



# ***cenidet***

**Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico  
Departamento de Ingeniería Mecánica**

## **TESIS DE MAESTRÍA EN CIENCIAS**

**Evaluación de las Variables Climáticas y Estudio Comparativo de las Metodologías de los Grados-Día y TRNSYS para Evaluar la Demanda de Energía en el Estado de Morelos**

Presentada por

**Miguel Ángel Gijón Rivera**

Ing. Mecánico por el I. T. de Querétaro

Como requisito para la obtención del grado de:  
**Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica**

**Director de tesis:**

Dra. Gabriela del Socorro Álvarez García

**Jurado:**

Dra. Yvonne Chávez Chena - Presidente

Dra. Sara Lilia Moya Acosta - Secretario

M.C. José Manuel Morales Rosas – Vocal

Dra. Gabriela del Socorro Álvarez García – Vocal Suplente

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

# CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se define el problema a resolver en esta investigación, la revisión bibliográfica, el objetivo y el alcance. La ubicación del problema se refiere a la motivación del proyecto, los antecedentes en el consumo de energía, el panorama nacional e internacional y la normalización existente. La revisión bibliográfica se enfoca a tres distintos temas relacionados con la investigación: Estudios de grados-día para evaluar la demanda de energía, estudios de simulaciones energéticas de edificaciones y estudios sobre diseño bioclimático de edificaciones.

## **1.1 Ubicación del Problema**

La ubicación del problema se describe por la formulación de la motivación para la realización de esta tesis y además por los antecedentes presentados en el tema.

### **1.1.1 Motivación**

Generalmente, las condiciones que requiere el ser humano en un determinado espacio en las edificaciones tienen que ver con el ambiente acústico, el ambiente lumínico, la calidad del

aire interior y el ambiente térmico. Este último es determinante en el confort del espacio, por lo que este trabajo se centra en el ambiente térmico. El acondicionamiento térmico de viviendas tiene un impacto muy importante en las economías familiares, ya que se ha detectado que en México existe un crecimiento del consumo de energía, en particular en las regiones de clima cálido seco tales como algunas regiones del Estado de Morelos. Este impacto se extiende al sector energético, donde ese crecimiento presiona a nuevas inversiones y al uso de combustibles fósiles no renovables con su consecuente impacto ambiental. Mundialmente, la energía requerida para calentamiento o enfriamiento es aproximadamente el 6.7% (Goulding et al., 1993), del total de la energía consumida en el mundo. Se ha visto que en países con clima cálido, las necesidades de enfriamiento pueden crecer hasta dos o tres veces por arriba de las de calentamiento en base anual (Goulding et al., 1993). Sin embargo, se ha estimado que con un diseño apropiado de edificaciones se puede ahorrar al menos el 2.35% de la energía consumida en el mundo para calentamiento y enfriamiento. La utilización de principios básicos de transferencia de calor, acoplados al clima local, y la explotación de las propiedades físicas de los materiales de construcción, pueden hacer posible el control de las condiciones de confort en el interior de las edificaciones (Athienitis et al., 2002).

Cuando en un espacio se requiere una temperatura interior determinada (temperatura de confort) y existen factores que tiendan a perturbar dicho estado, es necesario suministrar o extraer calor que permita restaurar las condiciones requeridas. A esta cantidad de calor se le denomina carga térmica. Cuantificar las variables térmico-ambientales de la vivienda es fundamental. La carga térmica de un edificio depende del clima, de su envolvente y de sus condiciones operacionales y funcionales. Debido a que el clima y las condiciones operacionales y funcionales no son uniformes, la carga térmica es función del tiempo, a esta evolución en el tiempo se le llama la curva de carga. La demanda energética es la integral temporal de la curva de cargas en un periodo determinado. La evaluación de la carga térmica y la demanda energética de un edificio requiere una cuantificación de los diferentes mecanismos de transferencia de calor que ocurren en el mismo (CIEMAT, 2002).



Con el objetivo de definir estrategias para la planeación de viviendas confortables y energéticamente eficientes, en este trabajo se proporcionará información con vías a evaluar la demanda energética y se sentarán las bases para una futura calificación energética de viviendas en Estado de Morelos. La calificación energética mide la calidad térmica de un edificio y esta controlada en términos de su consumo anual de energía para refrigeración, calefacción y producción de agua caliente sanitaria. La elaboración de toda calificación energética determina la calidad de la vivienda y se fundamenta en: Caracterizar la influencia de la capa envolvente sobre la demanda energética de la vivienda y establecer criterios de evaluación mediante la definición de un marco de comparación. El resultado de la comparación determina la calidad del edificio (IDAE, 1999).

### **1.1.2 Antecedentes**

Los antecedentes presentados a continuación, incluyen una pequeña reseña histórica de los cambios en la demanda de energía a lo largo de la historia, así como su interrelación con el hombre. Además se describen también los antecedentes de la normatividad energética.

#### **1.1.2.1 El hombre y la Energía**

Desde la revolución agrícola, que comenzó hace unos 10,000 años, se produjeron grandes cambios en las actividades humanas, como el desarrollo del comercio, de las comunicaciones y del transporte. Estos avances tecnológicos fueron acompañados por un crecimiento de la población que, a su vez, implicaba la necesidad de una mayor producción de alimentos para abastecer los requerimientos nutricionales de los habitantes. Sin embargo, los cambios tecnológicos ocurridos no fueron tan significativos como para asegurar una cantidad suficientemente segura de alimentos y energía para el hombre.

Hasta que en el siglo XVIII se inicia en Inglaterra un nuevo proceso de cambio, la Revolución Industrial, que trajo innovaciones tecnológicas importantes, desde la máquina de vapor hasta métodos de producción masiva, que dieron impulso a la actividad económica, y le permitieron al hombre ampliar el aprovechamiento de la energía y materiales que podía producir. Fue así como descubrió que podía aprovechar la energía almacenada en los restos de

seres vivos acumulados en el interior de la corteza terrestre desde hace millones de años, es decir los combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas natural), lo que constituyó un factor determinante para el desarrollo industrial. A fines de la Segunda Guerra Mundial (1945), con el incremento de la población, la extensión de la producción industrial y el uso masivo de tecnologías, comenzó a aumentar la preocupación por el agotamiento de las reservas de petróleo que se había convertido en la principal fuente de energía y se creía inagotable. Una fuente energética importante desarrollada por entonces fue la energía nuclear, que condujo a su explotación en las centrales nucleoelectricas. Para la década del 60 era creciente la preocupación por el deterioro del ambiente debido al uso excesivo y sin control de los recursos naturales. A partir de entonces se impulsó el desarrollo de tecnologías que permitieran el aprovechamiento de energías "alternativas" basadas en el uso de recursos naturales renovables como, por ejemplo, la energía eólica y solar para obtener electricidad, las que, además, se consideran ecológicamente menos perjudiciales que la quema de combustibles fósiles.

El hombre actual, que puede ser denominado hombre tecnológico, emplea un gran número de fuentes energéticas. De todas formas, la mayor parte de la energía que se utiliza actualmente en el mundo aún proviene de los combustibles fósiles. La realidad del crecimiento demográfico actual y el consumo excesivo de bienes materiales y energéticos requieren adoptar conductas de cambio tendientes al uso racional de los recursos no renovables y a incrementar el aprovechamiento de los recursos renovables. De esta forma se podrán satisfacer los requerimientos actuales de la humanidad sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. Los recursos renovables proporcionan cada año alrededor del 10 por ciento de la energía mundial. Estas fuentes de energía alternativas se consideran "limpias" debido al bajo, o nulo, grado de contaminación que ocasionan cuando se utilizan en forma controlada (Esquerria, 1992).

### **1.1.2.2 Normatividad en los energéticos**

En la antigüedad se registraron algunos casos en los que la constante demanda de energéticos causó la regulación de su consumo. En el siglo VI a.C., los atenienses tenían prohibido el uso de leña de olivo para la producción de carbón, en la isla de Kion se

establecieron impuestos y en Delos se propusieron importantes restricciones a la venta; todo esto debido a la escasez de la madera que era la fuente principal de calentamiento en los hogares de la antigua Grecia. Los romanos llegaron al punto de tener que importar madera a precios muy elevados, principalmente para calentamiento de hogares y actividades industriales. Por ese motivo tuvieron que retomar y mejorar técnicas de energía solar que ya habían sido utilizadas por los griegos, fueron ellos los primero en establecer leyes del derecho solar y como orientar los edificios. Varios siglos después se comenzó a utilizar carbón como combustible, tanto para calentamiento doméstico, como para máquinas de vapor. Es hasta mediados del siglo XIX cuando se emplea por primera vez el petróleo para la conversión de calor en energía mecánica y eléctrica. Una vez que la revolución industrial fue impactando más al sector productivo y residencial, esto trajo un excesivo consumo de energía para producir condiciones de confort en espacios cuyas limitaciones en diseño y materiales así lo requerían (Rodríguez, 2001).

Hoy en día se acepta universalmente que los combustibles fósiles son finitos y que solo es cuestión de tiempo antes de que las reservas de petróleo queden materialmente agotadas. En fechas recientes, se ha reconocido que la imperiosa necesidad de encontrar fuentes alternas de energía, además de optimizar las que ya existen, con el fin de hacerlas accesibles económicamente. Por otra parte, también los cambios climáticos alteran el consumo de energéticos y el uso de combustibles no alternativos provoca emisiones de contaminantes muy altas que han sido tratadas y legisladas mundialmente con tratados como el famoso tratado de Kyoto.

### **1.1.3 Panorama Internacional de Sector Energético**

Dentro del panorama internacional de la energía se presentan las políticas internacionales sobre eficiencia energética y sus estadísticas internacionales.

### **1.1.3.1 Políticas Internacionales sobre Eficiencia Energética**

En los últimos años, la preocupación mundial por la investigación e implementación de tecnologías que fomenten el uso eficiente de la energía, ha surgido principalmente en países desarrollados, donde se han creado organizaciones como la IEA (Agencia Internacional de Energía), que desarrolla diversas políticas y medidas de fomento para el uso eficiente de energía. Además, la mayoría de los países miembros han adoptado medidas para la reducción de emisiones de “gases invernadero”. Las principales actividades consisten en la elaboración de normas, auditorias, información, campañas, incentivos económicos, etc. Un sector hacia donde apuntan los programas de uso eficiente de energía es el sector residencial y comercial, el cual adopta códigos y normas para la construcción de edificaciones. Francia por ejemplo fortalece sus normas térmicas para los nuevos edificios residenciales y comerciales con el objetivo de mejorar la eficiencia del uso de la energía en un 25% (Rodríguez, 2001).

### **1.1.3.2 Estadísticas Internacionales sobre el Sector Energético**

La dirección general de energía y transportes de la comisión europea señala que en Europa las personas pasan el 90% del tiempo dentro de los edificios y la energía que se consume en ellos representa el 40% del consumo global de la unión europea (fig. 1.1), más que la industria y el transporte. Sin embargo, utilizando medidas simples en conjunto con nuevas tecnologías, se puede economizar hasta un 20% de la energía del conjunto de la unión europea y así mejorar al mismo tiempo el confort de los edificios. Con este fin la comunidad europea ha creado una nueva directiva en materia de rendimiento energético que vigila e incentiva a todos los miembros a regirse por las normas establecidas para reducir el consumo de energías no renovables y tener menos emisiones de gases invernadero (DGET, 2005).

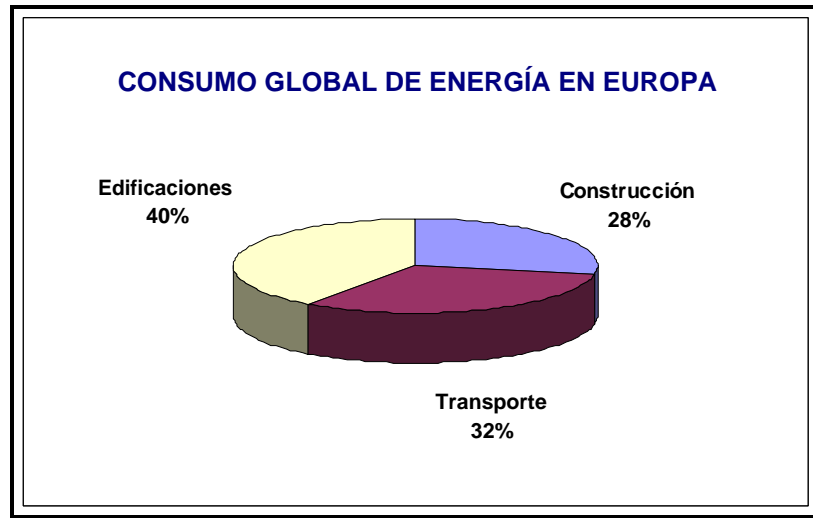


Fig. 1.1 Consumo global de energía en la comunidad europea (fuente DGET, 2005)

Por otro lado, las proyecciones de naciones unidas indican que la población actual pasará de los actuales 6 mil millones a 7.4 mil millones en el 2020; y el porcentaje de población de los países en vías de desarrollo sobre el total mundial pasará del 77% actual al 81%. Por otra parte, un tercio de la población del mundo no tiene acceso a la energía eléctrica, porcentaje que se ha mantenido constante en los últimos 30 años. Aunque muchas soluciones han sido propuestas, no se han implementado (banco mundial 1996). La producción de todas las fuentes energéticas tendrá un aumento significativo; el consumo mundial de energía pasará de los 6,000 Mtep anuales de consumo actual a más de 10,000 Mtep para el año 2025 (fig.1.2). La proporción demandada de energía global correspondiente al mundo en desarrollo será cada vez mayor, y menor la de los países desarrollados. El uso de electricidad crecerá en América Latina entre 3.7% y 4.1%, hasta el 2020, pasando de 638 TWh de consumo a 1,500 TWh. Las energías renovables por su parte tendrán también un crecimiento importante, como se ve en la figura 1.3. Latinoamérica está en estas proyecciones, entre los de menor crecimiento esperado en el uso de energías alternativas (IEA, 2006).

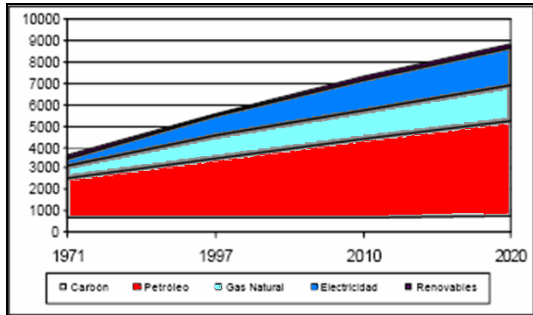


Fig. 1.2 Crecimiento del consumo mundial de energía entre 1970 y 2000 en Mtep (Millones de toneladas equivalentes de petróleo).

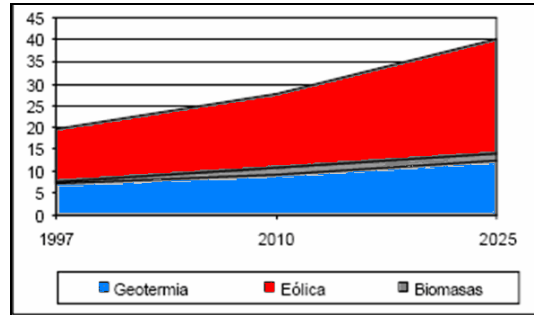


Fig.1.3 Generación de electricidad a partir de energías renovables en América Latina entre 1997 y 2025 en TWh (TeraWatts-hora).

A continuación se presentan estadísticas de la evolución del crecimiento del consumo energético mundial y emisiones de combustibles de 1970 al 2004 según datos de la IEA (Agencia Internacional de Energía) y la Organización de Cooperación Económica y Desarrollo (OECD):

Se observa en la figura 1.4 claramente que el consumo de carbón permanece casi constante, mientras que la cantidad de electricidad consumida aumenta con el paso de los años. La figura 1.5 muestra en porcentajes los cambios en cada combustible de 1973 al 2004.

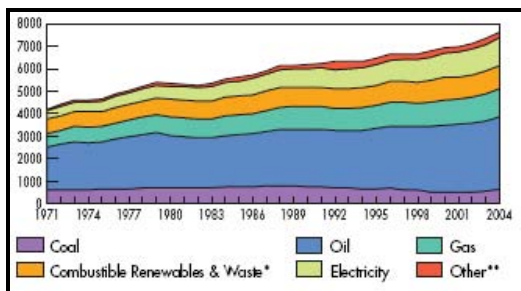


Fig. 1.4 Consumo mundial total de energía entre 1971 y 2004 por combustible (Mtoe: equivalente a Mtep).

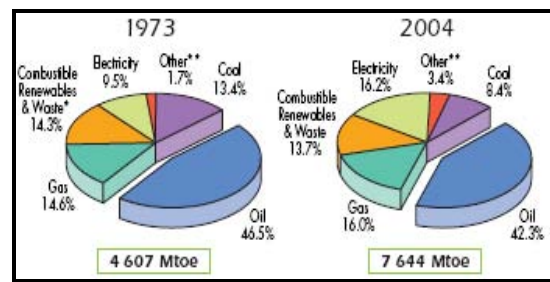


Fig. 1.5 Consumo mundial total de energía por partes de combustibles para 1973 y 2004 (Mtoe).

Para las figuras 1.6 y 1.7 es interesante observar como en todas las regiones aumenta el consumo de energía, pero en los países que pertenecen a la OECD es mayor la cantidad de esta.

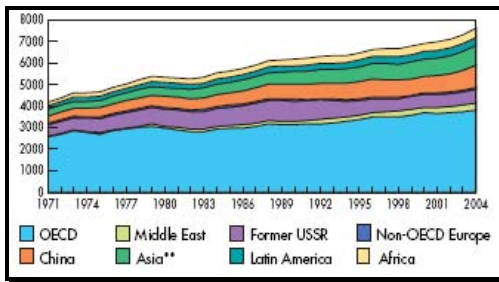


Fig.1.6 Evolución del consumo mundial total de energía entre 1971 y 2004 por región (Mtoe).

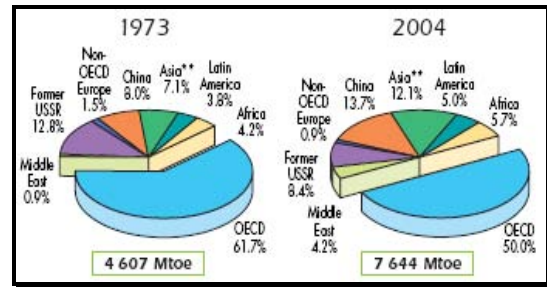


Fig. 1.7 Consumo mundial total de energía por regiones para 1973 y 2004 (Mtoe).

Las dos figuras siguientes 1.8 y 1.9 reflejan el incremento que ha sufrido el consumo de electricidad desde los años setentas hasta la década actual y cómo la industria y el transporte no son los sectores que más consumen este insumo, sino otros sectores como el consumo en edificaciones residenciales y comerciales.

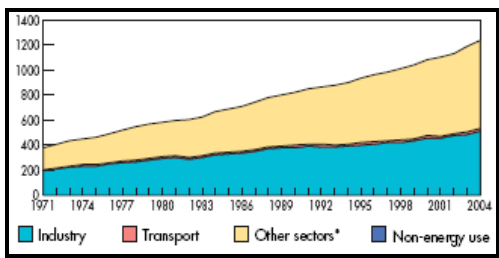


Fig. 1.8 Evolución del consumo mundial total de energía eléctrica por sector entre 1971 y 2004 (Mtoe).

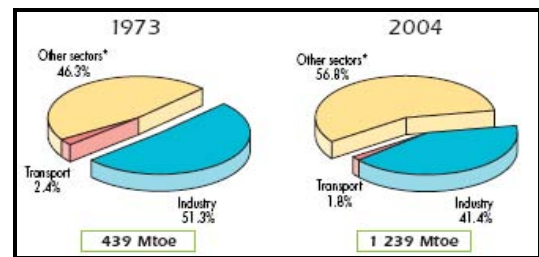


Fig. 1.9 Consumo mundial total de energía eléctrica por sector para 1973 y 2004 (Mtoe).

Las figuras 1.10 a la 1.13 muestran las emisiones de CO<sub>2</sub> por combustible y por región, y se resume que el combustible que arroja más emisiones es el aceite y la región con más emisiones está conformada por los países de la OECD.

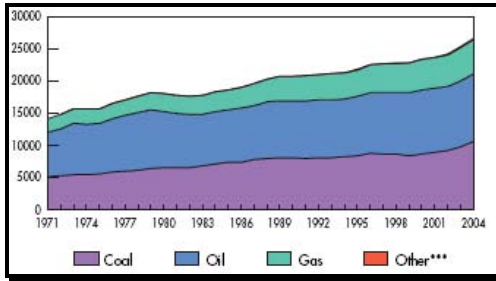


Fig. 1.10 Emisiones totales mundiales de CO<sub>2</sub> por combustible, entre 1971 y 2004 (Mt de CO<sub>2</sub>).

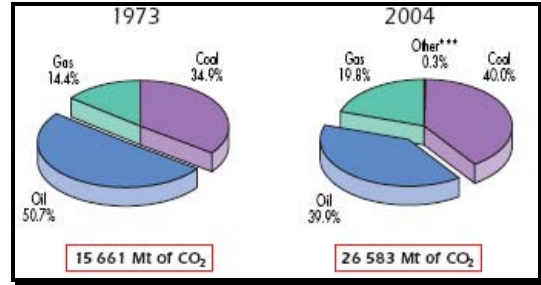


Fig.1.11 Emisiones de CO<sub>2</sub> por combustible, para 1973 y 2004 (Mt de CO<sub>2</sub>).

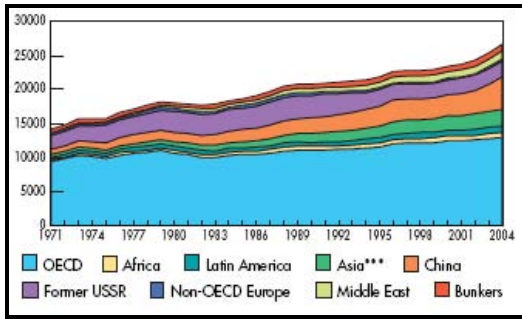


Fig. 1.12 Emisiones totales mundiales de CO<sub>2</sub> por región, entre 1971 y 2004 (Mt de CO<sub>2</sub>).

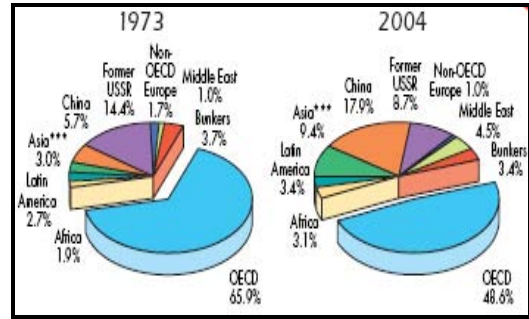


Fig. 1.13 Emisiones de CO<sub>2</sub> por región, para 1973 y 2004 (Mt de CO<sub>2</sub>).

### 1.1.4 Panorama Nacional del Sector Energético

Las estadísticas del consumo nacional de energías, particularmente la energía eléctrica en el sector residencial son descritas continuación. También se señala la normatividad que existe en México para la eficiencia energética en edificaciones.

#### 1.1.4.1 Consumo Nacional de Energía


La intensidad energética, que indica la cantidad de energía que se requiere para producir un peso de Producto Interno Bruto (PIB) calculado a precios de 1993, durante 2005 se ubicó en 4,193.7 kilojoules, indicador 3.0% menor al registrado en 2004. Este indicador de



intensidad energética mantuvo su tendencia a la baja, ya que la tasa media de crecimiento anual de 1996 a 2005 fue de 0.8%. El decremento de este indicador se explica por el menor consumo final observado en 2005 respecto a 2004, el cual decreció 0.8% en 2005. Por otro lado, el consumo del sector energético, incluyendo autoconsumo, consumo por transformación y pérdidas por distribución aumentó 1.3%. Por su parte, el consumo per cápita de energía en 2005 fue de 71.5 millones de kilojoules, 1.2% menor al observado en 2004. Esto equivale a que cada habitante del país consumiera 13 barriles de petróleo crudo al año, mantuviera encendidos durante todo un año poco más de 20 focos de 100 Watts cada uno o consumiera poco más de 43 tanques con 50 litros de gasolina.

El consumo nacional de energía es equivalente a la suma de la oferta interna bruta de la energía primaria y de la energía secundaria. El consumo nacional de energía registró en 2005 la cifra de 7,365.0 PJ, monto inferior en 0.2% a los 7,376.8 PJ de 2004 (véase tabla 1.1). El sector energía empleó 2,322.4 PJ, 31.5% de la oferta interna bruta, y el resto de los sectores económicos, incluyendo la diferencia estadística, consumieron 5,042.7 PJ, equivalentes al 68.4% del consumo nacional de energía.

Tabla 1.1 Consumo nacional de energía (petajoules).

	2004	2005	Variación porcentual	Estructura Porcentual	
				2004	2005
<b>Consumo Nacional</b>	7,376.801	7,365.013	-0.2	100	100
<b>Consumo del Sector Energético</b>	2,291.606	2,322.359	1.3	31.1	31.5
Autoconsumo	643.278	641.277	-0.3	8.7	8.7
Consumo por transformación	1,493.277	1,518.519	1.7	20.2	20.6
Pérdidas por distribución	155.051	162.564	4.8	2.1	2.2
Diferencia estadística	94.129	2.171	-97.7	1.3	n.s
<b>Consumo Final Total</b>	4,422.978	4,389.166	-0.8	60.0	59.6
Consumo no energético	283.851	306.573	8.0	3.8	4.2
Consumo energético	4,139.128	4,082.593	-1.0	56.1	55.4

Fuente: sistema de información Energética (SIE), SENER.

El consumo final no energético en el año 2005 representó el 7.0% del consumo final total y los usos energéticos el 93.0% (véase figura 1.14). En 2004 representaron el 6.4 y 93.6%, respectivamente. El consumo nacional de energía por habitante en 2005 fue de 71.5 millones de kJ, cifra 1.2% inferior a los 72.4 millones de kJ de 2004. Para esta variable, la intensidad energética por habitante más elevada en el período de 1990 a la fecha fue la observada en el año 2004.

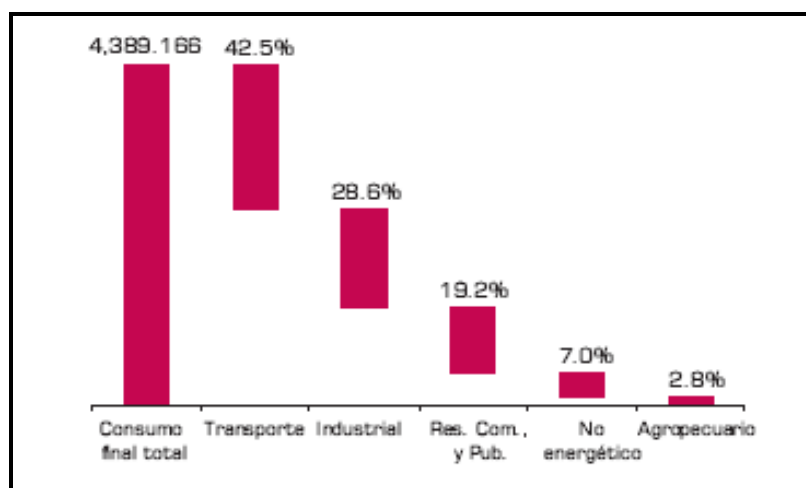



Fig. 1.14 Consumo Nacional de Energía 2005.

El sector residencial, comercial y público requirió 842.2 PJ en 2005, cifra inferior en 2.0% respecto al valor observado en 2004, que fue de 859.6 PJ. Durante 2005, del total de este sector, 83.6% corresponde al residencial, 13.6% al comercial y 2.8% a los servicios públicos (alumbrado público y bombeo de agua). Para satisfacer las necesidades de cocción de alimentos, iluminación, calefacción, calentamiento de agua, usos comerciales y servicio público, entre otras, se utilizó gas licuado de petróleo, el cual participó con 39.1% del consumo total del sector, leña con el 29.4%, electricidad con el 26.5%, gas seco con el 4.4%, diesel y querosenos en conjunto con 0.6% (tabla 1.2).

Tabla 1.2 Consumo de energía para cocción, iluminación, calefacción y calentamiento de agua (petajoules).

	Leña	Gas Licuado	Diesel	Gas natural	Electricidad	Total 2005	Estructura	Variación
							Porcentual 2005	Porcentual 2005/2004
<b>Total</b>	247.216	329.625	3.460	37.313	223.092	842.182	100.0	-2.0
<b>Residencial</b>	247.216	272.171	0.000	30.144	158.112	704.119	88.5	-2.1
<b>Comercial</b>	0.000	37.453	3.460	7.169	46.760	114.843	13.5	-2.6
<b>Público</b>	0.000	0.000	0.000	0.000	23.220	23.220	2.5	2.6

Fuente: sistema de información Energética (SIE), SENER.

Durante el año 2005 el consumo de energéticos del subsector residencial representó el 83.6% de los requerimientos totales del sector. Los energéticos de mayor consumo fueron el gas licuado, con una participación de 38.7% del total del subsector, igual a 272.2 PJ, y la leña con 35.1% igual a 247.2 PJ; seguidos por la electricidad que aportó 21.7% con 153.1 PJ; el gas seco 4.3% con 30.1 PJ y los querosenos 0.2% con 1.4 PJ (figura 1.15). El consumo residencial decreció 2.1% entre 2004 y 2005 (Secretaría de Energía, 2006).

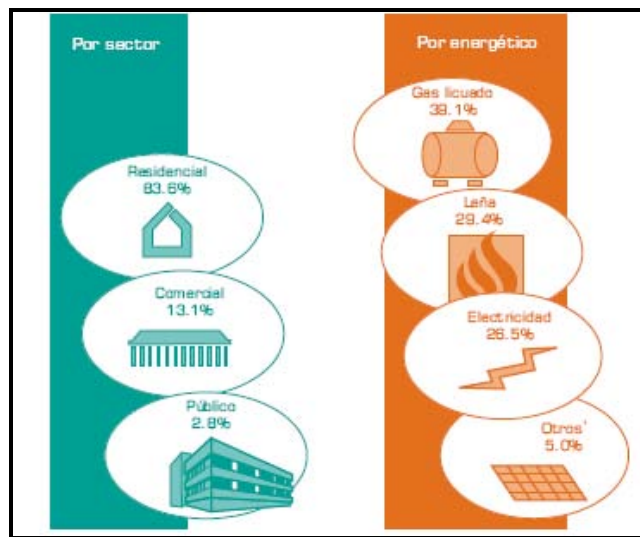


Fig. 1.15 Consumo Nacional de Energía 2005.

En la figura 1.16 se muestran las cinco regiones presidenciales del país y para cada una, la participación porcentual promedio en ventas de energía que cada estado tiene en la región. Los estados con mayores ventas internas de electricidad durante los últimos 10 años son Sonora, Nuevo León, Jalisco, Distrito Federal, México y Veracruz. A nivel nacional, el crecimiento de las ventas internas en 2005 fue de 1.9% respecto a 2004 debido a las regiones Noreste y Centro, mismas que registraron una tasa positiva, en contraste con la baja observada en 2003. Por otro lado, la región Centro registró las mayores ventas internas de energía eléctrica en 2005 con 41,006 GWh (región donde se encuentra Morelos), aunque como podemos ver el Estado de Morelos solo representa el 5% del consumo total de electricidad, debido a que esta zona se encuentra rodeada de grandes urbes como el Distrito Federal, Estado de México y Puebla (Secretaría de Energía, 2006).

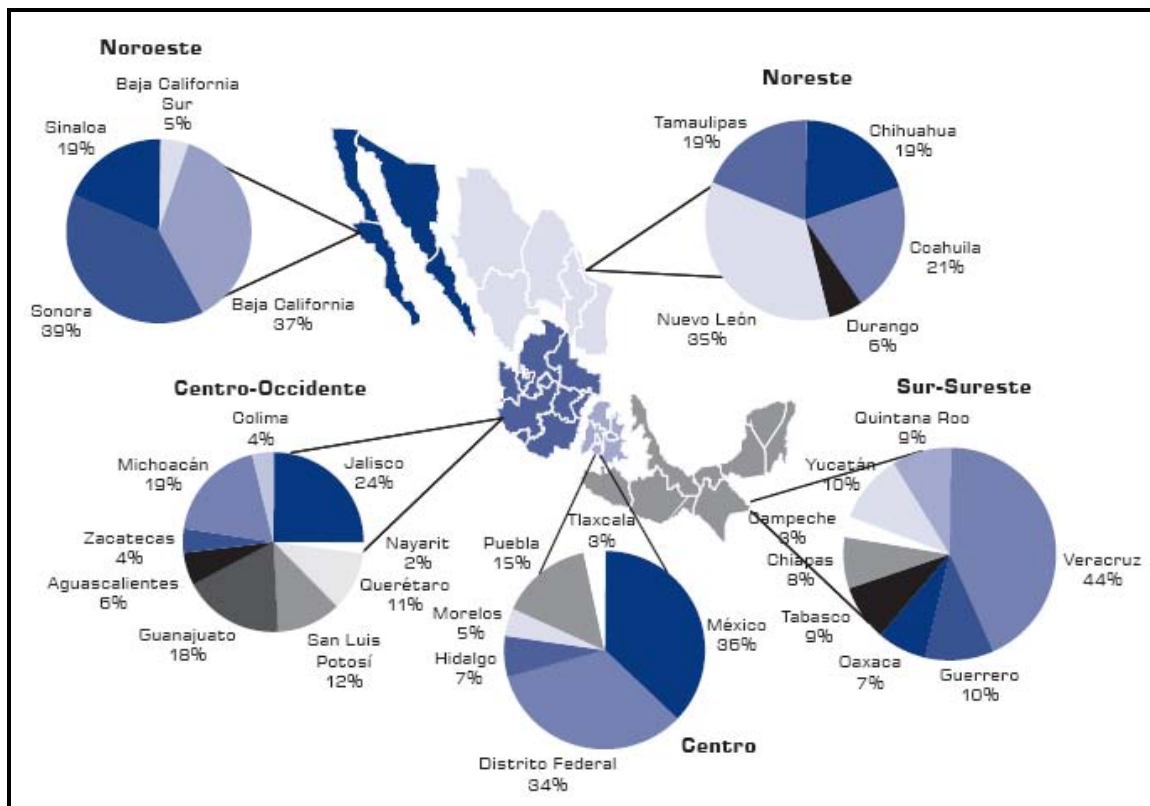


Fig. 1.16 Estructura regional de las ventas internas por estado (participación porcentual promedio 2005).

De los datos anteriores se pueden rescatar los siguientes puntos:

- El consumo eléctrico no es un asunto únicamente del clima, sino también depende del número de habitantes y el desarrollo económico de la localidad.
- Los equipos eléctricos de calefacción tienen poca influencia sobre el consumo eléctrico en México.
- Los equipos de aire acondicionado para enfriamiento son los que más se usan para obtener condiciones de confort y tienen el mayor consumo doméstico en nuestro país (Secretaría de Energía, 2006).

#### **1.1.4.2 Normas de Eficiencia Energética en México.**

El propósito de establecer normas relacionadas con el diseño térmico de edificios, es limitar la ganancia de calor de las edificaciones residenciales y no residenciales, por medio de su envolvente, con el fin de proponer un uso eficiente de la energía para los sistemas de aire acondicionado. En México se cuenta con la NOM-008-ENER (para edificios no residenciales), que pretende regular el diseño térmico de la envolvente de los edificios con el fin de obtener la comodidad de los ocupantes con el mínimo consumo de energía. Y la NOM-020-ENER (para edificios de uso habitacional), que pretende lo mismo que la NOM-008-ENER, pero en edificios de no más de tres niveles. Para México es importante incentivar el uso de energías renovables, como la solar, ya que por su situación geográfica y los tipos de climas de cada región, se presentan condiciones muy apropiadas para la implementación. El gran reto está en el sector residencial y comercial, donde se han diseñado las normas para el diseño térmico de la envolvente de los edificios. Entonces el comportamiento térmico de los edificios y su relación con el clima, los materiales de construcción y los dispositivos de control solar, logran no solo ahorrar energía y minimizar emisiones de contaminantes, sino también proporcionar condiciones de confort térmico a los usuarios de estos espacios (Rodríguez, 2001).

## **1.2 Revisión Bibliográfica**

En este apartado se presentan en primera instancia, la discusión de trabajos relacionados con el uso de la metodología de los grados día, la medición de variables climáticas y su relación con el análisis de la demanda energética. De igual manera se contemplan estudios referentes a la evaluación térmica de viviendas y al diseño bioclimático de edificaciones en donde se utilizan herramientas de cómputo como el TRNSYS o el DOE.

### **1.2.1 Variables Térmico-ambientales, Grados-día y Consumo de Energía.**

Sen y Kadioglu (1998) presentan un análisis de los grados día en regiones áridas y señalan que las regiones áridas tienen generalmente grandes diferencias de temperatura entre el día y la noche. El principal propósito de esta publicación es desarrollar la metodología de los grados día de manera simplificada, es decir, basada solamente en las temperaturas máximas en regiones áridas. Los grados día de calefacción son indicativos de la necesidad de calentar edificios. Ellos demuestran que las temperaturas máximas y mínimas están relacionadas linealmente

Badescu y Zamfir (1999) divulgan la puesta en práctica del método de los grados día (grado hora) en Rumania. La distribución de temperaturas promedio cada hora fue representada analíticamente. Cinco modelos de funciones de distribución acumulativas de los grados día fueron probados. Los métodos son utilizados para evaluar los grados día de calentamiento para 29 localidades en Rumania. Los cinco métodos de cómputo de los grados día mostraron buenos resultados con respecto a datos de referencia obtenidos del archivo Estadístico. Los grados día de calentamiento se calcularon para todos los meses en 29 localidades rumanas.

Aguilar et al. (1999) proponen un algoritmo para obtener el ángulo acimutal óptimo, basado en los datos de radiación solar del observatorio de Tacubaya de la CNA. Esto con el fin de tener mejores resultados en cuanto a rentabilidad solar, mejoras en el diseño bioclimático, sistemas térmicos y otras aplicaciones solares.

Cartalis et al. (2001) simulan los cambios climáticos en el sureste del Mediterráneo (el área de Grecia), para el año 2030, con base en la construcción de escenarios especiales utilizando los grados día de calentamiento y enfriamiento para la evaluación de la demanda anual de energía. También se concluye que el 5% del total de la energía se consume por edificios comerciales en Grecia para propósitos de enfriamiento y el resto para calentamiento, iluminación y equipo misceláneo.

Pérez et al. (2001) realizan la descripción de una metodología generalizada para caracterizar el comportamiento climático de una región con propósitos de relacionar el clima al consumo y la demanda máxima de electricidad. Se enfoca el estudio en dos ciudades: México y Cuba (Mexicali B.C y Cienfuegos) con climas cálidos, y por lo tanto altos requerimientos de climatización. Con la aplicación de esta metodología es posible evaluar acciones, planes, estrategias y metas de uso racional y eficiente de la energía, en prácticamente cualquier sistema que tenga que ver con acondicionamiento ambiental y confort. Ha mostrado también que es aplicable a diferentes regiones y que los resultados producidos son consistentes y reproducibles.

Carlo y Lamberts (2001) estudian dos prototipos de oficinas en edificios con bajas ganancias de energía que fueron simuladas usando el software DOE2 para evaluar su consumo de energía en diferentes microclimas urbanos. Este artículo presenta la comparación de resultados del consumo total de energía eléctrica en edificios para dos diferentes datos de clima en cada ciudad. El propósito de esta publicación es analizar los errores que pueden ser causados en la simulación del consumo energético anual, debido a las diferencias en el microclima para las dos ciudades: Río y Florianópolis. Los resultados presentan las diferencias existentes entre el consumo anual de energía para ambos prototipos, las diferencias para cada año de medición y las diferencias entre los dos sitios. Se concluye que el consumo de energía en ambas ciudades varía no solo por las condiciones climáticas, sino también por otros factores como son la ocupación urbana, la localización y el tipo de edificación (materiales, área de ventanas, inclinación de la edificación, etc.).

Büyükalaca et al. (2001) estudiaron los grados día de calentamiento y enfriamiento para Turquía. Se obtuvieron utilizando datos medidos recientemente, variando las temperaturas base, tanto para los grados día de enfriamiento (CDD) como para los de calentamiento (HDD). Se obtienen valores anuales para todas las provincias de Turquía con 78 estaciones meteorológicas. Los HDD se incrementan linealmente cuando se incrementa la temperatura base, también cuando hay incrementos de las ganancias por radiación, la elevación y la longitud. Para los CDD se tienen aumentos significativos cuando decrece la temperatura base y aquí la influencia de la latitud y la altura son importantes para los CDD.

Quiñones et al. (2002) reportan datos de radiación solar global y temperatura ambiente para cinco años no consecutivos en Temixco Morelos. Con estos datos calculan el índice de claridad diario y la distribución de frecuencia de los índices de claridad para la temporada de lluvias y secas. También se presentan los cálculos de la distribución de frecuencia de los índices de claridad para poder observar que tanto y con que frecuencia fluctúan los valores de la radiación alrededor de la media. Se observan diferencias notables con respecto a las distribuciones de frecuencia obtenidas por Lui y Jordan en climas de Estados Unidos. Se atribuyen estas variaciones a la diferencia en los métodos empleados para obtener los índices de claridad y al clima tropical de Temixco que presenta lluvias principalmente en horarios no diurnos.

Vázquez et al. (2002) investigan el uso de tres métodos de estimación de la radiación solar disponible. La radiación estimada por los tres procedimientos son comparados contra los datos medidos en las estaciones en la provincia de Galicia España, para la elaboración final de un atlas solar. Se obtienen resultados de los promedios mensuales de radiación solar medida y se comparan con los obtenidos por los tres métodos de estimación para realizar un atlas solar de Galicia. Se distingue que los mejores resultados son los obtenidos por el satélite Heliosat-2 que presenta un factor de correlación de 0.9955, mientras que para el satélite Meteonorm se tiene uno de 0.9898 y para el último procedimiento un factor de 0.9436. Heliosat-2 se elige para hacer el mapa solar, pero se observa que para estimar la radiación solar en periodos de



tiempo más cortos a un mes (día, hora, minuto), no es recomendable, ya que entre mas corto sea el tiempo la correlación es mas débil.

Baumert y Selman (2003) hacen mención a datos resultantes obtenidos de las metodologías usadas por el World Resources Institute (WRI) para el cálculo anual de los grados día de calentamiento y enfriamiento en 171 países. Presentan dos métodos para su cálculo y los comparan entre si. También hacen una comparación entre los grados-día y la población. Finalmente, se muestra como los grados día están relacionados al uso de energía o a la emisión de gases, es decir el uso de los grados día como indicadores de ganancias de energía, uso de combustibles y contaminantes. Los resultados se perciben poco confiables para países donde la disponibilidad de datos no fue la deseada, y en general, las diferencias entre ambos métodos son considerablemente pequeñas en los resultados comparativos presentados.

Zhang (2004) realiza un estudio estadístico del consumo de energía residencial en China. Establece una relación entre el consumo anual de energía en casas habitación y los grados día de calentamiento en China, Japón, Canadá y Estados Unidos. El consumo de energía residencial esta fuertemente relacionado con los grados día de calentamiento para los cuatro países, sin embargo puede haber variaciones en el consumo para los mismos grados día si se tienen condiciones distintas en cuanto a precios, políticas energéticas y estructuras de las edificaciones. Para Estados Unidos y Canadá se observan líneas de regresión cerradas con pendientes muy similares por lo que se concluye que tienen edificios idénticos y una forma de vida parecida.

Christenson et al. (2005) realizaron un estudio del impacto del calentamiento global en la demanda energética de edificios en Suiza, mediante el método de los grados día. Esta metodología fue desarrollada, probada y aplicada en 4 localidades representativas en Suiza. El rango de que posibles tendencias para el siglo XXI fueron pronosticadas en 41 regiones con diferentes climas, derivados de 35 simulaciones con 8 modelos de clima globales. Su análisis indica al final del estudio, que los cambios en la radiación global y la temperatura, serán los factores más importantes para las proyecciones cuantitativas del futuro de la demanda

energética en Suiza. Se espera un descenso en los grados-día de calentamiento en el transcurso de siglo XXI, dependiendo de la construcción (para 1901-2003 descienden los HDD<sup>1</sup> en un 11% a 18% y para 1975-2085 descienden entre 13% y 87%), y se espera un incremento muy alto en los grados-día de enfriamiento (para 1901-2003 aumentan los CDD<sup>2</sup> en un 50% y 170% y para 1975-2085 incrementan por arriba del 2100%), tanto que se recomienda hacer estudios subsecuentes al respecto.

### **1.2.2 Estudios de Simulación Energética en Edificaciones.**

Fiksel et al. (1995) citan las modificaciones que sufre TRNSYS y comparan las versiones anteriores con el entonces nuevo TRNSYS 14. Con el nuevo esquema computacional de TRNSYS 14 se simulan sistemas que no podían resolverse con versiones anteriores. Se arrojan también resultados a problemas en los cuales las salidas son conocidas y las entradas deben ser determinadas, es decir, la solución a problemas hacia atrás y se elimina la necesidad de separar componentes o modos durante la simulación.

Bansal y Bhandari (1996) desarrollan un programa de cómputo llamado Admit que se basa en las soluciones periódicas de las ecuaciones gobernantes para la conducción de calor, esto con la finalidad de simular térmicamente edificios en tres diferentes zonas climáticas de la India. Al igual que Admit, se usan también los paquetes comerciales TRNSYS y SUNCODE para realizar la misma simulación en condiciones muy similares. Se presentan estos resultados para dos tipos de edificaciones de distintas medidas y materiales. Las variaciones de la temperatura al interior de los cuartos muestran fluctuaciones menores en los resultados que arroja Admit. SUNCODE estima las más bajas pérdidas de calor, y por lo tanto, los valores más altos de temperatura interna. TRNSYS es muy sensible al valor inicial de la temperatura, y también presenta largas fluctuaciones.

Shariah et al. (1996) usan el programa de simulación TRNSYS para analizar el efecto de la absorción de superficies externas sobre las cargas totales de calentamiento y enfriamiento;

---

<sup>1</sup> En adelante HDD se refiere a los grados día de calentamiento.

<sup>2</sup> En adelante CDD se refiere a los grados día de enfriamiento.

usan datos meteorológicos de dos regiones en Jordania (Amman y Aqaba), que tienen climas semi-cálidos y cálidos respectivamente. Se usan dos tipos de materiales de construcción en la simulación: concreto ligero y concreto pesado. Los cálculos también se hacen para ver los efectos de la absorción sobre las cargas térmicas en edificios aislados. Se concluye que la absorción en el techo tiene grandes efectos sobre las cargas de enfriamiento y calentamiento, mientras que para las paredes el efecto es casi insignificante.

Welfonder et al. (2003) hicieron mención a las nuevas características del TRNSYS 15, las cuales mejoran sus capacidades. Se incorporan 6 nuevos componentes en las librerías del TRNSYS 15, que incluyen más de 160 nuevos TYPES de solar, geotérmico y componentes HVAC. Se integraron elementos térmicamente activos para calentamiento y enfriamiento en los modelos de edificios. Se implementan interfaces muy amigables y nuevos modelos matemáticos para TRNSYS 15. Los nuevos modelos fueron desarrollados no solamente por su alta exactitud sino también por la amigable forma de introducir los datos de entrada y la reducción significativa del error.

McDowell et al. (2003) mencionan que los programas de simulación energética comúnmente no incorporan la circulación de aire en la modelación y por ende no explican adecuadamente el efecto de estos factores en los balances globales. La herramienta utilizada para el análisis del flujo de aire es el CONTAM y para el análisis de la energía se usa TRNSYS. Se estudian 25 edificios en Estados Unidos sobre una serie de condiciones de infiltración y ventilación y se señala el proceso de modelado de los edificios en los dos programas para obtener finalmente resultados de ambas simulaciones en cohesión. El impacto de la infiltración en las cargas del edificio varía extensamente dependiendo del clima, de la construcción de edificios, del horario de operación y de otros parámetros de la simulación. En segundo lugar, la infiltración tiene un impacto relativo mucho más grande en cargas de calefacción que en cargas de refrigeración.

Pujol-Nadal et al. (2005) analizan y predicen el comportamiento térmico de una edificación con TRNSYS y proponen arquitectónica y administrativamente acciones de

mejora. Se valida el modelo de TRNSYS con mediciones reales y se obtiene un coeficiente de correlación muy similar. Se proponen 9 acciones de mejora debido a las 9 simulaciones realizadas para resolver el problema de la fachada NE. Se observa claramente que la configuración actual es la peor para la época veraniega e incluso para el invierno, y que la mejor opción son la aplicación de dos acciones a la vez ya que generan un ahorro anual del 33% de energía equivalente a 27MWh, un ahorro del 35% al año en costos de enfriamiento y calentamiento, y también reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes atmosféricos por cada KWh.

### **1.2.3 Diseño Bioclimático de Edificaciones**

Saravia y Morillón (1998) presentan un estudio climático de la ciudad de El Salvador y hacen recomendaciones para el diseño arquitectónico de elementos de control solar, esto con el fin de lograr edificaciones energéticamente más eficientes en las condiciones de clima cálido-húmedo de ese país. En el estudio se determinan los ángulos óptimos de aleros y las orientaciones de ventanas más convenientes para minimizar el uso de sistema activos de climatización y así lograr una mejor adecuación de los edificios al ambiente energético, que lleve a aumentar las condiciones de confort térmico de los usuarios. Se concluye que para lograr confort sin necesidad de gastar en energía eléctrica se debe tomar en cuenta la ubicación geográfica y las ganancias de calor provenientes de ventanas o zonas expuestas al sol en las construcciones a futuro.

Pérez y Pacheco (2001) analizaron variables de temperatura y humedad relativa de un año tipo en el diagrama psicrométrico con el fin de establecer estrategias de diseño bioclimático adecuadas a este clima (cálido-húmedo), además de evaluar parámetros climáticos generales como la radiación solar global, radiación solar directa, radiación solar difusa, precipitación y la dirección y velocidad del viento mediante el satélite METEONORM y datos del observatorio de la ciudad de Mérida. La ubicación de los puntos representativos de cada una de las horas del año típico en el diagrama psicrométrico, muestra claramente la idea de utilizar la técnica bioclimática de la ventilación.

Tzikopoulos et al. (2004) desarrollaron un modelo de regresión de la eficiencia energética como función de las condiciones ambientales, las características del edificio y la tecnología solar pasiva. Se estudiaron 77 edificios bioclimáticos (incluyendo 45 casas) de Grecia, otras áreas del mediterráneo y el resto de Europa. Los grados día y una variable simulada que indicaba la localización en el mediterráneo fueron los predictores más fuertes de la eficiencia energética y mientras más altos y delgados fueran, tendían a ser más eficientes energéticamente. Asombrosamente, muchas tecnologías pasivas no presentaban diferencias en la eficiencia energética, mientras que las paredes con almacenamiento térmico si presentaban disminución de la eficiencia energética. Para el sombreado, se encontró que tiene una influencia negativa sobre la eficiencia energética, pero su coeficiente no era significativo.

**Conclusión:** En la revisión bibliográfica se encontraron diversos trabajos que utilizan el método de los grados-día para evaluar la demanda o consumo de energía en varias regiones del mundo con climas muy diversos. En México la evaluación de los grados día solo se reporta con datos obtenidos de satélite para el norte del país, por ejemplo en Baja California sí se tienen estudios principalmente de los grados-hora para evaluar el consumo energético de edificaciones. En el Estado de Morelos no se cuenta con estudios de la distribución de los grados-día. En cuanto a la búsqueda de información realizada sobre trabajos donde se utilicen herramientas de simulación como TRNSYS para evaluar térmicamente edificaciones a partir de datos de clima, se encontraron trabajos reportados en otros estados del país, pero no en Morelos. Se esta haciendo este tipo de investigación principalmente en Estados Unidos y Europa. Por lo tanto en el Estado de Morelos y en gran parte de México no se tienen estudios que comprendan la evaluación de la demanda de energía en una región y adicionalmente un análisis de las cargas térmicas en edificios de las partes que forman toda la región con fines de ahorro de energía y conservación ambiental y la comparación de estas dos metodologías. Este estudio es la base para el diseño y construcción de cualquier edificio ya sea residencial o no.

### 1.3 Objetivo

Estudiar la distribución de los grados-día del Estado de Morelos, mediante la recolección, procesamiento y evaluación de datos meteorológicos recolectados de las estaciones meteorológicas in situ; realizar la evaluación y el mapeo de las variables climáticas para la temporada de secas y lluvia, y realizar un estudio térmico-ambiental de una vivienda tipo por las metodologías de TRNSYS y grados-día, así como la comparación de ambas metodologías y finalmente realizar sugerencias de modificaciones en la vivienda tipo de acuerdo al clima en que se ubique.

#### Objetivos Particulares:

1. Realizar la adquisición y procesamiento de los parámetros medidos tales como radiación solar global, temperatura ambiente, humedad relativa, presión, velocidad y dirección de viento en el Estado de Morelos.
2. Realizar el mapeo de la radiación solar global media mensual, temperatura media, mínima y máxima mensual, humedad relativa mensual, velocidad del viento mensual y dirección del viento mensual que se recibe sobre superficies horizontales y la distribución de los grados-día en el Estado.
3. Realizar un diagnóstico de las zonas cálidas, templadas y frías, así como definir las estrategias de climatización del Estado de Morelos.
4. Con base en la información obtenida, calcular la demanda de energía por grados-día y caracterizar las viviendas tipo de acuerdo a sus cargas térmicas por medio del paquete de cómputo TRNSYS.

### 1.4 Alcance

Realizar la clasificación climática del Estado de Morelos, caracterizar térmicamente una vivienda tipo ubicada en diferentes localidades del Estado de Morelos con base en el cálculo de las cargas térmicas de la misma por las metodologías de los grados-día y TRNSYS.

## 1.5 Descripción de Capítulos

A continuación se presenta una breve descripción del contenido de los capítulos siguientes en esta investigación:

Capítulo 2: Se presenta la descripción geográfica y climática de los lugares seleccionados para este estudio, la naturaleza de las variables meteorológicas y la forma de medirlas, la descripción de las estaciones meteorológicas automáticas, los datos reportados y procesados para el año en estudio, así como la clasificación climática y las estrategias de diseño mostrados en gráficos psicrométricos para cada región.

Capítulo 3: En este capítulo se reportan los mapeos de las variables medidas (radiación solar, temperaturas medias, máximas y mínimas, humedad relativa y viento) a lo largo del año. Los mapas son mensuales y muestran las isoclinas formadas por interpolación en el Estado. Además se reportan también mapeos con curvas de nivel para observar la relación entre la orografía y el clima.

Capítulo 4: Se muestra el modelo matemático de los grados-día para obtener la demanda de energía para calentamiento y enfriamiento en cada región del Estado de Morelos.

Capítulo 5: Se describe la funcionalidad del paquete de cómputo TRNSYS, los componentes utilizados, las interfaces y las salidas deseadas. También se muestra el proceso de selección de la vivienda estudiada y sus principales características físicas.

Capítulo 6: En este capítulo se presentan los principales resultados obtenidos de esta investigación: Grados-día y Salidas del TRNSYS, así como una comparación de la demanda de energía por ambas metodologías.

Capítulo 7: El último capítulo presentan las conclusiones generales y recomendaciones para trabajos futuros.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.



## CAPÍTULO 2 VARIABLES CLIMÁTICAS

En este capítulo se describe de forma general la relación que existe entre el clima y las edificaciones, las principales características geográficas y climáticas de las regiones estudiadas en el Estado de Morelos. Se presenta una descripción de las estaciones meteorológicas automáticas (EMAS) utilizadas en este estudio, las variables a medir y la forma de medirlas. Al final del capítulo, se reportan gráficos psicrométricos que muestran la clasificación climática de las regiones estudiadas, así como sus estrategias de climatización para alcanzar el confort.

### 2.1 El Clima y la Edificación

El clima es el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto de la superficie terrestre. La meteorología es la ciencia que estudia la atmósfera, los fenómenos que en ella se producen y las leyes que los rigen. El clima caracteriza e identifica una región por el comportamiento de sus componentes y sus variables atmosféricas; esto da lugar a un estilo de vida particular para cada zona climática. El clima es uno de los factores más importantes en el diseño. De las condiciones climáticas de un lugar depende que la arquitectura sea de muros pesados o ligeros, de cubiertas inclinada o planas, de

color oscuro o claro, con grandes o pequeñas ventanas, etcétera. Las condiciones del clima están en constante cambio, de un momento a otro y de un lugar a otro suelen variar; incluso dentro de un área mínima, es común encontrar diferencias significativas (Álvarez et al., 2000).

Los factores geográficos son las condiciones físicas que identifican a una región o un lugar en particular, y determinan su clima. Los principales factores son:

*Latitud:* la latitud es la distancia angular de un punto sobre la superficie terrestre al ecuador; se mide en grados, minutos y segundos. La importancia de este factor es que determina la incidencia de los rayos del sol sobre la tierra en un punto determinado. La incidencia de los rayos solares determina la temperatura y la cantidad de radiación que recibe un sitio en particular, depende de las condiciones del cielo.

*Altitud:* la altitud es la distancia vertical de un plano horizontal hasta el nivel del mar; se mide en metros sobre el nivel del mar (msnm). Este factor influye en el clima de un lugar, porque al aumentar la altitud desciende la temperatura de la atmósfera.

*Relieve:* es la configuración superficial de la tierra. Otro factor clave para el clima, ya que determina las corrientes de aire, la insolación del lugar, su vegetación, la humedad, etcétera.

*Otros:* la distribución de la tierra y agua, las corrientes marinas, así como las modificaciones al entorno son factores que modifican el clima y sus componentes, tales como la temperatura, humedad, ruido y contaminación de suelos.

Los Elementos del clima son las propiedades físicas de la atmósfera. Los más importantes para análisis en el proceso de diseño de edificaciones son: temperatura, humedad, precipitación, viento, presión, radiación y nubosidad. Para este estudio climático se considera la temperatura, la humedad, el viento y la radiación solar, los cuales serán descritos a detalle más adelante (Rodríguez, 2001).

## **2.2 Condiciones Geográficas y Climáticas del Estado de Morelos**

El Estado de Morelos es uno de los más pequeños de la República Mexicana, situado entre los paralelos 18°22' y 19°07' latitud norte y los meridianos 98°30' y 99°37' longitud

oeste, al Sur del Trópico de Cáncer, a una altitud promedio de 1,480 m., sobre el nivel del mar y con una temperatura promedio al año de 22.2°C (figura 2.1).

### Datos Específicos

- Superficie territorial: 4,954 Km<sup>2</sup>.
- Municipios: 33
- Capital: Cuernavaca
- Porcentaje territorial: 0.2% de la superficie del país
- Colindancias: Al norte con el Estado de México y el D.F (figura 2.2); al este con el Estado de México y Puebla; al sur con Puebla y Guerrero; al oeste con Guerrero y el Estado de México (INEGI, 2006).

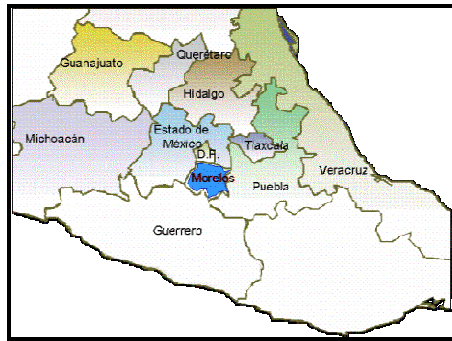


Fig. 2.1 Localización de Morelos en la República mexicana.

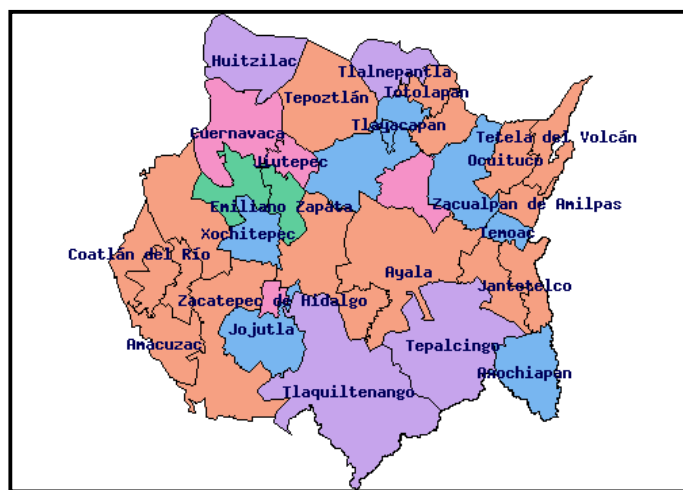


Fig. 2.2 División Municipal de Morelos (habitantes por Km<sup>2</sup>)

Según el INEGI el clima que predomina en el Estado de Morelos es cálido, que rige sobre todo en las zonas bajas de los ríos Amacuzac y Nexapa. En menor grado se presenta el clima de tipo semicálido, en una franja que va de este a oeste situada en la región norte, en la zona de transición entre la sierra y los valles. El templado o mesotérmico se distribuye en la zona norte, y se localiza en las partes altas de los valles de Cuernavaca y de Cuautla principalmente. Los climas semifríos se reducen a pequeñas áreas en el extremo norte, concentrándose en las partes más altas de la sierra, como son la Cordillera Neovolcánica y la Sierra Nevada o Transversal (figura 2.3).

Subgrupo de Climas Cálidos: este clima se caracteriza por tener una temperatura media anual mayor de 22°C; se encuentra asociado a comunidades vegetativas como son la selva baja y los pastizales. Por su influencia y extensión es el clima más importante de la entidad. Rige en el centro y sur, en los límites con el Estado de México y con Guerrero, cubre aproximadamente un 75% de la superficie de la entidad (tabla 2.1). Presenta dos variantes, aunque la más importante es el clima cálido subhúmedo, que presenta lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal menor de 5.

Subgrupo de climas semicálidos: este clima tiene una temperatura media anual que fluctúa entre 18 y 22°C; está asociado a comunidades vegetativas del tipo del chaparral, matorral subtropical y pastizal. Se ubica en una región enclavada en el norte de la entidad, así como en una pequeña zona al sur; abarca aproximadamente un 13% de su superficie. Presenta tres variantes que se diferencian en grado de humedad, de ellas la más importante el clima semicálido subhúmedo, que presenta lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal menor de 5.

Subgrupo de climas templados: este tipo de climas se establece en cuanto a temperatura, por eso se le considera mesotérmico; se caracteriza por tener una temperatura media anual entre 12 y 18°C. Se encuentra asociado a comunidades vegetativas tales como los bosques mixtos de pino, encino y pastizales. Se localiza en la zona norte y ocupa aproximadamente un

10% de la superficie de la entidad. Presenta como variante al clima templado subhúmedo, que es el más húmedo de los templados, presentando lluvias en verano.

Subgrupo de climas semifríos: este subgrupo se caracteriza por tener una temperatura media anual menor de 16°C; está asociado a comunidades vegetativas como bosques y praderas de alta montaña, se localiza en pequeñas zonas del norte en los límites con el Distrito Federal y el Estado de México; cubre aproximadamente un 2% de la superficie de la entidad (INEGI, 2006).



Fig. 2.3 División Municipal de Morelos (habitantes por Km<sup>2</sup>). (INEGI 2006)

Tabla 2.1 Tipo de Clima en Porcentaje de Territorio

Tipo o subtipo	% de la superficie estatal
Cálido subhúmedo con lluvias en verano	67.83
Semicálido subhúmedo con lluvias en verano	18.80
Templado subhúmedo con lluvias en verano	9.70
Semifrío húmedo con abundantes lluvias en verano	2.46
Semifrío subhúmedo con lluvias en verano	1.17
Frío	0.04
FUENTE: INEGI. Carta de Climas.	

En el Estado de Morelos, durante el primer periodo de calentamiento anual (primavera), la insolación es abundante lo que propicia incrementos notables en la temperatura. Durante el siguiente periodo de calentamiento (verano), las temperaturas tienden a atenuarse debido a la presencia de nubosidad y precipitación. En este sentido, el resultado de la combinación de altitud, latitud y topografía dan como resultado el establecimiento de las siguientes zonas térmicas (figura 2.4).

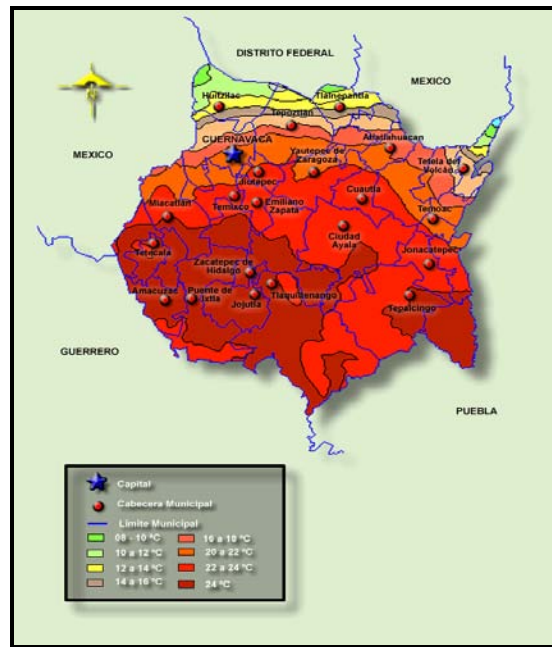


Fig. 2.4 Mapa de Temperatura Media Anual.

## 2.3 Estaciones Meteorológicas Seleccionadas

Se presenta la descripción general de una estación meteorológica automática (EMA) como las utilizadas en la recolección de datos, así como los municipios donde están instaladas y sus principales características geográficas, climáticas y de infraestructura en vivienda.

### 2.3.1 Descripción de una Estación Meteorológica.

Las estaciones utilizadas para la obtención de datos son estaciones meteorológicas automáticas (EMAS), marca Vaisala (figura 2.5), modelo Maws 110. Están conformadas por un conjunto de sensores que registran información meteorológica de forma automática de los sitios donde están colocadas. Su función principal es la recopilación y monitoreo de algunas variables meteorológicas del lugar para generar archivos del promedio de cada 10 minutos, cada hora y diarios. Los sistemas Vaisala MAWS 110 integrados con el Datalogger QML201 (figura 2.6), son de nueva generación, sistemas completamente integrados, especialmente diseñados para aplicaciones climatológicas, donde no hay alimentación comercial, redes de comunicaciones ó la instalación es demasiado costosa. El área representativa de las estaciones es de 5 km. de radio aproximadamente, en terreno plano, excepto en terreno montañoso.

Sensores que integran la Estación:

- Sensor de Velocidad del viento
- Sensor de Dirección del viento
- Sensor de Temperatura y Humedad relativa
- Sensor de Radiación solar
- Panel Solar
- Sensor de Presión



Fig. 2.5 Estación Meteorológica Automática, Vaisala.

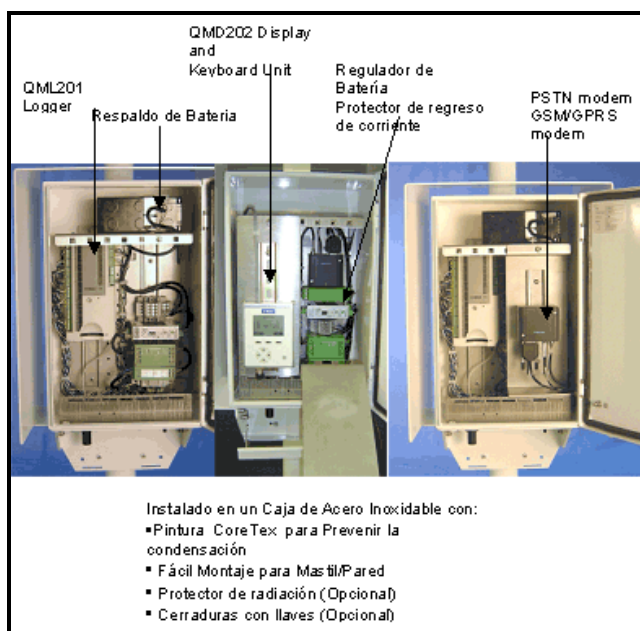


Fig. 2.6 Sistema Maws 110 integrado con Datalogger QML201.



La estación cuenta con un multisensor meteorológico (figura 2.7) que es un sistema que permite mejorar la confiabilidad de las mediciones climatológicas, mejora significativamente su resolución temporal e inclusive abre la posibilidad de recuperar puntos de medición que se han perdido en años recientes. El sistema es pequeño, compacto, durable y requiere de mínimo mantenimiento, proporciona un óptimo costo beneficio por la vida útil que proporciona al sistema, es de fácil instalación, de tal manera que la totalidad del mismo puede ser colocado en el interior del enrejado de las estaciones climatológicas sin interferir con el resto de los instrumentos. Mide las cinco variables más comunes en meteorología: temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, viento (dirección y velocidad) y precipitación pluvial Todos los sensores meteorológicos están integrados en una sola unidad compacta, el transmisor meteorológico de Vaisala (Vaisala, 2004).



Fig. 2.7 Multisensor Vaisala.

## 2.4 Radiación Solar

En este apartado se presenta la naturaleza de la radiación solar, y la geometría solar, así como la medición de esta variable.

### 2.4.1 Naturaleza de la Radiación y Geometría Solar.

La radiación solar es la transferencia de energía a través de ondas electromagnéticas. A diferencia de la convección y la conducción este proceso no requiere un medio para transferirse y es el más eficiente. El sol, es una esfera de materia gaseosa intensamente caliente

con un diámetro de aproximadamente  $1.39 \times 10^9$  m. La temperatura efectiva de cuerpo negro que presenta el sol es igual a 5,777K, y su densidad es cien veces la densidad del agua. La energía que se libera del sol debe transferirse por procesos de convección y radiación a la superficie y desde allí, se transmite al espacio exterior en forma de radiación de diferente longitud de onda según la temperatura. La cantidad de energía del sol por unidad de tiempo, recibida sobre una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación fuera de la atmósfera es la llamada constante solar que tiene un valor igual a  $1,367 \text{ W/m}^2$ .

La radiación que viene del sol esta integrada por diferentes longitudes de onda, tal como se indica en la figura 2.8. La luz visible se extiende de los 0.38 a los 0.78  $\mu\text{m}$ . La porción remanente de la radiación solar es emitida en las bandas del ultravioleta e infrarrojo. El ultravioleta (0-0.38) toma el 7% y el infrarrojo (0.78- $\infty$ ) el 45% de la energía total emitida. La porción de radiación electromagnética que incluye la mayor cantidad de energía radiada por el sol esta entre 0.25-3.0  $\mu\text{m}$ .

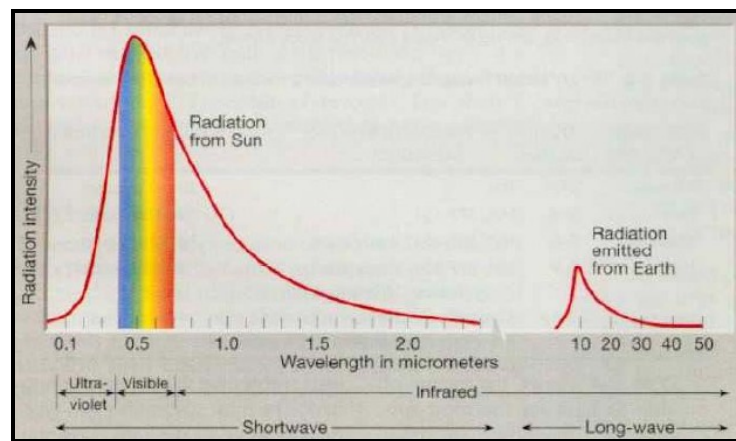


Fig. 2.8 Espectro de Radiación Solar.

Las relaciones geométricas entre un plano y cualquier orientación particular relativa a la tierra para cualquier tiempo (aún si el plano esta fijo o en movimiento relativo a la tierra) y la radiación solar directa incidente, esto es, la posición del sol relativo a ese plano, puede ser descrito en términos de varios ángulos. Estos ángulos y sus relaciones entre ellos son como sigue:

- **$\Phi$  Latitud:** localización angular, norte o sur del ecuador, el norte positivo;  $-90^\circ < \varphi < 90^\circ$
- **$\delta$  Declinación:** la posición angular del sol en el medio día solar, con respecto al plano del ecuador, norte positivo;  $-23.45^\circ < \delta < 23.45^\circ$ .
- **$\beta$  Inclinación:** el ángulo entre el plano de la superficie en cuestión y la horizontal;  $0^\circ < \beta < 180^\circ$ .
- **$\theta$  Ángulo de incidencia:** ángulo entre la radiación directa sobre una superficie y la normal a la superficie  $\theta$ .
- **$\theta_z$  Ángulo Cenital:** ángulo entre la vertical y la línea al sol; es el ángulo de incidencia de la radiación directa sobre una superficie horizontal
- **$\gamma$  Ángulo azimutal de la superficie:** es la desviación de la proyección sobre un plano horizontal de la normal a la superficie desde el meridiano local, cero al sur, este negativo, oeste positivo;  $-180^\circ < \delta < 180^\circ$ .
- **$\gamma_s$  Ángulo azimutal solar:** es el ángulo entre la proyección de la radiación directa del sol sobre el plano horizontal y el sur de la superficie.
- **$\omega$  Ángulo horario:** es el desplazamiento angular

En superficies horizontales el ángulo de incidencia es igual al ángulo cenital ( $\theta = \theta_z$ ). Y para superficies verticales  $\beta = 90^\circ$ . En la figura 2.9 se muestran el ángulo cenital, la inclinación, y el ángulo azimutal. La declinación  $\delta$ , puede ser calculada con la siguiente ecuación (Duffie, 1991):

$$\delta = 23.45 \text{Sen} \left( 360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (2.1)$$

donde n es el día del año.

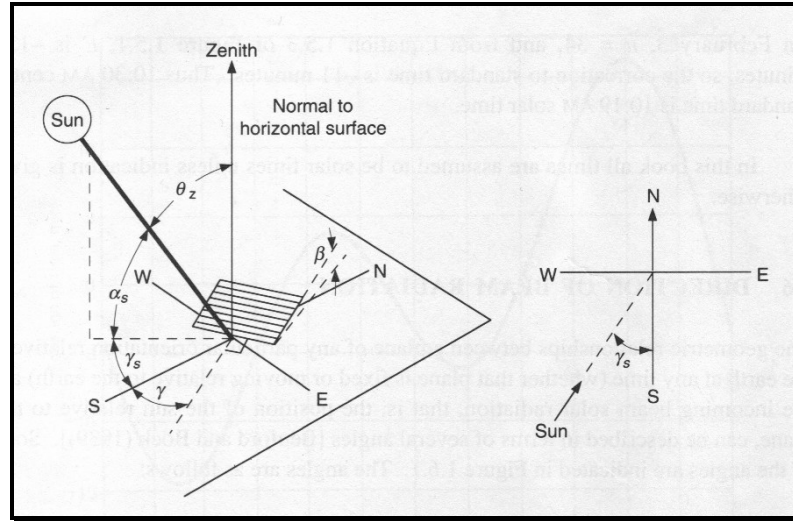


Fig. 2.9 Ángulo cenital, inclinación, ángulo azimutal de la superficie y ángulo azimutal solar para una superficie inclinada.

### 2.4.2 Medición de la Radiación Solar.

La radiación solar global se divide en radiación directa y radiación difusa. Los datos de radiación solar son usados de varias formas y para varios propósitos. La información más común disponible es de datos de radiación directa y difusa en promedios horarios sobre superficies horizontales, los cuales son muy usados en simulaciones de procesos solares. Muy pocas mediciones están disponibles sobre superficies inclinadas y para muy cortos intervalos de tiempo. Los datos diarios están a menudo disponibles y la radiación horaria puede ser estimada de datos diarios. La radiación solar total mensual sobre una superficie horizontal puede ser usada también para algunos procesos solares. Sin embargo, como el comportamiento de los procesos es no lineal con la radiación solar, el uso de promedios puede conducir a serios errores si las no linealidades no son tomadas en cuenta.

Para efectos de análisis térmicos es conveniente considerar la radiación solar dividida en dos intervalos de longitud de onda:

- a) **Radiación solar de onda corta:** radiación originaria del sol, en un intervalo de longitud de onda de 0.3 a 3  $\mu\text{m}$ . También se le llama radiación extraterrestre y se usan flechas continuas para describirla visualmente.
- b) **Radiación solar de onda larga:** radiación originaria de fuentes a temperaturas cercanas a la temperatura ambiente ordinaria y esta sustancialmente en todas las longitudes de onda mayores a los 3  $\mu\text{m}$ . Es conocida también como radiación terrestre. La radiación de onda larga es emitida por la atmósfera, por un colector o por algún otro cuerpo en temperaturas ordinarias.

En la medida de la radiación solar se usan generalmente dos tipos de aparatos: Piranómetro y Pirheliómetro (en este estudio se uso el piranómetro Eppley en todas las estaciones automáticas):

- a) **Pirheliómetro:** Instrumento para medir la radiación directa del sol y de pequeñas porciones del cielo alrededor del sol. Es en algunos casos llamado actinómetro (figura 2.10).



Fig. 2.10 Pirheliómetro de Incidencia normal NIP (Directa).

- b) **Piranómetro:** es un instrumento que se usa para medir la radiación total hemisférica (directa mas difusa), usualmente sobre superficies horizontales. El mismo instrumento puede hacer mediciones únicamente de la radiación solar difusa si se sombrea con un anillo o disco sombreador para evitar medir la radiación con incidencia normal, es

decir, la radiación directa. A este instrumento también se le conoce con el nombre de solarímetro (figura 2.11).

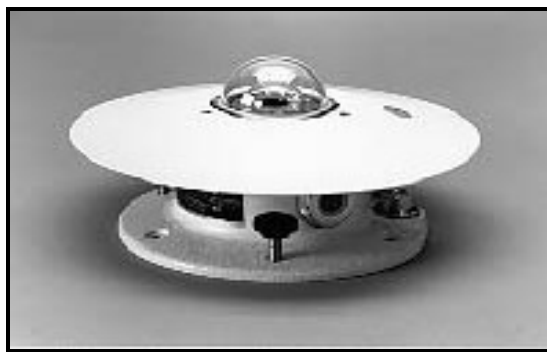


Fig. 2.11 Piranómetro Espectral PSP (Global y Difusa).

Los datos de radiación solar están disponibles en varias formas, generalmente ellos son mediciones instantáneas (irradiancia) o valores integrados sobre algún periodo de tiempo (irradiación), usualmente horas o días; las mediciones son de radiación directa, difusa o global; la orientación de las superficies receptoras (usualmente horizontal, algunas veces con inclinaciones fijas o normales a la radiación directa). Hay dos tipos de datos de radiación solar disponibles: los primeros son los datos de promedios mensuales de la radiación total diaria en una superficie horizontal (símbolo H). Los segundos son datos de radiación total horaria sobre una superficie horizontal (símbolo I), para cada hora en periodos extensos, tales como uno o más años. Los datos H son los mas comunes obtenidos de las estaciones. Y las unidades tradicionales son las calorías por centímetro cuadrado o los mega joules por metro cuadrado (Duffie, 1997).

## 2.5 Temperatura

Se define la temperatura, la forma de reportar datos de temperatura, la forma de medir esta variable y los instrumentos empleados para tomar mediciones.

### **2.5.1 Definición de la Temperatura.**

La temperatura es un parámetro que determina la transmisión de calor de un cuerpo a otro en forma comparativa por medio de una escala. En los elementos del clima es común encontrar los términos de temperatura media, máxima y mínima. Estas lecturas existen generalmente en forma de datos mensuales y anuales. La temperatura media es el promedio de las temperaturas en un periodo determinado de tiempo (diario, mensual o anual); es muy importante ya que permite evaluar la comodidad o el confort térmico. Las temperaturas máximas y mínimas son el promedio de las temperaturas más altas y más bajas, respectivamente, registradas en un periodo. Con estos parámetros se obtiene la oscilación térmica que nos permite conocer qué tanto varía la temperatura en un día, mes, estación o año, y con ello podemos prever el efecto que la masa térmica y la ventilación pueden tener en el diseño de los espacios (Rodríguez, 2001).

### **2.5.2 Medición de la Temperatura.**

La temperatura del aire se mide generalmente con termómetros de mercurio montados a la sombra y a una altura entre 1.2 y 1.8 metros, normalmente dentro de una caseta meteorológica. Este termómetro es conocido como de bulbo seco. También se pueden utilizar termopares o sensores electrónicos como en el caso de este estudio, donde la temperatura fue medida por medio de multisensores WXT510 Vaisala (figura 2.24) montados en las estaciones meteorológicas citadas anteriormente. Al igual que la temperatura del aire el multisensor mide la humedad relativa, la velocidad y dirección del viento. Las estaciones meteorológicas presentan datos de todas las variables climáticas en lapsos de 10 min., 60 min., y datos diarios. Los valores de temperatura son utilizados para obtener los grados-día, descritos en el capítulo cuarto de este trabajo. La figura 2.12 muestra tres instrumentos de medición de la temperatura, que son el termómetro infrarrojo, el termómetro de mercurio y el termopar.



Fig. 2.12 Instrumentos para medir la Temperatura.

## 2.6 Humedad

Se define la humedad, la forma de medir esta variable, así como los instrumentos de medición de la misma.

### 2.6.1 Definición de la Humedad.

La humedad es el contenido de agua en el aire. Esta cantidad varía con el tiempo y de lugar a lugar, sin embargo difícilmente llega al 5% con respecto a un volumen dado de aire. Existen diversas escalas para medirla, pudiéndose expresar como humedad relativa o humedad absoluta. La humedad relativa es la relación (expresada en porcentaje) de humedad que contiene el aire y la cantidad de agua necesaria para saturar a este a una misma temperatura. Se llama relativa porque el aire tiene la característica de poder tener mayor contenido de humedad a mayor temperatura. La humedad relativa es una manifestación de energía del aire (calor latente) relacionada de manera directa con la temperatura y puede afectar nuestra percepción de confort. El manejo de la humedad en el diseño es una herramienta básica de la climatización pasiva por su bajo costo y enorme efecto en los espacios (Rodríguez, 2001).



### 2.6.2 Medición de la Humedad.

El instrumento más usado para medir la humedad es el psicrómetro, el cual consiste en dos termómetros de mercurio sujetos a una tableta con manija giratoria. Uno de los termómetros se usa para medir la temperatura del aire (TBS), mientras que el otro medirá la temperatura de evaporación del agua contenida en una gasa mojada que cubre el bulbo del termómetro (TBH). El psicrómetro se hace girar a manera de onda con el fin de airear la gasa y acelerar la evaporación del agua. La temperatura de bulbo seco siempre será mayor que la de bulbo húmedo, a menos que el aire se encuentre totalmente saturado de vapor de agua, en cuyo caso las temperaturas serán iguales. De la diferencia de temperaturas se deducen la humedad absoluta y relativa del aire, relación de datos registrados en tablas, reglas deslizantes o diagramas psicrométricos. Existen otros instrumentos para medir la humedad del aire llamados higrómetros. Algunos funcionan con fibras de varios materiales que se contraen o expanden con los cambios de humedad. Otros emplean elementos sensibles (sensores) que cambian sus características eléctricas ante las variaciones de la humedad (Álvarez et al., 2000). Para este trabajo la humedad relativa fue medida como ya se mencionó con los multisensores WXT510 (figura 2.7). La figura 2.13 muestra un Higrómetro que es el instrumento de medición más común para medir la humedad.



Fig. 2.13 Higrómetro Analógico y Digital para medir la Humedad.

## 2.7 Viento

En adelante se define el viento, sus atributos, los instrumentos empleados para medir el viento y se presentan los datos procesados.

### 2.7.1 Definición de la Velocidad y Dirección del Viento.

El viento es aire en movimiento generado por las diferencias de temperatura y presión atmosférica que son causadas por un calentamiento no uniforme de la superficie terrestre, ya que mientras el sol calienta el aire, agua y tierra de un lado de la tierra, el otro lado es enfriado por la radiación nocturna hacia el espacio. El viento tiene diversos atributos que lo caracterizan, como son dirección, frecuencia y velocidad. La dirección es la orientación de la que proviene el viento y se mide con una veleta. La frecuencia es el porcentaje en que se presentó el viento de cada una de las orientaciones. La velocidad del viento es la distancia recorrida por el flujo de viento en una unidad de tiempo. El viento es otro parámetro de gran importancia para el diseño. En algunos climas como los cálidos y húmedos es la principal forma de climatización. Su uso adecuado puede provocar sensaciones agradables en espacios que de otro modo serían inhabitables (Rodríguez, 2001).

### 2.7.2 Medición de la Velocidad y Dirección del Viento.

La velocidad del viento se mide con un anemómetro, pero en este estudio se midió con el multisensor WXT510 Vaisala (figura 2.7). Los datos de viento se pueden presentar en forma de una rosa de vientos, que es un círculo que tiene marcados alrededor los rumbos en que divide la vuelta al horizonte. El instrumento más común para medir velocidad y dirección del viento es el anemómetro, y en la figura 2.14 se muestra un anemómetro climático portátil.



Fig. 2.14 Anemómetro Digital para la medir Viento.

## 2.8 Localización de las Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAS) en el Estado.

El Estado de Morelos cuenta con una red muy pequeña de estaciones meteorológicas automáticas (EMAS) instaladas en su territorio; el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) tiene dos unidades ubicadas en los municipios de Tepoztlán y Jiutepec, además el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agrícolas (INIFAP) tiene 23 unidades, pero sus datos no son del dominio público. La localización de las cinco EMAS instaladas por el Cenidet en el Estado de Morelos fue de acuerdo a la metodología descrita por (Medrano 2007), donde se toma en cuenta la temperatura y precipitación de los registros históricos de las 64 estaciones convencionales de CNA, ubicadas en el Estado de Morelos. A continuación se describen las características de los lugares donde se encuentran instaladas las cinco estaciones meteorológicas automáticas (EMAS) del Cenidet.

### Temoac

Localización: El municipio (figura 2.15) se ubica geográficamente entre los paralelos  $18^{\circ} 50' 23'$  de latitud norte y  $90^{\circ} 10' 32'$  de longitud oeste del meridiano de Greenwich a una altura media de 1760 metros sobre el nivel del mar limita al este con el Estado de Puebla y al oeste con el municipio de Ciudad Ayala.

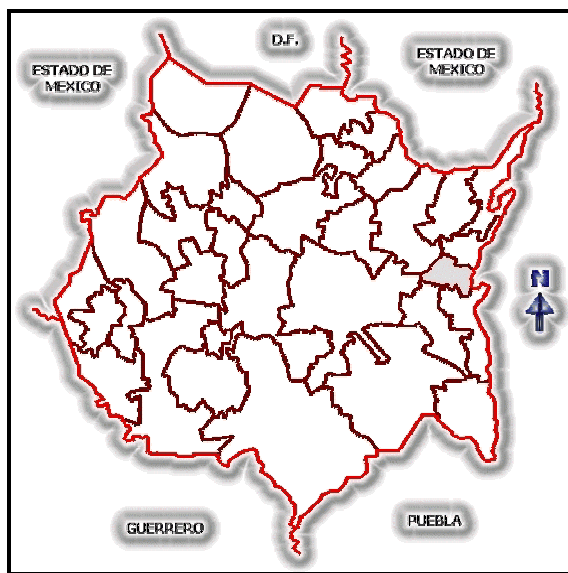


Fig. 2.15. Localización del municipio de Temoac en el Estado de Morelos (INEGI, 2006).

**Extensión:** Su extensión es de 45,860.08 kilómetros cuadrados, cifra que representa el 0.92 % del total del estado.

**Clima:** El clima de Temoac es templado subhúmedo, con lluvias en verano y con una temperatura media anual de 19.76°C. Las variaciones de lluvias: Máximas de 1,993.8 mm. y la mínima de 1,688.6 mm, el mayor volumen de lluvias es el que se registra durante los meses de mayo-octubre con una captación promedio anual de 1,693 milímetros.

**Vivienda:** El tipo de vivienda es unifamiliar, de una sola planta, con patio o huerta anexa. Los materiales utilizados en la construcción son: Piedra, adobe, tabique, tabicón y teja. De acuerdo a los resultados preliminares del Censo General de Población y Vivienda 2000 llevado a cabo por el INEGI, en el municipio existen 2,491 viviendas en total que son habitadas por 12,049 personas (INEGI, 2006).

### **Jiutepec**

**Localización:** Se localiza entre los paralelos 18° 53' de latitud norte y los 99° 10' de longitud oeste del meridiano de Greenwich a una altura de 1,350 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con Tepoztlán y Cuernavaca, al oriente con Yautepec, al sur con Emiliano Zapata y al poniente con Cuernavaca y Temixco (figura 2.16).



Fig. 2.16 Localización del municipio de Jiutepec en el Estado de Morelos (NEGI, 2006).

**Extensión:** Tiene una superficie de 70.45 kilómetros cuadrados, representando el 1.42% de la superficie total del estado.

**Clima:** El clima que predomina en Jiutepec, es subtropical caluroso con lluvias en verano. Su temperatura media es de 21.2° C, su variante media máxima es 31.4°C, su máxima absoluta es de 39.8°C, la mínima media baja es 10.8°C y la mínima absoluta 0.5°C. Los meses más calurosos son abril y mayo y los más fríos diciembre y enero. Los más lluviosos son julio y agosto, con aproximadamente 80 días nublados al año. La precipitación media anual es de 1,021 mm y el temporal de lluvias es del mes de junio a octubre, alcanzando los 890 mm, con un volumen de lluvia de 59,334,890 metros cúbicos.

**Vivienda:** La situación de la vivienda en el municipio es la siguiente: existen 41,118 viviendas particulares dentro las cuales habitan 170,589 personas y 10 viviendas colectivas que albergan a 98 personas.

### **Tepalcingo**

**Localización:** El municipio (figura 2.17) se ubica geográficamente entre los paralelos 18°26' de latitud norte y los 98°18' de longitud oeste del meridiano de Greenwich, a una altura

de 1,100 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con Ayala y Jonacatepec; al sur con Tlaquiltenango y el Estado de Puebla; al este con Axochiapan y Jonacatepec; y al oeste con Ayala y Tlaquiltenango. Políticamente está dividido en 20 localidades, siendo las más importantes: la cabecera municipal, Huitchila Ixtlilco el Chico, Ixtlilco, Ixtlilco el Grande, Los Sauces, El Tepehuaje, El Limón, Pitzotlán, El Pastor y Zacapalco.

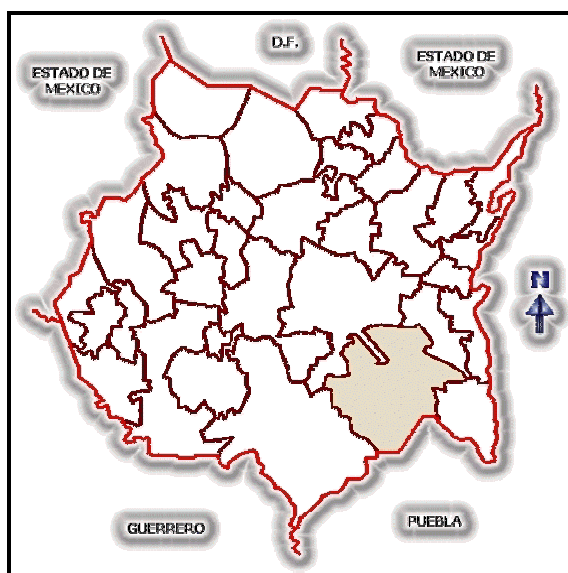


Fig. 2.17 Localización del municipio de Tepalcingo en el Estado de Morelos (NEGI, 2006).

**Extensión:** Tiene una superficie de 349.713 kilómetros cuadrados, cifra que representa el 7.05 por ciento del total del Estado.

**Clima:** De acuerdo a la clasificación de köpen, modificado por García (Álvarez y Fuentes, 2000), la zona tiene un clima cálido subhúmedo, el más seco de los subhúmedos, con una temperatura media anual de 24.3° C. Y una precipitación promedio anual de 885.3 mm<sup>3</sup>.

**Vivienda:** De acuerdo a los resultados preliminares del Censo General de Población y Vivienda 2000 llevado a cabo por el INEGI, en el municipio existen 5,337 viviendas que son habitadas por 24,133 personas.

### Tepoztlán

Localización: El municipio de Tepoztlán (figura 2.18) se sitúa al norte del Estado, en las coordenadas entre 18°53' y los 19°12' de latitud norte y los 99°02' y 99°12' de longitud oeste, del meridiano de Greenwich, teniendo por límites al norte con el Distrito Federal, al sur con los municipios de Yautepec y Jiutepec, al este con Tlalnepantla y Tlayacapan y al oeste con los municipios de Cuernavaca y Huitzilac. La distancia aproximada a la capital del Estado es de 18 km. La cabecera municipal de Tepoztlán se localiza entre los 18°58' de latitud norte y los 99°06' de longitud oeste del meridiano de Greenwich.

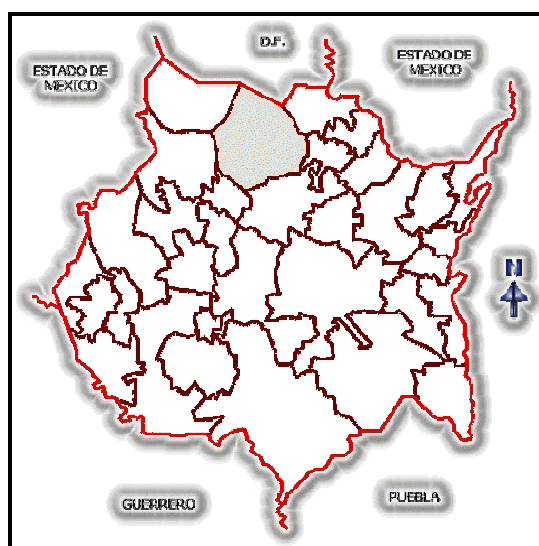


Fig. 2.18 Localización del municipio de Tepoztlán en el Estado de Morelos (INEGI, 2006).

Extensión: Tiene una superficie de 242.646 kilómetros cuadrados, cifra que representa el 4.89 por ciento del total del Estado.

Clima: La zona en estudio de Tepoztlán, presenta climas semicálidos, húmedos y templados, subhúmedos, en las laderas de las sierras de Tepoztlán. La época lluviosa es en el verano y a principios de otoño, las precipitaciones más bajas se presentan en los valles, llegan hasta los 1,000 mm. anuales y las más altas en las montañas sobrepasando los 1,200 mm. anuales.

Vivienda: De acuerdo a los resultados preliminares del Censo General de Población y Vivienda 2000 llevado a cabo por el INEGI, en el municipio existen 7,881 viviendas que son

habitadas por 32,921 personas, estas se dividen en viviendas particulares 7,878 en las que habitan 32,901 personas, y 3 viviendas colectivas en las que hay 20 personas.

### **Tlaquiltenango**

Localización: El municipio (figura 2.17) se ubica geográficamente entre los paralelos  $18^{\circ} 37' 44''$  de latitud norte y los  $90^{\circ} 09' 37''$  de longitud oeste del meridiano de Greenwich, a una altura de 911 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con Tlaltizapán, Ayala y Tepalcingo; al sur con los Estados de Guerrero y Puebla; al oeste con Zacatepec, Jojutla y Puente de Ixtla; y al este con Tepalcingo, como se muestra en la figura 2.19.

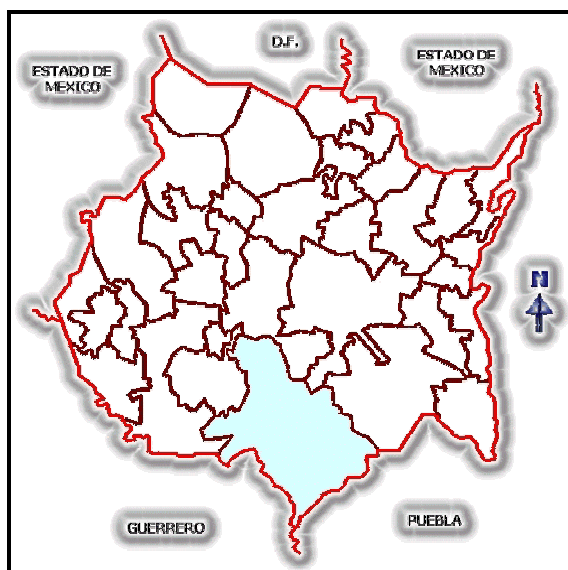


Fig. 2.19 Localización del municipio de Tlaquiltenango en el Estado de Morelos (INEGI, 2006).

Extensión: Cuenta con una superficie de 581.778 kilómetros cuadrados cifra que representa el 11.73% del total del Estado.

Clima: Existen dos tipos de climas uno semiseco–semicálido y el otro semiseco–cálido, invierno poco definido, con la mayor sequía al finalizar el otoño, en invierno y principios de primavera. Las temperaturas oscilan entre los  $15^{\circ}$  y  $35^{\circ}$ , la precipitación es de 909.8 mm de lluvia anual.

Vivienda: De acuerdo a los resultados preliminares del Censo General de Población y Vivienda 2000 llevado a cabo por el INEGI, en el municipio existen 7,131 viviendas que son



habitadas por 30,017 personas, y estas se dividen en viviendas particulares 7,128 en las que habitan 29,854 personas, y 3 viviendas colectivas en las que hay 163 personas. El tipo de vivienda en cuanto a su construcción se detalla de la siguiente manera, las viviendas con techo de lamina superan en número a las que tienen techo de losa con 2,824 y 1,920 respectivamente; Las viviendas que tienen paredes de tabique son 2,853, mientras que las de madera son 1,972 y las de adobe tan solo son 25; En cuanto a los tipos de suelo encontramos los de cemento con 3,284 los cuales superan a los de madera y otros tipos con solo 255.

### **Tlayacapan**

**Localización:** Se encuentra localizado en la parte Noreste del Estado de Morelos (figura 2.20); entre el paralelo 18° 57' latitud Norte y 98° 59' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich. Sus colindancias son las siguientes: Al Norte, con el municipio de Tlalnepantla; al Sur, con el municipio de Yauatepec; al Este con el municipio de Totolapan y Atlatlahucan; al Oeste con el municipio de Tepoztlán; distancia aproximada hacia la capital del Estado 60 km.

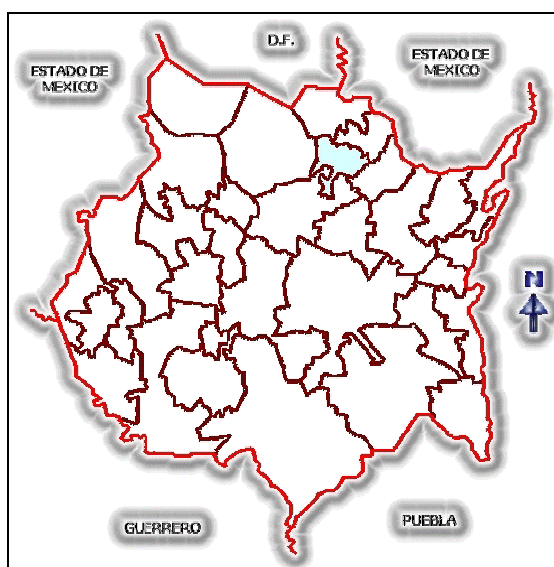


Fig. 2.20 Localización del municipio de Tlayacapan en el Estado de Morelos (NEGI, 2006).

**Extensión:** Posee una extensión territorial de 52,136 kilómetros cuadrados, cifra que representa el 1.05% del total del Estado.

Clima: Se encuentra a 1,630 metros sobre el nivel del mar por lo tanto su clima es templado subhúmedo con lluvias en verano. Su temperatura media es de 16°C. Se cuenta con un clima templado, muy agradable y sobre todo saludable, lugar apropiado para la construcción de instituciones de recuperación y asilos de ancianos con vientos que corren del sur al norte.

Vivienda: En el año de 1995, se encontraban edificadas 2,415 viviendas, la mayoría son propias de tipo fijo, los materiales utilizados para la construcción son el tabique y cemento y otras de adobe y teja con 11,864 ocupantes.

De acuerdo a los resultados preliminares del Censo General de Población y Vivienda 2000 llevado a cabo por el INEGI, en el municipio existen 2,937 viviendas que son habitadas por 13,851 personas.

### **Puente de Ixtla (Tilzapotla)**

Localización: sus coordenadas geográficas son al norte 18° 43', al sur 18° 27', al este 99° 11', al oeste 99° 22' de longitud (figura 2.21).

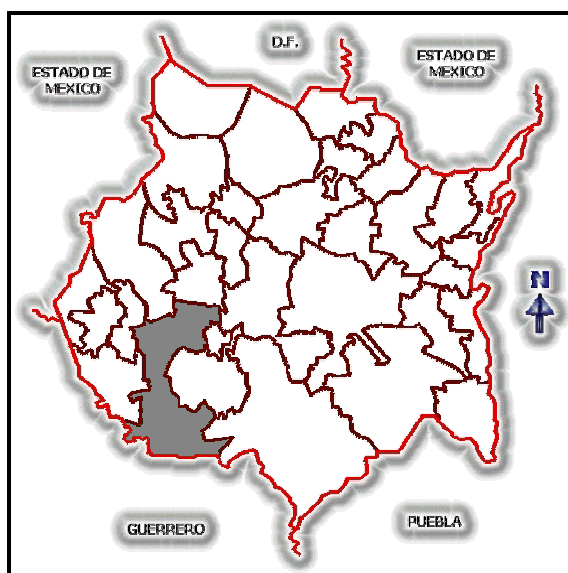


Fig. 2.21 Localización del municipio de Puente de Ixtla en el Estado de Morelos (INEGI, 2006).

Extensión: Cuenta con una extensión total de 299 Km<sup>2</sup> cubriendo un porcentaje del 6% respecto a la superficie total del Estado de Morelos.

Clima: Tiene un clima semiseco y cálido con invierno poco definido, con mayor sequía a finales de otoño, invierno y principios de primavera, registra una temperatura media anual de 25°C, con una precipitación anual de 930 milímetros y las lluvias se presentan en los meses de mayo y septiembre.

Vivienda: De acuerdo a los resultados preliminares del Censo General de Población y Vivienda 2000 llevado a cabo por el INEGI, en el municipio existen 11,843 viviendas que son habitadas por 54,149 personas, y estas se dividen en viviendas particulares 11,840 en las que habitan 54,111 personas, y 3 viviendas colectivas en las que hay 38 personas (INEGI, 2006).

## **2.9 Procesamiento Mensual de Datos Meteorológicos**

A continuación se presentan los datos meteorológicos procesados en valores mensuales para radiación, temperatura, humedad relativa y viento, en los cinco municipios donde se tienen instaladas las estaciones que pertenecen al Cenidet. Los datos diarios de estas cinco estaciones y los datos mensuales de las dos estaciones del SMN (Jiutepec y Tepoztlán), se presentan en los apéndices I y II. El apéndice III presenta resultados que ejemplifican el procesamiento de datos del viento en la rosa de los vientos para el mes de Enero en las cinco estaciones del Cenidet en 2007.

Los gráficos 2.8- 2.35, presentan los promedios mensuales para la radiación solar, las temperaturas medias, máximas y mínimas, las humedades relativas medias, máximas y mínimas y la velocidad y dirección del viento durante el periodo de Mayo 2006 a Abril 2007. Sin embargo los gráficos son presentados de Enero a Diciembre para una mejor visualización del periodo completo de un año.

### **TEMOAC**

La figura 2.22-a presenta un máximo de radiación solar de 7.3 kW-h/m<sup>2</sup> en el mes de Abril 2007 y un mínimo de 4.7 kW-h/m<sup>2</sup> en el mes Noviembre. La figura 2.22-b muestra que el mes con temperatura más alta fue en Abril, con valores medios de 22°C, máximos de

30.5°C y mínimos de 14°C; el mes con temperaturas más bajas es Diciembre con valores medios de 16°C, máximos de 25°C y mínimos de 8°C. En cuanto a la humedad relativa (figura 2.22-c) se aprecia claramente las temporadas de secas y lluvias, los meses con valores mas altos de humedad son de Mayo a Octubre, teniendo un máximo en el mes de Septiembre con 81%; los valores más bajos se presentan en los meses de Marzo y Abril con humedades de alrededor de 38%. La velocidad del viento (figura 2.22-d) presenta los valores más altos en los meses de Marzo, Abril y Mayo con aproximadamente 1 m/s y valores mínimos en el periodo de Julio a Octubre con alrededor de 0.7 m/s; la dirección predominante del viento es Sureste y Este-Sureste.

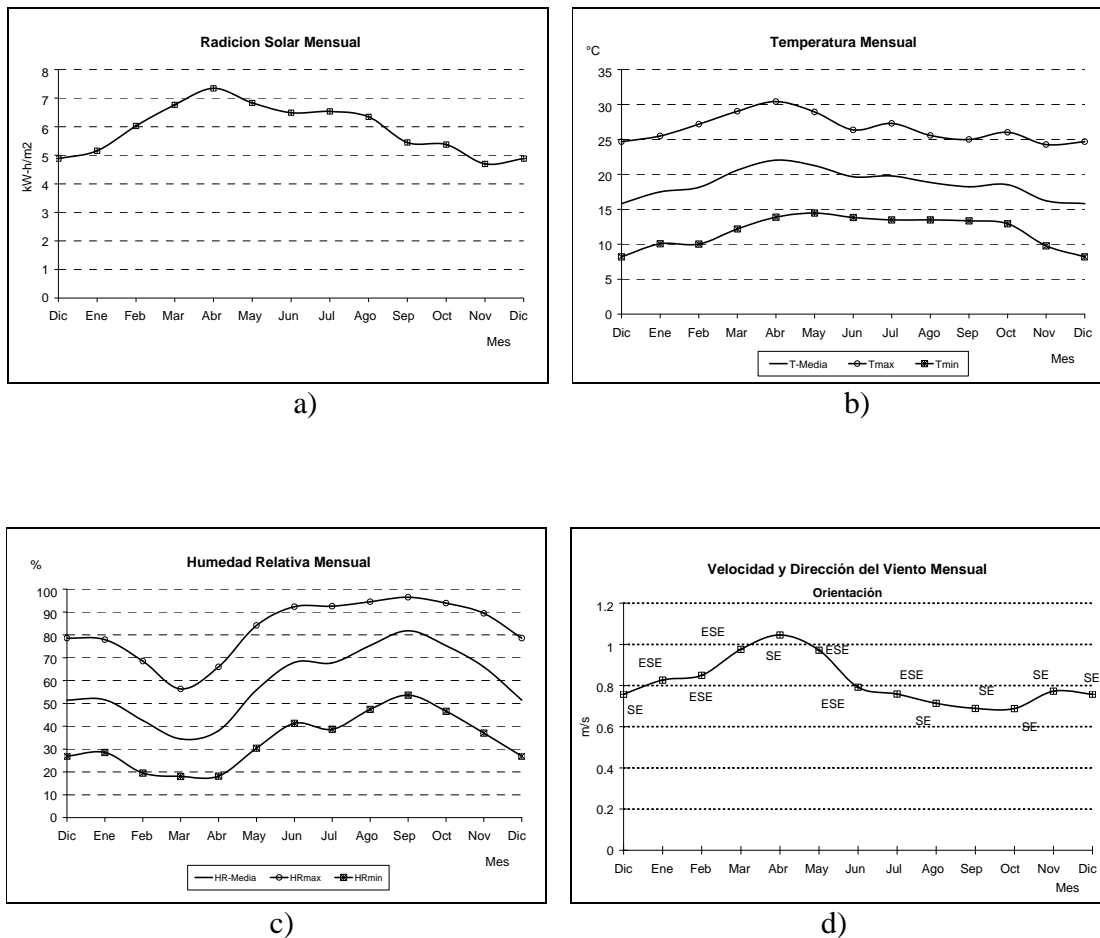


Fig. 2.22 Gráficos de Radiación, Temperatura, Humedad Relativa y Viento en Temoac.

**TEPALCINGO**

La figura 2.23-a presenta un máximo de radiación solar de 6.2 kW-h/m<sup>2</sup> en los meses de Abril y Mayo y un mínimo de 4.05 kW-h/m<sup>2</sup> en el mes Noviembre. La figura 2.23-b muestra que la temperatura más alta fue en Abril, con valores medios de 26°C, máximos de 34°C y mínimos de 17°C; el mes con temperaturas más bajas es Diciembre 2006 con valores medios de 18.5°C, máximos de 28°C y mínimos de 10°C. La humedad relativa (figura 2.23-c) muestra que los meses con valores más altos de humedad son de Mayo a Octubre, teniendo un máximo en el mes de Septiembre con 79%; los valores más bajos se presentan en los meses de Febrero a Abril con humedades de alrededor 30%.

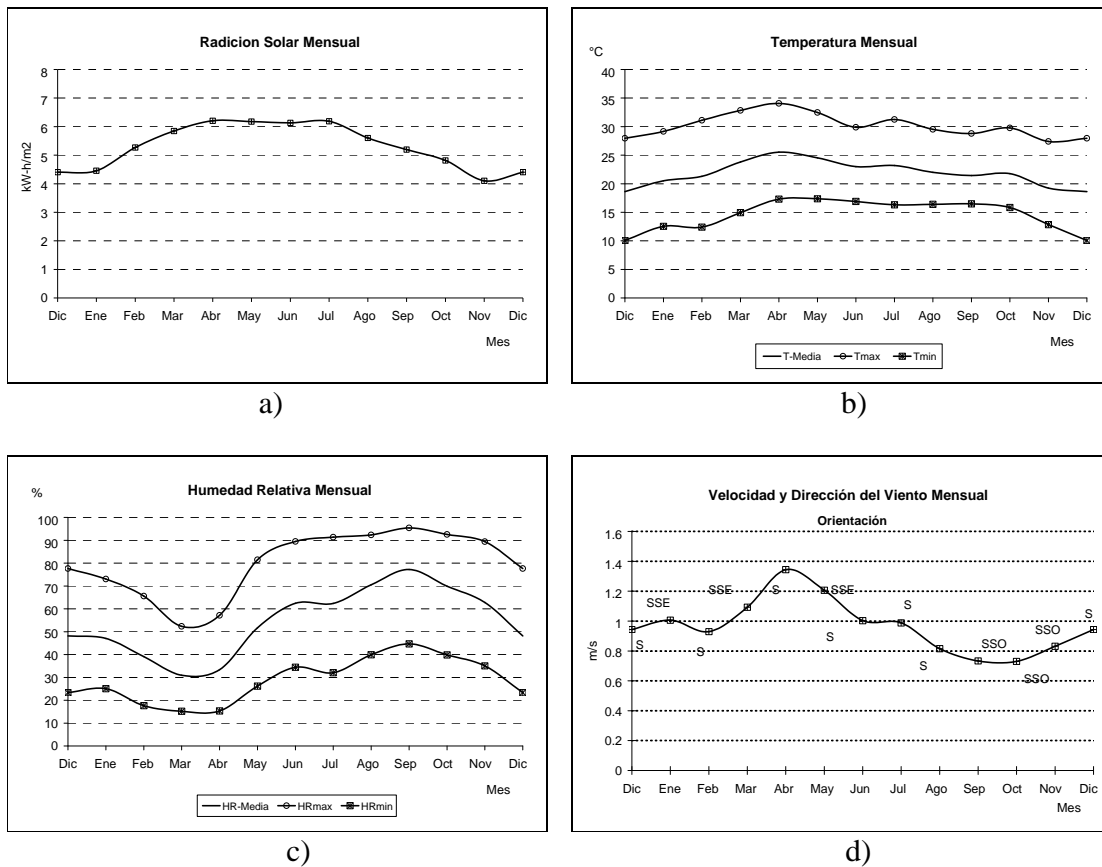
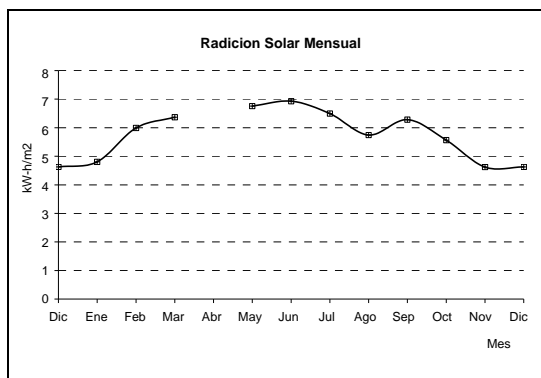


Fig. 2.23 Gráficos de Radiación, Temperatura, Humedad Relativa y Viento en Tepalcingo.

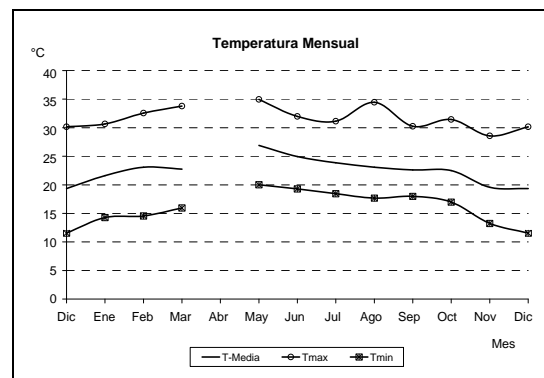
La velocidad del viento (figura 2.23-d) presenta el valor más alto en el mes de Abril con aproximadamente 1.35 m/s y valores mínimos en el periodo de Agosto a Noviembre con 0.7 m/s; la dirección predominante del viento es Sur, Sur-Sureste y Sur-Suroeste.

### TILZAPOTLA

Los datos presentados en la figura 2.24 muestran gráficos incompletos para los meses de Marzo y Abril, debido a problemas con la estación meteorológica en este municipio. La máxima radiación solar (figura 2.24-a) es de 6.9 kW-h/m<sup>2</sup> en el mes de Junio y la mínima de 4.6 kW-h/m<sup>2</sup> en el mes de Noviembre. La temperatura más alta (figura 2.10-b) fue en Mayo, con valores medios de 27°C, máximos de 35°C y mínimos de 20°C; el mes con temperaturas más bajas es Diciembre con valores medios de 19°C, máximos de 30°C y mínimos de 12°C (figura 2.24-b). La humedad relativa (figura 2.24-c) muestra que los meses con valores más altos de humedad son de Julio a Octubre, teniendo un máximo en el mes de Agosto con 81%; los valores más bajos se presentan en los meses de Febrero a Mayo con humedades de alrededor de 45%. La velocidad del viento (figura 2.24-d) presenta el valor más alto en el mes de Marzo con aproximadamente 1.7 m/s y valores mínimos en el periodo de Mayo a Septiembre con 0.1 m/s; la dirección predominante del viento es Sur, Sur-Sureste, Suroeste y Sur-Suroeste.



a)



b)

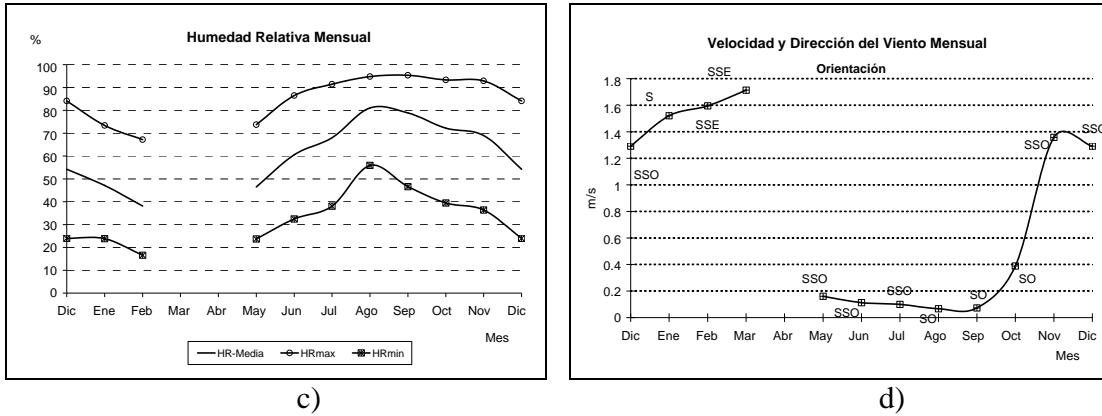
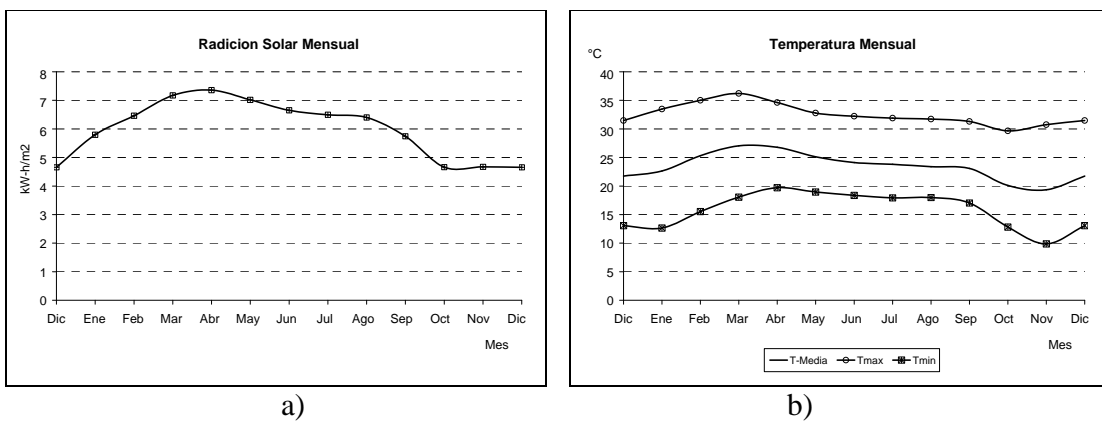


Fig. 2.24 Gráficos de Radiación, Temperatura, Humedad Relativa y Viento en Tilzapotla.

**TLAQUILTENANGO**

La figura 2.25-a presenta un máximo de radiación solar de 7.3 kW-h/m<sup>2</sup> en el mes de Abril y un mínimo para el periodo de Octubre a Diciembre con aproximadamente 4.8 kW-h/m<sup>2</sup>. La temperatura más alta (figura 2.25-b) fue en Marzo, con valores medios de 27°C, máximos de 36°C y mínimos de 18°C; el mes con temperaturas más bajas es Noviembre con valores medios de 19°C, máximos de 31°C y mínimos de 10°C. La humedad relativa (figura 2.25-c) muestra que los meses con valores más altos de humedad son de Mayo a Octubre, teniendo un máximo en el mes de Agosto y Septiembre con 72%; los valores más bajos se presentan en los meses de Noviembre a Marzo con humedades de alrededor de 40%.



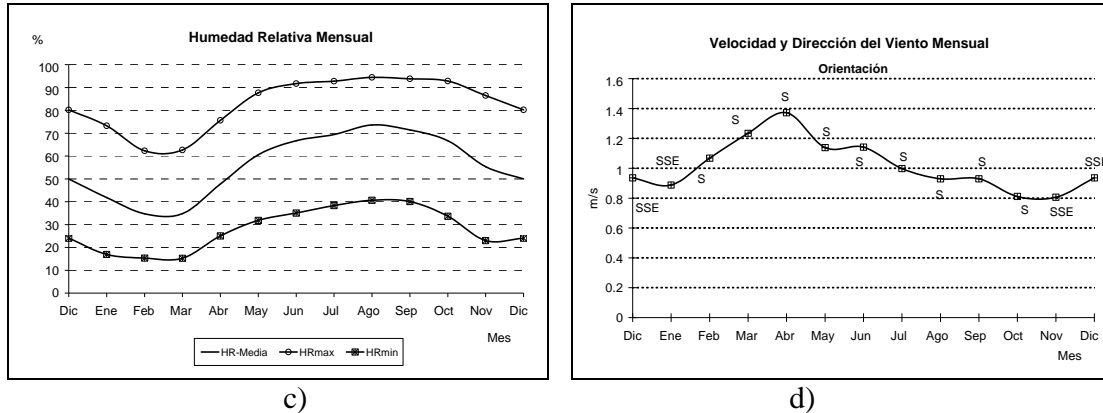


Fig. 2.25 Gráficos de Radiación, Temperatura, Humedad Relativa y Viento en Tlaquiltenango.

La velocidad del viento (figura 2.25-d) presenta el valor más alto en el mes de Abril con aproximadamente 1.39 m/s y valores mínimos en el periodo de Agosto a Noviembre con 0.9 m/s; la dirección predominante del viento es Sur y Sur-Sureste.

## **TLAYACAPAN**

La figura 2.26-a presenta un máximo de radiación solar de 7.0 kW-h/m<sup>2</sup> en el mes de Abril y un mínimo de 4.7 kW-h/m<sup>2</sup> en el mes Noviembre. La temperatura más alta (figura 2.26-b) fue en Abril, con valores medios de 22.5°C, máximos de 29°C y mínimos de 16°C; el mes con temperaturas más bajas es Diciembre con valores medios de 17°C, máximos de 24°C y mínimos de 10°C. La humedad relativa (figura 2.26-c) muestra que los meses con valores más altos de humedad son de Junio a Noviembre, teniendo un máximo en el mes de Septiembre con 79%; los valores más bajos se presentan en los meses de Diciembre a Abril con humedades de alrededor de 41%. La velocidad del viento (figura 2.26-d) presenta el valor más alto en el mes de Abril con aproximadamente 1.7 m/s y un mínimo en el mes de Agosto de 1 m/s; la dirección predominante del viento es Suroeste, Sur-Suroeste y Oeste-Suroeste.



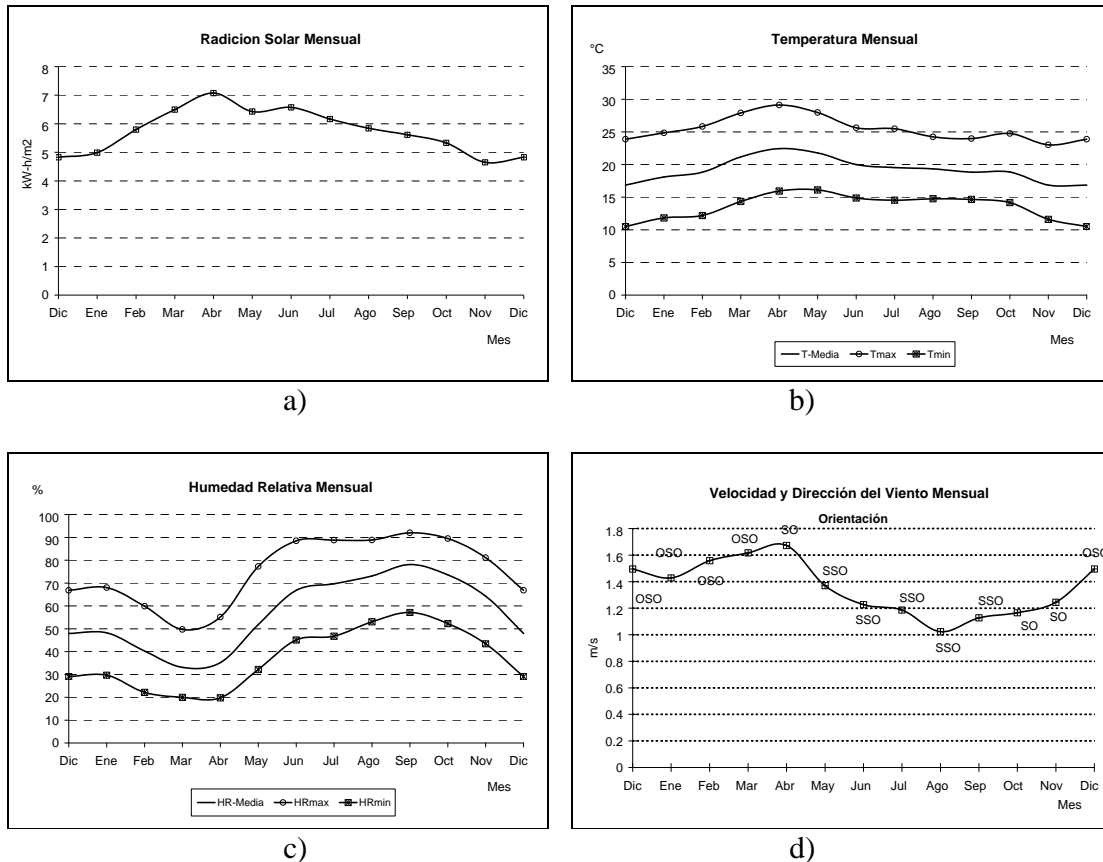


Fig. 2.26 Gráficos de Radiación, Temperatura, Humedad Relativa y Viento en Tlayacapan.

## 2.10 Confort Térmico y Estrategias de Climatización (Carta Psicrométrica)

En esta sección se introduce el concepto de confort térmico y los factores que intervienen para lograrlo. También se presentan las estrategias de climatización en el diseño de sistemas pasivos, mediante la utilización de la carta psicrométrica.

### 2.10.1 Confort Térmico.

Confort es el estado físico y mental en el cual el hombre expresa satisfacción (bienestar) con el medio ambiente circundante. El confort térmico se refiere a la percepción del medio ambiente circundante que se da principalmente a través de la piel, aunque en el intercambio térmico entre el cuerpo y el ambiente los pulmones intervienen de manera importante. El

metabolismo (depende del grado de actividad) es uno de los factores internos más importantes que intervienen en la obtención del confort. Algunos otros son la edad, el sexo, forma y superficie corporal, acumulación de grasa, condición de salud, tipos de alimentos y bebidas, etc. Por otro lado, los factores externos más importantes son:

- Grado de arropamiento: es importante porque de él depende el grado de transferencia de calor entre el cuerpo y el medio ambiente.
- Temperatura del aire: quizás el factor más importante, ya que entre mayor sea la diferencia de temperatura entre el aire y el cuerpo, mayor será el flujo de calor. La temperatura óptima o neutra representa un punto en la escala térmica, por ello es más conveniente hablar de un rango de temperatura en el cual el individuo expresa satisfacción con el ambiente. Los estudios más actuales son los de Szokolay a través de los cuales se ha elaborado la tabla 2.2, donde se definen los rangos de confort térmico de varias ciudades de la Republica Mexicana (Álvarez y Fuentes, 2000).
- Radiación: afecta la sensación térmica del organismo, por ejemplo el estar en un ambiente con aire frío, pero expuestos a la radiación del sol o a la emitida por una chimenea.
- Humedad del aire: juega un papel importante en los mecanismos de intercambio térmico del cuerpo; sudoración, evaporación e intercambio térmico pulmonar.

Movimiento del aire: con el movimiento del aire se incrementa la disipación de calor de dos maneras; incrementando las pérdidas convectivas de calor y acelerando la evaporación.

Aplicando la formula de Szokolay se tiene:

$$\begin{aligned} T_n &= 17.6 + 0.31(t_{ma}) \\ Z_c &= T_n \pm 2.5^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (2.2)$$

donde:  $T_n$ =Temperatura Neutra

$t_{ma}$ =Temperatura media anual

$Z_c$ =Zona de confort

Tabla 2.2 Rangos de confort térmico para varias ciudades.

Ciudad	Mínimo	Tn	Máximo
Toluca	18.9°	21.4°	23.9°
D.F.	19.8°	22.3°	24.8°
Puebla	20.2°	22.7°	25.2°
Cuernavaca	21.6°	24.1°	26.6°
Guadalajara	21.0°	23.5°	26.0°
Monterrey	21.9°	24.4°	26.9°
Mexicali	21.9°	24.4°	26.9°
Veracruz	22.9°	25.4°	27.9°
Villahermosa	23.6°	26.1°	28.6°

La falta de condiciones térmicas adecuadas provoca trastornos fisiológicos, cuyos efectos pueden ir desde los temporales de poca significación hasta los graves que pueden dañar seriamente al organismo e incluso provocar la muerte.

### 2.10.2 Estrategias de Climatización.

El término estrategias se refiere a la definición de las acciones óptimas para la consecución de un fin, basadas en ciertas reglas o principios que ayuden a tomar decisiones correctas. Las condiciones térmicas de un lugar pueden encontrarse en cualquiera de los siguientes casos:

- Por debajo del rango de confort
- En la zona de confort
- Por arriba de la zona de confort

El primer caso es conocido como bajocalentamiento, es decir, cuando el ambiente es frío y por lo tanto es necesario ganar energía calorífica. En este caso las estrategias básicas serán:

promover la ganancia de calor y evitar al máximo la pérdida de calor ganado o generado en el interior de los locales. En el segundo caso, las condiciones térmicas son confortables y adecuadas, por lo cual se deberá tratar de mantenerlas en ese estado. Las estrategias para conseguirlo dependerán de si la tendencia del comportamiento térmico es ascendente o descendente. El tercer caso también es llamado como periodo de sobrecalentamiento, es decir que las condiciones ambientales son calurosas. En este caso, las estrategias básicas serán las inversas a los periodos fríos, es decir, evitar la ganancia de calor y favorecer las pérdidas.

La carta psicrométrica es un diagrama que relaciona la temperatura con la humedad y es muy importante para lograr el diseño óptimo de edificios. A mediados de los años 70's, B. Givoni (Álvarez y Fuentes, 2000) presentó significativas aportaciones, al determinar, dentro de un diagrama psicrométrico (figura 2.27), los límites de efectividad de diferentes estrategias de diseño enfocadas a conseguir el confort higro-térmico. Los límites para las diferentes estrategias forman zonas, que indican hasta donde el diseño adecuado de las edificaciones puede responder favorablemente ante determinadas condiciones de temperatura y humedad para propiciar un ambiente confortable. Originalmente las zonas para cada una de las estrategias se llamaron:

- Zona neutra o de confort
- Zona de ventilación natural
- Zona de calentamiento
- Zona de enfriamiento evaporativo
- Zona de masa térmica
- Zona de humidificación
- Zona de aire acondicionado artificial

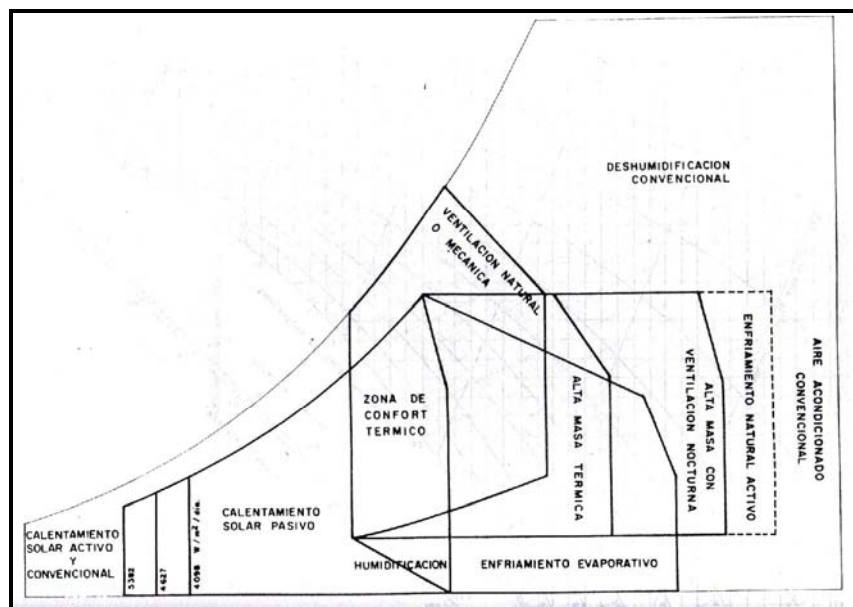


Fig. 2. 27. Carta Bioclimática de Givoni (Estrategias de diseño).

Zona 1 Calefacción: promover el calentamiento solar pasivo y conservar el calor interno, prediciendo el flujo conductivo de calor y evitar pérdidas por fugas o infiltraciones de aire. Se utiliza esta estrategia cuando la temperatura está por debajo de los 20°C a cualquier humedad; cuando la temperatura sea menor de 10°C, se agregarán sistemas activos de calentamiento.

Zona 2 Confort: se define entre 20°C y 25°C y una humedad menor al 80%, la estrategia es el control de la ganancia solar (por ejemplo con sombreados).

Zona 3 Ventilación natural: entre 20°C y 32°C con una humedad relativa entre 20 y 80%; esta zona incluye la zona de confort, ya que la estrategia deberá utilizarse para controlar posibles calentamientos ocasionales.

Zona 4 Masa térmica: el límite inferior de temperatura es de 20°C, incluyendo la zona de confort, y el límite superior de temperatura es mayor en condiciones áridas debido a dos razones: el cuerpo humano se siente más cómodo a temperaturas más altas con humedades bajas y a que la oscilación de temperatura es mayor en los climas áridos, teniendo temperaturas más constantes en los climas húmedos.

Zona 5 Enfriamiento evaporativo: consiste en incrementar el contenido de agua del aire a través de la vaporización. En el cambio de fase del agua líquida en vapor se absorbe calor

sensible del aire y se transforma en latente, por lo tanto, la entalpía se mantiene constante; en otras palabras la energía total no se altera. Los límites de la temperatura de bulbo seco van desde 20°C hasta 40°C (Álvarez y Fuentes, 2000).

La carta psicrométrica se utiliza también para ubicar las zonas climáticas con base en los datos meteorológicos reportados para una región, como se muestra en la figura 2.28:

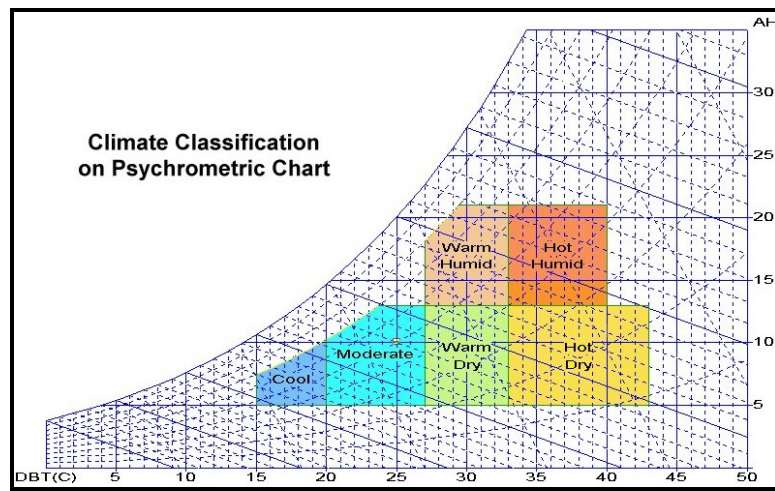


Fig. 2. 28 Clasificación Climática en la Carta Psicrométrica.

### 2.10.3 Clasificación Climática y Estrategias de Diseño para los Datos Reportados en las Estaciones Meteorológicas.

Por medio del uso de la carta psicrométrica podemos clasificar el clima de una región y las estrategias necesarias para acondicionar los espacios interiores. Se consideran valores máximos de temperatura y humedad en promedios mensuales para abarcar todo el rango posible de datos.

La figura 2.29, muestra los datos de temperatura promedio mensual máxima y humedad promedio mensual máxima, graficados en la carta psicrométrica para el municipio de Temoac, donde se observa la clasificación climática que corresponde a un clima templado-húmedo en los primeros meses del año y a partir de Julio se presenta un clima moderado-húmedo.

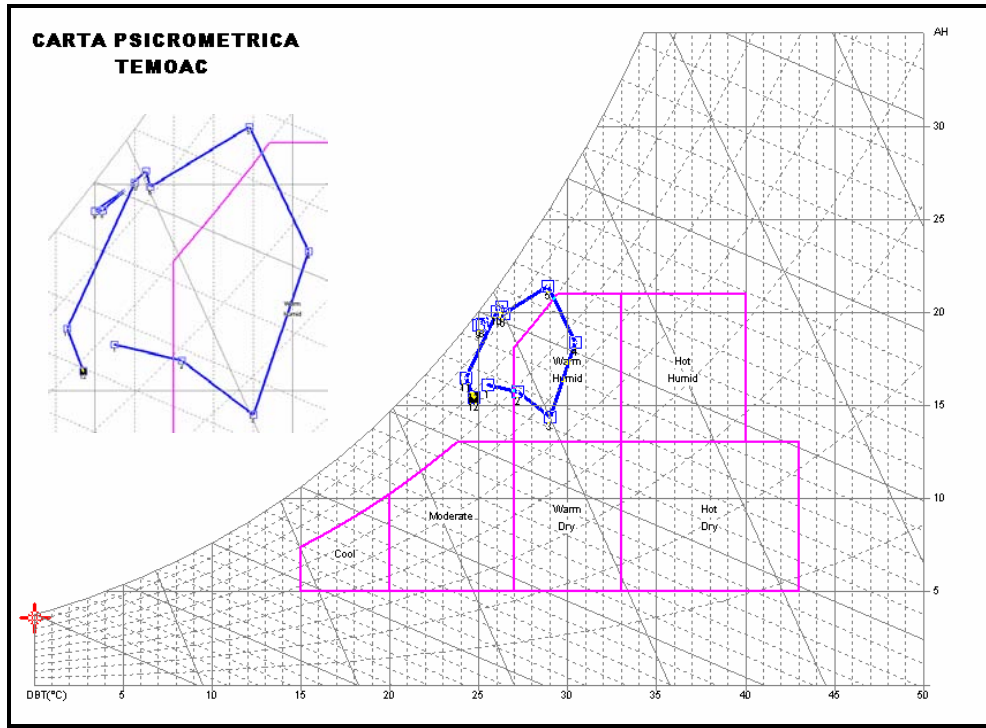


Fig. 2. 29. Clasificación Climática en Temoac.

En la figura 2.30 se presentan los resultados obtenidos al graficar los datos climáticos en la carta psicrométrica para las estrategias de climatización en Temoac. Se observa que la región se encuentra en la zona de ventilación, lo cual nos indica que la estrategia idónea para mantener el ambiente interior es la ventilación, ya sea natural o forzada. Es importante mencionar que si el edificio es construido de manera que se permitan las entradas de aire se tendrá un ahorro considerable de energía eléctrica.

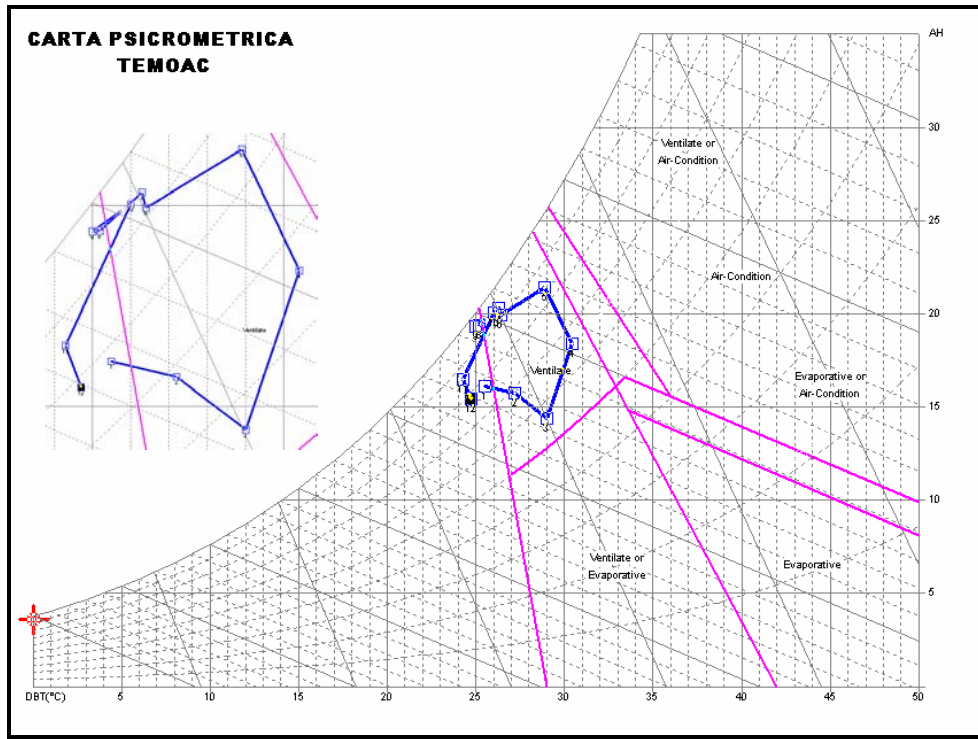


Fig. 2. 30. Estrategias de Climatización en Temoac.

La figura 2.31, muestra los datos de temperatura promedio mensual máxima y humedad promedio mensual máxima, graficados en la carta psicrométrica para el municipio de Tepalcingo, donde se observa la clasificación climática que corresponde a un clima templado-húmedo principalmente, aunque el mes de Mayo cae en la región de clima cálido-húmedo, por ser el mes de mayor temperatura del año. En la figura 2.32 se presentan los resultados obtenidos al graficar los datos climáticos en la carta psicrométrica para las estrategias de climatización en Tepalcingo. Se observa que la región se encuentra en la zona de ventilación principalmente, aunque los meses de Abril a Agosto requieren un poco de aire acondicionado.



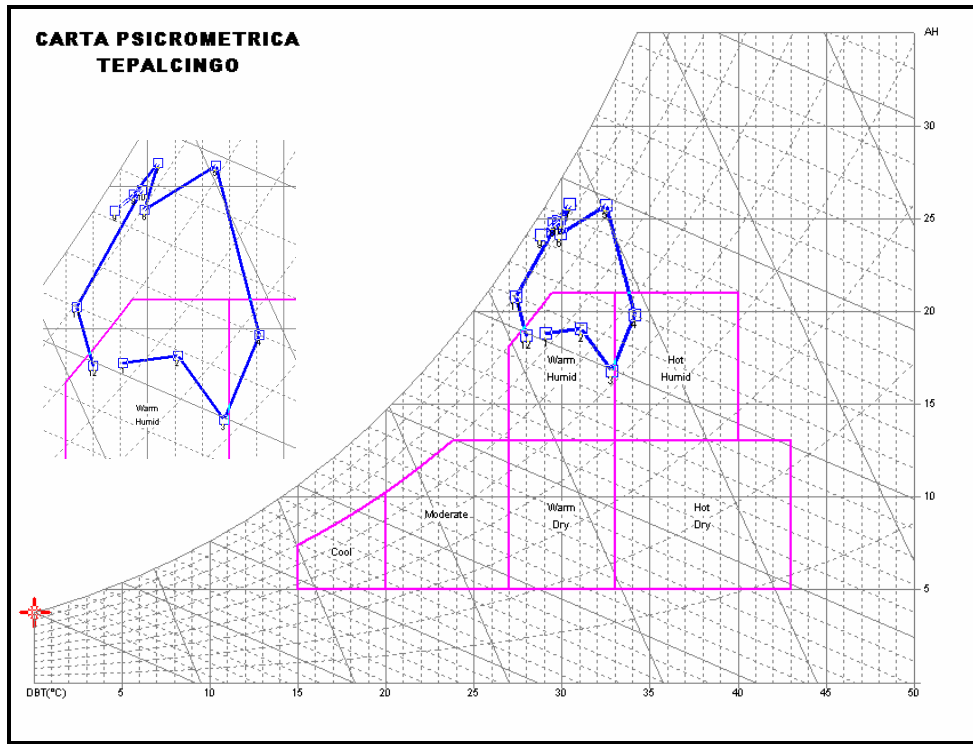


Fig. 2. 31. Clasificación Climática en Tepalcingo.

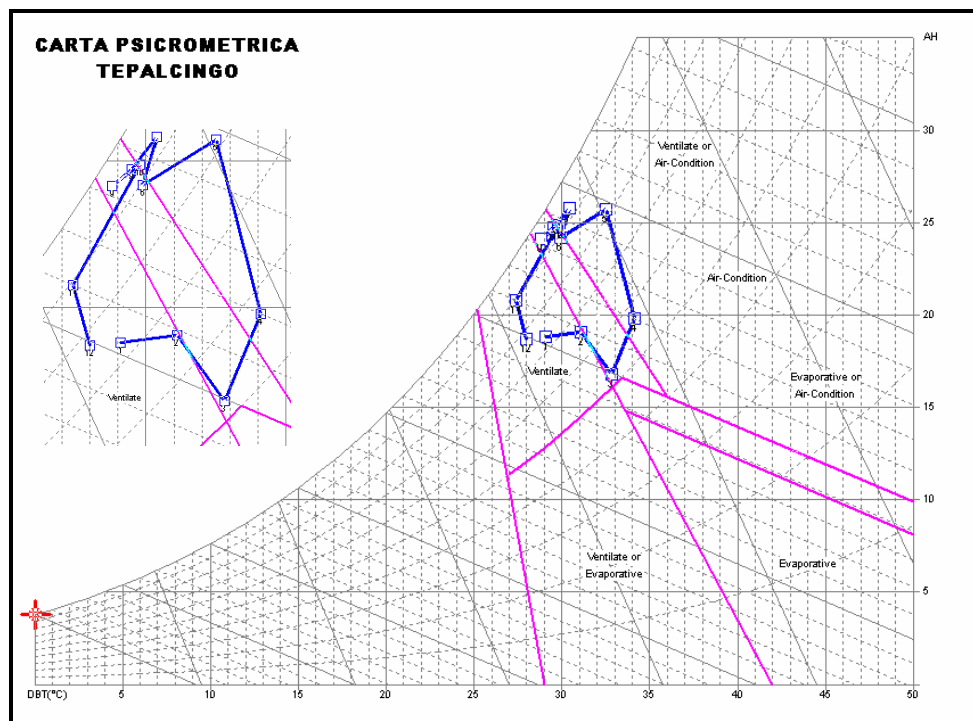


Fig. 2. 32. Estrategias de Climatización en Tepalcingo.

La figura 2.33, muestra los datos de temperatura promedio mensual máxima y humedad promedio mensual máxima, graficados en la carta psicrométrica para el municipio de Puente de Ixtla (Tilzapotla), donde se observa la clasificación climática que corresponde a un clima templado-húmedo los meses de la temporada de secas y cálido-húmedo para la temporada de lluvias. En la figura 2.34 se presentan los resultados obtenidos al graficar los datos climáticos en la carta psicrométrica para las estrategias de climatización en Tilzapotla. Se observa que la región se encuentra en la zona de fuerte ventilación o aire acondicionado. Los meses de Abril y Mayo son los que requieren mayor acondicionamiento térmico.

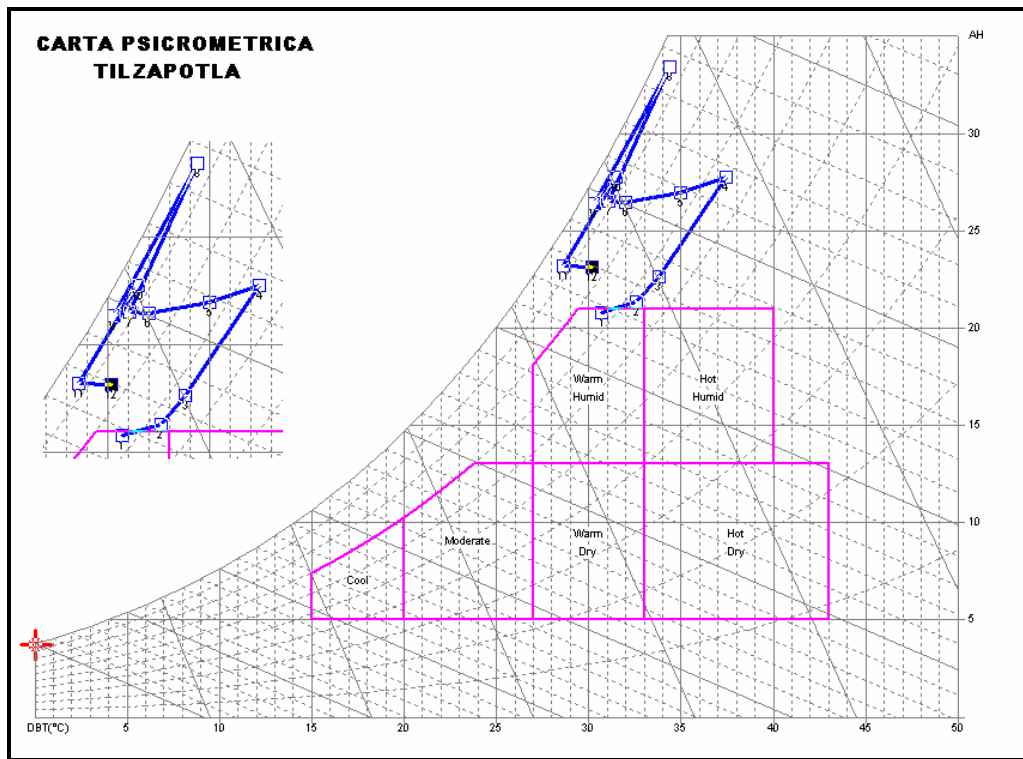


Fig. 2. 33. Clasificación Climática en Tilzapotla.

La figura 2.35, muestra los datos de temperatura promedio mensual máxima y humedad promedio mensual máxima, graficados en la carta psicrométrica para el municipio Tlaquiltenango, donde se observa la clasificación climática que corresponde a un clima templado-húmedo los meses de la temporada de secas y cálido-húmedo para la temporada de lluvias. En la figura 2.36 se presentan los resultados obtenidos al graficar los datos climáticos

en la carta psicrométrica para las estrategias de climatización en Tlaquiltenango. Se observa que la región se encuentra en la zona de fuerte ventilación o aire acondicionado. Los meses de Abril y Mayo son los que requieren mayor acondicionamiento térmico.

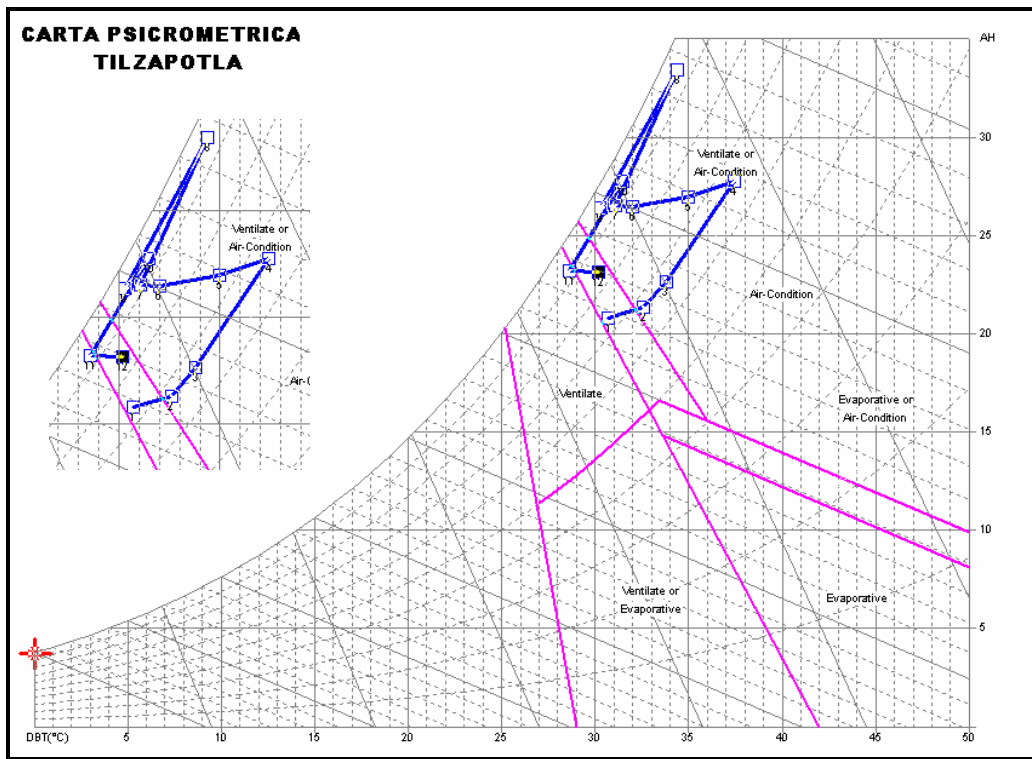


Fig. 2. 34. Estrategias de Climatización en Tlzapotla.

La figura 2.37, muestra los datos de temperatura promedio mensual máxima y humedad promedio mensual máxima, graficados en la carta psicrométrica para el municipio de Tlayacapan, donde se observa la clasificación climática que corresponde a un clima moderado y templado-húmedo, con el mes de Abril que cae en la región de clima templado-seco. En la figura 2.38 se presentan los resultados obtenidos al graficar los datos climáticos en la carta psicrométrica para las estrategias de climatización en Tlayacapan. Se observa que la región se encuentra en la zona de ventilación para los meses de Marzo a Agosto. Los meses de Septiembre a Febrero no requieren acondicionamiento térmico.

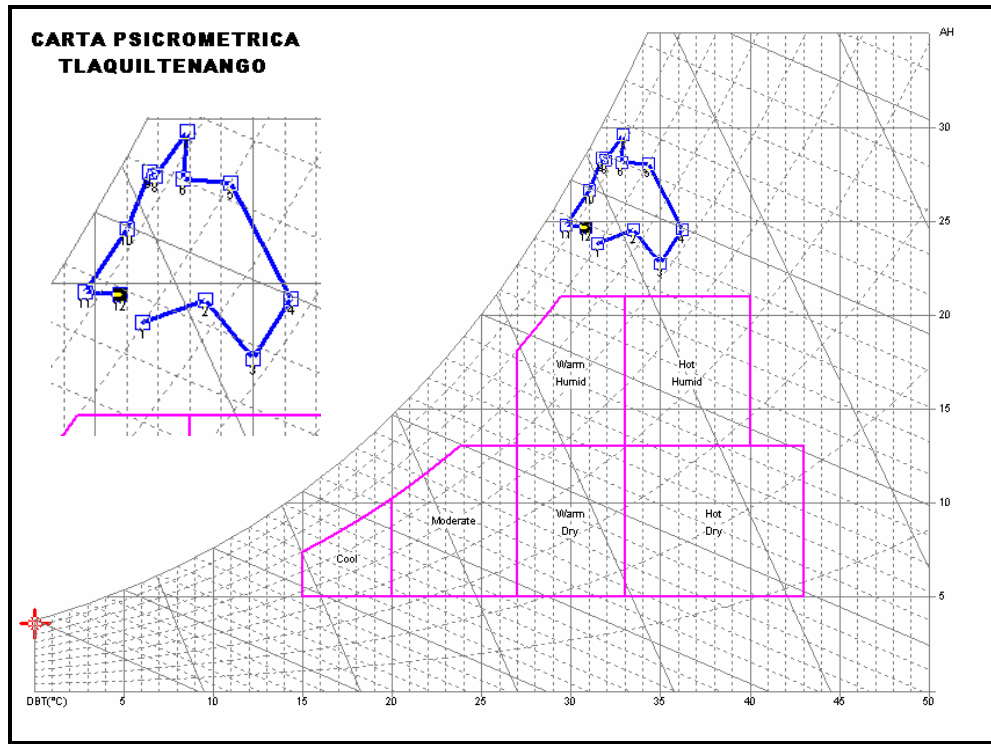


Fig. 2. 35. Clasificación Climática en Tlaquilténango.

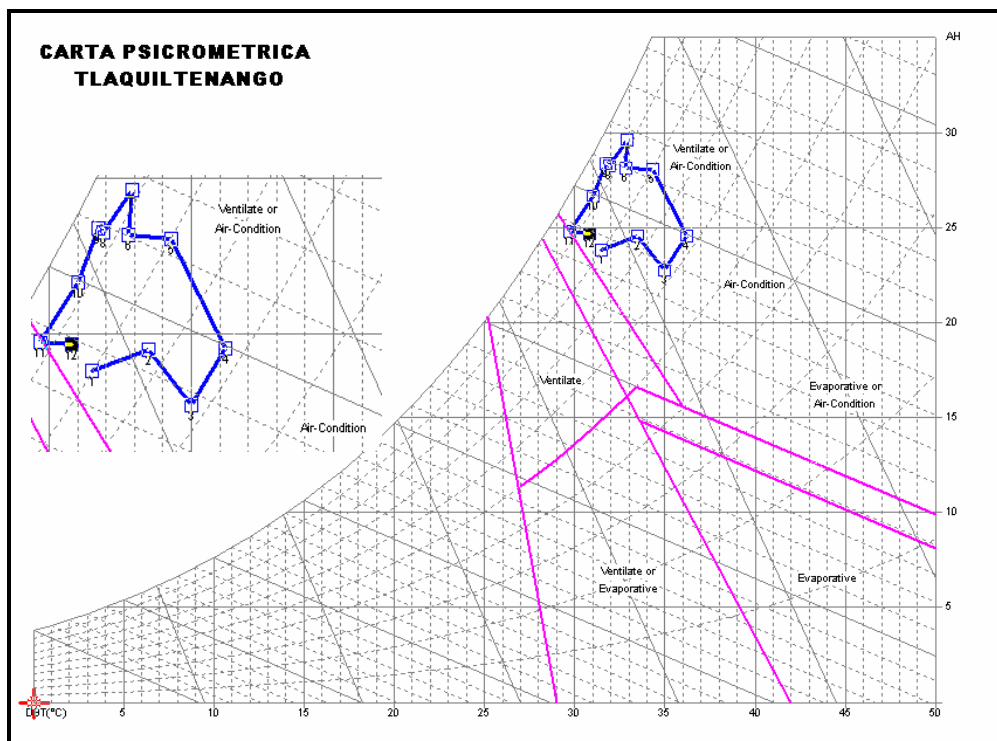


Fig. 2. 36. Estrategias de Climatización en Tlaquilténango.

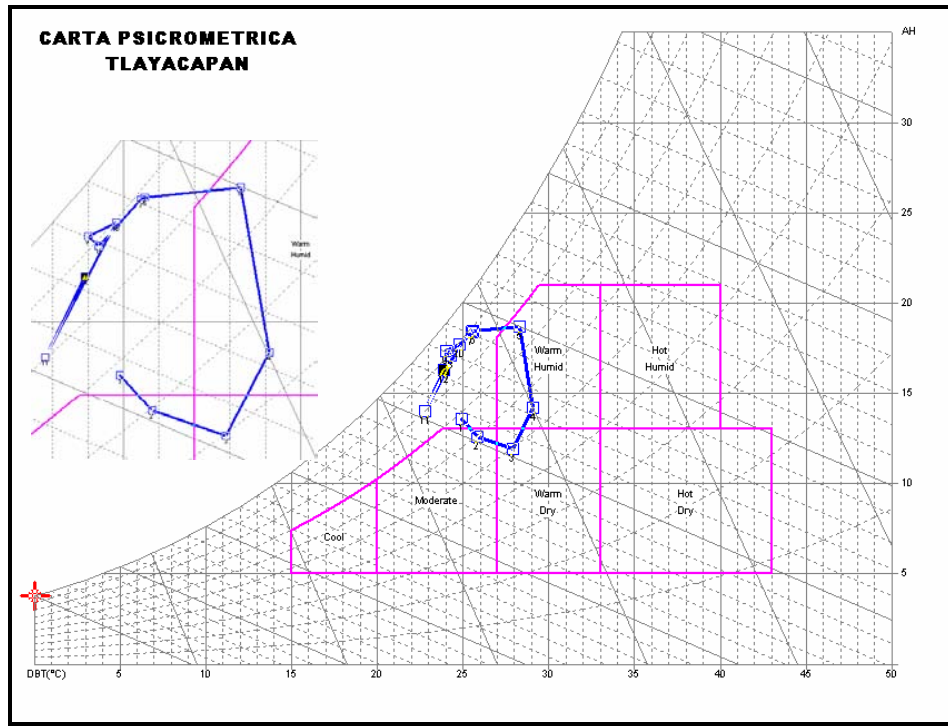


Fig. 2. 37. Clasificación Climática en Tlayacapan.

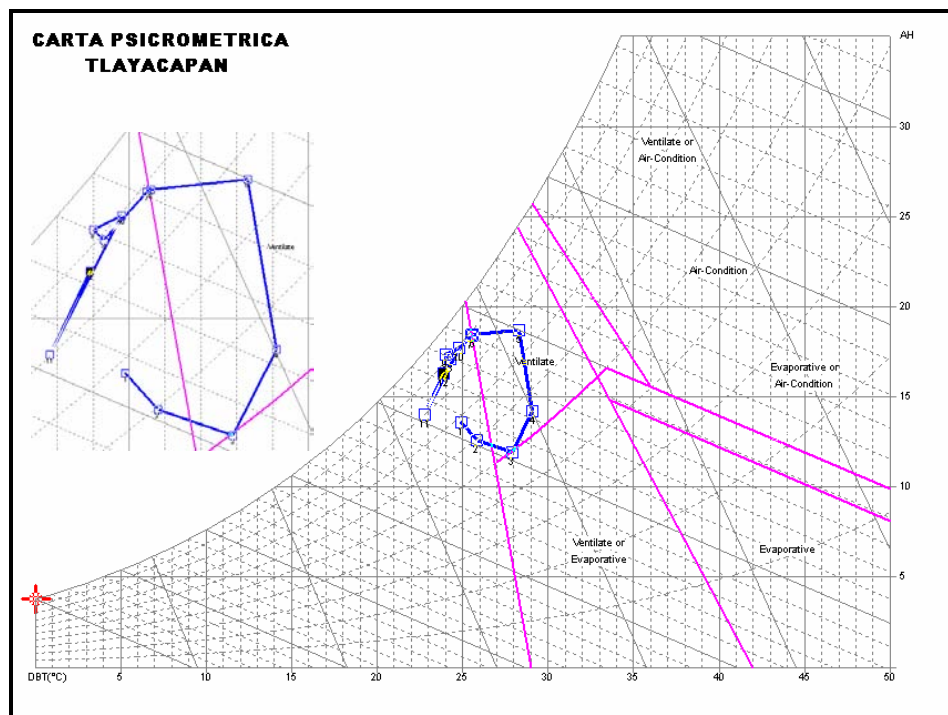


Fig. 2. 38. Estrategias de Climatización en Tlayacapan.

La figura 2.39, muestra los datos de temperatura promedio mensual máxima y humedad promedio mensual máxima, graficados en la carta psicrométrica para el municipio de Jiutepec, donde se observa la clasificación climática que corresponde a un clima templado-húmedo a lo largo de todo el año. En la figura 2.40 se presentan los resultados obtenidos al graficar los datos climáticos en la carta psicrométrica para las estrategias de climatización en Jiutepec. Se observa que la región se encuentra en la zona de ventilación para todo el periodo de un año. Siendo Mayo el mes con mayor requerimiento de ventilación.

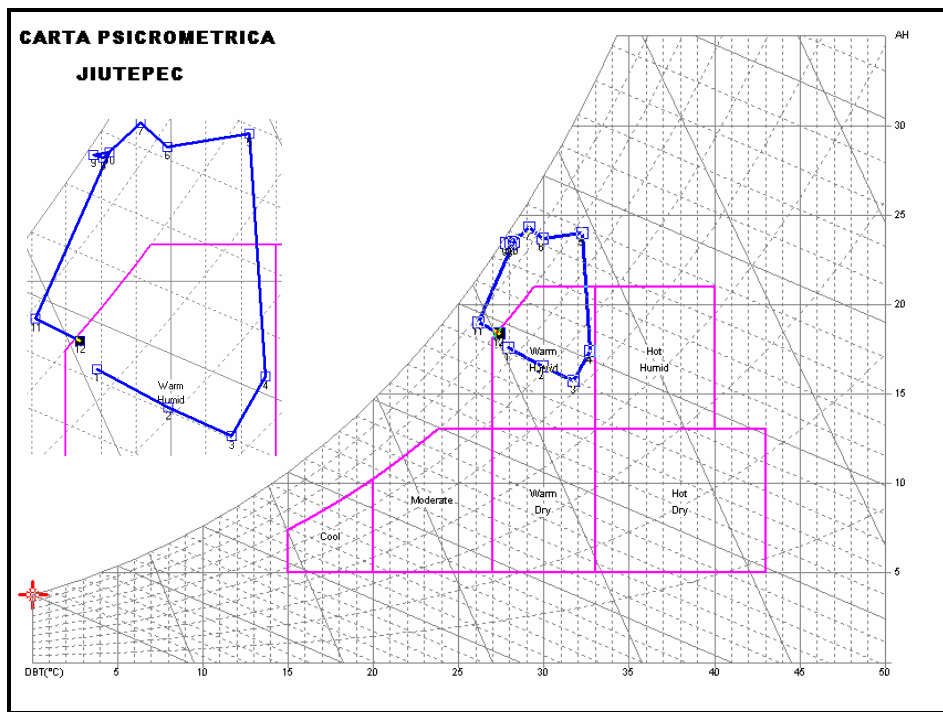


Fig. 2. 39. Clasificación Climática en Jiutepec.

La figura 2.41, muestra los datos de temperatura promedio mensual máxima y humedad promedio mensual máxima, graficados en la carta psicrométrica para el municipio de Tepoztlán, donde se observa la clasificación climática que corresponde a un clima templado-húmedo a lo largo de todo el año (muy similar al clima de Jiutepec). En la figura 2.42 se presentan los resultados obtenidos al graficar los datos climáticos en la carta psicrométrica para las estrategias de climatización en Tepoztlán. Se observa que la región se encuentra en la zona de ventilación para todo el periodo de un año. Siendo Mayo el mes con mayor requerimiento de ventilación al igual que el caso de Jiutepec.



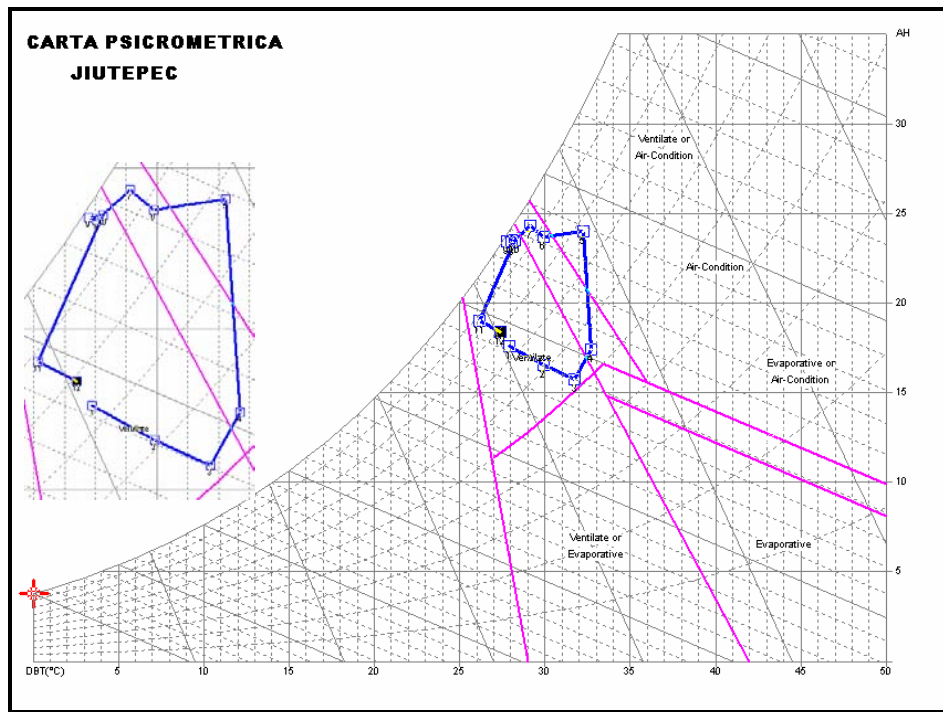


Fig. 2. 40. Estrategias de Climatización en Jiutepec.

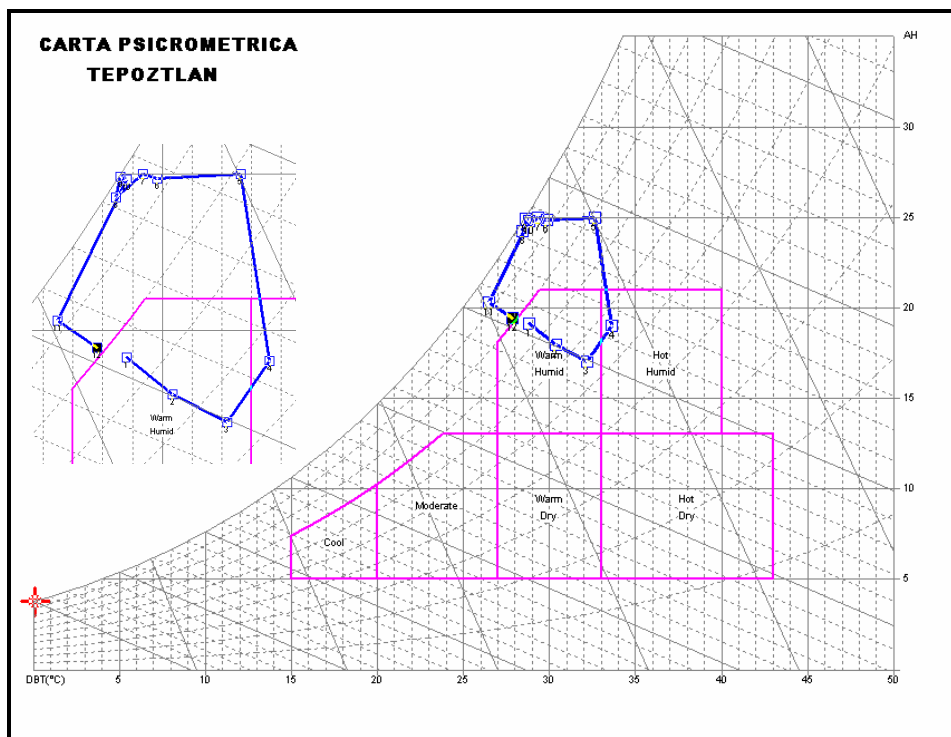


Fig. 2. 41. Clasificación Climática en Tepoztlán.

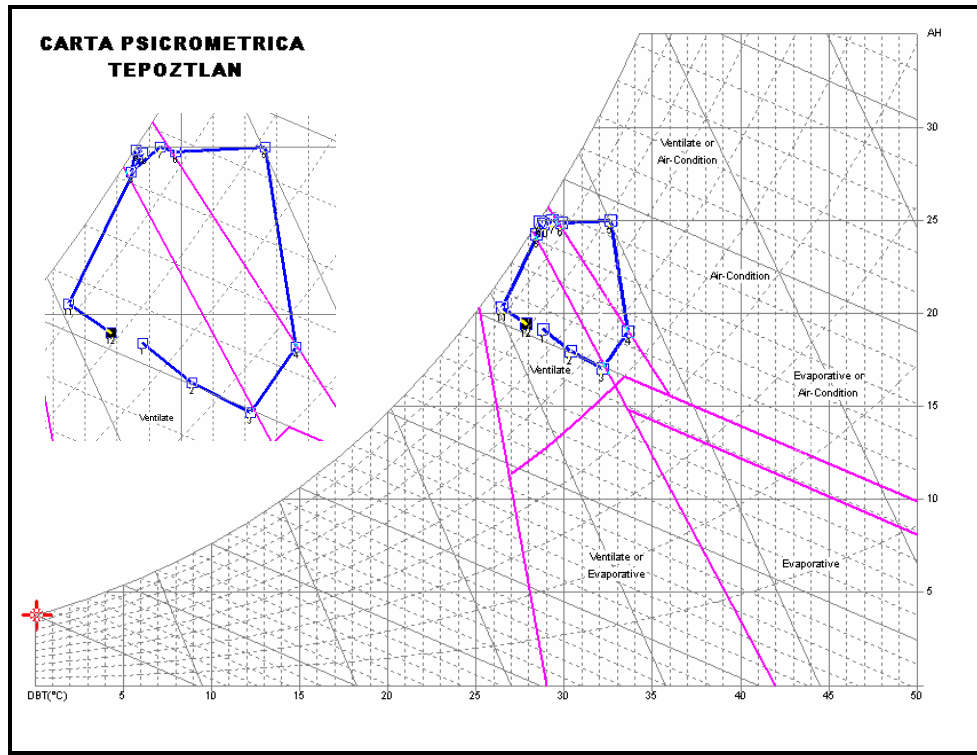


Fig. 2. 42. Estrategias de Climatización en Tepoztlán.

Finalmente se concluye que la principal estrategia de climatización en la parte norte y centro del Estado de Morelos es la ventilación, ya sea natural o forzada. La parte sur del Estado de Morelos requiere fuertes requerimientos de ventilación o aire acondicionado, lo cual provocará mayor consumo de energía eléctrica para alimentar estos equipos. A partir de los resultados obtenidos se puede observar que los municipios más críticos en el consumo de energía por climatización son Tilzapotla y Tlaquiltenango, es decir, es en estos lugares donde se debe hacer mayor énfasis en el diseño de sistemas de climatización pasiva (ventilación cruzada, orientación predominante del viento, ventanas abatibles, etc.), mediante el aprovechamiento de la ventilación natural, así como el uso de materiales de construcción aptos al clima local, todo esto con fines de ahorro en el consumo final de energía.



La clasificación climática obtenida para las regiones estudiadas difiere en demasía de la que se reporta en la información del INEGI presentada al inicio de este capítulo. Para los municipios del norte del Estado Morelos, por ejemplo, Temoac y Tlayacapan, el INEGI reporta que pertenecen a la zona de clima cálido sub-húmedo, mientras que los resultados obtenidos de los datos medidos en este estudio, muestran que el clima predominante es el templado-húmedo. La tabla 2.3 reporta las diferencias existentes entre los climas reportado por el INEGI y los obtenidos en este trabajo. Las diferencias entre los climas son importantes, debido a que la clasificación reportada por el INEGI fue realizada solo tomando en cuenta la temperatura y precipitación obtenida de estaciones convencionales, por lo cual no resulta tan precisa como la reportada en este estudio (ver figura 2.3).

Tabla 2.3 Clasificaciones Climáticas (INEGI vs. Estudio Actual).

<b>Municipio</b>	<b>INEGI</b>	<b>Obtenida</b>
Temoac	Cálido sub-húmedo	Templado-húmedo
Tepalcingo	Templado sub-húmedo	Templado o cálido-húmedo
Tilzapotla	Templado sub-húmedo	Templado o cálido muy húmedo
Tlaquiltenango	Templado sub-húmedo	Templado o cálido muy húmedo
Tlayacapan	Cálido sub-húmedo	Moderado o templado-húmedo
Jiutepec	Templado sub-húmedo	Templado-húmedo o seco
Tepoztlán	Cálido sub-húmedo	Templado-húmedo

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

## CAPÍTULO 3 MAPEO DE VARIABLES CLIMÁTICAS

En este capítulo se presentan los mapeos de las variables climáticas recolectadas y procesadas de las siete estaciones meteorológicas automáticas reportadas en este estudio; las variables son: radiación solar, temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa y velocidad del viento.

### 3.1 Radiación Solar

Las figuras 3.1 a 3.24 muestran los mapas de la radiación solar en promedio mensual en  $\text{kW-h/m}^2$  para el periodo Mayo 2006 a Abril 2007. Cada mes presenta gráficos que muestran un mapa bidimensional de la radiación solar en isóneas marcadas en  $\text{kW-h/m}^2$  y otro mapa que igualmente presenta estos datos pero en un mapa de elevación del Estado de Morelos.

Los meses de Abril, Mayo y Junio (figuras 3.23, 3.1 y 3.2) son los que presentan la máxima concentración de radiación solar con valores que van de 6.4 a 7.2 kW-h/m<sup>2</sup>, en la zonas noreste y suroeste y valores mínimos que caen entre el rango de 5.6 a 6 kW-h/m<sup>2</sup> en la parte noroeste, principalmente el municipio de Huitzilac. A partir del mes de Julio y hasta el mes de Diciembre la concentración máxima de la radiación se ubica en la parte suroeste solamente, destacando el municipio de Puente de Ixtla. El mes de Julio, Agosto y Septiembre (figuras 3.5, 3.7 y 3.9) con la entrada de la época de lluvias y la presencia de nubosidad intensa se tienen valores máximos de radiación solar de 6.6, 6.4 y 6.2 kW-h/m<sup>2</sup> respectivamente. Los valores mínimos para estos meses son de 5.4, 5.2 y 5.2 kW-h/m<sup>2</sup> respectivamente.

El periodo comprendido entre el mes de Octubre, Noviembre y Diciembre (figuras 3.11, 3.13 y 3.15) muestra las menores concentraciones de radiación con valores máximos de 5.6, 4.8 y 4.1 kW-h/m<sup>2</sup> respectivamente, los valores mínimos del mismo periodo son 4.8, 4.6 y 4.3 kW-h/m<sup>2</sup>. Las figuras 3.17 y 3.18 presentan los mapeos de la radiación solar en el mes de Enero en el Estado de Morelos, destacando que los valores máximos se centran en la zona noreste del Estado, parte colindante con el Estado de Puebla, con un valor de 5.1 kW-h/m<sup>2</sup>. La mínima radiación solar la tiene la parte noroeste del Estado con un valor de 4.5 kW-h/m<sup>2</sup>. Los meses de Febrero y Marzo (figuras 3.19 y 3.21) presentan valores máximos entre 5.8 y 6.4 KW-h/m<sup>2</sup> en las zonas noreste y suroeste del Estado, y valores mínimos de 5.2 y 5.8 kW-h/m<sup>2</sup> en parte noroeste del Estado.

Los mapas de elevación mostrados en las figuras 3.2, 3.4, 3.6, 3.8, 3.10, 3.12, 3.14, 3.16, 3.18, 3.20, 3.22 y 3.24, muestran que los valores de radiación solar no tienen una relación directa con la altura y si la tienen por el contrario con la nubosidad marcada por las dos temporadas del año (lluvias y secas).

**MAYO 2006**

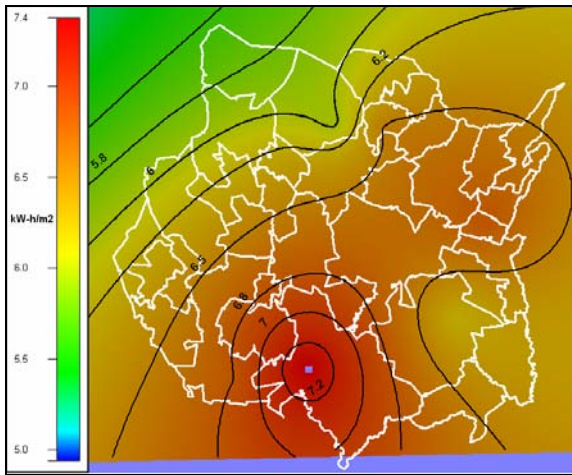


Fig. 3.1 Radiación Solar en Mayo.

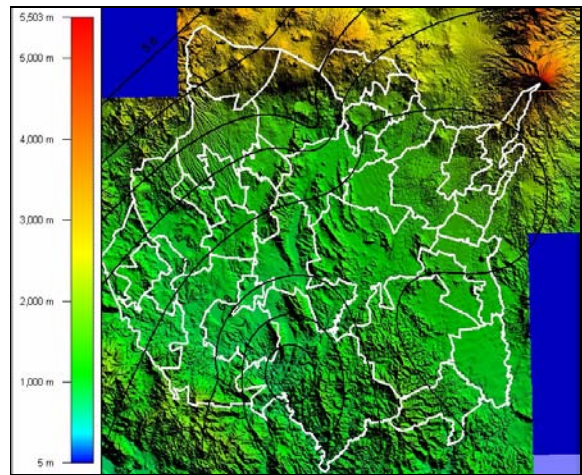


Fig. 3.2 Radiación Solar en Mayo en mapa de Elevación.

**JUNIO 2006**

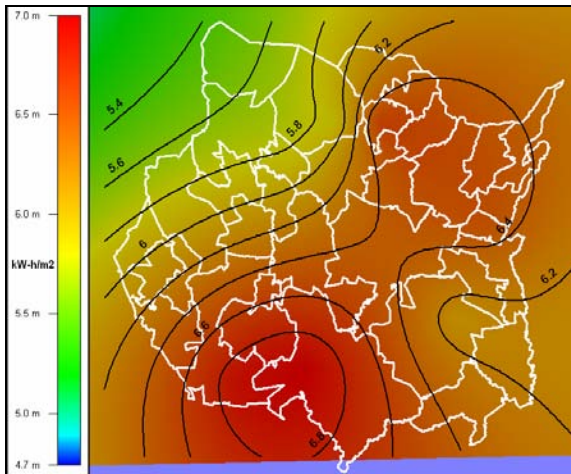


Fig. 3.3 Radiación Solar en Junio.

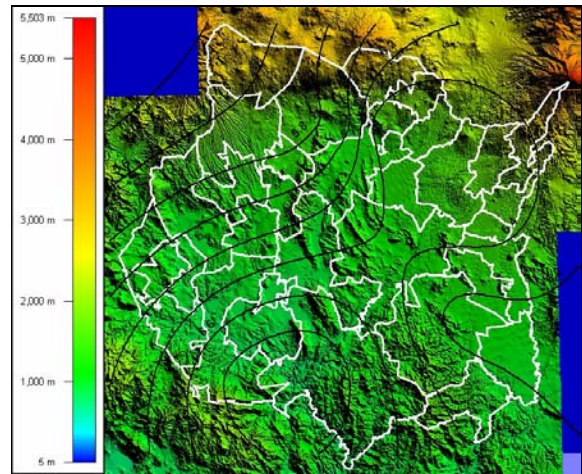


Fig. 3.4 Radiación Solar en Junio en mapa de Elevación.



**JULIO 2006**

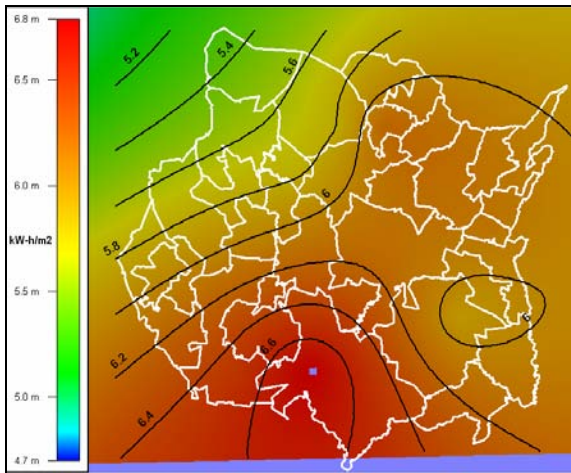


Fig. 3.5 Radiación Solar en Julio.

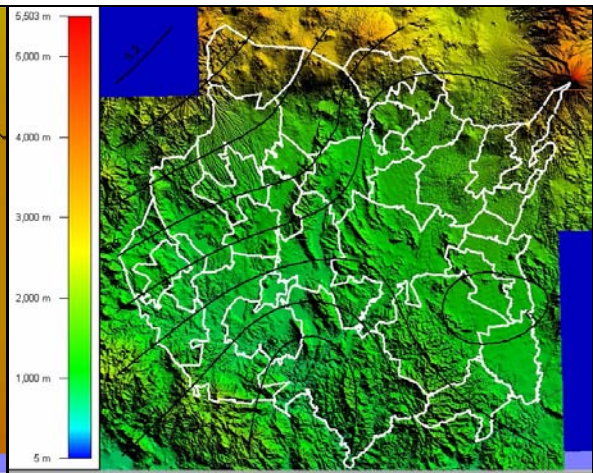


Fig. 3.6 Radiación Solar en Julio en mapa de Elevación.

**AGOSTO 2006**

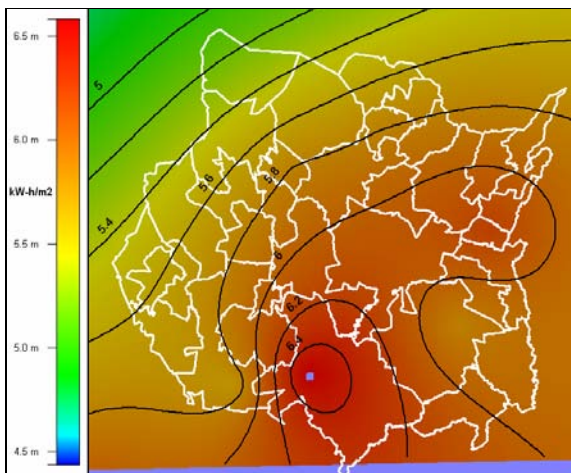


Fig. 3.7 Radiación Solar en Agosto.

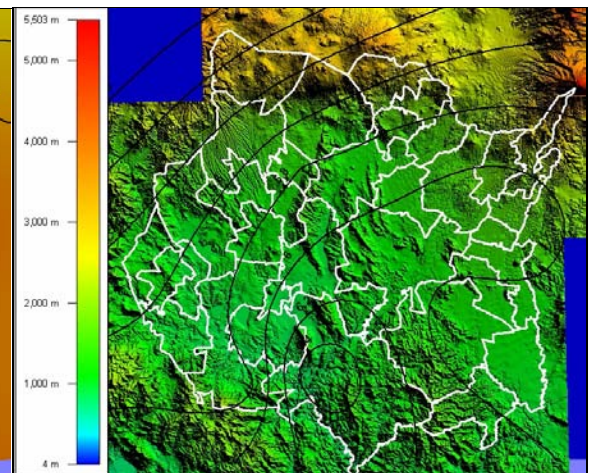


Fig. 3.8 Radiación Solar en Agosto en mapa de Elevación.

**SEPTIEMBRE 2006**

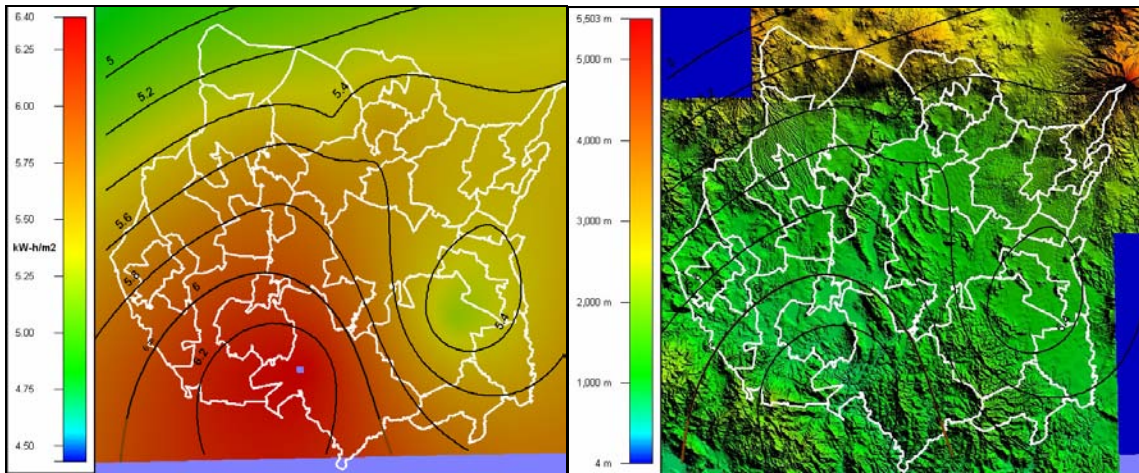


Fig. 3.9 Radiación Solar en Septiembre. Fig. 3.10 Radiación Solar en Septiembre en mapa de Elevación.

**OCTUBRE 2006**

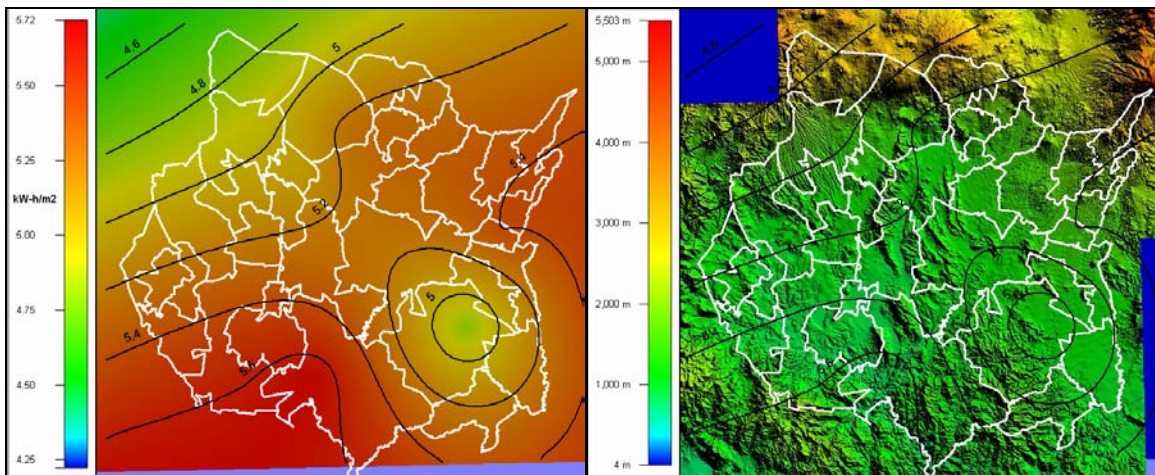


Fig. 3.11 Radiación Solar en Octubre. Fig. 3.12 Radiación Solar en Octubre en mapa de Elevación.



**NOVIEMBRE 2006**

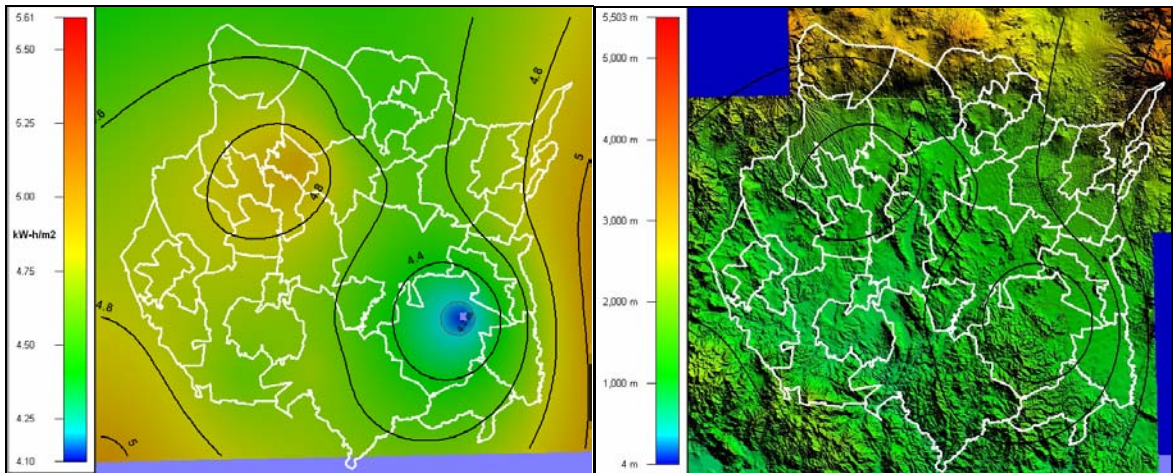


Fig. 3.13 Radiación Solar en Noviembre. Fig. 3.14 Radiación Solar en Noviembre en mapa de Elevación.

**DICIEMBRE 2006**

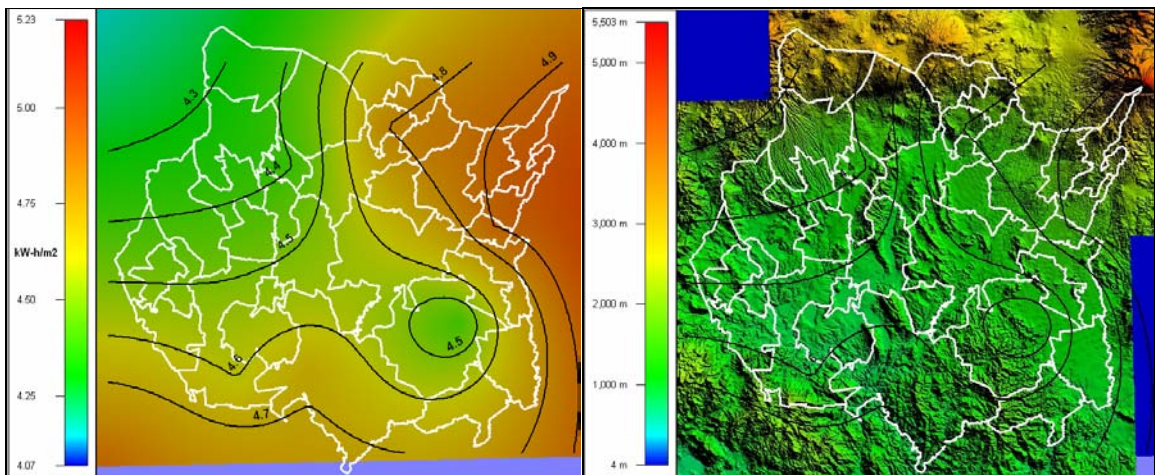


Fig. 3.15 Radiación Solar en Diciembre. Fig. 3.16 Radiación Solar en Diciembre en mapa de Elevación.



**ENERO 2007**

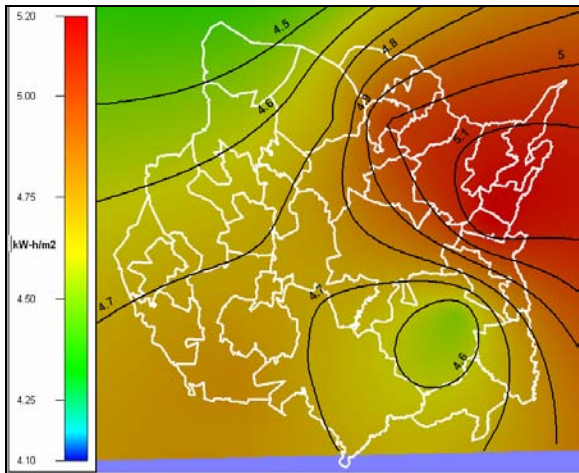


Fig. 3.17 Radiación Solar en Enero.

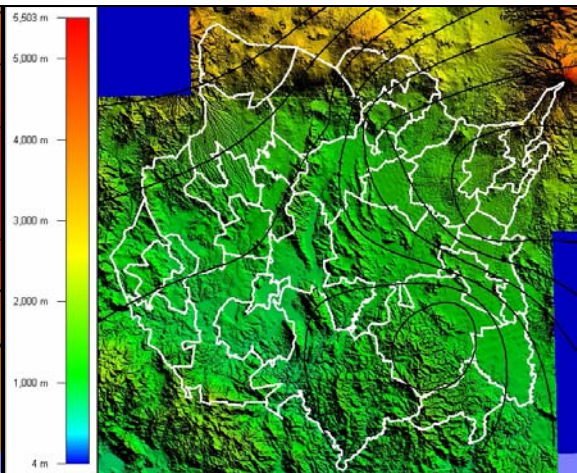


Fig. 3.18 Radiación Solar en Enero en mapa de Elevación.

**FEBRERO 2007**

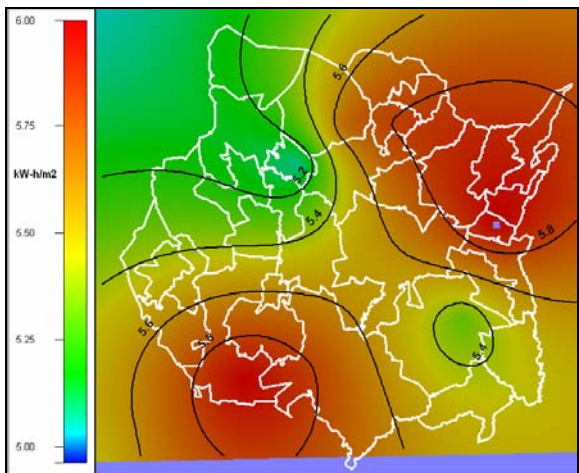


Fig. 3.19 Radiación Solar en Febrero.

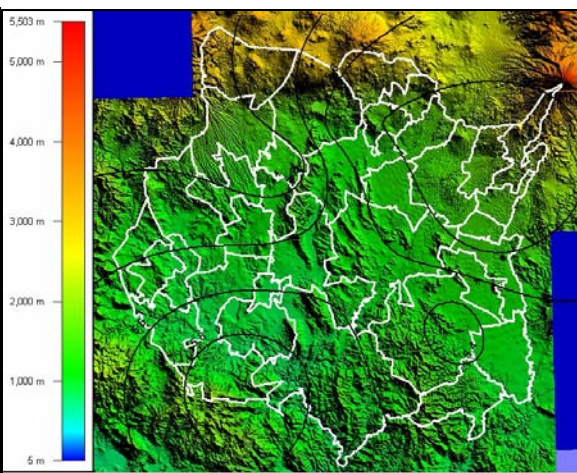


Fig. 3.20 Radiación Solar en Febrero en mapa de Elevación.

**MARZO 2007**

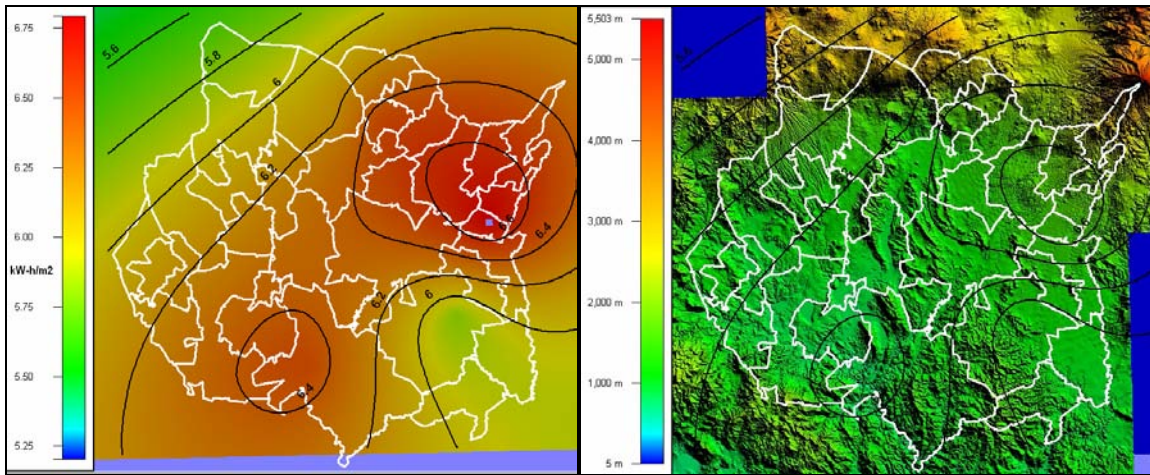


Fig. 3.21 Radiación Solar en Marzo.

Fig. 3.22 Radiación Solar en Marzo en mapa de Elevación.

**ABRIL 2007**

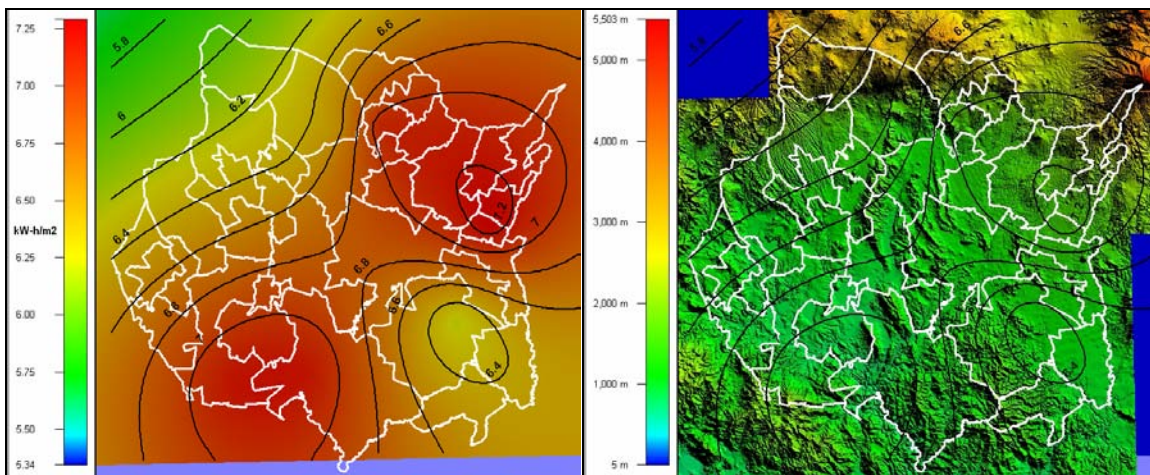


Fig. 3.23 Radiación Solar en Abril.

Fig. 3.24 Radiación Solar en Abril en mapa de Elevación.

### 3.2 Temperatura Media

En las figuras 3.25 a 3.48 se muestran los mapas de la temperatura media mensual en °C para el periodo Mayo 2006 a Abril 2007. Las temperaturas más altas son las reportadas en la zona sur del Estado, destacando los municipios de Puente de Ixtla, Jojutla y Tlaquiltenango. La zona norte del Estado es la más fría, extendiéndose hacia todo lo largo del eje Neovolcánico central que atraviesa el Estado, siendo la parte más fría los municipios de Huitzilac y Tetela del Volcán. La zona metropolitana que incluye a la capital Cuernavaca presenta valores de temperatura intermedios a las zonas mencionada anteriormente.

Los meses de Abril, Mayo y Junio (figuras 3.47, 3.25 y 3.27) son los meses con temperaturas medias más altas a lo largo del año, presentando valores máximos que oscilan entre los 25 y los 27°C; para los datos de temperatura media mínimos, los valores caen en el rango de 17 a 20°C. Una vez entrado el periodo de lluvias, en los meses de Julio, Agosto y Septiembre (figuras 3.29, 3.31 y 3.33) se comienza con un descenso importante de la temperatura; los valores máximos de la temperatura media para estos meses van de 23 a 24°C y los mínimos entre 18 y 19°C. Los tres últimos meses del 2006 (figuras 3.35, 3.37 y 3.39) del año presentan las menores temperaturas, destacando los meses de Noviembre y Diciembre como los más fríos; los valores máximos de temperatura media para estos meses son 23, 20 y 19°C respectivamente; las mínimas temperaturas medias son 18, 15 y 16°C de Octubre a Diciembre. Las figuras 3.41, 3.43 y 3.45 son los mapas de temperatura que muestran las líneas isotermas para los tres primeros meses del año 2007, las máximas temperaturas medias son respectivamente 22, 23 y 24°C. Las mínimas medias son 16, 17 y 18°C, respectivamente.

Los mapas de elevación mostrados en las figuras 3.26, 3.28, 3.30, 3.32, 3.34, 3.36, 3.38, 3.40, 3.42, 3.44, 3.46 y 3.48, muestran claramente como la temperatura esta fuertemente relacionada con la orografía, en Morelos las principales zonas frías del Estado son las que alcanzan a interactuar con el eje Neovolcánico central que pasa por el Estado de México, Distrito Federal, Puebla y Morelos. El municipio más frío del norte del Estado es Huitzilac por su cercanía también con el Nevado de Toluca al noroeste del Estado de Morelos.



**MAYO 2006**

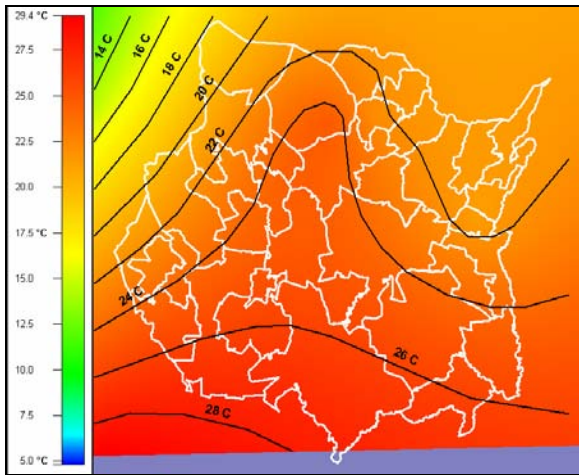


Fig. 3.25 Temperatura Media en Mayo.

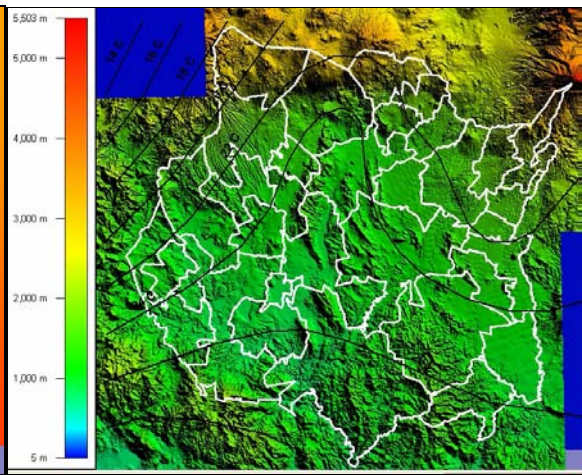


Fig. 3.26 Temperatura Media en Mayo en mapa de Elevación.

**JUNIO 2006**

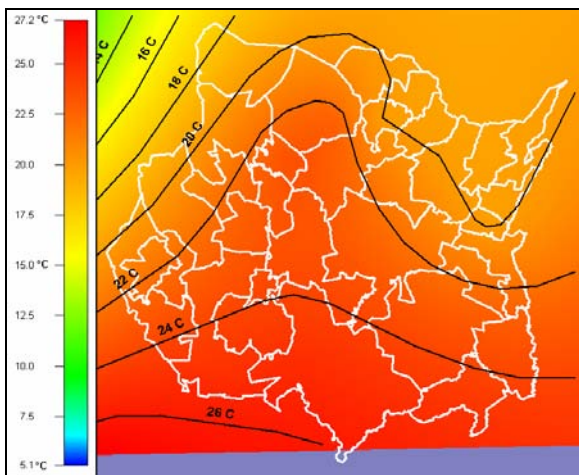


Fig. 3.27 Temperatura Media en Junio.

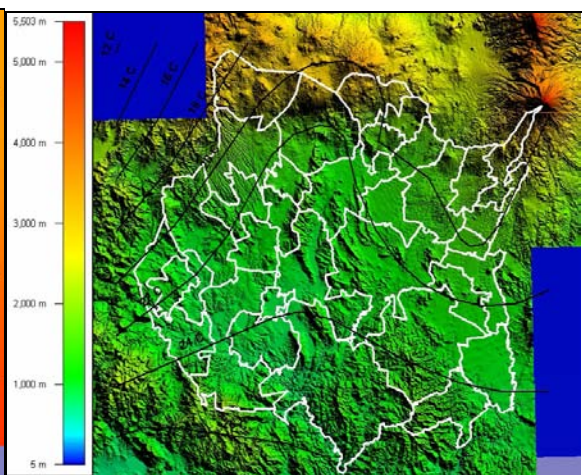


Fig. 3.28 Temperatura Media en Junio en mapa de Elevación.

**JULIO 2006**

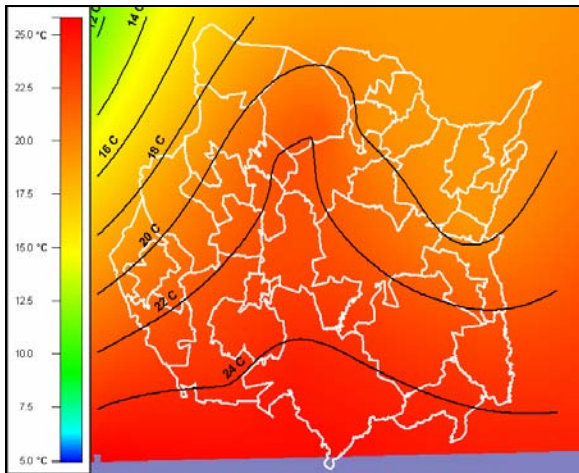


Fig. 3.29 Temperatura Media en Julio.

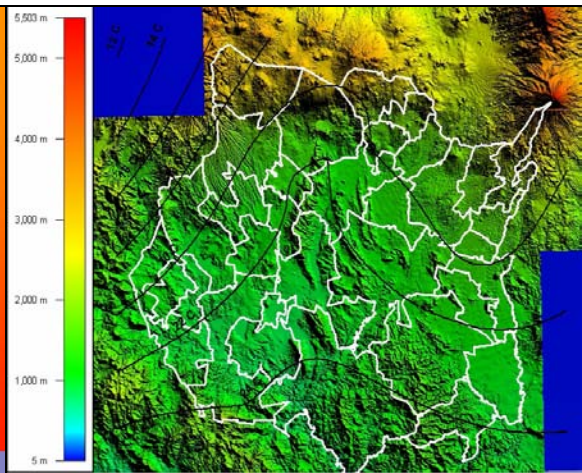


Fig. 3.30 Temperatura Media en Julio en mapa de Elevación.

**AGOSTO 2006**

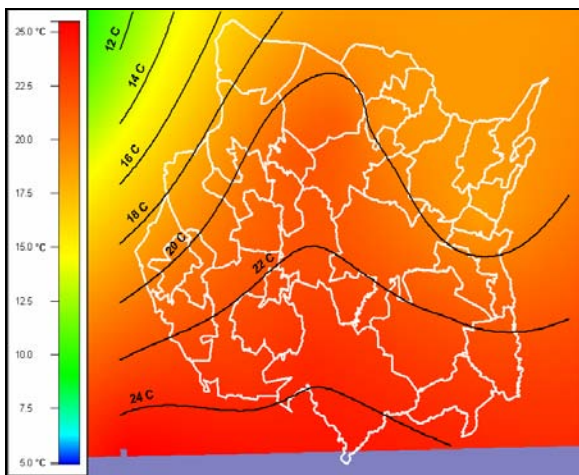


Fig. 3.31 Temperatura Media en Agosto.

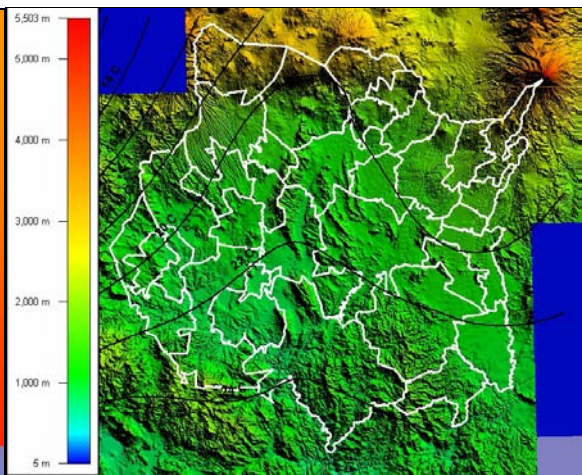


Fig. 3.32 Temperatura Media en Agosto en mapa de Elevación.



**SEPTIEMBRE 2006**

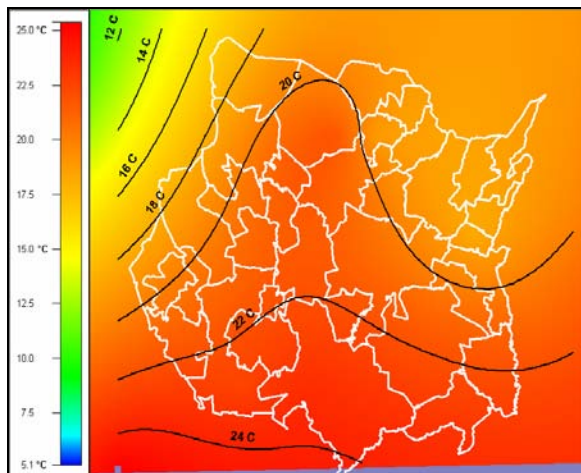


Fig. 3.33 Temperatura Media en Septiembre.

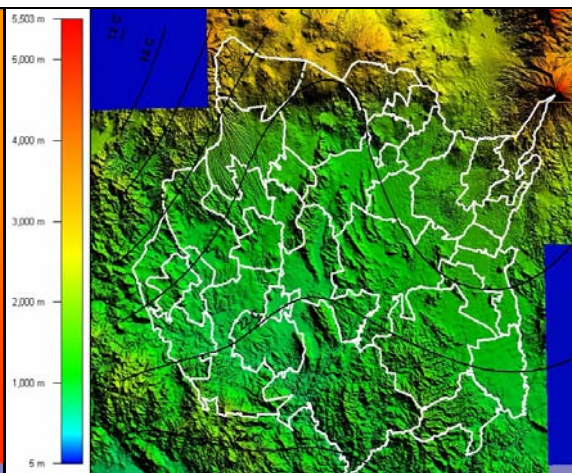


Fig. 3.34 Temperatura Media en Septiembre en mapa de Elevación.

**OCTUBRE 2006**

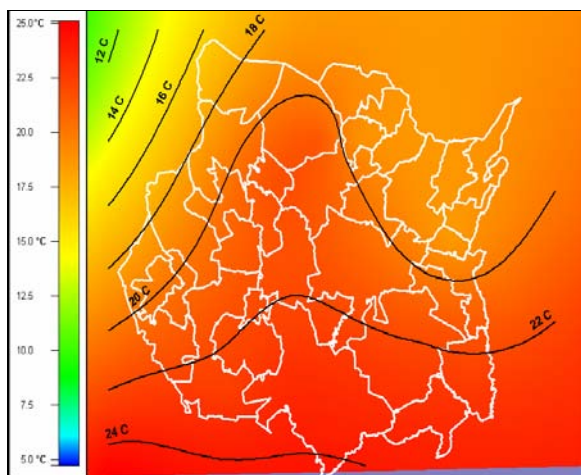


Fig. 3.35 Temperatura Media en Octubre.

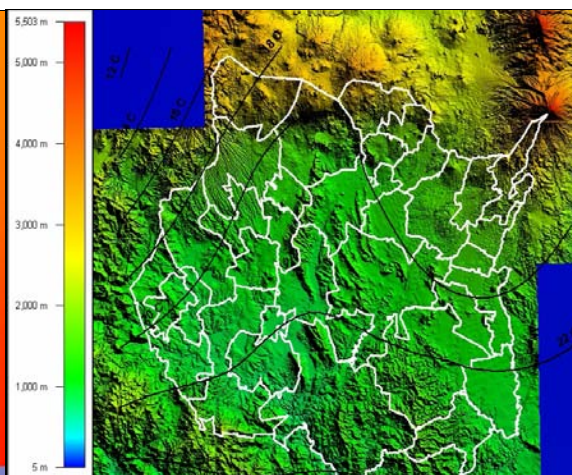


Fig. 3.36 Temperatura Media en Octubre en mapa de Elevación.

**NOVIEMBRE 2006**

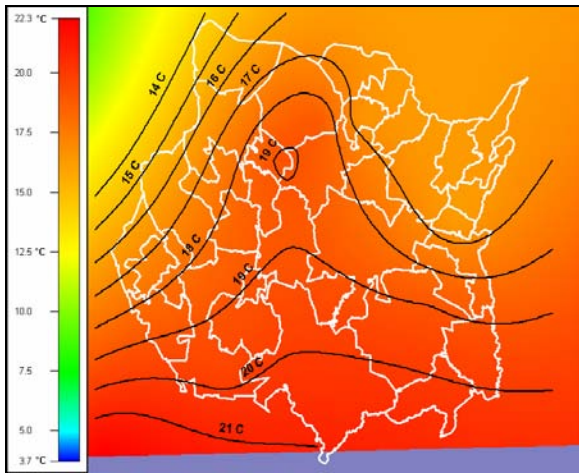


Fig. 3.37 Temperatura Media en Noviembre.

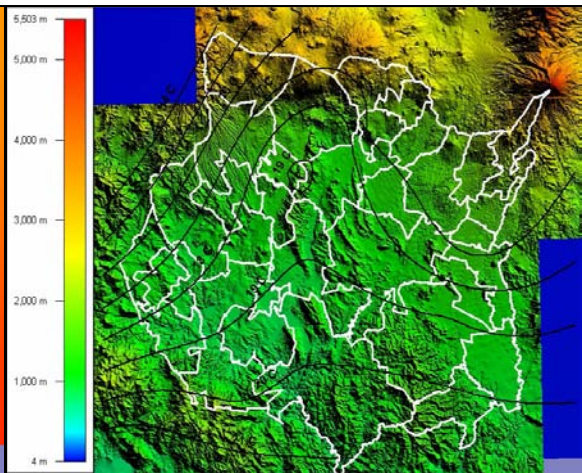


Fig. 3.38 Temperatura Media en Noviembre en mapa de Elevación.

**DICIEMBRE 2006**

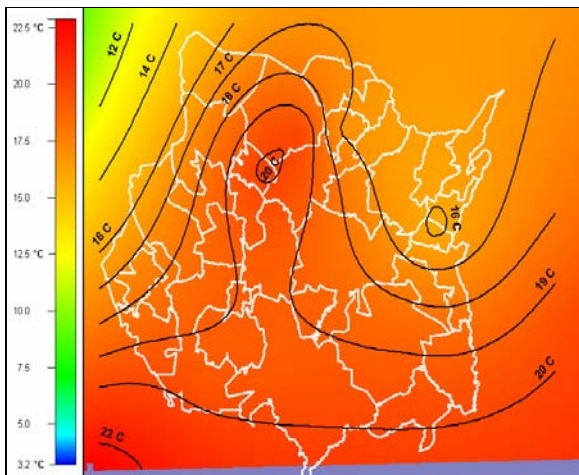


Fig. 3.39 Temperatura Media en Diciembre.

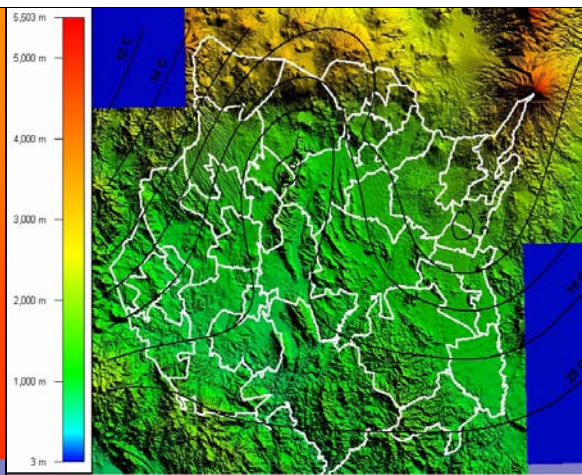


Fig. 3.40 Temperatura Media en Diciembre en mapa de Elevación.



**ENERO 2007**

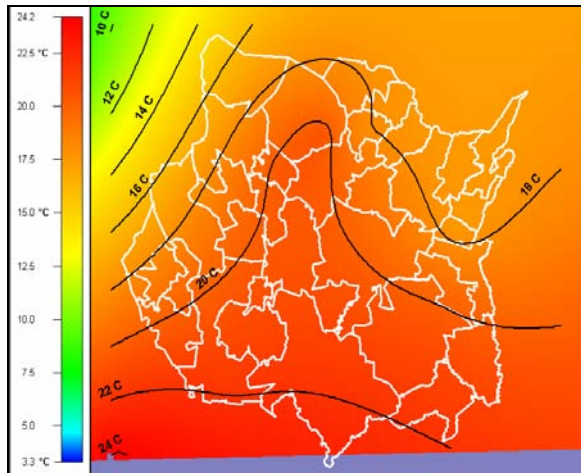


Fig. 3.41 Temperatura Media en Enero.

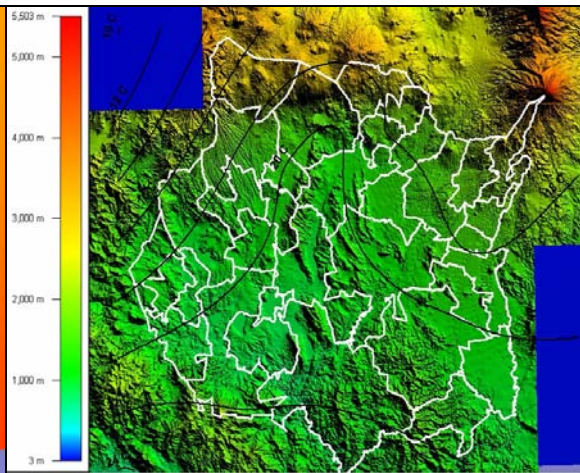


Fig. 3.42 Temperatura Media en Enero en mapa de Elevación.

**FEBRERO 2007**

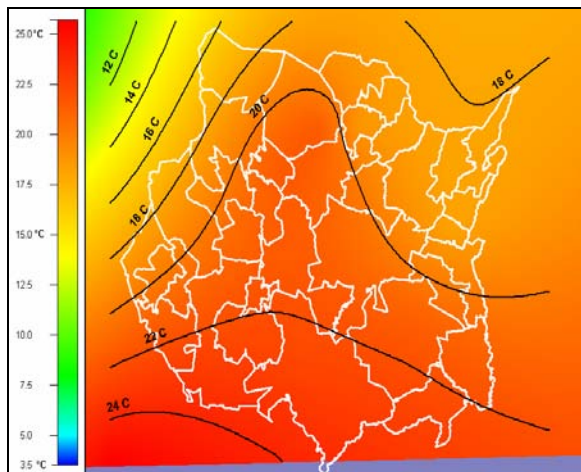


Fig. 3.43 Temperatura Media en Febrero.

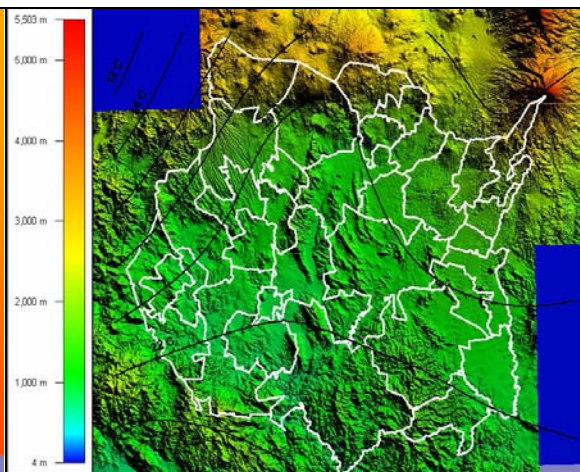


Fig. 3.44 Temperatura Media en Febrero en mapa de Elevación.



**MARZO 2007**

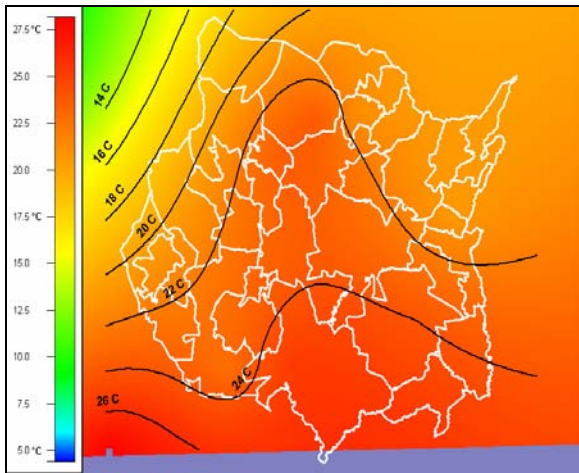


Fig. 3.45 Temperatura Media en Marzo.

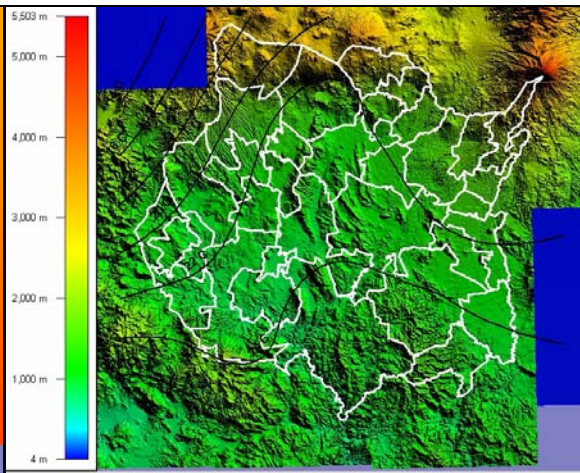


Fig. 3.46 Temperatura Media en Marzo en mapa de Elevación.

**ABRIL 2007**

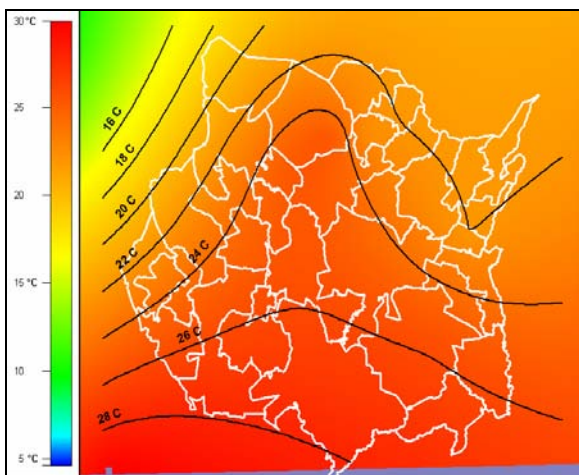


Fig. 3.47 Temperatura Media en Abril.

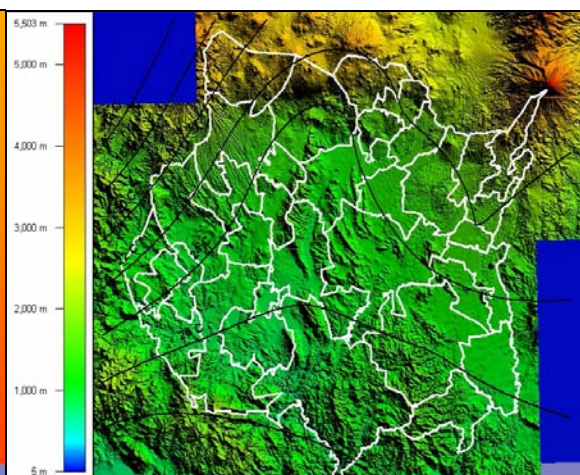


Fig. 3.48 Temperatura Media en Abril en mapa de Elevación.

### 3.3 Temperatura Máxima

Las figuras 3.49 a 3.72 muestran los mapas de la temperatura máxima en promedio mensual en °C para el periodo Mayo 2006 a Abril 2007. Al igual que las temperaturas medias, las temperaturas máximas conservan el mismo patrón de distribución de temperaturas a lo largo del Estado.

Los meses de Abril, Mayo y Junio (figuras 3.71, 3.49 y 3.51) son los meses con las máximas temperaturas a lo largo del año, presentando valores máximos que oscilan entre los 32 y los 37°C; los valores mínimos caen en el intervalo de 26 a 28°C. En los meses de Julio, Agosto y Septiembre (figuras 3.53, 3.55 y 3.57) se comienza con un descenso importante de la temperatura; los valores máximos para estos meses van de 31 a 34°C y los mínimos muy próximos a 24°C. Los tres últimos meses del 2006 (figuras 3.59, 3.61 y 3.63) del año presentan las menores temperaturas, destacando los meses de Noviembre y Diciembre como los más fríos; los valores de temperatura máximos para estos meses son 31, 28 y 30°C respectivamente; los valores más bajos de la temperatura máxima son 24, 22 y 23°C de Octubre a Diciembre. Las figuras 3.65, 3.67 y 3.69 son los mapas de temperatura máxima que muestran las isotermas para los tres primeros meses del año 2007, las más altas temperaturas máximas son respectivamente 31, 33 y 34 °C. Las más bajas temperaturas mínimas son 23, 25 y 26°C, respectivamente.

Los mapas de elevación mostrados en las figuras 3.50, 3.52, 3.54, 3.56, 3.58, 3.60, 3.62, 3.64, 3.66, 3.68, 3.70 y 3.72, muestran igualmente la relación entre el relieve y la temperatura. Además las zonas boscosas también hacen que la temperatura permanezca baja, debido al sombreado que ocasionan y a la succión permanente de CO<sub>2</sub>.

**MAYO 2006**

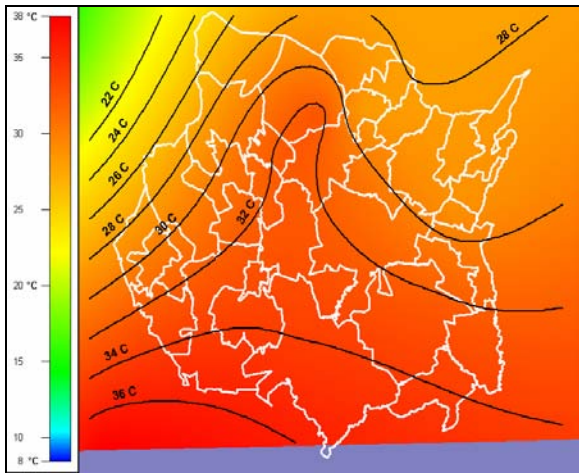


Fig. 3.49 Temperatura Máxima en Mayo.

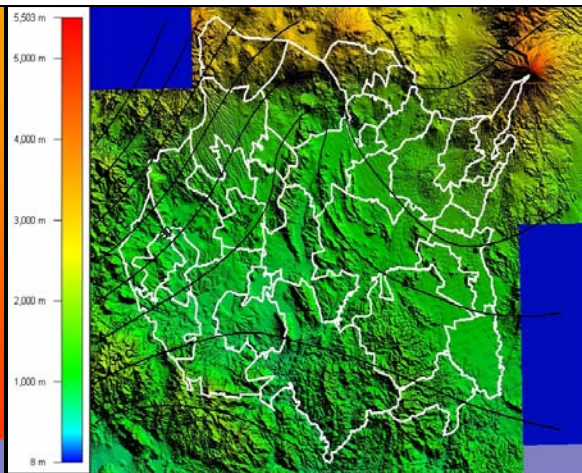


Fig. 3.50 Temperatura Máxima en Mayo en mapa de Elevación.

**JUNIO 2006**

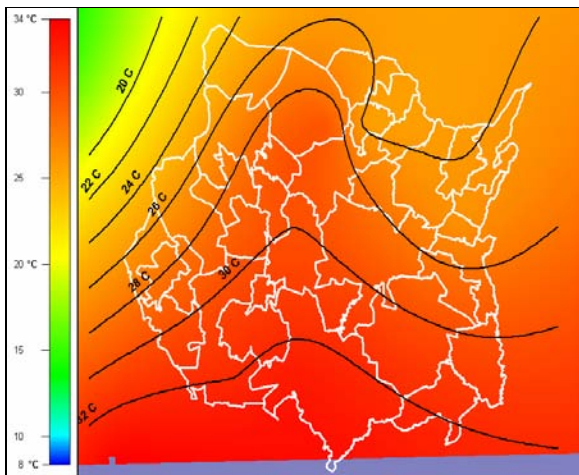


Fig. 3.51 Temperatura Máxima en Junio.

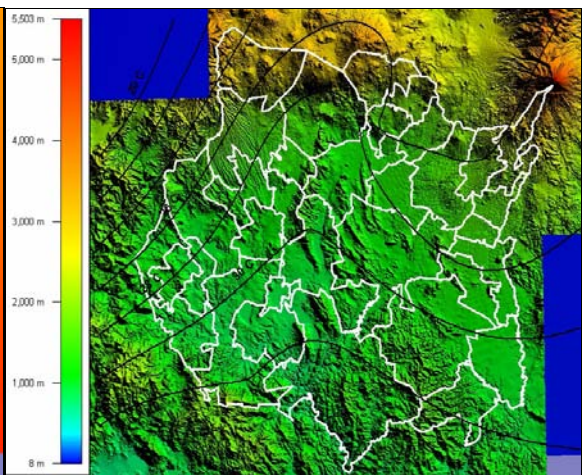


Fig. 3.52 Temperatura Máxima en Junio en mapa de Elevación.



**JULIO 2006**

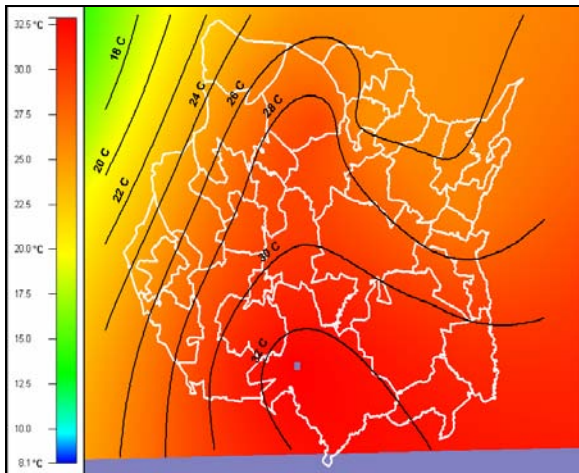


Fig. 3.53 Temperatura Máxima en Julio.

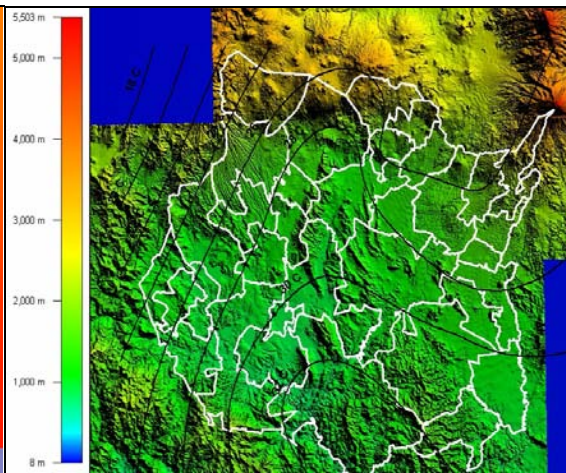


Fig. 3.54 Temperatura Máxima en Julio en mapa de Elevación.

**AGOSTO 2006**

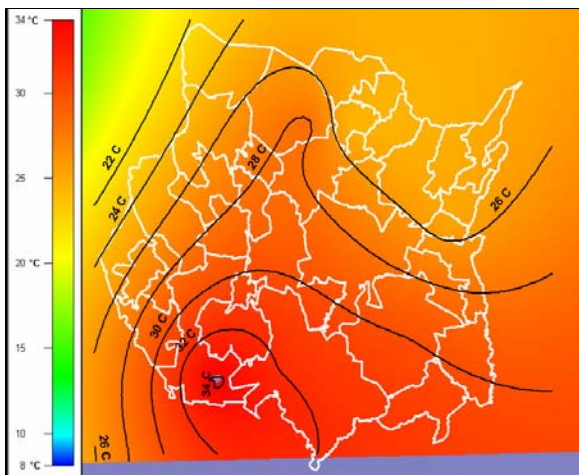


Fig. 3.55 Temperatura Máxima en Agosto.

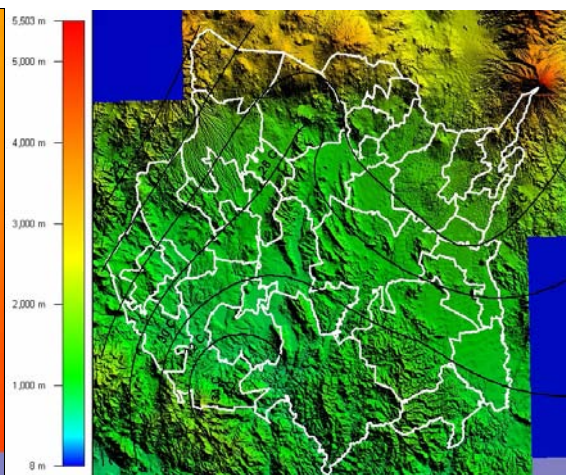


Fig. 3.56 Temperatura Máxima en Agosto en mapa de Elevación.

**SEPTIEMBRE 2006**

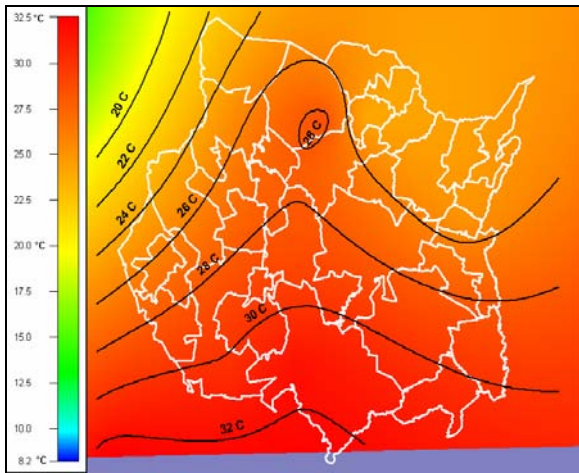


Fig. 3.57 Temperatura Máxima en Septiembre.

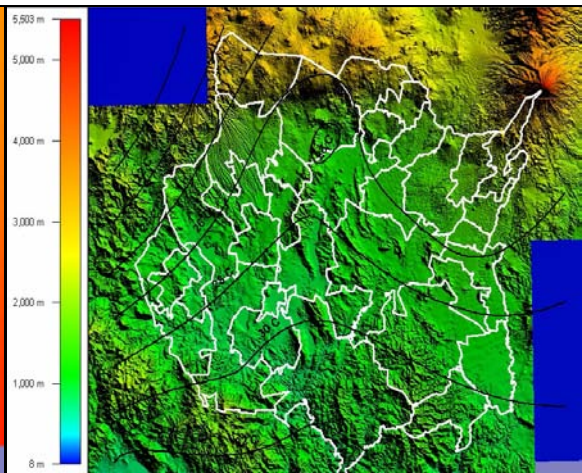


Fig. 3.58 Temperatura Máxima en Septiembre en mapa de Elevación.

**OCTUBRE 2006**

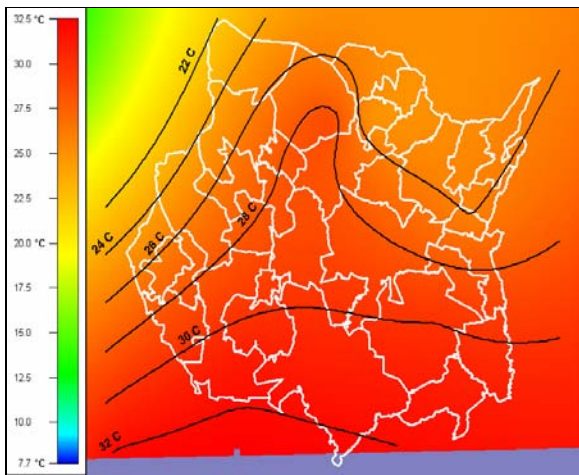


Fig. 3.59 Temperatura Máxima en Octubre.

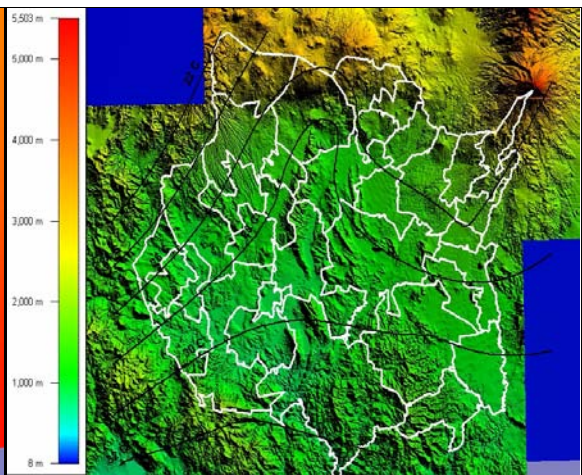


Fig. 3.60 Temperatura Máxima en Octubre en mapa de Elevación.



**NOVIEMBRE 2006**

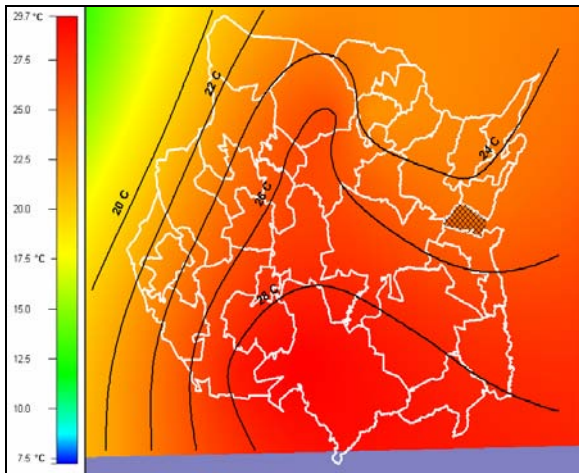


Fig. 3.61 Temperatura Máxima en Noviembre.

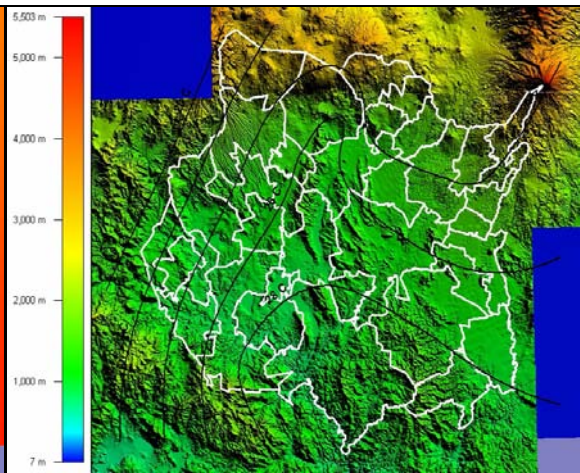


Fig. 3.62 Temperatura Máxima en Noviembre en mapa de Elevación.

**DICIEMBRE 2006**

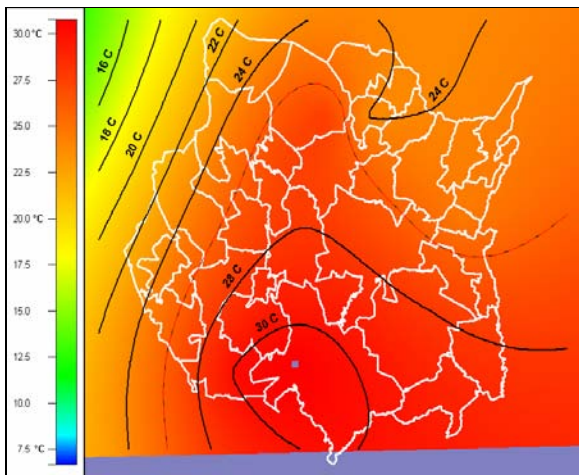


Fig. 3.63 Temperatura Máxima en Diciembre.

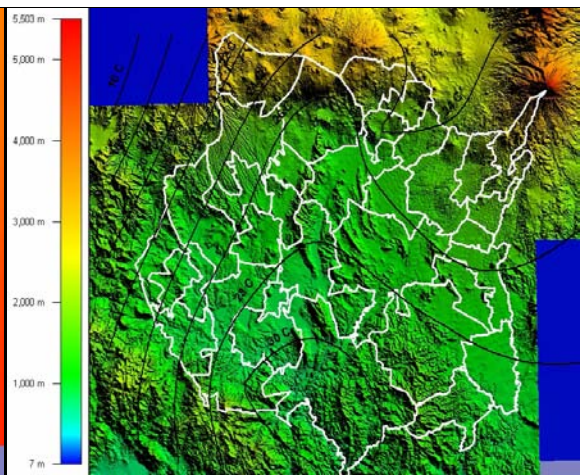


Fig. 3.64 Temperatura Máxima en Diciembre en mapa de Elevación.

**ENERO 2007**

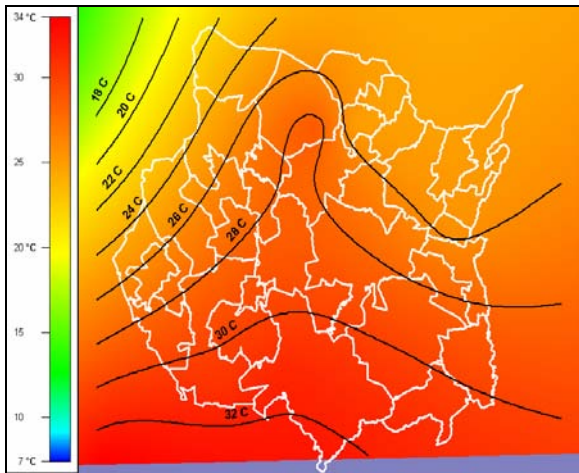


Fig. 3.65 Temperatura Máxima en Enero.

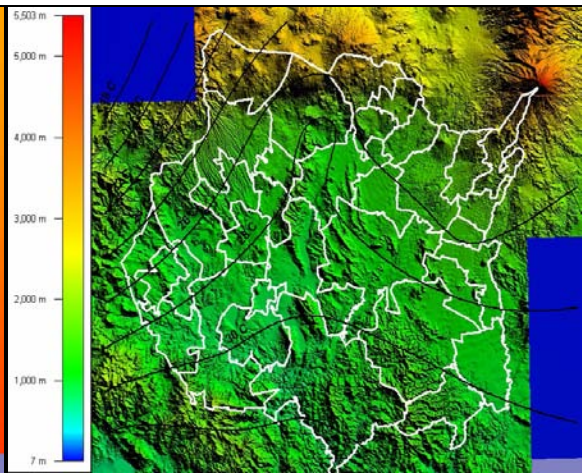


Fig. 3.66 Temperatura Máxima en Enero en mapa de Elevación.

**FEBRERO 2007**

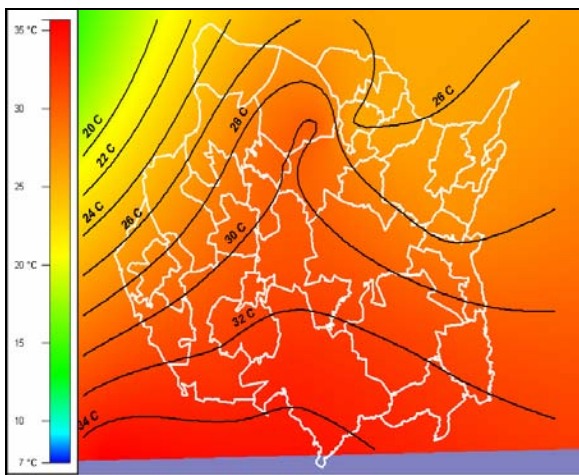


Fig. 3.67 Temperatura Máxima en Febrero.

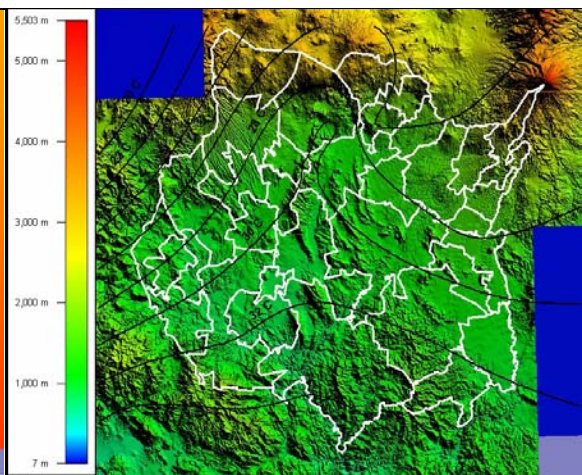


Fig. 3.68 Temperatura Máxima en Febrero en mapa de Elevación.



**MARZO 2007**

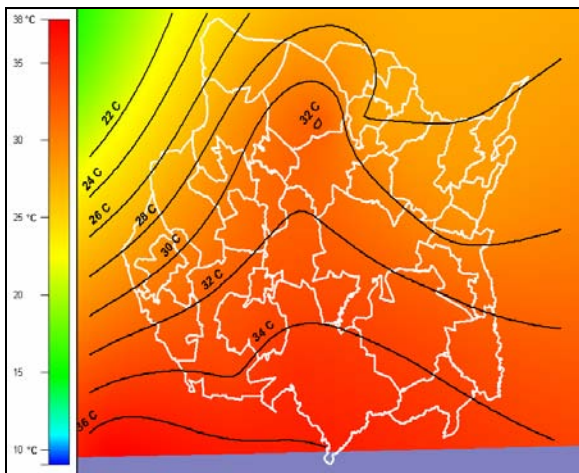


Fig. 3.69 Temperatura Máxima en Marzo.

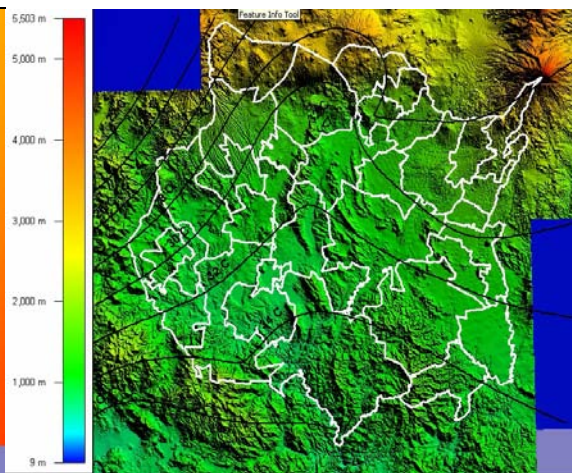


Fig. 3.70 Temperatura Máxima en Marzo en mapa de Elevación.

**ABRIL 2007**

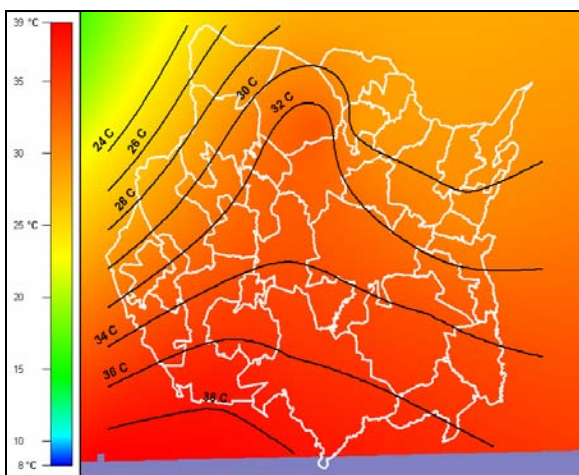


Fig. 3.71 Temperatura Máxima en Abril.

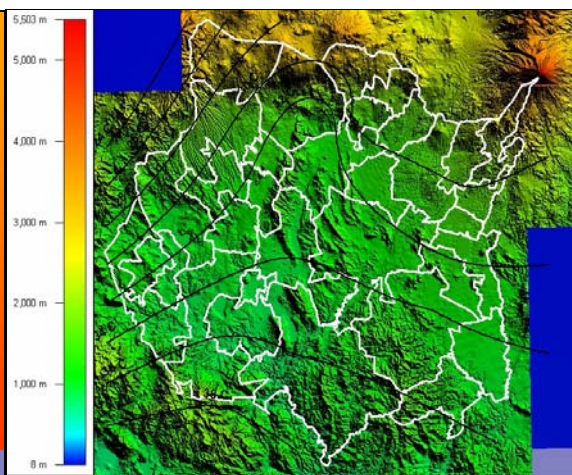


Fig. 3.72 Temperatura Máxima en Abril en mapa de Elevación.



### 3.4 Temperatura Mínima

Las figuras 3.73 a 3.96 muestran los mapas de la temperatura mínima en promedios mensuales en °C para el periodo Mayo 2006 a Abril 2007. Al igual que las temperaturas medias, para las temperaturas mínimas se conserva el mismo patrón de distribución de temperaturas a lo largo del Estado.

Los meses de Abril, Mayo y Junio (figuras 3.95, 3.73 y 3.75) son los meses con las temperaturas mínimas más altas a lo largo del año, presentando valores que oscilan entre los 19 y los 20°C; para los valores más bajos de la temperatura mínima los datos caen en el rango de 14 a 16°C. En los meses de Julio, Agosto y Septiembre (figuras 3.77, 3.79 y 3.81) se comienza con un descenso importante de la temperatura; los valores más altos para estos meses van de 18 a 21°C y los más bajos entre 14 y 15°C. Los tres últimos meses del 2006 (figuras 3.83, 3.85 y 3.87) del año presentan las más bajas temperaturas mínimas, destacando los meses de Noviembre y Diciembre como los más fríos; los valores más altos de temperatura mínima para estos meses son 17, 14 y 12°C respectivamente; los mas bajos son 14, 12 y 11°C de Octubre a Diciembre. Las figuras 3.89, 3.91 y 3.93 son los mapas de temperatura mínima que muestran las isotermas para los tres primeros meses del año 2007, las temperaturas mínimas más altas son respectivamente 14, 14 y 16°C (para la parte sur de Estado de Morelos). Las más bajas son 11, 11 y 13°C, respectivamente (para la parte norte del Estado).

Los mapas de elevación mostrados en las figuras 3.74, 3.76, 3.78, 3.80, 3.82, 3.84, 3.86, 3.88, 3.90, 3.92, 3.94 y 3.96, muestran igualmente la relación entre el relieve y la temperatura.

**MAYO 2006**

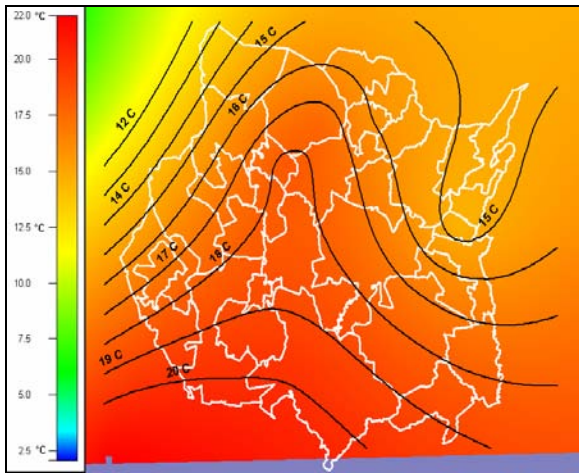


Fig. 3.73 Temperatura Mínima en Mayo.

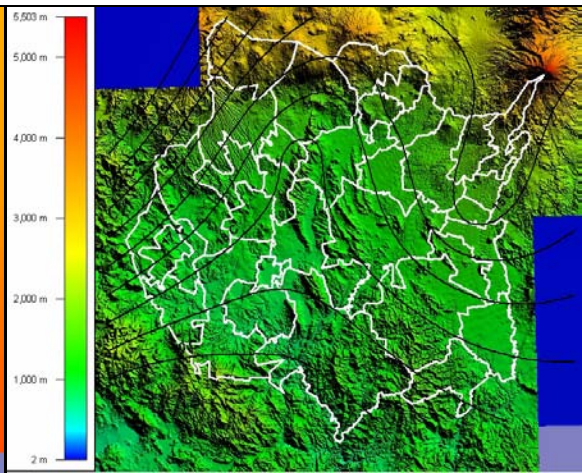


Fig. 3.74 Temperatura Mínima en Mayo en mapa de Elevación.

**JUNIO 2006**

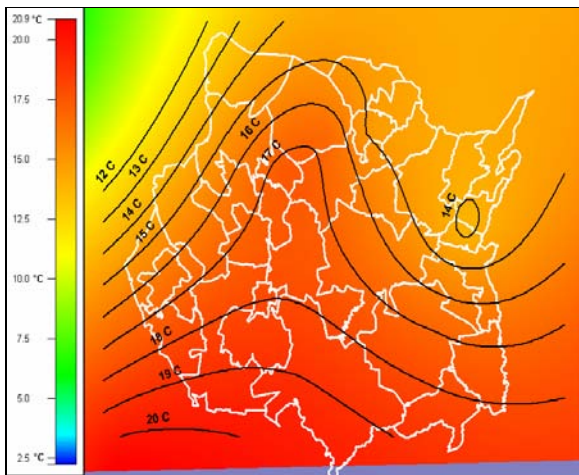


Fig. 3.75 Temperatura Mínima en Junio.

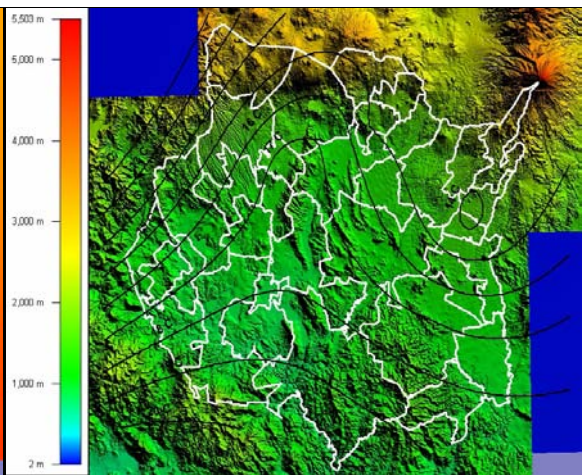


Fig. 3.76 Temperatura Mínima en Junio en mapa de Elevación.

**JULIO 2006**

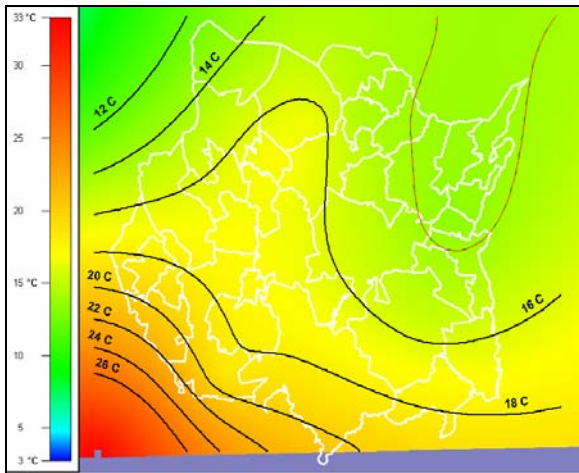


Fig. 3.77 Temperatura Mínima en Julio.

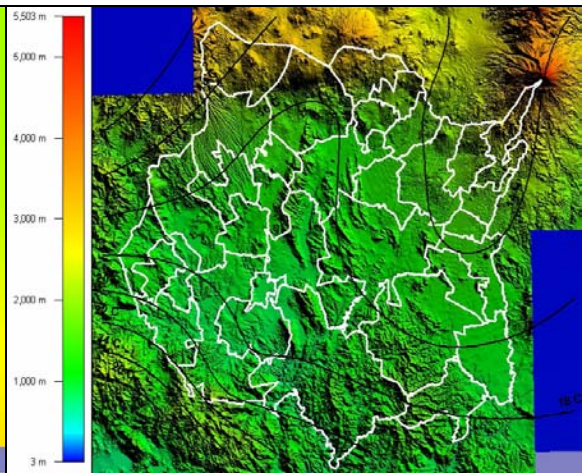


Fig. 3.78 Temperatura Mínima en Julio en mapa de Elevación.

**AGOSTO 2006**

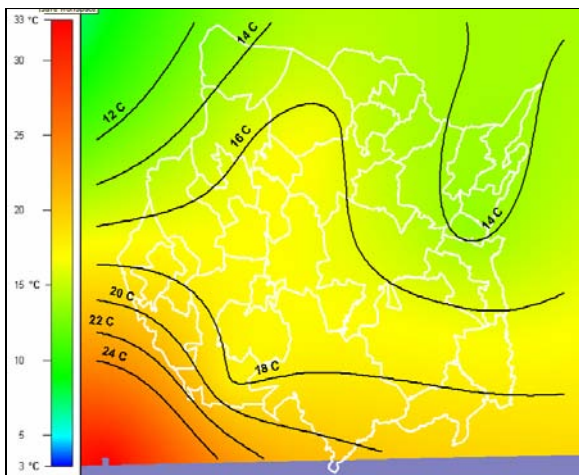


Fig. 3.79 Temperatura Mínima en Agosto.

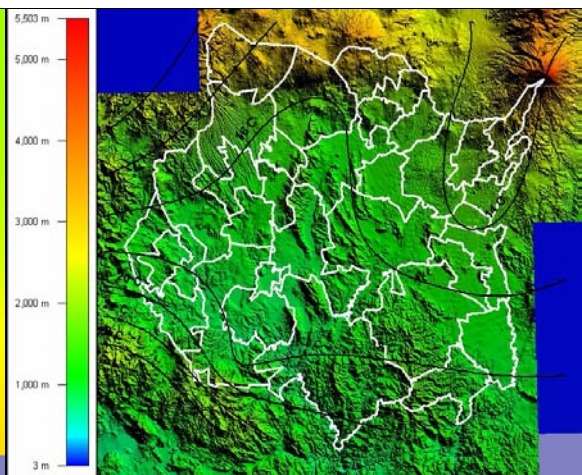


Fig. 3.80 Temperatura Mínima en Agosto en mapa de Elevación.



**SEPTIEMBRE 2006**

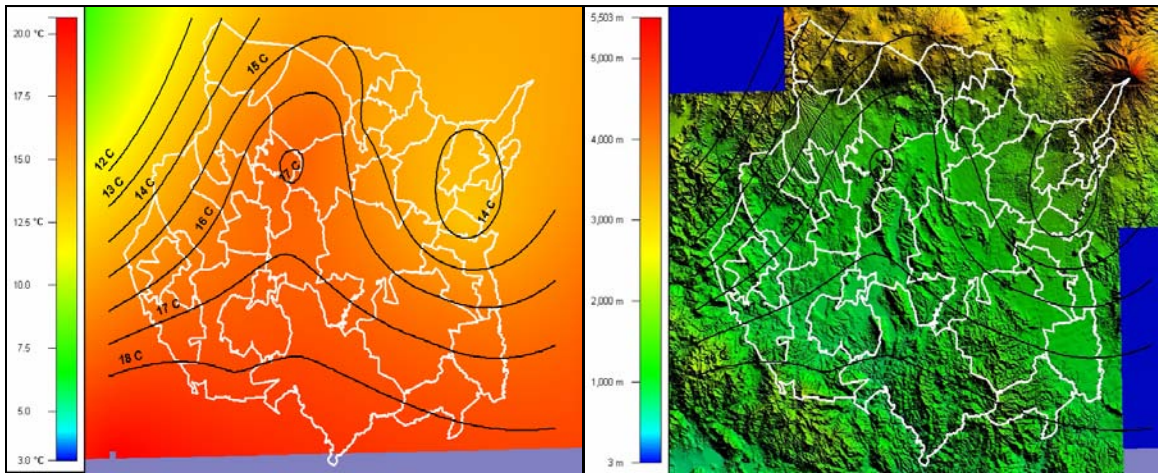


Fig. 3.81 Temperatura Mínima en Septiembre.

Fig. 3.82 Temperatura Mínima en Septiembre en mapa de Elevación.

**OCTUBRE 2006**

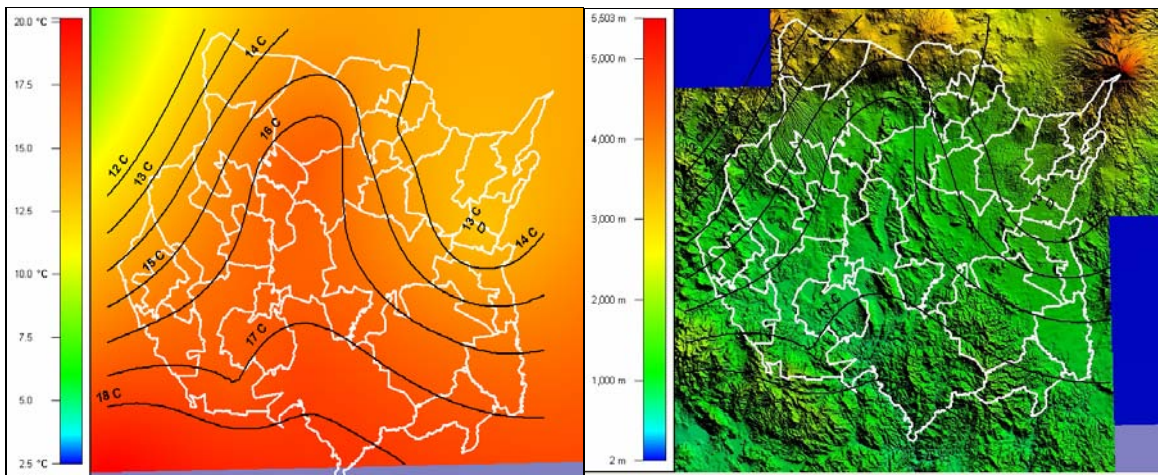


Fig. 3.83 Temperatura Mínima en Octubre.

Fig. 3.84 Temperatura Mínima en Octubre en mapa de Elevación.

**NOVIEMBRE 2006**

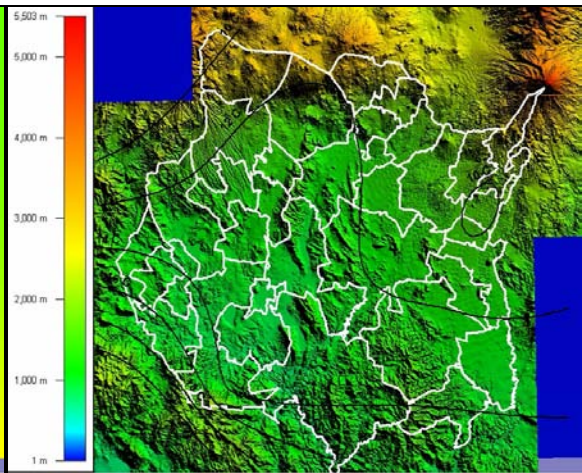
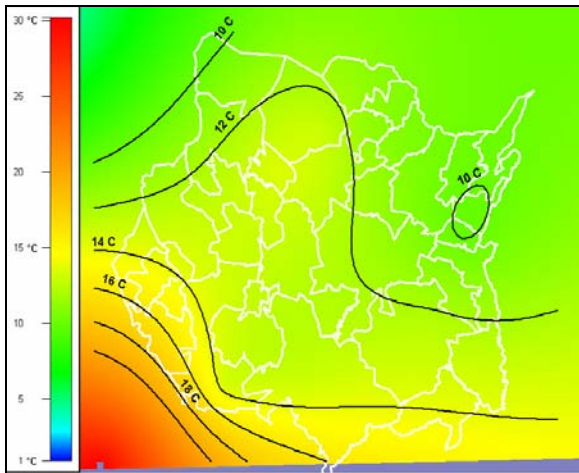


Fig. 3.85 Temperatura Mínima en Noviembre.

Fig. 3.86 Temperatura Mínima en Noviembre en mapa de Elevación.

**DICIEMBRE 2006**

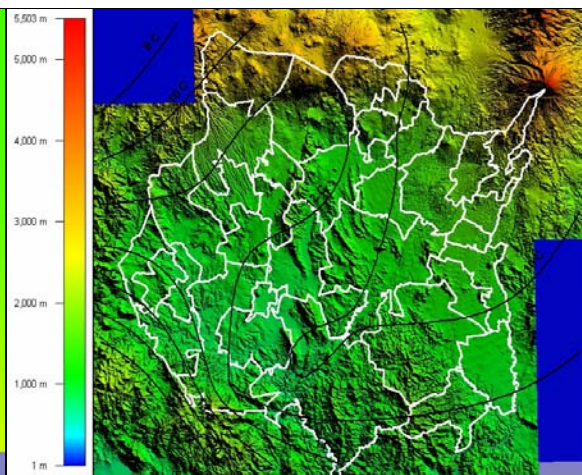
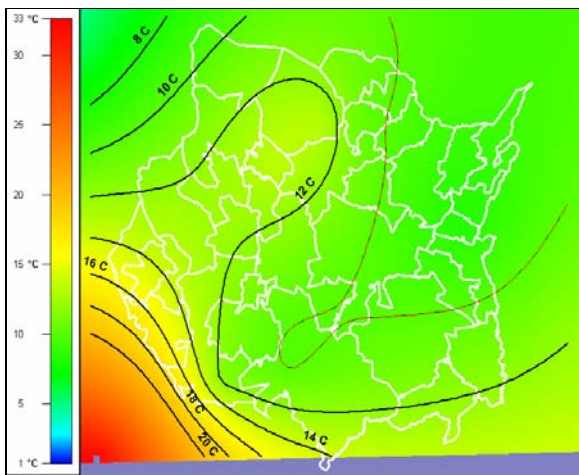


Fig. 3.87 Temperatura Mínima en Diciembre.

Fig. 3.88 Temperatura Mínima en Diciembre en mapa de Elevación.



**ENERO 2007**

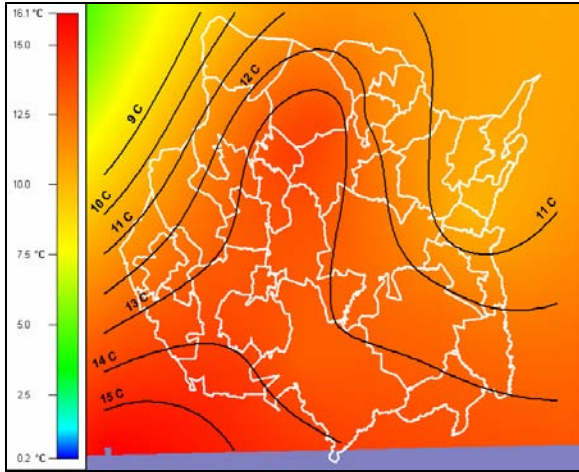


Fig. 3.89 Temperatura Mínima en Enero.

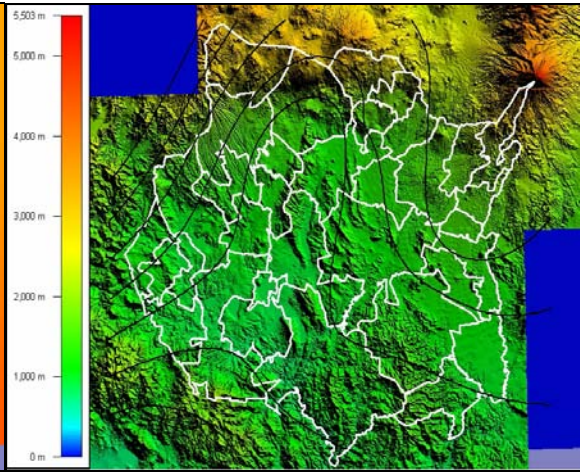


Fig. 3.90 Temperatura Mínima en Enero en mapa de Elevación.

**FEBRERO 2007**

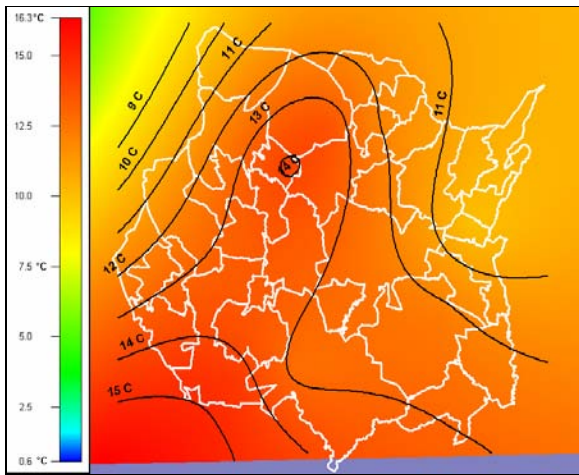


Fig. 3.91 Temperatura Mínima en Febrero.

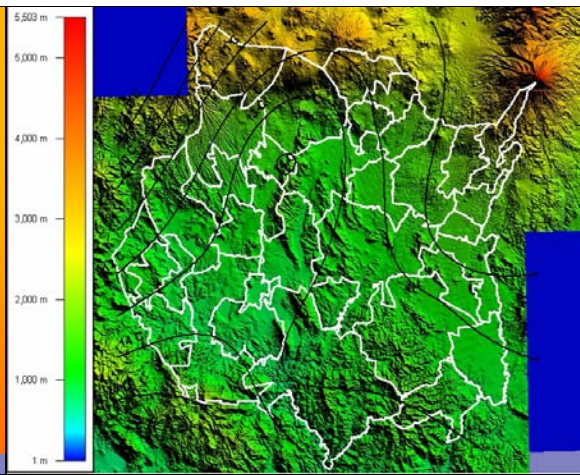


Fig. 3.92 Temperatura Mínima en Febrero en mapa de Elevación.

**MARZO 2007**

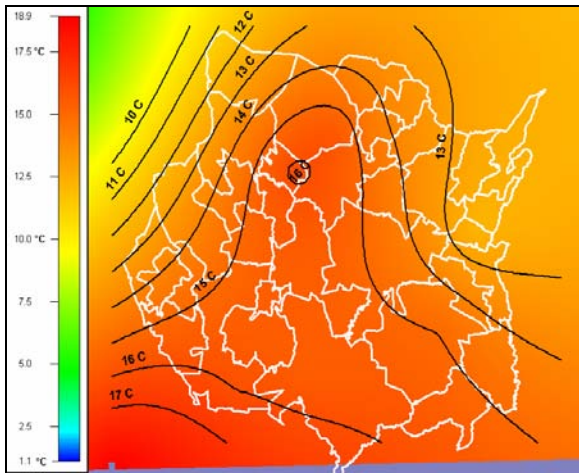


Fig. 3.93 Temperatura Mínima en Marzo.

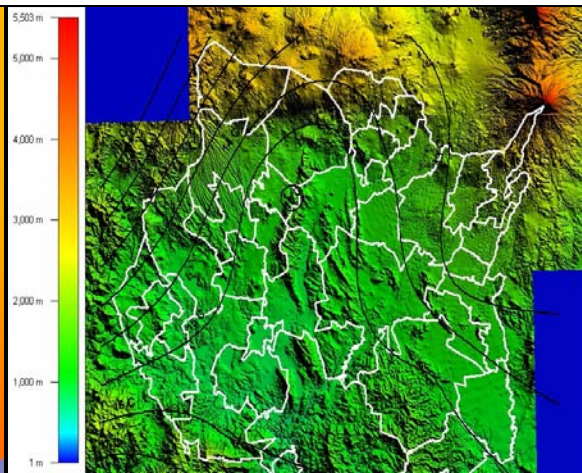


Fig. 3.94 Temperatura Mínima en Marzo en mapa de Elevación.

**ABRIL 2007**

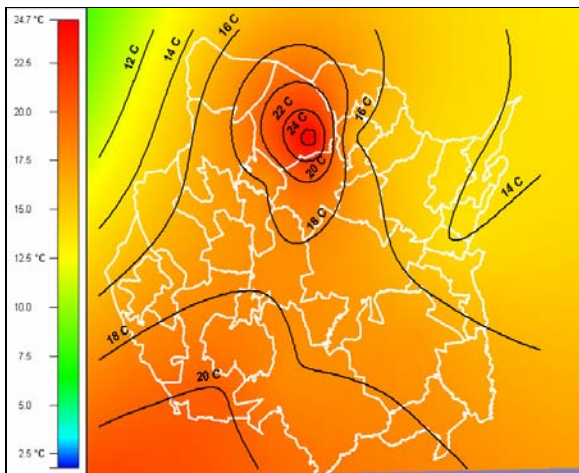


Fig. 3.95 Temperatura Mínima en Abril.

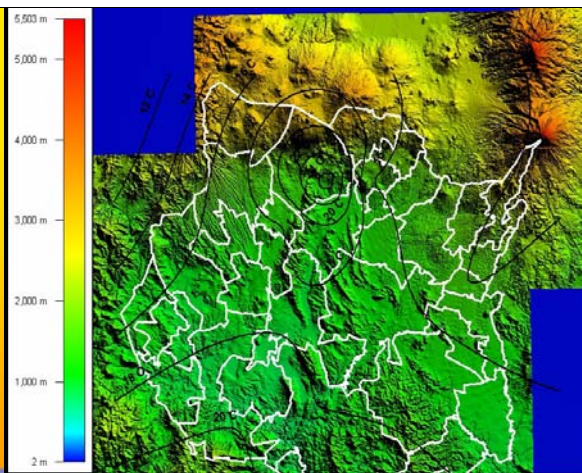


Fig. 3.96 Temperatura Mínima en Enero en mapa de Elevación.

### 3.5 Humedad Relativa

Las figuras 3.97 a 3.120 muestran los mapas de la humedad relativa mensual en % para el periodo Mayo 2006 a Abril 2007. La humedad relativa presenta valores más bajos en la zona sur del estado (Puente de Ixtla, Amacuzac, Jojutla, Tlaltizapán y Tlauquitenengo). De la parte media al norte del Estado la humedad permanece mas uniforme. Se puede distinguir también los meses que pertenecen a la temporada de lluvias (Mayo-Octubre) y los de temporada de secas (Noviembre-Abril). El mes con mayor humedad relativa a lo largo de todo el año en el Estado es Septiembre y el de menor humedad es Abril.

La temporada de secas (figuras 3.109, 3.111, 3.113, 3.115, 3.117 y 3.119) se muestra con los mapas de humedad relativa, cuyos valores máximos oscilan entre 42% (Abril) y 70% (Noviembre); los valores mínimos están en el rango de 34% (Abril) y 64% (Noviembre). La temporada de lluvias (figuras 3.97 a 3.107) se muestra con los mapas de humedad que presentan valores máximos entre 56% (Mayo) y 82% (Septiembre); los valores mínimos están en el rango de 50% (Mayo) y 74% (Septiembre).

El mes de Agosto es el mes que presenta el mayor gradiente de humedad con 10%. La distribución de la humedad es poco uniforme o heterogénea, y según los mapas de elevación (figuras 3.98, 3.100, 3.102, 3.104, 3.106, 3.108, 3.110, 3.112, 3.114, 3.116, 3.116, 3.118 y 3.120) no se muestra una relación con la orografía del Estado.



**MAYO 2006**

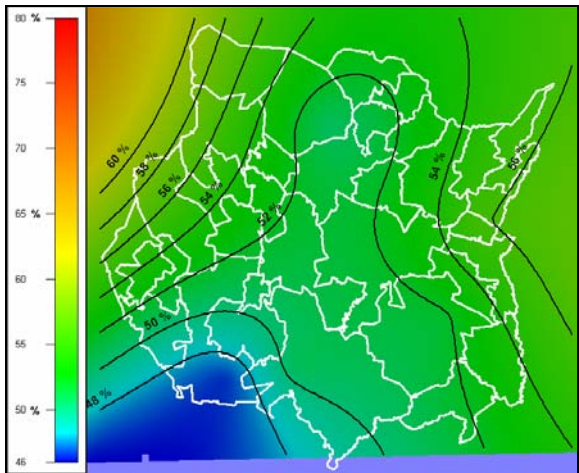


Fig. 3.97 Humedad Relativa en Mayo.

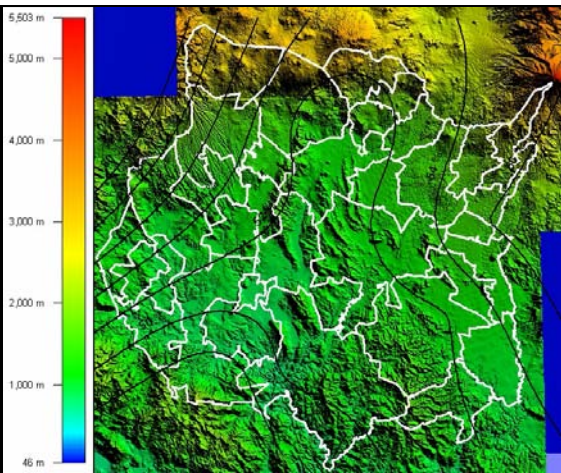


Fig. 3.98 Humedad Relativa en Mayo en mapa de Elevación.

**JUNIO 2006**

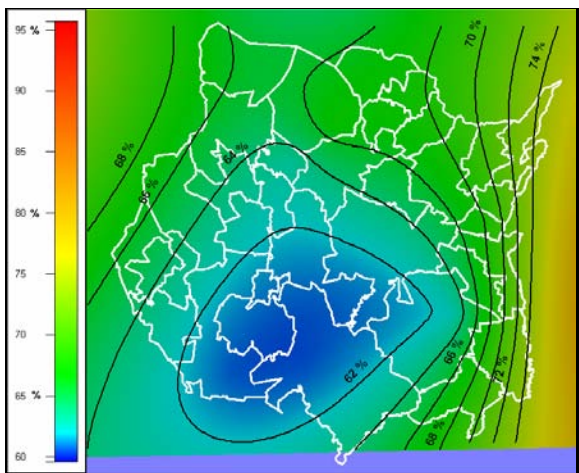


Fig. 3.99 Humedad Relativa en Junio.

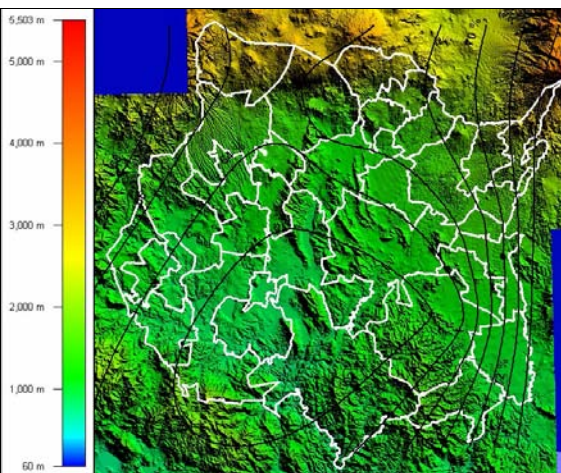


Fig. 3.100 Humedad Relativa en Junio en mapa de Elevación.

**JULIO 2006**

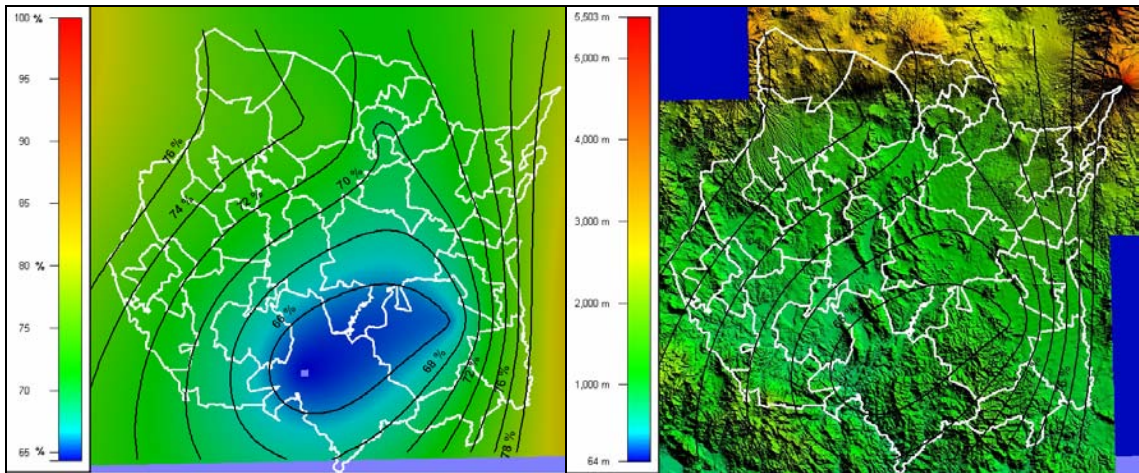


Fig. 3.101 Humedad Relativa en Julio.

Fig. 3.102 Humedad Relativa en Julio en mapa de Elevación.

**AGOSTO 2006**

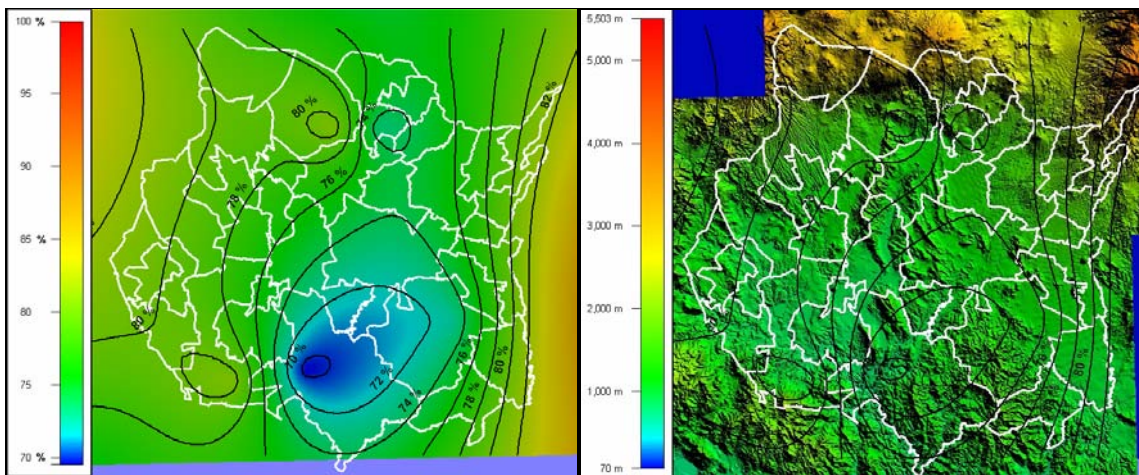


Fig. 3.103 Humedad Relativa en Agosto.

Fig. 3.104 Humedad Relativa en Agosto en mapa de Elevación.



**SEPTIEMBRE 2006**

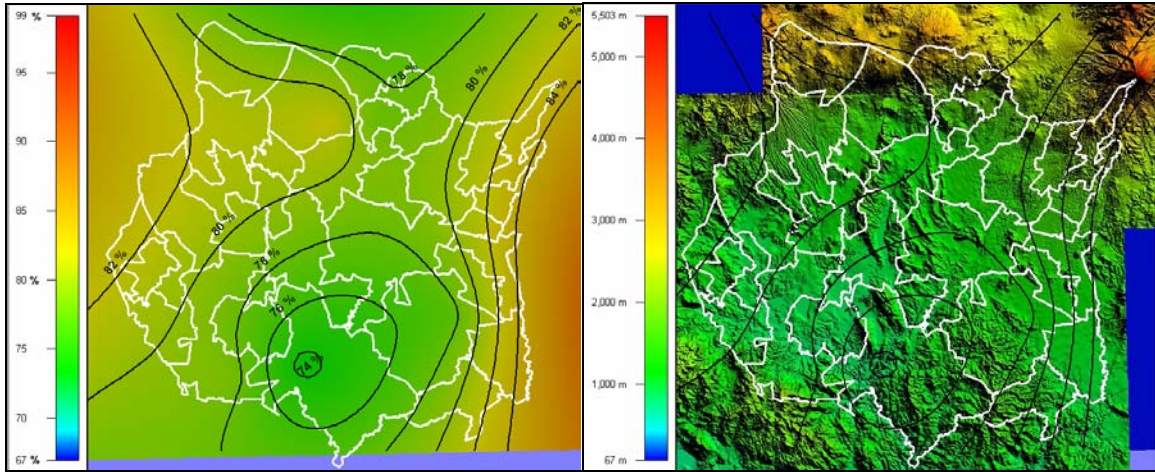


Fig. 3.105 Humedad Relativa en Septiembre. Fig. 3.106 Humedad Relativa en Septiembre en mapa de Elevación.

**OCTUBRE 2006**

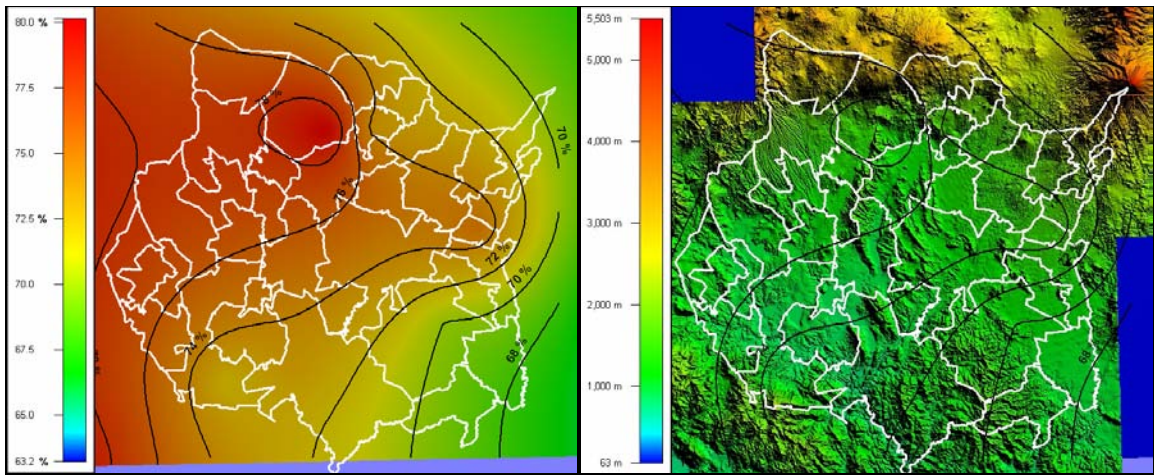


Fig. 3.107 Humedad Relativa en Octubre. Fig. 3.108 Humedad Relativa en Octubre en mapa de Elevación.

**NOVIEMBRE 2006**

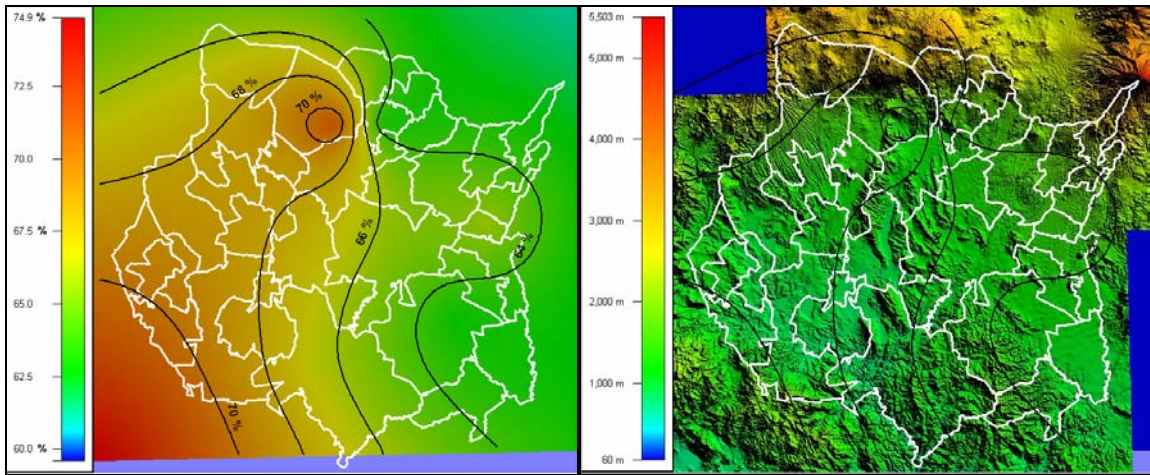


Fig. 3.109 Humedad Relativa en Noviembre. Fig. 3.110 Humedad Relativa en Noviembre en mapa de Elevación.

**DICIEMBRE 2006**

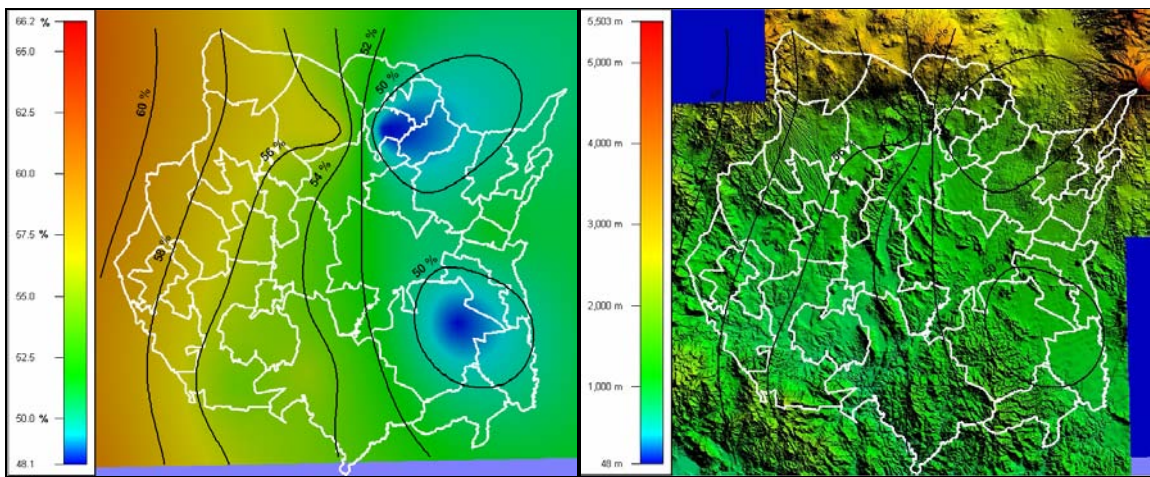


Fig. 3.111 Humedad Relativa en Diciembre. Fig. 3.112 Humedad Relativa en Diciembre en mapa de Elevación.



**ENERO 2007**

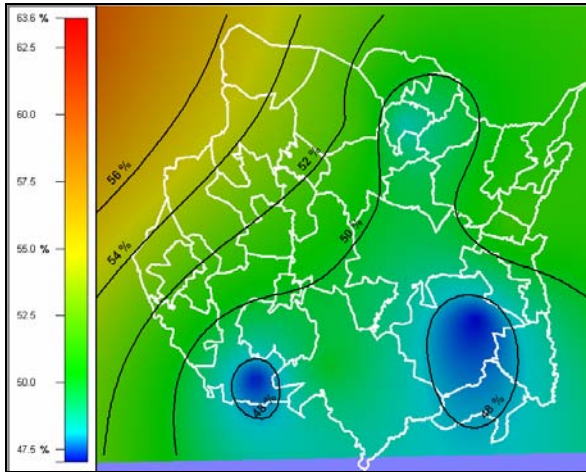


Fig. 3.113 Humedad Relativa en Enero.

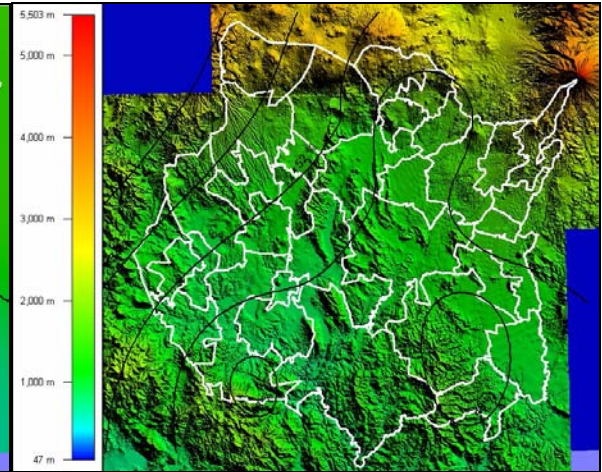


Fig. 3.114 Humedad Relativa en Enero en mapa de Elevación.

**FEBRERO 2007**

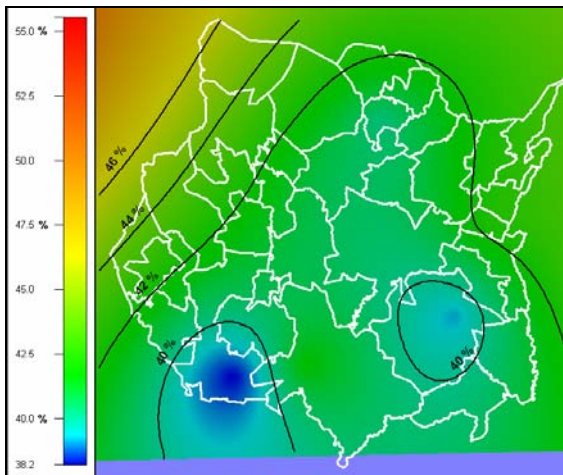


Fig. 3.115 Humedad Relativa en Febrero.

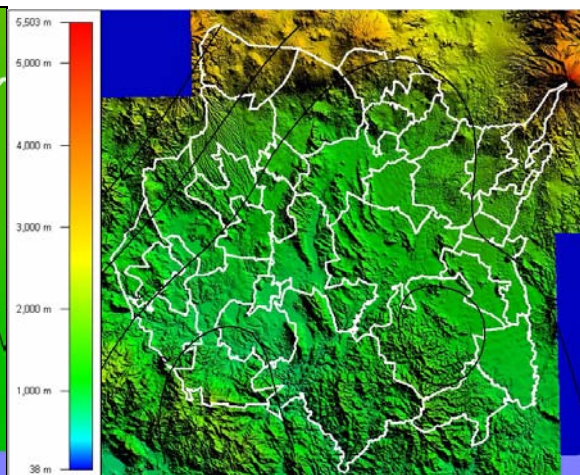


Fig. 3.116 Humedad Relativa en Febrero en mapa de Elevación.

**MARZO 2007**

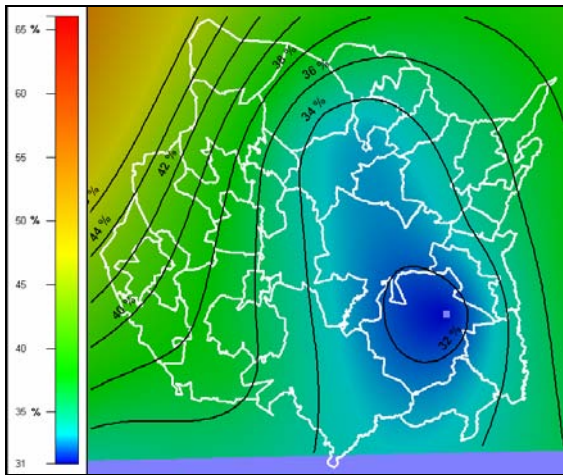


Fig. 3.117 Humedad Relativa en Marzo.

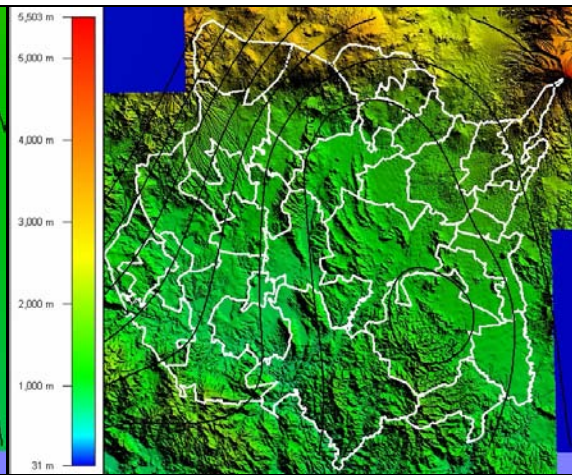


Fig. 3.118 Humedad Relativa en Marzo en mapa de Elevación.

**ABRIL 2007**

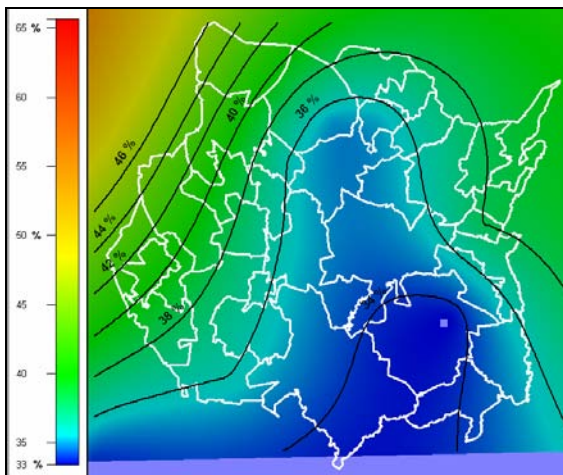


Fig. 3.119 Humedad Relativa en Abril.

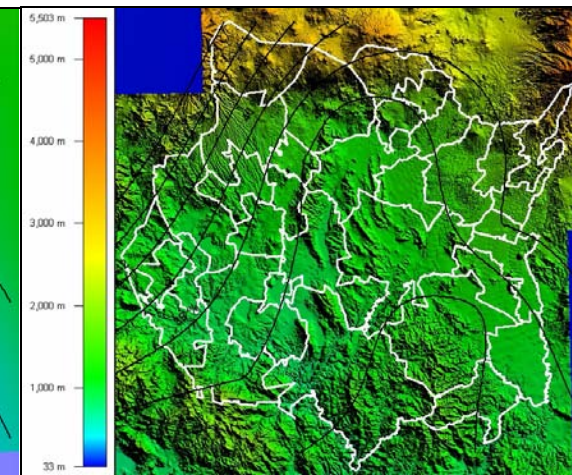


Fig. 3.120 Humedad Relativa en Abril en mapa de Elevación.

### 3.6 Velocidad del Viento

De las figuras 3.121 a 3.144 se muestran los mapas de la velocidad del viento mensual en m/s para el periodo Mayo 2006 a Abril 2007. La velocidad del viento tiene una distribución uniforme a lo largo de todo el año, formando un contorno en forma de lengua del lado este del Estado con valores aproximadamente constantes de velocidad. Se destacan los valores máximos de la velocidad del viento durante todo el año en la parte noroeste del Estado. Los valores mínimos de la velocidad son en todo el año en la parte de la lengua de viento. Para la zona de Cuernavaca y Jiutepec la velocidad promedio en el año es aproximadamente 2.2 m/s.

De las figuras 3.121, 3.123 y 3.125 se pueden observar patrones de velocidad muy similares. Los gráficos 3.127, 3.129, 3.131, 3.133 y 3.135 son los mapas de los meses de Agosto a Diciembre, en los cuales se tiene también una distribución muy similar de la velocidad del viento, desatacando el mes de Agosto con valores máximos de 2.8 m/s en la parte noroeste del Estado. El mes con mayor gradiente de velocidad a lo largo de todo el Estado es Agosto, con 1.6 m/s descendiendo de la parte noroeste a sureste del Estado. Las figuras 3.137, 3.139, 3.141 y 3.143, son mapas que muestran los meses de Enero a Abril del 2007, donde los mayores vientos oscilan entre 2.4 y 2.8 m/s en la parte noroeste, principalmente los municipios de Huitzilac, Cuernavaca y Tepoztlán, el mes con mayores ráfagas de viento en todo el año es Abril.

Los mapas de elevación mostrados en las figuras 3.122, 3.124, 3.126, 3.128, 3.130, 3.132, 3.134, 3.136, 3.138, 3.140, 3.142 y 3.144, muestran la gran relación que tiene la velocidad del viento con la orografía, es decir, en zonas con bajo relieve se presentan velocidades menores y en zonas con mayor relieve, la velocidad del viento será mayor. La parte central del Estado que comprende la zona que se encuentra entre la Sierra Madre del Sur y el eje Neovolcánico, presenta velocidades de viento mas bajas que las zonas que comprenden estas zonas montañosas. Es importante resaltar que la velocidad del viento también es afectada por lo rugoso de la superficie (zonas densamente urbanizadas o boscosas).



**MAYO 2006**

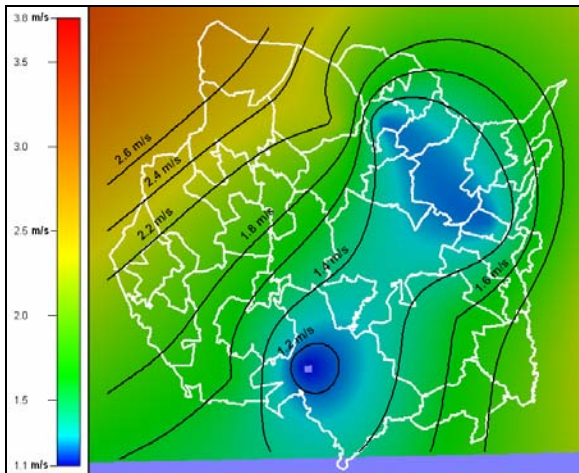


Fig. 3.121 Velocidad del Viento en Mayo.

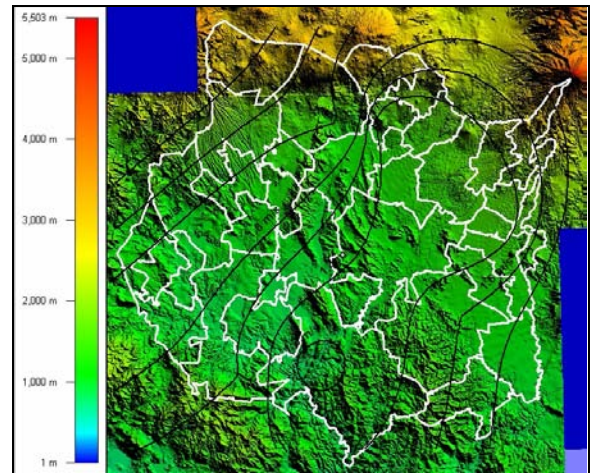


Fig. 3. 122 Velocidad del Viento en Mayo en mapa de Elevación.

**JUNIO 2006**

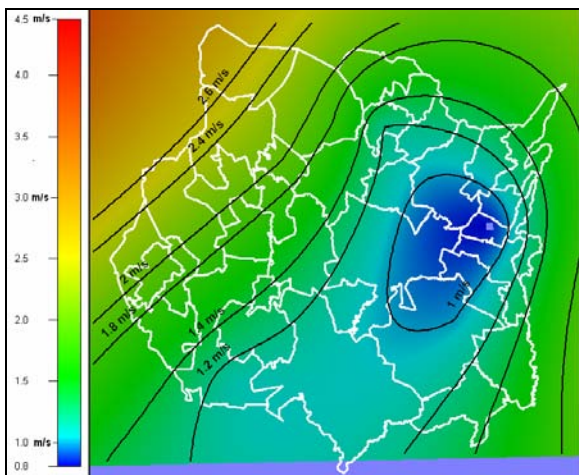


Fig. 3.123 Velocidad del Viento en Junio.

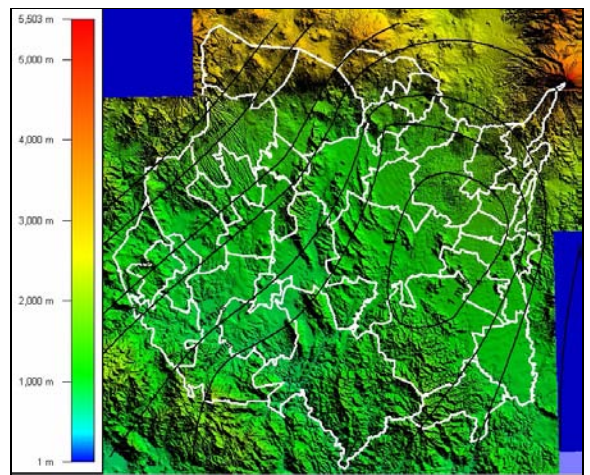


Fig. 3. 124 Velocidad del Viento en Junio en mapa de Elevación.



**JULIO 2006**

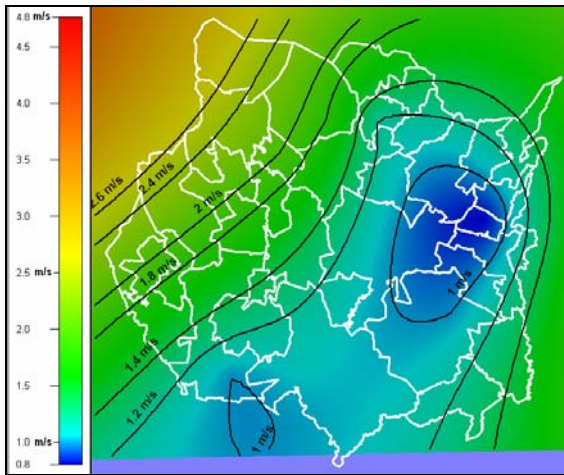


Fig. 3.125 Velocidad del Viento en Julio.

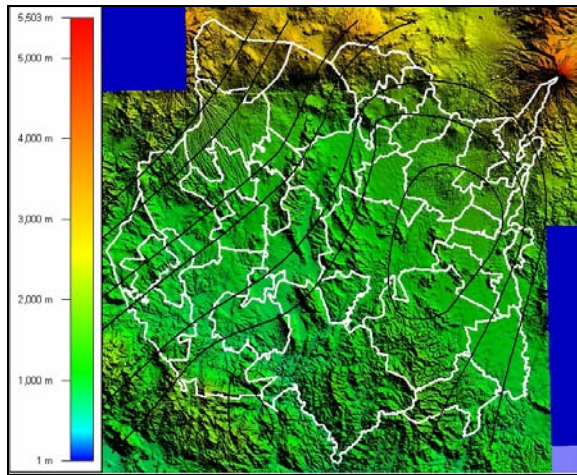


Fig. 3. 126 Velocidad del Viento en Julio en mapa de Elevación.

**AGOSTO 2006**

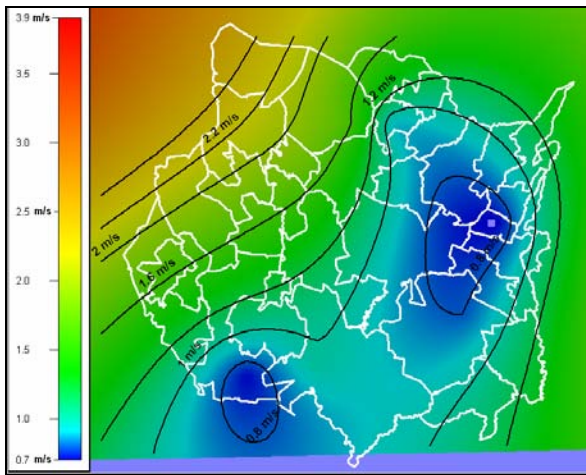


Fig. 3.127 Velocidad del Viento en Agosto.

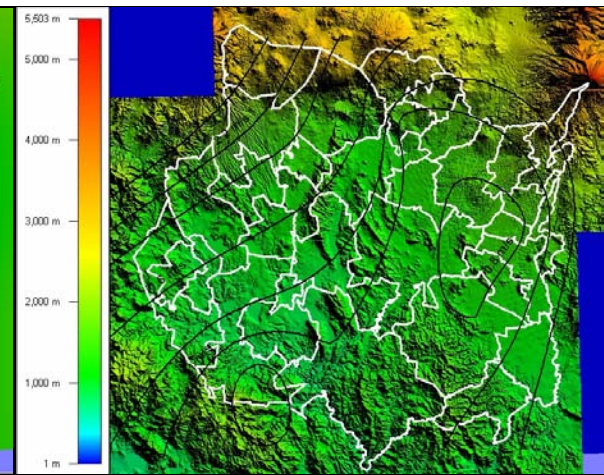


Fig. 3. 128 Velocidad del Viento en Agosto en mapa de Elevación.

**SEPTIEMBRE 2006**

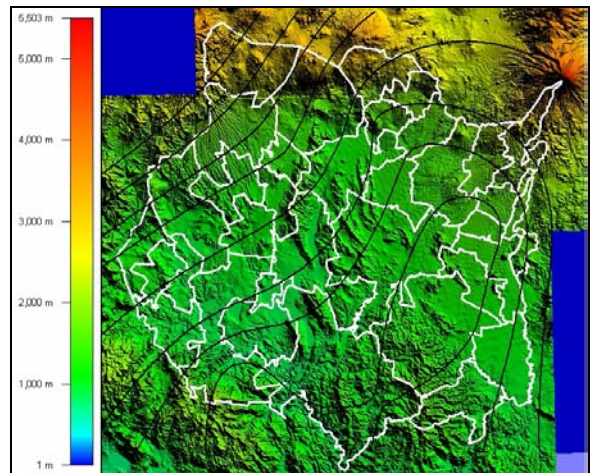
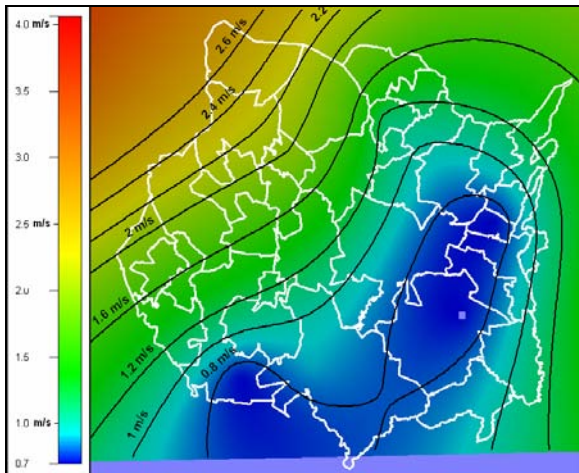


Fig. 3.129 Velocidad del Viento en Septiembre. Fig. 3. 130 Velocidad del Viento en Septiembre en mapa de Elevación.

**OCTUBRE 2006**

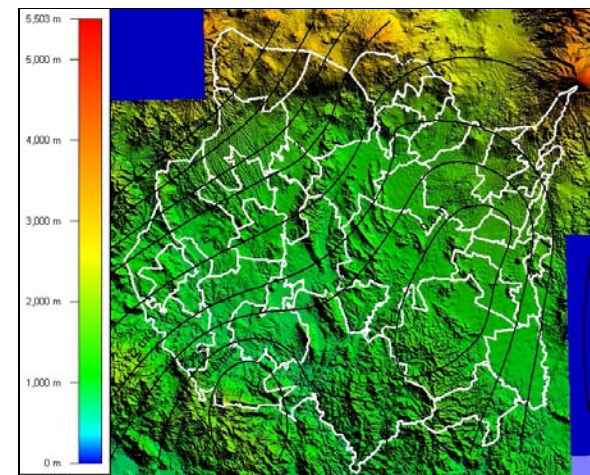
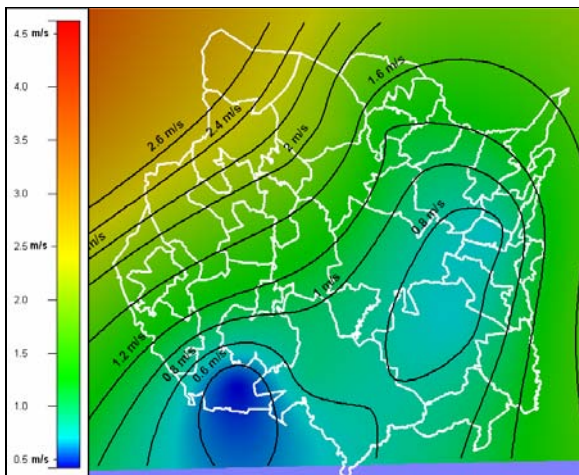


Fig. 3.131 Velocidad del Viento en Octubre. Fig. 3. 132 Velocidad del Viento en Octubre en mapa de Elevación.



**NOVIEMBRE 2006**

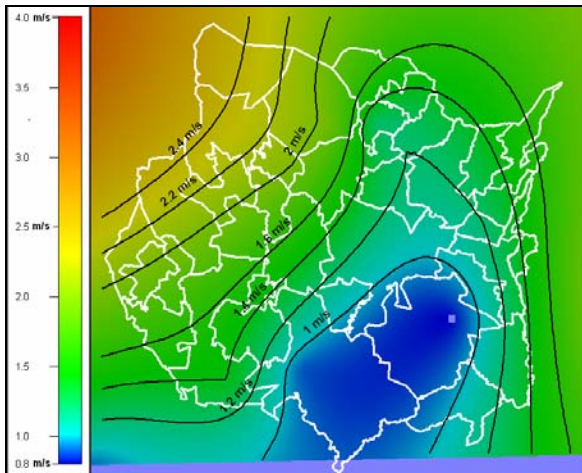


Fig. 3.133 Velocidad del Viento en Noviembre.

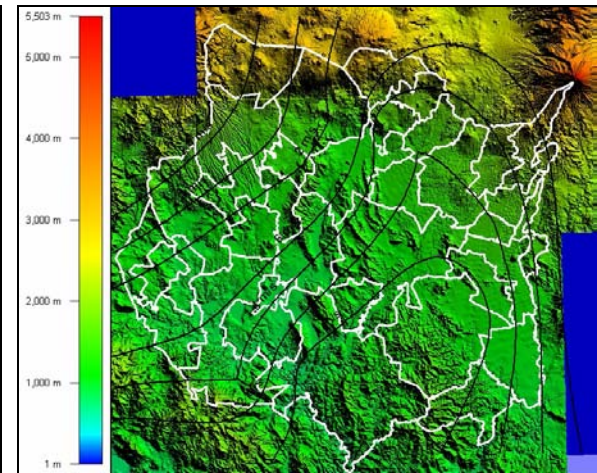


Fig. 3. 134 Velocidad del Viento en Noviembre en mapa de Elevación.

**DICIEMBRE 2006**

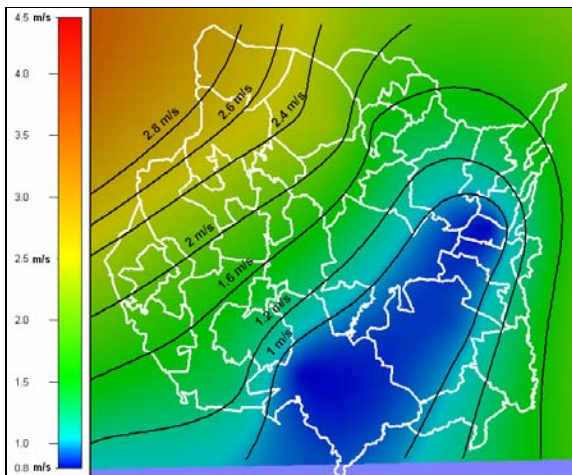


Fig. 3.135 Velocidad del Viento en Diciembre.

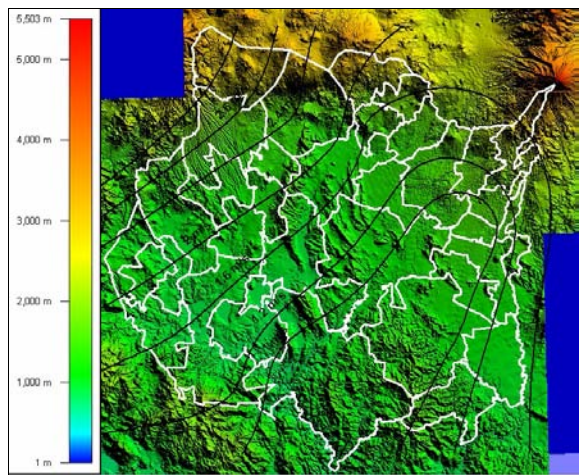


Fig. 3. 136 Velocidad del Viento en Diciembre en mapa de Elevación.

**ENERO 2007**

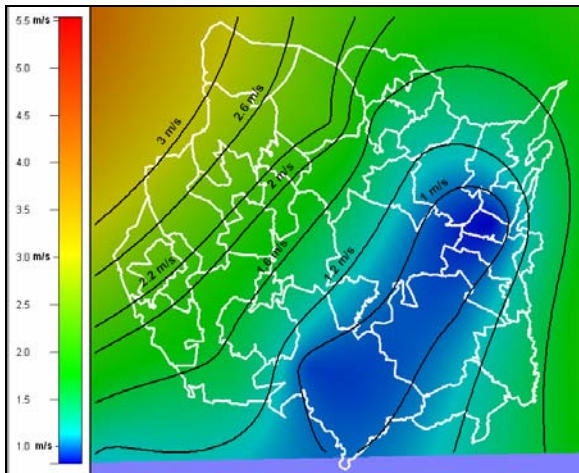


Fig. 3.137 Velocidad del Viento en Enero.

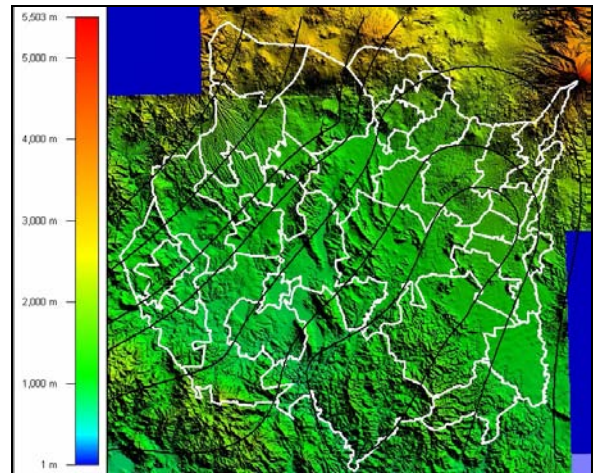


Fig. 3. 138 Velocidad del Viento en Enero en mapa de Elevación.

**FEBRERO 2007**

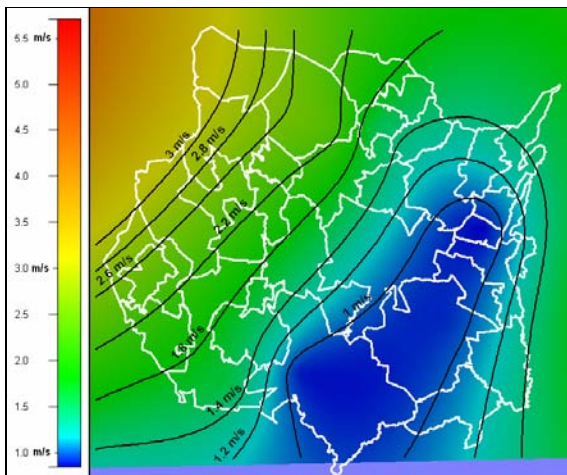


Fig. 3.139 Velocidad del Viento en Febrero.

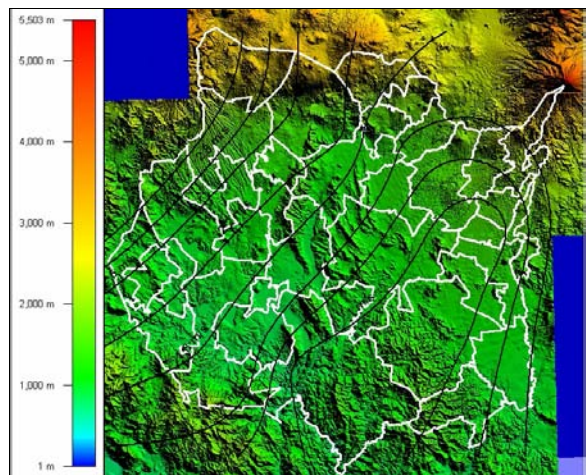


Fig. 3. 140 Velocidad del Viento en Febrero en mapa de Elevación.



**MARZO 2007**

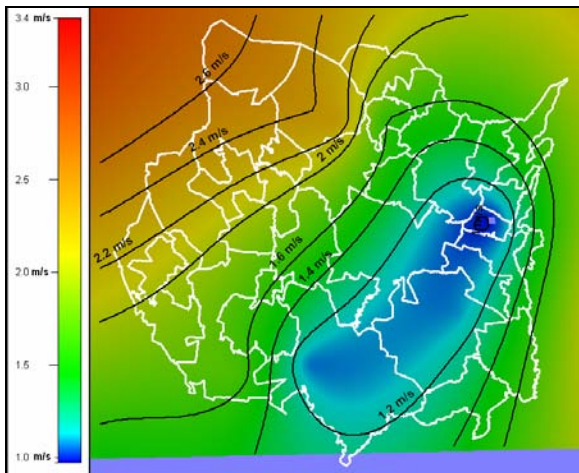


Fig. 3.141 Velocidad del Viento en Marzo.

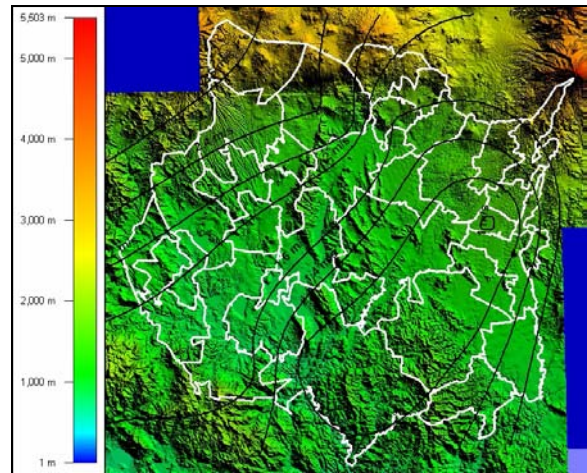


Fig. 3. 142 Velocidad del Viento en Marzo en mapa de Elevación.

**ABRIL 2007**

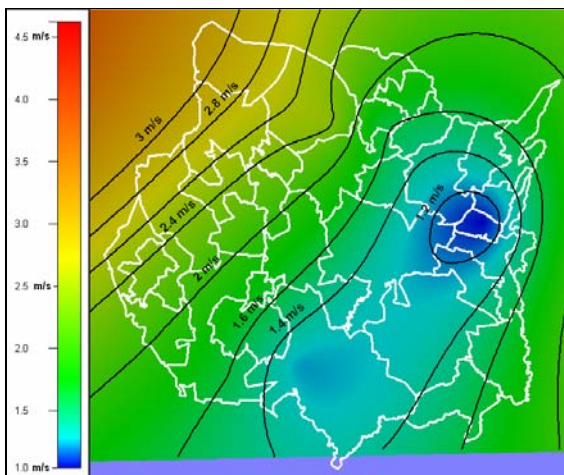


Fig. 3.143 Velocidad del Viento en Abril.

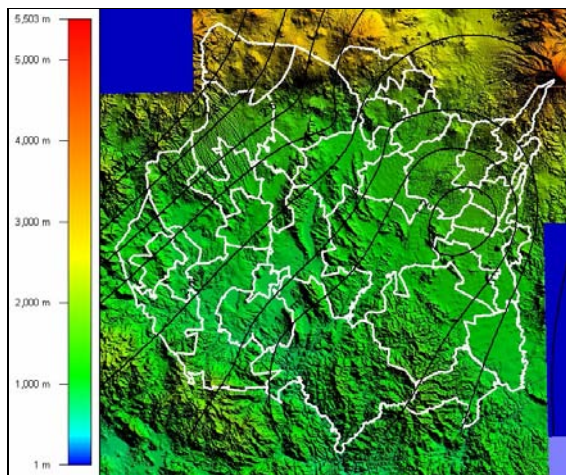


Fig. 3. 144 Velocidad del Viento en Abril en mapa de Elevación.



De los mapeos de las variables climáticas se concluye que la radiación solar promedio mensual en el Estado de Morelos presenta en los primeros tres meses del año los valores máximos en las partes noreste y suroeste del Estado. La incidencia solar mínima se concentra en la región noroeste. Las mayores concentraciones de la radiación solar en el año son para los meses de Abril a Junio con valores máximos entre los 6.4 a 7.2 kW-h/m<sup>2</sup>. A partir de Julio y hasta Diciembre la concentración máxima de la radiación se haya en la parte suroeste.

Las temperaturas muestran que los meses con temperaturas promedios más altas son Abril, Mayo y Junio con máximos que oscilan entre los 25 y los 27 °C. Los últimos meses del año presentan las menores temperaturas promedio destacando Noviembre y Diciembre como los más fríos. Las temperaturas en el Estado descienden de Norte a Sur en todos los meses del año. La humedad relativa presenta los valores más bajos en la zona Sur del Estado, en la parte central la humedad permanece mas uniforme y se destaca el mes de Septiembre que presenta la mayor humedad en el año.

La velocidad del viento presenta una distribución uniforme a lo largo de todo el año, con valores máximos en la región noroeste y mínimos en la región sureste que forma una lengua de viento. De los mapas de elevación se observa que la orografía no influye en la radiación solar ni en la humedad relativa, sin embargo en las temperaturas y la velocidad del viento si hay gran influencia.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

## **CAPÍTULO 4 GRADOS-DÍA Y DEMANDA ENERGÉTICA**

En este capítulo se presenta la metodología de los grados-día, se definen los grados-día diarios, mensuales y el cálculo de la demanda de energía por medio de los grados-día. También se presentan los resultados obtenidos para los grados-día: calentamiento y enfriamiento, la demanda de energía y costos por acondicionamiento térmico.

### **4.1 Metodología de los Grados-día**

El método de los grados-día es el método más simple y apropiado para el análisis de energía si el uso de los edificios y la eficiencia de los equipos de aire acondicionado son constantes. Cuando la eficiencia o las condiciones de uso varían con la temperatura ambiente, el consumo de energía puede ser calculado para diferentes valores de temperatura y multiplicados por el correspondiente número de horas; esta aproximación es usada en varios métodos combinados o binarios. Cuando la temperatura ambiente es fluctuante o cuando las ganancias internas varían, los métodos en estado estable no deben ser utilizados. Si bien algunos programas de cómputo pueden calcular fácilmente el consumo de energía en edificios,

el concepto de grados-día y el balance de temperatura en un punto son herramientas valiosas. El método de los grados-día y sus generalizaciones puede proporcionar una estimación simple de las cargas anuales, las cuales pueden ser precisas si la temperatura interior y las ganancias internas son relativamente constantes y si los sistemas de calentamiento o enfriamiento operan para una temporada completa (ASHRAE-Fundamentals, 2005).

#### 4.1.1 Temperatura de Punto de Balance

La temperatura de punto de balance  $t_{bal}$  de un edificio es definida como el valor de la temperatura ambiente  $t_0$  el cual, para el valor específico de la temperatura interior  $t_i$ , las ganancias de calor totales  $q_{gain}$  es igual a las ganancias de calor del sol, los ocupantes, la iluminación y otras ganancias.

$$q_{gain} = K_{tot} (t_i - t_{bal}) \quad (4.1)$$

donde  $K_{tot}$  es el coeficiente global de pérdidas de calor del edificio en W/K., la radiación solar debe ser tomada en promedios y no en valores picos. La temperatura de punto de balance es entonces:

$$t_{bal} = t_i - \frac{q_{gain}}{K_{tot}} \quad (4.2)$$

El calentamiento es necesario solamente cuando  $t_0$  esta por debajo de  $t_{bal}$ . La razón de consumo de energía de los sistemas de calentamiento es:

$$q_h = \frac{K_{tot}}{\eta_h} [t_{bal} - t_0(\theta)]^+ \quad (4.3)$$

donde  $\eta_h$  es la eficiencia del sistema de calentamiento, también designada sobre una base anual como el uso eficiente de combustible anual (AFUE),  $\theta$  es el tiempo, y el signo mas de la parte superior indica que solamente valores positivos son considerados. Si  $t_{bal}$ ,  $K_{tot}$  y  $\eta_h$  son constantes, el consumo anual de calentamiento puede ser escrito como una integral:

$$Q_{h,yr} = \frac{K_{tot}}{\eta_h} \int [t_{bal} - t_0(\theta)]^+ d\theta \quad (4.4)$$

Esta integral de la diferencia de temperaturas convenientemente reduce el efecto de las temperaturas externas sobre un edificio. En la práctica esto es aproximado por suma de promedios sobre intervalos cortos de tiempo (diarios u horarios); los resultados son llamados grados-día o grados-horas.

#### 4.1.2 Método Anual de los Grados-día

Si son usados valores promedio diarios de la temperatura ambiente para evaluar la integral, los grados-día de calentamiento  $DD(t_{bal})$  se obtienen como:

$$DD_h(t_b) = \sum_{days} (t_{bal} - t_0)^+ \quad (4.5)$$

con unidades Kelvin\*días. Aquí la suma es extendida sobre el año entero o sobre la temporada de calentamiento. Los grados-día entonces son una función de  $t_{bal}$  y reflejan el papel de  $t_i$ , las ganancias de calor y el coeficiente de pérdidas. La temperatura del punto de balance es también conocida como la base de los grados-día. En términos de grados-día, el consumo anual de energía para calentamiento es:

$$Q_h = \frac{K_{tot}}{\eta_h} DD_h(t_{bal}) \quad (4.6)$$

Los grados-día de calentamiento se obtienen regularmente para una temperatura de punto de balance de 18.3°C, ya que esta temperatura representa las condiciones promedio en edificios típicos del pasado.

Los grados-día de enfriamiento pueden ser calculados con una ecuación análoga a la de los grados-día de calentamiento:



$$DD_c(t_b) = \sum_{\text{días}} (t_0 - t_b)^+ \quad (4.7)$$

El cálculo del consumo de energía para enfriamiento usando los grados-día es más difícil que para calentamiento. Para enfriamiento la ecuación análoga es:

$$Q_c = \frac{K_{tot}}{\eta_h} DD_c(t_{bal}) \quad (4.8)$$

donde:

$\eta_h$ : es la eficiencia del sistema de climatización.

$K_{tot}$ : es el coeficiente total de pérdidas en Kcal /h m<sup>2</sup> °C

Para el cálculo del coeficiente de pérdidas totales, se tiene la siguiente relación:

$$K_{tot} = (Q_t + Q_i) * (1 + F) \quad (4.9)$$

donde:

$Q_t$ : son las pérdidas por transmisión

$Q_i$ : son las pérdidas por infiltración

$F$ : es el factor de ajuste final

para un edificio con (coeficiente total de pérdidas)  $K_{tot}$  estático. Esa suposición es usualmente aceptable durante la temporada de calentamiento, cuando las ventanas están cerradas, y los intercambios de aire son poco constantes. Sin embargo, durante la época intermedia o de enfriamiento, las ganancias de calor pueden ser eliminadas y el encendido de enfriadores mecánicos puede ser sustituido por ventanas abiertas o el incremento de ventilación. (En edificios con ventilación mecánica, esto es llamado como el modo economizador). El aire acondicionado entonces es necesario solamente cuando la temperatura ambiente excede el umbral  $t_{max}$ . Este umbral es dado por una ecuación análoga a la ecuación de la temperatura de punto de balance, remplazando el coeficiente de transferencia de calor para ventanas cerradas  $K_{tot}$  por  $K_{max}$  para ventana abiertas.

$$t_{max} + t_t - \frac{q_{gain}}{K_{max}} \quad (4.10)$$

### 4.1.3 Grados-día Mensuales

Muchas formulas han sido propuestas para estimar los grados-día relativos a una base arbitraria cuando ésta no está disponible. La idea básica es asumir una distribución de probabilidad típica de datos de temperatura, caracterizados por su promedio  $\bar{t}_0$  y por su desviación estándar  $\sigma$ . Erbs et al. (1987), desarrollaron un modelo que requiere como entrada solamente el promedio  $\bar{t}_0$  para cada mes del año. Las desviaciones estándares  $\sigma_m$  para cada mes se estiman de la siguiente correlación:

$$\sigma_m = 3.54 - 0.029\bar{t}_0 + 0.0644\sigma_{yr} \quad (4.10)$$

Esta es una ecuación dimensional con  $t$  y  $\sigma$  en °F;  $\sigma_{yr}$  es la desviación estándar del promedio mensual de temperaturas sobre el promedio anual  $\bar{t}_{0,yr}$ :

$$\sigma_{yr} = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_1^{12} (t_o - t_{o,yr})^2} \quad (4.11)$$

Para obtener una expresión simple de los grados-día, una temperatura variable normalizada se define como:

$$\phi = \frac{\bar{t}_b - \bar{t}_0}{\sigma_m \sqrt{N}} \quad (4.12)$$

donde  $N$  es el número de días en el mes ( $N$  tiene unidades de día/mes y  $\phi$  tiene unidades de  $\sqrt{\text{mes}/\text{dia}}$ ). En términos de  $\phi$ , los grados-día de calentamiento mensuales para una localización se aproximan por:

$$DD_h(t_b) = \sigma_m N^{1.5} \left[ \frac{\phi}{2} + \frac{\ln(e^{-a\phi} + e^{-a\phi})}{2a} \right] \quad (4.13)$$

donde  $a = 1.698\sqrt{\text{dia}/\text{mes}}$ . Una ecuación análoga se utiliza para el cálculo de los grados-día de enfriamiento. La figura 4.1 muestra los grados-día de calentamiento para la ciudad de Nueva York, usando el modelo de Erbs et al., (1983).

Month	$\bar{t}_o, ^\circ\text{C}$	N, day/mo.	$\sigma_m, ^\circ\text{C}$	$\phi, \sqrt{\text{mo.}/\text{day}}$	$\text{DD}_h(t_{\text{base}}), \text{K}\cdot\text{days}$
January	0.1	31	2.03	1.32	463
February	0.8	28	2.01	1.34	399
March	5.1	31	1.89	0.95	312
April	11.2	30	1.71	0.41	133
May	16.8	31	1.55	-0.21	31
June	22.0	30	1.40	-0.92	3
July	24.8	31	1.32	-1.33	1
August	23.8	31	1.34	-1.18	1
September	20.2	30	1.45	-0.66	7
October	14.8	31	1.60	0.02	59
November	8.6	30	1.79	0.66	202
December	1.9	31	1.98	1.19	406
$t_{o,yr}$	12.51			Sum	2018
$\sigma$	8.80				

Fig. 4.1 Grados-día de calentamiento para la ciudad de Nueva York.

Para el cálculo de los grados-día de calentamiento se utiliza en la temporada de secas, que es cuando la temperatura es más baja, la temperatura base de 21°C y para el cálculo de los grados-día de enfriamiento en la temporada de lluvia, que es cuando las temperaturas son más altas, se utiliza una temperatura base 24 °C.

### 4.2 Cálculo de los Grados-día

A continuación se presentan los grados-día de calentamiento y enfriamiento para las dos temporadas del año, los resultados son obtenidos para los siete municipios estudiados en esta investigación: Temoac, Tepalcingo, Puente de Ixtla (Tilzapotla), Tlaquiltenango, Tlayacapan, Jiutepec y Tepoztlán.

**TEMOAC**

Los gráficos siguientes muestran los grados-día de enfriamiento (temporada de lluvias) y los de calentamiento (temporada de secas) para el periodo comprendido entre Mayo 2006 y Abril 2007, para una temperatura base de 21 °C en la temporada de secas y de 24 °C en la de lluvias. La figura 4.2 destaca la mayor cantidad de grados-día de calentamiento en el mes de Diciembre con 212 DD y la menor cantidad en el mes de Abril con 88 DD. Para enfriamiento los menores requerimientos son en el mes de Septiembre con 42 DD y los mayores en Mayo con 72 DD. Se destaca en Temoac que son mayores los requerimientos para calentamiento que para enfriamiento a lo largo de todo el año.

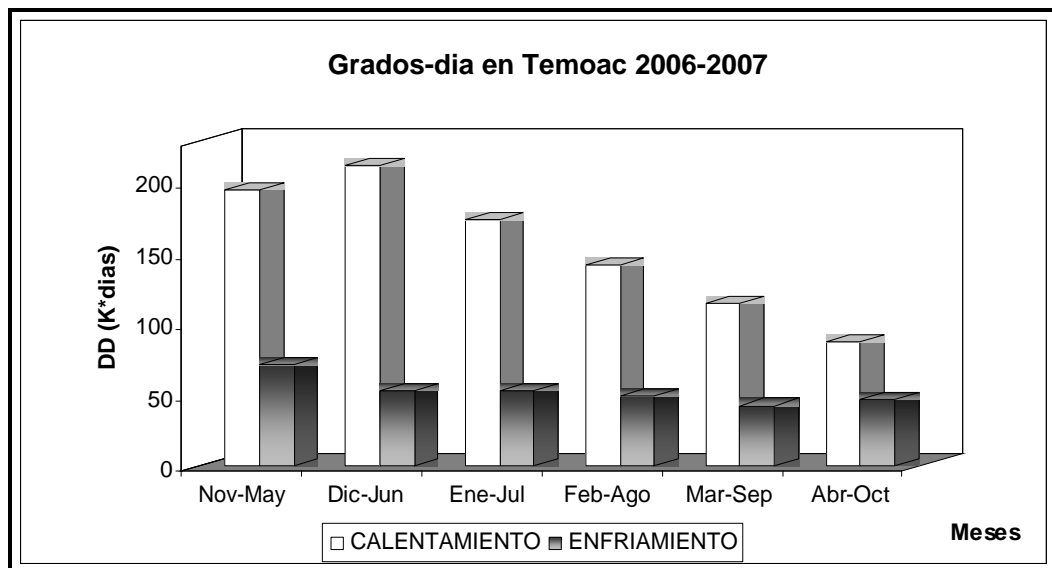


Fig. 4.2 Grados-día de Calentamiento y Enfriamiento en Temoac.

La figura 4.3 presenta la demanda de energía para calentamiento y enfriamiento, siguiendo un patrón similar al comportamiento de los grados-día de la figura 6.1. Se hace notar que la máxima demanda de calentamiento es en el mes de Diciembre con 972 kW-h/m<sup>2</sup> y la máxima demanda de enfriamiento en Mayo con 400 kW-h/m<sup>2</sup> (ecuaciones 4.6 y 4.8). En la figura 4.4 se presentan los costos mensuales de la energía eléctrica para calentamiento y enfriamiento en Temoac; los mayores costos para calentamiento son \$866.00 en Diciembre y para enfriamiento \$357.00 en Mayo (tarifa CFE media tensión de \$0.89, para Mayo 2007).

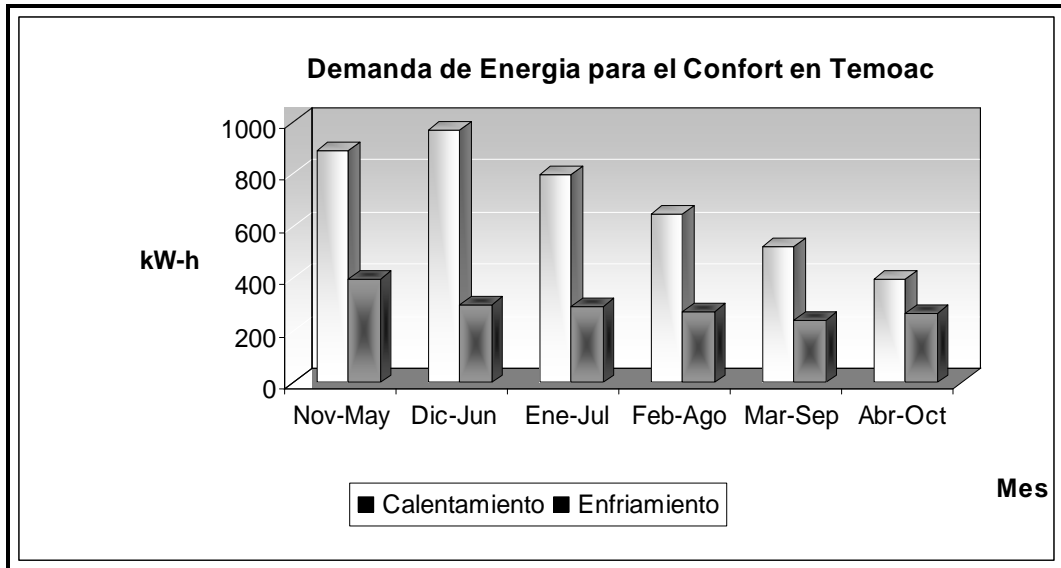


Fig. 4.3 Demanda de Energía en Temoac.

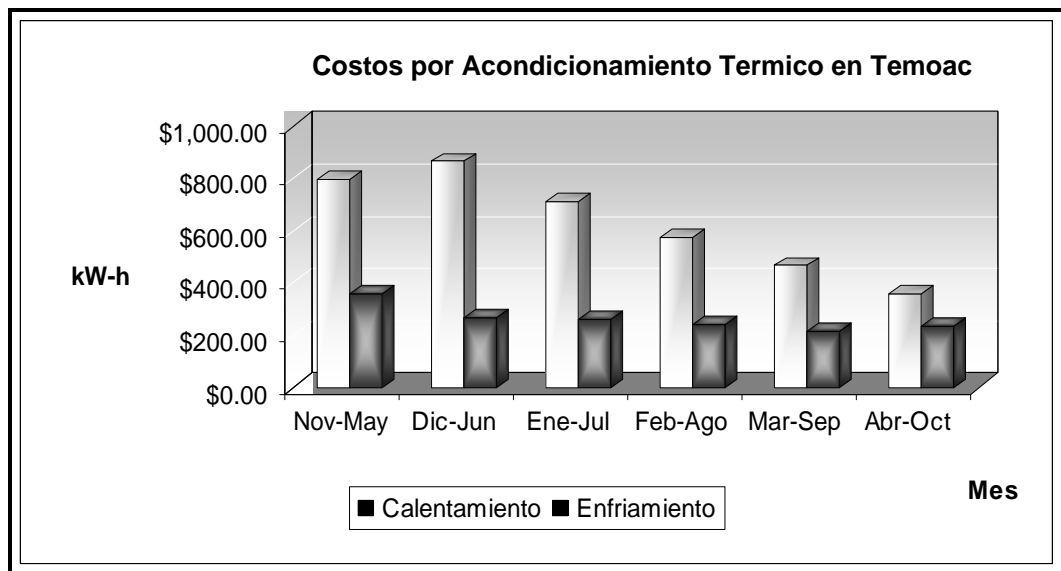


Fig. 4.4 Costos para Calentamiento y Enfriamiento por Grados-día en Temoac.



**TEPALCINGO**

La figura 4.5 muestra la mayor cantidad de grados-día de calentamiento en el mes de Diciembre con 152 DD y la menor cantidad en el mes de Abril con 47 DD. Para enfriamiento los menores requerimientos son en el mes de Septiembre con 69 DD y los mayores en Mayo con 113 DD. En general para Tepalcingo son mayores los requerimientos para calentamiento que para enfriamiento a lo largo de todo el año.

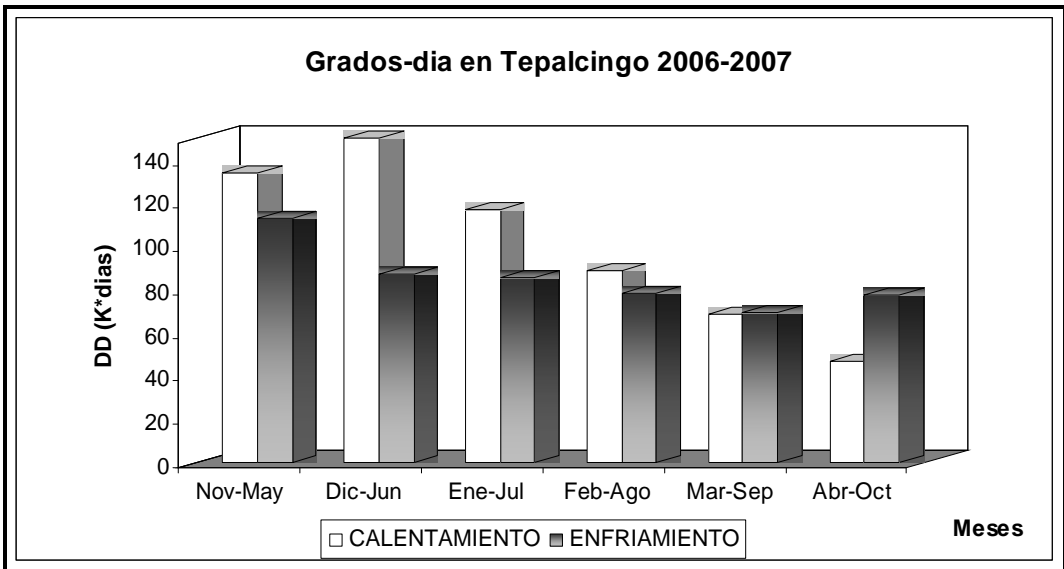


Fig. 4.5 Grados-día de Calentamiento y Enfriamiento en Tepalcingo.

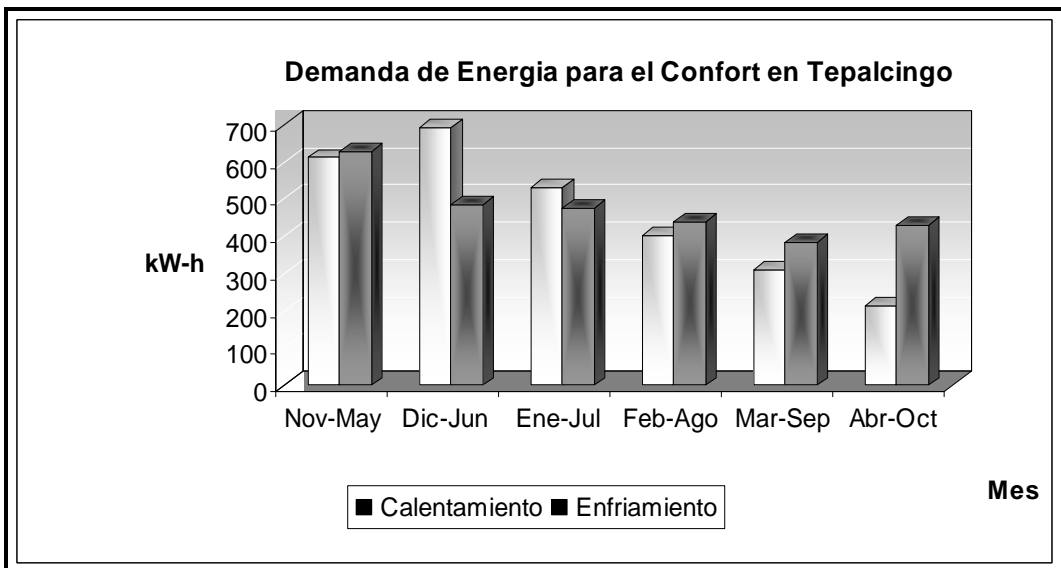


Fig. 4.6 Demanda de Energía en Tepalcingo.

La figura 4.6 presenta la demanda de energía para calentamiento y enfriamiento, aquí los resultados muestran la máxima demanda de calentamiento en Diciembre con 695 kW-h/m<sup>2</sup> y la máxima demanda de enfriamiento en Mayo con 630 kW-h/m<sup>2</sup>. En la figura 4.7 se presentan los costos de la energía eléctrica para calentamiento y enfriamiento en Tepalcingo; los mayores costos para calentamiento son \$620.00 en Diciembre y para enfriamiento \$562.00 en Mayo.

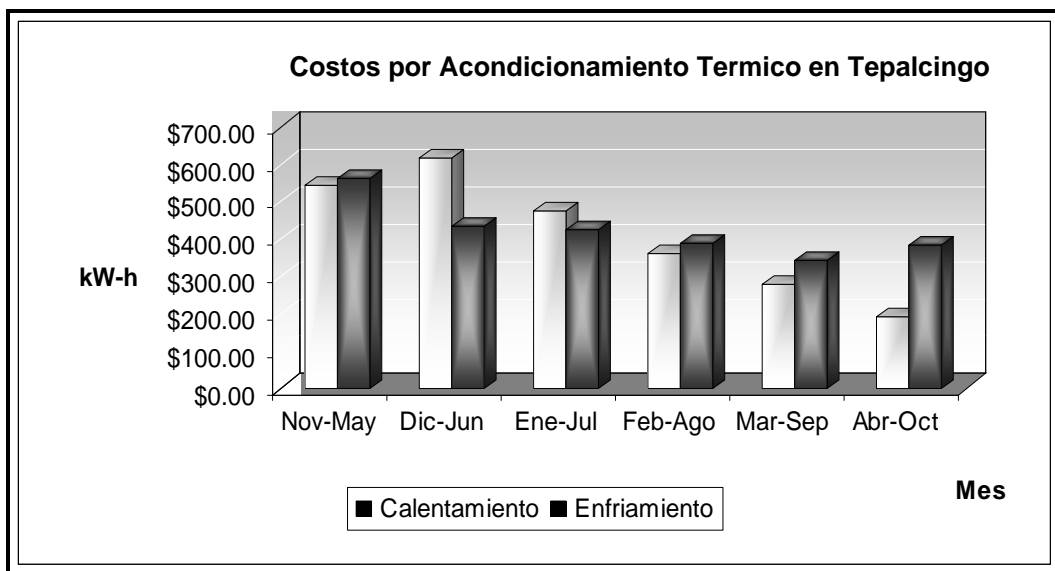


Fig. 4.7 Costos para Calentamiento y Enfriamiento por Grados-día en Tepalcingo.

### TILZAPOTLA

Para el municipio de Puente de Ixtla (Tilzapotla) los mayores requerimientos de energía para calentamiento son en el mes de Diciembre con 138 DD y la menor cantidad de energía para calentamiento se presenta en el mes de Abril con 33 DD (figura 4.8). Para enfriamiento los menores requerimientos de energía son en el mes de Septiembre con 83 DD y los mayores en Mayo con 155 DD. De los resultados obtenidos para Tilzapotla se refleja una mayor demanda de energía para enfriamiento que para calentamiento a lo largo de todo el año.

La figura 4.9 presenta la demanda de energía para calentamiento y enfriamiento en Tilzapotla, a partir de los grados-día se obtiene que la máxima demanda de calentamiento ocurre en Diciembre con 630 kW-h/m<sup>2</sup> y la máxima demanda de enfriamiento en Mayo con

865 kW-h/m<sup>2</sup>. En la figura 4.10 se presentan los costos de la energía eléctrica para calentamiento y enfriamiento en Tlzapotla; los mayores costos para calentamiento son \$560.00 en Diciembre y para enfriamiento \$771.00 en Mayo.

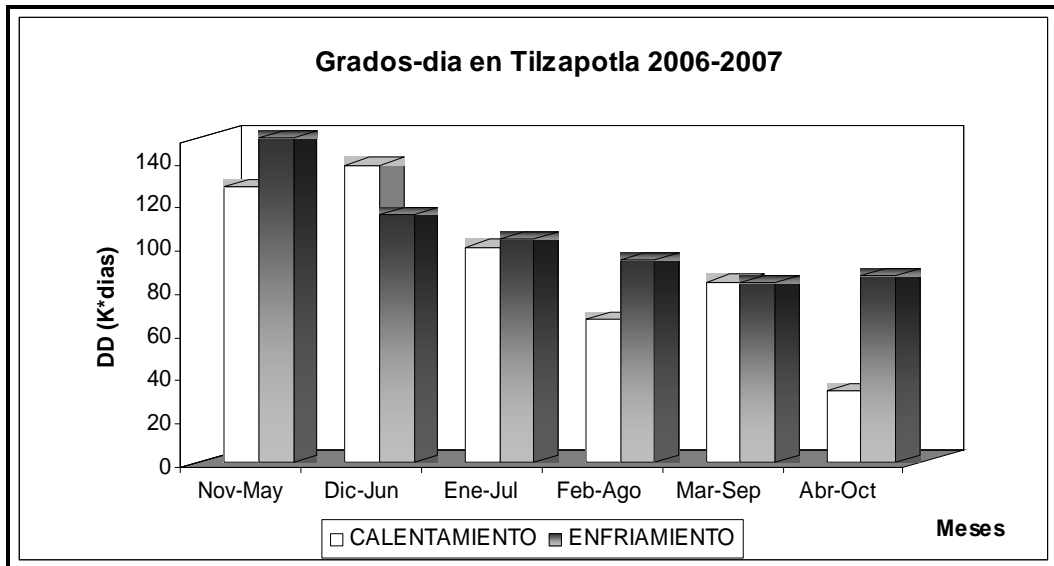


Fig. 4.8 Grados-día de Calentamiento y Enfriamiento en Tlzapotla.

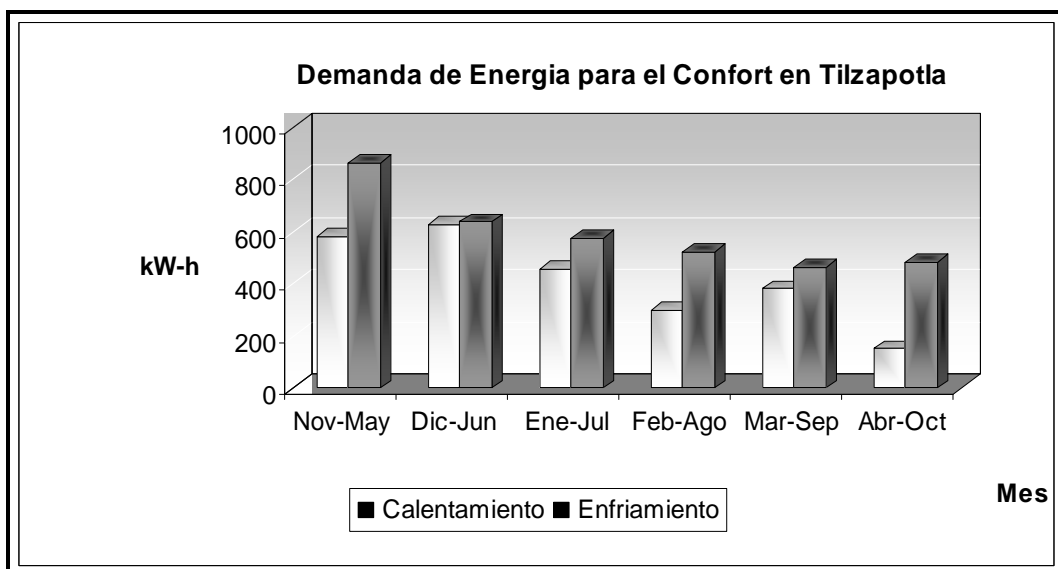


Fig. 4.9 Demanda de Energía en Tlzapotla.

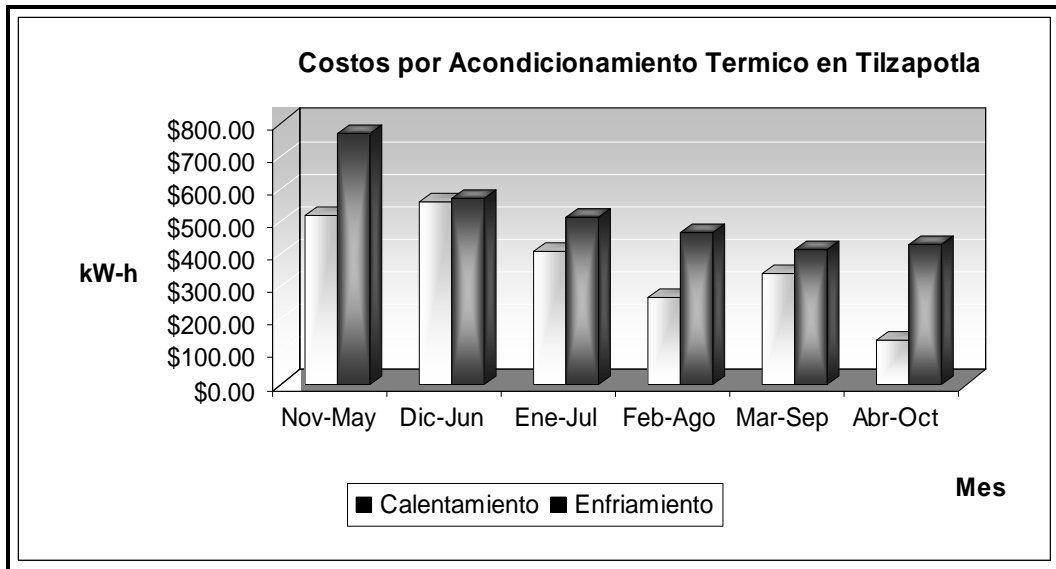


Fig. 4.10 Costos para Calentamiento y Enfriamiento por Grados-día en Tlzapotla.

### TLAQUILTENANGO

Los resultados obtenidos para el municipio de Tlaquiltenango son muy cercanos a los que arroja el municipio de Tlzapotla, la figura 4.11 presenta los grados-día de calentamiento y enfriamiento para Tlaquiltenango, destacando los mayores requerimientos de energía para calentamiento en el mes de Diciembre con 140 DD y la menor cantidad de energía para calentamiento en el mes de Abril con 35 DD. Para enfriamiento los menores requerimientos de energía son en el mes de Septiembre con 93 DD y los mayores en Mayo con 149 DD. Al igual que para Tlzapotla los resultados obtenidos muestran una mayor demanda de energía para enfriamiento que para calentamiento a lo largo de todo el año. Tanto Tlzapotla como Tlaquiltenango son los dos municipios con climas más calurosos y por lo tanto con mayores requerimientos de energía para enfriamiento y menores para calentamiento.

La figura 4.12 presenta la demanda de energía para calentamiento y enfriamiento en Tlaquiltenango, la máxima demanda energía para calentamiento ocurre en Diciembre con 636 kW-h/m<sup>2</sup> y la máxima demanda de enfriamiento en Mayo con 832 kW-h/m<sup>2</sup>. En la figura 4.13, se presentan los costos de la energía eléctrica para calentamiento y enfriamiento en

Tlaquiltenango; los mayores costos para calentamiento son \$567.00 en Diciembre y para enfriamiento \$742.00 en Mayo.

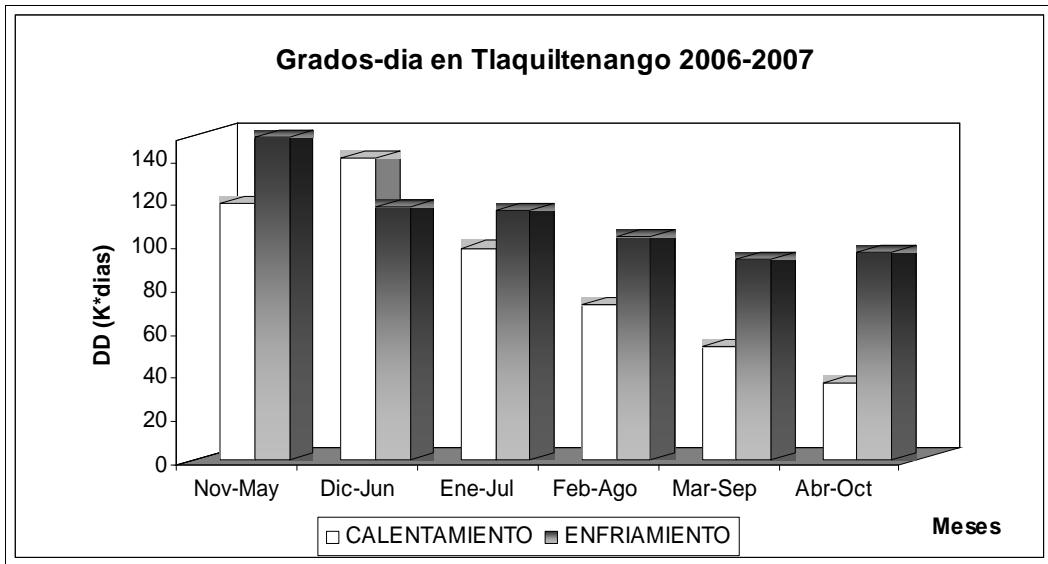


Fig. 4.11 Grados-día de Calentamiento y Enfriamiento en Tlaquiltenango.

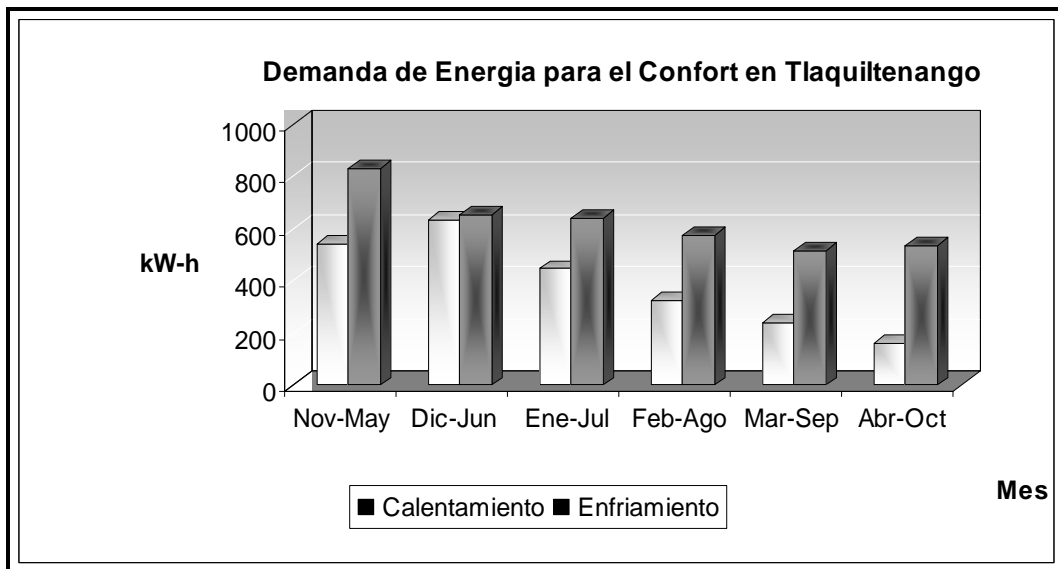


Fig. 4.12 Demanda de Energía en Tlaquiltenango.



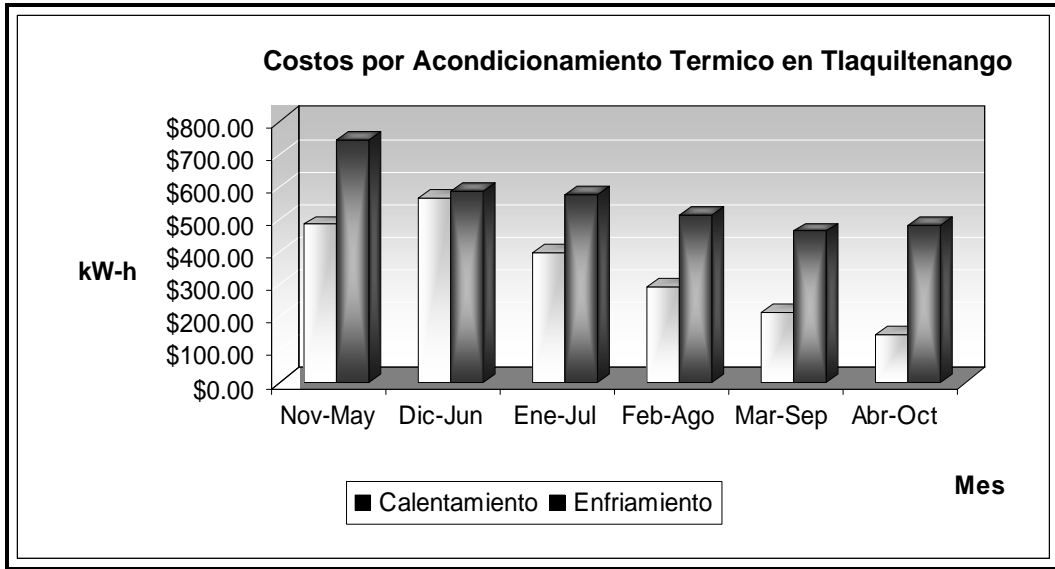


Fig. 4.13 Costos para Calentamiento y Enfriamiento por Grados-día en Tlaquiltenango.

**TLAYACAPAN**

La figura 4.14 presenta los grados-día de calentamiento y enfriamiento para Tlayacapan, aquí los mayores requerimientos de energía para calentamiento son en los meses de Noviembre y Diciembre con 186 y 187 DD respectivamente y la menor cantidad de energía para calentamiento es en Abril con 82 DD. Para enfriamiento los menores requerimientos de energía son en el mes de Septiembre con 46 DD y los mayores en el mes de Mayo con 81 DD.

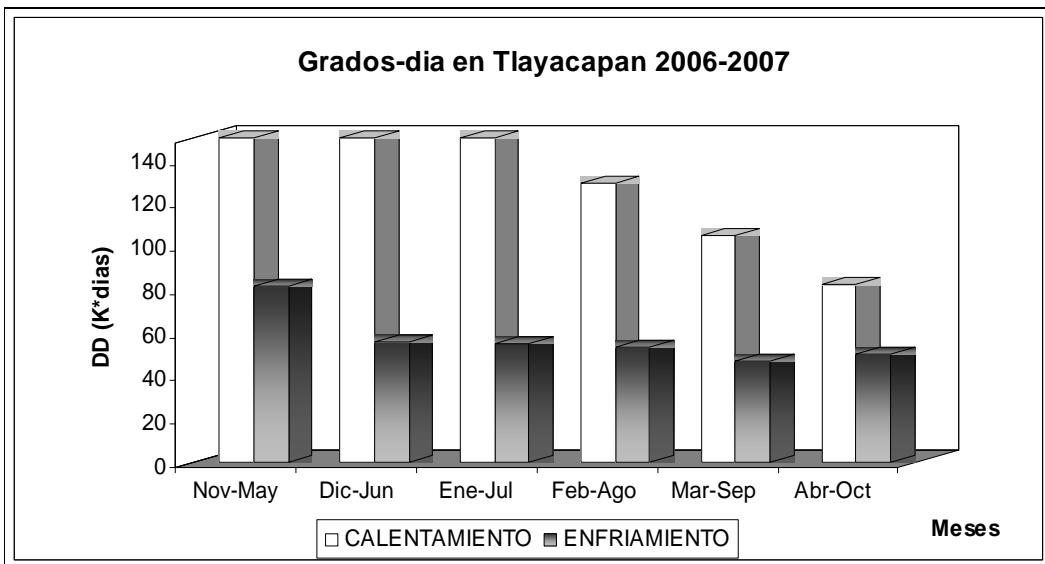


Fig. 4.14 Grados-día de Calentamiento y Enfriamiento en Tlayacapan.

En Tlayacapan la demanda de energía para calentamiento es mucho mayor que para enfriamiento a lo largo de todo el año. La figura 4.15 muestra la demanda de energía para calentamiento y enfriamiento en Tlayacapan, la máxima demanda energía para calentamiento sucede en Diciembre con 857 kW-h/m<sup>2</sup> y la máxima demanda de enfriamiento en Mayo con 455 kW-h/m<sup>2</sup>. En la figura 4.16, se presentan los costos de la energía eléctrica para climatización en Tlayacapan; los mayores costos para calentamiento son \$764.00 en Diciembre y para enfriamiento \$405.00 en Mayo.

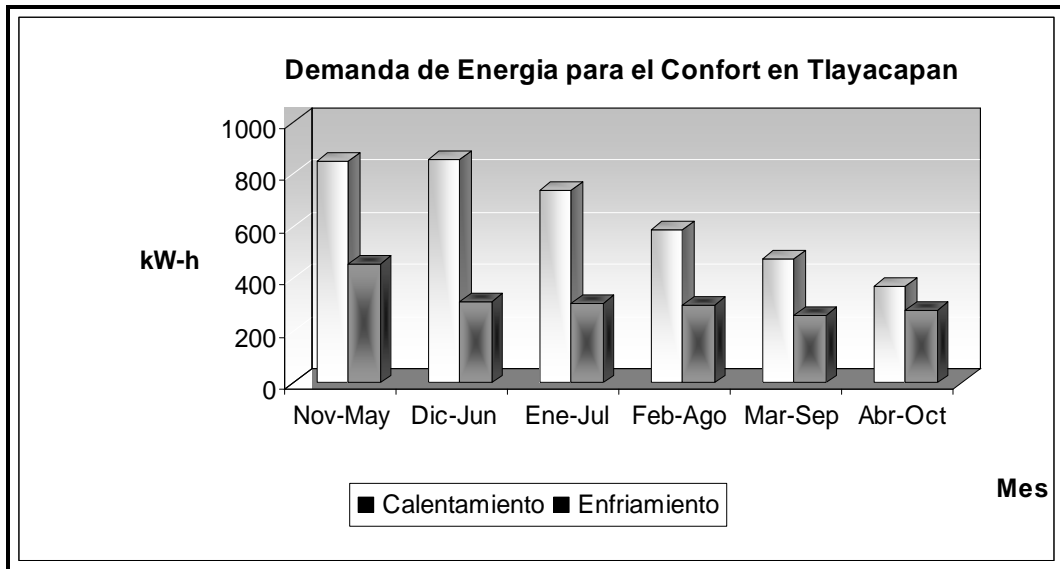


Fig. 4.15 Demanda de Energía en Tlayacapan.

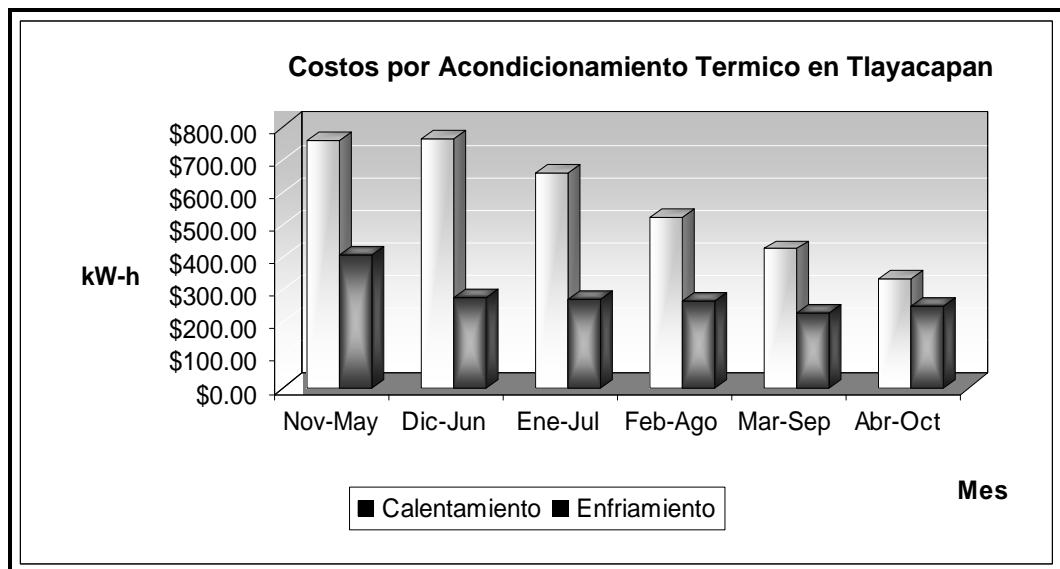


Fig. 4.16 Costos para Calentamiento y Enfriamiento por Grados-día en Tlayacapan.

**JIUTEPEC**

Los resultados obtenidos para el municipio de Jiutepec (figura 4.17), son valores muy representativos e importantes para este estudio, ya que este municipio es parte de la zona metropolitana que incluye a Cuernavaca, capital del Estado de Morelos. Los grados-día muestran que los mayores requerimientos de energía para calentamiento son en el mes de Noviembre con 135 DD y la menor cantidad de energía para calentamiento es en Abril con 49 DD. Para enfriamiento los menores requerimientos de energía son en el mes de Septiembre con 42 DD y los mayores en el mes de Mayo con 111 DD.

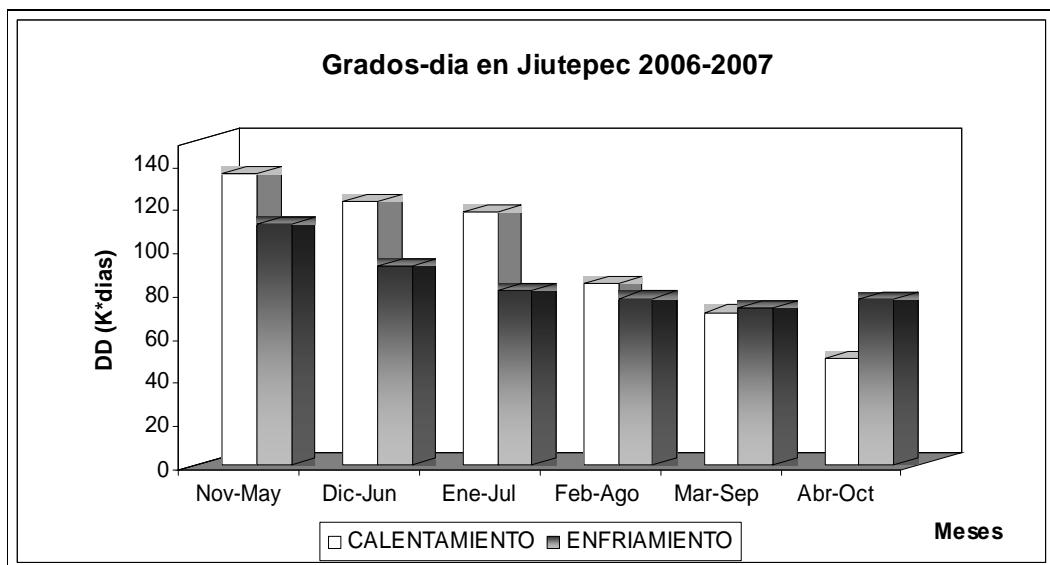


Fig. 4.17 Grados-día de Calentamiento y Enfriamiento en Jiutepec.

La figura 4.18 muestra la demanda de energía para calentamiento y enfriamiento en Jiutepec, la máxima demanda energía para calentamiento sucede en Noviembre con 654 kW-h/m<sup>2</sup> y la máxima demanda de enfriamiento en Mayo con 542 kW-h/m<sup>2</sup>. En la figura 4.19, se presentan los costos de la energía eléctrica para climatización, donde se destacan los mayores costos para calentamiento con \$583.00 en Noviembre y para enfriamiento \$483.00 en Mayo. La demanda de energía para calentamiento en Jiutepec es mayor que para enfriamiento a lo largo de todo el año, al igual que Tepoztlán son los municipios con menor diferencia entre los grados-día de calentamiento y enfriamiento.

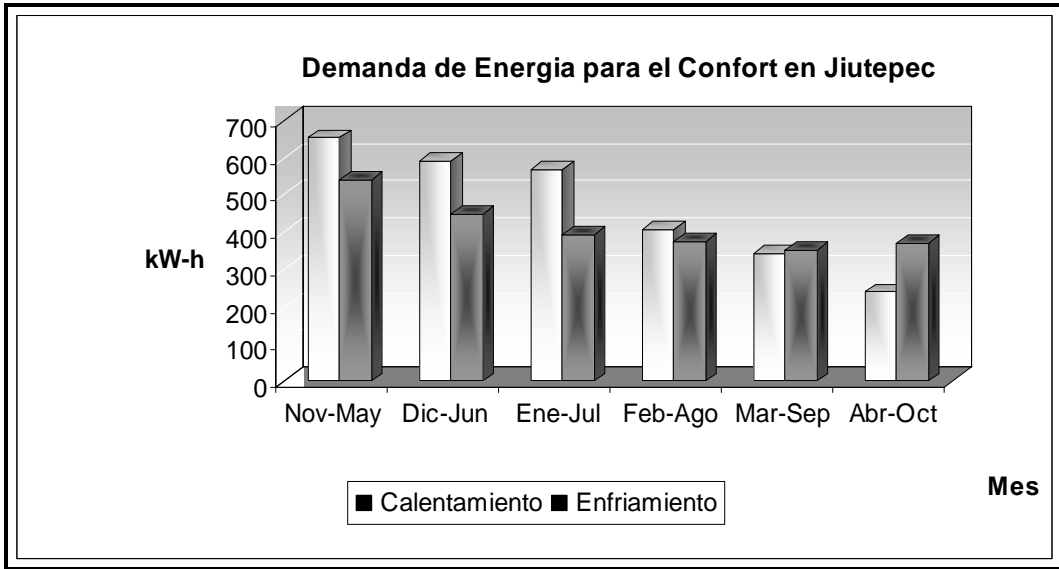


Fig. 4.18 Demanda de Energía en Jiutepec.

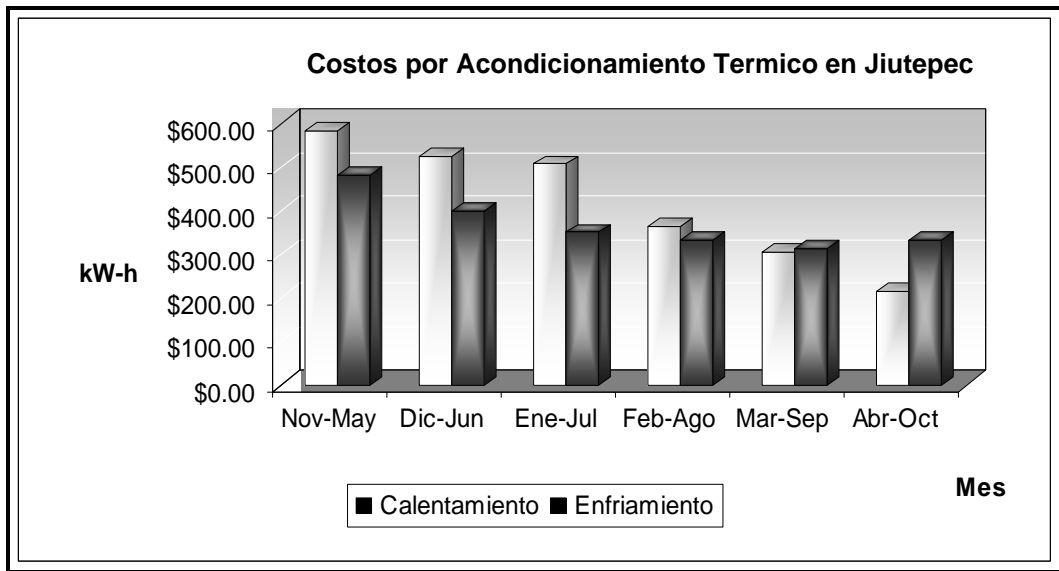


Fig. 4.19 Costos para Calentamiento y Enfriamiento por Grados-día en Jiutepec.

**TEPOZTLÁN**

Los grados-día de calentamiento para el municipio de Tepoztlán (figura 4.20), son más altos en el mes de Noviembre con 139 DD y los más bajos son en Abril con 48 DD. Los grados-día de enfriamiento son menores en el mes de Octubre con 74 DD y los mayores en el mes de Mayo con 118 DD. Estos resultados muestran que los requerimientos de energía para el confort por grados-día en Jiupetec y Tepoztlán son muy similares debido a las pequeñas diferencias que presentan.

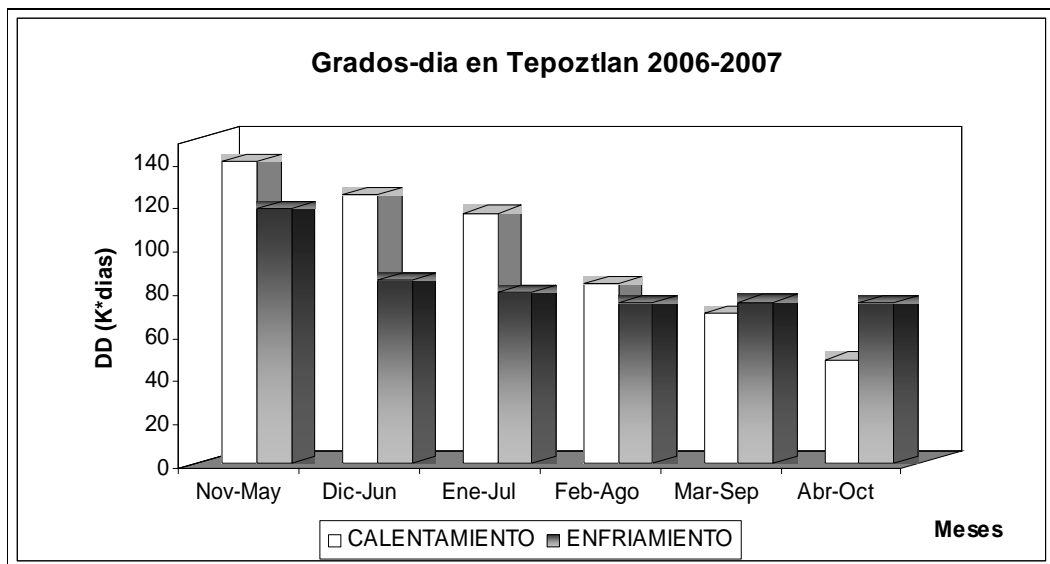


Fig. 4.20 Grados-día de Calentamiento y Enfriamiento en Tepoztlán.

La figura 4.21 muestra la demanda de energía para calentamiento y enfriamiento en Tepoztlán, la máxima demanda energía para calentamiento se presenta en Noviembre con 679 kW-h/m<sup>2</sup> y la máxima demanda de enfriamiento en Mayo con 659 kW-h/m<sup>2</sup>.



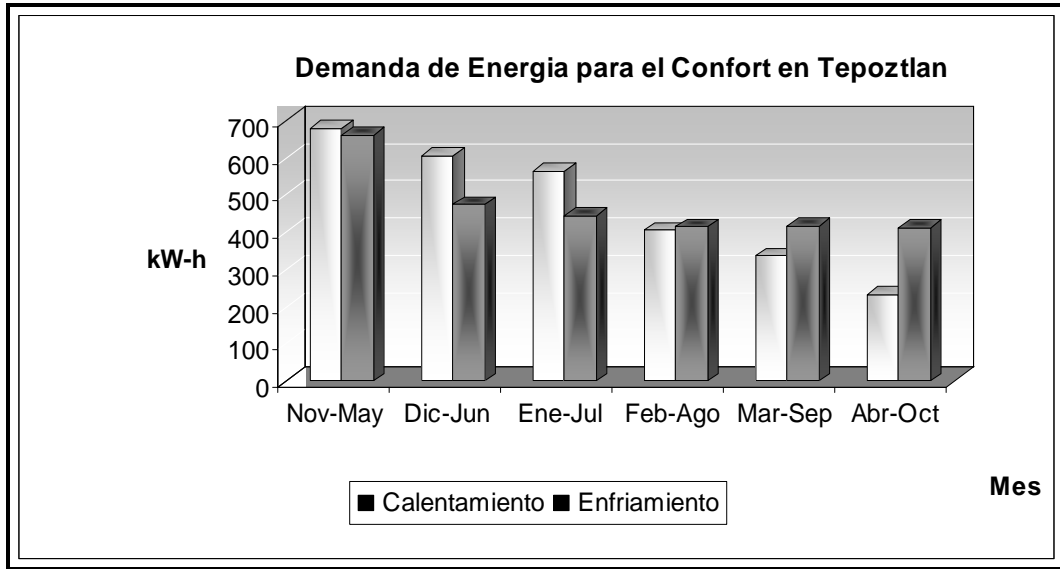


Fig. 4.21 Demanda de Energía en Tepoztlan.

En la figura 4.22, se presentan los costos de la energía eléctrica para calentamiento y enfriamiento en Tepoztlán, donde se destacan los mayores costos para calentamiento con \$505.00 en Noviembre y para enfriamiento \$588.00 en Mayo.

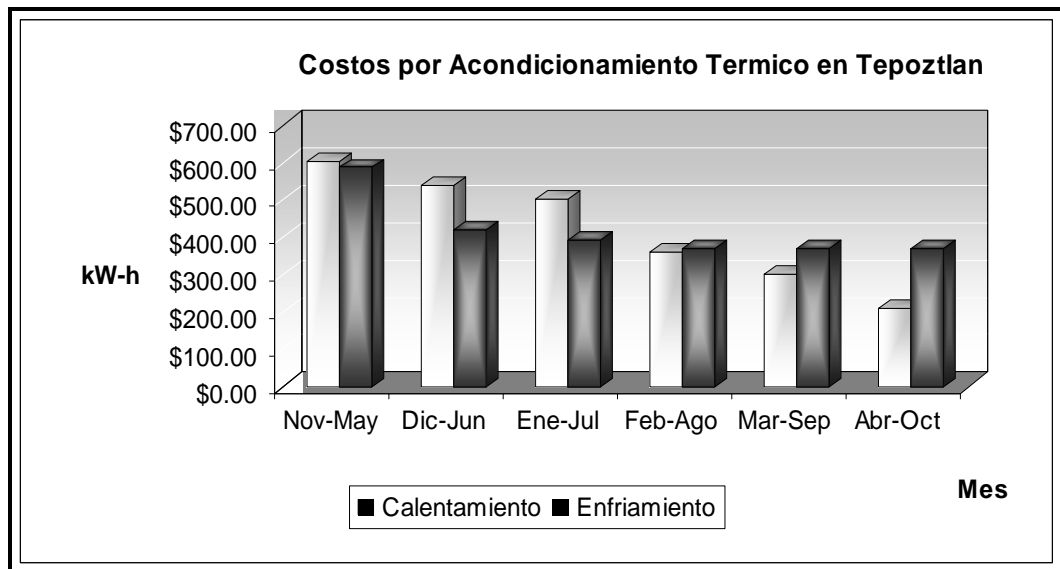


Fig. 4.22 Costos para Calentamiento y Enfriamiento por Grados-día en Tepoztlán.

De los resultados del análisis de la distribución de los grados-día, se puede clasificar el Estado de acuerdo a los requerimientos de energía para calentamiento y enfriamiento. Para los grados-día de calentamiento se observa que los municipios del norte del Estado como Temoac y Tlayacapan presentan mayores requerimientos de energía para calentamiento, mientras que la demanda va descendiendo hacia el Sur del Estado con requerimientos mínimos en Tlaquiltenango y Tlzapotla. Para la demanda de energía para enfriamiento se destacan los mayores requerimientos en los municipios de Tlaquiltenango y Tlzapotla y los menores en Temoac y Tlayacapan. Los municipios del centro del Estado (Jiutepec, Tepoztlán y Tepalcingo), muestran requerimientos de energía para calentamiento y enfriamiento más cercanos entre sí.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

## CAPÍTULO 5 TRNSYS

En este capítulo se detallan las funciones del programa TRNSYS, los componentes, las características, las interfaces utilizadas y las salidas deseadas una vez realizadas las simulaciones. Se presenta también la información en que basó la selección de la vivienda tipo y sus características físicas. Al final de la sección se muestran los resultados de las simulaciones realizadas con el TRNSYS para los siete municipios considerados en este estudio.

### 5.1 Descripción del Programa

En esta sección se realiza una descripción del programa de cómputo utilizado para simular térmicamente edificaciones. La descripción define al propio programa, a sus componentes y sus aplicaciones.

#### 5.1.1 ¿Qué es el Programa de cómputo TRNSYS?

Los sistemas termoenergéticos se caracterizan por tener una dependencia no lineal con las variables meteorológicas. El uso de técnicas de dinámica de fluidos computacional (CFD) y de simulaciones transitorias constituye el complemento ideal para la experimentación. El

análisis de sistemas complejos tales como una instalación solar térmica en una edificación se puede realizar de forma rápida con un programa de simulación dinámica como TRNSYS. La simulación detallada por medio de técnicas de discretización finitas es muy costosa en tiempo y requiere de equipos de mucha capacidad, mientras que una simulación dinámica puede realizarse en computadoras personales y en tiempos mucho más cortos. Por lo tanto, cuando se desea analizar sistemas con un número grande de parámetros, no es recomendable utilizar las técnicas CFD (Salom y Schwiger, 2000).

TRNSYS es un programa de simulación de sistemas transitorios con una estructura modular que utiliza el método de funciones de transferencia para resolver el sistema de ecuaciones diferenciales que describen el problema físico. La naturaleza modular de TRNSYS brinda al programa una gran flexibilidad y facilita la incorporación de modelos matemáticos no incluidos en la librería estándar. El programa se utiliza para análisis detallados de sistemas que presentan un comportamiento dependiente del tiempo (Beckman, 2000). Cada componente del programa se describe por medio de una subrutina escrita en FORTRAN llamada comúnmente Type. La técnica modular del programa permite analizar un sistema completo como la suma de componentes individuales. El ejecutable de TRNSYS resuelve los componentes del sistema de ecuaciones e itera en cada instante de tiempo, hasta que el sistema converge. Los componentes de TRNSYS incluyen sistemas termoenergéticos como equipos de acondicionamiento, edificios detallados, sistemas solares térmicos, entre otros. Por lo tanto, el uso de TRNSYS facilita la solución de sistemas energéticos complejos, debido a su estructura modular.

### **5.1.2 Simulación Térmica Transitoria y en Estado Permanente**

Si el tiempo es una variable en el modelo de alguno de los componentes del sistema, la simulación del sistema es definida como una simulación transitoria. En general una simulación transitoria es requerida si una de las tres situaciones ocurren:

1. Un componente del sistema tiene una salida variable, la cual es una función del tiempo.
2. La descripción matemática de un componente del sistema involucra una o más ecuaciones diferenciales dependientes del tiempo (su derivada no es cero)
3. Una cantidad física calculada por la simulación debe ser integrada en el tiempo por el componente integrador.

La simulación de sistemas no transitorios son llamadas simulaciones en estado permanente. Un sistema en estado permanente es uno en el cual ninguna de las variables del sistema cambia con el tiempo. TRNSYS puede ser usado para simulaciones en ambos casos (Beckman, 2000).

### 5.1.3 Funciones de Transferencia

Una función de transferencia es un modelo matemático que entrega la respuesta de un sistema a una señal de entrada o excitación exterior. Uno de los primeros matemáticos en describir estos modelos fue Laplace, a través de su transformación matemática. Por definición una función de transferencia se puede determinar según la siguiente expresión (Beckman, 2000):

$$H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} \quad (5.1)$$

donde  $H(s)$  es la función de transferencia;  $Y(s)$  es la transformada de Laplace de la respuesta y  $U(s)$  es la transformada de Laplace de la señal de entrada. La función de transferencia también puede considerarse como la respuesta de un sistema inicialmente inerte a un impulso como señal de entrada:

$$H(s) = L\{h(t)\} = \int_0^{\infty} e^{-st} h(t) dt \quad (5.2)$$

La salida o respuesta en frecuencia del sistema se halla entonces de:

$$Y(s) = H(s)U(s) \quad (5.3)$$



y la respuesta como función del tiempo se halla con la transformada de Laplace inversa de  $Y(s)$ :

$$y(t) = L^{-1}[Y(s)] \quad (5.4)$$

Cualquier sistema físico (mecánico, eléctrico, etc.) se puede traducir a una serie de valores matemáticos a través de los cuales se conoce el comportamiento de estos sistemas frente a valores concretos. Para resolver el modelo de ecuaciones básicas de transferencia de calor a través y entre todos los elementos de una zona, el problema se reduce a la siguiente ecuación matricial:

$$[Z_{i,j}][T_{s,i}] = [X_i] \quad (5.5)$$

donde  $T_{s,i}$  representa la temperatura de la superficie interior del elemento  $i$ , a menos que  $i$  sea igual al número de superficies más una ( $n+1$ ), en tal caso sería la temperatura del aire en la zona. El factor  $X_i$  incluye las entradas que varían con el tiempo que afectan a  $T_{s,i}$ .  $Z_{i,j}$  es un coeficiente que relaciona la transferencia de calor entre los elementos  $i$  y  $j$ . Una vez formulado el problema en términos de la ecuación (5.5), se hacen suposiciones simplificadas que conduzcan a una matriz  $Z_{i,j}$  independiente del tiempo. Entonces la matriz  $Z_{i,j}$  se invierte una vez al principio de la simulación y es almacenada para usarla más tarde. La solución del conjunto de ecuaciones es reducida a una multiplicación de la matriz invertida y el vector dependiente del tiempo dado por la ecuación (5.6):

$$[T_{s,i}] = [Z_{i,j}]^{-1}[X_i] \quad (5.6)$$

#### 5.1.4 Salidas del Programa

El programa es alimentado con entradas de datos meteorológicos, dimensiones del edificio, materiales de construcción, latitud, orientación del edificio. Estas entradas como se ha

mencionado son las fuentes de alimentación del código de cómputo, que a su vez dará salidas dependientes del tiempo como:

- ✓ QCOOL: Cargas de enfriamiento
- ✓ QHEAT: Cargas de calentamiento
- ✓ QDEHUM: Cargas de deshumidificación
- ✓ QHUM: Cargas de humidificación
- ✓ QCMAX y QHMAX: Cargas máximas de calentamiento y enfriamiento
- ✓ QCOM1: Flujos radiativos y convectivos que atraviesan la envolvente del edificio
- ✓ QCONV: Ganancias por convección
- ✓ QINF: Ganancias por infiltración
- ✓ RAD: Radiación solar incidente sobre la envolvente

## **5.2 Componentes del Programa**

A continuación se detallan las características principales de algunos de los componentes utilizados en la simulación realizada en este estudio.

### **5.2.1 Type 9 Lector de Datos**

El Type 9 es un componente que tiene la función de leer los datos de una unidad lógica en intervalos de tiempo regulares, convierte los datos a un sistema de unidades deseado y pone disponibles estos datos para otras unidades (UNITS). Este componente es de uso común cuando se alimentan datos meteorológicos, pero también puede ser utilizado para generar alguna otra función dependiente del tiempo. Puede leerse en modo libre o en modo de formato, cada valor debe separarse del valor anterior por un espacio en blanco o por una coma.

### **5.2.2 Type 54 Generador de Datos del Clima**

Este componente genera datos del clima horarios cuando se proporcionan los valores promedio mensuales. Su finalidad es generar datos típicos por año, similares a un Año

Meteorológico Típico. El modelo se basa en algoritmos desarrollados por varios autores. Este componente permite a TRNSYS ser utilizado para cualquier localidad en donde se conocen los promedios mensuales de los datos del clima. El generador toma los datos de un archivo externo que contiene los datos en promedios mensuales. El archivo de datos puede ser creado por el usuario o se pueden adicionar localidades al archivo existente Wdata.dat de la librería de TRNSYS.

### **5.2.3 Type 16 Procesador de Radiación Solar**

Los datos de insolación generalmente se toman a intervalos de una hora y sobre superficies horizontales. En algunas simulaciones de TRNSYS se requiere la estimación de la radiación solar a otros intervalos de tiempo. Este componente interpola los datos de radiación solar, calcula varias cantidades relacionadas a la posición del sol y estima la insolación de hasta ocho superficies de orientación fija o variable. El Type 16 tiene cuatro métodos para obtener la radiación directa y difusa sobre una superficie horizontal a partir de la radiación total sobre una superficie horizontal. Los modos 1 a 3 son usados por razones de compatibilidad solamente, estos son basados en las relaciones desarrolladas por Lui-Jordan, Boes y Erbs respectivamente. El modo 4 se recomienda si están disponibles los datos de la superficie horizontal (Correlación reducida de Reindl). Si se conocen otros datos de entrada como la radiación difusa y directa o la temperatura y la humedad, otras correlaciones deberán ser utilizadas.

### **5.2.4 Type 33 Psicrométrico**

La carta psicrométrica es utilizada cuando se desea inferir una variable deseada tomando como entradas la temperatura de bulbo seco, y otras propiedades dependiendo del modo. A su vez brinda salidas como la temperatura de bulbo húmedo, temperatura del cielo, entalpía, etc. Otro parámetro que es calculado es la presión total del sistema en atmósferas. En la mayoría de los casos, donde se requieren las propiedades a condiciones ambiente, es mejor utilizar la carta para agregar las propiedades requeridas al archivo del clima. Esto generalmente es más eficaz que repetir los cálculos para cada simulación.

### **5.2.5 Type 56 Edificio Multi-zonas**

Este componente modela el comportamiento térmico de una edificación dividida en diferentes zonas térmicas. Para utilizar este componente, debe ser ejecutado primero un programa separado de pre-procesamiento. El programa Prebid lee y procesa un archivo que contiene la descripción del edificio y genera dos archivos que serán usados por el Type 56 durante una simulación en TRNSYS. El archivo que contiene la información del edificio tiene extensión (\*.BLD) y es el que contiene la información de las funciones de transferencia tiene extensión (\*.TRN). Todos los datos introducidos se almacenan en un archivo llamado building (\*.BUI), que es un archivo de texto ASCII, en donde se pueden verificar fácilmente los datos introducidos en Prebid. Es importante señalar que solo un Type 56 puede ser utilizado para cada simulación y que también se puede simular una zona individual.

## **5.3 Interfaces del Programa**

Se describen las dos principales interfaces utilizadas para realizar la simulación térmica de un edificio en el programa TRNSYS.

### **5.3.1 IIsibat**

Interfaz gráfica que realiza la simulación general de TRNSYS con mayor flexibilidad y que cuenta con todos los componentes modulares. El programa IIsibat tiene funciones de crear y editar archivos de entrada, crear nuevos componentes, desplegar los archivos de entrada y salida, graficar resultados y ejecutar simulaciones paramétricas. IIsibat es una pantalla donde se crean gráficamente las uniones de los componentes que esta interconectados entre si tomando las salidas de unos como entradas de otros. Una vez que el programa esta terminado IIsibat es el enlace del Type 56 con los archivos del Prebid, lo cual permite comenzar una simulación completa. La figura 5.1 muestra la ventana de la interfaz gráfica IIsibat.

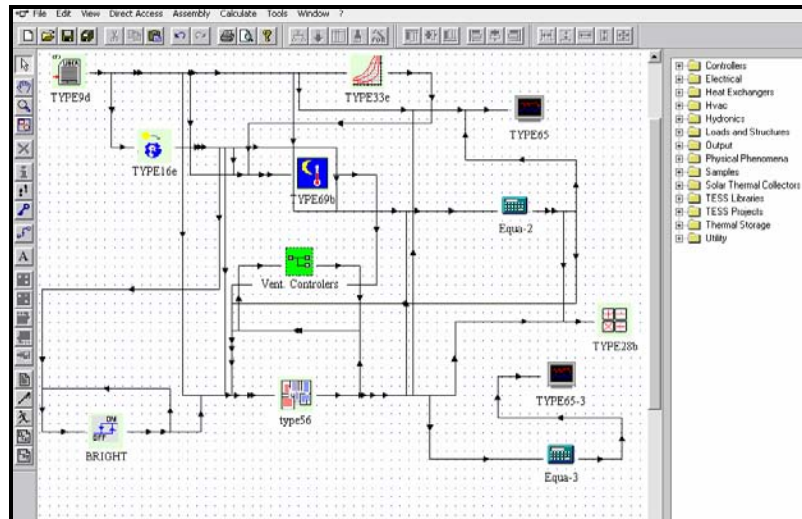


Fig. 5.1 Ventana Principal del Programa IIsibat 3.0.

### 5.3.2 Prebid

Prebid provee los archivos necesarios para el Type 56. El usuario puede generar estos archivos usando Prebid o también lo puede hacer por medio de un editor de texto para crear el archivo BUI. El programa Prebid es una interfaz amigable que define las características físicas de edificio, así como las condiciones confort, ocupación, calentamiento, enfriamiento, orientación, etc. Muchas de las variables que definen esos componentes pueden variar con el tiempo, para lo cual una nueva característica de activación de horarios de los componentes es utilizada. La figura 5.2 muestra la ventana principal del programa Prebid en un ejemplo de un edificio multi-zona.

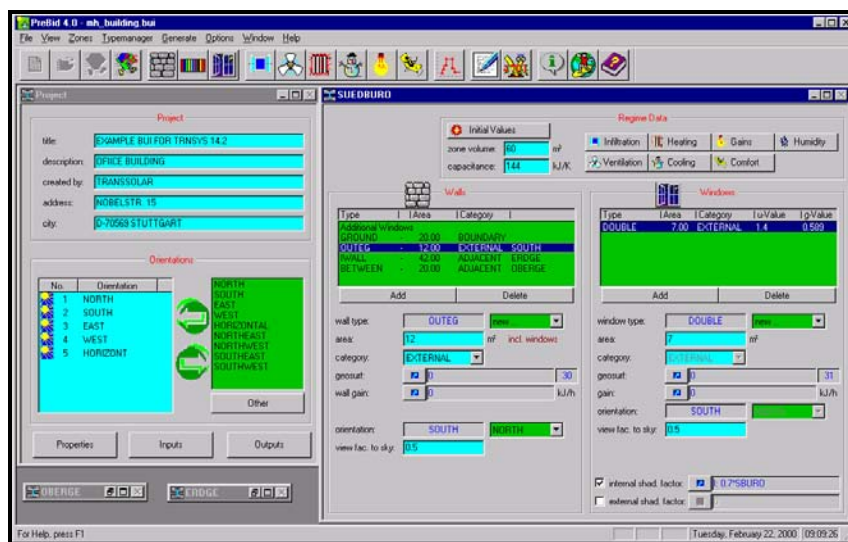


Fig. 5.2 Ventana Principal del Programa Prebid 4.1.1.

## 5.4 Descripción de la Vivienda Tipo

En esta sección se presentan los lineamientos tomados para la selección de la vivienda tipo en el Estado y la descripción del prototipo seleccionado.

### 5.4.1 Selección de la Vivienda Tipo

El objetivo proyectado del plan nacional de vivienda 2006 fue otorgar 435,000 créditos a nivel nacional de la siguiente manera:

Vivienda Tradicional: 90, 000

Tradicional de Bajo Ingreso: 110, 000

Vivienda Económica: 140, 000

Cofinanciamientos: 95, 000

En el Estado de Morelos se proyectó una oferta disponible de 297 viviendas económicas y una oferta de 1405 viviendas tradicionales de bajos ingresos. Estos dos tipos de viviendas representan el 78% de las construcciones con apoyos crediticios en el último año. La participación crediticia por institución de financiamiento al 2006 se muestra en la figura (5.3).



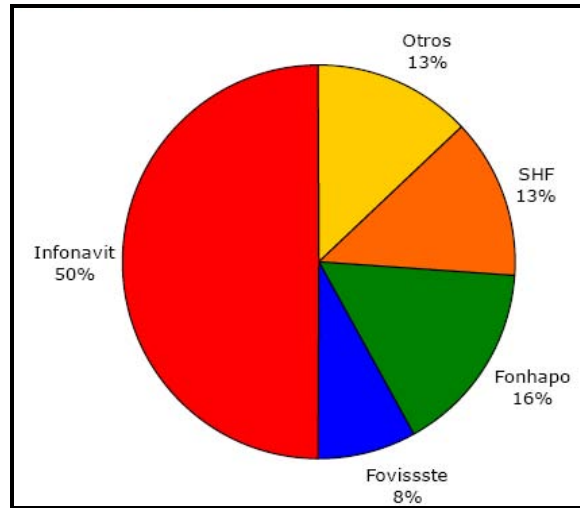


Fig. 5.3 Participación de Créditos por Institución en el 2006.

Se otorgan créditos para la adquisición de una vivienda económica con un precio de venta igual o menor a los \$173,202.00 pesos. De igual manera el crédito para vivienda tradicional de bajos ingresos es otorgado a trabajadores con ingresos inferiores a 4 veces el salario mínimo que desean adquirir una vivienda con un valor superior a los 117.06 veces el salario mínimo mensual del DF. En la figura (5.4) se muestra el programa crediticio a nivel nacional para el periodo 2005-2009.

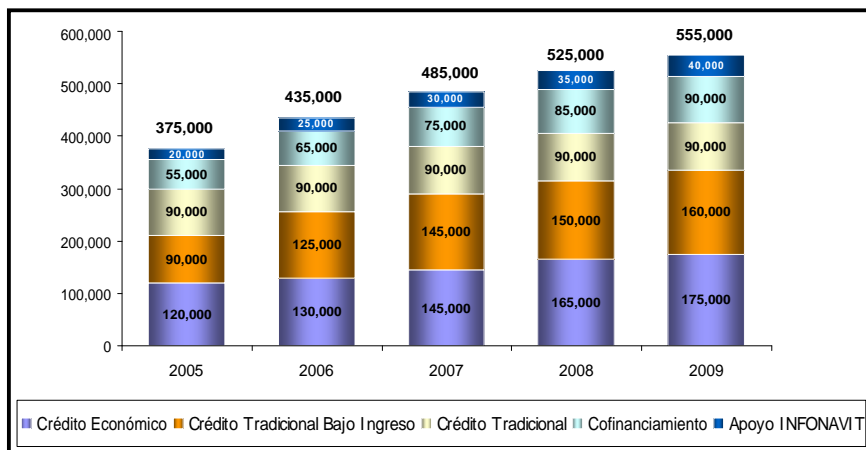


Fig. 5.4 Programa Crediticio 2005-2009 (INFONAVIT 2007).

La búsqueda de información histórica y estadística fue la base fundamental para la elección de la vivienda tipo del Estado sobre la cual se realizarán las simulaciones energéticas. Se toman en cuenta las siguientes consideraciones para la elección de la vivienda tipo en Morelos:

1. Número y Tipo de Viviendas de interés social construidas en 2006
2. Vivienda de interés social más construida en Morelos

La conclusión final conlleva a una selección definitiva de la vivienda “Tradicional de Bajos Ingresos” que es la mas ofertada en el Estado y la más vendida por parte de las constructoras regionales. Se elige una vivienda del conjunto residencial “Las Garzas del Grupo GEO”, llamada: **Prototipo Colibrí**.

#### 5.4.2 Características de la Vivienda Tipo

A continuación se presenta una descripción de la vivienda tipo seleccionada en el Estado de Morelos para realizar el estudio térmico con TRNSYS y determinar los parámetros arrojados en el siguiente capítulo (figuras 5.5-5.7).



Fig. 5.5 Vista Frontal y Lateral de la Vivienda Tipo.

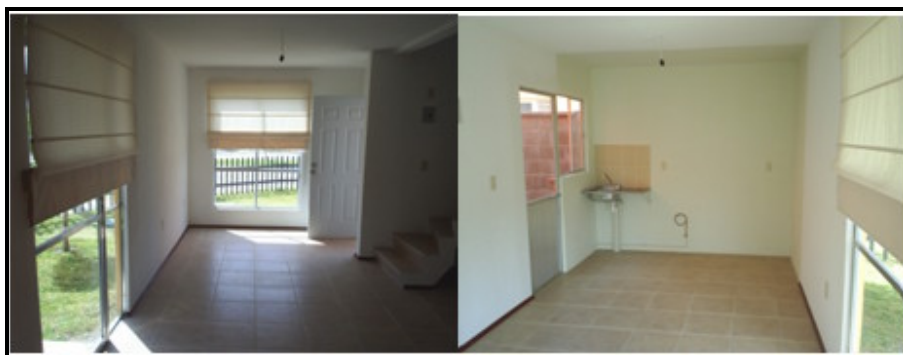


Fig. 5.6 Interiores en Planta Baja.



Fig. 5.7 Interiores en Planta Alta.

### Descripción de la Vivienda

- a) Planta Baja: sala-comedor, cocina, patio de servicio y estacionamiento
- b) Planta Alta: dos recamaras con área de guardado y un baño completo

### Acabados

- a) Muros: en block hueco con recubrimiento final de tirol planchado en sala, comedor, cocina y recamaras; azulejo en parte del baño.
- b) Piso: loseta de cerámica con zoclo de madera.
- c) Techo: concreto armado con acabado interno en tirol y externo en impermeabilizante y una parte con teja.

- d) Ventanería: aluminio blanco.
- e) Muebles de Baño y Servicio: baño color blanco, lavadero de granito y boliler.

**Construcción:**

- a) Levantada: 49.29 m<sup>2</sup>
- b) Terreno: 33.21 m<sup>2</sup>

**Precio:** Desde \$293, 000.00

En la figura 5.8 se presenta la vista arquitectónica de la vivienda tipo, en ella se pueden observar las dos plantas de la vivienda y la separación de cada una de las habitaciones. La figura 5.9 muestra la división por zonas que se empleó para obtener los resultados en el TRNSYS, mediante el modulo Multi-zonas Type 56.

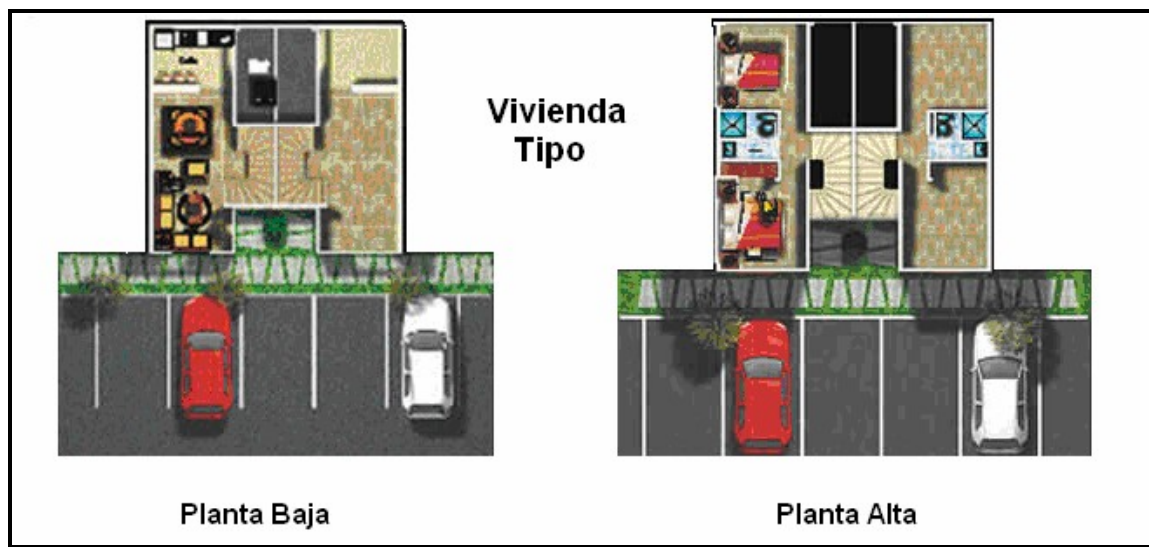


Fig. 5.8 Vista Arquitectónica de la Vivienda Tipo.

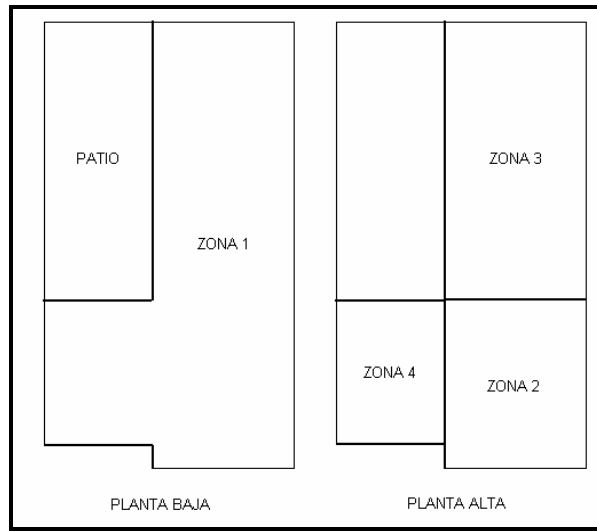


Fig. 5.9 División por zonas de la Vivienda Tipo.

Las figuras 5.10 y 5.11 indican el tipo de elementos de construcción que se emplearon en los muros y techos, así como los materiales que forman la envolvente de la vivienda.

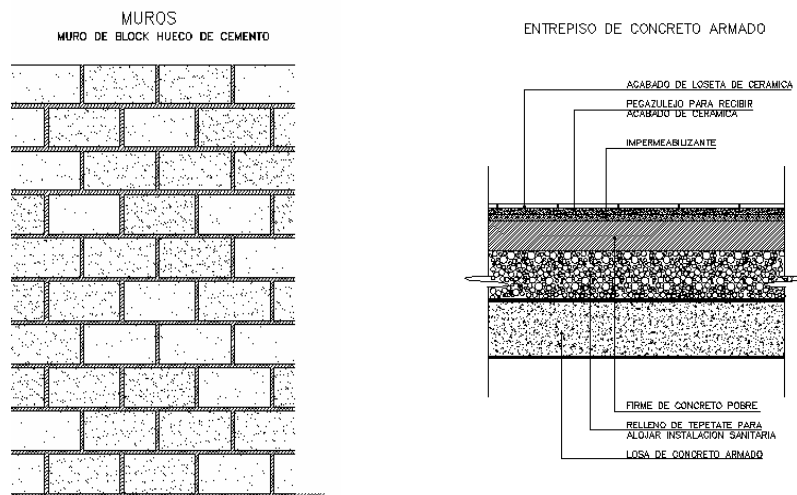


Fig. 5.10 Muros y Corte del Entretecho de la Vivienda Tipo.

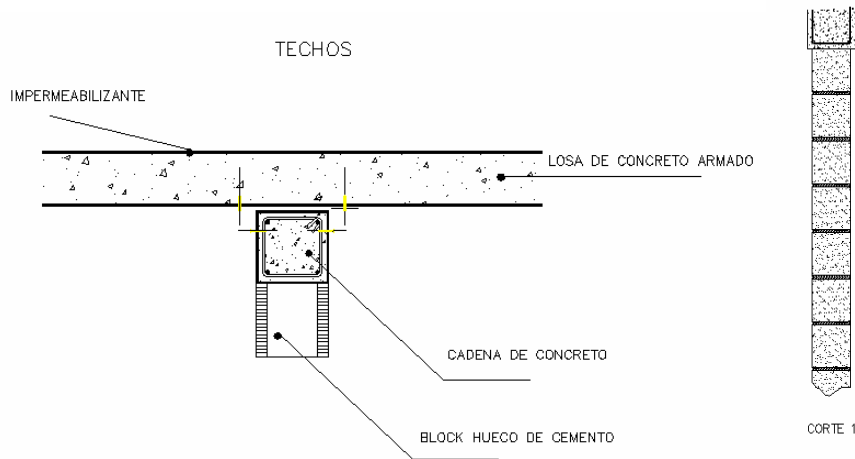



Fig. 5.11 Corte de Techos y Muros de la Vivienda Tipo.

### 5.4.3 Propiedades Termo-Físicas de los Materiales de Construcción

A continuación se presentan las propiedades termofísicas de los materiales de construcción (tabla 5.1) que se emplearon en las simulaciones de la vivienda tipo con TRNSYS.

Tabla 5.1 Propiedades Termofísicas de los Materiales de Construcción.

	Conductividad $K$ [KJ/h*m*K]	Densidad $\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	Calor Esp. $C_p$ [KJ/Kg*K]	Resistencia Térmica $R$ [h*m <sup>2</sup> *K/KJ]
Concreto Armado	6.26	2300	1	0.16
Mortero Interno	2.51	1249	1.09	0.40
Mortero Externo	3.14	1249	1.09	0.32
Pega Azulejo	1.69	1400	1	0.60
Loseta	4.32	2000	1	0.23
Block Hueco	3.24	1400	0.3	0.30
Capa de Aire	----	----	----	0.47
Impermeabilizante	0.61	1200	1	1.63
Concreto Ligero	2.1	1250	0.84	0.50
Teja	3.6	2000	1	0.30
Sand Grave	2.52	1800	1	0.40

Fuentes: Librerías de TRNSYS, ASHRAE Handbook y Normas ENER-008 y NBE-CT-79.



## 5.5 Resultados de las Simulaciones en TRNSYS

La siguiente sección presenta los resultados obtenidos de las simulaciones numéricas realizadas con el programa computacional TRNSYS. Los resultados que a continuación se presentan son para los siete municipios estudiados durante el periodo anual de Mayo 2006 a Abril del 2007, siguiendo la descripción de las características físicas de la vivienda tipo seleccionada. Estos resultados comprenden las siguientes salidas del TRNSYS:

- ✓ Incidencia de la radiación solar sobre la envolvente
- ✓ Flujos convectivos y radiativos que atraviesan la envolvente
- ✓ Temperaturas interiores en promedios diarios y mensuales
- ✓ Temperaturas del día más cálido y mas frío en el año
- ✓ Cargas sensibles y latentes del edificio durante el año
- ✓ Capacidad del equipo de climatización
- ✓ Costos de energía eléctrica para climatización del edificio

Los resultados se obtuvieron para las cuatro orientaciones posibles (N, S, E y O) ya que la vivienda tipo seleccionada pertenecía a un conjunto habitacional donde las viviendas se hallaban con diversas orientaciones, teniendo en cuenta que las constructoras solo orientan los edificios en términos del uso eficiente de espacio y no consideran la orientación óptima de los mismos. De acuerdo a los gráficos de la incidencia de la radiación solar a lo largo del año (por ejemplo en la figura 5.13) se puede observar que la orientación óptima para ganancias solares en invierno es la Sur. Cualquier otra orientación contribuye poco a la captación de la energía solar. En verano la orientación Sur también es la mejor para minimizar las ganancias solares, cualquier otra orientación supone una mayor carga en el balance energético de verano en el edificio. Para favorecer la captación Sur el mejor diseño es aquel con formas rectangulares donde los lados más largos se extienden de Este-Oeste.

La figura 5.12 muestra claramente cómo la mejor orientación es la Sur, ya que las cargas térmicas de enfriamiento obtenidas por TRNSYS para el municipio de Jiutepec son menores para esta orientación. Por ejemplo, en el mes de Abril la orientación 2 (al Sur la

fachada alargada y más acristalada) presenta 795 kW-h/m<sup>2</sup> y la orientación 1 reporta 880 kW-h/m<sup>2</sup>. Por lo tanto, los resultados mostrados en adelante son para de la vivienda analizada con su orientación 2 (al Sur).

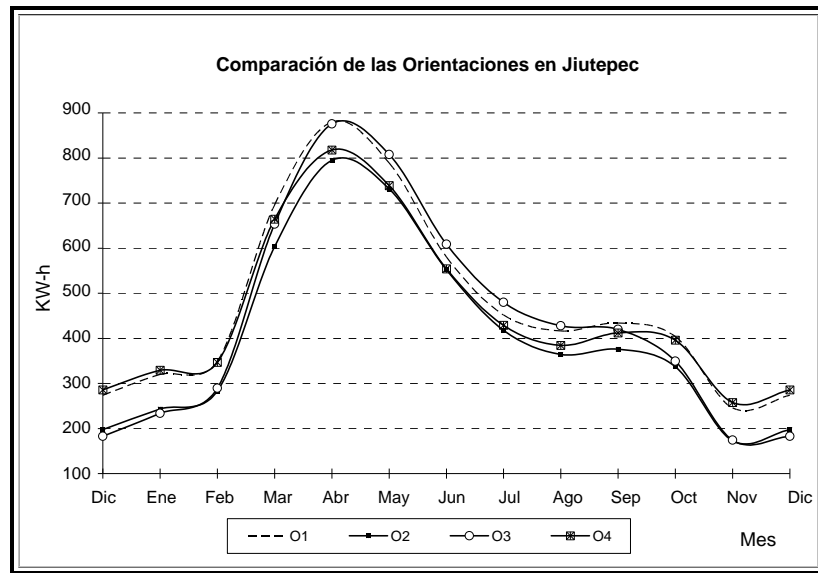
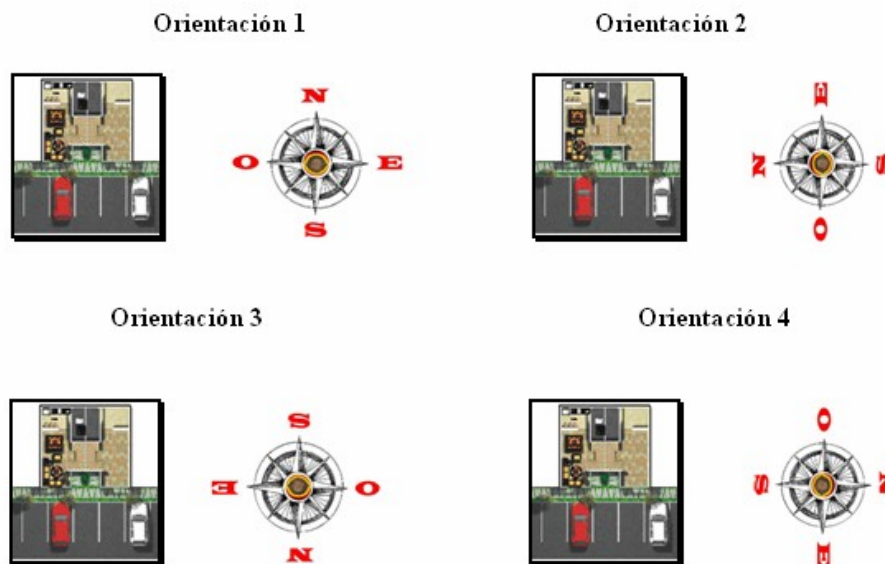


Fig. 5.12 Cargas de Enfriamiento para las cuatro orientaciones en Jiutepec.



**TEMOAC**

La gráfica siguiente (figura 5.13) muestra la radiación solar mensual que incide sobre las cuatro paredes y los techos de la vivienda estudiada. En los techos se observan los valores más altos de la radiación solar a diferencia de la recibida en las paredes. Para el techo totalmente horizontal, que es el que tiene la más alta incidencia a lo largo del año, la máxima insolación se presenta en el mes de Abril con  $7.3 \text{ kW-h/m}^2$  y la mínima en el mes de Noviembre con  $4.7 \text{ kW-h/m}^2$ ; las paredes Este y Oeste tienen un comportamiento más estable con valores que oscilan entre los  $2.7$  y  $4 \text{ kW-h/m}^2$  durante todo el año. Las paredes Norte y Sur muestran un comportamiento inverso, ya que durante la temporada de lluvias los valores máximos de radiación solar son para la pared norte y durante la temporada de secas lo son para la pared Sur (orientación óptima), alcanzando valores en Diciembre y Enero de  $6$  y  $5.6 \text{ kW-h/m}^2$ , incluso mayores que para los techos en esos meses.

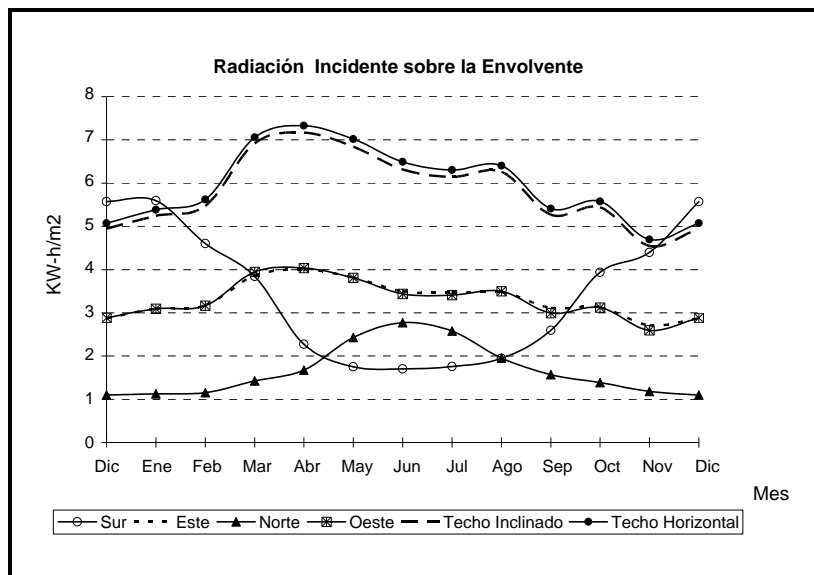


Fig. 5.13 Radiación Incidente sobre la Envolvente en Temoac.

El flujo de calor por convección y radiación que atraviesa la envolvente en Temoac (figura 5.14) muestra una tendencia muy similar al presentado en la gráfica de la incidencia solar. En los techos la energía que penetra es mayor que en las paredes durante casi todos los meses del año. Los valores negativos reportados en algunos meses para las paredes Este, Norte

y Sur indican que la dirección del flujo es contraria a la incidencia, es decir, el flujo de calor sale de las paredes, esto debido a la diferencia de temperaturas interiores y exteriores presentadas en los resultados siguientes. Para los techos el mayor flujo es en el mes de Abril con  $0.31 \text{ kW-h/m}^2$ .

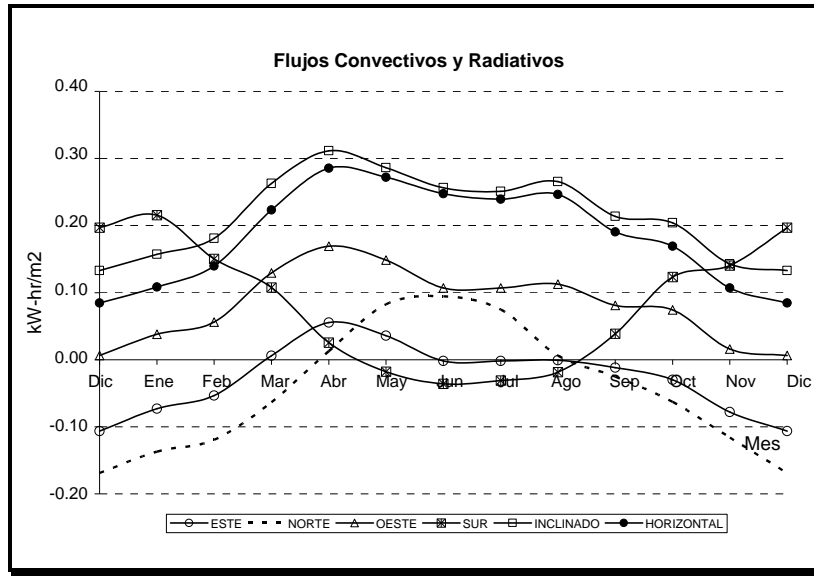


Fig. 5.14 Flujos de Calor Promedio que Atraviesan la Envoltura en Temoac.

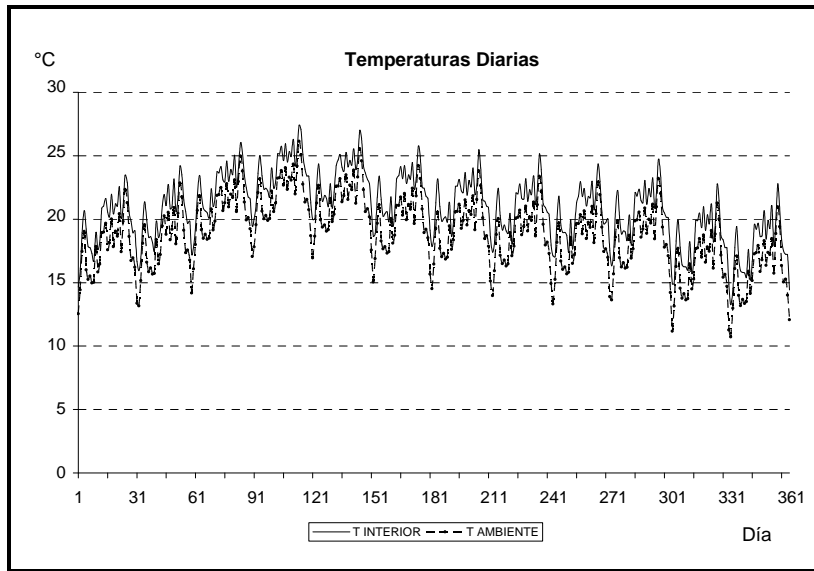


Fig. 5.15 Temperaturas Promedio Diarias en Temoac.

Para las temperaturas promedio interiores y exteriores (figuras 5.15 y 5.16) se observa que la temperatura interior es mayor que la ambiente para valores promedio diarios y promedio mensuales durante todo el año, debido a la energía que ingresa a la vivienda, lo cual hace que se caliente el interior. Los valores oscilan entre los 18 y 25°C para todo el año.

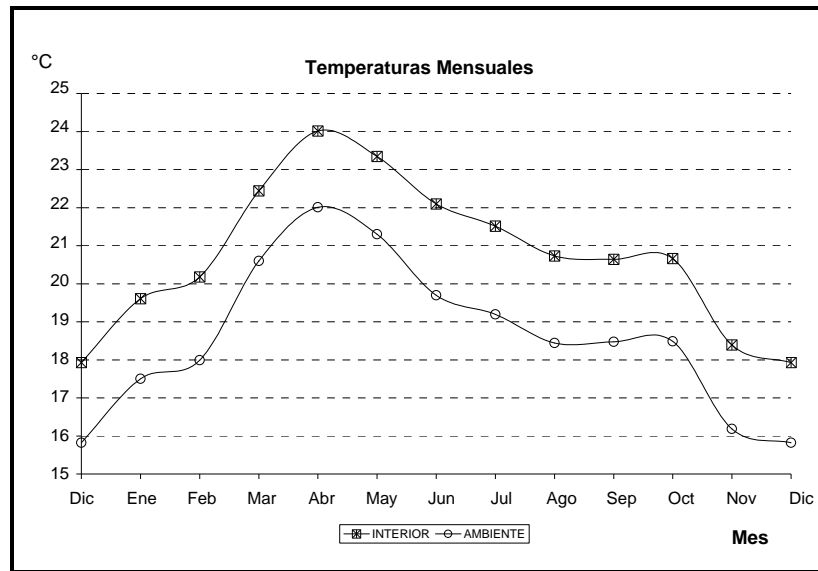


Fig. 5.16 Temperaturas Promedio Mensuales en Temoac.

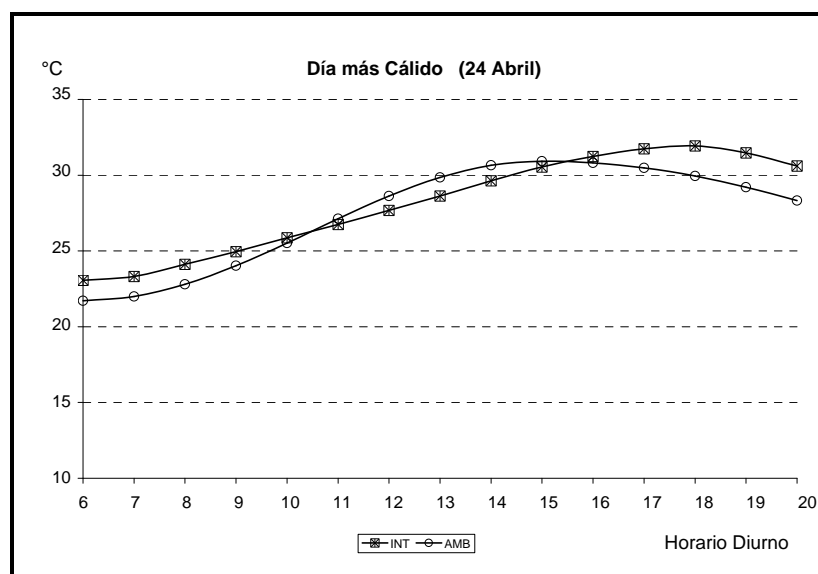


Fig. 5.17 Día más Cálido en Temoac.

De estos resultados se ubican el día más cálido y más frío del año (figuras 5.17 y 5.18); el día más cálido es el 24 de Abril con un valor máximo de la temperatura interior de 31 °C a las 15:00 hrs. Para el día más frío (1 de Diciembre) se observa la máxima temperatura interior con 20 °C a las 19:00 hrs. En ambas figuras se observa un corrimiento de 3 horas entre las 15:00 y las 18:00 hrs. de la temperatura interior con respecto a la temperatura ambiente, debido a la inercia térmica de la construcción. Sin embargo, en el día más frío el gradiente máximo de temperatura es de 5°C, mientras que en el día más cálido es de 2°C. De los resultados anteriores se concluye que la inercia térmica de la envolvente de la vivienda es ideal para invierno, pero provocará ganancias en verano que se traducirán en un mayor consumo de energía para acondicionamiento térmico.

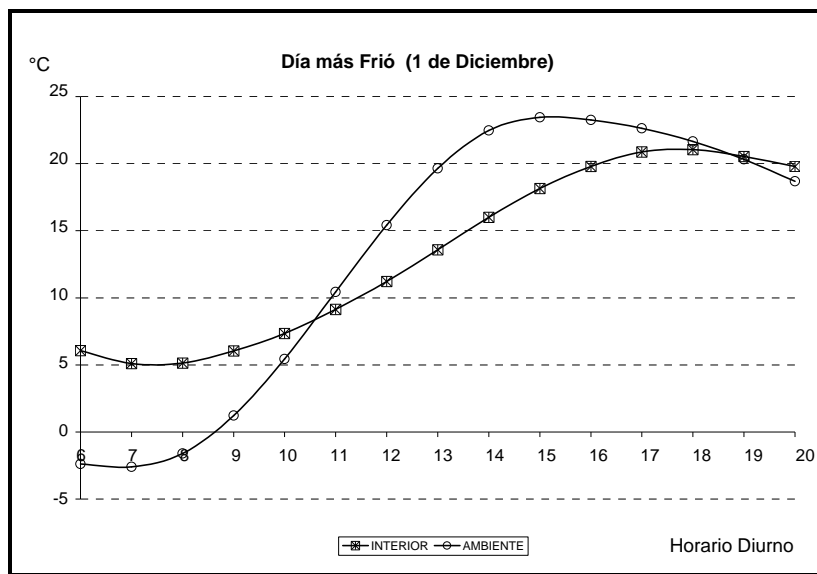


Fig. 5.18 Día más Frío en Temoac.

En la figura 5.19 se muestran las cargas térmicas de la vivienda seleccionada para la orientación fijada. En ella se puede observar que la carga para calentamiento es mayor para todo el año, excepto para los meses de Abril y Mayo, donde las cargas por enfriamiento son un poco superiores. La máxima carga de calentamiento se presenta en el mes de Diciembre con 1160 kW-h y la mayor carga de enfriamiento en Abril con 479 kW-h. Las cargas por deshumidificación son nulas durante todo el año y las referidas a la humidificación solo



presentan valores pequeños que oscilan entre 80 y 140 kW-h durante los meses de Diciembre a Marzo.

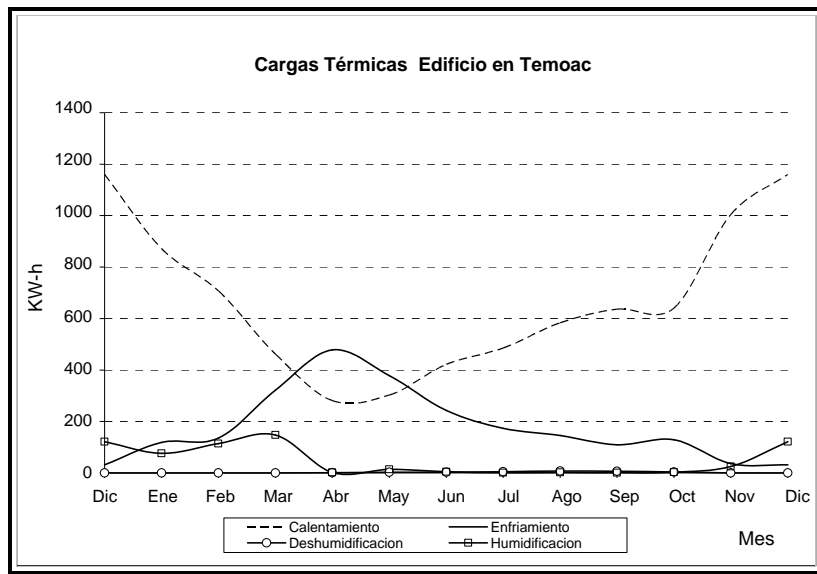


Fig. 5.19 Cargas Sensibles y Latentes en Temoac.

A partir de las cargas de enfriamiento se obtienen las toneladas mensuales para enfriar la vivienda en Temoac (figura 5.20). Se puede observar que los meses con mayor capacidad en toneladas de refrigeración son Marzo, Abril y Mayo, mientras que los meses de menor capacidad son Noviembre y Diciembre.

En la figura 5.21 se muestra la gráfica de los costos generados por el consumo de electricidad para enfriamiento de la vivienda en Temoac. Aquí se puede observar que los meses con mayor consumo son Marzo, Abril y Mayo, mientras que los meses con menor consumo son Noviembre y Diciembre, es decir, el comportamiento es similar al reportado por las toneladas de refrigeración.

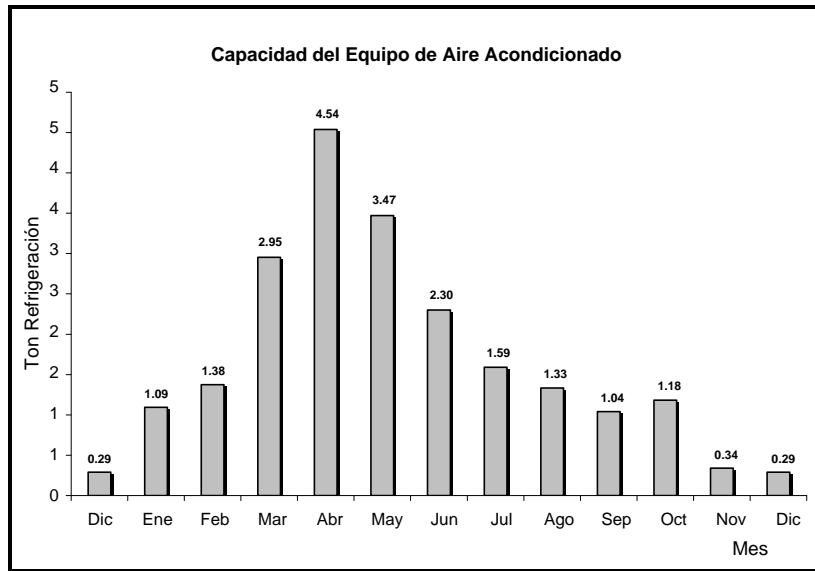


Fig. 5.20 Capacidad del Equipo de Aire Acondicionado en Temoac.

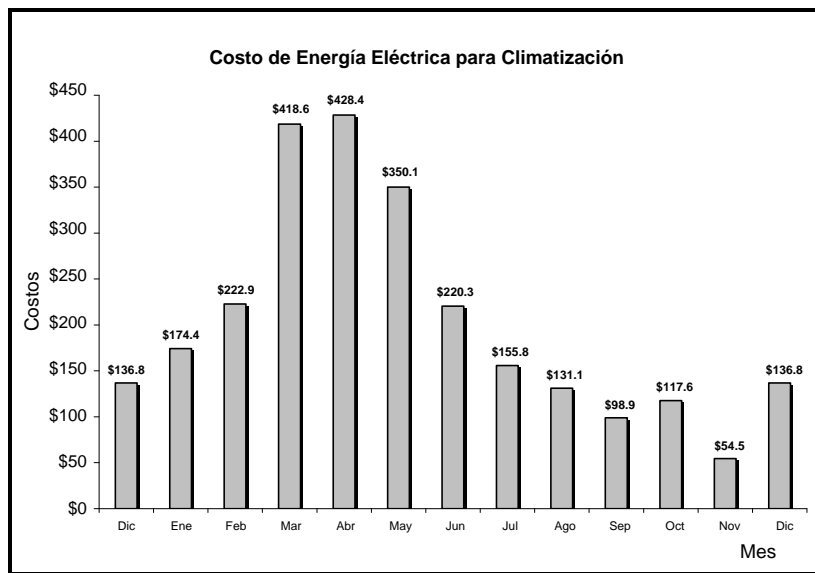


Fig. 5.21 Costos por Climatización en Temoac.

**TEPALCINGO**

La figura 5.22 muestra la radiación solar mensual que incide sobre la envolvente de la vivienda en Tepalcingo. En los techos se observan los valores más altos de la radiación solar incidente. Para el techo totalmente horizontal la máxima insolación es en Mayo con  $6.4 \text{ kW-h/m}^2$  y la mínima en el mes de Noviembre con  $4.1 \text{ kW-h/m}^2$ ; las paredes Este y Oeste tienen valores que oscilan entre los  $2.4$  y  $3.4 \text{ kW-h/m}^2$  durante todo el año. La orientación Norte alcanza valores máximos de la radiación solar en el mes Junio con  $2.7 \text{ kW-h/m}^2$  y la orientación Sur en el mes de Diciembre con  $4.8 \text{ kW-h/m}^2$ .

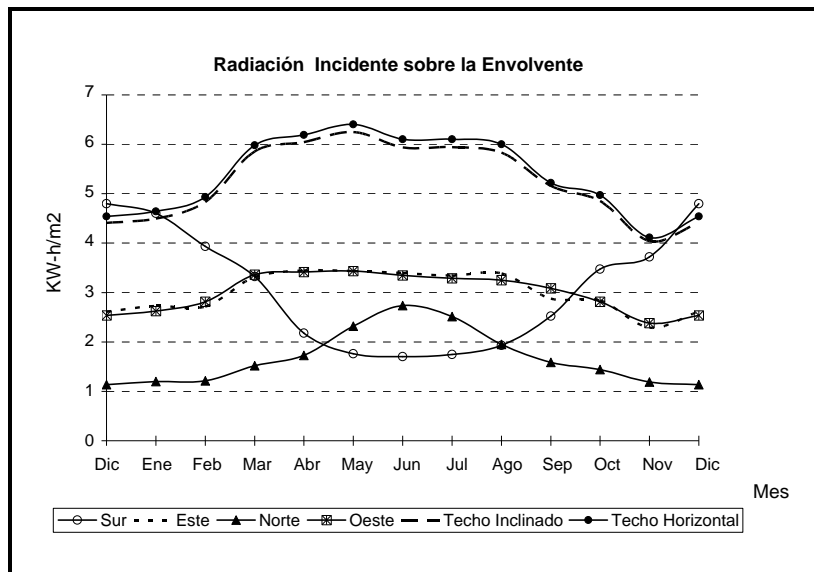


Fig. 5.22 Radiación Incidente sobre la Envolvente en Tepalcingo.

La figura 5.23 muestra los flujos convectivos y radiativos que atraviesan la envolvente de la vivienda en Tepalcingo. Se observa que en los techos la energía que penetra es mayor que en las paredes durante casi todos los meses del año. Para los techos el mayor flujo es en el mes de Mayo con  $0.3 \text{ kW-h/m}^2$  y el menor en Diciembre con  $0.1 \text{ kW-h/m}^2$ .

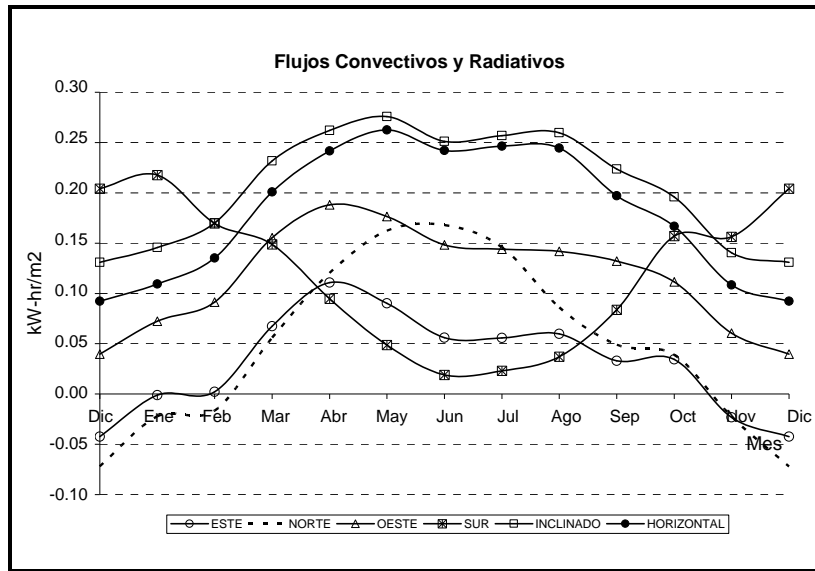


Fig. 5.23 Flujos de Calor que Atravesan la Envoltura en Tepalcingo

Las temperaturas promedio interiores y exteriores (figuras 5.24 y 5.25) muestran que la temperatura interior promedio es mayor que la ambiente para valores promedio diarios y mensuales durante todo el año. Los valores de las temperaturas promedio mensuales interiores oscilan entre los 18 y 27 °C para todo el año.

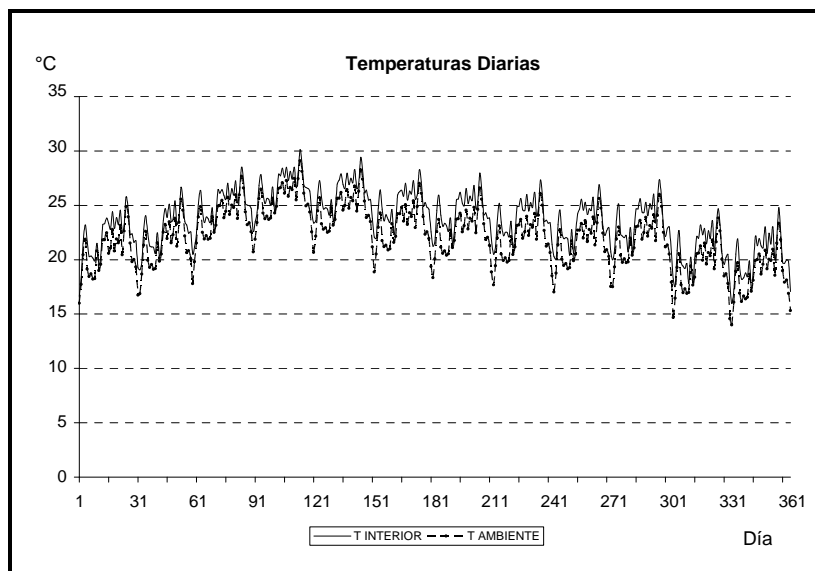


Fig. 5.24 Temperaturas Promedio Diarias en Tepalcingo.

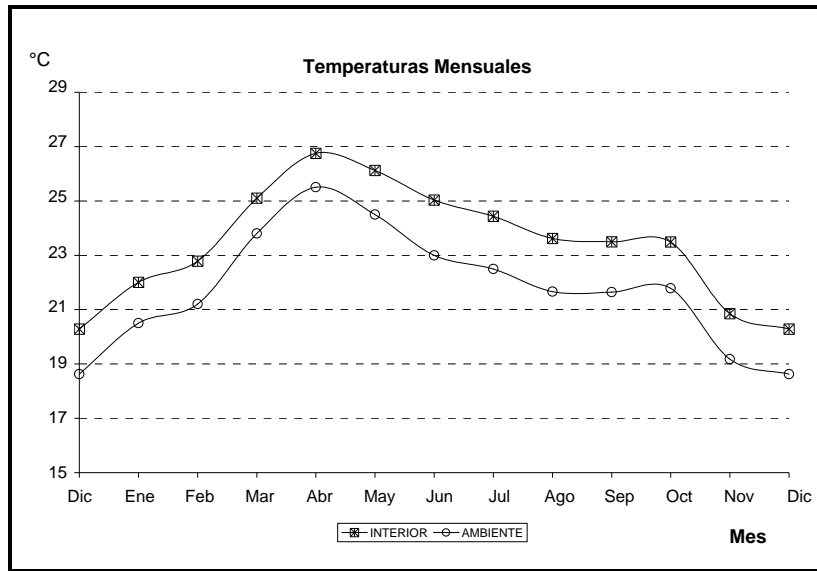


Fig. 5.25 Temperaturas Promedio Mensuales en Tepalcingo.

Al interior de la vivienda para el día más cálido se observa que las temperaturas alcanzan los 34 °C a las 17:00 hrs. Para el día más frío se observa que la máxima temperatura interior de 23.5 °C se alcanza a las a las 18:00 hrs. (figuras 5.26 y 5.27). . En ambas figuras se observa un corrimiento de 3 horas entre las 15:00 y las 18:00 hrs. de la temperatura interior con respecto a la temperatura ambiente, debido a la inercia térmica de la construcción. Sin embargo, en el día más frío el gradiente máximo de temperatura es de 6°C, mientras que en el día más cálido es de 2°C.

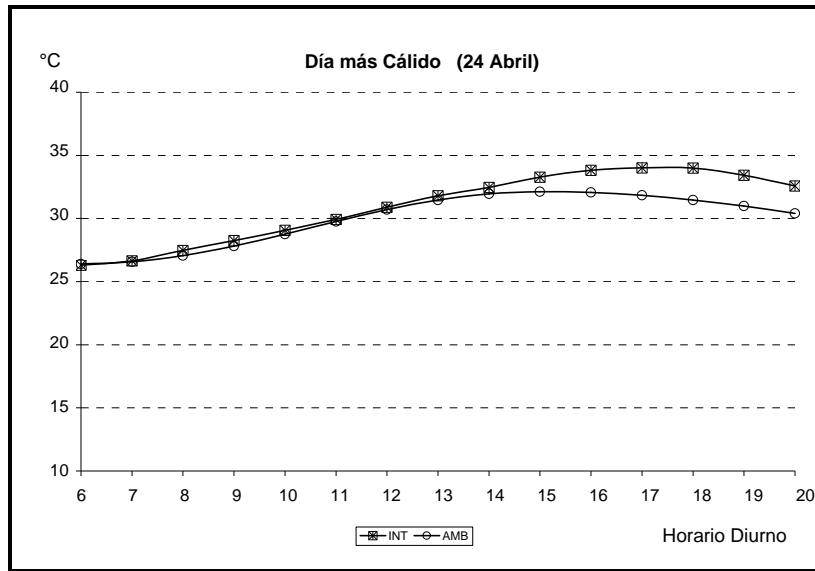


Fig. 5.26 Día más Cálido en Tepalcingo.

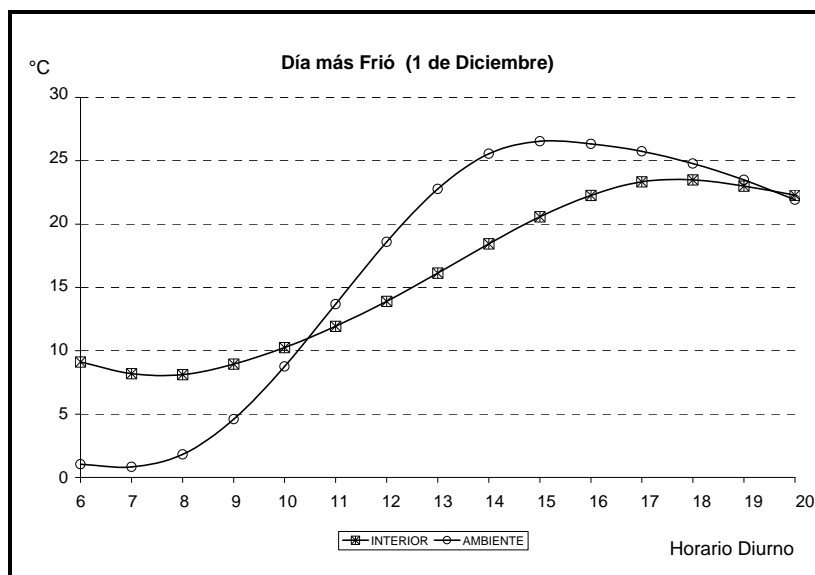


Fig. 5.27 Día más Frío en Tepalcingo.

En la figura 5.28 se muestran las cargas térmicas de la vivienda en Tepalcingo. Se observa que las cargas para enfriamiento son mayores que para calentamiento para todo el año, excepto para los meses de Noviembre, Diciembre y Enero, en donde las cargas por calentamiento son superiores. La máxima carga de enfriamiento se presenta en el mes de Abril



con 819 kW-h y la mayor carga de calentamiento en Diciembre con 688 kW-h.. Las cargas por deshumidificación son nulas durante todo el año y las referidas a la humidificación solo presentan valores pequeños que oscilan entre 60 y 130 kW-h durante los meses de Diciembre a Abril.

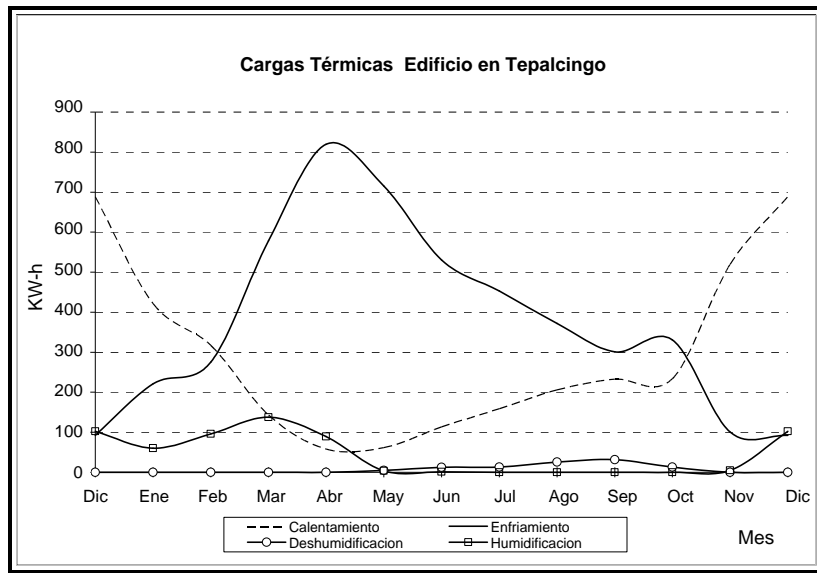


Fig. 5.28 Cargas Sensibles y Latentes en Tepalcingo.

La figura 5.29 muestra las toneladas mensuales para enfriamiento de la vivienda en Tepalcingo. Se puede observar que los meses con mayor capacidad en toneladas de refrigeración son Marzo, Abril y Mayo, mientras que los meses menor capacidad son Noviembre y Diciembre. En la figura 5.30 se muestra la gráfica de los costos generados por el consumo de energía eléctrica para enfriamiento de la vivienda en Tepalcingo. Aquí se puede observar que los meses con mayor consumo son Marzo, Abril y Mayo, mientras que los meses con menor consumo son Noviembre y Diciembre.

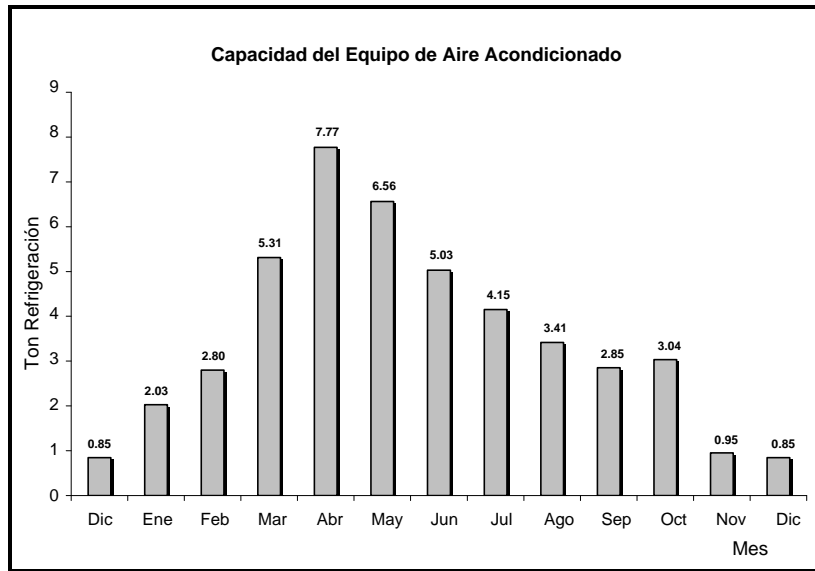


Fig. 5.29 Capacidad del Equipo de Aire Acondicionado en Tepalcingo.

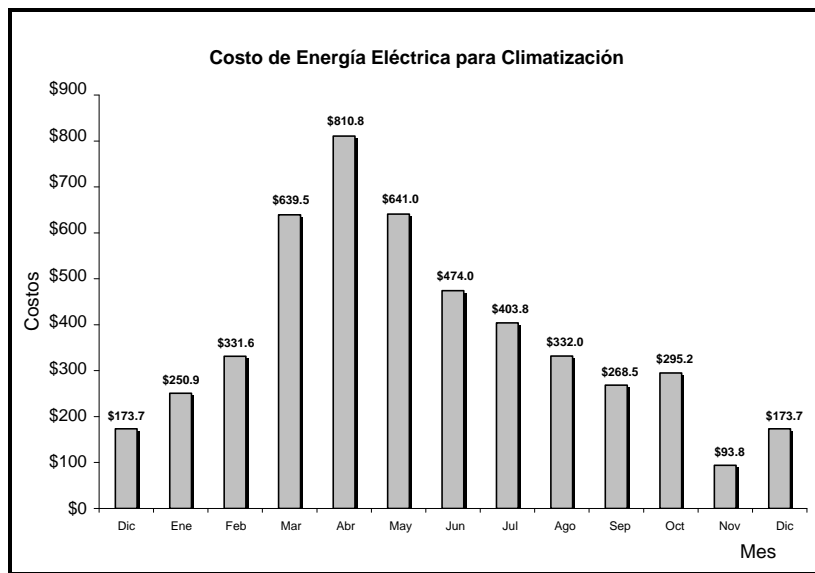


Fig. 5.30 Costos por Climatización en Tepalcingo.

**TILZAPOTLA**

La figura 5.31 muestra la radiación solar mensual que incide sobre la envolvente de la vivienda en Tilzapotla. En los techos se observan los valores más altos de la radiación solar incidente. Para el techo totalmente horizontal la máxima insolación es en Abril con  $6.4 \text{ kW-h/m}^2$  y la mínima en el mes de Noviembre con  $4.6 \text{ kW-h/m}^2$ ; las paredes Este y Oeste tienen valores que oscilan entre los  $2.7$  y  $4.1 \text{ kW-h/m}^2$  durante todo el año. La orientación Norte alcanza valores máximos de la radiación solar en el mes Junio con  $2.9 \text{ kW-h/m}^2$  y la orientación Sur en el mes de Diciembre con  $5.0 \text{ kW-h/m}^2$ .

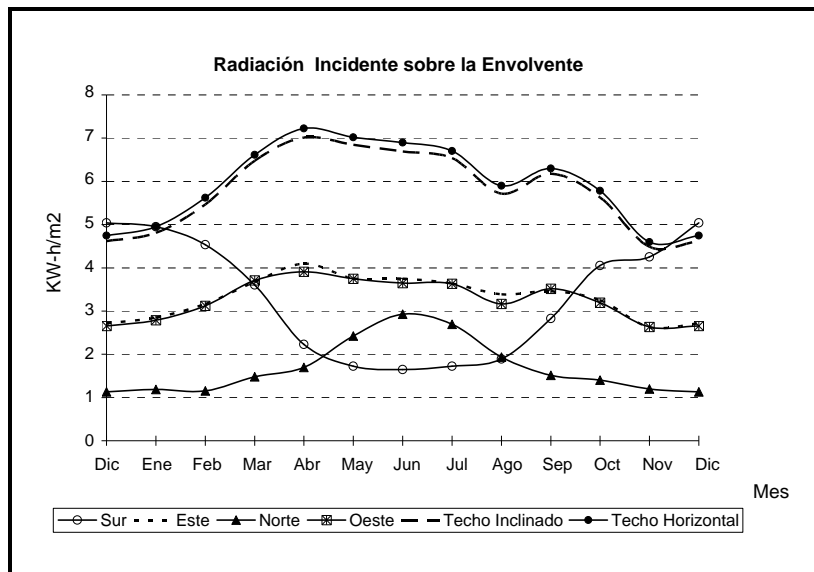


Fig. 5.31 Radiación Incidente sobre la Envolvente en Tilzapotla.

La figura 5.32 muestra los flujos convectivos y radiativos que atraviesan la envolvente en Tilzapotla. Se observa que en los techos la energía que penetra es mayor que en las paredes para la mayor parte del año, excepto en Noviembre, Diciembre y Enero, donde la pared Sur presenta mayores flujos. Para los techos el mayor flujo es en el mes de Mayo con  $0.31 \text{ kW-h/m}^2$  y el menor en Diciembre con  $0.14 \text{ kW-h/m}^2$ . Las temperaturas promedio interiores y exteriores (figuras 5.33 y 5.34) muestran que la temperatura interior promedio es mayor que la ambiente para valores diarios y mensuales durante todo el año. Los valores de las temperaturas promedio mensuales interiores oscilan entre los  $21$  y  $29 \text{ }^\circ\text{C}$  para todo el año.

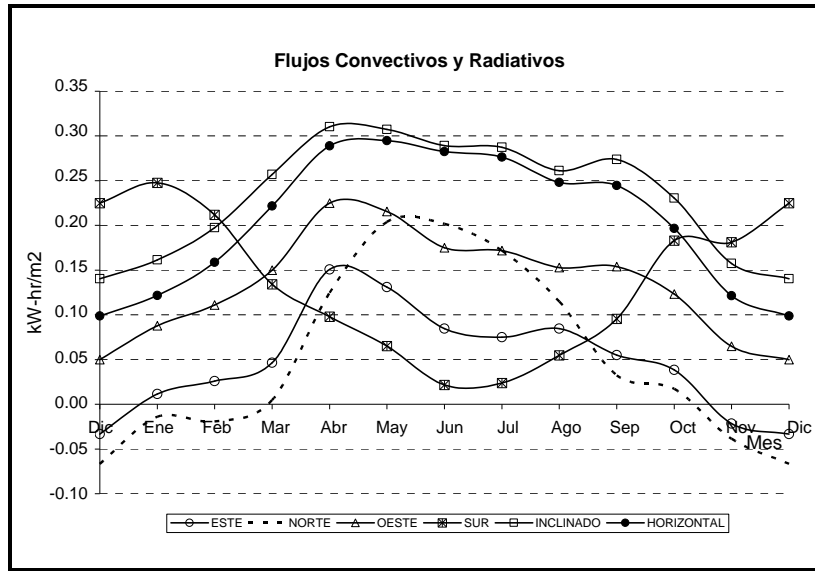


Fig. 5.32 Flujos de Calor que Atraviesan la Envoltura en Tlzapotla.

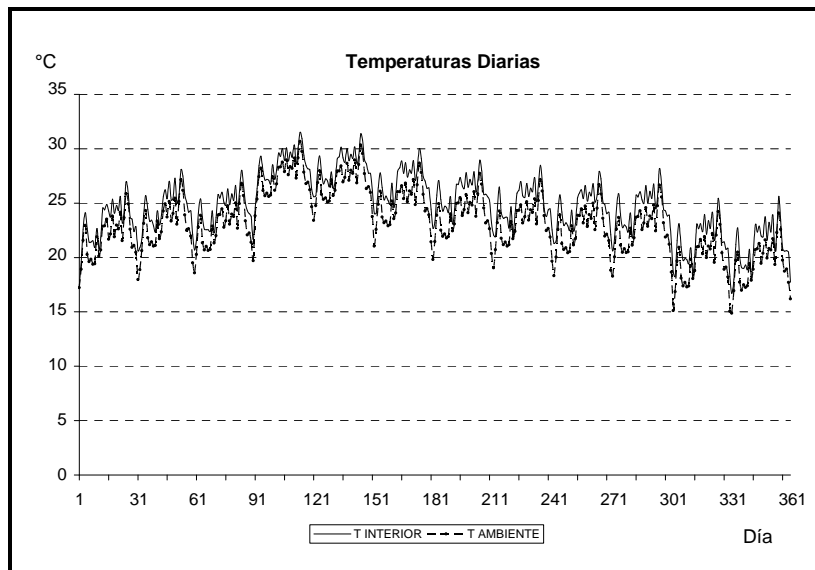


Fig. 5.33 Temperaturas Promedio Diarias en Tlzapotla.

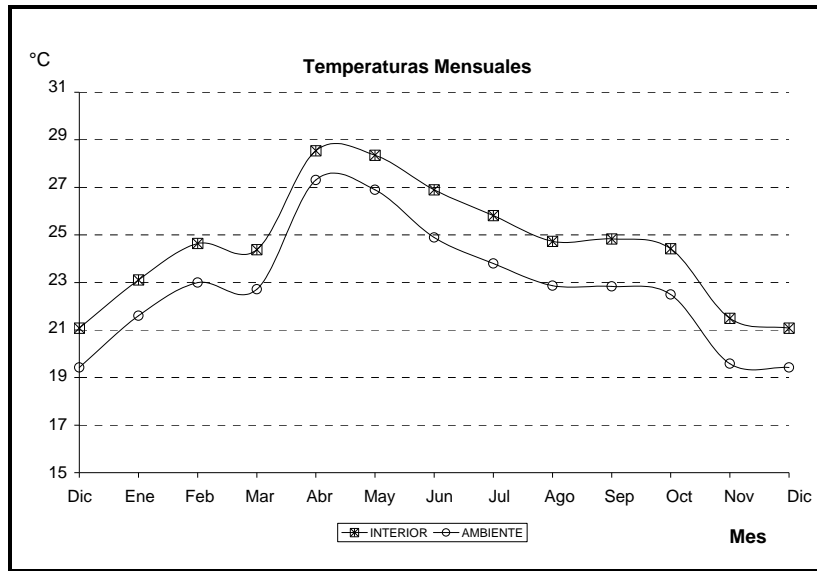


Fig. 5.34 Temperaturas Promedio Mensuales en Tilzapotla.

Al interior de la vivienda, para el día más cálido, se observa que las temperaturas alcanzan los 35.5 °C a las 18:00 hrs. Para el día más frío se observa que la máxima temperatura interior de 24.5 °C se alcanza a las a las 18:00 hrs. (figuras 5.35 y 5.36). En ambas figuras se observa un corrimiento de 3 horas entre las 15:00 y las 18:00 hrs. de la temperatura interior con respecto a la temperatura ambiente, debido a la inercia térmica de la construcción. Sin embargo, en el día más frío el gradiente máximo de temperatura es de 7°C, mientras que en el día más cálido es de 2°C.

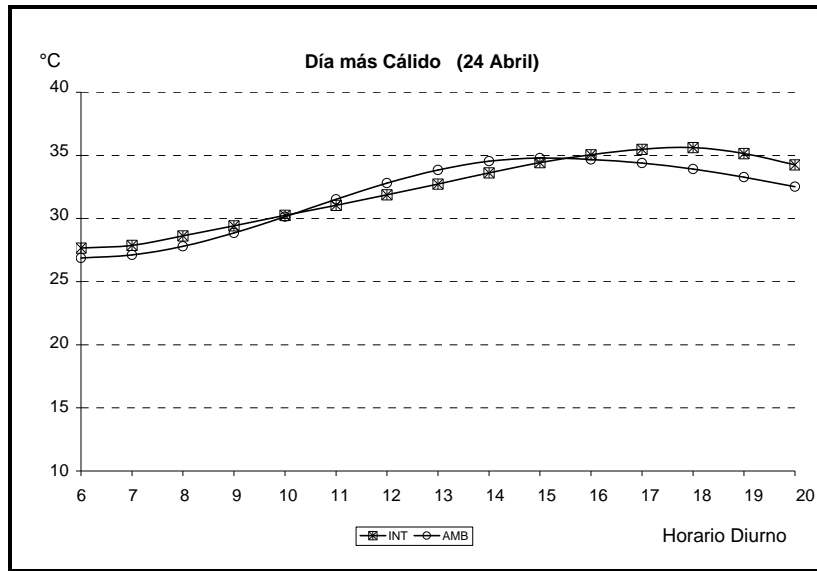


Fig. 5.35 Día más Cálido en Tlzapotla.

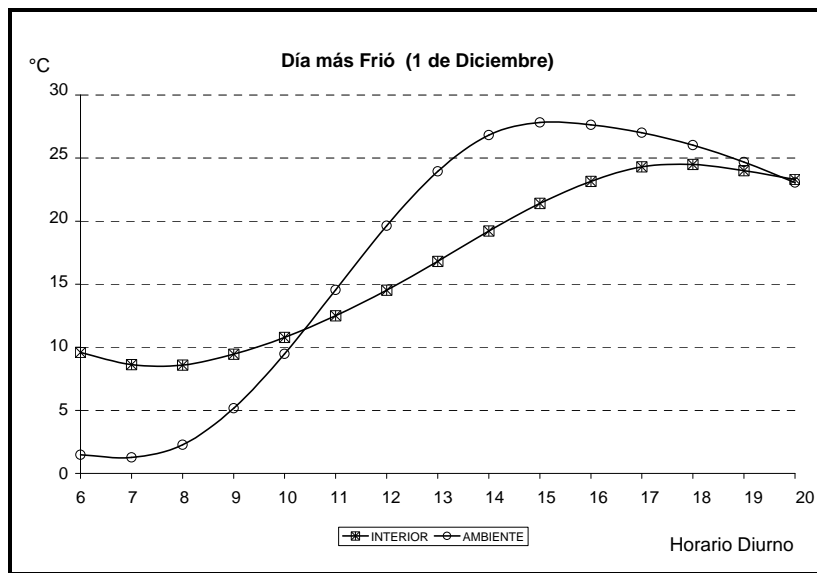


Fig. 5.36 Día más Frío en Tlzapotla.

En la figura 5.37 se muestran las cargas térmicas de la vivienda en Tlzapotla. Se observa que las cargas para enfriamiento son mucho mayores que para calentamiento para todo el año, excepto para los meses de Noviembre y Diciembre, en donde las cargas por calentamiento son superiores. La máxima carga de enfriamiento se presenta en el mes de Abril con 1208 kW-h y



la mayor carga de calentamiento en Diciembre con 590 kW-h. Las cargas por deshumidificación son nulas durante todo el año y las cargas por humidificación solo presentan valores pequeños que oscilan entre 40 y 100 kW-h durante los meses de Diciembre a Marzo.

La figura 5.38 muestra las toneladas mensuales para enfriamiento de la vivienda en Tlzapotla. Se puede observar que los meses con mayor capacidad en toneladas de refrigeración son Abril, Mayo y Junio, mientras que los meses menor capacidad son Noviembre y Diciembre. En la figura 5.39 se muestra la gráfica de los costos generados por el consumo de energía eléctrica para enfriamiento de la vivienda en Tlzapotla. Aquí se puede observar que los meses con mayor consumo son Abril, Mayo y Junio, mientras que los meses con menor consumo son Noviembre y Diciembre.

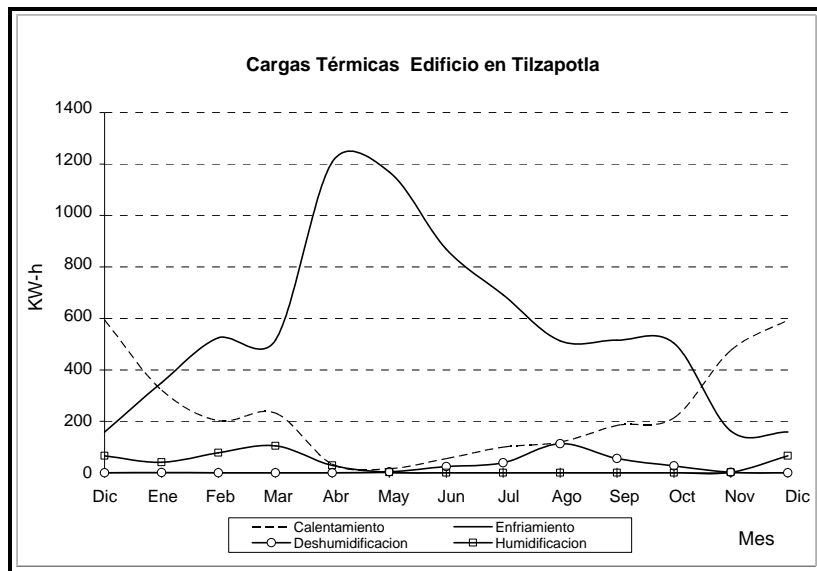


Fig. 5.37 Cargas Sensibles y Latentes en Tlzapotla.

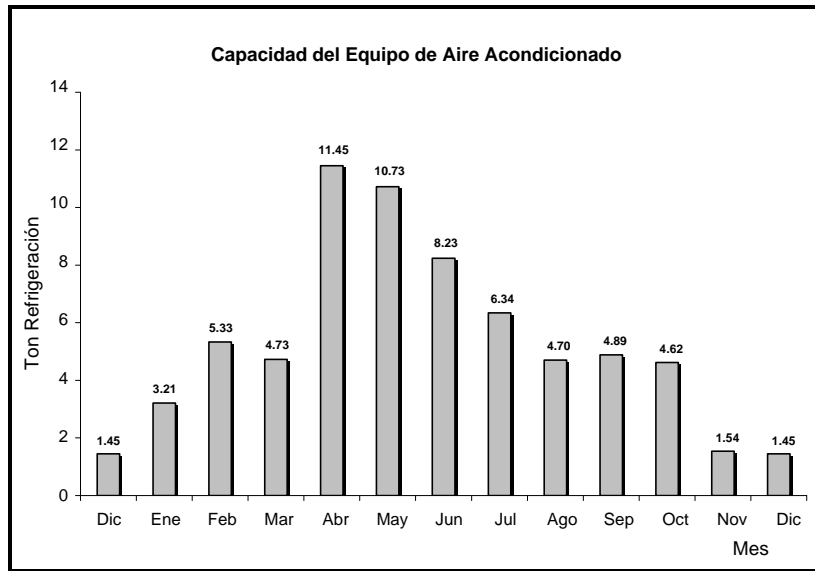


Fig. 5.38 Capacidad del Equipo de Aire Acondicionado en Tilzapotla.

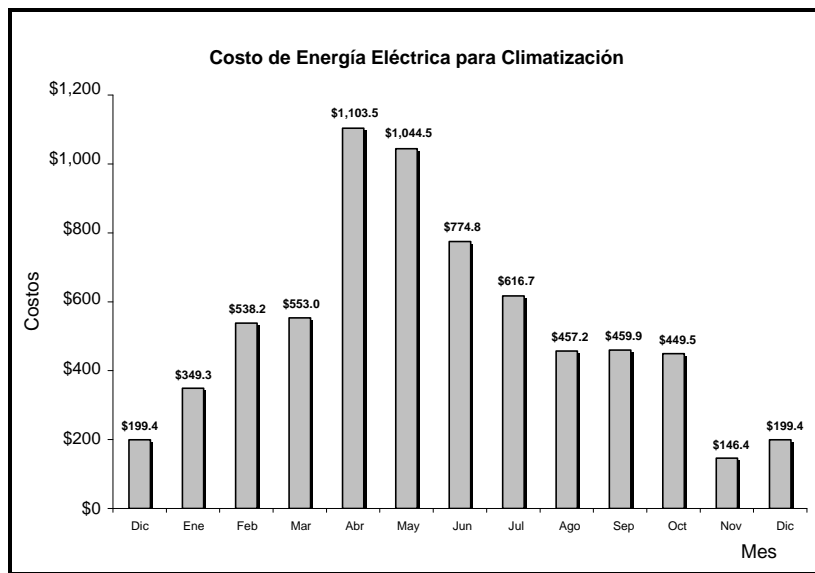


Fig. 5.39 Costos por Climatización en Tilzapotla.

**TLAQUILTENANGO**

Para el municipio de Tlaquiltenango, la figura 5.40 muestra la radiación solar mensual que incide sobre la envolvente de la vivienda. En los techos se observan los valores más altos de la radiación solar incidente. Para el techo totalmente horizontal la máxima radiación solar es en Mayo con  $7.7 \text{ kW-h/m}^2$  y la mínima en el mes de Noviembre con  $4.7 \text{ kW-h/m}^2$ ; las paredes Este y Oeste tienen valores que oscilan entre los  $2.8$  y  $4.1 \text{ kW-h/m}^2$  durante todo el año. La orientación Norte alcanza valores máximos de la radiación solar en el mes Junio con  $2.9 \text{ kW-h/m}^2$  y la orientación Sur en el mes de Diciembre con  $5.2 \text{ kW-h/m}^2$ . La figura 5.41 muestra los flujos energía por convección y radiación que atraviesan la envolvente en Tlaquiltenango. Se observa que en los techos la energía que penetra es mayor que en las paredes durante casi todos los meses del año. Para los techos el mayor flujo es en el mes de Mayo con  $0.33 \text{ kW-h/m}^2$  y el menor en Diciembre con  $0.15 \text{ kW-h/m}^2$ .

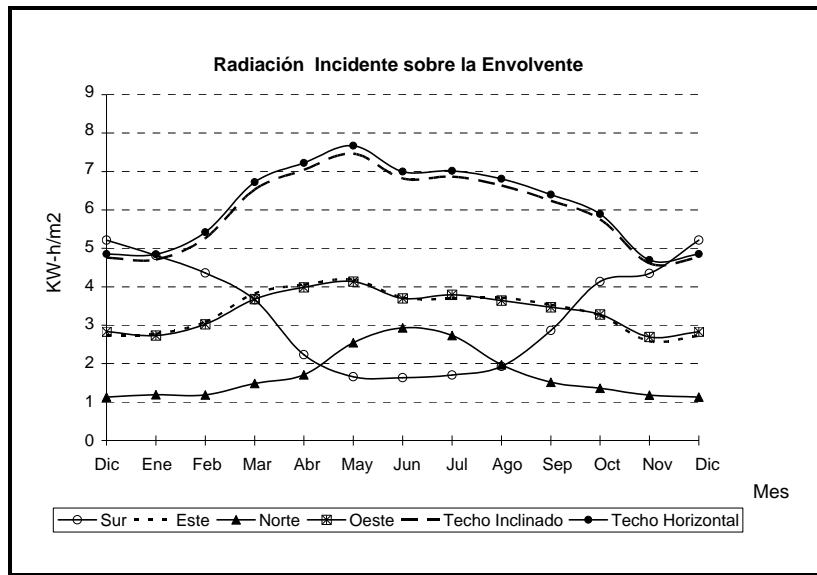


Fig. 5.40 Radiación Incidente sobre la Envolvente en Tlaquiltenango.

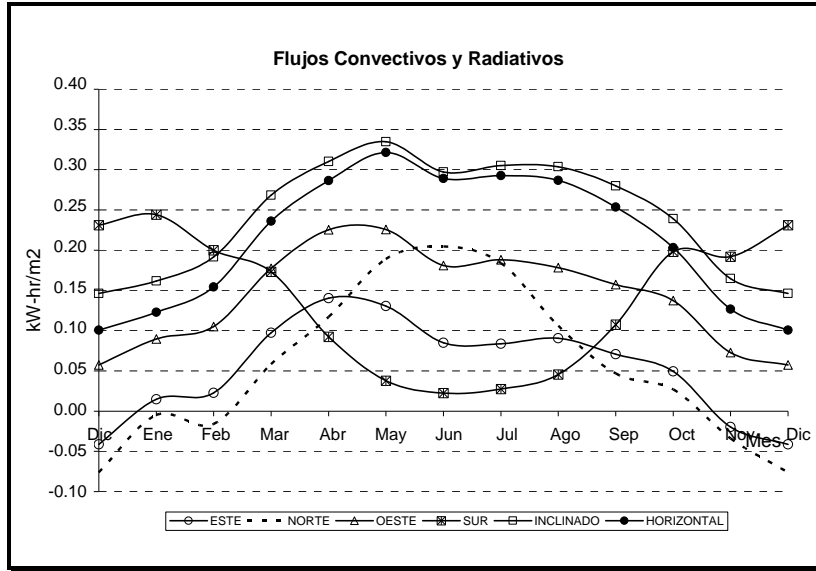


Fig. 5.41 Flujos de Calor que Atraviesan la Envolvente en Tlaquiltenango.

Las figuras 5.42 y 5.43 muestran la comparación entre las temperaturas promedio interiores y exteriores, de donde se observa que la temperatura promedio interior es mayor que la ambiente para valores diarios y mensuales durante todo el año. Los valores de las temperaturas promedio interiores oscilan entre los 21 y 28 °C para todo el año.

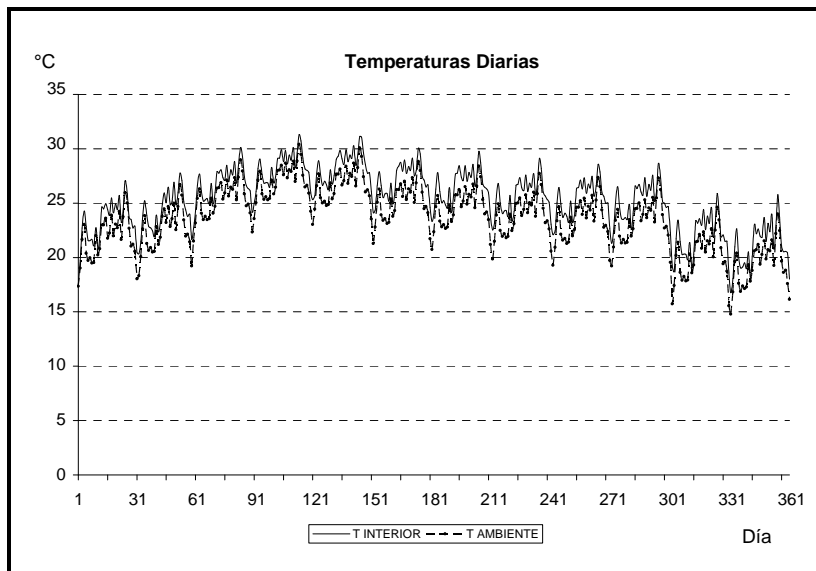


Fig. 5.42 Temperaturas Promedio Diarias en Tlaquiltenango.

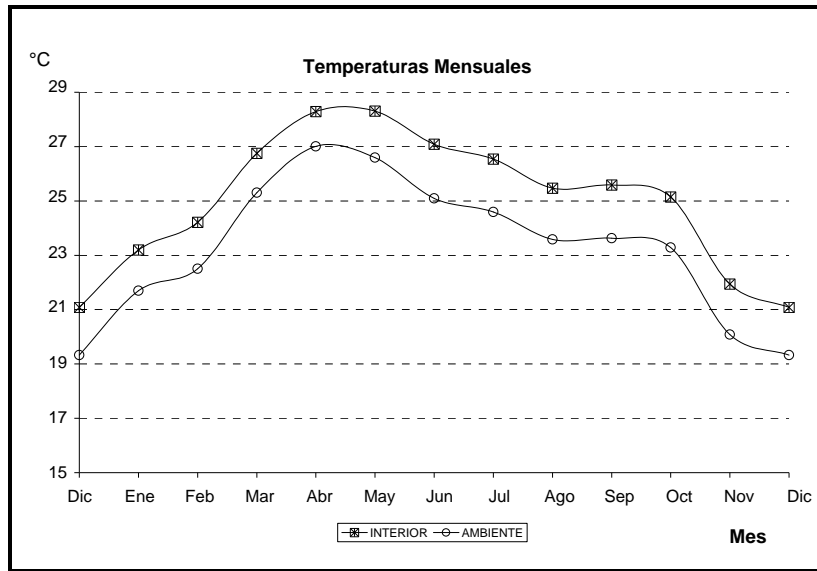


Fig. 5.43 Temperaturas Promedio Mensuales en Tlaquiltenango.

Al interior de la vivienda para el día más cálido se observa que las temperaturas alcanzan los 35.4 °C a las 18:00 hrs. Para el día más frío se observa que la máxima temperatura interior de 24.5 °C se alcanza a las a las 18:00 hrs. (figuras 5.44 y 5.45). En ambas figuras se observa un corrimiento de 3 horas entre las 15:00 y las 18:00 hrs. de la temperatura interior con respecto a la temperatura ambiente, debido a la inercia térmica de la construcción. Sin embargo, en el día más frío el gradiente máximo de temperatura es de 5°C, mientras que en el día más cálido es de 2°C.

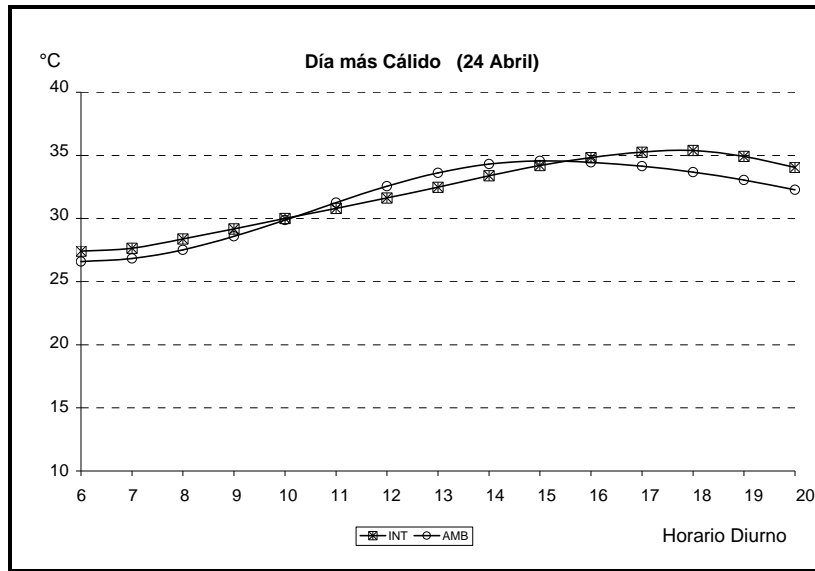


Fig. 5.44 Día más Cálido en Tlaquiltenango.

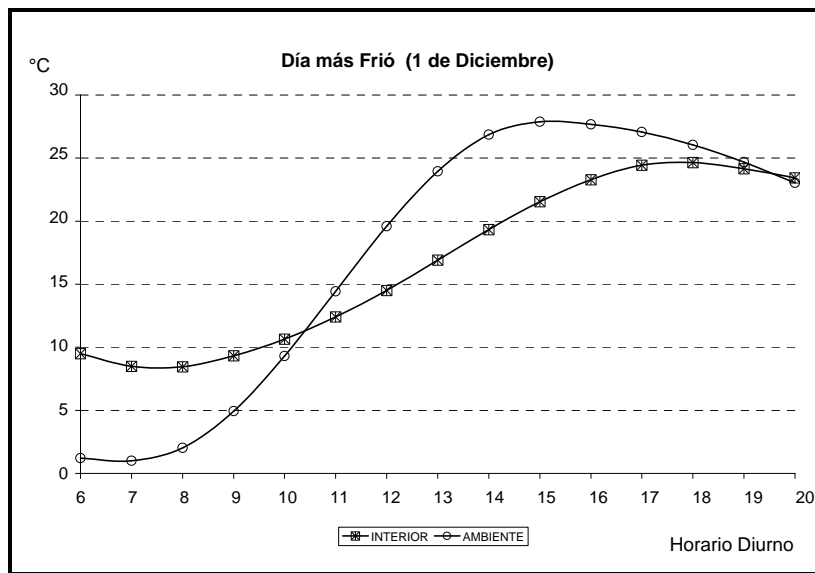


Fig. 5.45 Día más Frío en Tlaquiltenango.

En la figura 5.46 se muestran las cargas térmicas de la vivienda en Tlaquiltenango. Se observa que las cargas para enfriamiento son mayores que para calentamiento para todo el año, excepto para los meses de Noviembre y Diciembre, en donde las cargas por calentamiento son superiores. La máxima carga de enfriamiento se presenta en el mes de Mayo con 1182 kW-h y

la mayor carga de calentamiento en Diciembre con 607 kW-h.. Las cargas por deshumidificación son nulas durante todo el año y las referidas a la humidificación solo presentan valores pequeños que oscilan entre 25 y 80 kW-h durante los meses de Diciembre a Abril.

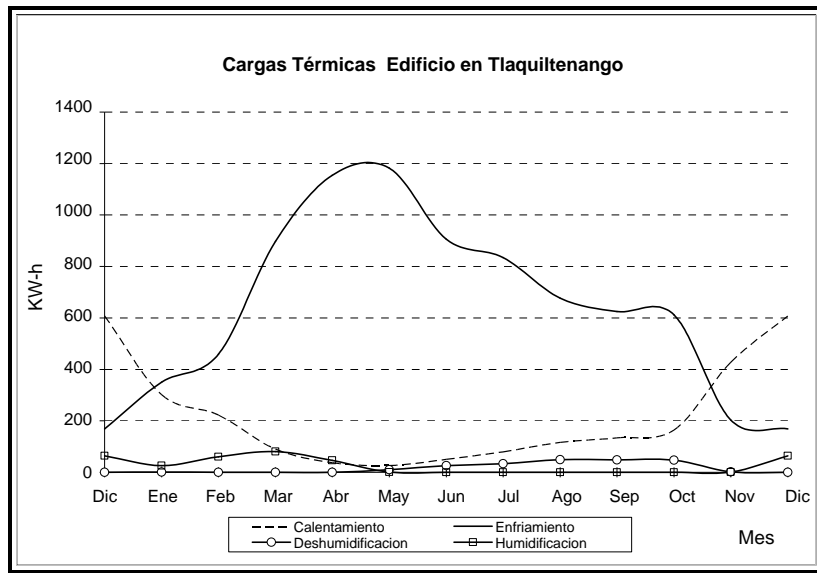


Fig. 5.46 Cargas Sensibles y Latentes en Tlaquiltenango.

La figura 5.47 muestra las toneladas mensuales para enfriamiento de la vivienda en Tlaquiltenango. Se puede observar que los meses con mayor capacidad en toneladas de refrigeración son de Marzo a Junio, mientras que los meses menor capacidad son Noviembre y Diciembre. En la figura 5.48 se muestra la gráfica de los costos generados por el consumo de energía eléctrica para enfriamiento de la vivienda en Tlaquiltenango. Aquí se puede observar que los meses con mayor consumo son de Marzo a Junio, mientras que los meses con menor consumo son Noviembre y Diciembre.



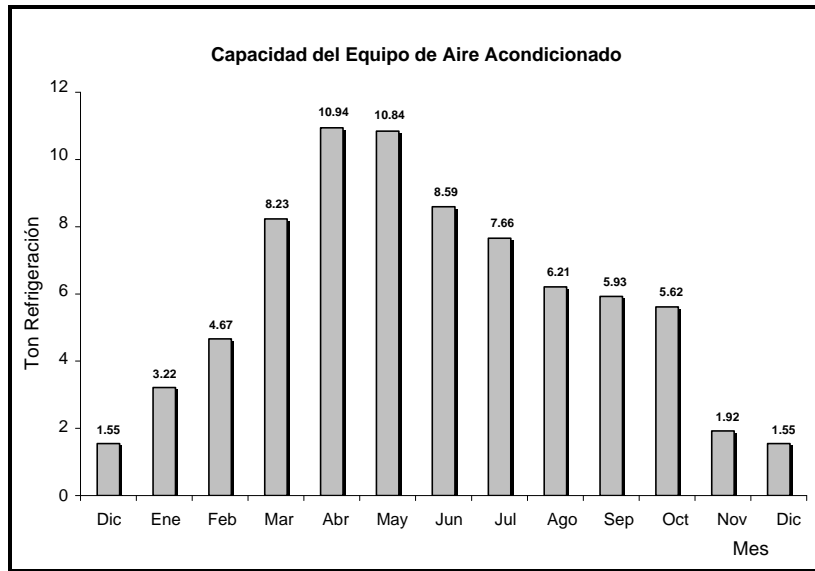


Fig. 5.47 Capacidad del Equipo de Aire Acondicionado en Tlaquiltenango.

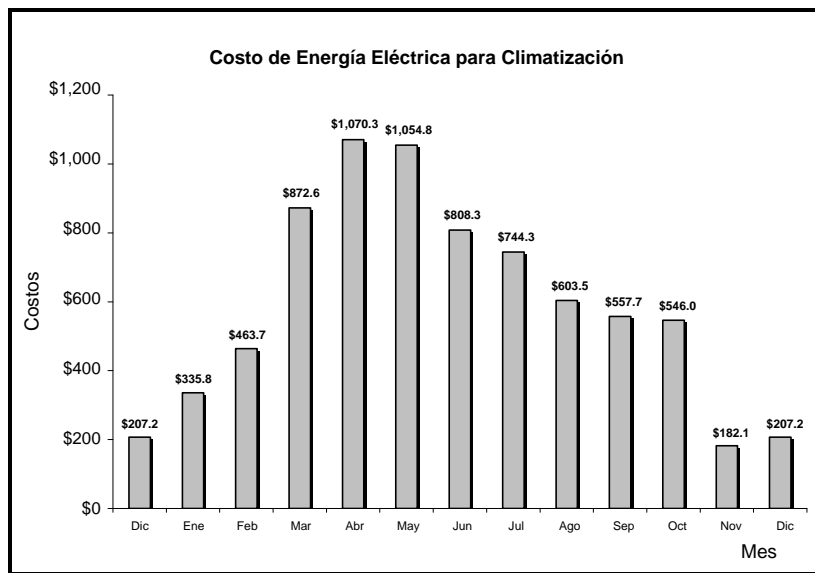


Fig. 5.48 Costos por Climatización en Tlaquiltenango.

**TLAYACAPAN**

La radiación solar mensual que incide sobre la envolvente de la vivienda en Tlayacapan se muestra en la figura 5.49. Para el techo totalmente horizontal la máxima radiación solar se presenta en el mes de Abril con 7.1 kW-h/m<sup>2</sup> y la mínima en el mes de Noviembre con 4.5 kW-h/m<sup>2</sup>; las paredes Este y Oeste tienen valores que oscilan entre los 2.8 y 3.9 kW-h/m<sup>2</sup> durante todo el año. La orientación Norte alcanza valores máximos de la radiación solar en el mes Junio con 2.8 kW-h/m<sup>2</sup> y la orientación Sur en el mes de Diciembre con 5.4 kW-h/m<sup>2</sup>.

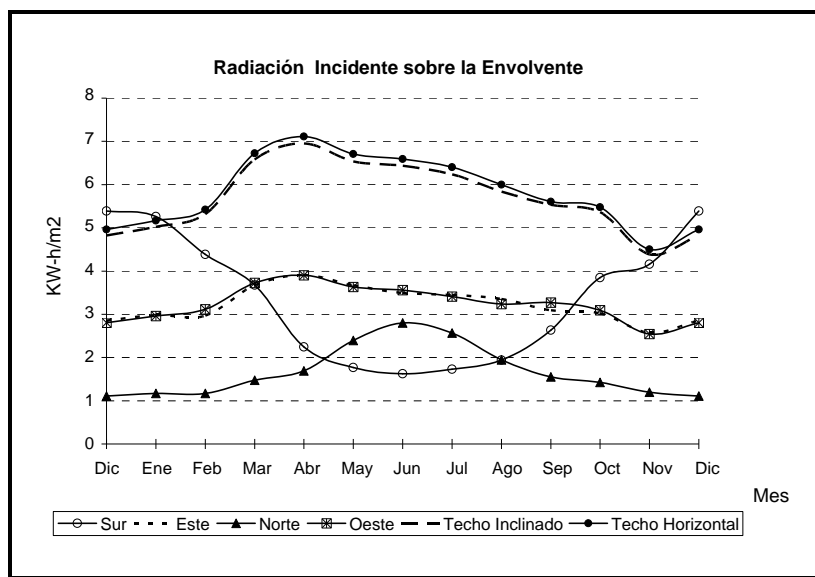


Fig. 5.49 Radiación Incidente sobre la Envolvente en Tlayacapan.

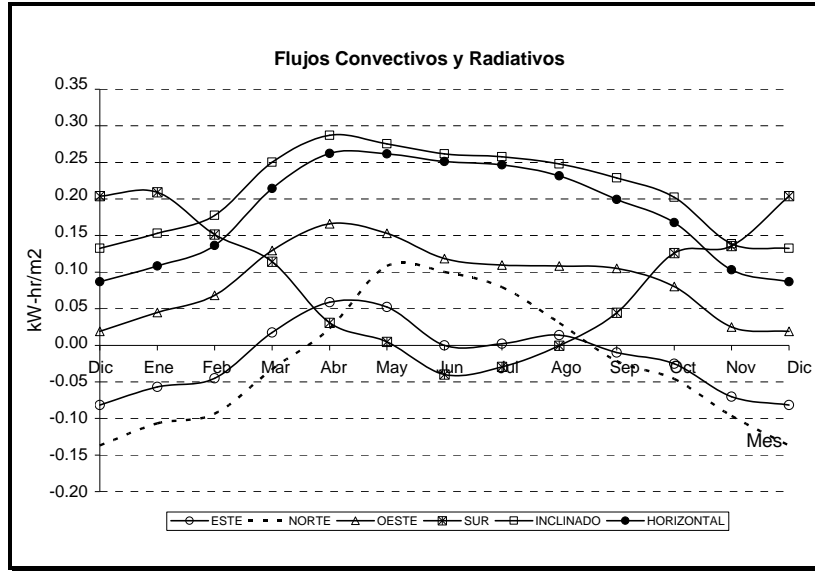


Fig. 5.50 Flujos de Calor que Atraviesan la Envolvente en Tlayacapan.

En la figura 5.50 se muestra los flujos de calor que atraviesan la envolvente en Tlayacapan. Para el techo horizontal los flujos de energía son mayores que en las paredes durante casi todos los meses del año. El mayor flujo se presenta en el mes de Abril con  $0.29 \text{ kW-h/m}^2$  y el menor en Diciembre con  $0.13 \text{ kW-h/m}^2$ .

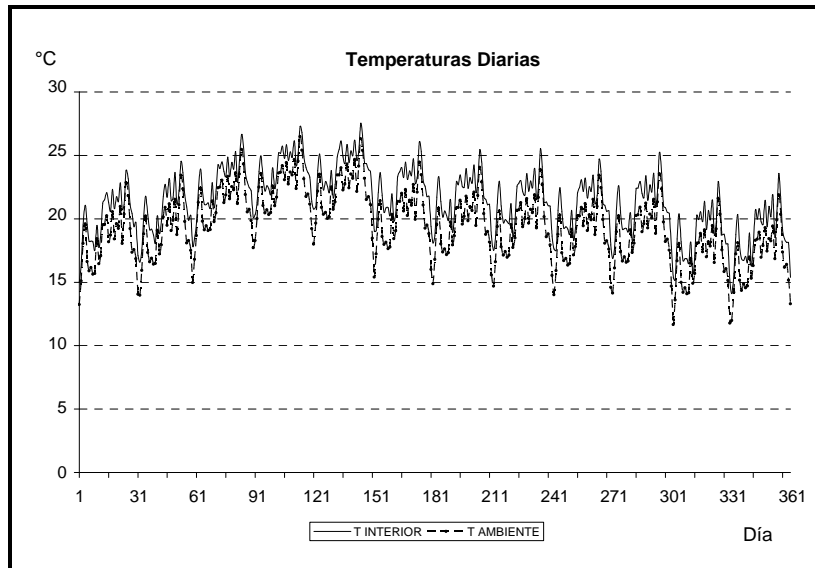


Fig. 5.51 Temperaturas Promedio Diarias en Tlayacapan.

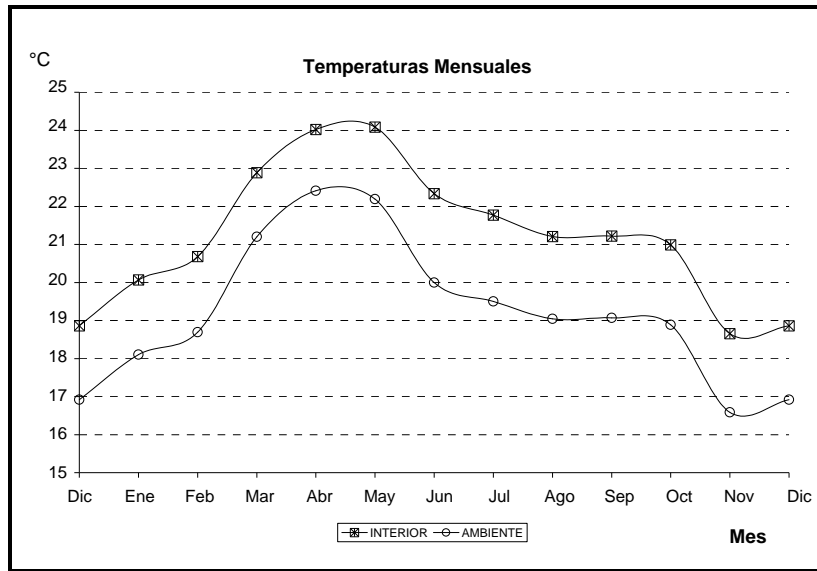


Fig. 5.52 Temperaturas Promedio Mensuales en Tlayacapan.

Las temperaturas promedio interiores y exteriores (figuras 5.51 y 5.52) muestran que la temperatura promedio interior es mayor que la ambiente para valores promedio diarios y mensuales durante todo el año. Los valores de las temperaturas promedio interiores oscilan entre los 19 y 24 °C para todo el año. Al interior de la vivienda para el día más cálido se observa que las temperaturas alcanzan los 31.5 °C a las 18:00 hrs. Para el día más frío se observa que la máxima temperatura interior de 22 °C se alcanza a las a las 18:00 hrs. (figuras 5.53 y 5.54). En ambas figuras se observa un corrimiento de 3 horas entre las 15:00 y las 18:00 hrs. de la temperatura interior con respecto a la temperatura ambiente, debido a la inercia térmica de la construcción. Sin embargo, en el día más frío el gradiente máximo de temperatura es de 6°C, mientras que en el día más cálido es de 2°C.

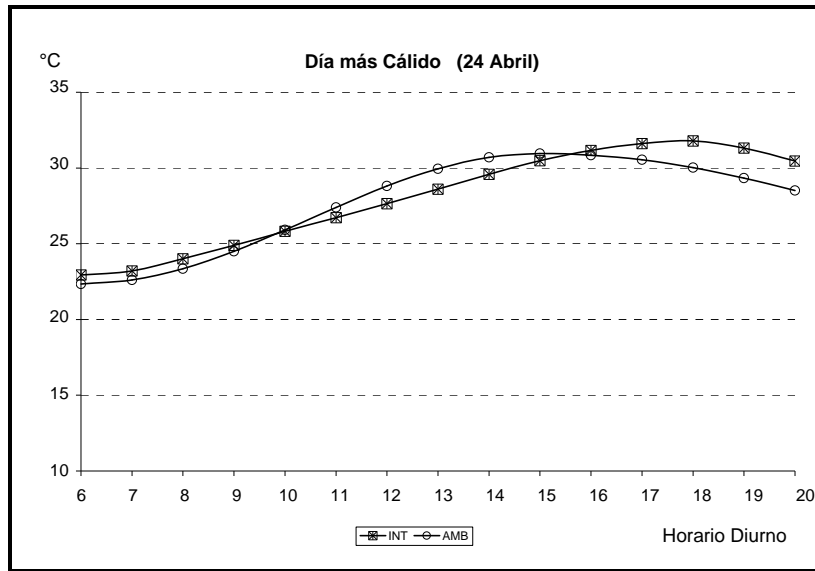


Fig. 5.53 Día más Cálido en Tlayacapan.

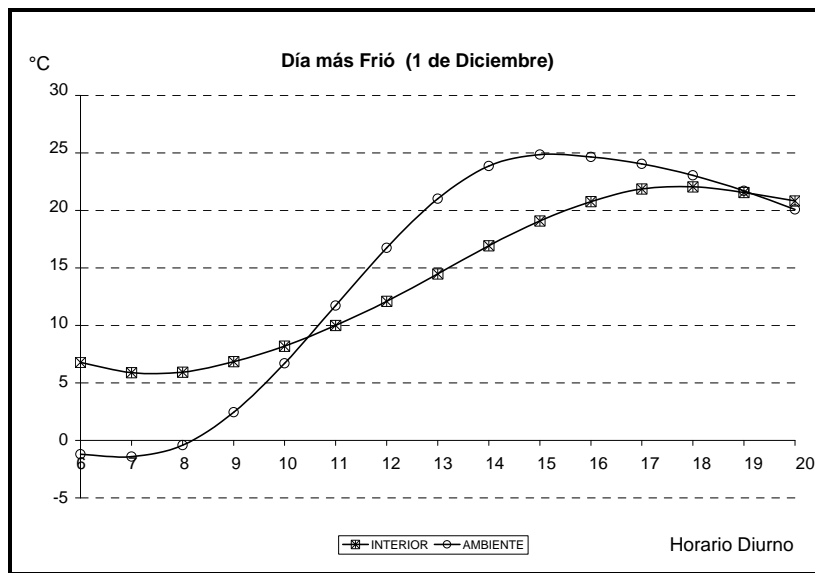


Fig. 5.54 Día más Frío en Tlayacapan.

En la figura 5.55 se muestran las cargas térmicas de la vivienda en Tlayacapan. Se observa que las cargas para calentamiento son mayores que para enfriamiento para todo el año, excepto para los meses de Abril y Mayo, donde las cargas por enfriamiento son superiores. La máxima carga de calentamiento se presenta en el mes de Diciembre con 968 kW-h y la mayor carga de enfriamiento en Abril con 463 kW-h.. Las cargas por deshumidificación son nulas

durante todo el año y las de humidificación muestran valores mínimos de alrededor de 20 y 120 kW-h durante los meses de Noviembre a Abril.

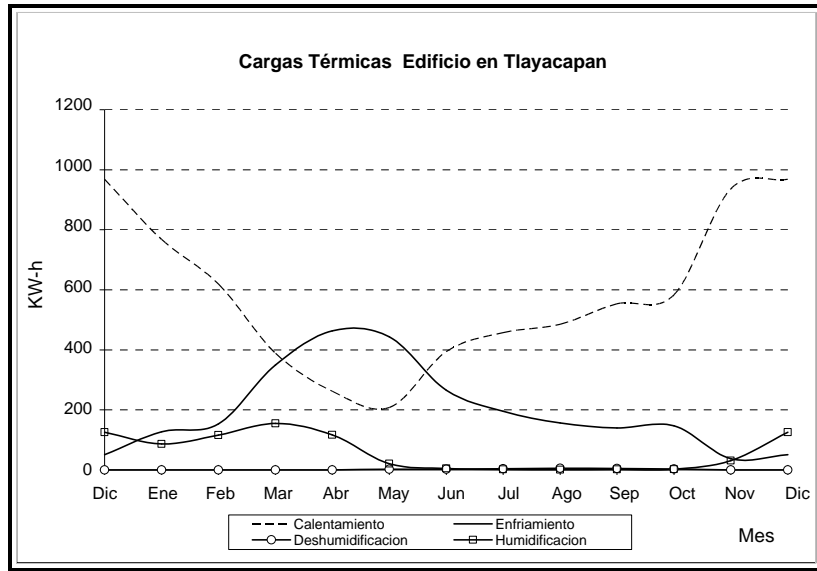


Fig. 5.55 Cargas Sensibles y Latentes en Tlayacapan.

La figura 5.56 muestra las toneladas mensuales para enfriamiento de la vivienda en Tepalcingo. Se puede observar que los meses con mayor capacidad en toneladas de refrigeración son Marzo, Abril y Mayo, mientras que los meses menor capacidad son Noviembre, Diciembre y Enero. En la figura 5.57 se muestra la gráfica de los costos generados por el consumo de energía eléctrica para enfriamiento de la vivienda en Tlayacapan. Se puede observar que los meses con mayor consumo son Marzo, Abril y Mayo, mientras que los meses con menor consumo son Noviembre, Diciembre y Enero.

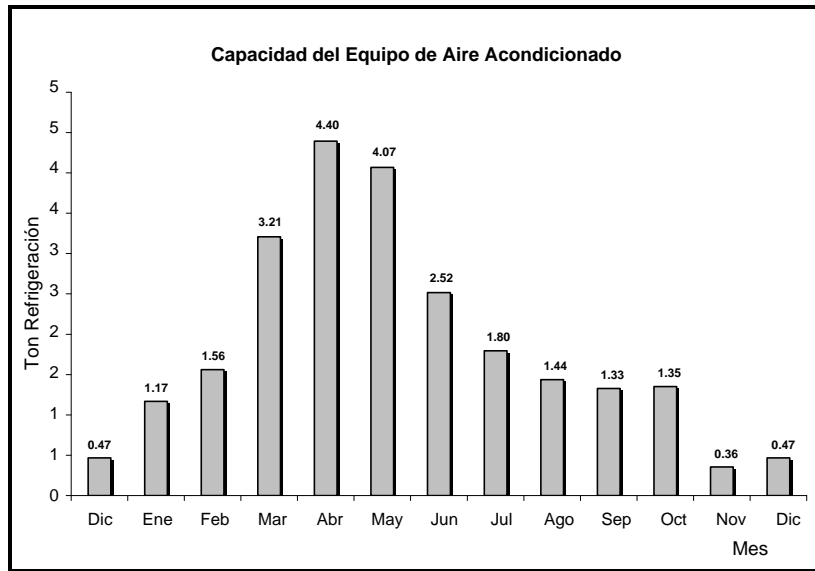


Fig. 5.56 Capacidad del Equipo de Aire Acondicionado en Tlayacapan.

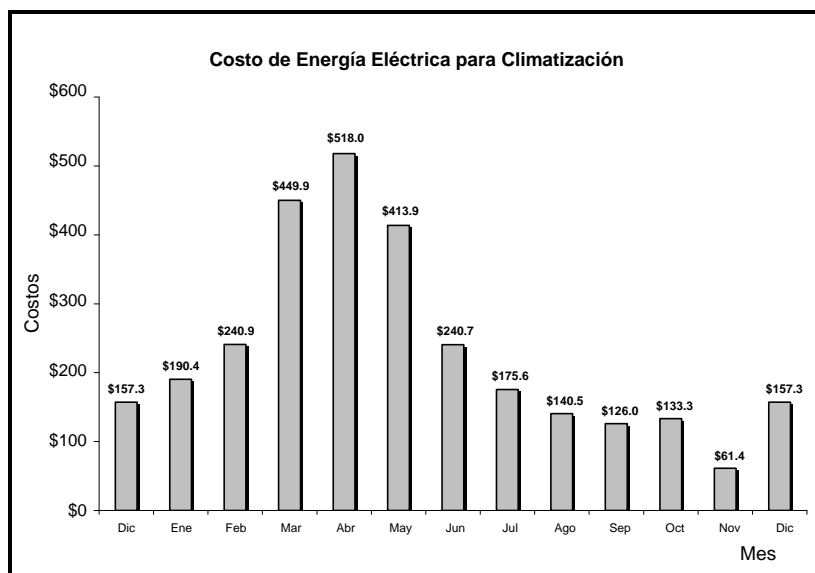


Fig. 5.57 Costos por Climatización en Tlayacapan.



**JIUTEPEC**

Los resultados obtenidos para el municipio de Jiutepec son la mejor aproximación de los resultados esperados para Cuernavaca, la capital del Estado, esto debido a la cercanía de los dos municipios y a que son parte de la misma zona metropolitana. La figura 5.58 muestra la radiación solar mensual que incide sobre la envolvente de la vivienda en Jiutepec. En los techos se observan los valores más altos de la radiación incidente. Para el techo totalmente horizontal la máxima insolación es en Mayo con  $6.5 \text{ kW-h/m}^2$  y la mínima en el mes de Diciembre con  $4.5 \text{ kW-h/m}^2$ ; las paredes Este y Oeste tienen valores que oscilan entre los  $2.5$  y  $3.6 \text{ kW-h/m}^2$  durante todo el año. La orientación Norte alcanza valores máximos de la radiación solar en el mes Junio con  $2.6 \text{ kW-h/m}^2$  y la orientación Sur en el mes de Diciembre con  $4.8 \text{ kW-h/m}^2$ .

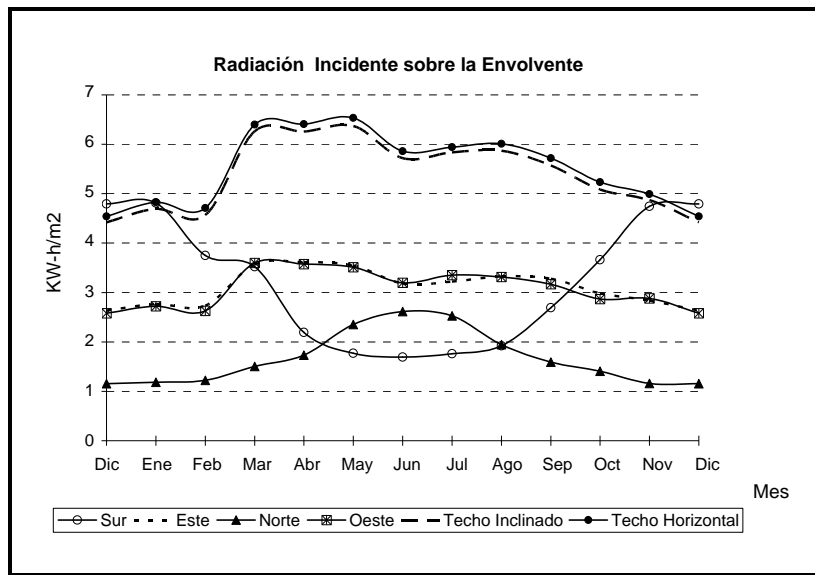


Fig. 5.58 Radiación Incidente sobre la Envolvente en Jiutepec.

Los flujos de calor por convección y radiación atraviesan la envolvente de la vivienda en Jiutepec se presentan en la figura 5.59. El comportamiento de los flujos es similar a la incidencia solar, donde destacan los techos con mayor penetración de energía que las paredes. En los techos el mayor flujo es en el mes de Mayo con  $0.28 \text{ kW-h/m}^2$  y el menor en Diciembre con  $0.14 \text{ kW-h/m}^2$ . En los meses de Noviembre, Diciembre y Enero, para las paredes Este y

Norte los flujos salen de la vivienda con valores muy pequeños que caen en el intervalo de -0.01 a -0.05 kW-h/m<sup>2</sup>.

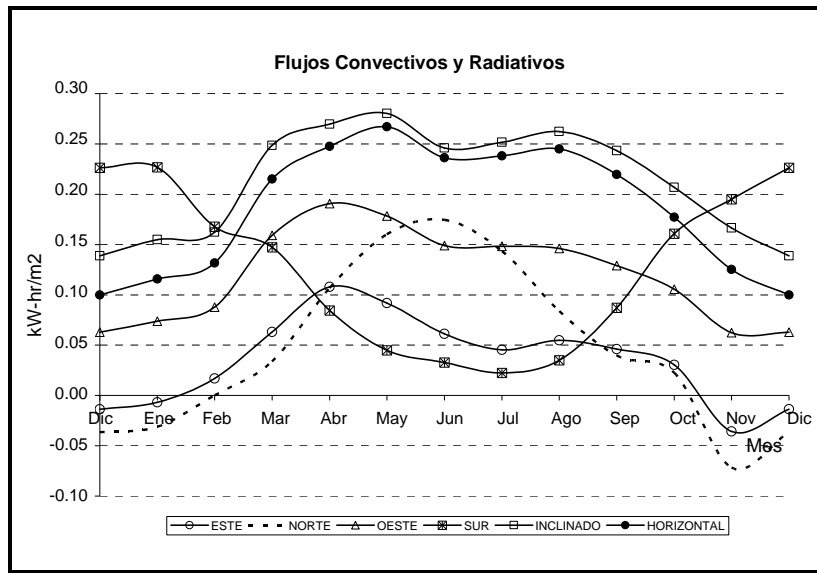


Fig. 5.59 Flujos de Calor que Atraviesan la Envolvente en Jiutepec.

Las figuras 5.60 y 5.61 muestran la comparación entre las temperaturas promedio ambientales y las interiores, de ahí se puede observar que la temperatura promedio interior es mayor que la ambiente para valores promedio diarios y mensuales durante todo el año, es decir, sigue el mismo comportamiento que todos los municipios analizados. Los valores de las temperaturas promedio interiores oscilan entre los 22 y 26 °C para todo el año.

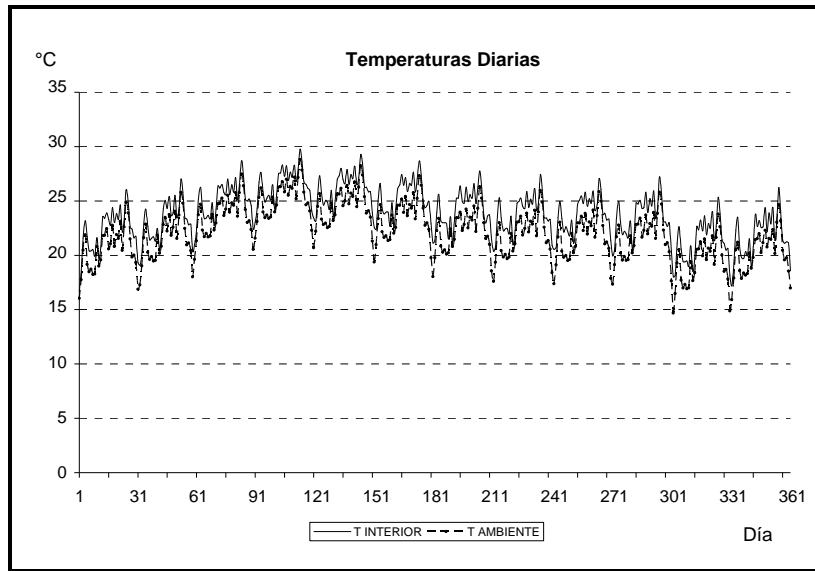


Fig. 5.60 Temperaturas Promedio Diarias en Juitepec.

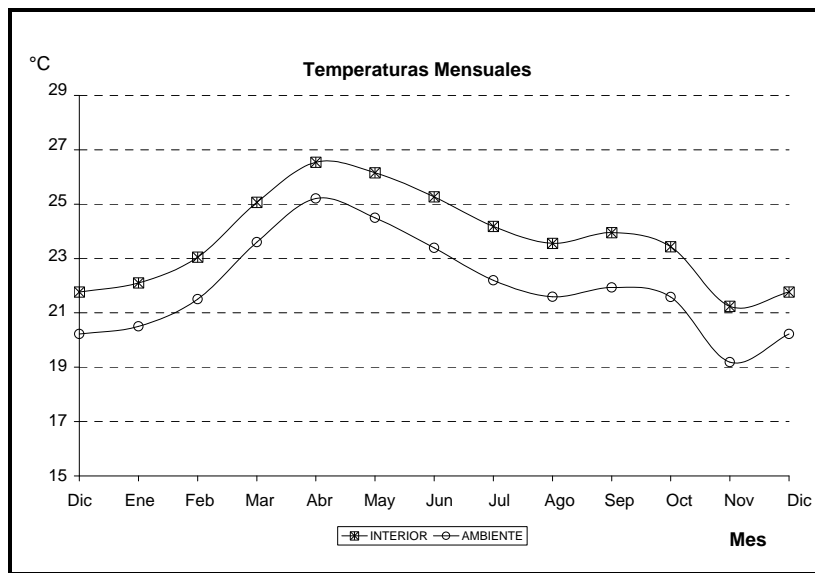


Fig. 5.61 Temperaturas Promedio Mensuales en Juitepec.

Al interior de la vivienda para el día más cálido se observa que las temperaturas alcanzan los 32 °C a las 16:00 hrs. Para el día más frío se observa que la máxima temperatura interior de 22.5 °C se alcanza a las a las 17:00 hrs. (figuras 5.62 y 5.63). Para el día mas cálido se observa un corrimiento de 4 horas entre las 15:00 y las 19:00 hrs. de la temperatura interior con respecto a la temperatura ambiente, debido a la inercia térmica de la construcción. Para el

día más frío el corrimiento es de 3 horas entre las 15:00 y las 18:00 horas. Sin embargo, en el día más frío el gradiente máximo de temperatura es de 3°C, mientras que en el día más cálido es de 1.5°C.

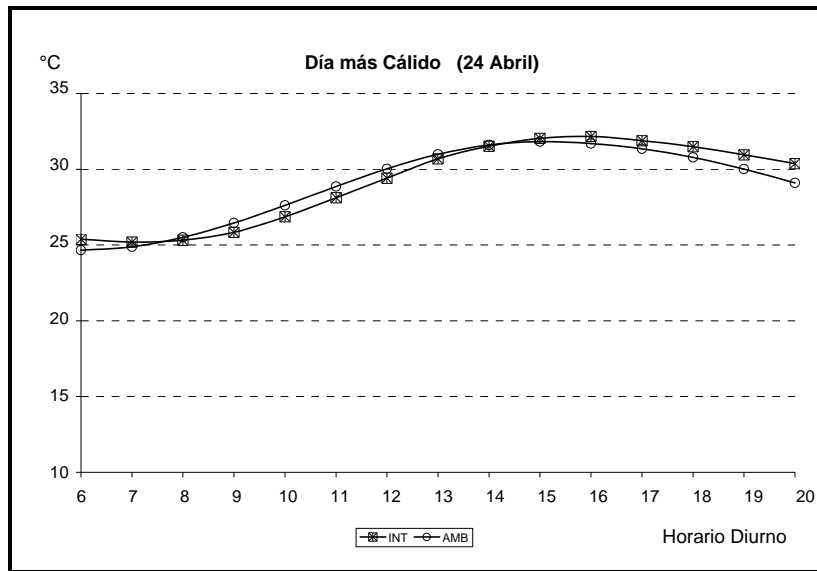


Fig. 5.62 Día más Cálido en Jutepec.

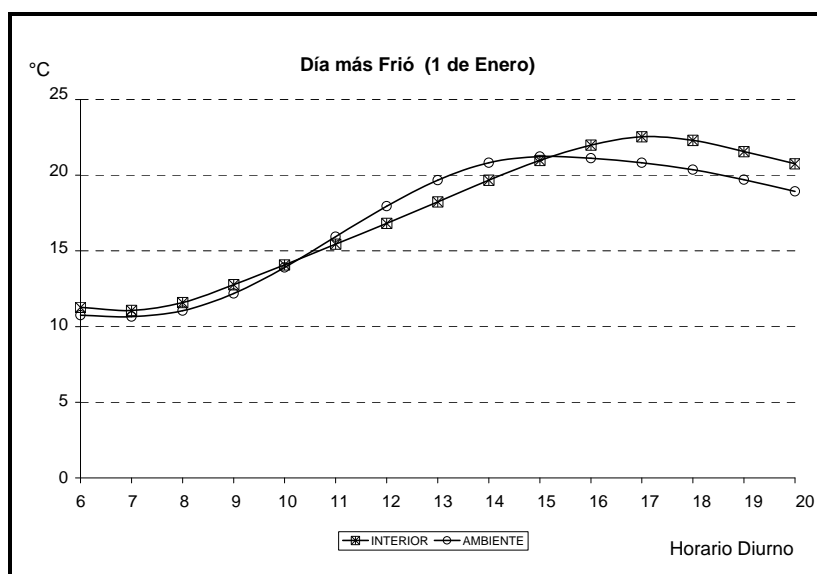


Fig. 5.63 Día más Frío en Jutepec.

Las cargas térmicas de la vivienda en Jiutepec son presentadas en la figura 5.64. Se observa que las cargas para enfriamiento son mayores que para calentamiento para todo el año, excepto para los meses de Noviembre, Diciembre y Enero, en donde las cargas por calentamiento son superiores. La máxima carga de enfriamiento se presenta en el mes de Abril con 795 kW-h y la mayor carga de calentamiento en Noviembre con 550 kW-h. Las cargas por deshumidificación son muy bajas durante todo el año, destacando la máxima en el mes de Septiembre con 52 kW-h; las referidas a la humidificación solo presentan valores pequeños que oscilan entre 34 y 110 kW-h durante los meses de Diciembre a Abril.

La figura 5.65 muestra las toneladas mensuales para enfriamiento de la vivienda en Jiutepec. Se puede observar que los meses con mayor capacidad en toneladas de refrigeración son Marzo, Abril, Mayo y Junio, mientras que los meses menor capacidad son Noviembre y Diciembre.

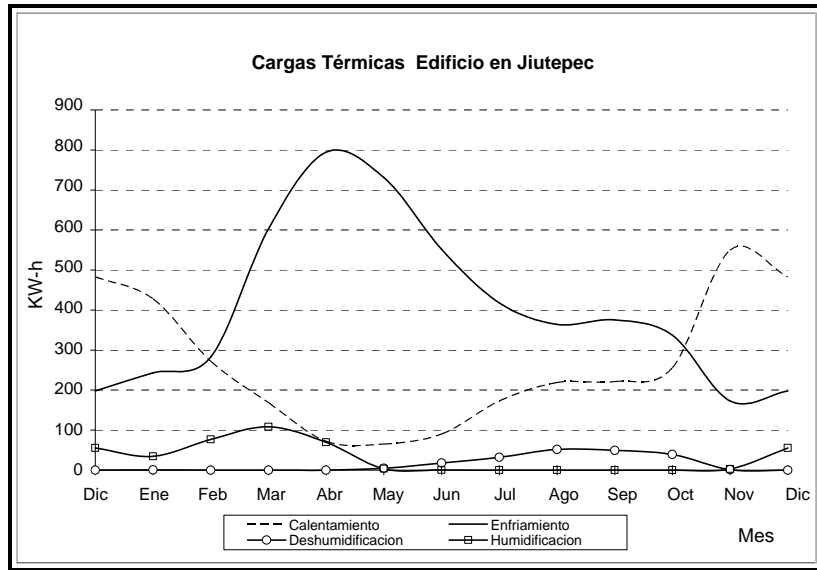


Fig. 5.64 Cargas Sensibles y Latentes en Jiutepec.

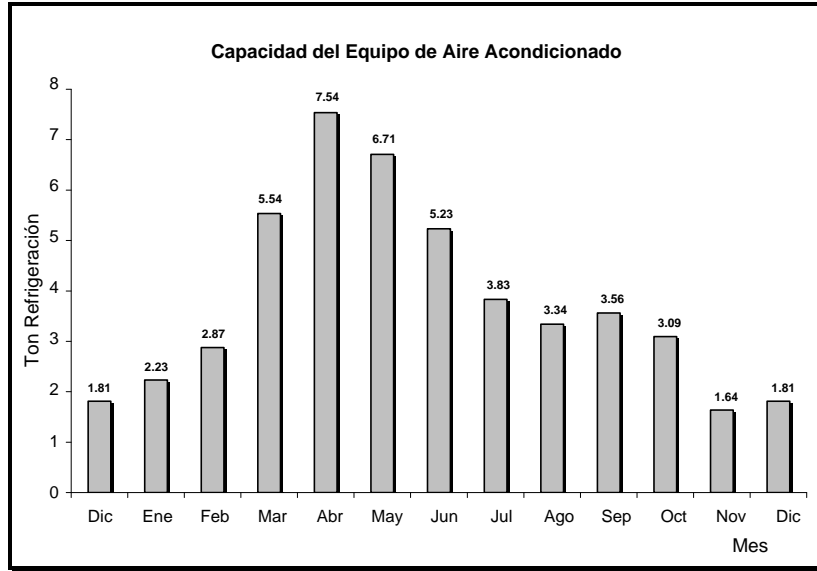


Fig. 5.65 Capacidad del Equipo de Aire Acondicionado en Juitepec.

En la figura 5.66 se muestra la gráfica de los costos generados por el consumo de energía eléctrica para enfriamiento de la vivienda en Juitepec. Aquí se puede observar que los meses con mayor consumo son Marzo, Abril, Mayo y Junio, mientras que los meses con menor consumo son Noviembre y Diciembre.

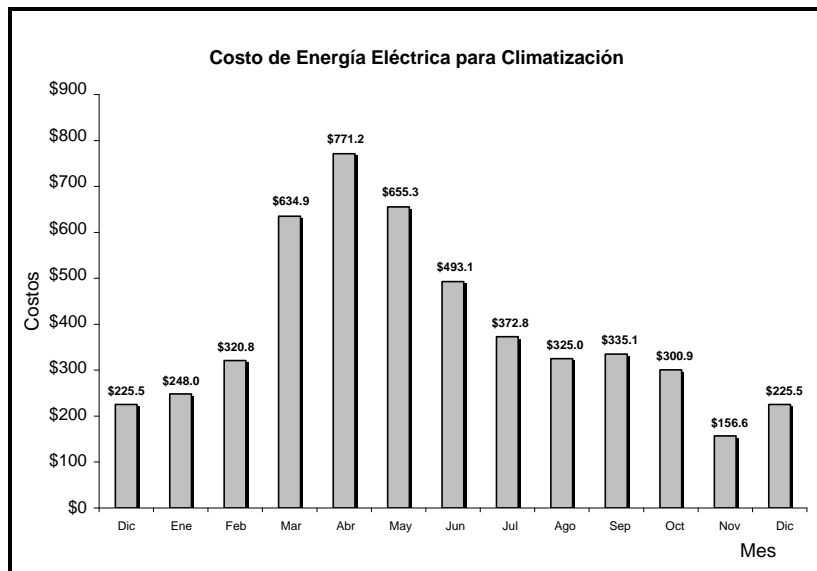


Fig. 5.66 Costos por Climatización en Juitepec.

**TEPOZTLÁN**

Los resultados obtenidos para el municipio de Tepoztlán son muy cercanos a los presentados para el municipio de Jiutepec. La figura 5.67 muestra la radiación solar mensual que incide sobre la envolvente de la vivienda en Tepoztlán. En los techos se observan los valores más altos de la radiación incidente. Para el techo totalmente horizontal la máxima insolación es en Abril con  $6.5 \text{ kW-h/m}^2$  y la mínima en el mes de Diciembre con  $4.7 \text{ kW-h/m}^2$ ; las paredes Este y Oeste tienen valores que oscilan entre los  $2.6$  y  $3.6 \text{ kW-h/m}^2$  durante todo el año. La orientación Norte alcanza valores máximos de la radiación solar en el mes Junio con  $2.65 \text{ kW-h/m}^2$  y la orientación Sur en el mes de Diciembre con  $5 \text{ kW-h/m}^2$ . Los flujos de calor por convección y radiación atraviesan la envolvente de la vivienda en Tepoztlán se presentan en la figura 5.68. El comportamiento de los flujos es similar a la incidencia solar, donde destacan los techos con mayor penetración de energía que en las paredes. En los techos el mayor flujo es en el mes de Abril con  $0.27 \text{ kW-h/m}^2$  y el menor en Diciembre con  $0.14 \text{ kW-h/m}^2$ . En los meses de Noviembre, Diciembre y Enero, para las paredes Este y Norte los flujos salen de la vivienda con valores muy pequeños que caen en el intervalo de  $-0.01$  a  $-0.05 \text{ kW-h/m}^2$ .

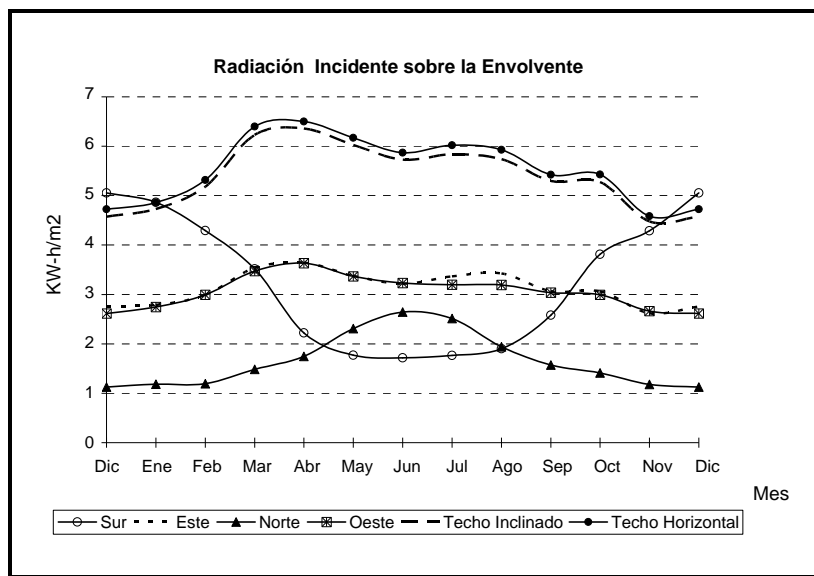


Fig. 5.67 Radiación Incidente sobre la Envolvente en Tepoztlán.



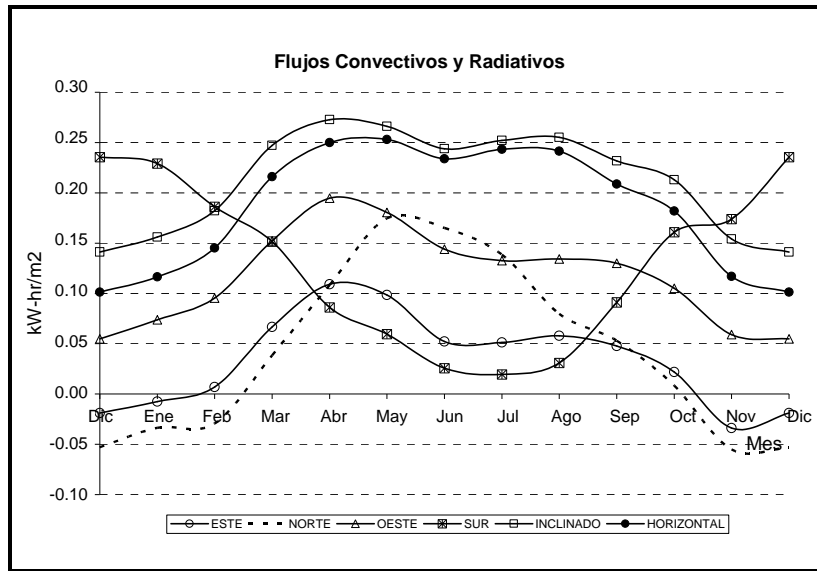


Fig. 5.68 Flujos de Calor que Atraviesan la Envoltura en Tepoztlán.

Las figuras 5.69 y 5.70 muestran la comparación entre las temperaturas promedio ambientales y las interiores en Tepoztlán, de ahí se puede observar que la temperatura promedio interior es mayor que la ambiente para valores promedio diarios y mensuales durante todo el año, es decir, sigue el mismo comportamiento que todos los municipios analizados. Los valores de las temperaturas promedio interiores oscilan entre los 21 y 27 °C para todo el año.

Al interior de la vivienda para el día más cálido se observa que las temperaturas alcanzan los 34 °C a las 17:00 hrs. Para el día más frío se observa que la máxima temperatura interior de 23 °C se alcanza a las 17:00 hrs. (figuras 5.71 y 5.72). En ambas figuras se observa un corrimiento de 3 horas entre las 15:00 y las 18:00 hrs. de la temperatura interior con respecto a la temperatura ambiente, debido a la inercia térmica de la construcción. Sin embargo, en el día más frío el gradiente máximo de temperatura es de 3°C, mientras que en el día más cálido es de 2°C.

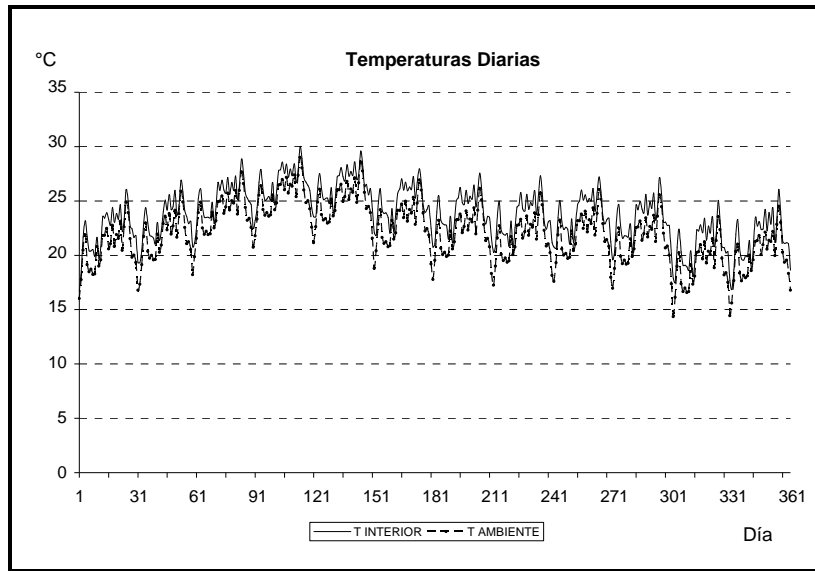


Fig. 5.69 Temperaturas Promedio Diarias en Tepoztlán.

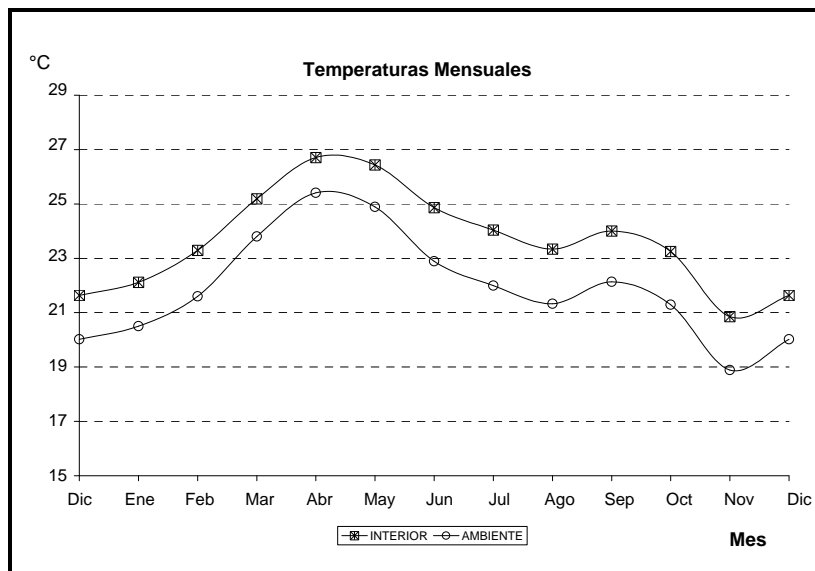


Fig. 5.70 Temperaturas Promedio Mensuales en Tepoztlán.

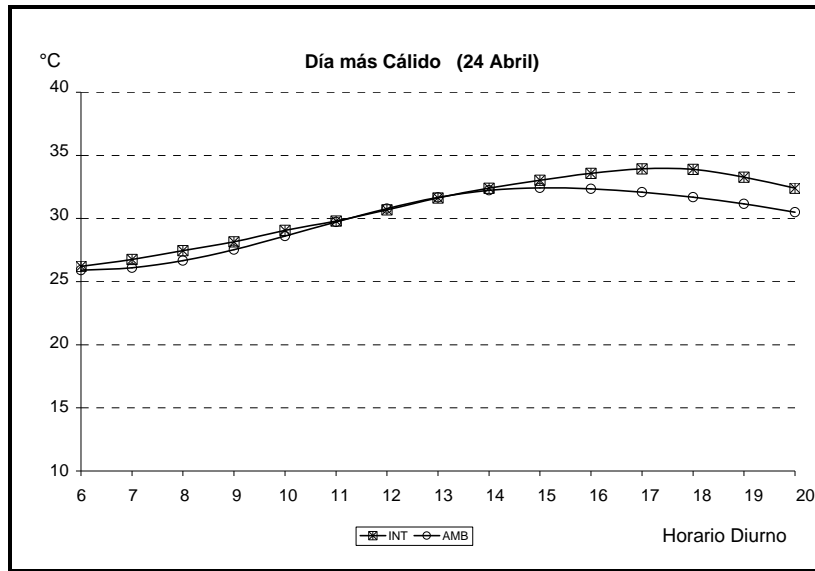


Fig. 5.71 Día más Cálido en Tepoztlán.

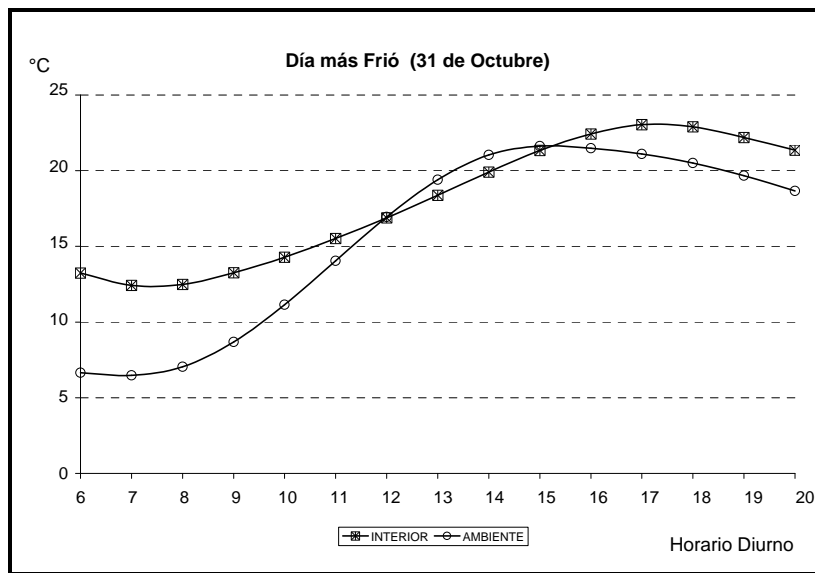


Fig. 5.72 Día más Frío en Tepoztlán.

Las cargas térmicas de la vivienda en Tepoztlán son presentadas en la figura 5.73. Se observa que las cargas para enfriamiento son mayores que para calentamiento para todo el año, excepto para los meses de Noviembre, Diciembre y Enero, en donde las cargas por calentamiento son superiores. La máxima carga de enfriamiento se presenta en el mes de Abril

con 830 kW-h y la mayor carga de calentamiento en Noviembre con 568 kW-h. Las cargas por deshumidificación son muy bajas durante todo el año, destacando la máxima en el mes de Septiembre con 65 kW-h; las referidas a la humidificación solo presentan valores pequeños que oscilan entre 31 y 118 kW-h durante los meses de Diciembre a Abril.

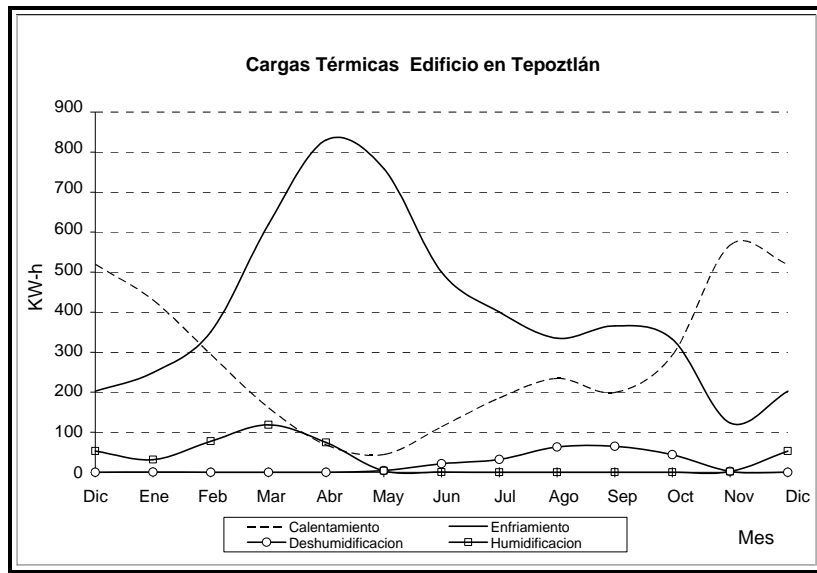


Fig. 5.73 Cargas Sensibles y Latentes en Tepoztlán.

La figura 5.74 muestra las toneladas mensuales para enfriamiento de la vivienda en Tepoztlán. Se puede observar que los meses con mayor capacidad en toneladas de refrigeración son Marzo, Abril, Mayo y Junio, mientras que los meses menor capacidad son Noviembre y Diciembre. En la figura 5.75 se muestra la gráfica de los costos generados por el consumo de energía eléctrica para enfriamiento de la vivienda en Tepoztlán. Aquí se puede observar que los meses con mayor consumo son Marzo, Abril, Mayo y Junio, mientras que los meses con menor consumo son Noviembre y Diciembre.

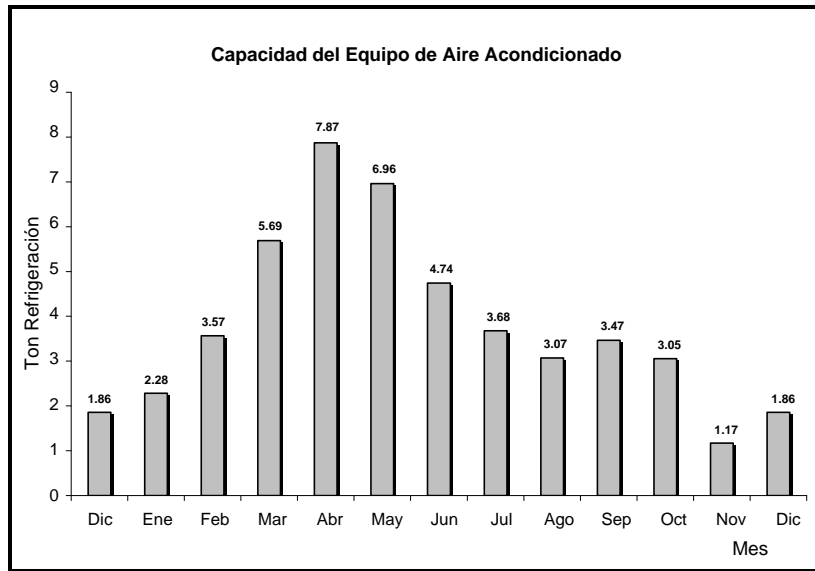


Fig. 5.74 Capacidad del Equipo de Aire Acondicionado en Tepoztlán.

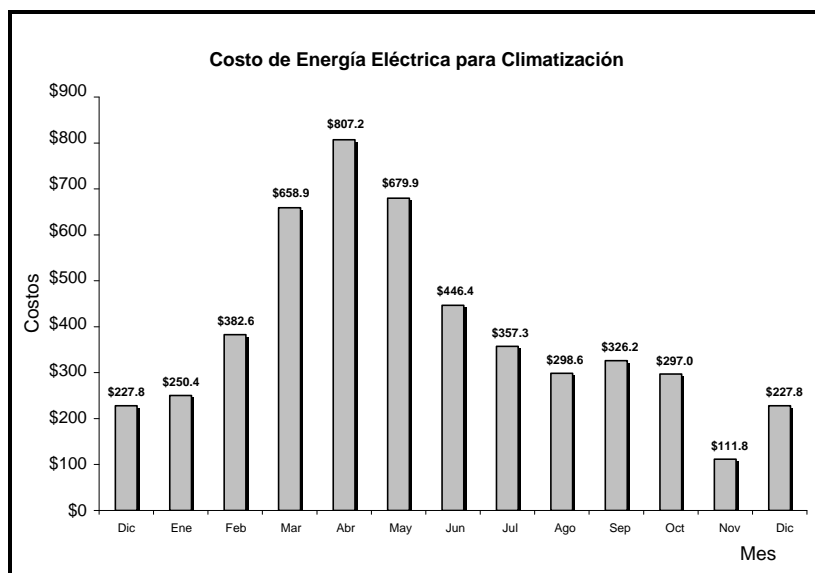


Fig. 5.75 Costos por Climatización en Tepoztlán.

De los resultados obtenidos de las simulaciones en TRNSYS, se concluye que la radiación solar incidente sobre la envolvente muestra claramente como la mejor orientación para el edificio seleccionado es que presenta la fachada con mayor superficie y acristalamiento al Sur). Los flujos de calor por convección y radiación que atraviesan la envolvente muestran un comportamiento similar a la incidencia solar, destacando que en algunos meses el comportamiento del edificio hace que los flujos salgan por el excesivo calentamiento del recinto.

Las temperaturas promedio interiores que se presentan en la vivienda observan mayores valores que las temperaturas ambientales, lo cual justifica la existencia de flujos saliendo de la edificación. Las temperaturas más altas ocurren en el municipio de Tlaquiltenango, seguido por Tilzapotla. Las más bajas son las reportadas en Temoac y Tlayacapan. Además los resultados de las temperaturas del día más cálido y más frío, muestran como la masa térmica de la envolvente es buena para invierno, pero no lo es para verano.

Para las cargas de enfriamiento se observa que Tlaquiltenango y Tilzapotla son los municipios con mayor requerimiento de energía de enfriamiento para el confort; los municipios con menores requerimientos son Temoac y Tlayacapan ubicados en la parte Norte del Estado. Los municipios de Jiutepec, Tepoztlán y Tepalcingo muestran comportamientos muy similares con diferencias no mayores a los 100 kW-h en cada mes. Las cargas de calentamiento siguen un patrón inverso, teniendo los mayores requerimientos en Temoac y Tlayacapan y los menores en Tilzapotla y Tlaquiltenango.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.



## CAPÍTULO 6 RESULTADOS

En esta sección se presenta una discusión final de los resultados por ambas metodologías, tomando en cuenta todos los municipios estudiados. Para los grados-día se muestran los resultados de las demandas de energía para calentamiento y enfriamiento para los siete municipios en ambas temporadas del año. En cuanto a los resultados de las simulaciones por el software TRNSYS, se presentan los resultados del mismo modo para los siete municipios de la incidencia solar mensual, las cargas sensibles y las temperaturas interiores de la vivienda estudiada.

### 6.1 Grados-día

La figura 6.1 presenta los valores de los grados-día de calentamiento acumulados en los diferentes municipios del Estado de Morelos. Se puede observar que el municipio de Temoac es el municipio que más requerimientos de energía para calentamiento necesita con 928 DD, seguido de Tlayacapan que requiere 850 DD. Los municipios más cercanos a la capital del Estado que son Jiutepec y Tepoztlan, presentan valores que oscilan entre los 580 DD; finalmente los menores requerimientos de energía para calentamiento se observan en el municipio de Tlaquiltenango con 515 DD.

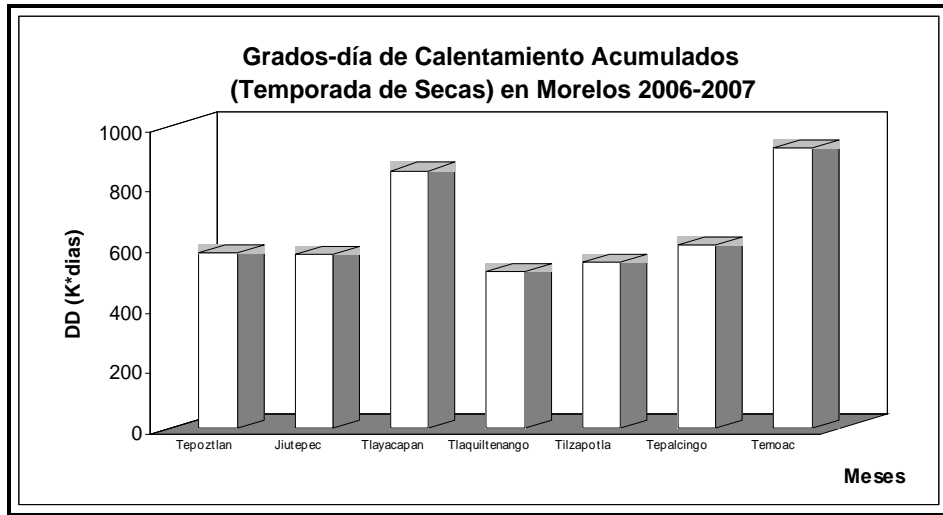


Fig. 6.1 Grados-día de Calentamiento Anuales para el Estado de Morelos.

Para los grados-día de enfriamiento acumulados en el Estado de Morelos (figura 6.2), se puede observar que los municipios de Tlaquiltenango y Puente de Ixtla (Tilzapotla) son los que muestran mayores requerimientos de energía para enfriamiento con 670 y 630 DD, respectivamente. Temoac y Tlayacapan son los municipios que menor cantidad de energía para enfriamiento requieren con 315 y 340 DD, respectivamente. Los municipios de Tepalcingo, Jiutepec y Tepoztlán muestran requerimientos muy similares entre 505 y 510 DD.

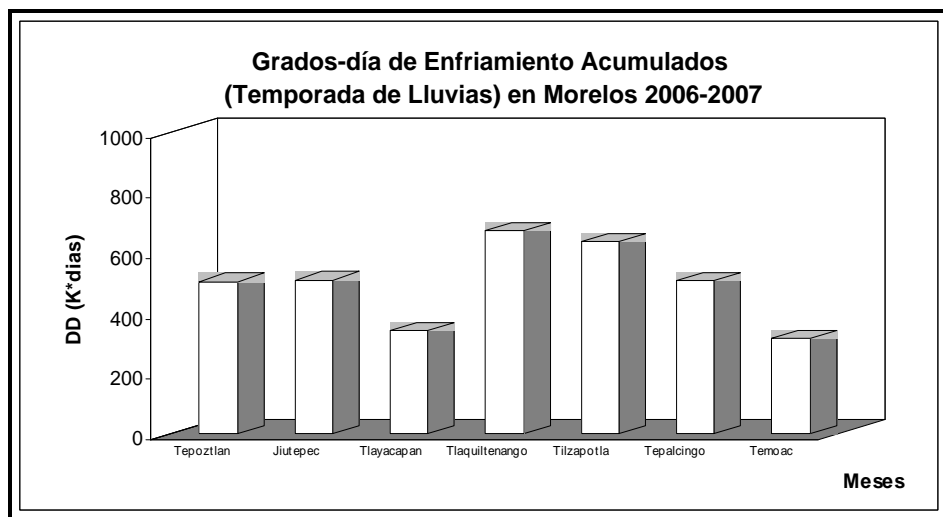


Fig. 6.2 Grados-día de Enfriamiento Anuales para el Estado de Morelos.

## 6.2 TRNSYS

En la figura 6.3 se presentan las salidas de la radiación incidente sobre la superficie horizontal de la vivienda tipo en el Estado de Morelos. Se muestra que el municipio de Tlaquiltenango es el que presenta una mayor insolación de Abril a Noviembre, mientras que Temoac presenta mayores valores para los meses de Diciembre a Marzo. El municipio de Tepalcingo es el que recibe la menor incidencia solar de los siete municipios estudiados. Jiutepec y Tepoztlán presenta valores muy similares de la radiación solar, estando por arriba de Tepalcingo y por debajo de Tlayacapan y Tilzapotla. Esta clasificación del Estado en cuanto a la incidencia solar es fundamental para tomar decisiones con respecto al uso de nuevas tecnologías con aplicaciones solares de acuerdo a la cantidad de energía solar que reciben estos municipios.

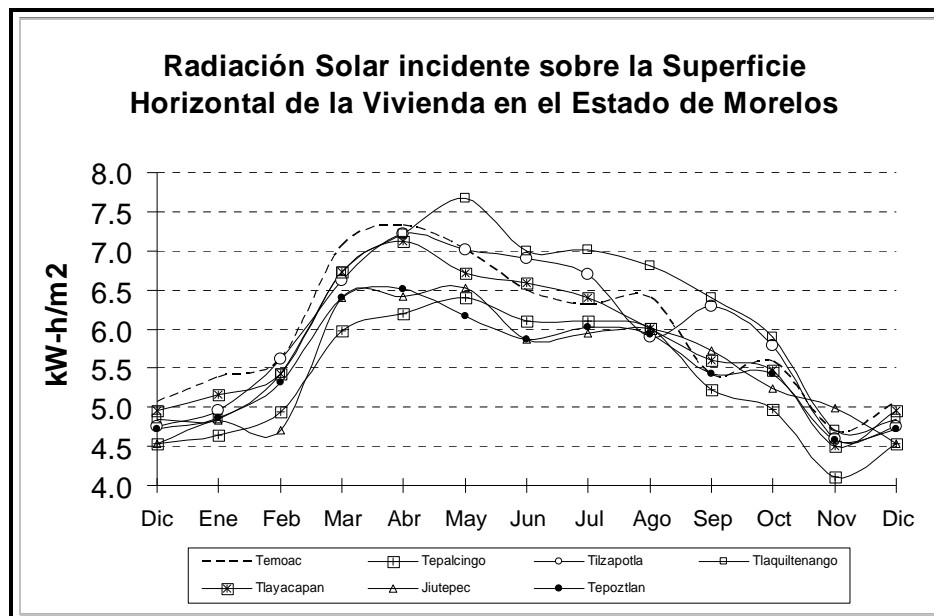


Fig. 6.3 Insolación sobre Superficies Horizontales en el Estado de Morelos.

Las figuras 6.4 y 6.5 presentan el compilado de las cargas de enfriamiento y calentamiento en los siete municipios reportados del estado de Morelos. Para las cargas de enfriamiento se observa que Tlaquiltenango y Tilzapotla son los municipios con mayores requerimientos de energía para enfriamiento; los municipios con menores requerimientos son

---

Temoac y Tlayacapan ubicados en la parte Norte del Estado. Los municipios de Jiutepec, Tepoztlan y Tepalcingo muestran comportamientos muy similares con diferencias no mayores a los 100 kW-h en cada mes. Las cargas de calentamiento siguen un patrón inverso, teniendo los mayores requerimientos en Temoac y Tlayacapan y los menores en Tilzapotla y Tlaquiltenango. Con base en estos resultados se pueden realizar consideraciones de diseño de las edificaciones para ahorrar energía, aplicaciones solares y una adecuada instalación de equipos de climatización. Por ejemplo, para bajar los consumos de energía se pueden tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Recubrir los techos con pinturas que sean altamente reflejantes, ya que el impermeabilizante original era de color rojo que tiene una alta absortividad térmica.
2. Cambiar la orientación original de la vivienda estudiada, que era con la parte frontal al este, lo cual tenía como consecuencia altas ganancias al interior. Se recomienda como la mejor orientación la que expone la pared de mayor superficie y acristalamiento al Sur.
3. Aislar térmicamente las paredes para impedir el paso de los flujos de calor sobre la envolvente de la vivienda estudiada.
4. Agregar sombreados retractiles para impedir el paso directo de la radiación solar en las superficies acristaladas.
5. Hacer entradas aire (ventilación natural) de acuerdo a la orientación predominante del viento para cada región.
6. Cambiar a dobles acristalamientos en ventanas y las lámparas incandescentes por fluorescentes
7. Elegir adecuadamente los equipos de climatización de acuerdo a los espacios y la capacidad de carga, además de mantenerlos en las mejores condiciones, de modo que no se altere su eficiencia y su consumo de energía eléctrica.

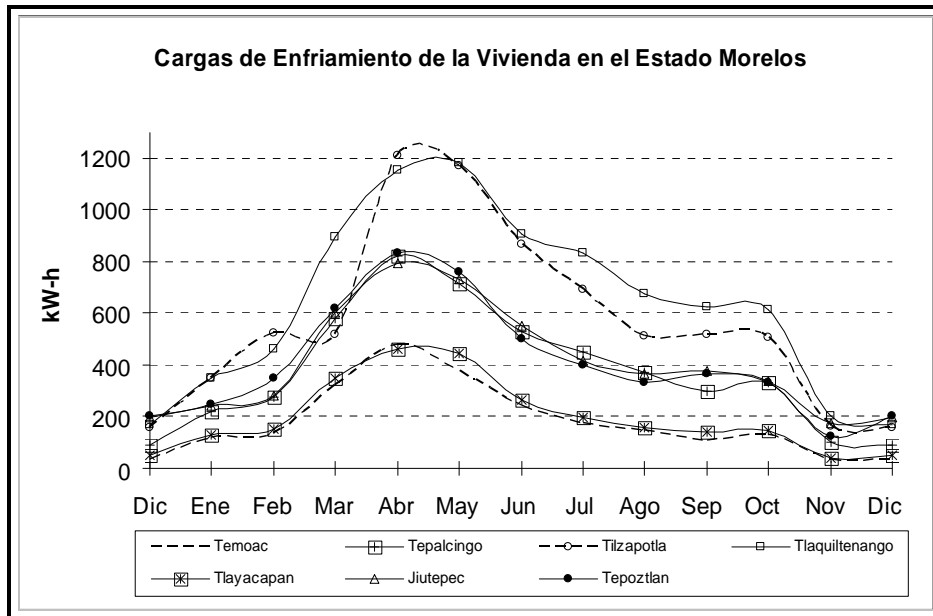


Fig. 6.4 Cargas de Enfriamiento en los Siete Municipios del Estado de Morelos.

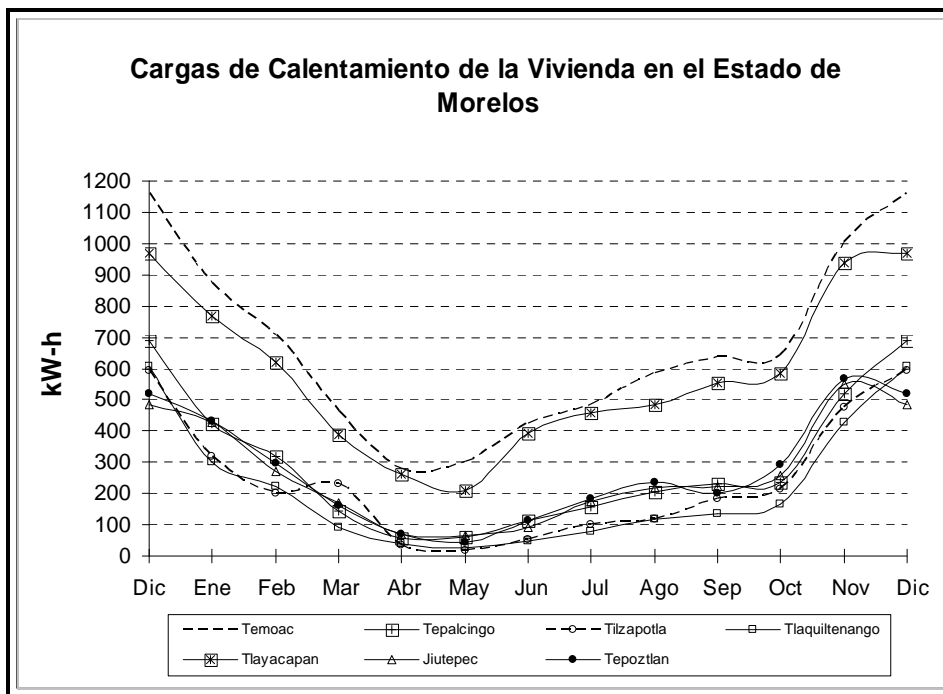


Fig. 6.5 Cargas de Calentamiento en los Siete Municipios del Estado de Morelos.

Por último se presentan las temperaturas promedio al interior de la vivienda en los siete municipios reportado en este estudio. La figura 6.6 muestra la comparación de las temperaturas promedio interiores del edificio a lo largo del año. Las temperaturas promedio más altas ocurren en el municipio de Tlaquiltenango, seguido por Tlzapotla. Las más bajas son las reportadas en Temoac y Tlayacapan, mientras que para los municipios restantes arrojan valores con menores diferencias, estando en medio de los valores extremos. En todo el Estado de Morelos las temperaturas promedio mensuales al interior de la vivienda tipo oscilan entre 18 y 29 °C para todo el periodo de un año.

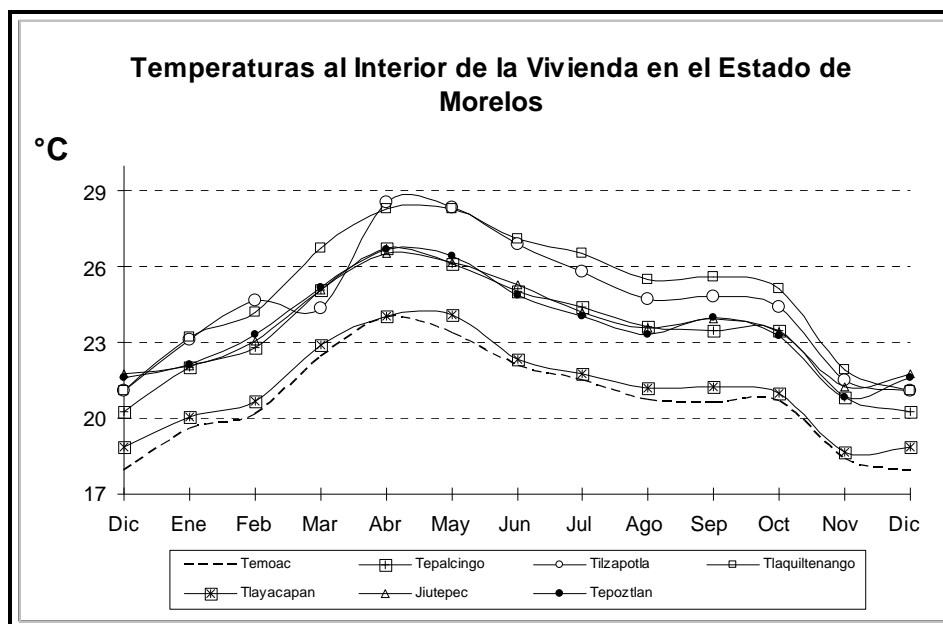


Fig. 6.6 Temperaturas Promedio Interiores de los siete Municipios del Estado de Morelos.

### 6.3 Comparativo entre Grados-día y TRNSYS

La parte final de los resultados presentados en este estudio comprende un análisis comparativo entre las metodologías que proporcionan las demandas de energía obtenidas por grados-día y TRNSYS, con base en las cargas por enfriamiento para la temporada de lluvias. Debido a que los resultados en el TRNSYS por calentamiento son mínimos en la mayoría de los municipios estudiados a diferencia de los obtenidos por grados-día, solo se presentan las cargas de enfriamiento. El objetivo principal de esta comparación es visualizar las diferencias

existentes entre ambas metodologías con un análisis a la par del mismo caso de estudio y así, hacer recomendaciones finales sobre la calidad de los resultados de estudios que emplean alguna de estas dos metodologías.

### **TEMOAC**

La figura 6.7 y la tabla 6.1 presentan en forma tabular y gráfica la comparación de los resultados de la cantidad de energía requerida para enfriamiento en Temoac por las dos metodologías: Grados-día y TRNSYS. Se observa que la demanda de energía por Grados-día en Mayo es muy cercana, con una diferencia del 5% con respecto a la obtenida por TRNSYS; al avanzar los meses esta diferencia se incrementa hasta que en los meses de Septiembre y Octubre se muestran rangos cercanos al 50%.

Tabla 6.1 Cargas de Enfriamiento en kW-h y Diferencia Porcentual entre Grados-día y TRNSYS en Temoac

<b>Meses (Enfriamiento)</b>	<b>TRNSYS (kW-h)</b>	<b>Grados-día (kW-h)</b>	<b>Diferencia %</b>
<b>Mayo</b>	<b>378</b>	<b>400</b>	<b>5</b>
<b>Junio</b>	<b>243</b>	<b>298</b>	<b>19</b>
<b>Julio</b>	<b>174</b>	<b>294</b>	<b>41</b>
<b>Agosto</b>	<b>145</b>	<b>273</b>	<b>47</b>
<b>Septiembre</b>	<b>110</b>	<b>238</b>	<b>54</b>
<b>Octubre</b>	<b>129</b>	<b>265</b>	<b>51</b>

Para Temoac claramente los resultados obtenidos por grados-día sobrestiman los obtenidos por TRNSYS, mostrando un aumento conforme avanza la temporada de lluvias.



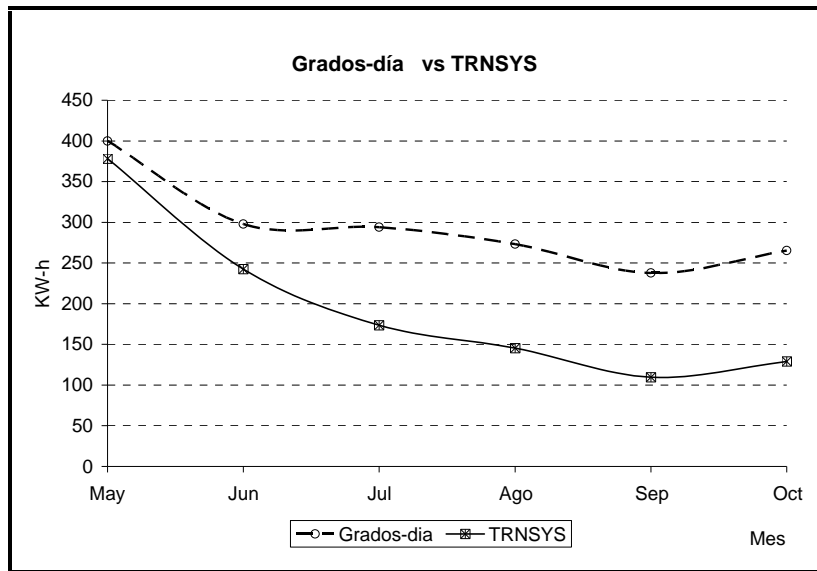


Fig. 6.7 Comparativo de Cargas de Enfriamiento por Grados-día y TRNSYS en Temoac

### TEPALCINGO

Para el municipio de Tepalcingo la figura 6.8 y la tabla 6.2 presentan en forma tabular y gráfica la comparación de los resultados de la cantidad de energía requerida para enfriamiento por ambas metodologías. Se observa que la demanda de energía para Mayo y Junio muestra diferencias de alrededor del 10%, en Julio se observa la menor diferencia con 5% y de ahí en adelante se comienza a elevar la demanda obtenida por grados-día hasta llegar a diferencias cercanas al 23% en Octubre.

Tabla 6.2 Cargas de Enfriamiento en kW-h y Diferencia Porcentual entre Grados-día y TRNSYS en Tepalcingo

Meses (Enfriamiento)	TRNSYS (kW-h)	Grados-día (kW-h)	Diferencia %
Mayo	715	630	12
Junio	530	486	8
Julio	453	477	5
Agosto	372	438	15
Septiembre	301	385	22
Octubre	331	432	23

Finalmente de los resultados obtenidos se observa como para los primeros meses de la temporada de lluvias los resultados de TRNSYS sobrestiman a los obtenidos por grados-día y a partir de Julio se invierte esta tendencia.

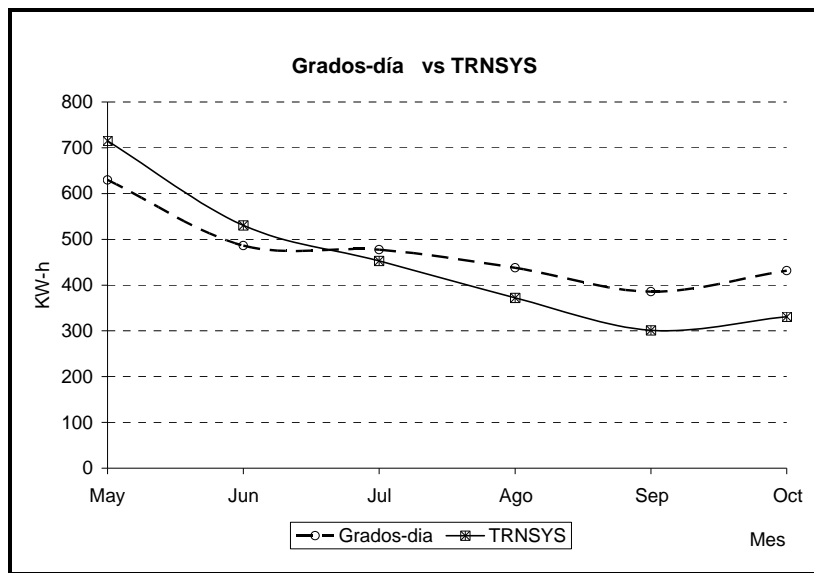


Fig. 6.8 Comparativo de Cargas de Enfriamiento por Grados-día y TRNSYS en Tepalcingo

### TILZAPOTLA

En Tilzapotla los resultados se muestran en la figura 6.9 y la tabla 6.3. Se observa que la demanda de energía para Mayo y Junio tiene diferencias porcentuales del 26 %, y a partir de Julio comienza a disminuir hasta que el mes de Octubre se cierran estos intervalos a menos del 10%.

Tabla 6.3 Cargas de Enfriamiento en kW-h y Diferencia Porcentual entre Grados-día y TRNSYS en Tilzapotla

Meses (Enfriamiento)	TRNSYS (kW-h)	Grados-día (kW-h)	Diferencia %
Mayo	1169	865	26
Junio	869	639	26
Julio	691	577	16
Agosto	513	524	2
Septiembre	516	464	10
Octubre	504	482	4

De Mayo a Agosto la demanda de energía por TRNSYS sobrestima a la obtenida por grados-día; en el mes de Agosto se presenta la menor diferencia con solo 2% y en los meses de Septiembre y Octubre se vuelven a despegar un poco hasta diferencias cercanas al 10%.

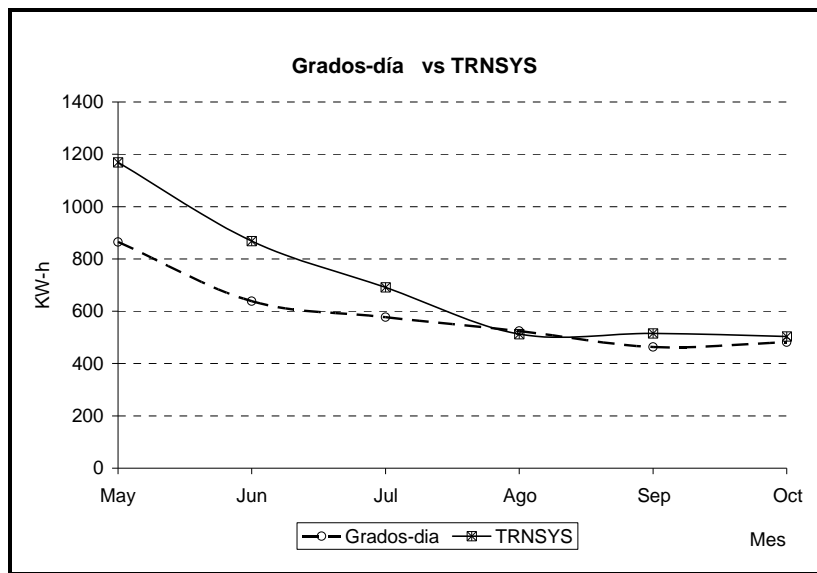


Fig. 6.9 Comparativo de Cargas de Enfriamiento por Grados-día y TRNSYS en Tlzapotla

### TLAQUILTENANGO

En la figura 6.10 y la tabla 6.4 se presentan los resultados obtenidos para las demandas de energía por grados-día y TRNSYS para Tlaquiltenango. Se observa que la diferencia entre las demandas de energía para Mayo es de 30% y comienza a disminuir hasta el último mes de la temporada de lluvias, donde se tiene una diferencia porcentual del 12%.

Tabla 6.4 Cargas de Enfriamiento en kW-h y Diferencia Porcentual entre Grados-día y TRNSYS, Tlaquiltenango

Meses (Enfriamiento)	TRNSYS (kW-h)	Grados-día (kW-h)	Diferencia %
Mayo	1182	832	30
Junio	906	655	28
Julio	834	643	23
Agosto	677	577	15
Septiembre	625	519	17
Octubre	612	538	12

En el municipio de Tlaquiltenango la demanda de energía obtenida por TRNSYS sobrestima los resultados obtenidos por grados-día para la temporada completa de enfriamiento.

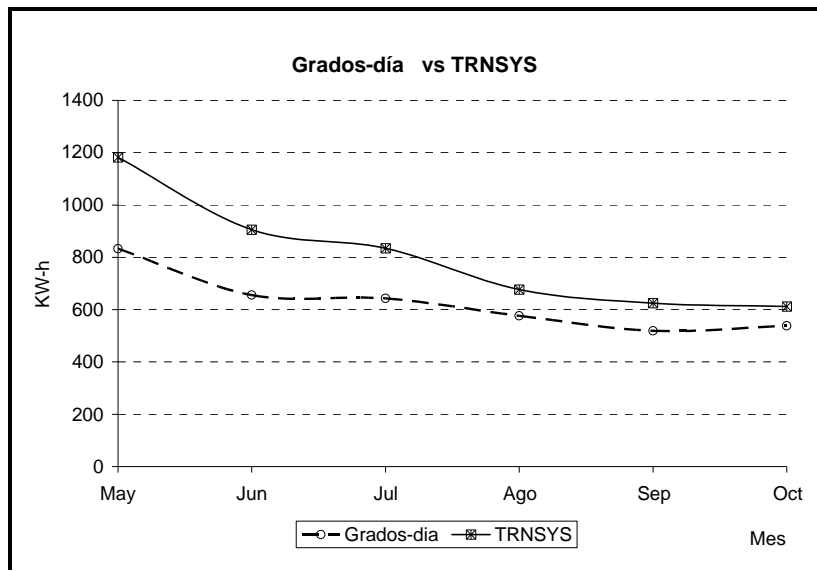


Fig. 6.10 Comparativo de Cargas de Enfriamiento por Grados-día y TRNSYS en Tlaquiltenango

### TLAYACAPAN

Tlayacapan muestra los resultados obtenidos para las demandas de energía por grados-día y TRNSYS en la figura 6.11 y la tabla 6.5. Aquí se puede observar como la diferencia va aumentando conforme pasan los meses de la temporada de Mayo a Octubre. En el mes de Mayo la diferencia porcentual es mínima con un 3% y va aumentando hasta el mes de Octubre, donde la diferencia es de 48%.

Tabla 6.5 Cargas de Enfriamiento en kW-h y Diferencia Porcentual entre Grados-día y TRNSYS en Tlayacapan

Meses (Enfriamiento)	TRNSYS (kW-h)	Grados-día (kW-h)	Diferencia %
Mayo	443	455	3
Junio	265	311	15
Julio	196	307	36
Agosto	157	298	47
Septiembre	140	260	46
Octubre	147	281	48

En general los resultados de la demanda de energía para enfriamiento por grados-día sobrestiman los resultados obtenidos por TRNSYS, con aumentos conforme avanza la época de lluvias.

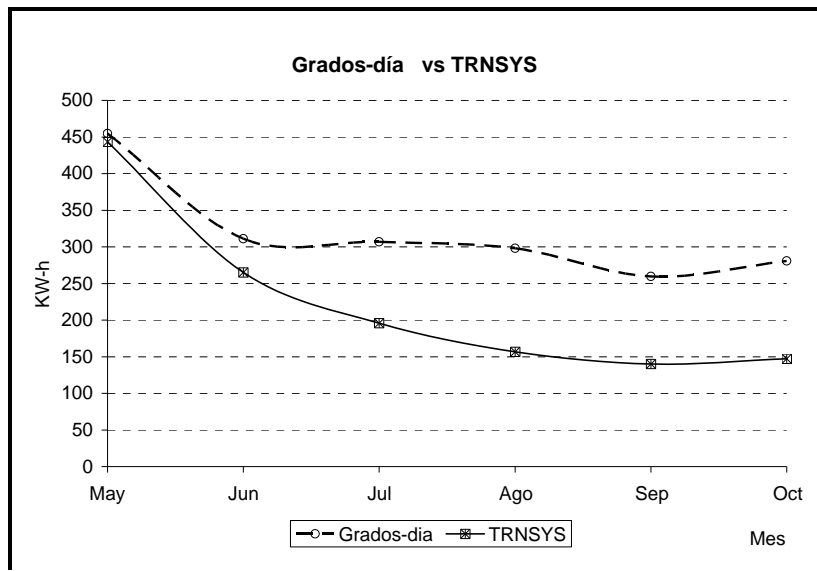


Fig. 6.11 Comparativo de Cargas de Enfriamiento por Grados-día y TRNSYS en Tlayacapan

### JIUTEPEC

En la figura 6.12 y la tabla 6.6 se presenta la comparación entre las demandas de energía por grados-día y TRNSYS para Jiutepec. En este municipio se observa como la diferencia comienza con valores altos de 26% y conforme avanza el periodo de lluvias se van haciendo menos considerables estas diferencias (3-6%).

Tabla 6.6 Cargas de Enfriamiento en kW-h y Diferencia Porcentual entre Grados-día y TRNSYS en Jiutepec

Meses (Enfriamiento)	TRNSYS (kW-h)	Grados-día (kW-h)	Diferencia %
Mayo	731	542	26
Junio	552	449	19
Julio	418	394	6
Agosto	364	375	3
Septiembre	376	352	6
Octubre	337	372	10

Para los primeros meses los resultados obtenidos por TRNSYS son mayores que los generados por grados-día, pero a partir de Julio se cierran mucho las diferencias haciendo en algunos puntos mayores los valores por TRNSYS y en otros los valore por grados-día. En el municipio Jiutepec no se puede apreciar una tendencia homogénea para ambas metodologías lo cual hace difícil poder comparar su comportamiento.

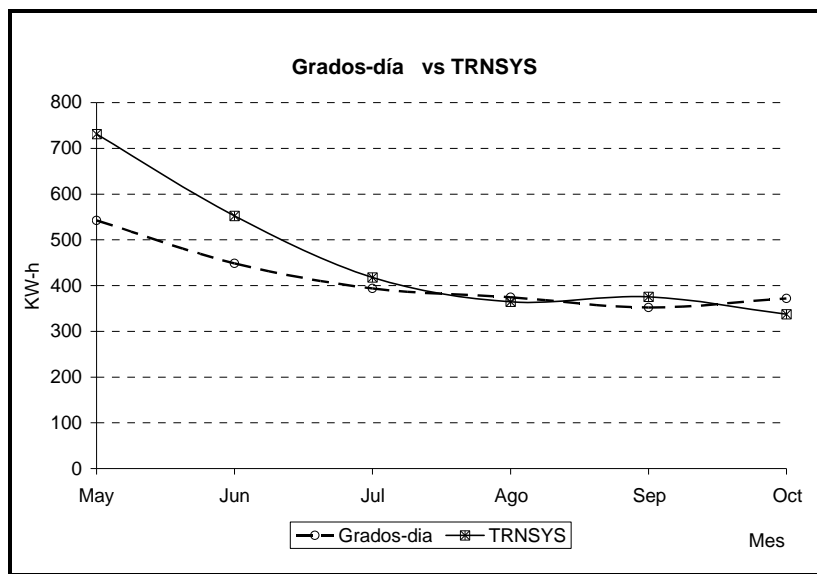


Fig. 6.12 Comparativo de Cargas de Enfriamiento por Grados-día y TRNSYS en Jiutepec

### **TEPOZTLAN**

El último municipio del Estado que se comparó es Tepoztlán, aquí los resultados obtenidos para las demandas de energía por grados-día y TRNSYS se observan en la figura 6.13 y la tabla 6.7. Claramente en Tepoztlán se ve como las diferencias porcentuales mayores no exceden del 25%. Los meses de Mayo y Junio muestran como los resultados obtenidos por TRNSYS sobrestiman los obtenidos por grados-día, los últimos meses de la temporada de enfriamiento se invierte este comportamiento, ahora siendo mayores los valores de la demanda por grados-día que los valores obtenidos por TRNSYS.

Tabla 6.7 Cargas de Enfriamiento en kW-h y Diferencia Porcentual entre Grados-día y TRNSYS en Tepoztlán

Meses (Enfriamiento)	TRNSYS (kW-h)	Grados-día (kW-h)	Diferencia %
Mayo	759	660	13
Junio	500	474	5
Julio	401	443	11
Agosto	335	414	24
Septiembre	366	417	14
Octubre	333	414	24

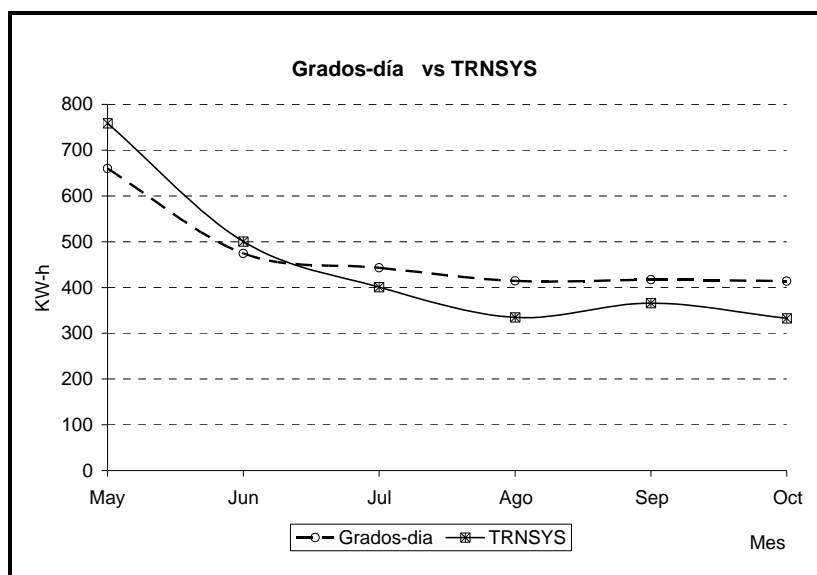


Fig. 6.13 Comparativo de Cargas de Enfriamiento por Grados-día y TRNSYS en Tepoztlan

De todos los resultados anteriores se puede inferir claramente como en los municipios localizados en latitudes al Norte del Estado (Tlayacapan y Temoac), los resultados de la demanda de energía obtenida por grados-día sobrestiman a los obtenidos por el TRNSYS. Para los municipios con climas más cálidos que se localizan al Sur del Estado (Tlaquiltenango y Tilzapotla), son los resultados obtenidos por TRNSYS los que sobrestiman a los generados por la metodología de los grados-día. Y para los municipios restantes que se encuentran en la zona centro del Estado, la demanda de energía presenta oscilaciones que no permiten decir claramente cual de las dos metodologías sobrestima a la otra.

---

De los resultados anteriores y de acuerdo a los gráficos reportados en este estudio de la radiación solar y la humedad relativa, se infiere que para los municipios de Tlayacapan y Temoac, se tiene sobrestimada la demanda de energía para enfriamiento por grados-día sobre la obtenida por TRNSYS, debido a que en estos municipios no se tienen altas concentraciones de energía solar, a diferencia de las presentadas en los municipios de Puente de Ixtla (Tilzapotla) y Tlaquiltenango que demuestran una sobrestimación de la demanda obtenida por TRNSYS sobre la que muestran los grados-día. Además de la radiación solar, la humedad relativa también afecta, aunque en menor término, ya que las cargas latentes arrojadas por TRNSYS son mínimas para todo el Estado de Morelos en general.

Por último, al tomar en cuenta que el método de solución de sistemas transitorios empleado por TRNSYS y el mayor número de variables involucradas en dicho proceso de solución, se tienen que tomar en cuenta los resultados por grados-día como aproximaciones de la demanda de energía, pero no suficientes para ser tomadas en cuenta para el diseño de edificaciones, donde los resultados generados por el TRNSYS son los más cercanos a la realidad, sin dejar de mencionar que como cualquier método numérico se tendrán diferencias existentes, que con base en estudios más profundos se pueden ir discriminando, pero nunca por completo.



This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

# **CAPÍTULO 7**

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

La última parte de este trabajo se concentra en realizar las conclusiones finales del estudio completo, además se realizan las recomendaciones pertinentes para continuar con la línea de estudio que siguió esta investigación.

## **7.1 Conclusiones**

De acuerdo al objetivo planteado al inicio de esta tesis, se concluye que al finalizar la investigación y una vez que se han obtenido los resultados buscados, el objetivo general, así como los objetivos particulares se cumplen satisfactoriamente al realizar un estudio de las principales variables climáticas por medio de la recolección y procesamiento de datos meteorológicos, la generación de los mapeos de las variables climáticas, el estudio de la distribución de los grados-día en el Estado, la clasificación climática del Estado con datos reales y de mediciones recientes, y finalmente las simulaciones dinámicas con fines de evaluar térmicamente una vivienda tipo en el Estado de Morelos, por medio del paquete de cómputo TRNSYS.

El estudio se llevó a cabo por etapas, en las cuales se cumplieron los objetivos particulares planteados al inicio, de lo cual se concluye lo siguiente:

1. Durante un periodo de un año, se realizó la recolección y procesamiento de los datos del clima de las cinco estaciones meteorológicas automáticas de Cenidet, ubicadas a lo largo del Estado de Morelos y se obtuvieron datos de otras seis estaciones meteorológicas automáticas del SMN para completar el estudio de las variables climáticas.
2. Se procesaron los datos obtenidos de la recolección para la graficación en valores diarios y mensuales, así como la realización de los mapas del clima; las variables reportadas en este estudio son: radiación solar, temperaturas medias y extremas, humedad relativa y viento en velocidad y dirección.
3. De los resultados obtenidos del procesamiento y mapeos de las variables climáticas se observa lo siguiente:
  - a) Para la radiación solar promedio mensual en el Estado de Morelos, se tiene que en los primeros tres meses del año los valores máximos se concentran en las partes noreste y suroeste del Estado. La incidencia solar mínima se concentra en la región noroeste. Las mayores concentraciones de la radiación solar en el año son para los meses de Abril a Junio con valores máximos entre los 6.4 a 7.2 kW-h/m<sup>2</sup>. A partir de Julio y hasta Diciembre la concentración máxima de la radiación se presenta en la parte suroeste solamente, destacando el municipio de Puente de Ixtla.
  - b) Los resultados para las temperaturas muestran que los meses con temperaturas promedios más altas son Abril, Mayo y Junio con máximos que oscilan entre los 25 y los 27 °C. Los últimos meses del año presentan las menores temperaturas promedio destacando Noviembre y Diciembre como los más fríos. Las temperaturas en el Estado descienden de Norte a Sur en todos los meses del año.
  - c) Para la humedad relativa los resultados muestran que los valores más bajos se presentan en la zona Sur del Estado, en la parte central la humedad permanece mas uniforme y se destaca el mes de Septiembre que presenta la mayor humedad en el año. De los gráficos de la humedad relativa se pueden distinguir claramente las dos temporadas del año (lluvias y secas).

- 
- 
- d) La velocidad del viento presenta una distribución uniforme a lo largo de todo el año, con valores máximos en la región noroeste y mínimos en la región sureste que forma una lengua de viento.
  - e) De los mapas de elevación se concluye que la orografía no influye en la radiación solar ni en la humedad relativa, sin embargo en las temperaturas y la velocidad del viento si hay gran influencia de las zonas con distintos relieves.
4. De los resultados del procesamiento en la carta psicrométrica se observa lo siguiente: para los municipios de Temoac y Tlayacapan se tienen un clima templado-húmedo en los primeros meses del año y moderado-húmedo en los últimos, con ventilación como principal estrategia de climatización; los municipios de Jiutepec, Tepoztlan y Tepalcingo presentan un clima templado-húmedo en todo el año, con ventilación como la principal estrategia de climatización; finalmente los municipios de Tlaquiltenango y Puente de Ixtla tienen climas templados-húmedos para principios de año y cálido-húmedos en la segunda parte del año, con estrategias de climatización que involucren una fuerte ventilación o aire acondicionado.
  5. Del análisis de la distribución de los grados-día, se puede clasificar el Estado de acuerdo a los requerimientos de energía para calentamiento y enfriamiento. Para los grados-día de calentamiento se observa que el municipio de Temoac es el municipio con mayores requerimientos de energía para calentamiento con 928 DD anuales, mientras que la demanda va descendiendo hacia el Sur del Estado con requerimientos mínimos en Tlaquiltenango con 515 DD. Para la demanda de energía para enfriamiento se destacan los mayores requerimientos en los municipios de Tlaquiltenango y Tilzapoltla con 650 DD en promedio anual, y los menores en Temoac y Tlayacapan con 328 DD en promedio. A partir de estas demandas de energía se obtuvieron los costos por consumo de energía eléctrica que siguen el mismo patrón que los grados-día.
  6. Las simulaciones térmicas en TRNSYS arrojan resultados donde se rescata lo siguiente:
    - a) Las salidas de la radiación solar incidente sobre la envolvente muestran claramente como la mejor orientación para el edificio seleccionado es la número 2 (fachada con mayor superficie y acristalamiento al Sur), debido a que durante el periodo de lluvias que es cuando se tienen las mayores temperaturas, la radiación solar es la menor en todo el año

- y en la temporada de secas, la radiación solar aumenta a valores máximos, lo cual conviene para obtener ganancias en invierno y reducirlas en verano. Esto se refuerza con un comparativo realizado para las cargas térmicas de enfriamiento en los siete municipios, donde las menores ganancias se presentan en esta orientación. Tlaquiltenango es el municipio que presenta una mayor insolación sobre los techos de Noviembre a Abril y Temoac presentan estos máximos de Diciembre a Marzo. Tepalcingo es el municipio con menor insolación en todo el año.
- b) Los flujos de calor por convección y radiación que atraviesan la envolvente muestran un comportamiento similar a la incidencia solar, destacando que en algunos meses el comportamiento del edificio hace que los flujos salgan por el excesivo calentamiento del recinto.
  - c) Las temperaturas promedio interiores que se presentan en la vivienda observan mayores valores que las temperaturas ambientales, lo cual justifica la existencia de flujos saliendo de la edificación. Las temperaturas más altas ocurren en el municipio de Tlaquiltenango, seguido por Tilzapotla. Las más bajas son las reportadas en Temoac y Tlayacapan.
  - d) Para las cargas de enfriamiento se observa que Tlaquiltenango y Tilzapotla son los municipios con mayor requerimiento de energía de enfriamiento para el confort; los municipios con menores requerimientos son Temoac y Tlayacapan ubicados en la parte Norte del Estado. Los municipios de Jiutepec, Tepoztlán y Tepalcingo muestran comportamientos muy similares con diferencias no mayores a los 100 kW-h en cada mes. Las cargas de calentamiento siguen un patrón inverso, teniendo los mayores requerimientos en Temoac y Tlayacapan y los menores en Tilzapotla y Tlaquiltenango.
7. Finalmente, del estudio comparativo realizado para la obtención de la demanda de energía por las metodologías de los grados-día y TRNSYS se concluye lo siguiente:
- a) El método de los grados-día arroja resultados muy buenos para estudios de la demanda de energía en forma regional, sin embargo los resultados distan mucho de ser buenas aproximaciones para el caso particular de edificaciones donde las consideraciones físicas del edificio y las variables deben ser mayores y de más calidad.

- b) La naturaleza transitoria y multivariable de las simulaciones dinámicas en el TRNSYS, lo hacen una mejor aproximación de la realidad para estudios de evaluación de la demanda de energía.
- c) Debido al comportamiento de la demanda de energía por grados-día y TRNSYS mostrado en los resultados, se dicta imposible realizar algún tipo de modelo de inferencia estadística para predecir resultados a partir de una sola metodología.

## 7.2 Recomendaciones

Uno de los objetivos más importantes de cualquier trabajo de investigación es el dejar abiertas nuevas líneas o posibilidades de extensión para trabajos futuros, solo así se podrá profundizar en el conocimiento. A continuación se listan las principales recomendaciones para trabajos futuros:

1. Instalar al menos cinco estaciones automáticas más y distribuirlas estratégicamente en el Estado para obtener una clasificación climática más fina y mapeos con mejores interpolaciones.
2. Tener una base de datos histórica con al menos tres años de registros meteorológicos para obtener resultados de las simulaciones más representativos y de mejor calidad.
3. Con base en los resultados de las cartas de climatización, realizar simulaciones con mejoras en la vivienda por medio de acondicionamiento solar pasivo y así poder diagnosticar el ahorro de energía.
4. Realizar un estudio paramétrico variando las orientaciones y los componentes (materiales de construcción, aislamientos, recubrimientos, acristalamientos, sombreados, etc.) de la vivienda seleccionada para poder dictar recomendaciones de mejoras en la construcción.
5. Realizar mediciones experimentales para validar los resultados numéricos en la vivienda seleccionada.
6. Realizar un estudio de (CFD) del movimiento de los fluidos al interior del edificio con fines de realizar mejoras en la ventilación del mismo.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

---

---

## BIBLIOGRAFÍA

Aguilar J., Gómez L., Matsumoto Y., Urbano A., Asomoza R., Mota J., Granados J., “Determinación del Ángulo Acimutal Óptimo Basados en los Datos de la Radiación Solar del Observatorio de Tacubaya”. Memorias de la 23 Semana Nacional de la Energía, págs. 315-320, México, 1999.

Aguilar J., Arancibia C., Estrada C., “Análisis de Datos de Radiación Solar Global y Temperatura Ambiente en Temixco, Morelos”. Memorias de la 26 Semana Nacional de la Energía, págs. 579-582, México, 2002.

Álvarez G., Fuentes V., “**Notas del Curso Especializado Arquitectura Bioclimático**”. ISES Millennium Solar Forum, México, 2000.

Athienitis K., Santamouris A., “Thermal Analysis and Design of Passive Solar Buildings”. Ed. James & James. 2002.

Badescu V., Zamor E., “Degree-days, degree-hours and ambient temperature bin data from monthly-average temperatures in Romania”. Int. J. Energy Conversion and Management, Vol.40, Págs. 885-900, 1999.

Bansal N. K., Bhandari M.S., “Comparison of the Periodic Solution Method with TRNSYS and SUNCODE for Thermal Building Simulation”. Int. J. Solar Energy, Vol.57, Págs. 9-18, 1996.

Baumert K., Selman M., “Heating and Cooling Degree Days”. World Resources Institute, 2003.

Beckman, W.A. **TRNSYS A transient system simulation program, TRNSYS Manual, Version 15**: SEL, University of Wisconsin, Madison, WI. 2000.

Buyukalaca O., Bulut H., Yilmaz T., “Analysis of variable-base Heating and Cooling Degree-Days for Turkey”. Int. J. Applied Energy, Vol.69, Págs. 269-283, 2001.

Carlo J., Lamberts R., “Urban Climate and its Influence on Energy Consumption a Case Study in two Brazilian Cities”. Seventh International IBPSA Conference, Río de Janeiro, Brazil, 2001.

Cartalis C., Synodinou A., Proedrou M., Tsangrassoulis A., Santamouris M., “Modifications in Energy Demand in Urban Areas as a Result of Climate Changes: an Assessment for the Southeast Mediterranean Region”. Int. J. Energy Conversion and Management, Vol.42, Págs. 1647-1656, 2001.



Christenson M., Manz H., Gyalistras D., “**Climate Warming impact on Degree Days and Building Energy demand in Switzerland**”. Int. J. Energy Conversion and Management, Vol.47, Págs. 671-686, 2005.

CIEMAT, “La Energía Solar en la Edificación”. Ministerio de Ciencia y Tecnología de España. 2002.

Dirección General de Energía y Transporte de la Unión Europea. “Energy use in buildings: Use it better, use it less”. [http://ec.europa.eu/dgs/energy\\_transport/publication/..](http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/publication/) 2005.

Duffie J., Beckman W., “**Solar Engineering of Thermal Processes**”. John Wiley & Sons, United States of America, 1991.

Esquerra P., “Climatización de Confort Industrial”. Boixareu Editores, España, 1992.

Fiksel A, J.W. Thompson, S.A. Klein y W. A. Beckman. “Developments to the TRNSYS Simulation Program”. Journal of Solar Energy Engineering-Transactions of the ASME, 117,2 c.00123-00127, 1995.

Goribar H. “Fundamentos de Aire Acondicionado y Refrigeración”. Editorial Limusa. 2006.

Goulding J., Owens J., Steemers T., “Energy and Architecture: The European Passive Handbook Publication”, No. EUR 13446, Batsford for the Commission of European Communities of London. 1993.

IDAE. “Fundamentos Técnicos de la Calificación Energética de Viviendas”. Ministerio de Fomento. Dirección General de la Vivienda, la Arquitectura y el Urbanismo. 1999.

Incropera F. y Dewitt D.”**Fundamentos de Transferencia de Calor**”. Prentice Hall. México, 2005.

Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores, INFONAVIT. “Plan Financiero 2005-2009”. [www.infonavit.gob.mx](http://www.infonavit.gob.mx), 2007.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI, “Información Estadística y Geográfica por Estados”, [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx), 2006.

International Energy Agency (IEA). “Key World Energy Statistics”. 2006.

McDowell T., Thornton J., Emmerich S., Walton G., “Integration of Airflow and Energy Simulation Using CONTAM and TRNSYS”. ASHRAE Transactions, Vol. 9, Part. 2, 2003.

Medrano C. “Estudio de las Variables Térmico-Ambientales para Determinar la Distribución de los Grados-día en el Estado de Morelos”. Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Zacatepec, 2007.

Merrit F. y Ambrose J. **“Building Engineering and Systems Design”**. Kluwer Academic Publications. 1989.

Pérez C., Campbell H., Borroto A., Monteagudo J., “Horas Grado, un Criterio Realista para Caracterizar Climatológicamente una Región con Propósitos de uso Eficiente y Ahorro de Energía Eléctrica”. Instituto de Ingeniería UABC, México y Universidad Cienfuegos, Cuba, 2001.

Pérez M., Pacheco L.G., “Análisis Climático Enfocado hacia el Diseño Arquitectónico en la Ciudad de Mérida”. Memorias de la 26 Semana Nacional de la Energía, págs. 9-13, México, 2001.

Pujol-Nadal R., Martínez-Moll V., Moia-Pol A., “Prediction of the Thermal Behaviour of an Office Building using TRNSYS with Proposal and Evaluation of Improvement Actions”. Department of Physics, Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca, España, 2005.

Quiñones J., Arancibia C., Estrada C., “Análisis de Datos de Radiación Solar Global Y Temperatura Ambiente en Temixco Morelos”, Memorias De La 26 Semana Nacional De Energía, págs. 579 – 582, México, (2002).

Rodríguez M., **“Introducción a la Arquitectura Bioclimática”**. Editorial Limusa, México, 2001.

Salom J. y Schweiger H. “La Simulación Dinámica al Servicio de las Energías Renovables”. IX Congreso Ibérico de Energía Solar, Córdoba, España, 2000.

Saravia M., Morillón D., “Análisis de Elementos Pasivos de Protección Solar para Contrarrestar o Aprovechar las Condiciones Climáticas de El Salvador”. Memorias de la 23 Semana Nacional de la Energía, págs. 101-105, México, 1998.

Secretaría de Energía. “Balance Nacional de Energía 2005”. México D.F., 2006.

Secretaría de Energía. “Prospectiva del Sector Eléctrico 2005-2014”. México D.F., 2006.

Sen Z., Kadioglu M., “Heating Degree-Days for Arid Regions”. Int. J. Energy, Vol.23, Págs. 1089-1094, 1998.

SENER. “NOM008-ENER-2001” (Eficiencia energética en edificaciones no residenciales). México, 2001.

Shariah A., Shalabi B., Rousan A., Tashtoush B., “Effects of Absorptance of External Surfaces on Heating and Cooling Loads of Residential Buildings in Jordan”. Int. J. Energy Conversion and Management, Vol.39, Págs. 273-284, 1998.

Tzikopoulos A.F., Karatza M.C., Paravantis J.A., “Modelling Energy Efficiency of Bioclimatic Buildings”. Int. J. Energy and Buildings, Vol.37, Págs. 529-544, 2005.

Vaisala User`s Guide, “Vaisala Hydromet System Maws 110”, Finland, 2004.

Vázquez M., Santos, J., Prado M., Vázquez D., “Comparing several proceedings of estimating the available solar radiation, with data measured in the University of Vigo radiometric station”. ETS, Ingenieros Industriales, Vigo, España, 2002.

Wark. K. “Termodinámica”. Editorial Mc Graw Hill, México, 1991.

Welfonder T., Hiller M., Holst S., Knirsch A., “**Improvements on the Capabilities of TRNSYS 15**”. Eight International IBPSA Conference, Eindhoven, Netherlands, 2003.

Zhang Q., “Residential Energy Consumption in china and its Comparison with Japan, Canada, and USA”. Int. J. Energy and Buildings, Vol.36, Págs.1217-1225, 2004.

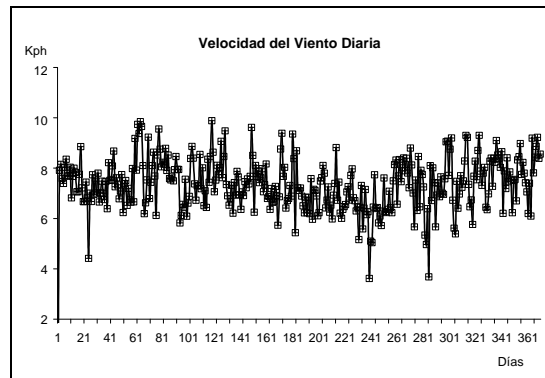
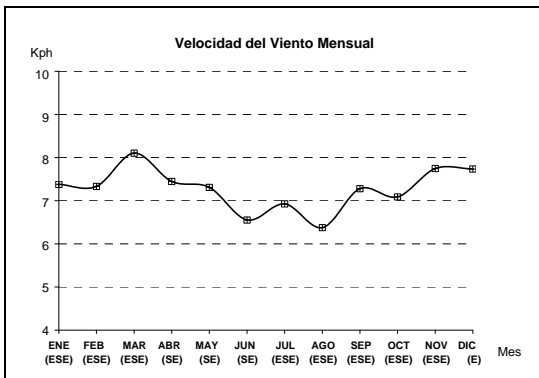
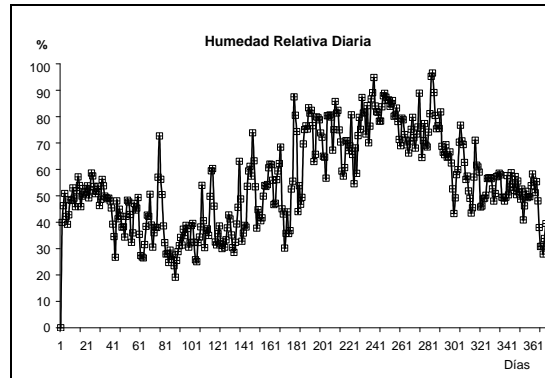
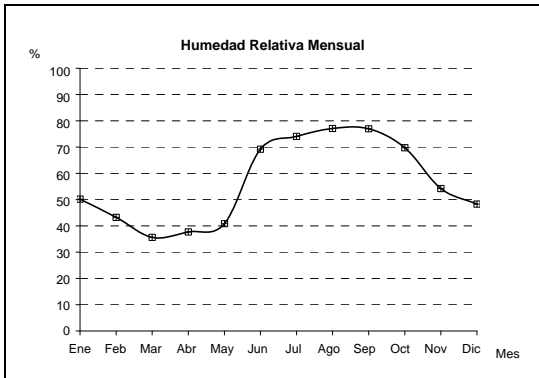
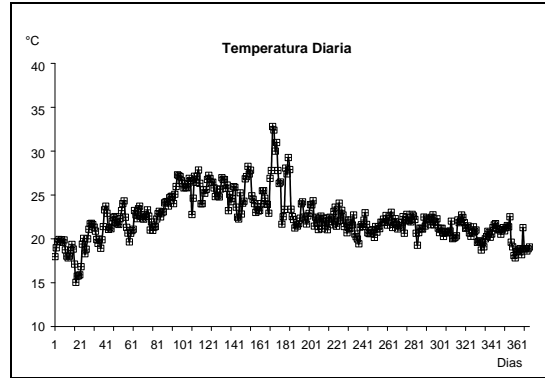
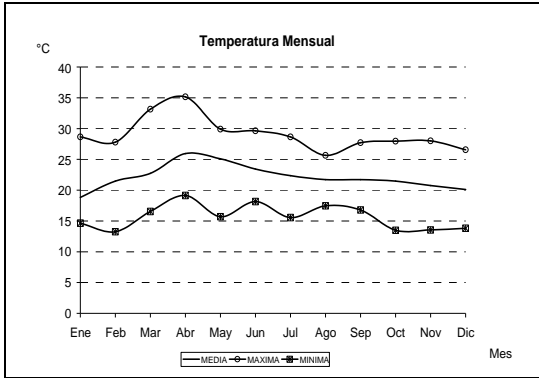
This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

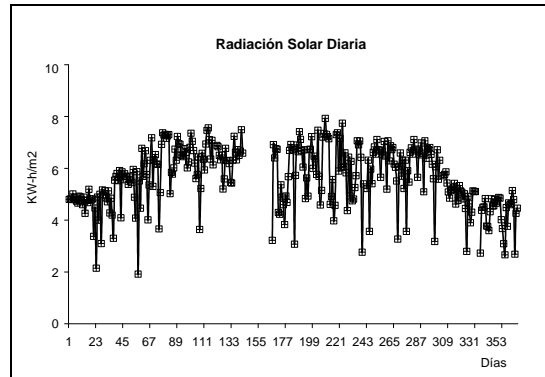
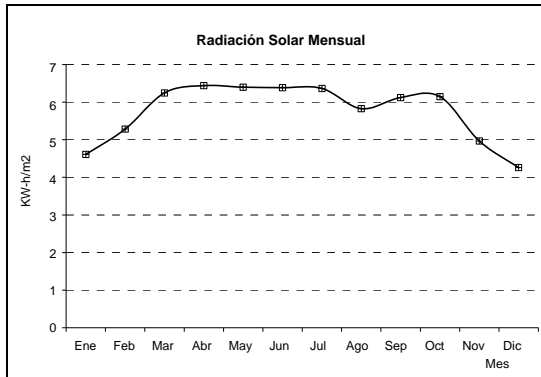
## **ANEXO I**

### **DATOS METEOROLÓGICOS DE JIUTEPEC Y TEPOZTLÁN EN EL 2005**

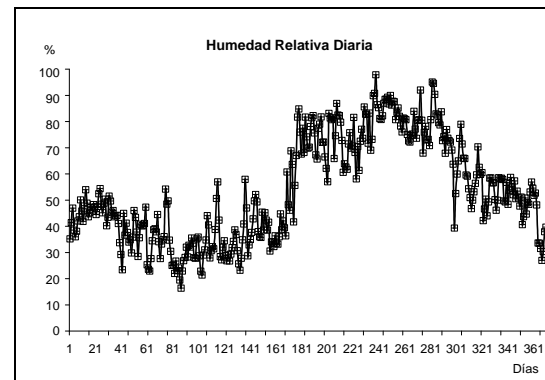
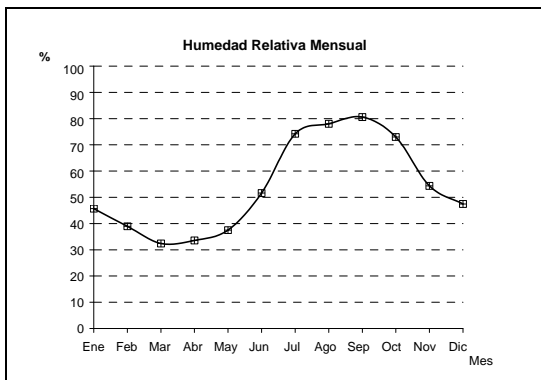
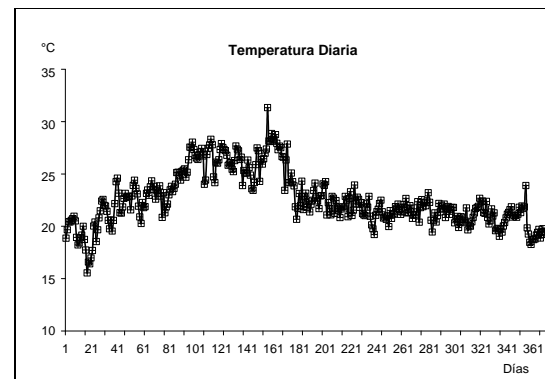
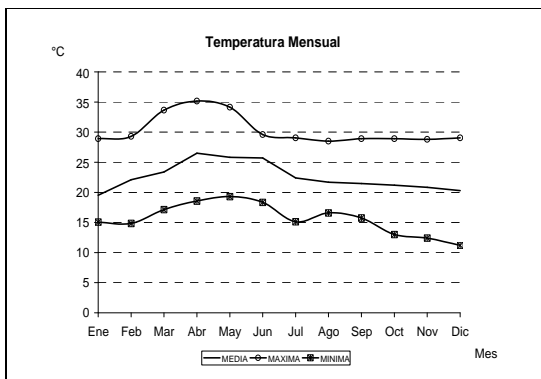
A continuación se presentan los datos meteorológicos procesados del año 2005 para los municipios de Jiutepec y Tepoztlán. Las figuras siguientes muestran los valores diarios y mensuales de la radiación solar, temperatura, humedad relativa y viento en velocidad y dirección. Estos datos se obtuvieron al inicio de la investigación y fueron proporcionados por el SMN de sus dos estaciones meteorológicas automáticas ubicadas en el Estado de Morelos.

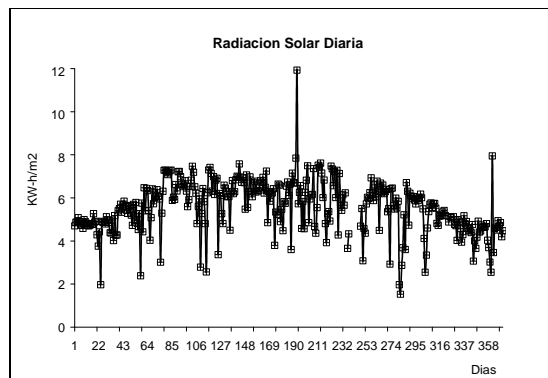
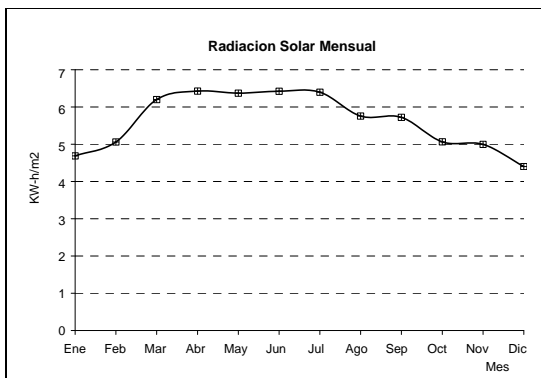
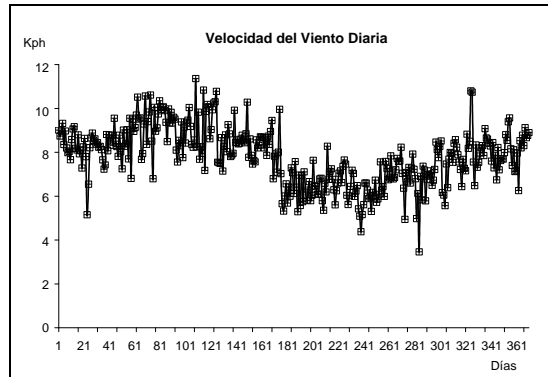
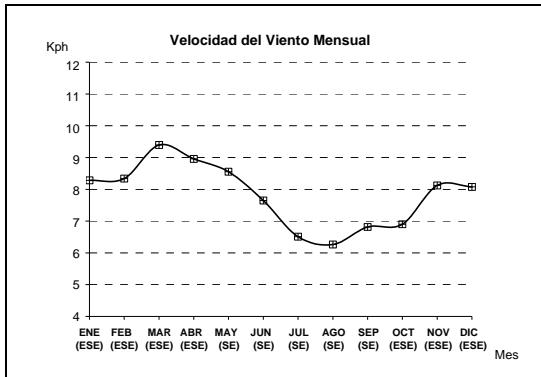
**JIUTEPEC 2005**





**TEPOZTLAN 2005**







This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

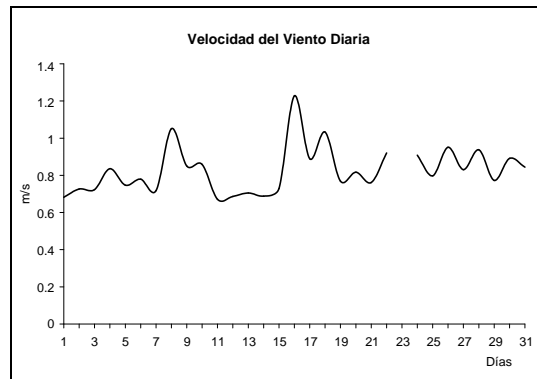
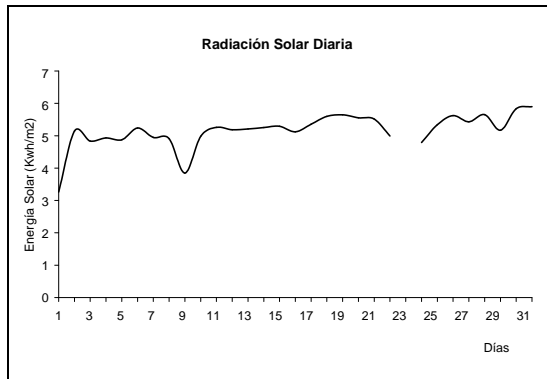
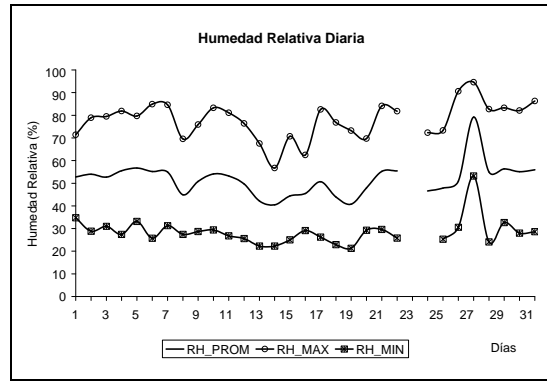
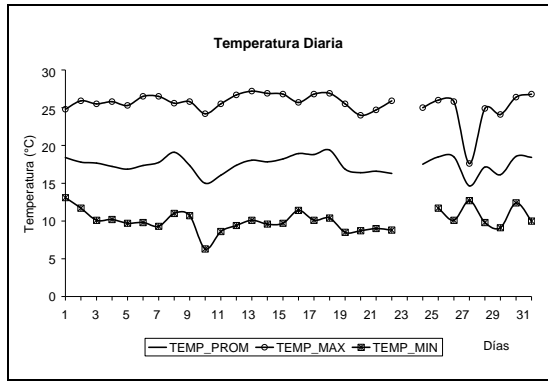
## **ANEXO II**

### **DATOS METEOROLÓGICOS DIARIOS EMAS DEL CENIDET**

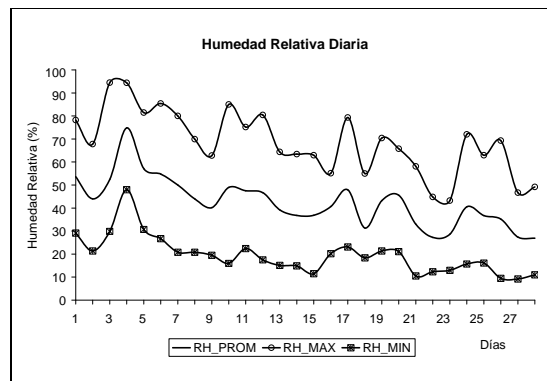
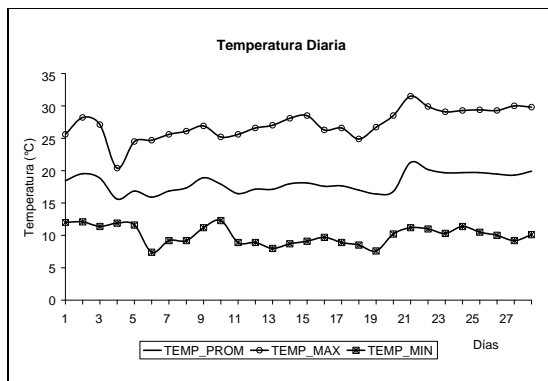
El siguiente anexo, muestra los registros meteorológicos diarios para las cinco EMAS propiedad del Cenidet, para el periodo de Mayo 2006 a Abril del 2007. Estos gráficos son excelentes registros históricos acerca del comportamiento del clima del Estado. A partir de estos registros diarios se obtuvieron los registros mensuales reportados y discutidos en el capítulo dos de este estudio.

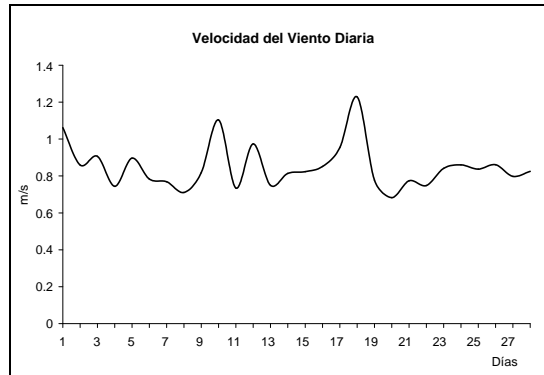
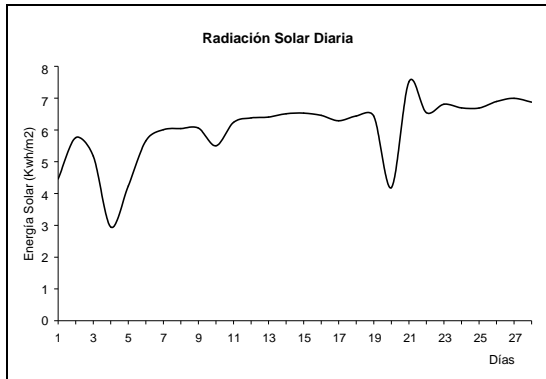
**TEMOAC**

**Enero**

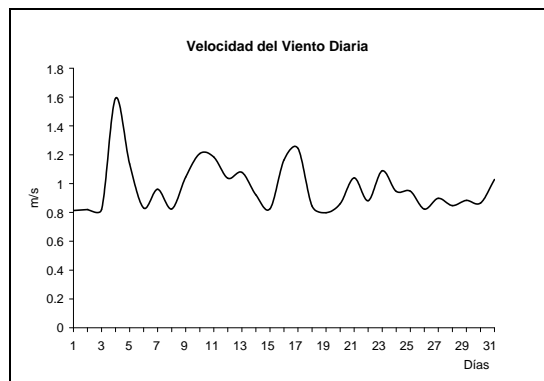
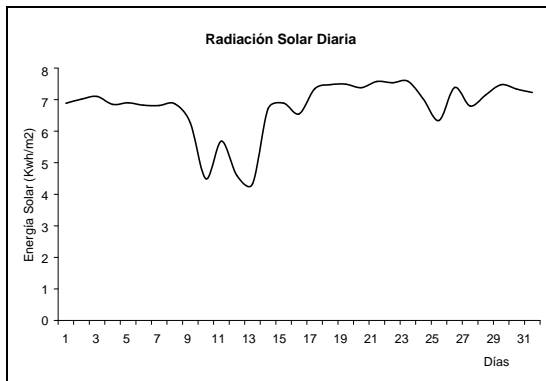
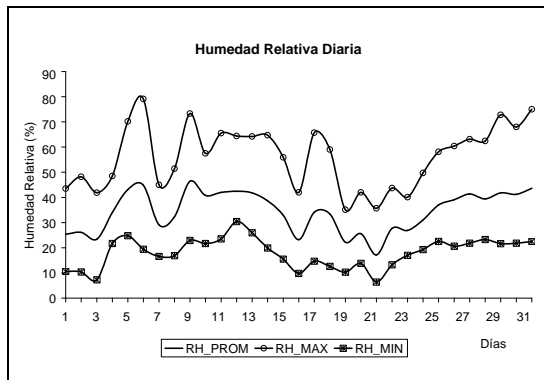
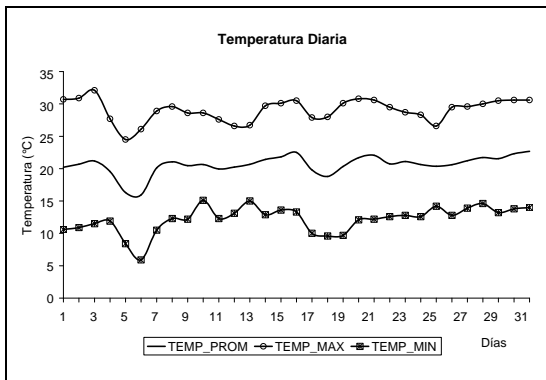


**Febrero**

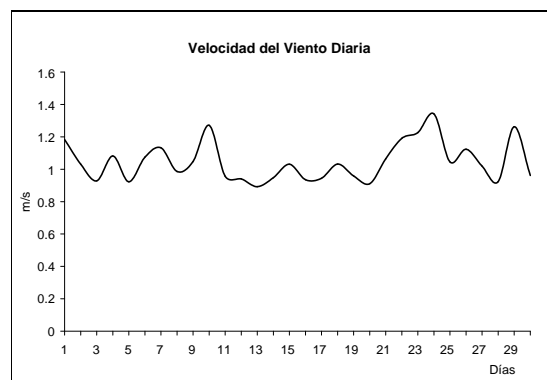
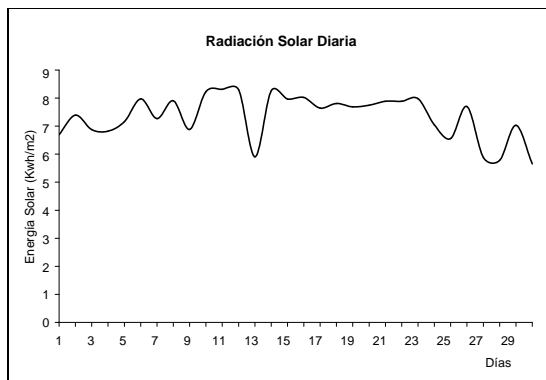
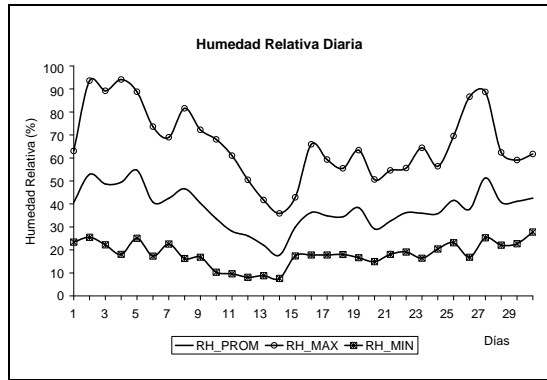
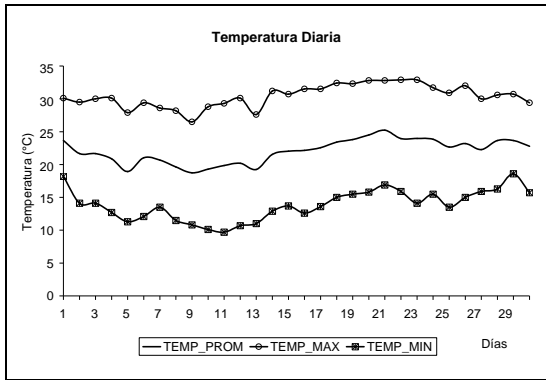




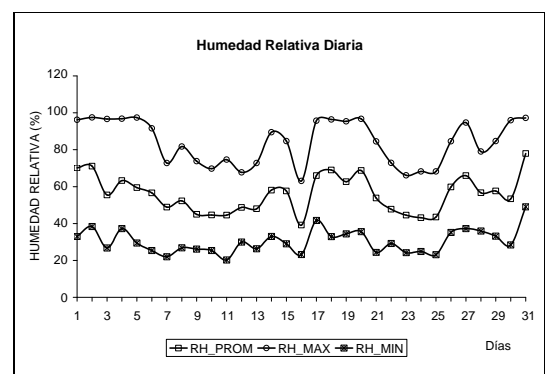
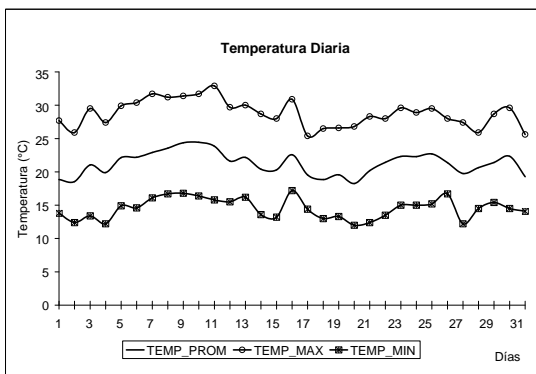
**Marzo**

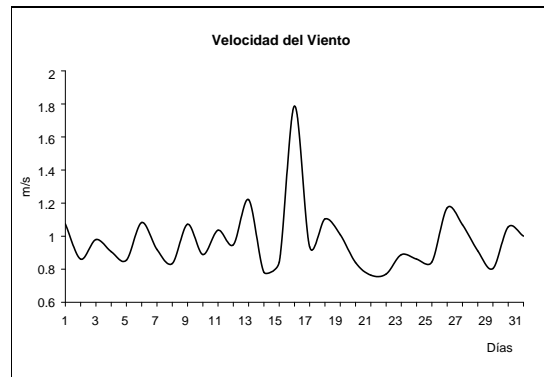
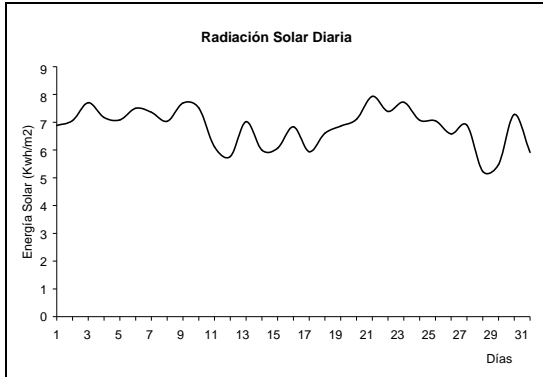


**Abril**

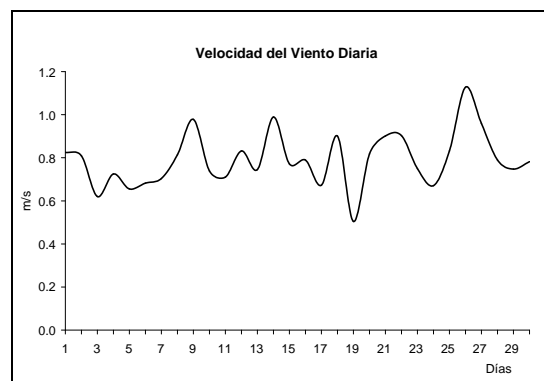
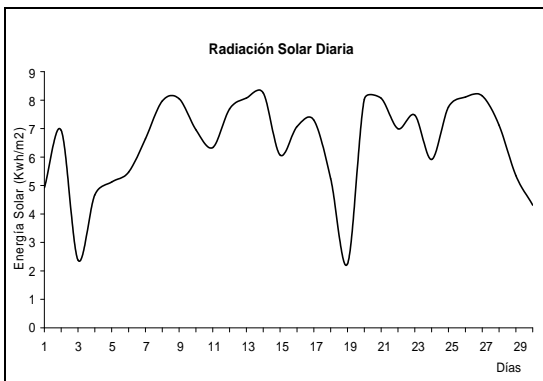
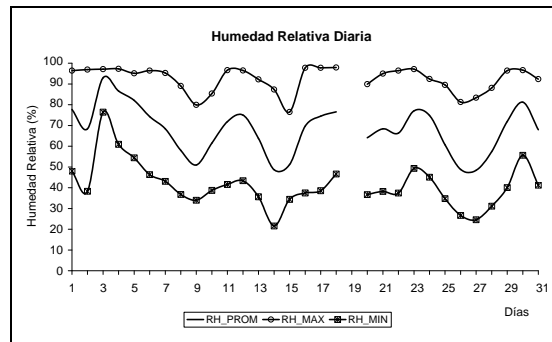
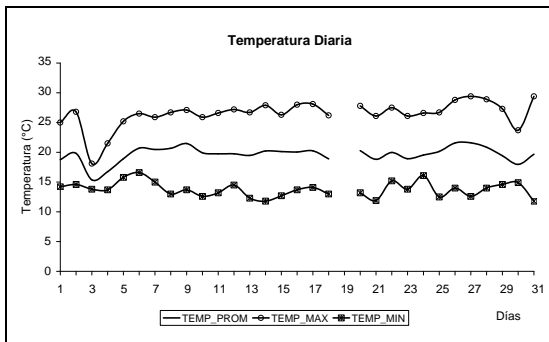


**Mayo**

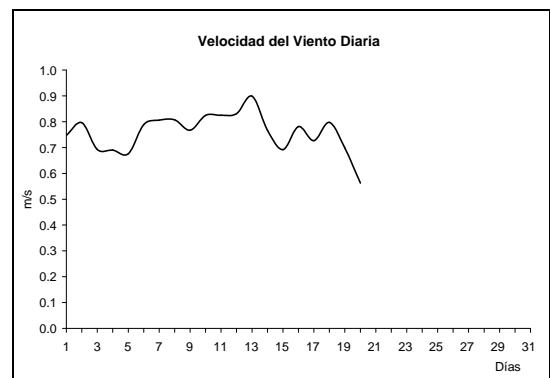
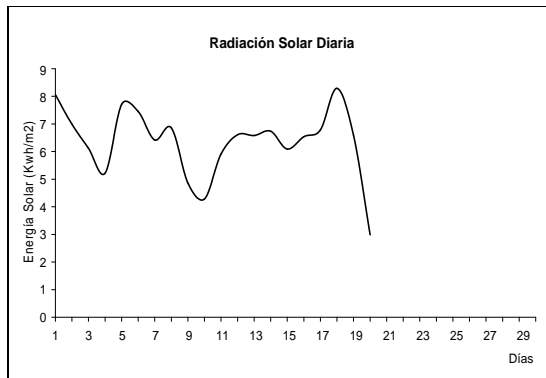
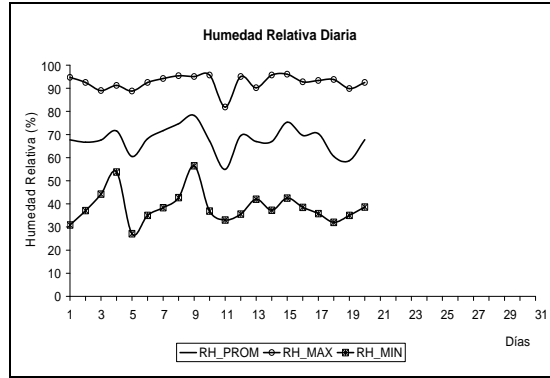
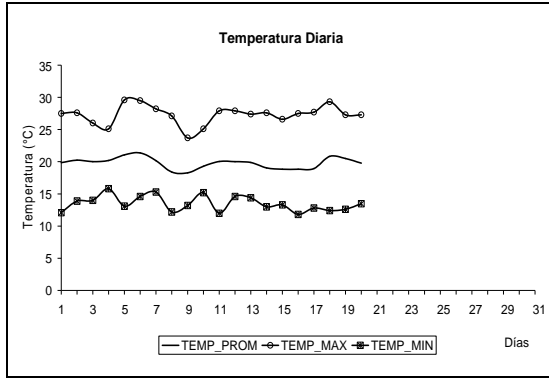




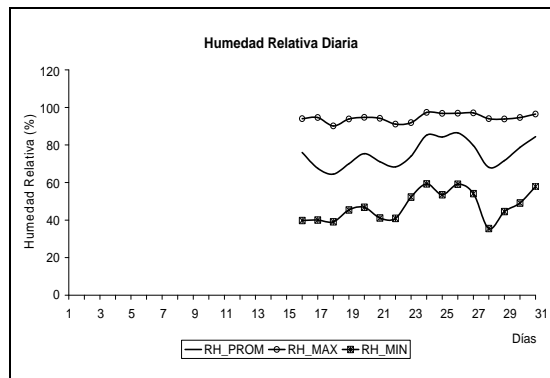
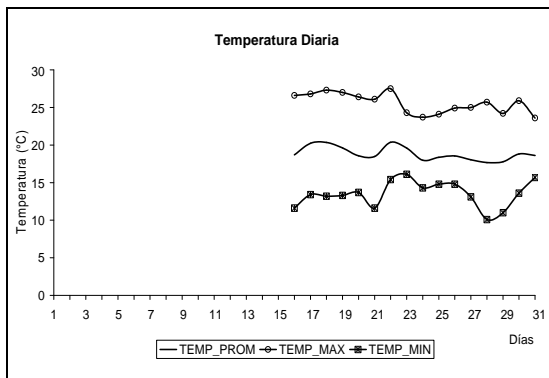
**Junio**

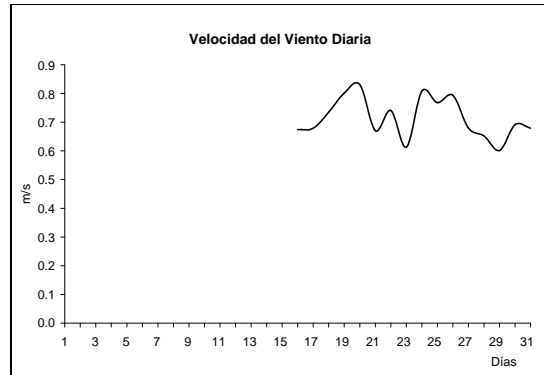
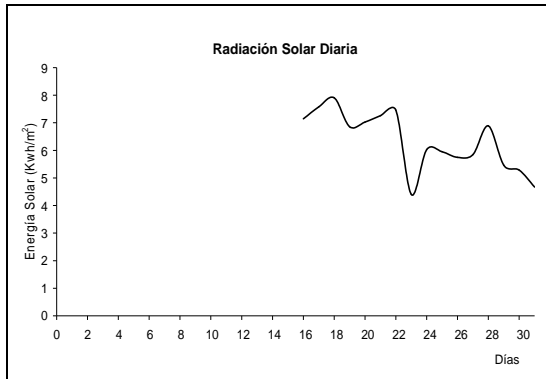


Julio

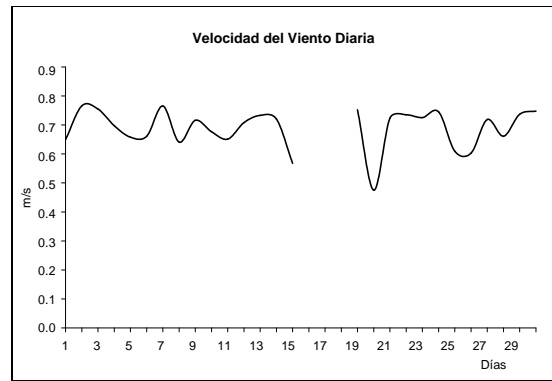
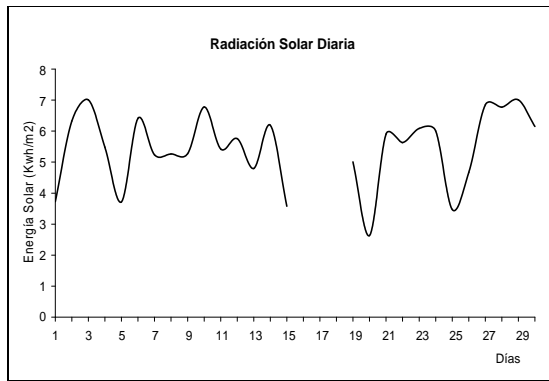
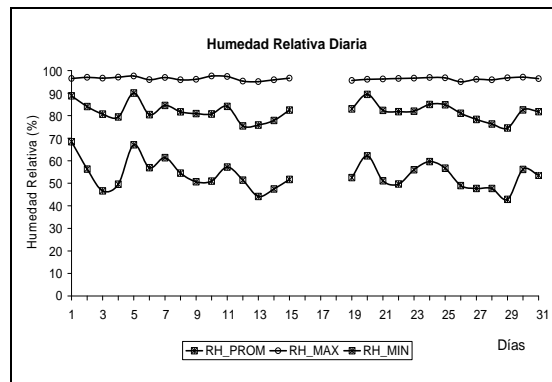
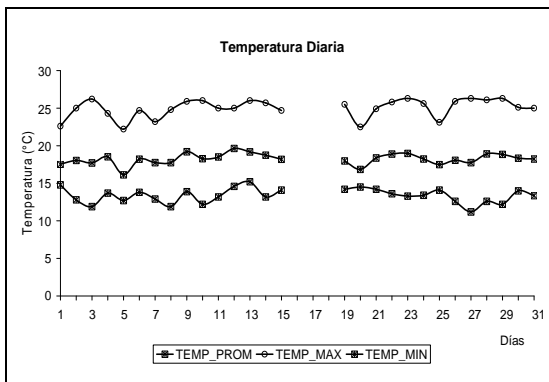


Agosto



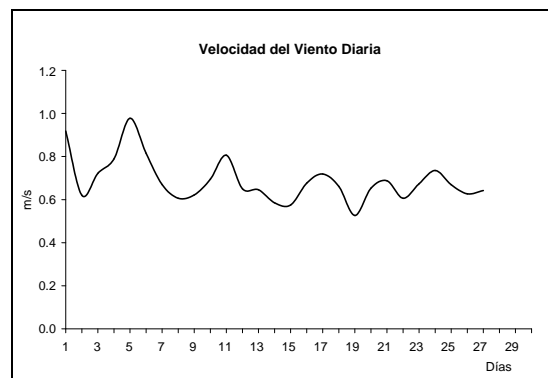
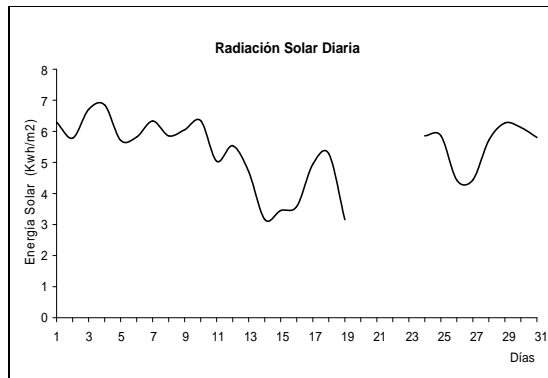
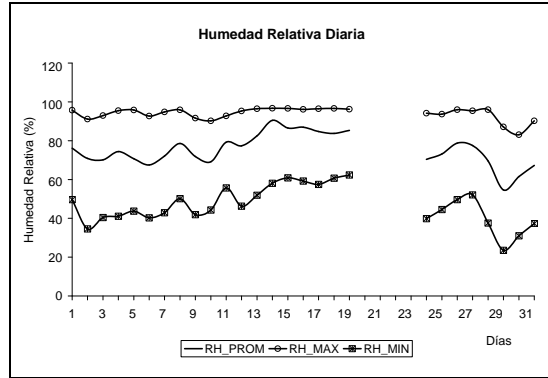
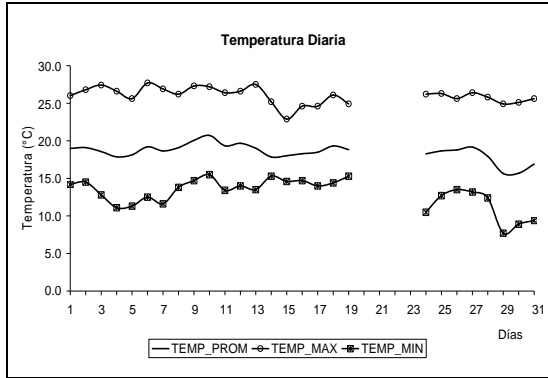


Septiembre

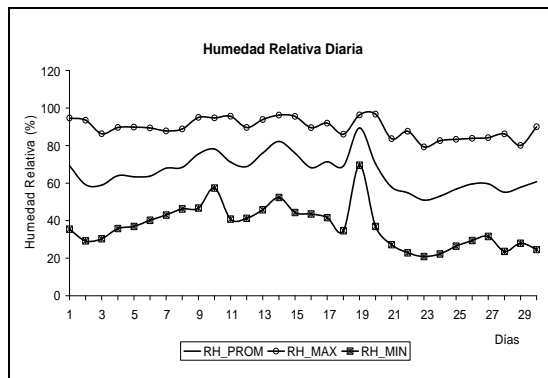
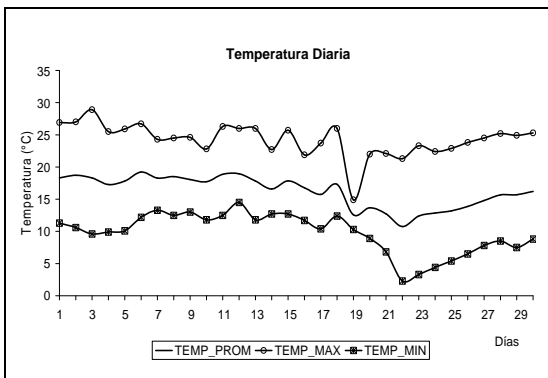


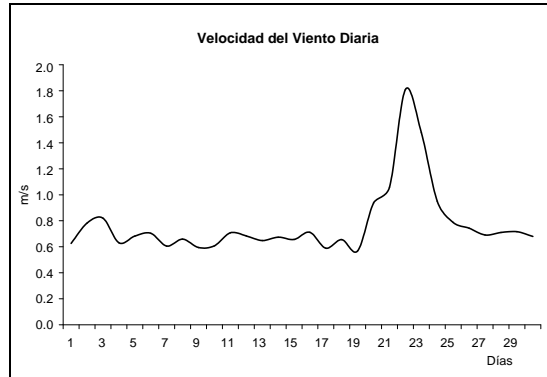
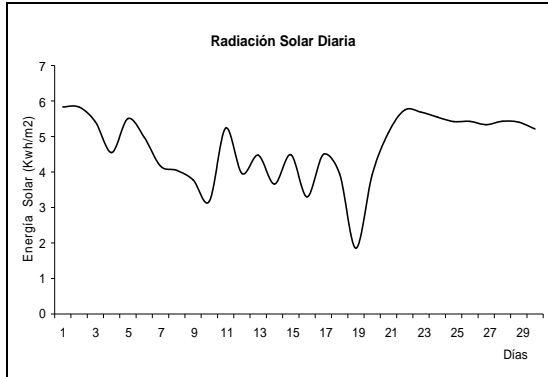


Octubre

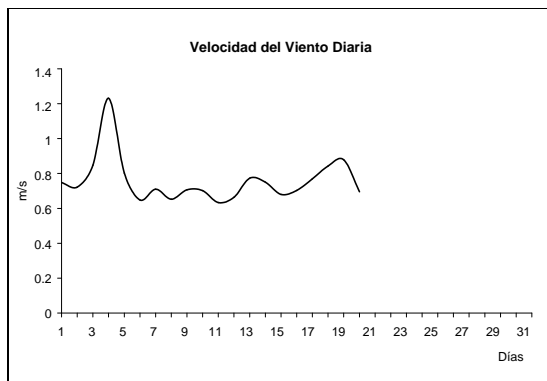
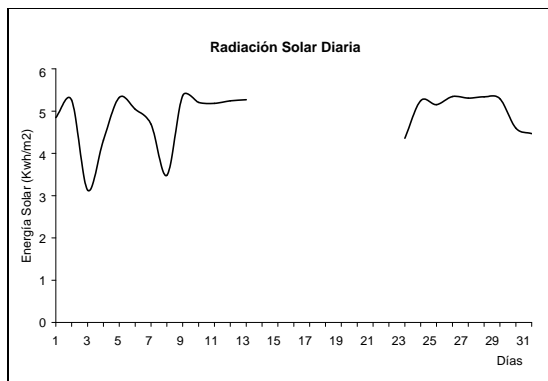
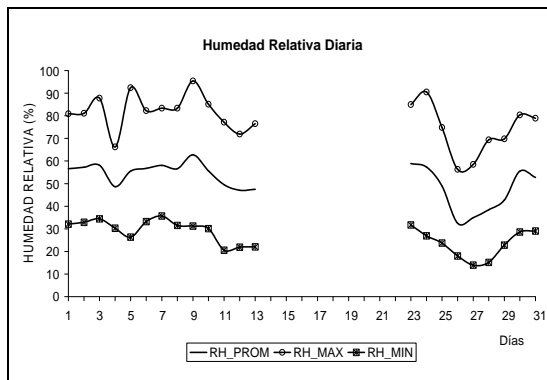
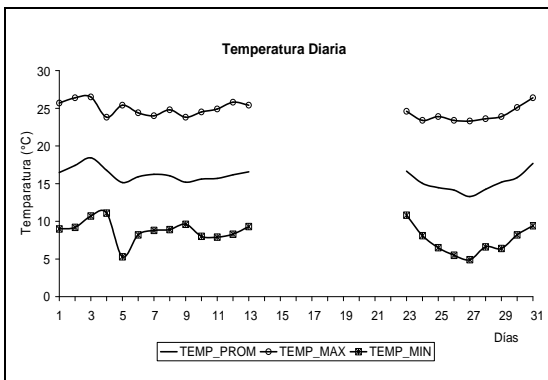


Noviembre



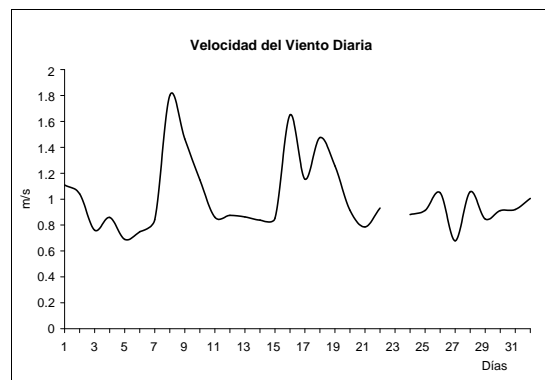
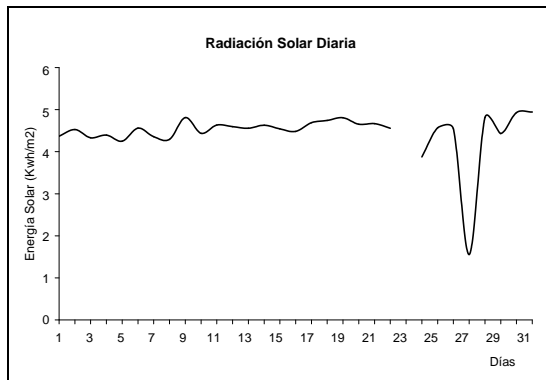
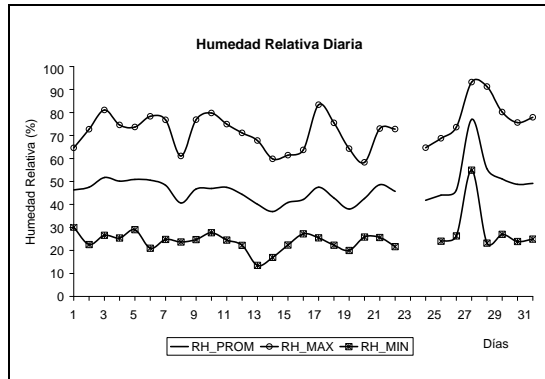
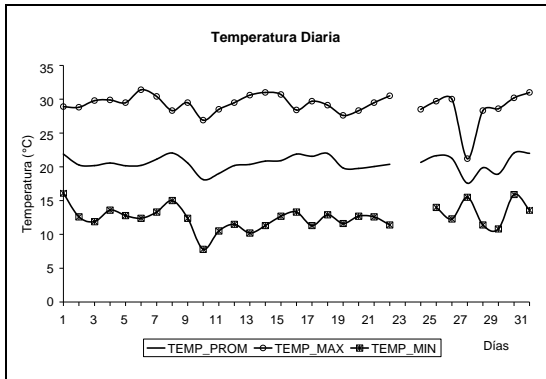


**Diciembre**

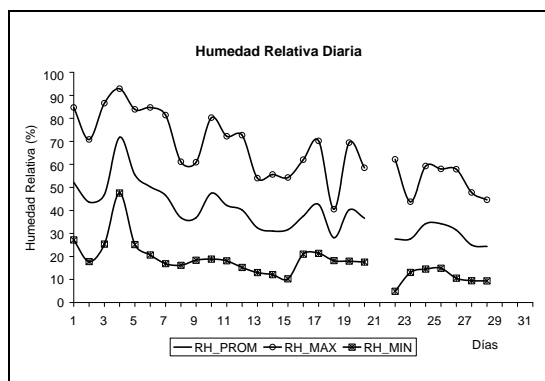
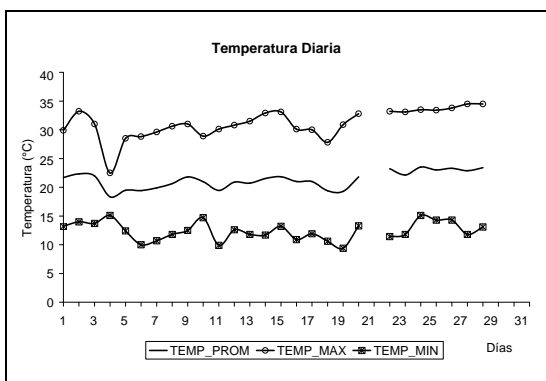


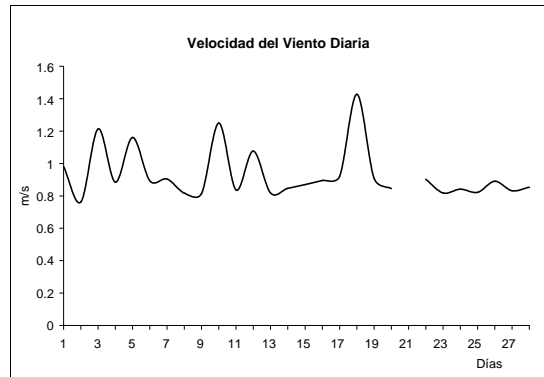
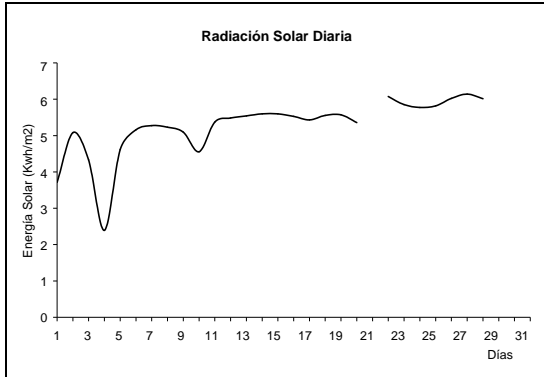
**TEPALCINGO**

**Enero**

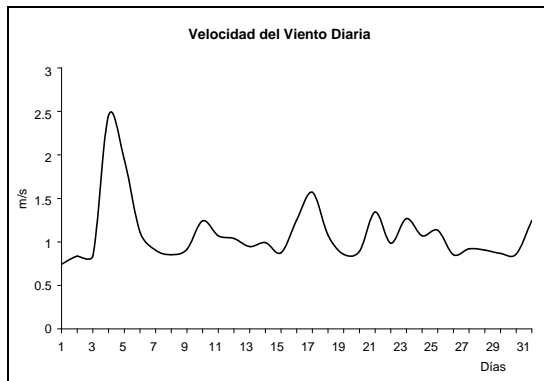
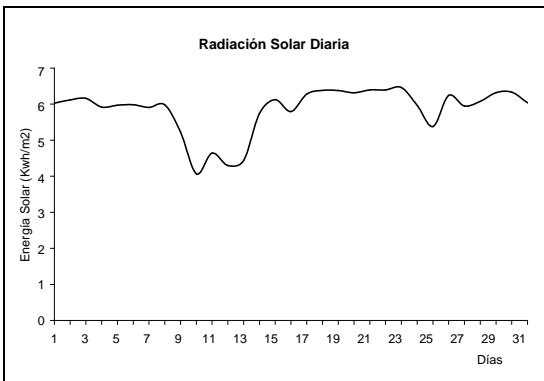
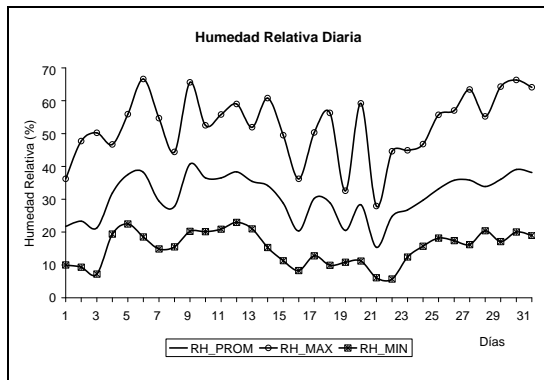
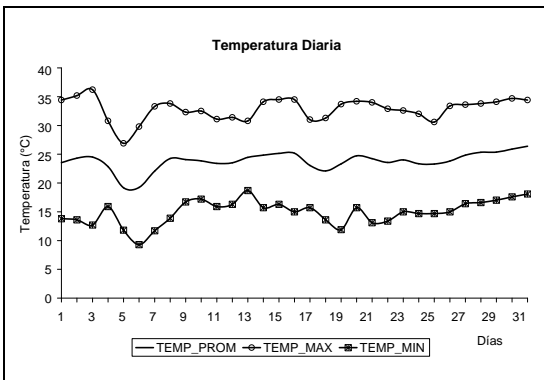


**Febrero**

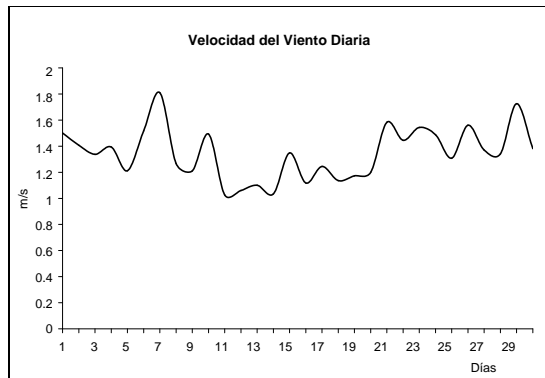
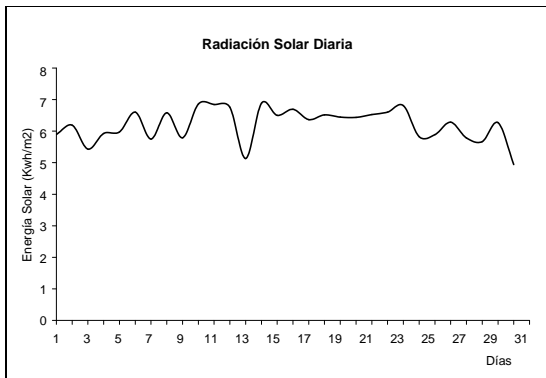
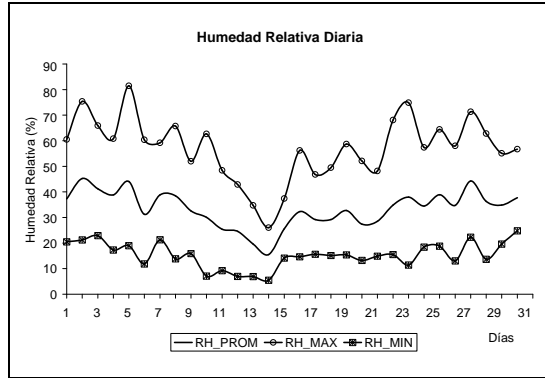
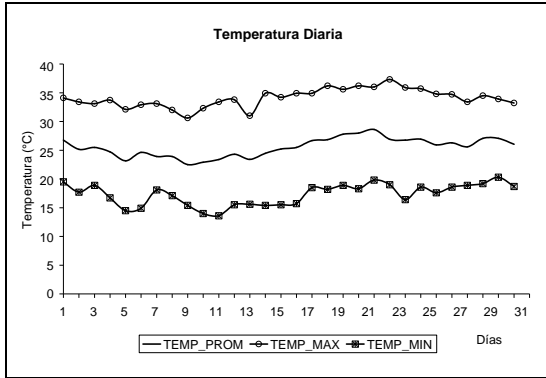




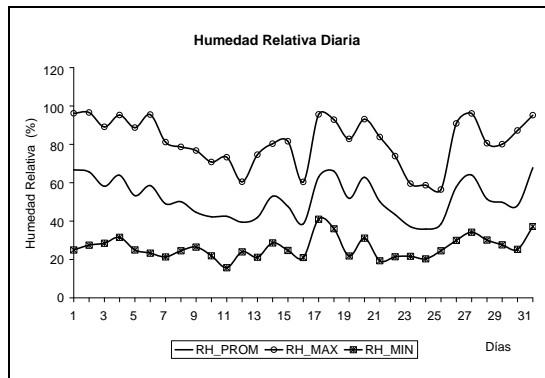
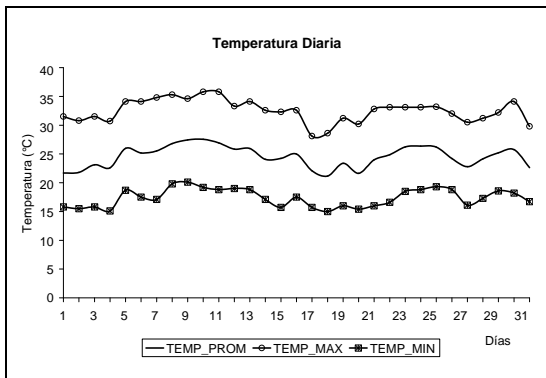
Marzo

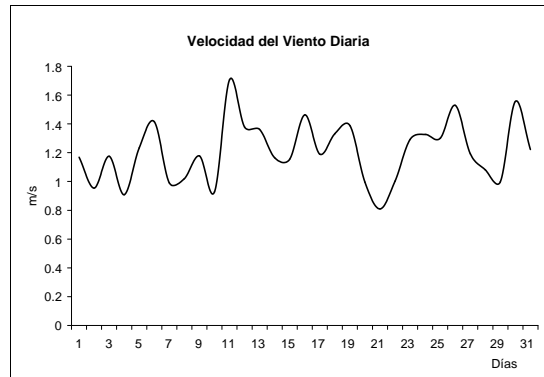
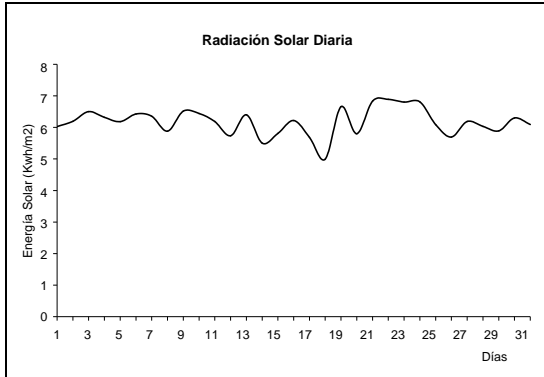


**Abril**

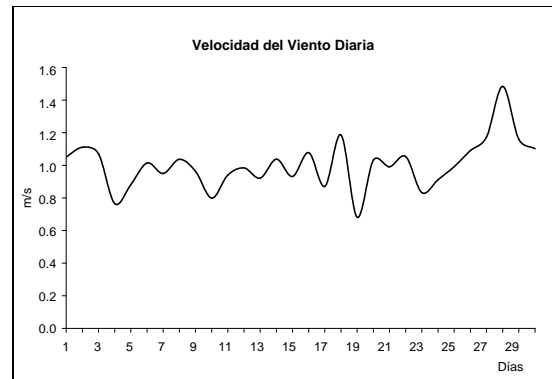
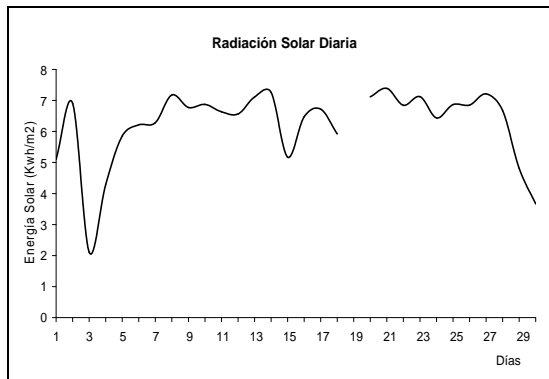
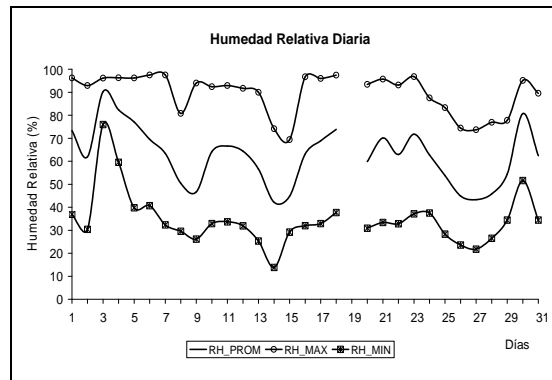
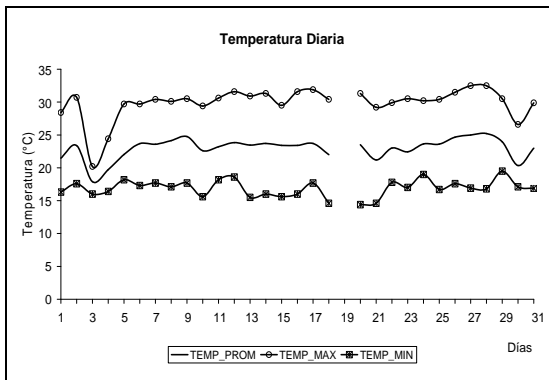


**Mayo**

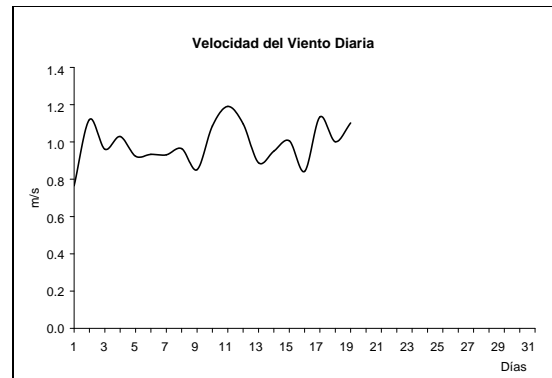
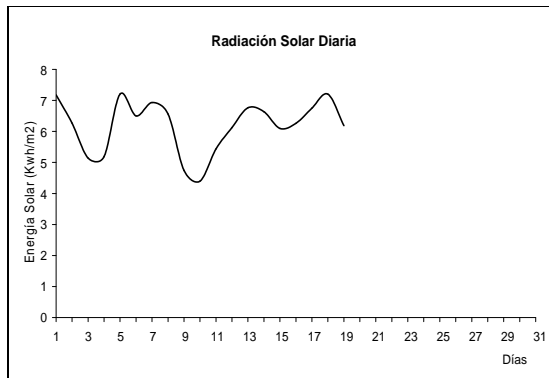
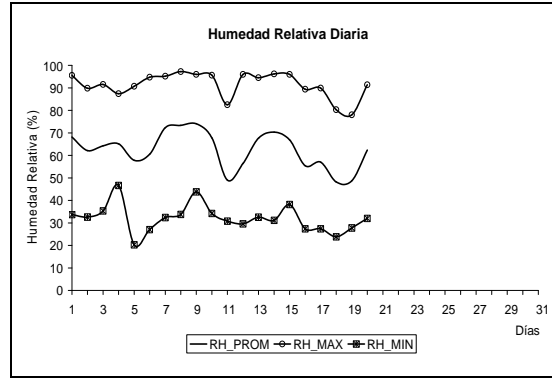
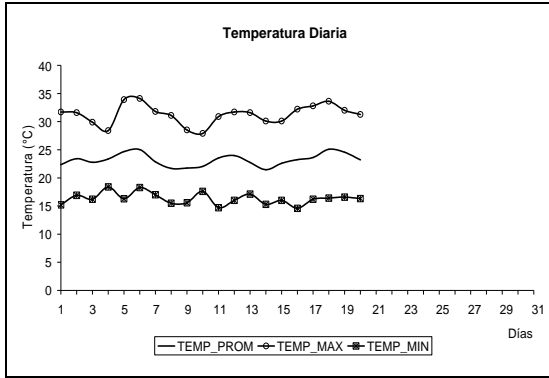




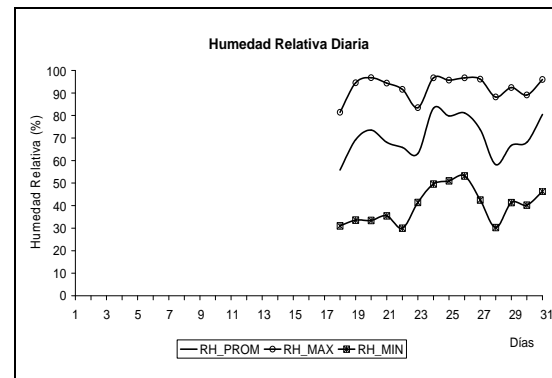
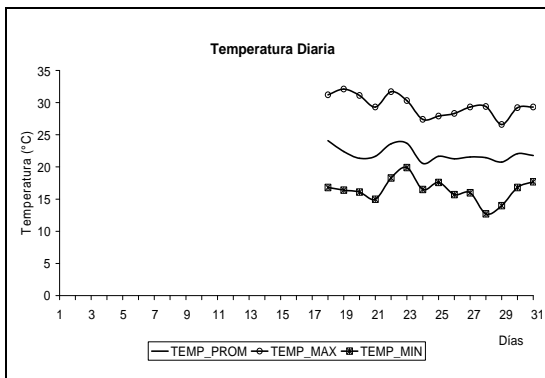
**Junio**

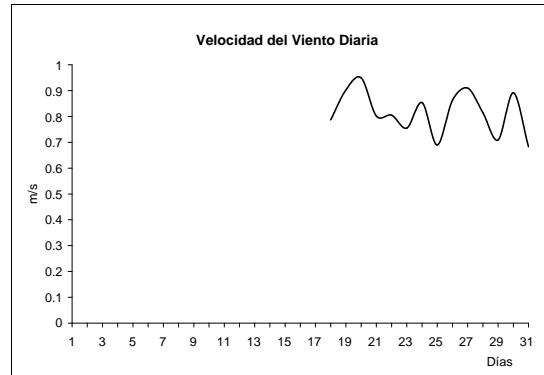
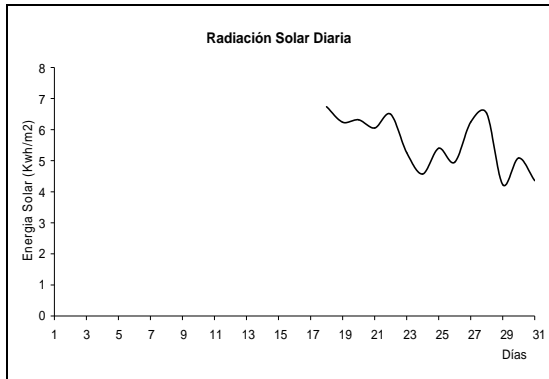


Julio

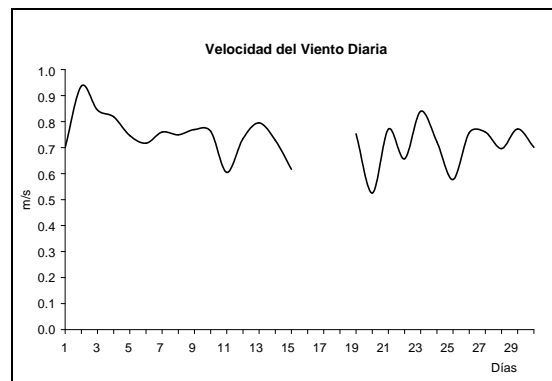
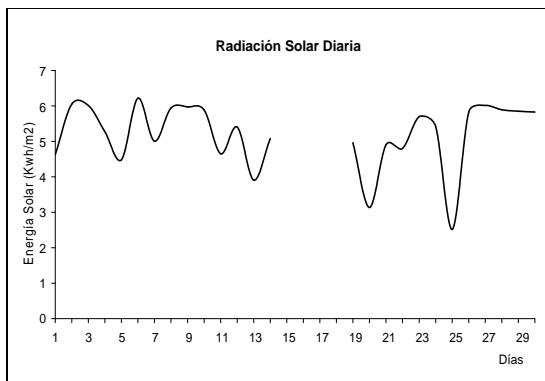
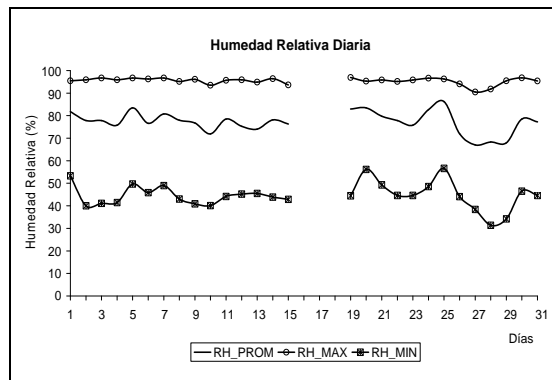
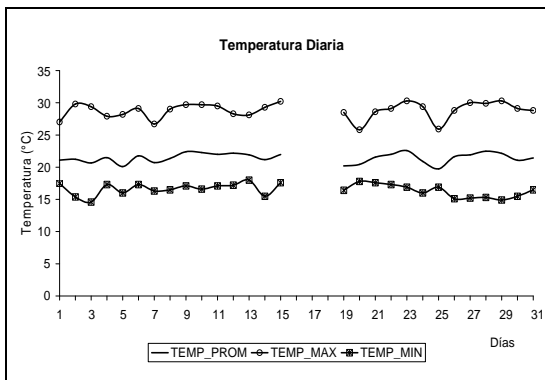


Agosto



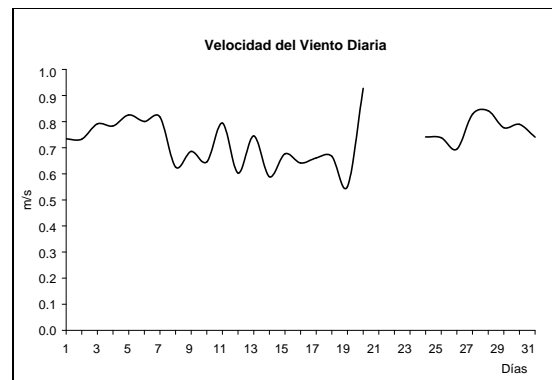
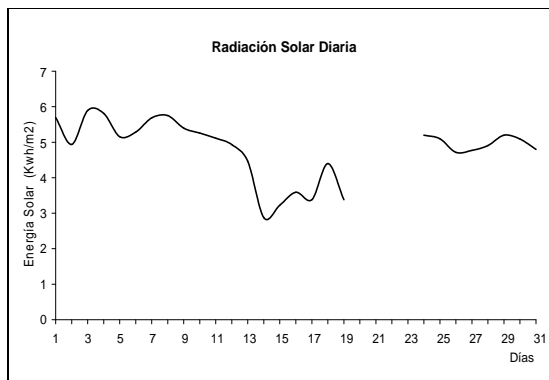
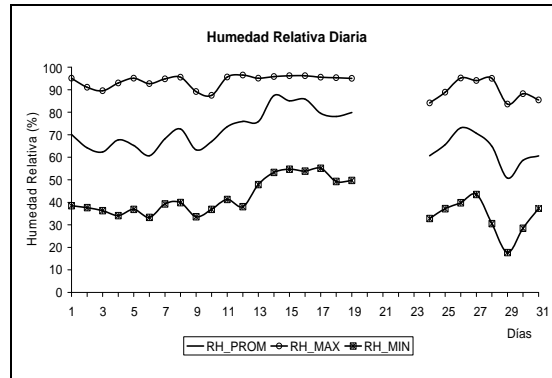
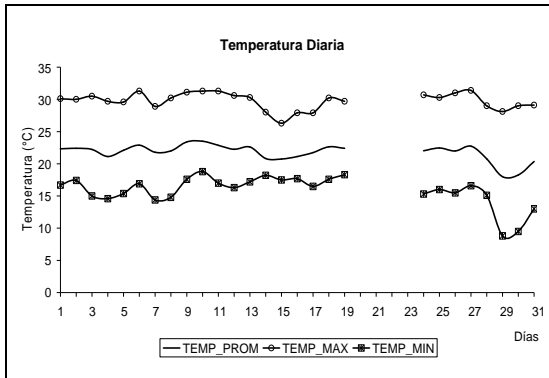


Septiembre

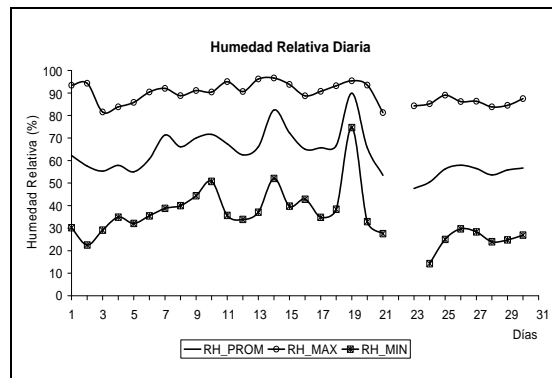
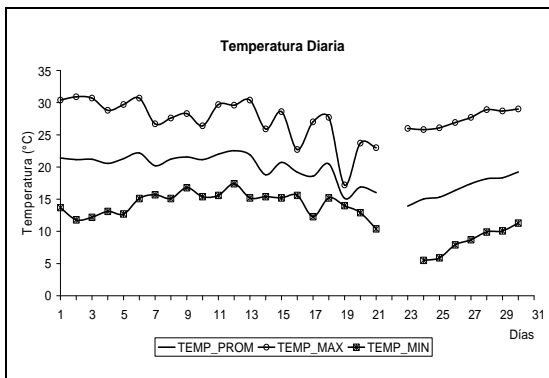


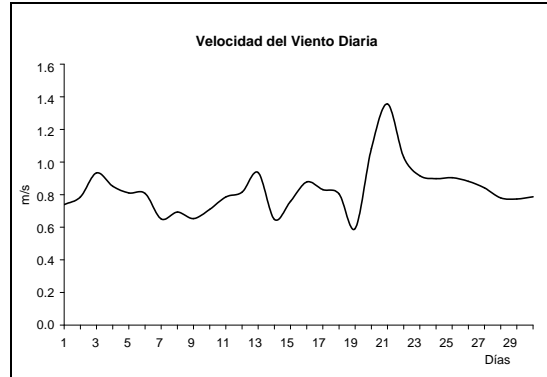
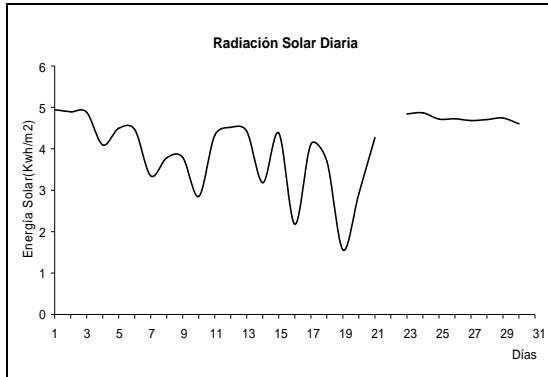


Octubre

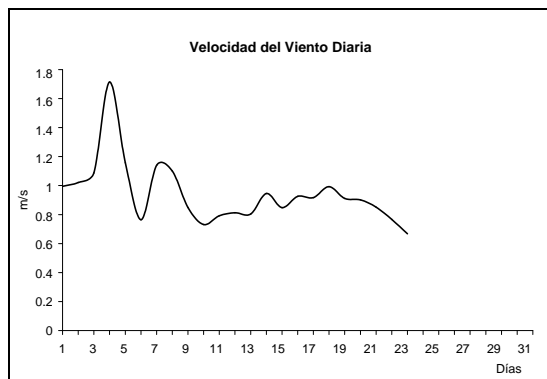
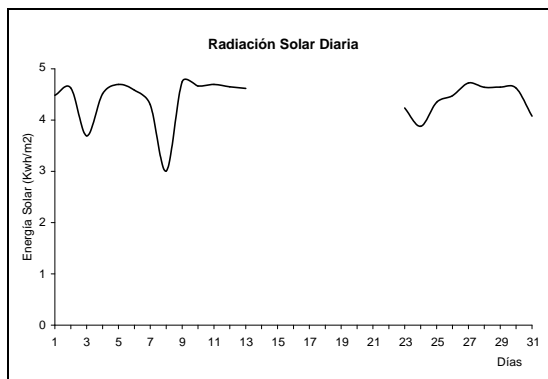
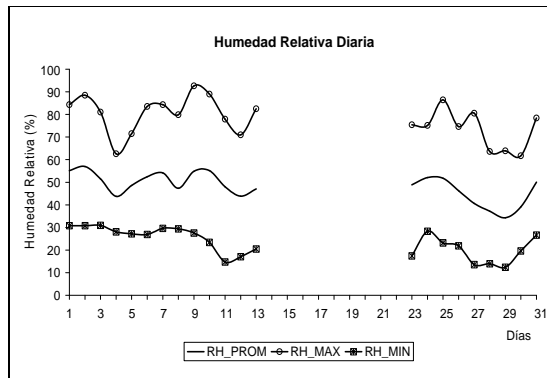
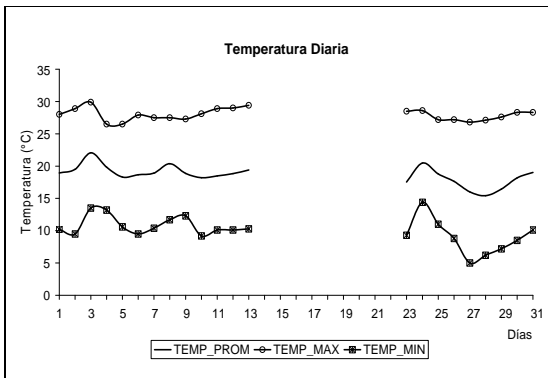


Noviembre



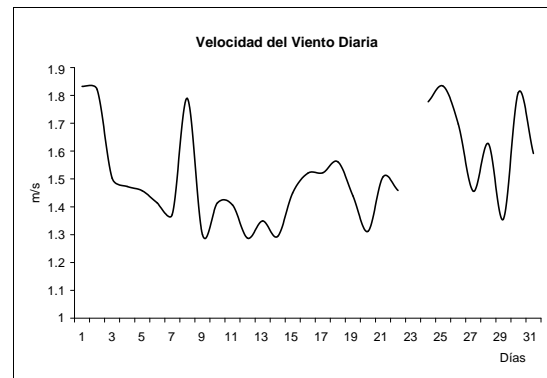
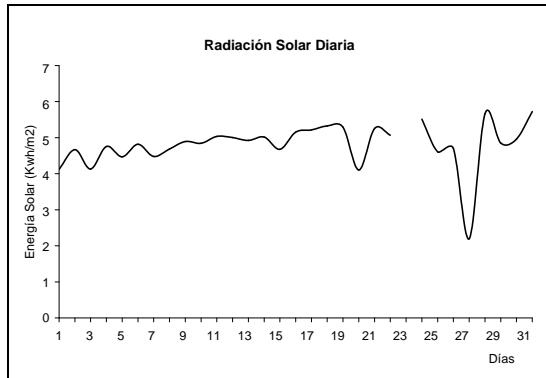
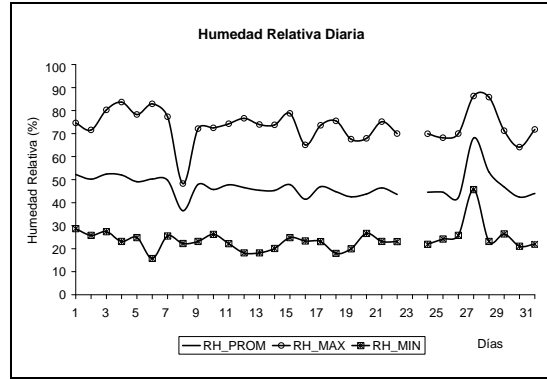
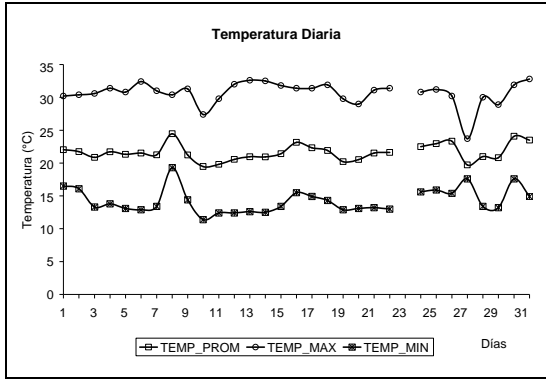


**Diciembre**

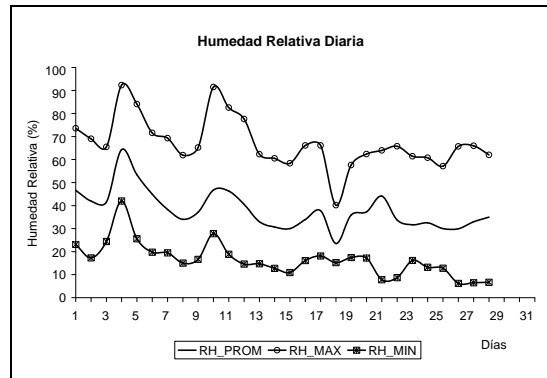
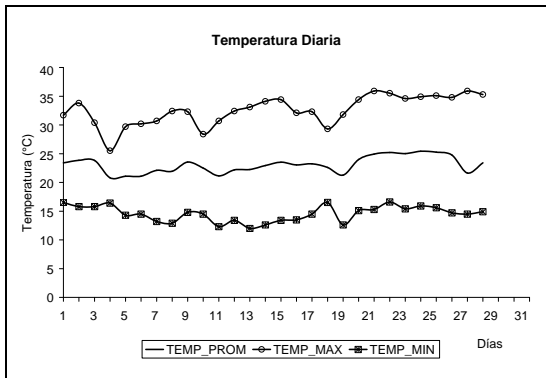


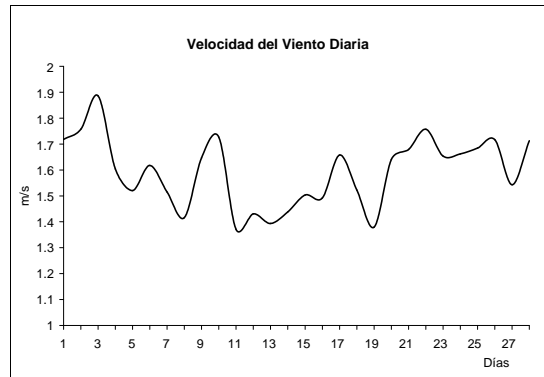
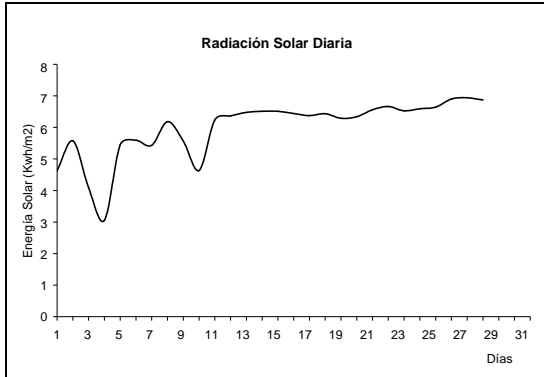
**TILZAPOTLA**

**Enero**

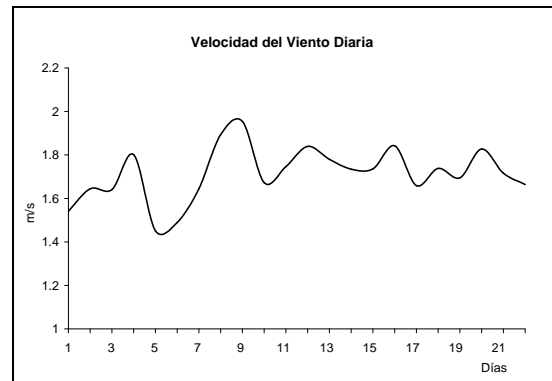
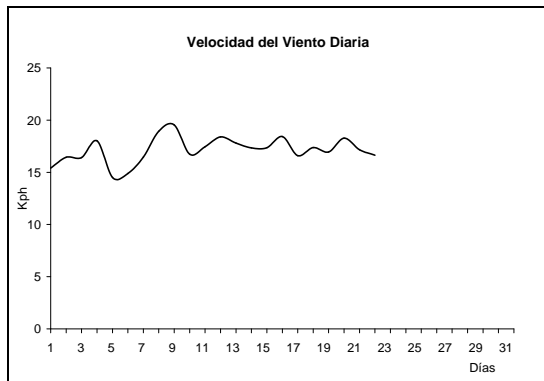
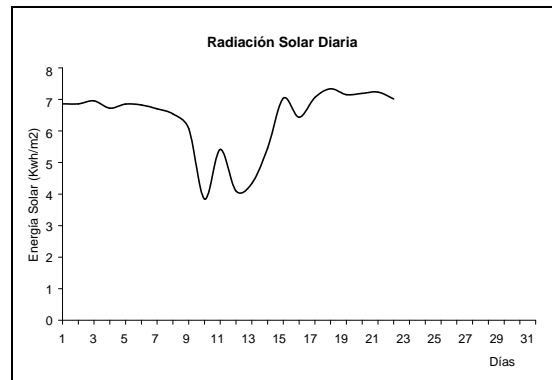
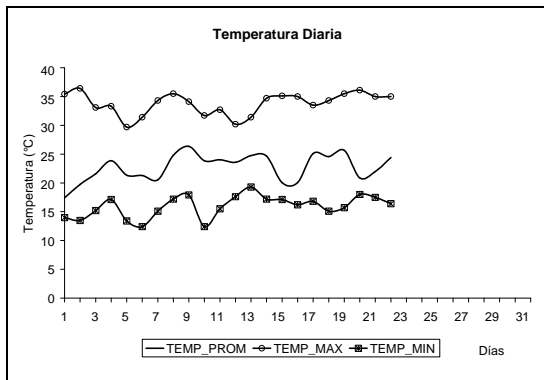


**Febrero**

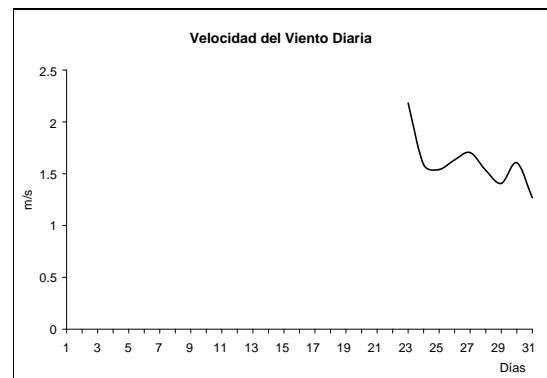
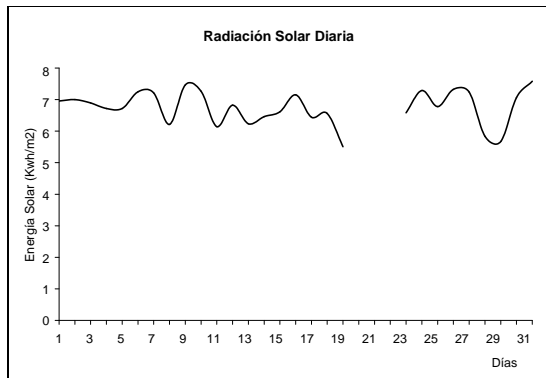
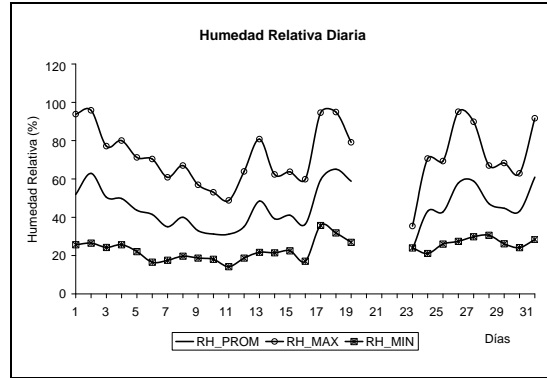
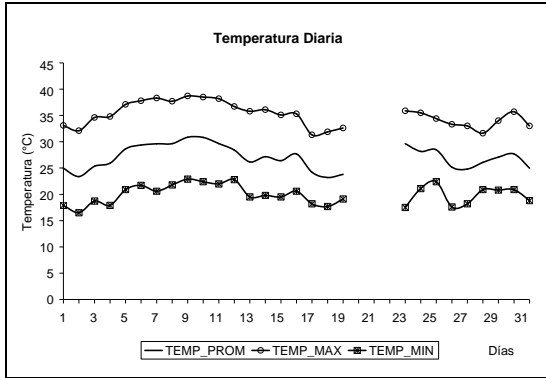




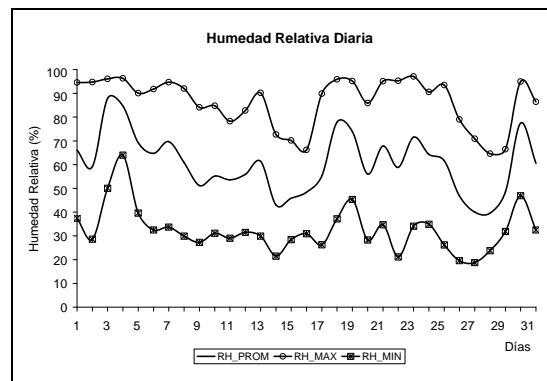
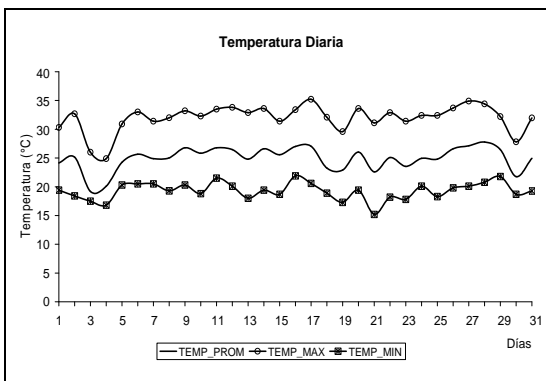
**Marzo**

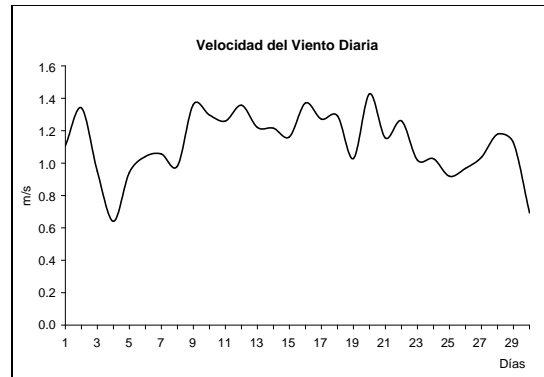
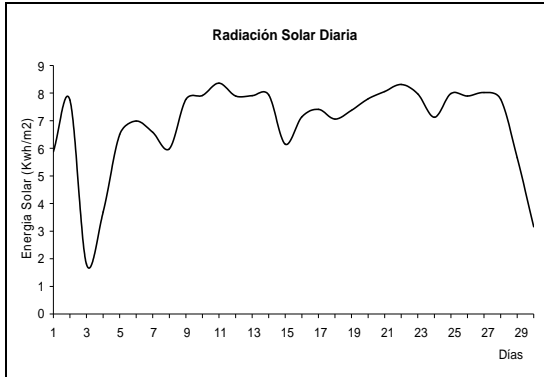


Mayo

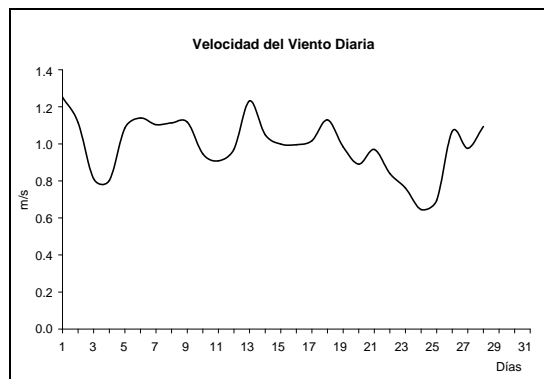
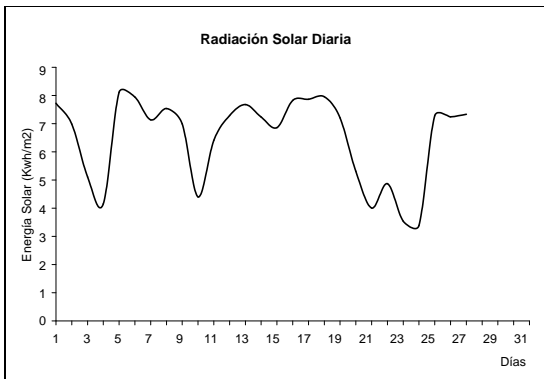
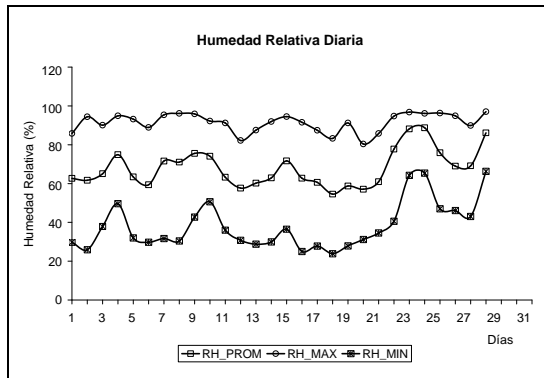
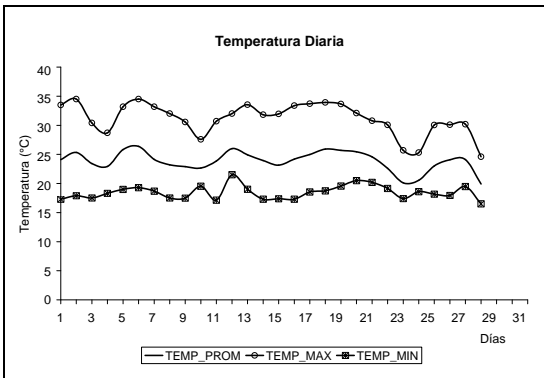


Junio

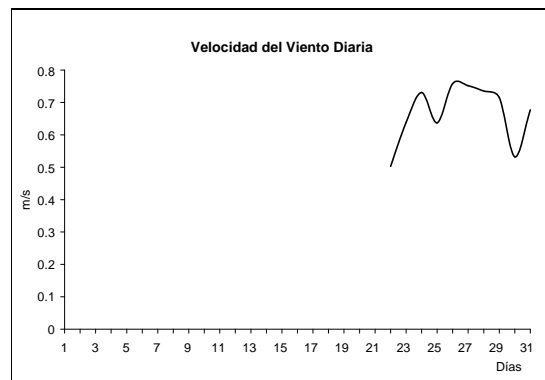
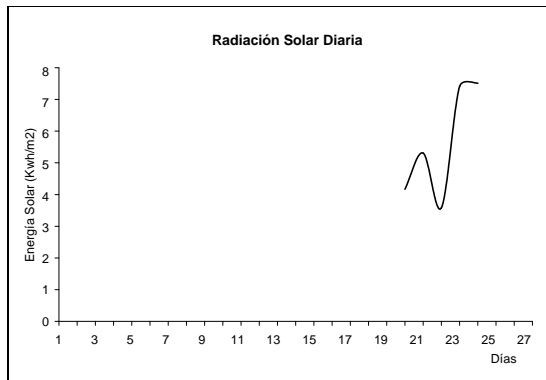
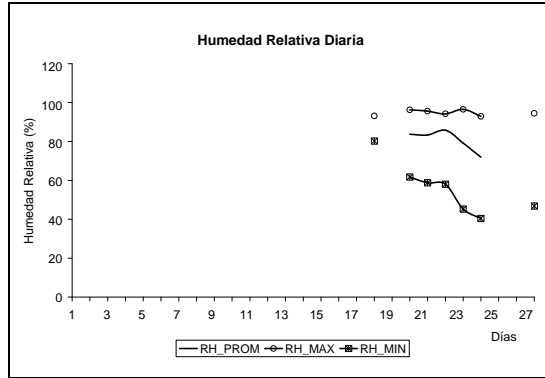
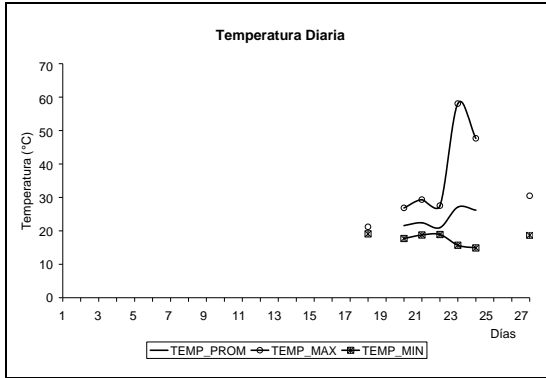




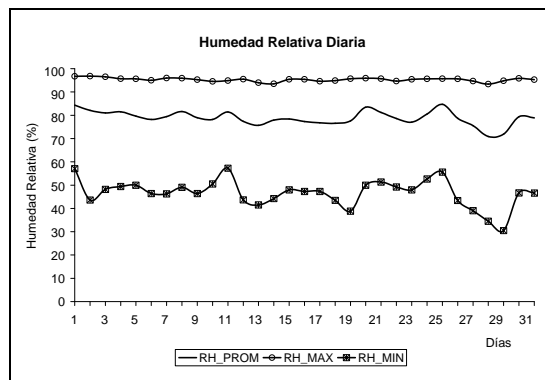
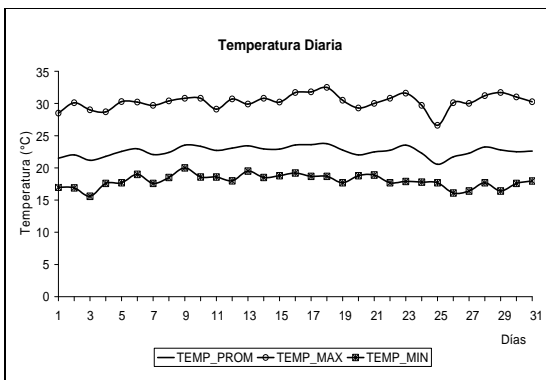
**Julio**

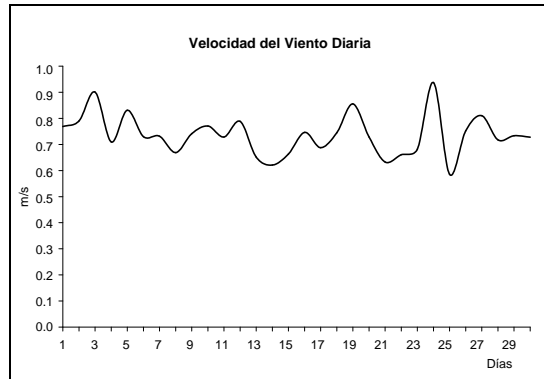
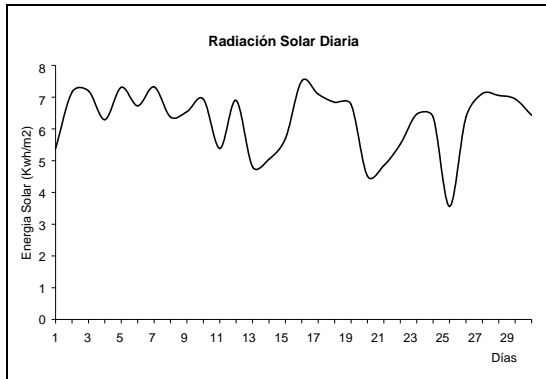


Agosto

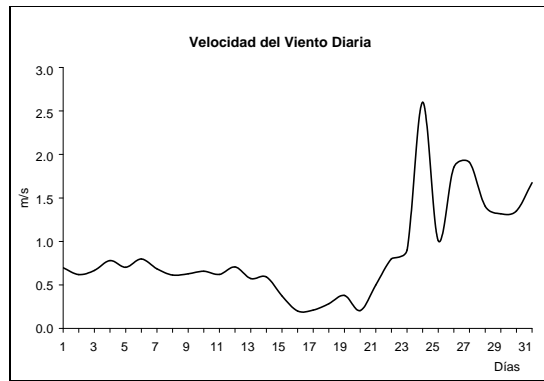
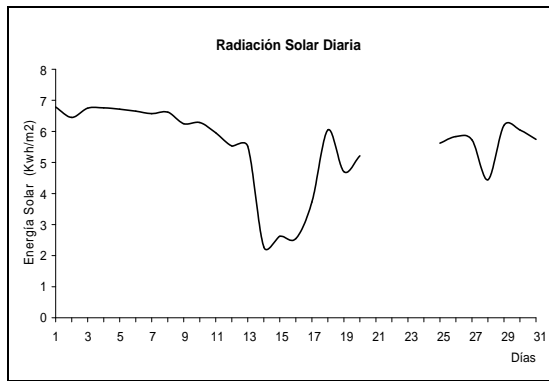
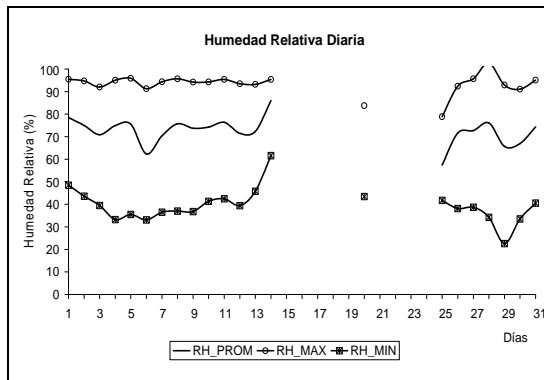
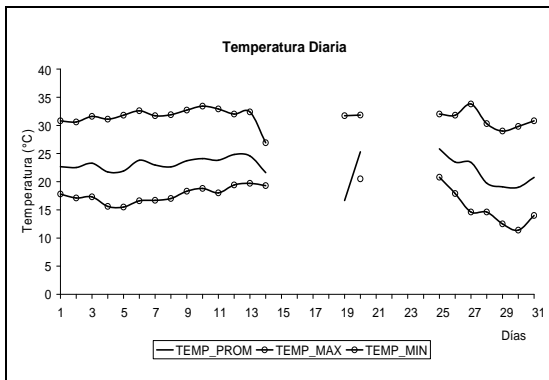


Septiembre



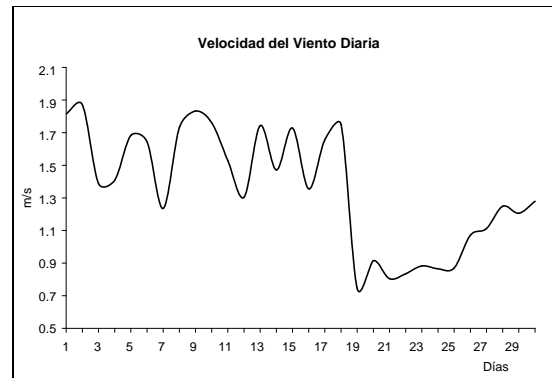
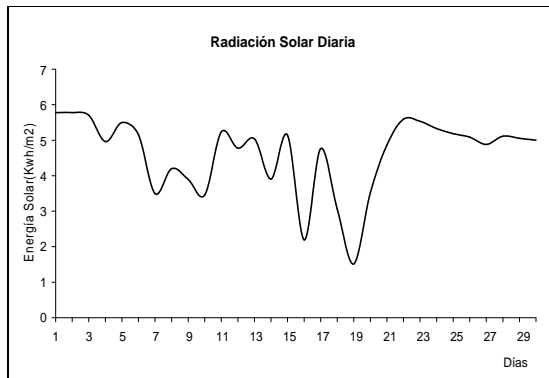
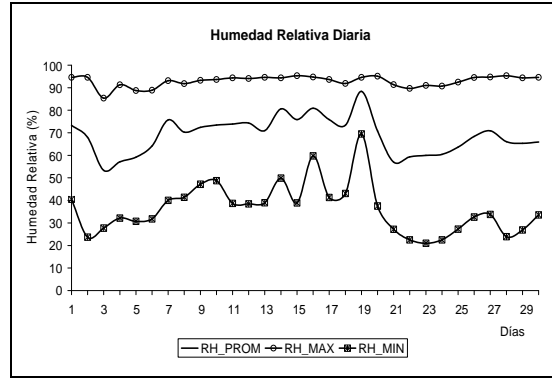
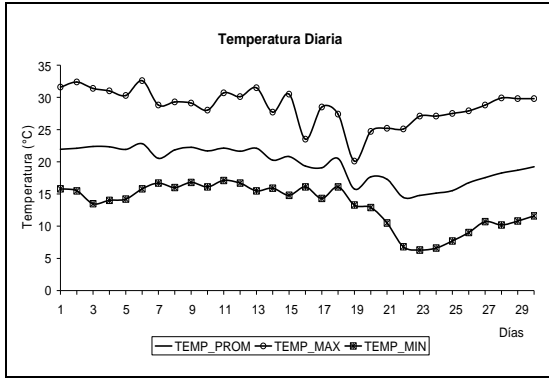


Octubre

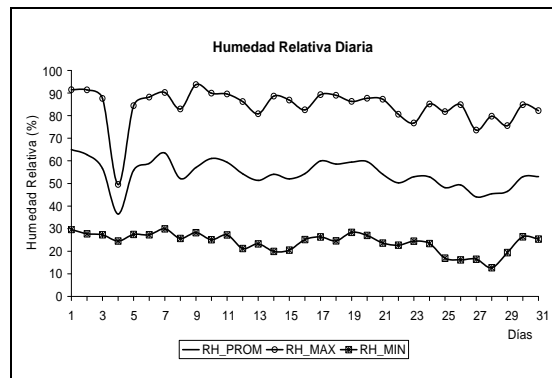
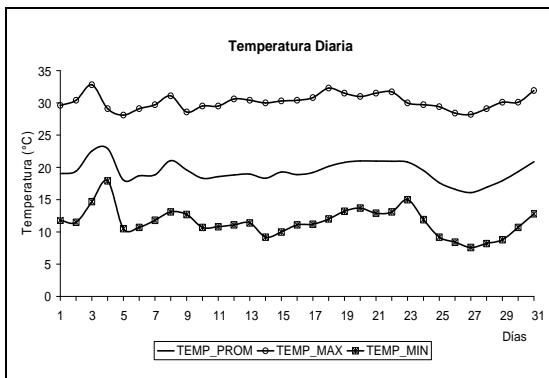


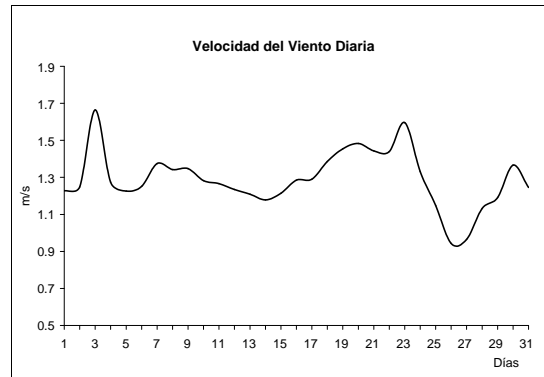
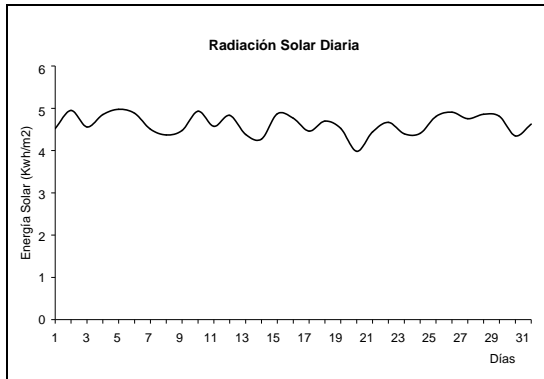


Noviembre



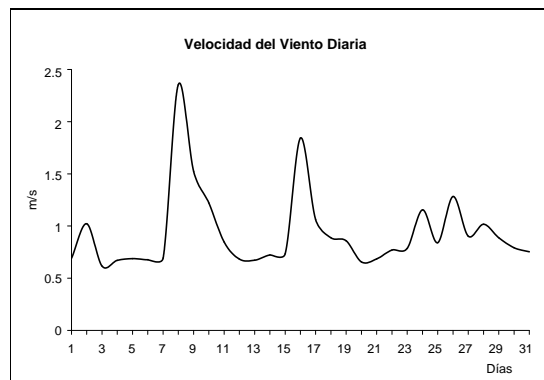
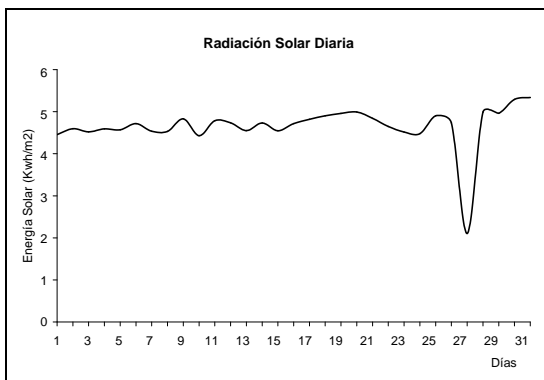
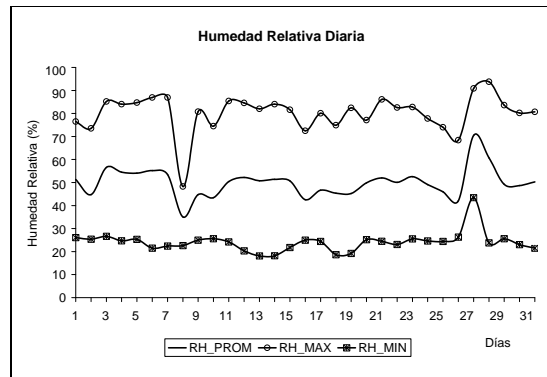
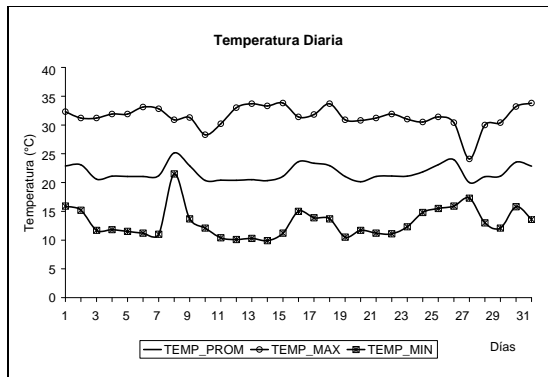
Diciembre



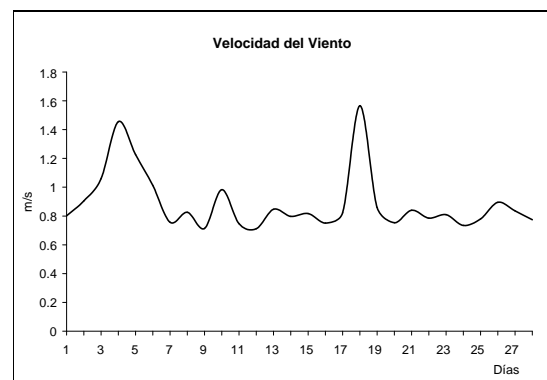
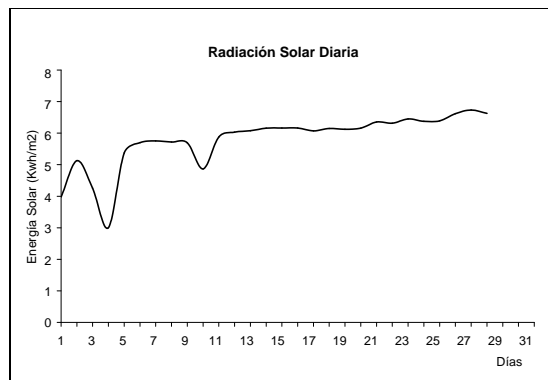
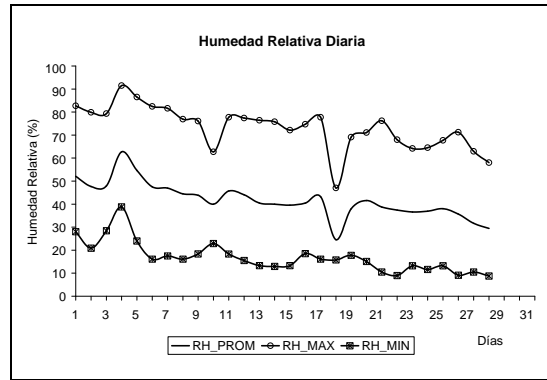
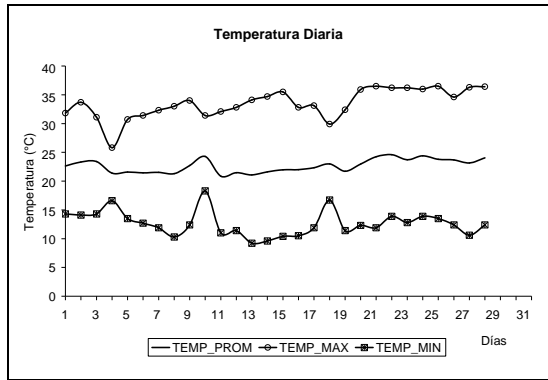


**TLAQUILTENANGO**

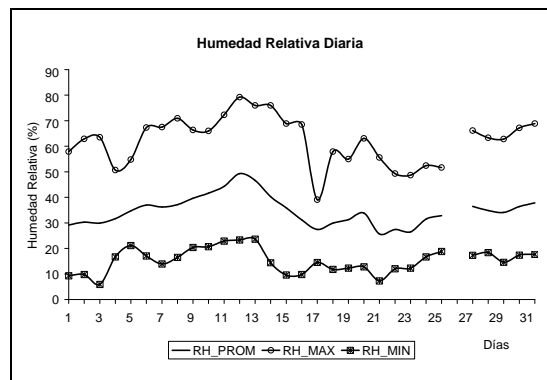
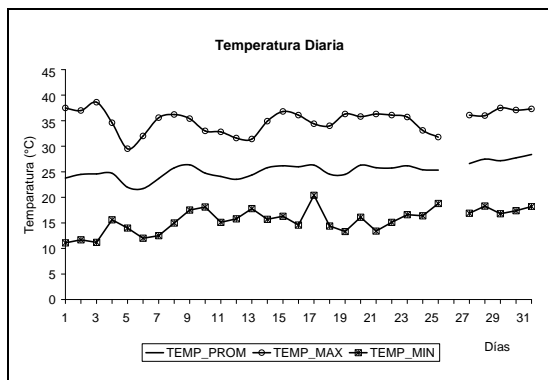
**Enero**

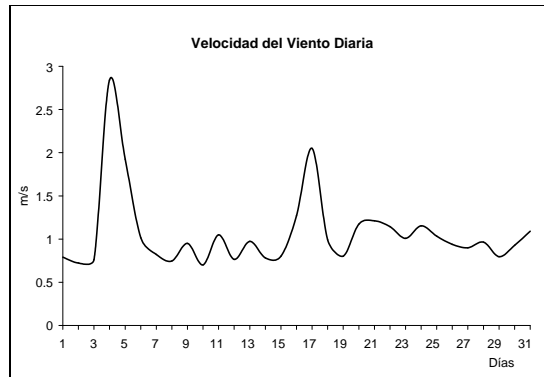
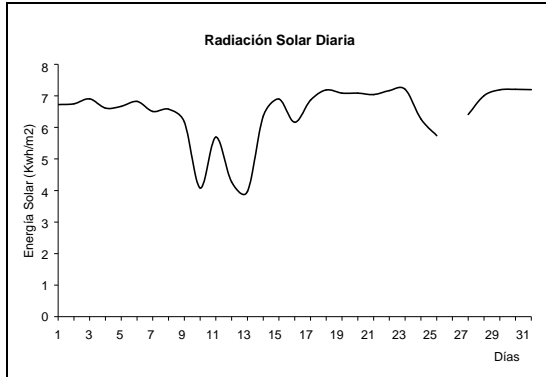


Febrero

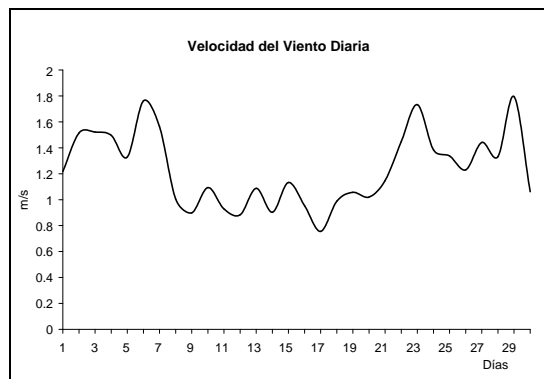
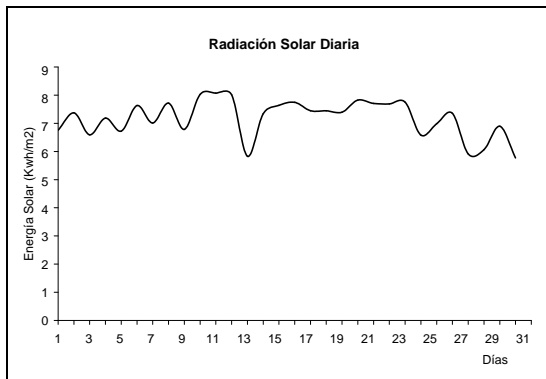
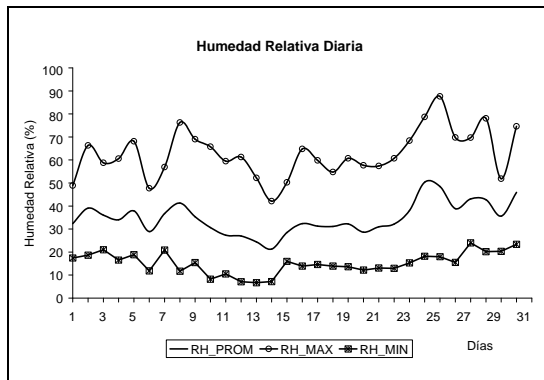
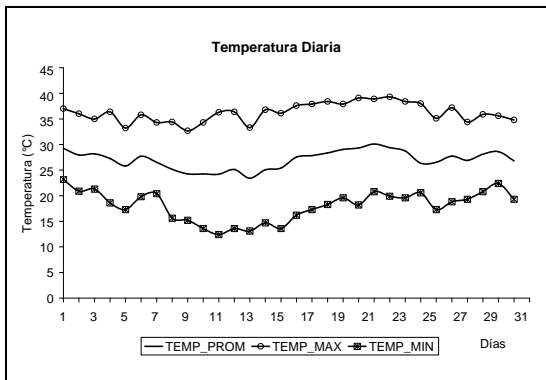


Marzo

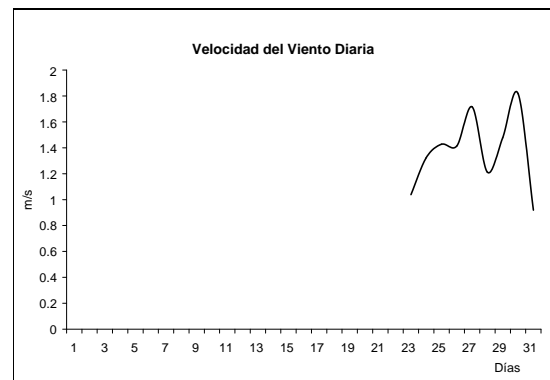
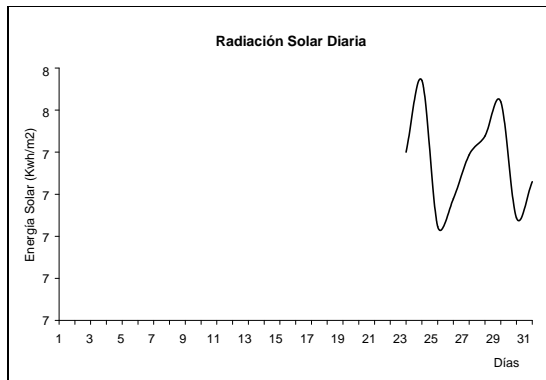
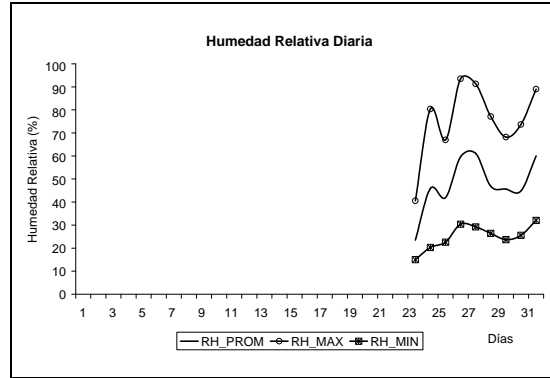
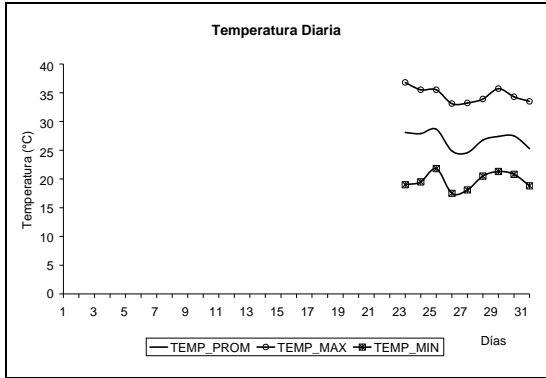




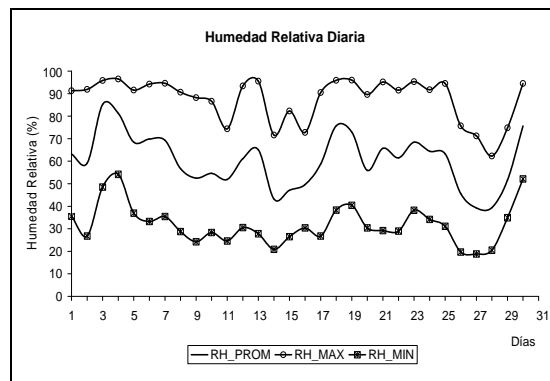
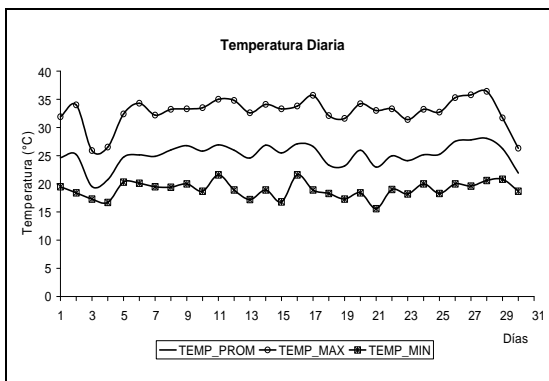
**Abril**

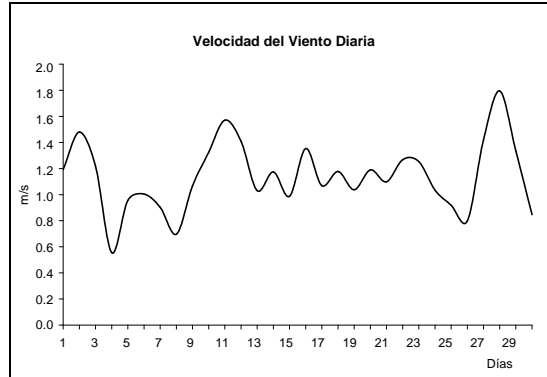
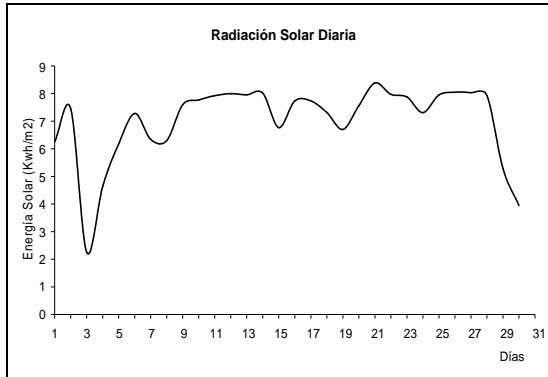


Mayo

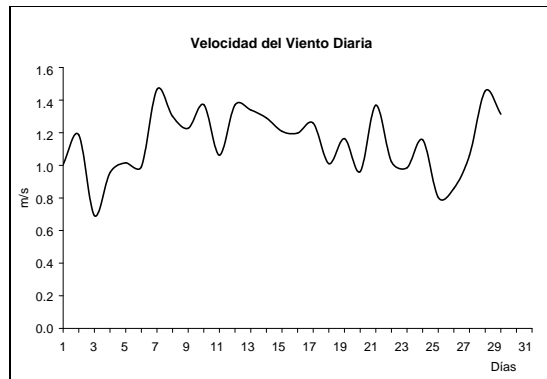
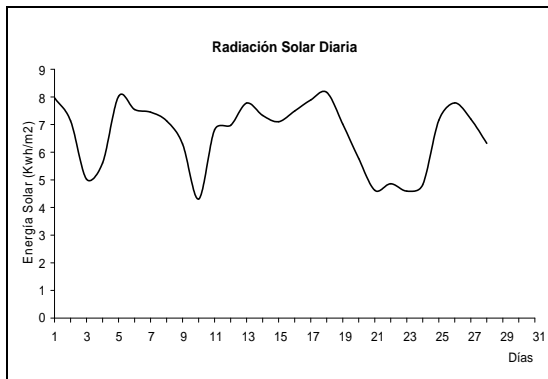
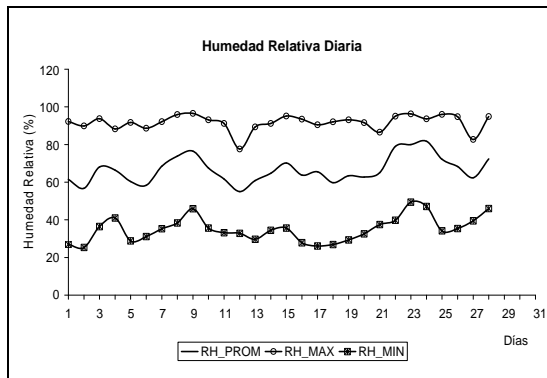
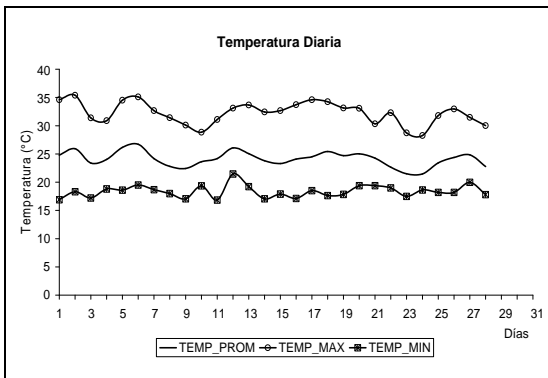


Junio

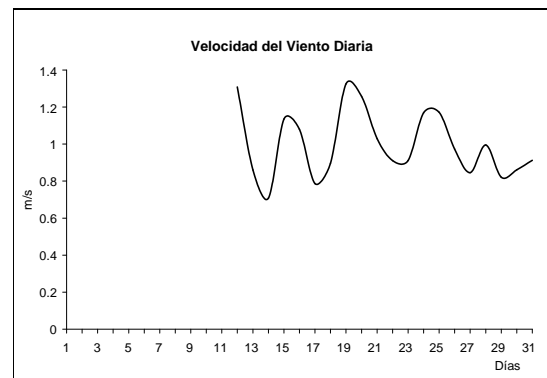
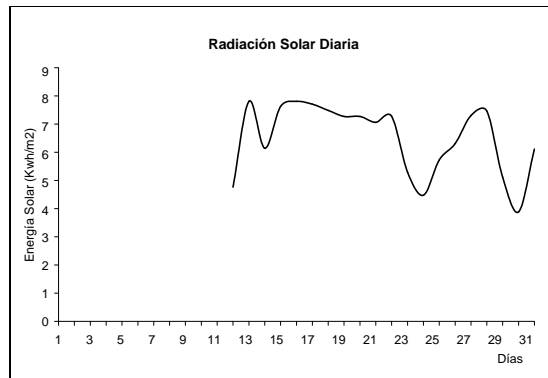
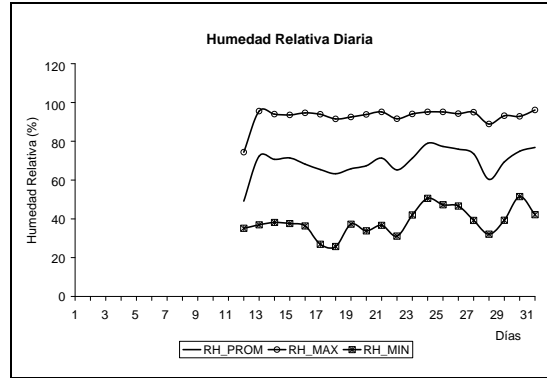
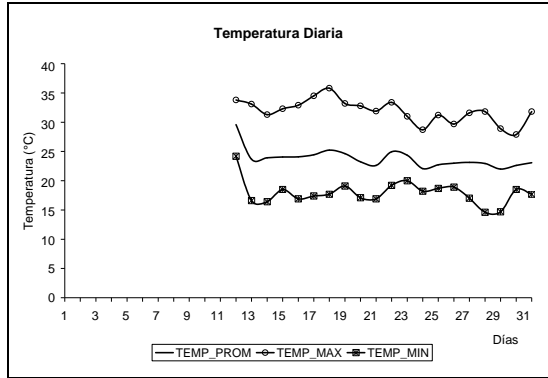




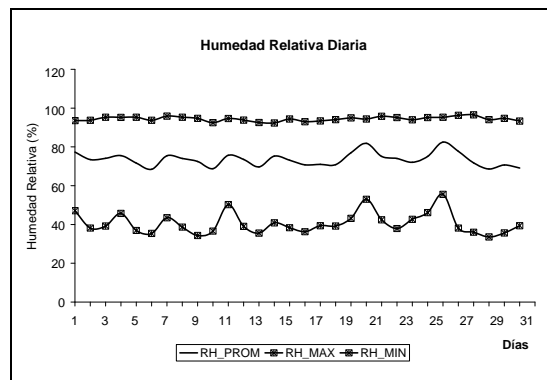
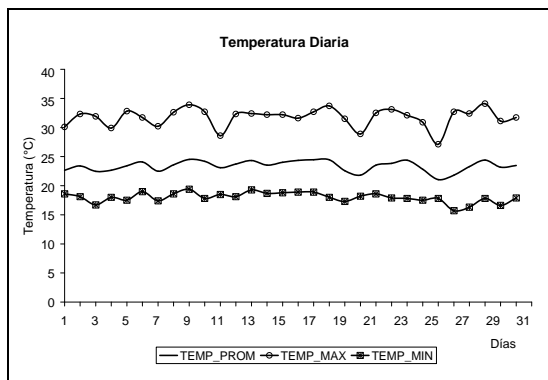
**Julio**

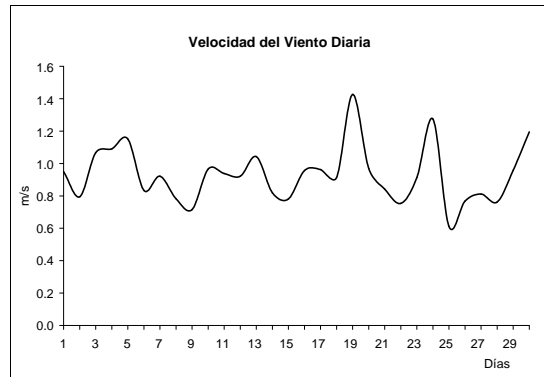
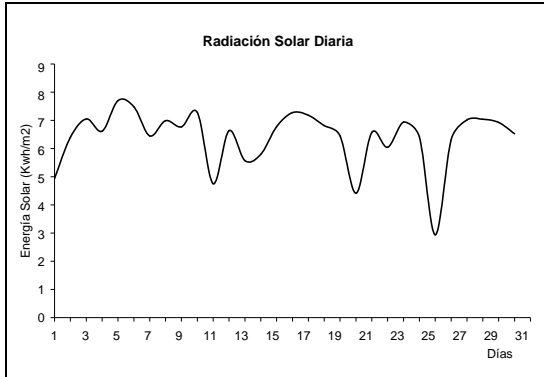


Agosto

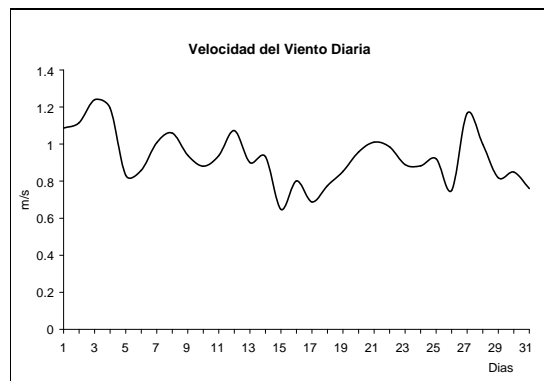
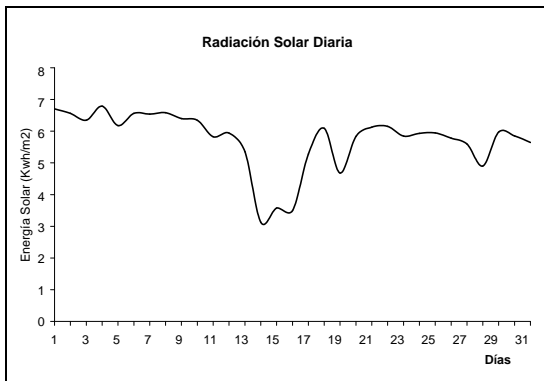
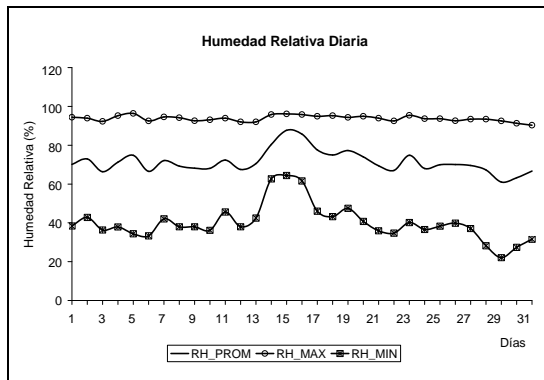
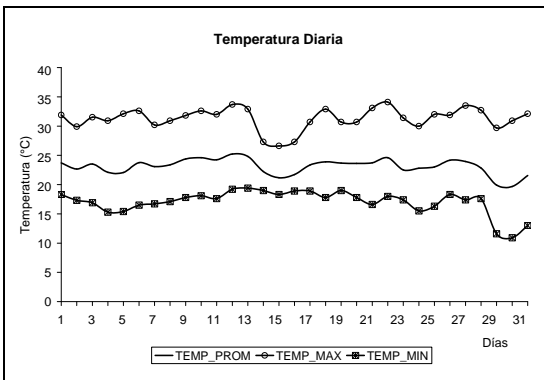


Septiembre



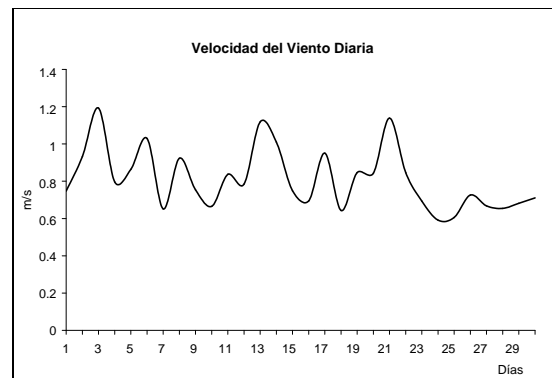
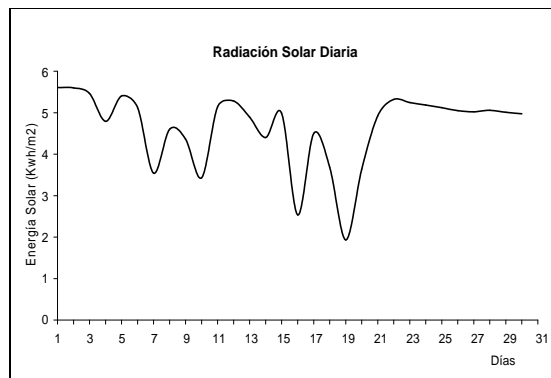
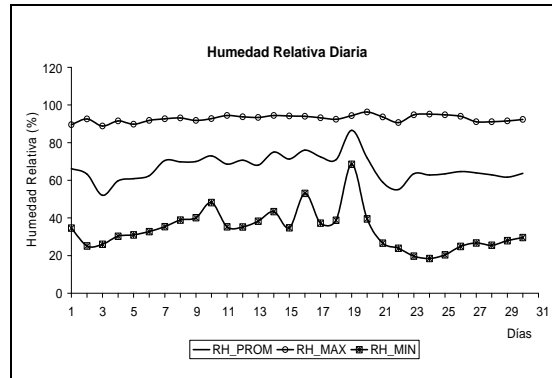
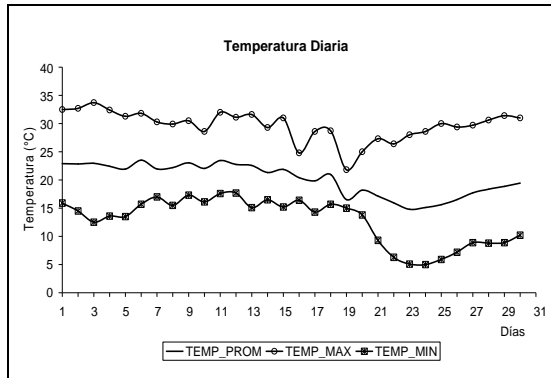


Octubre

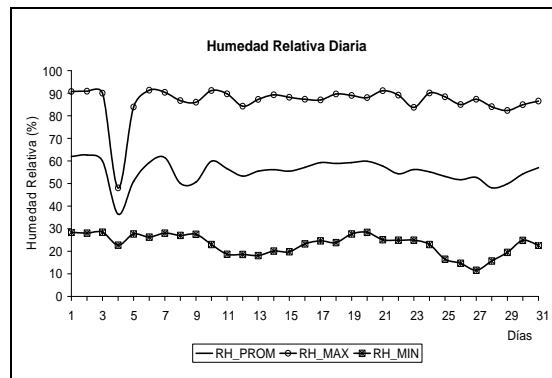
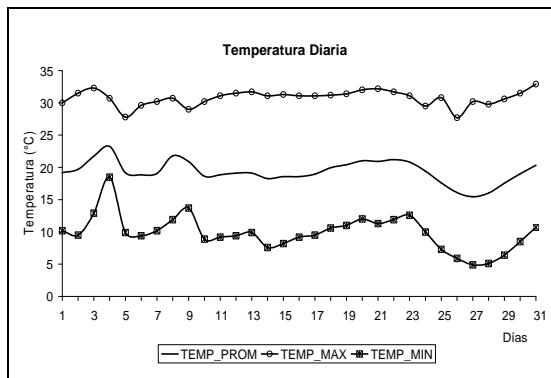


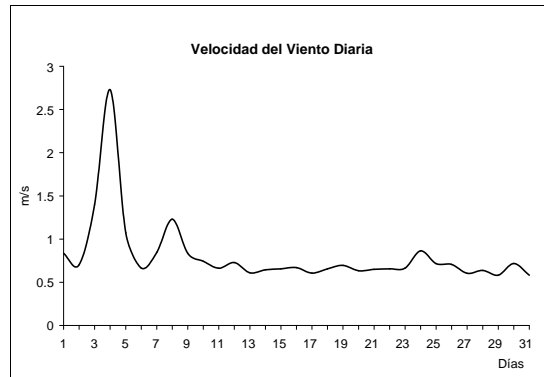
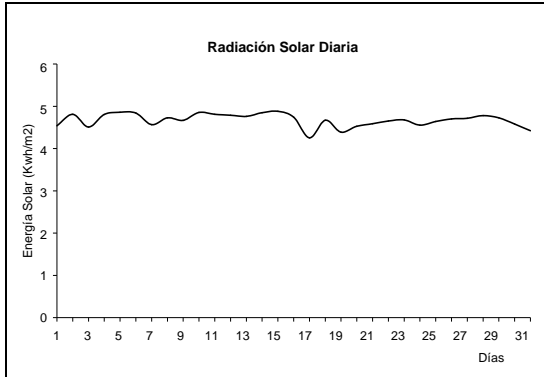


Noviembre



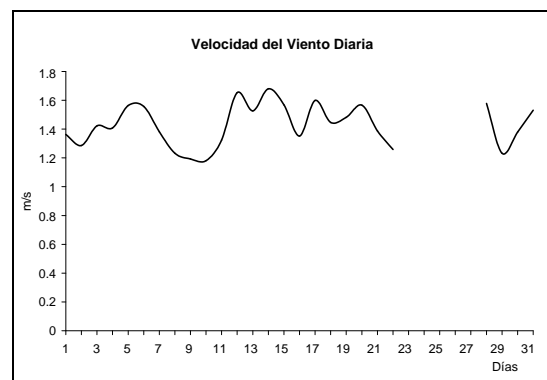
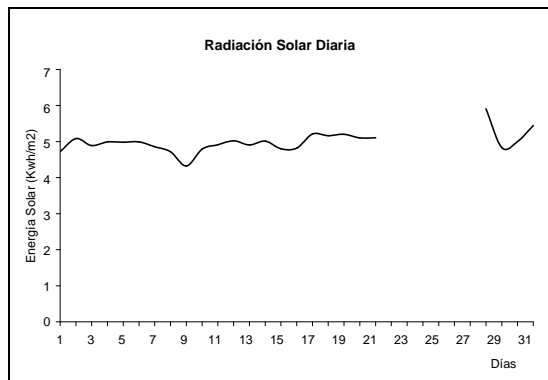
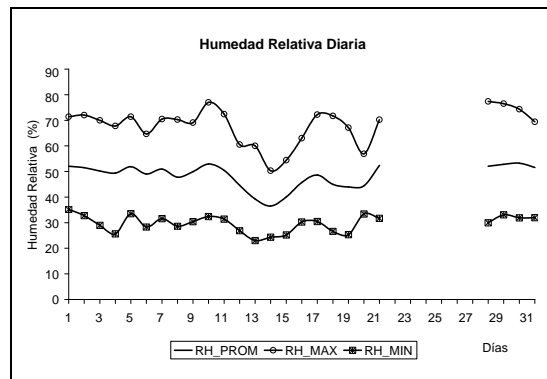
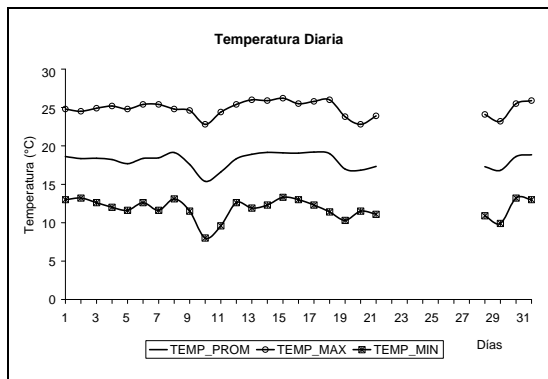
Diciembre



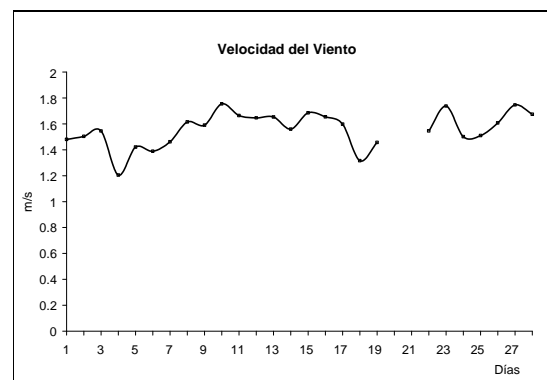
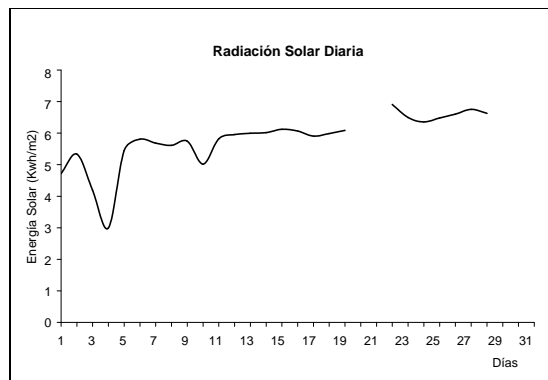
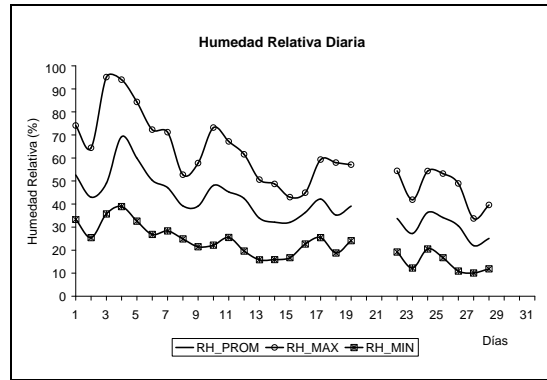
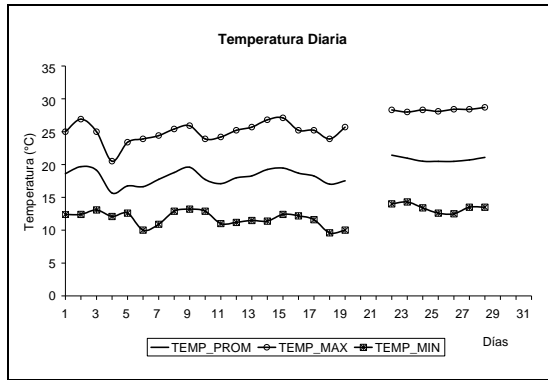


**TLAYACAPAN**

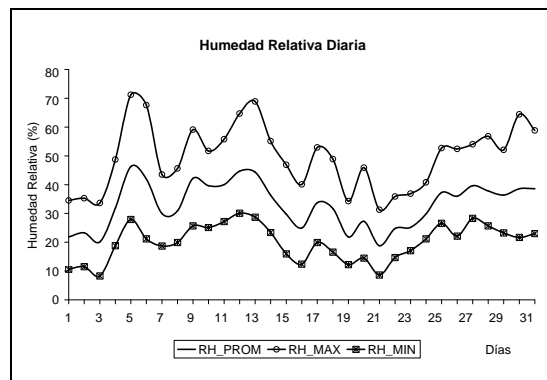
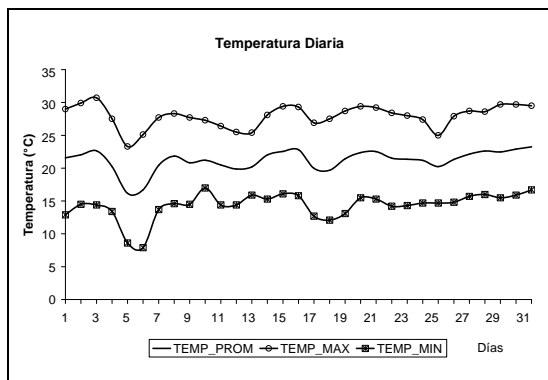
**Enero**

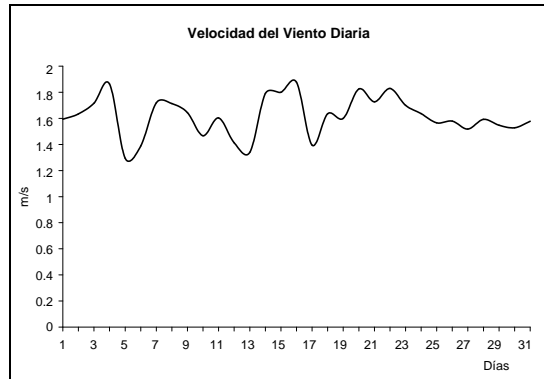
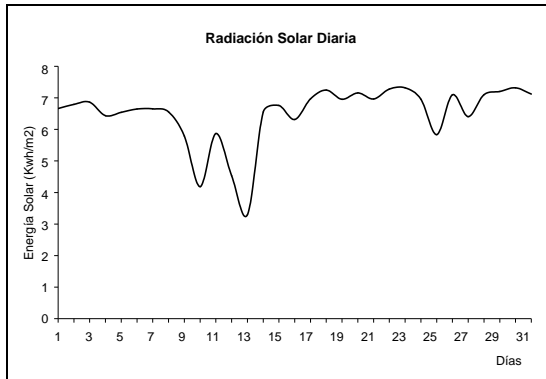


Febrero

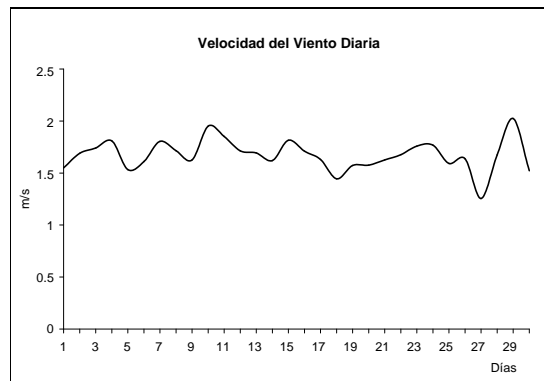
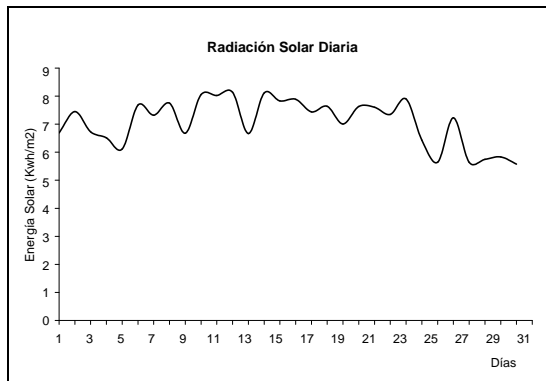
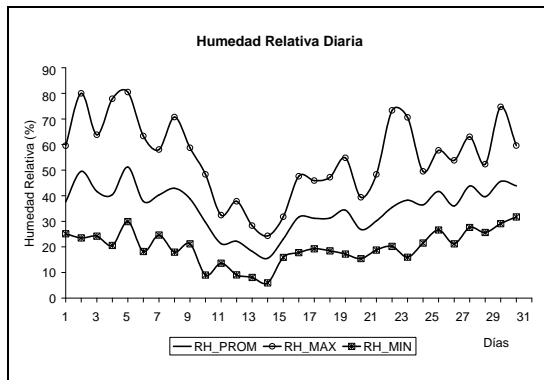
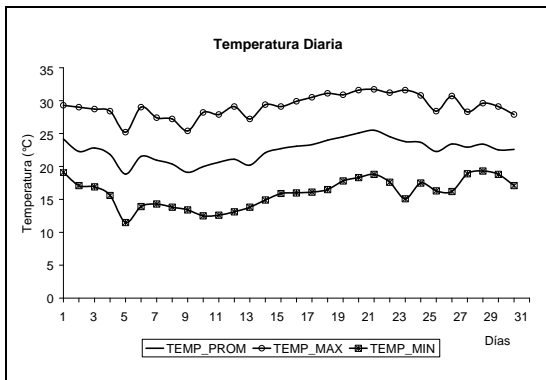


Marzo

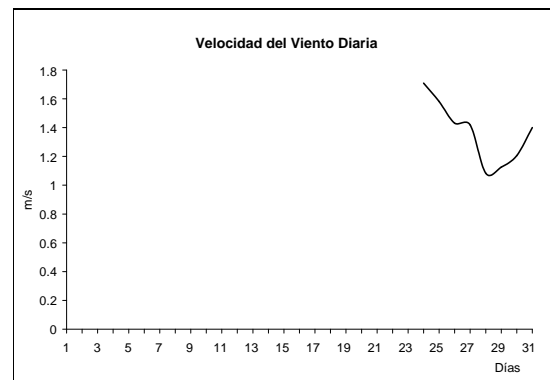
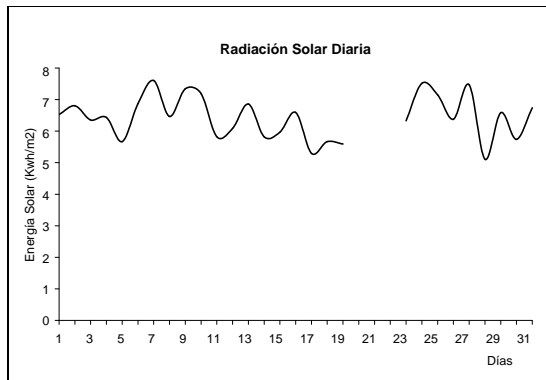
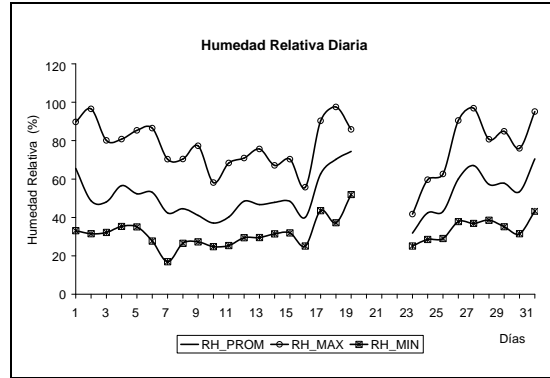
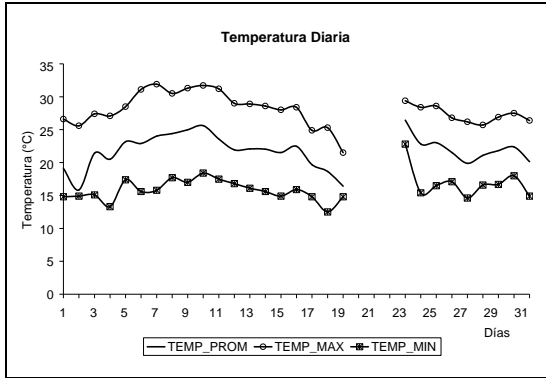




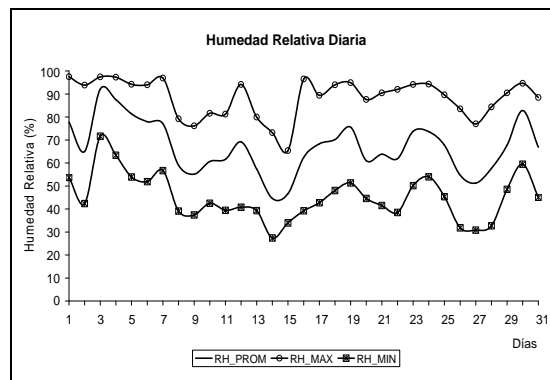
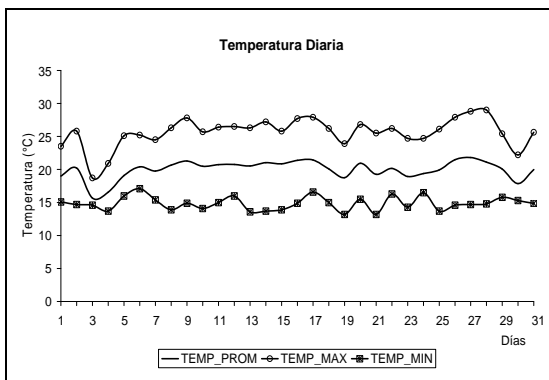
**Abril**

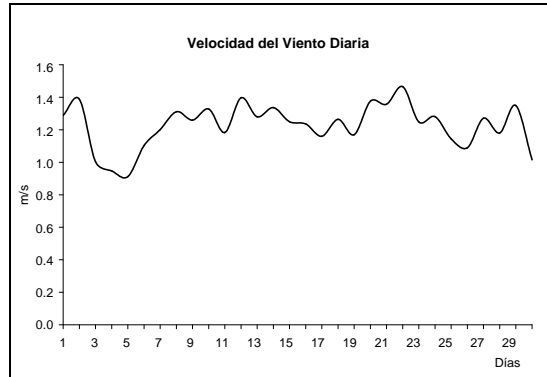
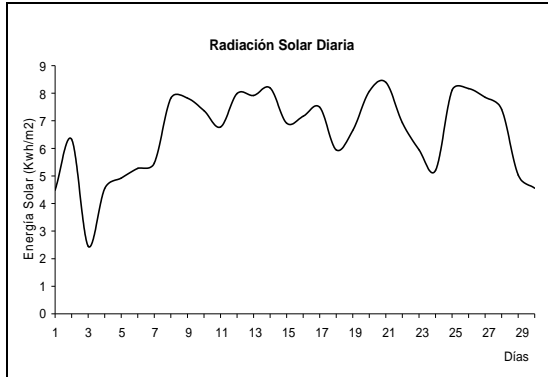


Mayo

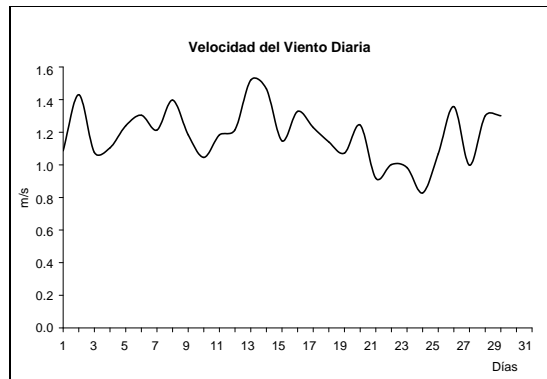
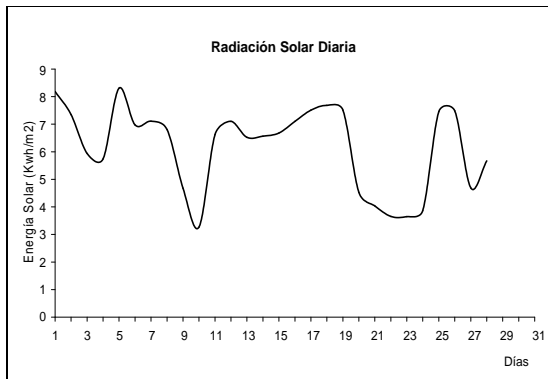
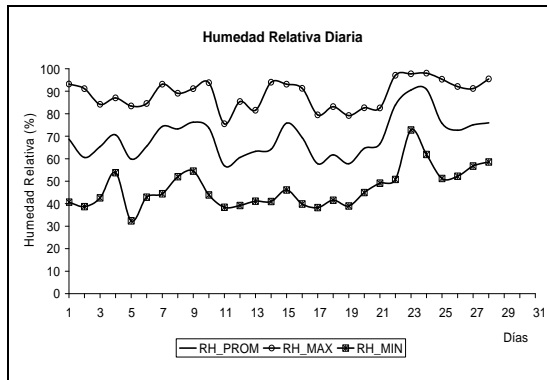
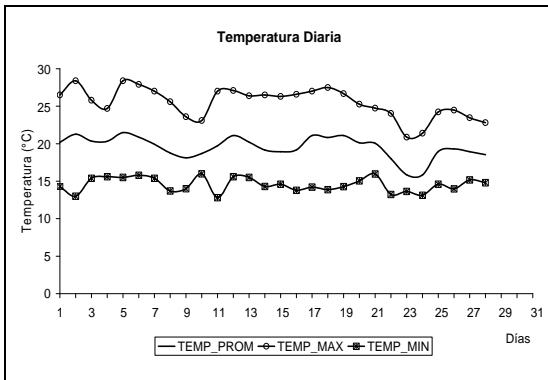


Junio

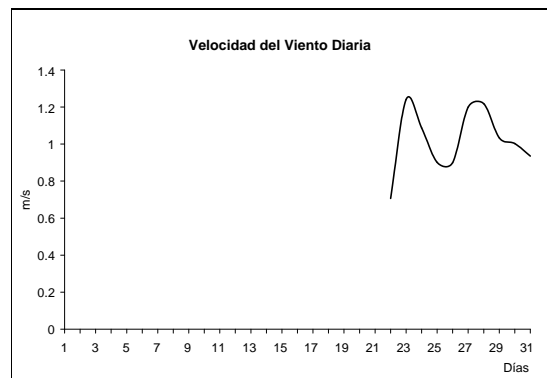
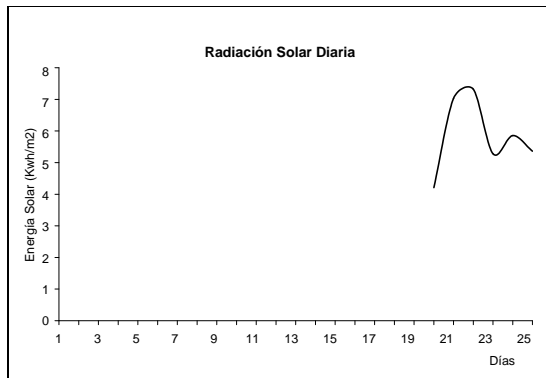
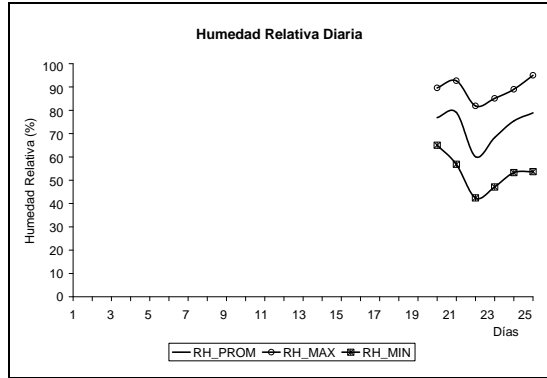
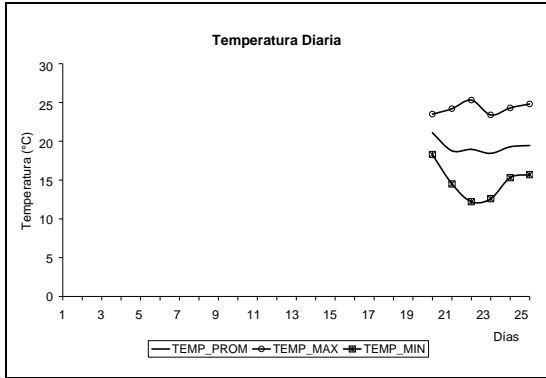




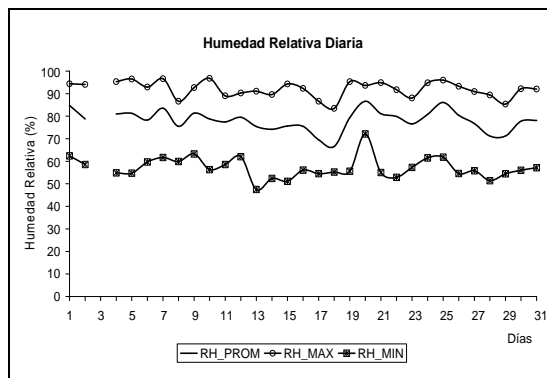
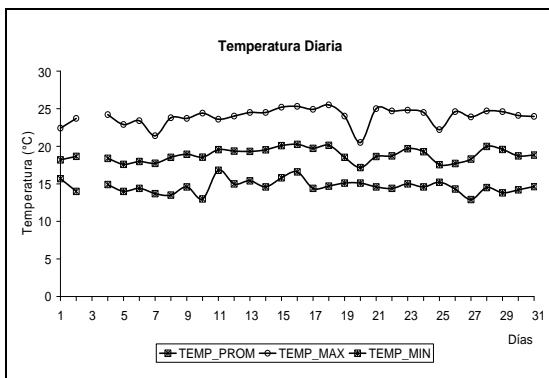
**Julio**

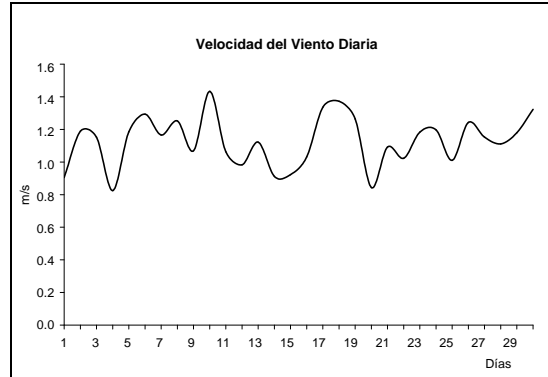
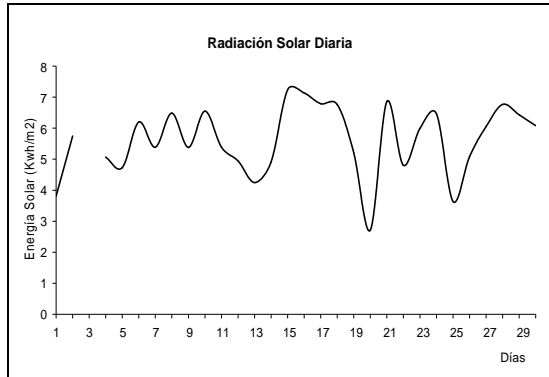


Agosto

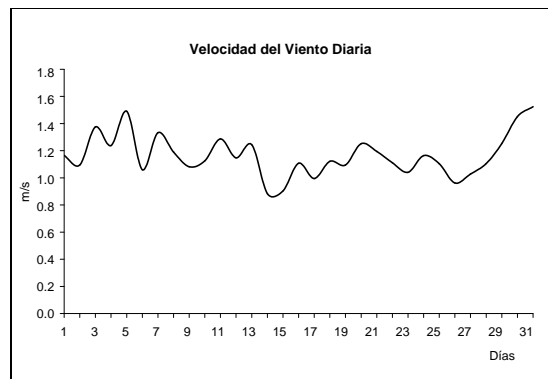
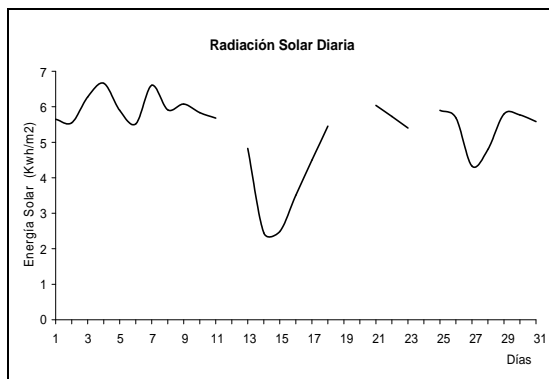
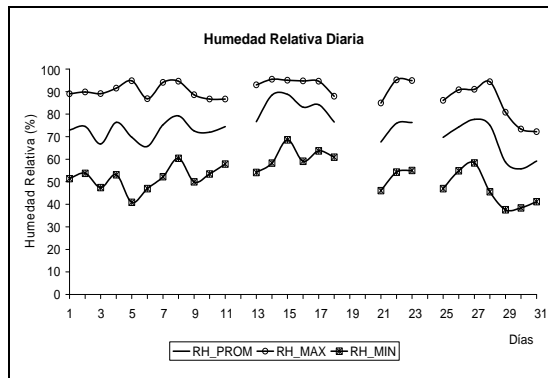
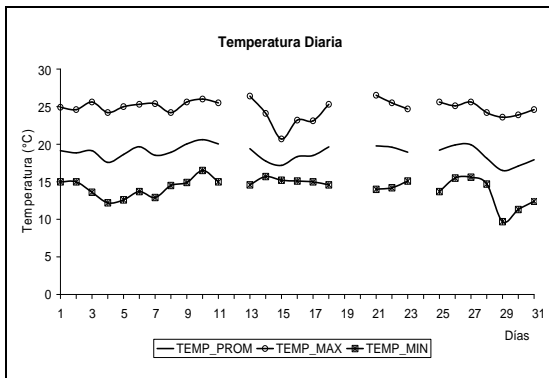


Septiembre



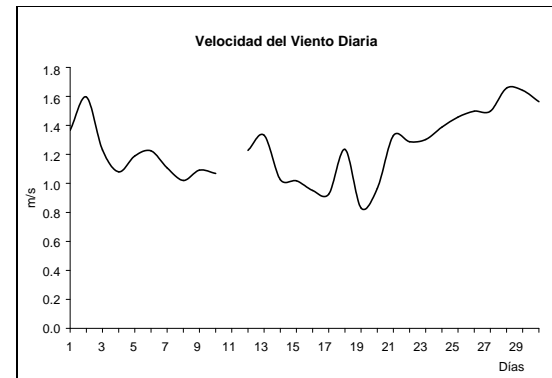
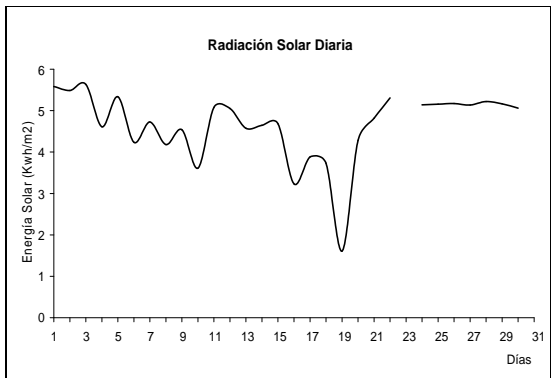
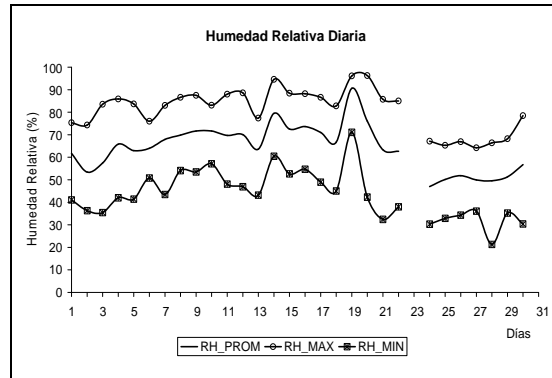
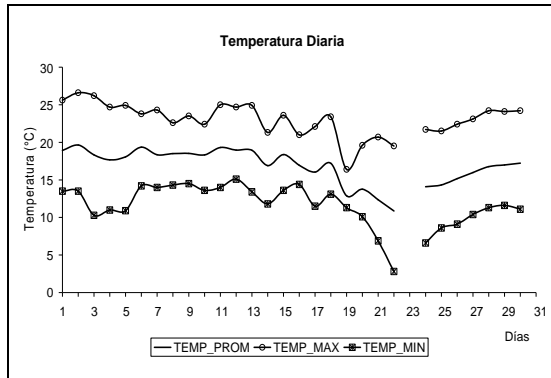


Octubre

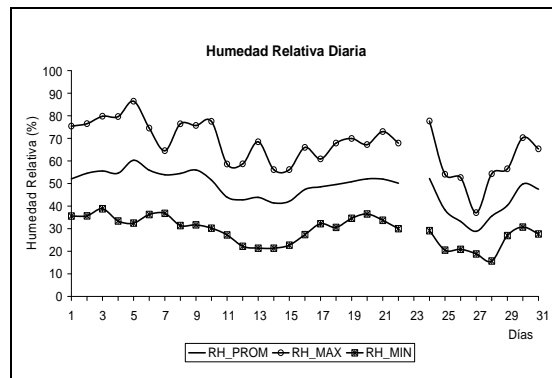
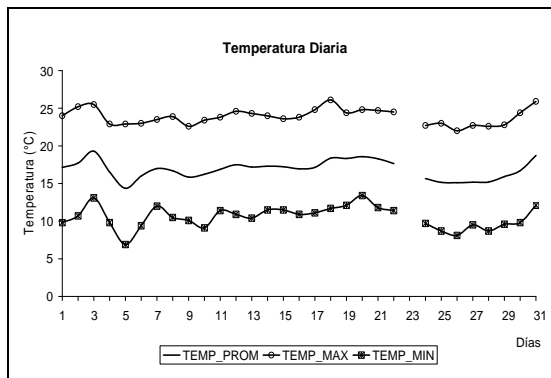


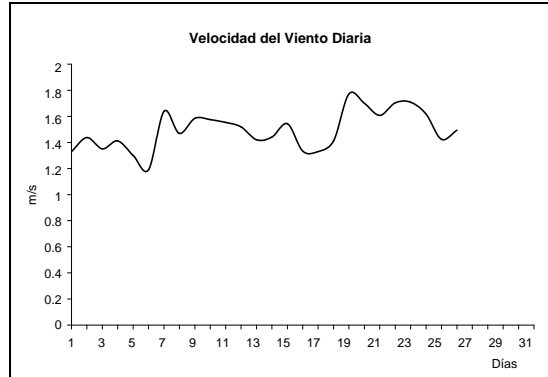
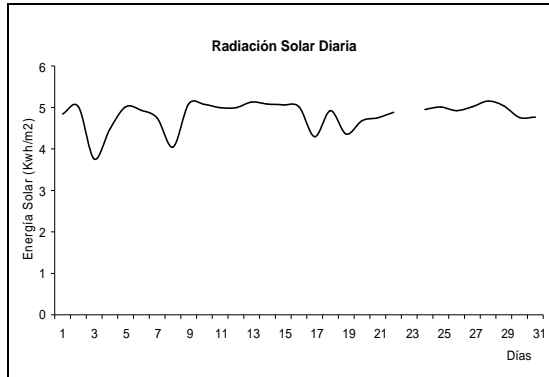


Noviembre



Diciembre





This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.



# ***cenidet***

**Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico  
Departamento de Ingeniería Mecánica**

## **TESIS DE MAESTRÍA EN CIENCIAS**

**Evaluación de las Variables Climáticas y Estudio Comparativo de las Metodologías de los Grados-Día y TRNSYS para Evaluar la Demanda de Energía en el Estado de Morelos**

Presentada por

**Miguel Ángel Gijón Rivera**

Ing. Mecánico por el I. T. de Querétaro

Como requisito para la obtención del grado de:  
**Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica**

**Director de tesis:**

Dra. Gabriela del Socorro Álvarez García

**Jurado:**

Dra. Yvonne Chávez Chena - Presidente

Dra. Sara Lilia Moya Acosta - Secretario

M.C. José Manuel Morales Rosas – Vocal

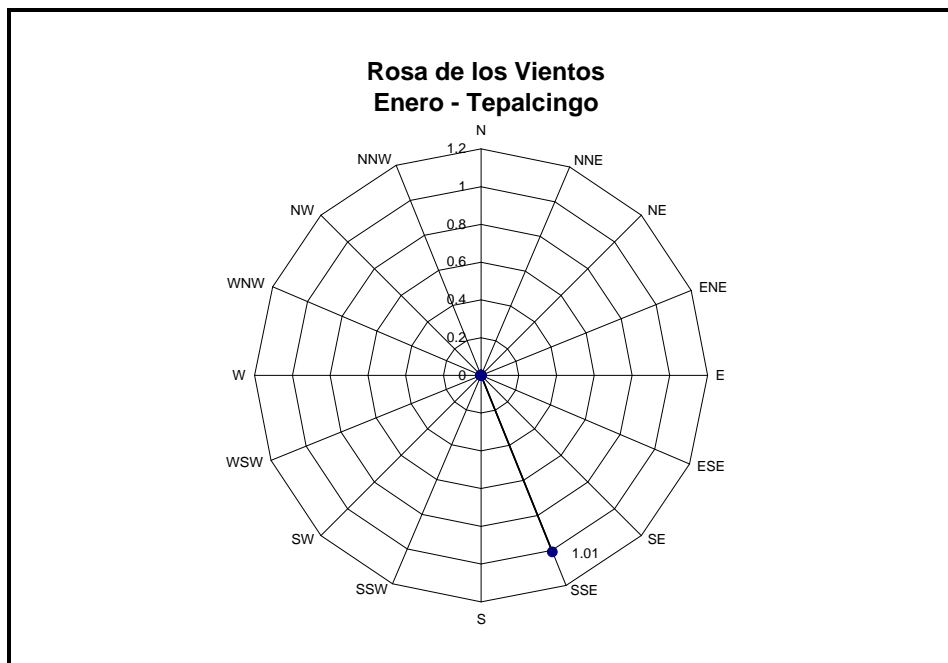
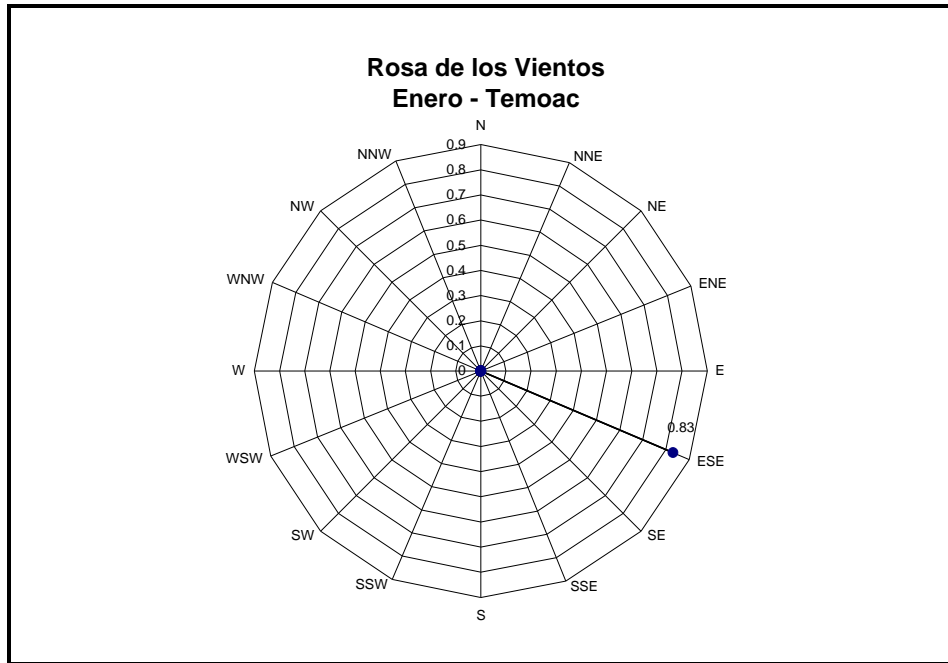
Dra. Gabriela del Socorro Álvarez García – Vocal Suplente

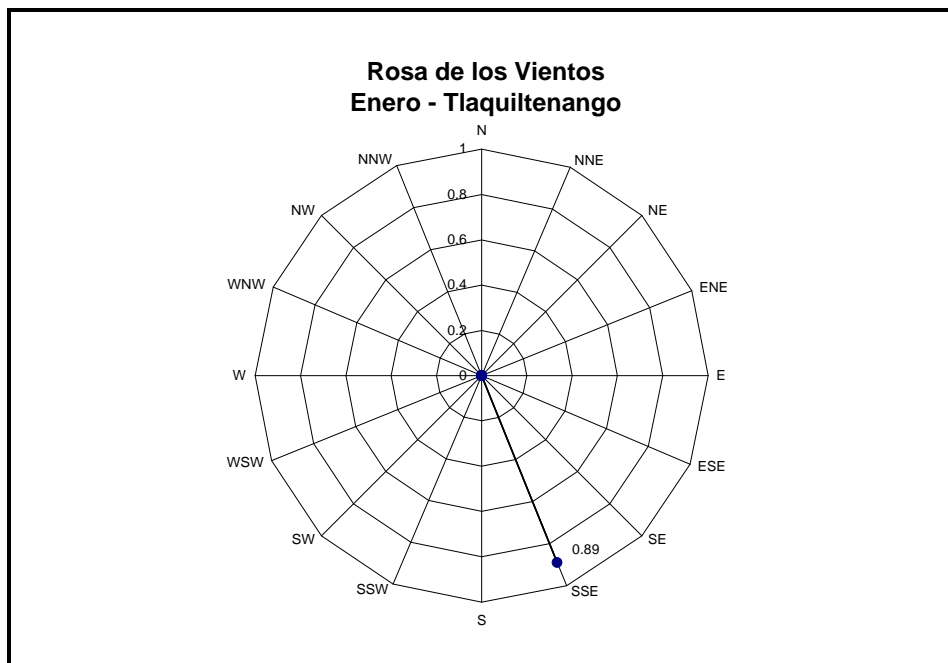
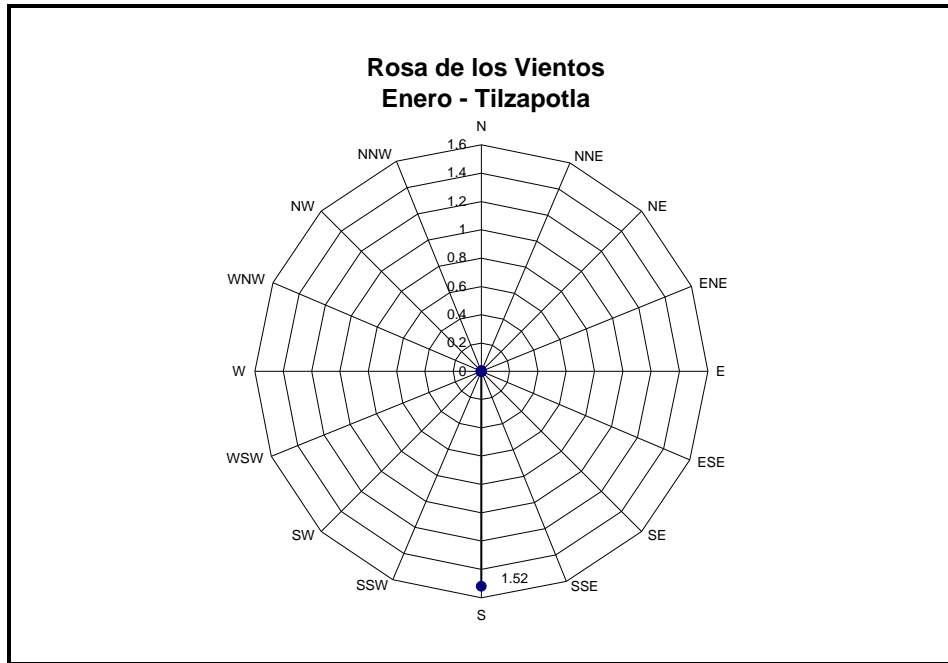
This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

## **ANEXO III**

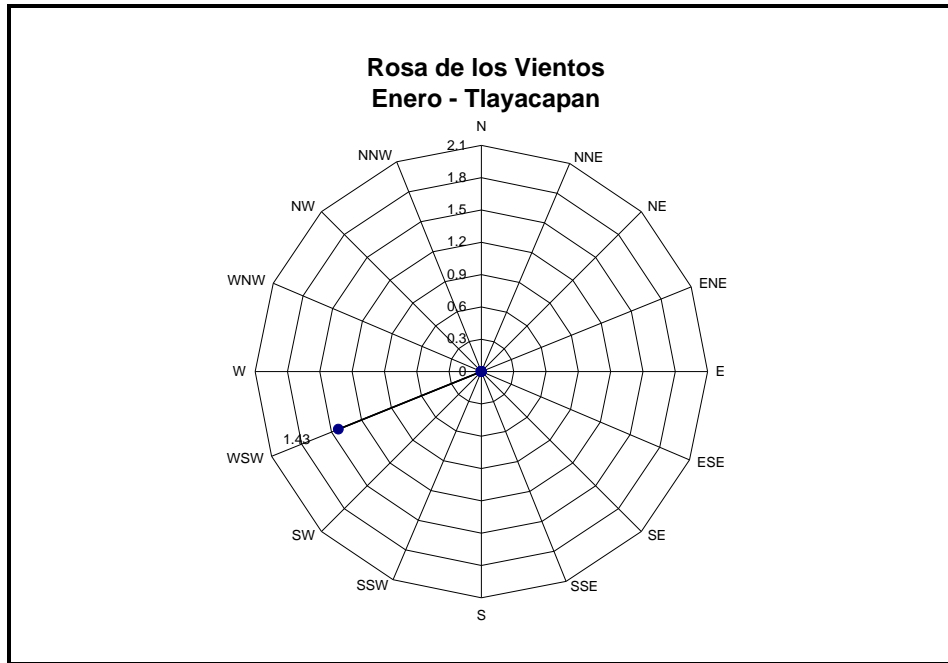
### **ROSA DE LOS VIENTOS**

Los registros de la velocidad y dirección de los vientos obtenidos en estudios climáticos se reportan gráficamente en la llamada “Rosa de los Vientos”. En este estudio los registros fueron procesados de forma distinta por cuestiones de espacio e impresión. A continuación se muestra un ejemplo de la rosa de los vientos para el mes de Enero en las cinco EMAS del Cenidet en el Estado de Morelos.









This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

## DEDICATORIAS

A **Dios**, por darme la vida, salud y fortaleza para concluir mis estudios de maestría....

A mi madre **Alicia Rivera Carmona**, que es el reflejo de una buena mujer que formó buenos hombres y de buen corazón, TE AMO mi güerita....

A mi padre **Adolfo Gijón**, que estoy seguro que a cada segundo me manda sus bendiciones desde el cielo....

A mi hermano **Carlos R. Gijón**, que sin él nada de esto hubiera sido posible; un día dijiste quererme como a un hijo, hoy te expreso que te quiero como se le quiere a un padre, gracias brother....

A mi hermana **Alicia Gijón** y su familia, por su apoyo incondicional y amor....

A los amigos que se adelantaron en el camino (**Bucles**)....

A los amigos que siguen haciéndome disfrutar la vida y han estado conmigo en los momentos más difíciles (**Juan Carlos y Debbie**)....

A los cuates de generación (**Memo, Pepe, Gabo, Vladis, Pasky y José Manuel**), siempre recordaré las experiencias que pasamos juntos....

A los compañeros del CENIDET, con los que compartí excelentes experiencias y enseñanzas durante mi maestría (**Prof. Chagolla, Camarillo, Pedro**)

A los que por la naturaleza de una memoria ineficaz, pude haber omitido, gracias....

Muy Especialmente a mi esposa y el amor de mi vida (**Alondra Flores U.**), lo único que necesito para ser feliz. Gracias por tu paciencia, comprensión, amor y ayuda para cumplir esta meta más en mi vida, recuerda que esto también es tuyo. TE AMO....

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la **Dra. Gabriela del Socorro Álvarez García**, por su incondicional ayuda como directora y autora intelectual de este trabajo. Gracias por sus consejos, apoyo y confianza en mí, ¡La admiro y la respeto!

Al **Dr. Jorge Ovidio Aguilar Aguilar** y a la **Ing. Citlali Medrano Arce**, por su participación, enseñanzas y buenos momentos que pasamos juntos en la primera etapa de este proyecto.

A todo el Grupo de Profesores del Departamento de Ingeniería Mecánica que en distinto grado ayudaron a formarme en esta etapa de mi vida.

Al comité revisor: **Dra. Sara Lilia Moya Acosta**, **Dra. Yvonne Chávez Chena** y **M. C. José Manuel Morales Rosas** por sus importantes comentarios y aportaciones durante la revisión de ésta tesis.

A los Fondos Mixtos (**FOMIX**) del gobierno del Estado de Morelos y CONACYT, por el apoyo económico brindado para la realización de este proyecto.

Al Servicio Meteorológico Nacional (**SMN**), por los datos brindados y la información proporcionada para la realización de esta tesis.

Al Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (**CENIDET**), por brindarme la oportunidad concluir mis estudios de maestría y el apoyo que brindado para la realización de este proyecto.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**), por el apoyo económico brindado para sustentar mis estudios de maestría.

A la Dirección General de Educación Superior Tecnológica (**DGEST**), por el apoyo económico durante el desarrollo de la maestría.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

---



---

**ÍNDICE**

	<b>Página</b>
Lista de Figuras	iv
Lista de Tablas	xiii
Nomenclatura	xiv
Resumen	xvii
Abstract	xix
<b>CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 Ubicación del Problema	
1.1.1 Motivación	1
1.1.2 Antecedentes	3
1.1.2.1 El hombre y la energía	3
1.1.2.2 Normatividad de los energéticos	4
1.1.3 Panorama internacional del sector energético	5
1.1.3.1 Políticas internacionales sobre eficiencia energética	6
1.1.3.1 Estadísticas internacionales sobre el sector energético	6
1.1.4 Panorama nacional del sector energético	10
1.1.4.1 Consumo nacional de energía	10
1.1.4.2 Normas de eficiencia energética en México	15
1.2 Revisión bibliográfica	16
1.2.1 Variables térmico-ambientales, grados-día y consumo de energía	16
1.2.2 Estudios de simulación energética en edificaciones	20
1.2.3 Diseño bioclimático de edificaciones	22
1.3 Objetivo	24
1.4 Alcance	24
1.5 Descripción de capítulos	25
<b>CAPÍTULO 2 VARIABLES CLIMÁTICAS</b>	
2.1 El clima y la edificación	26
2.2 Condiciones geográficas y climáticas del Estado de Morelos	27
2.3 Estaciones meteorológicas seleccionadas	32
2.3.1 Descripción de una estación meteorológica automática (EMA)	32
2.4 Radiación solar	34
2.4.1 Naturaleza de la radiación solar y geometría solar	34
2.4.2 Medición de la radiación solar	37
2.5 Temperatura	39
2.5.1 Definición de la temperatura	40

2.5.2 Medición de la temperatura	40
2.6 Humedad	41
2.6.1 Definición de la humedad	41
2.6.2 Medición de la humedad	42
2.7 Viento	43
2.7.1 Definición de la velocidad y dirección del viento	43
2.7.2 Medición de la velocidad y dirección del viento	43
2.8 Localización de las estaciones meteorológicas en el Estado de Morelos	44
2.9 Procesamiento mensual de los datos meteorológicos	52
2.10 Confort térmico y estrategias de climatización	58
2.10.1 Confort térmico	58
2.10.2 Estrategias de climatización	60
2.10.3 Clasificación climática y estrategias de diseño para los datos reportados de las EMAS	63

### **CAPÍTULO 3 MAPEO DE VARIABLES CLIMÁTICAS**

3.1 Radiación solar	75
3.2 Temperatura media	83
3.3 Temperatura máxima	90
3.4 Temperatura mínima	97
3.5 Humedad relativa	104
3.6 Velocidad del viento	111

### **CAPÍTULO 4 GRADOS-DÍA Y DEMANDA ENERGÉTICA**

4.1 Metodología de los grados-día	119
4.1.1 Temperatura de punto de balance	120
4.1.2 Método anual de los grados-día	121
4.1.3 Grados-día mensuales	123
4.2 Cálculo de los Grados-día	124

### **CAPÍTULO 5 TRNSYS**

5.1 Descripción del programa	139
5.1.1 ¿Qué es el Programa de cómputo TRNSYS?	139
5.1.2 Simulación térmica transitoria y en estado permanente	140
5.1.3 Funciones de transferencia	141
5.1.4 Salidas del programa	142
5.2 Componentes del programa	143
5.2.1 Type 9 lector de datos	143
5.2.2 Type 54 generador de datos del clima	143



5.2.3 Type 16 procesador de datos de radiación	144
5.2.4 Type 33 psicrométrico	144
5.2.5 Type 56 edificio multizonas	145
5.3 Interfaces del programa	145
5.3.1 IIsibat	145
5.3.2 Prebid	146
5.4 Descripción de la vivienda tipo	147
5.4.1 Selección de la vivienda tipo	147
5.4.2 Características de la vivienda tipo	149
5.4.3 Propiedades termo-físicas de los materiales de construcción	153
5.5 Resultados de las Simulaciones en TRNSYS	154

## **CAPÍTULO 6 RESULTADOS**

6.1 Grados-día	199
6.2 TRNSYS	201
6.3 Comparativo entre grados-día y TRNSYS	204

## **CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

7.1 Conclusiones	214
7.2 Recomendaciones	218

## **BIBLIOGRAFÍA**

219

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
1.1	Consumo global de energía en la comunidad europea	7
1.2	Crecimiento del consumo mundial de energía	8
1.3	Generación de electricidad a partir de energías renovables en América Latina	8
1.4	Consumo mundial total de energía por combustible	8
1.5	Consumo mundial total de energía por partes de combustibles	8
1.6	Evolución del consumo mundial total de energía por región	9
1.7	Consumo mundial total de energía por regiones	9
1.8	Evolución del consumo mundial total de energía eléctrica por sector	9
1.9	Consumo mundial total de energía eléctrica por sector	9
1.10	Emisiones totales mundiales de CO <sub>2</sub> por combustible	10
1.11	Emisiones de CO <sub>2</sub> por combustible	10
1.12	Emisiones totales mundiales de CO <sub>2</sub> por región	10
1.13	Emisiones de CO <sub>2</sub> por región	10
1.14	Consumo Nacional de Energía 2005	12
1.15	Consumo Nacional de Energía 2005	13
1.16	Estructura regional de las ventas internas por estado	14
2.1	Localización de Morelos en la Republica mexicana	28
2.2	División Municipal de Morelos (habitantes por Km <sup>2</sup> )	28
2.3	División Municipal de Morelos	30
2.4	Mapa de Temperatura Media Anual	31
2.5	Estación Meteorológica Automática, Vaisala	33
2.6	Sistema Maws 110 integrado con Datalogger QML201	33
2.7	Multisensor Vaisala	34
2.8	Espectro de Radiación Solar	35
2.9	Ángulo cenital, inclinación, ángulo azimutal de la superficie y ángulo azimutal solar para una superficie inclinada	37
2.10	Pirheliómetro de Incidencia normal NIP (Directa)	38
2.11	Piranómetro Espectral PSP (Global y Difusa)	39
2.12	Instrumento para medir la Temperatura	41
2.13	Higrómetro Analógico y Digital para medir la Humedad	42
2.14	Anemómetro Digital para la medir Viento	44
2.15	Localización del municipio de Temoac en el Estado de Morelos	45
2.16	Localización del municipio de Jiutepec en el Estado de Morelos	46
2.17	Localización del municipio de Tepalcingo en el Estado de Morelos	47
2.18	Localización del municipio de Tepoztlán en el Estado de Morelos	48
2.19	Localización del municipio de Tlaquiltenango en el Estado de Morelos	49
2.20	Localización del municipio de Tlayacapan en el Estado de Morelos	50
2.21	Localización del municipio de Puente de Ixtla en el Estado de Morelos	51
2.22	Gráficos de Radiación, Temperatura, Humedad Relativa y Viento en Temoac	53

## LISTA DE FIGURAS

---

2.23	Gráficos de Radiación, Temperatura, Humedad Relativa y Viento en Tepalcingo	54
2.24	Gráficos de Radiación, Temperatura, Humedad Relativa y Viento en Tilzapotla	55
2.25	Gráficos de Radiación, Temperatura, Humedad Relativa y Viento en Tlaquiltenango	56
2.26	Gráficos de Radiación, Temperatura, Humedad Relativa y Viento en Tlayacapan	58
2.27	Carta Bioclimática de Givoni	62
2.28	Clasificación climática en la Carta Psicrométrica	63
2.29	Clasificación Climática en Temoac	64
2.30	Estrategias de Climatización en Temoac	65
2.31	Clasificación Climática en Tepalcingo	66
2.32	Estrategias de Climatización en Tepalcingo	66
2.33	Clasificación Climática en Tilzapotla	67
2.34	Estrategias de Climatización en Tilzapotla	68
2.35	Clasificación Climática en Tlaquiltenango	69
2.36	Estrategias de Climatización en Tlaquiltenango	69
2.37	Clasificación Climática en Tlayacapan	70
2.38	Estrategias de Climatización en Tlayacapan	70
2.39	Clasificación Climática en Jiutepec	71
2.40	Estrategias de Climatización en Jiutepec	72
2.41	Clasificación Climática en Tepoztlan	72
2.42	Estrategias de Climatización en Tepoztlán	73
3.1	Radiación Solar en Mayo	77
3.2	Radiación Solar en Mayo en mapa de Elevación	77
3.3	Radiación Solar en Junio	77
3.4	Radiación Solar en Junio en mapa de Elevación	77
3.5	Radiación Solar en Julio	78
3.6	Radiación Solar en Julio en mapa de Elevación	78
3.7	Radiación Solar en Agosto	78
3.8	Radiación Solar en Agosto en mapa de Elevación	78
3.9	Radiación Solar en Septiembre.	79
3.10	Radiación Solar en Septiembre en mapa de Elevación	79
3.11	Radiación Solar en Octubre	79
3.12	Radiación Solar en Octubre en mapa de Elevación	79
3.13	Radiación Solar en Noviembre	80
3.14	Radiación Solar en Noviembre en mapa de Elevación	80
3.15	Radiación Solar en Diciembre	80
3.16	Radiación Solar en Diciembre en mapa de Elevación	80

## LISTA DE FIGURAS

---

---

3.17	Radiación Solar en Enero	81
3.18	Radiación Solar en Enero en mapa de Elevación	81
3.19	Radiación Solar en Febrero	81
3.20	Radiación Solar en Febrero en mapa de Elevación	81
3.21	Radiación Solar en Marzo	82
3.22	Radiación Solar en Marzo en mapa de Elevación	82
3.23	Radiación Solar en Abril	82
3.24	Radiación Solar en Abril en mapa de Elevación	82
3.25	Temperatura Media en Mayo	84
3.26	Temperatura Media en Mayo en mapa de Elevación	84
3.27	Temperatura Media en Junio.	84
3.28	Temperatura Media en Junio en mapa de Elevación	84
3.29	Temperatura Media en Julio	85
3.30	Temperatura Media en Julio en mapa de Elevación.	85
3.31	Temperatura Media en Agosto	85
3.32	Temperatura Media en Agosto en mapa de Elevación.	85
3.33	Temperatura Media en Septiembre.	86
3.34	Temperatura Media en Septiembre en mapa de Elevación	86
3.35	Temperatura Media en Octubre	86
3.36	Temperatura Media en Octubre en mapa de Elevación	86
3.37	Temperatura Media en Noviembre	87
3.38	Temperatura Media en Noviembre en mapa de Elevación	87
3.39	Temperatura Media en Diciembre	87
3.40	Temperatura Media en Diciembre en mapa de Elevación	87
3.41	Temperatura Media en Enero	88
3.42	Temperatura Media en Enero en mapa de Elevación	88
3.43	Temperatura Media en Febrero	88
3.44	Temperatura Media en Febrero en mapa de Elevación	88
3.45	Temperatura Media en Marzo	89
3.46	Temperatura Media en Marzo en mapa de Elevación	89
3.47	Temperatura Media en Abril	89
3.48	Temperatura Media en Abril en mapa de Elevación	89
3.49	Temperatura Máxima en Mayo	91
3.50	Temperatura Máxima en Mayo en mapa de Elevación	91
3.51	Temperatura Máxima en Junio.	91
3.52	Temperatura Máxima en Junio en mapa de Elevación	91

## LISTA DE FIGURAS

---

---

3.53	Temperatura Máxima en Julio	92
3.54	Temperatura Máxima en Julio en mapa de Elevación	92
3.55	Temperatura Máxima en Agosto	92
3.56	Temperatura Máxima en Agosto en mapa de Elevación	92
3.57	Temperatura Máxima en Septiembre	93
3.58	Temperatura Máxima en Septiembre en mapa de Elevación	93
3.59	Temperatura Máxima en Octubre	93
3.60	Temperatura Máxima en Octubre en mapa de Elevación	93
3.61	Temperatura Máxima en Noviembre.	94
3.62	Temperatura Máxima en Noviembre en mapa de Elevación	94
3.63	Temperatura Máxima en Diciembre.	94
3.64	Temperatura Máxima en Diciembre en mapa de Elevación	94
3.65	Temperatura Máxima en Enero	95
3.66	Temperatura Máxima en Enero en mapa de Elevación	95
3.67	Temperatura Máxima en Febrero	95
3.68	Temperatura Máxima en Febrero en mapa de Elevación	95
3.69	Temperatura Máxima en Marzo	96
3.70	Temperatura Máxima en Marzo en mapa de Elevación	96
3.71	Temperatura Máxima en Abril	96
3.72	Temperatura Máxima en Abril en mapa de Elevación	96
3.73	Temperatura Mínima en Mayo	98
3.74	Temperatura Mínima en Mayo en mapa de Elevación	98
3.75	Temperatura Mínima en Junio	98
3.76	Temperatura Mínima en Junio en mapa de Elevación	98
3.77	Temperatura Mínima en Julio	99
3.78	Temperatura Mínima en Julio en mapa de Elevación.	99
3.79	Temperatura Mínima en Agosto	99
3.80	Temperatura Mínima en Agosto en mapa de Elevación	99
3.81	Temperatura Mínima en Septiembre	100
3.82	Temperatura Mínima en Septiembre en mapa de Elevación	100
3.83	Temperatura Mínima en Octubre	100
3.84	Temperatura Mínima en Octubre en mapa de Elevación.	100
3.85	Temperatura Mínima en Noviembre	101
3.86	Temperatura Mínima en Noviembre en mapa de Elevación	101
3.87	Temperatura Mínima en Diciembre.	101
3.88	Temperatura Mínima en Diciembre en mapa de Elevación	101

## LISTA DE FIGURAS

---

---

3.89	Temperatura Mínima en Enero	102
3.90	Temperatura Mínima en Enero en mapa de Elevación	102
3.91	Temperatura Mínima en Febrero	102
3.92	Temperatura Mínima en Febrero en mapa de Elevación	102
3.93	Temperatura Mínima en Marzo	103
3.94	Temperatura Mínima en Marzo en mapa de Elevación	103
3.95	Temperatura Mínima en Abril.	103
3.96	Temperatura Mínima en Abril en mapa de Elevación	103
3.97	Humedad Relativa en Mayo.	105
3.98	Humedad Relativa en Mayo en mapa de Elevación	105
3.99	Humedad Relativa en Junio	105
3.100	Humedad Relativa en Junio en mapa de Elevación	105
3.101	Humedad Relativa en Julio	106
3.102	Humedad Relativa en Julio en mapa de Elevación	106
3.103	Humedad Relativa en Agosto	106
3.104	Humedad Relativa en Agosto en mapa de Elevación	106
3.105	Humedad Relativa en Septiembre.	107
3.106	Humedad Relativa en Septiembre en mapa de Elevación	107
3.107	Humedad Relativa en Octubre	107
3.108	Humedad Relativa en Octubre en mapa de Elevación	107
3.109	Humedad Relativa en Noviembre	108
3.110	Humedad Relativa en Noviembre en mapa de Elevación	108
3.111	Humedad Relativa en Diciembre	108
3.112	Humedad Relativa en Diciembre en mapa de Elevación	108
3.113	Humedad Relativa en Enero	109
3.114	Humedad Relativa en Enero en mapa de Elevación	109
3.115	Humedad Relativa en Febrero	109
3.116	Humedad Relativa en Febrero en mapa de Elevación	109
3.117	Humedad Relativa en Marzo	110
3.118	Humedad Relativa en Marzo en mapa de Elevación	110
3.119	Humedad Relativa en Abril	110
3.120	Humedad Relativa en Abril en mapa de Elevación	110
3.121	Velocidad del Viento en Mayo	112
3.122	Velocidad del Viento en Mayo en mapa de Elevación	112
3.123	Velocidad del Viento en Junio	112
3.124	Velocidad del Viento en Junio en mapa de Elevación	112

## LISTA DE FIGURAS

---

---

3.125	Velocidad del Viento en Julio	113
3.126	Velocidad del Viento en Julio en mapa de Elevación	113
3.127	Velocidad del Viento en Agosto	113
3.128	Velocidad del Viento en Agosto en mapa de Elevación	113
3.129	Velocidad del Viento en Septiembre.	114
3.130	Velocidad del Viento en Septiembre en mapa de Elevación	114
3.131	Velocidad del Viento en Octubre	114
3.132	Velocidad del Viento en Octubre en mapa de Elevación	114
3.133	Velocidad del Viento en Noviembre	115
3.134	Velocidad del Viento en Noviembre en mapa de Elevación	115
3.135	Velocidad del Viento en Diciembre.	115
3.136	Velocidad del Viento en Diciembre en mapa de Elevación	115
3.137	Velocidad del Viento en Enero	116
3.138	Velocidad del Viento en Enero en mapa de Elevación	116
3.139	Velocidad del Viento en Febrero	116
3.140	Velocidad del Viento en Febrero en mapa de Elevación	116
3.141	Velocidad del Viento en Marzo.	117
3.142	Velocidad del Viento en Marzo en mapa de Elevación	117
3.143	Velocidad del Viento en Abril	117
3.144	Velocidad del Viento en Abril en mapa de Elevación	117
4.1	Grados-día de calentamiento para la ciudad de Nueva York	124
4.2	Grados-día de Calentamiento y Enfriamiento en Temoac	125
4.3	Demanda de Energía en Temoac	126
4.4	Costos para Calentamiento y Enfriamiento por Grados-día en Temoac	126
4.5	Grados-día de Calentamiento y Enfriamiento en Tepalcingo	127
4.6	Demanda de Energía en Tepalcingo	127
4.7	Costos para Calentamiento y Enfriamiento por Grados-día en Tepalcingo	128
4.8	Grados-día de Calentamiento y Enfriamiento en Tilzapotla	129
4.9	Demanda de Energía en Tilzapotla	129
4.10	Costos para Calentamiento y Enfriamiento por Grados-día en Tilzapotla	130
4.11	Grados-día de Calentamiento y Enfriamiento en Tlaquiltenango	131
4.12	Demanda de Energía en Tlaquiltenango	131
4.13	Costos para Calentamiento y Enfriamiento por Grados-día en Tlaquiltenango	132
4.14	Grados-día de Calentamiento y Enfriamiento en Tlayacapan	132
4.15	Demanda de Energía en Tlayacapan	133
4.16	Costos para Calentamiento y Enfriamiento por Grados-día en Tlayacapan	133



## LISTA DE FIGURAS

---

---

4.17	Grados-día de Calentamiento y Enfriamiento en Jiutepec	134
4.18	Demanda de Energía en Jiutepec.	135
4.19	Costos para Calentamiento y Enfriamiento por Grados-día en Jiutepec	135
4.20	Grados-día de Calentamiento y Enfriamiento en Tepoztlán	136
4.21	Demanda de Energía en Tepoztlan	137
4.22	Costos para Calentamiento y Enfriamiento por Grados-día en Tepoztlán	137
5.1	Ventana Principal del Programa IIsibat 3.0	146
5.2	Ventana Principal del Programa Prebid 4.1.1.	147
5.3	Participación de Créditos por Institución en el 2006	148
5.4	Programa Crediticio 2005-2009	148
5.5	Vista Frontal y Lateral de la Vivienda Tipo	149
5.6	Interiores en Planta Baja.	150
5.7	Interiores en Planta Alta	150
5.8	Vista Arquitectónica de la Vivienda Tipo	151
5.9	División por zonas de la Vivienda Tipo	152
5.10	Muros y Corte del Entretecho de la Vivienda Tipo	152
5.11	Corte de Techos y Muros de la Vivienda Tipo	153
5.12	Cargas de Enfriamiento para las cuatro orientaciones en Jiutepec	155
5.13	Radiación Incidente sobre la Envolvente en Temoac	156
5.14	Flujos de Calor que Atraviesan la Envolvente en Temoac	157
5.15	Temperaturas Diarias en Temoac	157
5.16	Temperaturas Mensuales en Temoac	158
5.17	Día más Cálido en Temoac	158
5.18	Día más Frío en Temoac	159
5.19	Cargas Sensibles y Latentes en Temoac	160
5.20	Capacidad del Equipo de Aire Acondicionado en Temoac	161
5.21	Costos por Climatización en Temoac	161
5.22	Radiación Incidente sobre la Envolvente en Tepalcingo	162
5.23	Flujos de Calor que Atraviesan la Envolvente en Tepalcingo	163
5.24	Temperaturas Diarias en Tepalcingo	163
5.25	Temperaturas Mensuales en Tepalcingo	164
5.26	Día más Cálido en Tepalcingo	165
5.27	Día más Cálido en Tepalcingo	165
5.28	Cargas Sensibles y Latentes en Tepalcingo	166
5.29	Capacidad del Equipo de Aire Acondicionado en Tepalcingo	167
5.30	Costos por Climatización en Tepalcingo	167

## LISTA DE FIGURAS

---

---

5.31	Radiación Incidente sobre la Envolvente en Tilzapotla	168
5.32	Flujos de Calor que Atraviesan la Envolvente en Tilzapotla	169
5.33	Temperaturas Diarias en Tilzapotla	169
5.34	Temperaturas Mensuales en Tilzapotla	170
5.35	Día más Cálido en Tilzapotla	171
5.36	Día más Frío en Tilzapotla	171
5.37	Cargas Sensibles y Latentes en Tilzapotla	172
5.38	Capacidad del Equipo de Aire Acondicionado en Tilzapotla	173
5.39	Costos por Climatización en Tilzapotla	173
5.40	Radiación Incidente sobre la Envolvente en Tlaquiltenango	174
5.41	Flujos de Calor que Atraviesan la Envolvente en Tlaquiltenango	175
5.42	Temperaturas Diarias en Tlaquiltenango	175
5.43	Temperaturas Mensuales en Tlaquiltenango	176
5.44	Día más Cálido en Tlaquiltenango	177
5.45	Día más Frío en Tlaquiltenango	177
5.46	Cargas Sensibles y Latentes en Tlaquiltenango	178
5.47	Capacidad del Equipo de Aire Acondicionado en Tlaquiltenango	179
5.48	Costos por Climatización en Tlaquiltenango	179
5.49	Radiación Incidente sobre la Envolvente en Tlayacapan	180
5.50	Flujos de Calor que Atraviesan la Envolvente en Tlayacapan	181
5.51	Temperaturas Diarias en Tlayacapan	181
5.52	Temperaturas Mensuales en Tlayacapan	182
5.53	Día más Cálido en Tlayacapan	183
5.54	Día más Frío en Tlayacapan	183
5.55	Cargas Sensibles y Latentes en Tlayacapan	184
5.56	Capacidad del Equipo de Aire Acondicionado en Tlayacapan	185
5.57	Costos por Climatización en Tlayacapan	185
5.58	Radiación Incidente sobre la Envolvente en Jiutepec	186
5.59	Flujos de Calor que Atraviesan la Envolvente en Jiutepec	187
5.60	Temperaturas Diarias en Jiutepec	188
5.61	Temperaturas Mensuales en Jiutepec	188
5.62	Día más Cálido en Jiutepec	189
5.63	Día más Frío en Jiutepec	189
5.64	Cargas Sensibles y Latentes en Jiutepec	190
5.65	Capacidad del Equipo de Aire Acondicionado en Jiutepec	191
5.66	Costos por Climatización en Jiutepec	191

## LISTA DE FIGURAS

---

---

5.67	Radiación Incidente sobre la Envolvente en Tepoztlán	192
5.68	Flujos de Calor que Atraviesan la Envolvente en Tepoztlán	193
5.69	Temperaturas Diarias en Tepoztlán	194
5.70	Temperaturas Mensuales en Tepoztlán	194
5.71	Día más Cálido en Tepoztlán	195
5.72	Día más Frío en Tepoztlán	195
5.73	Cargas Sensibles y Latentes en Tepoztlán	196
5.74	Capacidad del Equipo de Aire Acondicionado en Tepoztlán	197
5.75	Costos por Climatización en Tepoztlán	197
6.1	Grados-día de Calentamiento Anuales para Estado de Morelos	200
6.2	Grados-día de Enfriamiento Anuales para Estado de Morelos	200
6.3	Insolación sobre Superficies Horizontales en Morelos	201
6.4	Cargas de Enfriamiento en los Siete Municipios del Estado de Morelos	203
6.5	Cargas de Calentamiento en los Siete Municipios del Estado de Morelos	203
6.6	Temperaturas Interiores de los siete Municipios del Estado de Morelos	204
6.7	Comparativo Grados-día y TRNSYS en Temoac	206
6.8	Comparativo Grados-día y TRNSYS en Tepalcingo	207
6.9	Comparativo Grados-día y TRNSYS en Tilzapotla	208
6.10	Comparativo Grados-día y TRNSYS en Tlaquiltenango	209
6.11	Comparativo Grados-día y TRNSYS en Tlayacapan	210
6.12	Comparativo Grados-día y TRNSYS en Jiutepec	211
6.13	Comparativo Grados-día y TRNSYS en Tepoztlán	212

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
1.1	Consumo Nacional de Energía	11
1.2	Consumo de Energía para Cocción, Iluminación, Calefacción y Calentamiento de agua	13
2.1	Tipo de Clima en Porcentaje de Territorio	31
2.2	Rangos de Confort Térmico para varias Ciudades	60
2.3	Clasificaciones Climáticas (INEGI vs. Estudia actual)	74
5.1	Propiedades Termo-Físicas de los Materiales de Construcción	153
6.1	Cargas de Enfriamiento por Grados-día y TRNSYS en Temoac	205
6.2	Cargas de Enfriamiento por Grados-día y TRNSYS en Tepalcingo	206
6.3	Cargas de Enfriamiento por -día y TRNSYS en Tilzapotla	207
6.4	Cargas de Enfriamiento por Grados-día y TRNSYS en Tlaquiltenango	208
6.5	Cargas de Enfriamiento por Grados-día y TRNSYS en Tlayacapan	209
6.6	Cargas de Enfriamiento por Grados-día y TRNSYS en Jiutepec	210
6.7	Cargas de Enfriamiento por Grados-día y TRNSYS en Tepoztlán	212

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

## NOMENCLATURA

Símbolo	Descripción
<b>Latinas</b>	
$C_p$	Calor específico, KJ/Kg*K
DD	Grados-día
F	Factor de ajuste final
H(s)	Función de transferencia
$K_{tot}$	Coefficiente global de pérdidas de calor en W/m <sup>2</sup> K o Kcal /h m <sup>2</sup> °C.
q gain	Ganancias de calor del sol en W/m <sup>2</sup> .
$Q_{h,yr}$	Consumo anual de calentamiento en KW-h.
$Q_i$	Pérdidas por infiltración Kcal /h
$Q_t$	Pérdidas por transmisión Kcal /h
R	Resistencia térmica, h*m <sup>2</sup> *K/KJ
t bal	Temperatura de punto de balance en °C, K.
t <sub>i</sub>	Temperatura interior en °C, K.
t <sub>ma</sub>	Temperatura media anual en °C, K.
T <sub>n</sub>	Temperatura neutra en °C, K.
t <sub>o</sub>	Temperatura ambiente en °C, K.
t <sub>o,yr</sub>	Temperatura promedio anual en °C, K.
T <sub>s,j</sub>	Temperatura de la superficie interior del elemento i
U(s)	Transformada de Laplace de entrada
X <sub>i</sub>	Factor de entradas dependientes del tiempo
Y(s)	Transformada de Laplace de respuesta
Z <sub>c</sub>	Zona de confort
Z <sub>ij</sub>	Coefficiente de transferencia de calor entre i y j
<b>Griegas</b>	
$\lambda$	Longitud de onda
$\beta$	Inclinación
$\delta$	Declinación
$\phi$	Latitud
$\theta$	Ángulo de incidencia
$\theta_z$	Ángulo cenital
$\gamma$	Ángulo azimutal de la superficie
$\gamma$	Ángulo azimutal solar
$\omega$	Ángulo horario
$\eta_h$	Eficiencia del sistema de calefacción
$\sigma_m$	Desviación estándar mensual
$\sigma_y$	Desviación estándar anual

N	Numero de días del mes, día/mes
$\varphi$	Temperatura variable normalizada en °C, K.
$\kappa$	Conductividad térmica, KJ/h*m*K
$\rho$	Densidad, Kg/m <sup>3</sup>

**Subíndices**

c	Calentamiento
h	Enfriamiento

**Abreviaturas**

a. C.	Antes de la era Cristiana
ASHRAE	Sociedad americana de Ingenieros en calefacción, refrigeración y aire acondicionado
CDD	Grados-día de enfriamiento
CFD	Dinámica de fluidos computacional
CFE	Comisión federal de electricidad
CNA	Comisión nacional del agua
DGET	Dirección general de energía y transporte europea
DOE	Programa de simulación térmica del departamento de energía de Estados Unidos
EMAS	Estaciones meteorológicas automáticas
GWh	GigaWatts-hora
HDD	Grados-día de calentamiento
HVAC	Calentamiento, ventilación y aire acondicionado
IEA	Agencia internacional de energía
INEGI	Instituto nacional de estadística geografía e informática
INFONAVIT	Instituto del fondo nacional de vivienda para los trabajadores
LFC	Luz y fuerza del centro
Mtep	Millones de toneladas equivalentes de petróleo
Mtoe	Millones de toneladas de petróleo
NOM	Norma oficial mexicana
OECD	Organización de cooperación económica y desarrollo
PEMEX	Petróleos mexicanos
PIB	Producto interno bruto
PJ	PetaJoules
QCMAX	Cargas máximas de calentamiento
QCONV	Ganancias por convección
QCONV1	Flujos radiativos y convectivos que atraviesan la envolvente
QCOOL	Cargas de enfriamiento
QDEHUM	Cargas por deshumidificación
QHEAT	Cargas de calentamiento
QHMAX	Cargas máximas de enfriamiento
QHUM	Cargas por humidificación
QINF	Ganancias por infiltración
TRNSYS	Sistema de simulación transitorio
TWh	TeraWatts-hora
RAD	Radiación solar incidente



## NOMENCLATURA

---

SENER	Secretaría de energía
SMN	Servicio meteorológico nacional
TBH	Termómetro de bulbo húmedo
TBS	Termómetro de bulbo seco
WRI	Instituto de recursos mundiales

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación es un estudio que comprende aspectos meteorológicos y de confort de viviendas, donde por medio de datos del clima se obtiene la demanda de energía en el Estado de Morelos para el confort de viviendas, al aplicar dos metodologías: Grados-día y TRNSYS, que a su vez son comparadas. El estudio térmico-ambiental en el Estado comprende un análisis basado en las mediciones de variables climáticas con la finalidad de evaluar la demanda de energía en el Estado de Morelos, a partir de datos climatológicos recolectados de siete estaciones meteorológicas automáticas. La información es usada para obtener una caracterización del clima y estimar la demanda de energía para calentamiento o enfriamiento de edificios en diferentes microclimas urbanos en Morelos, por el uso de la metodología de los grados-día y la simulación térmica transitoria de TRNSYS.

Un edificio típico en el Estado de Morelos es seleccionado para calcular las cargas de calentamiento y enfriamiento por medio del TRNSYS, para siete localidades en el Estado de Morelos. Los resultados muestran mapas y gráficos en promedios mensuales y diarios de temperaturas, radiación solar, humedad relativa y viento para el periodo de Mayo 2006 a Abril 2007, así como la comparación de la demanda de energía para el confort en las siete localidades seleccionadas, aplicando ambas metodologías. Se obtienen resultados que permiten dar una clasificación del clima del Estado más acorde a la realidad, así como las principales estrategias de climatización para el confort en cada región estudiada.

De acuerdo a los resultados obtenidos de los grados-día, los municipios de la parte Norte del Estado de Morelos, son lo que presentan mayores requerimientos de energía para calentamiento (928 grados-día anuales en Temoac), mientras que la parte Sur tiene los menores requerimientos de energía para calentamiento (515 grados-día anuales en Tlaquiltenango). La energía para enfriamiento tiene un

comportamiento inverso, con los mayores requerimientos de energía al Sur y los menores al Norte del Estado de Morelos.

Los resultados de las simulaciones del TRNSYS arrojan salidas de radiación incidente sobre la envolvente, temperaturas interiores y cargas térmicas de la vivienda seleccionada, rescatando que Tlaquiltenango y Tilzapotla son los municipios con mayores requerimientos de energía de enfriamiento para el confort; los municipios con menores requerimientos son Temoac y Tlayacapan ubicados en la parte Norte del Estado. Los municipios de Jiutepec, Tepoztlán y Tepalcingo muestran comportamientos muy similares con diferencias no mayores a los 100 kW-h en cada mes. Las cargas de calentamiento siguen un patrón inverso, teniendo los mayores requerimientos en Temoac y Tlayacapan y los menores en Tilzapotla y Tlaquiltenango. Finalmente, de la comparación de las metodologías empleadas para la obtención de la demanda de energía se observó la influencia de la incidencia de la radiación solar y la humedad en la sobrestimación de los resultados obtenidos por grados-día y TRNSYS.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

## ABSTRACT

The present work is a study that includes meteorological and comfort aspects of buildings. Using climate data, the energy demand in the state of Morelos is obtained for comfort. Two methodologies were applied: Degree days and TRNSYS, which are compared. From collected climatologic data in seven automatic weather stations, an analysis based on the measurements of climatic variables to evaluate the energy demand in the state of Morelos is performed. This information is used to characterize the climate in the region and to calculate the energy demand for a building using two methodologies; the degree-day and the transitory thermal simulation (TRNSYS).

For seven localities in the State of Morelos, a typical building is selected to calculate the heating and cooling loads by means of the TRNSYS. The results show maps and graphics in monthly and daily average temperatures, solar radiation, relative humidity and wind velocity for the period of May 2006 to April 2007, as well as the comparison of energy demand for the comfort by applying both methodologies. The results give a State climate classification, as well as the main strategies of climate for the comfort in each studied region.

According to the results of the degree-day, the municipalities of the Northern place of the State of Morelos show higher requirements of energy for heating (928 degree-day annual in Temoac), whereas the South place has the smaller requirements of energy for heating (515 degree-day annual in Tlaquiltenango). The energy for cooling has an opposite behavior, with higher requirements of energy in the South and the smaller in the North of the State of Morelos.

The results of the TRNSYS simulations include incident radiation on the envelope, interior temperatures and thermal loads of the typical building. We can point out that Tlaquiltenango and Tlzapotla are the municipalities with higher requirements of energy for cooling to get comfort; the municipalities with smaller requirements located are Temoac

and Tlayacapan in the Northern part of the State. Very similar behavior with the differences no larger than 100 to kW-h in every month in the municipalities of Jiutepec, Tepoztlán and Tepalcingo is shown. The heating loads follow an opposite pattern, the higher requirements are in Temoac and Tlayacapan and the smaller ones are in Tilzapotla and Tlaquiltenango. Finally, comparing the two methodologies used, degree-day and TRNSYS, it was found out that in some cases the energy demand calculated by degree-day is overestimated with respect to TRNSYS, and in others the energy demand is underestimated by degree-day against TRNSYS, this is because the incident solar radiation and the relative humidity have great influence in the calculation of energy demand by TRNSYS.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.



---

# ***cenidet***

**Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico  
Departamento de Ingeniería Mecánica**

## **TESIS DE MAESTRÍA EN CIENCIAS**

**Evaluación de las Variables Climáticas y Estudio Comparativo  
de las Metodologías de los Grados-Día y TRNSYS  
para Evaluar la Demanda de Energía  
en el Estado de Morelos**

Presentada por

**Miguel Ángel Gijón Rivera**

Ing. Mecánico por el I. T. de Querétaro

Como requisito para la obtención del grado de:  
**Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica**

**Director de tesis:**

Dra. Gabriela del Socorro Álvarez García

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.