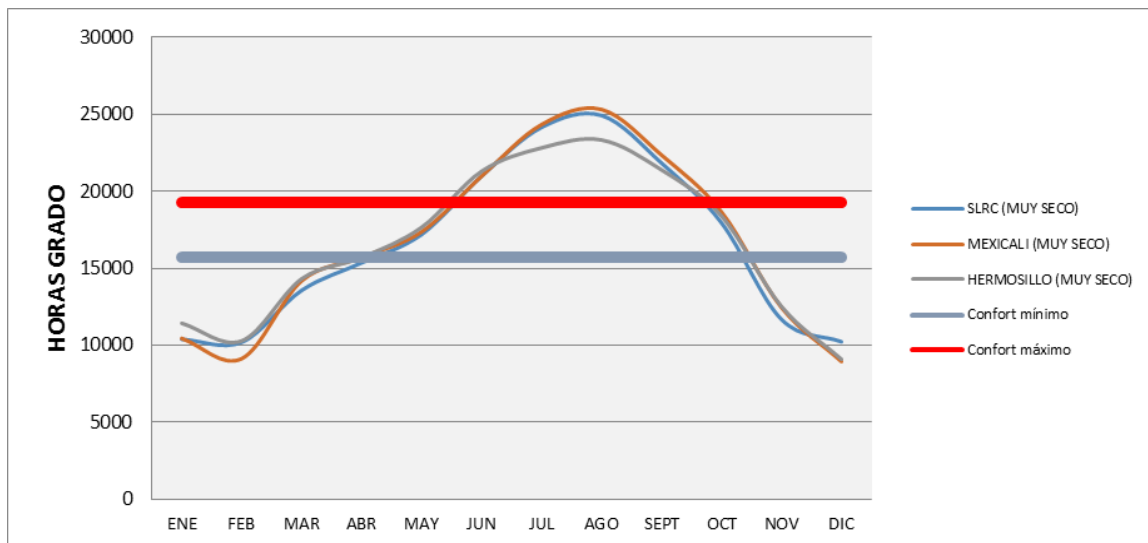


Figura N.- 17. Horas-grado y zona de confort climas seco

En la gráfica N.-18, se puede apreciar la distribución de las horas grado para cada mes de tres ciudades con clima cálido. Las ciudades evaluadas anteriormente presentaban valores de horas grado para el periodo de un año de 20,000° Celsius máxima para el verano y en invierno de hasta los 15,000° Celsius, estos valores indican como se ha mencionado anteriormente que, en esta región de nuestro país, se tiene una diferencia de temperatura relativamente baja entre los periodos de

invierno y el verano. Por otra parte, también nos es posible apreciar que la zona de confort humano se establecen las necesidades de acondicionamiento ambiental por meses del año.

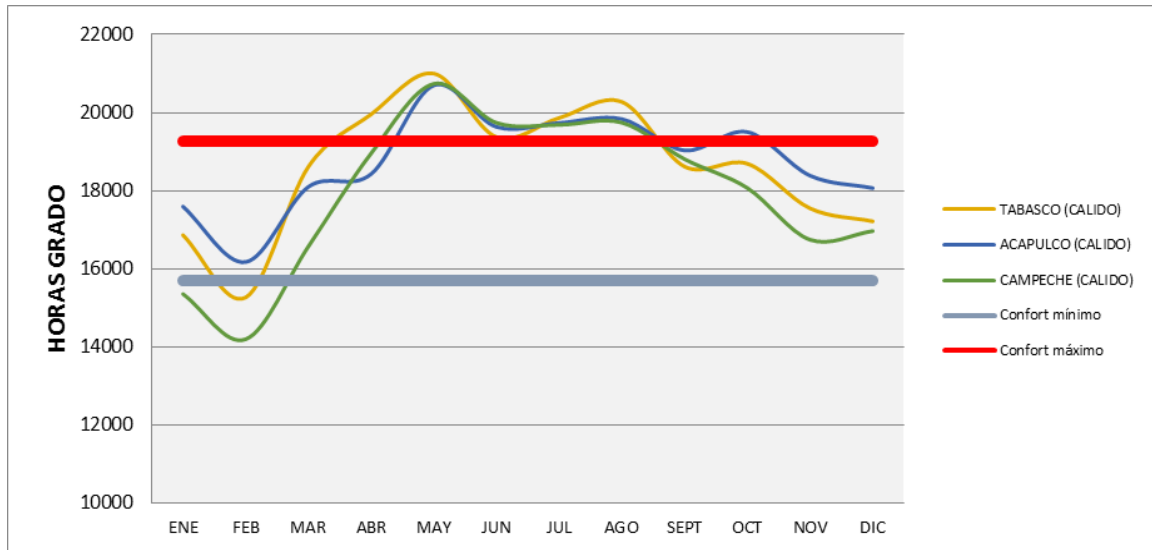


Figura N.- 18. Horas-grado y zonas de confort climas cálido

En la gráfica N.-19, se puede apreciar la distribución de las horas grado para cada mes de tres ciudades con clima templado. Las ciudades evaluadas anteriormente presentan valores de horas grado para el periodo de un año de 15,000° Celsius máxima para el verano y en invierno de hasta los 5,000° Celsius, estos valores indican como se ha mencionado anteriormente que, en esta región de nuestro país, existe una variación de temperatura entre los periodos de invierno y el verano. Por otra parte, también nos es posible apreciar que la zona de confort humano se establecen las necesidades de acondicionamiento ambiental por meses del año.

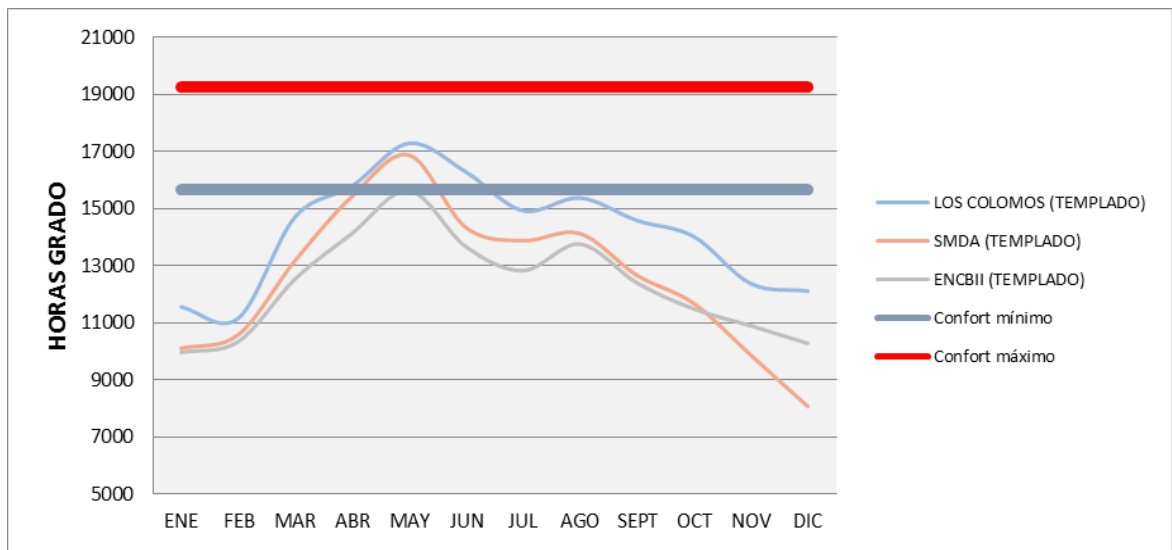


Figura N.- 19. Horas-grado y zonas de confort clima templado

En la gráfica N.-20. Se puede apreciar el comportamiento térmico por horas grado de la ciudad de Acapulco, la cual posee clima cálido y es posible identificar los meses donde se requiere acondicionamiento ambiental. En los meses de enero, febrero, marzo, abril, noviembre y diciembre podemos visualizar que las horas grado se mantuvieron dentro de la zona de confort humano, sin embargo, en los meses de mayo hasta octubre, las horas grado se posicionaron fuera de la zona de confort; donde podemos asumir que en la ciudad de Acapulco se requiere la refrigeración, para lograr el confort y que el resto del año la temperatura de hora grado está dentro de la zona de confort.

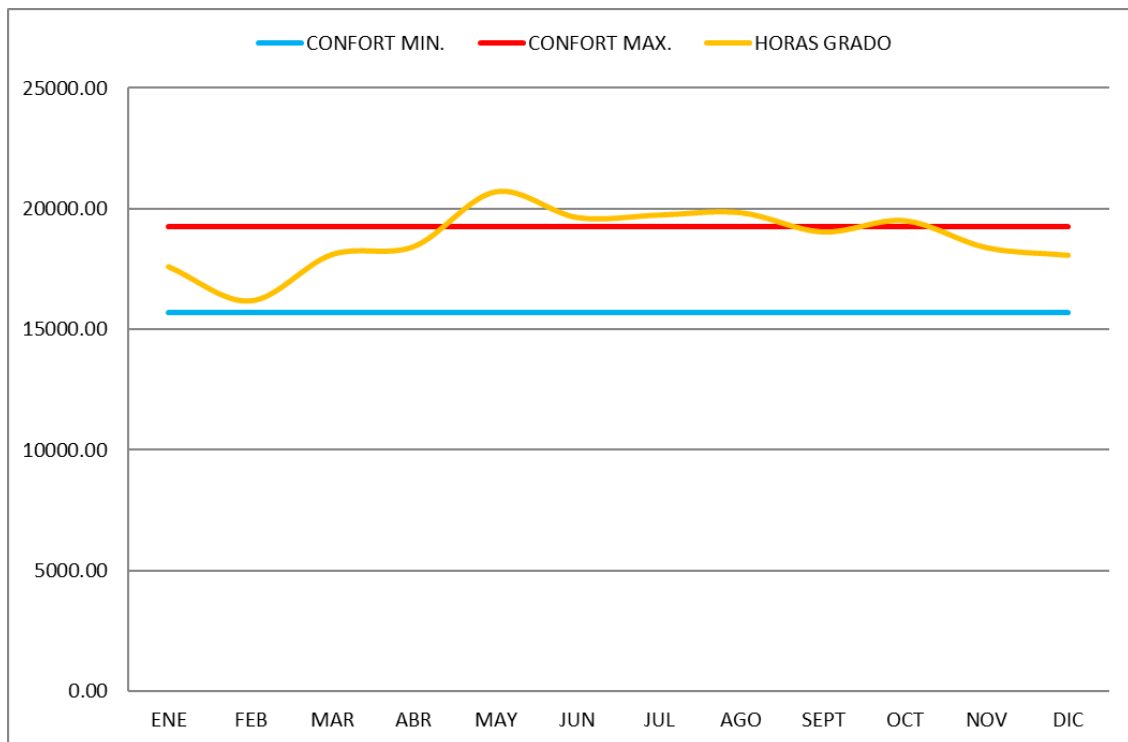


Figura N.- 20. Horas-grado de Acapulco

En la gráfica N.-21. Se puede apreciar el comportamiento térmico por horas grado de la ciudad de Villahermosa, la cual posee clima cálido y es posible identificar los meses donde se requiere acondicionamiento ambiental. En los meses de enero, febrero, septiembre, noviembre y diciembre podemos visualizar que las horas grado se mantuvieron dentro de la zona de confort humano, sin embargo, en los meses de marzo hasta agosto, las horas grado se posicionaron fuera de la zona de confort; donde podemos asumir que en esos meses en la ciudad de Villahermosa es requerido la refrigeración para lograr el confort y que el resto del año la temperatura de hora grado está dentro de la zona de confort.

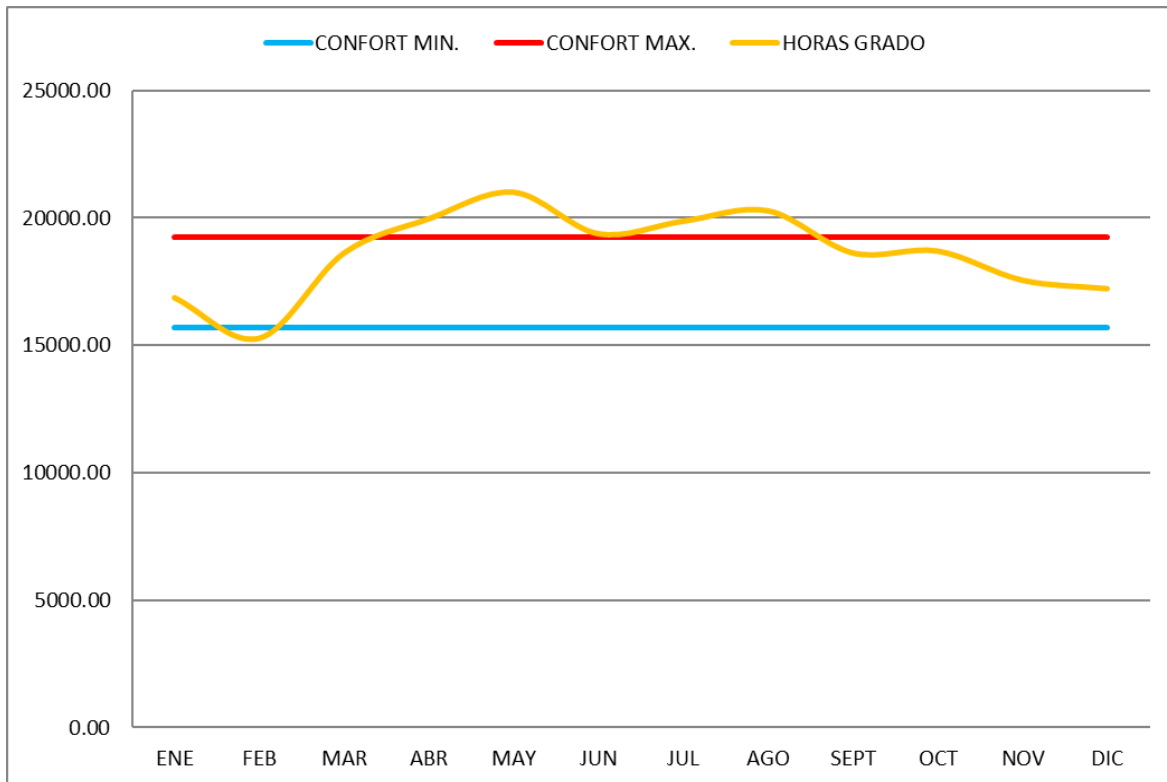


Figura N.- 21. Horas-grado de Villahermosa

En la gráfica N.-22, se puede apreciar el comportamiento térmico por horas grado de la ciudad de Campeche, que posee clima cálido y donde es posible identificar los meses donde se requiere acondicionamiento ambiental. En los meses de enero, febrero, septiembre, noviembre y diciembre podemos visualizar que las horas grado se mantuvieron dentro de la zona de confort humano, sin embargo, en los meses de marzo hasta agosto, las horas grado se posicionaron fuera de la zona de confort, donde podemos asumir que en esos meses en la ciudad de Villahermosa es requerido la refrigeración para lograr el confort y que el resto del año la temperatura de hora grado está dentro de la zona de confort.

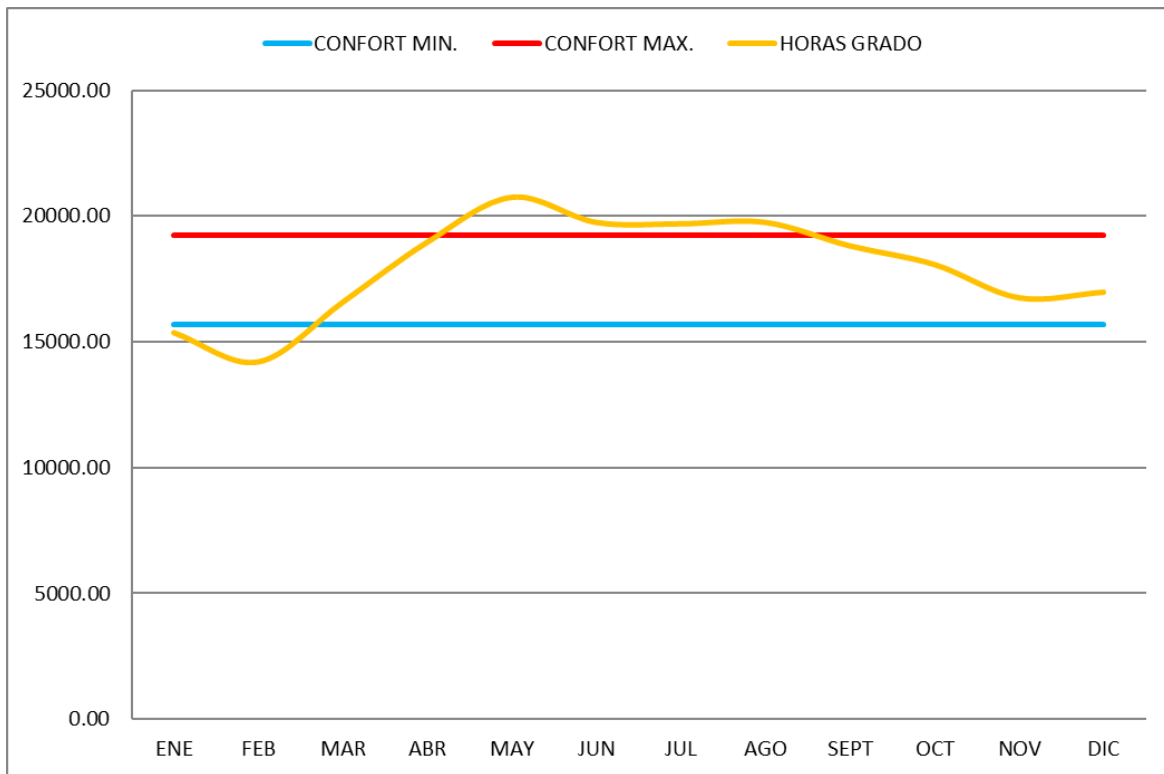


Figura N.- 22. Horas-grado de Campeche

En la gráfica N.-23. Se puede apreciar el comportamiento térmico por horas grado de la ciudad de San Luis Rio Colorado, que posee un clima seco donde es posible identificar los meses donde se requiere acondicionamiento ambiental. En los meses de enero, febrero, marzo, abril, noviembre, diciembre se presentan Horas-grado fuera de la zona de fuera de confort con sensación de frío; en los meses de mayo y octubre se logra estar dentro de la zona de confort, pero en los meses junio, julio, agosto y septiembre podemos visualizar temperaturas de Horas-grado fuera de la zona de confort con sensación de calor, y en caso particular en los meses de julio y agosto se presenta un calor extremo; por lo anterior podemos resumir que se requiere refrigeración en los meses de calor y calefacción en los meses de frío.

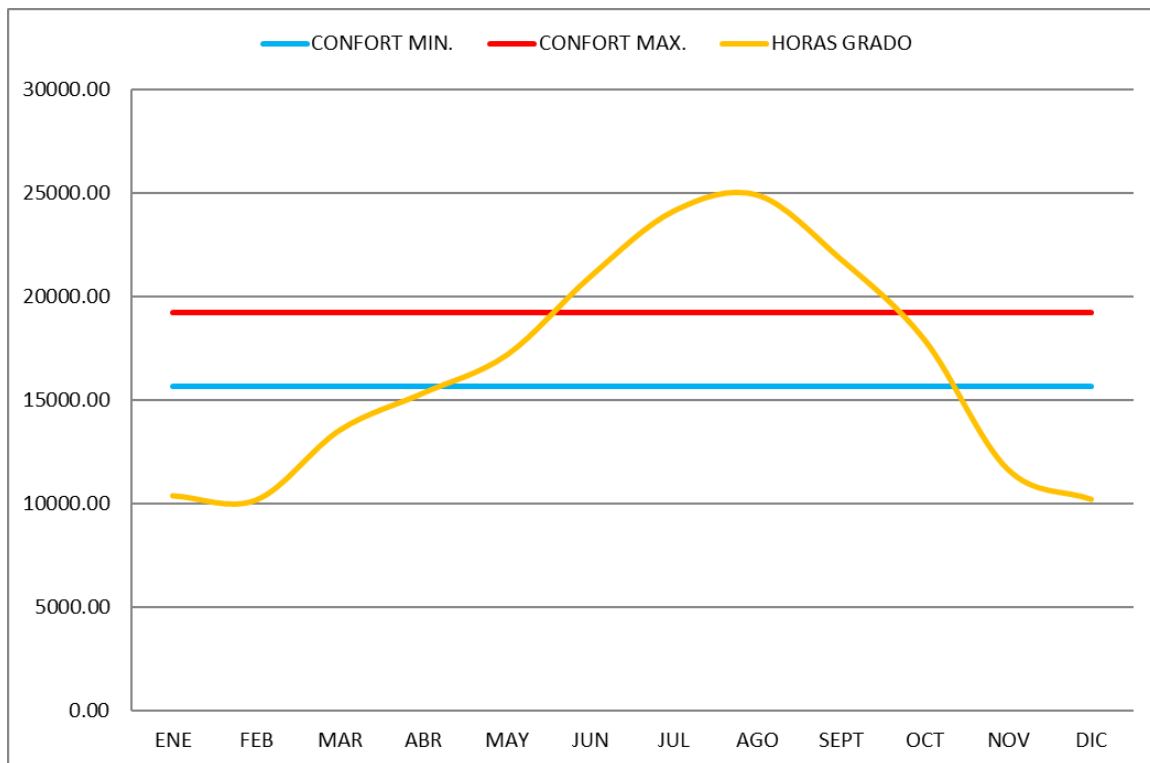


Figura N.- 23. Horas-grado San Luis Río Colorado, Sonora

En la gráfica N.-24. Se puede apreciar el comportamiento térmico por horas grado de la ciudad de Mexicali, que posee un clima seco, donde es posible identificar los meses donde se requiere acondicionamiento ambiental. En los meses de enero, febrero, marzo, abril, noviembre, diciembre se presentan temperaturas de Hora-Grado fuera de la zona de confort con sensación de frío, y en los meses de mayo y octubre se logra estar dentro de la zona de confort, pero en los meses junio, julio, agosto y septiembre podemos visualizar temperaturas de Horas-grado fuera de la zona de confort con sensación de calor, y en caso particular en los meses de julio y agosto se presenta un calor extremoso; por lo anterior podemos resumir que se requiere refrigeración en los meses de calor y calefacción en los meses de frío.

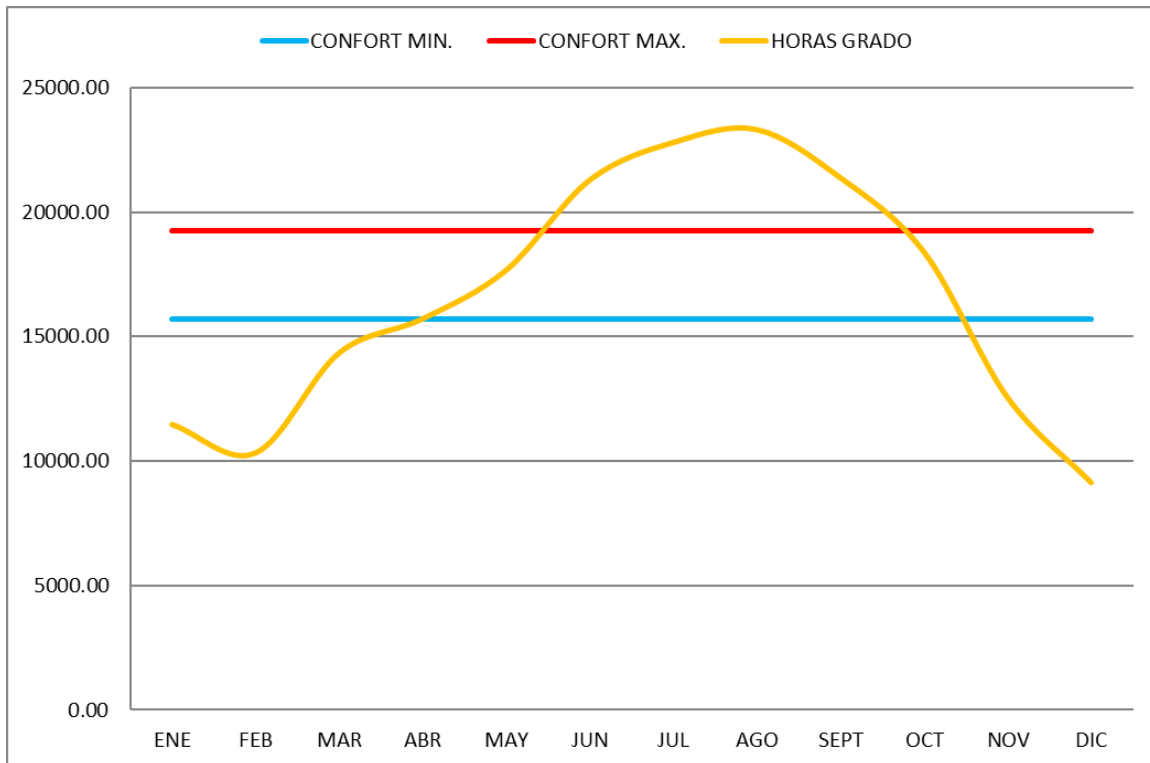


Figura N.- 24. Horas-grado de Mexicali, Baja California

En la gráfica N.-25. Se puede apreciar el comportamiento térmico por horas grado de la ciudad de Hermosillo, que posee un clima seco, donde es posible identificar los meses donde se requiere acondicionamiento ambiental. En los meses de enero, febrero, marzo, abril, noviembre, diciembre se presentan temperaturas de Hora-Grado fuera de la zona de confort con sensación de frío, y en los meses de mayo y octubre se logra estar dentro de la zona de confort, pero en los meses junio, julio, agosto y septiembre podemos visualizar temperaturas de Horas-grado fuera de la zona de confort con sensación de calor, y en caso particular en los meses de julio y agosto se presenta un calor extremo; por lo anterior podemos resumir que se requiere refrigeración en los meses de calor y calefacción en los meses de frío.

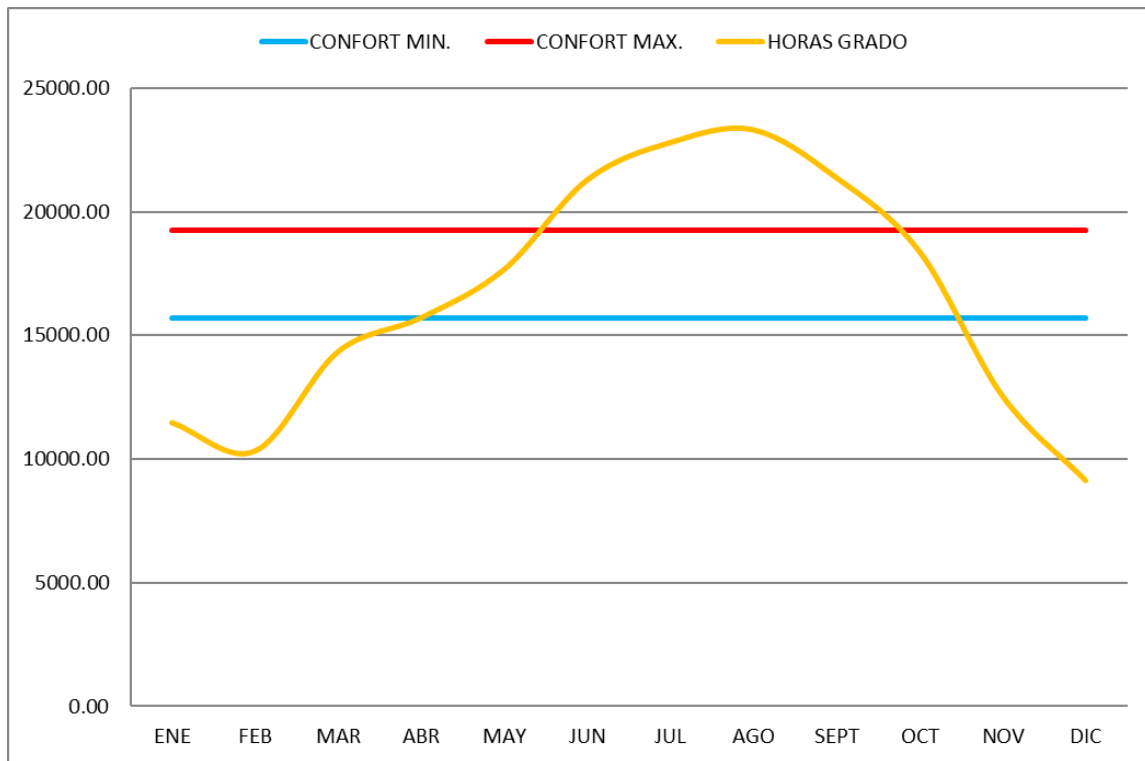


Figura N.- 25. Horas-grado de Hermosillo, Sonora

En la gráfica N.-26, se puede apreciar el comportamiento térmico por horas grado de la ciudad de los Colomos en Guadalajara, que posee un clima templado, donde es posible identificar que las Horas-grado están fuera de la zona de confort con sensación de frío en los meses de enero, febrero, marzo, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre. En los meses de abril, mayo y junio se ubica dentro de la zona de confort humano. Por lo anterior podemos resumir que puede sugerirse el acondicionamiento ambiental por calefacción en los meses que se presente el frío.

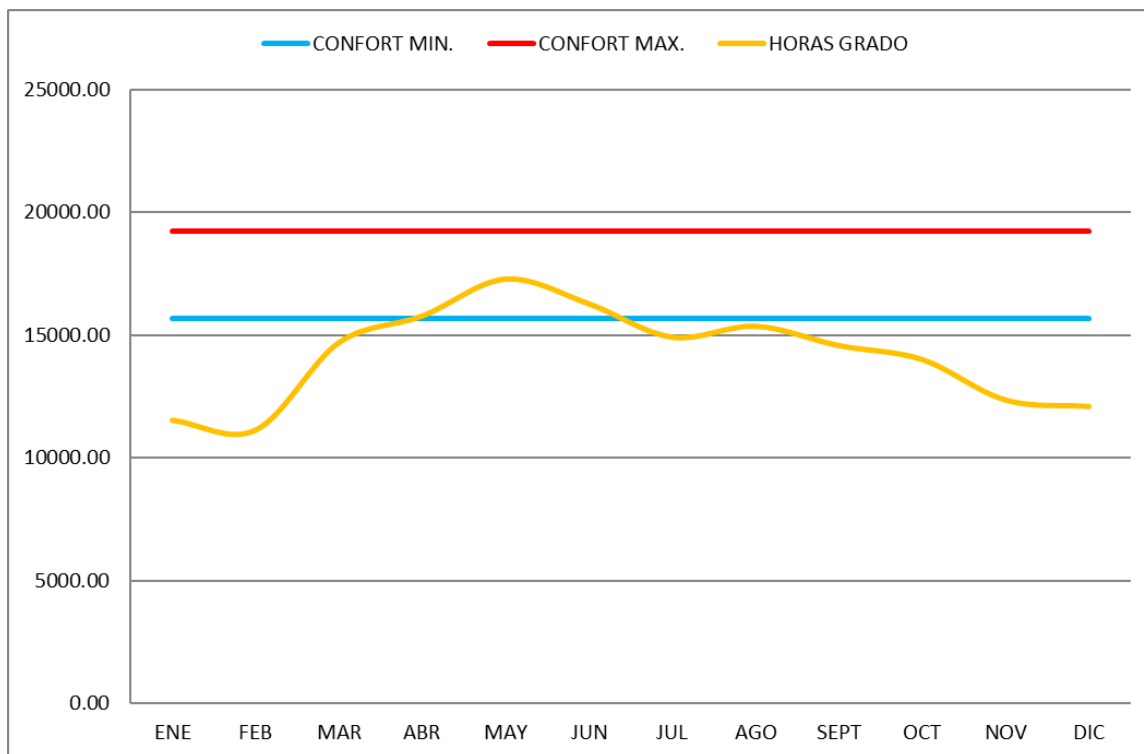


Figura N.- 26. Horas-grado Los Colomos

En la gráfica N.-27, se puede apreciar el comportamiento térmico por horas grado de la ciudad de San Miguel de allende, que posee un clima templado, donde es posible identificar que las Horas-grado están fuera de la zona de confort con sensación de frío en los meses de enero, febrero, marzo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre. En los meses de abril y mayo se ubica dentro de la zona de confort humano. Por lo anterior podemos resumir que puede sugerirse el acondicionamiento ambiental por calefacción en los meses que se presente el frío.

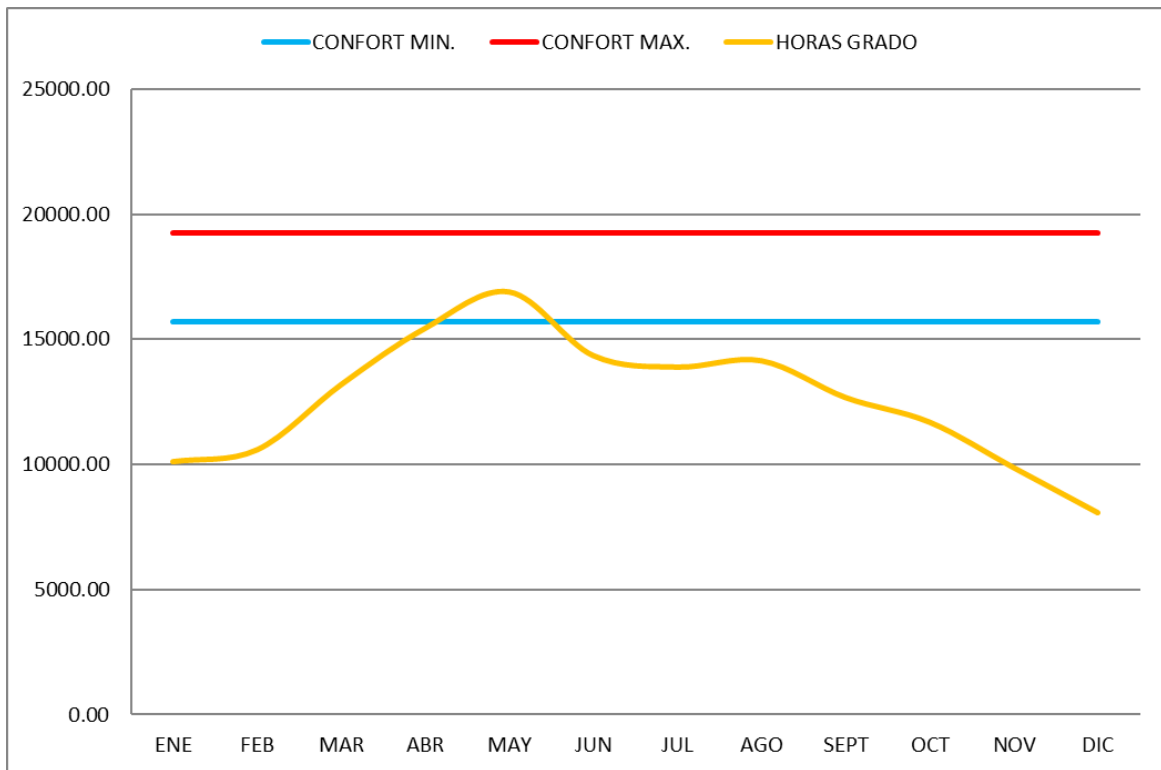


Figura N.- 27. Horas-grado San Miguel de Allende

En la gráfica N.-28, se puede apreciar el comportamiento térmico por horas grado de la ciudad de México, que posee un clima templado, donde es posible identificar que las Horas-grado están fuera de la zona de confort con sensación de frío todos los meses del año. Por lo anterior podemos resumir que puede sugerirse el acondicionamiento ambiental por calefacción en los meses que se presente el frío.

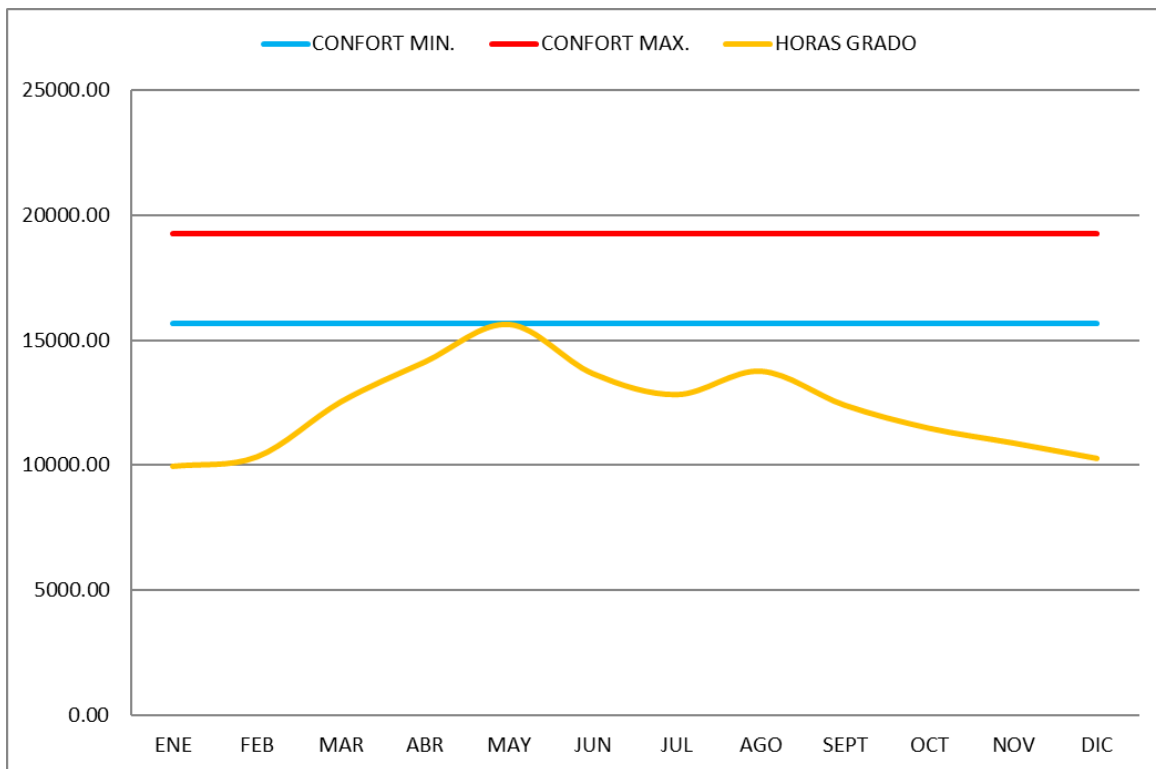


Figura N.- 28. Horas-grado de ENCBII

La siguiente grafica N.-29, es posible visualizar el comportamiento térmico en función de las Horas-grado la línea roja de las gráficas indica el periodo del verano y la azul el invierno. Las primeras cinco ciudades tienen una variación pequeña entre los periodos de invierno y el verano, también es podemos ver que la sostenibilidad de una temperatura alta tiene más duración en el año, caso muy característico en los climas cálidos. Para el resto de las ciudades en su mayoría tenemos que hay mayores diferencias térmicas entre verano y el invierno situación que se presenta en los climas secos principalmente, sin embargo tenemos mayor cantidad de Horas-grado en el periodo de invierno.

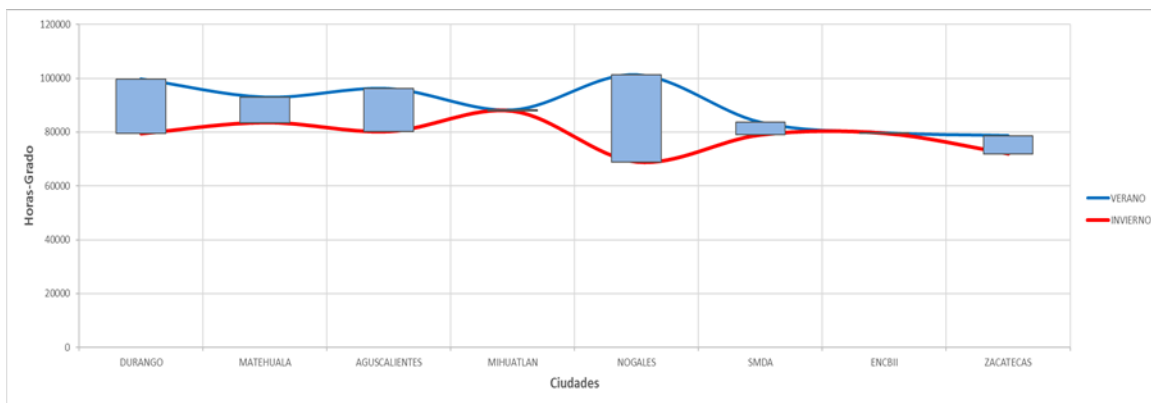
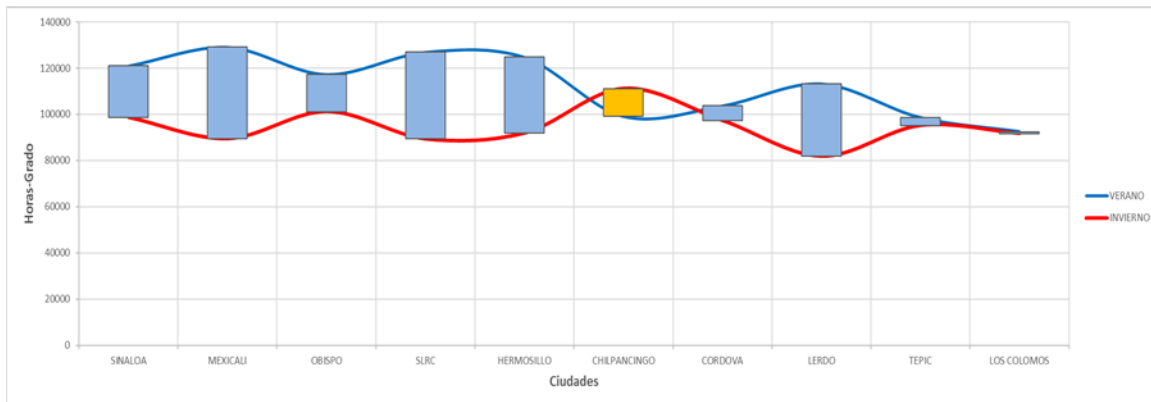
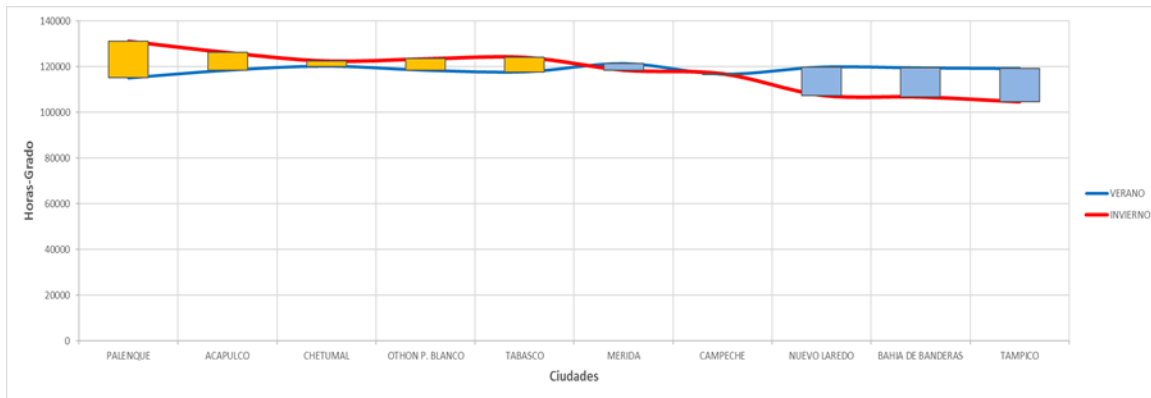


Figura N.- 29. Horas-grado de ciudades periodo de invierno y verano

11.3. Carta Psicométrica anual y zona de confort

Otro de los resultados de la tesis es poder proponer una forma de encontrar las zonas de confort a partir de las propiedades psicométricas del aire para cualquier ciudad de México. Esta metodología está basada en el desarrollo propuesto por el libro de Termodinámica de (Yunes A. Cengel), en las páginas 719 y 720 de la quinta edición. Con esta metodología podemos realizar análisis de la temperatura del aire y su humedad relativa proporcionada por el servicio meteorológico nacional. En la siguiente gráfica N.-30, podemos encontrar la carta psicométrica para la ciudad de Mexicali, en donde es posible ver en el recuadro rojo la zona de confort humano y los puntos azules son los datos obtenidos del análisis matemático entre la temperatura de bulbo seco y la humedad específica. Mexicali es una ciudad que en muy pocas horas al año se logra tener confort humano y se puede clasificar como una ciudad con temperatura fría en invierno y calor extremo en verano con bajo humedad específica durante todo el año.

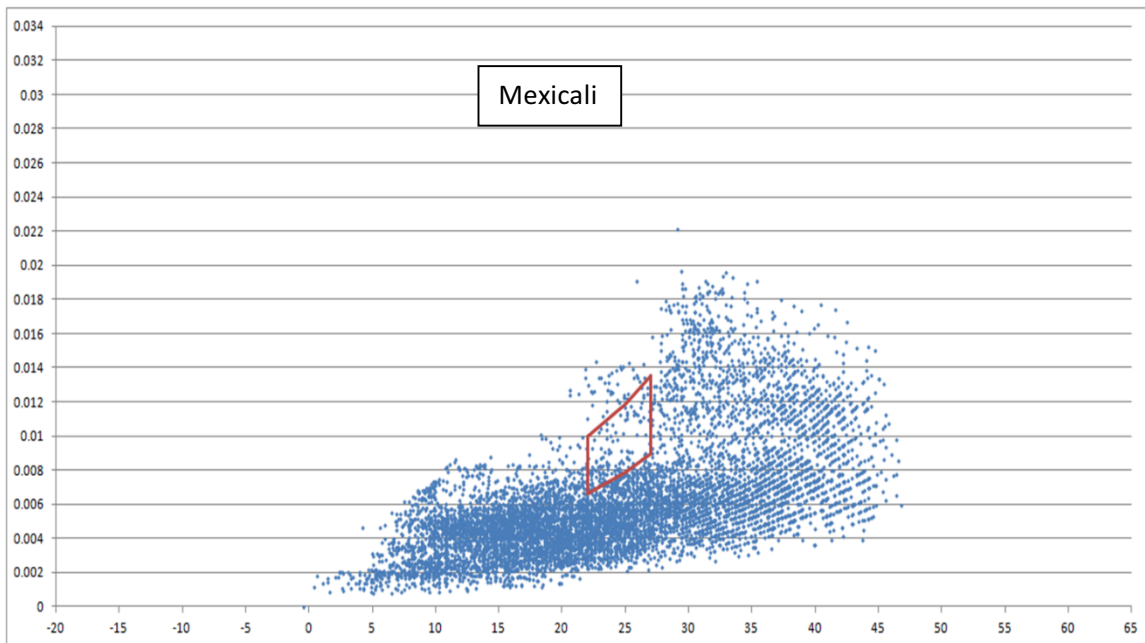


Figura N.- 30. Carta psicométrica Mexicali

En la siguiente gráfica N.-31, podemos encontrar la carta psicométrica para la ciudad de Hermosillo, donde es posible ver en el recuadro rojo la zona de confort humano y los puntos azules son los datos obtenidos del análisis matemático entre la temperatura de bulbo seco y la humedad específica. Hermosillo es una ciudad que en muy pocas horas al año se logra tener confort y se puede clasificar como una ciudad con una temperatura fría en invierno y calor extremo en verano con baja humedad específica pero un poco mas alta que Mexicali durante todo el año.

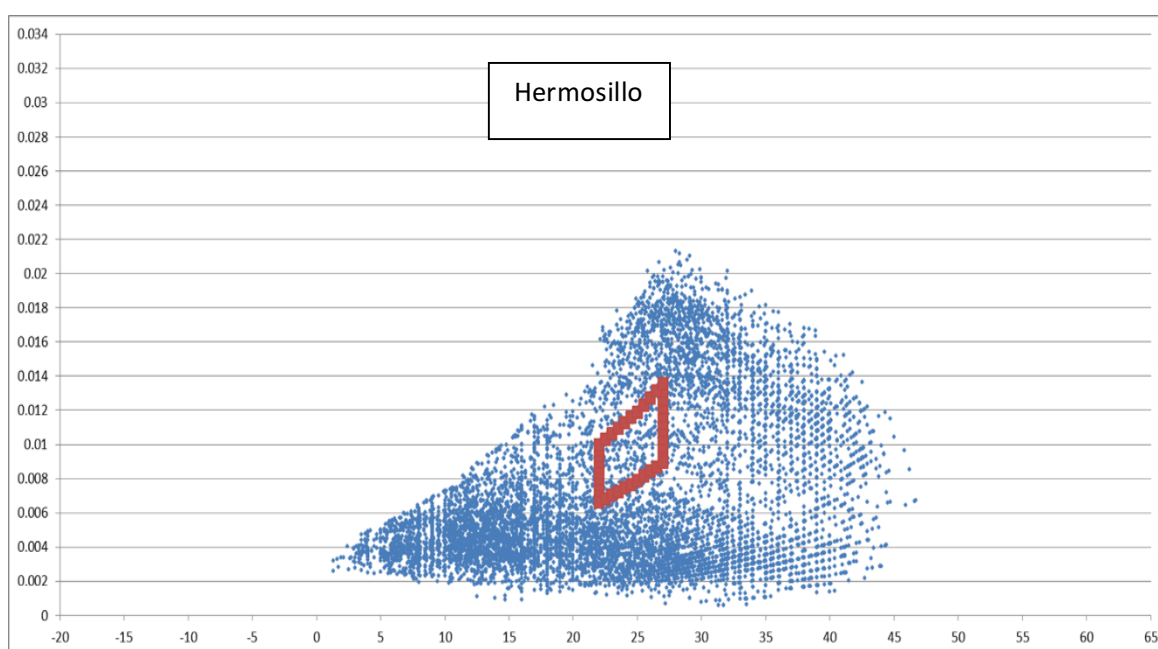


Figura N.- 31. Carta psicométrica Hermosillo

En la siguiente gráfica N.-32, podemos encontrar la carta psicométrica para la ciudad de Acapulco, donde es posible ver en el recuadro rojo la zona de confort humano y los puntos azules son los datos obtenidos del análisis matemático entre la temperatura de bulbo seco y la humedad específica. Acapulco es una ciudad que en muy pocas horas al año se logra tener confort y se puede clasificar como una ciudad con una temperatura caliente todo el año y en algunos meses se presenta calor intenso particularmente en el periodo de verano en los meses de junio y julio, y en relación a su humedad específica es alta durante todo el año.

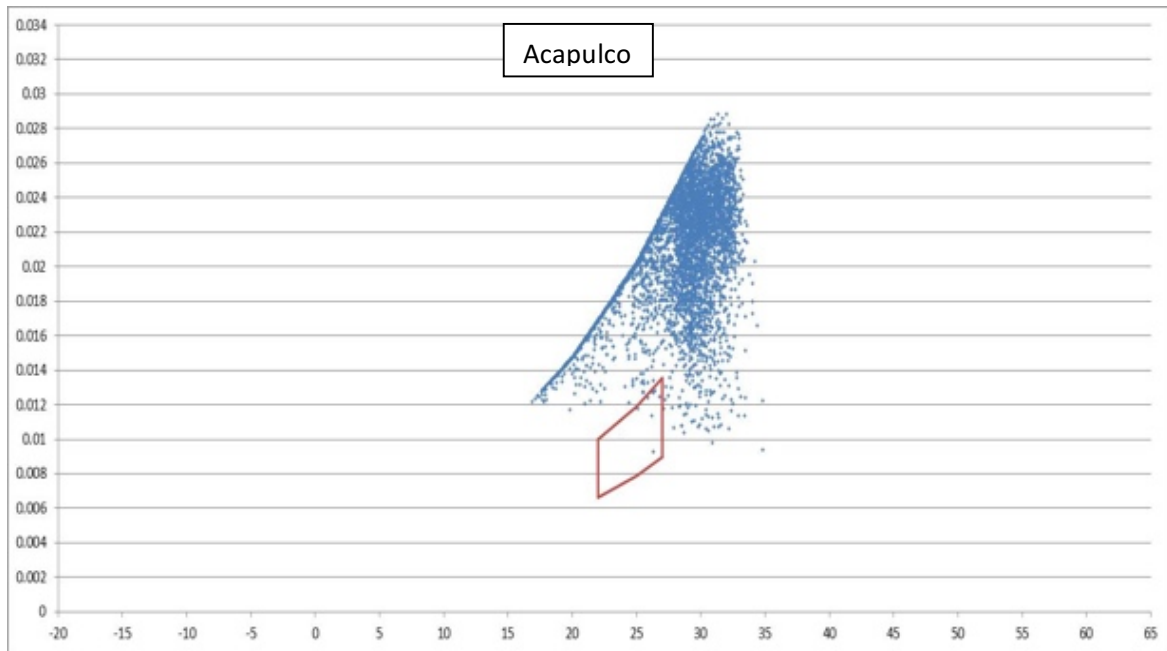


Figura N.- 32. Carta psicométrica Acapulco

En la siguiente gráfica N.-33, podemos encontrar la carta psicométrica para la ciudad de Chetumal, donde es posible ver en el recuadro rojo la zona de confort humano y los puntos azules son los datos obtenidos del análisis matemático entre la temperatura de bulbo seco y la humedad específica. Chetumal es una ciudad que en muy pocas horas al año se logra tener confort y se puede clasificar como una ciudad con una temperatura caliente todo el año y en algunos meses se presenta calor intenso particularmente en el periodo de verano, mientras que su humedad específica es alta durante todo el año.

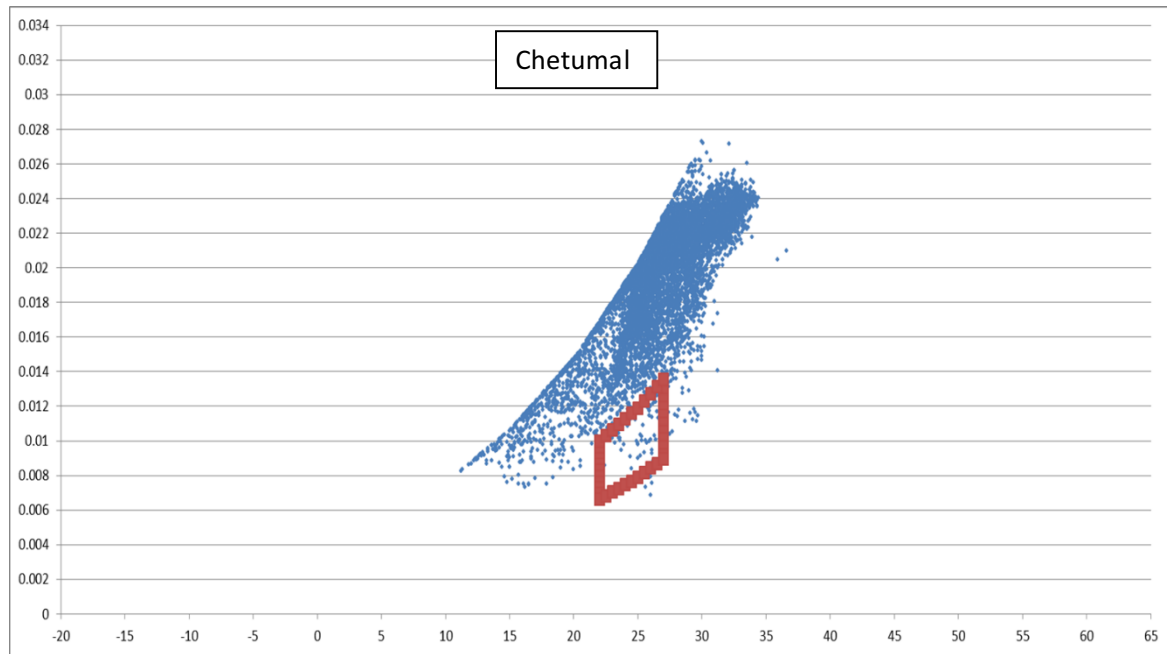


Figura N.- 33. Carta psicrométrica Chetumal

En la siguiente gráfica N.-34, podemos encontrar la carta psicrométrica para la ciudad de Cancún, es posible ver en el recuadro rojo la zona de confort humano y los puntos azules son los datos obtenidos del análisis matemático entre la temperatura de bulbo seco y la humedad específica. Cancún es una ciudad que en muy pocas horas al año se logra tener confort y se puede clasificar como una ciudad con una temperatura caliente todo el año y en algunos meses se presenta calor intenso particularmente en el periodo de verano, mientras que su humedad específica es alta durante todo el año.

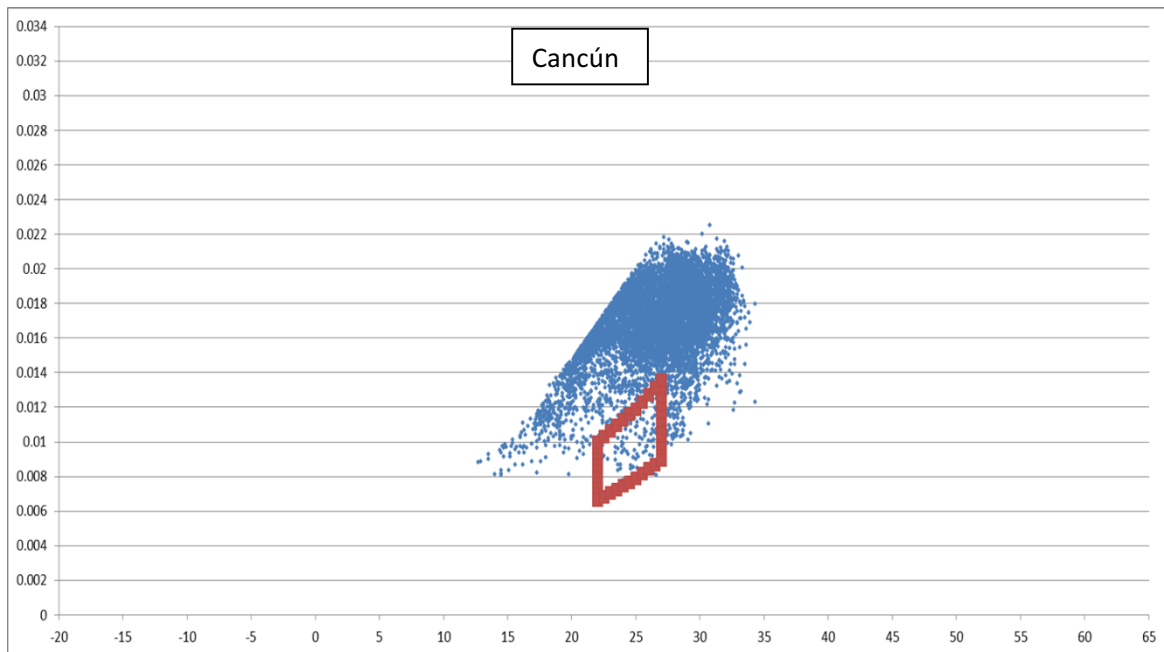


Figura N.- 34. Carta psicométrica Cancún

En la siguiente gráfica N.-35, podemos encontrar la carta psicométrica para la ciudad de Villahermosa, es posible ver en el recuadro rojo la zona de confort humano y los puntos azules son los datos obtenidos del análisis matemático entre la temperatura de bulbo seco y la humedad específica. Villahermosa es una ciudad que en muy pocas horas al año se logra tener confort humano y se puede clasificar como una ciudad con una temperatura caliente todo el año y en algunos meses se presenta calor intenso particularmente en el periodo de verano, y mientras que su humedad específica es alta durante todo el año.

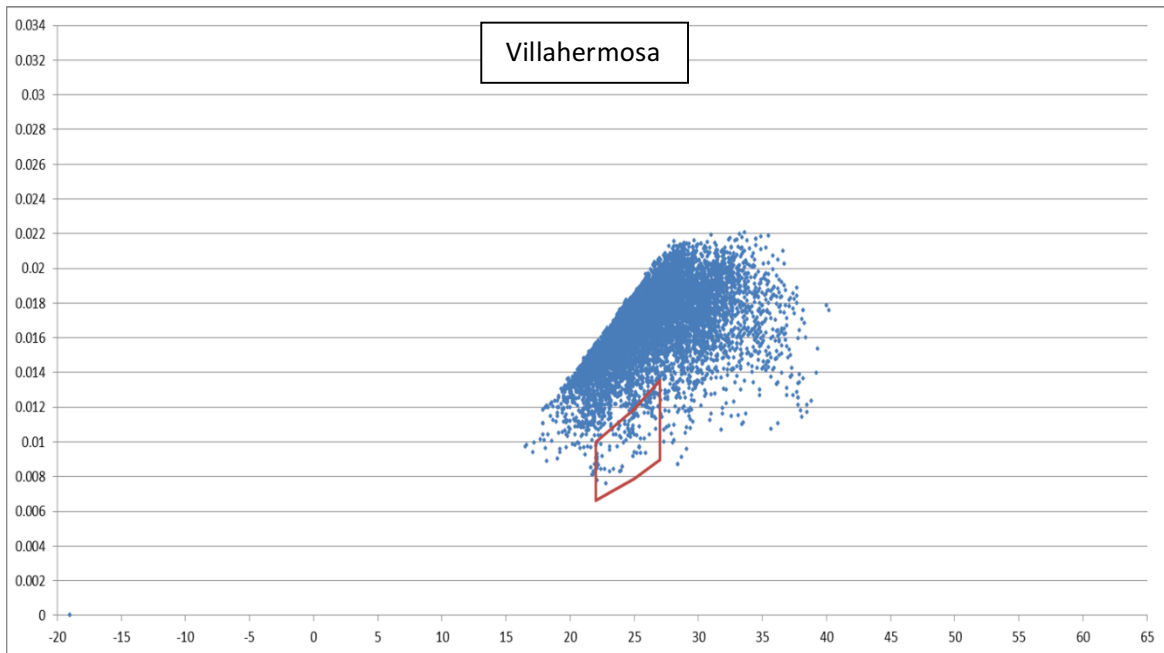


Figura N.- 35. Carta psicométrica Villahermosa

En la siguiente gráfica N.-36, podemos encontrar la carta psicométrica para la ciudad de Durango, donde es posible ver en el recuadro rojo la zona de confort humano y los puntos azules son los datos obtenidos del análisis matemático entre la temperatura de bulbo seco y la humedad específica. Durango es una ciudad que en tiene una mayor incidencia en su zona de confort al año y se puede clasificar como una ciudad con una temperatura fría en su mayoría de los meses y en relación a su humedad específica es baja durante todo el año.

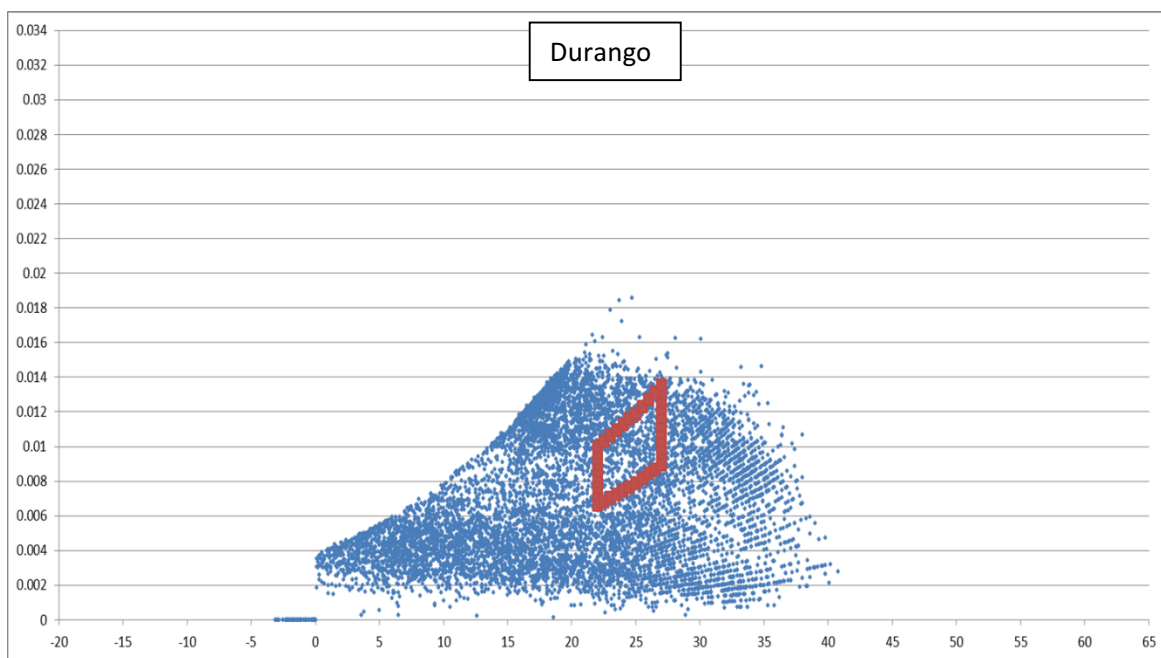


Figura N.- 36. Carta psicométrica Durango

11.4. Ganancias de calor en viviendas

Las ganancias de calor de una edificación o vivienda tienen una relación directa con las temperaturas ambientes que se presentan hora por hora. Mediante un análisis termo energético que incorpora la metodología Hora-Grado y aplicado a las viviendas de las ciudades estudiadas fue posible relacionar las ganancias de calor con los consumos de energía eléctrica. En la siguiente grafica N.-37, observamos las ganancias de calor de una vivienda en la ciudad de Mexicali de 40 m² de superficie climatizada, donde para este tipo de vivienda las mayores contribuciones fueron por la infiltración de aire.

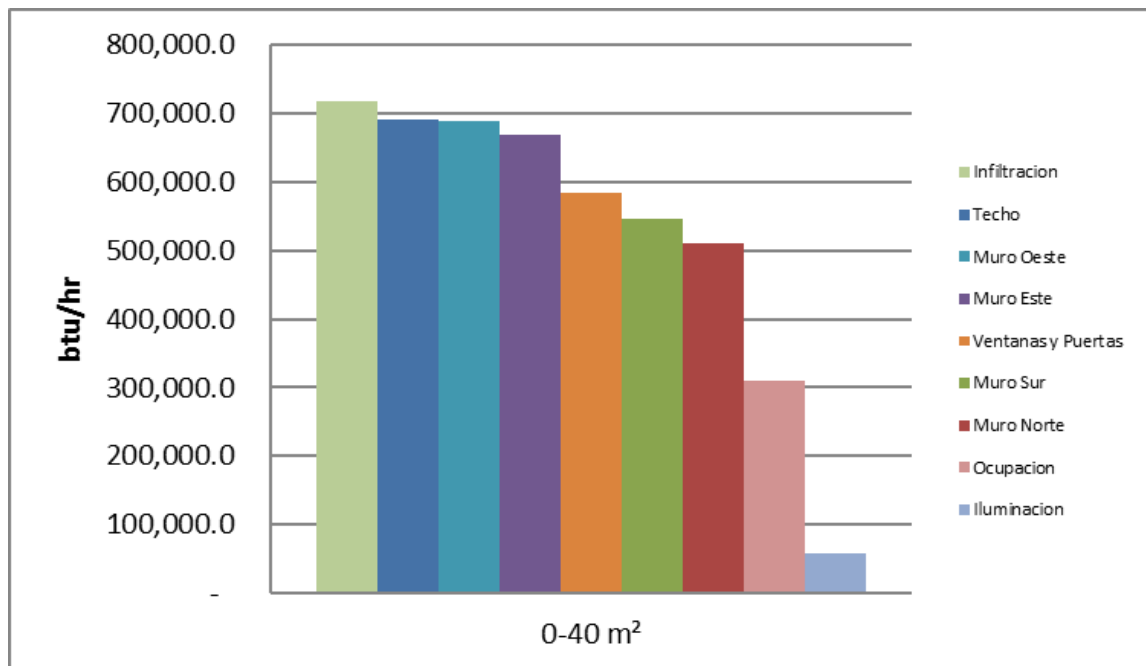


Figura N.- 37. Tasa de transferencia de calor 0-40 m²

En la siguiente gráfica N.-38, es posible apreciar las ganancias de calor de una vivienda en la ciudad de Mexicali, pero ahora entre los 40 a 80m², donde para este tipo de vivienda tiene las mayores contribuciones térmicas por el techo y los muros, esto es ocasionado por tener más área por donde existe transferencia de calor.

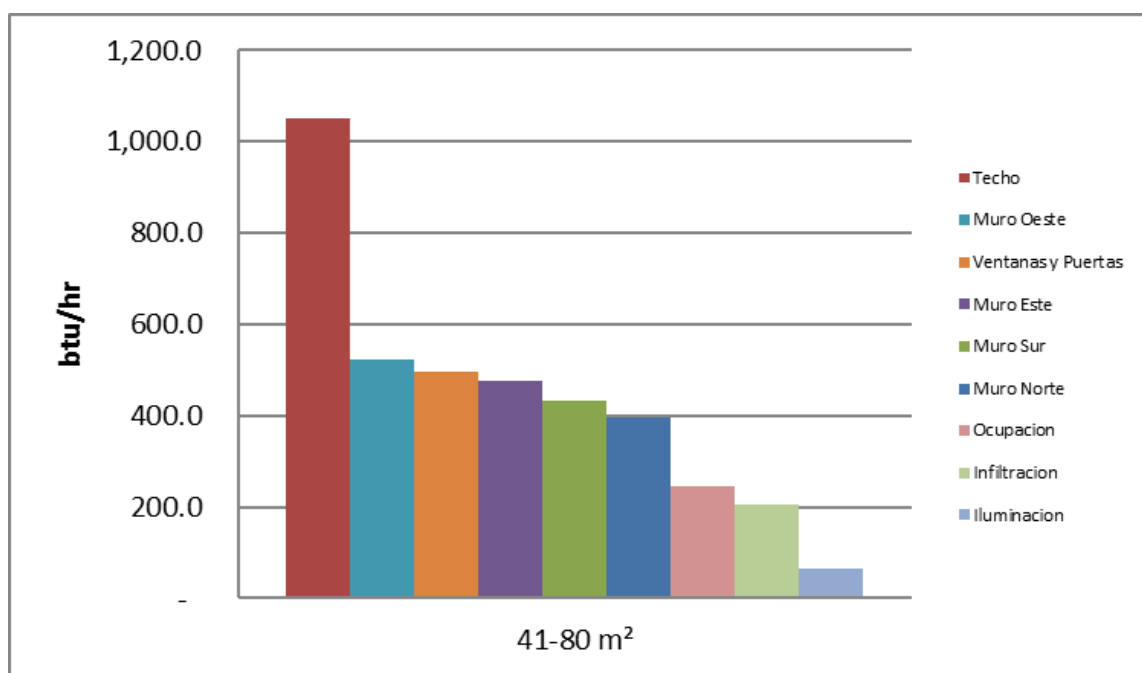


Figura N.- 38. Tasa de transferencia de calor 41-80 m²

En la siguiente gráfica N. – 39, es posible apreciar las ganancias de calor de una vivienda en la ciudad de Mexicali, pero ahora entre los 80 a 160m², donde para este tipo de vivienda tiene las mayores contribuciones térmicas por el techo, ventanas y los muros, esto es ocasionado por tener más área de transferencia de calor por techos, ventanas y muros. Dicho comportamiento es semejante al de las viviendas de entre los 40 a 80 m² de área climatizada.

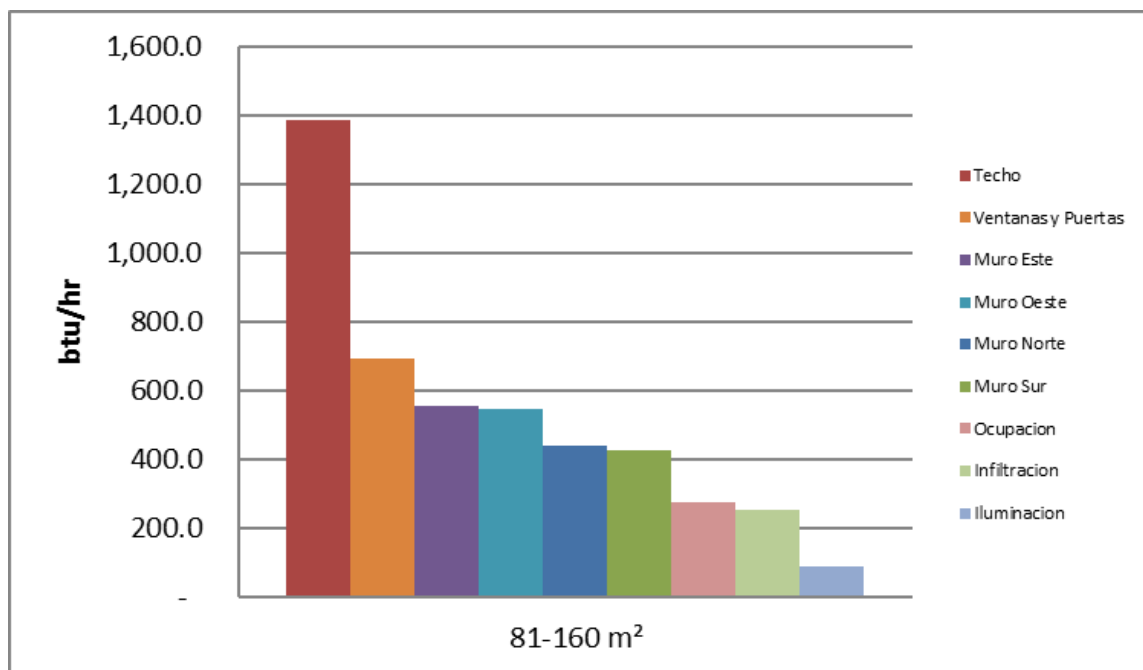


Figura N.- 39. Tasa de transferencia de calor 81-160 m²

En la siguiente gráfica N. – 40, es posible apreciar los consumos de energía eléctrica de las de una vivienda de 40, 80, 160, 300 m² de área climatizada en la ciudad de Mexicali, donde es posible ver que su mayor consumo de energía eléctrica sucede entre los meses de verano, adicionalmente se puede observar un comportamiento similar en relación a su temperatura de Horas-grado.

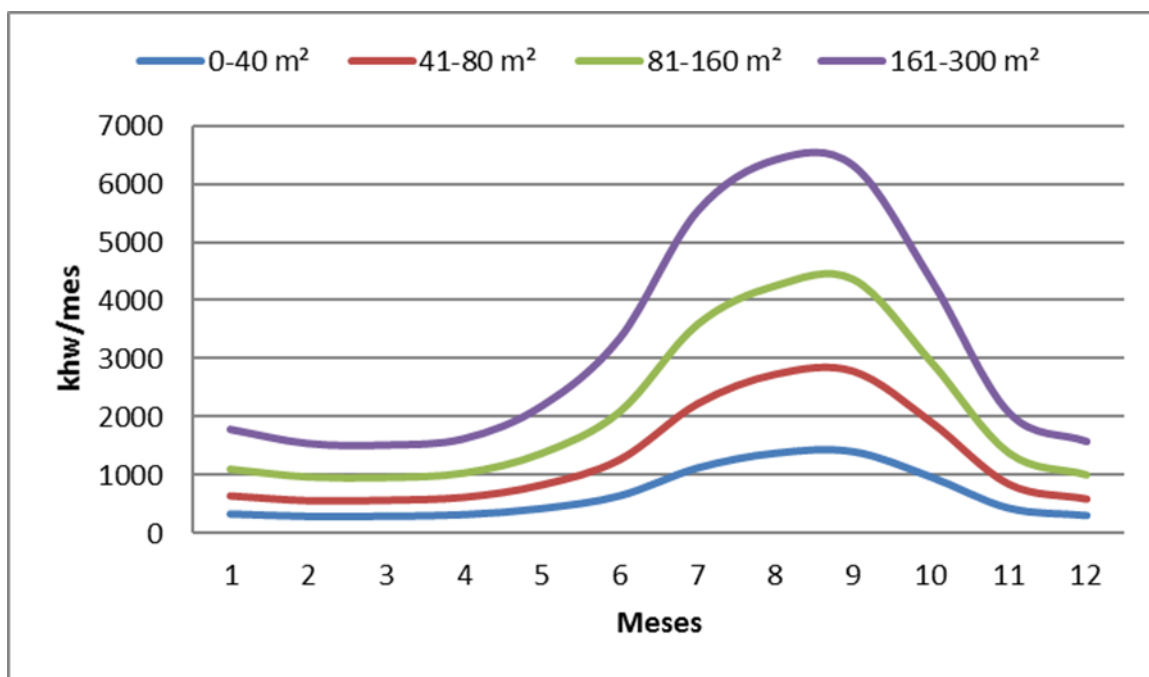


Figura N.- 40. Consumo de energía eléctrica de viviendas por m²

12. Conclusiones

El trabajo realizado presenta una metodología para procesar información climatológica para acciones de ahorro y uso eficiente de la energía a partir de la metodología de las Horas-grado, por ser un criterio realista para caracterizar climatológicamente una región a partir de valores de temperatura y su comportamiento horario. La metodología de horas grado es precisa para realizar estimaciones de capacidades para climatización de cualquier tipo de edificación sin importar el lugar donde se encuentre, otra de sus aplicaciones es la determinación de consumos de energía eléctrica a partir de relacionar el clima y la evolución de la temperatura horaria durante periodos de tiempo o por estaciones del clima que se presentan en las ciudades como el invierno y verano. En los estudios de caso realizados para la estimación térmica hemos encontrado el sobredimensionamiento de refrigeración en las viviendas de Mexicali, esto es ocasionado por la falta de información climática disponible para elaborar los cálculos térmicos, siendo la temperatura la variable más importante a la hora de determinar una capacidad de enfriamiento para una vivienda. Este trabajo aporta información de los sitios de México donde se registran las mayores y menores temperaturas durante todo el año, y es posible establecer clasificaciones de periodos de tiempo deseado como el invierno y el verano; lo anterior nos es posible descubrir una realidad térmica nacional ayudando a conocer la diversidad de climas y temperaturas de nuestro País. También nos indica la dirección para enfocar nuestros esfuerzos y proponer mejores alternativas para acciones de ahorro y uso eficiente de la energía.

El clima y la temperatura es un factor importante en los hábitos y usos en los consumos de energía eléctrica, por ser una variable de duración del tiempo, esta conclusión se establece por lo siguiente: no serán los mismos requerimientos energéticos para climatizar una vivienda ubicada en una localidad donde se registran temperaturas de hasta 40° Celsius con una duración de 2 horas; que otra vivienda ubicada en otra región donde se logra tener también los 40° Celsius, pero su duración es de 5 horas. Tanto para las dos situaciones con los métodos

tradicionales de estimaciones térmicas se realizarían empleando las máximas y mínimas temperaturas, sin embargo no se considera la duración de la temperatura máxima para todo el periodo de tiempo.

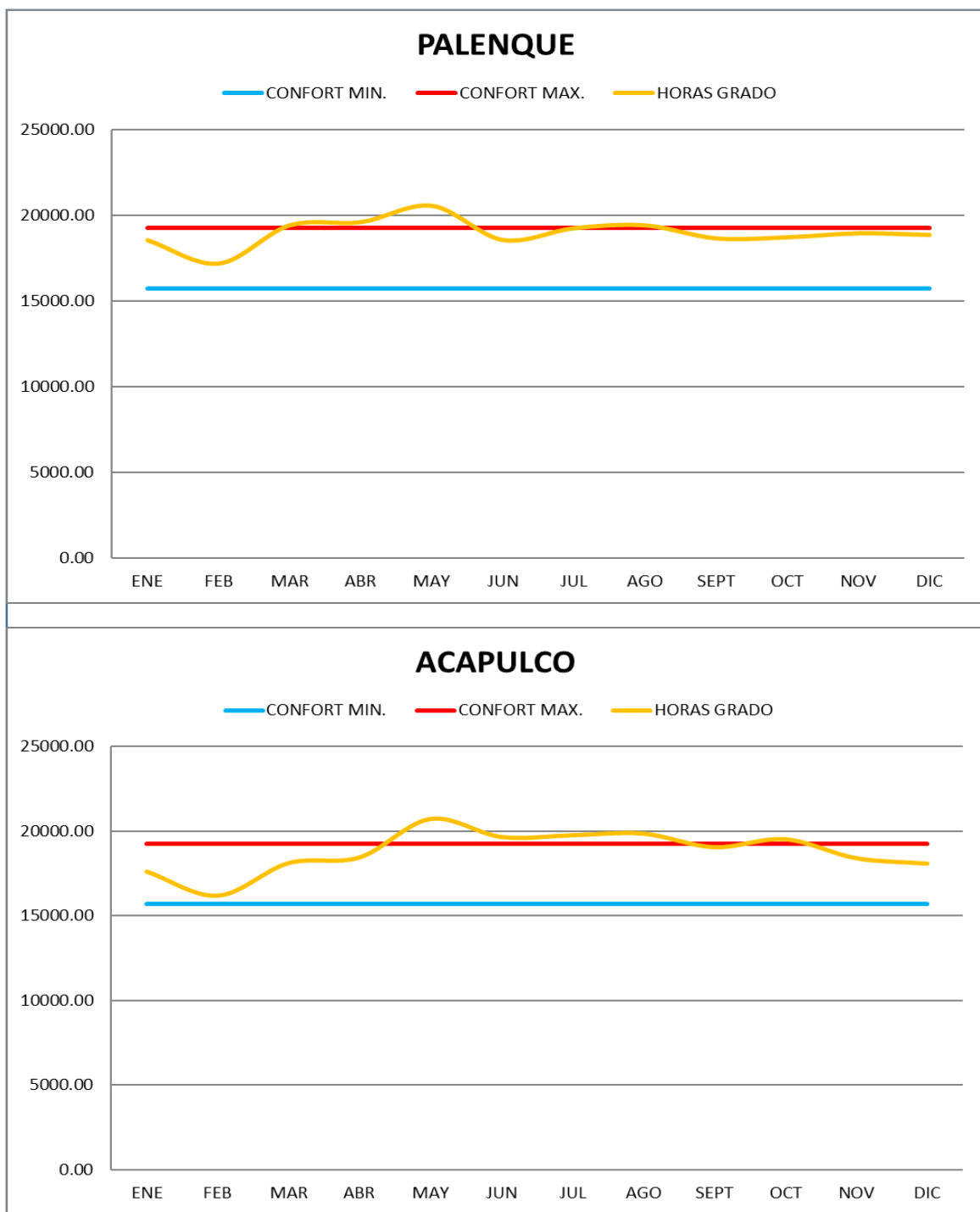
Por lo anterior existe una relación directa entre el clima, la temperatura y el consumo de energía eléctrica porque no es lo mismo una ciudad donde logra tener máximas de 40° y mínimas de 30° Celsius con duraciones de tres meses en un año; que otra ciudad donde registra las mismas temperaturas, pero su duración anual es de 6 meses. En las dos situaciones presentara requerimientos diferentes desde la capacidad de acondicionamiento ambiental en toneladas de refrigeración, en consumo y demanda eléctrica traducido en un mayor confort ambiental. Por lo que el método de horas grado determina de manera precisa los requerimientos de climatización y las creencias o mitos sobre ahorro y uso eficiente de la energía donde son validadas o corregidas mediante este criterio; puede modificar la forma de utilización de la energía mediante la demostración de posibles escenarios termo energéticos de las viviendas logrando causar un gran impacto social y económico en informar a los habitantes de la comunidad sobre utilización de la energía eléctrica a través de la simulación térmica por la metodología de Horas-grado.

Otro de los resultados obtenidos es proponer una nueva metodología para encontrar visualmente a través de la carta psicométrica las temperaturas de bulbo seco y la humedad especifica relacionado la zona de confort humano. Esta innovación propuesta no ha sido reportada en ningún estudio actualmente y sus mayores ventajas es poder apreciar y sensibilizarnos que tan caluroso o frío es un clima de una ciudad por mes o por estaciones del año. Las zonas de confort térmico de las ciudades se pueden encontrar de manera muy sencilla con la metodología de hora grado y es posible identificar lugares de confort ambiental. Otra de las ventajas de la metodología es identificar las ciudades con mayores temperaturas durante un periodo deseado sin importar el clima.

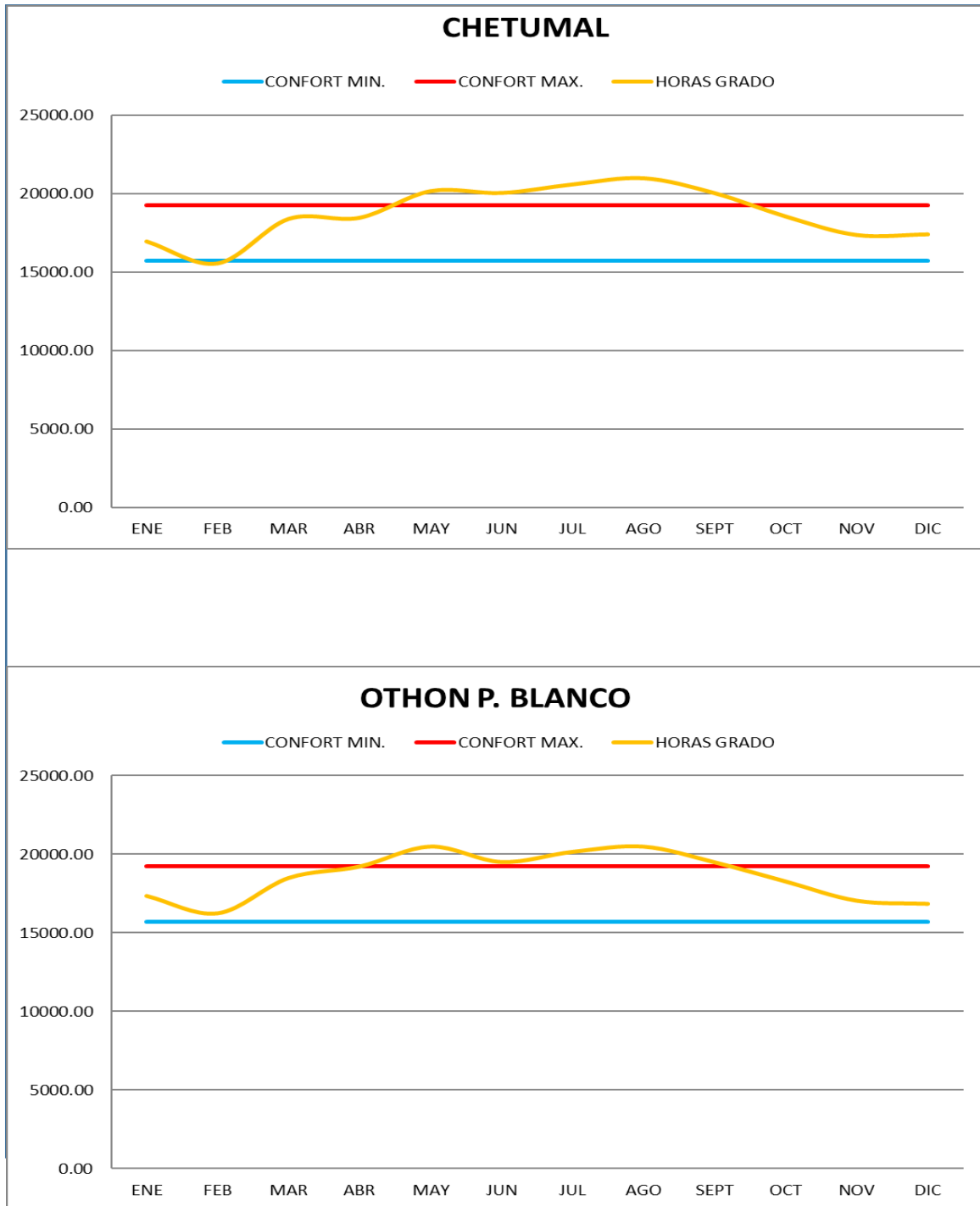
El concepto de Hora-Grado establece una nueva metodología de análisis que permite conocer a las regiones con temperaturas más elevadas y las que no los son por periodos de tiempo ya sea verano, invierno o todo el año. También se pretende

demostrar que algunas ciudades con los climas diferentes como los secos y cálidos tienen un comportamiento térmico similar en periodo del verano exclusivamente. Las Horas-grado también permite conocer las ganancias de calor en las viviendas por la variación de la temperatura durante el día y este parámetro es la base para conocer el consumo de energía eléctrica por climatización durante un periodo de tiempo deseado. A menor temperatura ambiente menor será el tiempo de funcionamiento de un equipo de climatización y en el caso contrario a mayor temperatura ambiente será mayor el tiempo de funcionamiento. Este comportamiento nos permitirá conocer los consumos de energía eléctrica reales y también permitirá agrupar ciudades con los mismos perfiles térmicos sin importar su clima. Para su utilización se requiere contar con una base informática de temperatura ambiente horaria de la localidad de interés. Esta información es útil en la obtención de un modelo para la temperatura ambiente que simplifica grandemente el cálculo de las Horas-grado y, al mismo tiempo, pronostica con confiabilidad el comportamiento horario de dicha temperatura para establecer escenarios en simulación térmica y evaluar diversas acciones de ahorro de energía.

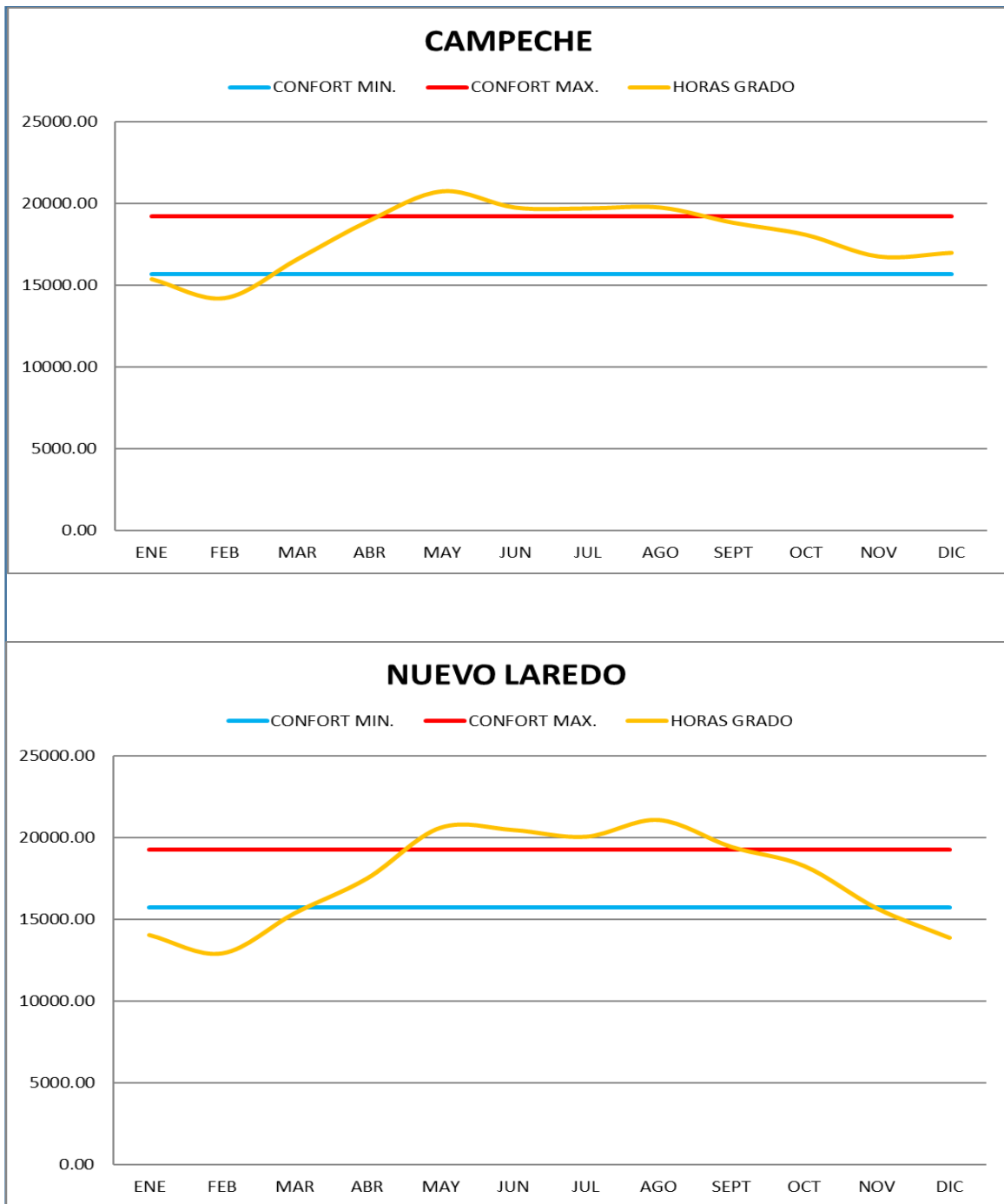
13. Anexos



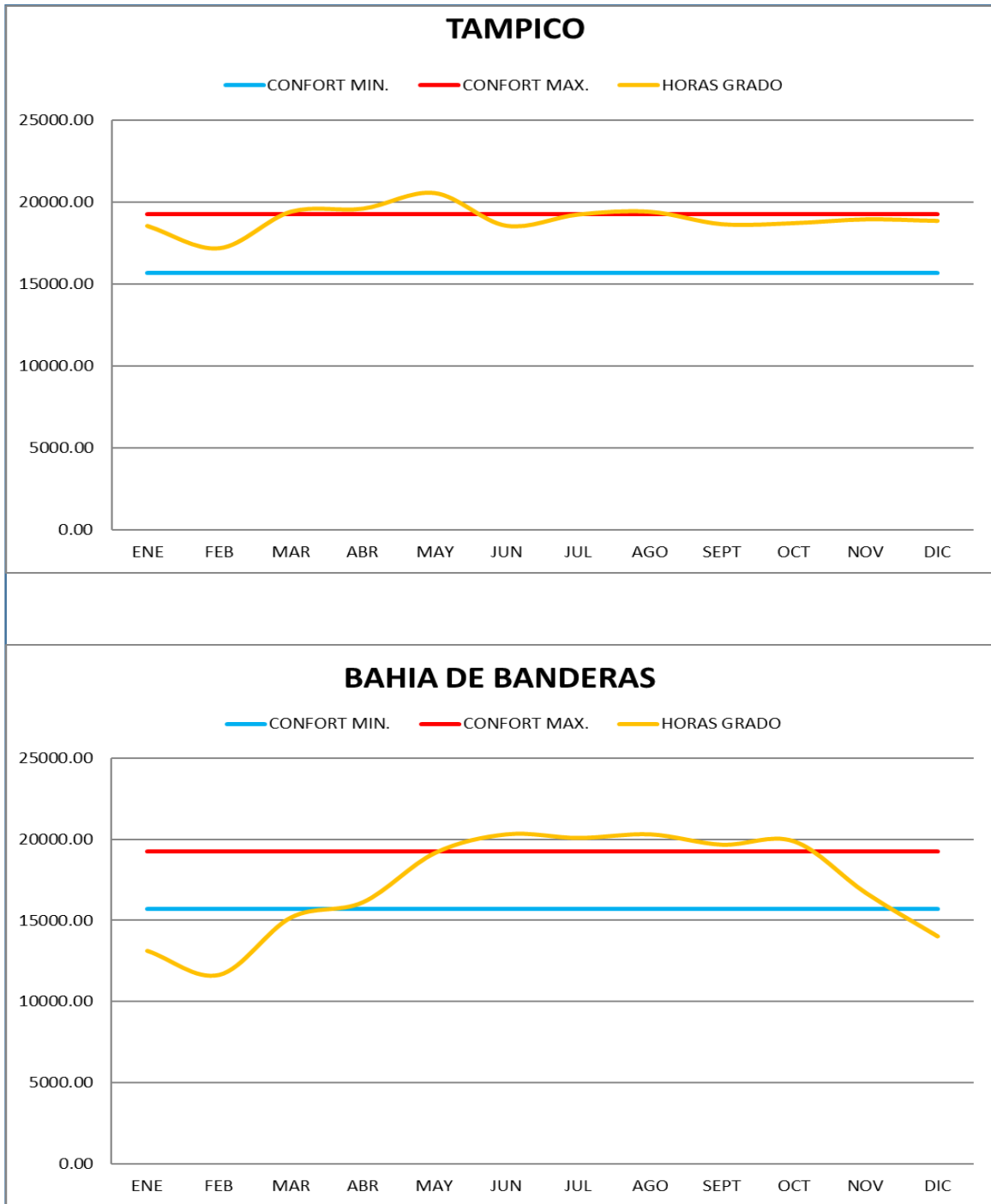
Anexo 1. horas-grado de Palenque y Acapulco



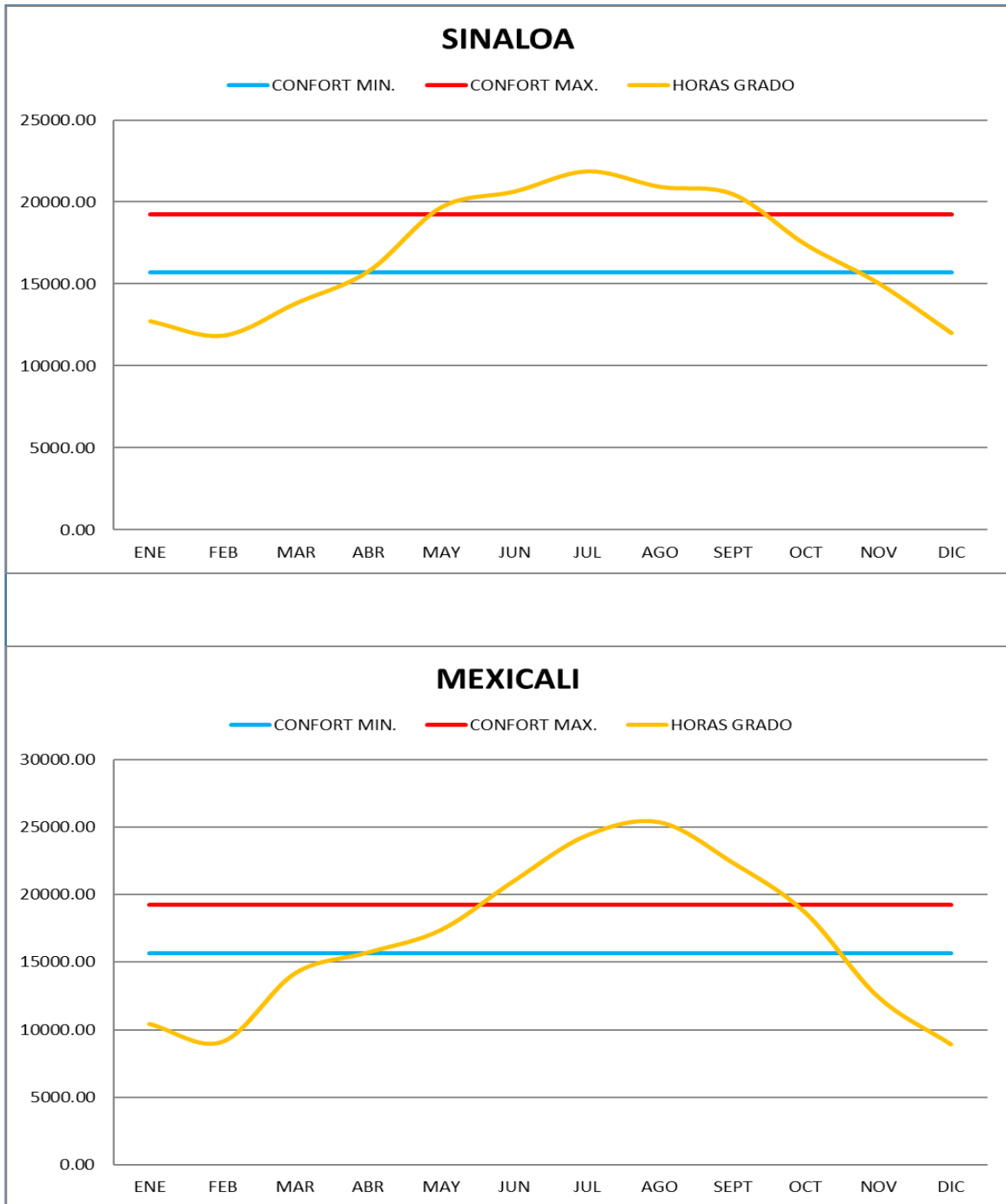
Anexo 2. horas-grado Chetumal, Othon P. Blanco.



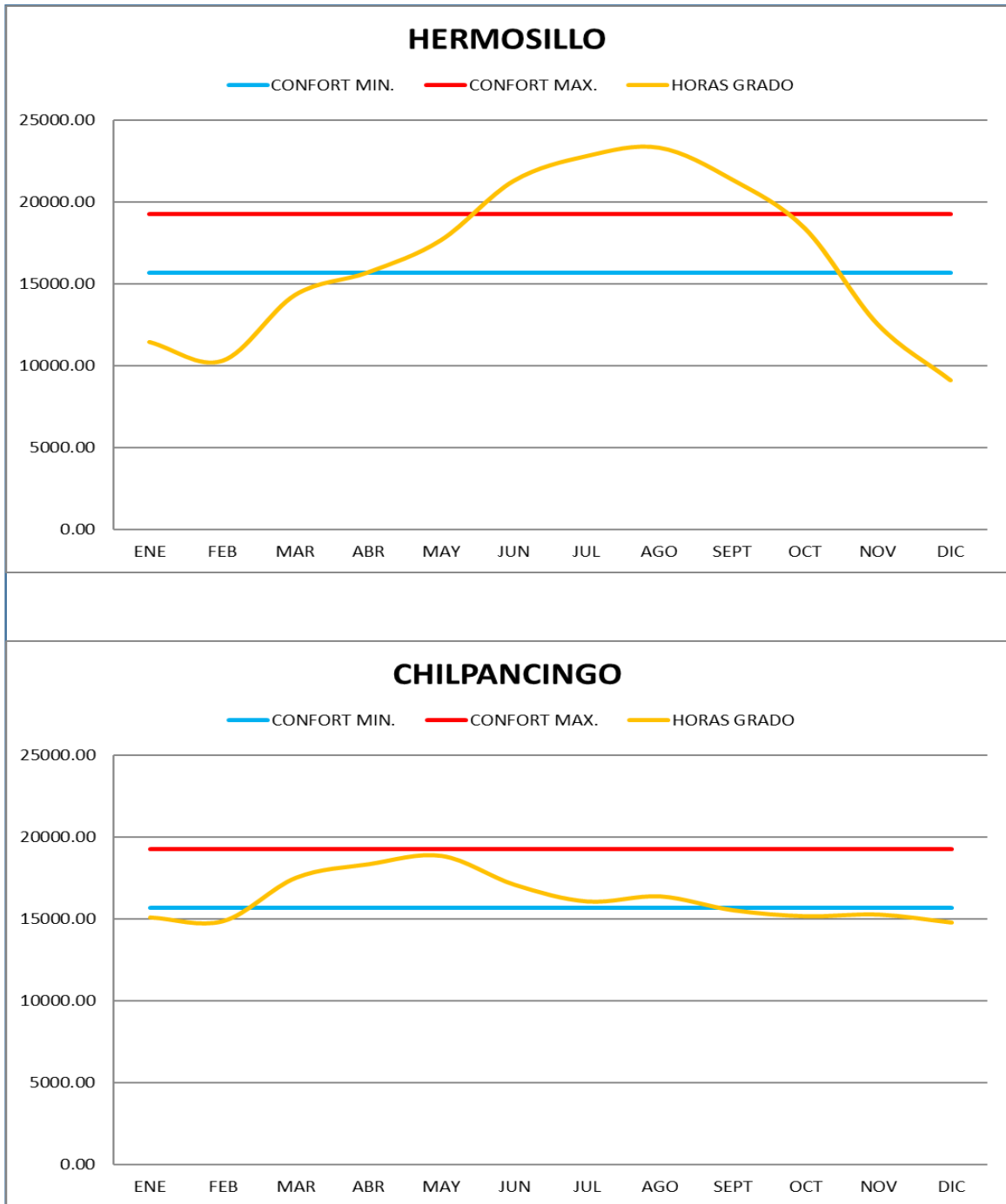
Anexo 3. horas-grado Campeche, Nuevo Laredo



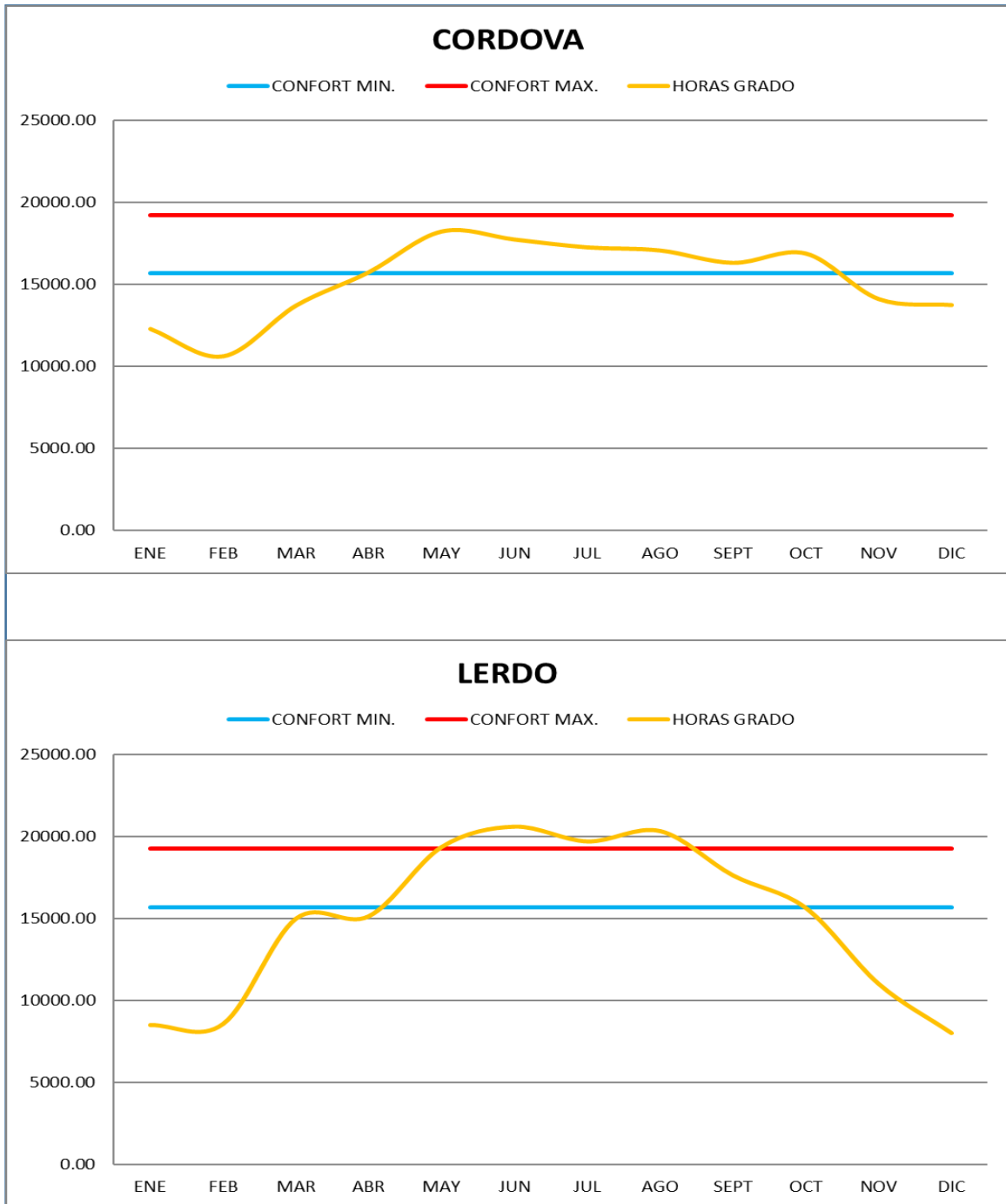
Anexo 4. horas-grado Tampico, Bahía de Banderas



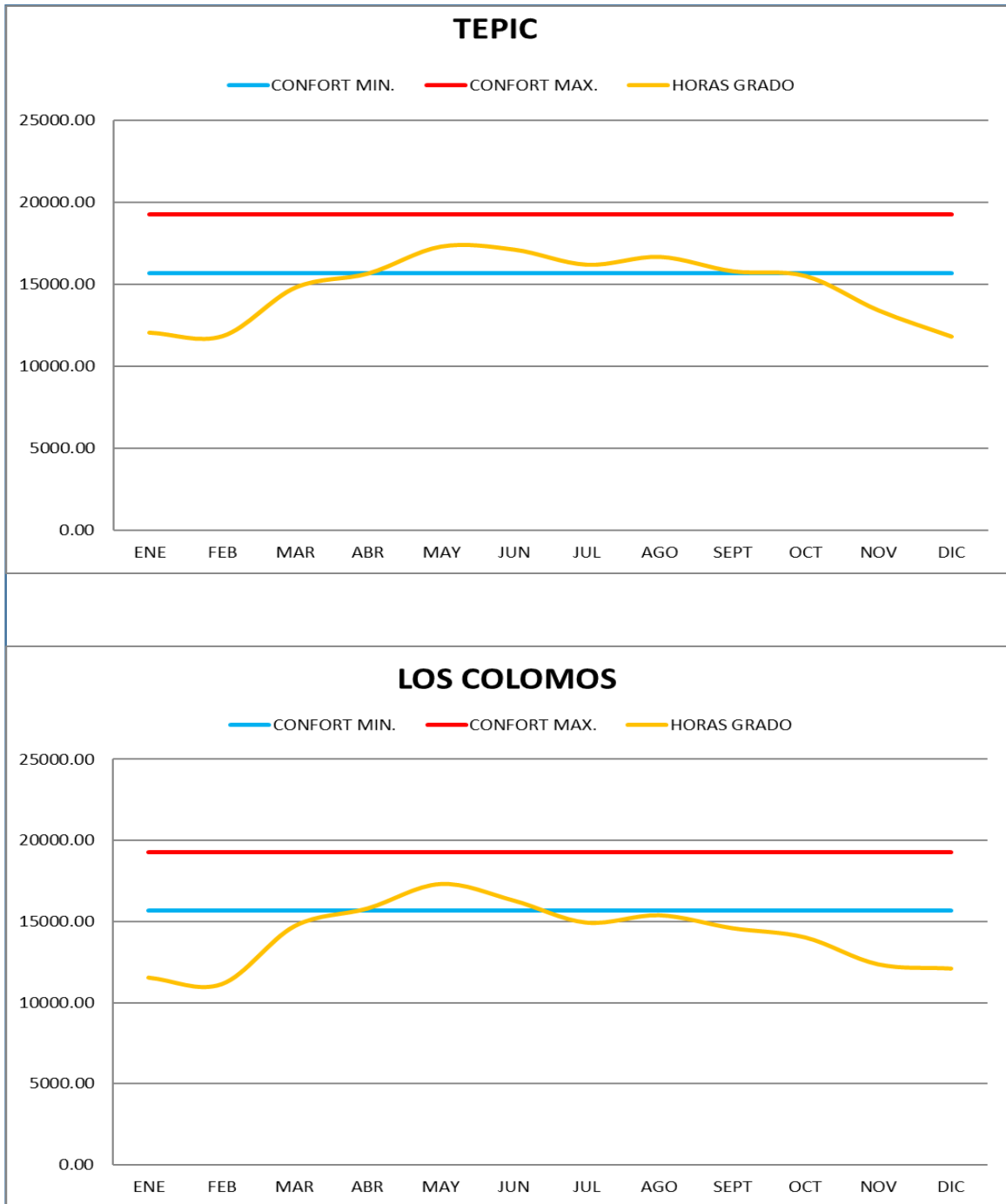
Anexo 5. horas-grado Sinaloa, Mexicali



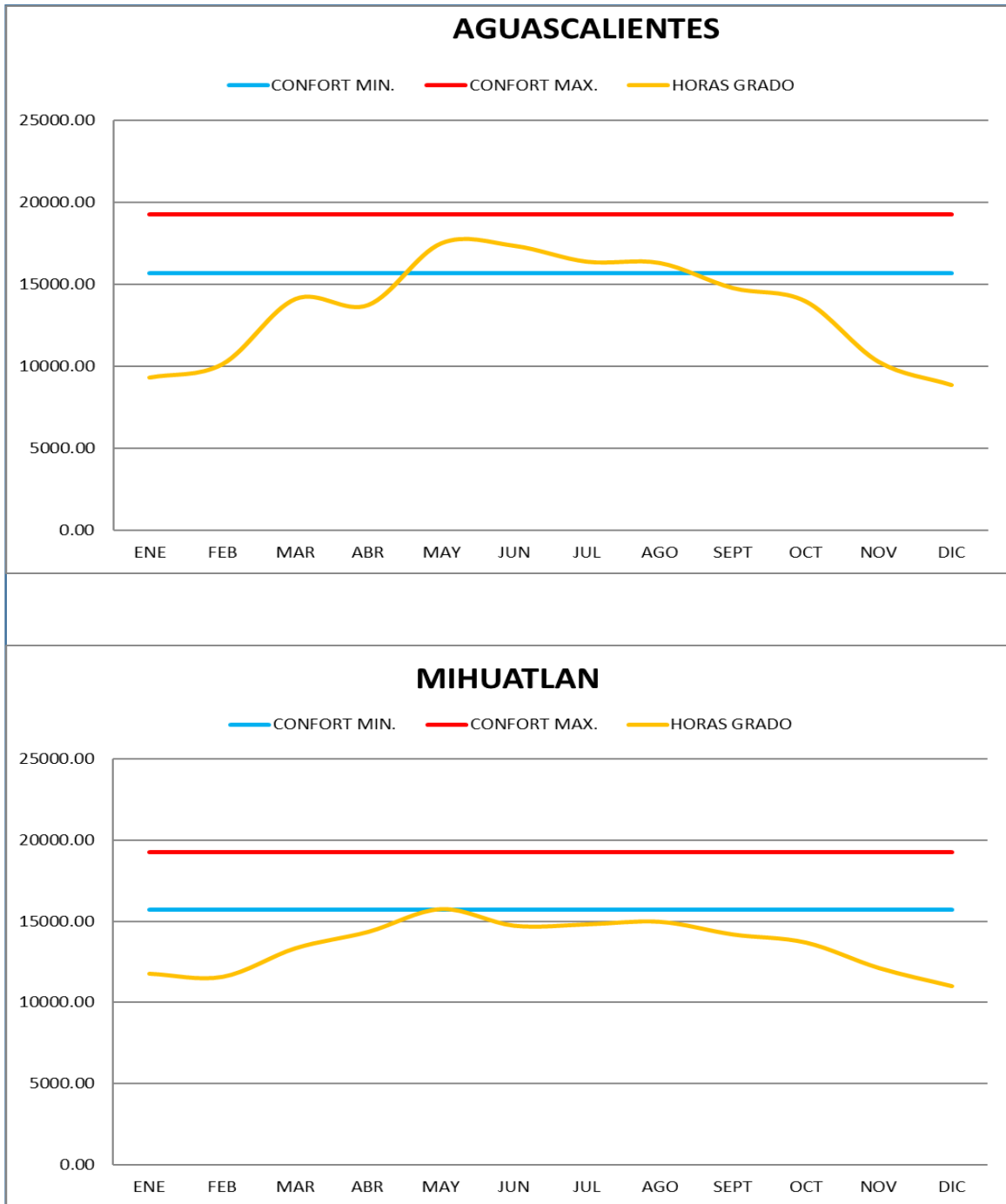
Anexo 6. horas-grado Hermosillo, Chilpancingo



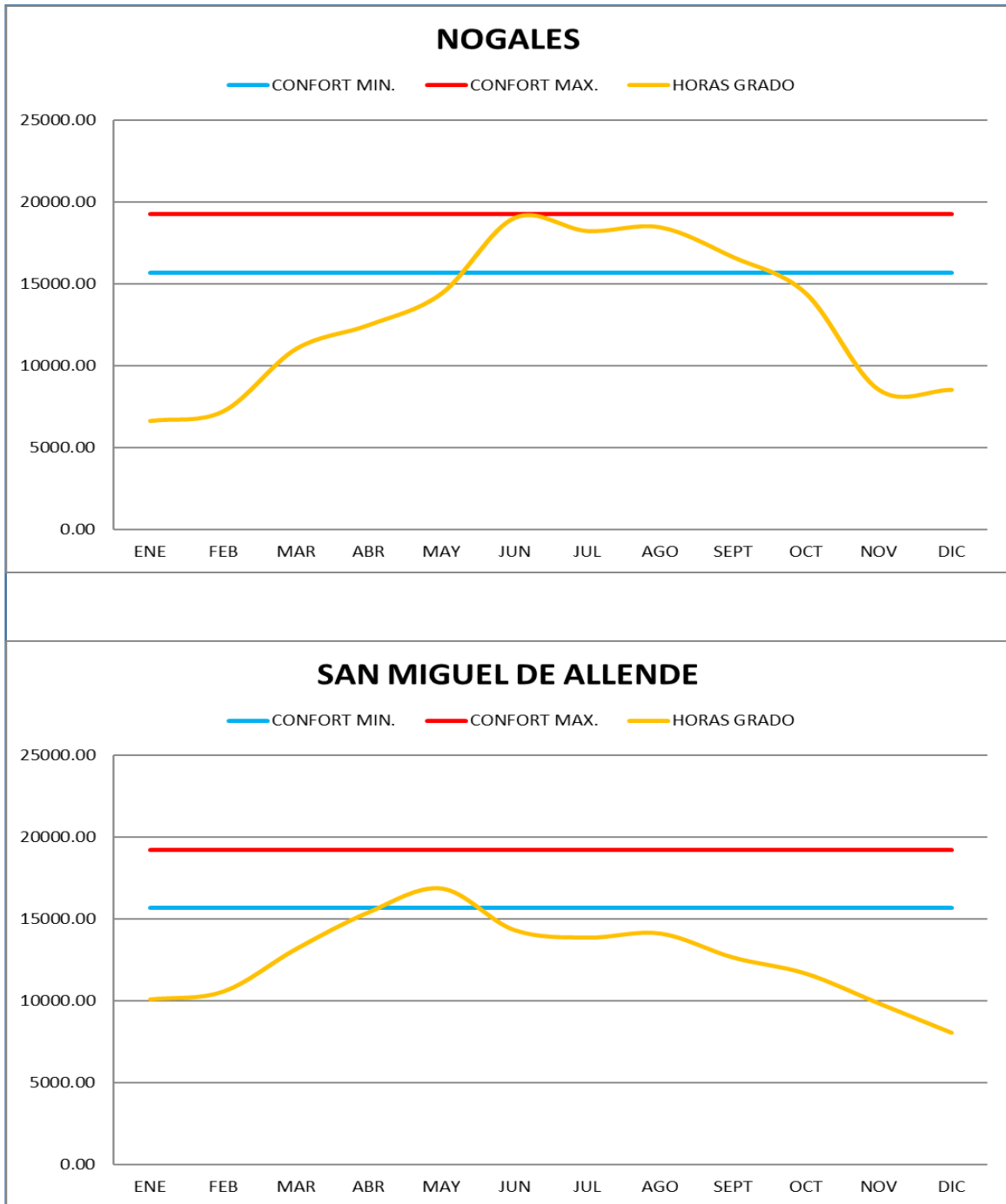
Anexo 7. horas-grado Cordova, Lerdo



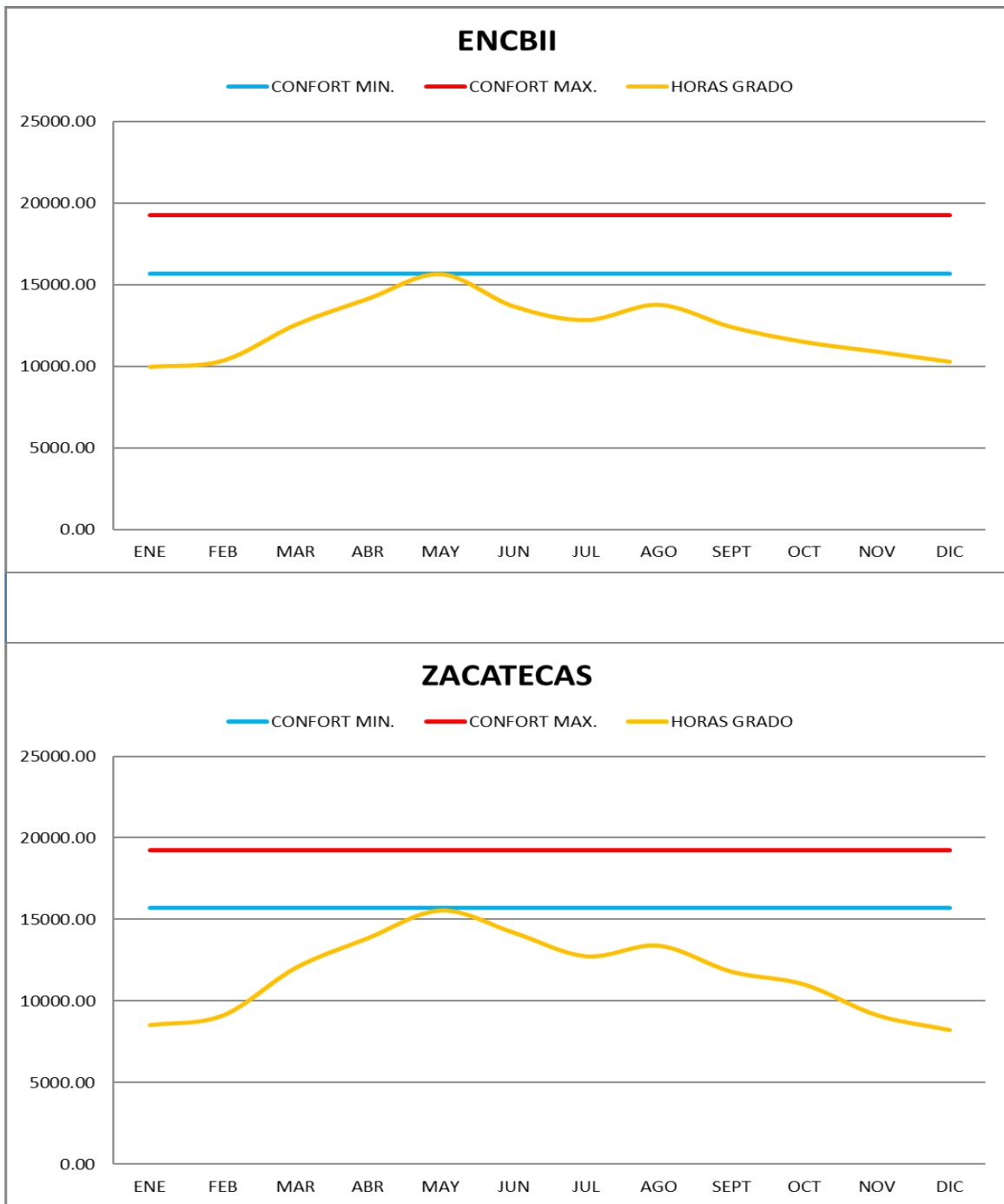
Anexo 8. horas-grado Tepic, Los Colomos



Anexo 9. horas-grado Aguas Calientes, Mihuatlán



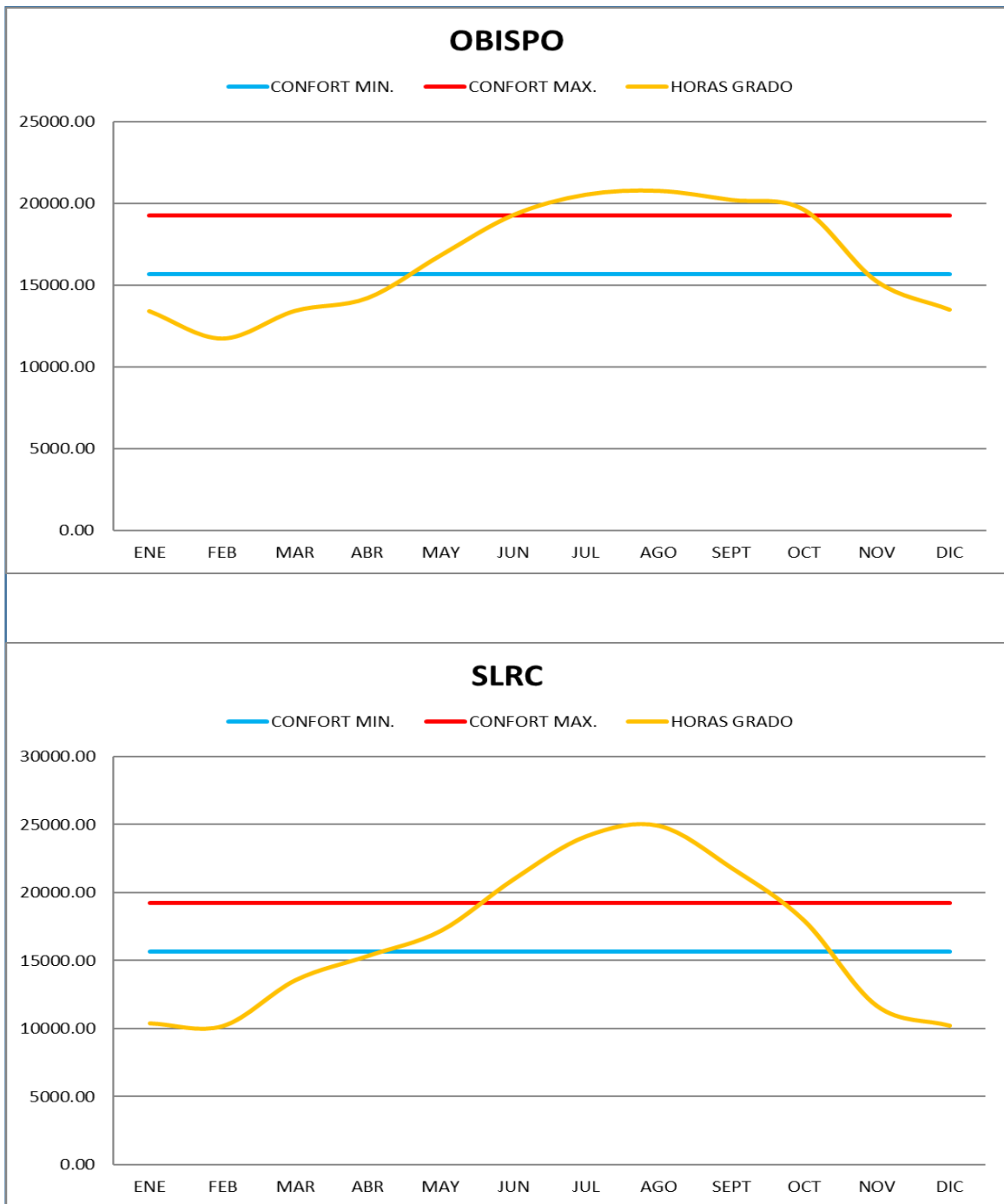
Anexo 10. horas-grado Nogales, San Miguel de Allende



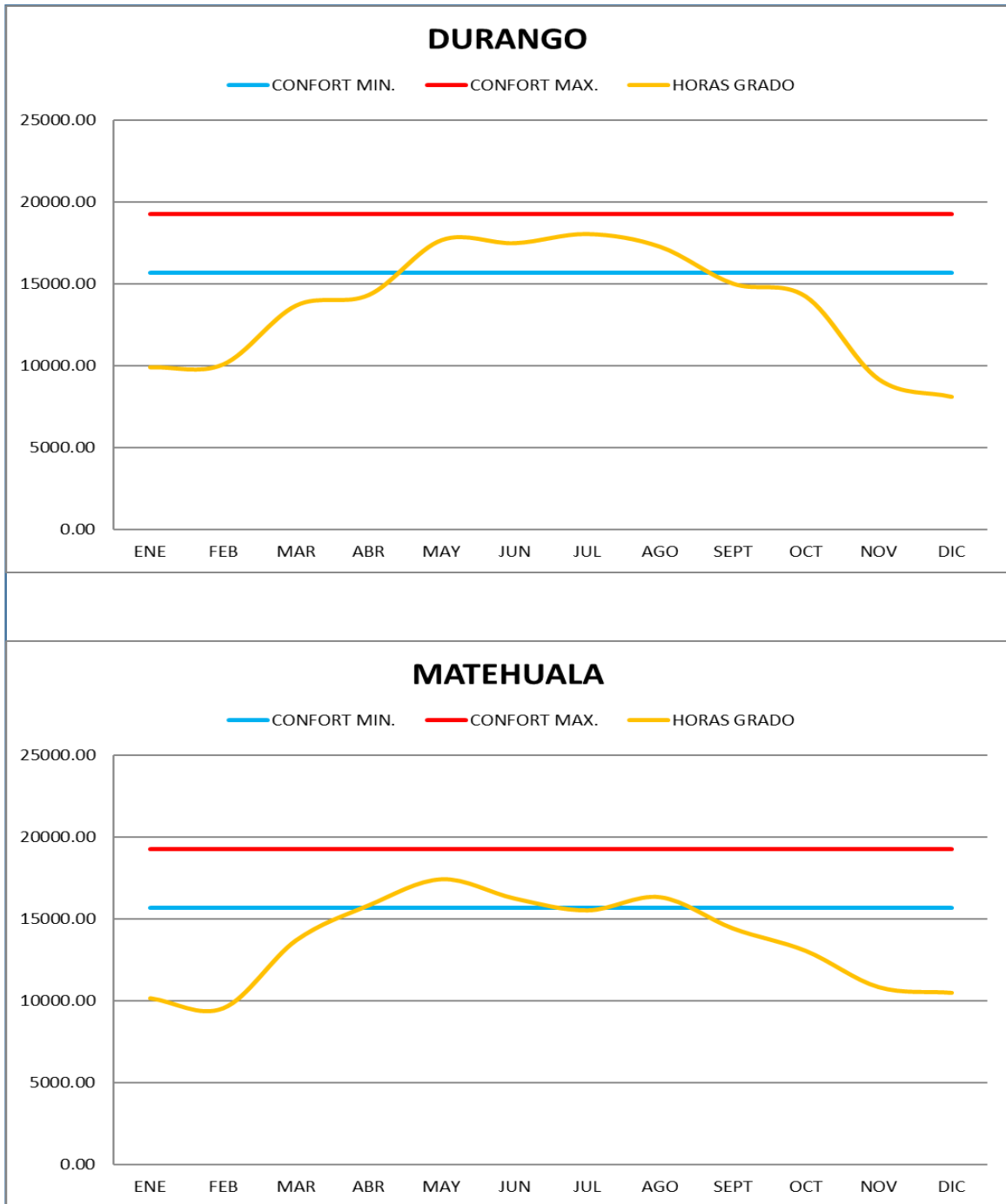
Anexo 11. horas-grado ENCBI, Zacatecas



Anexo 12. horas-grado Tabasco, Mérida



Anexo 13. horas-grado Obispo, San Luis Rio Colorado



Anexo 14. horas-grado Durango, Matehuala

14. Bibliografía

- Carlos Pérez Tello, H. E. (Enero - Marzo de 2004). Horas-grado, un criterio realista para caracterizar climatológicamente una región con propósitos de uso eficiente. *Ecosolar*, 7(Número 7. Enero - Marzo de 2004).
- Catherine Wolfram, O. S. (2012). How Will Energy Demand Develop in the Developing World? *Journal of Economic Perspectives*, 119-138.
- Comision Nacional del agua, S. M. (2014). *Reporte del clima en Mexico 2014*. Mexico D.F.
- Comisión Federal de Electricidad . (27 de 1 de 2017). CFE. Obtenido de http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_casa.asp
- Comisión Nacional del uso eficiente de la energía. (s.f.). (Fecha de actualización de información: 10/05/13 12:00:26 Autor: Carlos Eduardo Lang) Recuperado el 15 de Mayo de 2013, de CONUEE: http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/espacio_aparatos
- CONAGUA. (22 de 01 de 2015). *Terminología*. Obtenido de <http://www.conagua.gob.mx/spr/glosario.html>
- CRE. (2007). *Recomendaciones de Política de Tarifas Eléctricas*. Ciudad de México.
- Adalberto Tejeda Martínez, I. R. (2005). *El concepto de Temperatura Efectiva aplicado a las tarifas eléctricas domésticas en el oriente de México*. UNAM.
- Bernard Aebischer, M. J. (2007). Impact of climate change on thermal comfort, heating and cooling energy demand in Europe. *ECEEE* , 859-870.
- Daniel Coakley, P. R. (2014). A review of methods to match building energy simulation models to measured data. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 123-141.
- David Albouy, W. G. (2016). Climate Amenities, Climate Change, and American Quality of Life. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 205-246.
- Degree Days*. (25 de Febrero de 2015). Obtenido de <http://www.degreedays.net/api/>
- (2012). *Diario Oficial de la Federación* .
- Donald H. Rosenthal, H. K. (1995). Effects of Global Warming on Energy Use for Space Heating and Cooling in the United States. *International Association for Energy Economics*, 77-96.
- Dossat, R. J. (1994). *Principios de refrigeracion*. Mexico: Compañía Editorial Continental SA de CV.

- Emilio Hernández, G. M. (2014). Influences of the relative humidity in the monthly invoicing in constructions of warm climates using the hour-degree methodology. *Energy Procedia* , 2052-2061.
- Energía, S. d. (25 de Abril de 2001). NORMA Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001, Eficiencia energética en edificaciones.- Envoltante de edificios no residenciales. Mexico, Distrito Federal, Estados Unidos Mexicanos: Diario Oficial de la Federación.
- Energía, S. d. (9 de Agosto de 2011). NORMA Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones.- Envoltante de edificios para uso habitacional. Mexico, D.F., Estados Unidos Mexicanos: Diario Oficial de la Federación.
- ETO, J. H. (1988). On Using Degree-days to Account for the Effects of. *Energy and Buildings*, 113-127.
- González, S. C. (Abril-Junio de 2004). Carga térmica en las cámaras de clima controlado que utilizan la energía solar. *Ecosolar*.
- Hernández Goribar, E. (1999). *Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración*. Limusa.
- Magaña Almaguer, H. D., Pérez Tello, C., Campbell Ramírez, H., Suástegui Macías, J. A., & Barrios Nuñez, A. (2013). El clima y su impacto en el consumo de energía eléctrica en las viviendas de México. *Ecodiseño y Sostenibilidad*, 66.
- Magaña Almaguer, H. D., Pérez Tello, C., Campbell Ramírez, H., Suástegui Macías, A., & Barrios Nuñez, A. (5 de 2013). El clima y su impacto en el consumo de energía eléctrica en las viviendas de México. *Ecodiseño y sostenibilidad*, 66-73.
- Mahabir Bhandari, S. S. (2012). Evaluation of weather datasets for building energy simulation. *Energy and Buildings*, 109-118.
- Mansur, M. A. (2014). Measuring Climatic Impacts on Energy Consumption: A Review of the Empirical Literature.
- Mohammad Royapoor, T. R. (2015). Building model calibration using energy and environmental data. *Energy and Buildings*, 109-120.
- Nuria Garrido-Soriano, M. R.-C.-d. (2012). Potential energy savings and economic impact of residential buildings under national and regional efficiency scenarios. A Catalan case study. *Energy and Buildings*, 119-125.
- Oktay Z., C. C. (2011). A new approach for predicting cooling degree-hours and energy requirements in buildings. *Energy*, 4855-4863.
- P. Eguía, E. , (2016). Weather data sets generated using kriging techniques to calibrate building thermal simulations with TRNSYS. *Journal of Building Engineering*, 78-91.

- Robert K. Kaufmann, S. G. (2013). Revisiting the weather effect on energy consumption: Implications for the impact of climate change. *Eneegy policy*, 1377-1384.
- The Impact of Temperature Changes on Residential Energy Consumption. (2010). *Kiel Institute for Worl Economy*.
- Torriti, J. (2014). A review of time use models of residential electricity demand. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 265-272.
- U.S. Department of Energy. (2008). *Climate Change Impacts on Residential and Commercial Loads in the Western U.S. Grid*.
- Young-Jin Kim, C.-S. P. (2016). Stepwise deterministic and stochastic calibration of an energysimulation model for an existing building. *Energy and Buildings*, 455-468.
- Yunes A. Cengel, M. A. (s.f.). *Termodinamica* (Septima ed.). Mc.Graw Hill.